

Schimpke-Horn

**Praktisches Handbuch
der gesamten Schweißtechnik**

I
**Gasschweiß-und
Schneidetechnik**

Dritte Auflage

Praktisches Handbuch der gesamten Schweißtechnik

Von

Prof. Dr.-Ing. **P. Schimpke** und Ober-Ing. **Hans A. Horn**

Direktor der Staatl. Akademie für Technik
Chemnitz

Direktor der Schweißtechnischen Lehr- und
Versuchsanstalt Charlottenburg

Erster Band

Gasschweiß- und Schneidtechnik

Dritte

neubearbeitete und vermehrte Auflage

Mit 347 Textabbildungen
und 22 Tabellen



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH
1938

ISBN 978-3-662-37488-7 ISBN 978-3-662-38253-0 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-38253-0

Alle Rechte, insbesondere das der Übersetzung
in fremde Sprachen, vorbehalten.

Copyright 1938 by Springer-Verlag Berlin Heidelberg
Ursprünglich erschienen bei Julius Springer in Berlin 1938.
Softcover reprint of the hardcover 3rd edition 1938

Vorwort zur ersten Auflage.

Obwohl die neueren Schweißverfahren sich bereits weite, früher kaum geahnte Anwendungsgebiete erobert haben, begegnet man häufig einer in diesem Fabrikationszweige kaum zu erwartenden Fachunkenntnis. Den Schweißanlagen liefernden Firmen ist es selten möglich, dem Käufer ausreichende, persönliche Anweisungen mit auf den Weg zu geben. So bleiben der Anfänger im Schweißen und die ein Schweißverfahren neu aufnehmende Fabrik fast immer ihrem Schicksal überlassen und zahlen viel unnötiges Lehrgeld. Um so mehr macht sich der Mangel an für die Praxis geeigneter Fachliteratur geltend. Ein praktisches Handbuch der neueren Schweißverfahren muß einmal möglichst schlicht geschrieben sein. Es darf bei vielen Lesern nur geringe Vorkenntnisse voraussetzen. Andererseits wird das Buch viel zu umfangreich, wenn es alle Schweißverfahren gründlich genug behandeln will. Eine Einzeldarstellung der wichtigsten Verfahren erscheint daher heute als das Gegebene und wird auch von vielen Seiten gewünscht.

Dem im vorigen wiedergegebenen Gedankengang folgend, haben die Verfasser sich entschlossen, zwei getrennte Bücher, eins über „Das autogene Schweißen und Schneiden“ und das zweite über „Das elektrische Schweißen“ zu bringen, von denen das erste hiermit der Öffentlichkeit übergeben wird. Sie wollen weiter die unverkennbare Lücke in der an sich nicht armen Fachliteratur beseitigen helfen und dem Schweißer und Handwerksmeister einen wirklichen Berater an die Hand geben, in dem er alles Wissenswerte findet und verstehen kann. Der meist wertlose Abdruck zahlreicher Firmenkatalogbilder ist nach Möglichkeit fortgelassen. Besonderer Wert wurde darauf gelegt, alles Nebensächliche zu umgehen und nur Wichtiges aufzunehmen. Vor allem soll dem Schweißer gesagt werden: Was und wie kann ich mit Erfolg autogen schweißen und schneiden! Wie muß ich die Arbeiten vorbereiten, wie sie nach dem Schweißen behandeln! Wie sind die Geräte sachgemäß zu behandeln usw. Diesen Grundsätzen folgend, wird das Buch aber auch für den Ingenieur und Fabrikleiter ebenso wertvoll sein können, wie für den Schweißer selbst.

Möge uns die Lösung der gestellten Aufgabe befriedigend gelungen sein, und das Buch zum weiteren Ausbau der Technik autogener Metallbearbeitung beitragen.

Chemnitz, im August 1924.

Schimpke. Horn.

Vorwort zur zweiten Auflage.

Die freundliche Aufnahme, die der ersten Auflage unseres ersten Bandes bei Fachleuten und Laien zuteil wurde, berechtigt uns zu der Annahme, daß der Weg, den wir bei der Bearbeitung des Themas beschritten haben, wohl der richtige war. Wenn wir trotzdem heute die zweite Auflage in zum Teil erheblich umgestellter und erweiterter Form der Öffentlichkeit übergeben, so sind wir uns natürlich bewußt, daß eine Erhöhung des Kaufpreises der weiteren Verbreitung des Buches nicht gerade günstig ist; wir entsprechen mit der Erweiterung aber insbesondere häufigen Wünschen und Anregungen aus dem Kreise der Leser und der Teilnehmer an Schweißkursen.

Wesentliche Änderungen auf dem Gebiete der Gerätekonstruktion haben entsprechende Berücksichtigung gefunden. Im Abschnitt „Azetylenentwickler“ mußten die neuerdings immer mehr eingeführten Hochdruckentwickler näher besprochen werden. Die im Abschnitt „Die Technik des Schweißens“ bezüglich der Schweißung des Gußeisens und der Nichteisenmetalle gemachten Ausführungen sind durch eine größere Anzahl Bilder von praktisch durchgeführten Schweißungen weiter vertieft worden. Eine Ergänzung erfuhren ferner die Abschnitte „Die Güte der Schweißnaht“ und „Leistungen und Kosten der Schweißverfahren“. Der Schlußabschnitt über „Förderung des Schweißens“ enthält bereits die ersten genaueren Richtlinien für Schweißkurse. So glauben wir, dem augenblicklichen Stande der Gasschmelzschweißtechnik gerecht geworden zu sein, und dürfen eine freundliche Aufnahme der neuen Auflage in der engeren und weiteren Fachwelt erhoffen.

Chemnitz-Berlin, im März 1928.

Schimpke. Horn.

Vorwort zur dritten Auflage.

Während die zweite Auflage dieses Bandes der ersten in knapp vier Jahren folgen konnte, liegt zwischen der zweiten und der nun vorliegenden dritten Auflage eine Zeitspanne von rund einem Jahrzehnt. Dies hat seine Ursache in dem hinlänglich bekannten, der Machtübernahme vorausgegangenem wirtschaftlichen Niedergang. Inzwischen sind nicht allein konstruktive Vervollkommnungen und Neuentwicklungen an Schweiß- und Schneidgeräten zu verzeichnen, sondern es hat sich im Laufe der verflossenen Jahre auch eine früher nur wenig bekanntgewordene, heute aber zur Geltung gelangte, verbesserte und überlegene Technik des Schweißens dicker Bleche — die Nachrechtsschweißung — eingebürgert, die in der Neuauflage berücksichtigt ist.

Im gleichen Zeitraume machte die wissenschaftliche Erforschung der mit der autogenen Metallbearbeitung zusammenhängenden metallurgischen Vorgänge außerordentliche Fortschritte sowohl hinsichtlich des Gefügebau einer Schweißverbindung und deren dynamischen Verhaltens, als auch bezüglich

geeignet legierter Zusatzwerkstoffe, die die Güte der Schweiße einschneidend beeinflussen. Dies war um so notwendiger, als die Anforderungen an die Werkstoffe selbst und damit an die Schweißverbindung immer mehr gesteigert wurden. Andere damit verknüpfte wichtige Fragen, wie Steigerung der technologischen Gütwerte, auch bei hochfesten Baustoffen, Korrosionsfestigkeit, Schweißbarkeit der zahllosen Leichtmetalllegierungen, Wirtschaftlichkeit u. a., sind Gegenstand umfangreicher und fruchtbringender Untersuchungen gewesen, die das an sich weit verzweigte Gebiet der Schweißtechnik erheblich förderten. Die Verarbeitung dieser Erkenntnisse bedingte neben einer weitgehenden Umstellung des Stoffes auch dessen Erweiterung.

Wenn wir daher von unserer ursprünglichen Richtlinie, den Buchinhalt auf eine für den praktischen Schweißer möglichst einfache Form abzustimmen, in der Neuauflage bewußt abgewichen sind und den zum Teil verwickelten theoretischen Betrachtungen verschiedener Stoffgebiete mehr Platz eingeräumt haben, so entsprechen wir damit einem seitens vieler Fachingenieure und Fachlehrer häufig an uns ergangenen Wunsch. Ihm nachzukommen, erschien uns gerechtfertigt, einmal, um dem Fachmanne, der in den Stoff tiefer einzudringen gezwungen ist, eine zusammenfassende, erschöpfende Darstellung des theoretischen Teiles an die Hand zu geben, zum anderen auch deshalb, weil dem praktischen Schweißer genügend einfach gehaltene Büchlein zur Verfügung stehen. Natürlich sind neben den theoretischen Erweiterungen die praktischen Belange hinreichend und so erhalten geblieben, wie sie der Praktiker erwartet.

Gegenüber der vorigen Auflage sind außer der stofflichen Umgestaltung und den oben bereits erwähnten Erweiterungen besonders hervorzuheben die Abschnitte über: Zusatzdrähte, Flußmittel, Aufbau der Schweiße und das Brennschneiden. Der umfassenden Behandlung des Brennschneidens glaubten wir Rechnung tragen zu müssen, weil es zur Werkstoffvorbereitung für alle Schweißverfahren immer mehr an Bedeutung gewinnt und im Bande II (Elektrisches Schweißen) nicht berücksichtigt ist.

Allen Wünschen, beispielsweise bezüglich der Erweiterung des Abschnitts über Werkstoffprüfung, insbesondere über Metallographie restlos zu entsprechen, war unmöglich, wenn nicht der an sich angewachsene Umfang des Buches untragbar werden sollte. Wir bitten deshalb um Nachsicht und erhoffen eine günstige Aufnahme der neuen Auflage in der ganzen Fachwelt.

Chemnitz-Berlin, im September 1938.

Schimpke. Horn.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
I. Einleitung	1
A. Allgemeines über Schweißen und Gasschmelzschweißung (autogene Schweißung)	1
Zusammenfügungsarbeiten S. 1. — Begriff des Schweißens S. 1. — Arten der Schweißverfahren S. 1. — Wesen der Gasschweißung S. 1. — Arten der Gasschweißverfahren S. 2.	
B. Die sonstigen neueren Schweißverfahren	2
Die Wassergasschweißung S. 3. — Die Thermiterschweißung S. 3. — Die elektrischen Schweißverfahren. S. 4.	
C. Überblick über die Einrichtungen von Gasschweißanlagen	7
D. Die wichtigsten Eigenschaften der schweißbaren Metalle.	10
1. Allgemeiner Überblick.	10
2. Besonderes über Stahl und Eisen	13
3. Grundlagen der Metallographie des Eisens	17
4. Besonderes über die Nichteisenmetalle	21
II. Die Einzeleinrichtungen für die Gasschweißung	25
A. Die Schweißgase	25
1. Sauerstoff	25
2. Brenngase	27
B. Azetylenanlagen, Schweißgeräte und deren Behandlung	41
1. Stahlflaschen für verdichtete Gase	41
2. Druckminderventile	53
3. Azetylerzeugungsanlagen.	64
a) Allgemeines und Einteilung der Entwickler.	64
b) Entwicklerkonstruktionen	68
c) Allgemeine Einrichtung und Behandlung der Azetylenentwickler	77
d) Nebeneinrichtungen der Azetylerzeuger	85
e) Sicherheitsvorlage	88
4. Schweißbrenner	93
a) Konstruktion und Arbeitsweise	93
b) Die Schweißflammen	103
c) Behandlung und Handhabung der Brenner	110
5. Zentrale Konstant- und Gleichdruck-Schweißanlagen	113
6. Schweißmaschinen	115
C. Das Schweißzubehör	117
1. Schläuche	117
2. Brillen.	118
3. Verschiedenes Zubehör	119
4. Zulegwerkstoff (Schweißdraht)	121
a) Stahlschweißdrähte.	122
b) Gußschweißstäbe.	125
c) Nichteisenmetall-Schweißstäbe	126
5. Flußmittel (Schweißpulver)	130
III. Die Technik der Gasschweißung	133
A. Allgemeines über die Technik des Schweißens.	133
1. Die Schweißflamme	133
2. Die Führung des Schweißbrenners	134
3. Vorbereitung der Werkstücke	140
4. Aufbau der Schweißung	145
5. Nachbehandeln und Vergüten der Schweißung	149

	Seite
B. Die wichtigsten Anwendungsgebiete der Stahlschweißung	150
1. Rohre und Rohrkonstruktionen	150
2. Behälter- und Kesselbau	161
3. Formstahlkonstruktionen	173
4. Schienenschweißungen	175
5. Ausbesserungsschweißungen	176
C. Die Schweißung von Stahlguß	182
D. Die Schweißung von Temperguß	183
E. Die Schweißung von Sonderstählen	184
F. Die Schweißung plattierter Bleche	191
G. Die Schweißung von Gußeisen	192
1. Vorgänge beim Gußeisenschweißen	192
2. Bekämpfung der Gußspannungen	194
3. Ausführung von Gußschweißungen	196
H. Die Schweißung der Nichteisenmetalle	202
1. Kupfer und seine Legierungen	203
2. Blei	216
3. Zink	218
4. Nickel	219
5. Die Leichtmetalle	221
IV. Das Löten mit dem Schweißbrenner	233
A. Weichlötung	233
B. Hartlötung	236
V. Das Brennschneiden (autogenes Schneiden)	239
A. Grundsätzliches über das Brennschneiden	239
B. Die Schneideinrichtungen	240
1. Die Schneidbrenner	240
2. Die Schneidmaschinen	244
C. Die Technik des Brennschneidens	249
1. Allgemeines	249
2. Die Ausführung von Schneidarbeiten	250
3. Abhängigkeit des Schneidvorgangs von verschiedenen Bedingungen	254
4. Einfluß des Schneidens auf den Werkstoff	257
5. Das Schneiden von Gußeisen	260
6. Das Schneiden anderer Metalle	262
7. Das Schneiden unter Wasser	262
D. Schnittleistungen	264
VI. Die Güte der Schweißnaht und ihre Prüfung	267
A. Allgemeiner Überblick	267
B. Prüfungen ohne Zerstörung der Schweißnaht	268
C. Prüfungen mit Zerstörung der Schweißnaht	271
1. Festigkeitsprüfungen	271
2. Metallographische Prüfungen	279
3. Chemische Prüfungen	284
D. Untersuchung von Schweißspannungen	286
VII. Leistungen und Kosten der Gasschweißverfahren	288
VIII. Die Förderung der Schweißtechnik	296
Sachverzeichnis	298

Zeichen und Abkürzungen.

Abb. = Abbildung
bzw. = beziehungsweise
d. h. = das heißt
s. = siehe
sog. = sogenannt
u. dgl. = und dergleichen
usw. = und so weiter
z. B. = zum Beispiel
÷ = bis

D.R.P. = Deutsches Reichs-
patent
WE = Wärmeeinheit
at = Atmosphäre
atü = Atmosphären-
überdruck
1° = 1 Grad Celsius
1'' = 1 Zoll englisch
vH = vom Hundert
RM. = Reichsmark
V = Volt

A = Ampere
kWh = Kilowattstunde
s = Sekunde
min = Minute
h = Stunde
mm = Millimeter
m = Meter
m³ = Kubikmeter
l = Liter
kg = Kilogramm
t = Tonne

Druckfehlerberichtigung.

Seite 104, erste Gleichung: statt Mn lies richtig Me.

I. Einleitung.

A. Allgemeines über Schweißen und Gasschweißung (autogene Schweißung).

Zusammenfügungsarbeiten. Die Gasschweißung (autogene Schweißung) gehört zu den Zusammenfügungsarbeiten. Unter diesen verstehen wir lösbare oder unlösbare Verbindungen zweier oder mehrerer Metallstücke. Die lösbaren Verbindungen sind in der Hauptsache die Verschraubungen und die Keilverbindungen. Zu den nicht lösbaren oder starren Verbindungen sind vor allem die durch Falzen, Nieten, Löten und Schweißen entstandenen zu rechnen. In Wettbewerb stehen hier miteinander Nieten, Löten und Schweißen. Das Nieten erfordert zunächst Herstellung der Nietlöcher und Niete und dann die eigentliche Nietarbeit einer Nietkolonne von 3÷5 Mann. Beim Löten, der dem Schweißen verwandtesten Verbindungsart, wird zur Zusammenfügung der Metallstücke das Lot, ein leichter schmelzbares Metall oder eine Legierung (ein Gemisch mehrerer Metalle), benutzt. Beide Verbindungsarten werden heute auf den meisten Anwendungsgebieten mehr und mehr durch das Schweißen verdrängt.

Begriff des Schweißens. Man versteht unter Schweißen eine Zusammenfügung zweier ähnlich zusammengesetzter Stoffteile derart, daß die Verbindungsstelle mit den beiderseits benachbarten Teilen ein möglichst homogenes (gleichartiges) Ganzes bildet. Man unterscheidet in der Hauptsache zwischen Preßschweißung, bei der die Zusammenfügung der beiden Stoffteile unter Anwendung von Druck in teigigem Zustande vor sich geht, und Schmelzschweißung, bei der sich die Vereinigung in flüssigem Zustande der Schweißstelle, im allgemeinen ohne Anwendung von Druck und mit oder ohne Hinzufügung neuen Werkstoffs, vollzieht.

Arten der Schweißverfahren. In der vorstehenden Begriffsbestimmung des Schweißens sind zwei Ausdrücke, Preßschweißung und Schmelzschweißung, benutzt worden, die heute allgemein Anwendung finden. Unter weiterer Benutzung dieser Ausdrücke ergibt sich folgende Einteilung der Schweißverfahren:

1. Preßschweißung (Druckschweißung, teigiger Zustand des Werkstoffs):
 - a) Hammerschweißung (als Koksfeuer- oder Wassergasschweißung);
 - b) elektrische Widerstandsschweißung;
 - c) Thermitpreßschweißung;
2. Schmelzschweißung (flüssiger Zustand des Werkstoffs):
 - a) Gasschmelzschweißung (autogene Schweißung);
 - b) Elektroschmelzschweißung (elektrische Lichtbogenschweißung);
 - c) gas-elektrische Schweißung (Arcatom- und Arcogenschweißung);
 - d) Thermitgießschweißung und Gußeisenschweißung nach dem Gießverfahren.

Wesen der Gasschweißung (autogenen Schweißung). Die Bezeichnung „autogen“ (selbsterzeugend), die für den deutschen Sprachgebrauch an und für sich nicht glücklich gewählt ist, soll zum Ausdruck bringen, daß diese Schweißung ohne Aufwand mechanischer Arbeit bewerkstelligt wird, was übrigens nur im beschränkten Umfange richtig ist. Besser ist, wie schon im vorigen erwähnt, der

Name „Schmelzschweißung“, und zwar genauer „Gasschmelzschweißung“ (kürzer „Gasschweißung“) zum Unterschied von der „elektrischen (oder Elektro-) Schmelzschweißung“.

Bei der Gasschweißung (es soll die neuere Bezeichnung auch hier im allgemeinen gebraucht werden, obwohl die Bezeichnung „autogen“ auch heute noch vielfach angewandt wird), wird ein Gassauerstoffgemisch an der Düsenmündung eines sog. Schweißbrenners entzündet, und die entstandene Stichflamme von hoher Temperatur ruft ein örtliches Schmelzen des Metalles hervor, wobei die Schweißkanten ineinander überfließen. Je nach Bedarf wird noch Zusatzwerkstoff (Schweißdraht) und ein Flußmittel (Schweißpulver oder -paste) verwendet. Das Schweißpulver soll dazu dienen, das stets an der Schweißoberfläche sich bildende Metalloxyd (die Metallsauerstoffverbindung, aus flüssigem oder hochohitzttem Metall und Luftsauerstoff entstanden) unschädlich zu machen. Es bildet mit dem Metalloxyd zusammen meist eine glasige, leicht schmelzbare Schlacke, die die Schweißstelle gegen Einwirkung weiteren Luftsauerstoffs schützt und nach dem Schweißen leicht durch einige Hammerschläge entfernt werden kann. Andere Pulver kommen nach Vollendung der Schweißarbeit gar nicht zur Geltung, sie sind verflüchtigt. Bei Anwendung einer normalen, demnach reduzierenden (d. h. Sauerstoff entziehenden) Flamme kann man in bestimmten, später genauer besprochenen Fällen das Schweißpulver fortlassen.

Arten der Gasschweißverfahren. Für die Zwecke der Gasschweißung hat man verschiedene Brenngase nutzbar gemacht, die stets mit (möglichst reinem) Sauerstoff gemischt werden und eine Stichflamme von verschieden hoher Temperatur und verschiedener chemischer und physikalischer Beschaffenheit ergeben. Die wichtigsten Verfahren sind folgende:

- a) Das Azetylen-Schweißverfahren, bei dem das Azetylen entweder in einem besonderen Entwickler selbst erzeugt, oder in Stahlflaschen verdichtet als gelöstes Azetylen (Dissousgas) verwendet werden kann;
- b) das Wasserstoff-Schweißverfahren;
- c) das Leuchtgas-Schweißverfahren;
- d) das Blaugas-Schweißverfahren;
- e) das Methan-, Propan- und Äthylen-Schweißverfahren;
- f) das Öl-, Luft- und Vulkangas-Schweißverfahren;
- g) das Schweißen mit flüssigen Brennstoffen, wie Benzin- oder Benzoldampf (seltener Oxy-Benz-Verfahren genannt, das Oxy herrührend von Oxygenium = Sauerstoff), ferner mit Petroleum- und Spiritusdämpfen. Alle diese Dämpfe flüssiger Brennstoffe werden im Brenner ebenfalls mit Sauerstoff gemischt.

Von Bedeutung ist vor allem das Azetylen; die übrigen Gasarten spielen eine mehr oder weniger untergeordnete Rolle, weshalb sie künftighin meist nur noch kurz gestreift werden.

B. Die sonstigen neueren Schweißverfahren¹.

Altbekannte Schweißverfahren sind die Hammerschweißung (Feuerschweißung) von Stahl und das Anschweißen, richtiger Angießen abgebrochener Gußstücke. Die Feuerschweißung findet noch immer Anwendung bei Schmiedearbeiten und bei der Herstellung stumpf und überlappt geschweißter Rohre. In Graugießereien, in denen man ja immer flüssiges Gußeisen zur Verfügung hat, wird das Ausbessern von Gußstücken, an denen z. B. kleine oder

¹ Siehe auch Schimpke: Die neueren Schweißverfahren, Heft 13 der Werkstattbücher, 3. Aufl. Berlin: Julius Springer 1932.

größere Teile abgebrochen sind, meist noch durch Aufsetzen einer Form auf die Bruchstelle und Aufgießen hochoerhitzten Gußeisens ausgeführt. Im folgenden soll noch ein kurzer Überblick über die neben der Gasschweißung wichtigsten neueren Schweißverfahren gegeben werden.

Die Preßschweißung als Wassergasschweißung. Wenn man durch einen schachtartigen, mit glühendem Koks oder Anthrazit gefüllten Generator (Gaserzeuger) Wasserdampf hindurchbläst, so wird der Wasserdampf zerlegt, und es entsteht das sog. Wassergas, dessen brennbare Bestandteile Wasserstoff und Kohlenoxyd (zu je etwa 50 vH) sind. Dieses Wassergas wird mit Luft in Brennern gemischt und ergibt eine Stichflamme von etwa 1800° Temperatur, mit der das

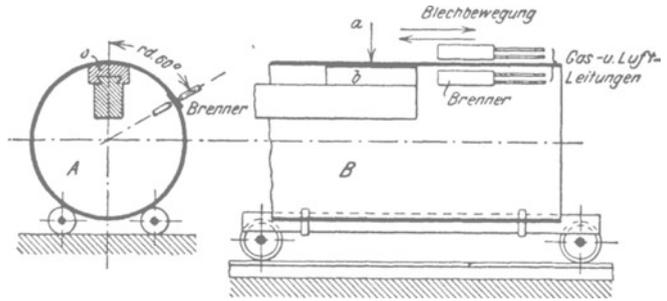


Abb. 1. Grundform einer Wassergasschweißstraße.

Werkstück an Stelle des Koksfeuers erhitzt wird. Die Schweißung kann sowohl von Hand (Handfeuer) als auch maschinell durchgeführt werden. Abb. 1 zeigt in der Grundform die Anordnung einer Wassergasschweißstraße, wie sie zur Schweißung größerer Rohre benutzt wird. Die durch zwei Brenner auf 100÷300 mm Länge erwärmte Rohrnaht wird um etwa 60° gedreht (Abb. 1 A) und bei a auf dem Amboß b durch Hand- oder Maschinenhämmer, oder auch durch große, mit Hilfe von Wasserdruck angepreßte Rollen geschweißt. Sind die Brenner rechts vom Amboß angebracht (Abb. 1 B), so muß das Rohr nach dem Erhitzen auf einem Wagen nach links verschoben werden. Das Blech wird nur teigig, wie bei der Koksfeuerschweißung. Dabei wird im allgemeinen überlappt geschweißt, d. h. die Bleche müssen auf eine bestimmte Breite, je nach der Blechdicke, übereinandergelegt werden, wie beim Nieten (s. Abb. 2). Für große Blechdicken, insbesondere von 40 mm an aufwärts, wird seltener die Keilschweißung angewendet, wie es die Abb. 2 zeigt.



Abb. 2. Wassergasblechschweißung.

Die Wassergasschweißung kommt hauptsächlich für die Herstellung großer Rohre und Blechzylinder von 6÷100 mm (normal 15÷80 mm) Wanddicke in Frage, ist auf diesem Sondergebiet wohl bisher noch allen anderen Verfahren überlegen, kommt aber für andere Anwendungsgebiete wegen der hohen Anschaffungskosten des Wassergasgenerators und der Schweißeinrichtung kaum in Betracht.

Die Thermitschweißung als Preß- und Gießschweißung. Thermit ist ein Gemisch von Eisenoxyd und Aluminium, beides in Pulverform, das sich bei etwa 1200° (mit Hilfe eines Entzündungsgemisches, Bariumsuperoxyd $[BaO_2]$ und Aluminiumpulver) entzündet und zur Zersetzung bringen läßt. Unter großer Hitzeentwicklung entsteht bei etwa 3000° dünnflüssiger weicher Stahl und oben aufschwimmend flüssige Schlacke (Aluminiumoxyd, Tonerde). Thermit wird in kleinen Säckchen von 5 und 10 kg Gewicht geliefert. 1 kg Thermit ergibt $\frac{1}{2}$ kg Eisen und $\frac{1}{2}$ kg Schlacke. Der Entzündungsvorgang, der nur 10÷20 s dauert,

wird in Spezialtiegeln (einfachen Kipptiegeln, Abb. 3 I) oder in Spitztiegeln (Abb. 3 II) ausgeführt. Die heftige Reaktion (Gegenwirkung) geht vor sich nach der Gleichung:



Die Tonerde setzt sich als Schlacke auf dem Eisen ab, da sie spezifisch leichter ist, und schützt das flüssige Eisen vor Verbrennung. Die Reaktion erfolgt, weil die Affinität (chemische Verwandtschaft) des Aluminiums zum Sauerstoff größer ist als die des Eisens zum Sauerstoff.

Die Thermiterschweißung (aluminothermische Schweißung) ist entweder eine Preß- oder Gießschweißung. Abb. 3 I zeigt die Gießschweißung zur Aus-

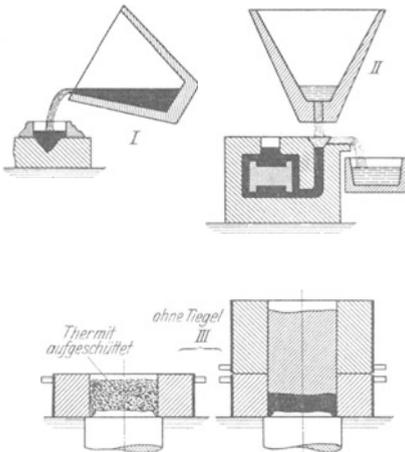


Abb. 3. Thermiterschweißung.

besserung kleiner Fehler an Gußstücken unter Anwendung des Spezialtiegels, aus dem die Schlacke vorher sorgfältig abgegossen sein muß. In Abb. 3 III sehen wir auch die Gießschweißung, und zwar das Anschweißen eines Walzenzapfens. Thermit wird einfach aufgeschüttet und angezündet; es dient zum Aufweichen der Bruchfläche. Die aufgesetzte Form wird nach Abziehen der Thermiteschlacke mit Gußeisen vollgegossen. Abb. 3 II kann sowohl als Beispiel für die Gießschweißung wie für die Preßschweißung dienen; zugleich zeigt sie die Verwendung des Spitztiegels. Bei der Preßschweißung umgießt man zwei aneinanderstoßende Rohre oder Straßenbahnschienen mit Thermit und Schlacke, macht sie dadurch schweißwarm und drückt sie mit besonderen Preßvorrichtungen gegeneinander. In manchen

Fällen, z. B. bei Rohrstumpfschweißungen, schüttet man zuerst die Schlacke in die Form, damit erstere als Schutzschicht wirkt und das Thermiteseisen nicht etwa festschmilzt oder das Rohr durchbrennt.

Die Thermiterschweißung kommt hauptsächlich nur noch für die Schweißung der Stöße von Straßenbahnschienen in Frage, doch wird ihr auch hier seitens der autogenen und der elektrischen Schweißung ernstlich das Feld streitig gemacht. Die Schweißstelle (das Thermiteseisen) besteht aus weichem Stahl mit etwa 0,1 vH Kohlenstoff; man kann aber auch beim Einschmelzvorgang Stahlspäne zugeben und dadurch eine Schweißstelle mit höherem Kohlenstoffgehalt erhalten.

Die elektrischen Schweißverfahren¹. Diese Verfahren zerfallen in zwei große Gruppen. In das Gebiet der Preßschweißung gehören die elektrischen Widerstandsschweißverfahren, in das Gebiet der Schmelzschweißung fallen die Lichtbogenverfahren.

Bei den elektrischen Widerstandsschweißverfahren wird die Eigenschaft des elektrischen Stroms ausgenutzt, daß er den stromleitenden Körper an Stellen, die größeren Widerstand bieten (dies sind vor allem die Schweißstellen), stark erwärmt. Zur Erzeugung großer Wärmemengen arbeitet man zweckmäßig mit Strom von hoher Stromstärke (bis zu 80000 A) und niedriger Spannung (1 ÷ 10 V), und diesen Strom kann man sehr einfach aus dem Wechsel-

¹ Ausführliches s. Schimpke-Horn: Praktisches Handbuch der elektrischen Schweißtechnik, Bd. II, 2. Aufl. Berlin: Julius Springer 1935.

strom eines Hauptstromnetzes mit Hilfe eines Transformators (Umspanners) erhalten. Abb. 4 zeigt in der Grundform, wie der aus dem Hauptnetz entnommene Strom im Transformator auf niedrige Spannung umgeformt und dann durch zwei Kupferklemmen den bei *a* stumpf aneinanderstoßenden Werkstücken zugeführt wird. Er findet an der Übergangsstelle größeren Widerstand und erwärmt diese Stelle in kürzester Zeit auf Schweißglut. Unter Ausschalten des Stroms werden nun die Stoßenden von Hand oder maschinell zusammengepreßt. Sämtliche zum Schweißen erforderlichen Teile, einschließlich des Transformators, baut man in einer „Schweißmaschine“ zusammen. Aus der im vorigen beschriebenen Stumpfschweißung entwickelte sich dann später die Punktschweißung, bei der dünne, übereinandergelegte Bleche punktweise — ähnlich der Vernietung — verschweißt werden, und weiter die Nahtschweißung, bei der die Punktschweißung der Bleche durch Anwendung von Rollenelektroden zur Schweißung fortlaufender Nähte ausgestaltet worden ist.

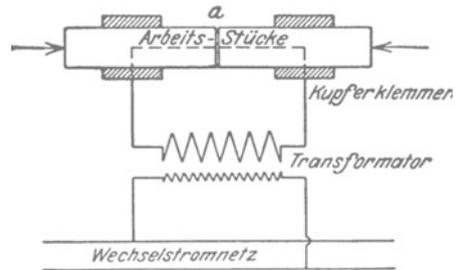


Abb. 4.
Grundform der elektrischen Stumpfschweißung.

Die elektrische Widerstandsschweißung hat ihre ganz besonderen Anwendungsgebiete. Es sind dies in der Hauptsache: die einfache Stumpfschweißung, einschließlich der Kettenschweißung, und die Massenherstellung dünnwandiger Blechkörper.

Bei den elektrischen Lichtbogenschweißverfahren wird der zwischen zwei Elektroden gezogene Lichtbogen zur Erzeugung der Schweißhitze benutzt. Da der Lichtbogen eine Temperatur von etwa 3500° hat, wird die Schweißstelle flüssig. Die erste brauchbare Lichtbogenschweißeinrichtung erfand Benardos. Abb. 5 zeigt in der Grundform, daß von einer Stromquelle *D* aus elektrischer Strom — unter Messung durch das Amperemeter *A* und Voltmeter *V* — zum Umschalter *U*, Griff *G* mit Schutzschirm *S* und dann zur Kohlenelektrode *K* und zum Werkstück *B* geführt wird.

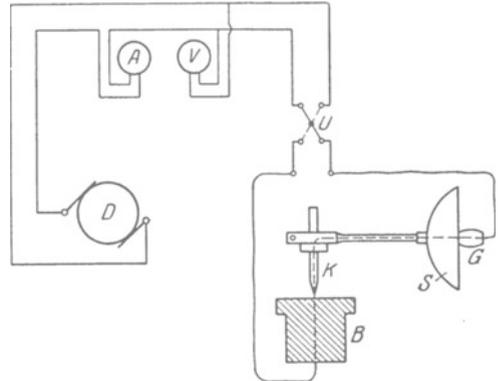


Abb. 5. Grundform einer Lichtbogenschweißanlage.

Durch leichtes Anheben von *K* entsteht zwischen *K* und *B* der Lichtbogen. Ein Schweißdraht wird mit eingeschmolzen. Einfacher und deshalb heute fast allgemein gebräuchlich ist das Verfahren von Slavjanoff, bei dem an Stelle der Kohlenelektrode *K* eine Metallelektrode von $1,5 \div 12$ (Gußeisen bis 20) mm Durchmesser, seltener dickere Elektroden eingesetzt werden. Das von der Elektrode abfließende Metall füllt die Schweißfuge aus. Kaum noch verwendet wird ein drittes Verfahren, nach Zerener, bei dem man mit Hilfe von zwei Kohlenelektroden und einem Magnet den Lichtbogen in Form einer Stichflamme erzeugt.

Anfangs benutzte man für die Lichtbogenschweißung nur Gleichstrom von etwa $15 \div 65$ V Spannung und $40 \div 1000$ A Stromstärke. Da bei der Bildung des Lichtbogens Kurzschluß auftritt, erwies sich, auch aus Gründen der größeren Wirtschaftlichkeit, der Bau von besonderen Schweißumformern als

Tabelle 1. Übersicht über die Anwendbarkeit

Spalte	a	b	c	d	e
Art des Schweißverfahrens (bzw. Brenngas):	Azetylen und Dissousgas	Wasserstoff	Blau- und Flüssiggas	Benzol	Leuchtgas (Steinkohlengas)
Das Brenngas wird gemischt mit:	Sauerstoff	Sauerstoff	Sauerstoff	Sauerstoff	Sauerstoff (Luft)
Temperatur der Flamme (oder der Schweißstelle):	3100 ÷ 3200°	etwa 2100°	etwa 2300°	etwa 2500°	etwa 2000°
Vorbereitung von Eisenblechen zur Schweißung:	nur stumpf geschweißt	wird nur stumpf geschweißt			
Zustand des Metalls beim Schweißen:	flüssig	flüssig	flüssig	flüssig	flüssig
Üblicher Anwendungsbereich bei Eisenblechschweißung:	0,2 ÷ 40 mm	0,2 ÷ 6 mm	0,2 ÷ 10 mm	0,2 ÷ 10 mm	0,2 ÷ 6 mm
Ist beim Schweißen mechanische Kraft notwendig?	nein	nein	nein	nein	nein
Ist das Verfahren zum Hartlöten verwendbar?	ja	ja	ja	ja	ja
Brenngas- oder Kraftbedarf, je nach Größe der Schweißstücke (Sauerstoff etwa $\frac{1}{5}$ mehr):	80 ÷ 4000 l/h	60 ÷ 3000 l/h	80 ÷ 2000 l/h	100 ÷ 4000 l/h (gasförmig)	100 ÷ 4000 l/h
Kommt das Verfahren für Ausbesserungen in Frage?	ja	in beschränktem Maße			
Welche Metalle und Legierungen sind schweißbar?	Stahl, Stahlguß, Gußeisen, Temperguß, Kupfer, Messing, Bronze, Aluminium (und seine Legierungen), Zink, Blei, Nickel (Gold, Platin, Silber)				
Ist das Brennschneiden möglich?	ja	ja	ja	ja	ja

vorteilhaft, die heute allgemein eingeführt sind. Später hat sich auch die Wechselstromschweißung erfolgreich einzuführen vermocht, wobei man mit Hilfe eines besonderen Schweißumspanners den Strom des Hauptnetzes auf die zweckmäßige Spannung von 30 ÷ 65 V heruntersetzt.

Auch die neuerdings in Aufnahme gekommenen Gas-Elektro-Schweißverfahren gehören zur Gruppe der Schmelzschweißung. Man hat zu unterscheiden zwischen der atomaren Wasserstoffschweißung (Arcatom) und der Azetylen-Lichtbogenschweißung (Arcogen). Bei erster wird der Lichtbogen zwischen zwei Wolframelektroden in einer Wasserstoffflammenhülle gebildet, bei letzter arbeiten der normale Metalllichtbogen und eine Azetylen-Sauerstoffflamme gemeinsam, doch hat dieses Verfahren keine praktische Bedeutung erreicht.

In Tabelle 1 wird zusammenfassend nochmals eine Übersicht über die Anwendbarkeit aller neueren Schweißverfahren gegeben.

der verschiedenen neueren Schweißverfahren.

f	g	h	i	Bemerkungen
Wassergas	Thermit	Elektrische Lichtbogenschweißung	Elektrische Widerstandsschweißung	Azetylen und Wasserstoff können zu Lötzwecken auch mit Luft gemischt werden (statt mit Sauerstoff)
Luft	—	—	—	
etwa 1800°	etwa 3000°	etwa 3500°	etwa 1300 ÷ 1500° (bei Stahl)	Die Temperatur richtet sich nach dem Schmelzpunkte des jeweiligen Metalls
überlappt geschweißt wie im Feuer	stumpf geschweißt (oder gegossen)	stumpf oder überlappt	stumpf (Punkt- und Nahtschweißung überlappt)	Die elektrische Widerstandsschweißung kommt entweder für Punktschweißung bis 25 mm Gesamtlechdicke in Frage oder als Stumpfschweißung stabeeisenförmiger Profile bis zu 40000 mm ² Querschnittsfläche. Nahtschweißungen können nur an dünnen Blechen bis zu 5 mm Gesamtlechdicke durchgeführt werden
teigig	teigig (auch flüssig)	flüssig	teigig (auch flüssig)	
15 ÷ 80 mm	20 ÷ 100 mm	1 ÷ 80 mm	s. Bemerkung	
ja	ja (nein)	nein	ja	
ja	nein	nein	ja	
2000 ÷ 16000 l/h	—	15 ÷ 65 V 10 ÷ 3000 A	1 ÷ 10 V 300 ÷ 80000 A	
nein	ja (als Gießverfahren)	ja	in sehr beschränktem Maße	Während Azetylen selbst für die größten Abmessungen der Werkstücke verwendbar ist, sind die übrigen unter b ÷ e genannten Gasarten nur für verhältnismäßig schwache Werkstoffquerschnitte anwendbar
Stahl	alle Eisensorten	alle Eisensorten	Stahl (Kupfer, Messing und Aluminium beschränkt)	
nein	nein	sehr beschränkt	nein	

C. Überblick über die Einrichtungen von Gasschweißanlagen.

1. Azetylenschweißanlage (Abb. 6 und 8):

- | | |
|---|--|
| <p>a) 1 Azetylenentwickler (beweglich oder ortsfest, im Bilde ortsfest) mit Reiniger;</p> <p>b) 1 Sicherheitswasservorlage (Sicherung gegen Flammenrückschlag vom Brenner zum Entwickler);</p> <p>c) 1 Sauerstoffflasche (ist von den Gasfüllwerken, wie jede andere Flasche mit verdichtetem Gase, leihweise beziehbar);</p> | <p>d) 1 Druckminderventil für die Sauerstoffflasche;</p> <p>e) 1 oder mehrere Schweißbrenner;</p> <p>f) je 1 Schlauch (mindestens 5 m lang) für Sauerstoff und Azetylen (Verbindung der Gasquellen mit dem Brenner).</p> |
|---|--|

2. Schweißanlage für gelöstes Azetylen in Flaschen (Abb. 7):

- | | |
|--|--------------------------------------|
| c) 1 Sauerstoffflasche; | f) 2 Schläuche; |
| d) 1 Druckminderventil für Sauerstoff; | g) 1 Azetylenflasche; |
| e) 1 oder mehrere Schweißbrenner; | h) 1 Druckminderventil für Azetylen. |

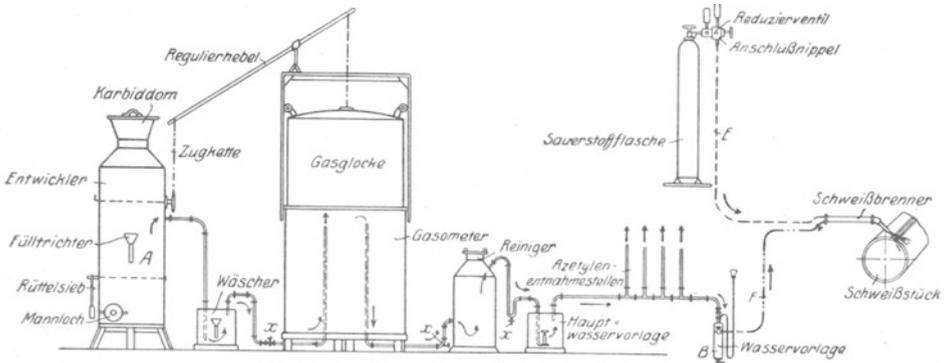


Abb. 6. Grundform einer ortsfesten Azetylenschweißanlage.

3. Wasserstoffschweißanlage (ähnlich Abb. 7):

- | | |
|--|---|
| c) 1 Sauerstoffflasche; | f) 2 Schläuche; |
| d) 1 Druckminderventil für Sauerstoff; | g) 1 Wasserstoffflasche; |
| e) 1 Schweißbrenner; | h) 1 Druckminderventil für Wasserstoff. |

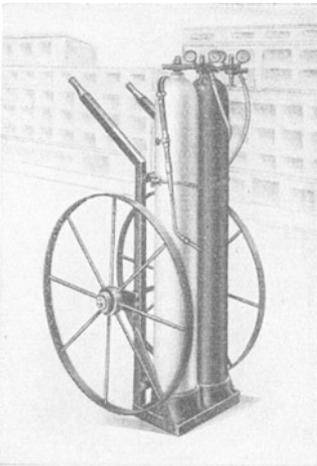


Abb. 7. Fahrbare Flaschenazetylen-Schweißanlage.

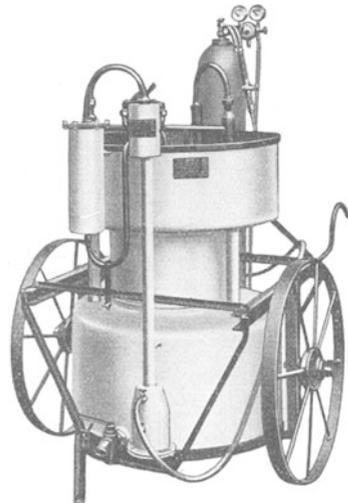


Abb. 8. Fahrbare Azetylenschweißanlage.

4. Äthylen- und Methanschweißanlage (ähnlich Abb. 7):

Einrichtung wie bei 2 und 3.

5. Leuchtgasschweißanlage (Abb. 9):

- | | |
|---|---|
| b) 1 Wasservorlage; | f) 2 Schläuche; |
| c) 1 Sauerstoffflasche; | i) unter Umständen eine Vorrichtung zur Anreicherung des Gases mit Kohlenstoff oder ein Gasverdichter (Kompressor). |
| d) 1 Druckminderventil für Sauerstoff; | |
| e) 1 Schweißbrenner mit mehreren Düsen; | |

6. Benzolschweißanlage (Abb. 10):

- c) 1 Sauerstoffflasche;
- d) 1 Druckminderventil für Sauerstoff;
- e) 1 Schweißbrenner;
- f) 2 Schläuche, davon einer mit Spiralarohr umwunden;
- i) 1 Benzolbehälter mit Druckpumpe.

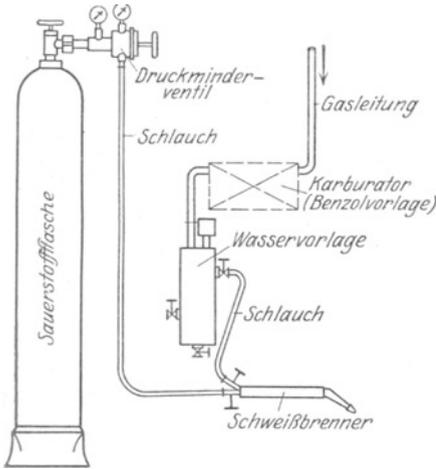


Abb. 9. Leuchtgasschweißanlage.

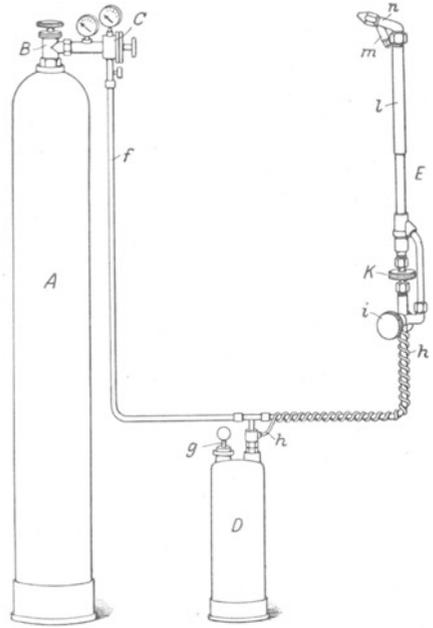


Abb. 10. Benzolschweißanlage.

7. Blaugasschweißanlage (Abb. 11):

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> c) 1 Sauerstoffflasche; d) 1 Druckminderventil für Sauerstoff; e) 1 Schweißbrenner; f) 2 Schläuche; | <ul style="list-style-type: none"> g) 1 Blaugasflasche; h) 1 Druckminderventil für Blaugas; i) 1 Entspannungsbehälter für Blaugas mit Armaturen. |
|--|---|

8. Allgemeine Geräte.

Alle Schweißanlagen können, um leichter beweglich zu sein, auf Wagen fahrbar eingerichtet werden, und zwar so, daß bei der Anlage 1 der Azetylenwickler und die Sauerstoffflasche (Abb. 8), bei den Anlagen 2 und 3 beide Gasflaschen (Abb. 7) auf dem Wagen Platz finden. Soll auch das Brennschneiden Anwendung finden, so kommt bei allen Anlagen noch ein Schneidbrenner hinzu. Ferner gehören zur Schweißausrüstung: Eine Brille mit dunklen Gläsern, ein Satz Brennerreinigungsnadeln, 4 Schlauchklemmen u. dgl. Die einzelnen Geräte werden im später folgenden Abschnitt II B ausführlich behandelt.

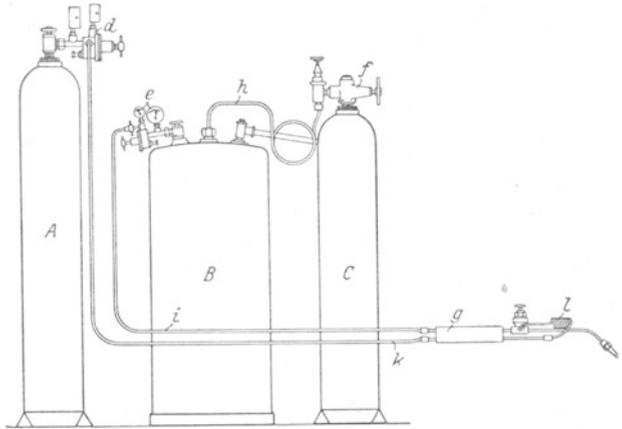


Abb. 11. Blaugasschweißanlage.

D. Die wichtigsten Eigenschaften der schweißbaren Metalle.

1. Allgemeiner Überblick.

Die Elemente oder Grundstoffe werden eingeteilt in Metalle und Nichtmetalle (Metalloide). Metalle sind z. B. Eisen, Kupfer, Aluminium, Blei, Zink, Zinn usw.; sie zeigen im allgemeinen einen Metallglanz und sind gute Leiter der Wärme und Elektrizität. Nichtmetalle sind z. B. Wasserstoff, Sauerstoff, Stickstoff, Silizium, Phosphor, Schwefel; sie haben im allgemeinen keinen Metallglanz und sind schlechte Leiter der Wärme und Elektrizität. Eine scharfe Grenze zwischen Metallen und Nichtmetallen gibt es nicht. Manche Nichtmetalle, z. B. Silizium, Phosphor, Schwefel, finden wir oft als Beimengungen in den Metallen; sie verändern dann die Eigenschaften der Metalle unter Umständen wesentlich. Mischungen von Metallen untereinander und auch von Metallen und Nichtmetallen nennen wir „Legierungen“. So ist z. B. Messing eine Mischung (Legierung) von Kupfer und Zink, Bronze eine solche von Kupfer und Zinn. Der Ausdruck „legierte Stähle“ besagt auch, daß dem normalen Stahl noch besondere Metalle, z. B. Chrom, Wolfram, Nickel usw., beigemischt sind. Ein Metall, z. B. Eisen oder Kupfer, müßte strenggenommen nur aus Eisen bzw. Kupfer ohne jede Beimengung bestehen. Praktisch wären aber dann manche Metalle, insbesondere das Eisen, kaum oder gar nicht verwendbar. Demnach ist also für uns eigentlich jedes Metall eine Legierung, deren Eigenschaften durch Zusetzen einer kleinen Menge anderer Metalle oder Nichtmetalle verbessert werden.

Die schweißbaren Metalle. Das weitaus wichtigste Metall ist das Eisen, das unterteilt wird in Roheisen (mit praktisch $3\div 4$ vH Kohlenstoff) und in Stahl (schmiedbares Eisen mit praktisch $0,03\div 1,6$ vH Kohlenstoff). Beim Roheisen kennt man zwei Untergruppen, und zwar das weiße Roheisen — bei dem der Kohlenstoff sich fast restlos in gebundener Form (als Eisenkarbid) vorfindet — und das graue Roheisen — bei dem der größte Teil des Kohlenstoffs in reiner Form auskristallisiert ist (als Graphit). Der Stahl wird eingeteilt in Schweißstahl oder Flußstahl, je nachdem er im teigigen oder im flüssigen Zustande hergestellt worden ist. Weicher Stahl mit $0,03\div 0,3$ vH C wird vom Praktiker meistens noch als Schmiedeeisen (oder auch kurzweg „Eisen“) bezeichnet. Roheisen kommt für Schweißungen nicht in Frage, dagegen wohl Gußeisen, das wir aus dem Roheisen durch einfaches Umschmelzen im Kupolofen der Gießerei erhalten.

Wegen der besonderen Wichtigkeit des Eisens bezeichnet man die übrigen Metalle heute als „Nichteisenmetalle“. Von ihnen sind schweißbar: Kupfer, Aluminium, Nickel, Blei, Zink, Silber, Gold, Platin. Von Legierungen kommen bisher praktisch für Schweißungen in Betracht: Messing (Kupfer mit Zink gemischt), Bronze (Kupfer und Zinn), Rotguß (Kupfer, Zink und Zinn), die Aluminiumlegierungen (Aluminium mit Kupfer, Magnesium, Silizium usw.) und Monelmetall.

Farbe. Jedes Metall hat zwar eine ihm eigentümliche Farbe, jedoch sehen die meisten Metalle weiß, grauweiß oder grau aus. Nur Kupfer hat eine kennzeichnende rote (Kupferlegierungen rötlich oder gelb) und Gold eine gelbe Farbe. Mit steigender Erwärmung geht die normale Farbe des Metalls allmählich verloren. Es entstehen oft Anlauffarben infolge der Verbindung der Oberflächenschichten des Metalls mit dem Sauerstoff der Luft. Weiter sprechen wir z. B. von „Rotglut“ (bei $600\div 900^\circ$) und „Weißglut“ (bei $1200\div 1400^\circ$) des Stahls, weil er bei den angegebenen Temperaturen rot bzw. weiß aussieht.

Spezifisches Gewicht. Die Dichte oder das spezifische Gewicht (Eigengewicht, Einheitsgewicht, d. h. diejenige Zahl, die angibt, um wievielfach schwerer das betreffende Metall ist als der gleiche Rauminhalt Wasser) der Metalle ändert sich mit der Temperatur und ist außerdem von der Art der Bearbeitung — ob nur gegossen oder gewalzt oder gezogen — abhängig. Tabelle 2 enthält daher nur Mittelwerte.

Geschmeidigkeit, Festigkeit. Unter der Geschmeidigkeit eines Metalls versteht man seine Dehnbarkeit, Ziehbarkeit und Zähigkeit, und unter Festigkeit seine Widerstandsfähigkeit gegen Zug, Druck, Biegung, Verdrehung usw. Ein Metall ist dehnbar, wenn es sich hämmern, walzen, pressen läßt; andernfalls nennt man es spröde. Die Dehnbarkeit ist oft an gewisse Temperaturgrenzen gebunden — z. B. ist Zink nur bei $90 \div 120^\circ$ und $140 \div 170^\circ$ gut walzbar — und nimmt oft auch bei fortgesetzter Formveränderung ab, z. B. beim Kupfer. Ein Metall ist zähe, wenn es sich oft hin- und herbiegen läßt, ohne zu brechen. Die Festigkeit läßt sich mit Hilfe von Prüfmaschinen sehr genau messen. Sie ist bei den einzelnen Metallen sehr verschieden und läßt sich durch Wärmebehandlung wesentlich verändern, ebenso wie die Härte (Härten des Stahls). Nähere Angaben erscheinen hier nicht notwendig; die für das Schweißen wichtigen Zahlen werden im Abschnitt „Güte der Schweißnaht“ gebracht.

Verhalten in der Wärme. Beim Erhitzen werden manche Metalle allmählich weich (teigig) und dann erst flüssig, andere gehen fast plötzlich in den flüssigen Zustand über (Schmelzpunkt). Alle Metalle haben einen bestimmten, ihnen eigentümlichen Schmelzpunkt (s. Tabelle 2) und Siedepunkt; bei letzterem werden sie gasförmig. Der Siedepunkt liegt wesentlich höher als der Schmelzpunkt, bei Zink aber z. B. schon bei 907° . Der Schmelzpunkt und der Erstarrungspunkt (beim Wiedererkalten) fallen praktisch zusammen. In der hohen Temperatur der Azetylen-Sauerstoffflamme sind selbst schwer schmelzbare Metalle wie Tantal (3030°), Molybdän (2500°) und Iridium (2454°) glatt zum Schmelzen zu bringen¹.

Fast alle Metalle dehnen sich beim Erwärmen aus, nehmen also dann einen größeren Raum ein, und ziehen sich beim Erstarren zusammen. Letztes, das „Schwinden“, ist bei der Schweißung von besonderer Bedeutung, da die Spannungserscheinungen im Metall hierauf zurückzuführen sind (s. die späteren Abschnitte).

Auch das Wärmeleitvermögen des Metalls ist für den Schweißvorgang wesentlich. Alle Metalle sind zwar gute Wärmeleiter, immerhin aber mit deutlichen Unterschieden. Der beste Wärmeleiter ist Silber. Ihm folgen in absteigender Linie: Kupfer, Gold, Aluminium, Zink, Platin, Zinn, Eisen und Blei, so daß also von diesen Metallen Blei das schlechteste Wärmeleitvermögen hat. Platin, Zinn und Eisen haben nahezu dieselbe Wärmeleitfähigkeit; die des Aluminiums ist etwa $3\frac{1}{2}$ mal, die des Kupfers etwa 6mal so groß.

Verschiedene Metalle haben die Eigenschaft, im flüssigen Zustande stark Gase aufzusaugen, zunächst gelöst bei sich zu behalten und bei der Abkühlung wieder abzustoßen. Das Gaslösungsvermögen ist z. B. bei Stahl, Stahlguß und Kupfer besonders groß für Wasserstoff, bei den genannten Eisensorten, ferner bei Nickel und Platin auch groß für Kohlenoxyd. Das aufgenommene Gas — auch eine Stickstoffaufnahme findet statt — führt zu mehr oder weniger großer Porigkeit der Schweiße. Langsames Abkühlen fördert das Entweichen der gelösten Gase. Außerdem können auch geeignete Zusätze im Schweißstabe die Porigkeit vermindern, indem sie sich mit den Gasen verbinden und mit diesen gasförmig entweichen oder in die Schlacke übergehen.

¹ Schmelzpunkte nach „Werkstoffhandbuch Stahl und Eisen“, 2. Aufl. 1937.

Tabelle 2.

Metall	Spezifisches Gewicht	Schmelzpunkt	Metall	Spezifisches Gewicht	Schmelzpunkt
Weicher Stahl . . .	7,85	1500°	Kupfer	8,9	1083°
Harter Stahl . . .	7,8	1400°	Aluminium	2,7	658°
Gußeisen	7,25	1200°	Zink	7,1	419°
Platin	21,4	1764°	Blei	11,3	327°
Gold	19,3	1063°	Zinn	7,3	232°
Silber	10,5	964°	(Messing)	8,5	900°

Warmverformung und Feinkornstruktur. Wird ein Metall oberhalb einer bestimmten Temperaturgrenze verformt, so spricht man von einer Warmverformung (Warmrecken), von einer Kaltverformung (Kaltrecken) dann, wenn es unterhalb dieser Temperatur verformt wurde. Die wegen der besseren technologischen Eigenschaften erwünschte Feinkornstruktur wird erreicht, wenn nach dem Kaltrecken genügend hoch erhitzt oder warmverfestigt wird. Die für Stahl geeignete Temperatur liegt meistens zwischen 800 und 900°. Dem Schweißer ist bekannt, daß insbesondere Kupfer und Aluminium in der Schweißung und deren Übergang ausgesprochen grobe Kornbildung aufweisen, die im allgemeinen eine geringe Bruchfestigkeit und Dehnung ergibt. Zur Verfeinerung des Gefüges muß die Schweißung in der Hitze gehämmert oder ausgeglüht und darauf durch Hämmern verfeinert und damit verbessert werden.

Korrosion. Im allgemeinen versteht man unter Korrosion (wörtlich Zernagung) eine von der Oberfläche eines metallischen Werkstoffs ausgehende Zerstörung, die durch chemisch oder elektrochemisch wirksame Stoffe (Agenzien) herbeigeführt wird. Die dabei gebildeten Korrosionsergebnisse stellen chemische Verbindungen zwischen dem angreifenden Stoff (Agens) und dem korrodierten Metall dar und können sehr verschiedener Natur sein. Man hat dabei zu unterscheiden zwischen vollkommener Unlöslichkeit (Beständigkeit gegen Korrosion) gegenüber dem Agens, vollkommener Löslichkeit (Unbeständigkeit) und teilweiser Löslichkeit. Im ersten Falle bildet sich eine Schutzschicht, die einen weiteren chemischen Angriff des Metalls abwehrt (z. B. Patina, Aluminiumoxydschicht), im zweiten Falle wird das gesamte Metall mehr oder weniger rasch aufgezehrt (z. B. Rost) und im dritten Falle wird der Werkstoff nur teilweise durch die neue Oberflächenschicht geschützt und unterliegt allmählich der Zerstörung. Die Korrosionsvorgänge, die langsam oder schnell, gleichmäßig oder ungleichmäßig verlaufen können, sind an sich sehr verwickelter Natur, um so mehr als die verschiedensten Faktoren hierfür bestimmend sind, wie Konzentration des Agens, dessen Druck und Temperatur; sein Aggregatzustand (fest, flüssig oder dampfförmig) und die Art der Einwirkung ob ruhend, bewegt, strömend, ständig oder wechselnd. Von gleichfalls großem Einflusse sind außerdem der Gefügebau des Werkstoffs (Grob- oder Feinstruktur), seine Dichte und sein Reinheitsgrad, die Oberflächenbeschaffenheit, die Art der vorausgegangenen Verformung und Wärmebehandlung, der Spannungszustand und manches andere.

Daraus ergibt sich die Folgerung, daß die oft aufgeworfene Frage, inwieweit eine Schweißverbindung korrosionsbeständig sei, nicht ohne weiteres zu beantworten ist, sondern nur auf Grund von sicheren Erfahrungen und umfangreichen zuverlässigen praktischen, wenn auch Schnellkorrosionsversuchen geklärt werden kann. Da nicht selten der Grad der Korrosionsfestigkeit verschiedener Metalle an sich ungeklärt ist, macht seine Bestimmung bei Schweißverbindungen erhöhte Schwierigkeiten. Diese Aufgabe ist jedoch von außerordentlicher Wichtigkeit, da häufig die Anwendung der Schweißung von der Korrosionsfestigkeit der

jeweiligen Metallverbindung allein abhängig ist. Mitunter genügt schon die Feststellung des korrodierenden Einflusses von Luftfeuchtigkeit, von Wasser und ähnlichen scheinbar einfachen Agenzien, um über die Brauchbarkeit einer Schweißverbindung zu entscheiden.

Erfahrungsgemäß und auf Grund planmäßig durchgeführter Versuche kann man etwa folgendes allgemein feststellen: Für die Korrosionsfestigkeit der Schweißverbindung sind günstig: möglichst gleiche Werkstoffbeschaffenheit (Schweiße und Werkstoff), feines Korn, Metallegierungen ohne Eutektikum (s. Unterabschnitt 3), glatte Oberfläche und große Dichte. Ungünstig sind neben grobem Korn und ungleicher Werkstoffbeschaffenheit, vor allem Kornverletzungen, gezwungene Formgebung, Spannungen, Gas- und Schlackeneinschlüsse, Flußmittelnester usw. Die Korrosionsbeständigkeit einer guten Schweiße steht der des Grundwerkstoffs nicht nach und übertrifft diese mitunter. So ist es z. B. bekannt, daß die gehämmerte Schweißhaut nicht selten widerstandsfähiger ist als die Walzhaut von Stahlblechen. Ungünstig verhalten sich Stahlschweißen insbesondere gegen den Einfluß von Salzlösungen (Sole) und Salzsäure, wobei in dem durch Kornvergrößerung ausgezeichneten Übergangsgefüge starke Auszehrungen möglich sind.

Die Lieferwerke für bestimmte Metallegierungen, wie Monelmetall, Chrom-Nickelstähle, Nickel, Bronzen usw. machen in ihren Prospekten neben den Angaben über die Verwendbarkeit dieser Werkstoffe meist auch Angaben darüber, gegen welche Agenzien sie unempfindlich und in welchem Grade sie gegen andere empfindlich sind.

2. Besonderes über Stahl und Eisen.

Stahl. Die schmiedbaren Eisensorten werden entweder im Puddelofen im teigigen Zustande hergestellt und dann Schweißstahl (mit $0,03 \div 1,6$ vH Kohlenstoffgehalt) genannt, oder sie werden nach den neueren Verfahren flüssig erzeugt und in eiserne Blockformen (Kokillen) gegossen; sie heißen dann Flußstahl. Im einzelnen unterscheidet man beim Flußstahl noch nach dem Herstellungsverfahren: Bessemer-, Thomas-, Siemens-Martin-Stahl. Der im Tiegelofen verfeinerte Werkstoff ist als Tiegelstahl oder Tiegelgußstahl zu bezeichnen (nicht mehr als „Gußstahl“, da jeder Flußstahl auch ein Gußstahl ist) und der im Elektroofen gereinigte, besonders gute Werkstoff als Elektrostahl. Aus den letzten beiden Sorten erhält man durch Zusatz von Chrom, Wolfram, Nickel usw. die Sonderstähle oder legierten Stähle. Diese sowie Tiegel- und Elektrostahl werden auch als Edelmetalle bezeichnet.

Neben dem wichtigsten Nebenbestandteil, dem Kohlenstoff, enthält normaler Stahl noch wechselnde Mengen von Mangan (unter 1 vH), Silizium (unter 0,5 vH), Phosphor (unter 0,1 vH) und Schwefel (unter 0,1 vH). Werkstoff mit mehr als 0,1 vH Phosphor ist stark kaltbrüchig — leichtes Reißen beim Bearbeiten in kaltem Zustande —, solcher mit mehr als 0,1 vH Schwefel ist stark warmbrüchig — leichtes Reißen beim Bearbeiten im rotwarmen Zustande. Je geringer der Anteil aller genannten Beimengungen im Stahl ist, desto besser ist er schweißbar.

Stahlguß. Der Werkstoff ist Stahl — mit $0,1 \div 1,0$ vH Kohlenstoff — aus dem Tiegel-, Martin- oder Elektroofen in Formen gegossen. Wir haben es also mit einem schmiedbaren Eisen zu tun, das sich, obwohl es schlecht blasen- und lunkerfrei gießbar ist, für Schweißungen recht gut eignet. Die Schweißstellen lassen sich sauber verhämmern. Jeder Gußkörper ist mit Spannungen behaftet, was beim Schweißen besonders zu beachten ist. Jedoch sind beim Stahlguß diese Spannungen größtenteils durch Ausglühen nach dem Gießen beseitigt; sie sind auch bei dem dehnbaren Stahlguß nicht so gefährlich als bei dem spröden Gußeisen.

Temperguß. Kühlt man Roheisen von bestimmter Zusammensetzung rasch ab, so erhält man weißes Roheisen, das im Bruch weiß und strahlig aussieht, den gesamten Kohlenstoff gelöst, also keinen Graphit enthält und sehr hart ist. Aus diesem Weißisen wird nun Temperguß gewonnen, indem die aus weißem Roheisen hergestellten Gußstücke 4÷6 Tage lang in Temperöfen geglüht werden, und zwar meistens eingebettet in sauerstoffabgebende Stoffe. Solche Stoffe sind Walzsinter, Eisenerze usw., die bei dem Temperverfahren ihren Sauerstoff an einen Teil des Kohlenstoffs des Weißeisengusses abgeben, mit diesem Kohlenoxyd bildend. Der im Ausgangswerkstoff vorhandene, an Eisen gebundene Kohlenstoff wird also größtenteils entfernt, teilweise aber auch durch das Glühen in freien Kohlenstoff, Temperkohle, verwandelt; das entstandene Erzeugnis ist weißer Temperguß (weiße Bruchfläche); es ist geschmeidiger und in beschränktem Maße schmiedbar geworden. Läßt man beim Glühen die sauerstoffabgebenden Stoffe fort, so wird der Kohlenstoff fast nur in Temperkohle verwandelt. Das Gußstück hat einen schwarzen Kern, der von einer dünnen, entkohlten Randzone umgeben ist. Man spricht dann von schwarzem Temperguß (Schwarzguß).

Werkstücke in Temperguß werden nur in kleineren Abmessungen hergestellt. Beim Schweißen kommt es zunächst auf den Kohlenstoffgehalt des Tempergusses an, der nach den vorigen Ausführungen sehr verschieden sein kann. Ist das Werkstück lange getempert, so ist es kohlenstoffarm und infolgedessen verhältnismäßig leicht schweißbar. Ist das Stück dagegen nur kurze Zeit getempert, so wird es noch ziemlich kohlenstoffreich und in seinen Eigenschaften, auch hinsichtlich der Spannungen, mehr oder weniger dem Gußeisen ähnlich sein. Ob der Temperguß mehr stahlähnlich oder mehr gußeisenähnlich ist, merkt man bei Beginn des Schweißens sehr bald am Fluß.

Gußeisen. Dieses Eisen ist aus grauem Roheisen durch Umschmelzen in Kuppel-, Flamm- oder Tiegelöfen erzeugt. Der Kohlenstoff ist, je nach der Geschwindigkeit der Abkühlung und dem Siliziumgehalt des Gußeisens, in mehr oder weniger großen Mengen als reiner, freier Kohlenstoff — Graphit — auskristallisiert. Gußeisen ist ein spröder, weder schmiedbarer, noch im Feuer schweißbarer Werkstoff. Mit steigendem Kohlenstoffgehalt sinkt sein Schmelzpunkt, der im allgemeinen 1200÷1250° beträgt. Das Gußeisen hat die Eigenschaften des gegossenen Werkstoffs; es hat die Geschmeidigkeit und Biegsamkeit des schmiedbaren Eisens gänzlich eingebüßt und geht, was für den Schweißer wichtig ist, gleich in den flüssigen Zustand über, ohne vorher eine teigige Zone wie Stahl zu durchlaufen. Im übrigen ist Gußeisen unter Beobachtung gewisser, im folgenden näher behandelte Vorsichtsmaßregeln im allgemeinen gut schweißbar. Da der Schmelzpunkt des Eisenoxyds höher liegt als der des Gußeisens — im Gegensatz zum Stahl —, so muß im allgemeinen, um die sich bildende Oxydhaut in eine leichtflüssige Schlacke zu verwandeln, ein Schweißpulver benutzt werden.

Neben 3÷4 vH Kohlenstoff enthält Gußeisen in wechselnden Mengen Silizium, Mangan, Phosphor und Schwefel. Silizium (meist 1÷3 vH) fördert die Ausscheidung des Kohlenstoffs als Graphit und macht infolgedessen den Guß weich. Der Siedepunkt des Siliziums liegt verhältnismäßig niedrig, weshalb es sich unter Einwirkung der Schweißflamme teilweise verflüchtigt (verdampft). Sorgt man daher nicht für ausreichenden Ersatz an diesem Element, so wird die Ausscheidung von Graphit beeinträchtigt, der Werkstoff wird hart. So erklärt es sich, daß die Schweißstäbe einen hohen Siliziumgehalt haben müssen. Mangan (meist 0,5÷1 vH im Guß) behindert die graphitische Ausscheidung des Kohlenstoffs, es macht Gußeisen hart. Phosphor (0,1÷1,25 vH im Guß) macht Guß-

eisen dünnflüssig, Schwefel hingegen dickflüssig und erhöht die Sprödigkeit. Der Schwefelgehalt der Gußstücke wird daher auch möglichst unter 0,1 vH gehalten.

In neuerer Zeit hat man nach verschiedenen Verfahren hochwertiges Gußeisen hergestellt, und zwar in der Hauptsache entweder durch weitgehende Entschweflung und Entgasung oder durch Verwendung kohlenstoffärmeren Gußeisens (mit etwa 2,4÷3,0 vH Kohlenstoff) und heißes Vergießen, nachträgliches Glühen oder Verlangsamung der Abkühlung usw. Hierhin gehören u. a. der Perlitguß von Lanz, der Thyssen-Emmelguß und der Sternguß von Krupp. Alle diese verbesserten Gußeisensorten haben gegenüber gewöhnlichem Gußeisen höhere Zug- und Biegefestigkeit, eine gewisse Dehnung und manchmal sogar eine gewisse Bieg- und Hämmerbarkeit. Ihr Gefüge ist mehr oder weniger perlitisch, d. h. die Graphitausscheidung ist zum Teil unterbunden, der Kohlenstoff ist an das Eisen als Eisenkarbid gebunden; der Guß ist dichter und fester. Diese Gußeisensorten sind naturgemäß nicht schlechter, sondern eher besser schweißbar als der normale Guß, um so mehr, als sie auch weniger Spannungen im Gußstück ergeben.

Hartguß entsteht, wenn Gußeisen in eiserne Formen gegossen wird, worin es an seiner Oberfläche rasch abkühlt. Rasche Abkühlung verhindert die Ausscheidung von Graphit und hat also Härte zur Folge. Demnach wird der Guß in seinen äußeren Schichten viel härter (Hartgußwalzen) als in den inneren. Hartguß ist meist mit starken inneren Spannungen (zwischen den Eisenkristallen) behaftet. An der Schweißstelle wird er ausgeglüht und die Oberflächenhärtung geht verloren.

Es gibt Gußsorten, die trotz Anwendung aller erdenklichen Mittel durchaus nicht schweißbar sind. Ein solcher Werkstoff ist vor allem verbrannter Guß, worunter man ein längere Zeit hindurch hohen Temperaturen, überhitztem Dampf oder offenem Feuer ausgesetzt gewesenes Gußeisen versteht. Diesem Guß ist ein großer Teil des Kohlenstoffs und Siliziums entzogen; es hat eine Verbrennung (Oxydation) dieser Bestandteile stattgefunden, und es ist ein Werkstoff mit vollkommen anderen Eigenschaften entstanden. Verbrannter Guß wird entweder gar nicht flüssig oder zerbröckelt wie trockener Kitt, ohne daß eine Verbindung herbeizuführen wäre; er erreicht Glashärte. Von der Schweißung solchen Gußeisens (Roststäbe, gußeiserne Kochkessel, Herdplatten, Verdampferschalen, Heizkesselglieder u. dgl.) ist meistens abzuraten. Nur selten sind marktschreierische Abbildungen von angeblich gelungenen Ausbesserungen dieser Art ernst zu nehmen.

Gußspannungen treten hauptsächlich an den Übergangsstellen vom schwachen zum stärkeren Querschnitt und in doppelwandigen Hohlkörpern (Zylindern), großflächigen Ebenen, Gittern, Rädern, Scheiben u. dgl. auf und sind ausnahmslos die Folge der Schwindung (Zusammenziehung), verbunden mit ungleichmäßiger Abkühlung des gegossenen Stückes. Sie lassen sich vielfach gar nicht beseitigen, da sich die dünneren Stellen des Gußstücks immer schneller abkühlen werden als die dickeren. Sitz und Größe der Spannungen richten sich nach Abmessung und Form des jeweiligen Gußkörpers. Zu diesen, also fast in jedem Gußstück vorhandenen Spannungen treten beim Schweißen noch neue Spannungen hinzu, hervorgerufen durch Teilerhitzung des Schweißstücks. Übersieht oder mißachtet man die im Gußstück bereits vorhandenen und die durch das Schweißen neu hinzukommenden Spannungen, so sind meistens unerwartete Fehlschläge die Folge. Die Körper verziehen sich, reißen, sie bersten, brechen und schlimmstenfalls fliegen sie in Stücke.

Werkstoffnormen. Von den bisher veröffentlichten Deutschen Werkstoffnormen sind Auszüge aus einigen wichtigen Normenblättern in den Tabellen 3 ÷ 6 wiedergegeben. Die Abkürzung DIN heißt: „Das ist Norm“.

Tabelle 3 (Auszug aus DIN 1611)¹.

Maschinenbaustahl					
Schwefel und Phosphor nicht mehr als je 0,06 vH, zusammen jedoch nicht mehr als 0,1 vH					
Marken- bezeichnung	Zugfestig- keit σ_B kg/mm ²	Bruchdehnung mindestens vH		Kohlen- stoffgehalt ~ vH	Eigenschaften
		δ_5	δ_{10}		
St 34 · 11	34 ÷ 42	30	25	0,12	einsetzbar, feuerschweißbar noch einsetzbar, schwer feuer- schweißbar nicht einsetzbar, kaum feuer- schweißbar, wenig härtbar härtbar, vergütbar hoch härtbar, vergütbar
St 42 · 11	42 ÷ 50	25	20	0,25	
St 50 · 11	50 ÷ 60	22	18	0,35	
St 60 · 11	60 ÷ 70	17	14	0,45	
St 70 · 11	70 ÷ 85	12	10	0,60	

Tabelle 4 (Auszug aus DIN 1612).

Flußstahl gewalzt (Formstahl, Stabstahl, Breitflachstahl)										
Marken- bezeichnung	Güte	Zug- festigkeit σ_B kg/mm ²	Bruchdehnung mindestens vH						Faltversuch	
			am Kurzstab δ_k			am Langstab δ_l			α = Biegewinkel D = Dorndurchmesser a = Probedicke	
			Probedicke mm							
30 ÷ 8	unter 8 ÷ 7	unter 7 ÷ 5	30 ÷ 8	unter 8 ÷ 7	unter 7 ÷ 5					
St 37 · 12	Normalgüte	37 ÷ 45	25	22	18	20	18	15	$\alpha = 180^\circ$	$D = 0,5a$
St 34 · 12	Sondergüte	34 ÷ 42	30	26	22	25	22	18	$\alpha = 180^\circ$	bis 20 mm Dicke $D = a$ über 20 mm Dicke $D = 2a$
St 42 · 12	Sondergüte	42 ÷ 50	24	22	18	20	18	16		
St 44 · 12	Sondergüte	44 ÷ 52	24	22	18	20	18	15	$\alpha = 180^\circ$	$D = 3a$
St 00 · 12	Handels- güte	Der Stahl darf weder kalt- noch rotbrüchig sein, d. h. die Proben müssen sich im warmen und kalten Zustande bis zum rechten Winkel ($\alpha = 90^\circ$) biegen lassen bei einem Durchmesser $D = 4a$								

In Tabelle 3 bedeutet δ_5 die Bruchdehnung für eine Meßlänge gleich dem fünffachen Stabdurchmesser (kurzer Normalstab, Kurzstab), δ_{10} gilt entsprechend

Tabelle 5 (Auszug aus DIN 1681).

Stahlguß (Normalgüte)		
Markenbezeichnung	Zugfestigkeit σ_B kg/mm ² mindestens	Bruchdehnung (δ_5) mindestens in vH
Stg 38 · 81	38	20
Stg 38 · 81 R	38	25
Stg 45 · 81	45	16
Stg 50 · 81 R	50	19
Stg 52 · 81	52	12
Stg 60 · 81	60	8

Die Marken Stg 38 · 81 R und Stg 50 · 81 R sind nur für Lokomotiv- und Wagenbau nach Vorschrift der Deutschen Reichsbahn bestimmt

¹ Die Tabellen 3 ÷ 6 werden mit Genehmigung des Deutschen Normenausschusses abgedruckt.

² Die Probe muß sich, ohne Anrisse auf der Zugseite zu zeigen, kalt zusammenschlagen lassen, bis die Schenkel flach aneinander liegen.

für den langen Normalstab (Langstab). Bei der Markenbezeichnung bedeutet St = Stahl, 34 = Mindestzugfestigkeit in kg/mm² und 11 = letzte beide Zahlen des Normblattes 1611.

DIN 1681 für Stahlguß enthält außer den Marken der Normalgüte, die in Tabelle 5 angegeben sind, noch drei Marken „Sondergüte“ und zwei Marken „Stahlguß mit besonderen magnetischen Eigenschaften“, ferner Angaben über Prüfung und Abnahme der Stahl-

gußstücke. Sollen die Festigkeitswerte durch Zugversuch nachgeprüft werden, so sind sie an angegossenen (in Sonderfällen nach vorheriger Vereinbarung auch an lose aus der Schmelzung mitgegossenen) Probestücken zu ermitteln.

DIN 1691 enthält außer dem in Tabelle 6 angegebenen Maschinenguß mit besonderen Gütevorschriften noch solchen ohne besondere Gütevorschriften, ferner Bauguß und Handelsguß, Feinguß und Kunstguß, Hartguß u. a. m. Die Zugfestigkeitswerte gelten für einen angegossenen Probestab, die Werte der Biegefestigkeit und Durchbiegung für einen getrennt gegossenen Biegestab von 30 mm Durchmesser und 600 mm Stützweite, der im unbearbeiteten Zustande zu prüfen ist.

Tabelle 6 (Auszug aus DIN 1691).

Maschinenguß (mit besonderen Gütevorschriften)			
Markenbezeichnung	Zugfestigkeit σ_B kg/mm ² mindestens	Biegefestigkeit ¹ σ'_B kg/mm ² mindestens	Durchbiegung ¹ mm mindestens
Ge 14 · 91	14	(28)	7
Ge 18 · 91	18	(34)	7
Ge 22 · 91	22	(40)	8
Ge 26 · 91	26	(46)	8

3. Grundlagen der Metallographie des Eisens.

Erstarrungskurve. Mißt man die Temperaturen beim Erstarren eines Metalls in gewissen Zwischenräumen und trägt man die gemessenen Werte in ein Koordinatensystem ein — auf der Waagerechten (Abszisse) die Abkühlungszeiten, auf der Senkrechten (Ordinate) die Temperaturen —, so erhält man die Erstarrungskurve dieses Metalls.

Bei einer Legierung wird diese Erstarrungskurve (Abb. 12 I) bei der Temperatur t_1 einen Knick zeigen (Punkt T_1), von da ab flacher und bei der Temperatur t_2 mit einem neuen Knick (Punkt T_2) wieder parallel zur ursprünglichen Kurve verlaufen. Da der erstarrenden Legierung von außen her keine Wärme zugeführt wird, ist der flache Verlauf der Kurve — der auch zu einem kurzen waagerechten Stück führen kann (sog. „Haltepunkt“) — nur erklärlich, wenn im Inneren der Legierung Wärme frei wird, die Kristallisationswärme. Wir erkennen also, daß von T_1 bis T_2 sich Kristalle in der Schmelze bilden, bei T_1 die ersten und bei T_2 die letzten, und daß unterhalb der Temperatur t_2 die Legierung ganz erstarrt ist, während sie oberhalb t_1 vollständig flüssig war.

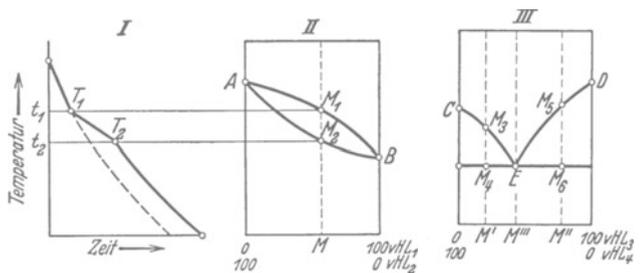


Abb. 12. Erstarrungskurve und Erstarrungsschaubilder.

Da der erstarrenden Legierung von außen her keine Wärme zugeführt wird, ist der flache Verlauf der Kurve — der auch zu einem kurzen waagerechten Stück führen kann (sog. „Haltepunkt“) — nur erklärlich, wenn im Inneren der Legierung Wärme frei wird, die Kristallisationswärme. Wir erkennen also, daß von T_1 bis T_2 sich Kristalle in der Schmelze bilden, bei T_1 die ersten und bei T_2 die letzten, und daß unterhalb der Temperatur t_2 die Legierung ganz erstarrt ist, während sie oberhalb t_1 vollständig flüssig war.

Erstarrungsschaubild. Untersucht man in entsprechender Weise die verschiedensten Mischungsverhältnisse der Legierung mit den beiden Bestandteilen L_1 und L_2 , von der wir vorhin nur eine Mischung herausgegriffen hatten, und trägt man die Knickpunkte und etwaige Haltepunkte jeder Erstarrungskurve in ein Schaubild ein, dessen Senkrechte wieder die Temperaturen, dessen Waagerechte aber die Gewichtsprocente der Legierungsbestandteile sind, so erhält man ein Erstarrungsschaubild (auch Erstarrungs- oder Zustandsdiagramm genannt), im vorliegenden Fall zunächst das Erstarrungsschaubild II. In ihm

¹ Diese Werte gelten nur vorläufig und nur für den angegebenen Biegestab von 600 mm Stützweite.

entstehen durch Verbinden der verschiedenen Punkte M_1 und der entsprechenden Punkte M_2 die Kurven AM_1B und AM_2B . Oberhalb AM_1B sind alle Einzellegierungen, die ein solches Schaubild also zusammenfaßt, flüssig und unterhalb AM_2B sind sie fest. Dieses Schaubild kennzeichnet gleichzeitig eine der einfachsten Erstarrungsformen von Legierungen, nämlich die, bei der die Legierungsbestandteile im flüssigen und im festen Zustand vollkommen ineinander löslich sind. Man erhält beim Erstarren eine sog. „feste Lösung“. Da diese festen Lösungen kristallisiert sind und in jedem Kristall beide Legierungsbestandteile L_1 und L_2 (z. B. Kupfer und Nickel) gemischt enthalten, nennt man sie auch „Mischkristalle“. Hat man also ein Schaubild nach Art von *II* vor sich, so kann man mit Bestimmtheit sagen, daß beim Erstarren der verschiedenen Mischungen stets nur Mischkristalle entstehen.

Anders sieht das Erstarrungsschaubild aus, wenn die Legierungsbestandteile zwar im flüssigen Zustand ineinander löslich sind — diese Bedingung muß jede brauchbare Legierung erfüllen —, aber im festen Zustand ineinander unlöslich sind (Fall *III* in Abb. 12). Bei Beginn der Erstarrung werden sich dann nicht Mischkristalle, sondern Einzelkristalle bilden. Beim Fortschreiten der Erstarrung verändert naturgemäß der Rest der flüssigen Masse (der Schmelze) seine Zusammensetzung, bis ein für beide Bestandteile gesättigter Schmelzrest entstanden ist, der dann sehr schnell unter gleichzeitiger Ausscheidung feiner Einzelkristalle von L_3 und L_4 erstarrt. Diese gewissermaßen günstigste Mischung heißt „eutektische (gutflüssige) Legierung“ oder „Eutektikum“. Greifen wir aus *III* z. B. die dem Punkt M' entsprechende Legierung heraus, so werden sich bei deren Erstarrung zunächst unterhalb M_3 Einzelkristalle des Legierungsbestandteils L_4 bilden. Die Erstarrungskurve zeigt von M_3 ab einen Knick und ein flacher verlaufendes Stück, etwa wie das früher behandelte Stück $T_1 T_2$ bei *I*, und geht dann bei M_4 in ein kurzes waagerechtes Stück (Haltepunkt) über. Dieses waagerechte Stück zeigt, daß für kurze Zeit kein Temperaturabfall eintritt, was wiederum nur durch sehr starke Kristallbildung (stark auftretende Kristallisationswärme) zu erklären ist. Das ist aber der Zeitpunkt der Bildung des Eutektikums. Unterhalb von M_4 ist die Legierung vollständig erstarrt und besteht nach vorigem aus Einzelkristallen L_4 und einer Grundmasse, nämlich dem Eutektikum. Die dem Punkt M'' entsprechende Legierung muß demgemäß bei M_5 die Bildung von Einzelkristallen L_3 und bei M_6 dasselbe Eutektikum wie vorhin ergeben, und schließlich wird folgerichtig die dem Punkt M''' entsprechende Legierung überhaupt keine Einzelkristallbildung, vielmehr bei E nur das Eutektikum zeigen. Sie ist also die eutektische Legierung, die aus feinen Einzelkristallen von L_3 und L_4 besteht und plötzlich fest, auch beim Erhitzen wieder plötzlich flüssig wird (die gutflüssige Legierung).

Bei mehreren reinen Metallen und bei einer Anzahl von Legierungen treten nun im völlig erstarrten Zustand noch Umkristallisationen ein, die das mechanische Verhalten des Metalls bzw. der Legierung beeinflussen. Am bekanntesten sind sie beim Eisen und bei der Eisen-Kohlenstoff-Legierung und werden im folgenden noch näher behandelt.

Nach der Anzahl der verwendeten Einzelstoffe (Komponenten) spricht man von Zweistoff- (binären) Legierungen, Dreistoff- (ternären) Legierungen usw. Bei Drei- und Mehrstofflegierungen begnügt man sich meistens damit, je zwei Stoffe herauszunehmen und diese, wie ausgeführt, näher zu betrachten.

Reines Eisen. Der Schmelzpunkt (Erstarrungspunkt) des reinen Eisens liegt bei 1530° . Im kristallinen festen Zustand erleidet Eisen mehrere Umwandlungen (Umkristallisationen), die man an den Haltepunkten der Erstarrungskurve erkennt. Das erstarrte δ -Eisen wandelt sich bei 1401° in γ -Eisen um, dieses bei

Zementitkristalle als helle Adern (Abb. 16) in der starkdunklen Grundmasse von Perlit in einem Stahl von z. B. 1,3 vH Kohlenstoff enthalten sein können. Die Struktur des Austenits (Mischkristalle) zeigt uns Abb. 17 und die des Eutektoids Perlit Abb. 18, letzteren in streifiger (lamellarer) Form. Durch Glühen bei etwa 700° kann man noch einen körnigen Perlit bekommen. Für einen Vergleich der

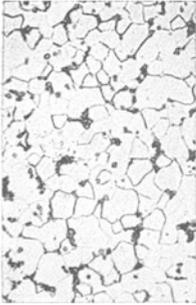


Abb. 14. Stahl mit 0,1 vH Kohlenstoff ($v = 200$).



Abb. 15. Stahl mit 0,4 vH Kohlenstoff ($v = 200$).

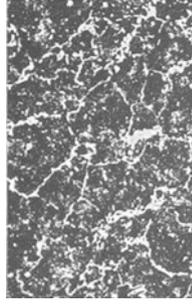


Abb. 16. Stahl mit 1,3 vH Kohlenstoff ($v = 200$).

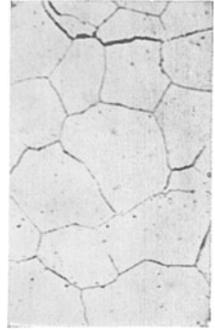


Abb. 17. Austenit ($v = 600$).

Schliffbilder des vergrößerten Gefüges ist es übrigens wichtig, daß jedesmal die Vergrößerung angegeben wird (z. B. in Abb. 18: $v = 600$, d. h. 600fach vergrößert).

Alle bisher besprochenen Vorgänge haben zur Voraussetzung, daß die Abkühlung genügend langsam vor sich geht. Bei ganz langsamer Abkühlung, begünstigt durch einen hohen Siliziumzusatz, zerfällt der Zementit in Graphit



Abb. 18. Perlit ($v = 600$).

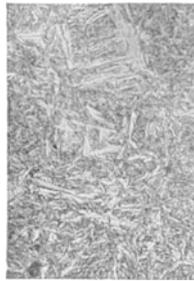


Abb. 19. Grobnadliger Martensit ($v = 200$).

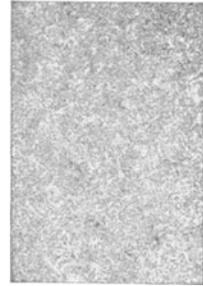


Abb. 20. Feinnadliger Martensit (Hardenit, $v = 200$).

und Ferrit; es entsteht das graue Roheisen bzw. Gußeisen, das natürlich noch Reste von Zementit und dann auch Perlit enthalten kann. Graphit, Ferrit und auch Perlit sind weiche Bestandteile, Zementit ist demgegenüber außergewöhnlich hart. Schnell abgekühltes Roheisen und Gußeisen wird noch viel Zementit enthalten, also viel härter sein als langsam abgekühltes.

Härten des Stahls. Auch ein langsam abgekühlter Stahl wird bei einem Gehalt bis etwa 0,9 vH Kohlenstoff weich sein, da er ja aus Ferrit und Perlit oder aus Perlit besteht. Kühlt man jedoch warmen Stahl von Temperaturen etwas oberhalb *GOSK* sehr schnell ab, so unterbindet man die Umwandlung in Ferrit und Perlit ganz. Der Austenit (die Mischkristallstruktur) verwandelt sich dann nur noch in ein mehr oder weniger feinnadeliges Gefüge, das wahrscheinlich

einer festen Lösung von Eisenkarbid in α -Eisen entspricht und nach dem deutschen Forscher Martens als Martensit bezeichnet wird. Dieser Martensit ist das Gefüge des gehärteten Stahls; er sieht grobnadlig aus (Abb. 19), wenn die Abschrecktemperatur verhältnismäßig hoch war, und feinnadlig bzw. fast strukturelos (Abb. 20), dann auch „Hardenit“ genannt, wenn die Erwärmung nur kurze Zeit bis dicht über *GOSK* gegangen ist.

Die praktische Härtung des Stahls besteht demnach zunächst in einem Erhitzen bis über die Linie *GOSK* und anschließendem plötzlichen Abschrecken (z. B. in Wasser). Allerdings wird dieser schroff abgeschreckte Stahl spröde (glashart). Man schreckt also zweckmäßig weniger schroff ab (z. B. in Öl, im Luftstrom) oder erwärmt den Stahl nachträglich auf etwa $225 \div 330^\circ$ („Anlassen“ genannt).

Sonderstähle (legierte Stähle). Die zum Legieren benutzten Metalle (Nickel, Chrom, Wolfram usw.) verschieben einmal die Umwandlungspunkte des Stahls im festen Zustande, und zwar meist nach unten, und machen außerdem den Stahl träger in der Umwandlung, so daß sich auch bei langsamer Abkühlung Martensit bildet oder sogar der Austenit erhalten bleibt. Man unterscheidet dementsprechend: Perlitische Stähle (mit niedrigen Legierungszusätzen), die unbehandelt aus Perlit (gegebenenfalls mit Ferrit oder Zementit) bestehen. — Martensitische Stähle (mit mittelhohem Gehalt an Nickel, Chrom oder Mangan), die aus Martensit bestehen, auch „naturharte“ Stähle genannt. — Austenitische Stähle (hochprozentige Nickel-, Chrom- und Chrom-Nickel-Stähle), die bei Raumtemperatur austenitisch sind (d. h. also nur aus Mischkristallen bestehen). — Doppelkarbid- oder Ledeburitstähle (hauptsächlich Chrom-Wolfram-Stähle für Werkzeuge) mit Doppelkarbiden in einer Grundmasse von Austenit und Martensit. Näheres über diese Stähle wird noch im Abschnitt III E (Schweißung von Sonderstählen) ausgeführt.

Dieser kurze Ausschnitt aus der Metallographie des Eisens möge hier zunächst genügen.

4. Besonderes über die Nichteisenmetalle.

Kupfer. Das Metall kommt nach DIN 1708 als Hüttenkupfer A \div D mit einem Reinheitsgrad von mindestens $99,0 \div 99,6$ vH und als Elektrolytkupfer (letzteres hauptsächlich für elektrische Leitungen, nicht nach dem Reinheitsgrad, sondern nach der elektrischen Leitfähigkeit beurteilt) in den Handel, und zwar meist als gewalzter und gezogener Werkstoff (in Blech-, Rohr-, Stangen- und Drahtform). Sein Schmelzpunkt ist 1083° (Reinkupfer), sein Siedepunkt 2336° . Kupfer hat eine lachsrote Farbe, ist sehr geschmeidig und dehnbar, aber schlecht gießbar und hat ferner eine große Leitfähigkeit für den elektrischen Strom und für Wärme. Hüttenkupfer und umgeschmolzenes Kupfer enthalten $0,5 \div 1,0$ vH Kupferoxydul (Cu_2O), entsprechend einem Sauerstoffgehalt von $0,05 \div 0,11$ vH. Kupferoxydul ist in flüssigem Kupfer löslich, in festem Kupfer dagegen gänzlich unlöslich. Über $0,9$ vH Cu_2O setzen die Festigkeit des Kupfers herab. $3,45$ vH Cu_2O (entsprechend dem Eutektikum Kupfer-Kupferoxydul) erniedrigen den Schmelzpunkt des Kupfers auf 1064° . Kupfer neigt in flüssigem Zustande, insbesondere wenn es kupferoxydulhaltig ist, stark zur Wasserstoffaufnahme und stößt den Wasserstoff beim Erkalten unter Zurücklassung von Poren (Basen, Lunkern) wieder aus (Spratzen des Kupfers).

Die Wärmeausdehnung des Kupfers beträgt bei einer Erwärmung von 10° auf 100° auf 1 m Länge 1,6 mm, also beim Erwärmen bis zum Schmelzpunkt etwa 26 mm, was beim Schweißen besonders zu beachten ist. Die Zugfestigkeit beträgt beim gegossenen Kupfer $9 \div 14$ kg/mm², beim gewalzten $20 \div 28$ kg/mm² bei einer Dehnung von $22 \div 25$ vH. Normalisiertes Kupfer — ein Kupfer,

das nach der Warm- oder Kaltverformung 1 h lang bei 650° ausgeglüht wurde — hat 21÷24 kg/mm² Zugfestigkeit. Für den Schweißer ist es wichtig zu wissen, daß die Zugfestigkeit des Kupfers mit steigender Temperatur stark abnimmt, und zwar z. B. auf 8,5 kg/mm² bei 400°, 3,8 kg/mm² bei 600° und 0,8 kg/mm² bei 970°.

Im Feuer ist Kupfer nicht härtbar und nur sehr beschränkt schweißbar. Durch oberflächliche Oxydation wird es dunkelrot. Überhitztes und verbranntes Kupfer sieht in der Bruchfläche ziegelrot aus; es ist dann nicht mehr brauchbar und kann nicht wieder brauchbar gemacht werden.

Messing (auch „Gelbguß“ genannt) ist eine Legierung von 58÷67 vH Kupfer, Rest Zink, ausnahmsweise mit kleinen Zusätzen von Blei, und kommt als Hartmessing (Schraubenmessing), Schmiedemessing, Druckmessing und Gußmessing in den Handel (Näheres s. DIN 1709), ist gut gießbar und in kaltem Zustand hämmerbar, walzbar, ziehbar. Der Schmelzpunkt schwankt zwischen 800° und 900°; er ist um so niedriger, je mehr Zink in der Legierung ist. Die Wärmeleitfähigkeit ist infolge des Zinkzusatzes bedeutend geringer als die des Kupfers. Messingähnliche Legierungen sind Deltametall, Duranametall usw., die man jetzt auch als „Sondermessing“ bezeichnet. Sie enthalten, neben Kupfer und Zink, etwa 3÷5 vH Eisen, Mangan, Blei und Aluminium. Nach den Normen werden auch die kupferreicheren Legierungen Halbtonbak (Lötmessing), Gelbtombak (Schaufelmessing), Hellrodtombak, Mittelrodtombak und Rottombak, die 67÷90 vH Kupfer enthalten, unter die Gruppe der Messinge gerechnet.

Die Zugfestigkeit der Messingsorten ändert sich innerhalb weiter Grenzen zwischen 25 und 70 kg/mm² je nach der Legierungssorte und je nachdem ob weicher, 1/2 harter, harter oder federharter gewalzter Werkstoff vorliegt. Dementsprechend wechselt auch die Dehnung stark (zwischen 5 und 50%). Die Gefahr der Wasserstoffaufnahme ist bei Messing nur gering, da Zink die Löslichkeit für Wasserstoff sehr stark herabsetzt. Dagegen neigt der Zinkanteil des Messings zu schneller Verdampfung (Siedepunkt des Zinks bei 907°), was beim Schweißen besonders zu beachten ist.

Bronze und Rotguß. Bronze ist eine Legierung aus 80÷94 vH Kupfer, Rest Zinn und kommt als Guß- oder Walzbronze in den Handel (DIN 1705). Die sog. „Phosphorbronzen“ sind ebenso zusammengesetzt; sie erhalten nur bei der Herstellung einen Phosphorzusatz zur Sauerstoffentfernung (Desoxydation). Der Phosphor soll sich mit dem Sauerstoff des Kupferoxyduls verbinden — auf diese Weise das Kupferoxydul zerstören — und in die Schlacke gehen. Diese Bronze wird also dichter im Gefüge. Die „Sonderbronzen“ enthalten außer Kupfer und Zinn noch etwas Blei oder Aluminium. Die Schweißung von Aluminiumbronze ist erst kürzlich einwandfrei gelungen. Der Schmelzpunkt der Bronzen liegt zwischen 720° und 1000°; je höher der Zinngehalt, um so niedriger der Schmelzpunkt. Alle Bronzen sind gut gießbar, aber nur ein Teil ist schmiedbar.

Rotguß ist eine Legierung von 82÷93 vH Kupfer, 4÷10 vH Zinn und 3÷6 vH Zink, manchmal auch mit etwas Bleigehalt. Der Schmelzpunkt liegt zwischen 800° und 900°. Die Legierung gibt infolge des Zinkzusatzes besonders dichten und guten Guß. Rotguß rechnet nach den Werkstoffnormen zu den Bronzen und führt auch den Namen „Maschinenbronze“.

Die Festigkeitsziffern sind je nach der Zusammensetzung sehr verschieden. Phosphorbronze hat 60 kg/mm² Zugfestigkeit, Rotguß etwa 20 kg/mm² bei 6÷25 vH Dehnung.

Aluminium wird aus Tonerde (Aluminiumoxyd) durch deren elektrolytische Zersetzung hergestellt und kommt nach DIN 1712 in den Handel als: Al 99,7 H — Al 99,5 H — Al 99 H (Reinaluminium H in Blöcken und Barren), ferner als Reinaluminium U (umgeschmolzen) mit Reinheitsgraden von 98÷99,5 vH und als

Reinaluminium im Halbzeug mit den gleichen Reinheitsgraden 98÷99,5 vH. Es ist bekanntlich sehr leicht (spezifisches Gewicht 2,7), sein Schmelzpunkt liegt bei 658°, der Siedepunkt bei 2270°. Die Farbe ist weiß; der Werkstoff ist schmiedbar, streckbar, hämmerbar und auch genügend gießbar und hat in seinen Eigenschaften manche Ähnlichkeit mit dem Kupfer. In Deutschland geht das Streben seit dem Weltkrieg dahin, Aluminium oder seine Legierungen möglichst viel an Stelle des insbesondere von Nordamerika eingeführten Kupfers zu verwenden. Aluminium wird bereits stark benutzt zur Herstellung von Kochgeschirr und anderen Haushaltungsgegenständen, Gärbottichen, Milchverandbehältern, Verdampfern, Schmelzkesseln, sodann in der Automobil- und Flugzeugindustrie, in letzteren Fällen wie auch anderswo, oft in Form aluminiumreicher Legierungen; es hat eine starke Wärmeleitfähigkeit und eine große Verwandtschaft zum Sauerstoff. Letzte erschwert das Schweißen deswegen, weil das sich bildende Aluminiumoxyd einen viel höheren Schmelzpunkt (etwa 2050°) hat als Aluminium. Die beim Schweißen an der Oberfläche des Metalls sich absetzenden Oxydteilchen bilden ein derart widerspenstiges Häutchen, daß eine brauchbare Schweißung ohne Zerstörung der Oxydhaut unmöglich ist. Erst die Erfindung geeigneter Schweißmittel, die sich mit dem Aluminiumoxyd zu einer leichtflüssigen Schlacke verbinden, hat daher eine gute Aluminiumschweißung möglich gemacht.

Die Zugfestigkeit von gegossenem Aluminium beträgt 9÷12 kg/mm², von Walzwerkstoff, weichgeglüht 7÷11 kg/mm² (Dehnung 30÷40 vH), halbhart 10÷12 kg/mm² (Dehnung 6÷10 vH) und hart 14÷18 kg/mm² (Dehnung 4—8 vH).

Aluminiumlegierungen. Das Normblatt DIN 1713 umfaßt 8 Gattungen von knotbaren und 8 Gattungen von Guß-Legierungen. Ein Teil der Legierungen ist vergütbar (veredelbar) oder wie man jetzt allgemein sagt, aushärtbar. Diese Aushärtung besteht in einer Erhitzung auf über 450° und darauf folgender genügend schneller Abkühlung. Anschließend härten die Legierungen entweder selbsttätig durch mehrtägiges Lagern bei Zimmertemperatur aus (erstmalig 1909 von Wilm beim Duralumin durchgeführt) oder sie müssen $\frac{1}{2}$ ÷2 Tage auf 50÷160° angelassen werden. Bei der ersten Erhitzung findet eine Auflösung der Aluminiumzusätze zu Mischkristallen statt. Die anschließende Aushärtung erklärt man sich durch Ausscheidung bestimmter Kristallarten während des Lagerns in so fein verteilter Form, daß dadurch die Festigkeitseigenschaften besonders günstig beeinflußt werden.

Über die große Zahl der Aluminiumlegierungen kann in folgenden nur das Wichtigste gesagt werden.

A. Knetlegierungen. Die unter 1÷4 benannten Legierungssorten sind aushärtbar. Hierher gehören die Gattung Al-Cu-Mg mit 3,5÷5,5 vH Cu und 0,2÷2 vH Mg (neben 0,2÷1,5 vH Si und 0,1÷1,5 vH Mn); die Gattung Al-Cu-Ni mit 3,8÷4,2 vH Cu, 1,8÷2,2 vH Ni und 1,3÷1,6 vH Mg; die Gattung Al-Cu mit 4,5÷6,0 vH Cu ohne Magnesium (neben 0,4÷0,6 Mn und 0,2÷0,5 Si), und schließlich die Gattung Al-Mg-Si ohne Kupfer mit geringem Magnesium- und Siliziumgehalt (0,5÷2 vH Mg, 0,3÷1,5 Si und 0÷1,5 vH Mn). Die Festigkeiten dieser Legierungen schwanken zwischen 11 und 58 kg/mm², je nach dem Grade der Aushärtung und Kaltverfestigung. Zur Gattung (Sorte) Al-Cu-Mg, die besonders hohe Festigkeit hat, gehören z. B. Duralumin, Aludur, Bondur, Silal usw. Die zur Gattung Al-Cu-Ni gehörigen Legierungen, z. B. Duralumin W und Leg. Y, zeichnen sich durch hohe Warmfestigkeit aus. Zur Gattung Al-Cu zählen unter anderem Lautal und Allautal. Die zur Gattung Al-Mg-Si gehörigen Legierungen haben neben guter Korrosionsbeständigkeit den Vorzug guter Verform- und Polierbarkeit; zu nennen sind beispielsweise Aludur 533, Legal, Anticorodal, Pantal, Aldrey, Ulmal.

Die folgenden Gattungen sind nicht aushärtbar, dagegen alle von höherer Festigkeit ($10 \div 45 \text{ kg/mm}^2$) als Reinaluminium und von hoher Korrosionsbeständigkeit, teils auch gegen Seewasser. Die Gattung Al-Mg mit hohem Magnesiumgehalt ($2,5 \div 10 \text{ vH Mg}$, neben $0 \div 1,5 \text{ Mn}$) ist vertreten durch: Hydronalium, BS-Seewasser, Duranalium, Peraluman 7 und Heddronal. Mittleren Magnesiumgehalt ($2 \div 2,5 \text{ vH}$) und geringen Mangangehalt ($1 \div 2 \text{ vH Mn}$, neben $0 \div 0,2 \text{ vH Sb}$) hat die Gattung Al-Mg-Mn, wie KS-Seewasser und Peraluman. Silumin gehört der Gattung Al-Si an; es enthält $12 \div 13,5 \text{ vH Si}$, ist demnach die weitaus siliziumreichste Legierung. Endlich ist die Gattung Al-Mn eine solche mit geringem Mangangehalt ($1 \div 2 \text{ vH}$). Ihr gehören an: Mangal, M 115, Aluman (AW 15), Silal K, Wicromal, Heddal, MN 20.

Der Schmelzpunkt dieser Legierungen liegt zwischen 570° und 650° . Wie später (Abschnitt Nichteisenmetall-Schweißung) noch näher ausgeführt wird, sind einige dieser Legierungen nur in beschränktem Maße, die meisten aber gut schweißbar.

B. Gußlegierungen. Die wichtigsten unter ihnen sind die der Gattung G Al-Cu („Amerikanische Legierung“), Gattung G Al-Zn-Cu („Deutsche Legierung“) und der Gattung G Al-Si (Silumin). Die Legierung der Gattung G Al-Cu enthält $7 \div 9$ (15) vH Kupfer und hat $12 \div 20 \text{ kg/mm}^2$ Zugfestigkeit. Die der Gattung G Al-Zn-Cu enthält neben $2 \div 5 \text{ vH}$ Kupfer noch $8 \div 12 \text{ vH}$ Zink, bei gleicher Festigkeit. Silumin, das $17 \div 26 \text{ kg/mm}^2$ Festigkeit besitzt, enthält $11 \div 13,5$ Silizium. Es ist eine eutektische Legierung.

Den übrigen Gattungen gehören Legierungen mit Kupfer, Nickel, Silizium, Mangan, Magnesium, Zinn, Titan u. a. an, die mengenmäßig verschieden und einzeln oder zu dritt, ja zu viert auftreten und hier nicht weiter behandelt werden sollen. Alle diese Gußlegierungen sind gut schweißbar.

Elektron. Zur Gruppe der Leichtmetalle, die schweißtechnisch eine Rolle spielen, gehört noch das Elektronmetall, eine Legierung zwischen Magnesium (bis 93 vH) und Aluminium (bis 10 vH), neben $0,1 \div 4,5 \text{ vH}$ Zink und $0,5 \div 1 \text{ vH}$ Mangan. Die unter der Bezeichnung AM 503 mit nur $0,2 \div 0,5 \text{ vH Al}$ im Handel befindliche Walzlegierung ist gut schweißbar, während der AZM-Werkstoff mit hohem Al-Gehalt nur in sehr beschränktem Umfange geschweißt werden kann. Auch Elektronuguß läßt sich einwandfrei schweißen.

Blei ist unter den technisch verwendbaren Metallen das weichste. Sein Schmelzpunkt liegt bei 327° , sein Siedepunkt bei 1750° . Es kommt mit einem Reinheitsgehalt von $99,99 \text{ vH}$, also sehr rein in den Handel. Seine Zugfestigkeit beträgt nur $2 \div 3 \text{ kg/mm}^2$, seine Dehnung dagegen $40 \div 50 \text{ vH}$. Bleidämpfe sind giftig. Bleischweißer müssen daher Respiratoren (Atmungsmasken) tragen.

Zink wird nach dem Normenentwurf in Feinzink I (mit über $99,9 \text{ vH}$ Zink), Feinzink II (über $99,8 \text{ vH}$), Rohzink und Raffinadezink (Zinkgehalt noch nicht festgelegt) eingeteilt. Außerdem kommt noch umgeschmolzenes Zink (Remelted-Plattenzink genannt, aus Altzink mit oder ohne Zugabe von Rohzink erschmolzen) in den Handel. Der Schmelzpunkt ist 419° , der Siedepunkt liegt auffallend niedrig, bei 907° (der Beginn des Verdunstens liegt sogar schon bei 500° , was auch für die zahlreichen Messinglegierungen von Bedeutung ist). Das spröde, gegossene Zink wird bei $90 \div 120^\circ$ und bei $140 \div 170^\circ$ gut walzbar und preßbar.

Monelmetall ist eine Natur-Nickellegierung, d. h. die Grundstoffe (67 vH Nickel, 28 vH Kupfer und 5 vH Mangan und Eisen) sind schon im Erz in der genannten Zusammensetzung vorhanden; es ist sehr witterungsbeständig und bearbeitbar wie Kupfer, sein Schmelzpunkt liegt bei 1360° .

Silber, Gold, Platin. Silber schmilzt bei 961° und hat von allen Metallen die größte Leitfähigkeit für Wärme und Elektrizität. Gold schmilzt bei 1063° ,

Platin bei 1774°. Alle drei Edelmetalle sind infolge ihres geringen Oxydationsvermögens gut schweißbar.

Weitere Einzelheiten über die Nichteisenmetalle folgen im Abschnitt III (Technik der Gasschweißung).

II. Die Einzeleinrichtungen für die Gasschweißung.

A. Die Schweißgase.

1. Sauerstoff.

Sauerstoff, ein ungiftiges, geruch-, geschmack- und farbloses Gas, ist selbst nicht brennbar, aber zu jeder Verbrennung erforderlich, da eine Verbrennung die Verbindung eines brennbaren Körpers mit Sauerstoff¹ ist. Weil der Sauerstoff weitaus höhere Verbrennungstemperaturen erzeugt als die atmosphärische Luft, wird er an deren Stelle allen Schweißflammen zugeführt (Luft besteht nur zu etwa $\frac{1}{5}$ aus Sauerstoff und zu $\frac{4}{5}$ aus dem nicht brennbaren, die Verbrennungstemperatur also stark herabsetzenden Stickstoff). Sauerstoff ist, außer in der Luft, im Wasser und in vielen anderen Stoffen enthalten, aus denen er auf verschiedenste Weise gewonnen werden kann. Er wird jedoch für Industriezwecke in großen Mengen, von einigen nebensächlichen chemischen Verfahren abgesehen, hauptsächlich auf zweierlei Art erzeugt: durch Elektrolyse (s. Abschnitt Wasserstoff) und weitaus überwiegend durch Trennung verflüssigter Luft.

Sauerstoff ist 1,105mal schwerer als Luft. 1 m³ O (O ist das chemische Zeichen für Sauerstoff und rührt her vom lateinischen Oxygenium = Säurebildner) wiegt bei normalem Luftdruck und bei 0° Temperatur etwa 1,43 kg, verflüssigt 1,33 kg.

Die chemischen Verbindungen des Sauerstoffs mit den Metallen bezeichnet man als Oxyde.

Für Schweiß- und Schneidzwecke werden in Deutschland rund 50000000 m³ Sauerstoff im Jahre verbraucht, was zweifellos den besten Beweis für die außerordentlich umfangreiche Anwendung der Gasschweißung liefert. Obwohl sich der Schweißereibetrieb mit der Herstellung des Sauerstoffs nur selten zu befassen hat, besteht für die Sauerstoffgewinnung doch meist ein großes Interesse aller, die damit zu arbeiten haben, weshalb hierauf kurz eingegangen werden soll.

Die chemische Darstellung des Sauerstoffs hat, von der elektrochemischen (elektrolytischen) Gewinnung aus Wasser abgesehen, nur noch geschichtlichen Wert. Man hat sich vielmehr hauptsächlich das bedeutendste Sauerstofflager, die atmosphärische Luft, als Quelle der physikalischen Gewinnung des Sauerstoffs nutzbar gemacht. Seine Herstellung auf diesem Wege kann nur fabrikmäßig geschehen (in besonderen Sauerstoffwerken), und zwar derart, daß man ihn aus dem mechanischen Gasgemisch der Luft auch mechanisch austreibt. Die Luft wird verflüssigt, indem man sie stark verdichtet (komprimiert) und dann plötzlich entspannt (expandiert), und zwar von etwa 200 at auf 1 at und weniger. Infolge dieser Entspannung wird Kälte entwickelt, die ihrerseits dazu benutzt wird, neu zuströmende Mengen verdichteter Luft in Gegenstromschlangen vorzukühlen, so daß diese stark abgekühlte Luft, wieder entspannt, noch tiefere

¹ Es sei an dieser Stelle ausdrücklich darauf hingewiesen, daß Sauerstoff niemals an Stelle von Preßluft, Kohlensäure u. dgl. zum Ausblasen, Reinigen und Anlassen von Motoren benutzt werden darf. Dies hat schon häufig zu schweren Explosionen Veranlassung gegeben.

Temperaturen erzeugt, bis schließlich die Luft bei etwa -140° (der sog. kritischen Temperatur) flüssig wird. Im Lufttrennungsapparat wird die nunmehr flüssige Luft in Sauerstoff und Stickstoff getrennt, da der Stickstoff (-196°) einen um 13° niedriger liegenden Siedepunkt hat als der Sauerstoff (-183°) und demnach zuerst gasförmig entweicht, eine sauerstoffreichere Flüssigkeit zurücklassend. Diese wird nun beim Verdampfen durch geeignete Mittel (Rektifikation) mehrmals

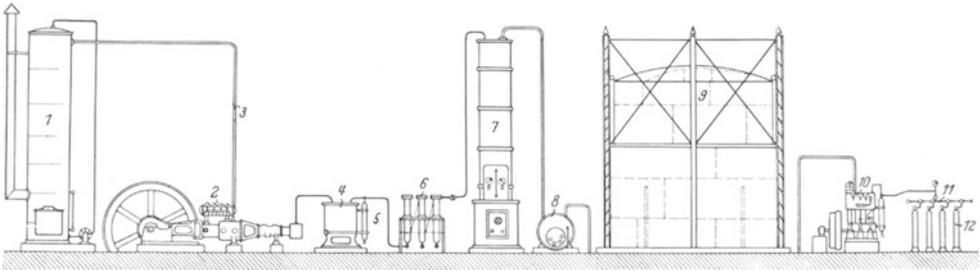


Abb. 21. Grundform einer Sauerstofferzeugungsanlage.

von Stickstoff gereinigt, bis endlich ein fast chemisch reines Sauerstoffgas¹ (mit $97 \div 99,5$ vH Sauerstoff) gewonnen wird, das in Stahlflaschen, auf 150 at verdichtet, in den Handel gelangt.

Die Einrichtung einer Luftverflüssigungs- und Sauerstoffgewinnungsanlage ist in Abb. 21 grundsätzlich veranschaulicht. Der Luftkompressor 2 saugt die Luft, nachdem diese im Apparat 1 von Kohlendioxid befreit wurde, durch das Rohr 3 an und drückt sie in hochverdichteter Form (bei normalem Arbeitsgang mit etwa 80 at, zu Betriebsbeginn mit 150 at und mehr) durch die Flaschenbatterie 6 zum Verflüssigungsapparat 7. Die Kühlung der beim Verdichten stark erhitzten Luft erfolgt in Kühlschlangen, die im Kühler 4 untergebracht sind. Die Abscheidung von Öl erfolgt in der Abscheideflasche 5. Die Stahlflaschen 6 enthalten ein chemisches Präparat (meist

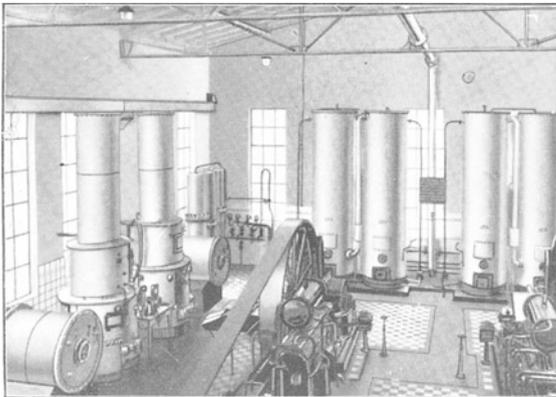


Abb. 22. Sauerstoffgewinnungsanlage.

Kali- oder Natronlauge), das die Aufgabe hat, die verdichtete Luft zu trocknen und vornehmlich von den letzten Resten an Kohlendioxid zu befreien. Der wichtigste Bestandteil der gesamten Anlage ist der Trennungsapparat 7. In ihm findet die Verflüssigung und Trennung der Luft in ihre beiden Bestandteile Sauerstoff und Stickstoff (von Nebengasen abgesehen) statt. Erster tritt in gasförmigem Zustand und mit normaler Temperatur rechts oben aus und bewegt sich durch die Gasuhr 8, woselbst die erzeugte Sauerstoffmenge gemessen wird, zum Sammelbehälter (Gasometer) 9. Von hier wird der Sauerstoff durch den Sauerstoffabfüllkompressor 10

¹ Elektrolytisch gewonnener Sauerstoff darf (nach der Polizeiverordnung) höchstens 4 vH Wasserstoff als Verunreinigung enthalten.

angesaugt und in die Stahlflaschen 12 hineingedrückt, die an die Verteilerleitung 11 angeschlossen sind. Von einer näheren Besprechung des Trennungsapparates muß hier Abstand genommen werden, da sich dessen Wirkungsweise nicht mit kurzen Worten verständlich machen läßt. Abb. 22 zeigt eine solche Sauerstoffgewinnungsanlage, die für eine stündliche Leistung von 120 m³ Gas bestimmt ist. Selbstverständlich konnte hier nur eine einfache Anlage in groben Zügen geschildert werden.

Angeichts des hohen Gewichtes der Stahlflaschen und des in ihnen zum Versand kommenden geringen Gewichtes des Sauerstoffs, ging schon lange das Bestreben dahin, den Sauerstoff nicht gasförmig, sondern flüssig dem Verbraucher anzuliefern und damit an Frachtkosten zu sparen. Flüssiger Sauerstoff wird heute in Tankwagen von großem Fassungsvermögen zugestellt, beim Verbraucher in besondere Behälter, sog. Vergaser (Kalt- und Warmvergaser) umgefüllt und verdampft in diesen selbsttätig. Der gasförmige Sauerstoff wird ebenfalls selbsttätig in ortsfeste Flaschen (Batterien) geleitet, diesen über einen Druckregler entnommen und den einzelnen Schweißstellen durch Rohrleitungen zugeführt. Da diese Gesamtanordnung einer Flaschenbatterie und besonderer Einrichtungen bedarf, kann Flüssigsauerstoff nur im ortsfesten Betriebe und nicht auf Montage verwendet werden. Ein besonderer Vorteil des Flüssigsauerstoffs ist seine Wasserfreiheit, während, wie noch gezeigt werden soll, gasförmig gelieferter Sauerstoff stets mehr oder weniger große Wassermengen enthält.

2. Brenngase.

Wasserstoff. Wasserstoff, ein ebenfalls ungiftiges, geschmack-, geruch- und farbloses Gas, ist im Gegensatz zum Sauerstoff brennbar; er verbrennt mit schwachbläulicher Flamme. Das chemische Zeichen für dieses Gas ist H, herührend vom Anfangsbuchstaben seines lateinischen Namens Hydrogenium = Wasserbildner. 1 m³ H wiegt nur 90 g (0,09 kg), er ist demnach 15,9mal leichter als ein gleicher Raumteil O.

Wasserstoff kann zunächst durch Zersetzung des Wassers (einer chemischen Verbindung H₂O von zwei Teilen Wasserstoff [H] und einem Teil Sauerstoff [O]) gewonnen werden, und zwar unter Zuhilfenahme des elektrischen Stromes (Elektrolyse). Das in besonderen Gefäßen (Elektrolyseuren) befindliche Wasser wird dem Durchgang des elektrischen Stromes ausgesetzt, wobei sich an den —-Polplatten (den negativen Elektroden) Wasserstoff, an den +-Polplatten (den positiven Elektroden) Sauerstoff abscheidet. Beide Gase werden durch Diaphragmen (Scheidewände) getrennt aufgefangen, gereinigt, in Gasbehältern gesammelt und ebenfalls in Stahlflaschen auf 150 at verdichtet. Bei dieser Wasserzersetzung wird also als Nebenerzeugnis Sauerstoff gewonnen. Der größte Teil des in den Handel kommenden Wasserstoffs wird nicht durch Zersetzung reinen Wassers, sondern durch Zersetzung von Chlorkalium- (Steinsalz-) Lösungen mittels Elektrolyse gewonnen.

Dieser Gewinnungsart aus dem Wasser stehen neuerdings eine Reihe wirtschaftlichere, teils chemische, teils physikalische Verfahren zur Seite, die mehr oder weniger stark in Aufnahme gekommen sind und kurz gestreift werden sollen.

Das rein physikalische Linde-Frank-Caro-Verfahren beruht darauf, Wassergas unter Druck und Abkühlung (ähnlich der Luftverflüssigung) in seine Bestandteile zu zerlegen. Wassergas setzt sich zusammen aus rund 50 vH H, 40 vH CO (Kohlenoxyd) und geringeren Mengen Kohlensäure (CO₂) und Stickstoff (N).

Das Retortenkontakt- und das Kontaktdauerverfahren sind chemischer Natur. Ersteres beruht darauf, hochoberhitzten Wasserdämpfen (H₂O, wie

die Formel für Wasser) durch den Einfluß glühenden Eisens den Sauerstoff (O) zu entziehen, wobei neben der Bildung einer Eisen-Sauerstoffverbindung (Fe_2O_3 , Eisenoxyd) Wasserstoff (H) frei wird. Beim zweiten Verfahren wird Kohlenoxyd (CO) mit Hilfe von Wasserdampf zu Kohlensäure oxydiert, wobei der Wasserstoff des Wasserdampfs frei wird. Es verbindet sich demnach der O des H_2O mit dem CO zu CO_2 und H_2 bleibt zurück. Auf weitere Wasserstoffgewinnungsarten, wie das Dekarburations- und das Schachtverfahren kann hier nicht eingegangen werden.

Ein Gemisch von zwei Teilen Wasserstoff und einem Teil Sauerstoff heißt Knallgas, weil es entzündet unter lautem Knall explodiert. Die untere Explosionsgrenze eines Wasserstoff-Luftgemisches liegt bei 9 vH Wasserstoff und 91 vH Luft, die obere bei 68 vH Wasserstoff und 32 vH Luft. Nach der Polizeiverordnung darf Wasserstoff bis zu 2 vH Sauerstoff als Verunreinigung enthalten.

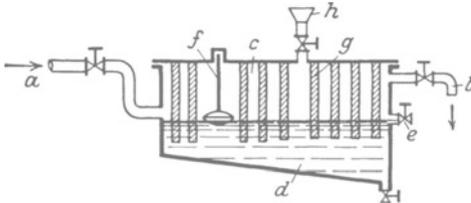


Abb. 23. Benzolvorlage (Karburator).

Leuchtgas. Das weniger für Schweißzwecke als für Schneid- und Lötzwecke geeignete Leuchtgas wird in Gasanstalten durch Vergasung von Steinkohlen in Retorten oder Kammeröfen (Erhitzung unter Luftabschluß = trockene Destillation) erzeugt. Leuchtgas — Steinkohlengas, Stadtgas — ist ein im wesentlichen aus Wasserstoff und Kohlenwasserstoffen (CH_4 und C_2H_4 ,

chemische Verbindungen von Wasserstoff mit Kohlenstoff) bestehendes Gas von bekanntem Geruch. Neben Teer und Ammoniak wird vor allem Koks als Nebenprodukt gebildet. Nach gründlicher Reinigung wird das Gas in großen Gassammlern aufgespeichert und durch Rohrleitungen den einzelnen Verwendungsstellen zugeführt. Neben anderen Mängeln besitzt Leuchtgas eine sehr verschiedene Zusammensetzung an den verschiedenen Plätzen und ist erheblichen örtlichen Druckschwankungen unterworfen. Infolge seines Gehalts an Kohlenoxyd (CO) ist Leuchtgas giftig. Gas-Luftgemische sind explosiv, wenn sie mindestens 6÷8 vH Leuchtgas enthalten, und bleiben es bis zu einem Mischungsverhältnis von 22 vH Leuchtgas und 78 vH Luft. Demnach sind verhältnismäßig große Luftmengen erforderlich um Leuchtgas explosibel zu machen.

Leuchtgas ist kohlenstoffarm, reich an Wasserdämpfen und Schwefelverbindungen und hat demnach für Schweißzwecke ungünstige Eigenschaften. Man hat neuerdings Hilfsmittel ersonnen, um Leuchtgas wirksam und auf einfachem Wege mit Kohlenstoff anzureichern (zu karburieren, wie man sagt). Eine solche Vorrichtung ist in Abb. 23 im Schnitt dargestellt. Dem mit abnehmbarem Deckel versehenen Blechkasten *d* wird bei *a* in Richtung des Pfeils Leuchtgas zugeführt. Bis zur Höhe der Mündung des Rohres *a* ist der Kasten mit Benzol angefüllt. Benzol (C_6H_6) hat einen hohen Kohlenstoffgehalt und dient deshalb als Karburationsmittel. Um dem durchstreichenden Leuchtgas eine größere Berührungsfläche mit dem flüssigen Benzol zu geben, sind eine Anzahl am Deckel befestigte Dochte *g* eingehängt, *f* ist ein Schwimmer, *h* der Fülltrichter, *e* ein Kontrollhahn und *b* die Ausgangsröhre für das kohlenstoffangereicherte Gas. Das Gefäß wird zwischen Rohrnetz und Sicherheitswasservorlage geschaltet (Abb. 9). Die Vorlage wird demnach bei *b* angeschlossen.

Die Leistungszahlen für die Schweißung mit karburiertem Gase sind jedoch immer noch viel zu unwirtschaftlich (2-mm-Blech etwa 4÷5 m/h bei ~215 l Gasverbrauch je m Naht). Auch Versuche durch gesteigerten Gasdruck (2 atü) die Ausströmungsgeschwindigkeit am Schweißbrenner und damit die Flammen-

temperatur zu erhöhen, sind praktisch nicht befriedigend ausgefallen. In den letzten Jahren wurden neue Anstrengungen gemacht, Leuchtgas als Schweißgas wettbewerbsfähig zu machen, indem man es mit Azetylen mischte (etwa 30 vH Azetylen). Nach Auffassung der Verfasser sind alle diese Bestrebungen ziemlich aussichtslos und werden dem Leuchtgas das Schweißgebiet kaum erschließen können.

Methan und andere Kohlenwasserstoffe. Außer dem elementaren, d. h. einstoffigen Wasserstoff, sind alle für Schweißzwecke in Frage kommenden Brenngase Kohlenwasserstoffe, d. h. Verbindungen zwischen Kohlenstoff und Wasserstoff. Demnach auch Äthylen, Methan, Azetylen usw. Das zu 40 vH im Leuchtgas enthaltene Äthylen (C_2H_4 , „ölbildendes Gas“) und das zu etwa 5 vH im Leuchtgas vorhandene Methan (CH_4 , Grubengas) werden ebenfalls gasförmig, in Flaschen auf 150 at verdichtet, in den Handel gebracht; eine 40-l-Flasche enthält dann, wie bei H und O, rund 6 m^3 Gas. Äthylen und Methan werden wegen ihrer geringen Flammentemperatur (bis zu 2000°) weniger zu Schweißzwecken als wegen ihres sparsamen Verbrauchs zu Schneidzwecken verwendet. Der Explosionsbereich liegt für Äthylen zwischen $4,0\div 14,7$ vH (Rest Luft), für Methan zwischen $6,0\div 13,0$ vH (Rest Luft). Um die Heizkraft des nicht gut geeigneten Methans zu steigern, wird es häufig mit Wasserstoff oder mit Äthylen, seltener mit Azetylen gemischt und kommt dann unter verschiedenen Bezeichnungen, wie Methan B, Methan L usw., in den Handel.

Zu den sog. ungesättigten Kohlenwasserstoffen gehören außer Äthylen noch Propylen (C_3H_6), Butylen (C_4H_8) und Allylen (C_3H_4), die als Schweißgase praktisch fast gar keine Bedeutung haben, während das weitaus wichtigste Azetylen (und das Benzol), das hierher gehört, besonders besprochen wird.

Zu den gesättigten Kohlenwasserstoffen gehören außer Methan noch Äthan (C_2H_6), Propan (C_3H_8), Butan (C_4H_{10}), Pentan (C_5H_{12}) und Hexan (C_6H_{14} , Benzin), von denen nur dem letzteren und Propan geringe, den anderen gar keine schweißtechnische Bedeutung zukommt.

Blaugas. Gewöhnliches Leuchtgas läßt sich im allgemeinen nicht, wie die anderen bisher genannten Gase, in Flaschen unter hohem Druck verdichten, da es sich beim Zusammenpressen zersetzt. Erst ganz kürzlich ist dies nach einem besonderen Verfahren gelungen. Nach den Patenten von Blau wird eine dem Leuchtgas sehr ähnliche, indessen weniger giftige Gasart dargestellt, und zwar durch trockene Destillation von Rohpetroleum, von Abfallerzeugnissen der Stein-, Braunkohlen- und Ölindustrie. Dieses Blaugas wird in Stahlflaschen als leichtbewegliche, wasserhelle Flüssigkeit unter Druck verschickt, die bei Entspannung auf niederen Druck (durch Druckminderventile) gasförmigen Zustand annimmt. Abgesehen von der etwas umständlichen Entspannung des flüssigen Gases aus den Stahlflaschen in dauernd bereitstehende Gaskessel oder Gasflaschen (B in Abb. 11), ferner abgesehen von dem viel geringeren Heizwert gegenüber dem Azetylen, kommt Blaugas als ernstlicher Wettbewerber gegenüber dem Azetylen auch deshalb nicht in Frage, weil es nur in Augsburg hergestellt wird. Die hohen Hin- und Rückfrachten für die Flaschen schließen die Verwendung dieser Gasart als Schweißgas in den meisten Fällen aus. Eine 40-l-Flasche enthält bei 100 at Druck rund 16 m^3 Gas. 1 kg flüssiges Blaugas entspricht 772 l luftförmigen Gases; demnach wiegt 1 l Gas etwa 1,29 g. Die untere Explosionsgrenze eines Blaugas-Luftgemisches liegt bei etwa 4 vH Blaugasgehalt.

Benzol. Von den flüssigen Kohlenwasserstoffen, die für Schweißzwecke Verwendung finden, soll nur der wichtigste, das Benzol (C_6H_6), angeführt werden, obwohl auch die Schweißung mit Petroleum, Benzin u. a. Brennstoffen möglich ist. Benzol (Phenylwasserstoff, Steinkohlenbenzin) ist eine mit stark rußender

Flamme brennende, leichtbewegliche, stark lichtbrechende Flüssigkeit von üblem Geruch. Die Einatmung des Benzoldampfes verursacht vielfach Schwindel, Brech- und Hustenreiz, Trunkenheit und ähnliche Zustände. Benzol wird in den Gasanstalten oder Zechenkokereien bei der Destillation des Steinkohlenteers gewonnen, und zwar insbesondere aus dem sog. leichten Öl (Vorlauf). Dem Benzolschweißbrenner (Abb. 10 E) wird es unter Druck zugeführt und gelangt im Brenner selbst zur Vergasung. Die Explosionsgrenzen eines Benzoldampf-Luftgemisches liegen eng zusammen; die obere beträgt 6,7 vH, die untere 2,6 vH Benzol (Rest Luft). Die Explosionsgrenzen der nur sehr selten angewandten flüssigen Brennstoffe Benzin und Spiritus liegen wie folgt: Benzin 4,8 ÷ 2,5 vH Spiritus 13,6 ÷ 4,0 vH, Rest Luft.

Azetylen. Wenn man Kalziumkarbid mit Wasser in Berührung bringt, entsteht Azetylen, volkstümlich auch wohl „Karbidgeas“ genannt. Da beide Rohstoffe überall zu haben sind, ist die Erzeugung des aus ihnen gebildeten Azetylens auch allorts möglich. So stellt schon die alte, heute überlebte Fahrradlaterne in gewissem Sinn eine kleine, überhaupt die kleinste, selbständige Azetylen-Gasanlage dar. Der Verbrauch an Azetylen als Schweißgas beträgt in Deutschland jährlich etwa 30000000 m³. Daraus läßt sich ermessen, welche Bedeutung dieser Gasart zukommt, wenn man zum Vergleich den Verbrauch an anderen Schweißgasen gegenüberstellt. Dieser beträgt für Wasserstoff etwa 1500000 m³, für alle übrigen Gase zusammen nur rund 300000 m³ im Jahr. Aus diesem Grunde, und vor allem deshalb, weil das Azetylen vom Verbraucher meist selbst erzeugt wird, müssen wir uns mit dieser Gasart eingehender befassen.

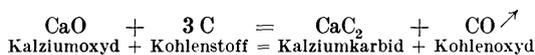
Kalziumkarbid (CaC₂, aus einem Teil Kalzium [Ca] und 2 Teilen Kohlenstoff [C] bestehend) hat ein spezifisches Gewicht von 2,22. Die elektrische Leitfähigkeit entspricht annähernd der der Kohle. Reines CaC₂ hat durchsichtige weiße Kristalle. Karbid entsteht, wenn man ein mechanisches Gemisch von etwa 100 Teilen Kalkstein (CaCO₃, kohlen-saurer Kalk) und 60 ÷ 65 Teilen Kohle der hohen Temperatur des elektrischen Lichtbogens aussetzt. Theoretisch sind für 64 kg reines CaC₂ erforderlich: 56 kg gebrannter Kalk (rein), 36 kg reiner C, wobei 28 kg reines CO gebildet werden. Das theoretische Verhältnis wäre demnach 875 kg CaCO₃ : 562,5 kg C.

Die Herstellung erfolgt in besonderen elektrischen Schmelzöfen mit einem Energieaufwand bis zu 25000 PS je Ofen und außerordentlich hohen Stromstärken bei nur 40 ÷ 100 V Spannung. Beim Zusammenschmelzen der beiden Rohstoffe Kalkstein und Kohle wird dann neben gasförmig abziehendem Kohlenoxyd Karbid gewonnen, das man absticht und in Blöcken erstarren läßt.

In die Form einer chemischen Gleichung gebracht, läßt sich der Vorgang im elektrischen Ofen folgendermaßen erläutern:



d. h. zunächst zerfällt der kohlen-saure Kalk in Kalziumoxyd und Kohlen-säure und in der zweiten Stufe:



wird durch die Anwesenheit von überschüssigem Kohlenstoff das Kalziumoxyd reduziert zu Kalziumkarbid. Das daneben gebildete Kohlenoxyd kann zur Vorwärmung des Rohstoffgemisches dienen.

Entsprechend der bisherigen Konstruktion der Azetylenentwickler (Gas-erzeuger) kommt das Karbid in verschiedenen Größen in den Handel. Technisches Karbid ist von blaugrauem bis grauschwarzem, kalksteinartigem Aussehen und

ein kristalliner, steinharder, nicht brennbarer, sehr hygroskopischer (d. h. Feuchtigkeit anziehender) Körper, der außer in Wasser in allen Lösungsmitteln unlöslich ist. Auch Säuren greifen Karbid nur wenig an. Der jährliche Karbidverbrauch für Schweißzwecke beläuft sich in Deutschland auf etwa 100000 t.

Normale Karbidgrößen (Körnungen) sind:

- 1 ÷ 4 mm granuliertes Karbid,
- 4 ÷ 7 mm feinkörniges Karbid,
- 8 ÷ 15 mm Karbid in Haselnußgröße,
- 15 ÷ 25 mm Karbid in Walnußgröße,
- 25 ÷ 50 mm Stückkarbid mittelgroß,
- 50 ÷ 80 mm Stückkarbid in Faustgröße.

Vorweg sei auf die immer bessere Eignung des Stückkarbids gegenüber den anderen Körnungen hingewiesen. Auf gewisse Schattenseiten, die dem Feinkornkarbid anhaften, wird später noch eingegangen. Da außerdem die je Kilogramm Karbid erzeugte Gasmenge beim Stückkarbid größer ist, d. h. die Vergasungswertigkeit höher liegt als beim Feinkornkarbid, wird schon aus diesem Grunde erstem häufig der Vorzug gegeben. Überdies ist auch der rasche Zerfall des feinkörnigen Karbids (infolge der erheblich größeren Gesamtoberfläche, die es gegenüber einer gleichen Gewichtsmenge Stückkarbid dem Einflusse der Luftfeuchtigkeit aussetzt) ein nicht zu unterschätzender Nachteil.

Nach der Karbidkörnung richtet sich auch die Vergasungsgeschwindigkeit, sie wächst mit abnehmender Korngröße und beträgt im Mittel bei Größe:

- 1 ÷ 4 mm 3 min/kg, 98,2 vH in 1 min,
- 4 ÷ 7 mm 10 min/kg, 98,4 vH in 2 min,
- 8 ÷ 15 mm 13 min/kg, 97,3 vH in 3 min,
- 15 ÷ 25 mm 14 min/kg, 95,9 vH in 4 min,
- 25 ÷ 80 mm 24 min/kg, 85,8 vH in 7 min.

Der Versand des Karbids erfolgt in dünnwandigen Blechtrommeln mit einem Inhalt von 50, meist jedoch 100 kg. Die Deckel dieser Trommeln sind in Deutschland gefalzt. Anderorts etwa aufgelötete Deckel (ein heute seltener Fall) dürfen keinesfalls durch eine Flamme, sondern nur durch nicht funkenreißende Werkzeuge (Kupferstab und Holzhammer) vorsichtig geöffnet werden, da sonst Explosionsgefahr besteht. Die Aufbewahrung des Karbids darf nicht in Kellerräumen und muß im Trocknen erfolgen, weil es, wie bereits betont, sehr hygroskopisch ist und sich bei Einwirkung von Feuchtigkeit sofort Azetylgas entwickelt, das, mit Luft gemischt und durch irgendeinen Zufall zur Zündung gebracht, zu heftigen Explosionen führen kann (daher eben Anwendung von brennenden oder glühenden Gegenständen beim Deckelöffnen streng verboten). Schon durch Luftfeuchtigkeit allein wird Karbid zersetzt, weshalb es empfehlenswert ist, geöffnete Karbidbüchsen mit einem kleinen Sandsack abzudecken oder, was noch besser ist, den Trommelinhalt in einen besonders zur Karbidaufbewahrung gewählten, luftdicht verschließbaren Behälter (Milchkannen ähnlich) umzufüllen. Diesem Behälter entnimmt man dann immer nur die jeweils erforderliche Menge Karbid und verschließt ihn sofort wieder. Praktisch ist auch die Anordnung eines über den Rand der Trommel greifenden Deckels, wie dies in Abb. 24 skizziert ist. Neuerdings sind auch Deckel im Handel, die ein luftdichtes Abschließen der Trommelöffnung, z. B. durch Bajonettverschluß, gewährleisten. Die Trommeln sind erhöht, auf

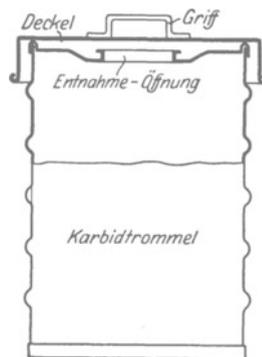


Abb. 24. Deckel für Karbidtrommeln.

einem hölzernen Podest zu lagern, damit sie im Falle eines Wasserrohrbruchs oder sonstwie nicht dem Zutritt von Wasser ausgesetzt sind.

In Werkstätten darf nur 1 Trommel (100 kg) Karbid gelagert werden, in Verkaufsräumen 100÷200 kg. Größere Mengen dürfen nur in besonderen Lageräumen (100÷1000 kg) gelagert werden. Bei Lagerung in Schuppen und im Freien sind auch Mengen über 1000 kg zulässig, wenn für gute Lüftung und Schutz dieser Lagerplätze gegen offenes Feuer und Zutritt von Wasser gesorgt ist. Leere Trommeln sind sorgfältig von Karbidstaub zu säubern; sie dürfen nicht als Schweißbisch verwendet, und es darf in sie nicht mit offener Flamme hineingeleuchtet werden.

Technisches Karbid ist nie chemisch rein, sondern enthält im Mittel etwa 0,7 vH verunreinigende chemische Bestandteile. Für die Entwurfer ist insbesondere das metallische Ferrosilizium, das sich im Mittel bis zu 0,3 vH im Karbid vorfindet (mechanische Verunreinigung), insofern gefahrenbildend, als es beim Aufschlagen auf Blechwände Funken bilden und außerdem zu Betriebsstörungen im Entwickler führen kann. Die Gesamtverunreinigung des Karbids (ohne Staub) beträgt zwischen 1 und 2,5 vH. Die Menge des Karbidstaubs soll 4 vH nicht übersteigen.

Karbid ist eine Verbindung zwischen Kohlenstoff und einem Metall. So gibt es neben weniger wichtigen eine große Anzahl durch Wasser zersetzbarer Karbide, wie Natrium-, Lithium-, Barium- und Strontiumkarbid, die Azetylen liefern. Technisch kommt nur das billigste aller Karbide, das Kalziumkarbid, in Frage, wengleich es eine geringere Gasausbeute (300 l je Kilogramm) besitzt als beispielsweise das Lithiumkarbid, das je kg 580 l Azetylen gas liefert, aber zu teuer ist.

Nach den Normen des Deutschen Azetylenvereins (DAV) soll die Rohausbeute des Kalziumkarbids mindestens betragen bei:

$$\left. \begin{array}{l} 15 \div 80 \text{ mm Körnung je kg} = 300 \text{ l Azetylen} \\ 4 \div 15 \text{ mm Körnung je kg} = 270 \text{ l Azetylen} \end{array} \right\} \text{ bei } 15^\circ \text{ C und } 760 \text{ mm QS.}$$

Die Gasausbeute des Beagids (s. weiter hinten) oder des erst kürzlich auf den Markt gekommenen Patronids liegt etwas tiefer.

Azetylen (C_2H_2 , 2 Raumteile Kohlenstoff und 2 Raumteile Wasserstoff) entsteht, indem man Karbid mit Wasser in Berührung bringt. In die Form einer allgemeinen Gleichung gebracht, kann man sich ausdrücken:



Bezieht man die Umsetzung dieser beiden Stoffe auf das für uns allein wichtige und weiterhin ausschließlich gemeinte Kalziumkarbid, so entsteht — normale Temperatur vorausgesetzt — in jedem Verhältnis Azetylen nach der einfachen chemischen Gleichung:



Gesetzmäßig müssen auf beiden Seiten dieser Gleichung dieselben Gewichtsmengen auftreten, und wir ersehen aus ihr, daß 64 GwT (Gewichtsteile) Karbid mit 36 GwT Wasser zusammengebracht, außer 26 GwT Azetylen 74 GwT Kalkrückstand (Kalkhydrat, Ätzkalk, Kalziumhydroxyd) in Schlammform ergeben.

Nach dieser Gleichung läßt sich ferner bestimmen, daß 1 kg Karbid: $\frac{36}{64} = 0,562 \text{ kg} = \text{rund } 0,5 \text{ l Wasser}$ zersetzt, wobei sich $\frac{74}{64} = 1,15 \text{ kg Schlamm}$ und $0,406 \text{ kg} = 347 \text{ l Azetylen}$ entwickeln ($855 \text{ l Azetylen} = 1 \text{ kg}$; $1 \text{ m}^3 = 1,17 \text{ kg}$).

1 kg Karbid soll demnach 347 l Gas ergeben. In der Praxis kann jedoch insbesondere bei Kleinentwicklern nur mit einer Ausbeute von 250 l Azetylen auf 1 kg Karbid gerechnet werden, da einmal die Güte (Qualität) des Karbids Schwankungen unterworfen ist, zweitens durch unvergast gebliebene Stücke und durch Undichtheit in den Apparaten und Leitungen Gasverluste entstehen, und endlich, weil eine bestimmte Menge Gas (s. später) mit dem Entwicklerwasser abgeleitet wird. Man muß also rechnen: Es werden für $1000 \text{ l} = 1 \text{ m}^3$

Azetylen: $\frac{1000}{250} = 4 \text{ kg Karbid benötigt}$. Mit dieser Berechnung (Kalkulation)

kommt man, wie die Praxis gezeigt hat, gut zurecht. 100 cm^3 Azetylen enthalten 100 cm^3 Wasserstoff außer 0,108 g Kohlenstoff, und wiegen 0,117 g. Der Heizwert des Azetylens beträgt etwa 13500 WE je m^3 oder 14900 WE je kg.

Azetylen hat das spezifische Gewicht (Einheitsgewicht) 0,906 und ist demnach ein wenig leichter als die atmosphärische Luft (1,00). Mit Azetylen gefüllte Gefäße entleeren sich nicht von selbst und müssen vor Inangriffnahme von Schweiß- oder Lötarbeiten mit heißem Wasser, Kohlensäure oder Stickstoff ausgespült werden. Azetylen zeichnet sich unter allen Gasen durch seinen knoblauchartigen, starken Geruch aus (der vor allem von der Anwesenheit von Phosphorwasserstoff herrührt), ist jedoch wegen Fehlens von Kohlenoxydgas viel weniger giftig als Leuchtgas und in mäßigen Mengen eingeatmet im allgemeinen unschädlich.

Wir haben gesehen, daß zur Zersetzung von 1 kg Karbid $\frac{1}{2}$ l Wasser nötig ist; diese Wassermenge reicht allerdings nicht aus, um die beim Zersetzen des Karbids entstehende große Wärmemenge, die unter Umständen zu Explosionsgefahren Veranlassung geben kann, unschädlich zu machen. Diese Wärmemenge, die beim Umsetzen von Wasser und Karbid zu Azetylen frei wird, wie man sich technisch auszudrücken pflegt, beträgt rund 400 WE¹ je kg vergastem Karbids. Bei Besprechung der Azetylenentwickler haben wir auf diesen Umstand noch näher einzugehen.

Verunreinigungen des Azetylens. Alles aus handelsüblichem Karbid erzeugte Azetylen ist nie chemisch rein, sondern stets durch verschiedene Stoffe chemisch und mechanisch verunreinigt. Diese Verunreinigungen rühren zum Teil von den Ausgangsstoffen der Karbidfabrikation (Kalkstein und Kohle) her, können jedoch auch beim Zersetzen des Karbids selbst, je nach Güte der Azetylenentwickler, in mehr oder weniger großen Mengen gebildet werden. Solche Verunreinigungen sind, an Menge schwankend unter sich, in der Hauptsache: Schwefelwasserstoff (0,5–1,0 vH), Phosphorwasserstoff (0,03–0,08 vH), Ammoniak (etwa 0,1 vH), Siliziumwasserstoff (etwa 0,7 vH) und Wasserdampf (etwa 2 vH) (auch Kohlenoxyd, Kohlensäure, Methan und Luft). Im allgemeinen kommen nur jene Verunreinigungen in Betracht, die sich später im Gas vorfinden; die im Kalkschlamm verbliebenen Bestandteile sind für uns belanglos.

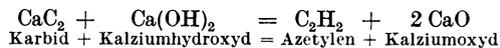
Die chemischen Verunreinigungen des Azetylens sind in allen Fällen unerwünscht, teilweise weil sie giftig sind (Schwefelwasserstoff und Phosphorwasserstoff), teilweise infolge ihrer zerstörenden Wirkungen auf Armaturen und Leitungen der Anlage (Phosphorwasserstoff), ferner wegen ihres oft schädlichen Einflusses auf die mit der Azetylenflamme bearbeiteten Metalle und schließlich, weil das diese Verunreinigungen enthaltende Gas gesteigerte Explosionsmöglichkeiten bietet. Verschiedene Verunreinigungen des Karbids bilden mit dem immer

¹ Unter WE = Wärmeeinheit oder Cal (Calorie) versteht man diejenige Wärmemenge, die notwendig ist, um die Temperatur von 1 l Wasser um 1° zu erhöhen. Angenommen, 1 l Wasser habe eine Temperatur von 18° und später, nach Erwärmung, eine solche von 68°, dann sind zu dieser Temperaturerhöhung $68 - 18 = 50 \text{ Cal}$ erforderlich gewesen.

vorhandenen Kalkschlamm seifenähnliche Erzeugnisse, die mitunter in Form starrer Häutchen an der Oberfläche des Entwicklerwassers abgeschieden werden. Mit dem Finger zerstört, machen sie den Eindruck kleiner zersplitterter Eischollen. Eine unmittelbare Gefahr für den Entwickler bilden diese Häutchen nicht; sie sind im allgemeinen belanglos. Im Schrifttum hin und wieder anzutreffende Ansichten, ein Überschuß von Phosphorwasserstoff oder überhaupt dessen Anwesenheit in der Schweißflamme sei erwünscht, sind unrichtig; praktisch ist dieser Überschuß auch gar nicht ohne weiteres herstellbar. Selbst der bei flüchtiger Überlegung scheinbar unschädliche Wassergehalt, den das Azetylen mit sich führt und der sich infolge der Zersetzungswärme aus dem Entwicklerwasser in mehr oder weniger großen Mengen bildet, ist wirtschaftlich nachteilig, da er die Wärmebilanz der Flamme insofern ungünstig beeinflusst, als er unter Wärmeverbrauch verdampft werden muß, wodurch die Flammentemperatur herabgesetzt wird. Wiß hat bei besonders ungünstigen Entwicklern (mit hoher Entwicklerwassertemperatur) bis zu 6 vH Wassergehalt im Azetylen festgestellt. Auch beim Durchgang des Azetylens durch die Wasservorlage steigt der Wassergehalt des Gases mit zunehmender Temperatur des Sperrwassers in der Vorlage (bei 6° um 0,8 vH, bei 18° um 2 vH, bei 25° um 3,2 vH, bei 30° um 4,5 vH usw.). Der hohe Gehalt des Azetylens an Wasserdampf macht sich schweißtechnisch insofern unangenehm bemerkbar, als er die Arbeitgeschwindigkeit herabdrückt. Im Mittel vermindert je 1 vH Wasserdampf die Schweißleistung um etwa 3,6 vH, so daß ein Gehalt von 3 vH Wasserdampf im Azetylen eine Minderleistung von 10,8 vH ausmachen würde. Eins der einfachsten und billigsten Mittel, dem Azetylen seinen Feuchtigkeitsgehalt restlos zu entziehen, ist Karbid, über das man das Gas hinwegleitet. Die Trocknung mit Chlorkalzium ist unwirtschaftlich. Neuerdings trocknet man Azetylen auch durch Vereisung seines Feuchtigkeitsgehalts nach dem Sulzerverfahren. In einem Röhrenkühler, der auf -5° gehalten wird, wird das im Gas enthaltene Wasser in Form von Schnee und Eis niedergeschlagen und durch Umschalten der Anlage von Zeit zu Zeit abgetaut.

Wasser wirkt sowohl als Flüssigkeit wie als Dampf (Wasserdampf von sehr hoher Temperatur und Eis wirken wenig oder gar nicht) auf das Karbid ein. Aus diesem Grunde muß auf möglichst niedrige Zersetzungstemperatur im Entwickler geachtet werden, um den Gehalt des Gases an Wasserdampf möglichst gering zu halten. Bei Abstellung der Gasentwicklung kühlt sich der Vergaser des Entwicklers ab, was eine Kondensation des gebildeten Wasserdampfs zur Folge hat. Abgesehen von der Gefahr der Bildung eines Unterdrucks im Entwickler kann das Kondenswasser größere Mengen von Azetylen in der Nachentwicklungszeit erzeugen und zu starkem Übergasen des Entwicklers Veranlassung geben. Jedes Gramm Wasser kann bis zu 0,73 g oder 0,62 l Azetylen entwickeln.

Die wasserentziehende Kraft des Karbids zieht Wasser auch aus physikalischen und chemischen Verbindungen, z. B. entzieht Karbid kristallwasserhaltigen Verbindungen das Wasser und verwandelt das Kalziumhydroxyd ($\text{Ca}[\text{OH}]_2$) bei Anwesenheit freier Feuchtigkeit in Kalziumoxyd:



Diese Tatsache ist für die Schlammgruben von Wichtigkeit, in denen unvergastete Karbidreste zersetzt werden können, weshalb für eine gute Entlüftung abgedeckter Kalkschlammgruben zu sorgen ist.

Ungleichmäßige Azetylenentwicklung. Der Verlauf der Azetylenentwicklung, d. h. der Karbidzersetzung, ist sehr ungleichmäßig. Kurze Zeit nach dem Entwicklungsbeginn setzen Unregelmäßigkeiten ein, die um so ausgeprägter sind, je weiter die Zersetzung des Karbids fortschreitet. Eine der Hauptursachen dieser

Erscheinung ist die Schwerlöslichkeit des Kalkschlammes, der das von Wasser angegriffene Karbid einhüllt und den Angriff frischer Wassermengen sehr behindert, wodurch eine Abnahme der Vergasung bedingt ist. Sobald eine solche Schlammsschicht (durch Bewegung des Wassers, durch Rutschen des Karbids usw.) vom Karbid abfällt, wird dem Wasser Gelegenheit gegeben, das plötzlich freigelegte Karbid anzugreifen und eine beschleunigte Zersetzung zu verursachen. Das gilt insbesondere für Wasserzulaufentwickler.

Man hat nun versucht, diesen Schwankungen in der Zersetzung des Karbids dadurch zu begegnen, daß man das Karbid mit indifferenten (wörtlich: gleichgültigen) Stoffen behandelt (imprägniert) und präpariert. Derartiges Karbid wird als „Beagid¹“ oder Patronid² in den Handel gebracht. Beide Körper werden in Form kleiner Walzen (Patronen) von etwa 80 mm Durchmesser und 100 mm Höhe geliefert und entstehen durch Behandlung mit zuckerhaltigen Stoffen und durch Tränkung feinkörnigen Karbids mit indifferenten, wasserunlöslichen Stoffen, wie: Öl, Petroleum, Teeröl, Schwefel, Asphalt, Fett, Stearin, Wachs, Harz usw., die die Oberfläche des Karbids gegen die Einwirkungen des Wasserdampfes schützen und damit die Nachvergasung stark verringern. Durch die Anwesenheit solcher Stoffe wird der Zerfall des Karbids an der Luft stark vermindert. Infolge des etwas höheren Herstellungspreises werden solche Karbidpräparate zur Zeit nur für bewegliche Entwickler verwendet. Beagid kostet zur Zeit etwa 33 RM. je 100 kg, während gewöhnliches Karbid nur 24 RM. kostet. Die Beagidapparate haben sich vorwiegend als kleinere Werkstatt- und Montageentwickler gut eingeführt. Die Gasausbeute aus Beagid ist etwas geringer als die des Karbids. Wenn man für Karbid eine normale Ausbeute von 300 l je Kilogramm annimmt, so beträgt diese unter sonst gleichen Voraussetzungen (760 mm QS, 15° C) beim Beagid 280 l je Kilogramm, beim Patronid 240 l je Kilogramm.

Sonstige Verwendung des Azetylens. Azetylen ist auch der Ausgangsstoff für die synthetische Herstellung sehr wichtiger anderer Stoffe, was nur nebenbei angedeutet sei. Mit Hilfe von Katalysatoren wird aus C_2H_2 Azetaldehyd gewonnen und hieraus durch katalytische Hydrierung (Wasserstoffanlagerung) Äthylalkohol, durch Oxydation Essigsäure (Abspaltung von $CO_2 + H_2O$), weiterhin Kunst- und Preßstoffe, synthetischer Kautschuk (Buna) usw. Neuerdings wird C_2H_2 auch als Ausgangsstoff für die synthetische Herstellung von Azeton genommen, das als Lösungsmittel für Azetylen benötigt wird.

Nachweis der Verunreinigungen des Azetylens. Dieser ist werkstattmäßig einfach und mit billigen Mitteln zu erbringen. Mit Hilfe von Reagenzpapieren³ kann festgestellt werden die Anwesenheit von:

Schwefelwasserstoff (H_2S), indem man das Azetylen gegen ein mit Quecksilberchlorid imprägniertes (schwarz aussehendes) Fließpapier ausströmen läßt; das Papier wird weiß gefärbt. In größeren Mengen färbt H_2S die Flamme bläulich, wie Sauerstoffüberschuß.

Phosphorwasserstoff (PH_3), indem man dasselbe Papier verwendet oder eine 5prozentige Höllensteinlösung (wasserhelles Aussehen) der Einwirkung des Azetylens aussetzt; die Lösung wird, je nach dem Grade der Azetylenverunreinigung, gelb bis schwarz gefärbt. PH_3 färbt die Flamme gelblichweiß.

¹ Beagid wird in Deutschland nur von der Dr. Alex. Wacker Ges. in Lechbruck (Bayern) hergestellt. Die Bezeichnung „Beagid“ rührt her von den Anfangsbuchstaben der Bosnischen Elektr. A. G., die ursprünglich Herstellerin dieses Karbidpräparates war.

² Patronid wird hergestellt von der Fa. Wiede's Karbidwerk, Freyung.

³ Ähnlich dem in der Elektrotechnik gebräuchlichen Polreagenzpapier, unter dessen Zuhilfenahme man + - und - Pol unterscheiden kann.

Siliziumwasserstoff (SiH_4) und Ammoniak (NH_3) mittels gewöhnlichen, leicht erhältlichen roten Lackmuspapiers, das bei Vorhandensein dieser Verunreinigungen blaue Färbung annimmt.

Nach neueren Forschungen sind 0,1 vH der Verunreinigungen auf die Schweißung ohne Einfluß, erst Mengen über 1 vH führen ein Schäumen des Schmelzbads herbei.

Befreiung des Azetylens von seinen Verunreinigungen. Um Schwefelwasserstoff, Siliziumwasserstoff und Ammoniak zu entfernen, genügt schon ein gründliches Waschen des Gases in reinem Wasser, an welches die Verunreinigungen gebunden werden; allerdings nimmt das Lösungsvermögen des Wassers für Schwefelwasserstoff mit sinkender Temperatur ab (Wintermonate). Dagegen ist der schlimmste Begleiter, der Phosphorwasserstoff, ein ziemlich hartnäckiger Geselle, dem man mit besonderen Mitteln zu Leibe gehen muß. Das geschieht in besonderen, mit chemischen Präparaten angefüllten Reinigern (s. später). Die Reinigungsmassen werden entweder pulver- oder stückförmig in die Reiniger eingebracht; sie sind teils von oxydierender, teils von ausfällender Wirkung. Wird die Verunreinigung durch Oxydation zerstört, so bedient man sich meist der Chromsäurepräparate in Mischung mit geeigneten anderen Stoffen. Werden die Verunreinigungen durch Ausfällen (Umwandlung in unlösliche Stoffe) aus dem Gase entfernt, so bevorzugt man saure Metallsalze, z. B. Kupferchlorür in salzsaurer Lösung.

Bekannte Reinigungsmassen sind: Frankolin, eine sowohl stückförmig als pulverisiert erhältliche, weniger hygroskopische Masse von brauner Farbe, und das ihm ähnliche pulverförmige Heratol und Klingerit. Ferner sind noch auf dem Markte: Acagen, Karburylen, Radikal, Euflamol, Katalysol usw., von denen das letzte in Pulverform gern bei Großanlagen verwendet wird. Die stückförmigen, weißen, stark porösen und sehr hygroskopischen Chlorpräparate (z. B. Puratylen) sind aus dem Handel zurückgezogen worden, weil die Gefahr Freiwerdens von Chlor besteht. Da die Reinigungsmassen teilweise stark ätzend sind und Eisenblech angreifen, müssen die entsprechenden Reinigergefäße mit säurebeständigem Farbanstrich versehen sein.

Wie eingehende praktische Versuche ergaben, kann eine merkliche chemische Reinigung des Azetylens nur dann eintreten, wenn die Durchflußgeschwindigkeit des Gases nicht zu hoch und die Bemessung des Reinigers genügend groß ist. Demnach sind reichliche Abmessungen der Reiniger eine Grundbedingung für das Ausscheiden von Verunreinigungen des Azetylens, was aber nur bei Großentwicklern (ortsfesten Anlagen) möglich ist. Die Reiniger von Werkstättenapparaten (beweglichen Entwicklern) werden auf Grund dieser neueren Erkenntnis daher heute fast kaum noch mit chemischen Reinigungsmassen, sondern mit Koks, Kies, Schwämmen und ähnlichen mechanischen Reinigungsmitteln gefüllt, um so mehr als die praktisch vorhandenen Mengen an schädlichen Verunreinigungen die Schweißung nur in seltenen Fällen ungünstig beeinflussen.

Die Explosionsgefahr des Azetylens. Hierüber bestehen in weitesten Kreisen die verschiedensten, oft widersinnigsten Ansichten. Manche Explosion hätte bei einigermaßen vernünftiger Behandlung der Azetylanlage verhütet werden können. Da in Deutschland nur behördlich geprüfte und von sachverständiger Stelle abgenommene Azetylenentwickler Verwendung finden dürfen, hat die Explosion solcher Anlagen, soweit sie auf Konstruktionsfehler zurückzuführen war, glücklicherweise beträchtlich abgenommen. Wir möchten daher auch an dieser Stelle vor Selbstanfertigung irgendwelcher Azetylanlagen dringend warnen.

In vorschriftsmäßig konstruierten Entwicklern hergestelltes Azetylen ist unter zugelassenem Druck und bei normaler Temperatur nicht explosibel. Welche Umstände können nun die Ursache von Azetylenexplosionen sein? Zunächst muß für Erneuerung der chemischen Reinigungsmasse gesorgt werden, und zwar in gewissen Zeitabständen, wie sie von den die Entwickler liefernden Firmen vorgeschrieben werden. Weitaus wichtiger ist jedoch die Fernhaltung der Luft aus den Entwicklern, da deren Vorhandensein nicht allein eine erhöhte Explosionsgefahr an und für sich bedeutet, sondern auch die Explosionstemperatur des Gases ganz erheblich herabsetzt, d. h. Explosionen können, wenn Luft eindringt, unter bestimmten Voraussetzungen schon bei verhältnismäßig tiefen, ganz normalen Entwicklungstemperaturen eintreten. Demnach muß größter Dichtheit aller Gasentwickler und Gassammler besonderes Augenmerk zugewendet werden. Die Explosionsgrenzen von Azetylen-Luftgemischen liegen zwischen rund 3÷65 vH Azetylen, d. h. eine Mischung von 3 Teilen Azetylen und 97 Teilen Luft ist explosiv und bleibt es bis zu einem Mengenverhältnis von 65 Teilen Azetylen zu 35 Teilen Luft. Azetylen ist somit außerordentlich explosionsempfindlich; sein Explosionsgebiet ist 13,5mal größer als das des am wenigsten empfindlichen Methans, während Leuchtgas nur 4,2 und Wasserstoff 12,7mal so große Explosionsgebiete haben als Methan.

Druck, Trockenheit und zunehmende Temperatur steigern die Explosionsgefahr bedeutend. Schon bei weniger als 2 atü Druck explodiert angezündetes Azetylen ohne Gegenwart von Luft; Azetylen darf deshalb keinesfalls unter höheren Druck gebracht werden (s. gelöstes Azetylen). Beim Zerfall von 1 kg Azetylen werden 2070 WE frei. Die Explosionstemperatur beträgt etwa 2800°, der Explosionsdruck das Elfache des Anfangsdrucks. Zur Verhütung unzulässig hoher Temperaturen im Azetylenentwickler ist für gute Ableitung der beim Zersetzen des Karbids entwickelten Wärme zu sorgen. Über 70° darf die Temperatur des Entwicklerwassers nie steigen, schon nicht mit Rücksicht auf die Sättigung des Azetylens mit Wasserdämpfen, die sich bis zu dieser Temperatur in weniger schädlichen Grenzen bewegt. Bei Arbeitsüberlastung, d. h. bei Entnahme ungewöhnlich großer Gasmengen aus dazu vielleicht noch ungenügend leistungsfähigen Apparaten, kann die höchste gesetzlich zugelassene Entwicklungswärme von 100° weit über dieses Maß hinaus gesteigert und das zur Zersetzung des Karbids bestimmte Wasser zum Sieden gebracht werden. Die Kühllhaltung der Azetylenentwickler ist also mit eine der wichtigsten sicherheitstechnischen Aufgaben des Schweißers.

Die Entzündungstemperatur¹ des Azetylen-Luftgemisches liegt je nach Gemisch bei 353÷387°, Temperaturen, die normalerweise im Entwickler nicht erzeugt werden, aber durch Zufälligkeiten entstehen können. So ist ja bekannt, daß sich Karbidstaub und gelegentlich auch kleinere Karbidstückchen im Entwickler auf Rotglut erhitzen können. Bei ausgeprägtem Mangel an Entwicklungs- und Kühlwasser oder, was gleichbedeutend damit ist, bei ungenügender Ableitung der Zersetzungswärme, können sehr wohl Temperaturen von 350° und noch viel mehr entstehen, so daß bei Anwesenheit von Luft (Öffnen des Entwicklers) Explosionsgefahren vorhanden sind. Mies und Rimarski haben an glühendem Karbid Temperaturen von bis zu 1050° errechnet und auch praktisch festgestellt. Der Zerfall des Azetylens tritt um so eher ein, je trockener und wärmer es ist. Der Feuchtigkeitsgehalt des Azetylens setzt dessen Zerfallgrenze herauf, so daß der technisch unerwünschte Wassergehalt des Gases in sicherheitstechnischer Hinsicht vorteilhaft erscheint.

¹ Es ist dies die Temperatur, bis zu welcher ein Gas vorgewärmt werden muß, um mit Luft oder Sauerstoff entzündet werden zu können.

Offenes Licht und Feuer, brennender Tabak, elektrische Kontakte und Schalter, glühende Körper u. dgl. sind Azetylenanlagen auf wenigstens 3 m Abstand fernzuhalten. Bei ortsfesten Anlagen bestehen besondere Vorschriften. Azetylenentwickler, welcher Konstruktion sie auch sein mögen, dürfen für Schweißzwecke ohne Zwischenschaltung einer amtlich geprüften Sicherheitsvorlage (s. diese) unter keinen Umständen verwendet werden! Kupferne Teile (Armaturen usw.) dürfen an Azetylenanlagen nicht angebracht werden (wohl aber Kupferlegierungen), da Kupfer mit Azetylen eine äußerst explosive Verbindung ($C_2Cu_2 + H_2O$, Azetylenkupfer) eingeht. Azetylenkupfer ist ein roter, in Wasser unlöslicher Niederschlag; er bildet sich auch in Kupferrohren und ruft dann mitunter heftige Explosionen hervor, die durch Schlag oder Stoß leicht ausgelöst werden können. Auch die Azetylenide einiger anderer Metalle (Silber, Gold, Quecksilber) sind explosiv.

Weitere Schutzmaßnahmen sind in dem Abschnitte „Die Behandlung der Azetylenentwickler“ angegeben.

Gelöstes Flaschengas (Azetylen-Dissous) nach Claude und Heß. Die hervorragenden Eigenschaften des Azetylens als Schweißgas ließen bald den Gedanken aufkommen, es ähnlich dem Wasserstoff, Blaugas und anderen Brenngasen in Stahlflaschen verdichtet aufzuspeichern und somit gebrauchsfertiges Azetylen auf den Markt zu bringen. Der Jahresverbrauch an gelöstem Acetylen beträgt heute im Reiche etwa 4,5 Mill. kg. Die großen Schwierigkeiten, die sich der Verdichtung des Gases entgegenstellten, infolge seines großen Explosionsvermögens schon bei 2 atü Druck, wurden durch sinnreiche Anwendung verhältnismäßig einfacher Mittel behoben. Um lohnende Mengen Gas in Gastransportflaschen normaler Größe unterbringen zu können, machte man sich zunächst das große Lösungsvermögen des Azetons für Azetylen nutzbar. Auch andere Flüssigkeiten vermögen Azetylen zu lösen, z. B. Wasser (1 : 1,1), Kalkmilch (1 : 0,75), Benzol (1 : 4), Alkohol (1 : 6) usw. Wir kommen auf die Wichtigkeit der Lösung von Azetylen in Wasser noch zu sprechen.

Azeton ($CH_3 \cdot CO \cdot CH_3$ oder C_3H_6O , Essiggeist, Siedepunkt 57° , spezifisches Gewicht 0,795 bei 15° , Verdampfungswärme 125 WE) wird heute aus Azetylen gewonnen. Die frühere Gewinnung aus roher Essigsäure wird jetzt weniger angewandt. Azeton ist eine wasserhelle Flüssigkeit, die einen dem Essigäther ähnlichen Geruch hat. 1 l Azeton löst bei atmosphärischem Druck etwa 24 l Azetylen. Die Lösungsfähigkeit wächst entsprechend der Drucksteigerung, so daß bei 15 atü Druck 1 l Azeton etwa $24 \cdot 15 = 360$ l Azetylen gelöst aufnehmen kann. Bei der Aufnahme von 24 l Azetylen je Liter Azeton dehnt sich letztes um nur rund 5 vH = 0,05 l aus, so daß bei einem Druck von 15 atü (360 l Gas) die Ausdehnung jedes Liters Azeton etwa 80 vH ausmacht, d. h. 1 l Azeton nimmt dann einen Raum von 1,8 l ein. Mit steigender Temperatur sinkt das Lösungsvermögen des Azetons ziemlich rasch. Bei Druckentlastung, also beim Öffnen des Flaschenventils, wird das von dem flüssigen Azeton aufgesaugte Azetylen je nach Temperatur in schwankenden Mengen freigegeben, ohne daß dabei, wie bei Blaugas und flüssigem Methan, die Zwischenschaltung eines Ausdehnungsbehälters notwendig ist. Man kann sich den Vorgang am einfachsten klarmachen, wenn man dabei an eine Selterswasserflasche denkt, aus der beim Öffnen durch Druckabnahme im Flascheninnern die vom Wasser verschluckte Kohlensäure stürmisch austritt.

Die unter 1 at absolutem Druck erstmalig eingefüllte Gasmenge kann der Flasche nicht mehr entnommen werden, da sonst ein Unterdruck gebildet werden müßte. Es müssen demnach stets mindestens $16 \cdot 24 = 384$ l Azetylen in der Flüssigkeit gelöst verbleiben, die dem Verbraucher nicht in Rechnung gesetzt werden.

Als besonders nachteilige Verunreinigung des Azetons ist Wasser anzusehen. Es setzt das Lösungsvermögen des Azetons für Azetylen stark herab, und zwar genügt schon ein Wassergehalt von 2,5 vH, um das Aufnahmevermögen des Azetons für Azetylen von 24 auf 21 l herabzudrücken, weshalb das Azetylen gründlich getrocknet in die Flaschen eingefüllt wird.

Die Lösung des Azetylen in Azeton ist auch bei hohem Druck nicht explosiv, wohl aber der über der Flüssigkeit befindliche Dampf von verdichtetem Azetylen. Aus diesem Grunde müssen wirksame Zwischenträger die Ausscheidung bzw. Ansammlung solcher verdichteter Dämpfe zuverlässig verhindern, und das geschieht, indem man die Azetylenflasche mit einer Masse von großer Porosität anfüllt. Die Masse als solche hat demnach vor allem die Aufgabe, in ihren Poren das im Azeton gelöste Azetylen in möglichst feiner Verteilung aufzunehmen und dadurch die Weiterleitung eines örtlich einsetzenden Zerfalls des Gases wesentlich zu behindern oder völlig zu unterbinden. Für diesen Zweck sind verschiedene Grundkörper sowohl organischer als anorganischer Natur, mit starren und elastischen Eigenschaften einzeln wie auch in Gemischen zur Anwendung gekommen, wie z. B. Holundermark, Sägespäne (Holzschliff), Torf, Seide, Kapok, Zellstoff, Leder; Bimsstein, Tone, Holzkohle, Asbest, Silikagel (Kieselgur), Kork usw. Die porösen Massen werden entweder trocken in die Flaschen eingebracht, wie dies meist der Fall ist, oder feucht, zu einem Brei angerührt, in die Flaschen eingestampft, längere Zeit gerüttelt, nachgefüllt und im Trockenofen getrocknet, wobei das Wasser verdampft und weitere Poren in der Masse hinterläßt. Die Porosität der Massen beträgt bis zu 80 vH, d. h. das mit ihnen ausgefüllte Flascheninnere bleibt bis zu $\frac{4}{5}$ seines Raumes hohl und für Azeton und Gas aufnahmefähig. Dabei sind die kleinen Hohlräume sowohl auf die Stoffe (Füllmasse) selbst als auf die Zwischenräume zwischen diesen zurückzuführen. Das Litergewicht der Massen¹ schwankt zwischen 230 und 460 g.

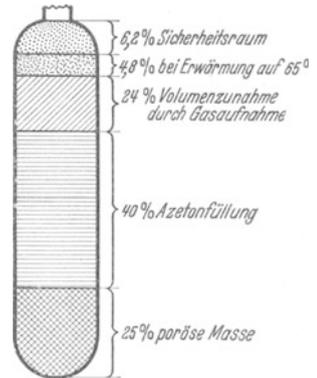


Abb. 25. Raumverteilung in einer Azetylenflasche.

Das Azetonieren, die Menge des in die Flaschen eingefüllten Azetons, macht etwa $\frac{4}{10}$ (40 vH) des Flascheninhalts aus. Eine normale (40-l-) Flasche enthält demnach rund 16 l Azeton. Etwa $\frac{6}{7}$ vH des Rauminhalts dienen als sog. Sicherheitsraum (für Raumzunahme bei Temperatursteigerung). Die prozentuale Raumverteilung² in einer Flasche für gelöstes Azetylen kommt am besten an einer grundsätzlichen Darstellung (Abb. 25) zum Ausdruck, wobei jedoch ausdrücklich darauf hingewiesen wird, daß die anteiligen Stoffe: Masse, Azeton, Gas nicht räumlich getrennt, sondern unter sich verkettet in der Flasche vorhanden sind. Nach Sättigung der Masse mit Azeton wird gut gereinigtes, trockenes Azetylgas bis zu dem höchst zulässigen Druck von 15 atü in die Stahlflaschen hineingepreßt. Flaschen von $10 \div 50$ l Wasserinhalt fassen dann $1000 \div 6600$ l Gas, eine Normalflasche von 40 l Wasserinhalt bei 15 atü rund 6000 l. Die Gasentnahme geschieht, wie beim Sauerstoff, mittels eines Druckminderventils. Eine Sicherheitsvorlage ist beim Schweißen mit Flaschenazetylen nicht erforderlich. Allerdings macht sich

¹ Im Hinblick auf die hohe Bedeutung der Schutzmassen für Azetylenflaschen dürfen nur solche Massen verwendet werden, die von der zuständigen Behörde geprüft und zugelassen worden sind. Auch die Herstellung zugelassener Massen wird laufend behördlich überwacht.

² Nach Rimarski.

hier ein anderer unangenehmer Umstand geltend, der besonders bei Entnahme größerer Gasmengen beachtet werden muß. Das Azeton wird in kleineren oder größeren Mengen, je nach Gasentnahme, vom Azetylen mitgerissen, weshalb es bei starker Gasentnahme notwendig ist, mehrere Gasflaschen zusammenzuschließen. Hierfür kann folgende Regel gelten: Einer Azetylenflasche sollen minutlich höchstens 20 l Gas entnommen werden, was einem stündlichen Verbrauch von 1200 l entspricht; doch sollte dieses Höchstmaß nicht erreicht werden. In der Praxis ist es empfehlenswert, derart zu verfahren, daß man beim Schweißen von mehr als 10 mm dicken Blechen mehrere Flaschen zusammenschließt, und zwar bei 10÷20 mm Blech 2 Flaschen, darüber hinaus 3 Flaschen, so daß jeder Flasche stündlich nicht mehr als 1000 l entnommen werden, da auch bei diesem Gasverbrauch bereits Azeton in Nebelform mitgerissen wird. Auf diese Weise ist es möglich, dem Azeton genügende Mengen Gas zu entziehen, ohne Teile von ihm selbst in unzulässigen Mengen mit in die Schlauchleitung zu reißen, woselbst es später zum Verschmieren und zur Verstopfung der Brennerbohrungen führen würde. Ähnlich dem Feuchtigkeitsgehalt des Gases wirkt auch ein Gehalt an Azeton verzögernd auf den Schweißvorgang. Nach den Wißschen Versuchen enthielt das entspannte Flaschenazetylen bei nur 100 l stündlicher Entnahme bei 20 atü Flaschendruck 1,25 vH Azetondampf, bei 10 atü 3 vH, bei 5 atü 4,5 vH und bei 1 atü Flaschendruck sogar 7,8 vH Azetondampf. Demnach nimmt der Azetongehalt des entspannten Azetylens mit fallendem Flaschendruck erheblich zu. Die Temperatur für obige Zahlen beträgt 20°. Bei höheren Temperaturen und bei höherer Entnahmegeschwindigkeit sind die Azetonmengen im entnommenen Gase noch wesentlich größer. Aus diesem Grunde müssen die Flaschen möglichst kühl gehalten werden, und es dürfen ihnen über das oben angegebene Maß hinausgehende Mengen nicht entnommen werden. Die Schweißminderleistung beträgt etwa 1,8 vH für je 1 vH Azetongehalt im Gas. Durch Überleiten des Azetylens über einen Reiniger mit einer Lösung von Natriumbisulfid läßt sich das Azeton entfernen. Die Freigabe des Azetylens aus dem Azeton bedingt Wärmeverbrauch, der zu einer inneren Abkühlung der Flasche führt. Die Abkühlung kann bei zu großer Gasentnahme bis zur äußeren Vereisung der Flasche getrieben werden, eine Erscheinung, die ebenfalls dafür spricht, die oben angeführten Entnahmeziffern nicht zu überschreiten.

Schon bei ordnungsmäßiger Gasentnahme werden jeder Azetylenflasche während ihrer völligen Entleerung im Mittel etwa 350 cm³ Azeton entzogen, die vom Füllwerk zwecks Herstellung des normalen Ladungsvermögens ersetzt werden müssen. Neben anderen ist dies auch ein Hauptgrund, weshalb, um weitere Azetonverluste zu vermeiden, ein guter Verschuß des Flaschenventils nach Arbeitsbeendigung und vor Versand der entleerten Flasche zu beachten ist. Ungewöhnliche Verluste an Azeton werden dem Verbraucher vom Füllwerk in Rechnung gestellt.

Die Flaschen sind vorsichtig zu behandeln und dürfen weder geworfen noch gestoßen werden, da sich sonst in der Flasche größere Hohlräume bilden können, die sich mit explosiblem verdichteten Azetylen anfüllen. Flaschen ohne große Hohlräume haben den bedeutenden Vorteil, daß ihre Füllmassen Flammrückschläge glatt zum Stillstand bringen und einen Zerfall des Gases in der Flasche verhindern, was sonst nicht der Fall wäre.

Es sei betont, daß flüssiges Azetylen (bei 22 atü Druck und 0° wird Azetylen flüssig) in der Technik nicht verwendbar ist und nicht hergestellt werden darf; es ist außerordentlich explosiv und gilt laut Gesetz als Sprengstoff. In den Stahlflaschen ist es, worauf immer wieder hingewiesen werden muß, nur gasförmig gelöst enthalten.

Weiteres bezüglich der Behandlung und Beschaffenheit der Gasflaschen folgt im nächsten Abschnitt.

Eine übersichtliche Darstellung einer Erzeugungsanlage für gelöstes Azetylen zeigt Abb. 26. Im Vordergrund links befinden sich die beiden Azetylenentwickler, dahinter der Gassammler, hinten links an der Rückwand die chemischen Reiniger und die Trockner, daneben eine Trockenflaschenbatterie und davor der Azetylenabfüllkompressor. Entlang der rechten Seitenwand sieht man die Abfüllrampe

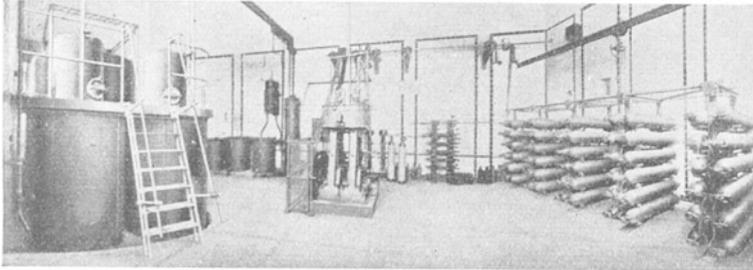


Abb. 26. Erzeugungsanlage für gelöstes Azetylen.

mit den nebeneinandergeschalteten Flaschenbatterien für gelöstes Azetylen. In größeren Azetylenwerken sind Entwicklerraum, Kompressoren- und Abfüllraum getrennt.

B. Azetylanlagen, Schweißgeräte und deren Behandlung.

1. Stahlflaschen für verdichtete Gase.

Die Stahlflaschen. Da die wirtschaftliche Selbsterzeugung der zum Schweißen und Schneiden erforderlichen Gase nur sehr selten möglich und vor allem an bedeutenden Verbrauch gebunden ist, sind die weitaus meisten Betriebe, selbst größere Schweißereien, für den Bezug von Sauerstoff, Wasserstoff usw. auf besondere Werke angewiesen. Mit Rücksicht auf den hohen Füllungsdruck, den die in diesen Gaswerken gefüllten Gastransportflaschen auszuhalten haben, wird für solche Stahlflaschen nur hochwertiger Baustoff verwendet. Die Verwendung von vergüteten Leichtmetallen, z. B. von Lantal, als Flaschenbaustoff scheint aussichtsreich zu sein, ist aber zur Zeit noch nicht spruchreif. Der Inhalt der Flaschen wird

Tabelle 7.

Rauminhalt der Flasche in l Wasser	Abmessungen der Flasche		Inhalt an Gas (O) in l bei 150 at	Gewicht der Leerflasche in kg
	Höhe	Durchmesser in mm		
1,2	410	85	180	3
2,2	570	90	330	5
5,5	650	140	825	14
10,5	1000	140	1600	21
33	1550	200	5000	60
40	1800	200	6000	73
50	2130	200	7500	85

nach ihrem Wasserfassungsvermögen bestimmt. Je nach ihren Abmessungen fassen die Flaschen 1÷50 l Wasser (DIN 4664). Im Schweißereibetriebe finden ziemlich ausschließlich die Normalflaschen mit 40 l Wasserinhalt Verwendung, die bei einem Durchmesser von etwa 200 mm eine Höhe von etwa 1800 mm haben. Solch eine Flasche nimmt bei 150 at Füllungsdruck 6000 l = 6 m³ verdichtetes Gas auf (gasförmig, nicht flüssig wie Kohlensäure oder Blaugas); Gewicht der Flasche leer: etwa 73 kg, mit Sauerstoff gefüllt etwa 81 kg. 1 m³

Sauerstoff wiegt 1,43 kg, 6 m³ wiegen demnach 8,58 kg; das Gesamtgewicht wäre mithin $73 + 8,58 = 81,58$ kg. Da Wasserstoff nur 90 g je m³ wiegt, ergibt sich bei der Vollflasche ein Gewicht von $73 + 0,540 = 73,54$ kg. Annähernde Abmessungen und Gewichte verschiedener gangbarer Flaschengrößen sind in vorstehender Tabelle 7 zusammengestellt.

Das Aussehen der Flasche zeigt Abb. 27 im Schnitt, zur Platzerparnis in der Höhe unterbrochen. Ein Stahlrohr *a* von 5÷8 mm Wanddicke ist unten flachbogenförmig oder kugelrund geschlossen und oben bei *b* halsförmig eingezogen. Der meist durch einen warm aufgezogenen Sprengring *h* verstärkte Flaschenhals *b* besitzt außen ein zylindrisches Rohrgewinde *e*, das im Gegensatz zur Abbildung heute meist am Sprengring angebracht ist und zum Aufschrauben der Schutzkappe *f*, die das Flaschenventil *d* (DIN 477) während des Transports der Flasche zu schützen hat, dient. Um die senkrechte Stellung der Flasche zu ermöglichen, ist am unteren Flaschenende ein Fuß *i* (DIN 4667) warm aufgezogen, der durch die quadratische Form seiner Grundfläche auch das Fortrollen der liegenden Flasche verhindert. Bei *k*, unterhalb des Flaschenhalses, sind eingeschlagen: der Name des Eigentümers, die Flaschennummer, die Gasart (Sauerstoff, Wasserstoff usw.), das Flaschengewicht samt Kappe und Ventil, der Probedruck (225 at), der zulässige Füllungsdruck, sowie der Wasserinhalt der Flasche (DIN 4671). Der Probedruck für Azetylenflaschen beträgt 60 at, liegt mithin um 300 vH höher als der Füllungsdruck. Ganz allgemein beträgt der Probedruck für Flaschen mit verflüssigten Gasen das Doppelte des Betriebsdrucks, mindestens aber 15 at mehr, bei verdichteten Gasen in der Regel 50 vH mehr. Das Gewicht der Azetylenflasche bezieht sich auf die mit Masse und Lösungsmittel gefüllte Flasche. Änderungen an den Inschriften der Flasche dürfen nur an entleerten Flaschen und nur mit ausdrücklicher Genehmigung der amtlichen Prüfstelle vorgenommen werden.

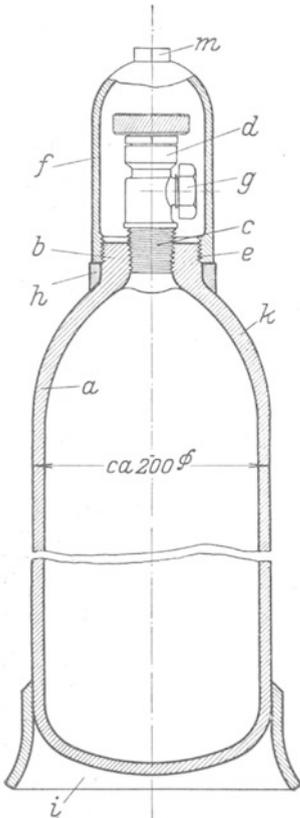


Abb. 27. Schnitt durch die Stahlflasche.

In Anbetracht der hohen Füllungsdrücke und der damit verbundenen Gefahren, unterliegt nicht allein die Herstellung der Flaschen einer gewissenhaften Prüfung amtlicher Organe nach gesetzlichen Vorschriften¹, sondern die Flaschen werden auch alle fünf Jahre einer behördlichen Nachprüfung unterzogen. Die Gasfüllwerke sind angewiesen, diese Nachprüfung der Stahlzylinder auf Kosten des Flascheneigentümers zu veranlassen. Widersetzt sich der Eigentümer der Flasche der amtlichen Prüfung, so hat das Gasfüllwerk die Füllung der Flasche abzulehnen. Der Flaschenanstrich (dessen Farbe infolge des häufigen Transports der Flaschen selten deutlich zu erkennen ist) soll ein äußeres Kennzeichen für die in der Flasche befindliche Gasart sein. Allgemein gilt blau für Sauerstoff, rot für Wasserstoff und die übrigen brennbaren Gase als Anstrichfarbe. Azetylenflaschen tragen gelben Farbanstrich, Stickstoffflaschen sind grün

¹ Polizeiverordnung über die ortsbeweglichen geschlossenen Behälter für verdichtete, verflüssigte und unter Druck gelöste Gase (Druckgasverordnung) vom 2. Dezember 1935.

und Flaschen für Preßluft und andere Gase grau zu streichen, dabei genügt es, einen ausreichend breiten Farbring auf grauem Grundanstrich anzubringen.

Die Füllwerke unterscheiden zwischen Leih- und Eigentumsflaschen. Unter Leihflaschen versteht man die vom Werk auf bestimmte Zeit kostenlos beigestellten Flaschen; die Eigentumsflaschen sind Besitz des Verbrauchers. Nach Ablauf von vier Wochen, während welcher die Flaschen normalerweise vom Werk kostenlos gestellt werden, wird je Tag und Flasche eine Leihgebühr von 5 Pf., nach Ablauf von acht Wochen 10 Pf. je Tag und Flasche berechnet. Eine Benutzungsgebühr für Eigenflaschen kommt natürlich nicht in Frage; im Gegenteil tritt beim Bezuge von Gasen eine Preisermäßigung von meist 10 Pf. je m³ Gas ein, so daß

sich bei großem Verbrauch ein entsprechender Park an Eigenflaschen sehr wohl lohnt.

Flaschenventile. Das am Flaschenkopf in das innere, konische Gewinde *c* (Gasgewinde nach DIN 477) eingeschraubte Flaschenventil *d* hat den Hauptzweck, die gefüllte Flasche zu verschließen und das zur Gasentnahme unter beliebig hohem Druck notwendige Druckminderventil (s. dieses) möglichst einfach anzuschließen. Das Ventil *d* darf vom Verbraucher niemals entfernt werden. Der Gewindekonus hat den Zweck, das Ventil fest in die Flasche einschrauben zu können, damit es ohne fremde Dichtungsmittel gegen den hohen Druck abdichtet (deshalb auch der Sprengring *h* am Flaschenhals).

Abb. 28 zeigt ein solches Flaschenventil im Schnitt, das sich auf Grund seiner zweckmäßigen Konstruktion sehr gut eingeführt hat. Das Handrad *a* wirkt durch Vierkant auf die Oberspindel *k*, die durch eine lose Messingmuffe *e* mit der den Abdichtungsstößel *f* tragenden Unterspindel verbunden ist. Die Feder *b* preßt die Oberspindel *k* an die Dichtung *d* an; sie sitzt geschützt in einer Ausdrehung des Handrades unter einem verschraubbaren Deckel *g*. (Die neueren Ventile dieser Bauart haben gegenüber der in Abb. 28 gezeigten, eine geringe Änderung des Handrades *a* und des Deckels *g* erfahren, was aber die Arbeitsweise des Ventils nicht berührt.) Die Ventilspindeln werden meist aus nichtrostendem Stahl hergestellt. Die abdichtende Mutter *c* ist oben mit einem Ansatz *i* versehen, um das früher so häufige Verbiegen der Oberspindel durch das Handrad zu verhindern. Bei *m* ist der Anschluß für das Druckminderventil, der während des Transports und bei Nichtbenutzung durch eine Verschlußmutter *l* verschlossen ist. Über Behebung von Undichtigkeiten am Flaschenventil wird später noch das Erforderliche ausgeführt. Die verschiedenen auf dem Markte befindlichen

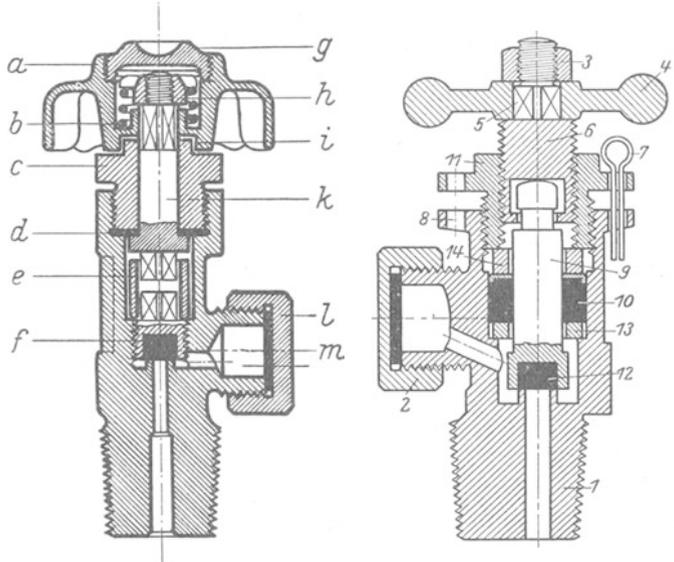


Abb. 28.

Abb. 29.

Flaschenventile im Schnitt.

Ventilkonstruktionen unterscheiden sich vor allem in der Art ihrer Abdichtung *d* und der Kupplung *e*. Ein Flaschenventil mit Stopfbüchsendichtung zeigt Abb. 29. Der Fiberring der Abb. 28 ist durch einen Gummizylinder 10 ersetzt, der gegen die Metallringe 13 und 14 gepreßt wird. Die Oberspindel 6 trägt oben einen Vierkant 5 zur Aufnahme des Handrädchens 4. An ihrem unteren Ende befindet sich ein Schlitz, der beim Drehen des Handrädchens die Unterspindel 9 zwangsläufig mitnimmt. 12 ist der in die Unterspindel eingesetzte Hartgummipfropfen, 11 ist die Stopfbüchse mit Feststellsplint 7. Die Teile 1 und 2 entsprechen der Abb. 28.

Das Anschlußgewinde der Flaschenventile für das Druckminderventil ist nach bestimmten Normen bemessen und, um Verwechslungen beim Füllen der Flaschen und damit Explosionsgefahren vorzubeugen, für die verschiedenen Gasarten verschieden. Alle Sauerstoffflaschen tragen Rechtsgewinde, alle Wasserstoffflaschen Linksgewinde. Bis zum Jahre 1924 waren Durchmesser

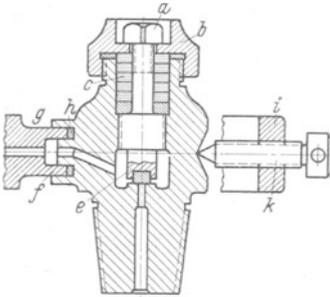


Abb. 30. Azetylenflaschenventil.

und Gangzahl für beide Gewinde, ob links- oder rechtsgängig, gleich. Nach der neuen Druckgasverordnung haben die Wasserstoffflaschen das alte, früher auch für Sauerstoff übliche Kohlen säureflaschengewinde behalten (21,8 mm Gewindedurchmesser, 14 Gang auf 1", linksgängiges Außengewinde). Die Sauerstoffflaschenventile dagegen haben an Stelle dieses $\frac{1}{2}$ " Gasgewindes einen $\frac{3}{4}$ " Gasgewindeanschluß erhalten (26,174 mm Gewindedurchmesser, 14 Gang auf 1", rechtsgängiges Außengewinde, DIN 477). Das neue Gewinde ist nunmehr an allen Sauerstoffflaschen angebracht worden. Maßgebend für die Änderung war auch der Umstand, daß es während des Krieges vielen Schweißern gelang, die linksgängigen Gewinde der eisernen Anschlußmutter (es gab ja nur wenig Messing) auf rechtsgängiges Gewinde der Flaschenventile aufzuschrauben, und umgekehrt. Dadurch wurden die Flaschenanschlußgewinde (Messing) gänzlich unbrauchbar, was eine dauernde Gefahrenquelle bildete. Stickstoffventile haben 24,3 mm rechtsgängiges Außengewinde und Preßluftflaschen 22,9 mm rechtsgängiges Innengewinde.

Die Flaschenventile für gelöstes Azetylen weichen von den übrigen Ventilen insofern ab, als sie keinen Gewindeanschluß, sondern einen Zapfenanschluß tragen (s. Abb. 30). Ein mittels Fiberring *h* abgedichteter, in eine entsprechende Bohrung *f* passender Zapfen *g*, wird durch einen Bügel *i*, den Flaschenbügel (der über das Flaschenventil hinüberreicht), mit Hilfe einer Schraube *k* fest angepreßt. An Stelle des Handrades in Abb. 28 tritt bei diesem Ventil ein Vierkant bei *a*. Am oberen Ende der Schutzkappe dieser Flaschen ist ein steckschlüsselähnlicher Vierkantansatz angebracht, der zum Öffnen des Flaschenventils dient. Diese Art des Druckminderventilanschlusses ist nur bei Azetylenflaschen gebräuchlich. Neuerdings gelangen auch Azetylenflaschen in den Verkehr, bei denen der Vierkant *a* durch ein kleines Handrad ersetzt ist. Es wäre zu wünschen, daß sich ganz allgemein Handrädchen an Stelle des Vierkants einführen.

Fast sämtliche Flaschenventile für Schweißgase werden aus Druckmessing, seltener aus Bronze hergestellt; eine Ausnahme machte lediglich das früher schmiedeeiserne Flaschenventil für gelöstes Azetylen, das heute ebenfalls aus Messing besteht.

Flaschenprüfung. Auf die fünfjährige amtliche Prüfung der Stahlflaschen war bereits hingewiesen worden. Der Prüfungsdruck für verdichtete Gase liegt

um 50 vH höher als der Betriebsdruck, mithin bei $150 + 75 = 225$ at. Während der Prüfung wird das Flaschenventil ausgebaut und ein Prüfungsgewindestück aufgeschraubt. Die Druckprüfung erfolgt durch Wasser, wobei sich der Durchmesser des Stahlzylinders nicht vergrößern darf. Nach erfolgter Prüfung wird die Flasche abgestempelt und eine besondere Prüfungsbescheinigung ausgestellt. Azetylenflaschen, die ja eine poröse Masse enthalten, dürfen nicht mit Wasser abgedrückt werden. Hier wird Stickstoff verwendet oder das Lösungsmittel Azeton selbst (Warmwasserbad).

Die wiederkehrende Prüfung der Flaschen ist von großer Wichtigkeit und erfolgt auch im Interesse aller beteiligten Kreise sowie der öffentlichen Sicherheit. Wird ein Gewichtsverlust von mehr als 2 kg festgestellt (durch Abrostung im Flascheninnern), so ist die Flasche auszusetzen und aus dem Betriebe zurückzuziehen. (Manche Flaschen, die Gase enthalten, welche den Stahl leicht angreifen, sind sogar alle 2 Jahre zu prüfen.) Heute häufig zusätzlich angewandte Mittel der Flaschenprüfung sind die Durchleuchtung mit Röntgenstrahlen und das Ausleuchten.

Flaschenbehandlung. Bei Eingang des kurz mit Flasche bezeichneten Stahlbehälters (Benennungen wie Bombe, Rezipient usw. sind seltener und unpassend) hat man sich zunächst von seinem Inhalt zu überzeugen. Dies ist, neben der Bestimmung durch Wiegen, nur durch Ermittlung des Gasdrucks und entsprechende Umrechnung möglich und im ureigensten Interesse des Verbrauchers gelegen, weil im Füllwerk durch Unachtsamkeit und schlechte Kontrolle, ungenügende Auffüllung oder auch durch Undichtheiten am Flaschenventil während des Transportes Gasverluste eintreten können, die unter Umständen den größeren Teil des eigentlichen, in Rechnung gestellten Inhalts ausmachen. Die Prüfung geschieht, falls sich nennenswerte Unterschiede ergeben, am besten in Gegenwart eines glaubwürdigen Zeugen, um bei etwaigen Weiterungen beweislich gedeckt zu sein.

Zur Flascheninhaltsprüfung wird zunächst die Schutzkappe *f* Abb. 27 abgeschraubt (immer durch Linksdrehung). Mitunter kommt es vor, daß diese Schutzkappe festgerostet oder festgeklemmt ist und nicht ohne weiteres durch Drehung des am Sechskant *m* angesetzten Schlüssels gelöst werden kann. Leichtes Anschlagen mit dem Flaschenschlüssel wird die festsitzende Kappe *f* immer lockern. Nach Entfernung der Kappe überzeugt man sich zunächst davon, ob das Handrad am Flaschenventil richtig geschlossen ist (nach rechts fest andrehen), damit im gegenteiligen Falle die Gewindeschutzmutter *g* nicht durch den hohen Gasdruck fortgeschleudert werden kann, wenn nur noch einige Gänge eingeschraubt sind. In geräuschvollen Betrieben (z. B. Kesselschmieden) wird das Ausblasen von Gasen meist überhört, deshalb ist doppelte Vorsicht am Platze. Nunmehr wird die Mutter *g* (bei Sauerstoff durch Links-, bei Wasserstoff durch Rechtsdrehung) abgeschraubt, indem man, wie bei allen Handgriffen an der Gasflasche, links oder rechts, niemals aber vor dem Gasausströmungskanal des Ventils Stellung nimmt. Diese Vorsicht dient zur persönlichen Sicherheit; man schützt sich so gegen das Abfliegen vielleicht locker gewordener Teile des Druckminderventils. Jetzt öffnet man vorsichtig und langsam das Flaschenventil durch etwa $\frac{1}{4}$ Drehung (90°) und läßt eine halbe Sekunde lang das Gas ausströmen, damit etwa vorhandene Rost- und Schmutzteilchen abgeblasen und nicht in das anzuschraubende Ventil hinübergedrückt werden und dort Verstopfungen hervorrufen. Nun kann das Druckminderventil oder — falls ein solches vorhanden — besonderes Prüfmanometer aufgeschraubt und der in der Flasche herrschende Gasdruck abgelesen werden. Die Abdichtung zwischen Druckminder- und Flaschenventil erfolgt durch Zwischenlage eines Fiberringes, der

stets mit den Ventilen geliefert wird. Natürlich ist Voraussetzung, daß das Inhaltsmanometer des Druckminderventils (über letzteres und dessen Behandlung siehe nächsten Abschnitt) in Ordnung ist und möglichst fehlerfrei anzeigt.

Unter normalen Verhältnissen sind Druckunterschiede, die sich beim Nachprüfen des Flascheninhalts gegenüber dem in Anrechnung gebrachten Druck ergeben, bis zu 5 vH als zulässig anzusehen, da die Manometerwerte trotz geeichter Skalen oft voneinander abweichen und auch der Temperaturunterschied zwischen Fabrikations- und Verbrauchsort der Gase zu berücksichtigen ist. Ergeben sich größere Druckunterschiede als 5 vH, so sind Beanstandungen beim Gasfüllwerk im allgemeinen berechtigt. Sind also z. B. 150 at Sauerstoff berechnet, so muß der Mindestdruck 5 vH unter 150, demnach $150 - 7,5 \sim 142$ at betragen. Man wird normalerweise bei mehr als 140 at Druck nicht beanstandet. Allgemein wird von den Gaswerken der Inhalt der Flasche nach Liter oder m^3 berechnet und nicht nach Atmosphärendruck. Gelöstes Azetylen wird nach Gewicht berechnet. Die entsprechende Ausrechnung ergibt sich aus dem nächsten Absatz. Bei der Inhaltsbestimmung sind Raumtemperaturen unter 15° nicht normal und hierbei ablesbare Druckunterschiede dürfen nicht ohne weiteres beanstandet werden; bei Temperaturabnahme tritt Druckabfall, bei Temperatursteigerung Druckzunahme ein.

Einer Sauerstoff- bzw. Wasserstoffflasche sollen minutlich nicht mehr als 200 l Gas (12000 l stündlich) entnommen werden; das ist gleichbedeutend mit der Entleerung einer $6 m^3$ -Flasche in 30 min. Doch sollte mit Rücksicht auf die Einfriergefahr praktisch dieser Wert nie erreicht werden. Andernfalls kuppelt man mehrere Flaschen gleicher Gasart zusammen.

Die Berechnung des Gasinhalts der Stahlflasche. Sie geschieht nach dem Boyleschen (Mariotteschen) Gesetz, das allgemein besagt: das Produkt aus Druck und Volumen einer Gasmasse ist bei gleichbleibender Temperatur konstant ($v_1 \cdot p_1 = v_2 \cdot p_2$).

$$\frac{v_f}{\text{Flascheninhalt}} \times \frac{p_i}{\text{Druck am Inhaltsmesser}} = \frac{v_g}{\text{Gasinhalt}} \times \frac{1}{\text{Atmosphärendruck}}$$

Ist $v_f = 40$ l (Normalflasche) und $p_i = 150$ atü (Normaldruck), dann ist $v_g = 40 \times 150 = 6000$ l. In einfachen Worten ausgedrückt: man multipliziert den Wasserinhalt der Flasche (am Flaschenhals vermerkt) mit der Anzahl Atmosphären, die am Inhaltsdruckmesser des Druckminderventils ablesbar ist. Nach dem obigen Beispiel, das des besseren Verständnisses wegen wiederholt sei, ergibt sich: 40 (l Wasserinhalt) $\times 150$ atü $= 6000$ l $= 6 m^3$ Gas von normalem Druck. Man kann demnach bei überschläglicher Berechnung auch sagen, daß bei dieser Flaschengröße $1 m^3$ Gas 25 at entspricht. Hat eine Flasche nur 30 l Wasserinhalt und zeigt der Inhaltsmesser 80 at an, so sind in dieser Flasche $30 \times 80 = 2400$ l $= 2,4 m^3$ Gas enthalten. Man rechnet also stets die kleine Menge hochgespannten Gases in der Flasche um in eine große Menge niedriggespannten Gases von atmosphärischem Druck (1 at). Mit niedrigem Drucke wird das Gas ja auch tatsächlich verbraucht. Im letzten Beispiel haben wir also, genau genommen, umgeformt 30 l $\times 80$ at in 2400 l $\times 1$ at.

Die Bestimmung des Gasverbrauches geschieht nach der Gleichung:

$$\frac{(p_i)}{\text{Anfangsflaschendruck (zu Beginn der Arbeit)}} - \frac{(p_e)}{\text{Endflaschendruck (nach Vollendung der Arbeit)}} \times \frac{v_f}{\text{Flascheninhalt in l}} = \frac{v_g}{\text{Verbrauch an Gas in l}}$$

Den Verbrauch an Sauerstoff oder Wasserstoff für eine bestimmte Schweiß- oder Schneidarbeit kann man also einmal nach vorigem feststellen, indem man den Flascheninhalt bei Arbeitsschluß vom Flascheninhalt bei Arbeitsbeginn abzieht. Beispiel: Wasserinhalt der Flasche = 40 l. Der Inhaltsmesser

zeige bei Arbeitsbeginn 128 at, bei Arbeitsschluß 71 at. Wir haben also in der Flasche bei Arbeitsbeginn $128 \times 40 = 5120$ l, bei Arbeitsschluß $71 \times 40 = 2840$ l; der Unterschied $5120 - 2840 = 2280$ l ist der Gasverbrauch. Einfacher ist es, entsprechend der eben genannten Gleichung den Druck bei Arbeitsschluß von dem Druck bei Arbeitsbeginn abzuziehen und diesen Unterschied mit dem Wasserinhalt der Flasche zu multiplizieren. Im Beispiel also: $128 - 71 = 57$ at Druckunterschied und daraus: $57 \times 40 = 2280$ l Gasverbrauch.

Diese Rechnungsweise ergibt für die Praxis ausreichend genaue Werte, wenn gleich dieselben nur annähernd richtig sind, da in die Rechnung noch die jeweilige Temperatur einzusetzen ist. Eine genaue Berechnung unter Berücksichtigung des Einflusses der Temperatur erfordert jedesmal die Multiplikation mit dem Temperaturkoeffizienten, also

Inhaltsdruck (150 at) \times Wasserinhalt der Flasche (40 l) \times Temperaturkoeffizient.

Bezeichnet man die Temperatur mit t und den entsprechenden Koeffizienten mit k , dann erhält man folgende Übersicht über die Größe des Temperaturkoeffizienten bei

$t = +30^\circ$	$k = 0,950$	$t = \pm 0^\circ$	$k = 1,054$
$t = +25^\circ$	$k = 0,966$	$t = -5^\circ$	$k = 1,074$
$t = +20^\circ$	$k = 0,983$	$t = -10^\circ$	$k = 1,095$
$t = +15^\circ$	$k = 1$	$t = -15^\circ$	$k = 1,116$
$t = +10^\circ$	$k = 1,017$	$t = -20^\circ$	$k = 1,137$
$t = +5^\circ$	$k = 1,035$	$t = -25^\circ$	$k = 1,156$

Aus der Übersicht geht hervor, daß ohne Berücksichtigung der Temperatur errechnete Daten bei 15° stimmen, da k bei $15^\circ = 1$ ist. Zum Unterschied sei aber ein Fall angenommen, in welchem eine Gasflasche im Winter bei einer Außentemperatur von -15° im Freien benutzt wird. Der Gasdruck betrage 110 at bei 40 l Inhalt der Flasche. Demnach würde die Flasche ohne Berücksichtigung des Temperaturunterschieds $110 \times 40 = 4400$ l enthalten; den Temperaturkoeffizienten k eingesetzt erhalten wir indessen $110 \times 40 \times 1,116 = 4910$ l, woraus folgt, daß $4910 - 440 = 510$ l zu wenig ermittelt wurden.

Umgekehrt liegen die Verhältnisse, wenn die Temperatur oberhalb 15° gelegen ist. Es herrsche z. B. eine Temperatur von $+25^\circ$, dann ist nach der Tabelle $k = 0,966$. Dies in unser Beispiel eingesetzt ergibt: $110 \times 40 \times 0,966 = 4250$ l, während bei oberflächlicher Berechnung 4400, also $4400 - 4250 = 150$ l zuviel festgestellt worden sind. Daher ist zu beachten, daß der ohne Berücksichtigung der Temperatur ermittelte Gasvorrat bei Temperaturen über $+15^\circ$ zu groß, bei unter $+15^\circ$ zu gering wird, da ja auch nach der Übersicht oberhalb $+15^\circ$ die Werte für k unter 1, unterhalb $+15^\circ$ über 1 gelegen sind. Der Einfachheit halber kann man annehmen, daß die Korrektur für je 10° Temperaturunterschied ausgehend von $+15^\circ$, im Mittel etwa 4 vH ausmacht.

1. Beispiel:

Bei $+15^\circ$: $110 \times 40 = 4400$ l.

Bei $+30^\circ$: $110 \times 40 = 4400 - 6$ vH $= 4400 - 264 = 4136$ l in Wirklichkeit.

2. Beispiel:

Bei $+15^\circ$: $110 \times 40 = 4400$ l.

Bei -5° : $110 \times 40 = 4400 + 8$ vH $= 4400 + 352 = 4752$ l in Wirklichkeit.

Sind die Werte k (Temperaturkoeffizienten) nicht bekannt, so kann noch eine andere, die eigentlich ursprüngliche Rechnungsweise Anwendung finden, bei der die absolute Temperatur -273° (absoluter Nullpunkt, tiefste Temperatur überhaupt) zum Ansatz gebracht wird. Angenommen die Flasche befinde sich im Freien bei einer Außentemperatur von -10° ($273 - 10^\circ = 263^\circ$ absolut),

dabei zeigt der Inhaltsdruckmesser 137 atü an. Wie hoch steigt der Druck nun an, wenn die Flasche in einen Raum von $+18^\circ$ Temperatur ($273 + 18 = 291^\circ$ abs.) gebracht wird?

$$\frac{p_{+18^\circ}}{p_{-10^\circ}} = \frac{291}{263}; p_{+18} = \frac{291}{263} \times 137 \cong 151 \text{ atü,}$$

oder angenähert wie folgt:

$$p_{+18^\circ} = \frac{28}{273} \times 137 + 137 = 151 \text{ atü.}$$

Der Flascheninhalt und Verbrauch bei Flaschenazetylen (gelöstem Azetylen) läßt sich nicht ohne weiteres durch eine solche Rechnung feststellen, weil das Azetylen in der Flasche in flüssigem Azeton gelöst ist und dieses sehr große Azetylenmengen in sich aufnehmen kann, und zwar um so mehr, je höher der Druck in der Flasche ist. Man kann aber annehmen, daß 1 l Azeton bei einer Druckzunahme von 1 at etwa 24 l¹ Azetylen von atmosphärischem Druck aufnimmt. Da die Flasche etwa zu 40 vH mit Azeton gefüllt ist, so enthält eine Flasche von 40 l Wasserinhalt bei 1 at Druck: $\frac{40}{100} \times 40 \times 24 = 384$ l Azetylen und bei 15 at Druck: $\frac{40}{100} \times 40 \times 24 \times 15 = 5760$ l Azetylen (von atmosphärischem Druck). In dieser Rechnung kommt, wie wir sehen, wieder der Wasserinhalt der Flasche (40 l) und der Flaschendruck (15 at) vor, und wir können annähernd auch den Flascheninhalt durch Multiplikation von: Wasserinhalt \times Flaschendruck \times 10 feststellen. Beim letzten Beispiel ergäbe das: $40 \times 15 \times 10 = 6000$ l Azetylen. Entsprechend läßt sich dann auch der Verbrauch an Azetylen ausrechnen. Eine genauere Bestimmung der Azetylenmenge kann man nur durch Abwiegen der Flasche vor und nach der Schweißarbeit vornehmen. Beispiel: Eine Flasche wiege vor der Arbeit 79,9 kg und nach der Arbeit 78,3 kg. Dann wiegt das verbrauchte Azetylen $79,9 - 78,3 = 1,6$ kg. Nun nimmt 1 kg Azetylen bei atmosphärischem Druck einen Raum von 855 l ein. Also beträgt der Azetylenverbrauch in unserem Fall $855 \times 1,6 = 1368$ l. Roh angenähert kann man schließlich den Azetylenverbrauch, auch für Niederdruckazetylen (also im Apparat an Ort und Stelle erzeugt), aus dem Sauerstoffverbrauch feststellen, indem man auf 1 m³ Sauerstoff rund 1 m³ Azetylen rechnet. Oder man stellt den Gewichtsverlust der Flasche nach Vollendung der Arbeit fest und teilt den ermittelten Gewichtsunterschied durch die Zahl 1,17 (Gewicht von 1 m³ Azetylen). Im obigen Beispiele wäre dann zu rechnen: $\frac{1,6}{1,17} = 1,361 \text{ m}^3 = 1361 \text{ l}$. Da das in Flaschen in den Handel kommende gelöste Azetylen aber nicht, wie die übrigen Gase nach Litern, sondern nach Kilogramm, also nach Gewicht verkauft wird, spielt die Berechnung des Azetylenverbrauchs nach Litern nur eine untergeordnete Rolle.

In diesem Zusammenhang interessiert es, die Gewichte der wichtigsten Schweißgase zusammengestellt zu haben. Es wiegen: Luft = 1,294 kg je m³, Sauerstoff = 1,43 kg, Wasserstoff = 90 g und Azetylen = 1,17 kg je m³ Gas.

In den Azetylenfüllwerken wird das Gas nach folgender Skala in die Flaschen gedrückt:

Bei einer Raumtemperatur von:

-5°	±0°	+5°	+10°	+15°	+20°	+25°	+30° C
auf 8,8	10,0	11,4	13,1	15	17	19	22 at Druck.

¹ Praktisch rechnet man mit $22 \div 23$ l je Liter Azeton, jedoch hängt die Lösungsfähigkeit von der Oberfläche ab, auf der das Azeton verteilt ist; mit anderen Worten spielt der Grad der Kapillarität der Füllmassen (porösen Massen) eine wesentliche Rolle.

Im Gegensatz zu anderen verdichteten Gasen herrscht innerhalb einer Azetylenflasche während der Gasentnahme ein unterschiedlicher Druck, was darauf zurückzuführen ist, daß aus dem oberen Teile der Flasche mehr Gas entweicht als aus dem unteren. Es ist dies die Folge der Widerstände, die das ausströmende Gas innerhalb der porösen Masse zu überwinden hat, außerdem wohl auch die Folge ungleich rascher Abgabe des Gases aus dem Azeton. Dies ist einerseits der Grund dafür, daß der Gasverbrauch aus der Ablesung des Druckmessers nicht bestimmbar ist, andererseits aber auch dafür, daß sich der Druck nach einiger Zeit erholt. Wird nach einer beliebigen Gasentnahme ein bestimmter Druck am Druckmesser abgelesen und die Ablesung nach einigen Stunden, während welcher der Flascheninhalt zur Ruhe gekommen ist, wiederholt, so wird man infolge des Druckausgleiches innerhalb der Flasche einen nennenswert höheren Druck feststellen können, als dies unmittelbar nach Arbeitsvollendung der Fall war. Erst dieser Wert würde die Unterlage für eine genaue rechnerische Ermittlung des Gasverbrauches geben.

Undichtigkeiten an Stahlflaschenventilen. Diese kann man an Ventilen neuerer Konstruktion meist selbst beheben; Voraussetzung ist allerdings, daß man auch bei gelockertem Handrad den Verschuß des Ventilsitzes ermöglichen kann. Eine solche Konstruktion haben wir in Abb. 28 vor uns. Ursache der Undichtheit ist mit geringen Ausnahmen in der Abnutzung oder Beschädigung des Dichtungsringes *d* zu suchen, welcher zeitweise erneuert werden muß. Wenn ein Nachziehen der Stopfbuchsenmutter *c* nicht mehr genügt, erfolgt die Erneuerung des Dichtungsringes dadurch, daß man nach festem Andrehen (Rechtsdrehung) des Handrades der Reihe nach folgende Teile abmontiert: *g*, *h*, *b*, *a* und *c*. Darauf wird ein neuer Dichtungsring *d* (Ersatz soll immer zur Hand sein), der die Abdichtung des Ventils gegen die Atmosphäre zu besorgen hat, eingelegt und der Einbau der vorhin genannten Teile in umgekehrter Reihenfolge vorgenommen. Während der Entfernung der einzelnen Teile bürgt der in Gewinde geführte Ventilstöpsel *f* für guten Verschuß des Gasausgangskanals. Solche Arbeiten erfordern Sachkenntnis und Gewissenhaftigkeit und sollen nur von hierzu bestimmten Personen am besten im Füllwerk selbst vorgenommen werden. Fehler am Hartgummistöpsel *f* sind nur bei entleerter Flasche im Gasfüllwerk zu beheben, wie auch sonstige Hantierungen an den Flaschenventilen ganz unzulässig sind. Flaschenventile, die keine im Gewinde geführte Unterspindel besitzen oder keine ähnliche Einrichtung tragen, dürfen unter Flaschendruck nicht zerlegt werden, da sonst alle eingebauten Teile durch den Gasdruck herausgeschleudert werden. Vorsichtshalber wird die Mutter *l* während des Ausbaus der Oberspindel *k* abgeschraubt.

Die Ursache des Undichtwerdens liegt meist darin, daß der beim Füllen der Flasche Feuchtigkeit aufnehmende Dichtungsring *d* während des Lagerns der Flasche trocknet und einschrumpft. Häufig genügt deshalb auch ein völliges Öffnen des Ventils, d. h. das Handrad *a* wird ohne Anwendung von Gewalt solange nach links gedreht als es sich bewegen läßt, wodurch der unter *d* gelegene Dichtungswulst der Oberspindel gegen den Ring *d* gedrückt wird und die Abdichtung herstellt. Im allgemeinen soll man die Oberspindel nur dann in der vorhin beschriebenen Weise ausbauen, wenn kein anderes Mittel mehr die Abdichtung ermöglicht. Allerdings hat ein völliges Öffnen des Ventils auch die auf S. 53 angeführten Nachteile.

Undichtheiten am Ventil Abb. 29 werden entweder ebenfalls durch völliges Öffnen und Andrücken des unteren Ansatzrandes von 9 gegen 13 behoben oder dadurch, daß man bei geschlossenem Ventil die Mutter 3 abschraubt, das Handrad 4 abstreift, den Splint 7 entfernt und darauf die Stopfbuchse 11 nach

rechts anzieht. Ist das Ventil dann dicht, so wird der Splint 7 in die entsprechenden Löcher 8 eingesetzt und damit die Büchse gegen Verstellen geschützt.

Vor allem ist zu beachten: Öl oder fetthaltige Stoffe, wie Mennige, Hahnfett, mit fetthaltigen Stoffen getränkte Pappe oder Wollpackung, auch Klingerit oder Leder (wenn auch trocken) usw. dürfen weder mit dem Flaschen- noch mit dem Druckminderventil der Sauerstoffflaschen in Berührung gebracht werden, da hierdurch häufig schwere Explosionen entstanden sind. Die Explosion (der Zerknall) des mit stark verdichtetem Sauerstoff in Berührung kommenden Öls ist darauf zurückzuführen, daß die Verbrennung des Öls außerordentlich plötzlich einsetzt. Es ist sehr zu empfehlen, Fett und Öl auch allen Ventilen der übrigen Schweißgase fernzuhalten, da etwaige, durch Reibung oder sonstwie (z. B. Funkenflug) entstehende Zündung durch solche Stoffe weitere Nahrung erhält. Schwergängige und verrostete Kappengewinde werden mit einer Drahtbürste gereinigt, gegebenenfalls mit einem Glycerin-Wassergemisch eingeschmiert.

Die Prüfung des Flaschenventils auf Dichtheit kann bei Sauerstoffflaschen durch Ableuchten mit einem glimmenden Holzspan geschehen, wobei sich undichte Stellen durch Aufflammen des glimmenden Spanes deutlich bemerkbar machen. Auch verfährt man wohl bei Sauerstoffflaschen ebenso wie bei Azetylen- und Wasserstoff- (überhaupt Brenngas enthaltenden) Flaschen so, daß man das Ventil entweder mit Seifenwasser einpinselt oder den Flaschenkopf in ein Becken mit Wasser taucht und auf etwaige Blasenbildung achtet. Die Unsitte vieler Schweißer, beim Einlegen neuer Dichtungsringe (Abb. 30 *h*) in Azetylenflaschenventile die alten Ringe zu belassen, hat häufig zu Flaschenventilbränden Veranlassung gegeben. Dabei wird der Zapfen *g* exzentrisch angezogen und ungenügend geführt. Die alten Ringe sind deshalb unbedingt zu entfernen, sobald neue eingesetzt werden.

Prüfung der chemischen Reinheit des Gases. Für eine genauere Prüfung empfiehlt es sich, Analysen durch einen Chemiker vornehmen zu lassen, da die Prüfung außer einiger Erfahrung auch zweckmäßige Analysenapparate erfordert, die in kleinen und mittleren Betrieben selten zur Hand sein werden, obwohl es neuerdings einige sehr brauchbare und handliche Analysenapparate auf dem Markte gibt. Ein zur Bestimmung des Reinheitsgrades des Gases anwendbares, einfaches Mittel besteht darin, daß man beispielsweise bei Wasserstoff durch einen an das Druckminderventil angeschlossenen Schlauch wenig Gas in ein offenes Gefäß mit Seifenwasser eintreten läßt. Ist der Wasserstoff rein, so brennt er, an den Seifenblasen durch ein Zündholz entzündet, mit ruhiger, blauer Flamme ab. Enthält er hingegen mehr Verunreinigungen (Sauerstoff) als zulässig, so explodieren die Seifenblasen unter Knallen; das in der betreffenden Flasche befindliche Gas darf nicht verwendet werden. Derselbe Versuch kann beim Sauerstoff zum Ziele führen, sofern dieser auf elektrolytischem Wege, d. h. durch Zersetzung des Wassers, gewonnen wurde (aus flüssiger Luft hergestellter Sauerstoff läßt sich auf diese Weise nicht prüfen). Das in den Seifenblasen enthaltene Gas darf dann nicht brennen, auch nicht zerknallen, da es andernfalls Wasserstoff in unzulässig großen Mengen enthält. Eine genauere Feststellung der Verunreinigungen in Prozenten ist natürlich bei diesen beiden Proben ausgeschlossen.

Lagerung der Stahlflaschen. Sie soll am besten liegend erfolgen, um die Flaschen vor Umfallen zu schützen. Auch an Arbeitsstellen im Freien, besonders an Baustellen, ist die liegende Anordnung vorzuziehen, sofern die Flasche nicht durch Rohrschellen an festen Körpern oder durch ähnliche Sicherheitsvorrichtungen wie Flaschenständer, Transportkarren u. dgl. gegen Umstürzen gesichert ist. Azetylenflaschen dürfen nur stehend in Gebrauch genommen werden. Innerhalb

der Werkstätte ist aufrechte Stellung der Flasche vorteilhafter; vor Umfallen ist sie am besten durch Anbringen von Rohrschellen zu bewahren. Ferner sind gefüllte Flaschen vor Sonnen- und Wärmestrahlen zu schützen und dürfen demnach auch nicht in unmittelbarer Nähe von Feuer oder vor großen in Rotglut befindlichen oder vorgewärmten Arbeitsstücken Aufstellung finden. Gase dehnen sich, wie alle Körper, bei Wärmeeinwirkung aus. Die Erwärmung fällt bei Gasen unter Druck (Flaschengasen) um so mehr ins Gewicht, als sie keine Ausdehnungsmöglichkeit haben, was notwendigerweise Drucksteigerung im Flascheninnern zur Folge haben muß, und diese soll man vorsichtshalber stets verhindern. Starke Kälte, also Frost, ist für die Flaschen ebenfalls schädlich, da der Stahl durch Kälte leicht spröde und brüchig wird, was bei Erschütterung unter hohem Innendruck stehender Flaschen deren Zerknall zur Folge haben kann. Man wird deshalb die Flaschen im Winter nicht grimmiger Kälte aussetzen.

Weder die Leer- noch die Vollflaschen dürfen, wegen der damit verbundenen Gefahr, während des Transports geworfen werden. Die Gasflaschen sind vor Stößen und anderen Erschütterungen zu bewahren. Der Transport der Flaschen an Magnetkränen ist verboten. Da die Leihflaschen nur bis zu 30 Tagen mietefrei sind, darüber hinaus aber eine tägliche Leihgebühr berechnet wird, ist für sofortige Rücksendung nach Entleerung Sorge zu tragen. Bei Rücksendung der Flaschen darf das Aufschrauben von Schutzmutter *g* (Abb. 27) und Schutzkappe *f* nicht vergessen werden, da der Verbraucher sowohl hierfür als auch für etwaige Schäden, die infolgedessen den Flaschen auf dem Transport zustoßen, haftet. Auf dem Frachtbrief sind die Flaschennummern anzuführen.

Festverlegte Sauerstoffleitung. In Betrieben, wo mehrere Schweißstellen in Tätigkeit sind, empfiehlt es sich, neben der von der Azetylenzentrale kommenden Gasleitung auch eine solche für Sauerstoff zu schaffen, indem man eine Anzahl Sauerstoffflaschen zu einer Batterie zusammenschließt. Zweckmäßig wird man diese Flaschenbatterie außerhalb der Werkstätte in einem kleinen besonderen Raum, unter Umständen in einem durch Brandmauer getrennten Nebenraum des Azetylenhäuschens aufstellen, jedenfalls aber an einem Orte, der ein leichtes Hantieren mit den Flaschen gestattet. Dadurch entfällt der umständliche Transport der Stahlflaschen zu und von den Schweißstellen. Der die Azetylenanlage bedienende Arbeiter versorgt auch die Sauerstoffflaschenbatterie, so daß durch Auswechseln der Flaschen und der Druckminderventile entstehende Arbeitsstörungen für den Schweißer fortfallen und Gefahren, verursacht durch den Transport und die Aufstellung der Flaschen innerhalb der Arbeitsräume, abgewendet werden.

Von der Sauerstoffzentrale (die Anzahl der zusammenzuschließenden Flaschen richtet sich natürlich nach der Anzahl der Schweißstellen und nach dem stündlichen Gasverbrauch) führt eine Rohrleitung nach den einzelnen Schweißstellen, woselbst die Druckminderventile angeschlossen werden und dauernd befestigt bleiben (am besten gleich neben der Azetylen-Sicherheitswasservorlage). Die Rohrleitungen sind mit dem üblichen Gefälle zu verlegen, an den tiefsten Stellen sind Wasserablaßventile und in jedem Werkstättenhauptstrang Manometer anzubringen. Als Werkstoff dient auf längere Strecken nahtloses Stahlrohr, auf kürzere Strecken Kupferrohr. In kleineren Betrieben kann auch eine kleinere Batterie in einer Ecke der Werkstatt Aufstellung finden und mit den Ventilen durch eine Kupferrohrleitung verbunden werden. Die Wanddicke der Stahlrohre muß betragen bei 10 mm l. W.: 4 mm, bei 20 mm l. W.: 5 mm, bei 30 mm l. W.: 6 mm und bei 50 mm l. W.: 8 mm. Der hohe Druck erfordert eine gewissenhafte Verlegung der Rohrleitung entsprechend den Bestimmungen für Hochdruckrohrleitungen. Die Wahl ausreichender Rohrquerschnitte ermöglicht weitgehende

Gasentnahme und Ausnutzung des Flascheninhalts bis auf geringe Drucke. In Tabelle 8 sind die Rohrweiten bei verschiedener Stranglänge der Hauptleitung, bei 1 at Druckabfall und Ausnutzung des Gasdrucks der Sammelbatterie bis auf 5 at, zusammengestellt. Für die Anschlußrohre vom Hauptrohr zum Druckminderer genügen 4÷5 mm l. W.

Abb. 31 veranschaulicht das Schema einer Gasflaschenbatterie mit 5 Flaschen und 5 Reserveflaschen. Häufig verbindet man die Batterie mit einem Hauptdruckminderer und schiebt das Gas unter einem Drucke von 10÷20 at in die Gebrauchsleitung bzw. zu den Einzeldruckminderern. Im Bedarfsfalle kann auch Wasserstoff auf diese Weise in Rohrleitungen fortgeleitet werden, nicht aber gelöstes Azetylen, zumindest

Tabelle 8.

Länge des Rohrstrangs in m	Lichter Durchmesser in mm bei einer Durchflußmenge an Sauerstoff je Stunde in m ³					
	1	2	4	6	8	10
10	3	4	5	6	7	8
20	3,5	4,5	5,5	6,5	7,5	8,5
30	4	5	6	7	8	9
50	4,5	5,5	7	8	9	10
100	5	6	7,5	9	10	11
200	6	7	9	10	11	12
500	7	9	11	12	13	15

nicht mit vollem Flaschendruck, da es in den Leitungen explodieren kann, worauf ausdrücklich hingewiesen sei.

Explosionsgefahr der Flaschen. Soweit durch starke, chemische oder auch ungewöhnlich große, mechanische Verunreinigung der Gase selbst Gefahrenquellen

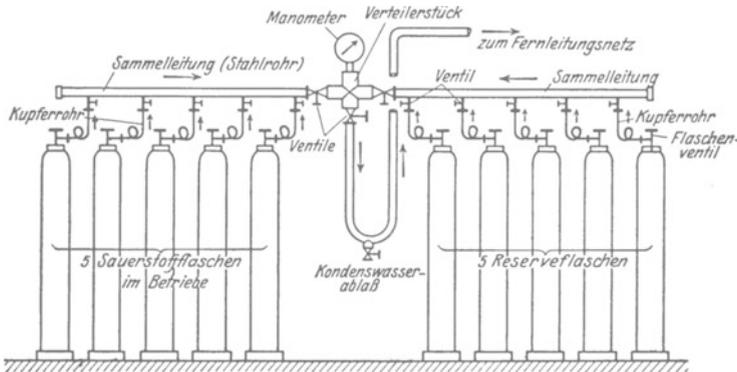


Abb. 31. Festverlegte Sauerstoffleitung mit Flaschenbatterie.

bestehen, kann der Verbraucher sich leider kaum schützen, doch sind solche Fälle, trotz der außerordentlich hohen Anzahl im Verkehr befindlicher Stahlflaschen, glücklicherweise selten geworden. Im übrigen können wir auf all die mannigfaltigen, überhaupt möglichen Explosionsursachen nicht eingehen; für uns ist allein wichtig, wie bei Behandlung der Flaschen Gefahren abgewendet werden können. Einige Punkte haben bereits Erwähnung gefunden: Flaschen nicht werfen; keine fetthaltigen Stoffe an die Ventile bringen; Flaschen vor Wärmestrahlen schützen usw. Selbst bei stärkster Erwärmung der Flasche dürfen Gesamtdrucke von 200 at für Sauerstoff und Wasserstoff und von 40 at für gelöstes Azetylen nicht erreicht werden. Hinzugefügt sei noch: das Flaschenventil ist immer langsam, nicht ruckweise zu öffnen und nicht durch endloses Drehen des Handrades, sondern durch nur eine volle Drehung von 360° (nach

links). Erst wenn der Flascheninhalt stark zur Neige geht, oder bei besonders starker Gasentnahme ist eine weitere ganze Umdrehung des Handrädchens am Flaschenventil erforderlich. Durch diese Vorsicht ist man in die Lage versetzt, im Falle einer Gefahr das Ventil rasch zu schließen. Undichtheiten am Flaschenventil sind sofort abzustellen; erforderlichenfalls ist die Flasche unentleert mit entsprechendem Vermerk bezüglich des Mangels ans Werk zurückzusenden. Mit Rücksicht auf die besondere Gefahr, die mit der Erhitzung von Azetylenflaschen verknüpft ist, bedürfen diese Flaschen auch einer besonderen Behandlung. Tritt aus irgendeinem Grunde eine völlige oder auch örtliche starke Erwärmung der Flasche durch Unvorsichtigkeit oder durch Ventilbrand ein, so ist das Flaschenventil unverzüglich zu schließen, die Flasche sofort ins Freie zu schaffen und aus gedeckter Entfernung gut mit Wasser zu berieseln, da auch nach Stunden noch die Möglichkeit des Zerknalles besteht, wenn nicht für rasches und wirksames Abkühlen der Flasche Sorge getragen wird.

Zusammenfassung der Flaschenbehandlung.

1. Schutzkappe abnehmen.
2. Nachsehen, ob Handrad am Flaschenventil (nach rechts) gut geschlossen ist.
3. Seitlich von der Flasche, nie vor dem Ventilauslaß, Aufstellung nehmen!
4. Schutz- (Verschluß-) Mutter lösen.
5. Gas kurz abblasen lassen.
6. Druckminderventil (mit zwischengelegtem Fiberring) anschrauben.
7. Flaschenventil langsam öffnen (eine volle Drehung am Handrad nach links). Nur bei starker Gasentnahme (großer Brenner, Schneiden) darf eine zweite Drehung der Ventilspindel erfolgen.
8. Dichtheit des Ventils prüfen; vorhandene Undichtheiten durch Anziehen der Stopfbuchse oder Einlegen eines Fiberrings beheben.
9. Nach Arbeitsbeendigung Flaschenventil schließen.
10. Fett und ölhaltige Stoffe und Dichtungen den Ventilen aller Art, bei Sauerstoff unter allen Umständen fernhalten!
11. Die Flaschen nicht werfen!
12. Die Flaschen vor Fall schützen!
13. Die Flaschen vor Wärme- und Sonnenstrahlen schützen!
14. Bei Rücksendung der Flaschen Mutter und Kappe aufschrauben.

2. Druckminderventile.

Zur Entnahme des Gases aus den Stahlflaschen bedient man sich der Druckreduzier- oder Druckminderventile, die das Gas von hohem Flaschendruck (150 at) auf den zur Schweiß- bzw. Schneidarbeit erforderlichen niedrigen Druck (meistens 0,1÷6 at) zu bringen haben.

Konstruktion und Arbeitsweise. Gute Ventile müssen ganz aus Messing, Druckmessing oder Bronze hergestellt sein; aus Gußeisen oder anderen Metallegierungen hergestellte Ventile sind minderwertig. Gußeisen ist nach den Verordnungen der Eisen- und Stahlberufsgenossenschaft als Werkstoff für Druckminderer verboten. Aussehen und innere Konstruktion des Ventils richten sich nach Leistung und Zweck, denen das Ventil zu dienen hat. Zur besseren Unterscheidung sind die Ventile je nach Gasart durch einen Anstrich gekennzeichnet (DIN 1906), und zwar tragen Ventile für Sauerstoff blaue, solche für Wasserstoff rote und jene für Flaschenazetylen gelbe Farbe, gemäß den zugehörigen Flaschenfarben. Diese Farben sind behördlich vorgeschrieben und daher einheitlich. Entsprechend den Flaschenanschlußgewinden (am Flaschenventil) haben die Sauerstoffventile Rechts-, die Wasserstoffventile Linksgewinde. Die übrige Konstruktion kann

bei beiden Ventilarten ganz dieselbe sein. Ventile für Azetylen haben, wie wir bereits wissen, statt des Gewindes einen Flaschenanschlußzapfen (DIN 1909).

Jedes Druckminderventil muß 2 Manometer (Röhrenfeder-Druckmesser) tragen, einen Inhaltsdruckmesser und einen Arbeitsdruckmesser. Die Stellung der beiden Druckmesser zueinander, ob über-, neben- oder hintereinander, sowie die Anzahl der im Ventilinnern befindlichen Hebel ist im wesentlichen mehr für die Form und Bauart des Ventils als für dessen Arbeitsweise ausschlaggebend. Die Manometereinteilungen sollen nicht verdeckt, sondern leicht übersichtlich sein. Je nach der Konstruktion kann die Flaschenanschluß-Überwurfmutter links oder rechts, oben oder unten am Ventil angeordnet sein, desgleichen auch

die Druckeinstellschraube. Am Grundgedanken der Arbeitsweise ändert dies alles so gut wie nichts, und nach den folgenden Erläuterungen wird sich der Leser bei allen Ventilen ohne weiteres zurecht finden, auch wenn ihm Beschreibungen nicht zur Verfügung stehen.

Wir müssen uns nun vorerst über den Grundgedanken der Druckverminderung und über die Arbeitsweise der Ventile klar werden. Da Schnittzeichnungen durch Ventilkonstruktionen immer etwas verwickelt erscheinen und ihr Verständnis dem Schweißer Schwierigkeiten verursacht, soll zur Erleichterung unserer Betrachtungen eine einfache Grundform, Abb. 32, herangezogen werden.

Mit der Größe des Schweißbrenners wechselt auch die Höhe des erforderlichen Gasdrucks (verdichteter Gase), weshalb man in der Lage sein muß, den hohen Druck des in der Flasche verdichteten Gases auf den jeweils erforderlichen viel niedrigeren Arbeitsdruck zu bringen, der

etwa zwischen 0,1 und 3 at (beim Schweißen) liegt. Hierzu würde schon ein ganz gewöhnliches Nadelventil ausreichen, das an die Flasche angeschlossen würde. Nun kommt aber ein weiteres, sehr wichtiges Erfordernis hinzu: Der Arbeitsdruck muß beliebig lange Zeit unverändert bleiben, d. h. er darf nicht abfallen, was infolge des bei anhaltender Gasentnahme fortschreitenden Druckabfalls in der Flasche unbedingt eintreten würde. Mit anderen Worten, dem Druckminderventil fallen folgende Aufgaben zu: Leichte Gasentnahme, Druckverminderung, Gleichhaltung des Arbeitsdrucks während beliebig langer Arbeitsdauer.

In Abb. 32 ist *A* das Druckminderventil, das mit der Flasche durch ein Rohr 2 in Verbindung steht. Beim Öffnen des Flaschenventils tritt das Gas unter vollem Flaschendruck in das Rohr 2 ein, und zwar bis zur durch 3 verschlossenen Rohrmündung. Gleichzeitig tritt das Gas in den Inhaltsmesser 4 ein und gibt den in der Flasche vorhandenen Gasdruck an. Im Gehäuse *A* des Ventils ist ein in 6 drehbar gelagerter, doppelarmiger Hebel 8 eingebaut, wovon ein Ende mit einer Stange 7 in Verbindung steht, während der andere obere Arm einen Hartgummikegel 3 trägt, der die Bohrung des Gasaustrittskanals (2) verschlossen hält. Die Schließfeder (Spiralfeder) 13 drückt den Hebel 8 und mit ihm den Hart-

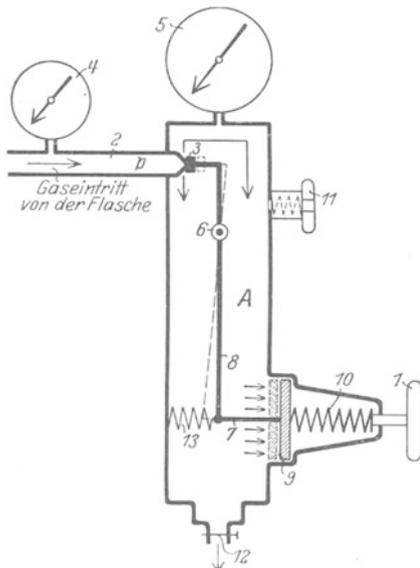


Abb. 32. Grundform eines einhebligen Druckminderventils.

gummi 3 fest gegen die Bohrung von 2. Zur Gasentnahme ist es erforderlich, durch Rechtsdrehung der Schraube 1 die Feder 10 zusammenzudrücken, die ihrerseits die Metallscheibe 9 und die Stange 7 nach links drückt. Dadurch wird auch der schwächere Gegendruck der Feder 13 überwunden, und da ferner eine Bewegung des Hebels 8 oberhalb des Drehpunktes 6 nach rechts erfolgt, wird der Gummikegel 3 vom Sitz abgehoben, und dem Gas ist nun der Zugang zum Innern des Gehäuses *A* freigegeben. Je nachdem die Schraube 1 mehr oder weniger tief hineingeschraubt wird, steigert oder verringert sich der Druck innerhalb von *A*, was am Arbeitsdruckmesser 5 ununterbrochen ablesbar ist. Die Fortführung des Gases erfolgt bei 12 (Pfeilrichtung) durch ein Ventil. Die immer wiederkehrende Frage ist nun die: Warum steigt der Druck nicht im Gehäuse *A*, wenn 12 geschlossen wird? Es ist doch anzunehmen, daß solange Gas aus der Flasche nach *A* überströmt, bis in beiden Gefäßen Druckgleichheit herrscht. Gerade aber dieser Umstand soll ja durch das Ventil beseitigt werden. Wodurch geschieht das?

Sobald bei 3 Gas ausströmt nach *A*, so drückt dies gleichmäßig auf alle Wandungen des Raumes *A*, mithin auch auf den beweglichen Teil 9, auf den kolbenartigen Metallteller (Pfeilrichtung), ganz gleich, ob 12 geöffnet oder geschlossen ist. Da nun die Fläche von 9, auf welche das Gas drückt, sehr viel größer ist als bei 3, wo das Gas nur durch eine kleine Bohrung austritt, so besteht ein großes Übersetzungsverhältnis und der viel geringere Druck in *A* kann deshalb dem hohen Druck in 2 die Waage halten. Wird z. B. bei 12 mehr Gas entnommen, so nimmt der Druck in *A* ab und wird demnach auch auf 9 geringer werden. Die Folge davon ist, daß die Feder 10 den Teller 9 nach links drückt und damit den Gasdurchgang bei 3 mehr öffnet. Umgekehrt wird bei fallender Entnahme bei 12 der Druck innerhalb *A* höher, 9 nach rechts gedrückt und 3 mehr geschlossen. Auf diese einfache Weise wird durch das Spiel der Kräfte zwischen Gasdruck in *A* auf 9 und Federdruck 10 auf 9, der Metallteller 9 als Druckregler verwendet. Die Regelung erfolgt nur bei 1, und ein einmal hier eingestellter Druck bleibt annähernd gleichmäßig während der ganzen Dauer der Gasentnahme. Vollständige Genauigkeit ist mit Rücksicht auf die Verschiedenheit zwischen Änderung der Federkraft und Abnahme des Gasdrucks nicht zu erwarten, doch reicht die Arbeitsgenauigkeit gut konstruierter Ventile für die Praxis vollkommen aus. 11 ist das Sicherheitsventil, das bei einem einstellbaren Höchstdruck im Ventilgehäuse *A* selbsttätig abbläst und nach neueren Vorschriften so angebracht sein muß, daß es den Gasüberdruck nach oben ins Freie austreten läßt. Der höchstzulässige Arbeitsdruck ist am Niederdruckmesser 5 meist durch einen roten Strich am Ziffernblatt angedeutet.

Abb. 32 zeigt ein sog. einstufiges und einhebliges Ventil, das ebensowenig wie mehrheblige Ventilkonstruktionen die Bedingung der Konstanzhaltung des Arbeitsdruckes restlos zu erfüllen vermochte. Deshalb ist man in neuerer Zeit immer mehr vom Bau der Hebelventile abgegangen und hat hebellose Ventile entwickelt, die außerdem bevorzugt zweistufig eingerichtet sind und den Anforderungen der Schweißtechnik am besten genügen. Durch die Druckminderung in zwei Stufen wird zwar das Gerät etwas verwickelter und in der Anschaffung teurer, aber seine Vorzüge sind so unverkennbar, daß in Kürze diese Konstruktion ausschließlich den Markt beherrschen wird.

Abb. 33 zeigt ein solches zweistufiges Ventil hebelloser Konstruktion in der Grundform. Betrachtet man zunächst die erste Stufe 4, so wird durch Rechtsdrehen der Stellschraube 3 das darüber liegende Entspannungsventil 5 geöffnet. Das Gas strömt solange über 6 nach 8, bis der in der Zwischenkammer 11 steigende Druck, der auch auf die an der Ventilstange befestigten beweglichen Fläche drückt

(Pfeile), so groß geworden ist, daß dadurch die Kraft der im Gehäuse 4 erkennbaren Feder überwunden und somit das Ventil geschlossen ist.

Derselbe Vorgang wiederholt sich auch bei der zweiten Stufe. Wird jetzt bei geöffnetem Ablaufventil 10 Gas entnommen, so fällt der Druck in der Arbeitskammer 12 ab, damit wird die an der Ventilstange sitzende bewegliche Fläche entlastet, und die Federkraft kann das Ventil 13 wieder öffnen. Der gleiche Vorgang stellt sich rückwärts wirkend dann bei der ersten Druckstufe ein. Bei konstanter Gasentnahme tritt unverzögert ein Beharrungszustand ein, d. h. beide Ventile bleiben geöffnet und lassen stetig das Gas durchströmen. Der Gasdruck in der Zwischenkammer und in der Arbeitskammer ist bedingt durch die mehr oder minder große Öffnung des Ventildurchganges, die wieder durch entsprechendes Rechts- oder Linksdrehen der Stellschrauben geregelt wird. Bei den meisten Konstruktionen ist die erste Druckstufe bereits vom Hersteller aus auf einen bestimmten Druck in der Zwischenkammer fest eingestellt und auch

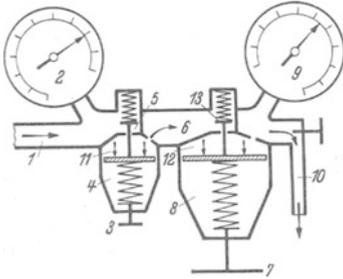


Abb. 33. Grundform eines zweistufigen hebellosten Druckminderventils.

nicht ohne weiteres veränderlich. Der Schweißer kann also nur das Ventil der zweiten Druckstufe bedienen und einstellen.

Die Überschreitung des für das Gehäuse und die Höchstdruckes wird durch ein über dem Ventil 13

Manometer zulässigen angeordnetes Sicherheitsventil verhütet.

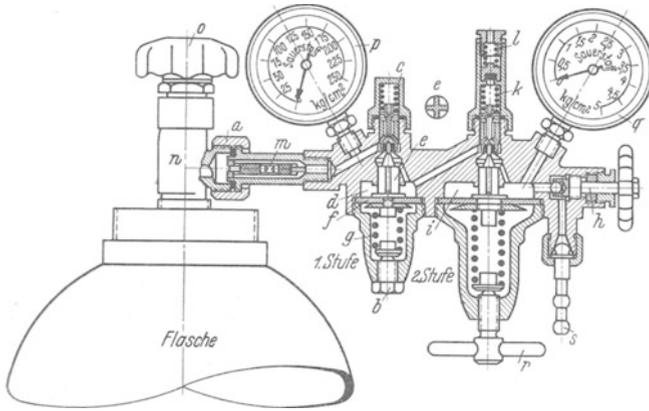


Abb. 34. Schnitt durch ein zweistufiges hebellostes Druckminderventil.

Ventile dieser Konstruktion haben den Vorteil, daß der Zwischendruck nur in geringen Grenzen schwankt und daß diese Schwankungen den Arbeitsdruck, der durch die zweite Druckstufe entnommen wird, nicht mehr beeinflussen. Außerdem wirkt die doppelstufige Entspannung von hohem auf niedrigen Gasdruck insofern prak-

tisch besonders günstig, als sie die Einfriergefahr der Ventile, wovon noch später die Rede ist, bedeutend vermindert.

Den Schnitt durch die Konstruktion eines im Sinne der Grundform Abb. 33 dargestellten Druckminderventils zeigt Abb. 34. Das Ventil wird durch die Überwurfmutter *a* an dem Anschlußgewindezapfen des Flaschenventils *n* befestigt. Bei dessen Öffnen durch Linksdrehen des Handrädchens *o* tritt Gas durch den Kanal *m* nach der 1. Stufe des Ventils über und zeigt gleichzeitig am Druckmesser *p* den Inhaltsdruck der Flasche an. Der in der 1. Druckstufe gewünschte Gasdruck wird bei *b* einmalig eingestellt, was durch Rechtsdrehen der Schraube, Zusammendrücken der Spiralfeder *g* und Durchdrücken der Membran *A* nach der Zwischenkammer *d* hin geschieht. *e* ist der Ventilkegel, der das darüber befindliche Ventilsystem samt dessen Hartgummiabschluß betätigt. Nunmehr strömt

das Gas durch den schrägen Verbindungskanal zum Druckminderventil *k* der 2. Druckstufe, dem eigentlichen Arbeitsventil, dessen Regelung durch die Einstellung der Stellschraube *r* in gleicher Weise wie bei *b* erfolgt. Der Schweißer hat jedoch, nach dem vorhin Gesagten, lediglich die Knebelschraube *r* zu betätigen, um den gewünschten Arbeitsdruck, der am Manometer *q* ablesbar ist, einzustellen. Die Gasentnahme geschieht über das Absperrventil *h* an der Schlauchanschlußstülle *s*. Oberhalb *k* ist das Sicherheitsventil *l* angeordnet, das vorschriftsmäßig den etwaigen Überdruck an Gas nach oben abblasen läßt.

Das äußere Aussehen eines solchen Ventiles veranschaulicht Abb. 35; es kann, wie Abb. 34, sowohl für Sauerstoff als für Wasserstoff Verwendung finden, wobei nur das Gewinde der Überwurfmutter (Abb. 34 *a*) zu der jeweiligen Gasart passen muß. Am Ventilgehäuse ist links unten die erste Druckstufe mit dem darüberliegenden Inhaltsdruckmesser zu erkennen. Zwischen diesen und dem rechts oberhalb der 2. Druckstufe gelegenen Arbeitsdruckmesser befindet sich das Sicherheitsventil; ganz unten sind die Druckeinstellschraube und rechts der Schlauchanschluß und das Absperrventil angeordnet.



Abb. 35.
Doppelstufiges Druckminderventil.

Ein Ventil für gelöstes Azetylen mit Flaschenanschlußbügel und nur einer Druckstufe (Abb. 32) zeigt Abb. 36. Selbstverständlich können alle Konstruktionen dieser oder ähnlicher Art, abgesehen von dem Anschlußbügel, auch für die übrigen Schweißgase Verwendung finden, wie ja auch die oben beschriebenen hebellosen und zweistufigen Ventile mit Bügelanschluß versehen und für gelöstes Azetylen benutzt werden können.

Obwohl es sich bei diesen Druckminderventilen ja ausschließlich um Hochdruckventile handelt, unterscheidet man trotzdem häufig noch zwischen diesen und Niederdruckventilen, wobei allerdings nur die Höhe des Arbeitsdrucks bestimmend ist. Man sagt, ein für Schweiß- und normale Schneidarbeiten (bis 100 mm Schnittdicke) gebautes Ventil mit einer Arbeitsmanometerskala bis etwa 10 at sei ein Niederdruckventil, während die bis 30 und noch mehr Atmosphären reichende Arbeitsdruckskala (Ventile für schwere Schneidarbeiten) die Bezeichnung Hochdruckventil begründet. Im allgemeinen reicht das sog. Niederdruckventil für alle Durchschnitsarbeiten aus, wo minutliche Gasdurchgangsleistungen von über 150 l nicht in Frage kommen. Das Hochdruckventil ist schwerer und größer gebaut und gestattet bei größeren Bohrungen eine Höchstgasentnahme von normal 1200 l in der Minute (Flaschenbatterie). In einigen wenigen Fällen ist auch eine Vereinigung beider Ventile erwünscht; wir haben dann ein sog. Doppel-

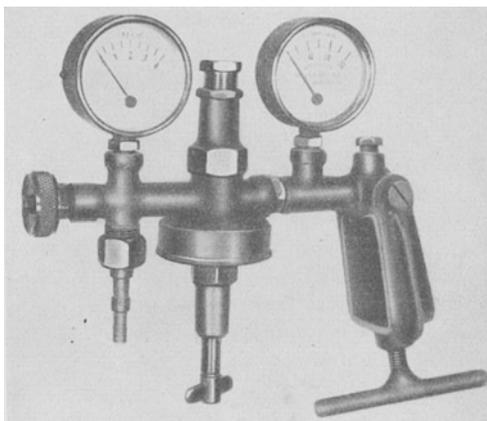


Abb. 36. Druckminderventil für gelöstes Azetylen.

Druckminderventil vor uns, wie es für Schneidarbeiten in besonderen Fällen

verwendet wird. Ein solches Ventil ist nur für Sauerstoff bestimmt und seine Einrichtung in Abb. 37 grundsätzlich angedeutet. An einem U-förmigen Anschlußrohr 1 befindet sich das gemeinsame Inhaltsmanometer 2 und hinten die Flaschenanschlußmutter 3. An der linken Seite des U-Rohres ist das Niederdruckventil 4, an der rechten das Hochdruckventil (Schneidventil) 7 angebracht, die je eine Druckeinstellschraube, einen Schlauchnippel (6 und 9), je einen Arbeitsdruckmesser (5 und 8), sowie Sicherheitsventile (10) tragen. Hoch- und Niederdruckseite können sowohl hebellose als Hebelventile mit einer oder zwei Druckstufen sein.

Bei Gleichdruckschweißanlagen können auch vereinigte Druckminderventile Verwendung finden, bei denen die Drücke für Azetylen und Sauerstoff in einem Gehäuse gegenseitig gemeinsam geregelt werden. Ein solches Ventil veranschaulicht Abb. 92 im Schnitt.

Eine im Auslande kürzlich entstandene Neukonstruktion weicht von allen bisher bekannten dadurch ab, daß das Druckminderventil in die kleinste mögliche Form gebracht unmittelbar mit dem Flaschenventil zusammengebaut und mit diesem fest verbunden ist. Die Flaschenkappe schützt dann gleichzeitig Flaschen- und Druckminderventil. Da einer solchen an sich unverständlichen Bauweise viele Mängel anhaften und da sie für unsere Verhältnisse kaum in Frage kommen dürfte, kann von ihrer Schilderung abgesehen werden.

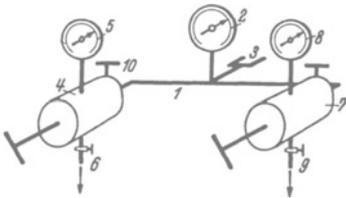


Abb. 37. Grundform eines Doppeldruckminderventils.

Einzelheiten der Ventileinrichtungen. Sie beziehen sich hauptsächlich auf sicherheitstechnische Rücksichten. Eine solche Einrichtung ist z. B. das wiederholt erwähnte Sicherheitsventil, das die Überschreitung eines höchstzulässigen Drucks im Ventilgehäuse verhüten soll. Die übrigen hier kurz angeführten Konstruktionselemente sind zwar für das Verständnis der Arbeitsweise eines Druckminderers belanglos, aber für die Betriebssicherheit so wichtig, daß einige Hinweise unvermeidlich sind.

An erster Stelle kommt dem sog. Ausbrennschutz Bedeutung zu, der ein Ausbrennen von Sauerstoffventilen verhüten soll.

Der Vorgang des selbsttätigen Ausbrennens (Inflammation) von Sauerstoffventilen ist kurz folgender: Die Praxis hat gelehrt und Versuche haben bewiesen, daß bei schnellem Öffnen des Flaschenventils *o* (Abb. 34) die von diesem Ventil bis nach *e* hin vorhandene Luft oder der Sauerstoff (aus einem früheren Arbeitszeitabschnitt) so stark verdichtet wird, daß Temperatursteigerungen vorkommen können, die genügen, eine Entflammung des Hartgummistöpsels (Entzündungstemperatur $300 \div 400^\circ$) hervorzurufen. Die Verdichtungswärme ist natürlich bei *3* (Abb. 32) zunächst besonders groß. Der Hartgummistöpsel (Kegel) ist aber durch das häufige An- und Abdrücken an die scharfen Kanten der Bohrung *p* meist an der Sitzfläche etwas angeraut und enthält dann mikroskopisch feine, gelockerte Fäserchen, die sich in Anwesenheit des reinen, verdichteten Sauerstoffs und bei der erhöhten Temperatur entzünden. Die Verbrennung greift außerordentlich rasch auf den Hartgummikegel selbst und von hier auf das ganze Ventil über, das dadurch in wenigen Augenblicken gänzlich zerstört wird. Um sich gegen diese Erscheinung zu schützen, hat man einen sog. Ausbrennschutz gebaut, der heute in fast allen Ventilkonstruktionen vorgesehen ist.

Die Wirksamkeit des Ausbrennschutzes wird auf verschiedene Weise erreicht und die einfachste und älteste Form beruht darauf, in den Gaskanal (Abb. 32 *p* u. Abb. 34 *m*) ein kupfernes Röhrchen einzubauen, das die Verdichtungswärme rasch ableitet. Im Ausbrennschutz *m* (Abb. 34) wird durch eine eingesetzte Büchse

mit radialen Kanälen der Gasstrom mehrfach umgeleitet. Dadurch wird ein beim schnellen Öffnen der Sauerstoffflasche einsetzender plötzlicher Gasstoß stark verlangsamt. Außerdem leitet die durch die Büchse, die größere Bohrung des Kanals und ein eingelegtes Drahtsieb erzielte bedeutende Vergrößerung der Oberfläche die entstehende Verdichtungswärme mehr ab. Schließlich wird jede bis an das Ventil der 1. Stufe gelangende übermäßige Drucksteigerung durch das darüber befindliche Sicherheitsventil abgeleitet, so daß ein gefährlicher Druck und damit gefährliche Wärmemengen das Ventil nicht mehr treffen können. Der Ausbrennschutz schützt demnach das Druckminderventil gegen Gefahren, die ihm von der Flasche drohen.

Eine Einrichtung, die das Ventil und die Flasche gegen Gefahren schützen soll, die ihnen vom Brenner her drohen, ist die Schutzpatrone (Rückschlagpatrone) (Abb. 38). Sie besteht aus einem zwischen das Auslaßventil und die Schlauchtülle eingebauten Gehäuse, in dem ein poröser Tonzylinder *a* angeordnet ist. Das in Pfeilrichtung kommende Gas drückt unter Überwindung des Federdruckes den Bolzen *b*, in welchem sich der Hartgummi-verschluß *c* befindet, ab und strömt in Richtung der Pfeile durch die poröse Masse zum Brennerschlauchanschluß *d*. Beim Rücktritt von Gas oder bei Flammenrückschlägen hält der Zylinder die Explosionswelle auf, und das Rückschlagventil wird durch den Druck, unterstützt durch die Federkraft, geschlossen. In gleicher Weise wird der Rücktritt des Gasgemisches (insbesondere beim Schneiden) verhütet. Da die Patronenmasse dem Gasdurchgang einen gewissen Widerstand entgegensetzt, sind die normalen Gasdrucke bei Verwendung einer solchen Schutzvorrichtung um 10 vH höher einzustellen. Beim Flammenrückschlag zerstörte Platten sind leicht auswechselbar.

Manometer (Druckmesser). Die Strichteilung der Manometer (Manometerskala) ist meist nach dem Dekadensystem (Zehnzahlordnung) eingerichtet und zeigt den Druck in $\text{kg/cm}^2 = \text{at}$ (Atmosphären) an (DIN 1907). Beim Arbeitsdruckmanometer, dem Niederdruckmanometer, findet man hin und wieder eine den Schweißbrenner-

Düsengrößen (Nummern) angepaßte Druckteilung vor: diese Teilung ist jedoch weniger üblich und hat auch mancherlei Nachteile. Im Innern sind die Manometer so eingerichtet, daß durch den in eine Röhrenfeder eintretenden Gasdruck diese sich streckende rundgebogene Metallröhrenfeder ihre Streckbewegung mittels einer kleinen Zahnradübersetzung auf den Zeiger überträgt. Eine bestimmte Größe der Streckbewegung entspricht einem bestimmten, an der Skala ablesbaren Druck.

Bei *a* Abb. 39 tritt das Gas in die Feder *b* von etwa elliptischem Querschnitt (*h*) ein und versucht diese in einem dem Gasdruck entsprechenden Maße aufzurunden und geradzustrecken. Nimmt z. B. Rohr *b* die punktiert gezeichnete Lage an, dann folgt Hebel *g* dieser Bewegung zwangsläufig, den Zeiger *f*, der sich um *e* dreht, in der Pfeilrichtung mitnehmend. *c* ist ein über den Mechanismus gelegtes Glas (Blech oder Pappe) mit einer dem Ausmaße der jeweiligen Streckbewegung bei bestimmten Gasdrucken angepaßten Skala (Einteilung) *d*, an welcher der augenblickliche Gasdruck unmittelbar in Atmosphären ablesbar ist. Zur Erweiterung

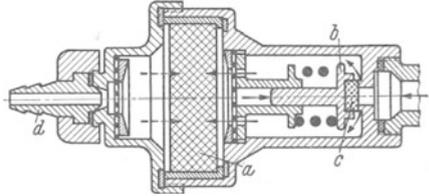


Abb. 38.
Schnitt durch eine Rückschlag-Schutzpatrone.

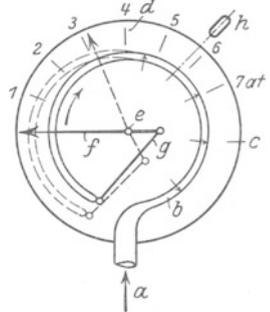


Abb. 39. Grundform eines Druckmessers.

des Zeigerausfalls und Erhöhung der Deutlichkeit ist meist zwischen Zeiger *f* und Federrohr *b* noch eine kleine Zahnradübersetzung eingebaut.

Auf die Berechnung des Gasinhaltes und -verbrauchs an Hand des am Inhaltsmanometer jeweils ablesbaren Drucks wurde schon früher hingewiesen. Um

diese Umrechnung zu ersparen, sind Manometer auf dem Markte, sog. Manoskope, die mit zwei unter sich verstellbaren und in entgegengesetzter Richtung steigenden Skalen ausgerüstet sind, von denen die eine bei Arbeitsbeginn auf 0 eingestellt wird und dann die unmittelbare Ablesung des Gasverbrauchs in jedem Augenblicke des Arbeitsfortschrittes gestattet.

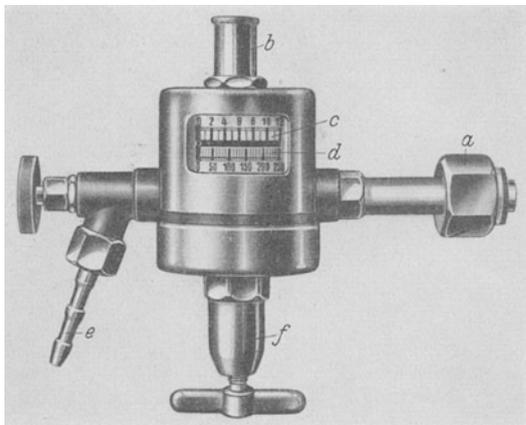


Abb. 40.

Druckminderventil mit besonderer Manometerkonstruktion.

gleichem Gehäuse exzentrisch zueinander angeordnet sind. Ganz abweichend von allen Bauarten ist die der Abb. 40. Der Mechanismus des Hoch- und Niederdruckmanometers ist unter einer gemeinsamen Schutzhaube des eigentlichen Ventilkörpers angebracht. Das Ventil ist hebellos und unterscheidet sich von anderen Konstruktionen noch dadurch, daß

der den Hochdruckraum abschließende Kegel während des Betriebes unbelastet und in seiner Führung frei beweglich ist. *a* ist die Anschlußmutter, *b* das Sicherheitsventil, *c* die Arbeitsdruck- und *d* die Inhaltsdruckskala, *f* die Druckregelschraube und *e* der Schlauchanschluß.

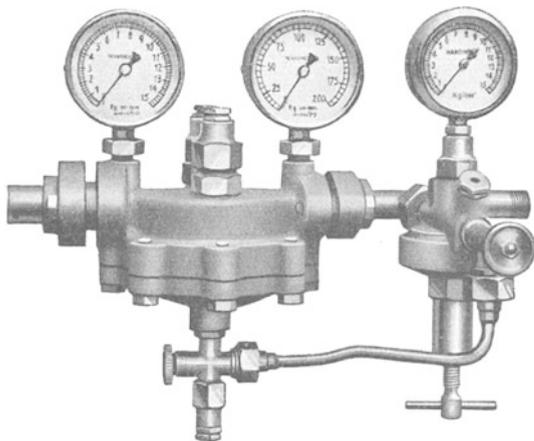


Abb. 41. Zentraldruckminderventil für Flaschenbatterie.

Zusammenschluß mehrerer Flaschen. Nicht allein der mit festverlegter Ringleitung ausgerüstete Werkstättenbetrieb be-

dingt den Zusammenschluß mehrerer Flaschen zu einer Batterie (Abb. 31 u. 98). Häufig sind auch am Einzelplatz in der Werkstatt oder auf Montage erhebliche Mengen an Schweißgasen erforderlich, die über die auf S. 46 angegebene Höchstentnahme weit hinausgehen und deshalb die Kupplung mehrerer Flaschen notwendig machen. Z. B. beim Brennschneiden dicker Werkstücke und beim Schneiden unter Wasser tritt großer Sauerstoffverbrauch ein, beim Schweißen schwerer Werkstücke außerdem auch großer Flaschenazetylenbedarf. Es ist

selbstverständlich, daß nur Flaschen gleicher Gasart und mit anfänglich gleichem Inhaltsdruck zusammengeschlossen werden dürfen. Die von Schweißern häufig vertretene Meinung, daß hierbei eine Summierung der einzelnen Flaschendrucke eintrete, ist natürlich irrig, da bei parallelgeschalteten Flaschen, gleich welcher Anzahl, sich nur die Gasmengen addieren, niemals aber die Drücke. Man kann ohne weiteres 2, 3 oder beliebig viel Flaschen mittels kupferner (ausgenommen Azetylen), messingner oder stählener Trompeten- oder Spiralarohre zusammenschließen, wie dies z. B. in Abb. 43 bei 3 Sauerstoff- und in Abb. 42 bei 3 Azetylenflaschen (Stahlrohr) der Fall ist.

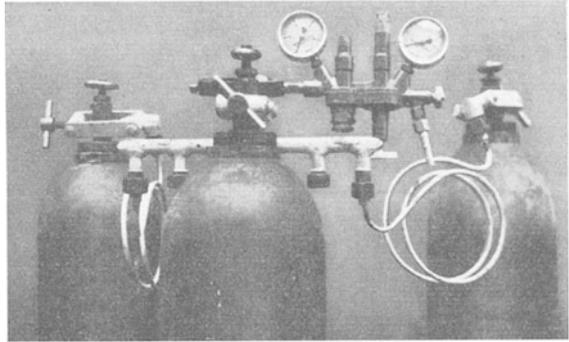


Abb. 42. Zusammenschluß dreier Azetylenflaschen.

Aus beiden Bildern geht deutlich hervor, daß den einzelnen Flaschen der Batterie das Gas über ein gemeinsames Druckminderventil (meist Hochdruckventil schwerer Bauart) entnommen wird, so daß dessen Durchgangsbohrungen genügend groß bemessen sein müssen. Diese Zentral- oder Hauptdruckminderventile werden, je nach Erfordernis, mit besonderen Druckregelautomaten oder mit Feineinstellungen für bestimmte oder konstante Drücke eingerichtet (Konstant- oder Gleichdruckverfahren, Abb. 98 u. 99). Das in Abb. 41 gebrachte Zentralventil (auch für festverlegte Rohrleitungen bestimmt) ist für einen Sauerstoffdurchlaß von 120 m³/h verwendbar. Seine Regelung und Feineinstellung wird durch eine im Bilde unten sichtbare Umgehungsleitung bewirkt. Durch die Druckregelung des vor dem Hauptventil eingebauten normalen Druckminderers wird die Membran des Hauptventils erregt und gesteuert.

Behandlung der Ventile. Vom Druckminderventil, einem in allen seinen Teilen sehr empfindlichen Präzisionsinstrument, ist das Schweißzeugnis sowohl in der Güte wie in der Menge in hohem Maße abhängig, weshalb diesem Gerät eine besonders sorgfältige Behandlung zuteil werden muß. Die nachfolgenden Anleitungen können stets sinngemäß Anwendung finden. Außerdem empfiehlt es sich, den besonderen Anweisungen der das Ventil liefernden Firma nachzukommen.

Das Ventil darf, was selbstverständlich sein sollte, weder gestoßen noch geworfen werden, andernfalls die einwandfreie Arbeitsweise der Manometer sofort versagt. Es darf beim Transport der Flasche nicht als Handgriff dienen, da

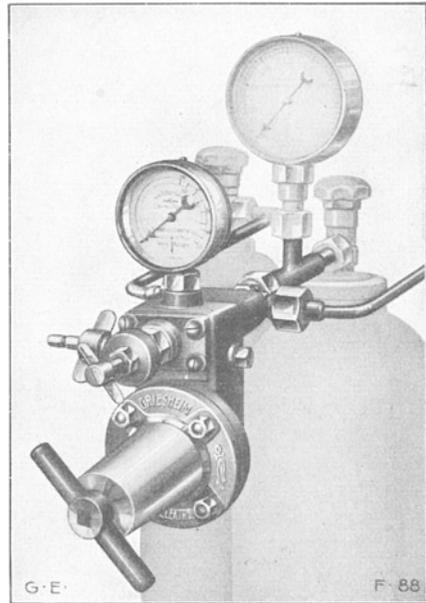


Abb. 43.
Zusammenschluß dreier Sauerstoffflaschen.

hierbei Teile des Ventils abbrechen können und durch Fall der Flasche Gefahren entstehen. Wenn die beiden Manometer geschont werden und ihren Dienst lange und ohne Mucken verrichten sollen, darf vor allem das Handrad *o* am Flaschenventil *n* (Abb. 34) — zum wiederholten Male gesagt — nicht plötzlich und ruckweise, sondern nur allmählich gedreht werden (wegen unmittelbarer Druckwirkung auf den Inhaltsanzeiger und wegen der Ausbrenngefahr). Um sich bei alten Ventilen, die den früher erwähnten Ausbrennschutz nicht besitzen, gegen etwaige Gefahren des Ausbrennens zu schützen, kann man bei einstufigen Ventilen auch so zu Werke gehen, daß man vorsichtig die Regelschraube *r* ein klein wenig anzieht, bis sich der Gegendruck der Feder in *c* bemerkbar macht, und dann die Flasche öffnet. Dadurch gibt der Verschußstöpsel oberhalb *e* den Gasaustritt etwas frei, so daß ein wenig Gas nach *i* gelangen und sich eine Erhitzung von *e* durch Gasstauung nicht einstellen kann. Im allgemeinen soll das Flaschenventil *n*

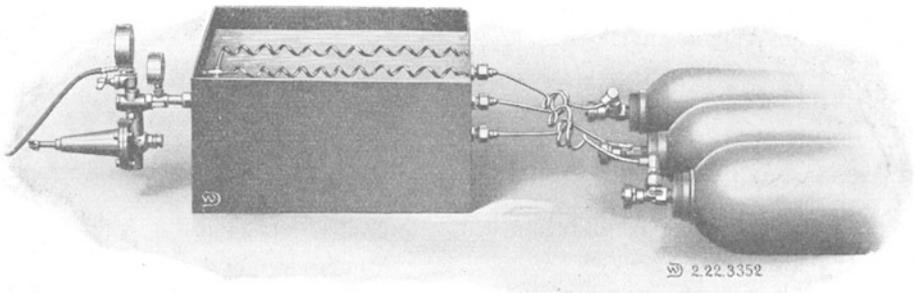


Abb. 44. Vorrichtung gegen Einfrieren des Ventils.

nur dann geöffnet werden, wenn die Feder *c* durch Zurückdrehen der Stellschraube *r* entlastet ist. Erst bei geöffnetem Flaschenventil stellt man durch Hineinschrauben der Stellschraube den für die jeweilige Arbeit erforderlichen Druck ein. Die Druckregelung erfolgt bei geöffnetem Ventil *h*, das bei kurzen Arbeitspausen geschlossen wird, ohne daß sonst Hantierungen am Ventil notwendig sind. Bei längerer Arbeitsunterbrechung wird die Druckschraube *r* herausgedreht und das Flaschenventil *n* ganz geschlossen. Bei Wiederbeginn der Arbeit wiederholt sich das Spiel von neuem. Regelungen am Abblasventil *l* sind unbedingt zu unterlassen.

Infolge der Gasentspannung von hohem auf niederen Druck entsteht Kälte, die während der Wintermonate, und bei großer Gasentnahme auch zu anderer Jahreszeit, zum Einfrieren des Ventilgehäuses führen kann; die Feuchtigkeit der Luft schlägt sich in Eisform am Ventil nieder. Noch unangenehmer wirken Wasser- und Kohlensäuregehalt des Sauerstoffs, die durch die entstehende Kälte (beim Entspannen) ausgeschieden werden und sich als Eis in den Durchgangskanälen der Ventile festsetzen. Dadurch tritt ein Drucknachlaß ein, der sich äußerlich am ruckweisen Fallen und Steigen des Druckmesserzeigers bemerkbar macht. Das Schwanken der Gasdurchflußmengen hat übrigens auch häufiges Knallen des Brenners zur Folge. Auftaumittel in solchem Falle sind heiße Sandsäckchen, Dampf oder warmes Wasser, welches in gewissen Zeitzwischenräumen über das Ventilgehäuse (nicht über die Manometer) geschüttet wird. Oder es wird ein zeitweise mit warmem Wasser getränkter Lappen über das Ansatzstück am Ventil gehängt. Das Auftauen der Ventile durch Bestreichen mit der Brennerflamme oder mit glühendem Eisen ist verboten, da es neben Gefahrenquellen verschiedener Art auch eine Zerstörung der Druckmesser zur Folge hat.

Sind mehrere Flaschen zusammengeschlossen, dann ist auch die Anordnungsweise der Abb. 44 empfehlenswert, wobei allerdings die Flaschen nicht waagrecht lagern sollten, sondern etwas schräg, mit dem Flaschenhals erhöht, damit etwa in der Flasche befindliches Wasser nicht zum Ventil fließt. Das den 3 Flaschen entnommene Gas wird durch 6 kupferne Schraubenrohre (Spiralen) geleitet, die in einem Blechkasten angeordnet sind und in ein links im Kasten sichtbares Verbindungsstück münden. Das Druckminderventil liegt außerhalb des Blechgefäßes. Der Kasten wird mit Wasser von $30 \div 40^\circ$ angefüllt und die Temperatur durch öfteres Zuschütten heißen Wassers oder durch zeitweiliges Einwerfen heißer Schlacke u. dgl. auf mindestens $+5^\circ$ gehalten.

Eine Ventilkonstruktion, die infolge ihrer Eigenart frostsicher sein soll und keiner Hilfsmittel zum Auftauen bedarf, zeigt Abb. 45. Das Einfrieren des patentierten, leider nur bei Arbeitsdrücken von mehr als 6 at wirksamen Ventils wird dabei durch Ausnutzung der dem hochgespannten Sauerstoff innewohnenden relativen Wärme verhindert.

a ist das Verbindungsstück zwischen Flaschen- und Druckminderventil, durch dessen Kanal der Sauerstoff in der Pfeilrichtung eintritt. Das Gas trifft jedoch nicht auf den Gummistöpsel, sondern macht vorerst einige Umwege, durch die Bohrungen *c* und den Ringkanal *d*, wird in Pfeilrichtung umgelenkt in den Kanal *f* und gelangt erst jetzt, am Ende des letzteren, in die Entspannungsbohrung *g*, die durch den Hartgummistöpsel *h* verschlossen gehalten wird. *i* ist der Verschlußbolzen und *A* das eigentliche Ventilgehäuse, in der Skizze aber fortgelassen.

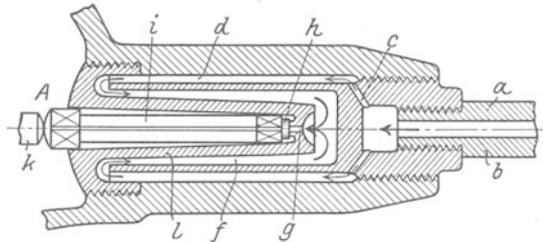


Abb. 45. Grundform eines Ventils mit Einfrierschutz.

Da nun das verdichtete Gas schon auf die Raumeinheit bezogen (infolge seiner größeren Dichte) erheblich wärmer ist als das entspannte, benutzt man es zur Vorwärmung des ganzen in der Skizze gezeichneten Ventils. Das verdichtete Gas gibt also an die Wandungen, an denen es vorbeistreichet, eine gewisse Wärmemenge ab, die dem in *l* gelegenen Kanal, in welchem sich das bereits entspannte Gas vorfindet, zugeführt wird. Der Wärmeaustausch zwischen verdichtetem und entspanntem Gas ist deshalb sehr lebhaft, weil die Wärmedurchgangszahl bei hochgespanntem Gase groß ist. Übrigens ist diese Einrichtung gleichzeitig ein guter Ausbrennschutz. Erwähnenswert ist auch das frostsichere Ventil mit elektrischer Heizung, das vor kurzem in den Handel kam. Naturgemäß ist es an das Vorhandensein eines elektrischen Stromnetzes gebunden.

Zeitweilige Prüfung der Ventile auf Dichtheit ist nicht allein aus sicherheitstechnischen, sondern auch aus Gründen der Wirtschaftlichkeit ratsam, da nicht selten durch Unachtsamkeit oder durch Überhören im geräuschvollen Betriebe bedeutende Gasverluste eintreten. Eine einfache Prüfung auf Dichtheit beruht bei einstufigen Ventilen darauf, bei geöffnetem Flaschenventil *n* (Abb. 34) und einem beliebig eingestellten Arbeitsdruck die Drosselschraube *h* abzusperrern und darauf das Flaschenventil bei *o* zu schließen. Das Inhaltsmanometer darf dann nicht abfallen, d. h. dessen Zeiger muß auf dem jeweiligen Flaschendruck stehenbleiben. Wird sodann die Stellschraube *r* ganz zurückgedreht und das Ventil von der Flasche abgenommen, so darf, nach anfänglich geringem Zurückgehen des Zeigers am Arbeitsmanometer, nach einer Stunde und länger ein Abfallen des Niederdruckmanometers nicht eintreten, andernfalls ist das Ventil nicht mehr dicht. Undicht werden leicht: der Anschluß an der Überwurfmutter *a* in Abb. 34

(Einlegen eines neuen Fiberringes), bei längerem Gebrauch die Gummimembran *f* (durch Brüchigwerden) und jene im Ventil *h*. Die Auswechslung kann man bei einiger Sachkenntnis selbst ausführen, wobei jedoch immer für festes Anziehen aller Gewindeteile zu sorgen ist. Blasen der Manometergewindestutzen wird durch Einlegen von Fiberringen behoben.

Ausbesserungen am Ventil dürfen, mit Rücksicht auf Gefahrenbildung (infolge der hohen Betriebsdrücke, denen das Ventil ausgesetzt ist), nur Sonderfirmen überlassen werden; jedenfalls ist anzuraten, nur bei sicherer Fachkenntnis Ausbesserungen selbst auszuführen. Versagen der Manometer (möglicherweise geplatze Röhrenfedern) und abgenutzte oder ausgebrannte Hartgummistöpsel machen etwa 80 vH aller Ventilausbesserungen aus. Hart, brüchig und undicht gewordene Gummitteile müssen von Zeit zu Zeit gegen neue ausgewechselt werden. Tritt trotz völlig herausgedrehter Flügelschraube (1 in Abb. 32) Gas aus, was auch bei geschlossenem Ventil 12 am steigenden Zeiger des Druckmessers 5 beobachtet werden kann, dann ist die Sitzfläche des Hartgummikegels 3 beschädigt und muß sorgfältig geglättet bzw. muß der Kegel erneuert werden.

Zusammenfassung der Ventilbehandlung.

1. Bevor Flaschenventil geöffnet wird, Schraube für Einstellung des Arbeitsdrucks zurückschrauben, bis die Feder entlastet ist.
2. Flaschenventil langsam öffnen!
3. Drosselventil öffnen.
4. Arbeitsdruck einstellen durch Rechtsdrehung der Regelschraube bei geöffnetem Brennerhahn.
5. Bei kürzerer Arbeitspause Drosselventil schließen.
6. Bei längerer Arbeitsunterbrechung Flaschenventil schließen und Druckregelschraube zurückdrehen.
7. Öl- und fetthaltige Stoffe vom Sauerstoffventil fernhalten!
8. Eingefrorene Ventile durch warmes Wasser auftauen!
9. Ventile nicht stoßen oder werfen!
10. Am Sicherheits- (Überdruckabblas-) Ventil nichts verstellen!
11. Ventil zeitweise auf Dichtheit prüfen.

3. Azetylenherzeugungsanlagen.

a) Allgemeines und Einteilung der Entwickler.

Aus Gründen der Wirtschaftlichkeit kommt heute noch der Schweißung mit in besonderen Entwicklern selbst erzeugtem Azetylen die größere Bedeutung zu, wenn auch die unverkennbaren Vorteile des Flaschenazetylen nicht bestritten werden können. Diese Azetylenherzeugungsanlagen kommen in außerordentlich mannigfachen und grundverschiedenen Bauarten auf den Markt, was daraus hervorgeht, daß es im Reiche etwa 270 behördlich zugelassene Konstruktionen gibt, die eine Gesamtanzahl von etwa 200000 Entwicklern erreicht haben. Im Hinblick auf diese Zahlen ist es praktisch unmöglich, alle Konstruktionen hier zu schildern, vielmehr können nur die bekanntesten, wichtigsten oder kennzeichnendsten Vertreter der verschiedenen Bauarten Erwähnung finden und auch diese nur soweit, als es für das Verständnis der grundsätzlichen Arbeitsweise der Azetylenentwickler erforderlich ist. Den an besonderen Konstruktionen im einzelnen Interessierten stehen die Lieferfirmen mit Unterlagen gern zur Verfügung, jedoch sind betriebs- und sicherheitstechnische Fragen, die für alle Konstruktionsarten der Entwickler von Wichtigkeit sind, im folgenden hinreichend berücksichtigt.

Allgemeine Genehmigungsvorschriften. Alle für Schweißzwecke bestimmten Azetylenzeuger sind genehmigungspflichtig und, sofern sie über 2 kg Karbidfüllung haben, auch polizeilich anzumelden. Die Prüfung (theoretisch und praktisch) der Entwickler erfolgt durch eine behördlicherseits berufene Stelle (Untersuchungs- und Prüfstelle des Deutschen Azetylenvereins, Berlin), ihre Zulassung ausschließlich durch den Deutschen Azetylenausschuß, Berlin. Dieser setzt sich zusammen aus fachmännischen Vertretern der Reichs- und Landesregierungen und Sachverständigen technischer Verbände (Deutscher Azetylenverein, Deutsche Berufsgenossenschaft, Arbeitsverband der Deutschen Autogenindustrie, Verband für autogene Metallbearbeitung und Feuerversicherungsverbände usw.). Alle Entwickler bis 10 kg Karbidfüllung und bis zu einer Stundenleistung von 6000 l Azetylen unterliegen einer Bauart- (Typen-) Prüfung und können in Arbeitsräumen benutzt werden. Entwickler mit über 10 kg Karbidfüllung (ortsfeste Anlagen) unterliegen der gleichen Prüfung. Der Aufstellungsraum ist vom zuständigen Sachverständigen abzunehmen.

Die Übereinstimmung der Entwicklerabmessungen und Konstruktionen mit den tatsächlich getypten wird bei jedem einzelnen Entwickler vor dessen Lieferung nochmals amtlich festgestellt (durch die Gewerbeinspektion oder den Dampfkesselüberwachungsverein) und durch Abstempelung des Entwicklerschildes bestätigt. Entwickler, denen die Stempelzeichen (Adler oder das jeweilige Hoheitszeichen) auf den Kupfernieten oder Zinntropfen der Firmenschilder fehlen, sind nicht genehmigt und dürfen nicht verwendet werden. Es liegt daher im Interesse des Käufers, auf diese Vorschrift besonders zu achten. Der Besitzer und der Verkäufer eines Azetylenzeugers mit über 2 kg Karbidfüllung sind verpflichtet, die Inbetriebsetzung der Anlage der zuständigen Polizeibehörde anzumelden. Alle mit der Genehmigung und dem Betriebe von Azetylenanlagen zusammenhängenden Vorschriften sind in der „Deutschen Azetylenverordnung“ zusammengefaßt.

Einteilung der Azetylenentwickler. Die Azetylen-Erzeugungsapparate können nach verschiedenen, nachstehend aufgeführten Gesichtspunkten unterteilt werden:

1. Nach der Art der Beschickung:

- a) Von Hand bediente Entwickler (kaum noch verwendet).
- b) Selbsttätige Entwickler.

2. Nach dem Ladungsvermögen mit Karbid:

a) Bewegliche Montageentwickler (M-Entwickler) mit einer Höchstfüllung von 2 kg Karbid. Diese Anlagen dürfen, wenn ihre Bauart vom Deutschen Azetylenausschuß geprüft und zugelassen ist, ohne besondere polizeiliche Anmeldung verwendet werden.

b) Ortsveränderliche Werkstättenentwickler (I-Entwickler) bis zu 10 kg Karbidfüllung. Diese Anlagen dürfen nach polizeilicher Anmeldung in Werkstatträumen benutzt werden, wenn ihre Bauart gleichfalls wie vorstehend geprüft und zugelassen ist. Die Werkstatträume müssen eine Grundfläche von mindestens 20 m² und einen Luftinhalt von mindestens 60 m³ haben. Werden mehrere Anlagen im gleichen Raume benutzt, so muß ihr Abstand voneinander mindestens 6 m betragen. Die Schweißstellen müssen mindestens 3 m von den Anlagen entfernt sein. Die Länge der Brennerschläuche soll mindestens 5 m betragen.

c) Ortsfeste Anlagen (S-Entwickler) mit mehr als 10 kg Karbidfüllung. Derartige Anlagen dürfen nur nach polizeilicher Anmeldung und Abnahme durch den zuständigen Sachverständigen benutzt werden. Sie müssen in besonderen

Gebäuden (Azetylen-Häuschen) untergebracht werden und sind mit den Schweißstellen durch festverlegte Rohrleitungen zu verbinden.

3. Nach der Art des zur Vergasung kommenden Karbids:

- a) Entwickler für Stückkarbid.
- b) Entwickler für Feinkornkarbid.
- c) Entwickler für Karbidstaub.
- d) Entwickler für brikettiertes Feinkornkarbid (Beagid, Patronid).

4. Nach der Höhe des Gasdruckes:

a) Niederdruckanlagen mit Betriebsdrücken bis zu 300 mm W.S. (Wassersäule) ($1/30$ atü). Diese Entwickler haben Wasserverschluß und in der Regel Gasbehälter mit beweglicher (schwimmender) Glocke.

b) Mitteldruckanlagen mit Betriebsdrücken bis zu 2000 mm W.S. ($0,2 = 1/5$ atü). Diese Anlagen haben gleichfalls Wasserverschluß und allgemein Gasbehälter mit feststehenden Wandungen und Wasserabdrängung.

c) Hochdruckanlagen mit Betriebsdrücken bis zu 15000 mm W.S. (1,5 atü). Diese Anlagen haben in der Regel einen von der Atmosphäre abgeschlossenen Gasbehälter.

5. Nach der Art der Anordnung des Vergasungs- und Gassammelraumes:

a) Die Vergasung geht im Gassammelraum vor sich.

b) Vergasungsraum und Gassammelraum sind, in der Regel durch einen Wasserverschluß, voneinander getrennt.

6. Nach der Art, in der Karbid und Wasser zusammengebracht werden:

a) Vermischungsvergasung. Karbid und Wasser werden getrennt gespeichert und in bestimmten, durch den Gasbedarf bedingten Mengen miteinander vermischt, so daß die Gasentwicklung erst zum Stehen kommt, wenn der eine der Stoffe erschöpft ist.

Einfall- oder Einwurfsystem. Das Karbid wird in abgeteilten Mengen in den Wasservorrat eingeworfen.

Zuflußsystem. Das Wasser fließt in abgeteilten Mengen dem Karbidvorrat zu.

b) Berührungsvergasung. Karbid und Wasser werden im gleichen Raum in der Anlage gespeichert und dem Gasbedarf entsprechend miteinander in Berührung gebracht und voneinander getrennt, so daß nach Trennung nicht der gesamte miteinander in Berührung gewesene Vorrat zu vergasen braucht.

Tauchsystem. Das Wasser steht fest und das Karbid taucht ein und wird ausgehoben.

Verdrängungssystem. Das Karbid steht fest, und das Wasser fließt zu und wird abgedrängt.

Bei Berücksichtigung der in vorstehenden Unterteilungen enthaltenen verschiedenen Gesichtspunkte ergibt sich die nachstehende vom Deutschen Azetylenverein zusammengestellte Übersicht über die auf dem Markt befindlichen Bauarten von Azetylerzeugungsanlagen (s. Seite 67, oben).

Nach vorstehendem steht fest, daß auch für ortsfeste Azetylenanlagen der Entwickler als solcher den Hauptbestandteil ausmacht; alle anderen Teile der Anlage (Wäscher, Reiniger, Gassammler usw.) sind nur von untergeordneter Bedeutung.

Die selbsttätige Beschickung der meisten Systeme verursacht bei ortsfester Bauart wenig Schwierigkeiten, um so mehr jedoch bei beweglichen Entwicklern

Vergasung im Gassammelraum					Vergasungsraum und Gassammelraum getrennt							
Vermischungsvergasung			Berührungsvergasung		Vermischungsvergasung					Berührungsvergasung		
Einfallsystem			Tauchsystem	Verdrängungssystem		Einfallsystem		Zuflußsystem			Verdrängungssystem	
Wasser- verschluss		abge- schlos- sene Bau- art	Wasser- verschluss		abge- schlos- sene Bau- art	Wasser- verschluss		abge- schlos- sene Bau- art	Wasser- verschluss		abge- schlos- sene Bau- art	
Beweg- liche Glocke	Wasser- ver- dräng.		Beweg- liche Glocke	Wasser- ver- dräng.		Beweg- liche Glocke	Wasser- ver- dräng.		Beweg- liche Glocke	Wasser- ver- dräng.		Beweg- liche Glocke

nach dem System „Karbid ins Wasser“ mit Stückkarbidfüllung. Da bei ortsfesten Anlagen eine Gewichtersparnis keine unmittelbar ausschlaggebende Konstruktionsbedingung ist, finden wir hier fast immer Entwickler, Gassammler, Reiniger und Wäscher, schon mit Rücksicht auf ihre Abmessungen, getrennt vor (als Einzelteile), seltener Erzeuger und Gassammler vereinigt. Hingegen bedingt die leichte Transportfähigkeit tragbarer Entwickler möglichst geringes Gewicht bei ebenfalls geringsten Abmessungen; daher sind bei diesen Entwicklern in den weitaus meisten Fällen Entwickler und Gassammler (Glocke) in einem Körper zusammengebaut.

In der vorstehenden Unterteilung ist kurz darauf hingewiesen worden, daß von Hand bediente Entwickler schweißtechnisch keine Anwendung mehr finden, sondern nur selbsttätige, bei denen Karbid oder Wasser, je nach Konstruktion, durch verschiedene Regelorgane in Teilmengen bewegt werden.

Die günstigen Verhältnisse der Hochdruckentwickler haben zu deren bevorzugter Anwendung geführt; insbesondere werden heute bewegliche Apparate meist in der Form von Hochdruckentwicklern benutzt. Erhöhter Azetylendruck hat den Vorteil einer besseren Gasmischung in der Flamme und deren größeren Stabilität. Außerdem können Lötwerkzeuge ohne Sauerstoff betrieben und auch den entfernt liegenden Zapfstellen einer ortsfesten Hochdruckanlage jederzeit genügende Gasmengen entnommen werden. Nachteilig ist jedoch die meist bedeutende Druckschwankung, die durch den Einbau geeigneter Druckregler (besonders auch bei beweglichen Entwicklern) verhütet werden muß. Zur Erzielung des höheren Gasdrucks dient meist Wasserdruck oder der Druck des Entwickler- oder Sperrwassers gegen ein Luftkissen (Gegendruckraum).

Wegen ihrer wesentlich höheren Wirtschaftlichkeit ist, wo nur eben zugänglich, eine *ortsfeste Anlage* jeder beweglichen vorzuziehen. Die in einem den gesetzlichen Bestimmungen entsprechenden, besonderen Raum untergebracht, größere ortsfeste Anlage wird durch festverlegte, genügend weit bemessene Rohrleitungen beliebiger Länge mit den einzelnen Schweißstellen eines Betriebes verbunden, wobei jedem Schweißbrenner eine Wasservorlage vorzuschalten ist.

Rohrleitung. Selbstverständlich steht der lichte Durchmesser der Rohrleitung zu ihrer Länge und zur stündlichen Höchstmenge des Gasdurchgangs in bestimmtem Verhältnis. Zu klein bemessene Rohrleitungsquerschnitte

Tabelle 9.

Länge der Rohrleitung in m	Rohrweite in Zoll bei einer stündlichen Gasdurchgangsmenge von m ³ (Azetylen)					
	1 m ³	2 m ³	4 m ³	6 m ³	8 m ³	10 m ³
10	$\frac{3}{4}$	1	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{3}{4}$	$1\frac{3}{4}$
20	$\frac{3}{4}$	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{3}{4}$	$1\frac{3}{4}$	2
30	1	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{3}{4}$	2	$2\frac{1}{2}$
50	1	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{3}{4}$	2	$2\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}$
100	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{1}{2}$	2	$2\frac{1}{2}$	$2\frac{1}{2}$	3
150	$1\frac{1}{4}$	$1\frac{3}{4}$	2	$2\frac{1}{2}$	3	3
200	$1\frac{1}{2}$	$1\frac{3}{4}$	$2\frac{1}{2}$	3	3	$3\frac{1}{2}$

würden zu wenig Gas durchlassen und Störungen in der Arbeit der Brenner zur Folge haben.

Die für bestimmte Rohrstranglängen und Durchflußmengen erforderlichen mittleren Rohrweiten (bei mittlerem Druckabfall) sind in Tabelle 9 zusammengestellt. Die Zahlen sind natürlich nur für Niederdruckazetylen gültig. Für Hochdruckazetylen sind die Rohrweiten wesentlich geringer und nach den Angaben der Lieferwerke zu bestimmen.

Außerdem ist auch ein dem Druckabfall der Leitungslänge entsprechender Gasdruck notwendig. Bei einem Druckverlust von 3 mm W.S. beträgt z. B. die Gasausflußmenge aus einem 200 m langen Rohre von 1" l. W. $0,563 \text{ m}^3$ je Stunde. Unter gleichen Voraussetzungen jedoch bei 10 mm W.S. Druckverlust beträgt die Ausflußmenge aber $1,028 \text{ m}^3$, mithin fast das Doppelte. Auch bei beweglichen Entwicklern müssen die Einzelteile, wie Entwickler, Gassammler, Reiniger und Wasservorlage, durch Rohrleitungen verbunden werden (Gummischlauchverbindung ist untersagt, Panzerschlauchverbindung zwischen Entwickler und Wasservorlage ist zulässig).

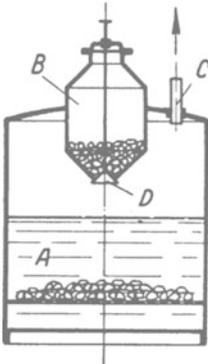


Abb. 46. Grundform eines Einwurfentwicklers.

b) Entwicklerkonstruktionen.

Azetylenentwickler mit Wasserverschluß und beweglicher Glocke. 1. Vermischungsvergasung. Entwickler dieses Systems können sowohl Einfall- als Zuflußkonstruktionen sein. Als Urbild der Karbidewurfentwickler kann die Grundform Abb. 46 angesprochen werden. Das Karbid lagert in einem meist domförmigen Vorratsbehälter *B* in der Mitte über dem Entwicklerraum *A*. Die sinkende Glocke öffnet mittels einer Hebelvorrichtung oder eines ähnlichen Mechanismus das Ventil *D*, Karbid so lange einwerfend, bis die Glocke wieder über eine Mindesthöhe gestiegen ist.

Die Gasentnahme erfolgt bei *C*. Dieses Einwurfsystem ist mehr bei ortsfesten als bei beweglichen Azetylanlagen anzutreffen, da für Kleinentwickler dieses Systems (bis zu 10 kg Karbidfüllung) die Verwendung von Stückkarbid (25÷80 mm Körnung) überhaupt nicht in Frage kommt. Bei freizügigen Entwicklern nach dem Einwurfsystem kann des schwierigen selbsttätigen Transports innerhalb der Beschickungseinrichtung halber nur Feinkornkarbid, dessen verschiedene Mängel bereits betont wurden, verwendet werden. Aus diesem Grunde sind die weitaus meisten Kleinentwickler nach dem Zufluß- oder nach dem Verdrängungssystem gebaut.

Die Arbeitsweise eines der Gruppe 1 angehörigen Einfallentwicklers mit Vergasung im Gassammelraum soll an Hand der Abb. 47 besprochen werden. Der mit Sperrwasser für die Gasglocke *b* angefüllte Ringraum (Tasse) *k* ist vom Entwicklerraum *n* getrennt. Die Feststellvorrichtung *o* mit Spindel *p* und Handrad *q* verhindert ein Öffnen des Karbidbehälterdeckels und ein Anstellen des Apparates bei offenem Verschlußkegel *e*. Bei Gasentnahme sinkt, nach Vergasung der im Ruhezustand des Apparates eingeworfenen Karbidmenge, die hochstehende Glocke *b*. Die Regelstange *f* stößt gegen den Anschlag *f*₁, wodurch der am oberen Ende der Stange angebrachte Verschlußkegel *e* gehoben wird und Karbid aus dem Vorratsbehälter *a* durch den Einfallschacht *c* in das Entwicklerwasser fallen kann. Bei steigender Glocke schließt sich der Kegelschluß *e* selbsttätig wieder ab. Am unteren Ende der in *d* geführten Stange *f* befindet sich ein Gegengewicht *g*, das *e* während des Steigens der Glocke verschlossen hält. Dieses Gegengewicht ist gleichzeitig als Verteilungskegel für das Karbid ausgebildet. Gasentnahme

erfolgt bei *i*. Der Karbidschlamm, der sich am Boden des Entwicklers bei *m* ansammelt, wird am Ablaßhahn *l* entnommen. Der Gasdruck, durch das Gewicht und den Querschnitt der Glocke bedingt, findet seinen Ausdruck durch die Wassersäule *h*.

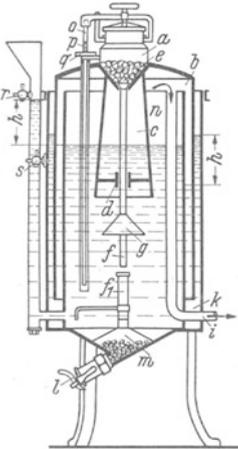


Abb. 47. Einfallssystem, Vergasung im Gassammelraum.

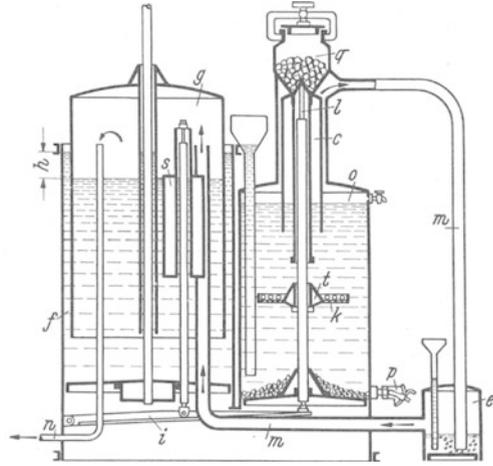


Abb. 48. Einfallssystem, Vergasungs- und Gassammelraum getrennt.

Von dieser Konstruktion unterscheidet sich die folgende Abb. 48 gleichen Systems dadurch, daß bei ihr die Vergasung außerhalb des Gassammelraumes erfolgt. Zwischen Entwicklungsraum *o* und Gasglocke *g* befindet sich

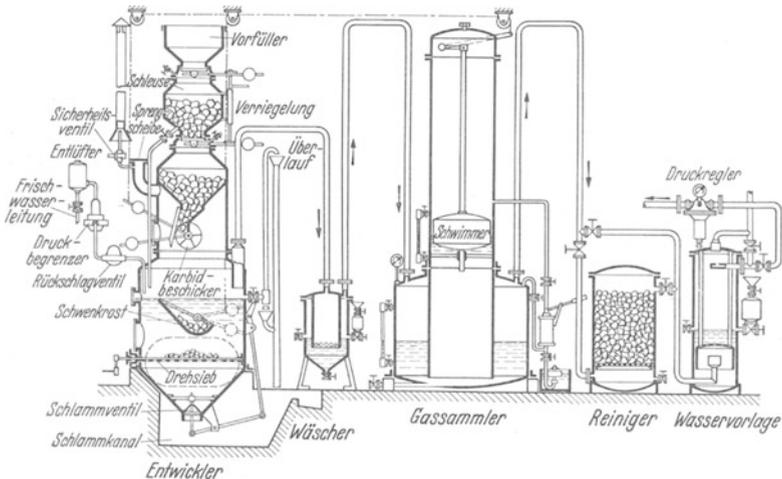


Abb. 49. Große ortsfeste Azetylenanlage.

ein Wasserverschluß *e*. Entwicklungsraum *o* ist vom Sperrwasserraum *f* der Gasglocke *g* völlig getrennt. Sobald sich dieselbe durch Gasentnahme senkt und auf den Schwimmer *s* drückt, öffnet sich der durch das Gestänge *i* mit dem Schwimmer verbundene Verschlusskegel *l* des Karbidvorratsbehälters *g*. Dann fällt Karbid durch den Einfallschacht *c* in das Entwicklerwasser und wird durch den Kegel *t* über den Siebboden *k* verteilt. Das entwickelte Azetylen tritt durch

das Entwicklerwasser in den Entwicklergasraum o und gelangt durch die Leitung m , Wäscher e in die Gasglocke g , worauf diese und auch der Schwimmer s steigen und der Verschlußkegel l wieder geschlossen wird. Die Gasentnahme erfolgt bei n . Der Karbidschlamm, der sich am Boden des Entwicklungsraumes ansammelt, wird am Ablaßhahn p entnommen. Durch eine entsprechende Vorrichtung ist die Möglichkeit einer Auf- und Abwärtsbewegung des Siebbodens k gegeben.

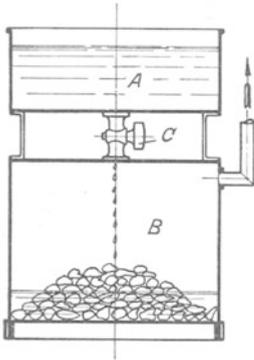


Abb. 50. Grundform des Systems „Wasser zum Karbid“.

Dem gleichen System gehört die in Abb. 49 dargestellte ortsfeste Azetylenanlage an. Sie dient der Erzeugung von Hochdruckazetylen. Das Karbid wird über einen Vorfüller und durch eine Schleuse in den Vorratsbehälter eingebracht. Von hier gelangt es über eine Verteilertrommel in das Entwicklerwasser. Der Weg des Azetylens ist durch an den Rohrleitungen angebrachte Pfeile gekennzeichnet. Die Anlage unterscheidet sich von den oben beschriebenen vor allem dadurch, daß sie keine schwimmende Glocke, sondern einen festen Gassammler besitzt, der dem Azetylen den gewünschten Hochdruck verleiht.

Die Grundform der nächsten Untergruppe des Wasserzuflußsystems veranschaulicht Abb. 50. Die Vergasung erfolgt im Gassammelraum, ein praktisch nicht mehr vorkommender Fall. Das im Vorratsbehälter A aufgespeicherte Wasser wird über einen von der Glocke aus gesteuerten Hahn C dem in B lagernden Karbid zugeführt. Die Gasentnahme erfolgt bei D . Alle nach diesem System arbeitenden Entwickler sind heute als

sog. Schublade- oder Retortenapparate gebaut, wobei Vergasungs- und Gassammelraum getrennt sind, ganz gleich, ob es sich um Nieder- oder Hochdruckentwickler handelt. Nach diesem System arbeitet auch der in Abb. 58 im Schnitt dargestellte Retortenentwickler für Hochdruckazetylen, der später noch beschrieben und dessen Niederdrucktype hier übergangen wird.

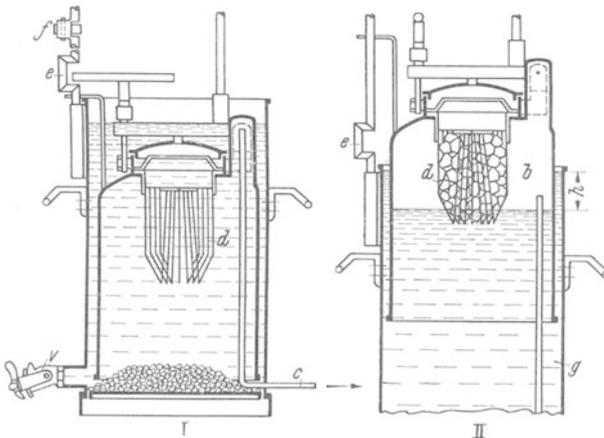


Abb. 51. Tauchsystementwickler für Stückkarbid.

2. Berührungsvergasung. Für diese Entwickler gibt es zwei Konstruktionsmöglichkeiten: das Tauchsystem und das Verdrängungssystem. Das letzte soll im nächsten Unterabschnitt behandelt werden (mit feststehender Gasglocke). Beim Tauchsystem erfolgt die Vergasung fast immer im Gassammelraum. In Abb. 51 ist ein solcher Entwickler in zwei Betriebszuständen dargestellt, und zwar zeigt I den Zustand nach völliger Vergasung des Karbids und II den Vergasungszustand.

Das Karbid wird in einem in die Glocke b eingehängten Karbidrahtkorb d untergebracht. Bei Gasentnahme sinkt die Gasglocke, der Karbidkorb taucht in das Wasser, und das entwickelte Azetylen treibt die Gasglocke samt Karbid-

korb wieder in die Höhe. Eine Stange der Führungseinrichtung für die Gasglocke besitzt unmittelbar über der Oberkante des Sperrwasserbehälters *g* eine Kröpfung *e* und in einem bestimmten Abstände davon (etwas größer als die Eintauchtiefe des Karbidkorbes in das Entwicklerwasser bei tiefster Glockenstellung) einen Schnapper *f*. Die Kröpfung hat den Zweck, daß ein Öffnen des Bügelverschlusses der Gasglocke nur bei tiefster Glockenstellung möglich ist (Verringerung des Gasraumes der Glocke beim Öffnen). Die Schnappervorrichtung soll das Schließen (nicht aber ein Öffnen) des Bügelverschlusses des Gasbehälters bei hochstehender Glocke ermöglichen, damit der Karbidkorb beim Einsetzen nicht sofort in das Entwicklerwasser taucht und Azetylen schon bei offenem Gassammler entwickelt wird. Die Gasentnahme erfolgt bei *c*. Der Schlamm wird aus dem Ablasshahn *v* entnommen. Das Entwicklerwasser ist vom Sperrwasser des Gasbehälters nicht getrennt.

Azetylenentwickler mit Wasserverschluß und Wasserabdrängung.

1. Vermischungsvergasung. In dieser Untergruppe kommen praktisch nur Entwickler des Zuflusssystems vor, wobei Vergasungs- und Gassammelraum getrennt und die Gasglocken unbeweglich sind. Apparate dieser Art sind weitaus meist Mitteldruckentwickler, wie Abb. 52 einen solchen darstellt.

Das Karbid wird in die einzelnen durch die Zwischenwände *w* getrennten Abteilungen der Schublade *v* gleichmäßig verteilt. Die gefüllte Schublade wird in die Vergaserrorte *e* eingeführt. Die Füllmenge wird durch die Anordnung einer rechenartigen Begrenzungsvorrichtung beschränkt. Bei Gasentnahme

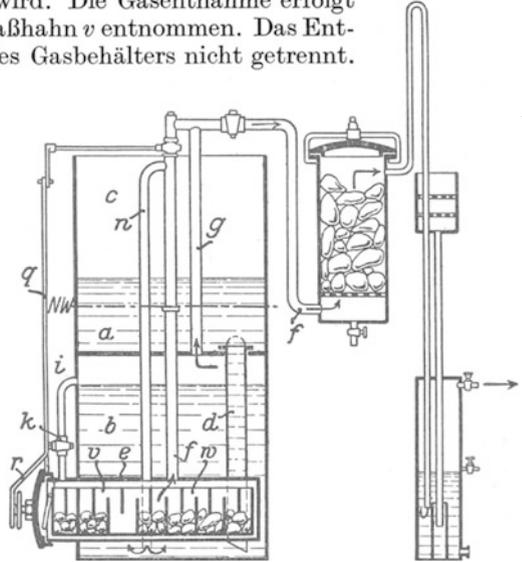


Abb. 52. Mitteldruckentwickler (Retortensystem).

kommt das sich entwickelnde Azetylen aus der Retorte in die Leitung *f* zum Reiniger und zur Wasservorlage. Das überschüssige Azetylen gelangt durch das Rohr *g* in den unteren Raum *b* des Apparates und verdrängt daraus die entsprechende Wassermenge durch das Rohr *d* in den oberen Raum *c* (beide Räume sind durch eine Querwand *a* voneinander getrennt). Dabei wird der Wasserspiegel unter die Mündung des Rohres *i* abgedrängt und die Wasserzufuhr zu den Schubläden unterbrochen. Wird von der aufgespeicherten Gasmenge soviel verbraucht, daß das Wasser in den Raum *b* wieder zur Mündung des Rohres *i* hochsteigt, so fließt der Retorte *e* wieder Wasser zu. Unterhalb des Hahnes in Rohr *f* zweigt ein Rohr *n* ab, das als Überleitungsrohr dient, wenn bei geschlossenem Hahn *k* und dem mit ihm in *f* gekuppelten ein Überdruck in *e* entstehen sollte. Der Zuflußhahn *k* ist durch das Gestänge *q* mit dem Hahn in *f* verbunden, so daß beide Hähne gleichzeitig betätigt werden müssen. Bei offenen Hähnen verdeckt eine mit dem Hahn *k* verbundene Platte *r* den Retortenverschluß und macht ein Öffnen der Retorte bei Wasserzulauf unmöglich. Ein Austritt von Azetylen aus dem Gassammelraum beim Öffnen der Retorte ist durch das zwangsläufige Schließen des Hahnes in *f* bei Freigabe des Retortenverschlusses ebenfalls verhindert. Der Karbidschlamm wird beim Herausziehen der Schublade *m* mitentfernt. Der Gasdruck wird hier wie bei

allen diesen Bauarten durch die Höhe der über dem Wasserspiegel des Gasraumes stehenden Wassersäule bedingt.

2. Berührungsvergasung. Die Grundform des hierher gehörenden Verdrängungssystems, die Kippsche Flasche, ist in Abb. 53 wiedergegeben. Ist der Gasvorrat in *C* erschöpft, so wird das im Trichter *B* befindliche Wasser durch das Rohr *A* im Raume *D* hochsteigen, bis es mit dem in *C* gelagerten Karbid in Berührung kommt. Das jetzt sich bildende Gas verdrängt das Wasser wieder in das Rohr *A*, wodurch gleichzeitig dem Gas ein von der jeweiligen Wassersäule abhängiger, schwankender Druck verliehen wird. Bei niedrigem Wasserstand (im Raume *D*) ist also der Gasdruck hoch, bei hohem Wasserstand ist er gering, da die Größe des Gasdrucks ein von der Höhe der Wassersäule in *A* abhängiger Faktor ist. Sinken und Steigen des Wasserspiegels wiederholt sich, solange noch Karbid in *C* vorhanden ist. Gleicher Gasdruck, d. h. verharrender Wasserstand, tritt nur dann ein, wenn Gasentwicklung und Gasverbrauch gleich groß sind.

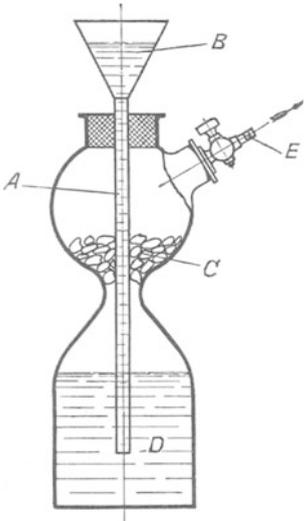


Abb. 53. Grundform des Wasserverdrängungssystems.

Diese Grundform findet sich, wie ihre Einfachheit erwarten läßt, sehr häufig vor, sowohl bei Entwicklern mit beweglicher (Niederdruckentwickler) wie mit feststehender (Mitteldruckentwickler) Gasglocke. Dabei ist noch zu unterscheiden zwischen Entwicklern mit getrenntem Vergasungs- und Gassammelraum und solchen, bei denen die Vergasung im Gassammelraum erfolgt. Zu den ersten gehört der Entwickler der Abb. 54, zu den letzten sind die Abb. 55 und 60 zu zählen.

Die nach dem Verdrängungssystem gebauten Entwickler zeichnen sich durch einfachste Bauweise aus. Zu Betriebsstörungen Anlaß gebende bewegliche Teile, wie Hebel, Räder, Ventile usw. sind weniger oder garnicht vorhanden. Den Entwicklern fehlt außerdem jede zwangsläufige Betätigung ihrer einfachen Konstruktionsteile; das bewegliche Medium (Vermittlungsglied) ist Wasser allein.

Das im Einsatz *D* des Entwicklers Abb. 54 hochsteigende Wasser bespült das in einem Korbe (links bei *G* herausgezeichnet) gelagerte Karbid und entwickelt Gas, welches durch ein Winkelrohr in einen Wäscher und Wasserverschluß *C* geleitet wird und von hier durch ein Steigerrohr unter die feststehende Glocke *B* gelangt, aus dieser das Wasser in den Entwicklerraum *A* verdrängt. Das Gas geht dann weiter durch Reiniger *E* zur Wasservorlage *F*. Der höchste Gasdruck entspricht einer Wassersäule, gemessen vom unteren Wasserspiegel in *B* bis zum Wasserspiegel in *A*. Wenn man vom Wäscher *C* absieht, findet man sofort eine Ähnlichkeit mit der in Abb. 53 gezeigten Grundform. Tritt bei dieser (bei *E*) eine gleichmäßige Gasentnahme ein, so bleibt der Wasserstand in *D*, also auch der Gasdruck, ziemlich gleichmäßig. Das gilt auch für Entwickler dieses Systems. Druckschwankungen treten nur ein bei Entwicklungsbeginn und bei Arbeits-, d. h. Gasentnahmebeendigung. Während der Arbeit — und darauf kommt es an — bleibt der Gasdruck annähernd der gleiche.

Die Abb. 55 stellt einen Beagidapparat dar. Die Beagidkörper *d* sind in einem Drahtgestell *c* übereinandergeschichtet. Das Gestell *c* ist mit der Einhänge- und Befestigungsvorrichtung *e* verbunden; dieses wird wiederum mit der übergestülpten Glocke *b* verbunden und wird in den Wasserbehälter *a* eingehängt und verriegelt.

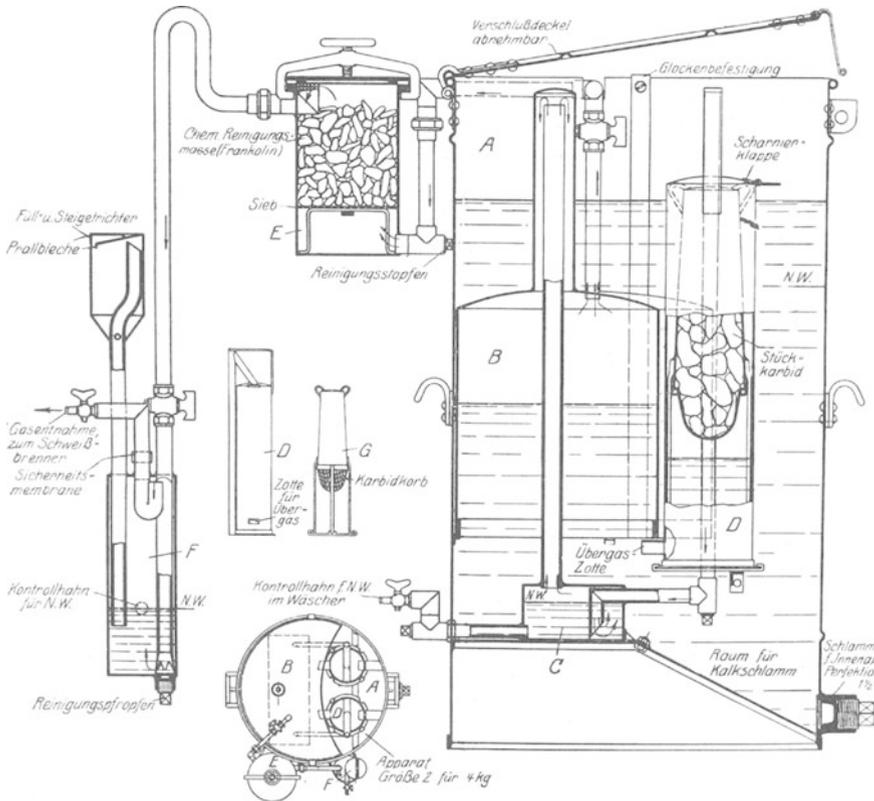


Abb. 54. Mitteldruckentwickler mit feststehender Glocke.

Bei f wird das Gas unter dem Druck der Wassersäule h entnommen. Die Entschlammung erfolgt durch Umkippen des seiner Konstruktion und Arbeitsweise nach einfachsten Apparates.

Die Einrichtung einer ortsfesten Oberflur-Groß-Azetylenanlage nach dem Verdrängungssystem zeigt Abb. 56. Die Anlage besteht aus zwei Entwicklern E , einem Gasbehälter G , einem Wäscher W und sonstigen Nebeneinrichtungen, und ist in einem den behördlichen Bestimmungen entsprechenden Gebäude untergebracht. Die beiden Entwickler, die sowohl wechselweise (einzeln) als auch gleichzeitig (gemeinsam) arbeiten können, haben eine Karbidfüllung von je 1500 kg (Stückkarbid 50/80 mm), und eine Gesamtleistung von 500000 l Gas je Stunde, was einer täglichen Vergasung von etwa 40000 kg Karbid (in 24 h) entspricht. Die Glocke G faßt 15000 l.

Die Entwickler E sind als Doppelschacht ausgebildet, unten durch einen Trichter abgeschlossene stehende Zylinder. Am Ende des Trichters ist ein Schlamm-schieber S angebracht, der mit dem Schlammkanal in

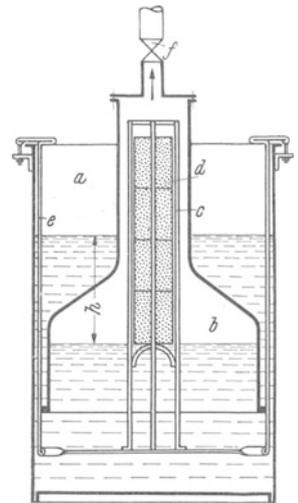


Abb. 55. Beagidentwickler mit festem Gasraum.

Verbindung steht. Der untere Teil des Entwicklers ist Wasserraum, der obere Gasraum; letzter ist wegen rascher Ableitung der Zersetzungswärme von einem Kühlmantel für fließendes Wasser umgeben. Über dem Wasserraum liegt ein Rost, der als Traggerüst für den Karbidbehälter dient. Nach oben erfolgt der Entwicklerabschluß durch Wasserverschluß mit Hilfe einer in den Kühlmantel eintauchenden Glocke. Das Karbid wird aus dem Lagerbecken *V* in das Gefäß *F* über eine Rutsche entnommen und das Gefäß mit Hilfe des Schwenkkrans *K* in den Entwickler eingeführt. Der Entwickler arbeitet mit ständig durchfließendem Wasser, welches durch einen Frischwasseranschluß von genügend hohem Druck eintritt und durch einen Überlauf und ein Abfallrohr in den

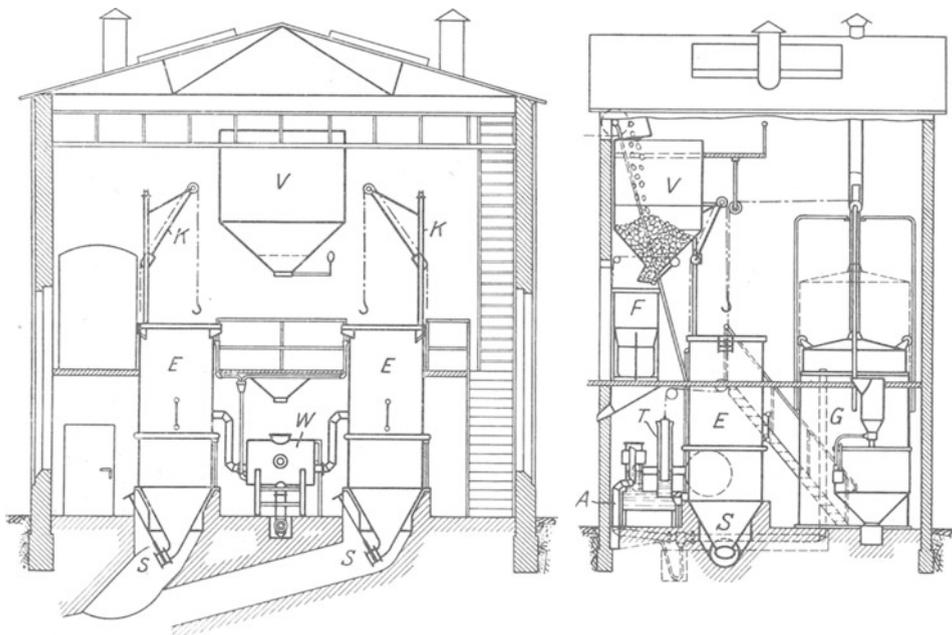


Abb. 56. Groß-Azetylenanlage.

Schlammkanal abläuft. Der Wasserstand im Entwickler selbst wird durch einen von der Gasometerglocke mittels Kettenzug gesteuerten Tauchkolbenregler (bewegliche Überlaufleitung) *T* geregelt und stellt sich selbsttätig nach dem jeweiligen Gasverbrauch ein. Das Klärwasser wird zurückgewonnen. Vom Entwickler strömt das Gas zum Wäscher *W*, der ebenfalls mit ständig fließendem Wasser gespeist wird. Das Gasabzugsrohr *A* im Wäscher *W* führt das Gas über den erwähnten Regler *T* zum Gasometer *G* und von hier über zwei Reiniger zur Verbrauchsleitung.

Azetylenentwickler abgeschlossener Bauart. 1. Vermischungsvergasung. Alle Entwickler dieser Bauart, gleich welchem System sie angehören, haben feststehende Gassammler und sind durchwegs Hochdruckentwickler. Einen nach dem Einwurfsystem gebauten Apparat stellt Abb. 57 dar. Der Deutlichkeit halber ist der Deckelverschluß *b* besonders herausgezeichnet; man hat ihn sich auf *a* angesetzt zu denken. *A* ist der Entwickler, *B* der Reiniger und *C* die Sicherheitsvorlage mit Rückschlagventil 22. Die Karbidzuführungsvorrichtung 9 wird durch eine von Druckwasser beeinflusste Membran 1 gesteuert, welche im Hohlkörper 2 gasdicht angebracht ist und die Karbidbeschickung in bestimmten Zeitabschnitten regelt. Zu- und Abfluß des Druckwassers (bei 4 und 5)

wird durch das Ventil 3 geregelt, das mit der Membran 6 in Verbindung steht, auf welche letztere als äußerer Gegendruck das verstellbare Gewicht 7 wirkt. Bei Betriebsbeginn ist der Wasserabfluß aus 5 durch Ventil 3 in Tiefstellung geschlossen. Das Wasser gelangt über die Membran 1 und drückt mittels dieser die Treibstange 8 nieder, wodurch die Vorrichtung 9 Karbid einwirft. Die niedergedrückte Stange 8 hebt vermittels des Hebels 11 und des Stabes 12 die Membran 10 an, wodurch auch die Gewichte 12 und 13 gehoben werden. Bei einem gewissen Wasserdruck, welcher zu dem Gewichtsdruck 7 in Beziehung steht, wird die Membran 6 gehoben und mit dieser Ventil 3, welches jetzt den Wasserzufluß (4) verschließt und den Abfluß (5) öffnet, so daß das Gewicht 12 fällt und die Membran 10 wieder nach unten, Membran 1 wieder nach oben gedrückt wird und das Wasser durch 5 abfließt. Das Gewicht 13 fällt erst, wenn das Gewicht 12 eine gewisse Tiefstellung erreicht hat. Das spätere Fallen veranlaßt der Hebel 14 und die Feder 15. Dieser Vorgang wiederholt sich so oft, bis der Gasdruck in A größer ist als der Druck der Gewichte 12 und 13.

Im Entwicklerinnern ist ein Ringschwimmer 16 angeordnet, der durch die Stäbe 17 mit dem Entschlammungsventil 18 in Verbindung steht. Der Schwimmer 16 verhindert, daß ein vorgesehener Wasserstand überschritten wird, wenn der Druck des Frischwassers, das bei 20 zugeführt wird, sehr groß ist. Die Ausflußöffnung 19 des Rohres für das Frischwasser ist bis in die Nähe des Schlammventils 18 geleitet, zwecks leichterer Reinigung des Ventils durch Wasserbespülung. 21 ist ein Sicherheitsventil, 22 ein Rückschlagventil.

Ob es richtig ist, einen so verwickelten, in der Arbeitsweise und Betriebssicherheit von den verschiedensten Nebenumständen abhängigen, dazu noch beweglichen Entwickler zu verwenden, erscheint doch wohl sehr zweifelhaft. Zwar ist die Konstruktion, was anerkannt werden muß, recht sinnreich, doch ist die gute Arbeitsweise des Entwicklers insbesondere eine Frage der muckenfreien Wirkung dreier Membranen, einer Anzahl Ventile, Federn, Hebel, Stangen und Gewichte. Zudem ist sein Betrieb an das Vorhandensein einer Druckwasserleitung gebunden.

Im Gegensatz hierzu ist der Hochdruckentwickler Abb. 58 ein Retortenapparat, also nach dem Wasserzuflußsystem eingerichtet. Er besteht aus dem Entwickler A, dem Druckbehälter B, der Pumpe C, dem Reiniger D und der Wasservorlage E. Im Entwickler A befinden sich die beiden Retorten b (hintereinanderliegend im Bilde) mit den in Kammern geteilten Schubladen.

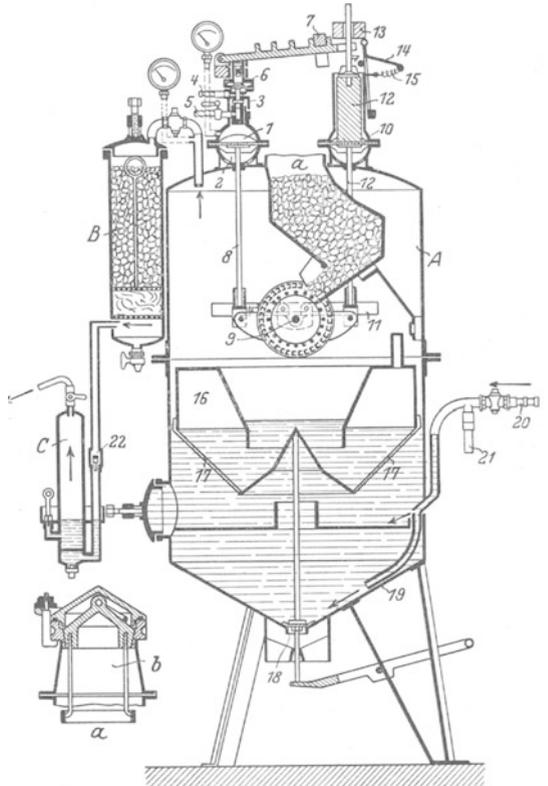


Abb. 57. Hochdruckentwickler (Einwurfsystem).

2. Berührungsvergasung. Zu dieser Gruppe gehören beide Vertreter des Verdrängungssystems: Entwickler mit Vergasung im Gassammelraum (Abb. 59) und solche mit getrenntem Vergasungs- und Sammelraum (Abb. 60). Der in Abb. 59 dargestellte Apparat arbeitet wie folgt:

Wird der am Entwicklerdeckel befestigte Einsatz *a* samt Karbidkorb *b* und Schlammfänger *c* bei geschlossenem Anstellventil *d* in den vorschriftsmäßig bis *f* gefüllten Hauptwasserbehälter *e* eingebracht, so steigt das Wasser bis zum oberen Rande des Behälters und verdrängt die darin enthaltene Luft. Nach Öffnen des Anstellventils *d* ist der Entwicklungszyylinder *a* durch die Überleitungsstutzen *g* und *g*₁ mit dem Gegendruckraum *e* verbunden. Durch Druckausgleich gelangt das Wasser ans Karbid und die Gasentwicklung beginnt. Das entwickelte Azetylen strömt durch den Stutzen *g*, das Regelgehäuse *i* und den Stutzen *g*₁ in den Gegendruckraum *e* und treibt das überschüssige Wasser durch den geöffneten Wasserauslaufhahn *k* solange aus, bis der Wasserstand soweit gesunken ist, daß die Schwimmerkugel herabfällt und durch eine Gummischeibe den Wasserabfluß abschließt. Mit Ansteigen des Drucks wird die durch eine Feder gespannte Membran *l* nach oben durchgebogen und schließt durch ein Gestänge *m* das Übertrittventil *n*. Das zunächst im Entwicklungszyylinder *a* nachentwickelte Gas drückt das Wasser vom Karbid weg,

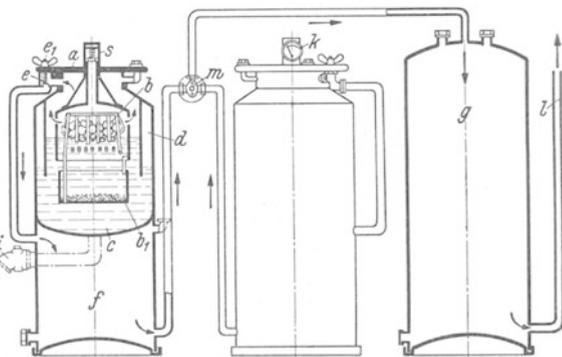


Abb. 60. Hochdruckentwickler nach dem Verdrängungssystem.

wodurch die Gasentwicklung aufhört. Sinkt durch Gasentnahme bei *p* der Druck, so federt die Membran *l* zurück und wird nach unten durchgebogen, das Gestänge gibt den Gasübergang zwischen den beiden Behältern frei, das Wasser tritt wieder zum Karbid, und die Gasentwicklung beginnt von neuem. Die Entschlammung erfolgt bei *o*. Auf dem Deckel des Apparates ist noch ein Manometer für die jeweilige Druckanzeige im Apparat und ein Sicherheitsventil zum Ablassen des überschüssigen Gases angeordnet.

Endlich sei noch kurz auf den in Abb. 60 gezeigten Entwickler eingegangen. Sobald der am Verschlußdeckel *a* befestigte, gefüllte Karbidkorb *b* mit Schlammbehälter *b*₁ in den Entwicklungsbehälter *c* eingesetzt wird, kommt das Karbid mit dem Wasser in Berührung, so daß Gas erzeugt wird. Wird kein Gas entnommen, so drückt das angesammelte Azetylen das Wasser vom Karbidkorb hinweg in den Gegendruckraum *d*. Wird Gas entnommen, so steigt, da der Druck im Entwicklungsbehälter *c* nachgibt, das Wasser wieder zum Karbid. Vom Entwicklungsbehälter *c* strömt das Azetylen durch das Überströmventil *e* in den Gassammelraum *f* und Reservegasbehälter *g*. Die Gasentnahme erfolgt bei *l*. Das Überströmventil *e*, mit dem Deckelverschluß verbunden, verhindert ein Entweichen von Azetylen aus dem Gasbehälter *f* bei offenem Verschlußdeckel *a*. Der Dreiwegehahn *m* gestattet eine ununterbrochene Betriebsführung mit 2 Entwicklern.

c) Allgemeine Einrichtungen und Behandlung der Azetylenentwickler.

Für Konstruktion und Einrichtung der Azetylenentwickler gibt es umfangreiche, behördliche Vorschriften, auf die wir hier nicht näher eingehen können.

Sie beziehen sich, außer auf die Art des Baustoffs und allgemeine Abmessungen, vor allem auf sicherheitstechnische Fragen. Z. B. muß einer bestimmten Karbidmenge eine bestimmte Menge an Entwicklerwasser entsprechen (zur Vermeidung hoher Temperaturen), der nutzbare Rauminhalt der Glocke hat zu dem Umfange der für jeden Füllungsvorgang möglichen Karbidvergasung in entsprechendem Verhältnis zu stehen usw. Andere Bestimmungen beziehen sich auf die Aufstellung der Apparate. Einige allgemeine Einrichtungen der Entwickler müssen wir aber kurz besprechen, und an dieser Stelle besonders betonen, daß für die Bedienung von Azetylenentwicklern nur zuverlässige Personen verwendet werden dürfen, die das 16. Lebensjahr überschritten haben.

Entschlammung. Bei allen Azetylenapparaten muß, wenn der beim Karbidzersetzen gebildete Schlamm nicht jedesmalig bei Neubeschickung mit Karbid mitsamt dem Karbidbehälter entnommen werden kann, eine genügend große Entschlammungsvorrichtung vorgesehen sein (*l* in Abb. 47, *p* in Abb. 48, 18 in Abb. 57, *o* in Abb. 59). Die Entschlammung soll besonders bei ortsfesten Anlagen so erfolgen, daß während ihrer Dauer keine Luft ins Apparateinnere eintreten oder hineingesaugt werden kann. Dies wird dadurch erreicht, daß man entweder soviel frisches Wasser zufließen läßt, als man im Augenblick an Schlamm entnimmt, oder daß man durch Öffnen eines Zwischenhahns (*F* in Abb. 63) eine Verbindung zwischen Gasglocke und Entwickler herstellt, damit eine der abgelassenen Schlammmenge entsprechende Gasmenge von der Glocke zum Entwickler strömen kann. Mitunter werden

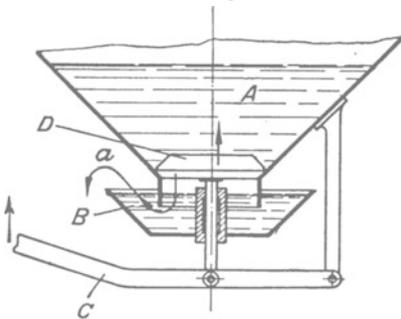


Abb. 61. Kalkschlammablaß.

auch kleine Hilfsentwickler aufgestellt, die während des Entschlammens des ortsfesten Entwicklers diesen mit Azetylen anfüllen. Dadurch kann sich im Entwickler kein Unterdruck bilden, und die Gefahr des Luftansaugens ist beseitigt. Abb. 61 veranschaulicht einen bei Gasgeneratoren gebräuchlichen und auch für Azetylenentwickler angewandten Wasserverschluß (s. auch Abb. 49). Am Entwicklerboden *A* ist eine wassergefüllte Tasse *B* angeordnet, in welche der untere zylindrische Teil des Entwicklers *A* hineintaucht. Hierdurch wird ein dauernder Abschluß des Entwicklers gegen die atmosphärische Luft auch beim Schlammablassen in Richtung *a*, also bei gehobenem Hebel *C* und geöffnetem Ventil *D*, gewährleistet.

Übergasung. Die bei plötzlicher Drosselung der Gasentnahme bei allen Entwicklern auftretende Nachvergasung (Nachentwicklung) infolge Vergasens bereits stark angeäußerten Karbids muß von den Glocken aller beweglichen Anlagen fast restlos aufgenommen werden können, ohne daß etwaige Übergasung der Entwickler, wie sie allerdings nicht immer ganz vermeidbar ist, sicherheitstechnische Bedenken erregt. Übergasungsrohre dürfen an beweglichen Entwicklern nicht angebracht sein, sind aber bei allen ortsfesten Anlagen Gegenstand besonderer Vorschriften. Wir finden dort ins Freie, zum Teil durch einen Sicherheitstopf führende Übergasungsrohre, z. B. in Abb. 56.

Aus Gründen sicherheitstechnischer wie auch wirtschaftlicher Natur ist bei Einwurftwicklern eine zweckmäßige Vorkehrung zu treffen, die verhütet, daß ins Entwicklerwasser fallendes, frisches Karbid in bereits vorhandenen Kalkschlamm fällt. Durch Einbettung frischen Karbids in oft teigigen, zumindest aber dickflüssigen Schlamm bildet sich bei spärlichem Wasserzutritt zum Karbid

örtliche Überhitzung, und außerdem werden oft nennenswerte Mengen unvergaster Karbidstücke beim Entschlammn mit abgeführt. Diesem Übel kann man in einfachster Weise durch Anbringung eines durchlöchernten Bodens begegnen. Eine drehbare Anordnung dieses Zersetzungsrostes (auf ihm erfolgt die Karbidzeretzung, der Schlamm fällt unten durch; man kann deshalb jenen Teil des Entwicklers, in welchem die Zersetzung des Karbids stattfindet, auch als Vergaser bezeichnen) erhöht seine Wirksamkeit, weil sein Wenden (in gewissen Zeitzwischenräumen) durch Spülung die restlose Vergasung etwa noch unvergast zurückgebliebener Karbidstücke verbürgt. In Abb. 49 ist ein derartiger Entwicklerrost (Drehsieb) zu erkennen; allerdings sind solche Vorrichtungen nur bei Stückkarbid notwendig, da Feinkornkarbid rasch vergast und durch die Löcher des Rostes fallen würde.

In allen selbsttätigen Entwicklern ortsfester Anlagen sind ferner gegen gefährbringende Gasdrucksteigerungen, wie sie infolge Verstopfung der Gasabgangsrohre (Verschlammung, Einfrieren u. dgl.) eintreten können, geeignete Sicherheitsmaßnahmen zu treffen; z. B. Anbringen von Überdruckrohren.

Hochdruckentwickler aller Größen müssen mit einem Überdruckventil ausgerüstet sein, das bei 1,5 atü Höchstdruck abbläst. Dabei ist es an sich nebensächlich, ob das Sicherheitsventil Gas oder Wasser durchläßt. Der Druck von 1,5 atü darf jedoch nicht

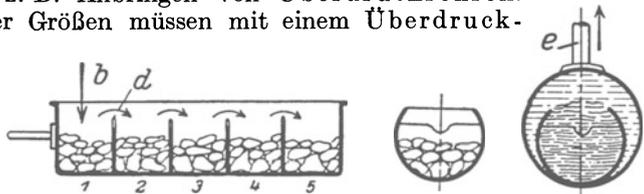


Abb. 62. Richtige Karbidfüllung der Retorten.

überschritten werden. Fast alle Konstruktionen dieser Ventile beruhen auf der Wirkung einer federbelasteten Membran. Die Ventile sind plombiert.

Weiter ist es wichtig, den Eintritt von Luft ins Entwicklerinnere, besonders bei Einfallentwicklern auch während der Beschickung mit Karbid, soweit als nur möglich einzuschränken, am besten gänzlich zu unterbinden. Wenngleich es in den seltensten Fällen gelingt, diese Aufgabe bei beweglichen Entwicklern befriedigend zu lösen, und ihr dort auch nicht die große Bedeutung zukommt, wie bei ortsfesten Anlagen, so ist dieser Anforderung bei letzteren verhältnismäßig leicht nachzukommen, beispielsweise durch Anbringen eines ebenfalls bei Entwicklern oft vorzufindenden Beschickungsverschlusses (Schleufe in Abbildung 49).

Richtige Retortenfüllung. Für die Retortenentwickler nach Abb. 52 sind besondere Vorschriften vorhanden, deren wesentlichste sich auf die Regelung des Wasserzuflusses zu den Vergasungsretorten erstreckt. Danach soll der Retorte entweder das zur vollkommnen Zersetzung der gesamten Karbidmenge erforderliche Wasser auf einmal zufließen (wobei genügend groß bemessene Gasglocken Voraussetzung sind; man spricht dann von einer „Totalvergasung“) oder eine kleinere Wassermenge mit entsprechend kleineren Karbidmengen in Berührung gelangen. Da jedoch die gänzliche Vergasung des gesamten Karbidvorrats zugleich unverhältnismäßig große Gasglocken bedingt, sind fast alle Entwickler dieses Systems so gebaut, daß kleineren Mengen Karbid geringe Wassermengen zufließen. Die in die Vergasungsretorten eingeführten, schubladenartigen Karbidbehälter sind deshalb meist durch eine Anzahl stegförmiger Zwischenwände (*d* in Abb. 62) in einzelne Kammern getrennt. In Abb. 62, die uns den Längsschnitt durch eine solche Schublade zeigt, sind 5 Kammern angebracht, wovon zunächst der mit 1 bezeichneten Wasser zugeführt wird (in Pfeilrichtung *b*). Ist in der ersten Kammer der Vorrat an Karbid zersetzt, so fließt das Wasser

von der ersten zur zweiten Kammer selbsttätig über, da die Stege gegen den oberen Rand des Einsatzes zurückstehen. Nach Vergasung des Inhalts von Kammer 2 läuft das (immer bei *b* zufließende) Wasser zum dritten Fach usw., bis schließlich die ganze Retorte mit Wasser überschwemmt ist. Darauf kann der Einsatz mit dem Schlamm herausgezogen werden. Wird der gesamte Gasvorrat der Glocke entnommen, dann entsteht in dieser ein so niedriger Druck, daß das noch zu den Retorten nachfließende Wasser z. B. im Rohr *f* der Abb. 52 hochsteigen und Schlamm in das Sperr- und Kühlwasser des Raumes *b* überführen kann. Unter allen Umständen ist auf vorschriftsmäßige Füllung der Kammern mit Karbid zu achten. Wie Abb. 62 zeigt, dürfen alle Kammern nur bis zur Hälfte mit Karbid angefüllt werden. Da der bei der Karbidzersetzung zurückbleibende, aufquellende Kalkschlamm annähernd den doppelten Raum des reinen Karbids einnimmt, wird nach beendeter Karbidzersetzung jede einzelne Kammer des Einsatzes normalerweise gerade ganz angefüllt sein, wie dies Abb. 62 rechts darstellt. Meist sind die Schubladen so eingerichtet, daß durch eine eingebaute Vorrichtung (Gitter, Rost) die vorgeschriebene Ladeschichthöhe nicht überschritten werden kann. Als Folge der Mißachtung des Überladungsverbots der Kammern ist nicht allein eine Verstopfung der Rohröffnungen (*e*, Abb. 62) mit Schlamm zu gewärtigen, sondern auch eine sehr unvollkommene Vergasung des Karbids, weil es in den etwa 50 vH leichteren Schlamm eingeschlossen wird. Hierdurch entsteht, abgesehen von der gesteigerten Entwicklungstemperatur, auch nach Entleerung der Einsätze die starke Gefahr der Nachentwicklung und Bildung explosibler Gas-Luftgemische in den Schlammgruben. Trotz Einhaltung dieser Vorschrift und ständiger, äußerer Kühlung der Retorten durch das an der Entwicklung nicht beteiligte Wasser sind bei starker Gasentnahme bedeutende Temperatursteigerungen im Retorteninnern kaum zu vermeiden. So ist einwandfrei festgestellt, daß die bei jeder Entwicklungsperiode in Schubladenenwicklern entstehende Temperatur etwa 90° erreicht, demnach für Entwickler dieses Systems als normal angesprochen werden kann. Die höchstzulässige Temperatur im Vergaser darf lt. Gesetz 100° nicht überschreiten. Im Gassammler darf eine Höchsttemperatur von nur 50° bestehen. Die zu erwartende neue Azetylenverordnung sieht auch hier Veränderungen vor, die sich aus der Berücksichtigung neuerer Azetylenentwicklertypen ergeben haben.

Die gegenüber den Einsätzen im Durchmesser größer gehaltenen Retorten sind vor neuer Karbidbeschickung jedesmal mit Wasser gründlich auszuspülen, damit der in ihrem Innern zurückgebliebene Kalkschlamm entfernt wird. Bei Entfernung des Schlammes aus den Schubladen ist die Verwendung von Gummihandschuhen zum Schutze gegen die stark ätzende Wirkung der im Schlamm zurückgebliebenen Phosphor- und Schwefelverunreinigungen sehr angebracht.

Um die Reinigung zu erleichtern und das Waschwasser sicher abfließen zu lassen, sind die Retorten meist mit einem Gefälle nach vorn verlegt.

Allgemeine Behandlung der Azetylenentwickler¹. Leider lassen die Bedienungsvorschriften den die Anlage bedienenden Arbeiter über wichtige Einzelheiten mitunter im unklaren. Es möge trotzdem vorweg gesagt sein: Außer den im folgenden gegebenen Vorschriften ist natürlich den besonderen Anweisungen der einzelnen Betriebsvorschriften Folge zu leisten. Oft haben Fahrlässigkeit des Schweißers oder Versäumnis scheinbar als nebensächlich betrachteter Handgriffe

¹ Es sei auf das vom Ausschuß für wirtschaftliche Fertigung (AWF) unter Mitwirkung des Autogenverbandes herausgegebene Merkblatt für Gasschmelzschweißer hingewiesen, das im Buchhandel als Beuth-Heft Nr. 5 erhältlich ist und alle für den Schweißer notwendigen Sicherheitsvorschriften enthält.

zu heftigen Explosionen Anlaß gegeben, die bei vorschriftsmäßiger Behandlung der Entwickler ausgeschlossen sind.

Die Entwickler sind bei der Aufstellung möglichst gut in die Waage zu bringen, da schiefstehende Entwickler falsche Wasserstände im Wäscher und in der Vorlage zur Folge haben und häufig zum Festhängen der schwimmenden Glocke im Gestänge führen.

Inbetriebsetzung. Bei Inbetriebsetzung von Azetylenanlagen, ganz nebensächlich welchen Systems und welcher Größe, sind vor allem sämtliche für Wasser bestimmten Gefäße anzufüllen (mit der vorschriftsmäßigen Menge), wobei durch Öffnen der Hähne für Entweichen der Luft zu sorgen ist. Die Hähne sind darauf sofort wieder zu schließen. Nun erst darf die zulässige Karbidbeschickung vorgenommen werden. Karbidstaub ist zurückzulassen, da er teils zu Verstopfungen, teils unter bestimmten Umständen zu Gefahren Veranlassung geben kann. Lagert sich der Karbidstaub im Vorratsraum des Entwicklers ab (bei Anlagen nach dem Einwurfsystem) und wird er von feuchtem Gase gespült, so können so hohe Temperaturen eintreten, daß bei Zutritt von Luft plötzliche Zündung und Explosion erfolgt. Die Temperatur des Karbidstaubs kann sich bei Anwesenheit von Luft, sogar ohne Wasserzutritt, bis zur Glühhitze steigern. Aus diesem Grunde haben Entwickler, die zur Vergasung des Karbidstaubs bestimmt sind, besondere Einrichtungen nötig. Ausnahmsweise zu große Karbidstücke sind erforderlichenfalls in 3÷4 m Abstand vom Entwickler (bei ortsfesten Anlagen außerhalb des Entwicklerraumes) mit dem Hammer zu zerkleinern (Augenschutz durch Drahtbrillen!). Die ersten Liter erzeugten Gases sind immer mit Luft gemischt; man läßt deshalb dieses Gas-Luftgemisch einige Zeit entweichen, bis sich Azetylen allein durch seinen knoblauchartige Geruch bemerkbar macht.

Da nach Außerbetriebsetzung des Entwicklers, je nach System und Größe, eine mehr oder weniger große Nachvergasung einsetzt, sollte man dies beim Beschicken des Entwicklers kurz vor Arbeitsende berücksichtigen und deshalb nur die voraussichtlich erforderliche Menge an Karbid nachfüllen. Für ortsfeste Anlagen kommt dies allerdings nicht in Frage.

Luftzutritt. Luftzutritt zu den Entwicklern ist sowohl im als nach dem Betriebe unbedingt zu verhüten. Die zur Erforschung von Ursachen bei Azetylenentwicklerexplosionen und deren Begleiterscheinungen aufgestellten Statistiken haben den mit praktischen Erfahrungen übereinstimmenden Beweis erbracht, daß die folgenschwersten und meisten Unfälle dann eintraten, wenn der Entwickler kurze Zeit nach der Entschlammung und Reinigung wieder in Betrieb gesetzt wurde und während der Entschlammung und Füllung (auch mit Karbid) unzulässig großer Luftzutritt möglich war. Da die Anwesenheit von Luft, insbesondere bei ortsfesten Entwicklern nach dem Einwurfsystem, eine große Gefahr bedeutet, sind Bestimmungen herausgekommen, die eine möglichste Beschränkung der toten Räume (Lufttaschen) nach bestimmten Richtlinien vorschreiben.

Nach Arbeitsbeendigung werden alle erforderlichen Gas- und Wasserhähne abgesperrt.

Einfrieren. Im Winter etwa eingefrorene Entwickler, Anlagenteile und Rohrleitungen dürfen nur durch heißes Wasser oder Dampf, nie mit glühenden Stangen oder gar offenen Flammen aufgetaut werden. Verstöße gegen dieses Verbot haben des öfteren zu Unglücksfällen geführt. Ein gutes Mittel gegen Einfrieren des Entwickler- bzw. Sperrwassers in den übrigen Teilen der Anlage ist das Frigidol, das im Wasser leicht löslich ist und eine schwache alkalische Reaktion besitzt. Es erniedrigt den Gefrierpunkt des Wassers auf -40° , ist auf den Zersetzungsvorgang ohne erheblichen Einfluß und greift die Metalle nicht an. Der

Hauptvorteil liegt in der Verhinderung der Sprengwirkung des Wassers bei tiefen Temperaturen. Einigermaßen auch brauchbar ist eine in Drogerien erhältliche Kalziumchlorid- oder Magnesiumchloridlösung, die dem Wasser stark verdünnt zugesetzt werden kann, aber den Nachteil hat, die Metallteile des Entwicklers korrodierend anzugreifen. Glycerin ist zu teuer.

Alle Entwickler, welchen Systems sie auch seien, dürfen unter keiner Bedingung ohne Zwischenschaltung einer Wasservorlage (s. später) benutzt werden.

Ausbesserungen an Azetylenentwicklern dürfen nur von Fachleuten und nur nach Außerbetriebsetzung, auch nur bei Tageslicht, nie bei künstlichem Licht, vorgenommen werden. Die Ausführung der Ausbesserung hat bei beweglichen Entwicklern im Freien zu geschehen. Lötung und Schweißung undichter Stellen sind nur auszuführen, nachdem der Gas- und Karbidraum des Entwicklers selbst geöffnet, geleert und mit heißem Wasser oder mit Kohlensäure gründlich ausgewaschen wurde.

Sicherungen gegen Explosion. Trotz strengsten Verbots wurden zuweilen Azetylenhäuschen mit offenem Licht betreten, was meistens zu gewaltigen, folgenreichen Raumexplosionen führte. Es sei daher mit allem Nachdruck darauf hingewiesen: das Betreten von Azetylenanlagenhäuschen mit offenem Licht, mit brennenden, glimmenden und glühenden Gegenständen, sowie das Rauchen in diesen Räumen, in unmittelbarer Nähe beweglicher Entwickler und der Karbidschlammgruben ist äußerst gefährlich und daher streng verboten. Wird an Arbeitsstellen außerhalb des Betriebes (an Bauten, auf Straßen, Plätzen usw.) mit Azetylenentwicklern gearbeitet, so sind Fremde auf diese Vorschrift, mit entsprechendem Hinweis auf die Gefahr, aufmerksam zu machen. Ferner ist vor der Anordnung einer unter Umständen als Zündquelle dienenden, elektrischen Signalvorrichtung an den Entwicklern und Gassammlern (welche Karbid- oder Wassermangel, eigentlich Gasmangel, anzeigen soll) zu warnen, da durch überspringende Kontaktfunken Explosionsmöglichkeit besteht. Offene Beleuchtungskörper sollen mindestens 3 m nach jeder Richtung vom Entwickler entfernt sein. Insbesondere beim Herausnehmen der Karbidbehälter und beim Schlammablassen ist Fernhaltung brennender, überhaupt zündender Körper vom Entwickler zu beachten. Azetylen-, mehr noch Karbidlagerbrände, können nicht mit Wasser gelöscht, sondern dadurch höchstens noch mehr entfacht werden. Zur Löschung solcher Brände wird Erde und Sand verwendet, sofern nicht geeignete Trocken- oder Schaumlöcher zur Verfügung stehen. Mit Tetrachlorkohlenstoff beschickte Feuerlöschgeräte haben sich nach Versuchen von Mies am besten bewährt.

Wichtigkeit des Schlammablassens. Das Schlammablassen zur rechten Zeit — soweit der Schlamm nicht mit den Karbideinsätzen herausgezogen wird — zählt zu den wichtigsten Hantierungen am Entwickler und beeinflusst die Betriebssicherheit in hohem Maße. Merkwürdigerweise besteht in dieser Hinsicht oft größte Unkenntnis, so daß man nicht selten völlig verschlammte Entwickler sicherheitswidrig im Betriebe antrifft. Mit Rücksicht auf die Wichtigkeit dieses Faktors müssen wir uns hiermit näher befassen.

Wie früher errechnet, sind zur vollkommenen Zersetzung von 1 kg Karbid $0,562 = \text{rund } \frac{1}{2} \text{ kg} = \frac{1}{2} \text{ l}$ Wasser erforderlich. Das entspricht z. B. bei einem Entwickler mit 4 kg Karbidfüllung 2 l Wasser. An gleicher Stelle wurde nebenbei auf die Zersetzungswärme hingewiesen, die rund 400 WE auf 1 kg vergastem Karbid beträgt. Um diese nicht unerhebliche Wärmemenge unschädlich zu machen, muß ein ausreichender Überschuß an aktivem (d. h. unmittelbar an der Azetylenzeugung beteiligtem) Entwicklerwasser vorhanden sein, und zwar

soll dieser Überschuß nach den gesetzlichen Bestimmungen 10 l auf 1 kg Karbid betragen. Demnach muß ein 2-kg-Entwickler mindestens $2 \times 10 = 20$ l, ein 4-kg-Entwickler mindestens 40 l Entwicklerwasser enthalten. Dies entspricht dem 20fachen Betrage der zur Zersetzung selbst erforderlichen Wassermenge. Wenn gleich diese Bedingung in erster Linie auf ortsfeste Anlagen Bezug nimmt, ist sie für bewegliche Entwickler nicht minder wichtig und auch leicht einzuhalten. Bei einer Anfangstemperatur des Entwicklungswassers von 15° ergibt sich dann durch dessen Temperatursteigerung infolge der Reaktionswärme des zersetzten Karbids eine Endtemperatur von $\frac{400 \times 10}{100} + 15 = 55^\circ$. Praktisch bleibt diese Temperatur etwas tiefer, da die Wärmeableitung an das Metall und an die umgebende Luft mit in Rechnung zu stellen ist.

Nun vermag aber Wasser Azetylen zu lösen, d. h. aufzunehmen. Das Lösungsvermögen des Wassers für Azetylen beträgt über 100 vH; z. B. lösen 100 Teile Wasser bei 14° 118 Teile Azetylen. Die Löslichkeit des Azetylens nimmt mit steigendem Druck zu und mit steigender Temperatur ab. So löst 1 l Wasser von 4° etwa 1,53, bei 10° 1,31 und bei 60° etwa 0,85 l Azetylen. Da im Kalkwasser Azetylen weniger löslich ist als in reinem Wasser, wirkt durch Kalkschlamm verunreinigtes Entwicklerwasser der Löslichkeit von Azetylen entgegen. Die Löslichkeit des Azetylens ist nebenbei bemerkt der Grund, weshalb beim erstmaligen Füllen des Entwicklers mit Karbid nicht sofort die Glocke steigt. Obwohl die Gasentwicklung sofort einsetzt, sättigt sich zuerst das Wasser teilweise mit Azetylen; erst der restliche Teil des Gases wird unter der Gasglocke aufgefangen. Beim Entschlammn geht hiernach mit 1 m³ Wasser auch 1 m³ Azetylen nutzlos verloren (in Wirklichkeit sind die Zahlen nicht ganz so ungünstig, weil zur vollkommenen Sättigung des Wassers mit Gas eine bestimmte Zeit erforderlich ist). Trotzdem muß das für die Betriebssicherheit wichtige, sorgfältige Entschlammn ohne Verzug erfolgen, sobald es Anzeichen im Betriebe des Entwicklers bedingen, und zwar aus folgender Überlegung: In verschlammten Entwicklern oder auch in überlasteten — Überlastung tritt dann ein, wenn entgegen der Vorschrift zeitweise große Gasmengen, die über die Leistungsfähigkeit des Entwicklers hinausgehen, entnommen werden — steigert sich infolge Mangels an aktivem Wasser die Wassertemperatur sehr rasch und kann gegebenenfalls 100° , also den Siedepunkt des Wassers, erreichen. Damit verbundene Gefahren (Selbstzündung, Explosion bei Luftzutritt usw.) sind unverkennbar und wachsen besonders dann, wenn die Gasglocke oder die Karbidbehälter aus dem Entwickler entfernt werden, wobei durch Luftzutritt zum überhitzten Gas oft Unglücksfälle entstanden sind. Durch die geringe Wärmeableitung, hauptsächlich durch die überaus mangelhafte Karbidzersetzung in stark verschlammten Entwicklern, bildet sich sog. überhitztes Azetylen mit seinen nicht allein vielseitigen, sicherheitstechnischen Gefahrenquellen, sondern auch bedeutenden, technischen Nachteilen, die sich erst in der fertigen Schweißarbeit bemerkbar machen. Die Überhitzung des Azetylens kann sogar soweit getrieben werden, daß überhaupt kein reines Azetylgas mehr entsteht, sondern ein Gemisch von verschiedenen Zersetzungserzeugnissen des Azetylens (technisch nennt man den Vorgang Polymerisation), wie Benzol C₆H₆, Naphthalin C₁₀H₈, Styrol C₆H₆, Anthracen C₁₄H₁₀, Reten C₁₈H₁₈ usw. (die als Polymere bezeichnet werden). Dieses Gas ist für Schweißzwecke nicht mehr brauchbar. Zersetzungsercheinungen machen sich auch im Karbidschlamm durch gelbe, braune, ja sogar schwarze, teerartige Rückstände bemerkbar.

Nach vorigem muß die Temperatur des sowohl aktiv als passiv (unmittelbar und mittelbar) an der Karbidzersetzung beteiligten Wassers in normalen Grenzen

gehalten werden. Dampft der Entwickler, weil das Wasser zu heiß wird, und hat die Wassertemperatur 70° erreicht, so muß frisches Wasser nachgefüllt und eine entsprechende Menge verschlammtes Wasser gleichzeitig abgelassen werden. Stark verschlammte Entwickler sind völlig frisch zu füllen. Die Sicherheit gegen Überhitzung ist eben wichtiger als der Verlust an Azetylen im verschlammten Wasser. Bei großen, ortsfesten Anlagen begegnet man neuerdings diesem Azetylenverlust, indem man das abgeschlammte Wasser durch Pumpen in besondere, hochgelegene Behälter befördert und nach erfolgter Klärung, noch mit dem aufgesaugten Azetylen gesättigt, den Entwicklern wieder zufließen läßt.

Soweit die jeweilige Betriebsvorschrift nichts anderes vorschreibt, und der Schlamm nicht mit den Karbideinsätzen herausgezogen wird, mag als Regel für den Zeitpunkt der Entschlammung der Entwickler folgende Rechnung gelten:

Unter normalen Voraussetzungen, ferner wenn z. B. das Sechsfache der zur Karbidzersetzung nötigen Wassermenge vorhanden ist und wenn der Entwickler $100\text{ l} = 100\text{ kg}$ Wasser faßt, so muß der Schlamm ganz abgelassen und frisches Wasser nachgefüllt werden nach Zersetzung von $\frac{100}{6} = \sim 17\text{ kg}$ Karbid oder, was dasselbe ist, nach Entwicklung von $17 \times 250 = 4250\text{ l} = 4,25\text{ m}^3$ Azetylen, denn 1 kg Karbid liefert nach ungünstigster Rechnung ja 250 l Azetylen.

Der Schlamm darf nicht in Kanäle, vielmehr nur in eigens hierfür bestimmte Kalkgruben oder Behälter geschüttet werden, durch deren örtliche Lage Nachvergasungen nicht gefährlich werden können. Neuerdings werden sog. schlammlose Entwickler gebaut, die keinen nassen Kalkschlamm liefern, sondern bei denen der als Streudünge- und Baukalk trocken anfallende staubförmige Kalk wie handelsüblicher Sackkalk verpackt wird. Durch diese Bauart, die die Entwicklungswärme zur Trocknung des Naßkalks ausnutzt, wird außerdem an Karbid gespart, das sonst durch die Lösung von Azetylen im Wasser verlustig geht.

Zusammenfassung der Behandlung der Azetylenentwickler.

1. Alle aus den Betriebsvorschriften ersichtlichen Anweisungen sind zu befolgen.
2. Zur Aufstellung von beweglichen Entwicklern bestimmte Arbeitsräume müssen mindestens 60 m^3 Luftinhalt und 20 m^2 Fläche haben. In diesen Räumen dürfen leicht brennbare Stoffe, wie Benzin, Öl u. dgl. nicht aufbewahrt werden.
3. Offenes Feuer und Licht müssen vom Entwickler mindestens 3 m entfernt sein. Unmittelbar über ihm darf sich keine offene Lampe befinden.
4. Ortsfeste Anlagen (mit über 10 kg Karbidfüllung) müssen in besonderen, den gesetzlichen Bestimmungen entsprechenden Häuschen untergebracht werden.
5. Das Rauchen und Hantieren mit Licht, Feuer und glühenden Körpern in der Nähe von Azetylerzeugern, Schlammgruben, Karbidlagern, besonders innerhalb der Gashäuschen, ist streng verboten; Laien sind erforderlichenfalls hierauf aufmerksam zu machen.
6. Die Entwickler und Nebenteile der Anlage müssen gut in der Waage stehen, um Betriebsstörungen durch Festklemmen der Glocken und ähnliches zu vermeiden.
7. Bei Inbetriebsetzung der Anlage sind zunächst sämtliche hierzu vorgesehene Gefäße vorschriftsmäßig mit Wasser zu füllen, und zwar bei geöffneten Hähnen, damit die Luft entweichen kann.
8. Nach erfolgter Füllung mit Wasser sind alle Hähne sofort zu schließen.
9. Hierauf erst kann die Füllung mit Karbid vorgenommen werden.
10. Erstes Gas-Luftgemisch behutsam ins Freie lassen.
11. Bei Arbeitsunterbrechungen von länger als 10 min Dauer Gashahn am Entwickler bzw. an der Vorlage (nicht allein am Brenner) abstellen.

12. Entwickler zeitweise vorsichtig entschlammen, unter Beachtung aller im vorstehenden besprochenen Einzelheiten.

13. Schlamm nicht in Kanäle abfließen lassen, da Nachvergasung in diesen böse Folgen zeitigen kann, wofür der Besitzer der Anlage haftbar ist.

14. Beschwerung der Gasglocken zur Erhöhung des Gasdrucks ist untersagt, sofern nicht besonders behördlich zugelassen.

15. Eigenmächtige Verstellung oder Entfernung zwangsläufiger Konstruktionsteile der Entwickler, um eine größere Leistung zu erzielen, ist in allen Fällen unzulässig.

16. Ausbesserungen an Azetylenanlagen dürfen nur von Fachleuten ausgeführt werden.

17. Ausbesserungen sind nur bei Tageslicht, bei beweglichen Entwicklern auch nur im Freien vorzunehmen.

18. Jeder Ausbesserung, besonders solcher, die eine Anwendung von Löt- oder Schweißflammen erheischt, hat eine sorgfältige und gründliche Reinigung des betreffenden Anlagenteiles voranzugehen. Nichtbeachtung dieser Vorschrift hat wiederholt Schweißern das Leben gekostet.

19. Eingefrorene Entwickler und Rohrleitungen dürfen niemals mit brennenden oder glühenden Gegenständen aufgetaut werden; als Auftaumittel ist allein heißes Wasser oder Dampf zulässig.

20. Prüfung der Anlage und Rohrleitungen auf Dichtheit hat ausschließlich durch Einpinseln der betreffenden Teile mit Seifenwasser zu geschehen, keinesfalls durch Ableuchten.

21. Undichtheiten sind sofort zu beheben bzw. den Vorgesetzten zu melden.

22. Sollen in einem Arbeitsraum mehrere bewegliche Entwickler aufgestellt werden, so müssen diese mindestens 6 m Abstand voneinander haben.

d) Nebeneinrichtungen der Azetylenherzeuger.

Als Nebeneinrichtungen der Azetylenanlage sind zu bezeichnen: Gassammler, Wäscher, Reiniger, Trockner, Sicherheitstöpfe, Sicherheitsventile, Stoßfänger, Druckregler, Gasmesser, Druckmesser usw. Hiervon interessieren uns vor allem die drei erstgenannten Einrichtungen; die übrigen kommen fast nur für große Azetylgaswerke in Frage und sollen hier unberücksichtigt bleiben. Im weiteren Sinne ist auch die bei Schweißanlagen notwendige Wasservorlage zu den Nebeneinrichtungen der Azetylenherzeugungsanlage zu zählen, doch ist dieser Vorrichtung, ihrer Wichtigkeit und eigentlichen Zugehörigkeit zu den Schweißgeräten halber, ein besonderer Unterabschnitt vorbehalten.

Wäscher. Der Wäscher, auch Wasserverschluß genannt, ist zwischen Entwickler und Gassammler angeordnet. Ihm fallen drei Aufgaben zu: 1. Die Kühlung des im Entwickler erzeugten Gases; 2. das Waschen des Gases, d. h. dessen gründliche Befreiung von Schwefelwasserstoff, Siliziumwasserstoff und Ammoniak; 3. die Verhütung des Rücktritts von Gas aus der Glocke zum Entwickler. Aus dem letztgenannten Grunde finden wir den Wäscher daher häufig auch bei beweglichen Entwicklern. Auf seine vorschriftsmäßige Füllung ist stets zu achten, wenn Gasverluste unterbleiben sollen. In Abb. 54 spielt die richtige Füllung des Wäschers *C* insofern eine besondere Rolle, als er in diesem Falle die Regelung der Gasentwicklung beeinflusst und außerdem bei ungenügender Füllung und herausgenommenen Einsätzen *D* aus den Entwicklerrohren Gas ins Freie abziehen läßt.

Größe und äußere Form der Wäscher richten sich natürlich nach Umfang und Konstruktion der Azetylenanlage, sind aber für die Arbeitsweise bedeutungslos.

Der Grundgedanke der Konstruktion (Abb. 63) ist immer der gleiche: das Gaszuführungsrohr *A* taucht ein Stück in das Abschlußwasser ein, so daß das Gas zwar durch das Wasser hindurchströmen und sich über diesem ansammeln bzw. an der höchsten Stelle des Wäschers bei *B* weitergeleitet werden, aber nicht umgekehrt durch das Wasser zurück in das Gaszuleitungsrohr gelangen kann. Gaszu- und -abflußrohr der für ortsfeste Anlagen bestimmten Wäscherkonstruktion Abb. 63 sind durch das Rohr *E* miteinander verbunden. Während des Betriebes ist der Hahn *F* immer geschlossen, während er beim Entschlammn geöffnet wird. In der Praxis tritt an die Stelle des mit *E* bezeichneten Rücklaufrohres meist ein ohne Regelorgan versehenes parallelgeschaltetes Rohr (Rücklaufwäscher).

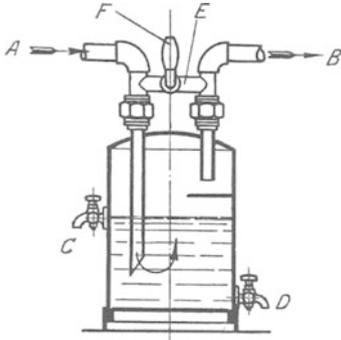


Abb. 63. Wäscher.

vergrößerung zu berücksichtigen, die sich bei der Zersetzung des Karbids ergibt. 1 kg Karbid nimmt einen Raum von rund 1 l ein, das aus ihm gewonnene Gas aber den 300fachen Raum, mithin 300 l. Der Gassammler ist bei beweglichen Anlagen in überwiegender Mehrzahl mit dem Entwickler zusammengebaut und an zwei oder drei Stellen

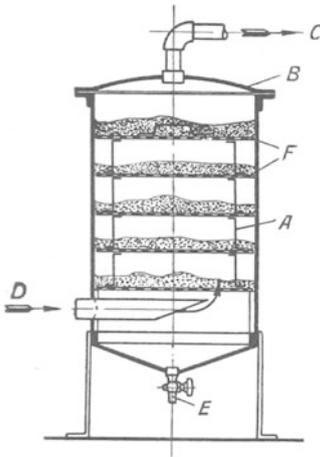


Abb. 64. Chemischer Reiniger für pulverisierte Reinigungsmasse.

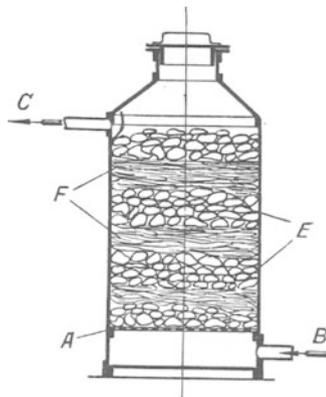


Abb. 65. Chemischer Reiniger für stückförmige Reinigungsmasse.

geführt. Getrennt stehende Gasbehälter ortsfester Anlagen haben oft bedeutende Abmessungen. Von der jeweiligen Standhöhe der Gasglocke und deren Eigengewicht ist das im Schweißbrenner bestehende Druckverhältnis der Gase direkt abhängig. Bei hohem Glockenstand ist der Gasdruck natürlich größer als bei niedrigem.

Chemischer Reiniger.

Er hat in der Hauptsache den Zweck, den

Phosphorwasserstoff des Gases zu absorbieren, d. h. an bereits erwähnte chemische Präparate zu binden. Inwieweit dies bei Kleinentwicklern möglich ist, wurde auf S. 36 erörtert. Konstruktion, Größe und Aussehen des Reinigers richten sich nach der Leistungsfähigkeit des Entwicklers und ferner nach der Art der zur Verwendung gelangenden chemischen Reinigungsmasse, ob pulver- oder stückförmig.

Abb. 64 und 65 zeigen zwei insofern verschiedene Reinigerkonstruktionen (zugleich im Schnitt), als der in Abb. 64 dargestellte für pulverisierte Reinigungsmasse, der in Abb. 65 dargestellte für stückförmige Masse gebaut ist. Im Reiniger Abb. 64, einem mit 5÷6 gelochten Blechböden *F* ausgerüsteten, zylindrischen

Gefäß, wird die Reinigungsmasse auf roher Watte oder lockerem Filz in dünnen Schichten gleichmäßig verteilt aufgetragen. Der Gaszugang erfolgt bei *D* (in Pfeilrichtung), der Abzug bei *C*. *B* ist ein mittels Gummi abgedichteter Deckel, *E* ein Kondenswasserablaßbahn. An Stelle der Gummiabdichtung kann auch eine solche mittels Sperrwasser treten, doch findet man diese seltener vor. Der milchkannenähnliche Reiniger (Abb. 65) hat nur einen gelochten (perforierten) Boden *A*, auf dem Schichten von Reinigungsmasse *E* und Koks, Holzwolle oder Stroh *F* abwechselnd hordenartig übereinander gelagert sind. Gaseintritt bei *B*, Gasaustritt bei *C*. Eine bei großen ortsfesten Anlagen bewährte Konstruktion zeigt auch Abb. 66. Ein mit stückförmiger Reinigungsmasse angefüllter, nur oben offener und unten durch Siebe *k* geschlossener Behälter *b* wird lose in den Reinigermantel *a* eingehängt. Am oberen Rande des letzteren ist eine mit Wasser angefüllte tassenförmige Erweiterung *e* angebracht, in die der Gefäßdeckel *f* luftdicht abschließend eintaucht. Der Deckel wird durch die Vorrichtung *g* festgehalten und ist schnell abnehmbar. Gaszutritt erfolgt bei *c*, Weiterleitung bei *d*.

Die Strömungsrichtung des Gases ist für Reiniger mit stückförmiger Masse vorteilhaft von oben nach unten, bei Verwendung pulverförmiger Masse entgegengesetzt zu wählen, doch ist dies nicht Bedingung und von noch anderen Umständen abhängig. Die Füllung beläuft sich bei beweglichen Entwicklern auf 1÷2 kg Reinigungsmasse (mitunter etwas mehr), bei ortsfesten Anlagen hingegen auf bis zu 50 kg für einen Reiniger. Bezüglich der Auswechslung verbrauchter Reinigungsmassen halte man sich an die jeweiligen Angaben der Lieferanten. Die Auswechslung der verbrauchten Reinigungsmasse wird in sehr verschiedenen Zeitabschnitten erforderlich. Auf das Kilogramm Reinigungsmasse bezogen, schwanken die Angaben der Lieferfirmen zwischen 10 und 30 m³ Azetylen, nach deren Verbrauch die Reinigungsmasse auszuwechslern ist. Es ist ausdrücklich darauf hinzuweisen, daß die Reinigungsmassen nur so stark beansprucht werden dürfen, wie dies die Gebrauchsanweisung angibt, da sonst beim Entfernen stark verunreinigter Massen gesundheitliche Schädigungen (Gesichtsnervenlähmung) eintreten können. Außerdem kann ja eine übersättigte Masse nicht mehr wirksam sein.

Nach Vogel beanspruchen die Reinigungsmassen je Kilogramm etwa folgenden Raum, der bei der Bemessung des Reinigers zu berücksichtigen ist:

Frankolin	1,17 l	Acagin	1,25 l
Katalysol	1,17 l	Karburylen	1,39 l
Stückförmiges Frankolin	1,84 l	Klingerit	2,22 ÷ 3,08 l
Heratol	1,17 l	Eufamol	1,17 l
Stückförmiges Heratol	1,78 l		

Koks eignet sich nicht als chemische Reinigungsmasse. Eine durch ihn erreichbare Reinigung kann nur mechanischer Natur sein. Infolge des geringen chemischen Reinigungsgrades bei Kleinentwicklern werden deren Reiniger heute fast durchwegs mit Koks oder Schwämmen angefüllt.

Die vom Gase mitgerissenen, mechanischen Verunreinigungen (aus dem Karbid und der Reinigungsmasse herrührend) werden in einem Gasfilter, dem mechanischen Reiniger, entfernt, wie Abb. 67 einen solchen veranschaulicht.

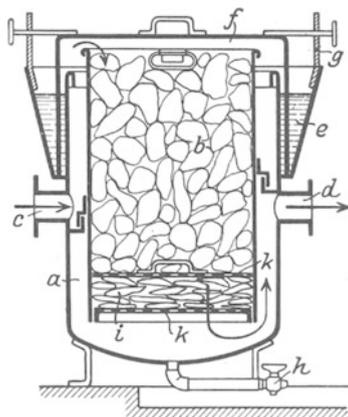


Abb. 66. Chemischer Reiniger größerer Bauart.

Zwischen zwei tellerförmigen, meist gußeisernen Schalen, die mittels Rohrverschraubungen *D* in die Gasrohrleitung eingebaut sind, wird ein Diaphragma (durchlässige Scheidewand) *A* eingelegt. Es besteht aus Filz, gepreßter Rohwatte oder aus Frauenhaar und muß natürlich zeitweise herausgenommen und von aufgefangenem Staube gereinigt werden. Gaseintritt bei *B*, Gasaustritt bei *C*. Die mechanischen Reiniger finden, von den koksgefüllten abgesehen, nur bei ortsfesten Anlagen Verwendung und werden immer zwischen der Azetylenanlage und der Wasservorlage in die Rohrleitung eingeschaltet. An Stelle des Diaphragmas wird heute ein Gefäß bevorzugt, daß mit leicht geölten Glaskugeln oder -röhrchen angefüllt ist und die mechanische Reinigung gründlicher und sicherer gewährleistet.

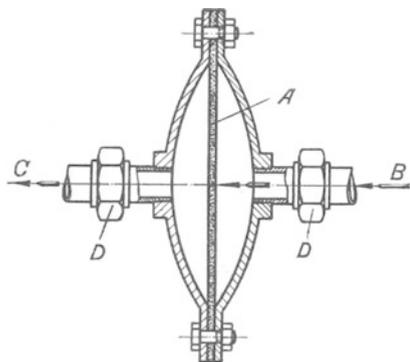


Abb. 67. Mechanischer Reiniger.

e) Sicherheitsvorlage.

Die Sicherheitsvorlage ist jedem Azetylschweißbrenner unmittelbar vorzuschalten und wird mit diesem durch einen Schlauch verbunden. Selbst in großen und größten Schweißereien, wo von der ortsfesten Anlage Rohrleitungen zu den einzelnen Schweißstellen führen, müssen an allen Zapfstellen für Schweiß- oder Schneidbrenner solche Vorlagen angebracht sein. Das ist behördliche Vorschrift. Die Wasservorlage ist die derzeit einzige auserprobte,

zuverlässige Einrichtung zum Schutze der Azetylenanlagen gegen Gefahren, welche von der Schweißflamme her drohen; sie hat in dieser Eigenschaft verschiedenen Anforderungen zu genügen und ist zur Zeit durch keine Trockenvorlage ersetzbar.

Anforderungen an die Wasservorlage. Tritt aus irgendwelchem Grund eine Verstopfung der Düsenbohrung an der Schweißbrennerspitze ein, so kann der unter höherem Druck stehende Sauerstoff in die Brenngasleitung übertreten und ins Innere des Azetylerzeugers gelangen, wodurch ein außerordentlich explosives Gasmisch entsteht, das im Falle der Zündung schwerwiegende Explosionen zur Folge hat. Zweck der Vorlage ist es daher, zunächst den Rücktritt von Sauerstoff in die Azetylenleitung unter allen Umständen zu verhüten. Gasmangel ermöglicht, daß der im Schweißbrennerinnern heftig saugende Sauerstoff infolge Unterdrucks Luft aus der Atmosphäre in den Azetylenentwickler hineinsaugt. Aus bereits bekannten Gründen muß dies vermieden werden, woraus sich die zweite Aufgabe ergibt: die Wasservorlage soll bei Gasmangel das Einsaugen von Luft in den Azetylerzeuger unbedingt verhindern. Schließlich kommt ihr eine dritte, sehr wichtige Aufgabe zu: die Vorlage muß so eingerichtet sein, daß sie dem Fortschreiten einer vom Brenner her zurückschlagenden Flamme oder Explosionswelle sicher entgegentritt.

Bau- und Arbeitsweise der Wasservorlage. Je nach dem Betriebsgasdruck hat man zwischen Nieder-, Mittel- und Hochdruckvorlagen zu unterscheiden. Ausgegangen sind die Konstruktionen von der Niederdruckvorlage. Zum besseren Verständnis möge die Grundform einer Niederdruckwasservorlage, Abb. 68, dienen. Zwei Rohre münden mit verschiedener Tauchtiefe in ein bis zu bestimmter Höhe mit Wasser angefülltes zylindrisches Gefäß *F* (Abb. 68 I). Am Schlauchhahn eines Anschlusses im oberen Teil von *F* wird das Gas entnommen. Der durch Rohrleitung mit dem Reiniger verbundenen Vorlage wird das Gas rechts oben (in Pfeilrichtung) zugeführt. Es muß demnach, um in den Gasraum *F* der

Vorlage zu gelangen, die Säule des Sperrwassers durchströmen (Pfeilrichtung) und kann dann durch die mit dem Schlauchhahn hergestellte Schlauchverbindung dem Brenner zugeführt werden. Die Füllung der Vorlage mit Wasser geschieht oben am mit Füll- und Steigetrichter bezeichneten Teil, über dessen Boden mehrere kleine Löcher im Steigerohr angebracht sind.

Angenommen, es trete nun durch den Gasentnahmehahn (links) vom Brenner aus Sauerstoff zur Vorlage zurück (Abb. 68 II), so drückt dieser, da sein Druck größer ist als der im Vorlageninnern herrschende Gasdruck, das Sperrwasser in den beiden Tauchrohren in die Höhe. Im Gaszuflußrohr (rechts) besteht dann eine schwebende Wassersäule, die infolge genügender Höhe des Rohres nicht zum Reiniger übertreten kann und den Durchgang von Sauerstoff in umgekehrter Strömungsrichtung (zum Entwickler hin) unmöglich macht. Indessen steigt der andere Teil des Wassers in dem linken Steigerohr von geringerer Tauchtiefe in die Höhe, schnell gegen das am oberen Rande des Trichters angebrachte Prell-(Spritz-)blech und sammelt sich im Steigetrichter an. Da nun die untere Öffnung des Steigerohrs inzwischen freigelegt wurde, kann der Sauerstoff durch dieses und durch den Schlitz zwischen beiden Prellblechen des Trichters ins Freie gelangen. Der Schweißer wird durch ein gurgelndes, vom Sprudeln des Wassers herrührendes Geräusch auf den Rücktritt von Sauerstoff aufmerksam gemacht. Außerdem muß er merken, daß sich das am Brenner ausströmende Gas nicht entzünden läßt, da es reiner Sauerstoff ist. Brenngas kann nicht zuströmen, weil seine Zufuhr durch die Wassersäule im Gaszuleitungsrohr der Vorlage unterbunden ist. Wird der Sauerstoffrücktritt abgestellt, so fließt infolge der Schwere natürlich das Wasser aus beiden Rohren selbsttätig wieder in die Vorlage zurück und stellt den alten, normalen Sperrwasserstand wieder her.

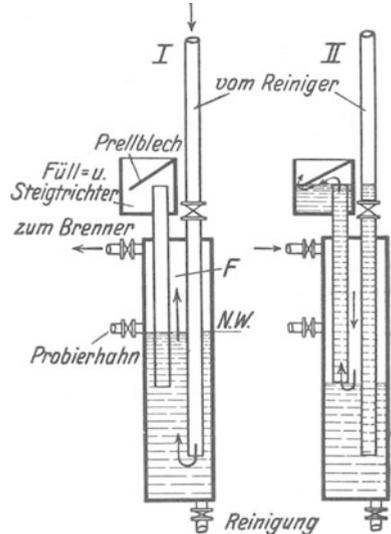


Abb. 68. Grundform der Wasservorlage.

Bei Eintritt von Gasmangel wird durch den Fülltrichter soviel Luft angesaugt (vom Brenner her) als der fehlenden Gasmenge entspricht. Die Luft wird demnach dem Brenner, niemals jedoch dem Azetylenentwickler, zugeleitet. Starkes Glucksen des Sperrwassers kennzeichnet Luftansaugen und damit Gasmangel. Im übrigen sind Sauerstoffrücktritt und Gasmangel dem Geräusche nach leicht zu unterscheiden.

Flammenrückschläge oder Explosionswellen von seiten des Brenners nehmen denselben Weg wie rückströmender Sauerstoff, also durch den Steigetrichter ins Freie, wobei immer der Zutritt zum Gaszuführungsrohr durch dessen größere Tauchtiefe wirksam unterbunden wird. Schlägt die Flamme bis zur Vorlage zurück, so schließe man am besten den Durchgangshahn im Gaszutrittsrohr und fülle die Vorlage mit frischem Wasser an.

Die Überwachung des richtigen Wasserstandes geschieht am Prüfhahn und stets bei geschlossenem Hahn der Gaszuflußleitung. Andernfalls steht die Vorlage unter Gasdruck und läßt am Prüfhahn solange Wasser ausfließen, bis die untere Öffnung des linken Steigerohrs frei liegt, wodurch nur eine vermeintlich richtige Füllung bewirkt und Gas statt zum Brenner durch den Trichter ins

Freie geleitet wird. Zur gründlichen Reinigung des Vorlageninneren und dessen Überwachung durch amtliche Organe ist der Boden oder der Deckel der Vorlage laut behördlicher Vorschrift abnehmbar anzubringen.

Das Beispiel einer Konstruktion von Wasservorlagen für Niederdruck zeigt Abb. 69 in zwei Längsschnitten. Die Vorlage wird bei geschlossenem Gaszufuhrhahn durch den Trichter 1 bis zur normalen Höhe (Prüfhahn 2) mit Wasser angefüllt. Das Gas, durch Rohr 3 zugeführt, tritt durch die Löcher 4 in das Sperrwasser. Bevor das Gas am Schlauchhahn 5 austritt, wird es im Rohr 6 zur Strömungsänderung nach unten gezwungen, damit mitgerissenes Sperrwasser abgeschieden wird. Die Ableitung rücktretenden Sauerstoffs und etwa auftretender Explosionswellen ins Freie erfolgt durch das gebogene Rohr 7 und den Trichter 1.

Der Ausgleich im Wasserstand zwischen Vorlage und Rohr 7 wird durch die Löcher 8 geschaffen, wodurch eine rasche Ableitung zurückströmenden Sauerstoffs oder der Explosionsrückschläge erreicht wird. 9 ist der laut Vorschrift abnehmbare, mittels Schrauben befestigte Boden.

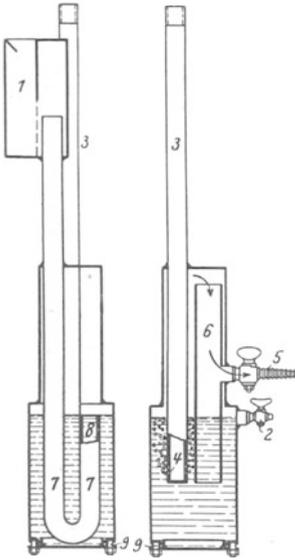


Abb. 69. Sicherheitswasservorlage.

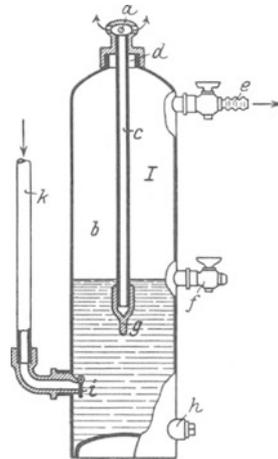


Abb. 70. Grundform einer Mitteldruckvorlage.

Der Ausgleich im Wasserstand zwischen Vorlage und Rohr 7 wird durch die Löcher 8 geschaffen, wodurch eine rasche Ableitung zurückströmenden Sauerstoffs oder der Explosionsrückschläge erreicht wird. 9 ist der laut Vorschrift abnehmbare, mittels Schrauben befestigte Boden.

Mitteldruckvorlagen. Im Gegensatz zur Niederdruckvorlage, die wegen ihrer Verbindung mit der Außenluft die einfachste ist, bedürfen Mittel- und Hochdruckvorlagen besonderer Einrichtungen. Bei Gasdrücken über 1000 mm würden die Entlastungsrohre (Steigerohre) zu hoch, weshalb man hier geschlossene, mit dem Freien nicht verbundene Vorlagen

baut. Eine solche Wasservorlage für Mitteldruck bringt Abb. 70. Die Zuleitung des Gases erfolgt bei *k*, die Abnahme bei *e*. *f* ist der Prüfhahn für den Wasserstand und *h* ein Entleerungsstutzen. Bei etwaigem Rücktritt von Sauerstoff oder einer Explosionswelle wird die Rückschlagklappe *i* geschlossen und damit der Zugang zu *k*. Der Austritt ins Freie erfolgt über das Lippenventil *g* und das Ansaugrohr (Steigerrohr) *c*, das in eine abschraubbare Kappe *d* mündet, die mit Löchern *a* versehen ist. Da sich nach Abschrauben der Armaturen im Vorlageninneren *b* keine Teile mehr befinden, die einer Wartung oder Nachprüfung bedürfen, braucht der Boden in diesem Falle nicht abnehmbar zu sein.

Zur Erhöhung der Sicherheit werden neuerdings einige Vorlagenkonstruktionen mit Spiralrohren ausgerüstet, wie dies in Abb. 71 angedeutet ist. Das Gas strömt über ein Rückschlagventil zum Eintrittsbehälter der Vorlage und von hier durch eine Rohrspirale zum Austrittsbehälter, an welchem es entnommen wird. Bei Sauerstoffrücktritt schließt das Rückschlagventil durch Gegendruck das Zuleitungsrohr ab. Schlägt die Flamme zurück, so wird sie durch den Umweg über die Rohrspirale so verzögert, daß inzwischen durch den Explosionsdruck Wasser vom linken in den rechten Behälter gedrückt und das Ventil geschlossen ist, bevor die Welle nach *a* kommen kann.

Hochdruckvorlagen. Eine solche zeigt als Beispiel für viele Abb. 72. Das bei *a* über ein Reinigungssieb *e* eintretende Gas (Zugangshahn *f*) hebt das Rückschlagventil *b* an und strömt durch die in der Grundplatte *c* verteilten feinen Bohrungen *d* in das Vorlageninnere *o*. An der Leiste *n* wird mitgerissenes Wasser abgesetzt. Das Gas strömt durch die Löcher im Rohr *m*, wechselt die Richtung und tritt durch Rohr *i* zum Entnahmenippel *h*. *k* ist eine Zinnfolie, die bei rückschlagender

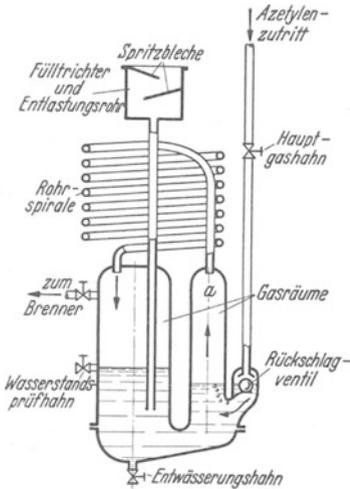


Abb. 71. Mitteldruckvorlage mit Spiralarohr.

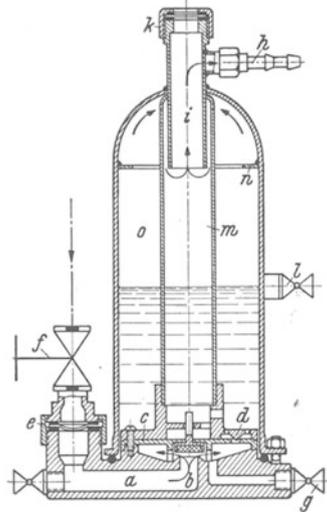


Abb. 72. Schnitt durch eine Hochdruckwasservorlage.

Explosionswelle gesprengt wird und damit einen Austritt ins Freie schafft. In neuer Zeit gehen die Bestrebungen dahin, die Zinnfolie bei Gebrauchsstellenvorlagen zu vermeiden, wobei die Vorlage den Explosionsdruck aufzunehmen hat.

Hauptwasservorlage. Um die Sicherheit ortsfester Anlagen von der Zuverlässigkeit des Schweißers (Füllung und Prüfung der Gebrauchsstellenvorlagen) unabhängig zu machen, besteht die behördliche Vorschrift, daß bei mehreren Schweißstellen, also bei Vorhandensein von mehr als einer Vorlage im Betriebe, eine sog. Hauptwasservorlage vorzuschalten ist. Obwohl durch das Sperrwasser dieser Vorrichtung ein weiterer Druckverlust stattfindet, ist die Vorlage dringend notwendig. Sie soll am besten außerhalb des Entwicklerraumes Aufstellung finden. Die Grundform des Zusammenschlusses zwischen den Vorlagen zeigt Abb. 73. Das Gas tritt bei *C* in die Hauptvorlage *A* ein und strömt von hier durch das Verteilungsrohrnetz *d* und *e* den Einzelvorlagen *B* der verschiedenen Schweißstellen zu. Im Falle des Versagens einer Einzelvorlage tritt die Hauptvorlage in Tätigkeit.

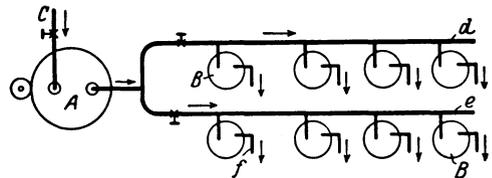


Abb. 73. Hauptwasservorlage und Einzelvorlagen.

Wirkungsgrenzen der Vorlage. Aus den vielseitigen Anforderungen, die an das einwandfreie Arbeiten einer Wasservorlage gestellt werden müssen, ergeben sich auch bestimmte konstruktive Rücksichten hinsichtlich ihrer Abmessungen, der Rohrquerschnitte, der Durchgangsgeschwindigkeiten und Durchflusmengen, sowie der Gashöchstdrücke. Angesichts der Wichtigkeit der Vorlage und zur

Erhöhung der sicherheitstechnischen Momente sind alle Vorlagenbauarten behördlichen Prüfungen zu unterziehen und erhalten erst nach Erprobung ihrer zuverlässigen Arbeitsweise eine Zulassungsnummer, die auf dem Schild vermerkt sein muß. Auf diesem Firmenschild sind außerdem der zulässige Höchstdruck und die höchste stündliche Durchflußmenge anzugeben.

Wir haben gesehen, daß das Sperrwasser die Hauptaufgaben der Vorlage zu erfüllen hat; es ist ein leicht und sicher bewegliches Mittel. Rückschlagventile, die bei Hochdruckvorlagen kaum entbehrlich sind, Hebelübersetzungen, Schwimmer, Federn, Alarmsignale und ähnliche Hilfsvorrichtungen sollten an Niederdruckvorlagen gänzlich fehlen, da beim Einrosten, Verschlammen oder Festklemmen solcher Vorrichtungen das zuverlässige Arbeiten der Vorlage sofort in Frage gestellt ist, da ferner die Arbeitsdrücke zu gering sind und die Trägheit der Mechanik zu groß ist.

Wegen der Wichtigkeit, die der guten Wirkungsweise der gegenwärtig noch immer allein zuverlässigen Wasservorlage zukommt, darf ihre sachgemäße und zuverlässige Behandlung niemals außer acht gelassen werden. Gerade hierauf soll der häufig mit der Gefahr spielende Schweißer nachdrücklichst aufmerksam gemacht sein. Im allgemeinen ist für jeden Schweiß- oder Schneidbrenner eine Wasservorlage erforderlich; mehrere Brenner dürfen nur dann an eine gemeinschaftliche Vorlage angeschlossen werden, wenn sie für diesen besonderen Zweck zugelassen ist.

Zusammenfassung der Behandlung der Sicherheitsvorlage.

1. Die Ausführung von Schweiß- und Schneidarbeiten mittels Azetylen ist nur dann gestattet, wenn dem Azetylerzeuger eine Vorlage (oder ein anderes, behördlich zugelassenes Sicherheitsorgan) vorgeschaltet ist.

2. Die Wasservorlage ist vor Arbeitsbeginn und außerdem täglich zwei- bis dreimal auf den vorgeschriebenen Wasserstand am Prüfhahn zu prüfen.

3. Die Vorlage ist nur dann richtig gefüllt, wenn bei geschlossenem Gaszutritts- und geöffnetem Gasaustrittshahn etwas Wasser aus dem Prüfhahn abfließt.

4. Nach Füllung der Vorlage bleibt der Prüfhahn solange geöffnet als Wasser ausfließt, da bei zu hohem Wasserstand Gasmangel (infolge zu großen Gegenstands der Wassersäule [Widerstand]) eintreten oder vom Brenner Wasser angesaugt werden kann. Nach erfolgtem Ablauf überschüssigen Wassers ist der Prüfhahn jedesmal sofort zu schließen.

5. Durch Verdunstung oder andere beliebige Ursache (Rückschlag usw.) verloren gegangenes Wasser ist unverzüglich zu ersetzen.

6. Das Vorlageninnere ist monatlich einmal durch Ausspülen mit Wasser gründlich zu reinigen und von anhaftenden Rost- und Schmutzteilchen zu befreien.

7. In demselben Zeitzwischenraum sind alle an der Vorlage etwa vorhandenen, mechanisch betätigten Vorrichtungen (Ventile, Hebel u. dgl.) auf ihre einwandfreie Wirkungsweise zu prüfen.

8. Ausbesserungen an der Vorlage dürfen nur nach deren Außerbetriebsetzung vorgenommen werden. Undichtheiten sind sofort zu beheben.

9. Nach Flammenrückschlag ist die Vorlage sofort auf ihren richtigen Wasserstand zu prüfen, etwa zerstörte Zinnfolien sind zu erneuern.

10. Bei Austritt von Gas aus dem Fülltrichter oder am Sicherungsventil entstehenden Bränden ist der Gaszufuhrhahn sofort zu schließen und die Vorlage auf Dichtigkeit zu prüfen.

11. Insbesondere ist auch den einzelnen, den Anlagen beigegebenen Betriebsvorschriften restlos nachzukommen.

Trockenvorlagen. Es hat nicht an Bestrebungen gefehlt, die Wasservorlage, deren einwandfreies Arbeiten von der Achtsamkeit des Schweißers abhängt, durch mechanische, also Trocken-Rückschlagsicherungen zu ersetzen. Ganz allgemein kann gesagt werden, daß man trotz aller Bemühungen zu brauchbaren Einrichtungen auf diesem Gebiete bisher noch nicht gekommen ist. Aus diesem Grunde kann auch von einem Ersatz der Wasservorlage noch nicht gesprochen werden. Soweit solche zusätzlichen Einrichtungen vorhanden sind, dürfen sie nur neben der Wasservorlage und nicht allein verwandt werden.

Als Beispiel für einen Rückschlagschutz dieser Art kann Abb. 74 gelten. Das Ventil ist im Normalzustand bei Gasdurchgang zum Brenner dargestellt. Die im Gehäuseunterteil befindliche Feder *e* drückt, unterstützt durch den Druck des bei *a* einströmenden Gases, die Gummimembran *c* nebst der Spindel *b* nach oben gegen den Sitz *g* und sperrt das Ventil nach außen ab. Das Gas nimmt seinen Weg durch die mit *f* verbundenen Radiallöcher, tritt, nachdem es die schwach federbelastete Kugel *k* angehoben und die Bohrungen *i* durchflossen hat, in den Gehäuseoberteil ein, um bei *h* entnommen zu werden. Erfolgt Rückschlag oder Sauerstoffrücktritt, so soll der Federdruck *e* überwunden, die Membran *c* nach unten gedrückt und das Kugelventil *k* geschlossen werden, wobei gleichzeitig *g* geöffnet wird und der Austritt ins Freie gegeben ist. Auf Grund praktischer Erfahrungen darf gesagt werden, daß ein störungsfreies Arbeiten solcher Ventile für geringe Drucke schon nach kurzer Betriebsdauer sehr fraglich und deshalb eine Gewähr für ausreichenden Schutz nicht gegeben ist.

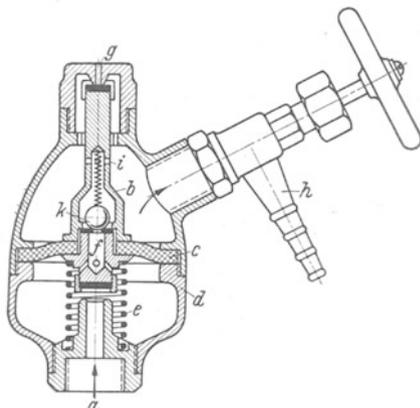


Abb. 74. Trockenrückschlagsicherung.

4. Schweißbrenner.

a) Konstruktion und Arbeitsweise.

Mit dem Schweißbrenner (kurz Brenner genannt) ist uns ein einfaches Mittel an die Hand gegeben, zwei Gase grundverschiedener Art innig zu mengen und durch Verbrennung des entstandenen Brenngas-Sauerstoffgemisches große Wärmemengen auf kleinstem Raume in Form der Schweißflamme zu erzeugen. Der Schweißbrenner macht den wichtigsten Bestandteil der Schweißanlage aus; von seiner richtigen Wirkungsweise ist der Erfolg der Schweißarbeit im höchsten Maße abhängig. Deshalb erfordert die Brennerherstellung besondere Sorgfalt und gründliche Kenntnis der Arbeitsweise dieses Geräts.

Als Baustoff für Schweißbrenner wird hauptsächlich Messing, daneben auch Leichtmetall, für die Brennerspitzen Kupfer, Aluminiumbronze oder Messing verwendet.

Die Konstruktion des Brenners richtet sich in der Hauptsache nach folgenden Gesichtspunkten: Art, Dichte und Druck des Brenngases, Abmessungen des zu schweißenden Gegenstands, Geschmack des Konstrukteurs. Wir können uns auf die verschiedenen Konstruktionsmöglichkeiten, sowie auf Abmessungs- und Bohrungsverhältnisse des Brenners an dieser Stelle nicht einlassen, vielmehr nur jene Einzelheiten erörtern, deren Kenntnis für ein lückenloses Verständnis der Arbeitsweise des Brenners und seiner Behandlung wünschenswert ist.

Allgemeine Brennereinteilung. Je nach den Drücken, unter welchen die Gase dem Brenner zuströmen, hat man zunächst zwischen Mischdüsen- und Injektorbrennern zu unterscheiden. Strömt das Brenngas dem Brenner unter höherem, dem Sauerstoffdruck annähernd gleichem Drucke selbständig zu (Flaschenazetylen, Wasserstoff, Blaugas), so genügt als Mischvorrichtung für die Gase die Mischdüse; fällt dem Sauerstoff aber die Arbeit des Ansaugens eines Brenngases von geringem Druck zu (Azetylen, Leuchtgas), dann wird die Mischdüse durch den Injektor ersetzt. Man kann berechtigterweise auch von Hochdruck-(Gleichdruck-) und von Niederdruck-(Saug-)brennern sprechen.

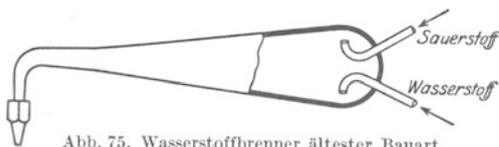


Abb. 75. Wasserstoffbrenner ältester Bauart.

Wasserstoffbrenner. Man glaubte, in Verkennung der praktischen Erfordernisse, zunächst mit einem überaus einfachen Gerät auszukommen, wie ein solches in Abb. 75 in der Grundform dargestellt ist. Ein aus dünnem Eisenblech hergestelltes Rohr, das nach hinten birnenförmig erweitert war, mit Schweißspitze und

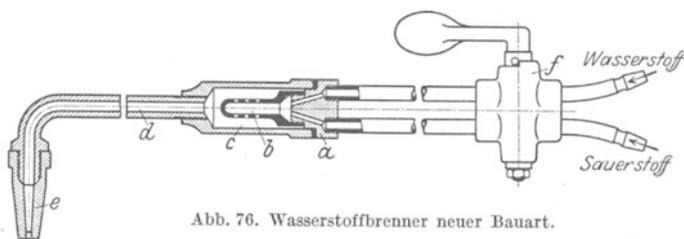


Abb. 76. Wasserstoffbrenner neuer Bauart.

zwei Rohrstückchen war der ganze Brenner. Durch die beiden innen gebogenen Rohransätze wurden die beiden Gase Sauerstoff und Wasserstoff zugeleitet. Wenn der bei dieser Konstruktion häufige Flammenrückschlag eintrat, so brannte das Gasgemisch im Rohrrinnern weiter und das Rohr wurde sofort rotglühend,

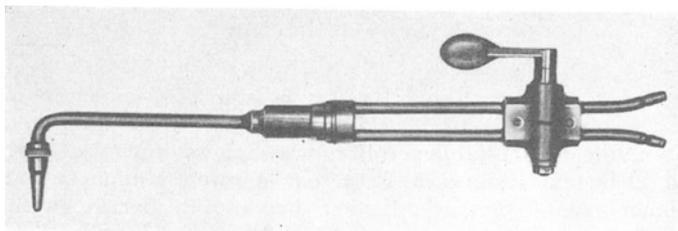


Abb. 77. Wasserstoffbrenner in Ansicht.

so daß Brandwunden an der den Brenner führenden Hand nicht gerade selten waren. Obwohl dieser Mangel durch geeignete Isolations- und Schutzmittel hätte verhütet werden können, stellten sich aber noch andere erhebliche Nachteile ein, die eine völlig geänderte Konstruktion notwendig machten, eine Konstruktion, die mit geringen Abweichungen noch heute fast allen Wasserstoffbrennern zugrunde liegt und die in Abb. 76 veranschaulicht ist. Es handelt sich dabei um den sog. Mischdüsenbrenner. Hinter dem Absperr- und Regelhahn *f* werden die Gase noch getrennt weitergeleitet bis zu den V-förmig zueinanderliegenden Kanälen *a*, an deren gemeinsamer Mündung eine Mischdüse *b* mit Gewinde aufgeschraubt ist. Da der Wasserstoff dem Brenner unter höherem Drucke zugeführt, und die Saugwirkung des Sauerstoffs nicht in Anspruch genommen wird, hat das an den Mischraum *c* anschließende Mischrohr *d* den

Zweck, eine weitere gute Mischung zwischen Wasserstoff und Sauerstoff zu gewährleisten. Auf das untere Ende des Mischrohrs wird die Brennerspitze *e* aufgeschraubt, an deren Austrittsbohrung das Gasgemisch entzündet wird. Abb. 77 veranschaulicht einen Wasserstoffbrenner gleicher Bauart in der Ansicht. Brenner für andere, unter höherem Druck zuströmende Gasarten, z. B. für Flaschenazetylen, Blaugas und Benzolgas sind ähnlich eingerichtet. Um die Schweißflammengröße, je nach den zu bearbeitenden Werkstoffdicken rasch verändern zu können, genügt neben der Regelung der Gasdrücke an den Druckminderventilen eine Auswechslung der Brennerspitzen mit verschiedener Durchgangsbohrung. Der in Abb. 76 und 77 abgebildete Brenner besitzt sechs Stück auswechselbare Spitzen. Folglich wird man Schweißbrenner dieser Art fast immer mit einem Satz (4÷8 Stück) auswechselbarer Spitzen (für verschiedene Flammengrößen bzw. Blechdicken) ausrüsten und seltener für jede Flammengröße einen besonderen Brenner anschaffen.

Niederdruckazetylenbrenner (Injektorbrenner). Anders als bei den Brenngasarten mit höherem Druck liegen die Verhältnisse beim Niederdruckazetylen- oder beim Leuchtgasbrenner, da man hier die für die Zeiteinheit erforderliche

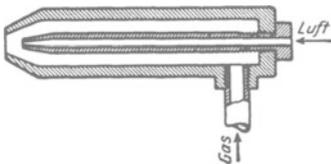


Abb. 78. Urf orm eines Injektorbrenners.

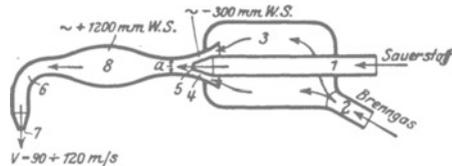


Abb. 79. Wirkungsweise eines Niederdruckbrenners.

Gasmenge nicht durch Druckveränderung des Brenngases beliebig vermindern oder vergrößern kann, vielmehr die Abmessungs- und vor allem die Bohrungsbeziehungen zwischen Injektor und Mischkammer sich mit dem Wechsel der Flammengröße verändern. Man hat deshalb zwei Gruppen von Azetylschweißbrennern, die sog. Einzelbrenner und die Wechselbrenner, nach den neuen Normungsvorschlägen auch einfach „Schweißbrenner“ und demgegenüber „Wechsel-schweißbrenner“ genannt.

Die Grundform eines Injektorbrenners bildet der in Abb. 78 skizzierte „Daniell-sche Hahn“, der als Vorläufer aller Schweiß- und Lötbrenner angesprochen werden kann. Sauerstoff (Luft) wird dem Brenner durch das mittlere, auf eine längere Strecke vom Brenngas getrennte Rohr zugeführt und mischt sich mit dem Brenngas erst kurz vor der Austrittsdüse des Gasgemisches. Solche Brenner haben aber als Hauptmangel eine völlig unzulängliche Mischung der beiden Gase. Man hat deshalb die Sauerstoffinjektordüse weiter nach Innen verlegt und ist zur Grundform der Abb. 79 gekommen. Durch das Rohr 2 tritt das Brenngas ein und sammelt sich im Raume 3 an, von wo es durch den bei 1 eintretenden Sauerstoff durch die Saugdüse 4 mitgerissen wird. Der Sauerstoff kommt durch die feine Bohrung 5, die in der Mitte der Saugdüse 4 liegt, und tritt dann gemeinsam mit dem Gas seinen Weg durch das Mischrohr 6 an, und das Gasgemisch gelangt an der Spitze 7 zur Verbrennung. Messungen der Druckverhältnisse im Brenner haben folgende Durchschnittswerte ergeben: In der Saugdüse 4 (Abb. 79) besteht ein Unterdruck von etwa 300 mm W.S., im Mischraum 8 ein Überdruck von etwa 1200 mm W.S. Um die Beziehungen zwischen Bohrungs- und Druckverhältnissen aufrecht zu erhalten, ist es notwendig, daß die Kanäle 5, 6 und 7 mit der Brenneinsatzgröße geändert werden. Darum genügt beim Niederdruckbrenner die Auswechslung der Brennerspitze allein nicht.

Die Einzelbrenner sind nur für die Bearbeitung einer bestimmten Blechdicke bzw. für eine kleine, engbegrenzte Gruppe von Metalldicken verwendbar,

wie sie den einzelnen Brennerspitzen entspricht. Z. B. soll man mit einem „Schweißbrenner „4÷6““ Bleche von 4÷6 mm schweißen. Die Stufung „4÷6“ ist in die Brennerspitze eingepreßt. Diese Zahlenangaben sind übrigens die Vorschläge des Normenausschusses. Vordem trugen die Brenner nur Nummern. Spitzen und Injektor sind nicht auswechselbar. Man wird diese Sorte Brenner dann bevorzugen, wenn dauernd ein und dieselbe Werkstoffdicke geschweißt werden soll, z. B. zur Schweißung in der Massenfertigung.

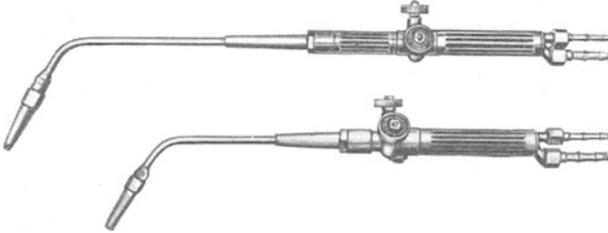


Abb. 80. Einzel- (unten) und Wechselschweißbrenner für Azetylen.

Für Montagearbeiten, wo mit Schwankungen in den Werkstoffdicken innerhalb weitester Grenzen gerechnet werden muß, im Ausbesserungsschweißbetrieb oder überhaupt dort, wo die Schweißung

verschiedenster Metalldicken und -arten vorkommt, ist der Wechselbrenner entschieden vorzuziehen. Dieser gestattet, wie der Wasserstoffbrenner, die Bearbeitung einer großen Gruppe von Werkstoffdicken, ohne daß der Brenner selbst von den Schläuchen gelöst zu werden braucht. Mischkammer, Injektor und Spitze des Brenners werden hierbei in einem Stück, dem sog. Schweiß-einsatz (Abb. 82), ausgewechselt.

Einzelteile der Niederdruckbrenner. Ein Schweißbrenner hat folgende Hauptbestandteile: 1. Griffrohr, 2. Absperr- und Regelventile, 3. Schlauchanschlüsse, 4. Mischvorrichtung, 5. Brennerspitze. Abb. 80 zeigt zwei Azetylenbrenner, Abb. 81 einen Leichtmetall- und einen Messingbrenner in der Ansicht.

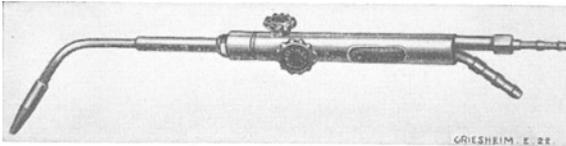
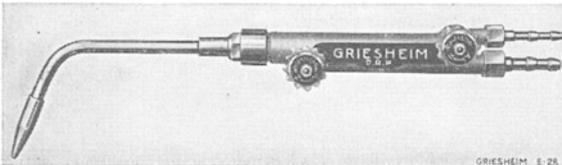


Abb. 81. Azetylen-schweißbrenner.

Für das Brennergewicht ist hauptsächlich das Griffrohr ausschlaggebend. An ihm sind die Absperrhähne ausnahmslos, die Schlauchanschlüsse zum Teil fest angeordnet. Zweifellos liegt ein möglichst geringes Gewicht des Brenners im Interesse

des Schweißers, doch darf die Gewichtsersparnis nicht auf Kosten stabiler Konstruktion und einwandfreier Wirkungsweise des Brenners erfolgen. Trotzdem es für die Arbeitsweise des Brenners belanglos ist, ob die Gasrohre getrennt liegen und in dieser Form als Handgriff dienen oder in einem als Handhabe ausgebildeten Rohr ineinandergelagert sind, verdient die letzte Ausführungsart bei Azetylenbrennern wohl immer den Vorzug, weil sie die stabilste ist und eine Beschädigung des Brenners am besten verhindert. Da ferner das Handrohr für große Brennerflammen möglichst lang sein soll, um die Hand des Schweißers vor übergroßer, lästiger Wärmestrahlung zu schützen, hingegen schwache Brenner recht kurze und leichte Handrohre haben müssen, ist es auch verständlich, weshalb man Wechselbrenner nur bis zu einer gewissen Mindest- und Höchstgrenze ausbauen kann. Gerade die kleinsten und die größten Brenner wird man also am

besten als Einzelbrenner bauen, wie das ja praktisch tatsächlich auch geschieht. Eine Erleichterung des Handgriffs läßt sich auch durch Verwendung geeigneter Leichtmetalle bewerkstelligen, wie dies z. B. in Abb. 81 geschehen ist.

Die Einzelteile eines Brenners sind aus dem Schnitt Abb. 82 zu ersehen. Zum Griffrohr 1 (rechte Bildhälfte) gehören: die Anschlußtüllen 3 für den Sauerstoff- (oben) und Azetylen- (unten) schlauch, die Regelventile 2 (das zweite Ventil für Azetylen hat man sich in der abgeschnittenen Bildhälfte zu denken), den

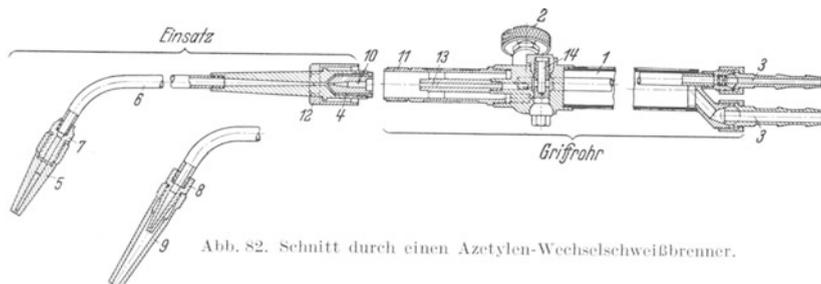


Abb. 82. Schnitt durch einen Azetylen-Wechselweißbrenner.

Ansatz 13 für die Sauerstoffinjektordüse 10 und das Anschlußgewinde 11 für den Schweißersatz. Zum Schweißersatz gehören: Die Injektoreinrichtung 4 mit der Injektordüse 10, die Befestigungsüberwurfmutter 12, das Mischrohr 6, das Zwischenstück 7 und die Brennerspitze 5.

Über die zweckmäßige Lage der Absperrhähne oder -ventile sind die Ansichten sehr geteilt und vielfach von Gewohnheit und Erfahrung bestimmt. Im allgemeinen werden heute nur noch Brenner mit zwei getrennten Hähnen verwendet. In letzter Zeit bevorzugt man

Brenner mit vor der Hand (im Brennerrohr und nicht an den Schlauchtüllen) gelegenen Hähnen, da bei dieser Anordnung eine unbeabsichtigte Verstellung der Hähne durch den Rockärmel verhütet wird. Auch

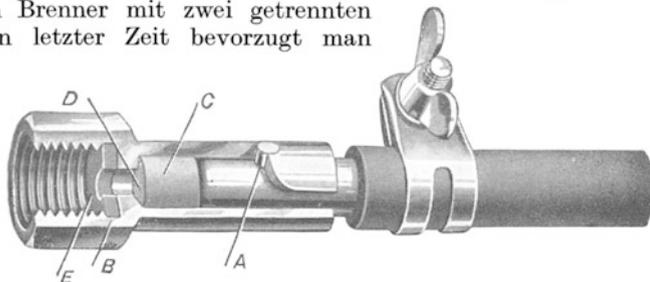


Abb. 83. Schnellschlauchkupplung.

alle „Einhandbrenner“ sind so eingerichtet; die Hähne sind hierbei so untergebracht, daß die Bedienung der Ventile auf die den Brenner führende Hand beschränkt bleibt. Der selten bei Azetylen, bei Wasserstoff fast immer übliche Doppelhahn (Abb. 76) regelt natürlich beide Gase gemeinsam, wobei sein Gehäuse so eingerichtet sein muß, daß ein Übergang des einen Gases zum anderen am Hahnkegel unmöglich ist. Das wird durch einen durchgehenden Schlitz im Hahngehäuse erreicht, durch welchen das jeweilige Gas ins Freie, aber nicht in die andere Gasleitung gelangen kann.

Die Schlauchanschlußnippel (Schlauchtüllen, DIN 1902 und 1903) sind teils fest, teils als Verschraubung ausgebildet; bei letzteren erfolgt die Abdichtung der Überwurfmutter sowohl durch Fiberringe als durch konische Flächendichtung der Nippel selbst. Sind die Anschlußnippel am Brenner nicht besonders bezeichnet, so dient immer der Anschluß mit größerer Bohrung für den Brenngasschlauch, der kleinere für Sauerstoff, wie dies beispielsweise aus Abb. 82 hervorgeht. Eine sog. Schnellschlauchkupplung zeigt Abb. 83. Im Hülseenteil B, der fest mit dem Brenner verbunden ist, sitzt ein Gummipuffer C mit

vorgelagertem Sieb *D*. Das mit dem Brennerschlauch durch Schlauchklemme verbundene Stück *A* trägt einen Stift, der in die entsprechende Führung des Bajonettverschlusses in *B* paßt. Dieser Schlauchanschluß hat sich in der Praxis gut bewährt. Der Gummipuffer *C* ist natürlich von Zeit zu Zeit auszuwechseln.

Die Hauptaufgabe des Brenners besteht in der richtigen Mischung der beiden Gase der Menge nach, die so erfolgen muß, daß Störungen im Gleichgewichtszustand zwischen Ausfluß- und Zündgeschwindigkeit ausgeschlossen sind¹. Diese wichtige Bedingung erfüllt die Mischdüse im besonderen, weitmehr aber noch der Injektor. Die Injektorkonstruktion beruht darauf, daß die Saugwirkung eines durch eine feine Düse unter höherem Druck ausströmenden Gases (Dampfes) ausgenutzt wird. Auf den Schweißbrenner übertragen, läßt sich anhand der Abb. 82 der Vorgang wie folgt schildern: Der aus der Bohrung des Injektors 10 ausströmende Sauerstoff saugt ringsum das unter niedrigem Druck stehende Azetylen an, reißt es mit in den Mischkanal 6 und mischt sich mit ihm auf dem Wege zur Austrittsöffnung der Schweißdüse. Der Sauerstoff verleiht

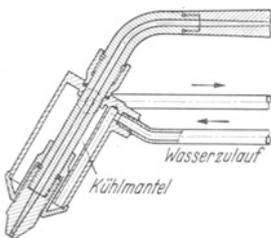


Abb. 84. Wassergekühlter Maschinenschweißbrenner.

gleichzeitig dem Gasgemisch die erforderliche Strömungsgeschwindigkeit. Die Misch- oder Injektoreinrichtung 4 ist meist in den Schweißeinsatz eingebaut und ist mit diesem gemeinsam auswechselbar. Für die innige Mischung der Gase und für gute Flammenbildung ist ein längeres Mischrohr 6 von Vorteil; die Flammenkerne sind länger und stabiler. Bei den Brennern Abb. 76 und 77 wird bekanntlich nur die Brennerspitze ausgewechselt; das Mischrohr ist im rechten Winkel zum Handrohr abgebogen, so daß die Flamme das Schweißgut auch im rechten Winkel trifft. Dagegen bildet das Brennermundstück des gewöhnlichen Azetylenbrenners mit dessen

Handrohr immer einen stumpfen Winkel von annähernd 135° , was später noch als vorteilhaft nachgewiesen wird.

Die Mischrohre sind meist aus Messing, und die Spitzen bei Azetylen immer aus Kupfer, bei Wasserstoff und Leuchtgas immer aus Messing, bei gelöstem Azetylen sowohl aus Messing als aus Kupfer hergestellt. Die Schweißeinsätze werden durch Sechskantüberwurfmuttern mit einem Schlüssel (12 in Abb. 82), Rundmuttern nur von Hand gut angezogen.

Kühlung und Rückschlagsicherungen. Unter anderen Konstruktionen sind auch Brennerdüsen mit Sauerstoffkühlung auf den Markt gekommen, was den Vorteil der Verhütung von Flammenrückschlägen gewährleisten soll, praktisch aber so wenig Erfolg hatte, daß man diese Bauart verlassen hat. Wirksame Kühlung der Düsen ist sehr günstig, aber nur durch Wasser erreichbar. Brennerdüsen von Schweißmaschinen sind stets wassergekühlt, derart, daß die Mischdüse mit einem Kühlmantel umgeben ist, in welchem fließendes Wasser kreist. Seltener trifft man diese Vorkehrung auch wohl bei ganz großen, von Hand geführten Brennern für schwere und schwerste Werkstücke an. Den Kopf eines wassergekühlten Maschinenschweißbrenners veranschaulicht Abb. 84. In wieder anderen Brennern findet man Einrichtungen, um von außen eine Verstellung der Injektordüse bewerkstelligen zu können. Auch diese Sonderheit bringt

¹ Unter Zündgeschwindigkeit versteht man die Geschwindigkeit, mit der sich die Zündung im ruhenden Gasgemisch fortpflanzt. Die Ausfluß- oder Strömungsgeschwindigkeit des Gases muß immer größer sein als die Geschwindigkeit der Zündung, andernfalls schlägt die Flamme ins Brennerinnere zurück. Die Strömungsgeschwindigkeit beträgt etwa $70 \div 160$ m/s. Diese Erläuterung wird hier auch deshalb gegeben, weil häufig die Frage aufgeworfen wird, warum die Flamme zurückschlägt.

keinerlei praktischen Nutzen. Dagegen ist der Einbau von Rückschlagsicherungen, die einen Durchschlag der Flamme zur Gasquelle (zur Sicherheitsvorlage oder zum Druckminderventil) verhüten sollen, zu begrüßen.

Aus den auf dem Markte befindlichen Rückschlagsicherungen sei eine herausgegriffen, die den Flammenrückschlag durch eine besondere Ausgestaltung der Injektordüse verhindern soll. Abb. 85 zeigt den Längsschnitt durch den betreffenden Brennerteil. Man hat sich links das Mischrohr und rechts das Handrohr fortgesetzt zu denken. Das Azetylen wird durch eine große Zahl feiner Bohrungen *a* hindurchgeleitet, in einem Ringkanal *b* gesammelt und abermals durch eine gleiche Anzahl rechteckiger Schlitze *c* getrennt, vor die Injektorbohrung geführt, wo es mit dem Sauerstoffstrom zusammentrifft. Die beabsichtigte Wirkung soll also hervorgerufen werden durch Druckverteilung auf feine Strahlen und durch Wärmeableitung an größere metallische Massen. Aber auch diese Konstruktion ist nur von bedingtem Wert. Zwar kann sie das Weiterbrennen der zurückgeschlagenen Flamme in der Azetylenleitung bis zu einem bestimmten Grade erschweren, doch kommen nicht selten dennoch Rückschläge bis zur Wasservorlage vor, weshalb die Verwendung solcher Brenner die sorgfältige Beobachtung und Wartung der Sicherheitswasservorlage keineswegs ausschließt. Ein Vorteil dieser Brennerbauart ist darin zu erblicken, daß nach erfolgtem

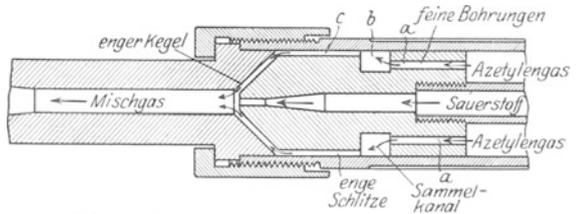


Abb. 85. Schweißbrenner mit Rückschlagsicherung.

Flammenrückschlag das Zünden der Flamme meist sofort wieder selbsttätig (am glühenden Arbeitsstück) stattfindet, so daß unliebsame längere Arbeitsunterbrechungen vermieden werden.

Die Verhütung von Flammenrückschlägen (Knallen des Brenners) überhaupt dürfte praktisch wohl kaum erreichbar sein, um so weniger, als der schleichende Rücktritt von Sauerstoff in die Brenngasleitung nicht ausgeschaltet werden kann. Letztere Aufgabe hat sich der Erbauer eines Brenners gestellt, welchen Abb. 86 II im Längsschnitt darstellt. Zum Vergleich ist bei I ein Brenner der gleichen gewöhnlichen Bauart gegenübergestellt. Bei I tritt der Sauerstoff in der Mitte, ringsum das Azetylen zu. Letzteres passiert die Schlitze *c* des Kopfes *a* und gelangt durch die Kanäle *f* des eingeschraubten Sauerstoffinjektors *b* in den Mischkanal *e*. Die Skizze läßt erkennen, daß es sich um einen Wechselbrenner handelt. Die in II veranschaulichte Ausführung besitzt zwei im Handrohr getrennt geführte Rohre, wovon das eine für Sauerstoff, das andere für Azetylen bestimmt ist. Das Brenngas tritt dann nur an einer Stelle, bei *c g* in einen Ringkanal und aus diesem durch den Schlitz *f* in den Mischkanal. Entsteht nun durch irgendeine Ursache an der Sitzfläche der Injektordüse *b* (*I*) auf *a* eine Undichtigkeit, dann tritt Sauerstoff in die Azetylenleitung zurück.

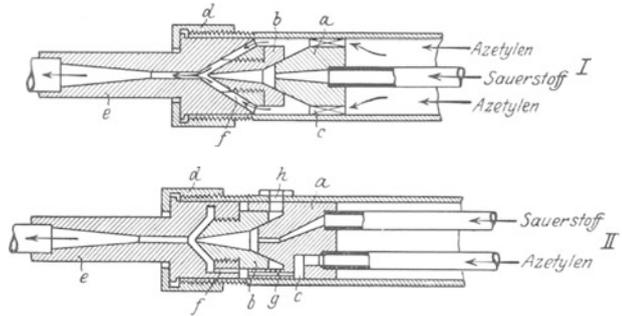


Abb. 86. Schweißbrenner mit Sauerstoffrücktrittsicherung.

Entsteht nun durch irgendeine Ursache an der Sitzfläche der Injektordüse *b* (*I*) auf *a* eine Undichtigkeit, dann tritt Sauerstoff in die Azetylenleitung zurück.

Solch eine Undichtheit kann entstehen durch nicht genügendes Anziehen der Überwurfmutter *d*, durch ein Fremdkörperchen, das sich an der Dichtungsfläche festgesetzt hat, oder durch einen Grat, eine Scharte usw. Dies kommt nicht gerade selten vor. Die Bauart *II* sieht nun bei *h* eine Öffnung vor, durch die sofort der Sauerstoff ins Freie kann, sobald die Flächen zwischen *a* und *b* nicht richtig abdichten. Man darf also den Austritt des Sauerstoffs ins Freie mit einiger Sicherheit dann erwarten, wenn eine Undichtheit beim Zusammenschrauben des Brenners (beim Auswechseln der Düsen) entsteht, nicht aber, falls sich die Mündung der Schweißspitze verstopft, was ebenso oft, wenn nicht häufiger, vorkommt. Damit ist auch der Wert dieser Neuerung beschränkt; auch sie macht trotzdem die so oft erwähnte Wasservorlage nötig.



Abb. 87.
Brenner-
siebdüse.

Sonderbrenner. Außer den bisher erwähnten Einzel-, Wechsel- und Maschinenschweißbrennern sind noch zu nennen: die vereinigten Schweiß- und Schneidbrenner (s. Abschnitt Brennschneiden) und der sog. Universal- oder Mischgasbrenner. So ist z. B. der Brenner Abb. 82 so eingerichtet, daß der Schweißeinsetz durch einen Schneideinsatz ersetzt und damit das Schweißgerät auch zum Schneiden verwendet werden kann. In diesem Falle wird die nur beim Schweißen eingebaute Vorrichtung 14 entfernt und der Anschlußstutzen des Schneideinsatzes eingesetzt.

Da natürlich die auf die physikalischen Eigenschaften eines bestimmten Gasgemisches abgestimmten Brenneinrichtungen nicht ohne weiteres auch für jedes beliebige andere Gasgemisch brauchbar sein können, ist der Gebrauch von Universalbrennern für Schweißzwecke nicht zu empfehlen (beim Schneiden fällt dies weniger ins Gewicht). Im allgemeinen sind allerdings für gewöhnliches Azetylen gebaute Schweißbrenner auch für Flaschenazetylen verwendbar, nie aber umgekehrt Hochdruckbrenner für Niederdruckazetylen.

Eine von den bisherigen Schweißspitzen (Spitzdüsen) mit nur einer zentralen, zylindrischen Bohrung abweichende Konstruktion, die zwar weniger für Azetylen als für Leuchtgas in Frage kommt, zeigt Abb. 87 in einer sog. Siebdüse (Brausekopf). Die zylindrische, nicht konische Düse, deren vordere Kreisfläche *a* mit einer größeren Anzahl kleiner, ringförmig angeordneter Löcher *b* versehen ist, ergibt an jedem dieser Löcher eine kleine, selbständige Flamme. Brennerspitzen dieser Art sind vor allem für Vorwärm- und Lötzwecke gebräuchlich. Auch der Brenner Abb. 82 ist außerdem als Löt- brenner verwendbar, wenn der Schweißeinsetz durch einen Löt einsetz ersetzt wird, dessen Löt- düse 9 an ein besonderes Zwischenstück 8 anzuschrauben ist.

Vielseitige Abarten von Brennern, wie solche mit ausziehbaren, in bestimmten Grenzen in der Länge verstellbaren Mischrohren (6 in Abb. 82), sog. Teleskop- brenner, und andere mit Mischrohren aus biegsamem Weichkupfer, die ein Verwinden in Fällen schlechter Zugänglichkeit zum Werkstück (Ausbesserungs- Schweißungen) gestatten, sollen nur erwähnt werden. Wieder andere Brenner besitzen besondere Ventile zur Einstellung und Unterhaltung einer Zünd- flamme und ähnliches.

Mehrflammenbrenner. Unter den Sonderbrennern kommt dem Zwei- flammenbrenner eine besondere Bedeutung zu. Man unterscheidet hierbei zwischen Brennern für Stabvorwärmung und für Kantenvorwärmung. Beide eignen sich nur für die Nachrechtsschweißung. Der Zweiflammenbrenner für die Schweißstabvorwärmung, dessen Bauweise aus Abb. 88 hervorgeht, hat sich weniger eingeführt. Die Bewegung des Brenners in der Abbildung hat man sich von rechts nach links vorzustellen, wobei die linke, größere Düse die Werk-

stoffkanten vorzuwärmen und den zufließenden Draht mit diesen zu verschmelzen hat. Die kleinere, rechte Düse wärmt den Draht vor. Diese Brenner sind für Blechdicken über 10 mm bestimmt.

Ebenfalls für das Schweißen dickerer Bleche ist der normale Zweiflamm-brenner der Abb. 89 bestimmt, der nicht zwei getrennte, sondern zusammenhängende Düsen hat, deren gemeinsame Fläche schräg steht (α), so daß die Schweißflamme gegen die Vorwärmflamme etwas vorsteht. Von der Anwendung dieser Brenner ist noch später die Rede.

Brenner mit mehr als zwei Flammen, sog. Mehrflammenbrenner, kommen nur bei Schweißmaschinen vor. Auch hier sind, wie die Abb. 90 (Sechsfammenbrenner) zeigt, die Flammen hintereinander angeordnet. Der Zweck aller dieser Mehrflammenbrenner ist eine erhebliche Steigerung der Schweißgeschwindigkeit.

Ein weniger in Deutschland als in Amerika angewandtes Schweißverfahren ist das mit dem „Lindewelder“ (Abb. 91a und b), das nur der Vollständigkeit halber hier abschließend erwähnt werden soll. Das Zweiflammengerät wird auf dem Werkstück durch zwei Kufen gestützt und der Schweißdraht durch eine besondere Einrichtung geführt. Der Drahtvorschub erfolgt über einen Spiralfederzug. Die Vorwärmflamme wärmt den Draht vor seiner Niederschmelzung an. Die erzielbare höhere Schweißgeschwindigkeit, die außerdem von einer besonderen Einstellung der Schweißflamme abhängt, bedingt große Übung und Fertigkeit.

Framabrenner. Er ist injektorlos eingerichtet und besitzt eine andersgeartete Mischeinrichtung, der beide Gase (Sauerstoff und Azetylen) unter gleichem

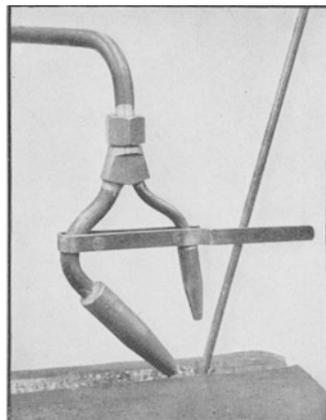


Abb. 88. Zweiflamm-brenner
(für Schweißstabvorwärmung).



Abb. 89. Normaler Zweiflamm-brenner
(für Kantenvorwärmung).

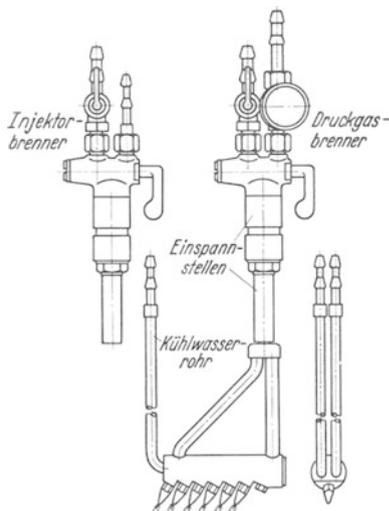


Abb. 90. Mehrflammen-Maschinen-Schweißbrenner.

Druck zugeführt werden. Die genaue Regelung gleicher Gasdrücke wird durch eine besondere Bauart des Druckminderventils erreicht, in welchem Gummimembranen und Druckfedern die wirksamen Bestandteile sind. Der Brenner bedingt erhöhten Gasdruck, weshalb er sich besonders für die Verwendung von Flaschenazetylen (und Hochdruckazetylenentwicklern) eignet. Niederdruckgas muß erst durch Verdichtungseinrichtungen (Kompressoren) auf höheren Druck (bis 0,7 at) gebracht werden.

Abb. 92 zeigt den Schnitt durch das dazugehörige Gleichdruckventil, in welchem die Druckgleichheit der Gase zwangsläufig (automatisch) geregelt wird, und zwar wird im Teile *E* des Ventils zunächst das Gas vom Flaschendruck auf geringeren Druck entspannt und dann dem Druckregelventil *D* zugeleitet.

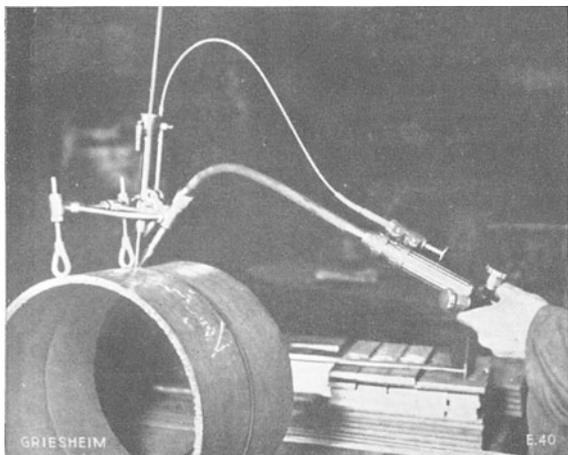


Abb. 91 a. „Lindewelder“ Zweiflammen-Handsweißgerät.

luft in Verbindung. Wird eine der Membranen undicht, so entweicht das Gas ins Freie. Die beiden Gehäusehälften des Teiles *D* sind mit je einer Schlauchtülle versehen, an die die zum Brenner führenden Schläuche angeschlossen werden. Beide Gase treten mit gleichem Druck von nur $0,2 \div 0,7$ at in den Brenner ein,

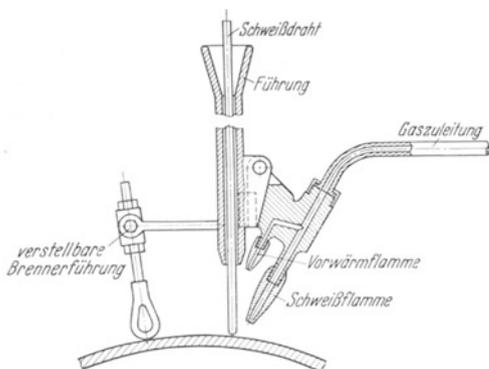


Abb. 91 b. Grundform des „Lindewelder“.

A ist der Anschlußbügel für die Azetylenflasche, *B* ist der Anschlußzapfen. Der Sauerstoffschlauch wird nicht unmittelbar mit dem Brenner, sondern mit der Schlauchtülle *F* des Ventilgehäuses *D* verbunden. Der Sauerstoff drückt gegen die Doppelmembran *C*, die ihrerseits das Azetylenventil *G* zwangsläufig steuert und die Gasdrücke regelt. Die Wirkung des Geräts ist demnach jener eines Zweistufenventils ähnlich. Um eine Mischung der Gase im Ventil selbst auszuschließen, steht der Zwischenraum *H* zwischen den Membranen mit der Außen-

membran in Verbindung. Wird eine der Membranen undicht, so entweicht das Gas ins Freie. Die beiden Gehäusehälften des Teiles *D* sind mit je einer Schlauchtülle versehen, an die die zum Brenner führenden Schläuche angeschlossen werden. Beide Gase treten mit gleichem Druck von nur $0,2 \div 0,7$ at in den Brenner ein, dessen Einrichtung in Abb. 93 dargestellt ist. Das Azetylen tritt bei *a*, der Sauerstoff bei *b* in den Brenner ein. Die Gasmengenregelung erfolgt am sog. Dosierhahn *c*, an dessen Handrad *d* eine Strichteilung, der jeweiligen Brennerspitze entsprechend einzustellen ist. *e* ist lediglich ein Absperrhahn, *f* ist die Mischdüse und *g* die Brennerspitze, die als einziger Brennteil mit der zu schweißenden Blechdicke (wie bei allen Hochdruckbrennern, s. Wasserstoffbrenner) ausgewechselt werden muß. Hauptzweck der Erfindung ist gleiches Gasgemisch zu jeder

Zeit der Arbeitsperiode ohne die sonst notwendige Regelung der Flamme.

Schweißbrenner für andere Brenngase. Die Bauform der übrigen Brenner paßt sich im allgemeinen den beschriebenen Konstruktionen an.

Beim Leuchtgasbrenner, der ja erheblich größere Mengen an Gas verbraucht als der Azetylenbrenner, da der Heizwert des Steinkohlengases wesentlich niedriger ist, sind entsprechend größer bemessene Kanäle und Bohrungen erforderlich. Die Einrichtung einer neueren Brennerkonstruktion, bei welcher zwischen Hahngehäuse und Schweißspitze ein biegsamer Schlauch angeordnet ist, scheint weniger

praktisch zu sein. Der Schlauch soll den Zweck haben, die Handhabung des Brenners durch verringertes Gewicht zu erleichtern. Das Hahngehäuse bleibt auf dem Arbeitstische liegen und nur der Schlauch wird geführt.

Auch die Ausbildung des Blaugasbrenners erfordert gegenüber den angeführten Schweißbrennertypen keine Sonderkonstruktionen, da ja das Blaugas beim Entspannen vom hohen auf den niedrigen Arbeitsdruck von selbst aus dem flüssigen in den gasförmigen Zustand übergeht (wie Kohlensäure) und demnach dem Brenner gleich gasförmig zugeführt wird.

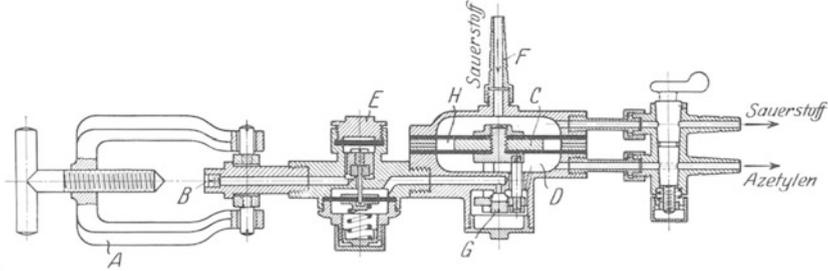


Abb. 92. Gleichdruckventil für Sauerstoff und Azetylen.

Anders liegen die Verhältnisse bei unter normalem Druck und bei normaler Temperatur flüssigen Brennstoffen. Hier werden die Brennstoffe dem Brenner in flüssiger Form zugeführt, so daß dem Brenner die Vergasung der Flüssigkeit zufällt. Praktische Bedeutung hat hier nur der Benzolschweißbrenner nach Fernholz erlangt. Die Einrichtung einer Benzolschweißanlage wurde bereits in Abb. 10 dargestellt. Das Arbeiten mit dem Benzolbrenner ist umständlicher und schwieriger als das mit dem Azetylenbrenner.

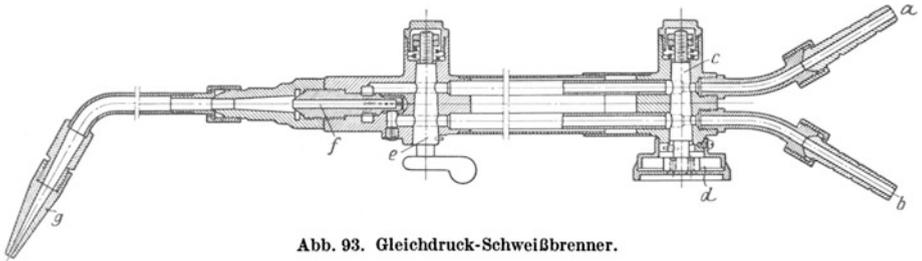


Abb. 93. Gleichdruck-Schweißbrenner.

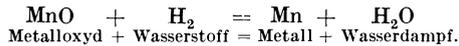
Normung der Schweißbrenner. In die vom deutschen Normenausschuß in Angriff genommene Normung der Autogengeräte sind grundsätzlich nur solche Teile eingeschlossen worden, deren Auswechselbarkeit beim Bezug von verschiedenen Werken Vorbedingung für die Weiterverwendung der Haupteinrichtungen ist, oder deren Normung für die Vereinfachung der Lagerhaltung von besonderem Belang erschien. Die Normung beschränkt sich daher bei den Schweißbrennern auf die Anschlüsse für die Schläuche (Schlauchtüllen) und auf die Stufung und Bezeichnung der Schweißbrenner, worauf bereits hingewiesen war (DIN 1901÷1909).

b) Die Schweißflammen.

Allgemeines. Die Entstehung einer Schweißflamme beruht auf der Verbrennung eines Brenngas-Sauerstoffgemisches an der Luft. Unter Verbrennung verstehen wir die Verbindung eines brennbaren Körpers (in unserem Falle: eines brennbaren Gases) mit Sauerstoff und nennen diesen Vorgang Oxydation. Die

Verbrennung kann eine unvollständige oder eine vollständige sein, je nachdem ob dem Brenngas nicht genügende oder genügende Mengen Sauerstoff zugeführt werden. Bei unvollständiger Verbrennung sind also in der Schweißflamme noch unverbrannte Gase, die dann das Bestreben haben, sich mit dem Sauerstoff der die Flamme umgebenden Luft zu verbinden; sie entziehen der Luft den Sauerstoff. Eine Entziehung des Sauerstoffs aus einem Körper — der Gegensatz zu dem Hinzuführen von Sauerstoff, der Oxydation — nennen wir eine Reduktion. Wir sprechen also bei einer Flamme, die nicht genügend Sauerstoff erhält und Sauerstoff aus der Luft entzieht, auch von einer „reduzierenden Flamme“. Hat, im Gegensatz dazu, die Flamme mehr als genügend Sauerstoff, d. h. Sauerstoffüberschuß, so ist sie eine „oxydierende Flamme“; sie gibt beim Schweißen Sauerstoff an die Schweißstelle ab, was nur schädlich wirken kann.

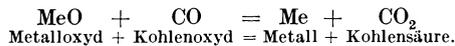
Die als Reduktionsstoffe in den Schweißflammen wirksamen Gase sind Wasserstoff und Kohlenoxyd. Bringt man den Vorgang in die Form einer Gleichung, und zwar auf Wasserstoff bezogen, dann ist das Oxyd des Metalls Me so reduzierbar:



Auf Eisen übertragen:



Die Reduktion der Metalle durch Kohlenoxyd verläuft nach der Gleichung:



Die Leuchtkraft, d. i. die Helligkeit der Flamme, hängt ab von der Natur der in ihr verbrennenden Stoffe, von ihrer Temperatur und Dichte. Das Leuchten der Flamme hat seine Ursache im allgemeinen darin, daß feste Körper in ihr vorhanden sind, die in der Flammehitze glühend werden und um so mehr leuchten, je heißer die Flamme ist. Diese Stoffe können der Flamme sowohl von außen zugeführt, als auch während der Verbrennung vom Brennstoff selbst ausgeschieden werden. Der erste Fall (Gasglühlicht) hat für uns hier kein Interesse. Zu den Flammen mit aus dem Brennstoff ausgeschiedenen festen Stoffen, denen die Leuchtkraft zu verdanken ist, gehören alle kohlenstoffhaltigen Gase, wie Azetylen, Leuchtgas, Benzol, Blaugas usw. Hier bildet überall die Leuchtkraft der Flamme feinv verteilter, fester Kohlenstoff (Ruß), der durch Zerfall entsteht und zum Glühen erhitzt wird, bevor er zur Verbrennung gelangt.

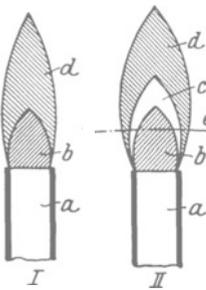


Abb. 94 Flammenaussehen.

Man kann sich das an den Skizzen der Abb. 94 am besten klarmachen. Die Verbrennung des am Rohrmundstück a (Bild I) austretenden Gasstroms geht nur dort vorstatten, wo der Brennstoff mit dem Luftsauerstoff in Berührung kommt, also an der äußeren Flammenbegrenzung. Im Aufbau der Flamme lassen sich zwei Zonen gut unterscheiden, und zwar der dunkler aussehende Flammkern b und der Flammenmantel d von größerem Umfange. Im Kern b befinden sich unverbrannte, glühende Gase, was sich folgendermaßen beweisen läßt: Hält man ein dünnes Röhrchen in den dunklen Kern b , dann steigen die unverbrannten Gase in diesem in die Höhe und können an dessen oberer Mündung verbrannt werden. Die Länge der Flamme ist vom Gasdruck abhängig; sie steigert sich mit dem Drucke. Ihre Form steht im übrigen in Abhängigkeit vom Querschnitt

der Austrittsbohrung des Brenners. Die kegelförmige Gestalt der Flamme wird durch die Einwirkung der ringsum zuströmenden Luft bedingt; je länger diese in den Gasstrom eindringt, um so mehr muß der Flammenquerschnitt (mit der Entfernung von der Austrittsöffnung) abnehmen.

Wird ein kohlenwasserstoffhaltiges Gas (wie sie schon eingangs aufgezählt wurden) in gleicher Weise zur Verbrennung gebracht, so ergibt sich, entsprechend dem Zerfall des Kohlenstoffs, eine etwas verwickeltere Flammenform. Diese ist in Abb. 94 II wiedergegeben. *b* ist wiederum der Kern, gebildet aus unverbrannten Gasen, und *d* der Flammenmantel, innerhalb dessen die restlose (vollständige) Verbrennung der Gase vor sich geht. Zwischen beiden liegt indessen eine leuchtende Zwischenzone *c*, aus glühendem Kohlenstoff bestehend. Die Gegenwart unverbrannten Kohlenstoffs läßt sich dadurch nachweisen, daß man in diesen Mantel *c* auf kurze Zeit eine Glasscheibe oder ein Kartenblatt *e* waagrecht hineinhält. Beim Herausnehmen desselben zeigt sich, entsprechend dem Querschnitt dieser Zone, ein kreisringförmiger Rußfleck.

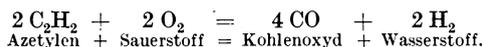
Um die Temperatur einer Flamme zu steigern, bedient man sich der sog. Gebläsebrenner, denen man, je nach Verwendungszweck, die Bezeichnung Heiz-, Löt- oder Schweißbrenner beilegt. Sie werden entweder mit Luftzufuhr (Bunsenbrenner) oder, zwecks Erzielung der erreichbar höchsten Temperaturen, mit Sauerstoffzufuhr (Daniellscher Hahn) versehen; im letzteren Falle haben wir es mit dem Schweißbrenner zu tun.

Die Farbe der Flamme wird von den in ihr vorhandenen dampfförmigen Stoffen bestimmt.

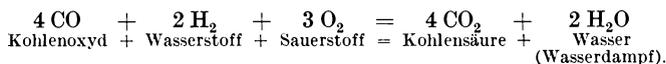
Die Azetylen-Sauerstoff-Flamme. Azetylen (C_2H_2) besteht aus zwei Teilen Kohlenstoff und zwei Teilen Wasserstoff. Zur vollständigen Verbrennung von 1 m^3 Azetylen sind $2,5\text{ m}^3$ Sauerstoff (oder $12,5\text{ m}^3$ Luft) erforderlich. Das Mischungsverhältnis beträgt demnach $1:2,5$. In die Form einer chemischen Gleichung gebracht, würde man den Verbrennungsvorgang so zum Ausdruck bringen:



Im Brenner kommt das Azetylen zunächst nur mit etwa gleichen Teilen Sauerstoff zusammen, da ja auf die Beteiligung des Luftsauerstoffs an der Verbrennung Rücksicht genommen werden muß. Es findet deshalb vorerst nur eine unvollständige Verbrennung statt, wobei sich folgender Vorgang vollzieht:



Azetylen hat sich also mit Sauerstoff verbunden zu Kohlenoxyd und Wasserstoff. Durch Hinzuziehung des die Flamme umgebenden Luftsauerstoffs schreitet diese unvollständige Verbrennung zu der vollständigen fort nach der Gleichung:



Mit anderen Worten: Teilweise verbrennt der Luftsauerstoff mit dem Kohlenoxydgas zu Kohlensäure (Kohlendioxyd), einem nicht mehr brennbaren Gas; teilweise verbindet er sich mit dem freien Wasserstoff zu Wasser. Wasser und Kohlensäure sind demnach die Erzeugnisse der vollständigen Verbrennung des Azetylens. In Raummengen ausgedrückt würde die Azetylenflamme, wie wir sahen, zur vollständigen Verbrennung des Azetylens auf je 1 Teil Azetylen $2,5$ Teile Sauerstoff notwendig haben, wobei je 1 m^3 verbrannten Azetylens 2 m^3 Kohlensäure (CO_2) und 1 m^3 Wasserdampf (H_2O) gebildet werden.

Die Zerfallwärme des Azetylens beträgt bei vollständiger Verbrennung nach obiger Gleichung 312 Cal. Davon entfallen auf

$$\begin{array}{r} \text{CO}_2 = 190 \text{ Cal} \\ \text{H}_2\text{O} = 68 \text{ Cal} \\ \text{C}_2\text{H}_2 = 54 \text{ Cal} \\ \hline = 312 \text{ Cal,} \end{array}$$

während bei der unvollständigen Verbrennung die Verhältnisse so liegen:

$$\begin{array}{r} \text{CO} = 58 \text{ Cal} \\ \text{C}_2\text{H}_2 = 54 \text{ Cal} \\ \hline = 112 \text{ Cal.} \end{array}$$

Wenn man, zum besseren Verständnis, den eben in Form chemischer Gleichungen betrachteten Verbrennungsvorgang zeichnerisch darstellt, dann erhält man Abb. 95, in der die drei Verbrennungsstufen (Zonen) deutlich zum Ausdruck kommen.

Das Flammenbild zeigt folgendes: Innerhalb des gewöhnlich als Kern im Bilde mit leuchtender Hülle bezeichneten Teiles findet sich nur ein mechanisches Gemisch zwischen Sauerstoff und unverbranntem Azetylen vor. Der hell und

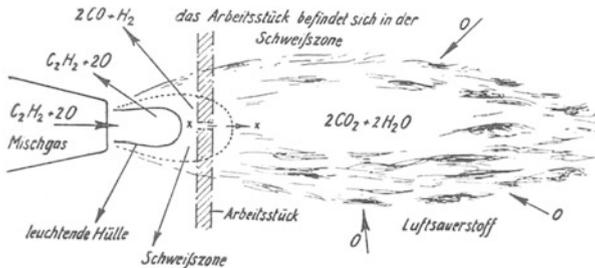


Abb. 95. Azetylen-Sauerstoffflamme.

blendend weiß leuchtende Kern verdankt seine scharfbegrenzte Umrandung dem plötzlichen Zerfall des Azetylens in seine Bestandteile Kohlenstoff und Wasserstoff. Bei kleineren Brennern hat dieser Flammenkern das Aussehen eines schlanken Kegels, der bei steigender Gasmenge und mit zunehmendem

Sauerstoffdruck, also mit der Brennergröße, in die Form eines stäbchenartigen, annähernd zylindrischen, vorn am Kopf flach abgerundeten Prismas übergeht. Abweichungen von dieser normalen Form des Flammenkerns, z. B. zu kurzer, zackiger, schiefer, an der Spitze bauchig erweiterter oder auch langer Kern, sind kennzeichnend für entweder schadhafte Brennerbohrungen oder falsche Flammeneinstellung. Die Länge des Kerns läßt sich nicht ohne weiteres für die verschiedenen Brennergrößen festlegen; sie ist abhängig vom jeweiligen Sauerstoffdruck und der damit veränderlichen Azetylenmenge. Dieser ersten Flammenzone, dem Kern, lagert sich eine zweite Zone vor, die Schweißzone, die allerdings nur zeichnerisch angedeutet werden kann, da sie im Flammenbild nicht erkennbar ist, in welcher sich das Erzeugnis der ersten, der unvollständigen Verbrennung vorfindet, und zwar Kohlenoxyd und Wasserstoff. Diesem im Gesamtbilde des Verbrennungsvorgangs nur als Zwischenerzeugnis anzusprechenden Kohlenoxydgas wird der Sauerstoff der Luft zugeführt (Pfeile), und es verbrennt dann, innerhalb der dritten Flammenzone oder zweiten Verbrennungsstufe, in der meist Streuflamme genannten oxydierenden Flamme, zum Verbrennungserzeugnis: Kohlensäure und Wasser.

Die wirksamste Stelle der Flamme ist unmittelbar vor dem Kern gelegen und in Abb. 95 mit einem \times versehen. An dieser Stelle besteht die höchste Temperatur innerhalb der Flamme. Beim Schweißen muß streng darauf geachtet werden, daß diese Stelle, das im Flusse befindliche Arbeitsstück trifft, wie dies in Abb. 95 angedeutet ist. Die Temperaturen innerhalb der Flamme schwanken außerordentlich. Kurz vor der Brennerspitze bestehen etwa 300° ; in der Mitte der leuchtenden Hülle etwa 600° ; an deren Spitze rund 1000° ; in der Mitte der

Streuflamme 2000° und an deren Ende etwa 1200° . Nur in der Schweißzone besteht die höchste Temperatur von $3000 \div 3200^{\circ}$. Das ist auch der Grund, weshalb die Kupferspitze nicht abschmilzt, wonach häufig gefragt wird.

Es wurde schon gesagt, daß der Kern in gewissem Sinne einen Gleichgewichtszustand kennzeichnet, wie er zwischen der Verbrennungs- und Ausflußgeschwindigkeit des Gasgemisches besteht. Die Stabilität der Flamme kann nun durch mannigfache Ursachen aufgehoben werden, worauf die Flamme unter lautem Knall ins Brennerinnere zurückschlägt. Der Anlaß zu solchen Flammenrückschlägen (die durch die Wasservorlage unschädlich gemacht werden sollen) kann sein: Verstopfen der Düsenöffnung durch beim Schweißen abspritzende Metallkörnchen oder aus dem Brennerinnern kommende Kohlenstoffteilchen¹, plötzliche Abnahme der Ausflußgeschwindigkeit des Gases durch Verminderung des Sauerstoffdrucks (wie solche beim Einfrieren des Ventils, bei Druckabfall infolge bereits weit fortgeschrittener Flaschenentleerung, bei unabsichtlicher Drosselung des Schlauchquerschnitts infolge Drauftretens usw. eintreten kann), zu starke Erhitzung der Brennermisch- und -schweißdüse u. dgl. Zu diesen Ursachen rein zufälliger Art kommt noch eine Reihe am Brenner selbst auftretender Mängel, z. B. Undichtigkeit, Gratbildung an der Düsenbohrung und ähnliches mehr (s. „Behandlung der Brenner“).

Die Gleichheit des Mischungsverhältnisses zwischen den beiden Gasen muß während der ganzen Dauer der Schweißarbeit peinlich überwacht werden, da ein zeitweiliger Überschuß an diesem oder jenem Gase anstatt einer Temperatursteigerung einen Wärmeverbrauch verursacht. Die hin und wieder anzutreffende Meinung, die Flamme durch einen Überschuß an Azetylen „weicher“ zu machen, ist unrichtig. Weich wird die Flamme nur bei geringst bemessener Ausflußgeschwindigkeit des Gasgemisches (unter 120 m/s); Gasüberschuß ist, von wenigen Ausnahmen abgesehen, meist schädlicher als ein geringer Überschuß an Sauerstoff. Versuche haben gezeigt, daß gesteigerte Austrittsgeschwindigkeit zwar eine Steigerung der Arbeitsleistung im Gefolge hat, doch sind aus bereits erwähnten Gründen „harte“ Flammen weniger zu empfehlen, da sie, von nicht geübter Hand geführt, zu leicht Fehlschweißungen ergeben können. Bei einer Austrittsgeschwindigkeit von 190 m/s wurde z. B. an einem 10-mm-Eisenblech eine um 80 vH verbesserte Schweißleistung festgestellt, bei etwa 25prozentiger Gesamtgasersparnis (gegenüber Brennern mit geringerem Druck, die entsprechend längere Schweißzeit beanspruchen).

Es sei noch ein mit Entmischung bezeichneter Vorgang erwähnt, der wegen seiner äußerst schädlichen Einwirkung auf das Schweißstück besonderes Interesse verdient. Nach Verlauf eines gewissen Betriebsabschnitts in der Brenner Tätigkeit tritt, weniger infolge Wärmeableitung von der Flamme her als infolge vom Schweißstück zurückgeworfener Wärmestrahlen, eine erhebliche Erwärmung des Mischkanals ein, so daß eine Änderung im Mischungsverhältnis der Gase stattfindet, der man den Namen „Entmischung“ gibt. Es handelt sich bei dieser Erscheinung in erster Linie um eine Abnahme der ursprünglichen, an der Schweißspitze ausströmenden Azetylenmenge, was z. T. von der mit wachsender Wärme abnehmenden Dichte des Gases und der geringeren Saugwirkung des Injektors herrührt. Die Dichte ändert sich bei Azetylen ungleich mehr als bei dem infolge seiner Entspannung kälteren Sauerstoff. Letzterer ändert seine Dichte innerhalb des erhitzten Brenners praktisch kaum merklich. Abgesehen

¹ Alle kohlenstoffhaltigen Gase, also auch das Azetylen; haben das Bestreben, ihren Kohlenstoff an heißen, metallischen Körpern in Form von Ruß abzuscheiden. Infolgedessen setzt sich ein Teil des Kohlenstoffs des Azetylens an den Wandungen der Brennerbohrungen ab, weshalb auch zeitweise eine gründliche Reinigung des Schweißensatzinneren angebracht ist. Das geschieht am besten durch Auswaschen mit Benzin oder starker Lauge.

von seiner ungünstigen Einwirkung auf das Schweißstück infolge oxydierend wirkender Flamme kann neben anderem auch dieser Vorgang die Ursache von Flammenrückschlägen sein, da ja andere Gasdichteverhältnisse auch andere Zündgeschwindigkeiten bedingen. Die Flamme brennt dann im Brennerinnern weiter, da ja der zur Verbrennung des Gases notwendige Sauerstoff zugegen ist. Zur Vermeidung von An- und Ausschmelzungen metallischer Teile ist es

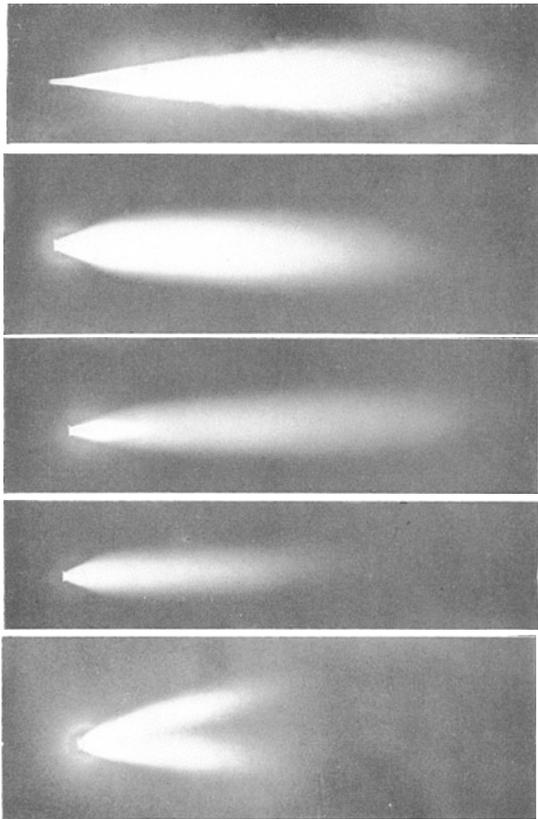


Abb. 96. Azetylenflammen.

dann von großer Wichtigkeit, den Brennerhahn, insbesondere jenen für Brenngas, sofort abzusperrn, um ein Weiterbrennen der Flamme im Innern des Brenners auszuschließen.

Zum Schlusse mögen einige, von einem der Verfasser aufgenommene Lichtbilder das Aussehen der Flamme noch näher kennzeichnen. Abb. 96 *a* zeigt die Flamme des ohne Sauerstoffzufuhr verbrennenden Flaschenazetylens; *b* die richtig eingestellte Normalflamme mit Sauerstoffzufuhr. Der stäbchenartige, scharfe Kern geht verloren und macht einem flackernden, helleuchtenden Mantel Platz, sobald ein Überschuß an Azetylen besteht (*c*). Der Kern wird verkürzt, schwach violett gefärbt, und die Gesamtgröße der Flamme stark verringert, wenn ein Überschuß an Sauerstoff besteht (*d*). Ein Überschuß an Sauerstoff darf nicht mit erhöhtem Sauerstoffdruck verwechselt werden. Sauerstoffüberschuß ist gleichbedeutend mit Azetylenmangel. Endlich veranschaulicht *e* die

Flammenbildung, wie sie Brennern mit verstopften oder beschädigten Düsenbohrungen eigentümlich ist.

Die Wasserstoff-Sauerstoff-Flamme (Knallgasflamme). Ihr fehlt der scharf umrissene Kern völlig, und obwohl der Verbrennungsvorgang bei dieser Flammenart bedeutend einfacher ist, ist dennoch die genaue Regelung der Flamme schwieriger. Die Verbrennung der Wasserstoffflamme geht vor sich nach der Gleichung:



Das Verbrennungsergebnis ist die chemische Verbindung zwischen den beiden Elementen, demnach Wasser bzw. Wasserdampf.

Theoretisch wird zunächst eine vollständige Verbrennung von zwei Raumteilen Wasserstoff mit einem Raumteil Sauerstoff erreicht, wobei eine Flammen-

temperatur von etwa 3500° entwickelt werden müßte. Leider liegen die praktischen Verhältnisse weit ungünstiger, weil das Verbrennungsprodukt, der Wasserdampf, bei so hohen Temperaturen in der Flamme nicht beständig ist, sondern in seine Bestandteile, d. h. wieder Wasserstoff und selbständigen Sauerstoff, zerfällt (der Vorgang des chemischen Zerfalls heißt „Dissoziation“). Dieser Zerfall geht auf Kosten der Verbrennungstemperatur vor sich und hat ferner eine Oxydationswirkung des freien Sauerstoffs auf das Schweißgut im Gefolge. Zur Abschwächung dieses Mißstandes, zugleich auch zur Minderung der hohen Zündgeschwindigkeit, gibt man der Flamme einen erheblichen Überschuß an ausgleichend wirkendem Wasserstoff. Das praktische Mischungsverhältnis

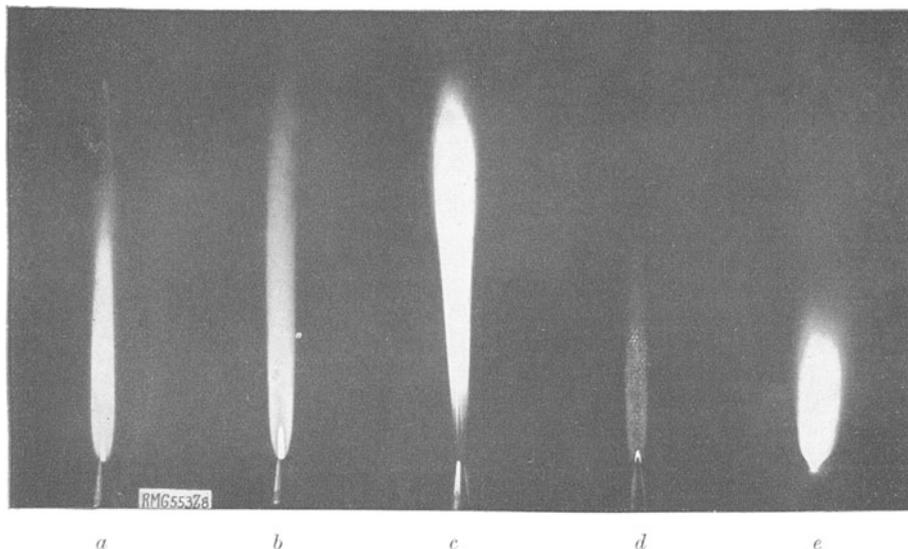


Abb. 97. Verschiedene Brenngas-Sauerstoffflammen.

beträgt vier Raumteile Wasserstoff zu einem Raumteil Sauerstoff, die erzielte Flammentemperatur etwa 2100° .

Die Schwierigkeit in der richtigen Einstellung der Wasserstoffflamme liegt in der mangelhaften Sichtbarkeit des Flammenkegels begründet, der sich kaum feststellbar, blau bis hellviolett gefärbt, von der übrigen Flammenmasse nur schwach abhebt (Abb. 97 *d*). Nur ein erfahrener, geübter Schweißer vermag die Wasserstoffflamme zuverlässig einzustellen.

Auch bei dieser Flamme besteht im Innern des Kegels freier Sauerstoff neben freiem Wasserstoff, so daß, ähnlich der Azetylenflamme, eine bestimmte, allein wirksame Stelle des Flammenkörpers zur Schweißung verwendet werden muß. Diese liegt einige Millimeter vor der Kegelspitze; ein auf der Schweißfläche in der Flammenmitte erscheinender dunkler Punkt ist das einzige Merkmal dafür, daß der Flammenkegel zu nahe an den Werkstoff gekommen ist. Die dunkle Stelle beruht auf der Kühlwirkung des im Kegel vorhandenen, unverbrannten Gasgemisches auf die sonst ringsum durch die übrige Flamme vorgewärmte Metallfläche.

Verschiedene Brenngas-Sauerstoff-Flammen. Andere Flammen, wie die Benzol- und Leuchtgas-Sauerstoffflamme, sind untergeordneter Natur. Erste erreicht eine Temperatur von etwa 2500° , letzte von etwa 2000° . Die nächst

der Azetylenflamme meist angewandte Benzolflamme ist der Azetylenflamme äußerlich ähnlich; die Leuchtgasflamme gleicht eher der Wasserstoffflamme, unterscheidet sich von dieser aber durch ihren schärferen, deutlicher sichtbaren Kegel. Abb. 97 zeigt der Reihe nach eine Äthan- (a), Äthylen- (b), Methan- (c), Wasserstoff- (d) und Azetylen- (e) Schweißflamme. Die Leuchtgasflamme ähnelt dem Flammenbild von c, die Benzolflamme jenem von b.

c) Behandlung und Handhabung der Brenner.

Behandlung der Brenner. Der Schweißbrenner ist stets sachgemäß zu behandeln. Der Brenner ist kein Hammer; er darf nicht zum Schlagen, Ausrichten und ähnlichen Handgriffen herangezogen werden; er darf nicht geworfen, und besonders die Düse darf keinerlei Beschädigung ausgesetzt werden. Auf Montagehahn oder während mehrtägiger Arbeitsunterbrechung im Betrieb ist es ratsam, die Brenner und ihre Einsätze mit den übrigen Schweißgeräten in eigens hierzu vorgesehenen Geräte-(Werkzeug-)kästen unterzubringen, um sie vor Beschädigungen aller Art zu schützen.

Hat man sich von der Dichtigkeit der Schlauchanschlüsse am Brenner überzeugt, die zur Ausführung der Schweißarbeiten jeweils notwendige Düsen- oder Brennergröße gewählt und die übrigen Geräte vorschriftsmäßig in Ordnung gebracht, dann prüft man zunächst, ob der Brenner bei geöffnetem Sauerstoffhahn ansaugt und nicht infolge irgendeiner Störung etwa Sauerstoff in die Gasleitung zurückdrückt. Das läßt sich feststellen, wenn man den Finger an den Azetylenanschlußnippel des Brenners hält und die Saugwirkung des Injektors prüft (natürlich bei geöffnetem Brenngashahn am Brenner). Das Anzünden der Flamme erfolgt bei Wasserstoff und Leuchtgas, indem man zuerst das Brenngas allein entzündet und darauf Sauerstoff zugibt. Umgekehrt verfährt man beim Abstellen des Brenners, wobei also zuerst der Sauerstoff und darauf das Brenngas abgestellt wird. Infolge seines hohen Kohlenstoffgehalts verbrennt Azetylen an der Luft mit stark rußender, qualmender Flamme, weshalb man beim Anzünden der Azetylenflamme (auch bei Flaschenazetylen) nie das Gas allein, sondern immer gleich mit der schätzungsweise (oder am Brenner angegebenen) notwendigen Sauerstoffmenge gemischt entzündet. Bei zu hoch eingestelltem Sauerstoffdruck fliegt die Flamme fort, d. h. sie verläßt die Brennermündung und verschwindet schließlich, erlöschend in Richtung des Gasstroms. Zu niedrig eingestellter Sauerstoffdruck führt zum Rückschlage der Flamme ins Brennerinnere. Der beim Anzünden entstehende, mit der Brennergröße zunehmende Knall, welcher auf der großen Zündgeschwindigkeit dieses Gasgemisches beruht und durchaus ungefährlich ist, flößt Anfängern häufig Angst ein. Dieser Knall ist vermeidbar, wenn man aus dem Brenner zuerst Sauerstoff allein ausströmen läßt, die Brennermündung über eine Zündflamme hält und dann erst den Azetylenhahn allmählich öffnet, worauf sich die Flamme mit zischendem Geräusch entzündet. Damit die Zündflamme durch den hohen Sauerstoffdruck nicht ausgelöscht wird, muß der Brenner beim Anzünden so gehalten werden, daß seine Düse mit der Flammenspitze nach oben einen spitzen Winkel bildet. Auf Funkenzündung (mittels Cereisenfeuerzeugs) findet diese Maßnahme keine Anwendung. Umgekehrt wie beim Anzünden hat das Abstellen des Brenners zu geschehen. Ist am Brenner ein Doppelhahn angebracht, so werden beide Gase ja gemeinsam abgesperrt; andernfalls schließt man zuerst den Azetylenhahn, darauf das Sauerstoffventil. Geschieht das An- und Abstellen des Brenners gegen diese Regeln, so ist fast immer Flammenrückschlag zu erwarten.

Da infolge des flackernden Mantels ein Gasüberschuß viel leichter erkennbar ist als ein Sauerstoffüberschuß, so erfolgt die Regelung des Brenners

ausnahmslos derart, daß man vom Gasüberschuß auf den normalen, scharfbegrenzten Flammenkern herunterdrosselt (am Gashahn), d. h. man gibt der Flamme zunächst zuviel Brenngas und regelt so lange am Gashahn, bis sich der vorschriftsmäßige Flammenkern bildet. Die Regelungen für die Feineinstellung der Flamme werden also stets am Brennerhahn, niemals am Druckminderventil oder an der Vorlage vorgenommen.

Tritt aus irgendeiner Ursache Flammenrückschlag ein, ganz gleich bei welcher Gasart und Brennerkonstruktion, so darf nie, wie man dies bei Neulingen öfter sieht, der Brenner aus unbegründeter Furcht fortgeworfen, vielmehr muß er abgesperrt werden, indem der Hahn für Brenngas, am besten auch der für Sauerstoff, geschlossen wird. Geschieht dies nicht, so brennt die zurückgeschlagene Flamme heftig zischend im Brennerinnern weiter (der Brenner „hustet“, wie der Schweißer sagt). Nach einer Arbeitspause von etwa 5 s wird sich in den meisten Fällen die normale Flamme wieder einstellen lassen. Geöffnet werden dürfen die Brennerhähne jedenfalls erst, nachdem das Zischen im Innern aufgehört hat und die Flamme erstickt ist. Die vielen Schweißern eigene Unsitte, die zurückschlagende Flamme durch Aufstoßen der Schweißspitzenbohrung auf Eisenplatten zu ersticken, ist unter allen Umständen zu vermeiden, insbesondere bei geöffneten Brennerhähnen; denn diese widersinnige Handlung leitet die Flamme, bzw. das Gasgemisch, gewaltsam zur Brenngasleitung zurück und hat fast immer eine Beschädigung der Spitzenbohrung und schlechte Flammenbildung zur Folge.

Die Reinigung verstopfter Düsenbohrungen muß ebenfalls, zur Verhinderung von Ausweitungen der Düsenbohrung, recht sorgfältig durchgeführt werden. Man bedient sich hierzu am besten eines Stückchens konischen, harten Rundholzes oder einer Messing- oder Kupfernadel (Draht), damit die Spitze nicht aufgerieben wird. Stark verstopfte Düsen sind mittels Spiralbohrer passender Dicke, die den Brennern satzweise mitgeliefert werden, zu reinigen. An der Austrittsöffnung der Düse sitzender Grat ist durch leichten, behutsamen Feilstrich mit einer feinen Schlichtfeile oder auch mit feinem Schmirgelleinen, zu entfernen. Schwach aufgeweitete Austrittsöffnungen können durch sanften Schlag mit einem Niethämmerchen auf die Fläche des abgestumpften Düsenkegels gestaucht werden; darauf folgt leichtes Aufreiben und Runden mit der Reibahle. Durch häufiges Reinigen stark aufgeweitete Spitzen sind durch neue zu ersetzen. Von Zeit zu Zeit ist das ganze Brennerinnere gründlich zu reinigen, indem man Dampf von 1÷2 at statt der Gase durch den Brenner leitet, wodurch aller Schmutz, Rost, Kohlenstoff (Ruß) usw. abgelöst und ausgeblasen wird. Zur Säuberung können außerdem Seifenwasser, Lauge und ähnliches dienen.

Handelt es sich um die Schweißung größerer Werkstücke oder um Schweißarbeiten in Hohlkörpern, in Ecken, oder sonst beengten Stellen, wo umfangreiche Wärmestrahlung des Schweißguts schnelle und starke Erhitzung der Spitze zur Folge hat, dann ist zeitweiliges Kühlen der Brennerspitze unerlässlich; sie wird sonst zu heiß, und es tritt infolge der vergrößerten Zündgeschwindigkeit der erhitzten Gase Flammenrückschlag ein. Wie oft die Kühlung zu erfolgen hat, dafür läßt sich eine bindende Regel nicht aufstellen; das beste Kennzeichen ist die außergewöhnliche, schlechte Flammenkernbildung. Die Kühlung des Brenners aus Gründen zu starker Erwärmung oder daraus folgenden Knallens (Flammenrückschlag) ist am wirksamsten, wenn man ihn in ein immer bereitstehendes, mit kaltem Wasser gefülltes Gefäß einige Sekunden eintaucht; hierbei ist die Brenngaszufuhr (am Brennerhahn) auszuschalten, da sonst die Flamme im Brenner bei Rückschlag trotzdem weiterbrennen kann. Außerdem kann das unter Wasser angesammelte Gas, durch Funkenflug oder sonst welche

Ursache zur Zündung gebracht, heftige Explosionen und eine Zerspaltung des Kühlwassergefäßes herbeiführen. Nichtbeachtung dieser Vorsichtsmaßregel hat vielerorts Unglücksfälle heraufbeschworen. Jedoch ist es empfehlenswert, Sauerstoff ausströmen zu lassen, damit kein Wasser ins Brennerinnere gelangt.

Um das Abschmelzen der Brennerspitze zu verhüten, ist auf richtige Haltung des Brenners zu achten (s. später). Metallteilchen, winzig kleine Körnchen, welche vom Schweißgut abspritzen und sich mit der Zeit schichtenförmig an der Spitze ablagern, entfernt man zweckmäßig mittels feiner Schmirgelleinwand. Durch die Hitze tritt eine Dehnung des Kupfers ein, so daß sich die Kupferspitze mit der Zeit mehr oder weniger im Gewinde lockert, und an dieser Stelle die Flamme unter lebhaftem Knistern herausschlägt. Dieser Mangel wird durch zeitweiliges vorsichtiges Anziehen des Gewindes mittels passender Schraubenschlüssel abgestellt, sofern die Düsen nicht hart aufgelötet sind, wie dies heute meist der Fall ist.

Bei dieser Gelegenheit sei auf stets vorsichtigen Umgang mit der Schweißflamme hingewiesen. Unbesonnenes, auch protzenhaft theatrales Hantieren und Herumfucheln mit der Flamme hat nicht selten dem Schweißer selbst, wie seinen Mitarbeitern bedeutende Brandwunden eingetragen. Wird ein größeres Schweißgut mit zwei oder mehr Brennern zu gleicher Zeit bearbeitet, so ist erhöhte Vorsicht im Umgange mit der Flamme geboten. Die im Leben so oft wiederkehrende Tatsache, daß Menschen, einmal an bekannte Gefahren gewöhnt, leichtsinnigerweise mit ihnen spielen, wiederholt sich leider auch hier. Es erscheint angebracht, den Anfänger vor Nachahmung so ungehöriger Eigenarten zu warnen. Gutes Schweißen ist nur von den Kenntnissen, dem Geschick und der überlegenen Ruhe eines gewissenhaften, tüchtigen Schweißers abhängig, nie vom vorlauten Mundwerk.

Während kurzer Arbeitsunterbrechung abgelegte, noch angezündete Brenner müssen so gelegt werden, daß sie sich weder überschlagen, noch ihre Lage selbsttätig verändern können. Zu diesem Zweck ist die Benutzung von Brennergestellen oder auch sog. Gassparapparaten (s. nächsten Unterabschnitt) empfehlenswert.

Undichte Brennerhähne, die durch leichtes Anziehen der Hahnkegel nicht dicht zu bringen sind, müssen neu eingeschliffen werden, wozu am besten ein breiiges Gemisch von Öl und Glaspulver verwendet wird. Vorsicht beim Schleifen! Nicht zu stark aufdrücken, damit keine Kratzer und Rillen an den Dichtungsflächen entstehen. Nachher ist das Schleifmittel restlos zu entfernen und der Hahnkegel mit Hahnfett (Gemisch von Wachs und Talg) gut einzuschmieren. Das Fett schützt die metallischen Gleitflächen gegen rasche Abnutzung und bewirkt Dichtheit der Hähne.

Bezüglich der Behandlung von Sonderbrennern und solchen für flüssige Brennstoffe halte man sich an die jeweils besonderen Bedienungsvorschriften.

Zusammenfassung der Behandlung der Schweißbrenner.

1. Der Brenner ist vorsichtig zu behandeln; er darf weder gestoßen noch geworfen, noch als Hammer benutzt werden.
2. Auf Montage und während längerer Arbeitsunterbrechung ist der Brenner in zweckmäßigen Werkzeugkästen aufzubewahren.
3. Vor Entzündung der Flamme sind die Schlauchanschlüsse am Brenner auf Dichtigkeit zu prüfen.
4. Prüfen, ob Sauerstoff am Brenngasnippel saugt.
5. Die Zündung kann an offener Flamme, an glühenden Körpern oder mittels Gasanzünder erfolgen.

6. Bei Brennern für Wasserstoff und Leuchtgas wird stets zuerst das Brenngas allein entzündet, darauf wird Sauerstoff zugegeben.

7. Beim Absperrn dieser Brenner wird umgekehrt zunächst der Sauerstoff und dann das Brenngas abgestellt (bei Doppelhähnen natürlich beide Gase gleichzeitig).

8. Die Azetylenflamme wird gleich mit Sauerstoffzufuhr entzündet.

9. Ist kein Doppelhahn vorhanden, so ist beim Azetylenbrenner zuerst der Azetylenhahn und darauf der Hahn für Sauerstoff zu schließen.

10. Tritt Flammenrückschlag ins Brennerinnere ein, ist die Brenngaszufuhr sofort abzusperren, bis die Flamme erloschen ist.

11. Die Brenner sind während des Betriebes durch zeitweises Eintauchen in bereitstehende Wassergefäße zu kühlen, wobei jedesmal der Hahn für Brenngas abzusperren ist.

12. Angezündete Brenner müssen vorsichtig aus der Hand gelegt werden, und zwar so, daß sie nicht selbständig ihre Lage verändern können. Es ist unter allen Umständen unstatthaft, daß angezündete Brenner an den Gasflaschen aufgehängt werden, da hierbei leicht Anschmelzungen der letzten und heftige Explosionen eintreten können.

13. Mit der Schweißflamme muß vorsichtig hantiert werden; Herumfucheln ist streng zu unterlassen.

14. Undichtigkeiten am Brenner sind sofort zu beseitigen. Undichte Hähne sind nachzuschleifen, mit Hahnfett zu versehen, erforderlichenfalls gegen neue auszutauschen.

15. Verstopfte Düsenbohrungen werden mittels Rundholzstäbchen oder Messingnadeln, am besten mit entsprechenden Düsenbohrern gereinigt.

16. Durch öfteres Reinigen aufgeriebene Düsenbohrungen können durch vorsichtiges Stauchen und nachheriges, sorgfältiges Aufreiben ausgebessert werden. Stark ausgeweitete Brennerspitzen sind durch neue zu ersetzen.

17. Anhaftende Metallteilchen werden durch leichtes Feilen (Schlichtfeile) oder mittels Schmirgelleinen von der Brennerspitze entfernt.

5. Zentrale Konstant- und Gleichdruck-Schweißanlagen.

Allgemeines. Bisher war stillschweigend angenommen worden, daß ein oder mehrere Brenner an die Sicherheitsvorlagen eines Kleinentwicklers oder an die einer ortsfesten Großanlage mit Ringleitung angeschlossen sind. Der Sauerstoff kann dabei den an jedem Arbeitsplatz aufgestellten Einzelflaschen oder auch den an die Ringleitung einer Flaschenbatterie angeschlossenen Druckminderventilen entnommen werden.

In größeren Schweißereibetrieben ist man vielfach zu anderen Einrichtungen, sog. Zentralanlagen, mit einem besonders hierauf zugeschnittenen Ringnetz übergegangen, wobei meist ein konstanter oder auch gleicher Druck für Azetylen und Sauerstoff angewendet wird. Das Azetylen wird ausschließlich Großentwicklern (meist mit Nieder- oder Mitteldruck) entnommen, der Sauerstoff stets dem Rohrnetz einer Flaschenbatterie.

Konstantdruckanlagen. Eine Anlage dieser Art ist in Abb. 98 dargestellt. Das Azetylengas wird entweder einem Niederdruckentwickler entnommen und in einem Kompressor auf etwa $\frac{1}{10}$ atü verdichtet, oder aus einer Mittel- oder Hochdruckanlage über einen Druckregler dem Werkstättennetz zugeleitet. An den Arbeitsplätzen sind für jeden Brenner Hochdruckvorlagen mit Absperrventilen — aber ohne Druckregelventile — angeordnet. Der von einer Flaschenbatterie gelieferte Sauerstoff strömt über ein Zentraldruckminder- und Regelventil,

durch das er auf etwa 3 atü konstanten Druck eingestellt und den Arbeitsplätzen durch ein Rohrnetz zugeleitet wird. Die Brennerschläuche stehen einerseits (a) mit den Sicherheitsvorlagen, andererseits mit der Sauerstoffleitung bei c in Verbindung. Da letztere einen konstanten Druck von 3 atü hat und alle Schweiß-einsätze auf diesen Druck abgestimmt sind, fallen die Druckminderventile am

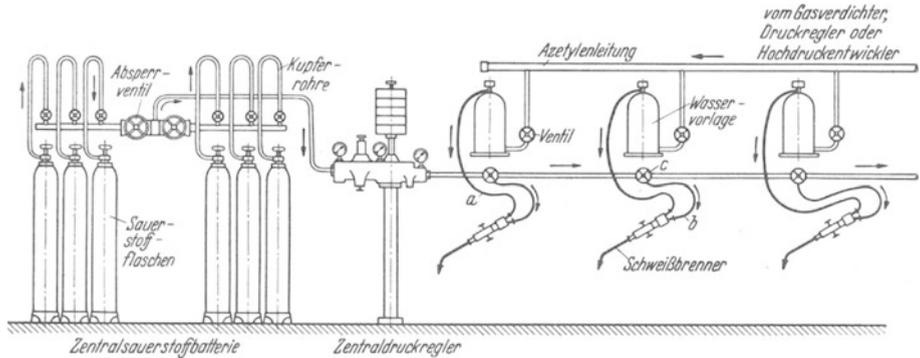


Abb. 98. Konstantdruck-Schweißanlage.

Arbeitsplatz fort und werden durch gewöhnliche Absperrventile c ersetzt. Nach dem Gesagten arbeiten diese Anlagen mit konstantem Sauerstoff- und Azetylen-druck, aber mit einem unter sich ungleich hohen Druck und mit einem ungleichen Gasmengenverhältnis (etwa 1 Sauerstoff zu 1,1 Azetylen).

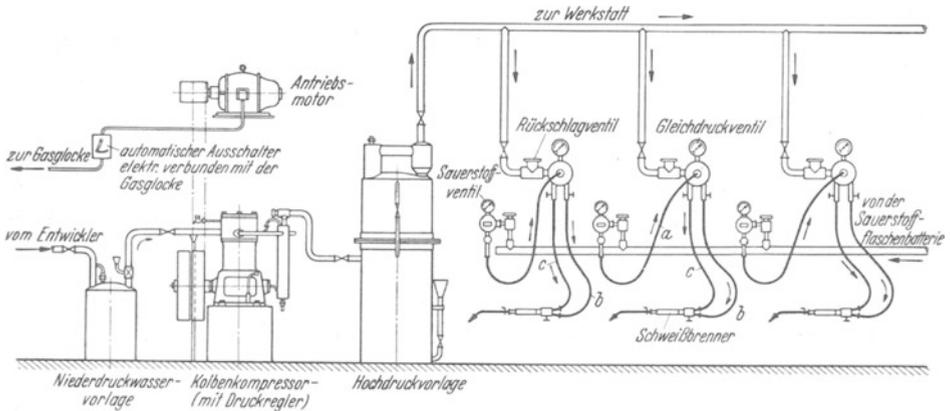


Abb. 99. Gleichdruckanlage mit Einzelplatzregelung.

Gleichdruckanlagen. Sie arbeiten mit konstanten und gleichen Gasdrücken und mit gleichen Gasmengen (1÷1). Der Unterschied zwischen den beiden in Abb. 99 und 100 dargestellten Gleichdruckanlagen besteht darin, daß die erste Einzelplatzregelung, die andere Zentraldruckregelung für beide Gase besitzt. Bleiben wir zunächst bei Abb. 99. Das Azetylen strömt, vom Großentwickler kommend, über eine Niederdruckvorlage, von hier durch einen Umlaufkompressor, in welchem es auf etwa $\frac{4}{10}$ atü verdichtet wird, und dann über eine Hochdruckvorlage zum Werkstattnetz. An dessen Zapfstellen befindet sich je ein Rückschlagventil und ein Doppeldruckminderventil für Gleichdruck, das durch einen Schlauch a mit dem Druckminderventil der Sauerstoffleitung

verbunden ist. Die Arbeitsweise dieses Gleichdruckventils ist uns durch Abb. 92 klar geworden. Seine beiden Anschlüsse sind mit dem Brenner durch Schläuche *b* und *c* gekuppelt. Mengenmäßig gleich werden beide Gase am Hahn des Brenners eingestellt (Abb. 93).

Man ist dann, wie Abb. 100 zeigt, noch weiter gegangen, indem man die Einzelventile nicht mehr am Arbeitsplatze bediente, sondern einen Zentral-Gleichdruckregler in die beiden Gasleitungen einschaltete. Sowohl das vom Rotationskompressor kommende Azetylen wie der aus der Flaschenbatterie zuströmende Sauerstoff werden gemeinsam im Drucke geregelt über Druckwasservorlagen geleitet und den Betriebsrohrnetzen zugeführt. Am Arbeitsplatz ist lediglich ein gemeinsames Absperrventil für beide Gase zu bedienen.

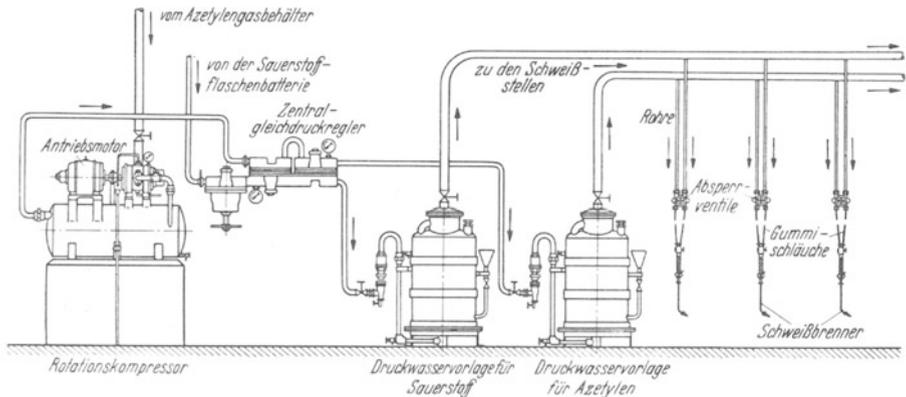


Abb. 100. Gleichdruckanlage mit Zentraldruckregelung.

6. Schweißmaschinen.

Allgemeines. Das seit einer langen Reihe von Jahren verfolgte Ziel, die Handarbeit durch Maschinenarbeit zu ersetzen, ist nur im beschränkten Umfange erreicht worden. So lange es sich um das Schweißen dünner Bleche handelt, die ohne Zusatzdraht stumpf durch Zusammenschmelzen verbunden werden können, ergeben sich keine erheblichen Schwierigkeiten. Verarbeitet man jedoch dickere Bleche, deren Schweißung das automatische Bewegen und das Einschmelzen von Zusatzdraht bedingen, dann liegen die Verhältnisse um vieles ungünstiger. Deshalb sind die meisten Autogenschweißmaschinen vor allem auf die Bearbeitung von Feinblechen eingerichtet. Blechzylinder, Fässer, Kannen, Eiszellen, Blechrohre u. a. können auf solchen Maschinen längs- und rundnahtgeschweißt werden, wobei es gleichgültig ist, ob das Werkstück oder der Brenner bewegt und das eine oder andere eingespannt wird. Der Antrieb der Maschinen erfolgt in der Regel elektromotorisch. Die wassergekühlten Brenner, meist Mehrflammenbrenner, entsprechen den Abb. 84 und 90.

Längs- und Rundnahtschweißmaschinen. Eine Schweißmaschine für Längsnähte an Feinblechzylindern veranschaulicht Abb. 101. Am unteren Auslegerarm wird das Werkstück mittels besonderer Einspannvorrichtungen festgehalten. Der obere Ausleger trägt einen Einflammenbrenner, der auf einem Support befestigt ist und im Schlitten motorisch bewegt wird. Drahtzusatz erfolgt hierbei nicht. Die Schweißgeschwindigkeit ist über ein Getriebe regelbar. Bei dickeren Blechen, die einen Drahtzusatz notwendig machen, erfolgt dieser in ähnlichen Maschinenarten automatisch. Das Zusammendrücken der Blechränder besorgt

ein am Support angebrachter verstellbarer Amboß, der bei Rohrschweißmaschinen durch Druckrollen ersetzt wird.

Beim Schweißen von Rundnähten wird stets das Werkstück bewegt, und der Brenner ist eingespannt. Am Arbeitsvorgang wird dadurch nichts geändert.

Rohrschweißmaschinen. Die maschinelle Fertigung sog. Autogenrohre, die in großen Mengen in der Fahrrad- und Installationsindustrie benutzt werden, ist

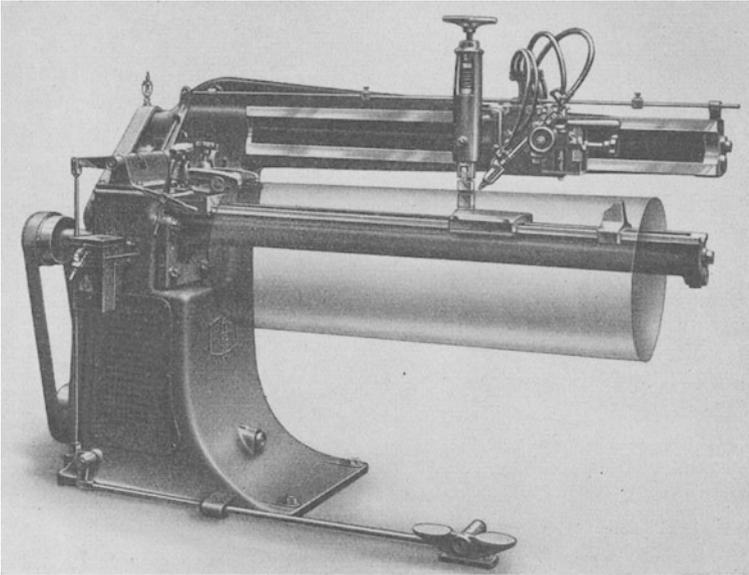


Abb. 101. Längsnahtschweißmaschine.

das zur Zeit wichtigste Anwendungsgebiet der Autogen-Schweißmaschine. Dabei handelt es sich um die Längsnahtschweißung von aus langen Blechstreifen eingerollten Schlitzrohren, ein Verfahren, das seit längerem in wirtschaftlicher Weise angewendet wird. Die von einer Haspel ablaufenden Blechbänder werden in

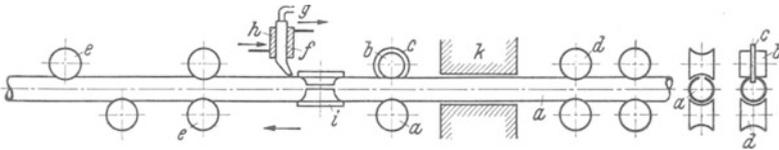


Abb. 102. Grundform einer Rohrschweißmaschine.

besonderen Maschinen zu Schlitzrohren eingerollt und diese geschweißt, was vielfach auf mehrstraßigen Schweißmaschinen geschieht. Die schweißtechnische Einrichtung solcher Maschinen zeigen Abb. 102 und 103. Der Rohrstrang *a* wird in Richtung des Pfeiles, also von rechts nach links durch eine gewisse Zahl von Förderrollen *d* und *e* bewegt, die gleichzeitig der Rohrführung dienen. Am Maschinenzugange sind diese Rollen außerdem Vorrichter (*d*), am Ausgange Nachrichter (*e*). Die dazwischen liegenden Rollen sind vor allem Druck- (*i*) und Nahtführrollen (*b* und *c*). *k* ist eine Muffel, in welcher Rohre dickerer Wandung vorgewärmt werden. Bei neueren Maschinen mit Mehrflammenbrennern (Abb. 90) entfällt diese Muffel meist. Während des Vorschubes der zunächst endlosen Rohre

durch die Schweißmaschine bleibt der Schlitz stets nach oben liegend, wie dies aus den beiden im Bilde rechts skizzierten Seitenansichten erkennbar ist. Um eine Verwindung des Schlitzes besonders kurz vor der Schweißflamme zu verhüten, ist eine Rolle *b* mit Führungs- und Trennmesser *c* angeordnet, an dem die Blechränder entlang geführt und gerichtet werden. Dahinter befinden sich die waagrecht gelagerten Druckrollen *i*, die für ein Zusammendrücken der durch *c* getrennten Blechränder zu sorgen haben. Erst jetzt setzt die Schweißung vor dem eingespannten Brenner *f* ein, dessen Kühlwassermantel *h* und Gasanschlüsse *g* nur andeutungsweise gezeichnet sind. Zur Beseitigung der beim Schweißen etwa auftretenden Rohrverwindung sind mehrere Nachrichtrollen *e* vorhanden, hinter denen geeignete Messer die fertigen Rohre auf gewünschte Länge schneiden. Die Schweiß- und Transporteinrichtungen einer einstraßigen Rohrschweißmaschine veranschaulicht Abb. 103. Darin bedeuten: *a* Sauerstoffschlauch, *b* Azetylschlauch, *c* und *d* Kühlwasserzu- und -abfluß, *e* Schweißbrenner, *f* Druckrollen, *g* Trennmesserrolle, *h* Schlitzrohr, *i* Transportrolle.

Häufig werden statt der endlosen Band-eisen auch solche von bestimmter Länge ($3 \div 6$ m) zu Rohren eingerollt, gezogen oder gewalzt und diese hintereinander ohne Abstand in die Schweißmaschine geschickt, so daß sich das Abschneiden auf Maß nach dem Schweißen erübrigt.

In besonderen Fällen werden die fertig geschweißten Rohre zwecks Kalibrierung über Richtdorne gezogen.

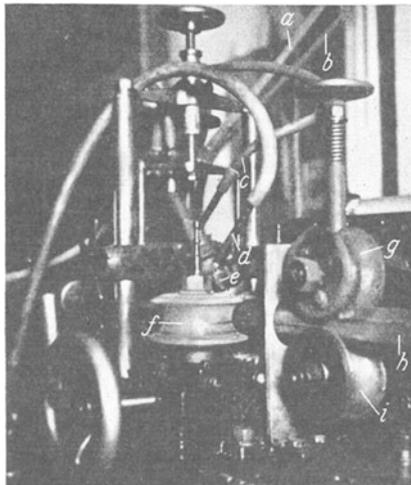


Abb. 103. Teilansicht einer Rohrschweißmaschine.

C. Das Schweißzubehör.

1. Schläuche.

Die Verbindung zwischen Schweiß-, Löt- oder Schneidbrenner einerseits und den Gasquellen Sauerstoff (Druckminderventil) und Brenngas (Druckminderventil oder Wasservorlage) andererseits wird ausschließlich durch Gummischläuche hergestellt. Mit Rücksicht auf wohl immer erforderliche Bewegungsfreiheit sollte weniger als 5 m Schlauchlänge nicht in Frage kommen; abgesehen davon ist auch eine Entfernung der Flamme vom Azetylenerzeuger von mindestens 3 m vorgeschrieben. Natürlich richtet sich die Schlauchlänge auch nach den örtlichen Verhältnissen der Schweißanlage. Der Schlauch muß aus bestem Gummi hergestellt und mit ein oder zwei Hanfeinlagen gegebenenfalls auch mit leinenen Umlagen (Umwicklung) versehen sein. Gewöhnlicher Gasschlauch kann nicht verwendet werden. Wanddicke und Bohrung des Schlauchs sind vom durchgeleiteten Gasdruck und von der Größe des Brenneranschlusses abhängig; für Brenngas ist allgemein eine Wanddicke von 3 mm, für Sauerstoff eine solche von 4 mm ausreichend. Die den Ventil- und Brenneranschlüssen angepaßten, lichten Schlauchdurchmesser betragen für Sauerstoff meist $7 \div 9$ mm, für Brenngas $8 \div 10$ mm. Die Werkstoffnormen sehen als Mindestwanddicke 2,5 mm, als lichte Schlauchweite für Sauerstoff 6 mm, für Brenngas 9 und 11 mm (letzten Wert bei hohem Verbrauch) vor. Um Verwechslungen vorzubeugen, ist es gut,

Schläuche mit bestimmten Farben (Brenngas rot, Sauerstoff schwarz oder grau) zu wählen. Neue Schläuche müssen vor Verwendung gut ausgeblasen und von Talkumstaub, der von der Herstellung herrührt, gesäubert werden, damit sich die Brennerbohrungen nicht verstopfen.

Von der Behandlung der Gummischläuche hängt zum großen Teil die Betriebssicherheit und Wirtschaftlichkeit einer Schweißanlage ab. Dauernder Dichtheit der Schläuche, besonders der Anschlüsse, ist besondere Aufmerksamkeit zuzuwenden, wenn Gasverluste und Gefahren verhütet werden sollen. Die Schläuche sind an den jeweiligen Anschlußstücken ausnahmslos durch geeignete Schlauchklemmen zu befestigen. Häufiges Umwickeln mit Draht und wieder Lösen des Drahts führt rasch zur Zerstörung der Schlauchenden, die nach und nach abgeschnitten werden müssen, bis schließlich der ganze Schlauch vernichtet ist. Beim Schweißen, noch mehr beim Schneiden, ist für richtige Lage der Schläuche zu sorgen, am besten erhöht vom Fußboden, damit man nicht darauf herumtritt, und sie nicht von abfliegenden und abtropfenden, glühenden

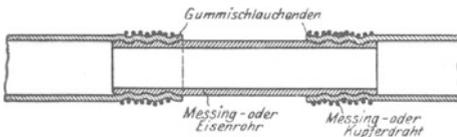


Abb. 104. Verbindung zweier Schlauchenden.

oder geschmolzenen Eisenteilchen verbrannt werden. Tritt eine Undichtheit im Schlauche auf (Riß, Loch, durchlässige Stelle), die durch einfaches Umwickeln mit Isolierband nicht zu beheben ist, so schneidet man die Schlauchlänge an dieser Querschnittsstelle durch und verfährt nach Abb. 104, indem man die beiden Schlauchenden auf ein in ihre Bohrung passendes Metallröhrchen aufschiebt und durch 1,0÷1,5 mm dicken Messing- oder Kupferdraht in genügend langer Umwicklung befestigt. Hier wird Draht verwendet, weil die Verbindung ständig bestehen bleibt.

Wengleich diese Schläuche Arbeitsdrücke von 10 at, wie sie auch für normale Schneidarbeiten immer ausreichend sind, ohne weiteres aushalten, erfordert das Schneiden sehr dicker Werkstücke höhere Sauerstoffdrücke und entsprechend widerstandsfähigeren Sauerstoffschlauch. Man verwendet dann sog. Hochdruck- oder Panzerschlauch, dessen innerer, vielfach mit Hanfeinlagen versehener Kern aus Gummi, entweder mit einem engmaschigen Stahldrahtgewebe oder mit biegsamem Stahlschlauchmantel umgeben ist. Wo nicht unbedingt erforderlich, sollte man von Verwendung solcher empfindlicher und schwer auszubessernder Schläuche besser Abstand nehmen. Mitunter genügt schon ein mit Stahldraht umwickelter Gummischlauch mit guter Hanfeinlage.

Das Einknicken des Schlauchs (an den Übergangsstellen zu den Schlauchanschlußnippeln am Brenner und an der Vorlage) kann durch Überziehen dieser Schlauchenden mit einer versteifenden Stahldrahtspirale verhindert werden.

2. Brillen.

Zur Ausrüstung des Schweißers gehört eine mit dunklen Gläsern versehene Schutzbrille (DIN 4652). Man trifft zuweilen Gehäuse-, zuweilen Muschel- und auch klappbare Brillen mit blauen, grünen und grauen Gläsern an, wovon die letztgenannten für das Schmelzschweißen am geeignetsten sind. Wahl der Form, Ausführung und Beschaffenheit der Brillen kann dem Geschmack und der Gewohnheit des Arbeiters überlassen bleiben. Die Brille soll nur nicht aus brennbaren Stoffen (z. B. nicht aus Horn oder Zelluloid) bestehen; metallische Teile der Brille sollen die Haut nicht unmittelbar berühren. Seitenschutz an der Brille ist vorteilhaft, wird der Wärme wegen aber vielfach als lästig empfunden und muß so angeordnet sein, daß die Gläser nicht beschlagen.

Auch beim Schneiden ist das Tragen einer, weniger gegen die große Lichtfülle als gegen sprühende, glühende Eisen- und Oxydteilchen schützenden Brille sehr zu empfehlen. Es genügt hier unter Umständen schon eine engmaschige Drahtgeflechtbrille mit Ledereinfassung (ohne Glas). Einige Brillenarten sind in Abb. 105 zusammengestellt.

3. Verschiedenes Zubehör.

Zur Reinigung der Düsenbohrungen in Schweißbrennern bedient man sich kleiner Reinigungsnadeln aus Messing- oder Kupferdraht, die etwas kleiner im Durchmesser sind als die Spitzenbohrung, oder entsprechender Spiralbohrer, welche zweckmäßig in geeigneten Haltern mit Spannfütern festgeklemmt werden. Mit einem Satz von 6÷8 Nadeln verschiedener Größe wird man wohl immer zurecht kommen.

Wenn für die Schweißung in der Massenfertigung besondere Vorrichtungen nicht getroffen sind, wird für diese, wie für alle Schweißarbeiten ein aus Winkeleisen oder Rohr hergestellter, in seiner Arbeitsfläche oft mit Schamottesteinen ausgelegter Schweißtisch die beste Unterlage für Schweißstücke sein. Jedoch ist darauf zu achten, daß die erhitzten Werkstücke (Blecfugen) nicht unmittelbar mit den Schamottesteinen in Berührung kommen, da sonst eine Umsetzung kohlenstoffhaltiger Eisenlegierungen mit kieselsäurehaltigen Stoffen des Schamottes nach der Gleichung: $\text{SiO}_2 + 2\text{C} = \text{Si} + 2\text{CO}$ stattfindet, wodurch die Legierung an C ärmer wird und entsprechende Siliziummengen in Lösung gehen, die Brüchigkeit und Porenbildung in der Schweißung zur Folge haben. Das Auslegen der Platte mit Ziegelsteinen, wie man dies häufig sieht, ist nicht ratsam, da die Steine in der hohen Hitze platzen und die abspringenden Steinstückchen geschoßartig fortgeschleudert werden.

Auf die Vielgestaltigkeit der für die Massenfertigung üblichen Aufspannvorrichtungen, Drehtische u. a. kann hier nicht eingegangen werden.

Zur Befestigung der Schläuche an den Schlauchanschlußstücken (Tüllen) bedient man sich meist normaler messingner Schlauchklemmen mit Flügelschrauben. Etwas anderes zeigt die in Abb. 106 im Schnitt dargestellte sehr zweckmäßige Schlauchverbindung. *a* ist die Anschlußüberwurfmutter, die über einem Nippel *b* sitzt; auf dem doppelkonischen Ende des letzteren sitzt der Schlauch *g* (mit Hanfeinlage *i*). Die Bohrung von *b* entspricht jener von *g* (*h*). Das Schlauchende wird durch einen kegelförmigen Messingüberwurf *d* festgehalten, der durch eine Mutter *c* fest angezogen und in seiner Lage fixiert wird.

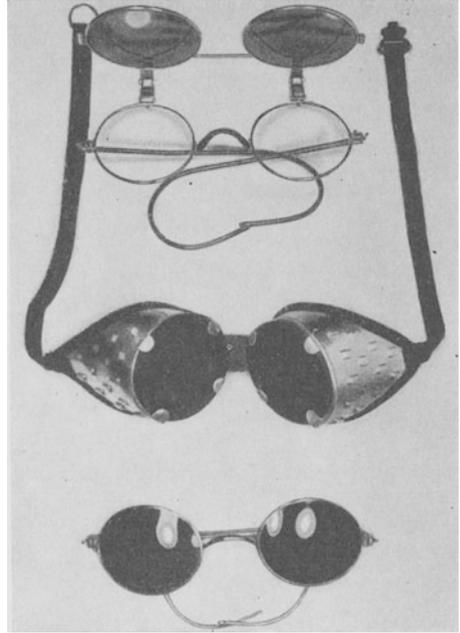


Abb. 105. Schweißbrillen.

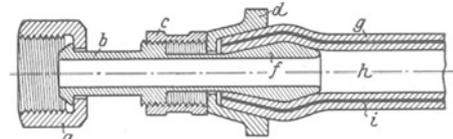


Abb. 106. Schlauchanschlußvorrichtung.

Verschiedentlich hat sich ein als Gassparapparat bezeichnetes Gerät eingeführt, das dazu dient, bei jeder Arbeitsunterbrechung den Schweißbrenner durch Drosselung der Gaszufuhr selbsttätig auszuschalten. Der Brenner wird auf einen Bügel gelegt oder gehängt, der seinerseits zwei mit der Gas- und Sauerstoffzuführung in Verbindung stehende Ventile absperrt. Beim Abheben des Brenners öffnen sich die Ventile wiederum selbsttätig, und der Brenner kann an einer stetig brennenden Zündflamme des Apparates entzündet werden. Da dieser Apparat nur dann seinem Namen Sparapparat Ehre macht, wenn seine vier Schlauchanschlüsse und die Ventile peinlich dicht halten, ist hierauf besonderes Gewicht zu legen. Bei hohen Gaspreisen dürfte sich eine solche Einrichtung dort, wo sie gut anwendbar ist, sehr bald bezahlt machen.

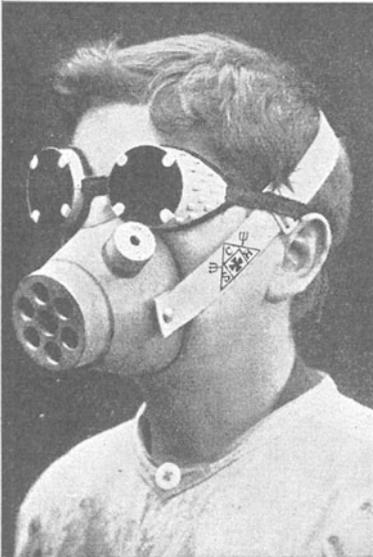


Abb. 107. Atmungsmaske (Lungenschützer).

Zur Sonderausrüstung des Schmelzschweißers gehört unter anderem der Mund und Nase bedeckende Respirator (Atmungsmaske), ein für Zink-, Blei-, Bronze- und Messingschweißer sehr dienliches Gerät, wie ein solches in Abb. 107 gebracht wird. Die beim Schweißen dieser Metalle sich bildenden, z. T. giftigen Dämpfe werden dadurch unschädlich gemacht. Andernfalls müssen am Schweißbisch geeignete Absaugvorrichtungen angebracht werden.

Zum Schutz gegen übergroße Hitzewirkungen (im Feuer liegender oder darin vorgewärmter schwerer Werkstücke) auf die Haut des Arbeiters ist die Benutzung zeitweise in Wasser abzukühlender Asbesthandschuhe erforderlich. Wenn notwendig, kann die Schutzbekleidung noch durch Asbestmasken (mit Glimmerfenstern in Augenhöhe), Asbestschürzen oder durch ganze Asbestanzüge vervoll-

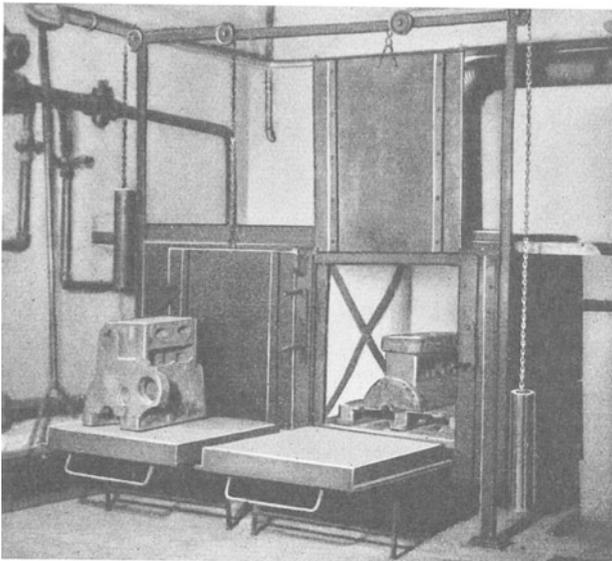


Abb. 108. Gasmuffelofen.

ständig werden. Lederschürzen haben sich als besonders geeignet erwiesen.

Endlich mag noch der Muffelofen als Teil der Schweißereiausrüstung genannt sein. In ihm sollen vor allem mit Spannungen behaftete Gußkörper

vor dem Schweißen vorgewärmt und nach dem Schweißen gleichmäßig abgekühlt werden.

Der in Abb. 108 veranschaulichte Muffelofen ist zweiteilig und für Gasheizung bestimmt. Er dient der Vorwärmung von Autozylindern, Motor- und Pumpengehäusen usw. Beim Einsetzen größerer Werkstücke wird die mittlere Trennwand herausgenommen. Der Ofen besteht aus einem Eisenblechgerüst, dessen Inneres mit Schamotte ausgemauert und gut verankert ist. Die Gußstücke werden auf einen eisernen Tisch gelegt, der von unten durch mehrere Gas-Luftgebläseflammen geheizt wird. Ist die notwendige Rotwärme des Gußstücks erreicht, was durch eine Luke festgestellt werden kann, dann wird die vordere Tür nach unten geklappt, das Werkstück mittels einer Gabelstange samt dem eisernen Schlitten herausgezogen und auf diesem geschweißt. Inzwischen wird die Schiebetür zugezogen, um Wärmeverluste zu verhüten. Nach beendeter Schweißung wird die Schiebetür hochgezogen, das Ganze wieder in den Ofen eingebracht und die Haupttür geschlossen.

4. Zulegwerkstoff (Schweißdraht).

Allgemeines. Zur Ausfüllung und Verdickung der Schweißfugen, sowie zum Ausgleich der beim Zusammenschmelzen der Werkstoffkanten auftretenden Metallverluste und außerdem bei der Auftragsschweißung, benötigt man Zulegwerkstoff, der in Form von Stäben oder Stangen als Schweißdraht in das Schmelzbad eingeschmolzen wird.

Jeder Schweißdraht steht für das gewünschte Ergebnis mit einer Reihe anderer Faktoren in inniger Wechselwirkung; es sind dies: Zusammensetzung und Güte des Grundwerkstoffs (des Schweißstücks), Art und Beschaffenheit der Schweißgase, Flammeneinstellung, Brenner- und Drahtführung, Nachbehandlung der Schweiße u. a. Ihr richtiges Zusammenwirken vorausgesetzt, hängt die Güte der Schweiße, die durch mancherlei Prüfverfahren festgestellt werden kann, in ihren verschiedenen physikalischen und chemischen Eigenschaften von der geeigneten Legierung des Schweißdrahtes¹ und von seinem Verhalten beim Schweißen (Verschweißbarkeit) ab. So sind Porenfreiheit, Farbgleichheit (Messing und Bronze), Korrosionsbeständigkeit, Bearbeitbarkeit (Eisenguß), Rauchlosigkeit (Messing) und viele andere Bedingungen, sowohl bei Stahl- als bei allen anderen Metallschweißdrähten zu erfüllen. Deshalb ist der Auswahl des Zulegwerkstoffs viel höherer Wert beizumessen, als dies zu Beginn der Schweißtechnik üblich war und leider auch heute noch oft der Fall ist. An Stelle der gezogenen Schweißdrähte können in einigen besonderen Fällen, auf die später hingewiesen wird, auch aus dem gleichen Werkstoff abgeschnittene Blechstreifen als Schweißstab dienen.

Äußere Kennzeichen sind: unterscheidende Merkmale, wie farbige Köpfe (Stirnflächen) oder Einprägungen von Firmen- oder Sortennamen, Form und Abmessung, sowie die Oberflächenbeschaffenheit. Im allgemeinen sind die Schweißdrähte rund gezogen oder gegossen (für Gußschweißungen) als 1000 bis 500 mm lange Stäbe oder in Ringen, die man sich selbst auf Stablängen zuschneiden muß (seltener), handelsüblich. Die Oberfläche soll glatt sein, frei von Zunder, Rost, Fett, Öl oder sonstigen Verunreinigungen. Dagegen sind mitunter besondere, sehr dünne fremdmetallische Überzüge erwünscht, z. B. bei Stahldrähten Kupfer-, seltener Nickelhüllen, bei Messingdrähten Silberüberzüge, bei Nickel Kobalt usw., worüber an entsprechenden Stellen noch einiges auszuführen sein wird.

¹ Streb: Autogene Metallbearbeitung, 1932, Heft 4. Streb u. Kemper: Autogene Metallbearbeitung, 1933, Heft 1.

a) Stahlschweißdrähte.

DIN-Vornorm. Für die Schweißung von Stahl sind in der DIN-Vornorm 1913, die zur Zeit geltenden Gesichtspunkte für die Lieferung von Schweißdraht für Verbindungs- und Auftragsschweißung zusammengestellt und die Sorten nach mechanischen Gütewerten, die der Stahlnormung angepaßt sind, unterschieden (Tabelle 10).

Tabelle 10. Schweißdraht für Gasschweißung.

Schweißdraht			Geschweißte Probe						
Sorte			Zulässige Beimengungen		Zugfestigkeit	Biege- winkel Grad mindestens nur für Blech bis 10 mm Dicke	Kerb- schlag- zähigkeit	Schmied- barkeit	Brinellhärte H_n
Art	Marke	Kenn- farbe	P %	S %					
Ver- bindungs- draht	G 34	gelb	0,04	0,03	34	180°	7	ja	mindestens 100
	G 37/42	rot	0,04	0,03	37/42	150°	5	ja	mindestens 120
	G 52	grün	0,04	0,03	52	75°	5	ja	mindestens 150
Auftrag- draht	Ga 250	braun	—	0,03	—	—	—	—	210 bis 290
	Ga 350	violett	—	0,03	—	—	—	—	mindestens 300

Die Mindestfestigkeit der Schweiße muß der Nennfestigkeit des Werkstoffs entsprechen. Die Brinellhärte ist nur im Bedarfsfalle zu prüfen oder wenn der Draht für Auftragsschweißung verwendet wird. Bezüglich der chemischen Zusammensetzung sind nur wenige Höchstwerte für die unerwünschten Stahlbegleiter Phosphor und Schwefel angegeben, um die noch im Flusse befindliche Entwicklung des Legierens der Schweißdrähte nicht zu hemmen.

Die Unterteilung erfolgt in erster Linie nach der Stahlsorte, weil der Zusatzwerkstoff dem Grundwerkstoff möglichst ähnlich sein soll. Da beim Schweißen einzelne Legierungsbestandteile mehr oder weniger herausbrennen, sind die Schweißstäbe mitunter an diesen Stoffen etwas höher legiert. Die Drähte haben einen Durchmesser von 1÷8 mm, neuerdings auch quadratischen oder dreieckigen Querschnitt. Durch das raschere Anschmelzen der Kanten soll eine 10÷15 vH größere Abschmelzgeschwindigkeit (bezogen auf den gleichen Querschnitt runder Stäbe) erreicht werden. Die Drähte werden meist schwarz geglüht in den Handel gebracht und tragen daher eine leichte Oxydhaut, die auf der Schmelze einen dünnen Schlackenfilm ergibt. Deshalb werden die Drähte mitunter auch blank gezogen oder gebeizt und verkupfert geliefert. Mit Rücksicht auf die Gefahr der Wasserstoffaufnahme darf die Verkupferung nur bei geglühten Drähten vorgenommen werden. Diese hauchdünne Kupferschicht bietet einen Schutz gegen die Rostgefahr beim Lagern und gegen ein vorzeitiges Verzundern beim Einführen in die Schweißflamme.

Auch Nickelüberzüge sollen infolge besserer Wärmeübertragung die Schmelzgeschwindigkeit fördern und die Bildung von Schlackeneinschlüssen an den Korngrenzen unterbinden. Zunächst sei festgestellt, daß die übliche chemische Analyse wohl die verschiedenen Legierungsgruppen zu unterscheiden gestattet, für das verschiedene Verhalten von Drähten gleicher Zusammensetzung aber kein eindeutiges Maß ist. Nach neueren Erfahrungen ist dafür besonders der Sauerstoffgehalt ausschlaggebend. Vor allem sind es drei Erscheinungen, die bei der Verarbeitung des bisher üblichen, niedrig gekohlten Flußeisenschweißdrahtes auftreten, der wegen der hohen Dehnung und des großen Biege winkels der Schweiße

bevorzugt wird, nämlich das Spritzen, das Kochen und Schäumen, sowie das Steigen¹.

Spritzen, Kochen, Steigen. Neben immer auftretenden ganz feinen Funken ist unter Spritzen das Herausschleudern einzelner kleiner Metallkügelchen zu verstehen, was durch plötzliche Gasausscheidungen aus dem verflüssigten Metall bewirkt wird. In erster Linie gibt hierzu der im flüssigen Eisen nicht lösliche Wasserdampf Veranlassung, der infolge Reduktion des Eisenoxyduls der Schweiße durch den Wasserstoff der Flamme entsteht ($\text{FeO} + \text{H}_2 = \text{Fe} + \text{H}_2\text{O}$). Wenn auch der Kohlenstoff und Sauerstoff der Schweiße eine gasentwickelnde Reaktion eingehen, so verläuft diese Umsetzung doch zu langsam, um das Spritzen zu veranlassen.

Das Kochen der Schweiße ist ein Austreten von Gasen aus einer völlig flüssigen Schmelze, während unter Schäumen das Ausstoßen von festen Schlackenteilchen und -häuten vermischt mit Gasen zu verstehen ist. Diese Erscheinungen verlaufen so langsam, daß ein Spritzen nicht unbedingt damit verbunden zu sein braucht. Die Abscheidung einer allerdings nur leichten Schlackenhaut aus Kieselsäure od. dgl. ist als ein Schutzmittel gegen Luftzutritt (Sauerstoff- und Stickstoffaufnahme) anzusehen.

Mit Steigen bezeichnet man das Auftreten von größeren Poren, Trichtern und Aufblähungen in der Schweißnaht, die durch das Austreten von Gasen infolge verringerter Löslichkeit bei der Erstarrung hervorgerufen werden und die bei schneller Erstarrung der Oberfläche der Schmelze infolge zu langsam verlaufender Gasreaktion nicht mehr austreten können. Unterstützt wird dieser Vorgang durch zunehmende Überhitzung, weil dann Gasreaktion und Gaslöslichkeit größer werden. Deshalb darf auch der Querschnitt des Schweißdrahtes im Verhältnis zur Flammengröße nicht zu gering bemessen werden. Gegebenenfalls muß mit kleinerer Flamme und damit mit geringerer Schweißgeschwindigkeit gearbeitet werden.

Schweißdrahtdicke. Praktisch ist es üblich, die Dicke des Schweißdrahts von der Blechdicke abhängig zu machen. Im allgemeinen kommt man zu angenäherten Werten, wenn man bei Blechen bis zu 5 mm Dicke (d) $d=1$ setzt, d. h.: für 1 mm-Blech nimmt man 1 mm Drahtdurchmesser, für 3 mm-Blech 3 mm-Draht usw. Für 6÷12 mm Blechdicke ist $\frac{d}{1,5 \div 2}$ zu setzen, für 13÷20 mm-Blech gilt $\frac{d}{2,5}$, d. h. für ein 16 mm-Blech, z. B. wird die Drahtdicke mit $\frac{16}{2,5} = 6 \div 7$ mm Durchmesser gewählt.

Gewöhnlicher Stahlschweißdraht. Beim Schweißen von gewöhnlichem weichen Kohlenstoffstahl in Handlungsgüte, ist der Werkstoff, vor allem bei dünnen Blechen, von größerer Bedeutung als der Zusatzdraht. Erst mit zunehmender Blechdicke gewinnt der Schweißdraht immer mehr an Bedeutung, weil der Anteil der in die Schweiße eingeschmolzenen Drahtmenge erheblich anwächst. Zusatzdrähte aus weichem Martinstahl haben ungefähr folgende Zusammensetzung:

Kohlenstoff	0,05 ÷ 0,15 vH	} Gewöhnlicher Stahlschweißdraht (Gruppe I)
Mangan	0,30 ÷ 0,60 vH	
Silizium	höchstens 0,08 vH	
Schwefel	höchstens 0,03 vH	
Phosphor	höchstens 0,03 vH	

Der Kohlenstoff brennt, da andere rascher oxydierende Legierungsbestandteile fehlen, aus der Schweiße weitgehend heraus, und Sauerstoff tritt auch bei

¹ Horn u. Tewes: Über Blasen und Poren in Metallen und Schweißen. Autogene Metallbearbeitung, 1932, Heft 6.

neutraler Flammeneinstellung in die Schweißung ein, so daß sie einen unruhigen Fluß aufweist. Die Drähte spritzen und Festigkeit und Dehnung fallen gering aus.

Diese Erkenntnis führte zur Entwicklung einer anderen Gruppe von Zusatzdrähten aus beruhigtem Stahl, was durch Erhöhung der desoxydierenden Beimengungen von Mangan und Silizium erreicht wurde. Da sich ein angenähert konstantes Verhältnis zwischen Eisenoxydul und Manganoxydul einstellt, reicht Mangan zur vollständigen Desoxydation allein nicht aus, sondern erst im Zusammenwirken mit einem Siliziumzusatz kann das Spritzen beseitigt werden. Eine aus Silizium und Mangan gebildete leichtflüssige Schlacke schützt bei Dickblechschweißungen vor der Einwirkung der Flammengase und dem Ausbrennen des Kohlenstoffs. Bei niedrigem Mangangehalt soll aber Silizium 0,2 vH nicht übersteigen, da sonst, wie dies bei allen hochsilizierten Blechen der Fall ist, eine zu zähe Schlackenhaut aus Kieselsäure gebildet wird, die bei normaler Schweißgeschwindigkeit das Austreten gelöster Gase verhindert und poröse Schweißen zur Folge hat.

Höher legierter Stahlschweißdraht. Da sich Fehler und Poren bei Schweißen mit verhältnismäßig niedriger Festigkeit weniger äußern als bei hoher Nahtfestigkeit, wird auch für die Gasschweißung von St 34÷42 eine Nahtfestigkeit von 100 vH bei hoher Dehnbarkeit, auch im Hinblick auf die höhere Dauerfestigkeit, gefordert werden müssen. Der Übergang zu höher legierten Schweißdrähten war deshalb unausbleiblich. Der Mangangehalt ist auf 0,6÷1,0 vH heraufgesetzt worden, wodurch eine Festigkeitssteigerung und Erhöhung der Streckgrenze ohne Dehnungsverminderung und ohne zu starke Schlackenbildung erreicht wird. Der Kohlenstoffgehalt ist ebenfalls heraufgesetzt worden, wodurch die Festigkeit zu-, die Dehnung jedoch abnimmt. Da letzte aber bis zu einem ausreichenden Grade erhalten bleiben soll und muß, darf der Kohlenstoffgehalt trotz eines gewissen Abbrandverlustes nicht zu weit getrieben werden, ungefähr bis 0,2, höchstens aber 0,25 vH. Übrigens tritt dadurch außer den typischen Kohlenstofffunken nicht etwa ein Spritzen oder Blasenbildung auf. Schwefel und Phosphor sind schon immer als schädlich erkannt worden, da sie die Dehnung herabsetzen und Rot-, bzw. Kaltbrüchigkeit nach sich ziehen. Beider Anteile niedrig zu halten, muß also stets gefordert werden. Für einen Draht dieser höher legierten Gruppe, der für St 34÷42 Verwendung finden soll, kommt etwa folgende Zusammensetzung in Frage:

Kohlenstoff	0,15 ÷ 0,25 vH	} höher legierter Stahlschweißdraht (Gruppe II)
Mangan	0,60 ÷ 1,00 vH	
Silizium	0,10 ÷ 0,20 vH	
Phosphor	höchstens 0,05 vH	
Schwefel	höchstens 0,04 vH	

Zum Schweißen von Grundwerkstoffen über 42÷60 kg/mm² Festigkeit müssen dem Schweißdraht noch weitere Legierungsstoffe zugefügt werden, z. B. Chrom, Nickel, Kupfer, Molybdän, Vanadin und Titan in verschiedenen Verhältnissen und Mengen. Durch diese Zusätze werden die Merkmale des Drahtes nach verschiedenen Richtungen hin verändert, und man kann dieser dritten Gruppe nur die Bezeichnung Sonderzusatzdrähte geben. Hierüber herrscht zur Zeit noch nicht volle Klarheit. Zehn der bekanntesten Analysen sind in Tabelle 11 zusammengestellt. Die Verarbeitung dieser Stäbe erfordert einige Übung, da z. B. bei nickelhaltigen Stäben (3÷4 vH Ni) infolge großer Leichtflüssigkeit durch Vorlaufen im Schmelzbade Kaltschweißstellen und bei Chrom-Molybdänhaltigen Drähten infolge zäher Schlackenbildung leicht Poren eintreten können. Die gekupferten (0,4÷0,6 vH Cu) CrNi- oder CrMo-Stähle sind bei niedrigem C- und Mn-Gehalt gut verschweißbar und weisen eine gewisse Rostträgheit auf; erst bei

Tabelle 11.

Drahtsorte	C	Mn	Si	Cu	Cr	Ni	Mo	S	P	
1	0,10	0,49	0,18	0,15	0,06	2,14	0,14	—	—	Sonder- zusatz schweiß- drähte (Gruppe III)
2	0,15	0,49	0,21	0,08	0,67	3,44	—	—	—	
3	0,15	0,56	0,26	0,15	0,10	3,43	—	—	—	
4	0,34	2,05	0,14	0,24	0,05	—	—	—	—	
5	0,30	0,52	0,31	0,12	0,89	—	0,21	—	—	
6	0,20	1,09	0,60	0,01	—	—	—	—	—	
7	0,10	0,60	0,20	0,40	0,30	—	0,10	< 0,03	< 0,03	
	÷ 0,15	÷ 0,80	÷ 0,30	÷ 0,50	÷ 0,40	—	÷ 0,15			
8	0,15	0,60	—	—	—	3,00	—	< 0,03	< 0,03	
	÷ 0,25	÷ 0,80	—	—	—	÷ 4,00	—			
9	0,06	0,20	—	0,45	0,10	—	0,10	—	—	
	÷ 0,09	÷ 0,35	—	÷ 0,55	÷ 0,20	—	—	—	—	
10	0,05	0,15	—	0,40	0,15	0,10	—	—	—	
	÷ 0,07	÷ 0,18	—	÷ 0,60	—	—	—	—	—	

höherem C-Gehalt (0,15 bis 0,25 vH) und hohem Mn-Gehalt (0,6÷0,8 vH) ist die Schweißbarkeit merklich herabgesetzt.

Für ausgesprochen nichtrostende Stähle (z. B. V 2 A, Sas) nimmt man Stäbe mit dem Grundwerkstoff möglichst sehr ähnlichen Legierungen, also eine Grundzusammensetzung mit:

Kohlenstoff	0,07 ÷ 0,15 vH
Chrom	18,00 ÷ 20 vH
Nickel	8,00 ÷ 10 vH

Um interkristalline Korrosionen, auch bei nicht nachbehandelten Schweißen auszuschließen, werden geringe Anteile an Titan (0,5 vH) oder Tantal (1,3 vH), Vanadin, Molybdän u. a. zulegiert. Es sei gleich an dieser Stelle betont, daß das Schweißen reiner Chromstähle mit 17÷30 vH Cr wegen außerordentlich großer Schweißspannungen bedenklich und deshalb nicht ratsam ist.

Draht für Auftragsschweißungen. Hierbei kann im allgemeinen auf Dehnungs- und Verformungsmöglichkeit verzichtet werden, wohingegen meist eine mehr oder weniger hohe Verschleißhärte Bedingung ist. Neben geeigneter Warmbehandlung, hauptsächlich Abschrecken, muß die Härte durch geeignete Drahtlegierungen beeinflusst werden. Vor allem wird der Kohlenstoff bis zu 0,7 vH erhöht, auch Mangan und Silizium müssen zum Schutze gegen unzulässig starkes Ausbrennen ausreichend vorhanden sein, um die nach DIN 1913 geforderte Mindesthärte von 150 Brinelleinheiten zu erreichen. Zur Erzielung der nächst höheren Härtestufen von 200 Brinelleinheiten und mehr, muß der Kohlenstoffgehalt auf 1 vH gesteigert werden und Silizium ausreichend (0,2 vH) vorhanden sein. Um nun die höchste Härtestufe, mindestens 300 Brinelleinheiten zu erhalten, können außer 1 vH Kohlenstoff noch Wolfram (1,5 vH) und Chrom (1,1 vH) zulegiert werden. Ein bevorzugt angewendeter Auftragsschweißdraht, der zwar weniger harte, dafür aber verschleißfeste Schweißen ergibt, ist der austenitische Manganstahl, der bei 1,5 vH C ungefähr 14 vH Mn enthält, das mit etwa 2 vH Abbrandverlust bei gleichbleibendem Kohlenstoffgehalt in die Schweiße übergeht.

Draht für Stahlgußschweißungen. Hierfür können Schweißstäbe der Gruppe II, gegebenenfalls auch die der Gruppe III verwendet werden, letzte dann, wenn es sich um Stahlguß von hoher Festigkeit handelt.

b) Gußschweißstäbe.

Graugußstäbe. Für die Schweißung von Grauguß werden Gußeisenschweißstäbe von rundem, ovalem oder quadratischem Querschnitt von 3÷15 mm

Durchmesser und 400÷1000 mm Länge verwendet. Sie müssen einen hohen Kohlenstoff- und Siliziumgehalt aufweisen, weil beide Bestandteile aus der Schmelze verdampfen oder oxydieren und z. T. in die Schlacke übergehen. Da die Schweiße stets viel rascher erkaltet als das Werkstück nach dem Gießen, muß man darauf achten, daß die zur Weicherhaltung des Gußeisens erforderliche Graphitausscheidung schnell genug herbeigeführt wird, was man durch einen geringen Mangangehalt und hohen Siliziumgehalt erreicht. Hochsilizierte Gußstäbe genügen infolge dichten Gefüges in der Mehrzahl der Fälle, für besondere Abstufungen in der Festigkeit können weitere Legierungsbestandteile wie Titan, Vanadin und Nickel zugesetzt werden. Die Analyse ist etwa die folgende:

Kohlenstoff	3	÷ 3,5 vH
Silizium	3	÷ 3,5 vH
Mangan	0,5	÷ 0,7 vH
Phosphor	bis	0,8 vH
Schwefel	bis	0,06 vH

Die Stäbe dürfen keine Formsandnester und keinesfalls dicke Gußhäute aufweisen, da diese in das Schmelzbad übergehen und harte Stellen zur Folge haben. Die Oberfläche der Stäbe soll nicht übermäßig rau und gegebenenfalls durch Reinigung im Sandstrahlgebläse geglättet sein.

Tempergußstäbe. Sie sind im Handel nicht zu haben, außerdem ist das Inlösengehen der Temperkohle beim Einschmelzen des Stabes unvermeidlich. Je nach dem Temperungsgrade des Werkstücks werden Stahl- oder Gußstäbe als Zusatzwerkstoff genommen. Über die Schweißbarkeit des getemperten Werkstoffs entscheidet allein der Schmelzversuch mit der Schweißflamme. Die Schweißbarkeit von Temperguß fällt sehr verschieden aus. Bindet nicht Stahl, sondern nur Gußeisen ab, dann muß auf die Schmiedbarkeit der Schweiße verzichtet werden. In solchen Fällen ist von der Schweißung besser abzusehen und eine Hartlötung mit Bronze ratsam.

c) Nichteisenmetall-Schweißstäbe.

Allgemeines. Neben den bisher erwähnten grundlegenden Bedingungen, die von Schweißstäben zu erfüllen und die sinngemäß auch auf die Nichteisenmetalle (NE-Metalle) zu übertragen sind, müssen letzte noch einigen besonderen Bedingungen entsprechen:

1. Reine, öl-, fett-, oxyd- und schmutzfreie Oberfläche. Drähte, die längere Zeit gelagert haben, schmutzig oder angelaufen sind, werden zweckmäßig mechanisch (Abschmirgeln!) oder durch Beizen gereinigt.

2. Die Drähte sollen möglichst wenig Dämpfe oder Gase entwickeln, da diese auf ein Ausbrennen von Legierungsbestandteilen hinweisen.

3. Die Drähte dürfen nur sehr wenig spritzen; gegebenenfalls ist die Höhe des Spritzverlustes durch Wiegen zu bestimmen.

4. Das Drahtgefüge soll gleichmäßig, ohne Schlacken-, Seigerungs- und Gaseinschlüsse sein (Untersuchung mit einer Lupe).

5. In legierten Drähten dürfen außer den Grundelementen nur solche Stoffe enthalten sein, die der Schweißung nicht schädlich sind und technologisch einwandfreie Schweißgefüge ergeben. Diese meist geringen Zusätze und die Spuren von Stoffen, die aus einem etwaigen metallischen Oberflächenüberzuge herrühren, müssen im Schweißquerschnitt gleichmäßig verteilt sein, damit sie nicht korrosionsfördernd wirken können.

6. Ein fast immer zuverlässiges Mittel zur Feststellung der Brauchbarkeit eines Schweißdrahtes ist die Abschmelzprobe. Der Draht darf nicht schäumen, er muß gute Kletterfähigkeit haben; es sollen sich langsam kugelförmige Tropfen

ablösen und das Stabende soll eine halbkugelförmige, kalottenartige Oberfläche zeigen, ohne Poren, Zacken, Spitzen und grießige Häute. Der Draht soll gleichmäßig abfließen, auch dann, wenn er längere Zeit dem Einfluß der Flamme ausgesetzt wird. Er muß einen guten, nicht zu trägen Fluß besitzen.

7. Der Grad der Verformbarkeit, Festigkeit, Spaltbarkeit und andere Eigenschaften des Drahtes sind für seine Beurteilung ohne Bedeutung, da nur der umgeschmolzene Draht und dessen Eigenschaften für die Schweißung bestimmend sind.

Die Drahtdicke hat sich mehr noch als bei Stahl nach der zu schweißenden Blechdicke zu richten. Um Überhitzungen zu vermeiden, soll der Draht eher verhältnismäßig etwas dicker als dünner gewählt werden. Ganz allgemein kann man, von einigen wenigen Ausnahmen abgesehen, folgende Verhältnisse zugrunde legen:

Blechdicke in mm	bis 1	1 ÷ 2	2 ÷ 3	4 ÷ 5	6 ÷ 8	8 ÷ 10	über 10
Drahtdicke in mm	1 ÷ 1,5	2	3	4	5 ÷ 6	6 ÷ 8	8 ÷ 10

Eine besonders abweichende Ausnahme hiervon macht eigentlich nur Zink, das ohne Spalt stumpf geschweißt wird und für dessen praktisch vorkommende Dicken fast immer 1,5 ÷ 3 mm Draht ausreichend ist. Hinsichtlich der Stabform machen ebenfalls Zink und neben diesem Blei eine Ausnahme. Beide Metalle sind zu weich, um in längeren Stäben benutzt werden zu können. Deshalb bezieht man diese Drähte in Ringen, von denen man Stücke von gewünschter Länge abschneidet und wegen der besseren Handhabung zu einem flachen Bund (Spule) wickelt.

Kupferschweißdraht. Reiner Elektrolytkupferdraht eignet sich nur für dünne Bleche und auch dann nur, wenn die Schweißnähte wenig beansprucht und keinen Verformungsarbeiten (Biegen, Strecken, Treiben) unterzogen werden. Im allgemeinen finden Sonderdrähte Verwendung, die einen gleichmäßigen Fluß bewirken und der Oxydbildung und Gasaufnahme entgegen arbeiten. Die bekannten Kupferschweißdrähte enthalten neben anderen Elementen meist auch Phosphor. Außerdem findet sich in den Stäben eines der Elemente Silber, Nickel, Silizium, Mangan, Titan, Vanadin u. a. oder mehrere dieser Stoffe gemeinsam vor. Eine DIN-Vornorm für Kupferschweißdraht sieht (auszugsweise) folgendes vor:

„Die Oberfläche des Drahtes soll metallisch rein sein, besondere Überzüge sind zulässig. Der Draht muß gleichmäßig fließen und darf nur wenig spritzen. Für Senkrecht- und Überkopfschweißung muß er genügende Kletterfähigkeit besitzen, und er muß von schädlichen Bestandteilen technisch frei sein. Sein Gehalt an Kupfer soll mindestens 98 vH betragen. Folgende Höchstgrenzen an Beimengungen dürfen nicht überschritten werden: 0,5 vH Arsen, 0,08 vH Phosphor, 0,03 vH Blei, 0,03 vH Eisen, 0,03 vH Sauerstoff. Die Drähte werden in Stablängen von 1000 mm und in Dicken von 1 ÷ 10 mm geliefert.“

Kupferlegerlegierungen. Für die Schweißung von Kuprodukt und einigen anderen, in Deutschland weniger üblichen Sonderlegierungen Everdur und Herkuloy, verwendet man Schweißdrähte derselben Zusammensetzung. Unter diesen Legierungen ist Everdur (mit etwa 95 vH Cu, 4 vH Si, 1 vH Mn) am besten schweißbar. Obwohl sich auch Reinkupfer mit Everdurdrähten gut schweißen läßt, sollte man hiervon Abstand nehmen, da die bezüglich der Korrosionsfestigkeit gemachten praktischen Erfahrungen nicht günstig sind.

Messing- und Bronzeschweißdrähte. Unter der nicht einwandfreien Bezeichnung „Bronzeschweiß- und Lötendraht“ gelangen verschiedene Sondermessingdrähte in den Handel, die geringe Mengen an Silber, Zinn, Silizium, Aluminium, Mangan u. a. enthalten. Die sog. Tobinbronze, die Vorläuferin einer großen Anzahl ähnlicher Legierungen, enthält 60 vH Kupfer, 39 vH Zink und 1 vH Zinn.

Unter der Bezeichnung Siliziumbronze kommen die gleichen Legierungen mit einem Zusatz von 0,1–0,25 vH Silizium auf den Markt. Alle diese Messinge, von denen eine Sorte oberflächenversilbert geliefert wird, eignen sich zum Schweißen und Hartlöten gleich gut. Sie sind auch zur Lötung (fälschlich Bronzeschweißung) von Grauguß geeignet. Gewöhnlicher Messingdraht, z. B. Ms 63, ist nur sehr schwer porenfrei verschweißbar, weshalb er nur in seltenen Fällen benutzt wird. Eine Hauptaufgabe, die von Messingschweißdrähten zu erfüllen ist, ist die größtmögliche Einschränkung der Zinkverdampfung.

Für verschleißfeste Auftragsschweißungen (Ventilsitze an Lokomotiv- und Motorzylindern) eignet sich Manganbronze am besten, z. B. eine solche aus etwa 57 vH Kupfer, 39 vH Zinn, 1 vH Zink, 1,5 vH Mangan und 1,5 vH Eisen. Auf die Anwendbarkeit hochnickelhaltiger Bronzedrähte wird später noch hingewiesen.

Zur Schweißung von Walzbronze verwendet man entweder die üblichen Sondermessingdrähte oder, wenn es auf Farbgleichheit und besondere technologische Güterwerte ankommt, Streifenabschnitte desselben Werkstoffs. Gußbronze und Messingguß (Gelbguß) können gleichfalls mit Sondermessingdrähten geschweißt werden, sofern es sich nicht — wie oft bei Bronze — um große Querschnitte handelt und nicht bestimmte Gesichtspunkte die Verwendung gegossener Bronzestäbe derselben oder ähnlicher Legierung erforderlich machen, wie dies z. B. bei der Schweißung von Kirchenglocken, wo es auf die Erhaltung der Tonlage ankommt, zutrifft.

Leichtmetall-Schweißdrähte. Hier sind an erster Stelle Reinaluminiumdrähte (99,5 und 99 vH Al-Gehalt) zu nennen, die für die Schweißung von Reinaluminium ganz allgemein in Frage kommen. Bindende Grenzwerte für die Begleiter des Aluminiums kann man nicht angeben, doch sind Zusätze an Kupfer, Zink und Eisen schädlich und daher unerwünscht, jedoch Beimengungen an Titan und Silizium (0,1 vH) mitunter insofern vorteilhaft, als sie auf das Schweißgefüge stark kornverfeinernd wirken. Oxyd- bzw. Tonerdeinschlüsse dürfen im Al-Draht nicht vorhanden und er sollte stets weich geglüht sein. Dickere Oberflächenhäute (Oxydschichten), wie sie sich bei längerem Lagern bilden und die den Tropfenübergang vom Stabe zum Schmelzbade empfindlich stören können — besonders bei dünnen Blechen — sind in einem Gemisch von 15 vH Natronlauge und 5 vH Chlornatrium abzubeizen und darauf in 3 vH Salpetersäure abzuspülen.

Grundsätzlich gilt zunächst — und das insbesondere für alle korrosionsempfindlichen Metalle —, daß nach Möglichkeit „Gleiches zu Gleichem“ zugesetzt werden soll. Wenn man z. B. bei titanhaltigem Drahte von dieser Regel bewußt abwich, dann nur deshalb, weil ein solcher Draht ein außerordentlich feinkörniges Schweißgefüge, auch im ungehämmerten Zustand ergibt und der geringe Zusatz an Titan auf die Korrosionsfestigkeit nur sehr geringen Einfluß ausübt. Ausnahmen von obiger Regel sind auch dann am Platze, wenn bestimmte Sonderlegierungen des Aluminiums vorliegen, worauf später noch eingegangen wird, und sie sind dann von selbst gegeben, wenn die Zusammensetzung der Legierungen unbekannt ist. Auf Grund einfacher werkstattmäßig durchführbarer Prüfungen kann man häufig die Zusammensetzung der jeweiligen Legierung angenähert bestimmen und demgemäß die Wahl für einen ähnlich legierten Schweißdraht treffen, falls nicht, was besser ist, Streifenabschnitte des gleichen Bleches herstellbar sind. Ist beides nicht möglich, dann hilft man sich meist mit Silumindraht, wobei man sich jedoch damit abfinden muß, daß an die technologischen und chemischen Eigenschaften der Schweißverbindung keine hohen Anforderungen gestellt werden können.

Während die Aluminium-Knetlegierungen, insbesondere die aushärtbaren (z. B. Lotal, Duralumin) nicht ohne weiteres alle schweißbar sind, trifft dies im allgemeinen für die Gußlegierungen des Al zu. Die bekanntesten Al-Gußlegierungen, die „Deutsche Legierung“ (mit 8÷12 vH Zink, 2÷5 vH Kupfer), die „Amerikanische Legierung“ (mit 7÷9 vH Kupfer) und „Siluminguß“ (mit 11÷13,5 vH Silizium) sind sehr gut und einwandfrei schweißbar, wenn Zusatzstäbe der gleichen Legierung benutzt werden, was noch mehr für die durch höheren Magnesium- und Mangengehalt ausgezeichneten Legierungen, wie z. B. Hydroalium, Anticorodal und Pantal zutrifft. Obwohl eine Verbindung zwischen Aluminiumdraht und gewöhnlichem Aluminiumguß möglich ist, wovon im Notfalle zuweilen Gebrauch gemacht wird, sollten Gußlegierungen nur mit Stäben gleicher oder hierfür besonders hergestellter Art verschweißt werden.

Eine von den geschilderten Aluminiumlegierungen abseits stehende Magnesiumlegierung ist die Leichtmetallegerung Elektron, die je nach Zusammensetzung neben Magnesium einige Hundertteile an Aluminium, Zink und Mangan enthält und gut schweißbar ist, abgesehen von einer mit AZM bezeichneten Blechlegierung (mit 6,5 vH Aluminium und 1 vH Zink), die nur in kurzen Nahtlängen geschweißt werden kann. Für die Schweißung von Blechen, die praktisch nur in geringen Dicken verarbeitet werden, sind ausschließlich Elektrondrähte (AM 503, mit 2 vH Mangan) anwendbar. Andere Leichtmetalle, wie z. B. Aluminium, sind hierfür gänzlich unbrauchbar. Desgleichen kann Elektronenguß nur mit Stäben gleicher Art geschweißt werden, was auch für Magnewin gilt.

Schweißdrähte für Nickel und nickelhaltige Legierungen. Nickel- und nickelhaltige Schweißdrähte dürfen weder Gasblasen- noch Schlackeneinschlüsse enthalten. Ihr Gehalt an Schwefel, der Nickel brüchig macht, soll nur sehr gering (nicht über 0,02 vH) sein. Magnesium (bis zu 0,2 vH) und geringe Mengen an Mangan, welche die Schweißbarkeit fördern, sind unbedenklich. Für die Schweißung von Reinnickel haben sich außerdem Nickeldrähte mit einem Kobaltüberzug als besonders geeignet erwiesen.

Nickelin (68 vH Cu, 32 vH Ni oder 56 vH Cu, 31 vH Ni, 13 vH Zn) wird mit Nickelindrähten, die im Handel (als Widerstandsdraht) erhältlich sind und Neusilber (50÷70 vH Cu, 5÷33 vH Ni, 13÷35 vH Zn) mit Draht ähnlicher Zusammensetzung oder mit Blechabschnitten desselben Werkstoffs geschweißt.

Die Kupfer-Nickellegierungen, mit 10÷45 vH Nickel, von denen schweißtechnisch hauptsächlich die mit 20÷30 vH Nickel (Rest Kupfer) in Frage kommen, schweißt man durchweg mit Drähten gleicher Zusammensetzung.

Monelmetall (67 vH Ni, 28 vH Cu, 5 vH Mn und Fe) wird ausschließlich mit Moneldraht geschweißt, dem geringe Zusätze an Silizium beigegeben sein können.

Schweißdrähte für die übrigen Metalle. Zu den übrigen schweißbaren Metallen gehören in erster Linie noch Zink und Blei, die beide mit Drähten desselben Werkstoffs ohne Zusatz besonderer Stoffe geschweißt werden. Die Drähte dürfen, besonders hier, nicht aus Abfällen (Krätze) hergestellt sein. Für Zink ist am besten ein Raffinadezink-, für Blei ein Reinbleidraht zu verwenden. Die Oberfläche des Zinkdrahtes bleibt unbehandelt, die des Bleis wird mit Schabern oder Schmirgelleinen metallisch blank gemacht.

Zur Schweißung der seltener verarbeiteten Edelmetalle Gold, Platin und Silber, die sich auf Grund ihrer geringen Oxydationsneigung vorzüglich schweißen lassen, werden dünne Blechstreifen oder Drähte aus dem betreffenden Metall als Zusatzwerkstoff benutzt.

5. Flußmittel (Schweißpulver).

Allgemeines. Dem Flußmittel oder Schweißpulver fällt die Aufgabe zu, an der Oberfläche des Schmelzbades vorhandene oder sich im Verlaufe des Schweißvorgangs bildende Verunreinigungen, vor allem Metalloxyde zu lösen und mit diesen eine leicht schmelzbare Schlacke zu bilden. Diese Flußmittel sind nur bei den Metallen erforderlich, die leicht und stark oxydieren und wo die an sich reduzierende Wirkung der Schweißflamme allein nicht ausreicht, um die Oxyde in ausreichendem Maße zu reduzieren; außerdem sorgen sie für einen dünnen Fluß des Schmelzbades.

Ohne Schweißpulver sind schweißbar: Stahl, Stahlguß, Gold, Platin, Silber, Blei und guter Temperguß.

Mit Schweißpulver schweißt man: Gußeisen (Temperguß), einige Sonderstähle, Kupfer und alle seine Legierungen, z. B. Bronze, Messing, Rotguß, Kupfernickel; ferner Aluminium und Nickel und deren Legierungen, Zink und Elektron.

Anforderungen an das Flußmittel. Die beim Abschmelzen des Schweißdrahtes entstehenden Tropfen und die Oberfläche des Schmelzbades überziehen sich oft rasch mit einer aus Fremdstoffen gebildeten Haut, die durch die Gegenwart von Flußmitteln entfernt wird. Demnach handelt es sich viel weniger darum, das Innere des Schmelzbades und des Metalltropfens zu beeinflussen — was in Anbetracht des raschen Erstarrungsvorganges, dem die erforderliche Diffusion (Durchdringung) nicht zu folgen vermag, nicht möglich ist — als meist allein darum, die Oberfläche der geschmolzenen Metalle chemisch zu verändern und die Vereinigung zwischen Werkstoff und Schweißdraht zu fördern. Die chemische Zusammensetzung der Schweiße durch Flußmittel zu beeinflussen, bzw. sie zu ändern oder zu verbessern, ist ein Wunsch, der praktisch kaum erfüllbar sein dürfte, da das Innere der Metallschmelze der Einwirkung des Flußmittels größtenteils entzogen ist. Außerdem ist es wichtig, daß die Flußmittel rechtzeitig, d. h. vor dem Erstarren der Schmelze aus dieser ausgeschieden und dann rasch an deren Oberfläche getrieben werden, damit sie nicht als schädliche Fremdkörper (Nester) zurückbleiben und wie vor allem bei Aluminium und Elektron, korrosionsfördernd sein können. In der Mehrzahl der Fälle ist die Entfernung der nichtmetallischen Verunreinigungen ein Lösungsvorgang und keine Reduktion. Da die Gewichtsmengen an Verunreinigungen außerordentlich gering und die Flußmittel wohl immer in großem Überschuß vorhanden sind, genügen für den teils chemischen, teils physikalischen Lösungsvorgang mitunter schon Bruchteile von Sekunden¹. Die beim Schweißen sich bildenden Oxyde sind vorwiegend Basen, wie Kupfer-, Nickel- und Zinkoxyd, die zweckmäßig durch Säuren, z. B. Bor- und Kieselsäure verschlackt werden, wobei Borate und Silikate das Ergebnis der chemischen Lösung sind. Daneben werden Gemische von Basen, z. B. Natriumkarbonat, dann verwendet, wenn sich saure Oxyde (z. B. Kieselsäure, SiO_2) bilden. Da es sich meist nicht nur um einen Fremdstoff handelt, den das Flußmittel lösen soll, sondern um mehrere unter sich sehr verschieden geartete Fremdstoffe, verwendet man nicht einfache Chemikalien, wie Borax, Borsäure, Soda u. a., sondern verwickelte Gemische wirksamer Stoffe. Überwiegend sind im Flußmittel natürlich jene Stoffe vertreten, die allein schon von besonderer Wirksamkeit sind, z. B. für Gußeisen Natrium- und Kaliumkarbonat.

Zwei weitere Forderungen, welche die Flußmittel zu erfüllen haben, sind eine gute Einstellung auf die Arbeitstemperatur und eine größtmögliche Ausbreitfähigkeit. Die Wirkungstemperatur des Flußmittels liegt je nach der Metallart, die geschweißt werden soll, innerhalb weiter Grenzen, und zwar etwa

¹ E. Lüder: Flußmittel zum Schweißen. Schmelzschweißung. 1931, Heft 8 u. 9.

zwischen 500° und 1450°. Daraus ergibt sich eine auf jedes einzelne Metall, zumindest auf eine bestimmte Legierungsgruppe abgestimmte Schmelztemperatur des Flußmittels, bei welcher es besonders wirksam ist. Es ist praktisch oft erwiesen, daß ein Flußmittel, dessen vor allem hohe chemische Wirksamkeit auf eine bestimmte niedrige Arbeitstemperatur abgestellt ist, fast unwirksam werden kann, wenn es bei höheren Temperaturen verwendet wird, und umgekehrt kann es völlig unwirksam bleiben, wenn es für hohe Arbeitstemperaturen bestimmt ist und bei niedrigen benutzt wird. Ähnlich liegen die Verhältnisse bei der Ausbreitfähigkeit. Sie muß den Arbeitstemperaturen angepaßt und so groß sein, daß möglichst große Zonen des zum Schmelzen gebrachten Werkstoffs von Flußmitteln abgedeckt und damit eine glatte Verbindung an der Schweißstelle und weitgehende Lösung der Oxyde erreicht werden. Allerdings darf das Maß der Ausbreitfähigkeit nicht auf Kosten der Wirksamkeit gehen, d. h. das Flußmittel darf nicht zu dünn und demzufolge nicht zu schwach sein.

Aus der Summe der vielseitigen Anforderungen, die an brauchbare, d. h. tatsächlich wirksame Flußmittel im einzelnen zu stellen sind, läßt sich unschwer folgern, daß es „Universalfußmittel“, also solche, die für alle Metalle gleich gut verwendbar sind, praktisch nicht geben kann. Diese können nur für ein jeweils bestimmtes Metall, vielleicht auch für eine begrenzte Legierungsgruppe wirksam sein, während sie für andere Stoffe fast unwirksam sind und deshalb einen Anspruch auf die Bezeichnung „Universalschweißpulver“ nicht erheben können. Abgesehen davon, sprechen neben schweißtechnischen Rücksichten auch solche wirtschaftlicher Natur dagegen, wenn man überlegt, daß z. B. 1 kg Aluminiumschweißpulver 15,— RM. kostet, Gußeisenschweißpulver aber schon für 3,— RM. je kg käuflich ist.

Zusammensetzung der Flußmittel. Die immer wiederkehrende Frage, aus welchen Chemikalien die üblichsten Schweißpulver oder Schweißpasten bestehen, ist nur beschränkt beantwortbar, weil die Lieferfirmen die Zusammensetzung meist als Herstellungsgeheimnis betrachten. Das einfachste Flußmittel ist gut gebrannter, von Kristallwasser befreiter Borax (Natriumborax), der sich jedoch leider nur für Hartlötarbeiten, nicht aber für Schweißzwecke eignet. Wasserhaltiger Borax bläht sich beim Erhitzen dampfbildend auf und ist viel weniger wirksam, als die geschilderten Sonderflußmittel es sind. Besonders bei Gußeisen ist seine Verwendung sehr nachteilig, da leicht harte und unbearbeitbare Schweißstellen entstehen. Einigermaßen brauchbar ist zur Paste angerührter Borax bei Messing. Im übrigen findet er sich als ein Bestandteil vieler auf saurer Grundlage aufgebauter Flußmittelgemische vor, neben Borsäure, Wasserglas, Glaspulver u. a. Stoffen, die zum großen Teil aus Kieselsäure bestehen und glasige, oft schwer entfernbare und in Wasser unlösliche dichte Schlacken bilden. Ferner spielen neben Bortrioxyd und Borax einige Phosphorsalze, wie Natriumphosphat (Na_2HPO_4) und Natriumammoniumphosphat ($\text{NaNH}_4 \cdot \text{HPO}_4$) in den Schweißpulvern für Kupfer und seine Legierungen eine große Rolle. Ein Gemisch von Wasserglas, Borsäure und Borax zu gleichen Teilen ist ein gutes Flußmittel für rostfreie, also chrom- und nickelhaltige Stähle.

Auf basischer Grundlage aufgebaute Flußmittel finden vor allem bei der Gußeisenschweißung Verwendung. Infolge der großen Verwandtschaft des Siliziums zum Sauerstoff bildet sich vornehmlich Siliziumdioxid, das neben den gleichfalls anfallenden Oxyden des Mangans, Eisens und Phosphors durch einen Überschuß an Natrium- und Kaliumkarbonat im Flußmittel gelöst wird, wobei sich außer Silikaten des Natriums und Kaliums Manganit, Ferrit und Phosphat bilden.

Die Vorgänge beruhen nach dem bisher Gesagten auf chemischen Reaktionen zwischen Basen und Säuren; die physikalischen Lösungsvorgänge sind von untergeordneter Bedeutung. Daneben gibt es sehr wichtige Flußmittel, deren Wirksamkeit weniger chemischer als physikalischer Natur ist. Die bedeutendsten Vertreter dieser Gruppe sind Gemische aus Halogensalzen, die die Grundlage fast aller guten Flußmittel für Leichtmetalle darstellen, z. B. Mischungen aus Fluoriden, wie Natrium-, Kalium-, Lithium- und Natriumaluminiumfluorid. Diesen Salzen werden zur Unterstützung ihrer Wirksamkeit und zur Herabsetzung ihres Schmelzpunktes noch andere kleine Zusätze, meist Chloride, wie Natrium-, Kalium-, Lithium- und Kalziumchlorid, beigegeben. Nebenbei bemerkt, sind Zink- und Ammoniumchlorid die wesentlichsten Bestandteile brauchbarer Zinkschweißpasten.

Alle Flußmittel aus Alkalisalzen sind stark hygroskopisch (also Wasser aufnehmend) und wirken, falls sie an oder in der Schweißung verbleiben, korrodierend. Für Sonderfälle, z. B. beim Schweißen in Ecken, wo die Entfernung des Flußmittels Schwierigkeiten verursacht, hat man nichthygroskopische, sog. korrosionsfreie Chemikaliengemische verschiedener Art zusammengestellt, die leider an Wirksamkeit einbüßen. Zudem werden, wie in dem Abschnitt „Schweißen von Leichtmetallen“ näher ausgeführt, die Schweißungen nachbehandelt.

Aufbewahrung und Anwendung. Die Flußmittel werden je nach ihrem physikalischen Verhalten, wobei die Aufnahme von Luftfeuchtigkeit die größte Rolle spielt, in verschiedenen Behältern geliefert. Pulverförmige Flußmittel, die in Blechbüchsen oder Glasflaschen, seltener in Pappkartons oder Leinensäcken auf den Markt kommen, können im Bedarfsfalle mit Wasser, gegebenenfalls auch mit Spiritus zu einer Paste beliebiger Konzentration angerührt werden. Pastenförmige, immer gebrauchsfertige Flußmittel kommen in Steinkruken oder Glasflaschen, seltener in Papp- oder Blechdosen und die flüssigen Schweißmittel in Glas-, weniger Blechflaschen in den Handel. Bekannte Flußmittel sind: „Autogal“, „Firinit“, „Harakiri“ und „Lumiweld“.

Die pulverförmigen Flußmittel dürfen nicht flüssig werden, noch zusammenbacken und die pastenförmigen nicht festtrocknen, da sie sonst an chemischer Wirksamkeit vorzeitig verlieren und mehr oder weniger unbrauchbar sind. Aus diesem Grunde entnimmt man diesen Gefäßen jeweils nur solche Mengen in kleine Porzellan- oder Blechschalen, die dem voraussichtlichen Tagesbedarf entsprechen, hält alle Gefäße gut unter Verschluss und lagert sie trocken. Das gilt besonders von den Schweißpulvern für Leichtmetalle. Verdickte Pasten können, wenn sie sonst gut erhalten sind, durch Wasser verdünnt werden. Streichfertige, also pastenförmige oder flüssige Schweißmittel werden beiderseits der Nahränder (oben, unten und zwischen diesen) je nach Blechdicke in genügender Breite und auf den Schweißdraht mit einem sauberen Haarpinsel aufgetragen. Gelangt das Flußmittel pulverförmig zur Anwendung (besonders beim Schweißen gegossener Metalle), dann wird das erhitzte Drahtende in das Pulver eingetaucht, so daß es gut an diesem haftet. Taucht man den glühenden Draht in das Aufbewahrungsgefäß, dann wird durch die örtliche Erhitzung das Pulver zusammengeballt, bröcklig und unwirksam. Einem großen Schmelzbade, beispielsweise bei Gußeisenwärmeschweißungen, führt man kleinere Mengen des Pulvers von Hand (aufstreuen), größere Mengen am besten mit einem langstieligen Eisenlöffel zu.

III. Die Technik der Gasschweißung.

A. Allgemeines über die Technik des Schweißens.

1. Die Schweißflamme.

Allgemeines. Sofern nicht besonders bemerkt, beziehen sich die folgenden Betrachtungen ausschließlich auf das Schweißen mit der Azetylen-Sauerstoffflamme. Die Einstellung der Schweißflamme richtet sich nach den Eigenschaften der verschiedenen Metalle und ihrer Legierungen. Abgesehen davon, daß die physikalischen Bedingungen des Flammenbildes durch den Schweißer in nur engen Grenzen beeinflußt werden können, weil bestimmte Ausströmungsverhältnisse nicht ohne Störung des Brennerbetriebes willkürlich verändert werden können, ist in manchen Fällen ein von der normalen „neutralen“ Flamme abweichendes Gasmischungsverhältnis erwünscht. Damit dürfen die Begriffe „weiche“ oder „harte“ Flamme, die vom Sauerstoffdruck abhängig sind, nicht verwechselt werden.

Neutrale Flamme. Bei der Schweißung von Stahl ist, von wenigen, später erwähnten Fällen abgesehen, auf eine neutrale Einstellung der Flamme zu achten und die mit „Entmischung“ bezeichnete Erscheinung im Verlaufe der Schweißung durch erhöhte Azetylenzufuhr zu beseitigen (Regelung am Brenner-Gashahn). Unter den gleichen Bedingungen werden geschweißt: Stahlguß, Temperguß, Kupfer, Bronze, Nickel, Zink, Blei (Aluminium). Versäumte Flammeneinstellung während des Schweißens hat stets Sauerstoffüberschuß zur Folge, der vor allem bei der Schweißung von Kupfer und Nickel peinlichst vermieden werden muß, weil sich Oxydeinschlüsse bei diesen Metallen besonders ungünstig auswirken (Sprödigkeit, Dickflüssigkeit, Überhitzung). Die anderen Metalle sind weniger empfindlich. Auch ein Azetylenüberschuß wäre falsch, da dessen Zerfallstoffe Kohlenstoff und Wasserstoff vom Schmelzbade aufgenommen werden können. Eine Kohlenstoffaufnahme ist bei Stahlguß und Temperguß zu erwarten und eine solche von Wasserstoff bei Stahlguß, Kupfer, Aluminium und Nickel (Porenbildung, Ribßgefahr), die sich während des Schweißens im Schäumen des Bades bemerkbar macht. Aus diesem Grunde ist ein langsames Erstarren der Schmelze erwünscht, um dem etwa gelösten Gas ein Entweichen zu ermöglichen.

Azetylenüberschuß. Er wird dort angewendet, wo Sauerstoffempfindlichkeit der Schmelze vorliegt, z. B. bei hochgekohltem Stahle. Auf diese Weise soll der durch Oxydation verloren gegangene Kohlenstoffanteil ersetzt werden. Das gleiche gilt für Gußeisen, bei dem der Azetylenüberschuß sogar reichlich sein kann, zumal bei diesem für eine Weicherhaltung der Schweiße gesorgt werden muß. Obgleich eine metallurgische Begründung für die in der Praxis häufig vertretene Ansicht, auch Aluminium mit einem Azetylenüberschuß schweißen zu müssen, nicht erbracht werden kann, wird eine solche Flammeneinstellung vom Standpunkt verminderter Oxydationsmöglichkeit vertreten werden können, da eine Kohlenstoffaufnahme nicht stattfindet. Dabei darf jedoch der Gasüberschuß nur gering bemessen werden, weil sonst mit einer porenbildenden Wasserstoffaufnahme zu rechnen ist.

Sauerstoffüberschuß. Unter allen Metallen ist lediglich Messing mit einem erheblichen Sauerstoffüberschuß zu schweißen. Dieser kann bis zu 30 vH betragen und soll — wie später bei der Besprechung der Messingschweißung noch dargelegt wird — die Ausdampfung von Zink und damit die Porenbildung verhindern. Ein noch höherer Überschuß an Sauerstoff (bis zu 40 vH) ist bei einigen Sondermessingen notwendig. Neuere, z. T. aushärtbare Kupfer-Sonderlegierungen, die

sich beim Schweißen dem Messing ähnlich verhalten, werden ebenfalls mit bis zu 20 vH Sauerstoffüberschuß geschweißt.

Mit Rücksicht darauf, daß auch bei der neutral eingestellten Flamme innerhalb ihres Kerns Azetylen und Sauerstoff im unverbrannten Zustande vorhanden sind, können beim Eintauchen dieses Kerns in das Schmelzbad dieselben Vorgänge eintreten, wie dies für mit Sauerstoff- oder Azetylenüberschuß eingestellte Flammen dargelegt wurde. Daher muß schon aus diesem Grunde der früher angegebene Abstand zwischen Kernspitze und Werkstoffoberfläche eingehalten werden (2 bis 5 mm, je nach Flammengröße). Außerdem hat das Eintauchen des Flammkerns in das Schmelzbad eine starke Erhitzung der Schweißdüse und damit häufiges Knallen des Brenners, schlimmstenfalls sogar Abschmelzung der Kupferspitze zur Folge. Durch eine Verkürzung der Entfernung zwischen Brennerdüse und Werkstoffoberkante wird außerdem das Arbeitsvermögen der zu nahe gebrachten Flamme erhebliche Mengen geschmolzenen Metalls aus dem Schmelzbad herauschleudern, und es entstehen unsaubere, schlecht verbundene Schweißstellen.

Flammengröße. Die auf den Brennereinsätzen eingeschlagenen Größenangaben beziehen sich durchweg auf die Schweißung von Stahlblechen. Für die Wahl der Flammengröße sind jedoch nicht allein die Blechdicke, sondern auch die Maße des Werkstücks, die Art des Metalls, dessen Schmelzwärme, Wärmeleitfähigkeit u. a. maßgebend. Gerade dem Anfänger verursacht es einige Schwierigkeiten, sich gefühlsmäßig auf diese Dinge einzustellen, um so mehr, als man allgemein gültige Regeln hierfür nicht aufstellen kann. So macht z. B. Kupfer unter allen Metallen insofern eine Ausnahme, als es trotz seines wesentlich niedrigeren Schmelzpunktes größere Schweißflammen erfordert als Stahl, weil das Wärmeleitvermögen des Kupfers etwa neunmal so groß ist. Das Aluminium, dessen Wärmeleitvermögen annähernd in der Mitte zwischen Stahl und Kupfer liegt und dessen Schmelzpunkt nur etwas mehr als die Hälfte desjenigen des Kupfers beträgt, kann mit derselben Flammengröße wie Stahl bearbeitet werden.

Im Gegensatz hierzu werden wärmeempfindliche Stähle und solche mit geringem Wärmeleitvermögen, z. B. Chromnickelstähle, mit viel kleineren Flammen geschweißt als Stahl. Im einzelnen wird hierauf noch eingegangen. Im Hinblick darauf, daß die Schweißzeit und die Dauer der Einwirkung des Luftsauerstoffs und -stickstoffs, sowie der Endergebnisse der Flammenverbrennung für die Güte der Schweiße ausschlaggebend sind, wird im allgemeinen eine größere Flamme günstiger sein. Mit anderen Worten: Je schneller eine Schweißung durchgeführt wird, um so besser und auch um so wirtschaftlicher ist sie. Jedoch darf die Flammengröße nicht auf Kosten der Güte der Schweißung übersteigert werden, vor allem dann nicht, wenn es sich um die Bearbeitung wärmeempfindlicher Werkstoffe handelt.

2. Die Führung des Schweißbrenners.

Schweißrichtung. Ursprünglich, als nur die Schweißung mit Wasserstoff-Sauerstoff ausgeübt wurde, benutzte man das nach heutigen Begriffen mit Rechtsschweißung bezeichnete Verfahren. Mit der Einführung der Azetylschweißung ergaben sich hauptsächlich bei der Bearbeitung dünner Bleche, die anfänglich allein in Frage kamen, insofern Schwierigkeiten, als die heißere Flamme leicht zu Lochschmelzungen führte. Das dürfte der einzige Grund dafür gewesen sein, weshalb man die Schweißrichtung änderte und die mit Linksschweißung bezeichnete Art einführte. Erst nachdem auch dickere Bleche in steigendem Maße geschweißt wurden und die Wasserstoffflamme ihre einstmalige Bedeutung

gänzlich einbüßte, besann man sich wieder auf die Rechtsschweißung. In diese Zeit fallen die unterscheidenden Bezeichnungen Vorwärts- und Linksschweißung, sowie Rückwärts- und Rechtsschweißung, die im folgenden durch die eindeutigen Begriffe Nachlinks- und Nachrechtsschweißung ersetzt werden.

Nachlinksschweißung. Sie wird hauptsächlich bei der Verarbeitung von Stahlblechen bis zu 4 mm Dicke, bei Gußeisen, Temperguß und anderen gegossenen Werkstoffen fast ganz allgemein und auch bei den meisten Nichteisenmetallen, unabhängig von deren Dicke, angewendet.

Die Haltung des Brenners bei Parallelführung zwischen Handgriff (Brennerschaft) und Schweißnaht geht aus Abb. 109 hervor. Bekanntlich bildet die Mischdüse mit dem Brennergriff normalerweise einen Winkel von 135° . Daraus ergibt sich bei Parallelführung des Handrohres mit der Schweißfläche ein Schweißwinkel von 45° , wie er für die Schweißung der am häufigsten vorkommenden Blechdicken gerade passend ist. Die Stellung entspricht der Lage *a* in Abb. 109.

Für die Schweißung dünnerer Bleche (unter 2 mm) ist ein so großer Einstellwinkel unzweckmäßig, weil leicht Löcher eingeschmolzen werden. Man wird daher bei dünneren Blechen, besonders aber auch bei der Schweißung dünner Nichteisenmetalle mit niedrigem Schmelzpunkt, wie z. B. bei Aluminium, Zink und Blei, dem Brenner einen kleineren Anstellwinkel von etwa 25° geben (*d* in Abb. 109) und den Brennerschaft rechtwinklig

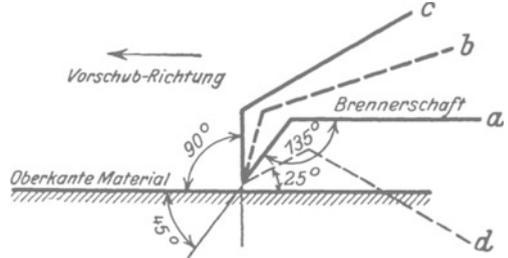


Abb. 109. Anstellwinkel des Schweißbrenners beim Nachlinksschweißen.

zur Naht halten, da sonst das Handrohr in das Blech hineinragen müßte, was natürlich unmöglich ist. Zur Verhütung des Fortblasens geschmolzenen Metalles aus der Schweißfuge auf noch ungenügend vorgewärmte, d. h. nicht im Flusse befindliche Metallstellen, erhöht man bei Verwendung größerer Brenner (bei Blechen über 5 mm) den Anstellwinkel über 45° hinaus (*b* in Abb. 109) bis er schließlich bei dicken Blechen etwa 90° erreicht (Stellung *c*). Hierdurch ist auch ein besseres Durchschweißen gewährleistet. Die Haltung des Brenners richtet sich demnach in erster Linie nach der Blechdicke.

Aus dem jeweiligen Wärmezustand der Schweißnaht sind drei verschiedene Schweißgeschwindigkeiten abzuleiten, auf die bei der Haltung des Brenners Rücksicht zu nehmen ist. Zunächst wird bei Beginn der Schweißung ein größerer Teil der Flammenwärme an das Werkstück abgegeben; es dauert eine gewisse Zeit (entsprechend dem Wärmeleitvermögen des Metalls), bis die Schweißstelle in Fluß kommt (Vorwärmzeit). Man wird darum die Flamme zu Arbeitsbeginn möglichst senkrecht auf das Schweißgut halten, um es örtlich rascher zu verflüssigen (*c*, Abb. 109). Dann tritt nach dieser verzögerten Arbeitsgeschwindigkeit die normale ein, während welcher der Brenner in der vorher geschilderten Weise geführt wird. Gegen Ende der Schweißnaht staut sich die Wärme, da ja die Flamme der Kante des Bleches immer näher kommt. Man merkt dies sehr bald daran, daß die Naht das Bestreben hat, breiter zu werden. Um die Naht auf ihrer ganzen Länge gleich breit zu halten, muß die Arbeitsgeschwindigkeit gegen Ende der Schweißung beschleunigt werden. Die Flamme wird schräger gehalten (*d*, Abb. 109), damit sie über das Blech hinwegstreicht und den Werkstoff weniger stark erhitzt.

Im übrigen hat sich die Brennerführung den Abmessungen des Werkstücks und der Stellung, die der Schweißer zu diesem einzunehmen gezwungen ist,

anzupassen. Auch bei der Schweißung dicker Bleche wird man, um die brennerführende Hand vor der rückstrahlenden Wärme zu schützen, den Brenner rechtwinklig zur Naht halten, so daß sich die Hand nicht über, sondern neben der Naht befindet.

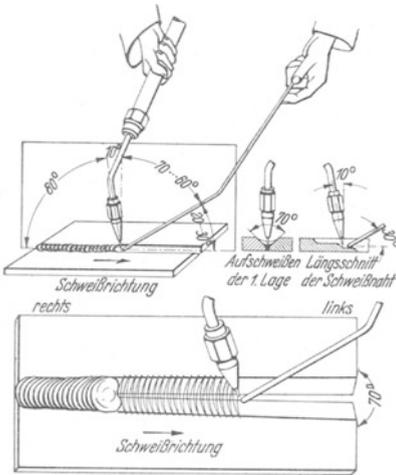


Abb. 110. Nachlinksschweißung.

Wie Abb. 110 zeigt, wird bei der Nachlinksschweißung — man hat sich vor dem Schweißer stehend zu denken — der Schweißdraht, bezogen auf die Bewegungsrichtung, vor der Flamme abgeschmolzen. Die rechte Hand führt den Brenner, die linke den Schweißdraht, was auch für die Nachrechtsschweißung das gleiche bleibt. Bei der Nachlinksschweißung wird der von rechts nach links geführte Brenner bei dünneren Blechen geradlinig, bei dickeren pendel- oder kreisförmig bewegt. Die geradlinige Bewegung ist im allgemeinen nur bei unabgeschrägten Blechkanten, also beim Bördel- oder I-Stoß möglich, während bei abgeschrägten Blechkanten (V- und X-Stoß) die Flamme auch quer zur Naht bewegt werden muß, um eine ausreichende Verflüssigung der Werkstoffränder zu erzielen. In

der unteren Skizze der Abb. 110 ist eine pendelförmige Bewegung der Flamme angedeutet; der Schweißdraht kann gegebenenfalls geradlinig bewegt werden.

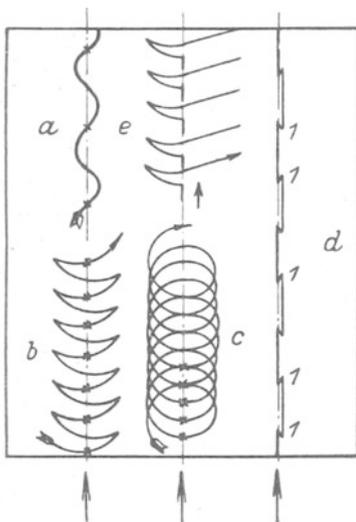


Abb. 111. Brennerbewegung beim Nachlinksschweißen.

Es ist verständlich, daß sich aus diesen Möglichkeiten eine Verschiedenartigkeit der Brennerbewegung entwickelt hat, wie sie in Abb. 111 veranschaulicht ist. Die einfachste Brennerbewegung ist natürlich die, bei welcher der Brennevorschub gleichmäßig und geradlinig erfolgt, wobei eine schmale, flache oder schwachkonkave (wenn ohne Draht geschweißt wird), dabei aber gleichmäßig saubere Naht von einem der Lötnaht ähnlichen Aussehen entsteht, etwa entsprechend *a* in Abb. 112. Auch die wellenförmige Bewegung im Sinne von *a* in Abb. 111, die selten angewendet wird, kommt nur für dünne Bleche in Frage. Bei Verwendung von Zusatzdraht wird eine konvexe Nahtüberhöhung dadurch erzielt, daß man, wie das Bild zeigt, jedesmal dann einen Tropfen flüssigen Metalles zusetzt, wenn die Schlangelinie die Schweißfuge schneidet. Die weitaus meist gebräuchliche Brennerbewegung entspricht *b* in Abb. 111, wobei eine Kette kreissegmentartiger Pendelbewegungen entsteht. Die Flamme

wird während des Vorschubs von der Nahtmitte in gleichen Abständen seitlich hin und her bewegt. Die nur bei dicken Blechen und selten anzutreffende spiralförmige Brennerbewegung (*c* in Abb. 111) setzt eine Steilhaltung der Flamme voraus. Während bei der Brennerbewegung nach *a* und *b* in Abb. 111, je nachdem, ob Draht zugesetzt wird oder nicht, die in *a*, *b*, *c* und *e* der Abb. 112 skizzierten gleichmäßigen

Schuppennähte (Raupen) entstehen, sind bei abweichender Bewegungsart ungleichförmige Oberflächen der Schweiße fast unvermeidlich. Nebenbei bemerkt, lassen sich aus dem Nahtaussehen auch auf den Schweißwinkel Rückschlüsse ziehen. Eine steile Brennerhaltung zeitigt angenähert kreisförmige Schuppenbildung (*e* in Abb. 112). Wird der Brenner unter etwa 45° geführt, so entspricht das Nahtaussehen *b* in Abb. 112 und bei besonders großer Schräghaltung der Flamme von etwa 30° weist die Nahtbildung *c* eine länglich geformte Schuppenkette auf. Zusammengefaßt: Je steiler die Brennerhaltung, um so kreisrunder die Schuppen.

Eine glücklicherweise seltenere, streng genommen als töricht zu bezeichnende, ebenso schlechte wie widersinnige Flammenführung ist bei *e* in Abb. 111 skizziert. Die Flamme wird ein kurzes Stück auf der Mitte der Stoßfuge nach links oder rechts, jedoch nur nach einer Seite, segmentbogenartig bewegt, dann bei jedesmaligem Vorschub seitlich abgelenkt. Das ist schon aus dem Grunde falsch, weil beim Abgleiten der Flamme die hochoverhitzte Schweißstelle jedesmal der oxydierenden Einwirkung des Luftsauerstoffs ausgesetzt wird. Diese und alle ähnlichen Brennerbewegungsarten sind zu vermeiden. Während der ganzen Dauer der Schweißung darf die Flamme von der Naht nicht abgehoben werden.

Das tropfenweise Einschmelzen des Drahtendes in die Schweißfuge erfolgt an den in Abb. 111 mit „x“ gekennzeichneten Stellen, demnach immer nur dann, wenn die Flamme die Mitte der Stoßfuge trifft. Es mag dies zunächst als unausführbar angesehen werden, da diese fast maschinenmäßige Führung von Brenner und Draht abwegig erscheint und der gefühlsmäßigen Arbeit des Schweißers offenbar zu wenig Spiel läßt. Demgegenüber muß festgestellt werden, daß keine der als richtig gekennzeichneten Arbeitsweisen dem erfahrenen Schweißer Schwierigkeiten verursacht. Trotzdem sollte die von ihm geübte Arbeitsweise, sofern sie zweckmäßig ist, ohne weiteres zugelassen werden.

Endlich sei noch eine weniger übliche Brennerbewegung erwähnt, wie sie *d* in Abb. 111 kennzeichnet. Allerdings waren die bisherigen Darstellungen *a* bis *c* so aufzufassen, daß man von oben die Bewegung der Brennerspitze verfolgte. *d* ist eine Seitenansicht. Beim Vorschub der Flamme wird an den Punkten 1 Werkstoff eingeschmolzen und darauf die Flamme um eine sehr kurze Strecke rückwärts bewegt, im übrigen aber geradlinig ohne seitliche Ablenkung und ohne Höhenunterschiede gearbeitet. Diese Arbeitsweise gewährleistet ein gutes Verschmelzen des aufgetragenen Werkstoffs mit dem Grundmetall, kommt aber nur bei der Schweißung dünner Bleche vor.

Beim Zusammenschweißen ungleich dicker Bleche ist natürlich die Flamme immer mehr auf den die größere Masse ausmachenden Teil, bei Blechen also auf das dickere zu halten, damit beide Teile an der Schweißstelle möglichst gleichzeitig flüssig werden. Künftighin ist die Richtung, in welcher die Flamme das Schweißgut treffen soll, in allen Abbildungen durch kleine Pfeile angedeutet.

Der von ungeübten, lernenden Schweißern ausgeführten Naht fehlt jede Gleichmäßigkeit und der aufgetragene Werkstoff ist ganz wahllos, meist auf noch nicht im Flusse befindliche Stellen, verteilt. Die Enden des Blechstoßes (2 in Abb. 112 *d*) sind angeschmolzen und die angeklebten „Patzen“ liegen häufig zu mehreren nebeneinander, ohne daß sie miteinander verbunden sind.

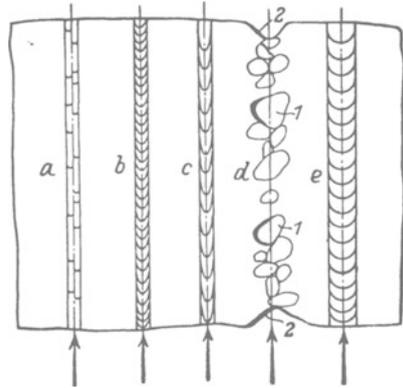


Abb. 112. Aussehen der Schweißnaht.

Mitunter ist die Flamme vorgeeilt, ohne die Blechkanten geschmolzen zu haben oder es bilden sich Löcher (1 in Abb. 112 d), die beim Versuche, sie zuzuschweißen, mangels Übung statt kleiner immer größer werden. Daß solche Nähte gänzlich unbrauchbar sind, braucht wohl nicht besonders betont zu werden.

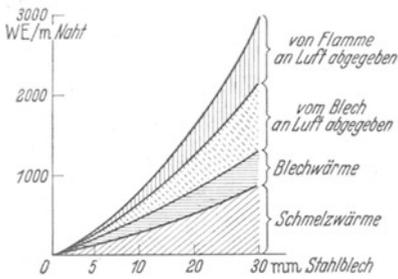


Abb. 113.
Wärmebilanz der Nachlinksschweißung.

In diesem Zusammenhange muß ausdrücklich betont werden, daß durch bestimmte Fehler in der Arbeitsweise und Brennerhaltung die Wirtschaftlichkeit des Schweißens wesentlich geschmälert werden kann. Zu große Entfernung der Flamme vom Schmelzbade, ihr häufiges Abheben, zwecklos rasches Bewegen und Umherirren mit der Flamme, unzulängliche Arbeitsgeschwindigkeit, zu dünner Schweißdraht u. a. sind stets falsch und wärmevergeudend.

Muß die Schweißung aus irgendeinem Grunde vorzeitig unterbrochen werden (Gas-mangel, Arbeitspause, Ausrichten usw.), dann ist darauf zu achten, daß das Ende der bereits geschweißten Naht vor dem Auftragen neuen Drahtes gut angewärmt und je nach Blechdicke auf 5÷20 mm Länge wieder aufgeschmolzen wird, damit die Stelle, an der die Arbeit unterbrochen wurde, nicht unverbunden bleibt und nicht undicht wird. Es ist immer darauf Wert zu legen, Schweißarbeiten möglichst ununterbrochen zu Ende zu führen, schon um die an sich großen Wärmeverluste nicht unnützlich zu steigern.

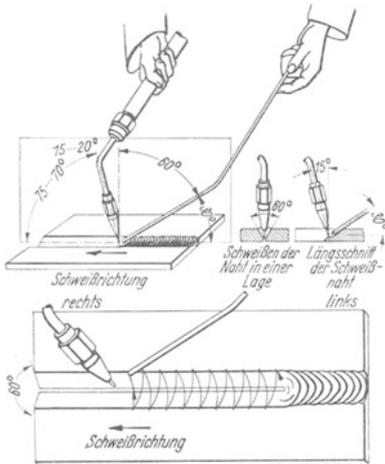


Abb. 114. Nachrechtsschweißung.

gegeben ist, wodurch nur ein „Kleben“ und keine haltbare Verbindung entsteht. Die Neigung zum Vorlaufen flüssigen Metalls und dessen Herausschleudern aus dem Schmelzbade wächst mit der Starrheit der Flamme (Austrittsgeschwindigkeit). Aus diesem Grunde ist Anfängern bei der Nachlinksschweißung dickerer Bleche ein Schräglegen des zu schweißenden Stoßes (in der Arbeitsrichtung steigend) anzuraten. Die Schweißung beginnt dann am tiefsten Punkte der unter etwa 25° gelegten Bleche. Hierdurch kann man einigermaßen damit rechnen, daß die Naht in der richtigen Dicke aufgetragen und das flüssige Eisen nicht vor der Flamme hergetrieben wird.

Außerdem tritt bei der Nachlinksschweißung eine oft unerwünscht rasche Erstarrung der hinter der Flamme gelegenen fertigen Schweißung ein, da ja, wie

Trägt man die auf eine regelrechte Stahlblechschweißung bezogene Wärmebilanz für 1 m Naht zeichnerisch auf, so entsteht etwa das Schaubild der Abb. 113. Es läßt bedeutende Wärmeverluste erkennen und zeigt, wie nur ein Bruchteil der aufgewendeten Wärmeenergie für den eigentlichen Schweißvorgang nutzbar gemacht werden kann, während der viel größere Rest durch Ableitung und Strahlung verloren geht. Damit wird die durch schlechte Arbeitsweise gesteigerte Unwirtschaftlichkeit verständlich.

Als ein besonderer Nachteil der Nachlinksschweißung muß der Umstand angesehen werden, daß vor allem bei dicken Blechen die Gefahr des Vorlaufens verflüssigten Werkstoffs auf noch nicht aufgeschmolzene Blechteile

Abb. 115 *I* etwas deutlicher veranschaulicht, der größere Flammenteil *c* auf die offene Nahtfuge gerichtet und damit nebenbei auch die Möglichkeit stärkeren Verzuges der Blechränder gegeben ist. Im Gegensatz zur Nachrechtsschweißung wird der Schweißer bei dieser Arbeitsweise gern dazu verleitet, die Flamme auf die bereits fertige Schweißung zurückzuziehen, um deren Oberfläche mit oder ohne Drahtzusatz zu glätten.

Nachrechtsschweißung. Sie wird hauptsächlich bei der Verbindungsschweißung von über 5 mm dicken Stahlblechen angewendet, seltener bei bestimmten Nichteisenmetallen und praktisch kaum bei gegossenen Werkstoffen. Sie unterscheidet sich, wie Abb. 114 zeigt, von der Nachlinksschweißung grundsätzlich dadurch, daß bei ihr die Flamme nur geradlinig und nicht pendelnd, dagegen der Draht seitlich schnell hin und her bewegt wird. Auf die Schweißrichtung bezogen, wird der Draht nicht vor, sondern hinter der Flamme geführt; die Schweißung verläuft, vom Standort des Schweißers aus gesehen, von links nach rechts. Dabei entsteht naturgemäß auch eine entgegengesetzt gerichtete Schuppenkette (Raupe), wie dies in Abb. 115 *II* zum Ausdruck kommt. Hinter der geradlinig geführten Flamme *b* folgt der im Schmelzbade kräftig schürfende oder schabende Bewegungen ausführende und seitlich schnell pendelnde Draht *a*. Mithin ist dem Schweißer keine so große Freiheit in der Brennerführung und -bewegung belassen wie beim Nachlinksschweißen. Die Flamme ist auf die fertige Schweißung gerichtet, ihr oberer Teil bestreicht die Oberfläche der fertigen Raupe, ihr unterer Teil die Fugenränder von unten und wärmt sie für ein gutes Durchschweißen vor. Die Stellung des Drahtes (\sphericalangle α) und der Flamme (\sphericalangle β) zueinander innerhalb der Schweißfuge kommt besser noch in Abb. 116 zum Ausdruck, die eine sog. später noch zu besprechende Dreiblechschweißung darstellt.

Daß sich diese Winkel praktisch nicht genau und ununterbrochen einhalten lassen, ist selbst verständlich. Doch gibt es ein einfaches Mittel zur Beobachtung der richtigen Arbeitsweise und Flammengröße, das ist eine die Nachrechtsschweißung besonders kennzeichnende birnenförmige Erweiterung des Fugengrundes unmittelbar unterhalb der Flammenkegelspitze, wie dies bei *b* in Abb. 115 *II* angedeutet ist. Diese Erweiterung, d. h. Ausschmelzung der Fugenkanten auf das etwa 1,5fache des Spaltes bietet die Gewähr für ein gutes Durchschweißen, was gerade bei dieser Schweißart leicht erreicht wird. Am Fugengrunde bildet sich eine gleichmäßige Unterraupen aus, die gut abbündet und ein äußerliches Kennzeichen für einwandfreies Durchschweißen darstellt.

Die Gefahr des Vorlaufens flüssigen Werkstoffs auf noch unangeschmolzene Metallteile ist viel geringer und die Ausübung dieser Arbeitsweise leichter als bei der Nachlinksschweißung. Da sich dem Schweißer keine Möglichkeit bietet, die bereits erstarrte Raupe durch Zurückstreichen der Flamme nochmals anzuschmelzen und oberflächlich auszugleichen, haben die Raupen gegenüber den nachlinksgeschweißten meist ein etwas weniger schönes, d. h. weniger gleichmäßiges Oberflächenaussehen. Dafür aber ist, und das ist viel wesentlicher, das

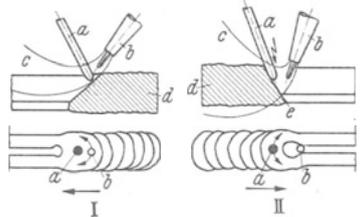


Abb. 115. Draht- und Brennerführung sowie Schuppenkette (*I* Nachlinksschweißung, *II* Nachrechtsschweißung).

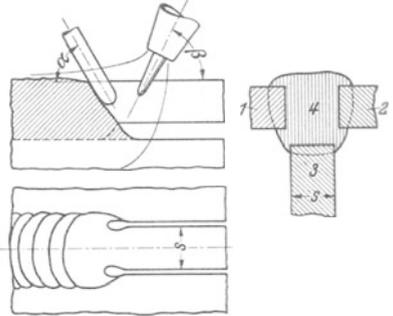


Abb. 116. Dreiblechschweißung.

Schweißgefüge besser, Bundefehler und Oxydeinschlüsse sind viel seltener und außerdem ist diese Arbeitsweise infolge günstiger Wärmeausnutzung wirtschaftlicher.

3. Vorbereitung der Werkstücke.

Allgemeines. Die dem Schweißvorgang folgerichtig angepaßte Werkstückvorbereitung hat zwei Aufgaben zu erfüllen:

1. Sie soll ein gutes Durchschweißen der vollen Werkstoffdicke und eine einwandfreie Verschmelzung zwischen Werkstoff und Schweißdraht gewährleisten.

2. Sie soll die durch die Wärmebehandlung auftretenden Spannungerscheinungen berücksichtigen.

Beide Punkte werden des besseren Verständnisses halber getrennt behandelt. Die Vorbereitung richtet sich außerdem nach der Schweißungsart, ob Rechts- oder Links-, ob Auftrags- oder Verbindungsschweißung. Die Auftragsschweißung verlangt nur eine oberflächliche Säuberung der aufzutragenden Teile von Schmutz, Öl, Rost usw. Dagegen macht die Verbindungsschweißung meist eine Bearbeitung der Schweißränder notwendig, z. B. durch Bördeln, Auskreuzen, Abschrägen, Abdrehen usw., wobei es gleichgültig ist, ob es sich um gewalzten oder gegossenen Werkstoff und um die verschiedenen Metalle handelt.

Für alle praktisch möglichen Verbindungsformen hat der „Fachausschuß für Schweißtechnik“ im VDI in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Normenausschuß das Normblatt DIN 1912 herausgegeben, in welchem schweißtechnische Zeichen und Begriffe in Skizzen erläutert und in Sinnbildern für Zeichnungen festgelegt sind¹.

Stumpfschweißung. Alle Verbindungen, die in planparalleler Lage der Bleche — und um solche handelt es sich zunächst — hergestellt sind, bezeichnet man mit Stumpfschweißung. Abb. 117 bietet eine Übersicht über die verschiedenen betriebsmäßig angewendeten Stumpfstöße, deren Gestaltung ausschließlich von der Blechdicke a abhängt. Bleche zwischen 1,5 und 4 mm Dicke sind am leichtesten schweißbar, dünnere und dickere verlangen eine größere Handfertigkeit des Schweißers.

Zu den mit Buchstaben a bis f bezeichneten Stumpfverbindungen (Abb. 117) zählen: Der Bördelstoß (a), der I (J)-Stoß (b), der V (Vau)-Stoß (c und d) und der Doppel-V- oder X (Jx)-Stoß ($e + f$). Der bei der Lichtbogenschweißung, aber auch dort nur für sehr dicke Bleche angewandte U- oder Doppel-U-Stoß² kommt für die Gasschweißung nicht in Frage.

Bleche von 1÷4 mm Dicke schweißt man meist im I-Stoß, also im Sinne der Skizze b , und zwar in Nachlinksschweißung. Die beiden Blechstöße werden stumpf gegeneinander gelegt, wobei ein geringer Abstand d von 1÷2 mm zweckmäßig sein kann, um ein gründliches Durchschweißen zu gewährleisten. Die Blechränder brauchen demnach nicht besonders bearbeitet zu werden.

In Abb. 119 sind einige Sonderfälle mit B und C bezeichnet, wie sie bei der Schweißung sehr dünner Nichteisenmetalle vorkommen, deren Übergang vom festen in den flüssigen Zustand sehr plötzlich einsetzt. Dabei haben die der Schmelzstelle benachbarten, hochoverhitzten Teile oft so geringe Festigkeit, daß sie schon durch die Last ihres Eigengewichtes einbrechen, wodurch Einsenkungen

¹ Auf die Wiedergabe der Normblätter wird hier mit Rücksicht auf den Raummangel verzichtet. Sie sind zu RM. 0,75 je Stück durch den Beuth-Vertrieb, Berlin SW 19, erhältlich. Zur Zeit sind Bestrebungen im Gange, für Zeichen und Begriffe internationale Normen zu vereinbaren.

² Schimpke-Horn: Bd. II, S. 134.

(B) oder gar Lochbildungen auftreten können. Man kann dem entgegenwirken, indem im Gegensatz zur bisher und auch späterhin als freiliegend zu denkenden Schweißfuge eine Unterlage, z. B. eine Flacheisenschiene (C), vorgesehen wird. Der erhitzte Werkstoff wird dann von der Unterlage getragen und der geschmolzene Werkstoff kann nur den Raum der Nute ausfüllen, aber nicht absacken.

Auch Bleche unter 1 mm Dicke lassen sich bei einiger Übung nach Abb. 117 *b* schweißen. Doch ist, wo eben zugänglich, die Bordschweißung (*a*) anzuraten, die das Arbeiten sehr erleichtert. Hier wird nur der möglichst geringe Bord *c* (je nach Blechdicke möglichst nur $1 \div 2$ mm hoch) bis zur Blechoberfläche niedergeschmolzen, und zwar ohne Zusatzwerkstoff, da der Bord den Schweißdraht ersetzt. Die Bord- oder Bördelschweißung hat den Vorteil, daß die unter Einwirkung der Flamme sich stark verziehenden dünnen Bleche sich weniger werfen und weniger Übung erforderlich ist. Aus diesem Grunde verfährt man ebenso bei der Herstellung aus zwei Teilen bestehender gestanzter oder gepreßter Blechhohlkörper. Zotten, Henkeln, Stockgriffen, Türdrückern, Radiatoren und ähnlichen aus zwei Teilen zusammengesetzten Blechkörpern gibt man, ganz gleich ob sie von Hand oder maschinell geschweißt werden, stets einen entsprechenden Schweißbord. Die hin und wieder anzutreffende Ansicht, Dünnbleche zu falzen und dann einseitig entlang dem Falze zu schweißen, ist unrichtig, da solche Nähte sehr unsauber aussehen und der Blechkörper sich meistens stark wirft. Entweder falzt man oder man schweißt; eine Ausnahme ist nur dann am Platze, wenn die gefalzte Naht im Betriebe nicht dicht zu bringen ist.

Über 4 mm dicke Bleche werden meist nach Art der Skizze *d* in Abb. 117 vorbereitet, d. h. die zu verbindenden Blechkanten werden abgeschrägt, so daß eine Schweißmulde mit dem Winkel α entsteht. Dieser Winkel beträgt $60 \div 70^\circ$ und ist davon abhängig, ob nachlinks- oder nachrechts-geschweißt wird. Im letzten Falle kommt der kleinere Winkel zur Anwendung. Die beiderseitige Abschrägung macht demnach $30 \div 35^\circ$ aus. Da die hierdurch entstehende Schweißfuge — manchmal mit Schweißhaltung bezeichnet — V-förmig ist, spricht man von einem V-Stoß. Die Mulde wird durch Schweißdraht ausgefüllt, wie dies bereits für den Spalt *d* in Skizze *b* gesagt worden ist. Um Zweifel auszuschließen, sei jedoch darauf hingewiesen, daß bis zu 2 mm dicke Bleche, nach *b* geschweißt, auch ohne Drahtzusatz verbunden werden können, wenn eine besondere Festigkeitsbeanspruchung nicht vorliegt. Der Unterschied zwischen *c* und *d* beruht darauf, daß die Abschrägung der Blechränder bei *d* nicht bis auf den Grund erfolgt, sondern vielmehr eine geringe Höhe *b* von etwa $1,5 \div 3$ mm unabgeschrägt stehen bleibt. Hierdurch wird erreicht, daß scharfe Blechkanten vermieden werden, da diese beim Schmelzen erfahrungsgemäß durch Wärmerstauung überhitzt oder gar verbrannt werden. Es ist selbstverständlich, daß eine Flamme, die die volle Blechdicke durchzuschmelzen vermag, auch die geringe stehengebliebene Kante *b* erfaßt und ein gutes Durchschweißen gewährleistet ist.

Bei Blechdicken über 15 mm verfährt man meist nach Skizze *e*. Die Blechränder werden, sofern eine doppelseitige Schweißung technisch durchführbar ist, beiderseitig ausgevaut, so daß sich ein X-förmiger Blechstoß ergibt. Diese

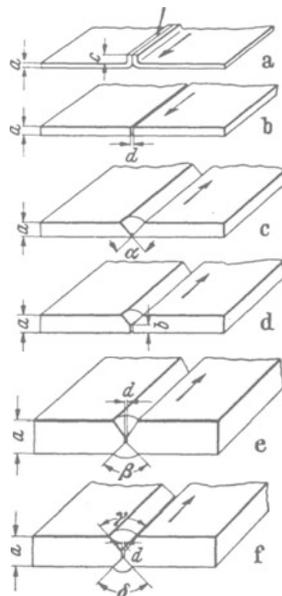


Abb. 117. Stumpfschweißungen.

Vorbereitung setzt eine beiderseitig gleichzeitige und stehende Schweißung voraus. Die Abschragungswinkel β , die gleichförmig sind, betragen $50 \div 70^\circ$ und der Schweißspalt d beträgt $2 \div 3$ mm. Die im Scheitel unabgeschrägt bleibende Kante entspricht b in Abb. 117 *d*. Da das doppelseitig gleichzeitige Schweißen mit zwei Flammen wegen der besseren Wärmeausnutzung nicht allein wirtschaftlich, sondern auch schweißtechnisch günstiger ist, werden häufig auch schon dünnere Stahlbleche, fast immer aber Kupferbleche von über 5 mm Dicke in dieser Weise verschweißt.

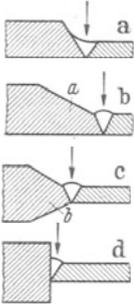


Abb. 118.
Stumpfstöße
ungleicher
Blechdicken.

Schließlich ist die Vorbereitung eines ungleichen X-Stoßes bei *f* angedeutet. Er wird dann vorgesehen, wenn nicht beiderseitig gleichzeitig geschweißt werden kann. In diesem Falle wird zuerst die größere Mulde γ ($60 \div 70^\circ$) und nach deren Fertigstellung die Gegenseite, die Mulde δ von $40 \div 50^\circ$ Abschragung geschweißt. *d*, *e* und *f* werden meist in Rechtsschweißung ausgeführt.

Stumpfstöße ungleicher Blechdicken. Bisher wurde die Bearbeitung gleich dicker Bleche angenommen. In der Praxis trifft dies jedoch häufig nicht zu. Selbst im Apparatebau sind dünne und dicke Bleche oder Formeisen mit Blechwänden u. a. miteinander zu verbinden, was eine besondere Vorbereitung der Schweißränder notwendig macht, wie dies in Abb. 118 veranschaulicht wird. Ist der Unterschied in den zu verbindenden Blechdicken unerheblich,

so verfährt man nach *a*, indem beide Blechränder mit gleichen Winkeln abgeschrägt werden. Wenn der Unterschied in der Blechdicke fast das Doppelte oder mehr ausmacht, dann muß das dickere Blech (118 *b* bei *a*) stärker abgeschrägt und allmählich an die Schweißnaht verlaufend angeschlossen werden. Machen konstruktive Gründe das Ansetzen des dünneren Bleches an etwa die

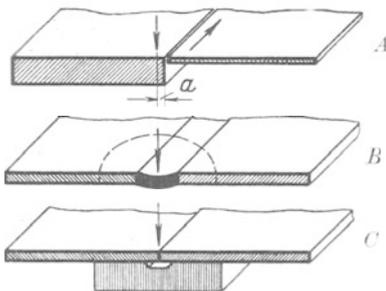


Abb. 119. Vorbereitungsarbeiten bei
besonderen Schweißungen.

Mitte des dickeren Bleches notwendig, dann kann dies nach *c* geschehen, wobei das dickere Blech (*b*) vorbereitet wird. Grundsätzlich falsch wäre *d*, da ein solcher Stoß niemals einwandfrei geschweißt werden kann, ganz gleich ob die Bleche in der Mitte oder am Rande (wie bei *a*) zusammenstoßen.

Eine ausgefallene Verbindung zwischen ungleich dicken Blechen, die möglichst vermieden werden soll, ist in Abb. 119 bei *A* skizziert.

Das Bild zeigt, wie die Brennerflamme stets mehr auf das dickere Blech zu halten ist, da sonst das dünnere abschmelzen würde, bevor

das dickere auf Schmelzwärme gebracht werden kann. Natürlich wächst die Entfernung *a*, in welcher die Flamme neben der Schweißfuge entlang zu führen ist, mit dem Unterschied der Blechdicke.

Winkel- und Überlappstöße. Neben den bisher besprochenen Stumpfstößen sind verschiedene Winkel- und Überlappstöße üblich, deren wichtigste Vertreter in Abb. 120 zusammengestellt sind. Eine besondere Bearbeitung der Blechkanten ist hierbei nicht erforderlich. Erfolgt die Schweißung von außen an spitz-, recht- oder stumpfwinklig gestoßenen Blechkanten, wie bei *a*, so spricht man von Eck- oder Kantennähten, die sich grundsätzlich von der V-Nahtschweißung kaum unterscheiden, meist sogar leichter ausführen lassen. Sind an dünnen Blechen Ecknähte auszuführen, dann kann eines der Bleche etwa um Blechdicke überstehen und ohne Drahtzusatz mit der Fläche des zweiten Bleches verschmolzen werden. Eine in das Innere des Winkelstoßes verlegte Schweißung

(b) wird als Kehlnaht bezeichnet; die doppelseitige Kehlnaht setzt den sog. T-Stoß (c) voraus.

Es muß ausdrücklich darauf aufmerksam gemacht werden, daß die bei *d* gezeigte Überlappschweißung nur bei dickeren Blechen anzuwenden ist und, wenn nicht zwingende Gründe vorliegen, umgangen werden sollte. Im Apparate- und Behälterbau werden solche Nähte meist elektrisch geschweißt. Häufig kommt die autogene Überlappschweißung bei der Verlegung von Muffenrohren vor, auf die später noch eingegangen wird. Die Schweißung von Überlappungen an dünnen Blechen läßt immer erhebliche Spannungs- und Reißbildung, mindestens aber ein starkes Werfen der Bleche erwarten.

Dehnung, Schrumpfung, Spannung¹. Alle bisherigen Vorbereitungen der zu schweißenden Werkstückanten bezogen sich auf gutes Durchschweißen. Sie reichen aber, ausgenommen die Bördelnaht, keineswegs dazu aus, die infolge der Wärmebehandlung auftretenden Dehnungs- und Schrumpfungerscheinungen und die sich daraus ergebenden Spannungen unschädlich zu machen.

Wird ein uneingespannter Metallstab an irgendeiner Stelle gleichmäßig über seinen Querschnitt erwärmt, so tritt im wesentlichen eine Verlängerung ein, die wir Wärmedehnung nennen; beim Erkalten dieses Stabes zieht er sich wieder zusammen, was mit Schrumpfung bezeichnet wird. Dehnung und Schrumpfung konnten hierbei unbehindert erfolgen, der Körper bleibt spannungsfrei. Wird der Stab an beiden Enden fest eingespannt und erwärmt, dann kann eine Dehnung nicht eintreten, sondern es entstehen Druckspannungen, die eine Werkstoffstauchung zur Folge haben; bei nachfolgender Abkühlung tritt Schrumpfung ein, die jedoch auf Grund der durch die Stauchung erfolgten Werkstoffverdichtung nicht auf das Ursprungsmaß zurückgehen kann, und dadurch entstehen Zugspannungen. Bei spröden Werkstoffen, z. B. Gußeisen, würde ein Spannungsbruch die Folge sein.

Überträgt man diese Vorgänge auf die Schweißung von freiliegendem Stahlblech, dann bleiben sie dieselben wie beim uneingespannten Stab, aber nur so lange es sich um eine sehr kurze Schweißnaht handelt. Bei längeren Nähten tritt mit voranschreitender Schweißung eine zunehmende Einspannung auf, so daß hier allmählich die Vorgänge wie beim eingespannten Stabe eintreten.

Erhitzt man ein größeres Stück dünnes Stahlblech etwa in seiner Flächenmitte mit der Schweißflamme (Abb. 121), dann tritt infolge starker örtlicher Wärmedehnung ein Ausbeulen ein, weil die nicht erwärmten Blechteile der Dehnung nicht zu folgen vermögen. Im Gegensatz hierzu wird sich ein in derselben Art erhitztes dickes Blech nicht ausbeulen, sondern eine Stauchung erfahren, also nach dem Erkalten unter starker Zugspannung stehen, die bis zum Reißen führen kann.

Zur Verhütung des Verziehens, Werfens, des gegenseitigen Verschiebens der zu schweißenden Werkstücke, ferner zur Vermeidung von Spannungsrisen und ähnlichen Betriebsschwierigkeiten sind vorbeugende Maßnahmen zu treffen, die in folgendem besprochen werden.

Die Art der Vorbereitung richtet sich nach Blechdicke, Schweißrichtung und nach dem Verhalten des Metalles in der Wärme. Hier soll zunächst nur von

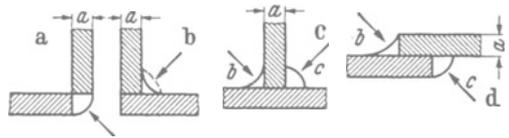


Abb. 120. Winkel- und Überlappstöße.

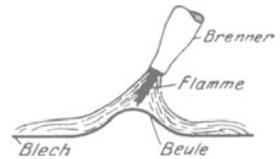


Abb. 121. Werfen des Bleches unter der Flamme.

¹ Siehe auch ausführliche Beschreibung in Schimpke-Horn, Bd. II, S. 142 u. f.

Stahl die Rede sein. Würde man die Schweißränder auf ihre ganze Länge parallel legen, wie dies in Abb. 122 der Fall ist, und ohne weiteres in der Pfeilrichtung zur Schweißung (Nachlinksschweißung) übergehen, dann würden sich die beiden Bleche nach kurzer Zeit infolge der Nahtschumpfung übereinanderziehen (punktierter Lage in Abb. 122), so daß die Fortsetzung der Schweißung etwa ab Punkt *b* undurchführbar wäre. Durch Wärme übereinandergezogene Blechkanten sind mit keinem Mittel mehr in ihre alte Lage zurückzubringen ohne unzulässige Änderungen der Maßhaltigkeit. Je nach Blechdicke und Nahtlänge wird entweder geheftet oder auf Keilspalt gelegt. Längere Nähte an unter 2-mm-Blech werden meist nach Abb. 123 geheftet, dickere Bleche, schon aus Gründen der Wirtschaftlichkeit, auf Spalt gelegt nach Abb. 124. Der erste Heftpunkt wird stets an die Ausgangsstelle der Schweißung gesetzt und die folgenden in einem von der Blechdicke abhängigen Abstand von $50 \div 100$ mm. Hierbei ist vielfach eine etwas winklige, flachdachförmige Stellung der Bleche zueinander erwünscht. Ist dies nicht möglich, dann wird auch so verfahren, daß die Blechränder jeweils an der Stelle geheftet werden, an der sie gerade gut zusammenstoßen. Die Zweckmäßigkeit der Reihenfolge muß demnach von Fall zu Fall entschieden werden. Bleche unter 1 mm

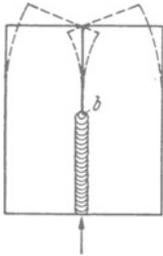


Abb. 122.
Wirkung der
Wärmedehnung
bei Blechen.

Dicke müssen häufig auf $25 \div 30$ mm Abstand geheftet werden. Dies geschieht, indem man die ursprünglichen Heftstrecken nochmals unterteilt. Erst nach Vollendung der wichtigen Heftarbeit kann mit der eigentlichen Schweißung begonnen werden. Das Heften ist zeitraubend, erleichtert aber das Schweißen sehr. Nur wenige, auf diesem Gebiete besonders geübte Schweißer vermögen



Abb. 123. Werfen der Bleche
beim Heften der Naht.

ohne Heften auszukommen und auch nur dann, wenn ohne Schweißdraht gearbeitet wird. Bördelnähte lassen sich meist ohne Heften schweißen, indem man mit einer Flachzange, die vor der Schweißflamme entlang bewegt wird, die Ränder zusammendrückt. Das mit dem Heften verbundene Werfen der Bleche (s. Abb. 123 rechts) läßt sich nach beendeter Schweißung durch Hämmern und Strecken der Naht beseitigen. Die Heftpunkte an Dickblechen, die man in entsprechend größeren Abständen setzen könnte, würden beim Beginn der eigentlichen Schweißung aufreißen. Außerdem wäre hier das Heften wegen zu großer Wärmevergeudung unwirtschaftlich.

Aus diesen Gründen wird meist mit dem erwähnten Schweißspalt (Abb. 124) gearbeitet, dessen Größe *a* von der Nahtlänge und der Blechdicke, aber auch von der Schweißgeschwindigkeit abhängig ist. Die Spaltbreite schwankt zwischen 3 und 6 vH der Nahtlänge *l* und würde, wenn $l = 2$ m ist, mindestens 60 mm und höchstens 120 mm ausmachen, und zwar kommt die geringere Spaltbreite dem dünneren Blech, bzw. der höheren Schweißgeschwindigkeit zu. Zur Offenhaltung des Schlitzes kann ein Keil *d* benutzt werden, der im Abstand *x* vom Ausgangspunkte eingeklemmt und mit vorschreitendem Brenner ebenfalls vorgeschoben wird, um ein vorzeitiges Schließen des Spaltes zu verhüten. Ist der Spalt zu groß gewählt und nicht rechtzeitiges Schließen zu befürchten, so muß die Schweißung unterbrochen und das Erkalten der bereits fertiggestellten Nahtstrecke abgewartet werden, wobei ein kräftiges Zusammenziehen des Spaltes eintritt. Handelt es sich um die Längsnaht eines Blechmantels, dann ist in diesem Falle das Zusammenziehen mit einer Kette

ratsam. Verwindungen der Blechränder aus der Schweißebene werden durch Ansetzen von Rundeseisen als Hebel *e* abgestellt. Eine Anzahl der gebräuchlichsten Hilfsvorrichtungen für das Spalthalten von Längsnähten, die gleichzeitig Verwindungen verhüten sollen, sind in Abbildung 125 I–IV so klar dargestellt, daß weitere Erläuterungen überflüssig sind.

Die durch die Nachrechtsschweißung bedingten anderen Schrumpfungsverhältnisse erfordern keinen Schweißspalt, sondern nur ein Parallellegen der Blechkanten. Der von der Schweißflamme bestrichene Nahtabschnitt erfährt eine Schrumpfungsverzögerung, indessen weiter zurückliegende Nahtteile unbehindert schrumpfen können. Dadurch ergibt sich sogar die Möglichkeit, daß die Blechenden zeitweise auseinandergehen, so daß also die Gefahr ihres Übereinanderziehens überhaupt nicht besteht.

Die Schrumpfungen verursachen nicht selten Formveränderungen, denen durch geeignete Gegenmaßnahmen vor Beginn der Schweißung begegnet werden muß, wie richtige Ausgangslage, Überstreckungen, Vorspannung, Vorwölben u. a., auf die in dem jeweiligen Unterabschnitt noch näher eingegangen wird. Da trotz der verschiedenen erwähnten Maßnahmen eine völlig spannungsfreie Schweißverbindung praktisch kaum erzielbar

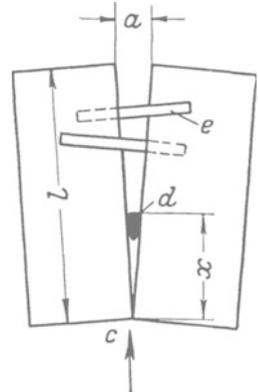


Abb. 124. Hilfsmittel zum Ausgleichen der Wärme-dehnungen.

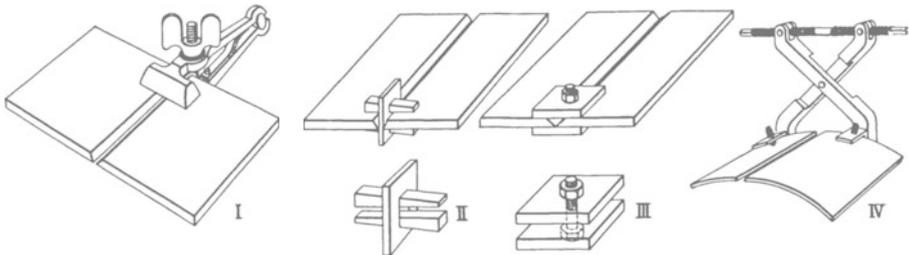


Abb. 125. Hilfsvorrichtungen für das Festhalten der Blechränder beim Schweißen.

ist, muß im Bedarfsfalle, besonders dann, wenn die Schweiße hohen Beanspruchungen ausgesetzt ist, eine Nachbehandlung durch Warmhämmern und Glühen folgen (s. den folgenden Abschnitt „Aufbau der Schweiße“).

4. Aufbau der Schweiße.

Aussehen der Schweißnaht. Das gleichmäßige, saubere und deshalb schöne Aussehen der Schweißnaht ist immer erwünscht, darf aber für die Beurteilung nicht allein den Ausschlag geben. In erster Linie kommt es natürlich auf eine durchweg gebundene und haltbare Verbindung ohne Fehler an. Deshalb ist es auch falsch, besonders die Nähte dickerer Bleche durch wiederholtes Überschweißen der Oberfläche zu glätten, weil hierdurch der Werkstoff zu oft und zu lange erhitzt wird. Freilich soll sich der Schweißer schon während seiner Lehrzeit befleißigen, nicht allein einwandfreie, sondern auch äußerlich schöne Schweißnähte zu ziehen, schon deshalb, weil eine Nachbearbeitung möglichst vermieden werden soll.

Aufnahmen von Schweißnähten an 1 mm-Blech zeigen die Abb. 126 und 127, die mit den Grundformen der Abb. 112 verglichen werden sollen. Die

Bördelnaht *a* (Abb. 126) ähnelt einer maschinellen Schweißung. Der Unterschied zwischen *b* und *c* beruht darauf, daß die erste Naht (entsprechend *a* in Abb. 112) ohne Drahtzusatz geschweißt wurde, während *c* (entsprechend *b* und *c* in Abb. 112) mit Draht geschweißt worden ist. Alle drei Nähte sind äußerlich fehlerfrei. Die Fehler der in Abb. 127 wiedergegebenen Schweißnähte beruhen darauf, daß bei *a* mit Azetylenüberschuß, bei *b* mit erheblichem Sauerstoffüberschuß geschweißt wurde. *c* ist die Naht eines Anfängers (s. *d* in Abb. 112). Die Abb. 128, die *e* in Abb. 112 entspricht, zeigt eine nachlinksgeschweißte 5 mm-Blechnaht und Abb. 129 die nachrechtsgeschweißte Naht eines 10 mm-Blechtes. Schließlich veranschaulicht Abb. 130 die nachrechtsgeschweißte Kehlnaht eines T-Stoßes von gleich dickem Blech.

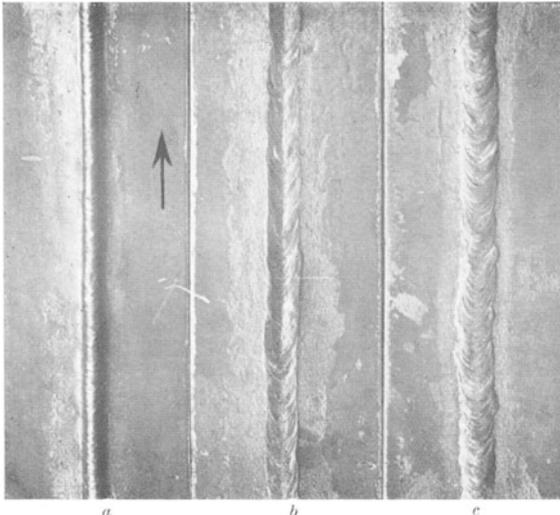


Abb. 126. Normale Schweißnähte an 1 mm-Stahlblechen.

Querschnitt der Schweißung. Im Querschnitt gesehen, soll die Schweißnaht an Blechen bis etwa 5 mm Dicke der Form *a* in Abb. 131 I nahekommen (Kreis-

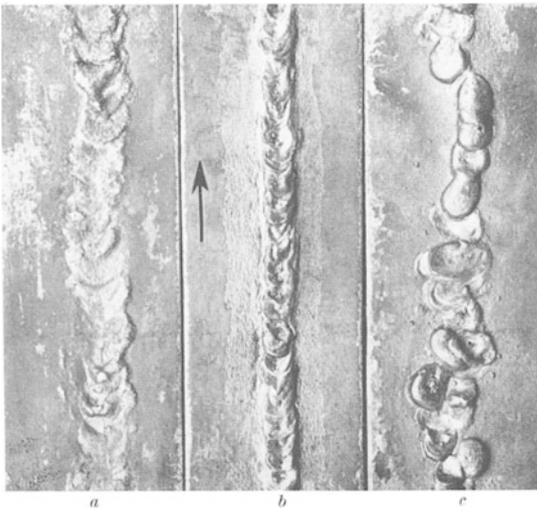


Abb. 127. Fehlerhafte Schweißnähte an 1 mm-Stahlblechen.

sektor); sie zeigt einen normal verstärkten, d. h. leicht überhöhten Querschnitt. Falsch ist der bei *I b* angedeutete geschwächte Querschnitt, wie er entsteht, wenn nicht genügend Zusatzdraht eingeschmolzen wird. In jedem Fall muß, um eine Konstruktionsschwächung zu vermeiden, die Dicke des Mutterwerkstoffs allorts erreicht werden. Die Nähte dickerer Bleche und die der Rechtsschweißung ganz allgemein verlaufen in ihrer Überhöhung etwas flacher, wie dies bei *I c* angedeutet ist. An und für sich hat es der Schweißer in der Hand, die Nahtüberhöhung beliebig zu regeln; im allgemeinen sollte lieber etwas

mehr als zu wenig Draht aufgetragen und die Naht verstärkt werden, um etwaige kleinere Gefügefeler möglichst auszugleichen. Doch darf diese Nahtverdickung nicht übertrieben werden, da dies z. B. bei dynamischer Beanspruchung der Schweißkonstruktion schädlich sein kann.

Denkt man sich eine Schweißnaht der Länge nach durchgeschnitten, so erhält man, wie die Schuppenkette erwarten läßt, keine gerade, sondern eine sägeförmige, schwachgezahnte Oberflächenlinie (Abb. 131 II). Den Vorzug verdient die um die Zahnhöhe verstärkte Nahtstrecke *a*. Weniger gut ist das Stück *e* und falsch das infolge Werkstoffmangels geschwächte Stück *b*, das außerdem beiderseits der Naht Kerben besitzt.

Schweißfehler. Von besonderer Wichtigkeit ist das oft erwähnte Durchschweißen, d. h. die völlige Durchschmelzung des gesamten Querschnitts. Gegen diese grundsätzliche Regel verstößt die Darstellung *I* in Abb. 132. Gleichgültig, ob es sich um I- oder V-Stöße handelt, die Grundkerbe ist stets falsch und führt bei jedweder Beanspruchung (wie Zug, Biegung, Erschütterung) zum Bruch der Verbindung, auch dann, wenn die Nahtüberhöhung *a* noch so groß ist. Dieser leider nicht seltene, aber bedeutsame Fehler kann nur durch die Schweißung einer Gegenlage (Kappnaht) *b*, wenn eine solche möglich ist, behoben werden. Vorsichtshalber sollte die Kerbe vor dem Nachschweißen ausgekreuzt werden. Ist die Nahrückseite unzugänglich, so ist die gesamte Schweißnaht auszukreuzen und zu wiederholen. Wenn akustische, magnetische oder röntgentechnische Prüfgeräte nicht zur Verfügung stehen, aber die Nahrückseite für das Auge zugänglich ist, dann ist der Grad des Durchschweißens leicht feststellbar. Andernfalls hat man nur einen unzulänglichen Anhaltspunkt, und zwar die Beobachtung der meist beiderseits der Schweißnaht mehr oder weniger gut sichtbaren Anlauffarben,

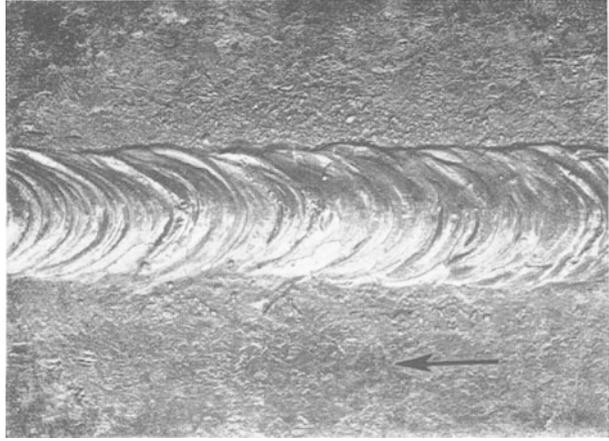


Abb. 128.
Schweißnaht an einem 5 mm-Stahlblech (Nachlinksschweißung).

die von verschiedenen hohen Oxydationsstufen (Oxydationsfarben, ähnlich wie beim Anlassen von Stahl) herrühren. Hauptsächlich Nähte an dünneren Blechen lassen auf diese Weise einige Schlüsse auf das Durchschweißen zu. Gleichmäßige Flammenführung und Arbeitsgeschwindigkeit werden ein immer gleichbleibendes

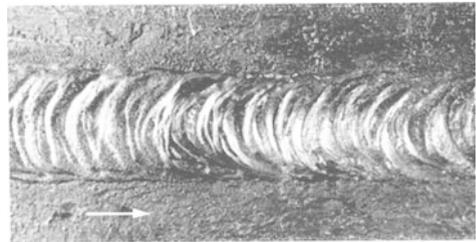


Abb. 129. Schweißnaht an 10 mm-Stahlblech (Nachrechtsschweißung).

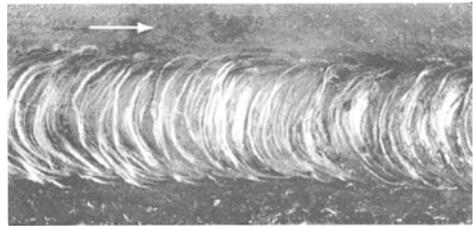


Abb. 130. Kehlnaht an 10 mm-T-Stoß (Nachrechtsschweißung).

Anlauffarbenband zur Folge haben (x in Abb. 131). Eine Verbreiterung a (Abb. 131) dieses Farbenstreifens läßt auf längeres Verharren der Flamme an dieser Stelle schließen, während eine Einschnürung b gesteigerte Schweißgeschwindigkeit und nicht genügende Durchschmelzung vermuten läßt.

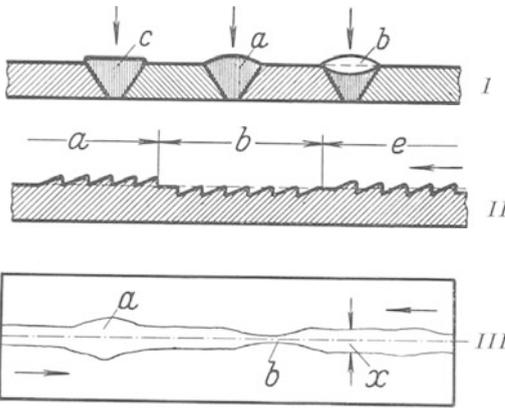


Abb. 131. Aussehen der Schweißnaht.

Ein weiterer querschnittschwächender Fehler ist bei II in Abbildung 132 skizziert; er beruht darauf, daß entlang der an sich normal überhöhten Naht beiderseits Kerben verlaufen. Ungeübten Schweißern unterläuft häufig der bei III angedeutete Fehler, wobei die Flamme, hauptsächlich bei der Nachlinksschweißung, nur auf die eine Blechkante gehalten und deshalb auch nur diese genügend verflüssigt wird. Auf der Gegenseite bleibt der eingetragene Werkstoff mit dem Mutterwerkstoff unverbunden. Solch eine Schweißung ist gänzlich unbrauchbar.

Obwohl ein überreichlich großes Schmelzbad immer unerwünscht ist, muß für ein genügendes Aufschmelzen vor dem Einbringen des Zusatzwerkstoffs gesorgt werden, weil sonst sog. Kaltlagen, die sich zwischen den einzelnen Werkstoffschichten bilden, also unverbundenen Stellen entsprechen, etwa nach

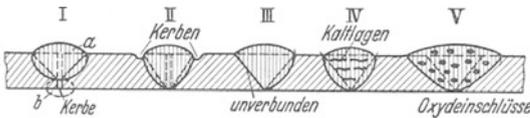


Abb. 132. Schweißfehler bei Stumpfnähten.

IV auftreten. Kaltlagen bilden sich vornehmlich bei der Nachlinksschweißung, wenn das flüssige Metall in der Fuge vorläuft oder wenn in mehreren Lagen geschweißt und die darunterliegende ungenügend verflüssigt wird.

Ein durch zu geringe Arbeitsgeschwindigkeit oder eine zu starke Flamme entstehendes zu großes Schmelzbad ist meist, wie V andeutet, von Oxydeinschlüssen durchsetzt, die durch eine Nachbehandlung der Schweißung nicht entfernbar sind. Ähnlich liegen die Verhältnisse bei der X-Naht, auf welche die soeben geschilderten Fehler sinngemäß übertragen werden können.

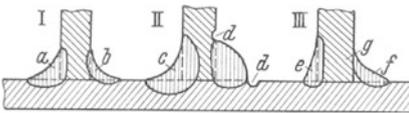


Abb. 133. Schweißfehler bei Kehlnähten.

Auch Kehlnähte können verschiedene arteigene Fehler aufweisen, wie sie in Abb. 133 I-III skizziert sind. Die Kehlnaht a ist einwandfrei, wohingegen b und f ungenügenden Einbrand im Scheitel

aufweisen. Das Gegenteil, ein zu tiefer und überflüssiger Einbrand, ist bei c zu erkennen und dem gegenüberliegend eine übertriebene Nahtüberhöhung, die außerdem bei d Einbrandkerben zeigt. Bei dieser Nahtart häufiger anzutreffende Fehler sind bei III veranschaulicht. Die ungleichschenklige Naht e hat mehr das stehende Blech erfaßt und ist für die Übertragung von Kräften ungeeignet. Als noch schlechter ist die Naht f anzusehen. Der Schweißer hat zwar im durchlaufenden Blech genügend eingebrannt, aber das Blech g und den Scheitel nicht angeschmolzen. An diesen Stellen liegt gar keine Bindung vor.

Natürlich können die aufgezählten Fehler sowohl einzeln als auch gemeinsam auftreten, besonders, wenn es sich um ungeübte Schweißer handelt, die das Halten des Schmelzbades durch richtige Flammen- und Drahtbewegung nicht beherrschen. Der Mangel an Handfertigkeit macht sich in noch höherem Maße beim Schweißen in schwierigen Stellungen, und zwar bei der Herstellung stehender und Überkopfnähte unangenehm bemerkbar.

Senkrecht- und Überkopfnähte. Zu den schwierigsten Arbeiten zählt die Schweißung waagerechter Nähte an stehender Wand. Während es dem geübten Schweißer ohne weiteres gelingt, Nähte von gleicher Breite und sauberem Aussehen ohne ein Abtropfen verflüssigten Werkstoffs zu ziehen, wird der Unbewanderte unter der in Abb. 134 angedeuteten Erscheinung des starken Abflusses der unteren Werkstoffkante zu leiden haben. Wird die Flamme in Richtung des Pfeiles 1 gehalten, dann ist ein Abfließen des Schmelzbades bestimmt zu erwarten. Es muß also die Flamme möglichst in Richtung des Pfeiles 2 gehalten und im Schmelzbade das Drahtende laufend so bewegt werden, daß es das Abfließen des Werkstoffs sicher verhindert.

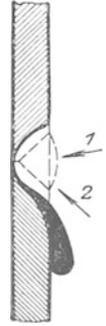


Abb. 134. Schweißung einer waagerechten Naht an stehender Wand.

Das beim Verlegen von Rohrleitungen und bei Ausbesserungsarbeiten notwendige „Überkopfschweißen“, das den Schweißer mitunter zwingt, aus Platzmangel auf dem Rücken liegend unmittelbar über dem Gesicht zu schweißen, bedarf gewissermaßen eines Kunstgriffes, um das Abtropfen des von unten nach oben aufzutragenden Werkstoffs aufzuhalten. Ist der Schweißer hierin sicher, so besitzt er die Fähigkeit, schwere und schwierigste Arbeiten an jedweder Stelle von Werkstücken durchzuführen. Diese Fähigkeit ist mehr noch als das übrige Schweißen lediglich durch praktisches, unverdrossenes Üben zu erlernen. Durch zweckmäßige Flammen- und Drahthaltung und -bewegung und unter Ausnutzung der Ausströmungskraft der Flamme wird der in Abb. 135 oben angedeutete Zustand nicht eintreten. Dem bewanderten Schweißer gelingt es auch bei mehrstündigem Überkopfschweißen, ohne das Abtropfen von Werkstoff zu arbeiten. Die Anzahl der Lagen richtet sich danach, ob nachlinks- oder nachrechtsgeschweißt wird und außerdem nach der Blechdicke. Wird in mehreren Lagen geschweißt, dann ist der Verdichtung der Schweiße erhöhter Wert beizumessen. Das geschieht durch Verhämmern der jeweiligen Lagendicke a in Rotwärme, wodurch gleichzeitig das Verschmieden etwa unverbundener Stellen verbürgt wird.

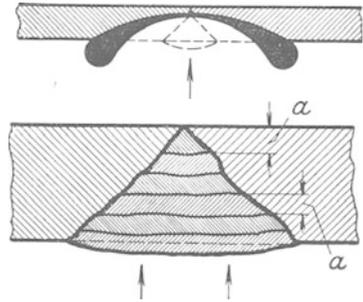


Abb. 135. Überkopfschweißung.

5. Nachbehandeln und Vergüten der Schweiße.

Allgemeines. Die in diesem Abschnitt zu behandelnde Frage der Vergütung soll sich ausschließlich auf eine Nachbehandlung der fertigen Schweiße beziehen; sie kann sich daher nur auf eine Veränderung des Gefügeaufbaus erstrecken. Infolge der örtlichen Umschmelzung des Werkstoffs zeigt jede Rohschweiße bei normaler Abkühlung Gußgefüge mit dem ihm eigenen groben Korn, das zwar weniger die Festigkeit als die Zähigkeit herabsetzt, wodurch sie aber den schwächsten Teil einer Stahlkonstruktion ausmacht. In vielen Fällen, wo besondere betriebliche Beanspruchungen der Konstruktion nicht vorliegen, findet man

sich mit dieser Tatsache ab. Andernfalls muß das Gußgefüge durch eine thermische und mechanische Nachbehandlung, wie Ausglühen und Hämmern, umgewandelt werden. Man muß sich darüber im klaren sein, daß sich diese Verbesserung nur auf das längere Zeit über 900° erhitzte (überhitzte) und nur auf ein durch Aufquellen der Kristalle verändertes Gefüge beziehen kann, während eine längere Zeit über 1200° überhitzte, mithin verbrannte, also chemisch veränderte Schweißung durch kein Mittel brauchbar gemacht werden kann. Sie ist endgültig verdorben.

Glühen. Maßgebend für den Erfolg der Wärmebehandlung ist neben der Glühdauer (mindestens $\frac{1}{2}$ h) die Glüh Temperatur, die sich nach der Höhe des Kohlenstoffgehaltes und damit nach der Festigkeit des Stahls zu richten hat. Temperaturen bis zu 700° können keine Gefügeumwandlung, sondern nur ein „Spannungsfreiglühen“ bewirken. Für die Umwandlung, d. h. Kornverfeinerung des Gefüges ist ein Glühen oberhalb 720° bis knapp über 900° notwendig, das sog. „Normalglühen“. Die Dauer des Normalglühens richtet sich nach der Glüh Temperatur.

Hämmern. Die Umkristallisation beim Glühen kann durch sachgemäßes Hämmern gefördert werden. Häufig wird man aus Gründen betriebstechnischer Schwierigkeiten, z. B. mit Rücksicht auf die Größenverhältnisse der Schweißkonstruktion und die Gefahr des Verziehens, bei ungleichmäßiger Erwärmung auf diese Nachbehandlung verzichten müssen und ein Hämmern in der Rotwärme während der Herstellung der Naht vornehmen. Man kann sich hierbei die Wirkung des Hämmerns so vorstellen, daß durch die starke Erschütterung ein Zertrümmern der Kristalle auftritt und ihr Wachstum unterbunden wird. Das Warmhämmern hat neben der Einschränkung der Schrumpfspannungen eine Streckung des Kornes und damit eine Gefügeverdichtung zur Folge, die sich praktisch in höherer Festigkeit, Dehnung und Kerbzähigkeit auswirkt.

Selbstverständlich kann das Warmhämmern mit Schlackenschichten und unverbundenen Stellen durchsetzter Schweißen keine nennenswerte Vergütung der Schweißung hervorrufen. Jedoch können mit reduzierenden Gasen gefüllte Blasen und Poren durch Warmschmieden in ihrem Umfang gemindert und z. T. verschweißt werden. Hierdurch wird die Festigkeit gesteigert. Ist die Temperatur auf Blauwärme (etwa 450°) abgefallen, dann muß man unbedingt mit dem Hämmern aussetzen, weil in diesem Temperaturgebiet Ribbildung zu befürchten ist.

Ein Kalthämmern der Schweißung bei Raumtemperatur verursacht keinerlei Gefügeverbesserung, sondern hat nur den Zweck des Nahtreckens und des Ausrichtens. Lediglich bei sehr dünnen Blechen hat es eine Kaltverfestigung mit der ihr eigenen ungünstigen Korrosionserscheinung im Gefolge, die ihrerseits durch ein Glühen wieder aufgehoben werden kann.

B. Die wichtigsten Anwendungsgebiete der Stahlschweißung.

1. Rohre und Rohrkonstruktionen.

Allgemeines. Die gesamte Rohre verarbeitende Industrie und das Handwerk bedienen sich der längst erkannten großen Vorzüge der Schweißtechnik. Vom kleinsten Rohr beliebigen Profils bis zum dickwandigsten Rohr größten Durchmessers, für die Fertigung von Konstruktionsrohren des Fahrzeug-, Flugzeug- und Stahlmöbelbaus, für die Herstellung von Rohrformstücken, für die Gas-, Wasser- und Heiztechnik, zur Anfertigung von Isolierrohren und zur Verlegung von Rohrleitungen aller Art kommt die Schweißflamme wirtschaftlich zur Anwendung. Es hat sich hieraus sogar ein selbständiger Fertigungsweig,

die Autogen-Rohrindustrie, entwickelt. Blechstreifen in einer dem jeweiligen Rohrumfang entsprechenden Breite (Rohrstreifen, Rohrstrips) werden zu Rohren eingewickelt oder über Dorne und durch Matrizen auf Ziehbänken zu Rohren gezogen und deren Längsfugen auf den Straßen besonders konstruierter Rohrschweißmaschinen selbsttätig geschweißt. Auf diese Weise werden Rohre bis zu 4" Durchmesser und 4 mm Wanddicke hergestellt. Über diese Abmessungen hinausgehende Rohrlängsnähte, z. B. an Wind- und Saugrohrleitungen, werden von Hand geschweißt. Dickwandige, großkalibrige Rohre können auch auf Wassergas-schweißmaschinen oder mit elektrischen Schweißautomaten, kleinere und mittlere bis zu 12" lichter Weite auf Walzenstraßen überlappt geschweißt werden (sog. patentgeschweißte oder Siederohre). Das geschweißte Stahlrohr hat allen bekannten Verbindungsverfahren gegenüber die Vorzüge der dauernden Dichtigkeit, Dehnbarkeit, Bruchsicherheit, praktisch unbeschränkter Formgestaltung, Gewichtersparnis (Fortfall von Flanschen und Überlappungen), erhöhter Wirtschaftlichkeit und des Fortfalls der Rohrschwächung durch Gewinde u. dgl. Die Schweißung hat einmal dazu geführt, die gußeisernen Rohre zu verlassen, aber auch immer mehr den Ersatz von Rohrverschraubungen, Verflansungen, Nietverbindungen usw. zur Folge gehabt. Die mit dem Fortschritte der Technik an Werkstoff und Verbindungsart gestellten hohen betriebstechnischen Anforderungen konnten erst dann restlos befriedigt werden, als es gelang, auch hochwertige Werkstoffe einwandfrei und sicher zu schweißen. Beschränkungen in der Anwendbarkeit der Schweißung im Rohrleitungsbau, sei es durch hohe Drücke oder durch höhere Temperaturen, sind kaum noch vorhanden. Bei gezogenen und gewalzten Rohren ersetzt die Schweißnaht Fittings und Flanschen, welche letzte nur noch — aus betriebs- oder montagetechnischen Bedürfnissen heraus — an lösbaren Stellen angewandt werden; bei Muffenrohren ersetzt sie die Packung und Bleiverstimmung. Wenn nur eben zugänglich und wo Anspruch auf lösbare Verbindungen nicht erhoben wird, wird die Stumpfschweißung bei Rohrsträngen von oft recht ansehnlicher Länge (Fernheizleitungen usw.) angewandt.

In diesem Zusammenhang soll eine Vorsichtsmaßnahme erwähnt werden, die beim Schweißen von Rohren und engen Zylindern, vor allem aber beim Schweißen geschlossener Gefäße Beachtung finden muß. Während des Schweißens gelangen durch die Stoßfuge der Naht mehr oder weniger große Mengen unverbrannter Gase aus der Flamme in das Innere des Körpers, verbrennen an dessen Mündungen oder sie explodieren im Körper selbst unter scharfem Knall. Würde man z. B. ein Rohr, dessen eine Mündung geschlossen ist, am anderen Ende zuschweißen und mit dem Flammenkern der Fuge zu nahe kommen, dann hätte das im Rohr eingeschlossene unverbrannte Gasgemisch keine Gelegenheit zum Abzug und müßte im Rohrrinnern, an der glühenden Schweißung zur Entzündung gebracht, explodieren, was ein Zersprengen des Gefäßes nach sich ziehen kann. Also, Vorsicht bei Ausführung solcher Arbeiten!

Stumpfstöße. Eine größere Gruppe von üblichen Formen des Stumpfstoßes für Rohrrundnähte ist in Abb. 136 veranschaulicht, wobei die Wahl des einen oder anderen von dem Verwendungszweck, der Abmessung und der von ihm aufzunehmenden Kraftübertragung abhängig ist. Der einfachste Verbindungsstoß ist bei *a* dargestellt. An Rohren bis zu 4 mm Wanddicke kann die Abschrägung fortfallen; sie ergibt sich übrigens bei Verwendung von Rohrschneidern von selbst. Besonders dicke Rohre erhalten eine V-Mulde oder bei großem Durchmesser eine X-Naht. Schwachwandige Rohre können mit Bördelstößen, wie bei *b* gezeigt, versehen werden. Der Innenbord bei *h* kommt nur zur Anwendung, wenn das Rohr nicht dem Durchfluß von Körpern, sondern als Konstruktionsteil dient. Sind die Rohre für die Förderung von Körpern bestimmt, so dürfen

Reibungsverluste und Wirbelbildung verursachende Querschnittsverminderungen nicht vorkommen. Allzu starkes Durchlaufen der Schweiße, sog. Schweißbartbildung, muß aus dem gleichen Grunde verhütet werden.

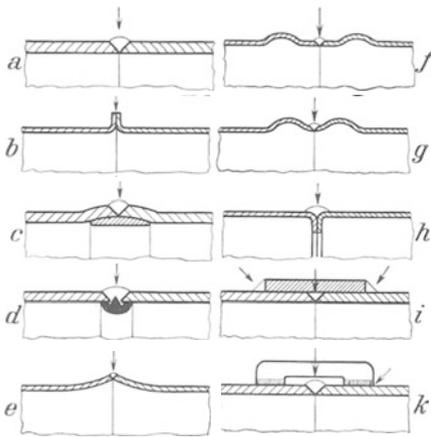


Abb. 136. Geschweißte Rohrstöße.

Um neben einem guten Durchschweißen eine glatte Innenfläche des Stoßes zu gewährleisten, werden mitunter die Formen *c* und *d* bevorzugt, wo Paßringe eingesetzt und mit dem Stoße verschweißt werden. Sog. Entlastungsstöße — wie sie bei *e*, *f* und *g* skizziert sind — haben den Zweck, die Schweißnaht von zusätzlichen Beanspruchungen zu entlasten, wie sie durch Verlagerung der Leitung, Temperaturschwankungen u. ä. hervorgerufen werden. Die Aushalsung bei *e* und die Anordnung der doppelseitigen Sicken bei *f* und *g* bezwecken außerdem eine Aussteifung dünnwandiger Rohre und damit ein Erleichtern der Arbeitsdurchführung. Weniger oder gar nicht

zu empfehlen sind die Beispiele *i* und *k*, wo Flach- und Hochkantlaschen eine vermeintliche Entlastung der Schweißnaht mit sich bringen sollen.

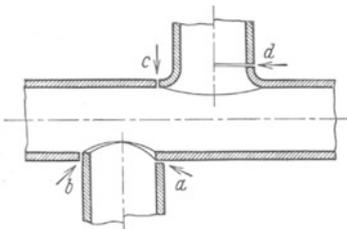


Abb. 137. Rohrabzweigungen.

Abzweigungen und Formstücke. Im allgemeinen sind die Abzweigungen der Abb. 137 gebräuchlich. Bei *a* haben lichte Weite des Stützens und des ihn aufnehmenden Loches gleichen Innendurchmesser, während bei *b* das Stützenende in ein größer gehaltenes Loch eingepaßt wird. In beiden Fällen entstehen Kehlnahtverbindungen. Das einzuschweißende Rohrende des Stützens muß bogenförmig ausgearbeitet sein, damit der Durchflußquerschnitt des Rohres nicht verengt wird. Wird das Rohrinne nicht benutzt, so ist

diese Maßnahme unnötig. Im übrigen kann natürlich die Abzweigung an jeder beliebigen Stelle und unter beliebigem

Winkel angeordnet sein, wenn nur dafür gesorgt wird, daß die Naht ringsum zugänglich bleibt. Nicht immer sind die einfachsten Abzweigungen *a* und *b* ausreichend. Wo es auf möglichst reibungs- und stoßfreien Durchgang ankommt, werden die Verbindungsarten *c* oder *d* gewählt. Diese haben außerdem den Vorteil, daß die Schweißnaht außerhalb der am stärksten auf Biegung beanspruchten Stoßkante verlegt wird.

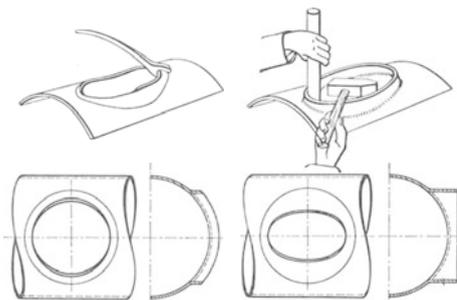


Abb. 138. Aufziehen von Anschlußlöchern.

Beim Aufziehen der Anschlußlöcher gezogener oder aus Blechen hergestellter Rohre benutzt man zweckmäßig Gabelhebel, wie sie in Abb. 138

und 139 dargestellt sind. Der Zuschnitt der Anschlußlöcher (Abb. 138) richtet sich nach der Höhe der Aushalsung. Das Runden und Schlichten des herumgeholtten Kragens geschieht derart, daß ein der lichten Weite des Rohres entsprechendes

Rundeisen eingesetzt und der Kragen, wie *f* in Abb. 139 zeigt, angehämmert wird, oder, was für größere Durchmesser in Frage kommt, das Ausrunden geschieht durch Einsetzen eines Rundeisens und Hämmern von innen (Abb. 138).

Diese und alle künftig geschilderten Verformungsarbeiten an Rohren müssen bei größerer Wanddicke unter Zuhilfenahme der Schweißflamme, also im rotwarmen Zustande vorgenommen werden. Nur bei dünnwandigen Rohren kann eine Verformung im kalten Zustand erfolgen.

Für die Fertigung von Rohrabzweigungen sind genormte Bogen- und Kniestücke auf dem Markt erhältlich, die durch Zusammenschweißen die verschiedensten erforderlichen Gebilde ergeben, wie solche aus Abb. 140 *b* und *c* ersichtlich sind. Dabei kommt es immer auf sauberen Zuschnitt der Anschlußränder an, damit das Durchlaufen von Eisentropfen vermieden wird. Das bei *a* veranschaulichte Abzweigungstück ist aus geraden Rohrenden zusammengesetzt.

In neuerer Zeit haben sich Schweißfittings aus Stahlguß eingeführt, die in den verschiedensten Abmessungen und Formen als Winkel, Bogen, Stromlinien-T, als Reduktionsmuffen, Anschlußstutzen, als Vorschweißsattel usw. geliefert werden. Dabei kann der Rohranschluß mit Gewinde versehen sein oder alle Anschlußöffnungen tragen, wie dies aus Abb. 141 hervorgeht, 4 Zentrieransätze, die das Ansetzen und Heften der Rohrstränge erheblich erleichtern. Die bei *a* gezeigte reduzierte Stromlinien-T-Verbindung und die bei *b* veranschaulichte reduzierte Zweibogen-T-Verbindung tragen diese Ansätze und sind im Bilde zur Hälfte verschweißt dargestellt.

Aber auch ohne Verwendung dieser Rohrverbindungen gestattet die Schweißung nahezu unbeschränkte Vielgestaltigkeit in der Formgebung. So zeigt Abb. 139 bei *a* bis *c* einige konzentrische und exzentrische, geschweißte Reduktionen. Entweder wird das eine Rohrende eingezogen und dem Durchmesser des Anschweißenden angepaßt, wie bei *a*, oder eines der Enden wird, was *b* andeutet, aufgeweitet. Die Verformung muß auch hier unter Zuhilfenahme der Schweißflamme und mit besonderen Werkzeugen erfolgen, bei *a* mit einem Glockendöpper, bei *b* mit einem Aufweitkegel (Dorn). Der bei *d* gezeigte exzentrische Anschluß wird dadurch ermöglicht, daß man das Rohr *1* von größerem Durchmesser (s. *c*) etwa 3÷5mal einschlitzt, Zwickel ausschneidet, die entstandenen Schnittträger warm anrichtet und verschweißt.

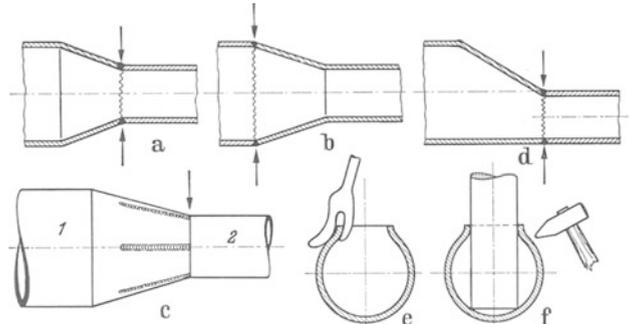


Abb. 139. Schweißungen an Reduktionsstücken.

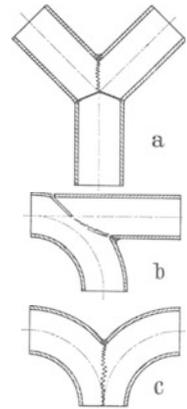


Abb. 140. Schweißungen an Rohrabzweigungen.

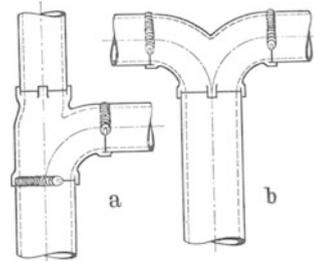


Abb. 141. Schweißungen an Stahlgußfittings.

Ein aus 7 Einzelteilen zusammengesetztes Kompensationsrohr mit Ansatzflanschen bringt Abb. 142. Die beiden Zwischenstücke d werden mit Normalbogenstücken a und b und den beiden Flanschen c verschweißt. Der Vorteil des Schweißens wächst bei solchen Arbeiten mit der Größe des Formstückes. Werden bei a und b Halbbogen verwendet, dann brauchen nur die Zwischenstücke d entsprechend angepaßt zu werden.

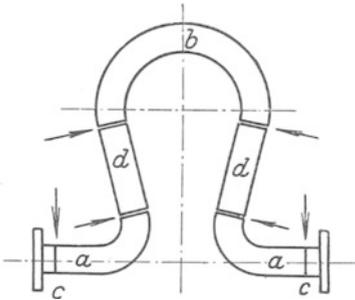


Abb. 142.
Geschweißtes Kompensationsrohr.

ecke verlegte Steigeleitung wird zweckmäßig an ihrer Schweißnaht dadurch zugänglich gemacht, daß man im Sinne von b ein anteilig an einen Schweißdraht angeheftetes Stück der Rohrwandung kappenartig ausschneidet.

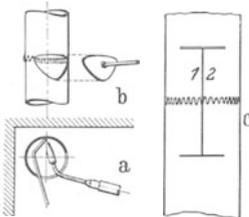


Abb. 143. Schwierigere
Rohrschweißungen.

Die der Wand zu gelegene Nahtstrecke wird dann vom Rohrinernen geschweißt und darauf auch die wieder eingesetzte Kappe. Eine andere, allerdings nur bei liegenden Rohren geübte Arbeitsweise ist in Abb. 143 c skizziert. Das Rohr wird in seiner Längsrichtung auf eine ausreichende Strecke getrennt, und an den Schnittenden werden 2 Radialschnitte, deren Länge etwa $\frac{1}{3}$ des Rohrumfanges ausmachen, angeordnet. Hierauf werden die beiden Rohrwandlappen aufgeklappt, der Rohrstoß von innen verschweißt, die Lappen wieder angerichtet und die Schnittfugen durch Schweißung verbunden. Dieses Verfahren kommt hauptsächlich bei Bleirohren zur Anwendung, da Blei nicht überkopf geschweißt werden kann.

Bei in Wandnischen und Kanälen verlegten, zwar für den Brenner, aber nicht für das Auge des Schweißers zugänglichen Stellen, greift man zur „Spiegelschweißung“. Hierzu wird ein Metallspiegel benutzt, der, wie Abb. 144 erkennen läßt, so anzubringen oder durch einen Helfer zu halten ist, daß der Schweißvorgang überblickt werden kann.

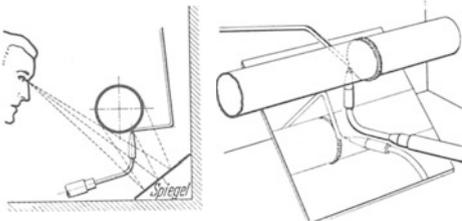


Abb. 144. Spiegelschweißung.

Rohrenden verschweißt werden können. Bei a bis d handelt es sich um ein- oder zweiseitig geschweißte, mit oder ohne Gewinde versehene Flanschenringe. Um die ungleichen Werkstoffdicken zwischen Rohr und Flansch fortzuschaffen und eine schweißgerechte Konstruktion zu erzielen, verwendet man, wie e andeutet, hinterdrehte Winkel-, Ansatz- oder Anschweißflanschen g und h . Die Schweißflanschen werden immer stumpf angesetzt, dadurch sind gleichdicke

Rohrflanschen. Zur Herstellung lösbarer Rohrverbindungen bedient man sich bei größeren Rohren der Flanschen, die nach verschiedenen Gesichtspunkten (Abb. 145) mit den

Querschnitte zu verschweißen. Flanschen mit großem Außendurchmesser, d. h. von großer Ausladung, werden, wenn hohe Beanspruchungen vorliegen, vielfach

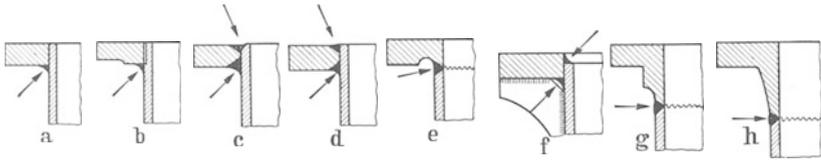


Abb. 145. Schweißungen von Rohrflanschen.

durch gleichmäßig am Umfang verteilte und angeschweißte Eckbleche versteift, wie beispielsweise *f* zeigt.

Einschweißen von Rohren in Rohrwände. Zur Abstellung der mit dem Einwalzen von Rohren in Rohrwände häufig verbundenen Beschädigung der Rohr-

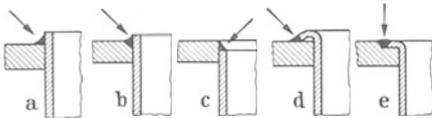


Abb. 146. Einschweißen von Rohren in Rohrwände.

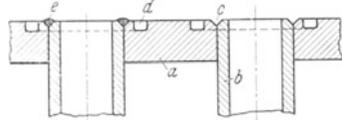


Abb. 147. Ausgleich zwischen Rohrwand und Rohrdicken beim Schweißen.

wand und oft wiederkehrender Undichtheiten können, wenn betriebsmäßige Erfordernisse dem nicht widersprechen, die Rohre mit den Wänden durch Schweißung verbunden werden. Verschiedene Ausführungsbeispiele zeigt Abb. 146.

Zwecks Arbeitserleichterung und besserer Wärmebindung können, wie dies in Abb. 147 angedeutet ist, um die Rohrlöcher konzentrische Ringnuten *d* in die Wand *a* eingefräst und ein Schweißbord *c* mit entsprechender Abschrägung vorgesehen werden.

Rohrkonstruktionen. Aus den geschilderten Konstruktionsteilen lassen sich die denkbar verwickeltesten Rohrkörper zusammenstellen. Die

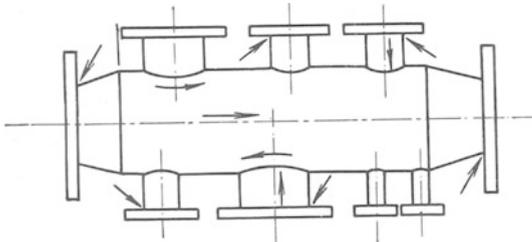


Abb. 148. Geschweißter Dampfverteiler.

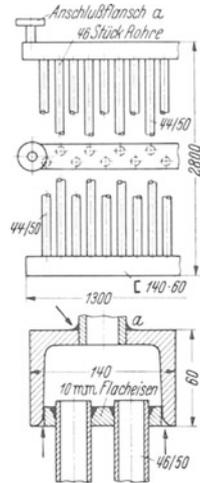


Abb. 149. Heizrohrsystem für Trockenkammern.

Schweißung ist hier, was die Möglichkeit der Formgebung anbelangt, durch kein anderes Verfahren zu ersetzen.

Abb. 148 stellt einen Dampfverteiler dar, wie er vielfach unabhängig von Rohrnormen durch Schweißung hergestellt werden kann. Der Rohrrumpf und alle Stützen des Verteilers können aus Blech eingerollt und längsnahtgeschweißt werden. An das Verteilerrohr sind die Stützen und an diese die Flanschen stumpf angesetzt. Auf diese Weise werden auch Hochdruckrohre,

die für Heiz-, Kühl-, Gegenstrom- und Kondensationsschlangen Verwendung finden, hergestellt. Heizrohrregister, Überhitzer, Rohrbatterien werden, wo eben angängig, weil wirtschaftlich, geschweißt.

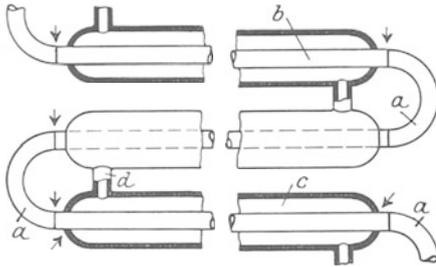


Abb. 150. Geschweißter Intensivkühler.

Das in Abb. 149 dargestellte Heizrohrsystem für Trockenkammern ist aus Rohren und U-Eisen zusammengesetzt und an den in *B* mit einem Pfeil versehenen Verbindungsstellen geschweißt. Eine größere Anzahl solcher Rohrsektionen (meist 20÷25 Stück) werden zu einer Heizrohrbatterie zusammengeschlossen und untereinander durch Anschlußflanschen *a* verbunden. Zunächst werden die Rohre in ent-

sprechend vorbereitete 10 mm-Flacheisen eingeschweißt und diese dann ringsum mit den Schenkeln des U-Eisens durch Schweißung vereinigt. Die in dieser Abbildung veranschaulichten Register wurden auf 15 atü Probedruck abgedrückt.

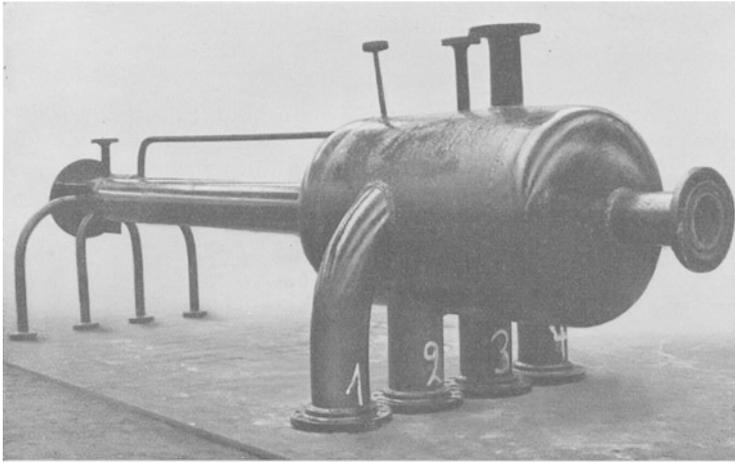


Abb. 151. Ammoniakberieselungskondensator.

Einen Doppelrohr-Gegenstrom-Wärmeaustauscher (Intensivkühler) zeigt Abb. 150. Über die innere Rohrschlange *b* sind Rohre *c* von größerem Querschnitt übergestreift, mittels der Schweißflamme an den Enden eingezogen und an *b* angeschweißt. Darauf werden die Rohrbogen *a* mit den Strängen *b* und die Verbindungsrohrstücke *d* mit *c* durch Schweißung verbunden. Durch die innere Rohrschlange *b* werden die zu kühlenden Flüssigkeiten oder Gase, durch das Rohr *c* auf umgekehrtem Wege die Kühlmittel, z. B. Wasser, geleitet.

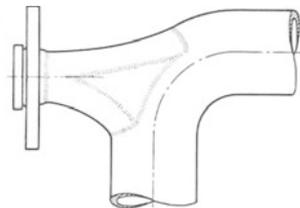


Abb. 152. Schweißung von Bogenabzweigungen.

Einen in allen seinen Teilen geschweißten Ammoniakberieselungskondensator größerer Abmessung, der für 25 atü Betriebsdruck bestimmt ist, veranschaulicht Abb. 151. Im Kondensator befinden sich 64 eingeschweißte Rohre von 60 mm Durchmesser und 4 mm Wanddicke. Wie man in solchen Fällen oft stark

reduzierte Bogenabzweigungen durch geeigneten Zuschnitt und durch Schweißung erreichen kann, geht aus Abb. 152 hervor.

An Stelle gegossener Rippenheizkörper werden in der Heizungstechnik, die sich der Schweißung in hohem Maße bedient, sog. Spiralrippenrohre (Abb. 153) durch Schweißung hergestellt. Die Blechspiralen werden mit dem Rohr in jeder zweiten oder dritten Windung durch Heftpunkte verbunden.

Stahlblechrohre. Im allgemeinen werden die bisher besprochenen Konstruktionen aus handelsüblichen, also gewalzten oder gezogenen Rohren zusammenschweißt. Sobald aber größere Durchmesser bei nur geringer Blechdicke in Frage kommen, müssen die Rohre, gleich welcher Form und welchen Querschnitts, nach entsprechendem Abwicklungszuschnitt aus Stahlblech eingerollt oder abgekantet und geschweißt werden.

Bei dünnwandigen Rohren und Rohrformstücken handelt es sich in der Hauptsache um Staubsaug- und Windrohrleitungen, um Ventilations- und Rauchabzugsrohre, um Elevatorenanlagen u. a. aus Feinblech von 1÷3 mm Dicke. Die Querschnittsform der Rohre ist dabei nebensächlich, doch ist das Rundrohr für die Schweißarbeit meist das günstigste. Bei Blechen unter 1 mm Dicke sind Form und Größe des Rohrkörpers allerdings für das Verbindungsverfahren maßgebend, und man wird in Anbetracht des beim Schweißen zu erwartenden Verziehs der Rohre mitunter auf dieses Arbeitsverfahren zugunsten der elektrischen Punkt- oder Nahtschweißung oder des Nietens und Falzens verzichten müssen. Eine allgemeine Entscheidung läßt sich hierüber nicht fällen; das ist Sache der praktischen Erfahrung, vor allem auch von der Konstruktion des Werkstücks abhängig.

Abb. 154 stellt einen aus 1,5 mm-Stahlblech hergestellten Rohrbogen von 800 mm Durchmesser dar. Die Anzahl der Segmente, aus welchen der Bogen zusammengesetzt ist, richtet sich neben der Mittenentfernung nach dem angestrebten Grad der Rundung; in der Abbildung sind 7 Segmente vorgesehen, deren Rundnähte unter sich durch Stumpfschweißung verbunden sind. Die Längsnähte der einzelnen Bogenstücke verlegt man auf die kürzeste Strecke, also an die Innenseite des Bogens. Je nach Erfordernis wird eine Steck- oder Schiebenaht (a) oder eine Bord- (c) oder Flanschennaht (b) vorgesehen.

Teile einer mit vielen Abzweigen ausgestatteten Heizgasleitung von 1100 mm Durchmesser und für 500° Betriebstemperatur mit innerer Ausmauerung veranschaulicht Abb. 155. Die Vorteile des Schweißens im Verhältnis zur Nietung kommen besonders deutlich in Abb. 156 zum Ausdruck, die das recht verwickelte, geschweißte Rohrverteilerstück einer Absauganlage wiedergibt. Hierbei kommt es auf einen einwandfreien Abwicklungs- bzw. Durchdringungszuschnitt und auf sorgfältiges Heften an richtiger Stelle wesentlich an. Das Verteilerstück

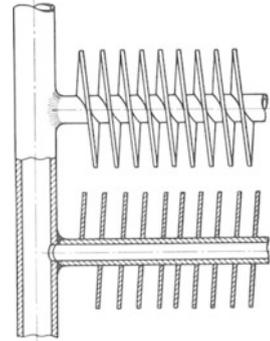


Abb. 153. Schweißung von Spiralrippenrohren.

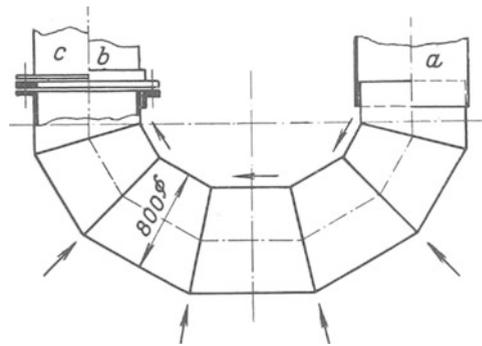


Abb. 154. Geschweißter großer Rohrbogen.

einer Absaugeleitung aus 1 mm-Blech zeigt Abb. 157 in Konstruktion und Ausführung. Sämtliche Anschlüsse und segmentartig hergestellten Bogen sind durch Schweißung verbunden.

Dünnwandige Stahlrohrkonstruktionen. Auf die Vielgestaltigkeit geschweißter Konstruktionen, bei welchen gewöhnliches Installationsrohr (Gasrohr) zur Verwendung kommt, wurde schon hingewiesen. Geländer, Gitter, Tore, Maste,

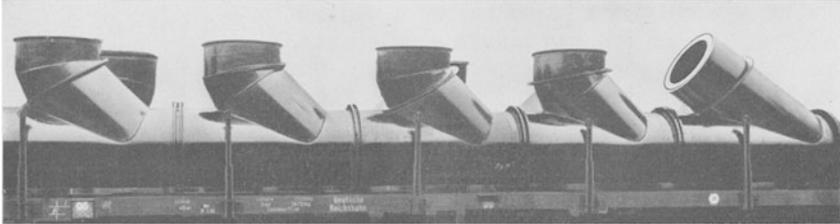


Abb. 155. Teile einer Heizgasleitung.

Konsolen und viele andere Gebilde können auf einfachste Weise in geschweißter Ausführung hergestellt werden. Im Stahlrohr-Möbelbau (Regale, Tische, Bänke, Stühle) kommen meist blankgezogene, sehr dünnwandige Rohre zur Verarbeitung, deren Schweißung ebenfalls ohne Schwierigkeiten durchführbar ist. Im Fahr- und Flugzeugbau ist die Schweißung von hervorragender Bedeutung. Tausende



Abb. 156. Geschweißtes Rohrverteilerstück.

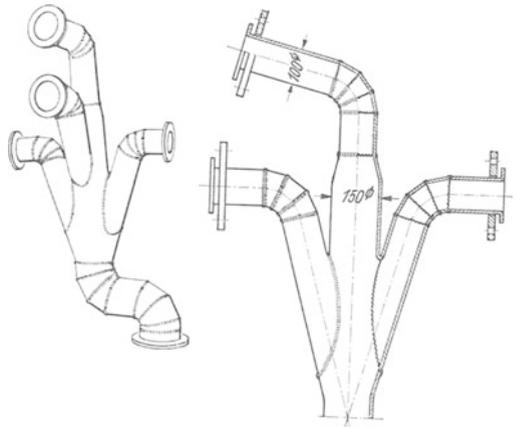


Abb. 157. Verteilerstück einer Absaugeleitung.

von Schweißern sind mit der Fertigung von Stahlrohrverbindungen oft sehr verwickelter Bauart beschäftigt, wobei meist noch besondere, z. B. Chrom-Molybdän legierte Stähle in Frage kommen, die infolge ihrer Wärmeempfindlichkeit (Schweißbrissigkeit) Vorsichtsmaßnahmen verlangen (s. Abschnitt „Sonderstähle“).

Mitunter werden ganze Rümpfe, Fahrgestelle und Tragflächen von Segel- und Motorflugzeugen in geschweißter Konstruktion ausgeführt. Unter den mannigfachen Einzelteilen im Leichtfahrzeug- und Flugzeugbau verdienen die geschweißten Rohrknottenpunkte Beachtung, die mit großer Gewissenhaftigkeit zugeschnitten und angepaßt sein müssen, wenn starke Verwindungen der Rohrkonstruktion beim Schweißen vermieden werden sollen. Dabei werden, da es sich fast immer um sehr dünnwandiges Stahlrohr handelt, Kleinschweißbrenner

bevorzugt eingesetzt. Der Zusammenbau der einzelnen durch Schweißung entstandenen Teile wird häufig in besonderen Lehren (z. B. auf Schnürböden) vorgenommen. Einen aus 4 Rohren zusammengeschweißten einfachen Stahlrohrknotenpunkt mit 2 Ösen für die Drahtverspannung zeigt Abb. 158. Keine der Durchdringungsnähte darf durch Kerben geschwächt, vielmehr muß an allen Stellen ein allmählicher und glatter Übergang zwischen Naht und Rohrwand gegeben sein. Obwohl die Anzahl der in einem Knotenpunkte zusammenstoßenden Rohrstreben zumindest bei legiertem Stahl nicht übersteigert werden darf, kommen nicht selten sternförmige, sehr verwickelte Körper vor, die in richtiger Reihenfolge geschweißt und deren Spannungsverhältnisse sorgfältig überwacht werden müssen. Vielfach sind Verstärkungen der Rohrknotenanschlüsse notwendig, wie sie z. B. in Abb. 159 durch angeschweißte Stegbleche erreicht werden. Die Stegbleche dienen gleichzeitig auch für die Aufnahme der zur Drahtverspannung gehörigen Augen.

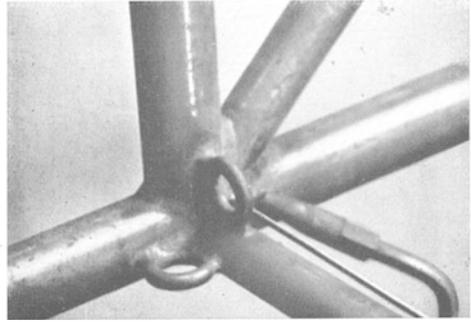


Abb. 158. Geschweißter Stahlrohrknotenpunkt.

Stahlmuffenrohre. Diese haben in den letzten Jahren an Stelle von Gußrohren steigend Eingang gefunden; sie werden je nach Länge und Durchmesser des Rohrstranges über dem Graben geschweißt und dann an Flaschenzügen versenkt oder im Graben selbst geschweißt. Letztes erfordert das Auswerfen entsprechender Kopfblöcher, die dem Schweißer eine möglichst unbehinderte Bewegungsfreiheit (DIN 2470) gestatten. In Deutschland sind viele Tausend Kilometer geschweißter Stahlmuffenrohrleitungen verlegt worden. Der Grund für die fast ausschließliche Anwendung der Gasschweißung liegt einmal darin, daß die Betriebsstoffe Sauerstoff und Karbid allorts erhältlich und z. T. auch Verformungs- und Schneidarbeiten notwendig sind, zum anderen darin, daß die zum Betriebe elektrischer Schweißmaschinen erforderlichen Anschlüsse fast immer fehlen. Hinzu kommt noch das Erfordernis der Nahtdruckdichtheit, die bei der elektrischen Überkopfschweißung schwierig, bei der Gasschweißung zuverlässig erreichbar ist.

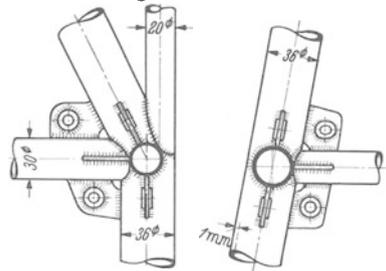


Abb. 159. Rohrknoten mit angeschweißten Stegblechen.

Aus der großen Anzahl der möglichen, z. T. unter Patentschutz (Strenger- und Klöpfermuffen) stehenden Muffenrohrverbindungen sind die wesentlichsten in den Abb. 160 und 161 zusammengefaßt. Die Verbindungen der Abb. 160 sind ohne Warmverformung der Rohrmuffen ausführbar, während die Muffen der Abb. 161 besondere Zu- und Nacharbeiten mit der Schweißflamme notwendig machen. Überdies sind die beiden letztgezeigten Verbindungen als Entlastungsstöße für die Schweißnaht anzusehen.

Die Schweißmuffenrohre unterscheiden sich von den verstemmten Muffen vor allem dadurch, daß der Muffendurchmesser dem Schwanzende angepaßt ist und der für die Verstemmung notwendige Zwischenraum fortfällt. Die gewöhnliche Muffenrohrverbindung mit einer äußeren Rundnaht ist bei a in Abb. 160

dargestellt, während *b* in dem in die Muffe eingeschobenen Rohrende eine Entlastungssicke besitzt, die mit der Muffe in einer äußeren Rundnaht verschweißt wird. Demgegenüber ist bei der Ausführung *c* die Anordnung einer Doppelsicke an der Muffe vorgesehen und das zylindrische Rohrende mit dem Muffenrand durch eine äußere Kehlnaht verbunden.

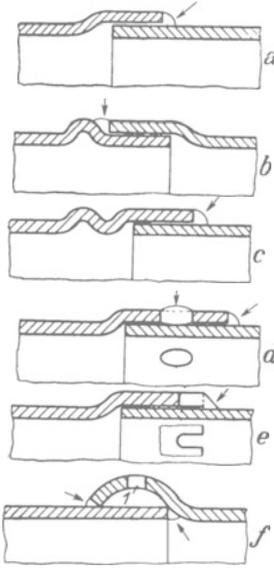


Abb. 160. Geschweißte Muffenrohrverbindungen.

Bei größerer Beanspruchung des Rohrnetzes, besonders auch bei größeren Rohrdurchmessern und in den Fällen, wo durch Erdverlagerungen oder Rutschungen (z. B. Bergbauggebiet) eine zusätzliche Beanspruchung des Rohrsystems zu erwarten ist, kann eine Vergrößerung der Schweißquerschnitte in der bei *d* und *e* angedeuteten Weise erfolgen, bei *d* insofern, als am Umfang der Muffe in gleichem Abstand verteilte Schweißlöcher angebracht sind, die mit Schweißwerkstoff ausgefüllt und mit dem eingeschobenen Rohrende verschweißt werden. Um das Auftreten von Spannungen zu vermeiden, ist es hierbei wichtig, die anliegenden Sicherungslöcher mit dem Fortschreiten der Rundnaht gleichzeitig und nicht vor- oder nachher auszufüllen. Die Ausführung *e* unterscheidet sich von der vorhergehenden durch die Anordnung von Längsschlitzen am Muffenende. Sind die Rohre befahrbar, so wendet man vielfach auch die Kugelmuffe *f* an, die je eine äußere und innere Rundnaht ermöglicht. Beim Abdrücken des Rohrstranges braucht lediglich der durch die Nähte begrenzte Ringraum unter Druck gesetzt zu werden, um die Verbindungen auf Dichtheit zu prüfen. Das für die

Druckproben notwendige Gewindeloch *l* wird mit einem Pfropfen verschlossen, damit gegebenenfalls die Druckprobe beliebig wiederholt werden kann.

Bei der Verbindung *a* in Abb. 161 wird das Rohrende mit der Flamme angewärmt und herumgeholt, sofern nicht entsprechende Baulängen vom

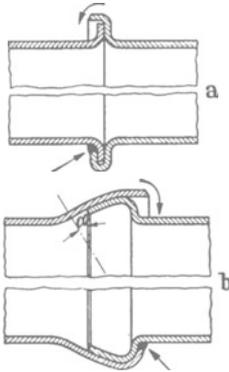


Abb. 161. Geschweißte Muffenrohrverbindungen.

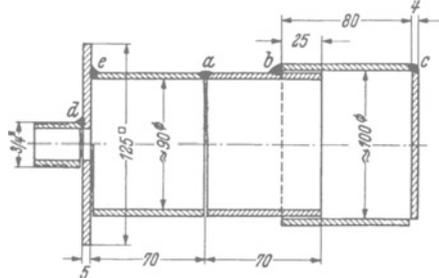


Abb. 162. Geschweißter Rohrprüfkörper.

Rohrwerk bereits so vorbereitet angeliefert werden. Den Zustand des Rohrendes und der Muffe vor dem Schweißen zeigt die obere Hälfte von *a*. Der mit der Flamme erhitze Muffenkrans wird durch Hämmern um den Bord des Rohrendes herumgeholt, angerichtet und darauf in Pfeilrichtung (untere Bildhälfte) verschweißt. Auf diese Weise werden betriebsmäßig auftretende Kräfte von den Rohren selbst aufgenommen, und die Schweißung hat nur die Aufgabe einer Dichtnaht zu übernehmen. Ähnlich liegen die Verhältnisse bei der Muffenverbindung *b*,

die erforderlichenfalls geringe axiale Abweichungen (Winkel α bis zu 6°) zuläßt. Bei beiden Muffen wird, wie die Skizzen erkennen lassen, nur eine Naht und diese nur von außen geschweißt.

Mit der Schweißung solcher Gasrohrleitungen beschäftigte Schweißer müssen sich ausnahmslos der behördlich vorgeschriebenen Prüfung nach DIN 2470 unterziehen (Richtlinien für Gasrohrleitungen mit geschweißten Verbindungen von mehr als 200 mm Durchmesser und mehr als 1 kg/cm^2 Betriebsdruck). Ein wesentlicher Bestandteil dieser Prüfung ist der in Abb. 162 veranschaulichte Rohrkörper, ein in sich geschlossenes und für eine Druckprobe im kleinen geeignetes Gefäß, an welchem alle vorkommenden Rundnahtarten vertreten sind. Bei *a* liegt eine Stumpfnaht, bei *c* eine Ecknaht, bei *e* und *d* eine Kehlnaht und bei *b* eine Überlappnaht vor, wie sie an Muffenrohren besonders häufig sind.

2. Behälter- und Kesselbau.

a) Verarbeitung von Feinblechen.

Allgemeines. Bei der Fertigung von Feinblechgegenständen steht die Gas-schweißung häufig mit dem Falzen, aber auch mit dem elektrischen Punkt- und Nahtschweißen im Wettbewerb. Die Lichtbogenschweißung hat zur Zeit auf diesem Gebiete noch nicht Fuß zu fassen vermocht, die Punkt- und Nahtschweißung in der Hauptsache nur dort, wo es sich um Massenfertigung handelt. Inwieweit die Widerstandsschweißung anwendbar ist, entscheiden neben den Abmessungen der Körper deren Nahtzugänglichkeit und Formgebung. Dort, wo aus diesem Grunde weder das Falzen noch die Widerstandsschweißung anwendbar sind, bleibt als letztes Mittel immer die Gasschweißung übrig, die sich bei der Massenfertigung besonderer Schweißmaschinen bedienen kann. Außerdem entscheidet die Oberflächennachbehandlung des Gegenstandes, vielfach auch die Art des Schweißens. Die Gegenstände können in roher, verzinnter, verzinkter, verbleiter oder emaillierter Ausführung aus Schwarzblech oder dekapierten Blechen hergestellt sein. Zur Massenfertigung gehört die Erzeugung von Eimern, Kannen, Töpfen, Fässern, Radiatoren, Bottichen, Transportkannen und Geschirren aller Art. Werden Feinblechkörper aus zwei oder mehreren gepreßten oder gedrückten Einzelteilen zusammengesetzt, dann ist es sowohl für die Schweißung von Hand, mehr noch für die maschinelle Schweißung zweckmäßig, einen Schweißbord vorzusehen, der einen Drahtzusatz erübrigt und die Arbeitsgeschwindigkeit steigert, gleichzeitig aber auch der Eigenart der Arbeitsweise von Autogen-Schweißmaschinen gerecht wird. Das maschinelle Schweißen unter Drahtzusatz ist nur bedingt möglich und verursacht mancherlei mechanische Schwierigkeiten. Soweit die Schweißung in der Reihenfertigung von Hand, zumal im Gedinge erfolgt, müssen zweckmäßige Spann- und Haltevorrichtungen, die ein Verziehen der zu schweißenden Gegenstände vermeiden, angewandt werden. Für die Ausführung von Rundnähten sind vom Fuße des Schweißers zu betätigende Drehvorrichtungen, z. B. Drehtische, Rollenböcke und andere einfache Hilfsvorrichtungen empfehlenswert.

Anwendungsbeispiele. Während das Schweißen bekanntlich von Anbeginn dazu berufen war, das Nieten abzulösen, ist man später auch dazu übergegangen, insbesondere dünnwandige und sperrige Gußkörper durch geschweißte Blechkonstruktionen zu ersetzen, womit nicht allein eine um ein Vielfaches größere Bruchsicherheit, sondern auch wesentliche Gewichtsersparnisse erzielt werden. Unter anderem trifft dies für Wasser- und Ölfangwannen im Werkzeugmaschinenbau zu, die häufig bedeutende Abmessungen annehmen und früher aus mehreren Gußteilen zusammengesetzt waren. Abb. 163 zeigt 2 Fangwannen in geschweißter

Ausführung, und zwar bei *a* aus etwa 3 mm-, bei *b* aus 1,5 mm-Schwarzblech. Die Blechschüsse 3 und 4 in Skizze *a* werden je nach Länge der Wanne vor oder nach dem Abkanten der Ränder durch Schweißung verbunden und die sich aus dem Zuschnitt ergebenden Eckenöffnungen durch das Einsetzen sauber angepaßter Blechstücke 2 ausgefüllt. Kommt man mit dünneren Blechen aus (Skizze *b*), dann wird eine Randverstärkung der Wannen durch Drahteinrollen erreicht, was außerdem eine Abrundung der scharfen Blechkanten bewirkt und geräuschvolles Mitschwingen des Blechkörpers verhütet. Auch die bei 2 angedeuteten Bodenansätze werden an ihren Ecken 1 mit der Decke verschweißt.

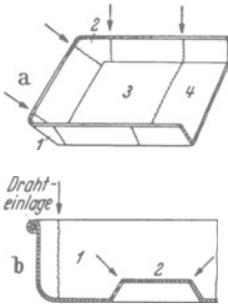


Abb. 163. Geschweißte Ölfangwannen.

der Nietköpfe, die zur Zurückhaltung von Wasserresten und von Fördergut Veranlassung geben und raschen Verschleiß bzw. vorzeitige Korrosion bewirken.

Sackkarren, Hunte, Kipper, Elevatorenbecher und viele andere Blechkonstruktionen werden auf diese oder ähnliche Weise in geschweißter Ausführung gefertigt. Gegenüber der genieteten hat die stumpfgeschweißte Naht hier den besonderen Vorteil der fehlenden Überlappung und des Fortfalls

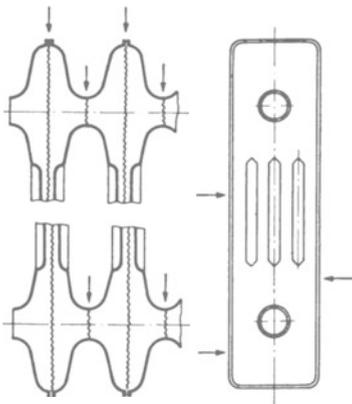


Abb. 164. Geschweißte Radiatorenteile.

Auf die Herstellung schmiedeeiserner Radiatoren ist schon kurz hingewiesen worden. Die gestanzten und gepreßten Blechhälften werden unter sich zu Gliedern und diese miteinander zu fertigen Heizkörpern verbunden. Schweißnähte sind, wie aus Abb. 164 ersichtlich ist, z. T. als Bördelnähte, z. T. als Stumpfnahte ausgebildet. Auf diese Weise können Heizkörper jeder gewünschten Baulänge entstehen. Um die dünnen Bleche zu versteifen, werden längsseitige Rillen oder ähnliche Einprägungen angeordnet.

Verschiedene Ausführungsformen geschweißter Dehnungsausgleichstücke (Kompensatoren), wie sie im Rohrleitungsbau üblich sind, veranschaulichen die Abb. 165 und 166. Es sind dies wiederum aus gepreßten oder gedrückten Einzelteilen zusammengeschweißte Körper verschiedener Durchmesser.

Die überall im Maschinenbau erforderlichen Radschutzverdecke geben dem Konstrukteur weiten Spielraum in der Gestaltung geschweißter Ausführungen.

Gegenüber den gegossenen Radschutzkästen haben die geschweißten mancherlei Vorteile, z. B. Fortfall der vielen Modelle, besonders bei Einzelanfertigung, Fortfall von Ausschuß und jeder Bearbeitung und Anpassung, hohe Stoßfestigkeit, sowie unabhängige Formgestaltung. Das Beispiel eines sehr einfachen

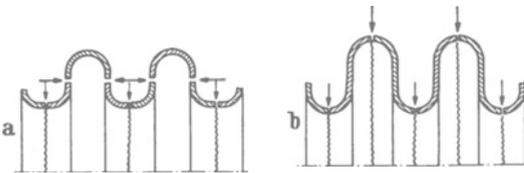


Abb. 165. Geschweißte Kompensatoren.

haubenförmigen Verdecks bringt Abb. 167. Es besteht aus einer Decke *a*, an deren Rand ringsum ein in seiner Länge zusammengeschweißter Blechstreifen (Kranz) *b* angeschweißt ist. Die Befestigung des Verdecks an der Maschine geschieht durch angeschweißte Rund-, Flach- oder Winkeleisenstücke. Um

Radschutzverdecken von größeren Abmessungen eine gewisse Steifigkeit zu verleihen, ohne die Blechdicke zu steigern, stehen verschiedene einfache Mittel zur Verfügung, wie sie in Abb. 168 dargestellt sind. An Stelle der in Abb. 167 angedeuteten Kantennaht kann sowohl zur Versteifung als auch zur Vermeidung des Verziehens die Radschutzdecke in einem gewünschten Radius herumgeholt und damit die Schweißnaht in den Kranz verlegt werden (*I*, *III* und *IV*). Nur einseitig geschlossene Verdecke (*I*, *II* und *III*) werden an der offenen Seite durch Umlegen des Blechrandes *a* bzw. durch eine oder mehrere Sicken *b* versteift. In besonderen Fällen können entsprechend dem Beispiel *III* eine Sicke und Randverstärkungen vorgesehen werden. Beiderseits geschlossene Verdecke werden an den Lochrändern durch aufpunktigte Flach- oder Formeisen oder auch, wie *IV* zeigt, durch in den Decken unmittelbar an den Lochrändern angebrachte Sicken versteift.

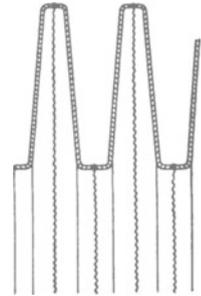


Abb. 166.
Geschweißter
Kompensator.

Zur weiteren Gewichtsverminderung können die Decken selbst aus gelochten Blechen hergestellt sein. Einen geschweißten Radschutzkasten großer Abmessung zeigt Abb. 169. An größeren Blechflächen erforderliche Flach- und Winkeleisenversteifungen sind am besten elektrisch anzuschweißen. Das trifft auch für die an der Teilungsfläche notwendigen Winkeleisenrahmen zu. Infolgedessen haben wir es hier mit einem von vielen Beispielen zu tun, wo die Vorteile beider Schweißverfahren sich gegenseitig ergänzen.

Schweißung überzogener Bleche. Bei der Schweißung mit rostschtützendem Überzug von Fremdmetallen wie Zink, Zinn und Blei versehener Stahlbleche treten häufig Schwierigkeiten auf, die hauptsächlich in der Legierungsgefahr und im Brüchigwerden der Schweißverbindung ihre Ursache haben. Deshalb werden solche Bleche möglichst gelötet und nur in Fällen, wo es auf größere Festigkeit ankommt, geschweißt. Unter diesen ist verbleites Blech am besten schweißbar, da Blei auch auf hocherhitztem oder flüssigem Stahl seine Eigenart beibehält und mit diesem keinerlei Zwischenlegierungen eingeht. Die dünne Bleifolie schmilzt unter der Flamme beim Anwärmen sehr schnell, und es bilden sich kleine, von der Naht beiderseits rasch abfließende Kügelchen, so daß eine neutrale Zone entsteht, breit genug, um die Schweißung des Bleches unter

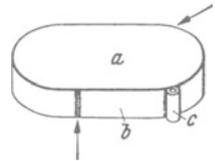


Abb. 167.
Geschweißter
Radschutzkasten.

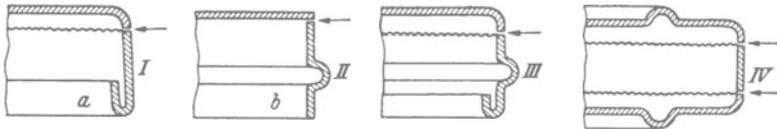


Abb. 168. Beispiele von Schweißarbeiten an Radschutzkästen.

normalen Verhältnissen auszuführen. Jedoch ist es ratsam, die sich bildenden Bleioxyde vor dem Schweißen mit der Drahtbürste zu entfernen (Vorsicht, Vergiftungsgefahr durch Bleidämpfe, s. Atmungsschutzmasken).

Natürlich läßt sich beim Schweißen aller überzogenen Bleche ein mit der Blechdicke in der Breite wachsendes Fortschmelzen des Überzugs nicht verhüten. Die Entfernung des Überzugs ist sogar dringend notwendig, um die Schweißung ordentlich durchführen zu können. Demnach bedingt jede Schweißarbeit an solchen Blechen normalerweise deren Nachbehandlung, sei es durch galvanisches Aufbringen oder Aufschmelzen gleichartiger Überzüge, sei es durch Aufspritzen von Metall oder Aluminiumfarbe (Schoopsches Verfahren).

Nicht so einfach gestaltet sich das Schweißen verzinkter Bleche; vielmehr erfordert dieses verschiedene Maßnahmen, da sich das Zink, von seinem Schmelzpunkt (419°) angefangen, mit dem Eisen legiert. Unter dem Einfluß der Schweißflamme entwickeln sich bedeutende Mengen von Zinkoxyddämpfen, die sehr giftig sind und die Gesundheit des Schweißers ernstlich gefährden können. Hier gilt das bereits über die Schutzmasken Gesagte. Die Eisen-Zinklegierung ist stark brüchig und infolge großer Schlackenbildung von sehr geringer Festigkeit. Die Brüchigkeit steigert sich mit abnehmender Blechdicke. Darum genügt es nicht, das anhaftende Zink entlang der Naht fortzubrennen, sondern es muß auf $10 \div 30$ mm Breite entlang der Schweißfuge mechanisch restlos entfernt

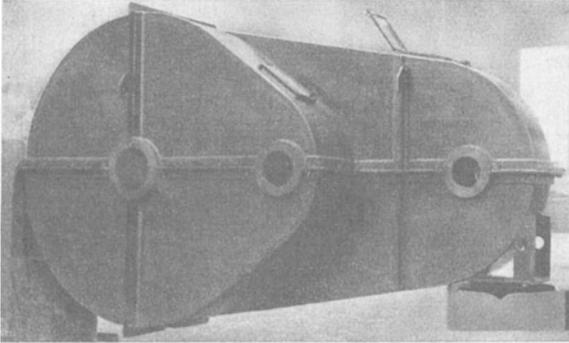


Abb. 169. Großer geschweißter Radschutzkasten.

werden (durch Abschaben oder Abkratzen). Zink enthält stets Blei (bis zu 1,3 vH), das mitverdampft.

Ähnlich verhält sich verzinntes Blech (Weißblech). Eine Legierung zwischen Eisen und Zinn ist sehr brüchig, besonders bei höheren Temperaturen. Selbst geringe Spuren von Zinn setzen die Festigkeit des Eisens erheblich herab. Die Gefahr einer Vergiftung tritt gegenüber verbleitem und verzinktem Blech

zurück, weil die Verdampfung des Zinns erst in der Gegend von 1200° einsetzt, also in der Nähe des Schmelzpunktes des Stahles. Jedoch schmilzt auch die Zinnschicht nicht unter der Flamme fort, sondern sie wird vom Stahle, mit diesem eine Legierung bildend, völlig aufgenommen, sobald er Rotglut erreicht hat. Demzufolge gilt für die Entfernung des Zinns das für Zink Gesagte.

b) Verarbeitung von Mittel- und Grobblechen.

Allgemeines. Alle bezüglich der Feiblechschweißung gemachten Ausführungen lassen sich sinngemäß auch auf die Schweißung von Mittel- und Grobblechen übertragen. Ist es dort vor allem die Gefahr des starken Verziehens, die hervorzuheben war, so sind es hier die höhere Beanspruchung der Schweißverbindung auf Festigkeit, Dichtigkeit, gegen Druck und Vakuum, Schrumpfspannungen und andere Faktoren, die zu beachten sind. Die Vorteile des Schweißens von Behältern, Boilern, Bunkern, Silos, Tanks, Schmelzwannen, Luft- und Wasserdruckkesseln, Heizkesseln, Dampfgefäßen und anderen Blechkonstruktionen sind mannigfacher Art und unbestritten. Die Überlegenheit der Schweißnaht gegenüber der Nietung beruht nicht allein auf einer Werkstoffersparnis, die sich aus dem Fortfall der Überlappungen ergibt, sondern auch auf der einfacheren Formgebung, auf gleichmäßigem unabgelenktem Kraftfluß und ständiger Dichtigkeit. Die Vereinfachung der Bauart geschweißter Ausführungen veranschaulicht der zur Hälfte in genieteter, zur anderen in geschweißter Ausführung skizzierte dampfbeheizte, doppelwandige Kochkessel der Abb. 170.

Mit zunehmender Blechdicke scheidet die Widerstandsschweißung als Arbeitsverfahren gänzlich aus, jedoch nimmt die Lichtbogenschweißung, besonders in industriellen Betrieben, an Umfang zu und wird, wie bereits angedeutet wurde, in Gemeinschaft mit der Gasschweißung angewendet.

Behältermäntel. Der Zuschnitt der Bleche und die Vorbereitung ihrer Ränder zum Schweißen, sowie die Verwendung von Vorrichtungen richten sich nach der Blechdicke, Nahtlänge und Schweißrichtung. Sie sind die gleichen wie in den grundsätzlichen Ausführungen des Abschnitts A 3 bereits besprochen.

Während Längsnähte an dickeren Behältermänteln freiliegend geschweißt werden können, werden dünnere, die infolge ihres Eigengewichtes durchhängen und stark federn, vorteilhaft auf einer Unterlage geschweißt. Als Unterlage dient meist eine in die Wand eingelassene, an der Werkbank oder auf Böcken befestigte Eisenbahnschiene, in deren Kopfmitte eine Längsnut eingehobelt ist (Abb. 171). Die beiden Blechränder werden über dieser Nut zusammen gestoßen, wodurch die Schweißgeschwindigkeit keine Beeinträchtigung infolge starker Wärmeableitung an die Schiene erfährt und außerdem gut durchgeschweißt werden kann.

In diesem Zusammenhang sei darauf hingewiesen, daß alle zu schweißenden Blechränder gut vorbereitet sein müssen, da sich derartige Mängel beim Schweißen unliebsam bemerkbar machen und die Nacharbeiten mehr Zeitaufwand erfordern, als einer sachgemäßen Vorbereitungsarbeit entspricht.

Durch die Schweißung hervorgerufene Rundungsabweichungen des Blechzylinders können meist durch zweckmäßiges Einrollen, besonders bei dicken Blechen, verhütet werden. Der Querschnitt geschweißter dünnerer Blechzylinder hat oft das birnenförmige Aussehen der Abb. 172, wobei der ursprüngliche Durchmesser a sich teilweise verjüngt (b) und an der Nahtstelle c erweitert.

Durch Hämmern auf einer als Unterlage dienenden Schiene wird die Naht gestreckt und dem Mantel seine zylindrische Form wiedergegeben, oder er wird auf der Blechwalze ausgerichtet. Dies ist hauptsächlich dann zu empfehlen, wenn die Abmessungen mehrere Längsnähte erfordern.

Durchmesserabweichungen machen die Schweißung von Rundnähten besonders schwierig, weil durch versetzte Blechränder entstehende Kerben nicht zu verhüten sind (Abb. 177 a). Normalerweise werden erst alle Längsnähte hergestellt, die einzelnen Schüsse ausgerichtet und dann durch Rundnähte miteinander verbunden. Da wesentliche Nacharbeiten an Rundnähten praktisch nicht möglich sind, ist die Schweißung mit einigen Schwierigkeiten verknüpft, namentlich bei dünnen Behältermänteln.

Rundnähte an Dickblechen schweißt man, indem man die Blechränder durch am Umfang gleichmäßig verteilte und in die Fuge eingepaßte Spannschrauben fixiert (Abb. 125 III). Rundnähte an Blechen bis zu 5 mm Dicke werden, falls der Durchmesser nicht zu groß ist, an verschiedenen Stellen geheftet, und zwar derart, daß man zunächst 4 gegenüberliegende Heftpunkte setzt und diese je nach Blechdicke durch weitere Heftstellen beliebig unterteilt. Besteht die Möglichkeit der Verformung dünnwandiger Mäntel auf Grund ihres Eigengewichtes, dann wird zweckmäßig im Zylinderinnern ein U-Eisenring

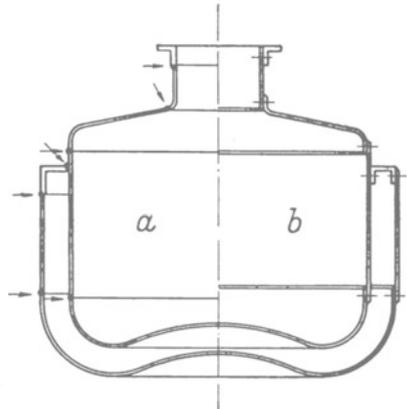


Abb. 170.
Kochkessel, geschweißt und genietet.

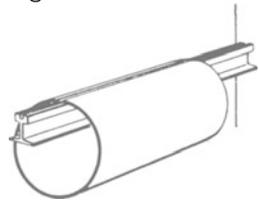


Abb. 171. Schweißunterlage
für Behältermäntel.

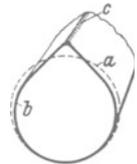


Abb. 172.
Birnenförmiges
Aussehen eines
geschweißten
Blechzylinders.

mit Spannschrauben angedrückt, der die Maßhaltigkeit gewährleistet und auf dessen offene Seite der Blechstoß zu liegen kommt (Abb. 173).

Mit wachsendem Manteldurchmesser wird die bequeme und unbehinderte Stellung des Schweißers zum Werkstück immer schwieriger. In solchen Fällen sind Gerüste, Arbeitsbühnen und ähnliche Rüstzeuge vorzusehen, oder, was häufig geschieht, die Zargen werden in Schweißgruben gelagert, wie dies in Abb. 174 angedeutet ist. In diesen mit Rollen ausgerüsteten Gruben kann der Blechmantel leicht gedreht werden, so daß der Schweißer einen Abschnitt der Rundnaht vom Grubenrand aus gut erreichen kann. Zur Vermeidung hoher Gerüste werden mitunter auch die Längsnähte in diesen Gruben geschweißt.

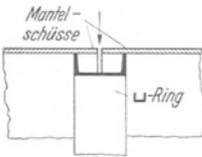


Abb. 173.
Unterstützungsring
für dünne Mäntel.

Eine Reihe von Ausführungsbeispielen rechteckiger offener Gefäße ist in Abb. 175 zusammengestellt. Die Längsnähte an den Blechschüssen werden ausnahmslos stumpfgeschweißt. Die Grundrißskizzen *h*, *i*, *k* und *l* zeigen abgerundete Kanten. Die Lage der Schweißnähte, die beliebig sein kann und durch die Abwicklung der Bleche bestimmt wird, ist nur an die eine schweißtechnische Bedingung gebunden, daß man die Naht nach Möglichkeit nicht in die Rundung selbst verlegt, einmal wegen der Schwierigkeit der Arbeitsdurchführung — die Naht kann nicht ausgerichtet werden — und zum anderen wegen der ungünstigen Beanspruchung der Schweißverbindung. Im Falle *h* und *k* sind die Nähte in die kleineren Behälterflächen gelegt und deshalb besser auszurichten. Freilich wird man bei Behältern größerer Abmessung auf das Anbringen von Nähten in den Längsseiten nicht verzichten können. Bei *i* unten und bei *l* sind die Längsbleche an beiden Enden abgekantet, so

Abb. 174. Schweißgrube.

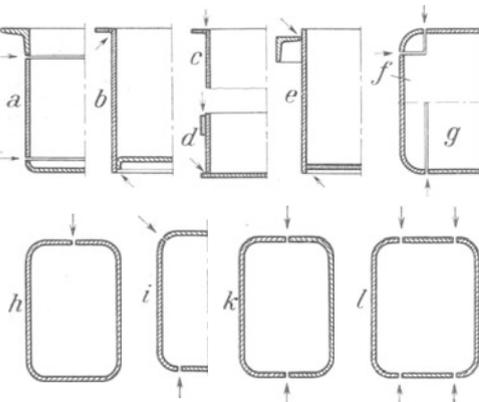


Abb. 175. Vorbereitung von Blechkästen zur Schweißung.

daß die Schweißnähte unmittelbar neben der Rundung liegen, eine allgemein günstige Konstruktion. Doch kann auch nach *f*, sowie *a* in Abb. 176 verfahren werden, wenn eine abgerundete Kante, aus einem Blechstreifen bestehend, durch 2 Nähte mit dem Behälter verbunden wird. Weniger üblich ist die Anordnung der Naht *c* in Abb. 176. Diese Ausführungsform kommt normalerweise nur bei X-Nähten an Dickblechen vor.

Böden und Deckel. Für die Beschaffenheit der Böden und ihrer Schweißnähte sind Blechdicke und Behälterabmessung maßgebend. Die einfachsten Formen sind in Abb. 175 skizziert. Nur selten wird es möglich sein, die Böden mit einer Kantennaht an den Gefäßmantel anzuschließen, da starke Verwindungen kaum zu vermeiden sind. Auch die Ausführungen *d* und *e*, bei denen einmal das Bodenblech über den Mantel vorsteht, das andere Mal in diesen eingeschoben ist, sind für die Gasschweißung weniger geeignet als für die Lichtbogenschweißung. Weitaus besser sind die Beispiele *a* und *b*. In beiden Fällen wird der Boden mit einer Kreppe versehen und diese entweder, wie bei *a*, mit dem Mantelblech

stumpfgestoßen oder, wie bei *b*, in dieses eingepaßt und etwa um Blechdicke zurückgesetzt, wodurch eine gegen Beschädigung geschützte Kehlnaht entsteht. Dabei ist es belanglos, ob die Behälter rechteckigen oder runden Querschnitt haben. Abgekantete oder gekümpelte Böden machen vor allem bei dickeren Blechen einen besonderen Zuschnitt erforderlich, wie dies aus den 3 Beispielen der Abb. 176 hervorgeht. Während der Boden *b* infolge seines Zuschnittes nur eine Ecknaht verlangt, sind bei *a* und *c* besondere Formstücke eingepaßt und mindestens 2 Schweißnähte notwendig.

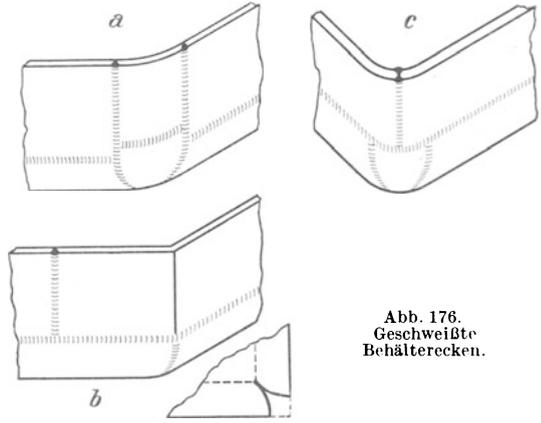


Abb. 176. Geschweißte Behälterecken.

Jede guteingerichtete Apparatebauanstalt kann die Abkantung der für rechteckige Behälter bestimmten Böden selbst vornehmen, hingegen ist sie hinsichtlich der Beschaffung gekümpelter, runder Böden meist auf Preßwerke angewiesen. Um den Böden ohne Verstärkungseisen größere Steifigkeit zu geben, werden sie häufig bombiert, wie es beispielsweise bei *e* in Abb. 179 für einen Behälterdeckel angedeutet ist.

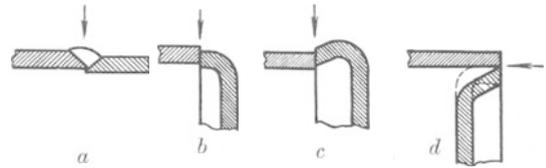


Abb. 177. Falsche Schweißungen bei Blechböden.

Sauberer Anpassen der Böden erleichtert und verbilligt die Schweißarbeit. Falsche Ausführungen stellen die Skizzen der Abb. 177 dar. Bei *a* sind die Blechschüsse versetzt, bei *b* und *d* sind die gekümpelten Böden zu klein und bei *c* zu groß. Im übrigen richten sich Gestalt und Form der Böden nach dem Betriebsdruck. Der bei *I* in Abb. 178 gezeigte Boden, dessen Anschlußnaht in die auf Biegung stark beanspruchte Zone verlegt ist, darf nur bei Behältern für geringe Drücke Anwendung finden. Für höhere Betriebsdrücke sind nur Ausführungen der in Abb. 179 gebrachten Beispiele zulässig, also Bauarten, bei denen die Naht außerhalb dieser Zone zu liegen kommt. Flache Böden mit gekümpeltem Rand, *II* in Abb. 178, verziehen sich beim Schweißen immer, und zwar um so mehr, je dünner das Blech ist, bei kleineren Durchmessern, etwa wie *a* zeigt, indem sie sich nach außen durchdrücken, bei größeren Durchmessern wellenförmig, entsprechend *b*. Ein Ausrichten ist nur durch Hämmern und Strecken der Schweißnaht möglich, worauf bei der Fertigung von vornherein Rücksicht zu nehmen ist.

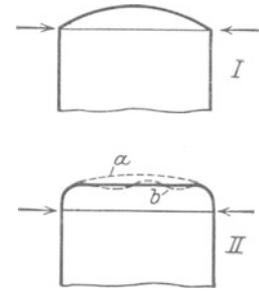


Abb. 178. Werfen von Blechböden.

Bei Behältern und Kesseln für höhere Betriebsdrücke, bei Dampffässern und Dampfgefäßen usw. kommt fast ausschließlich die für höhere Drücke geeignetste runde Bauform in Frage, und die Böden werden wie in Abb. 179 angesetzt. Für die Gasschweißung sind die Formen *a* und *b* mit nach außen gewölbten und stumpfangeschweißten Böden die besten. Sehr selten kommen *c* und *d* vor, sie eignen sich besser für die Lichtbogenschweißung. Die Böden *e*

und *f* sind nur für geringere Betriebsdrücke bestimmt. Die Bauart der Abb. 180, die der Rohrverbindung Abb. 161 *a* nahekommt, wird meist nur bei Luftdruckbehältern angewendet. Hier wird der abgekröpfte Kranz *a* des Mantels mit der Flamme erwärmt, an den Boden angerichtet und mit diesem in Pfeilrichtung verschweißt. Demgemäß verlangt diese Verbindung lediglich eine Dichtschweißung, da die Naht durch die Bauform entlastet ist.

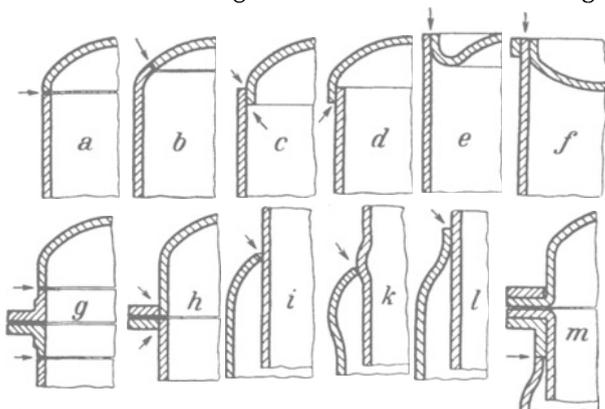


Abb. 179. Anordnung der Schweißnähte an geschlossenen Behältern.

Ist aus irgendeinem Grunde die Verwendung gewölbter Böden ausgeschlossen, so kann für Druckbehälter die in Abb. 181 *c* gezeigte Bodenform vorgesehen werden.

Die mit den Behältern fest verbundenen Deckel sind ebenfalls als Böden anzusprechen und ihre Schweißung unterscheidet sich von jener kaum. Abnehmbare Deckel bedürfen immer einer Randverstärkung, wie sie bei *g*, *h* und *m* der Abb. 179 ersichtlich sind. Aber auch hier kommt nur die Stumpfnah oder die Kehlnah und nur selten die Überlappnah in Frage. Verschiedene Ausführungsbeispiele für Deckel- und Bodenverbindungen sind in Abb. 181 zusammengestellt, und Abb. 182 zeigt zwei besonders bei Dampfgefäßverschlüssen übliche Deckelkonstruktionen.

Was nun den Zusammenbau eines aus mehreren Mantelschüssen und zwei Böden bestehenden Kessels betrifft, so kann im Gegensatz zu der oben besprochenen Arbeitsfolge auch nach Abb. 183 vorgegangen werden. Dabei ist die Reihenfolge der Schweißnähte eine andere. Die auf Rollen *a* gelagerten Schüsse werden nicht alle vor der Herstellung der Rundnähte längsgeschweißt, sondern zunächst nur der Schuß *b* durch Längsnaht 1 verbunden.

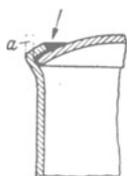


Abb. 180. Schweißnaht bei Luftdruckbehältern.

Die auf Rollen *a* gelagerten Schüsse werden nicht alle vor der Herstellung der Rundnähte längsgeschweißt, sondern zunächst nur der Schuß *b* durch Längsnaht 1 verbunden.

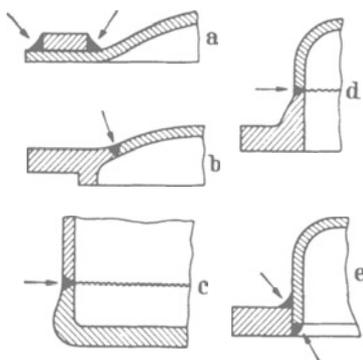


Abb. 181. Schweißung von Deckel- und Bodenverbindungen.

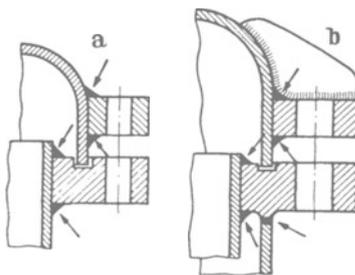


Abb. 182. Deckelschweißungen bei Dampfgefäßverschlüssen.

Darauf wird der zweite Schuß *c* durch Rundnaht 2 mit *b* verschweißt und jetzt erst die Längsnaht 3 gezogen. Es folgen dann die Nähte 4 und 5 und endlich 6 und 7, welche die Böden *e* und *f* mit dem Mantel verbinden. Das vorherige

Heften der Rundnähte der einzelnen Schüsse fällt hier fort, jedoch werden die Böden (s. 6) in der bereits früher geschilderten Art geheftet.

Lediglich der Vollständigkeit halber soll hier noch auf eine Kesselbauart hingewiesen werden, bei der die Mäntel spiralförmig eingerollt und so verschweißt werden, daß Längs- und Rundnähte zu einer gemeinschaftlichen Spiralnaht vereinigt sind. Diese mitunter auch bei großkalibrigen Rohren angewandte Verbindung hat sich bisher nur wenig eingeführt, dagegen hat sie sich in einigen Sonderfällen, z. B. bei auf hohen Druck und große Hitze beanspruchten Sonderkonstruktionen, gut bewährt.

Behälter mit Doppelmantel und Zwischenwänden. Dampf- oder warmwasserbeheizte Fässer, Boiler und Kessel werden meist doppelmantelig hergestellt. Damit rückt

ein neues konstruktives Moment für die geschweißte Ausführung in den Vordergrund, nämlich der Anschluß des äußeren Mantels an den inneren und die Verbindung zwischen Boden und Mänteln einerseits und zwischen diesen und den Deckeln andererseits. Durch sinnvolle Anschlußteile kann die Bauweise vereinfacht und die Schweißung erleichtert werden.

Einfache Anschlußrundnähte an doppelmanteligen Behältern sind bei *i*, *k* und *l* in Abb. 179, sowie bei Abb. 184 *a* veranschaulicht. Allen diesen Verbindungen ist gemeinsam, daß der Außenmantel eingezogen und an den Innenmantel ohne Zwischenglieder angepaßt ist, Bauarten, die hauptsächlich bei der Fertigung von Boilern bevorzugt werden. Bei *i* und *l* (Abb. 179) sowie bei *a* (Abb. 184) werden die Schweißspannungen im wesentlichen von den Ausrundungen der Schweißenden der Außenmäntel aufgenommen und unschädlich gemacht. Nach *k* kann der Innenmantel in Höhe des Anschlusses des äußeren Mantels mit einer Sicke versehen und an diesem auch eine Ausbauchung vorgesehen sein. Hierdurch wird ein Verziehen des Gesamtkörpers vermieden und die Schweißarbeit erleichtert.

Unter Verwendung von Zwischengliedern einfachster Natur können in einzelnen Fällen Bodenkonstruktionen nach *b* und *c* in Abb. 184 angebracht werden. Etwas verwickelter fallen die Deckelanschlüsse doppelwandiger Behälter aus, wie sie z. B. in Abb. 179 bei *m*, in Abb. 182 bei *b* und in Abb. 184 bei *d* und *e* skizziert sind. Als Zwischenglieder für die Mäntel als solche und für diese mit den Deckeln dienen hier Flach- oder Winkeleisenringe.

Machen Betriebsbedingungen den Einbau von Kesselunterteilungen notwendig, dann kann man sich — was das Einsetzen von Zwischenwänden betrifft — von zwei Gesichtspunkten leiten lassen. Entweder wird die Trennwand ohne oder mit Unterbrechung des Mantelbleches eingesetzt. Die erste Bauweise bedingt im allgemeinen einen genügend großen Behälterdurchmesser und Zugänglichkeit der meist von innen zu schweißenden Naht. Beispiele hierfür sind in

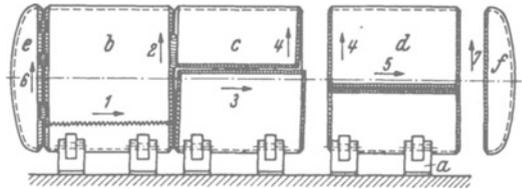


Abb. 183. Reihenfolge der Schweißnähte beim Zusammenbau eines Kessels.

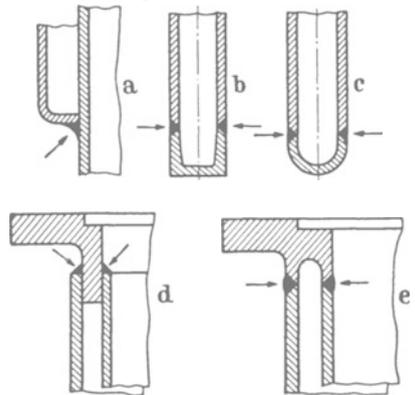


Abb. 184. Geschweißte Zwischenwände und Böden.

Abb. 185 bei *a*, *c* und *g* angedeutet. Unter diesen sind die Ausführungen *a* und *g* nur beschränkt anwendbar, einmal wegen des immer zu erwartenden starken Verziehens und ferner, weil die Lochschweißung im Sinne von *g* auf Dichtheit keinen Anspruch erheben kann, was diese Verbindung vielfach von selbst verbietet. Der sichere und praktisch immer bessere Verband zwischen Mantel und Trennwand erfordert eine Unterteilung des Zargenschusses, wie dies aus *b*, *e*, *f*, *d* und *h* hervorgeht. Die Ausführungen *b* und *f* sind als Abwandlungen der schon früher beschriebenen Dreiblechnaht, der besseren unter diesen, aufzufassen. Eine Schweißnaht verbindet beide Blechschüsse mit der Zwischenwand. Die Vorbereitung der bei *h* skizzierten Verbindung kann nur für dünnere Bleche in Frage kommen, ebenso hat die Doppelnaht *d* fast nur für die elektrische Schweißung Bedeutung. Es bleibt noch die besonders stabile Konstruktion *e* zu erwähnen übrig, bei welcher der Arbeitsgang zweckmäßig folgender ist: Der Zwischenboden wird entgegengesetzt der

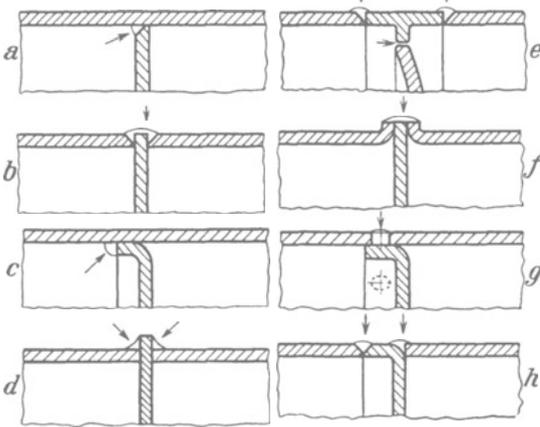


Abb. 185. Geschweißte Zwischenwände in Behältern.

Schweißnaht etwas durchgepoltert, damit er beim Einschrumpfen der Schweißnaht eben und möglichst spannungsfrei wird. Erst nachdem die Verbindung zwischen dem Boden und T-Ring vollendet ist, wird das Ganze an die Mantelschüsse angepaßt und darauf die Schweißung der beiden Rundnähte vorgenommen.

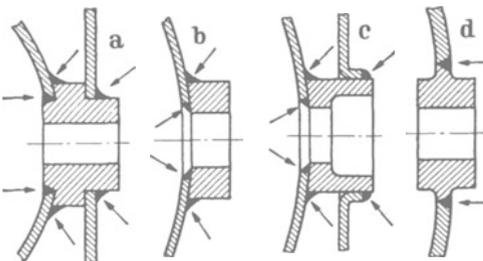


Abb. 186. Verbindung von Scheiben und Naben mit Kesselmänteln.

oder annietet. Durch Schweißung mit Gefäßbrändern verbundene Formeisenrahmen sind bereits in Abb. 175 gezeigt, Flacheisenverstärkungen bei *b* und *c* und solche aus Winkeleisen bei *a* und *e*. Versteifte Mäntel- und Deckelränder zeigen die Abb. 179 (*g*, *h* und *m*), 181 (*a*, *d* und *e*), 182 (*a* und *b*) und 184 (*d* und *e*).

Einige Beispiele durch Schweißung mit Kesselmänteln verbundener Scheiben und Naben sind in Abb. 186 wiedergegeben, wovon *b* und *d* Durchbrüche an einmanteligen, *a* und *e* solche an doppelwandigen Kesseln darstellen. Form und Bemessung dieser Anschlüsse richten sich nach dem Betriebsdruck und der Betriebstemperatur. Ganz allgemein sind alle Aussparungen in Kesselwandungen mit einer Konstruktionsschwächung verbunden, weshalb derartige Öffnungen durch Flanschen, Verstärkungsringe usw. auszusteißen sind. Für die Reihenfolge

Versteifungen, Naben, Stützen. In der Mehrzahl der Fälle sind Flach- und Winkeleisen die bevorzugten Profile für die Aussteifung geschweißter Konstruktionen. Die freien Ränder offener Gefäße, große Mantel- und Bodenflächen, Deckelanschlüsse usf. versteift man in einer den jeweiligen Erfordernissen gerecht werdenden Form, indem man die Formeisen anschweißt, auf großen Flächen auch anheftet (z. T. elektrisch)

der Schweißnähte sind bestimmend: die Art des Zusammenbaus und die sich aus den Spannungen ergebenden Schwierigkeiten.

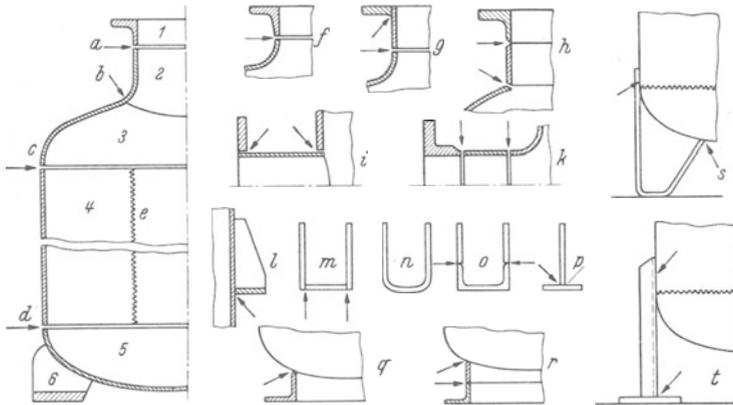


Abb. 187. Anschweißen von Stützen und Füßen.

Auch die Schweißung der im Behälterbau sehr häufig vorkommenden Stützen gestattet einfachste Konstruktionsteile, wie solche neben anderen in Abb. 187 skizziert sind. Zunächst zeigt die Abbildung einen bei *e* längsnahtgeschweißten Mantel 4, der durch die Rundnähte *c* und *d* mit den beiden Böden 3 und 5 verbunden ist. An den oberen Boden schließt sich mit Schweißnaht *b* der ausgehalste Stützen 2 an, der seinerseits durch die Stumpfnah *a* mit dem Versteifungswinkelring 1 verbunden ist. Die Darstellungen *f*, *g* und *h* deuten Abwandlungen in der Bauweise des Stützens an, der je nach Länge und Durchmesser unmittelbar an den Boden angeschlossen oder durch einen zwischengeschweißten Blechmantel beliebig verlängert werden kann. Anschlußmöglichkeiten für an Behältermänteln vorgesehene Stützen sind aus *i* und *k* zu entnehmen. Diese Beispiele mögen genügen, obwohl sie bei der großen Anzahl von Konstruktionsmöglichkeiten nicht erschöpfend sind.

Einige weitere Beispiele (Abb. 187 *l* bis *p*) beziehen sich auf angeschweißte Tragpratzen, die entweder U-förmig gebogen oder aus Einzelteilen in dieser Form zusammengeschweißt sein oder auch T-förmig ausgestaltet werden können. Schließlich sind bei *q* bis *t* verschiedene Ausführungen von Füßen und Stützen gezeigt, wie sie bei stehenden Behältern üblich sind. Die Füße 6 und *s* sind aus Flacheisen, die Füße *q* und *r* aus Winkelringen und *t* aus U-Eisen hergestellt.

Ausführungsbeispiele. Im Hinblick darauf, daß die im einzelnen teilweise ausführlich besprochenen Bauteile in der Apparate- und Behälterkonstruktion

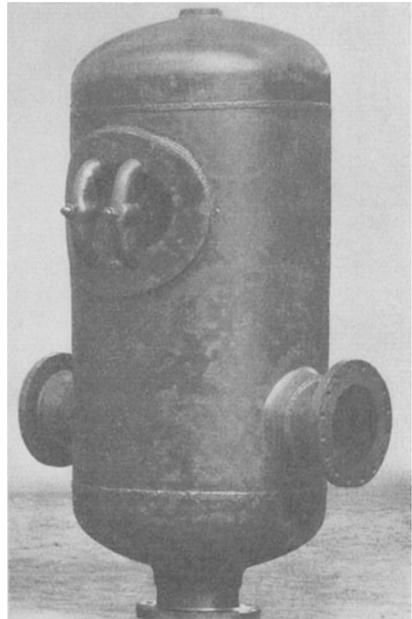


Abb. 188. Schweißung eines Wasserabscheiders.

laufend, vielleicht auch mit geringen Abänderungen wiederkehren, kann auf die Wiedergabe einer größeren Anzahl von Aufnahmen verzichtet werden. Als ein Vertreter aus dem Behälterbau mag der in Abb. 188 gezeigte, geschweißte Wasserabscheider von 1000 mm Durchmesser und 2400 mm Höhe gelten, der bei einer Wanddicke von 20 mm für einen Betriebsdruck von 17 atü bei 380° Arbeitstemperatur bestimmt ist. An diesem Bild hervorzuheben sind die Flanschenversteifung des Mannlochs und die überlappenden Rundnähte an den Stützenanschlüssen.

Den nicht alltäglichen Fall der Schweißung eines Stahlbehälters mit innerer Auskleidung aus nichtrostendem Stahl veranschaulicht Abb. 189. Es handelt sich um einen für die chemische Industrie bestimmten Körper für höheren Druck, dessen Herstellung aus nichtrostendem Stahl sehr teuer sein würde. Man hat sich hier geholfen, indem man in das geschweißte äußere Stahlgehäuse *a* ein seinen Innenabmessungen entsprechendes Gehäuse *b* aus nichtrostendem Stahl, ebenfalls in geschweißter Ausführung, einzog und an die Innenwände anrichtete. Nach Herumholen des oberen und unteren Randes *d* um die Flanschen wurde der seitliche Stutzen angepaßt und bei *c* verschweißt. Obwohl sich solche Arbeiten heute angesichts der Verarbeitung plattierter Bleche nicht mehr rechtfertigen lassen, so kennzeichnen sie doch, welche ausgefallene Konstruktionen sich durch Schweißung herstellen lassen.

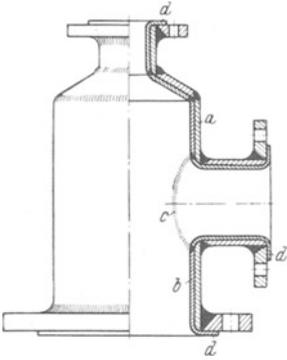


Abb. 189. Schweißung eines innen mit nichtrostendem Stahl ausgekleideten Behälters.

nische Maßnahmen zu treffen. Sie beziehen sich auf einen ausreichenden Luftwechsel, einmal, um die Temperatur im Kessel erträglich zu halten, zum anderen — und das ist noch wichtiger — darauf, den verbrauchten Sauerstoff zu ersetzen und die aus der Flamme stammenden schädlichen Gase sicher abzuführen. Die ursprüngliche Annahme, daß die Gegenwart reichlicher Mengen von Kohlensäure und geringer Mengen von Kohlenoxyd auf den Schweißer schädlich wirkt, ist zwar richtig, doch haben einige Todesfälle die Vermutung aufkommen lassen, daß noch andere schädlichere Stickgase vorhanden sein müssen. Auf Grund dessen angestellte analytische Untersuchungen wiesen eindeutig auf das Vorhandensein von Stickoxyden hin, die als Ursache der erwähnten Reizgasvergiftungen anzusehen sind. Zur Abwehr der Vergiftungsmöglichkeiten durch nitrose Gase können verschiedene, den jeweiligen Arbeitsverhältnissen entsprechende Sicherheitsmaßnahmen getroffen werden, immer wieder zu dem Zwecke, für ausreichende Frischluftzufuhr zu sorgen. Ist ein wirksamer künstlicher Luftwechsel, sei es durch Absaugen der verbrauchten oder durch Zuführung frischer Luft, nicht mit Sicherheit zu erwarten, dann ist die Benutzung eines Atemschutzgerätes anzuraten. Keinesfalls aber darf reiner Sauerstoff in den Behälter eingeleitet werden, da die Unfallgefahr durch Kleiderbrand gesteigert würde.

Dampfkesselschweißungen. Unter den Druckgefäßen nehmen die Dampfbehälter, insbesondere aber die feuerbeheizten Dampfkessel, eine Sonderstellung ein. Nachdem man mit der anfänglich nur als Ausbesserungsmittel angewandten Schweißung später auch im Großbehälterbau gute Erfahrungen gemacht hatte, konnte man unter Berücksichtigung aller sicherheitstechnischen Erwägungen auch dazu übergehen, die Schweißung als Verbindungsmittel im Dampfkesselbau

zuzulassen. Wenngleich in der Anordnung und Ausführung von Schweißverbindungen zwischen dem Bau von Dampfkesseln und sonstigen Druck- und Großbehältern keine grundsätzlichen Unterschiede bestehen, so ist doch die Vorsicht und die Beschränkung der Anwendung der Schweißung im Kesselbau, die im Abschnitt III („Schweißung“) der Bauvorschriften für Landdampfkessel niedergelegt sind, begreiflich. Alle mit der Schweißung von Dampfkesseln im Zusammenhang stehenden Momente sind in dieser mit dem 1. April 1937 in Kraft getretenen neuen Verordnung enthalten.

Nach diesen Vorschriften sind nur dann Schweißverbindungen zulässig, wenn sie den Betriebsbeanspruchungen genügen und durch für solche Arbeiten ausdrücklich zugelassene Firmen und durch geprüfte Schweißer ausgeführt werden. Die Zulassung erfolgt durch den Reichswirtschaftsminister. Die von diesem für das Dampfkesselwesen eingesetzte Überwachungsstelle ist der Deutsche Dampfkesselausschuß.

Bezüglich der Schweißverbindungen selbst ist im wesentlichen folgendes hervorzuheben: Sie dürfen nicht erheblich auf Biegung beansprucht werden. In der Regel sind überlappte Kehlnahtschweißungen zu vermeiden und nur bei Blechdicken bis zu 15 mm zulässig. Die Schweißnähte sind so anzuordnen, daß sie mit den Feuergasen möglichst nicht in unmittelbare Berührung kommen. Das bezieht sich z. B. auf Flammrohre, Siederohre und Feuerbüchsen. Bohrungen und Ausschnitte in der Schweißnaht und in ihrer Nähe sind möglichst zu vermeiden. Ferner enthalten die Vorschriften ausführliche Angaben über das Spannungsfrei- und Normalglühen geschweißter Kesselkonstruktionen. Unabhängig von der Art des Schweißverfahrens dürfen die Nähte nur mit bis zu 0,7 der Festigkeit des Bauwerkstoffes bewertet werden. Darüber hinaus kann auf besonderen Antrag der Bewertungsfaktor 0,9 zugestanden werden, wenn durch eine bestimmte Schweißart oder die Verwendung besonderer Zusatzstoffe die Begründung für eine Höherbewertung nachgewiesen wird.

Die Vorschriften erfassen auch Ausbesserungsschweißungen an bereits genehmigten Kesseln und bestimmen, daß derartige Arbeiten grundsätzlich nur im Einvernehmen mit dem zuständigen Sachverständigen ausgeführt werden dürfen. Dieser entscheidet im Einzelfalle, inwieweit die Vorschriften anzuwenden sind bzw. von ihnen abgewichen werden darf.

Infolge der z. T. strengen Vorschriften, hauptsächlich insoweit sie sich auf das Glühen der Schweißverbindung erstrecken, sind der Anwendbarkeit des Schweißens in der Fertigung von Dampfkesseln verhältnismäßig enge Grenzen gezogen und nur einige große Kesselschmieden sind in der Lage, allen Forderungen gerecht zu werden. Mit Rücksicht auf die bereits erwähnte weitgehende Übereinstimmung mit der Arbeitsdurchführung, wie sie im Großbehälterbau vorliegt, kann auf Einzelheiten hier verzichtet werden. Über die Anwendung der Schweißung als Ausbesserungsverfahren wird im Abschnitt „Ausbesserungsschweißung“ noch gesprochen werden.

3. Formstahlkonstruktionen.

Anwendungsbereich. Bisher war nur von Formstahlversteifungen und ihrer Anordnung an Apparaten und Behältern die Rede. Im folgenden soll auf die Schweißverbindung von Formstahlkonstruktionen eingegangen werden, allerdings mit der Einschränkung, daß aus verschiedenen technischen und auch aus wirtschaftlichen Gründen nur leichte Stahlkonstruktionen gasgeschweißt werden. Obwohl die Gasschweißung nach den bestehenden Vorschriften auch im Stahlhoch- und Brückenbau Anwendung finden kann, so wird doch hiervon in der

Praxis selten Gebrauch gemacht, weil die Schweißzeiten infolge zu kurzer Nahtlängen und zu großer Wärmeableitung zu hoch liegen. Daneben sind Konstruktionsverwindungen, die kostspielige Nacharbeiten erfordern, nur selten zu

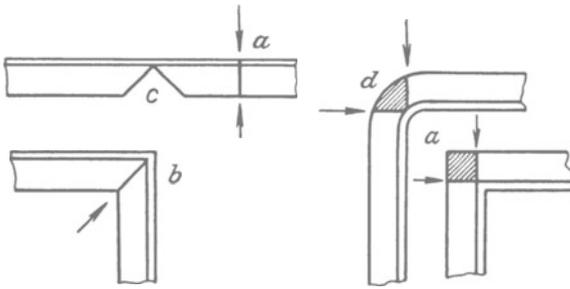


Abb. 190. Winkelstahlschweißungen.

umgehen. Aus diesen Gründen bleibt die Gasschweißung auf leichte und nicht zu sperrige Konstruktionen beschränkt.

Ausführungsbeispiele. Die Schweißung in sich geschlossener Winkelringe verlangt immer eine Stumpfstoßverbindung, die von der Lage der Schenkel zum Biegungsradius unabhängig ist. Dagegen entstehen bei recht-

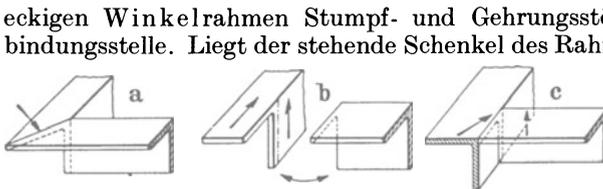


Abb. 191. Eckverbindungen an Winkelstahl.

eckigen Winkelrahmen Stumpf- und Gehrungsstöße, je nach Lage der Verbindungsstelle. Liegt der stehende Schenkel des Rahmens nach außen (Abb. 190 b),

dann wird nur der waagerechte Schenkel der Rahmenecken, wie bei c angedeutet, winklig ausgeklinkt und der andere Schenkel herumgezogen,

so, daß jeweils nur die Hälfte des Profils zu schweißen ist. Aus den Abmessungen des Rahmens und seinem Zuschnitt ergibt sich die Notwendigkeit des Längensumpfstoßes a.

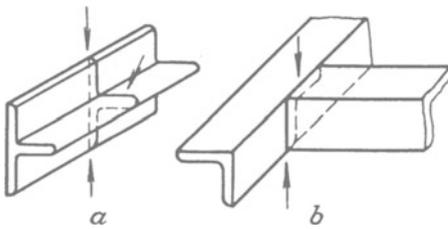


Abb. 192. Einfache Formstahlverbindungen.

Liegt der stehende Schenkel im Rahmeninnern, dann wird der waagerechte Schenkel eingeschnitten und nach dem Umbiegen ein Blechstück (in Abb. 190 bei a schraffiert) eingeschweißt. Dasselbe gilt, wenn Formänderungen der Ecken rund und gebogener Rahmen d unerwünscht sind. Einige Eckverbindungen an Winkelstahl sind in Abb. 191 skizziert. Für die Schweißung von Formstahlstößen sind, was kurz erwähnt sein möge, verschiedene

Einspannvorrichtungen üblich, die eine Veränderung der Maßhaltigkeit verhüten. Der Gehrungsstoß a wird zweckmäßig in Pfeilrichtung, also an der äußeren

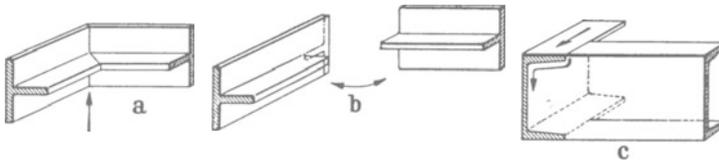


Abb. 193. Eck- und Gehrungsstöße an T- und U-Eisen.

Ecke beginnend geschweißt, da bei der Nachlinksschweißung die Streuflamme den Scheitel vorwärmt und eine Arbeitsbeschleunigung eintritt. Bei b ist ein Steg ausgeklinkt, während bei c die Profile stumpfgestoßen werden, wie dies auch bei b in Abb. 192 der Fall ist. Im allgemeinen werden Formstähle einfacher

von der Außenseite geschweißt, z. B. der Flansch des T-Stoßes in Abb. 192 *a*. Zu den bei *a*, *b* und *c* in Abb. 193 skizzierten Eck- und Gehrungsstößen an T- und U-Eisen sind Erläuterungen nicht notwendig.

Auf welche einfache Weise die Verjüngung eines U-Eisens durch Schneiden und Schweißen bewerkstelligt werden kann, zeigt Abb. 194. Mit Hilfe des Schneidbrenners wird ein der verlangten Verjüngung entsprechender Zwickel *a* aus dem Steg ausgeschnitten und der Teil *b* mit der Schweißflamme vorgewärmt, an die senkrechte Schnittfuge herangezogen und mit der stehengebliebenen U-Hälfte verschweißt. Abb. 195 zeigt die Erweiterung eines I-Eisens, indem man in der Mitte des Stegs einen Brennschnitt entsprechender Länge anbringt, die Formstahlhälfte aufweitet und ein Dreieckblech von gleicher Dicke einschweißt.

Die Wirtschaftlichkeit der in Abb. 196 und 197 wiedergegebenen Schweißverbindungen an Quadrat- und Rundstahl ist außer von der Handfertigkeit des Schweißers von der richtigen Vorbereitung abhängig. Gerade solche Verbindungen verursachen dem Anfänger häufig Schwierigkeiten, und es entstehen dabei Schweißzeiten, welche die normalen um ein Mehrfaches überschreiten. Um an Schweißgasen zu sparen, ist es ratsam, den Formstahl, wenn er größeren Querschnitt hat, im Schmiedefeuer vorzuwärmen. Wie die beiden Abbildungen zeigen, empfiehlt sich sowohl beim Quadrat- wie



Abb. 194. Verjüngung eines U-Eisens durch Schweißen.

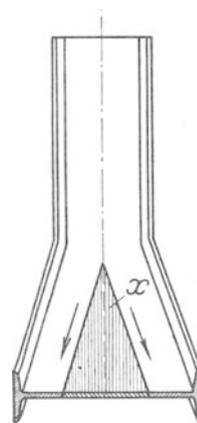


Abb. 195. Erweiterung eines I-Eisens durch Schweißen.

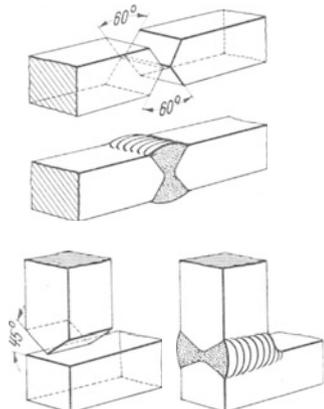


Abb. 196. Schweißungen an Quadratstahl.

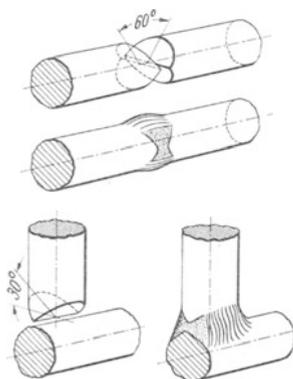


Abb. 197. Schweißungen an Rundstahl.

beim Rundstahl eine X-förmige Abschrägung der Stoßflächen. Demnach braucht nur von zwei Seiten geschweißt zu werden, und die Seitenflächen sind mit der Flamme nur zu glätten. Unwirtschaftlich und in ihrer Ausführung schwieriger ist die mitunter noch anzutreffende konische Zuspitzung des Schweißstoßes.

4. Schienenschweißungen.

Reichsbahnprofile. Nach weitgehenden Versuchen sind in den letzten Jahren die Stöße einiger Fahrschienenstrecken autogen geschweißt worden. Da die

Schienenstöße, insbesondere die Vignolschienen (Reichsbahnprofil) infolge der als federnde Unterlage anzusehenden Schwellen stark auf Biegung beansprucht werden, muß der Schweißstoß hauptsächlich den Forderungen hinsichtlich Biegeschwingsfestigkeit entsprechen. Demzufolge muß ein für die Aufnahme dieser Kräfte geeigneter Schweißstoß geschaffen und bei der Wahl des Zusatzwerkstoffs hierauf Rücksicht genommen werden. Mit geringen Ausnahmen wird dem Stumpfstoß, der dynamischen Beanspruchungen gut gewachsen ist, der Vorzug gegeben. Schienenkopf und -fuß werden V-förmig und der Steg meist X-förmig geschweißt, wenn er nicht, wie ebenfalls vorgeschlagen wird, unverbunden bleibt. Ob dies für einen störungsfreien Kräftefluß günstig ist, wird die Zukunft lehren.

Rillenschienen. Ähnlich werden Rillenschienen (Straßenbahnprofil) geschweißt. Die Rille wird mit dem Kopf abgeschrägt und mit diesem von oben verschweißt, während gleichzeitig ein zweiter Schweißer die Verbindung des nach außen ausgebauten Löffels durchführt.

Erwähnt sei, daß auch bei der Schweißung von Schienensträngen dem Warmhämmern der Schweißverbindung große Bedeutung zukommt.

Übergangsstöße. Einfache und gute Verbindungen gestattet die Schweißung an Übergangsstößen, d. h. bei der Vereinigung zwischen zwei Schienen

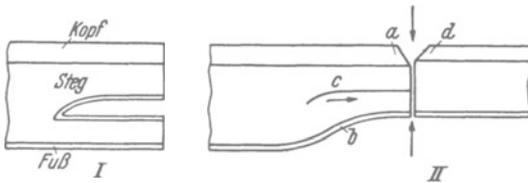


Abb. 198. Schienenenschweißung an einem Übergangsstoß.

ungleichen Profils. Größere Unterschiede in der Profilhöhe werden dadurch ausgeglichen, daß man im Steg des größeren Profils einen Zwickel autogen ausschneidet (Abb. 198 I) und mit dem Schnitt auch die Schweißränder gleich abschrägt. Darauf wird der Flansch *b* mit dem anteiligen Steg warm angerichtet, so, daß er mit der Unterkante des Fußes des kleineren Profils abschließt (II). Die entstandene Fuge *c* wird in Richtung des Pfeiles verschweißt und im übrigen wie weiter oben geschildert vorgegangen. Auch hier werden die Köpfe *a* und *d* abgeschrägt. Selbstverständlich muß die Fahrbahn durch sorgfältiges Ausrichten der Kopfflächen erhalten bleiben.

5. Ausbesserungsschweißungen.

Allgemeines. In Betrieben, in denen die Schweißung nur als Arbeitsverfahren für die Fertigung herangezogen wird, wird dem meist nur auf eine bestimmte Arbeit, wenn nicht gar auf Massenfertigung eingestellten Schweißer die Ausübung seines Berufes verhältnismäßig leicht gemacht. Demgegenüber stellt die Arbeit der vielseitigen Ausbesserungsschweißungen, noch dazu an verschiedenen Metallen, viel größere Anforderungen an Geschick und Erfahrung eines schon geübten Schweißers. Der Wert einer Ausbesserungsschweißung wird in erster Linie durch billige, saubere, schnelle und vor allem zweckentsprechende Arbeit gesteigert. Der Schweißer muß sich vor Inangriffnahme der Arbeit klar darüber sein, welches die Ursache des entstandenen Risses oder Bruches ist, wie er die Schweißung am besten auszuführen und ihren Erfolg durch Verhütung von Spannungs- und Verwindungserscheinungen sicherzustellen hat. Er hat in allen Fällen daran zu denken, daß die durch zu schwach bemessenen Baustoff hervorgerufenen Schäden zwar geschweißt werden können, nicht aber eine Haltbarkeit der Schweiße verbürgen, da dem eingeschmolzenen Werkstoff keine größere Festigkeit zugemutet werden kann, wie dem Grundwerkstoff selbst. Anders ist es allerdings, wenn die Bruchstelle durch Aufschweißen genügende Verstärkung erhält.

Auftragsschweißungen. Sie kommen dort vor, wo im Gesenk geschmiedete Teile nicht voll ausgeschmiedet sind, wo durch Verschleiß, Erosion und Korrosion abgenutzte Werkstoffflächen ersetzt werden müssen, wie z. B. an Wellen, Greifern, Baggern, an Blechbehältern, Fässern, Fahrschienen und anderen Werkstücken mancherlei Art. Gegebenenfalls werden stark schadhafte Teile aus dem Werkstück herausgearbeitet und gegen neue, in diese Form gebrachte und eingeschweißte Ersatzstücke ausgetauscht. Dabei ist zu beachten, daß Rost, Schmutz, Fett, Farbe und andere Fremdkörper und Verunreinigungen mit der Flamme abzubrennen und die Rückstände mit der Drahtbürste sauber zu entfernen sind. Ferner muß auch hier daran gedacht werden, Zusatzwerkstoff nur auf bereits im Flusse befindlichen Stahl aufzutragen. Festigkeit und Dichtigkeit der Schweißung werden durch zeitweise sorgfältiges Hämmern in Rotglut erhöht. Für die gewünschte Zähigkeit, Härte und Verschleißfestigkeit ist die richtige Wahl des Zusatzdrahtes ausschlaggebend, weshalb man häufig nicht mit gewöhnlichem Schweißdraht, sondern nur mit besonders legiertem zurecht kommen wird. Überdies hat man es dabei in der Hand, der Auftragsschweißung eine größere Verschleißfestigkeit zu verleihen, als sie dem Werkstück selbst eigen ist. So wird man beim Auftragsschweißen, z. B. auf Nickelstahlwellen, einen nickelhaltigen Schweißdraht verwenden. Andere, die Verschleißfestigkeit besonders steigernde Zusätze an Mangan, Wolfram usw. müssen sich auch im Schweißdraht vorfinden, obwohl hierdurch die Verschweißbarkeit häufig ungünstig beeinflusst wird. Über die Zusammensetzung des Schweißdrahtes kann nicht allgemein, nur im einzelnen entschieden werden. Das gilt im besonderen auch für das Auftragen auf Fahrschienen, deren Oberfläche in verschiedener Weise beansprucht wird.

Für den Erfolg solcher Arbeiten sind an den Übergangsrändern kerbenfreie und an den Werkstoff allmählich übergehende Schweißungen Grundbedingung. Durch die Verwendung hochlegierter Zusatzdrähte sich leicht bildende Blasen und Poren müssen auf das geringste Maß beschränkt bleiben, und schon aus diesem Grunde ist das Warmhämmern meist ratsam. Außerdem ist darauf zu achten, daß nicht durch ungleiche Wärmeverteilung erhebliche Spannungen und Verwindungen des Werkstücks entstehen.

Beim Auftragen auf oberflächengehärtete Teile ist meist ein der Schweißung vorausgehendes Ausglühen nicht zu vermeiden, was nach Bearbeitung der Schweißung neuerliches Härten bedingt. Eine unbeschränkte Anwendung der Auftragsschweißung ist hier also keineswegs am Platze. Auch die Auftragsschweißung hat ihre Grenzen, und man wird bisweilen auf sie verzichten müssen, wenn es sich beispielsweise um die Ausbesserung wärmeempfindlicher Sonderstähle, etwa der Werkzeugstähle, wie z. B. Fräser u. ä., handelt.

Risse und Brüche. Bezüglich der Bearbeitung von Rissen und Brüchen an Stahlkörpern gilt das bereits früher Gesagte. Risse werden auf ihre Länge und Tiefe je nach Gestalt und Art des Werkstücks ausgekreuzt, ausgehobelt, ausgedreht, ausgefräst, und zwar so lange, als sich der Riß durch doppelten Span noch deutlich erkennen läßt. Liegen Haarrisse vor, deren Umfang nur schwer zu erkennen ist, so trägt man Petroleum oder dünnflüssiges Öl auf und bestreut die Stellen mit feinstem Schmirgelstaub oder Kreidepulver. Das Gemisch dringt nach kurzer Zeit in den Riß ein und macht ihn nach Abwischen der Oberfläche deutlich sichtbar. Gut eignet sich dieses Hilfsmittel zur Feststellung von Anrissen an Gesenkschmiede- oder Preßstücken, z. B. an Lasthaken, Wagenachsen, Wagenpuffern, an Pleuel-, Kuppel-, Exzenter- und Kurbelstangen usw., also an Gegenständen, die häufig umfangreicher Bearbeitung bedürfen und erhebliche Herstellungskosten verlangen. Die Auffüllung der Schweißfuge unterscheidet sich von der Verbindungs- und Auftragsschweißung nicht.

Die Flächen von auf Werkstofffehler zurückzuführenden Brüchen werden in der üblichen Weise vorbereitet und geschweißt. Genau so wird man Brüche, die durch unerwartete Überbeanspruchung der Stahlkonstruktion entstanden sind, behandeln. Um im Wiederholungsfalle einer erneuten Bruchgefahr vorzubeugen, wird man gleichzeitig eine Verstärkung des Querschnitts vorsehen. Sie kann aus einer allmählich verlaufenden Verdickung des Querschnitts, aber auch im Anschweißen von Laschen, Rippen und anderen Versteifungen bestehen.

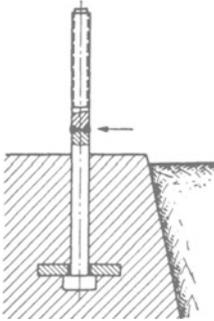


Abb. 199. Schweißung eines Fundamentankerbolzens.

Aus der Fülle der möglichen Fälle bringt Abb. 199 das Beispiel einer leichten Ausbesserungsschweißung, die die Wiederherstellung eines im Betriebe gebrochenen Fundamentankerbolzens veranschaulicht. Der Vorteil der Schweißung liegt hierbei weniger in der Erhaltung des an sich geringen Werkstoffwertes als darin, die sonst unvermeidliche Zerstörung des Fundamentblocks zu vermeiden.

Im Gegensatz hierzu zeigt die Schweißung der in Abb. 200 angedeuteten Kurbelwellenbrüche eine schwierige und umfangreiche Ausbesserungsarbeit. Hier kommt es in erster Linie darauf an, kostspielige Nacharbeiten, die durch das Ausrichten der sich beim Schweißen etwa verziehenden Wellen entstehen, möglichst zu verhüten. Die zu einem Gasmotor gehörige Kurbelwelle war in dem mit d bezeichneten Teil bei c abgebrochen. Da auch die Nuten e , auf denen außer dem Schwungrad zwei Riemenscheiben aufgekeilt waren, stark beschädigt gewesen sind, wurde dieser Teil durch eine neue 800 mm lange Welle ersetzt. An der Bruchstelle wurden beide Wellenenden konisch abgedreht und mittels eines 20-mm-Mittelbolzens gegenseitig axial fixiert. Die Schweißung der 140 mm dicken Welle wurde laufend in Rotwärme gründlich gehämmert, wobei Hartholz als Unterlage diente. Nach sorgfältigem Ausglühen und Überdrehen der Welle wurden neue

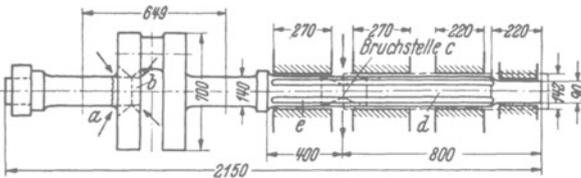


Abb. 200. Schweißung von Kurbelwellenbrüchen.

Nuten e eingefräst, nachdem die Welle auf der spitzen Bank etwas ausgerichtet worden war. Nicht immer liegt der Bruch so günstig, wie in dem eben geschilderten Fall. Unmittelbar an der Kröpfung gelegene Brüche, wie bei a , sind nur schwer

schweißbar. Man hilft sich hier, indem man im Schenkel der Kröpfung eine Bohrung b anbringt und in diese einen neuen Wellenstumpf einsetzt. Der Schenkel wird beiderseits konisch ausgedreht und der Wellenstumpf erst nach vollendeter Schweißung auf der Drehbank bearbeitet. Schweißungen an Werkstücken solcher Art erfordern ein hohes Maß von Erfahrungen und an Handfertigkeit. Im Zweifelsfalle sollte von „Versuchen“ besser abgesehen werden.

Ausbesserungen an Behältern. Die vielgestaltigen Ausbesserungsschweißungen an Behältern und Kesseln hier ausführlich zu behandeln, verbietet sich von selbst. Als Ausbesserungsarbeiten an Kesseln sind anzuführen: Risse und Brüche an Nietlöchern und im gesamten Werkstoff, an Böden und Mänteln, Stegrisse in Rohrwänden, Korrosionen, abgezehrte Stemmkanten und Niete, Ausbeulungen usw. Jede dieser Arbeiten kann für sich mehr oder weniger umfangreich und schwierig sein. Fachmännische Umsicht und Gewissenhaftigkeit haben über Art und Ausführung solcher Arbeiten zu entscheiden. Hierbei muß man auch je nach dem Grade der Alterung des Kesselbaustoffs feststellen, ob nicht von einer

Schweißung überhaupt Abstand genommen werden sollte. Bezüglich der Anwendung des Schweißens als Ausbesserungsmittel im Land-, Schiffs-, Lokomobil- und Lokomotivkesselwesen muß auf die auf S. 173 gemachten Einschränkungen ausdrücklich hingewiesen werden.

Zu den verhältnismäßig einfacheren Schweißarbeiten an Kesseln zählt die Ausbesserung der bereits erwähnten Korrosionen, die sich auch bei Dampfkesseln entweder auf der Wasserseite befinden und von mit chemischen Bestandteilen verunreinigtem Wasser herrühren oder wenn auch selten, an der Feuerseite von Flammrohren anzutreffen sind, wo sie ihren Ursprung im Angriff der Rauchgase haben. Die Anfrassungen sind vor dem Schweißen von Kesselstein zu reinigen und behutsam zu hämmern.

Beim Schweißen in der Nähe von Nietnähten gelegener Korrosionen, Risse u. dgl. ist das Leckwerden der Niete und Stemmkannten zu berücksichtigen. Um unzulässig hohe Spannungen auszuschalten, müssen häufig anteilige Niete entfernt und nach dem Erkalten der Schweißung neu eingezogen werden. Mitunter werden Nietköpfe und Niefschäfte, ja ganze durch häufiges Verstemmen oder durch Korrosion beschädigte Stemmkannten aufgeschweißt.

Der Arbeitsgang beim Schweißen von Rissen soll anhand der Abb. 201 geschildert werden. An einem

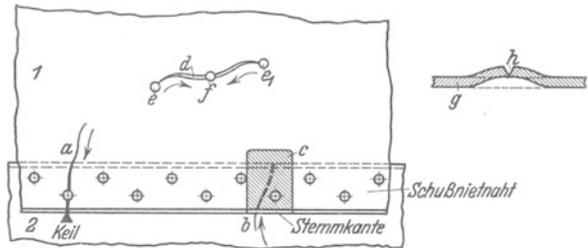


Abb. 201. Schweißen von Rissen.

Behälter sollen die beiden Blechschüsse 1 und 2 durch eine doppelreihige Nietnaht verbunden und im Blech 1 ein Kantenriß *a* aufgetreten sein. Dieser wird ausgekreuzt und in Pfeilrichtung, also an der Einspannstelle beginnend, verschweißt. Der vom Riß eingeschlossene Niet muß vorher entfernt und später neu eingezogen werden, was meist auch bezüglich der an den Riß angrenzenden Niete gilt. Gegebenenfalls kann in das Rißende ein Keil eingetrieben und dem Blech vor dem Schweißen eine Vorspannung gegeben werden. Liegt der Riß bei *b* im Blech 2 in der angenommenen, von der Gegenseite nicht zugänglichen Überlappung, so muß aus dem Blech 1 ein entsprechendes Stück *c* herausgeschnitten und nach Ausbesserung des Risses *b* und nach dessen Glättung ein neuer Flicken *c* eingeschweißt werden.

Für die Ausbesserung des bei *d* im vollen Blech, also ohne freie Enden aufgetretenen Risses gibt es zwei Ausbesserungsmöglichkeiten. Die eine besteht darin, die Rißenden bei *e* und *e*₁ abzubohren und bei *f*, etwa in der Mitte der Rißlänge, einen Keil oder Dorn einzutreiben. Darauf wird von *e* und *e*₁ ausgehend zum Keil hin geschweißt und zuletzt die von diesem hinterlassene Öffnung zugeschmolzen. Bei der anderen Ausführung nach Skizze *g* wird der Riß *h* erwärmt und nach der Schweißseite hin leicht durchgedrückt, so daß das Blech nach der Schweißung in die ursprüngliche Lage, erforderlichenfalls durch Nachhelfen mit dem Hammer, zurückschrumpfen kann.

Dort, wo sich eine unmittelbare Verschweißung großflächiger Korrosionen nicht lohnt oder dort, wo Risse und Anbrüche durch die Einwirkung von Gasen oder von Wasser stark angefrassenen Werkstoff erkennen lassen, werden Blechflicken eingesetzt. Aufgesetzte, d. h. überlappte Flicken gibt es bei Kesselschweißungen nicht. Für den Arbeitsgang ist die örtliche Lage des Flickens maßgebend. Die Schweißung wird um so schwieriger, je mehr Seiten des Flickens

in das Blech einzuschweißen sind. Der schwierigste Fall wäre demnach das Einsetzen eines an vier Seiten einzuschweißenden Flickens, um so mehr dann, wenn er in einer ebenen Fläche liegt.

Beim Einsetzen eines dreiseitig einzuschweißenden Flickens verfährt man nach Abb. 202 I. Zunächst wird die Strecke a geschweißt, und darauf werden, von b und c ausgehend, die Schweißnähte b_1 und c_1 in Richtung der freien Blechkante ausgeführt. Hierbei ist es wichtig, keine scharfen Ecken, sondern stets Abrundungen (b und c) vorzusehen, damit Spannungsrisse verhütet werden.

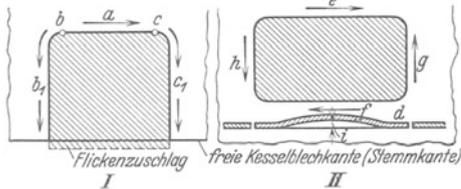


Abb. 202. Einsetzen von Flickern.

Wegen der Maßhaltigkeit ist es zweckmäßig, den freien Enden einen Längenzuschlag zu geben, der nach fertiggestellter Schweißung und vor dem Verstemmen auf Maß abgemeißelt wird.

Der Arbeitsgang, wie er neben anderen Möglichkeiten beim Einsetzen eines vierseitig geschweißten Flickens üblich ist, veranschaulicht Abb. 202 II.

Zur Bekämpfung der auftretenden Schweißspannungen ist ein Auspoltern der Flickens, wie bei d skizziert, vorteilhaft. Das in der Abbildung mit i übertrieben gezeichnete Stichmaß der Auswölbung beträgt einfache oder doppelte Blechdicke, je nach Flickengröße. Die Wölbung wird nach der leichter zugänglichen Seite, möglichst nach der Schweißseite hin, verlegt. Die Reihenfolge der Schweißnähte ist mit den Buchstaben e bis h bezeichnet. Auch hier ist nötigenfalls das Einziehen der Wölbung durch Warmhämmern zu unterstützen. Immer wieder sei betont, daß das Hämmern der Nähte in Rotwärme dringend anzuraten ist, auch dann, wenn Auswölbungen

keine größeren zurückbleibenden Spannungen erwarten lassen.

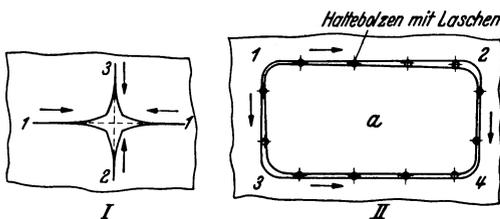


Abb. 203. Schweißtechnische Behandlung von Einbeulungen.

Dickenabnahme verursacht haben, können durch hydraulische Pressen oder Winden zurückgedrängt und durch vorsichtiges Hämmern geschlichtet werden. Mitunter läßt sich das in Abb. 203 I dargestellte Verfahren anwenden, nach welchem — allerdings ist dies nur bei glatten Flammrohren und nicht bei Wellrohren möglich — ein sternförmiger Autogenschnitt in der Beule angebracht und die dabei entstehenden vier Blechlappen zurückgedrückt und angerichtet werden. Darauf wird die Längsnaht bei dem einen der Punkte 1 beginnend nach der Kreuzmitte hin geschweißt. Nach dem Erkalten der Nahtstrecke 1÷1 wird bei 2, darauf bei 3 beginnend, ebenfalls nach der Mitte hin geschweißt und gut gehämmert.

Ist die Ausbeulung zu groß oder hat der Werkstoff durch das Glühen gelitten, dann muß die Beule autogen herausgeschnitten werden. Die Schnittränder sind sauber zu schlichten und auszurichten. Das Einpassen des Flickens a (Abb. 203 II) geschieht mit geringem Spielraum und der Flicker wird durch Laschen und Bolzen fixiert, die mit fortschreitender Schweißung schrittweise zu entfernen sind. Wie das Bild zeigt, verlaufen die Schweißspalten von 1 nach 2 und von 1 nach 3 konisch. Zuerst wird die Naht 1÷2 hergestellt, darauf 1÷3, dann 2÷4, und

zum Schluß die Strecke 3÷4 geschweißt. Vor Inangriffnahme jeder neuen Nahtstrecke ist das Erkalten der vorangegangenen abzuwarten. Außerdem darf bei dem jeweiligen Nahtabschnitt, der möglichst in einem Zug ununterbrochen fertigzustellen ist, immer nur bis an die nächste Ecke, nicht aber um diese herum, geschweißt werden. Die Ecken selbst werden zu Anfang der jeweils folgenden Naht erfaßt.

Schweißung gebrauchter Behälter. In diesem Abschnitt sollen nur zusätzliche Maßnahmen zur Abwendung von Unfällen besprochen werden, da die schweißtechnischen Fragen bereits in den vorausgehenden Abschnitten erledigt wurden. Enthielten die Behälter, wie Fässer, Bunker, Tanks u. a. entflammbare, explosible oder giftige Feststoffe, Flüssigkeiten oder Gase, dann müssen dem Schweißen oder Schneiden an solchen Behältern Vorbereitungen vorausgehen, die jede Gefahr für den Schweißer zuverlässig abwenden. Die Praxis hat gelehrt, daß in dieser Beziehung häufig gesündigt und leichtfertig gehandelt wird. Glücklicherweise ist die Art der in den Behältern aufgespeichert gewesenen Stoffe meist bekannt, so daß erfahrungsgemäß gute Schutzmaßnahmen getroffen werden können. Schwieriger liegen die Verhältnisse, wenn die Stoffe unbekannt sind und unter Umständen erst durch Analysenentnahme bestimmt werden müssen.

Die Reinigung des Behälterinnern von schädlichen Stoffen kann beispielsweise erfolgen durch Ausblasen mit Luft oder nicht brennbaren Gasen (Kohlensäure oder Stickstoff), durch Ausdampfen, Ausspülen mit Wasser oder Behandeln mit geeigneten Lösungsmitteln, wenn Wasserunlöslichkeit vorliegt. Solche chemischen Lösungsmittel sind beispielsweise in heißem Wasser gelöste Natriumsilikate und Natriumphosphate (Konzentrationen 15÷35 g/l Wasser), die in entsprechenden Mengen nach gründlichem Durchspülen des Behälters mit Wasser in diesen eingebracht werden. Darauf wird Frischwasser so lange nachgeschüttet, bis es am Rand überläuft, und durch ein bis zum Boden des Behälters reichendes Rohr Dampf zugeleitet, so daß das Lösungsmittel in starke Wallung gerät. Das Durchdampfen wird so lange fortgesetzt, als sich noch Schlamm, Schaum und sonstige Verunreinigungen, die laufend abzuschöpfen oder sonstwie abzuleiten sind, auf der Oberfläche absetzen. Steht Dampf nicht zur Verfügung, dann muß das Verfahren mit geringerer Wirksamkeit kalt durchgeführt und die Menge des Lösungsmittels je l Wasser auf 45 g erhöht werden. Genügt Ausdampfen, dann sollten die Behälterwände vorher zweckmäßig mit heißer Sodalaug oder Ätzkalilauge (120 g/l Wasser) abgespült, gegebenenfalls $\frac{1}{4}$ ÷ $\frac{1}{3}$ des Behälters auch damit angefüllt werden.

Beim Ausspülen mit nichtbrennbaren Gasen, wie Stickstoff oder Kohlensäure, die mindestens zu 50 vH, aber auch bis zu 80 vH im Behälter vorhanden sein müssen, werden nur die Zu- und Ableitung offen, alle anderen Öffnungen geschlossen gehalten. Die Gase werden von unten eingeleitet, damit sie die zu entfernenden Gase und Dämpfe über sich austreiben. Unter Umständen ist das Ausblasen mehrmals zu wiederholen und auch während des Schweißens fortzusetzen.

Zweifellos werden die Reinigung des Behälters und seine Vorbereitung zum Schweißen mitunter ein Mehrfaches der eigentlichen Ausbesserungsarbeit kosten, doch ist übertriebene Vorsicht besser als leichtfertiges, verdrießliches Handeln.

Wo eben angängig, sollte der Behälter so gewendet werden, daß die schadhafte Stelle an den höchsten Punkt zu liegen kommt. Er sollte ferner so weit mit Wasser angefüllt werden, wie die Schweißarbeit es zuläßt, und zwar möglichst auch dann, wenn der Behälter auf Grund seiner Abmessungen oder seines Einbaus nicht bewegt werden kann. Dabei ist angenommen, daß, was immer anzustreben ist, die Ausbesserungsarbeiten von außen verrichtet werden. Ist ein

Arbeiten im Behälterinnern nicht zu umgehen, dann ist nicht allein besondere Gründlichkeit in der Reinigung zu beachten, sondern auch für gute Entlüftung und Ableitung der Verbrennungsgase zu sorgen. Ferner ist dann das Tragen einer Atemmaske und die Beobachtung des Schweißers während des Arbeitens grundsätzlich notwendig, da durch die Wirkung der Flammenwärme neue Gefahrenmomente durch die Bildung von Gasen gegeben sind, die an den Behälterwänden frei werden.

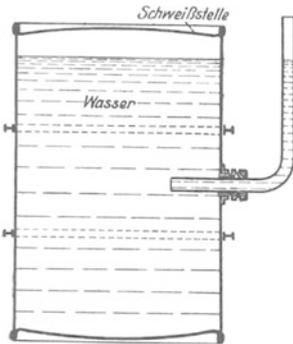


Abb. 204. Schweißung eines Benzinfasses.

Während des Schweißens sind alle Stutzen, Mannlöcher und Verschlüsse offen zu halten. Wie dies auf einfache Weise, auch bei wassergefüllten Behältern, also beim Schweißen von außen, erreichbar ist, zeigt als Beispiel Abb. 204. Würde die schadhafte Stelle links in der Gegend eines der Verstärkungsringe liegen, so wäre das Steigerrohr lediglich U-förmig abzubiegen, um gleiche Wirkung zu haben.

C. Die Schweißung von Stahlguß.

Allgemeines. Obwohl Stahlguß nur schwer blasen- und lunkerfrei vergießbar ist, macht seine Schweißung grundsätzlich keine Schwierigkeiten; sie unterscheidet sich von der des gewalzten oder gezogenen Stahls so gut wie gar nicht. Die Vorbereitungsarbeiten entsprechen den bei der Stahlschweißung üblichen,

jedoch kommt ein neues Moment nunmehr erstmalig hinzu: die Gußspannungen. Sie sind in jedem Stahlgußkörper je nach dessen Gestalt in mehr oder weniger schädlichem Umfang vorhanden, kommen aber schweißtechnisch viel weniger zur Geltung als beispielsweise bei dem praktisch unverformbaren, spröden Gußeisen, das kein Dehnungsvermögen hat. Von der Eigenspannung gegossener Körper ist deshalb erst später im Abschnitt „Gußeisenschweißung“ die Rede. Im allgemeinen nimmt das Maß der Spannungen mit der Festigkeit des Stahlgusses, also mit dem Gehalt an Kohlenstoff zu und die Schweißbarkeit mit diesem ab. Stg 38 mit rund 20 vH Dehnung ist leichter schweißbar als Stg 60, der nur 8 vH Dehnung besitzt.

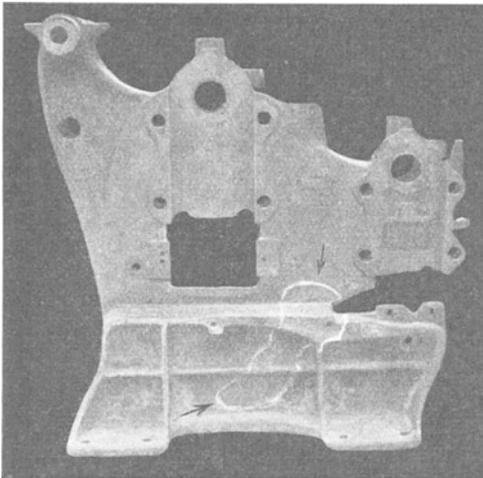


Abb. 205. Gebrochener Stahlgußständer, geschweißt.

Bei der örtlichen Schmelzung der mit Spannungen behafteten Stahlgußkörper besteht die Gefahr des Reißens. Deshalb wird eine der Schweißung vorausgehende Vorwärmung des Werkstücks selten zu vermeiden sein, es sei denn, daß die schadhafte Stellen so günstig liegen, daß unbehindertes Dehnen und Schrumpfen erwartet werden dürfen. Hier gelten dann dieselben Regeln wie beim Gußeisenschweißen.

Das Gefüge einer Stahlgußschweiße unterscheidet sich nur wenig von dem des Mutterwerkstoffs, da man es ja in beiden Fällen mit im kleinen oder großen

vergossenem Stahle zu tun hat. Zur Erzielung einer möglichst mit den Eigenschaften des Mutterwerkstoffs ausgestatteten Schweißung sind drei Dinge zu beachten. Erstens die Wahl eines für die Festigkeit des jeweiligen Stahlgusses passenden Schweißdrahtes, zweitens gutes Verhämmern und damit Verdichten und drittens Ausglühen der Schweißung bzw. des gesamten Körpers. Dabei ist es im Zweifelsfalle besser, einen Draht für höhere Festigkeit zu verwenden.

Anwendungsfälle. Das Anwendungsgebiet der Stahlgußschweißung umfaßt vor allem Ausbesserungsarbeiten, wie z. B. die Schweißung von Lunkern, Spannungsrissen, das Ausfüllen von Fehlstellen und Auftragen auf Verschleißstellen, weniger die Verbindung von Formstücken unter sich und die Verschweißung von Stahlguß mit gewalztem oder gezogemem Stahl.

Besonders häufig werden Gehäuse, Scheiben, Räder, Lastkraftwagenräder und Maschinenständer aller Art durch Schweißung ausgebessert. Die gehämmerte und nicht bearbeitete Schweißung an dem gebrochenen Stahlgußständer einer Blechschere für 25 mm Kaltschnitt zeigt Abb. 205. Die Schweißstelle ist durch Pfeile und Umränderung mittels Kreide hervorgehoben.

D. Die Schweißung von Temperguß.

Weißer Temperguß. Von den beiden in Deutschland üblichen Sorten, dem weißen und dem schwarzen Temperguß, ist der erste besser schweißbar, obwohl er einen ungleichartigen Stoff darstellt. Durch die Temperung entstehen im Querschnitt des Werkstoffs drei Zonen, deren mittlere den höchsten Kohlenstoffgehalt in der Form des Eisenkarbids (Zementit) hat. Die angrenzende Zone enthält Ferrit und Perlit und die äußere Randzone ferritisches, also praktisch kohlenstofffreies Gefüge. Dieser Guß mit geringer Dehnung und mit Festigkeiten bis zu 38 kg/mm^2 ist dünnflüssig, neigt aber beim Schweißen infolge Rückkohlung zum Hartwerden. Das Inlösengehen des Kohlenstoffs tritt besonders bei dickeren Stücken leicht ein und auch dann, wenn die Schweißung und ihre angrenzenden Zonen rasch erkalten. Ribbildungen an den Übergangsstellen sind deshalb nicht gerade selten. Weißer Temperguß wird kaum über 30 mm Dicke vergossen, und das Stückgewicht erreicht bis zu 40 kg.

Schwarzer Temperguß. Er wird bei Dicken bis zu 40 mm mit bis zu 100 kg Stückgewicht vergossen und ist ein gleichartiger Werkstoff mit im Querschnitt gleichmäßig verteilten Temperkohlenestern. Er hat bei niedrigerer Festigkeit höhere Dehnung und ist, da er zum Schäumen und zu Blasenbildung neigt, schlechter schweißbar. Das Schäumen und Schwammigwerden, das übrigens auch beim weißen Temperguß auftritt, hat seine Ursache in der Bildung von Gasen, die durch die teilweise Oxydation des Kohlenstoffs zu Kohlensäure entstehen.

Schweißbarkeit. Da nicht allein die Sorte des Tempergusses, sondern auch die Dauer und die Art des Glühens für seine Schweißbarkeit bestimmend sind, ist es schwierig, allgemeine Richtlinien zu geben. Da ferner zur Erhaltung der Schmiedbarkeit die Verwendung normalen Stahlschweißdrahtes notwendig ist, der häufig nur schlecht mit dem Mutterwerkstoff abbindet, ist man in vielen Fällen, um die Umschmelzung des getemperten Werkstoffs zu vermeiden, von der Schweißung zur Hartlötung bei Temperaturen unter 900° übergegangen. Während die mit Stahldraht ausgeführte Schweißung in gewissen Grenzen schmied- und verformbar bleibt, trifft dies naturgemäß nicht mehr zu, wenn sich beispielsweise bei Schwarzguß infolge besseren Abbindens das Einschmelzen von Gußeisenstäben als vorteilhaft erweist. Schon beim Schweißen von Fittings verschiedener Herkunft ergeben

sich praktisch große Unterschiede, weshalb man besondere Stahlgußfittings herstellt, worauf im Abschnitt „Rohrschweißung“ schon hingewiesen wurde. Infolgedessen läßt sich die Wahl des geeigneten Zusatzwerkstoffs nur von Fall zu Fall und nur auf Grund einer Ansmelzprobe treffen. Läßt die Schweißung eine haltbare und wenn nötig dichte Verbindung nicht erwarten, dann ist eine Hartlötung mit Messing angebracht, die meist zu guten Erfolgen führt.



Abb. 206. Geschweißte
Tempergußglocke.

Anwendungsfälle. Bei der Schweißung gebrochener Tempergußteile handelt es sich überwiegend um unbearbeitete Werkstücke geringen Querschnitts. Häufiger fallen solche bei Landmaschinen und -geräten an. Eine gerissene und durch Schweißung ausgebesserte Tempergußglocke mit unbearbeiteter Schweißnaht veranschaulicht Abb. 206; als Zusatzwerkstoff wurde gewöhnlicher Stahlschweißdraht benutzt.

E. Die Schweißung von Sonderstählen.

Allgemeines. Unsere bisherigen Betrachtungen bezogen sich nur auf gewöhnliche Bau- oder Konstruktionsstähle, sog. unlegierte Kohlenstoffstähle, die als Normalstähle (Regelstähle) anzusehen sind (St 00.11÷St 44.11). Die darüberliegenden sog. hochfesten Baustähle (St 48.11÷St 70.11) verursachen mancherlei Schwierigkeiten und sind lange nicht so gut schweißbar, und zwar um so weniger, je höher der Kohlenstoffgehalt liegt. Aus Zweckmäßigkeitsgründen sollen — obwohl es strenggenommen theoretisch nicht ganz richtig ist — diese Baustoffe in der Gruppe der Sonderstähle behandelt werden.

Wie schon früher betont, können hochwertige Werkzeugstähle, z. T. auch Einsatz- und Vergütungsstähle nicht mit Erfolg autogen geschweißt werden; sie scheiden deshalb hier aus. Die Schnellschneidlegierungen, auch unter der Bezeichnung Hartmetalle bekannt, sind zwar mehr oder weniger gut schweißbar, sie gehören aber ebenfalls nicht hierher, da sie Eisen nur in geringen Mengen (als Verunreinigung) enthalten und hauptsächlich Legierungen von Kobalt, Chrom und Wolfram darstellen. Sie kommen unter der Bezeichnung Stellite (Stellit, Percit, Caedit, Celsit, Akrit usw.) in den Handel. Aus Wolframkarbiden bestehende Schneidlegierungen, wie Widia, Volomit, Miramant usw. sind im allgemeinen nicht schweißbar.

Kohlenstoffstähle höherer Festigkeit. Die Grenzfestigkeit für leichtes und gutes Schweißen von Baustählen liegt bei St 42. Schon St 48 kann Schwierigkeiten verursachen, und es ist dann die Verwendung geeignet legierter Schweißdrähte für die Güterwerte der Schweiße bestimmend. Die Stähle St 60.11 und 70.11 sind autogen sehr schwer und nur unter besonderen Bedingungen schweißbar. Dabei kommt nicht allein der geeigneten Legierung der Drähte Bedeutung zu, sondern auch der mit dem Gehalt an Kohlenstoff steigenden Wärmeempfindlichkeit des Baustahls und der damit verbundenen Gefahr starker Überhitzung. Ein weiterer Umstand, der die Schweißung solcher Stähle vielfach ausschließt, ist die im Übergang zwischen Schweiße und Mutterwerkstoff infolge von Spannungsanhäufungen auftretende Rißbildung, die einmal, voraussichtlich durch die Schaffung besonderer niedrig gekohlter Schweißdrähte, welche genügende Festigkeit bei guter Dehnung gewährleisten, aufgehoben werden kann, zum anderen durch die Vorwärmung der zu schweißenden Konstruktion, eine Maßnahme, die in den wenigsten Fällen (nur bei einfachster Form des Körpers) durchführbar ist. Die Schwierigkeiten steigern sich außerdem mit der Werkstoffdicke. In

dieser Richtung ist die Entwicklung zur Zeit noch stark im Flusse, so daß verbindliche Angaben hinsichtlich der zu erwartenden Grenzbereiche für die Schweißbarkeit hochfester Baustähle nicht gemacht werden können, auch schon deshalb nicht, weil das Ziel der Bestrebungen, Stähle von noch viel höherer Festigkeit zu verwenden und möglichst auch zu schweißen, noch nicht abzusehen ist.

Allgemeines über legierte Stähle. Bisher war nur von Kohlenstoffstählen die Rede. Mit den wachsenden Anforderungen an Maschinen und technische Bauwerke steigerten sich in gleicher Weise die Anforderungen an die Werkstoffe. Da die normalen Kohlenstoffstähle nicht mehr alle Bedingungen erfüllen konnten, mußte man Sonderstähle, sog. legierte Stähle, erzeugen. Von den zahllosen Anforderungen, die an legierte Stähle gestellt werden, sind vom schweißtechnischen Standpunkt aus folgende von Interesse: geringe Wärmeausdehnungszahl, gutes oder schlechtes Wärmeleitvermögen, Verschleißfestigkeit, Korrosionsbeständigkeit (Rostsicherheit), Hitzebeständigkeit (Zunderfestigkeit), hohe Verformbarkeit u. a. m.

Freilich sind auch die Kohlenstoffstähle niemals völlig frei von dritten und weiteren Begleitern, wie z. B. Silizium, Mangan, Phosphor und Schwefel, doch ist der Anteil dieser Elemente an der Legierung praktisch so gering, daß er die Eigenschaften der Stähle auch hinsichtlich ihrer Schweißbarkeit nur unwesentlich beeinflusst. Unter legierten Stählen sind deshalb Werkstoffe zu verstehen, die über dieses Maß weit hinaus größere, stark wechselnde Mengen an zwei, drei oder mehr Elementen als Zusätze enthalten. Als solche sind hervorzuheben: Silizium, Mangan, Chrom, Nickel, Vanadin, Wolfram, Kupfer, Molybdän, Titan, Uran, Tantal und Niob.

Einfluß der Zusätze auf den Stahl und seine Schweißbarkeit. Wie der Kohlenstoff haben auch die übrigen Legierungselemente meist die Eigenschaft, mit wachsendem Gehalt die Festigkeit des Stahls zu steigern und die Schweißbarkeit zu verringern.

Ein Gehalt von $0,8 \div 1,2$ vH Silizium erhöht die Festigkeit (Si-Baustähle). Höher silizierter Stahl ($1,5 \div 4,2$ vH Si), wegen seiner günstigen magnetischen Eigenschaften für Transformatoren und Dynamobleche gebräuchlich, ist als nichtschweißbar anzusprechen. Dieser Stahl zeigt unter der Flamme einen trägen Fluß.

Mangan hat desoxydierende Wirkung. Ein Gehalt von $0,8 \div 2,0$ vH erhöht die Streckgrenze. Manganstähle dieser Zusammensetzung ergeben gute Schweißen, wenn mit manganlegierten (unter Umständen molybdän- oder nickelvanadinlegierten) Schweißdrähten gearbeitet wird. Größere Anteile an Mangan (10 bis 14 vH) liefern einen verschleißfesten und zähen Stahl, erschweren aber die Schweißbarkeit erheblich, zumal diese Legierung im rotwarmen Zustand sehr brüchig ist und infolge von Schrumpfspannungen leicht Risse bildet. Bei diesen Stählen kommt keine Verbindungsschweißung vor, vielmehr nur eine Auftragsschweißung. Da das Mangan unter der Schweißflamme leicht oxydiert, hinterläßt es gern große Poren, ein Umstand, der bei der Schweißung dieses Werkstoffs zu beachten ist.

Reine Chromstähle sind durchweg sehr schlecht schweißbar, und zwar nimmt die Schweißbarkeit mit steigendem Chromgehalt rasch ab, weil sich nichtschmelzbare Oxyde und Schlacken bilden, die z. T. in der Schweißablagert werden, z. T. auch auf der Oberfläche des Schmelzbades die Durchführung der Schweißung stören. Für die Schweißbarkeit von Chromstählen ist ihr Gehalt an Kohlenstoff ausschlaggebend. Die Grenzen der Eisen-Chromlegierungen, bei

denen sie bei Erwärmung und normaler Abkühlung keine nennenswerten Härteerhöhungen erfahren, liegen etwa wie folgt:

0,10 vH Kohlenstoff bei ~ 17 vH Chrom,
 0,25 vH Kohlenstoff bei ~ 24 vH Chrom,
 0,45 vH Kohlenstoff bei ~ 30 vH Chrom.

Chromstähle mit weniger Kohlenstoff oder mehr Chrom als angegeben, haben ferritisches Gefüge. Zwischenliegende Analysen ergeben martensitische Stähle, die lufthärtend sind, weshalb sie beim Schweißen (über 800°) sehr spröde werden. Nachbehandlung durch Glühen bei $700\div 800^\circ$ ist nur von geringem Einfluß auf die Zähigkeit und Festigkeit der Schweißnaht. Sehr gefördert wird die Schweißbarkeit durch Zusatz von Nickel. Es genügen schon einige Prozente dieses Metalles, um die sonst schwer oder gar nicht schweißbaren Legierungen gut schweißbar zu machen, während dies andererseits von reinen Nickelstählen nicht behauptet werden kann. Stähle vorgenannter Art zählen zur Gruppe der rostfreien unmagnetischen Chrom-Nickelstähle (bis 20 vH Cr und bis 12 vH Ni).

Ausschließlich mit Vanadin legierte Stähle kommen fast nur im Kesselbau (0,2 vH V) und bei hochbeanspruchten Schmiedestücken vor. Der geringe Vanadinhalt beeinflußt die Schweißbarkeit kaum merklich. Die Schweißen solcher Stähle müssen meist normalisiert werden, was auch für Molybdän- und Silizium-Mangan-Chromstähle gilt. Man läßt dann die Stähle bis auf Schwarzwärme kalt werden und erhitzt sie abermals auf etwa 830° , um sie dann ganz allmählich an der Luft erkalten zu lassen. Bei Überschreitung der Glühtemperatur entsteht grobkörniges Gefüge.

Geringe Zusätze an Wolfram (1 \div 1,5 vH) steigern die Härte und Verschleißfestigkeit des Stahls ohne Einbuße an Zähigkeit. Wolframlegierte Schweißdrähte finden fast ausschließlich bei verschleißfesten Auftragsschweißungen, z. B. an Schienen, Scheiben und Amboßbacken, Verwendung.

Endlich wird neuerdings Kupfer den Baustählen (bis zu 0,7 vH) zur Erhöhung der Witterungsbeständigkeit zugegeben. Dieser Kupfergehalt verursacht praktisch keine besonderen schweißtechnischen Schwierigkeiten, doch ist der Verlust der Schweißnaht an Kupfer durch die Verwendung gleich legierten Schweißdrahts zu verhindern, um die Witterungsbeständigkeit zu erhalten.

Das Schweißen von Armcoeisen. Mitunter ist ein möglichst reiner Stahl als Baustoff erwünscht. Ein solcher ist der unter dem Namen Armcoeisen bekannt gewordene, der fast chemisch rein ist, nur sehr wenig Kohlenstoff und geringe Spuren an anderen Begleitern enthält. Armcoeisen ist witterungsbeständig und unter Beobachtung einiger Vorsichtsmaßregeln leicht und gut schweißbar. Die Nähte sind sehr dicht, von hoher Dehnung und gut verformbar. Die beim Schweißen sich bildende Zunderschicht läßt sich leicht entfernen, und das Schweißgefüge ist vom Grundwerkstoff kaum zu unterscheiden.

Das Schweißen von St 52. Unter anderem bestand die Schwierigkeit bei der Schweißung des Baustahls St 52 darin, daß ursprünglich etwa ein Dutzend Stähle gleicher Bezeichnung, aber mit stark wechselnden Analysen im Handel war. Diese große Zahl von Legierungen wird zur Zeit umgestellt, wobei man gleichzeitig auch die Belange des Schweißens berücksichtigt. Neben dem bekannten Si-Stahl gibt es heute hauptsächlich noch drei Grundarten der St 52-Legierungen, und zwar Chrom-Kupfer-, Silizium-Mangan-Kupfer- und Molybdän-Silizium-Mangan-Kupferstähle. Die Schweißung dieser Stähle ist nur dann vollwertig, wenn Schweißdrähte von ähnlicher Zusammensetzung verwendet werden. In der mit normalem Stahldraht ausgeführten Schweißnaht entstehen Zwischenlegierungen, die allerdings häufig gute technologische Werte ergeben, wenn die Bleche nicht zu dick sind.

Die Vorgänge beim Schweißen von Sonderstählen. Man hat in der Hauptsache zwischen perlitischen, martensitischen und austenitischen Stählen zu unterscheiden (s. Abschnitt I D), die sich beim Schweißen grundverschieden verhalten.

Unter perlitischen Stählen versteht man Stähle mit Legierungsbestandteilen in geringen prozentualen Anteilen, so daß sich der Gefügeaufbau des Stahls und die Umwandlungstemperaturen nicht wesentlich von denen unlegierter Stähle unterscheiden. Der Hauptgefügebestandteil ist Perlit, der beim Abschrecken, d. h. beim raschen Erkalten der Schweiße, in Martensit übergeht. Die durch die Luftabkühlung entstandene Härte und Festigkeit kann durch Glühen bei 600 bis 750° (je nach Legierung) herabgemindert werden. Solche Stähle sind gut und ohne unangenehme Begleiterscheinungen schweißbar, sofern geeignete Schweißdrähte zur Verwendung gelangen. Häufig wird diesem Schweißdraht Nickel oder Mangan zugesetzt.

Erheblich anders verhalten sich martensitische Stähle, deren Zusatz an verschiedenen Legierungselementen so groß ist, daß sie bei sehr langsamem Erkalten harte und spröde, ja sogar glasharte Schweißen ergeben, die durch Glühen kaum oder überhaupt nicht zu beeinflussen sind. Schweißen dieser Art dürfen statisch nur sehr wenig und dynamisch gar nicht beansprucht werden, da stoß- oder schlagartige Beanspruchungen, oft schon geringe Biegung genügen, um die Verbindung zu zerstören. Daraus erklärt es sich, daß martensitische Stähle für Verbindungsschweißungen ungeeignet sind und aus der Gruppe der schweißbaren legierten Stähle im engeren Sinne ausscheiden müssen. Dagegen wird, wie früher betont, die Auftragschweißung von mit Chrom bzw. Wolfram legierten martensitischen Stählen für hohe Härte oder Verschleißfestigkeit angewandt, weil es bei dieser Schweißung nicht auf ein hohes Arbeitsvermögen, sondern gerade auf Härte und Verschleißfestigkeit ankommt.

Schließlich ist noch die Gruppe der austenitischen Stähle zu nennen, die noch höher legiert sind, meist mit Chrom, Nickel, Molybdän oder Wolfram, wodurch die Perlitumwandlung ganz unterdrückt wird. Diese Stähle bestehen sowohl bei gewöhnlicher wie bei hoher Temperatur aus Austenit (Mischkristallen) und sind meist unmagnetisch und rostfrei. Auch bei Abkühlung aus hoher Temperatur bleiben sie zäh und werden nicht hart. Hierher gehört z. B. der verschleißfeste Manganstahl (1,2 vH C und 12 vH Mn) und verschiedene Chrom-Nickelstähle. Austenitische Stähle eignen sich sehr gut zur Schweißung.

Die Schweißung säurefester, nichtrostender und hitzebeständiger Stähle. Bei diesen Stählen handelt es sich in der Mehrzahl der Fälle um Eisen-Chrom- oder Eisen-Chrom-Nickellegierungen mit stark wechselnden Mengen an diesen Elementen. Bei warmfesten Stählen wird Nickel häufig auch durch Molybdän und Chrom durch Kupfer ersetzt. Tabelle 12 gibt, nach metallographischen Gesichtspunkten geordnet, einen zusammenfassenden Überblick über die in Deutschland gebräuchlichen korrosionsbeständigen Chrom-Nickel- und Chromstähle.

Tabelle 12.

Gefüge	C vH	Cr vH	Ni vH	Mn vH
Austenitisch	Spuren bis 0,40	18 ÷ 22	8 ÷ 10	0,3 ÷ 6,0
Austenitisch	0,10 ÷ 0,40	10 ÷ 26	15 ÷ 80	0,3 ÷ 2,0
Austenitisch-ferritisch	Spuren bis 0,20	14 ÷ 18	0 ÷ 2	6 ÷ 10
Halbferritisch	Spuren bis 0,20	13 ÷ 18	—	0,3 ÷ 0,6
Ferritisch	0,05 ÷ 0,40	25 ÷ 32	0 ÷ 5	0,3 ÷ 0,6
Martensitisch	0,15 ÷ 0,45	13 ÷ 18	0,5 ÷ 2	0,2 ÷ 0,8

Unter den nichtrostenden Stählen kommt schweißtechnisch vor allem die austenitische Gruppe in Betracht, deren Hauptvertreter der V 2 A-Stahl ist. Ihm ähnlich sind einige z. T. molybdänlegierte Remanit-Stähle mit bis zu 0,1 vH Kohlenstoff. Die austenitischen Stähle besitzen die anderthalbfache Wärmeausdehnung und nur $\frac{1}{4} \div \frac{1}{3}$ der Wärmeleitfähigkeit des Flußstahls. Deshalb macht die Schweißung dieser Stähle besondere Maßnahmen erforderlich, weil durch Wärmestauung weit höhere Spannungen und Verwerfungen auftreten als bei unlegierten Stählen. Auf Grund des geringen Wärmeleitvermögens werden solche Stähle mit sehr kleinen Schweißflammen bearbeitet. Z. B. wird man für ein 10-mm-V 2 A- oder Remanit- oder SAS-Blech eine Schweißflamme von halber Größe benutzen, als wie sie für Stahlblech üblich ist. Zu große Flammen fördern die Entstehung schwer schmelzbarer Oxyde, z. B. des Chroms, Mangans und Siliziums.

Eine wesentliche Forderung, die man noch an die Schweiße solcher Stähle stellen kann, ist das Verhalten bei Korrosionsbeanspruchung. Um ungleiche Korrosionsbeständigkeit auszuschließen, ist gleiche Beschaffenheit von Werkstoff und Schweißdraht Bedingung, wenn nicht in Sonderfällen, um Abbrandverluste auszugleichen, ein Zusatz an ausbrennenden Stoffen erforderlich ist, z. B. bewährt sich häufig ein geringer Silizium- oder Manganzusatz, der einen guten Fluß und einen Schutz gegen die Oxydation des für die Korrosionseigenschaften wichtigen Chroms bildet. Außerdem verhindern solche Zusätze die starke Lufthärtung mancher Stähle. Auch Zusätze von Kobalt, Wolfram, Molybdän, Vanadin, Titan, Aluminium usw. sind vorteilhaft. Für die Legierungen der Remanite z. B. ist ein besonderer mit „Thermanit“ bezeichneter Schweißdraht im Handel. Im einzelnen hierauf einzugehen, ist unmöglich. Man richte sich bezüglich der Schweißbedingungen und der Zusatzdrähte nach den Anweisungen der Lieferwerke.

Um der durch die Wärmestauung im schlecht leitenden Stahl auftretenden Verwerfung des Werkstücks zu begegnen, ist eine gute Einspannung des Schweißstücks unerlässlich. Außerdem werden selbst dünne Bleche von 1 mm aufwärts abgeschragt.

Die Schweiße austenitischer Stähle ist zäh und gut verformbar. Mit steigendem Kohlenstoffgehalt nimmt die Korrosionsbeständigkeit ab. Bereits bei über 0,07 vH Kohlenstoffgehalt erleiden die Legierungen zwischen 290 und 840° Gefügeumwandlungen, wobei ein Teil des Kohlenstoffs in Eisenkarbid oder Eisen-Chromkarbid verwandelt wird. Die Karbide lagern sich an den Korngrenzen ab, verursachen Stellen niedrigen Potentials, und rufen infolge der elektrolytischen Wirkungen (Lokalelemente) rasche Korrosion hervor, die z. T. auch auf den Verlust des Grundwerkstoffs an Chrom zurückzuführen ist. Zur Beseitigung der Karbide, d. h. zu ihrer Auflösung im Metall, ist ein nochmaliges Erwärmen der Schweiße bzw. des gesamten Werkstücks und darauffolgendes Abschrecken in Wasser notwendig.

V 2 A N-Stähle werden vergütet, indem sie auf 1100÷1150° erhitzt und abgeschreckt werden, V 2 A H- und V 2 A S-Stähle vergütet man durch Erhitzen auf 930÷980° und darauffolgendes Abschrecken in Wasser. Das Vergüten muß sich auf den geschweißten Körper insgesamt erstrecken, was besonders bei dünnen Blechkonstruktionen und bei Körpern von großen Ausmaßen oft gar nicht durchführbar ist, weil sehr große Glühöfen notwendig sind. Nach langwierigen Versuchen ist es der Firma Krupp gelungen, Extrastähle, und zwar den V 2 A E- und V 4 A E-Stahl (Titanlegierung) herzustellen, die einer Vergütung der Schweiße durch Wärmenachbehandlung nicht mehr bedürfen. Bei allen austenitischen Stählen (erkennbar an dem Buchstaben A in der Bezeichnung, z. B. V 2 A) wird im Gegensatz zu anderen

Stählen durch Abschrecken eine Härteverminderung hervorgerufen. Mit den neuen E-Stählen ist auch die oft angebrachte Klage über „interkristalline Korrosion“ (Kornzerfall), die ursprünglich die Schweißung dieses Stahls ganz in Frage stellte, beseitigt worden. Bei den älteren V A-Stählen zeigte sich nämlich, daß meist die Schweißung als solche korrosionsfest war, aber in einiger Entfernung beiderseits nach kurzer Zeit ein Brüchigwerden einsetzte, was darauf zurückzuführen war, daß dem Stahl Erwärnungen auf $600 \div 700^\circ$ besonders gefährlich wurden, gleichgültig, ob man ihn schnell oder langsam abkühlte. Diese Wärmezone in dem der Schweißung benachbarten Werkstoff zu vermeiden, ist ausgeschlossen, weshalb eine Wärmenachbehandlung, die auch die Korrosion nur verzögerte und nicht aufhob, unerlässlich war. In den neuen E-Stählen ist der Kohlenstoffgehalt auf ein so geringes Maß gebracht, daß die Ausscheidung von Karbiden ausgeschlossen ist. Die Gefahr einer interkristallinen Korrosion ist damit restlos beseitigt, und eine Wärmebehandlung der Schweißung im allgemeinen nicht mehr erforderlich.

Die vielseitige Verwendung der Chrom-Nickelstähle im chemischen Apparatebau ist bekannt. Einige Beispiele veranschaulichen geschweißte Chrom-Nickelstahlkonstruktionen. Abb. 207 zeigt die geschweißte Bauweise eines Vakuumdestillierapparates aus V 2 A-Stahl. Die Anordnung der Schweißnähte entspricht der bei Flußstahlblechen. Der hohen Widerstandsfähigkeit gegen Salpetersäure ist die meist übliche Verwendung geschweißter V 2 A-Stahlkonstruktionen bei

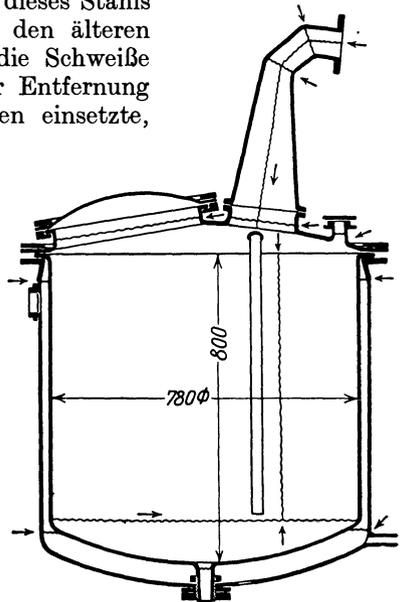


Abb. 207. Geschweißter Vakuumdestillierapparat aus V 2 A-Stahl (Mantel aus Stahlblech.)

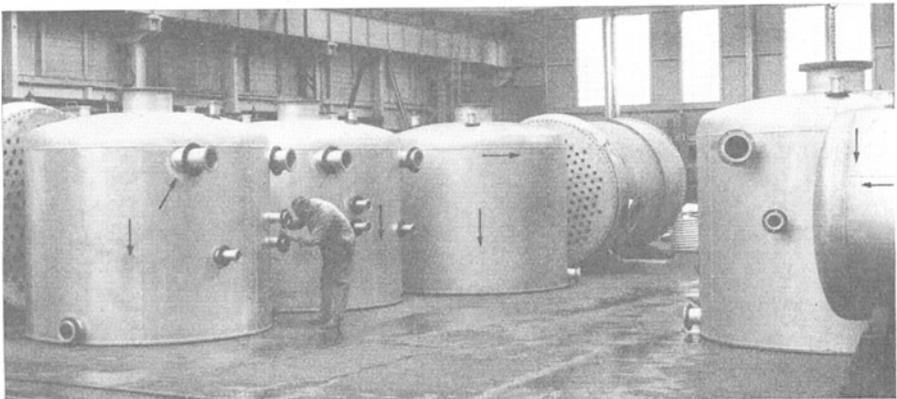


Abb. 208. Geschweißte Salpetersäuregefäße aus V 2 A-Stahl.

der Erzeugung und Verarbeitung dieser Säure zu verdanken. Abb. 208 zeigt eine Gruppe geschweißter Salpetersäuregefäße von 2500 mm Durchmesser und 2200 mm Höhe, bei 3 mm Blechdicke. Ebenfalls aus V 2 A-Stahl von 3 ÷ 5 mm Dicke bestehen die in Abb. 209 wiedergegebenen beiden Absorptionstürme von 2250 mm Durchmesser und 16500 mm Höhe, wovon jeder rund 200 m Schweißnaht erfordert.

Die Gruppe geschweißter Rohrleitungskrümmen der Abb. 210 ist aus Remanitstahl hergestellt. Der im Bilde deutlich sichtbare Doppelbogen setzt sich aus 24 einzelnen, unter sich durch Schweißung verbundenen Segmenten zusammen. In diesem Zusammenhange sei noch erwähnt, daß nichtaustenitische, gewöhnlich nicht schweißbare Stähle unter besonderen Bedingungen mit austenitischem Draht geschweißt werden können.

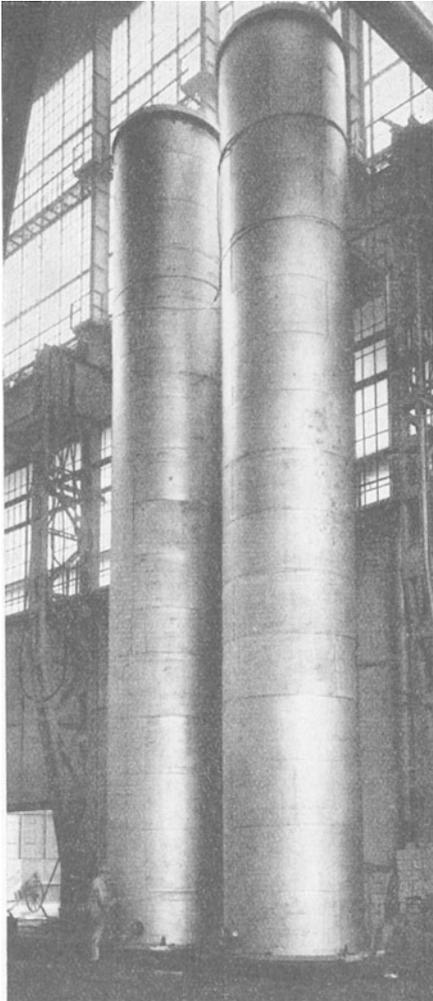


Abb. 209. Geschweißte Absorptionstürme
(V 2 A-Stahl).

Beim Schweißen der Stähle der halb-ferritischen Legierungsgruppe tritt neben einer Härtesteigerung der zu vergütenden Stähle noch eine starke Kornvergrößerung auf, die mit steigendem Ferritanteil zunimmt. Die mit dem Kornwachstum verbundene Sprödigkeit läßt sich durch Warmnachbehandlung nicht mehr rückgängig machen, weshalb von einer Schweißung dieser Stähle meist Abstand genommen werden muß.

Auch die martensitische Gruppe der nichtrostenden Stähle (V1M, V3M usw.; M = Zeichen für Martensit) eignet sich nicht zur Schweißung, da sie eine Umwandlung des gesamten Gefüges und daher eine außerordentliche Härtezunahme erfährt. Nicht nachbehandelte Schweißen brechen bei geringster Biegebeanspruchung. Eine Vergütung (Abkühlen in Luft oder Öl und Anlassen) bleibt von geringem Erfolg. Es kann zwar in der Schweißung die Festigkeit des Grundwerkstoffs, aber entfernt nicht seine Dehnung erreicht werden. Glücklicherweise liegt die Notwendigkeit bzw. der Wunsch, martensitische Chrom-Nickelstähle zu schweißen, in Anbetracht ihrer anders gearteten Verwendbarkeit in der Praxis, nur sehr vereinzelt vor.

Da die ferritische Stahlgruppe keine Gefügeveränderung durchmacht, tritt durch Wärmebehandlung keine wesentliche Beeinflussung ein. Zur Reihe dieser Stähle zählen die hochlegierten, ferritischen, hitzebeständigen Legierungen [z. B. Ferrotherm, Nichrotherm (NCT₃), Nialit (Guß)]. Bei hoher Temperatur gleichen sich die Eigenschaften des Grundwerkstoffs und der Schweißung angenähert aus. Feuerbeständige Stähle dieser Art haben nur sehr geringen Zunderverlust. Die Höhe der Legierungsbestandteile richtet sich nach dem Grad der Beanspruchung (zwischen 1100 und 1300°) und bewegt sich zwischen 15÷25 vH Chrom neben steigenden Mengen an Nickel (18÷70 vH). Für die Schweißung von hochhitzebeständigen Stählen gilt im allgemeinen das bezüglich niedriger legierter Chrom-Nickelstähle und das im folgenden Absatz Ausgeführte.

Da die ferritische Stahlgruppe keine Gefügeveränderung durchmacht, tritt durch Wärmebehandlung keine wesentliche Beeinflussung ein. Zur Reihe dieser Stähle zählen die hochlegierten, ferritischen, hitzebeständigen Legierungen [z. B. Ferrotherm, Nichrotherm (NCT₃), Nialit (Guß)]. Bei hoher Temperatur gleichen sich die Eigenschaften des Grundwerkstoffs und der Schweißung angenähert aus. Feuerbeständige Stähle dieser Art haben nur sehr geringen Zunderverlust. Die Höhe der Legierungsbestandteile richtet sich nach dem Grad der Beanspruchung (zwischen 1100 und 1300°) und bewegt sich zwischen 15÷25 vH Chrom neben steigenden Mengen an Nickel (18÷70 vH). Für die Schweißung von hochhitzebeständigen Stählen gilt im allgemeinen das bezüglich niedriger legierter Chrom-Nickelstähle und das im folgenden Absatz Ausgeführte.

Außer den zunderbeständigen Eisen-Chrom- und Eisen-Chrom-Nickellegierungen bzw. den Kupfer-Molybdän-legierten, ist noch ein anderer hitzebeständiger Stahl zu erwähnen, der neben 6÷22 vH Chrom 0,5÷4 vH Aluminium enthält und unter der Bezeichnung Sicromal in den Handel kommt. Bei höherem Aluminiumgehalt der Chrom-Aluminiumstähle besteht die Zunderschicht größtenteils aus Tonerde (Aluminiumoxyd, Al_2O_3), weshalb sie vor Beginn der Schweißung an den Schmelzrändern durch Feilen oder Schmirgeln zu entfernen ist. Mit Rücksicht auf die Wärmespannungen, die sich bei dieser Legierung besonders unliebsam bemerkbar machen, und um Rißbildungen zu vermeiden, ist es meist notwendig, Legierungen mit höherem Aluminiumgehalt auf etwa 300° vorzuwärmen. Die verbleibenden Schweißspannungen werden auch hier durch Auslühen und — allerdings sehr langsames — Erkaltenlassen beseitigt.

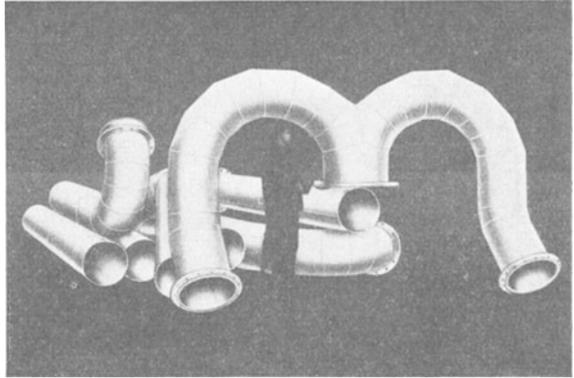


Abb. 210. Geschweißte Rohrleitungskrümmer aus Remanitstahl.

F. Die Schweißung plattierter Bleche.

Allgemeines. Unter plattierten Blechen versteht man einen Werkstoff, dessen Kern aus Stahl (St 32÷50) und dessen ein- oder zweiseitige Decke aus einem Nichteisenmetall wie Kupfer, Nickel oder Monelmetall besteht. Die Bleche werden nach einem Walzschweißverfahren hergestellt, und ihre Plattierungen sind mit dem Stahlwerkstoff fest verbunden. Die Bemessung der Plattierungsdicke ist von deren Beanspruchung auf Korrosion und Verschleiß abhängig, und sie beträgt im allgemeinen bis zu 10 vH der Gesamtdicke. Bei höherer Festigkeit lassen sich aus diesen plattierten Blechen verschiedenster Dicke Behälter und Apparate für die chemische Industrie herstellen, die früher aus Nichteisenmetallen, hauptsächlich aus Kupfer und Nickel, gefertigt werden mußten.

Vorbereitung zum Schweißen. Eine ununterbrochene und dichte Konstruktionsverbindung der Bleche wird ausschließlich durch Schweißen erreicht, wobei einige Maßnahmen zu beachten sind. Einmal sind die Schmelzpunkte der verschiedenen Metalle andere als der des Stahls, und zum anderen verhalten sich die Metalle unter der Flamme sehr verschieden. Außerdem muß sehr darauf geachtet werden, daß Zwischenlegierungen zwischen dem Stahl und seiner Plattierungsschicht vermieden werden. Daraus ergibt sich eine besondere Art der Werkstoffvorbereitung, wie sie in Abb. 211 für Stumpfstöße einseitig plattierter Bleche skizziert ist. Die Vorbereitung doppelseitig plattierter Bleche erfolgt sinngemäß. Das Schräghobeln der Blechränder entspricht der Abb. 117 und, da hier infolge der geringen Nahtbreite und Wärmeableitung die Nach-

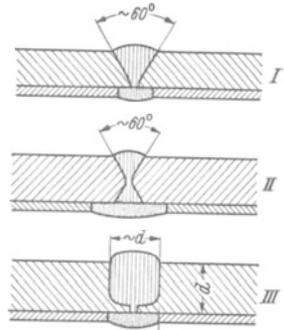


Abb. 211. Vorbereitung und Schweißung plattierter Bleche.

rechtsschweißung weitaus die bessere ist, im Winkel von etwa 60°. Der Scheitel des V-Stoßes (*I*) kommt stets in die Plattierung zu liegen, die beiderseits entlang der Naht je nach Blechdicke auf einige Millimeter Breite durch Behauen (Meißeln) oder Hobeln entfernt werden muß. Naturgemäß ist bei der X-Naht (*II*) ein breiterer Streifen aus der Plattierung herauszuarbeiten, während bei der U-Naht (*III*), die für die autogene Schweißung seltener in Frage kommt, die Fugenbreite für den Überzug etwas geringer sein kann. Ist eine Überlappung der Verbindungsnahte nicht zu umgehen, so wird stets zuerst die Stahlseite mit Stahl und dann die plattierte Seite der Verbindung mit Kupfer, Nickel usw. geschweißt.

Das Schweißverfahren. Wie bereits betont, wendet man für den Stahl zweckmäßig die Nachrechtsschweißung an. Wenn eben möglich, wird der Stahl immer zuerst geschweißt und darauf die Plattierung. Für die Schweißung des Stahlbleches gelten die bekannten Grundsätze. Nach vollendeter Stahlschweißung muß, bevor das Nichteisenmetall aufgetragen wird, die Zunderschicht restlos entfernt werden, da sie das gute Abbinden des Kupfers oder Nickels behindert und außerdem beim Biegen der Naht Ribbildung in der Plattierungsschicht verursacht. Die aufgetragene Kupferschicht muß dicht sein, damit der Stahl gegen Korrosion (infolge Kupfer-Eisenelementbildung) geschützt wird. Je nach Bedarf wird die Kupferschweiße kalt oder warm (wenn Spannungsrißgefahr besteht) gehämmert, gegebenenfalls geschliffen und poliert. Treten Poren auf, dann sind diese auszukreuzen und von neuem zu verschweißen. Die Kupferschweißung geschieht in der in Abschnitt „Nichteisenmetalle“ geschilderten Weise unter Verwendung der gleichen Drähte und Flußmittel.

Besteht die Plattierung aus Nickel, dann ist eine besonders sorgfältige Entfernung der Stahlschweißnaht von Schlacken und Eisenspritzern vorzunehmen. Zweckmäßig wird eine kleine Nut mit dem Kreuzmeißel in den Scheitel der Stahlschweiße eingehauen und erst dann Nickel mit einer „weichen“ Flamme aufgetragen. Um eine unzulässig hohe Anreicherung der Nickelschicht an Eisen zu verhüten, ist schnelles Schweißen Bedingung. Ribbildung in der Nickelaufgabe wird am besten dadurch vermieden, daß man das Stahlblech mit der Flamme vorwärmt, wodurch gleichzeitig auch die Arbeitsgeschwindigkeit erhöht wird.

G. Die Schweißung von Gußeisen.

1. Vorgänge beim Gußeisenschweißen.

Es wurde schon betont, daß Gußeisen, ebenso wie die meisten anderen Metalle, nicht wie Stahl vor Eintritt der Verflüssigung einen vorübergehend teigigen, plastischen Zustand einnimmt, sondern genügend erhitzt, plötzlich flüssig wird. Gußeisen kann deshalb nur in waagerechter Lage geschweißt werden; in jeder anderen Lage fließt das flüssige Eisen dem Gesetz der Schwere folgend ab. Dieser Umstand macht häufig ein Wenden größerer gußeiserner Werkstücke während des Schweißens erforderlich; die waagerechte Lage des Schmelzbades muß während der ganzen Arbeitsdauer, bis nach erfolgtem Erstarren des geschmolzenen Eisens, gewahrt bleiben. Hier und da anzutreffende Ausnahmefälle, Gußeisen auch stehend (von unten nach oben an senkrechter Wand) zu schweißen, können nur als Paradearbeiten aufgefaßt und sollten möglichst vermieden werden.

Normaler Schweißvorgang. Mehr noch als bei anderen Metallen ist beim Gußeisenschweißen für guten Fluß des Grundwerkstoffs und gutes Warmwerden der der Schweißstelle benachbarten Teile zu sorgen, bevor Zusatzgußeisen eingeschmolzen wird, sonst wird die Schweiße blasig und porös. Dies ist z. T.

dem im Gußgefüge verteilt, schlecht wärmeleitenden Graphit zuzuschreiben. Eifriges, aber ruhiges Rühren mit dem Zusatzstab im Schweißbade (während des Abschmelzens des Stabes) quer zur Schweißrichtung begünstigt eine porenfreie Schweißung. Das einzuschmelzende erhitzte Ende des Schweißstabs muß öfter ins Schweißpulver eingetaucht werden, damit ein guter, leichter Fluß erzielt wird. Zur Beschleunigung der Schweißung an schweren Werkstücken, die meist von mehreren Schweißern mit großen Brennern gleichzeitig vorgenommen wird, hat der Schweißer sein Hauptaugenmerk auf guten Fluß und einwandfreie Bindung des Eisens zu richten; das Gußeisen wird dann in kleinen Brocken durch einen Hilfsarbeiter ins Schmelzbad hineingeworfen und Schweißpulver durch einen an einer langen Eisenstange angebrachten Löffel zugeführt. Mit einem dicken Gußstabe wird das Schmelzbad gründlich durchgerührt. Arbeitsunterbrechungen sind möglichst zu vermeiden; die Schweißung soll in einem Zuge, falls notwendig von mehreren Schweißern ausgeführt werden, die sich gegenseitig auch ablösen können.

Hartwerden der Schweißstelle. Sehr häufig hört man Klagen über Hartwerden der Schweißstelle und die Unmöglichkeit sie zu bearbeiten. Zweierlei ist für dieses Übel von einschneidender Bedeutung: Zu schnelles Erkalten der Schweißstelle und wesentliche Abnahme an Kohlenstoff und Silizium infolge Verdampfens, bzw. infolge Oxydation.

Bleibt das geschweißte Gußstück unbearbeitet, dann kann — von Spannungserscheinungen, von denen nachher gesprochen wird, abgesehen — jedwede Nachbehandlung unterbleiben, die ein Ausglühen der etwa hart gewordenen Schweißstelle zum Ziele hat. Andernfalls muß man das Schweißgut im Muffelofen- oder Holzkohlenfeuer allmählich erkalten lassen, um es wieder bearbeitbar zu machen. Die Ausglühdauer bewegt sich zwischen 3 h und 5 Tagen, je nach der Masse des geschweißten Körpers. Urheber der in der Schweißstelle entstandenen Härte ist bei rascher Abkühlung derselbe Umstand, der auch die Härte des weißen Roheisens verursacht: Die Unterbindung ausreichender Graphitbildung. Die Ränder der Bruchfläche eines massigen Gußstücks zeigen dies deutlich; sie sind, weil von außen rascher abgekühlt, stets graphitärmer und lassen, schon mit bloßem Auge betrachtet, ein bedeutend feinkörnigeres Gefüge erkennen. Mit der Feinheit der Korngröße wächst zwar die Bruchfestigkeit des Gußeisens, Hand in Hand damit aber auch dessen Härte. Da die Schweißstelle stets ungleich rascher abkühlt als der Gußkörper nach dem Gießen in seiner Form, demnach immer ein viel feineres Gefüge besitzt, ist es auch erklärlich, daß die Gußschweißstelle höhere Festigkeit besitzt als der Grundwerkstoff. Bricht die Schweißstelle selbst im Betriebe, so ist das meist ein sicherer Beweis für unsachgemäße Arbeit.

Ganz ähnlichen Härtezustand, einen gehärtetem Stahl sehr ähnlichen, unbearbeitbaren Werkstoff, verursacht ein Verlust der Schweiß an Kohlenstoff und Silizium, weshalb beide Stoffe in genügender Menge im Zusatzstoff enthalten sein müssen. Ein Teil des Kohlenstoffs und Siliziums wird gasförmig (teilweise in Verbindung mit Sauerstoff oder Wasserstoff aus Luft und Flamme) und steigt in Gestalt kleiner Bläschen im Schmelzbad in die Höhe. Erstarrt nun die Schmelze, ohne dem eingeschlossenen Gase Zeit zu lassen, ins Freie abzuziehen, so sind Lunker und Blasenbildung in der Schweißung nicht zu vermeiden. Man trachte daher danach, daß die Erstarrung des Schmelzbades nicht plötzlich eintritt, sondern die Flamme längere Zeit auf der geschweißten Stelle verharret, um diese langsam fest werden zu lassen, was ja nebenbei auch für die Graphitabscheidung vorteilhaft ist.

Nicht selten kommt es vor, daß die Schweißung harte Knötchen enthält, während sie im übrigen weich und gut bearbeitbar ist. Diese harten Inselchen, die

besonders an den Übergangsrändern der Schweißstelle zu den Schweißkanten auftreten, sind meist die Folge ungleicher Bindung der Schweißränder mit dem Zusatzstoff, oder der Füllstoff selbst ist verschiedenartig zusammengesetzt. Es ist darauf zu achten, daß der Füllstoff einen dem Querschnitt des Werkstücks angepaßten und nicht zu schwachen Querschnitt hat. Dünnere Stäbe müssen unter der Oberfläche des Schmelzbades und unter anhaltendem Rühren abgeschmolzen werden.

Harte Zonen in Gußschweißen können auch daher rühren, daß Oxyde eingebettet werden, deren dünne Schicht (Haut) nicht rasch genug vom Schweißpulver verschlackt wird. Die Oxydhaut bildet sich nicht allein auf der Schmelzbadoberfläche, wo sie mit einem Eisenstab abgestreift werden kann, sondern auch an dem aus dem Schmelzbade herausgezogenen Stabende. Das in der Schweißvorhandene Silizium reduziert das Eisenoxyd, womit eine Verarmung an Silizium in der Schmelze und eine Beeinträchtigung der Graphitausscheidung einsetzt. Man gibt deshalb beim Gußeisenschweißen der Flamme einen deutlich merkbaren Überschuß an Azetylen, weil durch die Gegenwart höherer Kohlenstoffmengen die Arbeit des Siliziums unterstützt wird und kein so starkes Verbrennen desselben eintritt.

Einfluß der Zusammensetzung des Schweißguts. Mit Formsand und Schlacke durchsetzte Gußstücke werden während der Schweißung durch Auskratzen mit einem Stahlstab von diesen Fremdkörpereinschlüssen befreit. Ganz allgemein müssen alle, in der Schmelzfuge durch starkes Leuchten auffallende Teile (verbrennende Verunreinigungen) immer entfernt oder doch wenigstens an die Oberfläche der Schmelze gebracht werden.

Es gibt Gußsorten, die trotz Anwendung aller Hilfsmittel nicht schweißbar sind. Ein solcher Werkstoff ist vor allem verbrannter Guß (Herdguß oder Brandguß), worunter man ein längere Zeit hindurch hohen Temperaturen oder offenem Feuer ausgesetzt gewesenes Gußeisen versteht. Diesem Guß ist ein großer Teil des Kohlenstoffs und Siliziums (Si in SiO_2 , Kieselsäure umgewandelt) entzogen, es hat eine innere Verbrennung (Oxydation) dieser Bestandteile stattgefunden und es ist ein Werkstoff mit vollkommen anderen Eigenschaften entstanden. Verbrannter Guß wird selbst unter anhaltendem Einfluß der Schweißflamme entweder gar nicht flüssig oder zerbröckelt wie trockener Kitt, ohne daß eine Verbindung herbeizuführen wäre; er erreicht Glashärte. Von der Schweißung solchen Gußeisens (Roststäbe, gußeiserne Kochkessel, Herdplatten, Verdampferschalen u. dgl.) ist abzuraten. Für die Möglichkeit des Schweißens solcher Teile ist nur das Ausmaß der inneren Oxydation und demnach ein Schmelzversuch maßgebend.

Verziehen des Gußstücks. Bei Wärmezufuhr dehnt das Gußeisen sich aus, mithin auch beim Schweißen, wo ihm Wärme in großer Menge zufließt. Das Maß der darauf beim Erkalten eintretenden Schrumpfung ist jedoch geringer als das der Dehnung. Dies ist die Ursache des Verziehens (auch die Ursache gewisser Spannungserscheinungen). Die im Abschnitt Gußspannungen angegebenen Hilfsmittel sind auch sinngemäß gegen das Verziehen anzuwenden.

2. Bekämpfung der Gußspannungen.

Bei der Beseitigung der fast allen Gußkörpern eigenen Spannungen sieht sich der Schweißer ständig vor neue Aufgaben gestellt. Es ist nicht zuviel gesagt, wenn man behauptet, daß in der Schadlosmachung der Spannungen und ihrer Begleiterscheinungen oft schon der halbe Weg zum Erfolge der Schweißung gewonnen ist. Die Vor- und Nacharbeiten sind beim Schweißen von Guß viel

wichtiger als die Schweißung selbst. Auf die Entstehung von Spannungen war bereits im Abschnitt III A 3 hingewiesen worden.

Hilfsmittel gegen Spannungswirkungen. Zur Aufhebung und Abdämmung von Spannungen und Verhütung der Übertragung ungewollter Werkstoffdehnungen auf den der Schweißstelle benachbarten Bereich sind die verschiedensten Hilfsmittel gebräuchlich. Einige davon sind: Teilweiser Einbau in feuchten Lehm oder Sand, Abdecken mit feuchten Lappen, Eintreiben von Keilen, Aufziehen von Spannringen, Vorwärmen und langsames Erkalten. Die beiden letzten Vorkehrungen sind die wichtigsten.

Natürlich gibt es eine große Zahl gebrochener, gerissener oder poröser Gußstücke, die ohne jede Vor- und Nacharbeit unvorgewärmt zu schweißen sind. Man findet sich einigermaßen auf diesem schwierigen Gebiete zurecht, wenn man sich grundsätzlich folgende Regel vor Augen hält: Ist der zu schweißende Gegenstand infolge seiner Beschaffenheit befähigt, räumliche Dehnung aufzunehmen, dann kann er kalt, d. h. ohne Vorwärmung im Feuer, geschweißt werden. Tritt jedoch irgendein Teil des zu schweißenden Körpers freier Ausdehnung der erhitzten Teile hemmend entgegen, so ist teilweise oder vollkommene Vorwärmung auf Rotglut notwendig.

Vor- und Nachwärmen. Nach vorigem ist es widersinnig zu glauben, die Notwendigkeit des Vor- und Nachwärmens ergäbe sich aus Größe und Gewicht des Körpers; maßgebend ist hierfür allein Form und Beschaffenheit des Gußstücks. Wie gesagt, sind Dehnung des erhitzten Gußkörpers und das darauffolgende Zusammenziehen (Schrumpfen) beim Erkalten nie gleich groß. Daraus folgt eine gewisse Spannung, die im rotwarmen Zustande des Gußstücks aufgehoben wird; in diesem Zustand ist es ganz spannungsfrei. Der Temperaturunterschied zwischen hochoerhitztem Werkstück und dessen Schmelzpunkt ist wesentlich geringer als der zwischen dem kalten, unvorgewärmten Körper und dem Schmelzpunkt. Bei Rotglut hat sich das erwärmte Gußstück bereits stark gedehnt und vermag nun den Wärmeüberschuß, der ihm durch die Schweißflamme zugeführt wird, gefahrlos aufzunehmen; die dadurch bewirkte Dehnungszunahme bleibt nur gering. Ein kaltes Gußstück kann dagegen manchmal an irgendeiner bestimmten Stelle kaum mit der Flamme bestrichen werden und schon bricht es. So können sich durch das Schweißen auch neue, die alten an Gefahr oft übertreffende Spannungen im Gußstück bilden.

Das geringe Dehnungsvermögen des spröden Gußeisens liegt wiederum an den Graphitkristallen, die den Werkstoffquerschnitt adernförmig, oft blattartig durchsetzen und durch Unterbrechung des Zusammenhanges des Eisens die Zugfestigkeit erheblich vermindern. Dies gibt auch eine Erklärung dafür, warum man an Gußeisen nur wesentlich geringere Spannungs- und Dehnungsanforderungen stellen kann als an den viel besser schweißbaren graphitfreien Stahlguß.

Anwärmeverrichtungen. Gleichmäßiges Vorwärmen und Erkaltenlassen erfolgt für kleinere Stücke am zweckmäßigsten im gas-, öl-, feuer- oder elektrischgeheizten Muffelofen, über den jede bessere Ausbesserungsschweißerei verfügen sollte. Wo ein Muffelofen nicht vorhanden, und ferner für größere Gußstücke, ist Holzkohlenfeuer am geeignetsten. Wenn ein Ventilatorgebläse oder verdichtete Luft fehlt, kann das Feuer mit der Schweißflamme entzündet und durch zeitweiliges Einblasen von Sauerstoff entfacht werden. Der zu erhitzende Gegenstand wird gut in trockene Holzkohlen eingebettet, ringsum mit gitterförmig aufgestellten Schamottesteinen eingebaut (damit Luft zum Feuer gelangen kann) und oben mit Asbest- und Blechtafeln abgedeckt. Gleichmäßiges Vorwärmen bis auf Rotglut und Schutz vor starker Zugluft ist vor allen Dingen erforderlich. Als Feuerungstoff darf nur Buchenholzkohle benutzt werden; Koks ist gänzlich

ungeeignet und hat schon oft zu Anschmelzungen an Gußkörpern geführt, die ihre weitere Verwendbarkeit ausschlossen. Fenster und Türen der Werkstätte sind während des Schweißens geschlossen zu halten; der Abzug der Gase erfolgt am besten auf künstlichem Wege (Exhaustor).

Schwere Stücke von dickem Querschnitt wärmt man, um an Gas und Sauerstoff zu sparen, vorteilhaft immer vor, auch wenn dies der Spannungen wegen nicht notwendig wäre.

Unter Halbwarmschweißung versteht man die Ausbesserung nur z. T. ins Feuer eingebauter Werkstücke. So wird man sperrige Gußkörper nur an den Bruchstellen erwärmen und nur z. T. einbauen, ebenso z. B. Zylinderblöcke, deren Bohrungen, Lager und anderes geschont werden sollen und wo die Lage der schadhaften Stelle dies ermöglicht.

3. Ausführung von Gußschweißungen.

Grenzfälle für die Schweißung von Gußstücken lassen sich nicht ohne weiteres angeben. Für die obere Grenze der Schweißbarkeit sind, in Anbetracht unserer zeitgemäßen Fördermittel und Hebezeuge, große Gewichte und Abmessungen der Schweißstücke nicht mehr hinderlich. Viel mehr wird die Arbeitsmöglichkeit durch den Werkstoffquerschnitt der Schweißstelle beeinflusst. Zu große Werkstoffdicken bedingen den Aufwand bedeutender, vom Schweißer kaum zu ertragender Wärmemengen. Dann ist das elektrische Warmschweißverfahren am Platze. Nach unten gibt es eine eigentliche Grenze für schwache und kleinste Gußgegenstände nicht, da auch die kleinsten, eisengiebertechnisch herstellbaren Körper genügend dicke Wandungen haben.

Anschließend an die Reihe bereits aufgezählter Werkstücke, von deren Schweißung aus technischen und wirtschaftlichen Gründen abzuraten ist, mögen noch genannt sein: Platten größeren Flächeninhalts, besonders durch Rippen verstärkte Tuschier- und Richtplatten; außergewöhnlich dicke Zylinderwandungen, die hohen Innendruck ausgesetzt werden (Wasserdruckpreßzylinder); Gitter (Roste), bei denen Risse oder Brüche der Mitte des Körpers nahegelegen sind, usw. Bestimmte Regeln lassen sich nicht aufstellen, weil auch die zu Gebote stehenden Hilfsmittel und die Güte des Gusses mit ins Gewicht fallen. Die Wahrscheinlichkeit des Gelingens einer Gußschweißung kann nur von Fall zu Fall nach Inaugenscheinnahme und nur von erfahrenen Fachleuten beurteilt werden.

Wir wollen nunmehr versuchen, an Hand einiger erläuternder Skizzen uns über die wichtigsten Gesichtspunkte bei der Schweißung verschiedener Gußkörper klar zu werden.

Abb. 212: Doppelarmiger Hebel. Querschnitt und Abmessungen beliebig. Die Dehnung kann allseitig frei erfolgen, deshalb ist ein Vorwärmen unnötig. Risse oder Brüche (*a* oder *b*) werden rings um den Querschnitt verschweißt. Durchschweißen! Hat sich der Hebel verzogen, so stützt man ihn auf zwei Endpunkte mit Durchbiegung nach oben. Darauf wird die Schweißstelle mittels Brenner angewärmt, dann läßt man sie allmählich erkalten, so daß ein Senken der Durchbiegung eintritt. Der Bruch bei *c* ist nur von drei Seiten schweißbar. Vor allem in Längsrichtung der Nabe Querschnitt gut durchschweißen! Soll das Ausbohren der geschweißten Nabe (*c*) wegfallen, so setzt man in die Bohrung einen mit Tonschlamm oder fettdurchsetztem Graphit bestrichenen Bolzen von entsprechendem Durchmesser ein, der ein Durchfließen des Füllstoffs verhütet. Sollte der Bolzen, was seltener vorkommt, nach der erkalteten Schweißung festsitzen, dann wird er ausgebohrt, während an der Bohrung der Nabe selbst keine Nacharbeit erforderlich ist. Bei allen solchen oder ähnlichen Arbeiten ist

darauf zu achten, daß beim Abarbeiten oder Abschmelzen der Bruchränder (V- oder X-förmig) die Maßhaltigkeit gewahrt bleibt.

Abb. 213: Rahmen. Querschnitt und Abmessungen gleichgültig. Schweißung bei *c* gefahrlos; gegebenenfalls Abdecken des links von gestrichelter Linie gelegenen Teils (mit Sand, Lehm u. dgl.) vorsichtshalber (bei Anfängern) empfehlenswert. Trotz Einfachheit des Körpers tritt Verziehen ein (im Bilde stark übertrieben gestrichelt angedeutet), wenn bei *a* geschweißt wird, da *b*, in kaltem

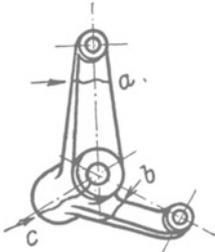


Abb. 212. Doppalarmiger Hebel.

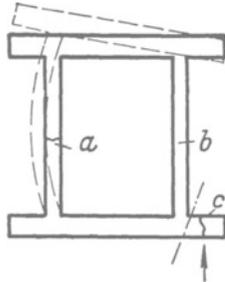


Abb. 213. Rahmen.

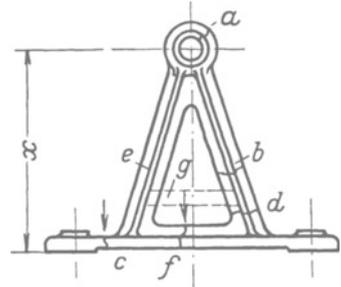


Abb. 214. Lagerbock.

Zustande belassen, der Dehnung nicht folgen kann. Darum *b* (gegenüberliegende Stelle von *a*) beim Schweißen mit anwärmen (zweite Flamme oder im Feuer), so daß Stäbe *a* und *b* durch Wärme gleichmäßig verlängert werden. Erkaltenlassen in heißer Asche oder heißem Sande gut.

Abb. 214: Lagerbock. Querschnitt der Arme (Streben) beliebig. Brüche bei *a* und *c* gefahrlos, unvorgewärmt schweißbar. Wenn Bruch bei *b* oder *d*, Bestreichen von *e* mit Flamme (wie bei Abb. 213) notwendig. Bleibende, geringe Längenzunahme von *x* wahrscheinlich, notwendigenfalls durch Abarbeiten der Fußplatte regelbar. Wenn Bruch in Fußplatte bei *f* gelegen, dann behutsames Eintreiben eines Keiles *g* empfehlenswert, damit Riß etwas klafft; sobald Schweißung beendet, Keil sofort herausnehmen (Stauchung in der Schweißstelle). An Stelle des Keils kann auch Anwärmung des Kopfes bei *a* in Frage kommen.

Abb. 215: Autoblockzylinder¹. Meist vorkommende Ausbesserungen: Frost- und Hitzerrisse, Flanschenbrüche. Frostrisse entstehen in den Wintermonaten durch versäumtes Ablassen des Kühlwassers; sie liegen meist in den äußeren Mänteln (Kühlmänteln) der Zylinder (bei *a*, *b*, *c*). Dagegen sind Hitzerrisse, die Folge mangelhafter oder plötzlicher Kühlung, ausschließlich in den inneren Zylinderwandungen, besonders an den Zylinderböden gelegen. Die Schweißung ersterer (Frostrisse) ist leichter als die der Hitzerrisse. Alle diese Risse, gleich welcher Lage und welchen Umfanges, bedingen Vorwärmung und langsames Erkaltenlassen des Zylinders im erlöschenden Feuer. Abbohren der Reißenden (1) vor Inangriffnahme der Arbeit ratsam. Schweißung immer an dem in der Fläche gelegenen Reißende beginnen (Pfeilrichtung bei *a* und *c*). Selten und schwierig schweißbar sind am Laufmantel inner- oder außerhalb der Zylinderbohrung aufgetretene Risse (*f*). Gut vorwärmen; nicht zu weit durchschweißen, damit Lauffläche für den Kolben, die sich nicht verziehen

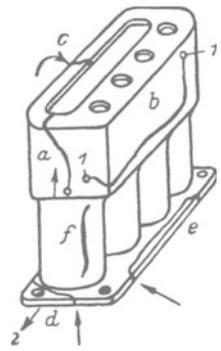


Abb. 215. Autoblockzylinder.

¹ Ausführliche illustrierte Abhandlung über Zylinderschweißungen s. Horn: Die Schweißung gußeiserner Explosionsmotorzylinder in „Die Schmelzschweißung“ 1925, Heft 4 u. 5.

darf, nicht beschädigt wird. Bruch bei d kann ohne Vorwärmung geschweißt werden; jedoch Flamme immer vom Zylinder weg (Pfeil 2) halten, damit diesem nicht unnötig viel Wärme zugeführt wird. Riß oder Bruch bei e : Zylinder gut vorwärmen. Um innerhalb des Kühlraumes des Zylinders gelegene Risse verschweißen zu können, ist vielfach das Herausbohren von Stücken aus dem Kühlmantel und Auskreuzen erforderlich, damit die inneren Risse zugänglich werden. Reihenfolge dann: Zylinder vorwärmen, innere Risse verschweißen, wenn Schweißung in einem Arbeitsgang nicht möglich, abermals vorwärmen, ausgeschnittenes Stück in Kühlmantel einschweißen, nachwärmen, Druckprobe.

Solche Ausbesserungen zählen zu den dankbarsten, allerdings auch schwierigsten Arbeiten des Schweißers.

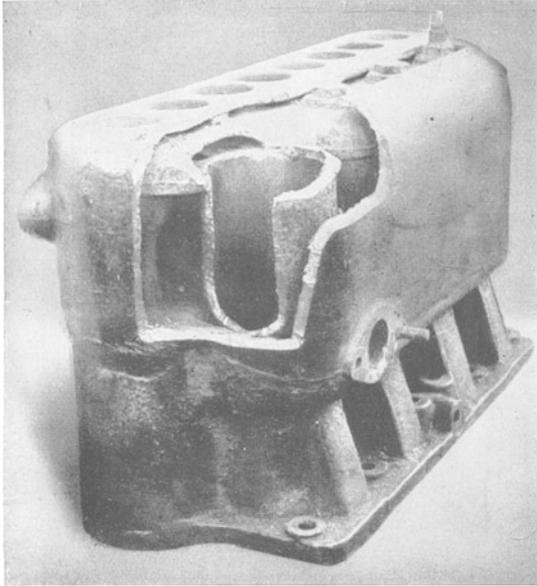


Abb. 216. Stark beschädigter Autozylinderblock.

Abb. 216 zeigt einen Zylinderblock mit zur Schweißung vorbereiteten Bruchrändern. Der Arbeitsgang entspricht dem zuletzt geschilderten: Block gut vorwärmen, innere Bruchstücke einschweißen, Vorwärmen, äußere Bruchstücke einschweißen. Es mag noch gesagt sein, daß das Innere der Zylinderbohrung, die Lauffläche, nicht immer mit der Flamme bearbeitet werden kann, da sich kleinere oder größere Mulden (Gruben) oder auch nur Poren beiderseits entlang der Schweißlinie niemals ganz verhüten lassen, so daß beim ausgeschliffenen Zylinder an den Übergangsrändern zwischen Schweißlinie und Grund-

werkstoff fehlerhafte Stellen zurückbleiben, die die Brauchbarkeit des Blocks in Frage stellen können. Selbstverständlich müssen Zylinderblöcke mit so umfangreichen Schweißarbeiten nach diesen ausgeschliffen werden. Das läßt sich bei Arbeiten an den Bohrungen auch dann nicht vermeiden, wenn ordnungsgemäß nur von außen (nach Auskreuzen eines entsprechend großen Stücks aus dem Wassermantel) geschweißt wird. Da die Schweißlinie an bearbeiteten und lackierten Zylindern überhaupt nicht mehr sichtbar ist, kann hier von der Wiedergabe von Bildern geschweißter Blöcke Abstand genommen werden.

Die Tatsache, daß neuerdings fast nur Zylinder mit abnehmbarem Kopfe gebaut werden, ändert nichts an der grundsätzlichen Arbeitsdurchführung; im Gegenteil die Schweißung wird dadurch vielfach erleichtert.

Zur Verhütung von Verzunderungen an bearbeiteten Zylinderflächen und -bohrungen, Ventilsitzen usw. während des Glühens und Schweißens, ist es ratsam, alle diese Teile mit einer dünnen Schicht von mit Wasser angesetztem Graphit zu bestreichen. Diese wird nach Arbeitsvollendung mit Öl abgewischt und die bearbeiteten Flächen bleiben metallisch blank.

Mit besonderer Sorgfalt müssen die Ventilsitze beim Schweißen behandelt werden, da solche Auftragsschweißungen unbedingt weich bleiben und völlig

porenfrei ausfallen müssen. Mitunter ist sowohl hier, wie beim Ausbessern von Rillen in den Bohrungen (Kolbenbolzenlockerung) das Auftragen von Bronze (Lötung) vorteilhaft.

Abb. 217: Zahnrad¹. Auch beim Schweißen radförmiger Körper, ganz gleich ob es sich um Scheiben- oder Speichenräder handelt, sind vor allem die Eigenspannungen zu berücksichtigen. Abb. 217 zeigt den Segmentausschnitt eines Zahnrades. Abgebrochene Zähne kleineren Moduls (kleinerer Teilung) schweißt man wie bei *a* (völliger Bruch) und bei *b* (Teilbruch) gezeigt, indem man die abgebrochenen Teile durch Aufschweißen neuen Gußeisens ersetzt. Zähne kleinster Teilung werden, wie bei *d* gezeigt, samt der nebenliegenden Zahnücke vollgeschweißt, besonders dann, wenn mehrere nebeneinanderliegende Zähne abgebrochen sind. Bei gebrochenen Zähnen größter Teilung schweißt man im allgemeinen das abgebrochene Stück wieder an, wobei die Verwendung von Formkohleplatten als Begrenzung des Schmelzbades empfehlenswert ist. Dadurch wird oft erheblich an Nachbearbeitung gespart. Vielfach kann mittels Schabers oder alten Feilen eine Glättung der Schweiße bei beginnender Erstarrung vorgenommen werden. Im übrigen gilt für Zahnradschweißungen das zu Abb. 218 Gesagte.

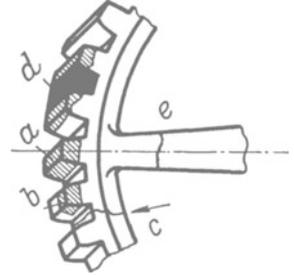


Abb. 217. Zahnrad.

Abb. 218: Riemenscheibe. Häufig vorkommende Arbeit: Speichenbrüche bei *a* und *b*. Bei *e* Nabenbruch; *c*, *d*, *g* Kranz- (Felgen-) Brüche. Bei der Schweißung derartiger Schäden haben Anfänger oder wenig erfahrene Schweißer meist Mißerfolge. Riemenscheiben und Räder sind mit bedeutenden Spannungen behaftet; diese werden bei unsachgemäßer Behandlung mit der Schweißflamme wesentlich erhöht, so daß neue Risse entstehen, sogar völliges Zubruchgehen des Gußkörpers nicht selten ist.

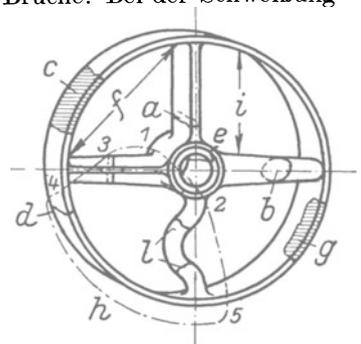


Abb. 218. Riemenscheibe.

Speichenbruch *a* sei zu schweißen; im übrigen sei das Rad in Ordnung. Vorgang: Vorwärmen des ganzen Rades, damit gleichmäßige Dehnung aller Teile eintritt, dann Schweißen und im Feuer langsam abkühlen lassen. Bei großen Scheibendurchmessern kann Vorwärmung fortfallen, wenn in Richtung *i* zwischen Nabe und Kranz ein Spannriegel eingezwängt wird (nicht übertreiben!), so daß der Riß klafft (ähnlich Abb. 214). Nach vollzogener Schweißung wird die Spannvorrichtung *i* sofort wieder entfernt, und man läßt das Rad langsam erkalten. An Stelle dieses Hilfsverfahrens kann an der Bruchstelle ein 2÷5 mm breiter Schlitz (je nach dem Durchmesser des Rades) eingesägt werden, doch läuft man hierbei Gefahr, daß sich der Kranz nach innen etwas einzieht und daher die Scheibenfläche unrund wird. Dasselbe gilt für die Schweißung von *b*. Treten beide Brüche oder Risse (*a* und *b*) gemeinsam auf, dann wird zuerst der eine geschweißt, darauf läßt man das Rad erkalten, dann erst wird der zweite Riß verschweißt. Brüche in gebogenen Speichen (bei *l*) sind meist ohne Vorwärmung oder sonstige Vorkehrung gefahrlos zu schweißen, da die Dehnung durch die Biegung

¹ Ausführliches s. Horn: Die Schweißung gußeiserner Scheiben und Räder in „Die Schmelzschweißung“ 1925, Heft 9, 10 u. 11.

der Speichen aufgenommen wird. Im allgemeinen sind Räder mit gegenüberliegenden Speichen (gerade Anzahl Abb. 218) schwieriger schweißbar als solche mit wechselweise angeordneten Speichen (ungerade Anzahl). Oft kann man an Stelle der Keile und Riegel mit der örtlichen Erwärmung anteiliger Speichen und Kranzteile besser fahren.

Schweißung des Nabenbruches bei *e*: Rad (bei kleinem Durchmesser vollkommen vor- und nachwärmen oder (bei großem Durchmesser) in Bruchfuge



Abb. 219. Zweiteilige Walzwerks-Riemenscheibe.

Keil eintreiben (Vorsicht!) und diesen erst kurz vor Beendigung des Schweißens herausschlagen. Ähnliche Wirkung erzielt man bei Vorwärmung der Nabe und der in unmittelbarer Nähe gelegenen Speichenteile. Die Erhitzung der Nabe ist, wenn nur bestimmte Teile der Räder oder Scheiben vorgewärmt werden, peinlich zu vermeiden. Natürlich läßt sich die Vorwärmung und Erhitzung der Nabe nicht umgehen, wenn diese selbst geschweißt werden muß.

Kranzbruch bei *d*: Kleine Räder vor- und nachwärmen; bei größerem Durchmesser zwischen die beiden nächstgelegenen Speichen Spannriegel einziehen (wie bei *f*) und wie bei Schweißung von *a* verfahren. Schweißung des bei *c* ausgebrochenen Kranzstücks: Vorgang wie bei *d*, jedoch zunächst eine Bruchfuge schweißen, das Rad erkalten lassen und darauf die zweite Bruchfuge schweißen. Das für *a* und *d* Ausgeführte gilt auch für *e* und *c* (Abb. 218). Aus-

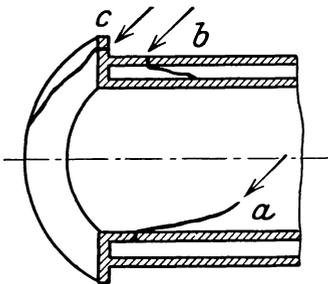


Abb. 220. Doppelwandiger Zylinder.

gebrochenes Kranzstück bei *g*: Kleinere Stücke werden ohne weiteres eingeschweißt, bei größeren Stücken muß, je nach Abmessung des Rades, dieses ganz oder der in unmittelbarer Nähe der Schweißstelle gelegene Teil vorgewärmt werden.

Schließlich sei noch der Fall *h* angenommen. Ein ganzer Teil des Rades ist herausgebrochen, entsprechend der punktierten Linie. Vorgang: Man beginnt die Schweißung in der Mitte des Rades, also bei der Nabe, um den übrigen Teilen die Möglichkeit freier Ausdehnung zu belassen. Zunächst wird 1 und 2 geschweißt; darauf läßt man das Rad

erkalten, um Speichen und Kranzbruchfugen, deren Kanten sich beim Erhitzen der Nabe zueinander verschoben haben, wieder in ihre alte Lage zurückzubringen. Sodann werden 3, 4 und 5 (letztere in beliebiger Reihenfolge) geschweißt, wiederum mit jedesmalig dazwischenliegender Erkaltungspause.

Abb. 219: Zweiteilige Walzwerks-Riemenscheibe von 7000 mm Durchmesser mit 10 Doppelspeichen. Fünf dieser Speichen von elliptischem Querschnitt waren gebrochen. Die Arbeit machte das Einschweißen von etwa 80 kg Gußstäben erforderlich und nahm 8 Tage in Anspruch. Dabei wurde täglich eine Speiche geschweißt und die Nabe, an der die Speichenbrüche unmittelbar gelegen waren, ununterbrochen durch Holzkohlenfeuer erhitzt.

Abb. 220: Doppelwandiger Großzylinder. Riß und Bruch bei *c*: Der Zylinder wird hochkantig in eine mit heißem Sand oder Asche angefüllte Schweißgrube

eingebettet, so daß nur der Flansch waagrecht aus der Einbettung herausieht. Darauf Schweißung. Riß bei *b*: Vollkommene Vorwärmung des ganzen Gußkörpers. Ein Teil der Feuerung wird ins Zylinderinnere gelegt, *b* nach oben. Zylinder ringsum mit einem Schamottesteingitter umgeben und dieses mit ausreichend großem

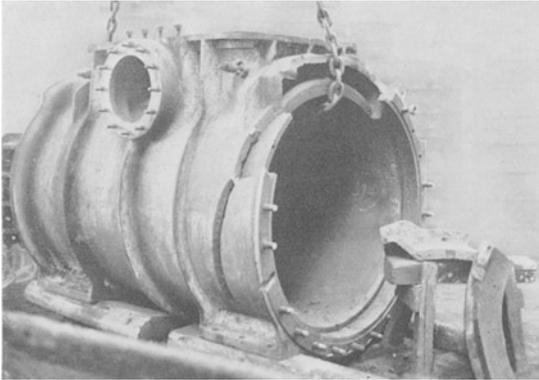


Abb. 221. Dampfzylinder, zur Schweißung vorbereitet.



Abb. 222. Dampfzylinder (Abb. 221), fertig geschweißt.

Feuer ausfüllen. Das Feuer muß auch während des Schweißens unterhalten werden, wie dies übrigens auch bei allen ähnlichen Arbeiten zu bevorzugen ist. Besser noch ist Einbetten des Körpers in eine Schweißgrube. Sehr vorsichtig vor- und nachwärmen. Die Schweißung von Rissen im Innern des Zylinders (bei *a*) ist außerordentlich schwierig und nur in den seltensten Fällen möglich. Man wird gut tun, wenn man nicht über weitgehende Erfahrungen und Einrichtungen verfügt, von derartigen Arbeiten Abstand zu nehmen.

Abb. 221 und 222: Dampfzylinder. An einem durch Wasserschlag zerstörten Dampfzylinder von 1200 mm Durchmesser und 2500 mm Länge, bei 35 mm Wanddicke sind die im Vordergrund des Bildes rechts erkennbaren Bruchstücke und die Bruchränder am Gußkörper selbst durch Ausmeißeln zur Schweißung vorbereitet. Der rund 8 t schwere Körper wurde in der Werkstattsohle eingeformt und in 40stündiger Arbeit geschweißt. Das eingeschmolzene Gußgewicht betrug etwa 75 kg. Die fertige Arbeit (Rohschweiße) veranschaulicht Abb. 222. — Schließlich bringt Abb. 223 noch einen gußeisernen Kondensator, dessen Mantel autogen geschweißt wurde. — Es braucht wohl nicht besonders hervorgehoben zu werden, daß alle Arbeiten



Abb. 223. Geschweißter Kondensatormantel.

dieser Art nur von erfahrenen und geübten Schweißern durchführbar sind, und ein mehrmaliges gutes Vorwärmen des mit Unterbrechungen geschweißten Gußkörpers notwendig ist.

Ferner sei wiederholt erwähnt, daß vorstehende Regeln wegen der Vielseitigkeit der Form der Werkstücke und der Verschiedenartigkeit des Gusses nur sinngemäß an anderen Schweißstücken Anwendung finden können. Über den Arbeitsvorgang und die einzuschlagenden Vorkehrungen ist in jedem Einzelfalle besondere Entscheidung zu treffen. Dies bezieht sich auch auf die Schweißung von Gußfehlern (Poren, Lunker, unvollkommen ausgefüllte Form), die berufen ist, besonders im Gießereibetrieb selbst eine hervorragende Rolle zu spielen. Es wäre verfehlt zu glauben, kleine Porositäten an Gußstücken könnten ohne weiteres und mit Sicherheit auf Erfolg geschweißt werden. Im Gegenteil! Mit der Flamme angeschmolzene Gußporen nehmen zuweilen ungeahnt großen Umfang an und lassen erst beim Schweißen ihre tatsächliche Größe erkennen, wodurch mitunter noch eher Mißerfolge eintreten als bei anderen Schweißungen. Vor Übereifer in solchen Fällen sei deshalb gewarnt; man hat derartige Werkstücke genau so zu behandeln wie gebrochene oder gerissene Gußkörper. Formsand, Schlacke und andere in den Gußfehlstellen sich vorfindende Verunreinigungen müssen entweder vor Inangriffnahme der Schweißarbeit oder während dieser durch Auskratzen oder Ausschaben entfernt werden.

Über das Hartlöten von Gußeisen mit „Schweißbronze“ wird im Abschnitt „Autogenes Löten“ Näheres ausgeführt.

H. Die Schweißung der Nichteisenmetalle.

Allgemeines. Verglichen mit dem Stahle zeigen fast alle Nichteisenmetalle bei Wärmebehandlung, noch mehr im Schmelzfluß ein arteigenes Verhalten, das jeweils verschiedene schweißtechnische Maßnahmen bedingt. Die Unterschiede ergeben sich aus der großen Spanne in den Schmelzpunkten, aus z. T. viel höherem Wärmeleitvermögen, plötzlichem Übergang vom festen in den flüssigen Zustand, der Höhe des Walzgrades, dem Lösungsvermögen für Gase, aus erheblicher Festigkeitsabnahme, anderen Korrosionseigenschaften usw. Höhere Empfindlichkeit gegen Wärme, andere Oxydationsverhältnisse, Verbrennungsgefahr (Elektron), der Schmelzfluß usw. bedingen mit Ausnahme des Bleis die Verwendung von Flußmitteln, die dem jeweiligen Metall angepaßt sind, und möglichst schnelles Schweißen.

Alle technischen Metalle und ihre Legierungen haben die Neigung, beim Schweißen Oxyde zu bilden. Von der Art dieser Oxyde und von ihrem Verhalten zum Schmelzbade hängt die Schweißbarkeit in hohem Grade ab. Ist die Verwandtschaft zwischen Metall und Sauerstoff sehr gering, dann genügt schon die reduzierende Schweißflamme, um das Auftreten von Oxyden zu verhindern, z. B. bei Stahl und Kupfer. Wirkt jedoch die Schweißflamme allein nicht reduzierend, weil die Verwandtschaft zwischen Metall und Sauerstoff sehr groß ist, wie z. B. beim Schweißen von Zink, Magnesium und Aluminium, dann ist die Verwendung geeigneter, die Oxyde verschlackender Flußmittel zweckmäßig, wenn nicht unerläßlich. Dabei ist es auch wichtig, ob die Oxyde schwerer oder leichter schmelzen als das Metall. Schmelzen sie leichter oder gleichzeitig mit dem Grundwerkstoff, so beeinträchtigen sie den Schweißvorgang nur wenig und gehen in eine flüssige Schlackenschicht über, sofern nicht, wie beim Kupfer, eine Löslichkeit des Oxyds im geschmolzenen Metall möglich ist.

Auch für die Nichteisenmetalle ist die Azetylschweißung die vorteilhafteste. Die früher vertretene Meinung, Nichteisenmetalle seien nur mit niedrig

temperierten Flammen (Wasserstoff, Leuchtgas) schweißbar, hat sich als unrichtig herausgestellt. Aus der Tatsache, daß die Nichteisenmetalle vielfach nur liegend, weniger stehend (bei Blei mit besonderen Hilfsmaßnahmen) und selten überkopf geschweißt werden können, ergeben sich mitunter von der Stahlschweißung abweichende Vorbereitungen. Wenn in den Einzelabschnitten nichts Besonderes erwähnt, gilt die für Stahl erläuterte Schweißkantenvorbereitung.

1. Kupfer und seine Legierungen.

a) Kupferschweißung.

Einstellung der Schweißflamme. Wegen der bedeutenden Wärmeleitfähigkeit des Kupfers tritt die zum Schweißen notwendige örtliche Schmelzung erst ein, nachdem ein größerer Teil der Metallmasse einen höheren Grad von Wärme aufgenommen hat. Deshalb sind für die Schweißung des Kupfers größere Flammen erforderlich als bei Stahl, trotz des um einige Hundert Grad tiefer liegenden Schmelzpunktes.

Entspricht die dem Metall vermittelte Wärmemenge der durch Strahlung und Wärmeleitung abgewanderten, so daß die Flamme die Wärmeverluste nicht zu überwinden vermag, dann ist eine Aufschmelzung des Kupfers unmöglich und eine einwandfreie Schweißung nicht erzielbar; die Flamme ist zu klein. Demgegenüber ist eine Flamme zu groß, wenn nach einem gewissen Zeitabschnitt wachsende Wärmestauung und rasches Flüssigwerden auf zu breiter Grundlage erfolgen. Dabei muß der Schweißer seine Arbeit notgedrungen beschleunigen und kann der Gefahr einer Überhitzung des Werkstoffs kaum entgehen. Eine Überhitzung kann nur dadurch aufgehalten werden, daß die Flamme zeitweise vom Schmelzbad abgehoben wird, ein Behelfsmittel, das wegen der Möglichkeit der Oxydbildung immer falsch ist.

Als Regel für die richtige Flammengröße kann gelten: Bis 5 mm Blechdicke eine Einsatznummer höher als für Stahl, über 5 mm Blechdicke zwei Nummern höher. Außerdem sind die Abmessungen und der Umfang der Wärmeableitung für die Flammengröße maßgebend. Daraus läßt sich der Vorteil des Schweißens mit zwei Brennern herleiten, von denen der eine, meist größere, die Regelung des Wärmezustandes (Vorwärmung) und der andere die eigentliche Schweißarbeit zu übernehmen hat. Die Vorwärmflamme kann, wenn es der Wärmezustand des Werkstücks verlangt, beliebig oft hinzugezogen oder ausgeschaltet werden, und dem gegenseitigen Abwechseln der Schweißer steht nichts im Wege. Beim doppelseitig gleichzeitigen, also stehenden Schweißen, das die beste Wärmeausnutzung und größte Arbeitsgeschwindigkeit gewährleistet, einem Verfahren, das vielfach schon bei 5 mm-Blechen angewendet wird, werden zwei gleich große Brenner benutzt.

Neben der richtigen Flammengröße ist ihre neutrale Einstellung für den Erfolg der Kupferschweißung von Bedeutung. Ein Überschuß an Sauerstoff führt bekanntlich zur Oxydation und beeinflusst den Schweißvorgang ungünstig; ein Überschuß an Azetylen bringt das Kupfer sozusagen zum „Sieden“; die Naht wird porös und schwammig, was auf die Aufnahme von Gasen zurückzuführen ist. Durch Diffusion in das Schmelzbad eindringender Wasserstoff verbindet sich mit dem Sauerstoff vorhandener Oxyde zu Wasserdampf, dessen Spannung ein Aufreißen der Naht nach sich ziehen kann. Diese Eigentümlichkeit wird allgemein mit „Wasserstoffkrankheit“ bezeichnet. Wasserstoffkranke Schweißnähte, die hauptsächlich durch einen Azetylenüberschuß in der Flamme entstehen können, sind selbst durch Hämmern oft nur schwer dicht zu bekommen

und daran erkennbar, daß die Hammerbahn beim Hämmern der erkalteten Naht feucht und schmutzig wird.

Um die Lösung unverbrannter Gase aus der Flamme möglichst auszuschließen, ist nicht allein eine neutrale Flammeneinstellung zu beachten, sondern der Flammenkegel muß von der Schmelzbadoberfläche weiter entfernt gehalten werden als bei der Stahlschweißung. Der Abstand zwischen Kegelspitze und dem Kupfer soll betragen: mindestens 3 mm bei Blechen bis zu 3 mm Dicke, 6 mm bei 5÷6 mm Blechdicke und darüber hinaus 8÷10 mm.

Schweißvorgang. Zu Beginn der Schweißung wird die Flamme möglichst senkrecht auf das Schmelzbad gehalten, bis die von der oberflächlichen Oxydation herrührende dunklere Färbung verloren geht und den Anlauffarben Hellrotwärme folgt, ein Zeichen dafür, daß der Schmelzpunkt fast erreicht ist. Erst wenn das Werkstück genügend Wärme aufgenommen hat, kann der übliche Schweißwinkel eingehalten und der Brenner gegen Ende der Naht, wenn sich die Wärme staut, schräger gehalten werden, was besonders bei dünnen Blechen vorteilhaft ist. Die Eigenschaft der Kohlensäure, das Aufnahmevermögen flüssigen Kupfers für andere Gase, vornehmlich auch für Sauerstoff, herabzusetzen, wird praktisch dadurch nutzbar gemacht, daß man hauptsächlich bei Dickblechen durch Senkrechthalten des Brenners eine gleichmäßige Ausbreitung des Flammenmantels auf den hochoverhitzten Zonen herbeiführt. Ferner wird hierdurch die Wirkung des Desoxydationsmittels (Flußmittels), das auf das kalte Kupfer pastenförmig aufgetragen wird, unterstützt.

Ob nachrechts oder nachlinks geschweißt wird, hängt in erster Linie von der Gewohnheit und Übung des Schweißers ab. Doch ist die oft anzutreffende Meinung, Kupfer sei nur nachlinks zu schweißen, unrichtig. Bereits Bleche von 5 mm Dicke aufwärts lassen sich mit schmalen, sauberen Nähten gut nachrechts schweißen.

Mit Rücksicht auf die geringe Festigkeit und auf das starke Arbeiten erhitzten Kupfers sind zur Bekämpfung der Spannungen Gegenmaßnahmen notwendig, die gleich zu Beginn der Schweißung einzusetzen sind. Vor allem muß ausdrücklich betont werden, daß Kupfernähte nicht geheftet werden dürfen, da sonst die Naht wieder aufreißt, und das um so leichter, je länger sie ist. Vielmehr werden die Blechränder wie üblich auf Spalt gelegt und unter Verwendung der früher erläuterten Vorrichtungen eingespannt.

Der Schweißvorgang, der an Hand der Abb. 224 besprochen werden soll, ist folgender: Zur Offenhaltung des Spaltes a bis e dient der bei f um die Strecke d vor der Flamme entlang geführte Keil. Der Abstand zwischen diesem und der Flamme ist von Blechdicke und Nahtlänge abhängig. Erst nach Vollendung des längeren Nahtabschnittes wird, wieder bei b beginnend, das restliche Stück c in umgekehrter Richtung, also im Sinne des Pfeiles 2 verschweißt. Das Maß c bewegt sich je nach Blechdicke und Nahtlänge zwischen 100 und 300 mm. Nur ganz kurze Nähte, die während des Schweißens auf ihre Länge gleichmäßig erwärmt werden und deshalb längs und quer zur Naht angenähert gleichzeitig schrumpfen können, wird man an der Blechkante beginnend schweißen. Würde man, wie bei Stahl üblich, an einem Rand beginnend und nur in einer Richtung schweißen, dann müßte die Naht unweigerlich aufreißen, weil die Festigkeit des hochoverhitzten Kupfers geringer ist als die Summe der auftretenden Schrumpfkraft. Wird jedoch bei b begonnen, so können die Blechkanten über die Länge c frei arbeiten und beim Schweißen dieses Abschnittes ist die Festigkeit der langen fertigen Nahtstrecke bereits so hoch angewachsen, daß Spannungsrisse nicht

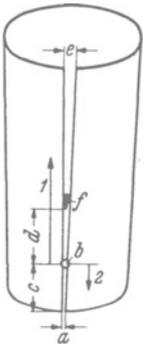


Abb. 224.
Zweckmäßige
Kupfer-
schweißung.

mehr auftreten. Allerdings darf das zeitweise Vorschieben des Keiles f nicht versäumt werden, weil unter Druck stehende erhitzte Blechränder gleichfalls zur Rißbildung führen.

Zur Vermeidung zu großer Wärmeabwanderung und zur Arbeitserleichterung können beim Waagrechtsschweißen mit Asbest abgedeckte Unterlagen wie Schienen u. ä. vorgesehen werden, auf denen auch das Aushämmern vorgenommen werden kann. Auf Unterlagen völlig verzichten muß man beim stehenden und doppelseitigen Schweißen, eine in Abb. 225 gezeigte Arbeitsweise. Hierbei handelt es sich um einen Walzenüberzug von etwa 5 mm Dicke, 4000 mm Länge und 800 mm Durchmesser, der beiderseitig glatt und fugenfrei sein muß. Der Schweißspalt der Zarge wird durch Laschen und Bolzen b und durch Spannringe a gehalten. Im vorliegenden Falle ist die auf ihre gesamte Länge bei c mit Schweißpaste bestrichene Naht von der Mitte des Mantels ausgehend nach unten geschweißt worden. Darauf wurde die Zarge gedreht und in entgegengesetzter Richtung fertig geschweißt. Der Zylinder steht auf Holzpfosten, um für den im Innern und in gleicher Höhe tätigen Schweißer genügend Luftwechsel sicherzustellen.



Abb. 225. Doppelseitiges Schweißen einer stehenden Naht.

Neben unterbrechungs-freiem Arbeiten, auf das schon hingewiesen wurde, ist nur das Schweißen in einer Lage, gleichgültig welche Werkstoffdicke, möglich, weil sonst Oxydeinschlüsse und Rißbildungen entstehen. Auch das doppelseitig-gleichzeitige, mithin stehende Schweißen ist als Einlagenschweißung aufzufassen, da sich die paarweisen Schmelzbäder immer in gleicher Höhe befinden.

Eine Nachschweißung zur Schaffung eines schöneren Nahtaussehens ist zu unterlassen, weil durch ein örtliches, mithin ungleiches Erhitzen neue Spannungen hervorgerufen werden, die Rißbildungen im Gefolge haben können. Läßt sich eine Nachschweißung zur Behebung eines Fehlers nicht umgehen, so muß die gleichmäßige Anwärmung einer längeren Nahtstrecke voraufgehen.

Vergüten der Kupferschweißung. Infolge der Zähflüssigkeit der Kupferschmelze unterscheidet sich das Aussehen der Kupfernaht von der Stahlnaht weniger durch die größere Breite als durch stärkere schuppenartige und unregelmäßige Überhöhungen. Abb. 226 veranschaulicht den Ausschnitt einer Kupferschweißnaht an 5 mm-Blech. Ein Glätten und Verschönern der Nahtoberfläche ist, soweit dies praktisch verlangt werden muß, eine Nachbehandlung von

untergeordneter Bedeutung. Die Unebenheiten können durch Schaben und leichtes Hämmern ausgeglichen werden, bei dickeren Blechen durch Warm Schmieden und durch Schlichten im kalten Zustande mit Preßluftwerkzeugen.

Da gerade die Nichteisenmetalle verhältnismäßig grob kristallisieren und ausgeprägten Gußcharakter zeigen, sind es wiederum das Hämmern und Glühen, die eine Vergütung der Schweißse bewirken. Das Gefüge wird verdichtet und verfeinert; Festigkeit, Dehnung, Kerbzähigkeit und Verformbarkeit ganz allgemein werden hierdurch wesentlich erhöht. Während die Rohschweißse nur $11 \div 13$ kg/mm², also nur 50 vH der Festigkeit des gewalzten Kupfers aufweist, erreicht die warmgehämmerte Schweißse eine solche von 23 kg/mm²,

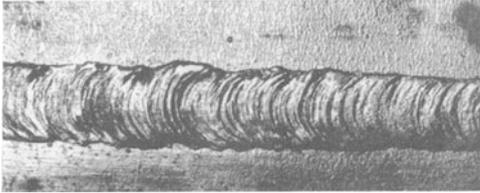


Abb. 226. Aussehen einer Kupferschweißnaht an 5 mm-Blech.

mithin fast 100 vH. Bei der Schweißung von Dickblechen ist deshalb das Hämmern folgerichtig weniger eine Nachbehandlung als ein wichtiger Bestandteil der Schweißausführung. Das Glühen vermindert zwar die Festigkeit der gehämmerten Naht, verursacht aber anderseits eine bessere Verformbarkeit der Schweißse, z. B. durch Treiben, Strecken, Biegen. Demnach ist die eine oder andere Nachbehandlung in dem Umfange anzuwenden, wie es die technologischen Eigenschaften der Schweißverbindung verlangen.

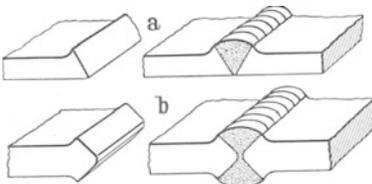


Abb. 227. Wulstnahtschweißung.

Ohne Unterlage kann weder warm noch kalt gehämmert werden, weshalb, wenn Schienen fehlen, andere amboßähnliche Hilfsmittel heranzuziehen sind. Das Warmhämmern setzt je nach Blechdicke auf Strecken von 40÷80 mm ein, dann wird ein Stück Naht gleicher Länge geschweiß, wiederum gehämmert usw. Bei freistehender Senkrechtschweißung dient bei V-Nähten ein 10÷15pfündiger Vorschlagger zum Gegenhalten. Zum Hämmern selbst werden langstielige Ball- oder Kugelhämmer von etwa 0,7 kg Gewicht benutzt. Das Hämmern kann bis unter Rotglut und soll unter kurzen, nicht zu starken Schlägen erfolgen. Das Nachschlichten geschieht mit der Hammerflachbahn. X-Nähte werden von beiden Seiten mit gleich großen Kugelhämmern durchgeschmiedet, wobei gleicher Takt eingehalten werden soll. Durch die Fortsetzung der Schweißung werden die gehämmerten Zonen wieder geglüht und verbessert. Durch Treiben und Poltern stark verfestigtes und dadurch hart und spröde gewordenes

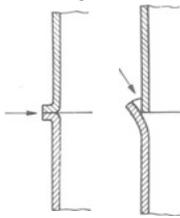


Abb. 228. Bördel- und Kelchschweißnähte.

Kupfer muß durch wiederholtes Zwischenglühen behandelt werden. Natürlich kann die Schweißnaht hiervon nicht ausgeschlossen werden. Zur Beschleunigung der Zwischenbehandlung und zur Förderung der Verformbarkeit des Kupfers schreckt man ausgeglühtes Kupfer häufig in Wasser ab, eine praktisch immer wertvolle Maßnahme, die sich metallurgisch allerdings nicht begründen läßt.

Zur Verminderung der an die Schweißse angrenzenden Rekristallisationszonen macht Holler den Vorschlag einer Wulstnahtschweißung. Sie beruht darauf, die V- und X-Stöße von Dickblechen mittels geeigneter Preßluftdöpper kräftig vorzustauen. Abb. 227 zeigt bei *a* eine zur Schweißung vorbereitete, d. h. angestauchte V-Kante und die zugehörige Schweißnaht und *b* eine X-Naht

gleicher Art. Auf diese Weise kann die Zone der durch Schweißen hervorgerufenen Kornvergrößerung so gering gehalten werden, daß sie durch das nachfolgende Hämmern mit vergütet wird.

Ausführungsbeispiele.

Die Anwendung der Kupferschweißung an Stelle des Hartlötens und Nietens ist mannigfach. Kupferne Blasen, Vakuumkessel, Dämpfer, Destillationsapparate, Säurebehälter, Boiler, Sudkessel, Braupfannen und Zargen jeder Art und Größe wie Walzenüberzüge, Zentrifugentrommeln usw. werden in beliebigen Blechdicken geschweißt.

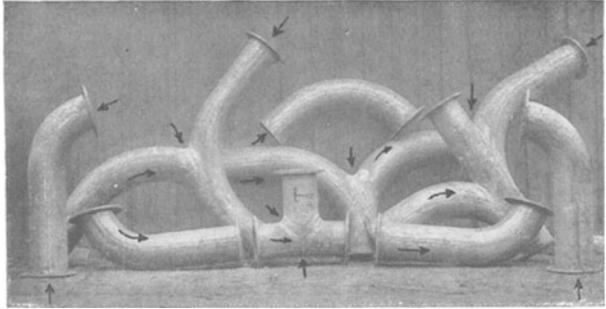


Abb. 229. Gruppe geschweißter Kupferrohr-Formstücke.

Die Schweißung von Kupferrohren, die sich von der des Stahlrohres nur wenig unterscheidet, wird im großen Umfange ausgeübt. Außer den in Abb. 136 a, e und f gezeigten Rundnahtarten (I- und V-Stoß) sind bei Kupfer auch Bördel- und Kelchnähte besonders dann üblich, wenn stehende dünnwandige Rohre geschweißt werden sollen und eine Verengung des Durchganges durch Tropfenbildung (Schweißbart) verhütet werden muß (Abb. 228).



Abb. 230. Verformungsprobe eines geschweißten Kupferrohres.

Eine Gruppe in allen ihren Teilen geschweißter Rohrformstücke veranschaulicht Abb. 229. Ähnliche dickwandigere Formstücke werden für Feuerwehrspritzen und andere Maschinen und Geräte in geschweißter Konstruktion gefertigt. Auch die früher gegossenen kupfernen Winddüsen für Hochöfen werden heute durch Schweißung ausgeführt.

Was eine gute Rohrschweißung auszuhalten vermag, läßt die Verformungsprobe, Abb. 230, erkennen. Die unvergüteten Rundnähte eines Kupferrohres von 40 mm Durchmesser und 3 mm Wanddicke sind mit dem Bankhammer flachgeschlagen worden, ohne daß sich Risse oder andere Beschädigungen feststellen ließen. Eine Vergütung von Rohrrundnähten durch Hämmern ist natürlich nur bei kurzen Rohrlängen und nur dann möglich, wenn ein passender Dorn eingeschoben werden kann.



Abb. 231. Kupferschweißung (Boiler).

Als Beispiel aus dem Kupferbehälterbau kann die Abb. 231 gelten, die einen geschweißten Boiler von 2000 l Inhalt, 1000 mm Durchmesser und 5 mm Blechdicke darstellt.

Auf Grund der mit der Kupferschweißung gemachten guten Erfahrungen wurde sie schon frühzeitig auf die Ausbesserung von Lokomotivfeuerbüchsen

und später auch auf deren Fertigung übertragen, ein Arbeitsgebiet, das an den Schweißer hinsichtlich seines Könnens und seiner körperlichen Widerstandsfähigkeit hohe Anforderungen stellt und das hier nur gestreift werden kann¹. Zu den schwierigsten Arbeiten unter diesen zählen die an unausgebauten Feuerbüchsen, wie die Ausbesserung abgenutzter Stemmkanten, das Vorschuhlen und Einsetzen von Flickern und das Verschweißen von Stehbolzen, Rohrsteg- und Krepfenrissen.

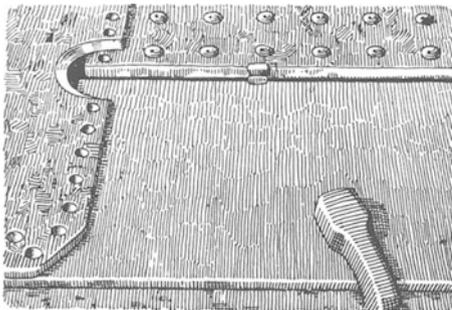


Abb. 232. Zur Schweißung vorbereiteter Flicker einer Feuerbuchse.

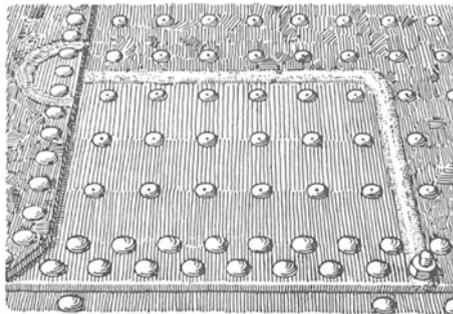


Abb. 233. Vollendete Schweißung der in Abb. 232 vorbereiteten Arbeit.

Der Arbeitsgang beim Einsetzen eines Flickers in die Seitenwand einer Feuerbuchse ist in Abb. 232 und 233 skizziert. Die durch Stehbolzen versteifte Wand und der Flicker werden an ihrer Verbindungsstelle abgeschragt und, mit Bolzen gehalten, auf Spalt gelegt. Da die Buchse nur von der Feuerseite zugänglich ist, muß aus der Kreppe der Rohr- oder Feuertürwand ein halbkreisförmiges Stück herausgearbeitet werden. Alle anteiligen Niete und Stehbolzen sind zu entfernen. Die Schweißung verläuft von rechts nach links und darauf wieder in der Ecke beginnend, von hinten nach vorn. Sodann wird ein abgeschragtes Stück in den kreisförmigen Ausschnitt eingepaßt und eingeschweißt, die Löcher für die Niete und Stehbolzen gebohrt und die letzten wieder eingezogen, so daß die fertige Arbeit das Aussehen der Abb. 233 hat.

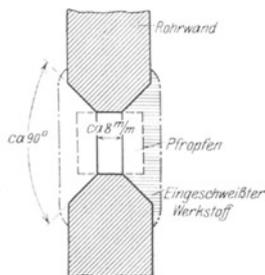


Abb. 234. Verschweißen von Rohrwandlöchern.

Durch häufiges Rohreinwalzen entstehende Spannungsrisse in den Rohrwandstegen werden, wenn sie vereinzelt auftreten, ausgekreuzt und verschweißt. Nicht selten kommen diese radial zum Rohrloch verlaufenden Risse in größerer Anzahl nebeneinander strahlenförmig angeordnet vor, wobei das Einsetzen von Pflöpfen oder Linsen, mithin das Verschweißen der Rohrlöcher oder auch das Einpassen ganzer Rohrwandausschnitte vorteilhaft ist. Beim Ausfüllen von Rohrlöchern kann entweder deren Durchmesser erhalten bleiben und eine Kupferlinse eingesteckt und ringsum eingeschweißt werden, oder es wird, wie Abb. 234 andeutet, das Rohrloch beiderseitig konisch erweitert und ein zylindrischer Pflöpfen eingesetzt.

Die z. T. erheblichen Vorzüge, die geschweißte Lokomotivfeuerbüchsen gegenüber genieteten besitzen, führten zur Stumpfschweißung unter stärkster Einschränkung und oft völligem Verlassen der genieteten Überlappung. Abb. 235

¹ Ausführliches s. Horn: Die Schweißung des Kupfers und seiner Legierungen. Berlin: Julius Springer 1928.

zeigt zwei Schweißerpaaire bei gemeinsamer Durchführung der doppelseitig gleichzeitigen Schweißarbeit. Man hat sich im Innern der Kupferbuchse zwei in gleicher Höhe arbeitende Schweißer vorzustellen. Die Blechdicke beträgt etwa 18 mm. Die Nähte sind X-förmig vorbereitet und die Blechränder durch Laschen und Bolzen gehalten. Die Schweißung wird von unten nach oben und mit winklig abgebogenen Drähten von 8÷10 mm Dicke ausgeführt. Beiderseits der Stoßfuge ist im Bilde hell erscheinende Schweißpaste in je etwa dreifacher Breite der Blechdicke aufgetragen. Um für das Aushämmern der rotwarmen Schweiße genügend Werkstoff zu haben und zur Verstärkung der Querschnittsfestigkeit wird entsprechend viel Werkstoff (Nahtdicke etwa = doppelter Blech-

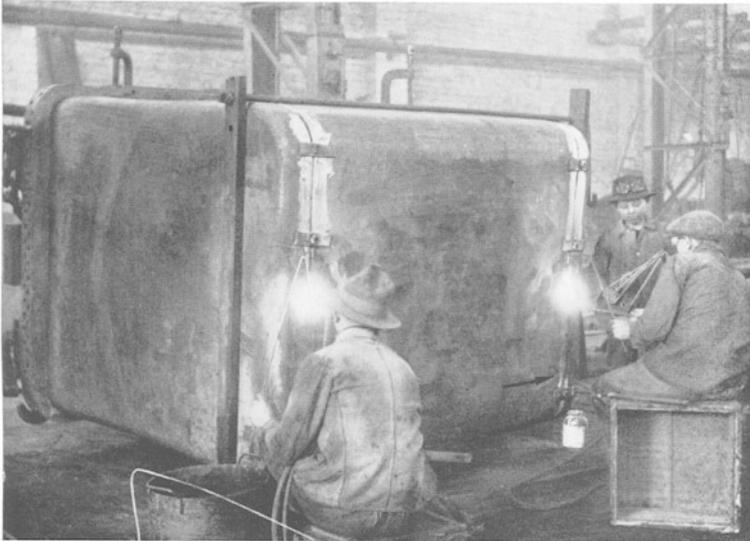


Abb. 235. Schweißung einer kupfernen Lokomotivfeuerbuche.

dicke) aufgetragen und für einen allmählichen Übergang zum Blechquerschnitt gesorgt.

b) Messingschweißung.

Grundsätzliches. Messing ist viel leichter zu schweißen als Kupfer. Seine Wärmeleitfähigkeit beträgt das 2,5÷3fache des Stahles und ist demnach um $\frac{2}{3}$ geringer als bei Kupfer, weshalb im allgemeinen die für Stahl übliche Flammengröße richtig ist. Der viel dünnere Fluß des Messingschmelzbades, die wesentlich geringeren Spannungserscheinungen, geringere Wärmeableitung und die verhältnismäßig unbedeutende Überhitzungsgefahr steigern seine Schweißbarkeit. Außerdem kommen meist nur dünnere Bleche und Rohre, selten Wanddicken über 10 mm in Frage. Im Gegensatz zum Kupfer ist die Wahrscheinlichkeit der Wasserstoffaufnahme bei Messing nur sehr gering, da Zink die Löslichkeit für dieses Gas stark herabsetzt. Jedoch neigt das Zink, dessen Siedepunkt bei nur 907° liegt, zu rascher und starker Verdampfung bzw. Oxydation zu Zinkoxyd, was eine besondere Flammeneinstellung verlangt. Mit falscher Flammeneinstellung geschweißte Messingnähte lassen mehr oder weniger umfangreichen weißen Niederschlag erkennen, der aus Zinkoxyd besteht und an der Messingoberfläche fest anhaftet.

Schweißzubehör. Gewöhnlicher Messingdraht wird nur selten als Zusatzwerkstoff verwendet, weil porenfreie Schweißen damit nur schwer erzielbar sind. Meist werden Sondermessingdrähte (Bronzedrähte) benutzt. Als Flußmittel dienen stets die für Kupfer und seine Legierungen gebräuchlichen; Borax oder Pasten hieraus eignen sich nicht.

Schweißflamme. Flammengröße wie bei Stahl gleicher Dicke. Mit Rücksicht auf die Zinkverdampfung ist Messing das einzige Metall, das mit einem Überschuß an Sauerstoff zu schweißen ist. Dieser beträgt je nach Drahtart 20÷30 vH; Sonderdrähte werden mit geringerem, Messingdraht mit höherem Sauerstoffüberschuß verarbeitet. Sondermessinge (nach DIN 1709, Blatt 1), z. B. Deltametall, werden mit Flammen geschweißt, die sogar bis zu 50 vH Sauerstoffüberschuß erhalten. Die Flammenregelung geht am besten so vor sich, daß zunächst ein normaler Flammenkegel eingestellt und darauf die Azetylenzufuhr so lange abgedrosselt wird, bis der gewünschte Sauerstoffüberschuß vorhanden ist.

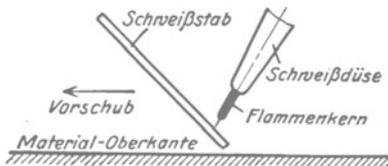


Abb. 236. Draht- und Brennerhaltung bei dünnen Blechen.

Diese Abweichung von der sonst allgemein üblichen Flammeneinstellung mutet zunächst eigentümlich an, um so mehr, als ein Überschuß an Sauerstoff erhöhte Oxydation des Zinks erwarten läßt. Metallurgisch ist diese Frage noch nicht einwandfrei geklärt. Man nimmt an, daß sich die vom Draht abfließenden Messingtropfen in der stark mit Sauerstoff angereicherten Atmosphäre sofort mit

einem dünnen Oxydhäutchen überziehen, welches das geschmolzene Metall vor weiterer Oxydation schützt und beim Einschmelzen in den Werkstoff auf der Oberfläche abgeschieden wird. Tatsache ist, daß reichlicher Sauerstoffüberschuß in der Flamme die Zinkverdampfung auf das geringste Maß beschränkt. Auf diese Weise wird auch die beim Arbeiten mit normaler Flamme immer zu erwartende poröse und schwammige Schweißung und auch deren Farbunterschied verhütet, der ebenfalls seine Ursache im Verdampfen des Zinks und im Zurücklassen einer kupferreicheren, dunkler gefärbten Legierung hat. Porigkeit und Farbunterschied kommen, wenn auch zuerst nicht sichtbar, auf hochglanzpolierten Flächen und auch dann durch schwarze Flecken zum Ausdruck, wenn das geschweißte Metall mit anderem, z. B. mit Silber, Nickel oder Chrom überzogen wird.

Schweißvorgang. Er ist an sich, abgesehen von der Flammeneinstellung, für alle Messingsorten derselbe. Ein Unterschied in der Vorbereitung der Schweißränder gegenüber Stahl besteht nicht. Hauptsächlich werden Ms 63 und Ms 58 geschweißt. Wenn die Legierung unbekannt ist, entscheidet ein kleiner Vorversuch, eine Schmelzprobe, welche Flammeneinstellung die geeignetste ist.

Bei dünneren Blechen hält man die Flamme mehr auf das Abschmelzende des Drahtes als auf die Blechränder, um ein Lochbrennen zu vermeiden. Diese, in Abb. 236 skizzierte Stellung von Draht und Brennerflamme zur Blechoberfläche ist auch beim Schweißen dünner Bleche aus anderen Metallen (z. B. Aluminium) empfehlenswert. Richtige Flammeneinstellung verbürgt metallisch blanke und nicht durch Zinkoxydhäute weiß gefärbte Oberflächen. Da die Zinkoxyddämpfe gesundheitsschädlich sind, ist schon aus diesem Grunde geringste Ausdampfung dieses Legierungsbestandteiles anzustreben. Ununterbrochenes Messingschweißen, besonders mit gewöhnlichem Draht, überhaupt dann, wenn sich eine Zinkausdampfung nicht völlig vermeiden läßt, macht das Tragen eines Atemschützers notwendig.

Bei der Schweißung von Messingguß (Gelbguß), die nicht gerade häufig und außerdem nur an kleinen Körpern vorkommt, verwendet man den gleichen

Draht und dasselbe Flußmittel wie bei Walzmessing und wärmt in allen Fällen den Körper auf etwa 400° vor. Da nur geringe Spannungsgefahren bestehen, ist die Geschwindigkeit der Abkühlung solcher Gegenstände nach dem Schweißen bedeutungslos. Der Körper kann an der Luft erkalten.

Güte der Messingschweiße. Die Abb. 237 ÷ 239 zeigen das Aussehen unter verschiedenen Bedingungen geschweißter Messingblechnähte. Der Stumpfstoß an 2 mm-Messingblech, wie er in Abb. 237 wiedergegeben ist, ist insofern fehlerhaft, als durch zu geringen Sauerstoffüberschuß in der Schweißflamme oberflächliche Poren festzustellen sind. Dieser Fehler kommt bei den übrigen Nähten nicht vor; sie sind völlig einwandfrei, und zwar bezieht sich Abb. 238 auf eine Kantennaht an 1,5 mm-Blech und Abb. 239 veranschaulicht eine Kehlnaht an 2 mm-Blech. Wie bereits betont, müssen die Schuppen einer mit richtiger Flammeneinstellung geschweißten Naht völlig metallisch blank und auch an ihrer Oberfläche porenfrei sein. Die Messingschweiße läßt sich in gleicher Form bearbeiten wie der Grundwerkstoff. Sie muß sich kalt und warm beliebig biegen, hämmern, strecken und treiben lassen, ohne daß Schäden irgendwelcher Art auftreten dürfen. Rißbildung oder Schichtung, d. h. Überlagerung von aufgetragenen Werkstoff an ungenügend verbundenen Stellen sind stets fehlerhaft. Durch Hämmern zwischen 500 und 600° wird eine Verfeinerung und damit Vergütung des Gefüges bewirkt. Kaltverfestigte, d. h. durch Treiben und Strecken bearbeitete Schweißnähte müssen zur Beseitigung der Sprödigkeit entsprechend häufig ausgeglüht werden, worauf sie bis zur Papierdünnigkeit heruntergeschmiedet werden können.

Ausführungsbeispiele. Auf die Wiedergabe von ausgeführten Messingschweißungen kann hier verzichtet werden, da sie in der bildlichen Darstellung Neuerungen gegenüber dem bisher Gezeigten nicht bringen. Im Instrumenten-, Geräte- und Apparatebau kommt die Messingschweißung nicht gerade häufig vor, es sei denn bei der Verbindung von Rohren. Das Hauptgebiet der Messingschweißung liegt im „Bronzebau“, unter dem heute alle Arbeiten aus Sondermessing zu verstehen sind. Die einfache Herstellung von Messingprofilen aller Art und deren Verbindung untereinander und mit Messingblechen erleichtert die Fertigung von Tür- und Fensterrahmen, von Schaufenstereinrichtungen und ähnlichen Arbeiten. Die Schweißverbindung gibt dem Innenarchitekten ein Mittel an die Hand, gefällige Formen zu entwickeln und die Gestaltung von Treppengeländern

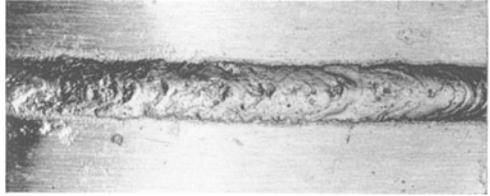


Abb. 237. Fehlerhafte Messingblechnaht (zu geringer Sauerstoffüberschuß).

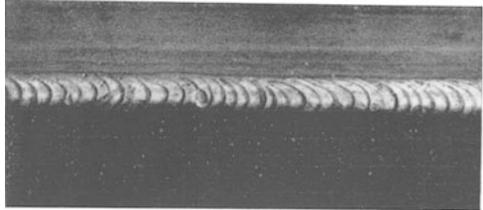


Abb. 238. Gute Messingblechnaht (Kantennaht).

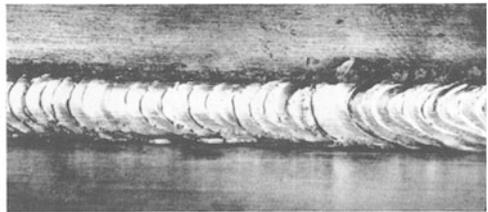


Abb. 239. Gute Messingblechnaht (Kehlnaht).

und ähnlichen Konstruktionen günstig zu beeinflussen. Bei diesen Arbeiten kommt es natürlich weniger auf hohe Festigkeit und Dehnung als auf Porenfreiheit und Farbgleichheit der Schweißverbindung an.

c) Bronzeschweißung.

Allgemeines. Im Gegensatz zum Messing enthalten die Bronzen bekanntlich nicht Zink, sondern Zinn als Hauptlegierungsbestandteil. Der Siedepunkt des Zinns liegt bei etwa 2360°, jedoch setzt seine wahrnehmbare Verflüchtigung bereits bei etwa 1200° ein. Die Schweißung erfolgt ausschließlich mit normaler, also neutraler Flamme, deren Größe der Messingschweißung entspricht. Als Schweißpulver dient das gleiche wie bei Kupfer und Messing, als Zusatzdraht nur im Notfalle Messing-, für Rotguß Messing- oder Kupfer-, besser jedoch immer Bronze- draht, wenn nötig derselben Zusammensetzung. Sollen Farbunterschiede bei Sonderbronzen verhütet werden, so ist den Zusatzstäben ein etwas höherer Gehalt an jenen Legierungsbestandteilen zu geben, die beim Schweißen leicht vergasen wie Zinn, Zink und Blei. Gegossene Stäbe kommen nur für Gußbronze in Frage.

Schweißvorgang. Eine für den Schweißer unangenehme Eigenschaft der Bronze besteht darin, daß sie mit zunehmender Temperatur rasch an Festigkeit verliert und bei Unachtsamkeit unter dem Eigengewicht ihres Körpers zusammenbricht. Auf 600° erhitze Bronze hat nur noch eine Festigkeit von rund 20 vH des Werkstoffs von normaler Temperatur. Schon oberhalb von 500° genügen geringe Erschütterungen und Bewegungen, mehr noch Stoß oder Schlag, um den Bronzekörper zu Bruch zu bringen, weshalb jede örtliche Veränderung, mithin auch ein Drehen und Wenden des erhitzten Bronzekörpers schon oberhalb 400° unterbleiben muß. Für den Schweißer hat daher der Grundsatz zu gelten: Bronzene Werkstücke sind vor Beginn der Schweißung gut zu unterbauen und so fest zu lagern, daß ihre selbsttätige Veränderung ausgeschlossen ist!

Wenngleich Bronze nicht so spröde ist wie Gußeisen, ist eine Vorwärmung mit Rücksicht auf die vorhandenen Spannungen doch immer notwendig. Diese darf aber, wie eben betont, höchstens 600° erreichen. Kleinere Körper können mit der Flamme vorgewärmt werden, während größere Gegenstände in ein Holzkohlenfeuer einzubauen sind.

Das Schweißen von Bronze ist von einem mehr oder weniger starken Schäumen des Schmelzbades begleitet, das eine Verdampfung und Oxydation des Zinns zur Folge hat. Wenn auch das Zinn hierbei als Reduktionsmittel wirkt, so bedeutet sein Verlust in der Schweißung jedoch eine Abnahme an Festigkeit. Außerdem führt die Zinnverdampfung zur Porosität.

Die Vermehrung der porösen Stellen und der Verlust an Zinn werden durch einen Überschuß an Azetylen in der Schweißflamme begünstigt, während ein Überschuß an Sauerstoff die Oxydation der Legierungsbestandteile fördert und auf der Oberfläche der Schmelze eine schwarze Schicht eines Zinn-Kupferoxydgemisches bildet. Um die Verbrennung des Zinns zu Zinnoxid und den Zinnverlust zu verringern, ist ein geringer Zusatz von Phosphor, Mangan oder Aluminium im Schweißstabe bzw. im Flußmittel anzuraten. Alle diese Stoffe gehen beim Schweißen als Oxyde in die Schlacke über, wodurch außerdem eine Reduktion des gebildeten Kupferoxyduls, das in weiten Grenzen in Bronze löslich ist und die Schweißung brüchig macht, bewirkt wird. Ein Zuschlag von Aluminium vermindert die Aufnahme von Gasen erheblich.

Beim Schweißen mit zu großen Flammen wird die sog. Entmischung begünstigt. Es tritt dann ein teilweises Ausseigern von Zinn oder zinnreichen Legierungsbestandteilen aus kupferreicheren, leichter erstarrenden Legierungen innerhalb des Bronzekörpers ein. Dieser Vorgang spielt sich beim Schweißen von

Bronze in der Gegend von etwa 500° ab, wobei Zinnkügelchen perlenförmig an deren Oberfläche austreten und auf dem Metall hin und hergleiten. Diese Ausscheidung von Zinn, die der Schmelze vorausgeht und mit dem Gehalt an Zinn wächst, erreicht bei etwa 600° ihren Höhepunkt. Die ausgeschiedenen Zinnperlen werden unter dem Einfluß der Schweißflamme vergast und bilden auf der Oberfläche der Legierung den bekannten weißen Niederschlag von Zinnoxid. Diese in den oberen Metallschichten, also sich rein oberflächlich vollziehende Zinnausscheidung hinterläßt außer oft recht erheblichen Lunkern eine dunklere Färbung der dadurch kupferreicher gewordenen oberen Bronzeschichten. Abhilfe schaffen höherer Bleigehalt des Drahtes und geeignete Flußmittel. Die Schweiße ist dünnflüssig. Aus diesem Grunde muß die zu schweißende Stelle so gelagert werden, daß ein Abfließen des Schmelzbades nicht möglich ist. Selbstverständlich werden alle oberflächlichen Verunreinigungen vor Beginn der Schweißung durch Abwaschen mit Benzin oder durch Abschaben entfernt, um das Einschmelzen von Fremdkörpern zu vermeiden.

Güte der Schweißverbindung. Die Festigkeit der Schweiße von Gußbronze erreicht fast immer die des Mutterwerkstoffs. Jedoch liegt sie bei Walzbronze meist nur bei $85 \div 90$ vH. Bei der Abkühlung der Bronzekörper ist so zu verfahren, wie dies bei Gußeisen üblich ist. Ein nochmaliges Erhitzen, d. h. Ausglühen der Bronzeschweiße bzw. des ganzen Körpers, ist immer notwendig, um die Spannungen auszugleichen. Nur sehr kleine, nicht zu dickwandige Körper können nach dem Ausglühen gegebenenfalls in kaltem Wasser abgeschreckt werden. Ein Abhämmern der Schweiße mit einem balligen Kupferhammer ist natürlich nur bei Walzbronze möglich. Hierdurch tritt eine Verdichtung des Gefüges und eine Steigerung der Festigkeit und Dehnung ein.

Ausführungsbeispiele. Die Anwendung der Bronzeschweißung umfaßt vorwiegend die Ausbesserung zerstörter Gehäuse (Steuer-, Pumpen-, Ventil-, Injektor- und Apparategehäuse), die Ausbesserung von Rädern, Lagern, Lagerschalen, Schiffsschrauben, Glocken, Statuen usw. Abb. 240 veranschaulicht ein geschweißtes Bronze-Ventilgehäuse.

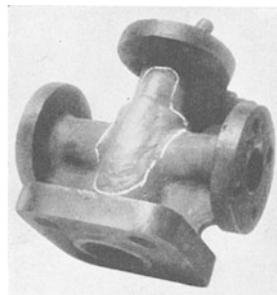


Abb. 240. Geschweißtes Bronze-Ventilgehäuse.

Zweifelloos zu den schwierigsten Arbeiten des Autogenschweißers überhaupt ist die Schweißung von Bronzeglocken zu rechnen. So interessant die Durchführung solcher Arbeiten auch ist, verbietet es der Umfang dieses Buches, ausführlich hierauf einzugehen¹. Die beiden Abb. 241 und 242 bringen eine bronzene Kirchenglocke vor und nach der Schweißung. Sie ist 400 Jahre alt, wiegt rund 1200 kg, ist über 1 m hoch, hat einen Glockenmund-Durchmesser von 1 m und an der Schweißstelle eine Wanddicke von 80 mm. Die Rißlänge betrug 1500 mm, das eingeschweißte Bronzegewicht 35 kg. Der Einbau solcher Glocken in ein Schamottemauerwerk, das zur Vorwärmung des Körpers im Holzkohlenfeuer dient, geschieht meist stehend, besonders dann, wenn die Glocken noch größer sind als oben angegeben. Diese stehende Stellung der Glocke bietet beim Schweißen eines Radialrisses, wie er aus Abb. 241 im für die Schweißung vorbereiteten Zustande ersichtlich ist, keine Schwierigkeiten. Verläuft der Riß jedoch axial, so zwingt er den Schweißer zur stehenden Schweißung, die bei Wanddicken

¹ Ausführliches s. Horn: Schweißung von Bronzeglocken. Londoner Kongreßbericht. Autogene Metallbearb. 1936, Heft 24.

von oft 150 mm und mehr besondere Maßnahmen verlangt. Da die Schweißung immer in Richtung des Glockenmundes, also im Gegensatz zu den bisherigen Anweisungen von oben nach unten erfolgen muß, sind gewisse Kniffe anzuwenden, um das Abfließen des Schmelzbades zu verhüten. Man schweißt auf eine Entfernung von etwa 100 mm, gerechnet vom Reißende, einen Steg in die recht breite Schweißfuge ein, der als Brücke für den Aufbau der Schweiße anzusehen ist. Von diesem Steg aus wird nach oben geschweißt und nach Vollendung dieser Strecke abermals in gleicher Entfernung ein gleicher Steg angebracht und so fort, bis die gesamte Reißlänge verschweißt ist. Bei solchen Arbeiten spielt die



Abb. 241. Bronzene Kirchenglocke, zur Schweißung vorbereitet.



Abb. 242. Fertig geschweißte bronzene Kirchenglocke.

gewissenhafte Überwachung des Wärmezustandes des Körpers mit Pyrometern eine große Rolle. Daß eine gute Durchschweißung Grundbedingung ist, braucht wohl nicht besonders hervorgehoben zu werden, da ja von der Innenseite nicht geschweißt, sondern nur durchgeflossene Bronze durch Schleifen oder Meißeln entfernt werden kann. Abb. 242 zeigt die an der Schweiße bearbeitete Glocke. Werden etwa an der Glocke vorhandene Ornamente durch die Schweißung unterbrochen, so müssen diese durch Ziselieren oder Gravieren wiederhergestellt werden.

d) Weitere Kupferlegierungen.

Eine Abgrenzung zwischen Bronze (Cu-Sn) und Messing (Cu-Zn) ist häufig nur schwer möglich, da infolge des Hinzukommens anderer Legierungszusätze weder die eine noch die andere Bezeichnung eindeutig richtig ist. Man spricht deshalb vielfach auch von Sonderbronzen und Sondermessingen (DIN 1705 und 1709). Andere Legierungen des Kupfers gehören in keine dieser Gruppen, z. B. Kupfer-Nickel und Neusilber. An dieser Stelle sollen nur einige wenige Kupferlegierungen zusammenfassend behandelt werden, die im gewissen Sinne schweißtechnisch von Bedeutung sind. Sonderlegierungen, die eben erst eingeführt werden, z. B. Legierungen des Kupfers mit Mangan, Silizium, Nickel u. a., und solche, die nicht mehr oder nur sehr beschränkt angewendet werden, wie Everdur (Cu-Si-Mn), Kuprodur (Cu-Ni-Si) u. a., sind unberücksichtigt geblieben.

Aluminiumbronze. Wenn Aluminiumbronze lange Zeit als nicht schweißbar bezeichnet wurde, so lag dies ausschließlich daran, daß sich beim Schweißen ungewöhnlich dicke und feste Aluminiumoxydschichten bilden, die weder mit den für Aluminium, noch weniger aber mit den für Kupfer und seine Legierungen gebräuchlichen Flußmitteln fortzuschaffen waren. Dieser Übelstand trat bei Walzlegierungen noch mehr in Erscheinung als bei gegossenem Werkstoff. Der Schweißquerschnitt war mit großen Mengen dieses Oxydes durchsetzt, die Schweiße unansehnlich, von geringer Festigkeit, spröde und nur sehr schwer und unvollkommen ausführbar. Erst die vor kurzem gewonnene Erkenntnis, daß Bor- und Silicofluoride die wesentlichsten Bestandteile eines hierfür geeigneten, wirklich Aluminiumoxyd lösenden Flußmittelgemisches sein müssen, führte die Schweißung der Aluminiumbronze zum Erfolg. Um die Gewähr für eine ununterbrochene Zufuhr der dringend erforderlichen Mengen an diesen Flußmitteln zum Schmelzbade zu haben, verwendet man hier ausnahmsweise weder Pasten noch Pulver, sondern ähnlich den Elektroden mit diesem Flußmittel umhüllte (getauchte) Schweißstäbe von der Zusammensetzung des Mutterwerkstoffes.

Die Schweißbarkeit dieser Bronze nimmt mit steigendem Aluminiumgehalt ab; eine Aluminiumbronze mit 4 vH Al ist viel besser und leichter schweißbar als eine mit 8 vH Al. Gleichmäßiger, nicht zu träger Fluß wird außerdem dadurch erreicht, daß man das Werkstück etwas vorwärmt. Diese Maßnahme hat neben der Verwendung möglichst schwacher und weicher Schweißflammen noch den Zweck, die sonst kaum vermeidliche Porenbildung in der Schweiße auszuschalten.

Neusilber. Dies ist eine Kupfer-Nickel-Zinklegierung mit 12÷22 vH Nickel, 18÷23 vH Zink, Rest Kupfer. Beim Schweißen kristallisieren aus der Schmelze feste, beschränkt ineinander lösliche Lösungen aus, ein dem Messing ähnliches Verhalten, mit dem es auch einige schweißtechnische Eigenschaften gemeinsam hat. Um dem Ausdampfen des Zinks zu begegnen, empfiehlt sich eine weiche Flamme, die aber einen geringen Sauerstoffüberschuß von etwa 10 vH enthalten kann, damit porenfreie Nähte entstehen. Azetylenüberschuß ist ungeeignet, da er ein unruhig spratzendes Schmelzbad verursacht. Der Schweißdraht soll der Zusammensetzung des Mutterwerkstoffes entsprechen und lieber etwas zu dick als zu dünn genommen werden. Neusilber mit geringem Nickelgehalt wird im allgemeinen mit Kupferschweißpaste bearbeitet, während bei Legierungen höheren Nickelgehalts die Verwendung von Nickelschweißpasten oder deren Gemische mit Kupferflußmitteln zweckmäßig ist.

Kupfer-Nickel¹. Diese Legierungen kommen mit 80 vH Kupfer und 20 vH Nickel oder auch mit 70 vH Kupfer und 30 vH Nickel auf den Markt. Gebräuchlicher ist die erste Legierung, die sowohl als Guß- wie als Walzwerkstoff verarbeitet wird.

Kupfer-Nickel ist viel leichter schweißbar als Kupfer und Reinnickel. Eine Gefahr der Ausscheidung oder Verflüchtigung seiner Legierungsbestandteile besteht nicht. Jedoch ist Kupfer-Nickel sehr wärmeempfindlich, weshalb es mit peinlichst neutral eingestellten, sehr weichen und schwachen Flammen (stündlicher Gasverbrauch 100 l je mm Blechdicke) zu schweißen ist. Überschuß an einem der Gase ist unbedingt zu vermeiden. Sobald die Flamme nur etwas zu groß eingestellt oder zu scharf ist, bildet sich auf dem Schmelzbad eine sandige, grießige Oberflächenschicht, die als ein Merkmal für die Abweichung von der richtigen Flammeneinstellung angesehen werden kann. Zur Vermeidung von Gasaufnahme und Blasenbildung ist die Flamme ähnlich wie beim Schweißen von

¹ S. auch Horn: Die Schweißung von Kupfer-Nickellegierungen. Autogene Metallbearb. 1931 Heft 8 u. 1932 Heft 1 u. 2.

Kupfer viel weiter entfernt zu halten, und die Nachrechtsschweißung ist, um Überhitzungen auszuschließen, so rasch als möglich und in einem Zuge durchzuführen. Nachlinksschweißung ergibt schlechtere technologische Werte. Zur Abwehr von Wärmestauungen gegen Ende der Naht ist für eine gute Wärmeableitung zu sorgen, was durch Anstoßen einer Kupferplatte oder -schiene am einfachsten erreicht wird. Möglichst dicke Schweißstäbe der gleichen Legierung verhüten Überhitzung. Als Schweißpaste dient die für Kupfer übliche. Erwähnt sei noch, daß das Azetylen möglichst frei von Schwefelverbindungen sein muß, da sonst sprödes Schwefelnickel entsteht.

2. Blei.

Allgemeines. Das weichste unter den technisch brauchbaren Metallen, das Blei, dessen Siedepunkt bei etwa 1750° liegt, das jedoch schon bei Rotglut zu verdampfen beginnt, ist im Hinblick auf seinen niedrigen Schmelzpunkt (327°)



Abb. 243. Liegend geschweißte Stumpfnaht an 5 mm-Bleiblech.

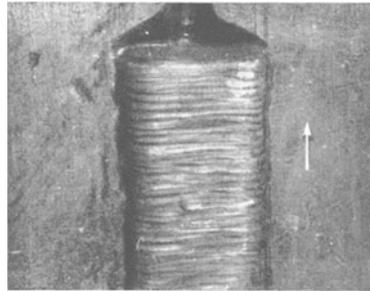


Abb. 244. Stehende Bleiblech-Schweißnaht.

und seine außerordentliche Verformbarkeit leicht und gut schweißbar. Da die sich in der Umgebung der Schweißstelle in großen Mengen als gelber, übel riechender Belag absetzenden Bleidämpfe giftig sind, gilt auch hier das für Messing und Zink bezüglich des Atmungsschutzes Gesagte. Die auf der Werkstoffoberfläche fest anhaftende Schicht von Bleioxydul ist zäh und sehr dickflüssig; sie behindert die Schweißarbeit beträchtlich. Ein Abschaben, d. h. vorheriges gründliches Blankmachen der Verbindungsstellen wie auch des Bleidrahtes (unter Umständen mit Schmirgelpapier) ist deshalb unerlässlich. Die Drahtdicke hat sich nach der Werkstoffdicke zu richten, doch sollten wegen der Schmiegsamkeit des Bleis Drähte unter 2 mm Durchmesser nicht verwendet werden. Blei wird ohne Schweißpulver geschweißt, eine Ausnahme gibt es nicht.

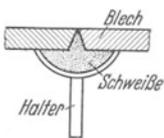


Abb. 245. Halter für stehende Nähte.

Schweißvorgang. Die Vorbereitung der Schweißbränder kann, abweichend von den übrigen Metallen, für Blei sehr beliebig sein. Erscheinungen wie Verziehen, Reißen u. a., die — wie oft betont — als Folge von Spannungen auftreten, kommen bei Blei nicht vor, da es nicht nur ein sehr schlechtes Wärmeleitvermögen besitzt, sondern, was hier noch mehr ins Gewicht fällt, außerordentlich weich und formanpassungsfähig ist (auch im kalten Zustand). Darum kann je nach Bedarf und Belieben stumpf, gebördelt oder überlappt geschweißt werden.

Auch für Blei findet hauptsächlich die Azetylen-Sauerstoffflamme Anwendung, und nur sehr dünne Bleche werden mit der Wasserstoff- oder Leuchtgasflamme

bearbeitet. Die Azetylenflamme ist neutral einzustellen, und es wird nur nachlinksgeschweißt.

Während bis zu 3 mm dickes Blei, sofern es sich um Stumpfstöße handelt, unabgeschragt verschweißt wird, sind dickere Bleche oder Rohre zweckmäßig auszuvaun, um das Durchfließen des Schmelzbades zu begrenzen. Nachdem die Stoßränder beiderseits der Naht in genügender Breite blank geschabt wurden, wird mit der Flamme örtlich vorgewärmt und erst dann mit dem Auftragen von Bleidraht begonnen. Obwohl die Breite der Schweißnaht durch die blank geschabte Fläche im gewissen Sinne von selbst gleichmäßig gehalten wird, kann eine noch schärfere Begrenzung durch leichte Anrisse bewirkt werden, wie solche in den Abb. 243 und 244 erkennbar sind. Bei keinem anderen Werkstoff werden auch nur angenähert so breite Raupen gezogen als bei Blei, was hauptsächlich auf den niedrigen Schmelzpunkt zurückzuführen ist. Die Nahtbreite beträgt vielfach das Vier- bis Fünffache der Werkstoffdicke. Bei Verwendung von Azetylenflammen wird wegen des geringen Flammenumfangs die Naht schmaler als bei Verwendung von Wasserstoff oder Leuchtgas.

Ausführungsbeispiele. Die Bleischweißung findet ausgedehnte Anwendung im Rohrleitungsbau, bei der Herstellung von Bleikammern für Schwefelsäurefabriken, beim Auskleiden säureaufnehmender Behälter usw. Alle Betrachtungen beziehen sich aber auf Weichblei, da Hartblei (mit Antimon legiert) für die Schweißung ungeeignet ist. Abb. 243 veranschaulicht eine liegend geschweißte Stumpfnah an 5 mm-Bleiblech. Ein Stück der Ausvaung ist der besseren Anschauung halber unverschweißt geblieben. Die Schweißrichtung — um es zu wiederholen: nur von rechts nach links — ist durch einen Pfeil angedeutet.

Eine stehende Naht (Abb. 244) ohne Hilfsmittel zu schweißen, gelingt nur sehr geübten Schweißern, weil das dünnflüssige Schmelzbad rasch abfließt, wenn es auch schnell erstarrt. Man verwendet deshalb beim Schweißen stehender Nähte einen in Abb. 245 angedeuteten Halter, dessen eingerundete Hülse, die von einem Hilfsarbeiter vorgeschoben wird, das Abfließen der Schmelze aufhält. Der Erfolg beim Überkopfschweißen ist immer zweifelhaft, weshalb beispielsweise Rohrrundnähte so angeordnet sein sollen, daß sie gedreht werden können. Eine auf diese Weise ausgeführte Rundnaht an einem Bleirohr von 70 mm Durchmesser und 8 mm Wanddicke ist in Abb. 246 wiedergegeben. In Abb. 247 sind bei *a* der Bodenanschluß und bei *b* und *c* Kelchnahtanschlüsse in einem Bleirohrverteiler skizziert.

Festigkeit, Härte und der Grad der Verformbarkeit der Bleischweißung entsprechen denen des Mutterwerkstoffs.

Die Bleiauskleidung von Gefäßen, die zur Aufnahmen von Säuren bestimmt sind, kann auf zweierlei Art erreicht werden, einmal, indem man Walzblechtafeln einpaßt und die Verbindungsnaht, durch Wenden des Gefäßes jeweils in die

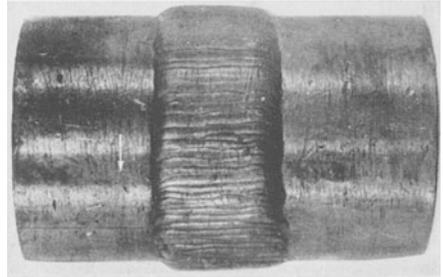


Abb. 246. Geschweißte Rundnaht an einem Bleirohr.

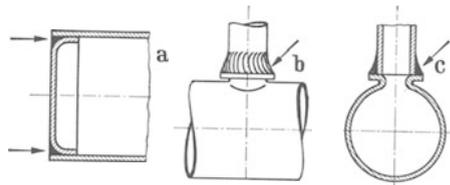


Abb. 247. Bodenanschluß und Kelchnahtanschlüsse eines Bleirohrverteilers.

waagerechte Lage gebracht, schweißt und mit dem Holzhammer anrichtet. Hierbei kann die Dicke der Bleiverkleidung beliebig sein. Abb. 248 zeigt einen auf diese Art mit Bleiverkleidung versehenen Behälter. Das andere Verfahren der Bleiverkleidung beruht auf der sog. homogenen (d. h. gleichartigen) Verbleiung. Die Innenflächen des Gefäßes werden durch Beizen oder Sandstrahlen gereinigt und, da eine Verbindung zwischen Blei und Stahl nicht möglich ist, mit der Schweißflamme leicht verzinkt. Die Zinnschicht stellt das Bindeglied zwischen Stahl

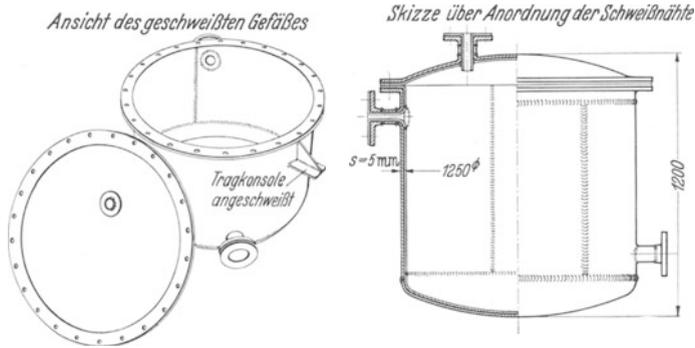


Abb. 248. Mit Bleiverkleidung versehener Behälter.

und dem mit der Flamme strichweise aufgetragenen Blei dar. Da die homogene Verbleiung mit der Schweißung des Bleis nur in lockerem Zusammenhang steht, soll auf die Arbeitsvorgänge dieses Verfahrens ebenso wie auf das Löten von Kelchverbindungen mit Lötzinn nicht weiter eingegangen werden.

3. Zink.

Flußmittel. Ähnlich wie bei Aluminiumbronze war auch für die erfolgreiche Schweißung des Zinks die Entwicklung eines wirksamen Flußmittels unerlässlich. Das an trockener Luft gegen Oxydation verhältnismäßig unempfindliche Zink überzieht sich bei Zutritt von Feuchtigkeit mit einer weißen Schicht von Zinkoxydkarbonat, die ähnlich wie beim Aluminium die Tonerde, den Werkstoff vor weiterer Oxydation schützt, aber seine Schweißung nachteilig beeinflusst. Die ursprünglich auf dem Markt befindlichen flußmittelgefüllten Zinkhohlstäbe haben sich nicht bewährt¹. Heute wird mit gewöhnlichem Zinkdraht geschweißt und ein flüssiges oder pastenförmiges Flußmittel verwendet, das im wesentlichen auf der Grundlage Ammoniaksalz-Zinkchlorid aufgebaut ist. Das Salzgemisch verflüchtigt und hinterläßt nur wenig Schlacken. Es wird, wie üblich, mit dem Pinsel auf Blechränder und Draht aufgetragen und verhütet die Verdampfung des Zinks weitestgehend.

Schweißvorgang. Die Azetylschweißflamme muß sehr weich und neutral eingestellt sein. Der stündliche Azetylenverbrauch darf nicht mehr als 50 ÷ 60 l/h je Millimeter Blechdicke betragen, weshalb ausschließlich Kleinschweißbrenner benutzt werden. Besonders bei Blechen unter 1 mm Dicke muß die Flammhaltung sehr schräg sein und soll nicht über 30° betragen, um Lochschmelzungen zu vermeiden. Aus dem gleichen Grunde ist ein sehr schnelles Arbeiten notwendig. Es wird nur nachlinksgeschweißt. Wird auf die Gegenseite der Schweißnaht Flußmittel aufgebracht, wie dies immer der Fall sein sollte, so erhält man

¹ S. auch Horn: Zinkblechschweißung. Masch.-Bau Betrieb 1936, Heft 13/14 und Autogene Metallbearb. 1936, Heft 20.

gut durchgeschweißte Nähte, wie dies aus Abb. 249 hervorgeht. Sie zeigt die Vorder- und Rückseite von Schweißnähten an Zinkblechen von 0,5÷2 mm Dicke.

Im Gegensatz zu Blei verursacht das Schweißen stehender Nähte keine Schwierigkeiten. So ist z. B. der in Abb. 250 veranschaulichte Zinkblechrohrkrümmer aus 0,5-mm-Blech in den sich jeweils praktisch ergebenden Lagen, also auch stehend geschweißt worden. Zunächst wurden die Längsnähte der einzelnen Segmente geschweißt, darauf letzte unter sich durch Heften fixiert und geschweißt. Der Abstand der Heftpunkte untereinander richtet sich nach der Blechdicke und nimmt mit dieser zu. Bei einiger Übung lassen sich, wie Abb. 249 beweist, besonders saubere Nähte herstellen, die maschinell geschweißten nur wenig nachstehen.

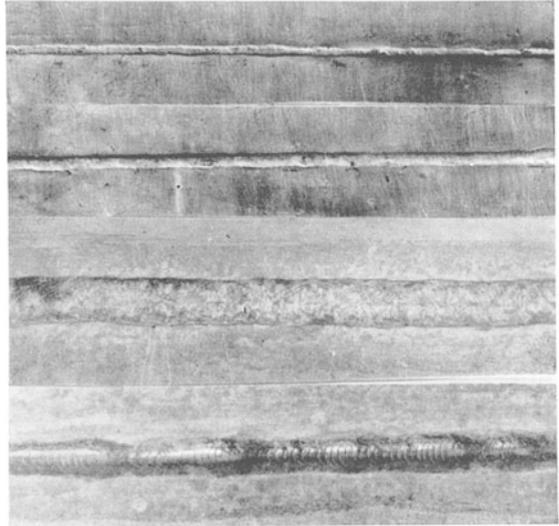


Abb. 249. Vorder- und Rückseite von Schweißnähten an Zinkblechen von 0,5 ÷ 2 mm Dicke.

Güte der Naht. Gleichartigkeit, Dichtigkeit und Korrosionsbeständigkeit der Zinkschweiße sind sehr befriedigend. Soll die Schweiße durch Hämmern verfestigt oder verformt werden, dann darf dies nur in der Gegend von 150° geschehen. Bei tieferen und höheren Temperaturen treten infolge Sprödigkeit Kornzertrümmerung und Reißbildung auf. In diesem Temperaturbereich gehämmerte Schweißnähte erreichen eine Festigkeit bis zu 90 vH.

Zinkguß. Daß Zinkguß nicht schweißbar ist, liegt an dessen starker Verunreinigung. Zur Herstellung von Zinkgußgegenständen wie Griffen, Haltern, Rahmen u. ä. werden die verschiedensten Abfälle verschmolzen, die mit Krätze stark durchsetzt sind. Es handelt sich demnach um eine Schmelze, die zum Walzen und Ziehen völlig ungeeignet und deshalb auch als gewalzter Werkstoff niemals anzutreffen ist.

4. Nickel¹.

Hammerschweißung. Unter allen Schwermetallen verursacht Nickel die größten schweißtechnischen Schwierigkeiten, weshalb längere Zeit die allerdings nur beschränkt anwendbare Hammerschweißung bevorzugt wurde. Sie beruht darauf, die metallisch blank gemachten überlappten Blechränder in bestimmten Abständen

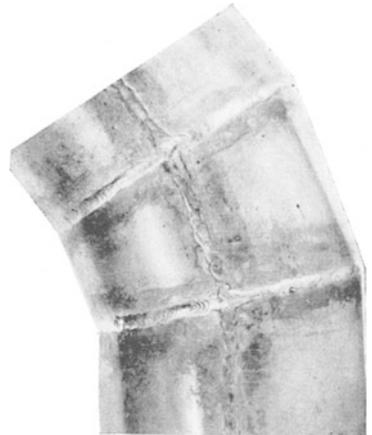


Abb. 250. Zinkblechrohrkrümmer aus 0,5 mm-Blech.

¹ Horn-Geldbach: Zur Frage der Schweißung von Nickel und seinen Legierungen. Schmelzschweißg. 1932, Heft 1 u. 2.

zu verschränken und bei einer Temperatur von 800° zu verschmieden. Als Unterlage dient ein dauernd geheizter Amboß, und die Erhitzung der Blechflächen erfolgt durch eine Azetylenflamme.

Allgemeines. Beim Erhitzen des Nickels über 500° wird es stark oxydiert, Festigkeit und Dehnung nehmen rasch und sprunghaft ab. Im erhitzten, vornehmlich im flüssigen Zustand besitzt Nickel ein außerordentliches Gasaufnahmevermögen und ähnelt hier wie in manchem anderen dem Kupfer. Geht die Erstarrung der Schmelze verhältnismäßig schnell vor sich, so wird den aufgenommenen Gasen keine Zeit gelassen, um aus dem Schmelzbad auszutreten, vielmehr werden sie dann nicht in Form von Schwefeldioxyd oder Kohlenoxyd ausgestoßen, sondern sie verbleiben, große Blasen verursachend, in der Schweiße.

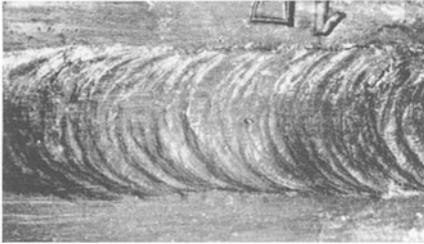


Abb. 251. Schweißnaht eines 5 mm-Nickelbleches.

Diesem Umstand ist die unliebsame Erscheinung des Porigwerdens der Nickelschweiße zuzuschreiben. Dem Verhindern der Porosität hat der Schweißer das Hauptaugenmerk zuzuwenden. Außerordentlichen Einfluß hat Schwefel, der schon in geringen Spuren (0,015 vH) Sprödigkeit und Brüchigkeit des Nickels herbeiführt. Das Azetylgas soll deshalb von Schwefelverbindungen gründlich befreit sein, was übrigens auch für das Schweißen hochnickelhaltiger Legierungen gilt. Die zur Desoxydation und Entschwefelung dem Nickel beilegierten Magnesium- und Manganmengen, die anfänglich als für die Schweißung günstig angesehen wurden, werden beim Schmelzen oxydiert und die mit diesen Stoffen eingegangenen Schwefelverbindungen verbinden sich erneut mit dem metallischen Nickel und scheiden sich sowohl in den Kristallen selbst als an den Korngrenzen ab. Neue Untersuchungen haben gezeigt, daß ein Zusatz von 0,2 vH Silizium auch bei geringstem Schwefelgehalt als geeignetstes Desoxydationsmittel beim Schweißen anzusprechen ist.

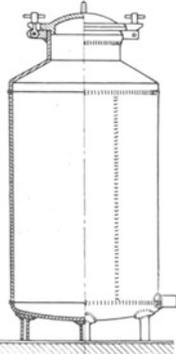


Abb. 252.
Geschweißtes
Nickel-Standgefäß.

Obleich der Sauerstoff in den praktisch normalen Grenzen für die mechanischen Eigenschaften der Schweiße weniger bedeutungsvoll zu sein scheint, so hat er auf den Schweißvorgang selbst jedoch eine nachteilige Wirkung, weil er starre Oxydhäutchen bildet, die den Fortgang der Schweiße empfindlich stören. Zusammenfassend muß deshalb gesagt werden, daß eine weiche, gut eingeregelter Schweißflamme ohne Überschuß an einem der Gase und ein von Schwefelverbindungen sorgfältig gereinigtes Azetylen verwendet werden müssen.

Ohne Flußmittel ist beim Nickelschweißen nicht auszukommen. Es sind hierfür eigene Pulver und pastenförmige Präparate auf den Markt gekommen, die auch für hochnickelhaltige Legierungen, wie Monelmetall und Nicorros, genommen werden müssen.

Als Schweißdraht dient Reinnickeldraht, der zur Blechdicke im gleichen Verhältnis steht wie bei der Kupferschweißung. Ausgezeichnet bewährt sich ein mit Kobalt oberflächenbehandelter Nickeldraht, der auf dem Schmelzbad einen metallischen Überzug als schützenden Spiegel abscheidet und der Gasaufnahme der Schmelze entgegenwirkt.

Schweißvorgang. Es hat sich gezeigt, daß selbst bei der Schweißung dünner Bleche die Nachrechtsschweißung immer besser ist, wahrscheinlich, weil

ein langsames Erstarren der Schmelze etwa aufgenommenen Gasen die Möglichkeit bietet zu entweichen. Da Nickel — ähnlich dem Kupfer — in der Wärme stark arbeitet und an Festigkeit rasch einbüßt, darf es auch weder geheftet noch in mehreren Lagen geschweißt werden. Vorbereitung und Schweißvorgang sind die gleichen wie bei Kupfer, während die Flammengröße der Stahlschweißung entspricht. Auf gutes Durchschweißen ist stets Wert zu legen, weil sonst beim Hämmern oder Verformen der Schweißung infolge Kerbwirkung Risse und Brüche auftreten.

Güte der Naht. Die Festigkeit der Nickelrohschweißung beträgt im Mittel 75 vH und erreicht im gehämmerten Zustand die volle Blechfestigkeit. Der Biege- winkel längs und quer zur Naht beträgt 180°. Abb. 251 zeigt die mit verkobaltetem Draht nachrechtsgeschweißte Naht eines 5 mm-Blechtes.

Schweißbeispiele. Angesichts des hohen Preises gelangt Nickel in der chemischen Industrie vornehmlich nur dort zur Anwendung, wo es durch andere, billigere Werkstoffe nicht ersetzt werden kann. Trotzdem kommen im Apparatebau geschweißte Konstruktionen von ansehnlichen Ausmaßen vor. Eines der Hauptanwendungsgebiete ist die Lebensmittelindustrie, der die Bauweise eines aus 2 mm-Blech hergestellten Standgefäßes, Abb. 252, entstammt. Abb. 253 veranschaulicht eine Gruppe nach dieser Konstruktion hergestellter Standgefäße.



Abb. 253. Gruppe geschweißter Nickel-Standgefäße.

Monelmetall. Schweißtechnisch leichter zu bearbeiten ist die Naturlegierung Monelmetall, die auf vielen Gebieten Reinnickel als Werkstoff ersetzt. Für die Schweißung gelten im allgemeinen die für Nickel angegebenen Grundsätze mit dem Unterschied, daß die Verwendung eines Schweißpulvers nicht unbedingt erforderlich ist, es sei denn, wenn sich eine Nachschweißung als notwendig herausstellt. Für diese Zwecke kann man sich ein Gemisch aus Borax mit Magnesium, sowie Mangan- und Siliziumverbindungen, die man mit einer alkoholischen Schellacklösung zu Paste anrührt, selbst herstellen oder, was besser ist, ein fertiges Nickelschweißpulver beziehen. Als Zusatzstoff wird Moneldraht verwendet.

5. Die Leichtmetalle.

Allgemeines. Wir wissen bereits, daß das Aluminium (Al) und seine Legierungen nach bestimmten legierungstechnischen Gesichtspunkten (entsprechend DIN 1712 und 1713) in acht Gattungen von Knetwerkstoffen und acht Gattungen von Gußwerkstoffen unterteilt werden. Da das Verhalten der verschiedenen Legierungsgruppen beim Schweißen sehr unterschiedlich ist und eine der bestimmten Legierungsgruppe entsprechende Bearbeitung und außerdem verschiedene Zusatzdrähte und Flußmittel verlangt, müssen die Legierungen, ausgehend vom Reinaluminium, als Knet- und Gußwerkstoffe getrennt besprochen werden.

Grenzen der Schweißbarkeit. Alle Blechdicken von 0,2 bis zu etwa 30 mm lassen sich mit der Schweißflamme bearbeiten. Bleche unter 0,2 mm sind besser zu löten. Je reiner das Al und der Schweißdraht sind, um so besser fällt die an sich durch normale Verunreinigung wenig gestörte Schweißung korrosionstechnisch gesehen aus. Jedoch beeinflussen, wie noch gezeigt wird, größere Legierungszusätze — abgesehen vom Silumin — die Schweißbarkeit z. T. recht erheblich, und zwar mit steigendem Gehalt an Legierungszusätzen im ungünstigen Sinne.

Daneben ist der Härtezustand des zu schweißenden Werkstoffs von einschneidender Bedeutung. Weiche Bleche sind immer besser schweißbar als harte. Die Reinaluminiumsorten weich, $\frac{1}{8}$ und $\frac{1}{4}$ hart sind gut, $\frac{1}{2}$ harte schon schlechter und harte und federharte nur unter besonderen Bedingungen schweißbar, besonders dann, wenn lange Nähte vorliegen. Die damit verbundenen Schwierigkeiten liegen einerseits in der Gefahr des Reißens der Naht, anderseits in der oft erheblichen Abnahme der durch den Walzgrad bestimmten Härte und Festigkeit. Ist ein dem Schweißen vorausgehendes Ausglühen harter Bleche nicht zugänglich, so mehren sich die Schwierigkeiten. Dann können eigentlich nur kleinere Profile, die über den gesamten Schweißquerschnitt angenähert gleichmäßig erhitzt sind, ohne Reißgefahr bearbeitet werden.

Ausgehärtete, d. h. zum Zwecke einer Festigkeitssteigerung thermisch vergütete Legierungen verlieren schon bei verhältnismäßig geringer Erwärmung, jedenfalls aber bei Temperaturen ($180 \div 250^\circ$), die weit unterhalb des Schmelzpunktes liegen, so sehr an Festigkeit, daß auf ihre Schweißung fast immer verzichtet werden muß.

Ganz anders liegen die Verhältnisse bei den Leichtmetallgußlegierungen, die ausnahmslos gut und mit bestem Erfolge schweißbar sind.

Schweißflamme. Nur sehr dünnes Blech (unter 1 mm) wird zum Teil mit der Wasserstoffflamme geschweißt; die Azetylenflamme ist die meist angewandte. Erfahrungsgemäß richtig ist bei Blechen bis zu 2 mm Dicke eine etwas kleinere, im übrigen dieselbe Flammengröße zu wählen wie für Stahl gleicher Dicke. Freilich muß neben dem niedrigen Schmelzpunkt auch das fünffach höhere Wärmeleitvermögen des Al berücksichtigt werden, d. h. die Flammengröße ist nicht allein von der Werkstoffdicke, sondern — wie bei Kupfer — auch von der Masse und den Abmessungen des Körpers abhängig. Überdies entscheidet nicht zuletzt die Fertigkeit des Schweißers; der weniger Geübte wird mit kleineren, der Erfahrene mit größeren Flammen und schneller arbeiten.

Was nun die Flammeneinstellung anbelangt, so bestehen geteilte Meinungen darüber, oder mit oder ohne Azetylenüberschuß geschweißt werden soll. Jedenfalls steht fest, daß ein sehr geringer Überschuß an Azetylen, der durch schwache Auflockerung des Flammenkegels erkennbar ist, nicht schädlich sein kann und die Wirksamkeit des Flußmittels unterstützt.

Aluminiumoxyd. Die hauchdünne (etwa 0,001 mm) natürliche Oxydschicht (Al_2O_3), der das Al seine Beständigkeit gegen den Angriff der Witterungseinflüsse und verschiedener Säuren (wie Salpetersäure, konz. Essigsäure, Frucht- und Milchsäure) verdankt, ist für den Schweißer recht unbequem. Die Schmelztemperaturspanne zwischen Al (658°) und seinem Oxyd (2050°) ist ungewöhnlich groß und deshalb auch von einschneidender Bedeutung für den Schweißvorgang. Das Oxyd, das nur bei dicken Werkstoffen und auch hier nur sehr mangelhaft mit dem Schweißstab mechanisch entfernt werden kann (Puddelverfahren), stört den Zusammenfluß zwischen Draht und Werkstoff empfindlich, weshalb gerade bei Al auf die Verwendung eines Flußmittels nicht verzichtet werden kann.

Natürlich sind auch das Aluminium und seine Legierungen gegen manche Säuren und Laugen empfindlich und sie werden von diesen mitunter stark angegriffen oder vollständig gelöst, z. B. von Oxalsäure, Salzsäure und Natronlauge, die deshalb teils als Ätzmittel, teils auch, wie wir noch sehen werden, zur Bestimmung gewisser Legierungsbestandteile verwendbar sind. Auch gegen Sodalösung ist Al unbeständig. Wenn trotzdem die Soda enthaltenden Wasch- und Putzmittel außer anderem zur Reinigung der Schweißfläche benutzt werden können, ohne das Metall anzugreifen, dann liegt dies an einem geringen Zusatz an Wasserglas (1 vH), der genügt, um den Angriff zu mildern.

Um die Widerstandsfähigkeit des Al gegen chemische Einflüsse zu erhöhen, hat man von der Erkenntnis der Wirksamkeit seines Oxyds insofern Gebrauch gemacht, als man eine verstärkte Oxydschicht künstlich herstellt. Neben dem MBV-(Modifiziertes Bauer-Vogel-) Verfahren, durch Beizen bewirktem Oberflächenschutzverfahren, das nur für Al und seine kupferfreien Legierungen anwendbar ist, ist das Eloxalverfahren (Abkürzung aus Elektrisch oxydiertes Aluminium) immer anwendbar. Es beruht auf einer elektrochemischen Oberflächenoxydation, die eine Oxydschicht von etwa 0,02 mm erzeugt, was dem Zwanzigfachen des natürlichen Oxydfilms entspricht. Auch diese Schichtdicke wird von den Flußmitteln gelöst und macht ein dem Schweißen vorausgehendes mechanisches Entfernen überflüssig. Jedenfalls behindert es die Schweißbarkeit nicht merklich. Jedoch müssen Schweißstellen an später zu eloxierenden Gegenständen besonders sorgfältig, vor allem dicht und ohne Flußmittelrückstände ausgeführt sein, da jedwede Fehlstelle durch den Elektrolyten angefressen wird. Da bei den Aluminiumlegierungen, vor allem den hochlegierten, neben Tonerde auch andere Oxyde des Zinks, Kupfers, Siliziums, Magnesiums usw. beseitigt werden müssen, wurden für die verschiedenen Legierungsgruppen Sonderflußmittel geschaffen.

a) Reinaluminium.

Hammerschweißung. Wie Nickel kann auch Al in größeren Dicken hammergeschweißt werden. Die Blechüberlappungen (drei- bis fünffache Blechdicke) werden vom Oxyd befreit, die Blechkanten gebrochen, mit der Azetylenflamme erhitzt und bei einer Temperatur von etwa 420° zunächst mit dem Kugelhammer zusammengeschweißt und dann geschlichtet. Flußmittel werden nicht verwendet, mithin entfällt die Möglichkeit ihres Einschlusses und ihrer Einwirkung auf die Schweißverbindung. Die Festigkeit der Schweiße hängt von der Einhaltung der richtigen Temperatur ab. Wenn die Hammerschweißung immer mehr durch die Schmelzschweißung verdrängt wird, so ist dies in der Anreicherung der Schweiße mit Oxyden begründet, die sich beim Erhitzen sofort neu bilden und nicht mehr beseitigt werden können.

Gasschweißung. Die Vorbereitung der Werkstückränder zum Schweißen entspricht der beim Stahl üblichen. Der Übergang vom festen in den flüssigen Zustand tritt bei Al plötzlich ein, ohne daß sich besondere Kennzeichen, wie Anlauffarben, einstellen. Deshalb muß der Schweißer die beginnende Schmelzung mit dem Draht gefühlsmäßig abtasten, wenn er das Durchbrechen oder Absacken des Schmelzbades verhüten will. Andererseits müssen die Werkstoffkanten voll verflüssigt werden, weil sonst der Schweißdraht nicht abbindet, vielmehr die Metalltropfen durch die Flamme fortgeblasen werden. Infolgedessen ist im Gegensatz zum Stahl ein „Kleben“ unmöglich. Dünne Bleche werden an der Schweißstelle vorteilhaft blank geschabt. Überwiegend wird nachlinks-, ausnahmsweise bei Dickblechen auch nachrechtsgeschweißt.

Die Schweißpaste wird mit einem sauberen Pinsel — jede, auch die geringste Verunreinigung stört — vor dem Erhitzen der Naht auf und zwischen die Blechränder, möglichst auch auf die Gegenseite, sowie auf den Draht aufgetragen. Bei Dickblechen und Guß wird meist mit pulverförmigen Flußmitteln gearbeitet, in die man lediglich das erhitzte Drahtende eintaucht. Dabei dürfen die Flußmittel nicht im Übermaß, sondern nur in Mengen zugesetzt werden, die zur Verschlackung, also zur Lösung der Oxyde notwendig sind. In der Schweiße verbliebene Flußmittel, d. h. Salznester, greifen das Al an, sie „blühen aus“ und führen unter Umständen zur völligen Zerstörung der Verbindung infolge von Korrosion. Für

1 m Schweißnaht an 10 mm-Al-Blech sind etwa 30 g Flußmittel erforderlich, eine Menge, die aus Bequemlichkeitsrücksichten häufig wesentlich überschritten wird.

Güte der Schweißung. Abb. 254 zeigt den Schweißnahtausschnitt aus einem 5 mm-Al-Blech. Gleichmäßige, flachliegende und nur schwachrillige Schuppenketten kennzeichnen die gute Schweißnaht. Auch aus dem Aussehen der in Abb. 255 wiedergegebenen Kehlnaht an 2,5 mm-Blech läßt sich zweifellos auf eine gute Handfertigkeit des Schweißers schließen.

Beim Zugversuch tritt — unabhängig von der Dicke des Werkstoffs — der Bruch fast immer außerhalb der Schweißung ein, wenn auch die absolute Festigkeit

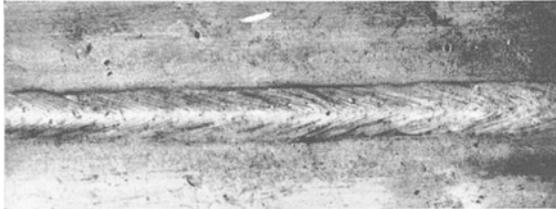


Abb. 254. Aluminium-Schweißnaht (5 mm-Blech).

meist geringer ist als die des Grundwerkstoffs. Die Ursache hierfür liegt in der Erweichungszone, die beiderseits der Naht entsteht. Sie rührt von der vom Schmelzbad abgeleiteten Wärme und der hierdurch entstandenen Rekristallisation des benachbarten Gefüges her, das grobkristallin wird und die Walzhärte verliert. Mit steigendem Walzhärtegrad fällt die Festigkeit angenähert auf die des weichgeglühten Werkstoffs ab. Eine hundertprozentige Festigkeit der Schweißverbindung ist deshalb häufig nur ein Trugschluß, da der Bruch immer in der festigkeitsgeschwächten Erweichungszone auftritt. Die Dehnung, der Biege- und der Verformbarkeit der Schweißung überhaupt sind gut. Der Biege- und der Verformwinkel beträgt 180°, die Biege- und der Verformdehnung bis zu 70 vH.

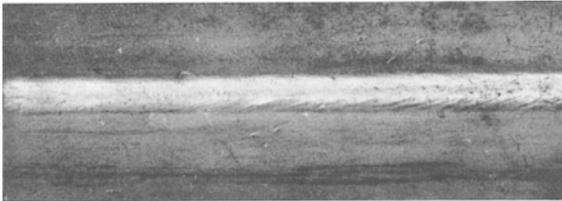


Abb. 255. Aluminium-Kehlschweißnaht (2,5 mm-Blech).

Vergütung der Schweißung.

Sie beruht auch bei diesem Werkstoff auf einem Kalt- oder Warmhämmern der Schweißung. Das Kalt- oder Warmhämmern der Naht kann nur eine Kalt- oder Warmfestigung zur Folge haben, deren schlechte Korrosionseigenschaften jedoch gegen

sie sprechen. Ferner bewirkt das Warmhämmern nicht allein eine Erhöhung der technologischen Güte, sondern es ist auch für die Korrosionsbeständigkeit förderlich. Das Warmhämmern wird bei etwa 350° vorgenommen.

Nachbehandlung. Auf die Schädlichkeit von Verunreinigungen in der Schweißung in Form von Schlacken, Oxyden und Flußmittelresten ist bereits hingewiesen worden. Sie führen infolge Potentialbildung mit dem Mutterwerkstoff zu örtlich stärkerer Korrosion. Aus diesem Grunde ist die ätzende Wirkung der stark hygroskopischen (Feuchtigkeit anziehenden) Flußmittel durch eine Nachbehandlung, z. B. durch Abwaschen am besten mit warmem Wasser und Abbürsten aufzuheben. Diese Nachbehandlung muß sofort nach dem Erkalten der Schweißung stattfinden. Zweckmäßig wird mit einer zehnpromzentigen Salpetersäure oder der bekannten Korrexlösung nachgewaschen und nochmals mit Wasser nachgespült. Die Trocknung kann entweder mit der Flamme oder in harzfreien Sägespänen geschehen. Um sicher zu gehen, empfiehlt sich bei Werkstücken, die chemisch besonders widerstandsfähig sein müssen, das Auftragen einer ein- bis zweipromzentigen schwach angesäuerten Silbernitratlösung. Sind noch Salzreste

vorhanden, dann bildet sich unter deren Einwirkung ein käsiger weißer Niederschlag. Häufig genügt das Abwaschen allein, oder man trägt auf die gut getrocknete und etwas erwärmte Schweißöl, Paraffin oder Lanolin auf, wenn nicht ein anderes der erwähnten Oberflächenschutzmittel Anwendung findet. Die Korrosionsbeständigkeit derartig behandelter Schweißungen steht der des Grundwerkstoffs in keiner Weise nach.

Sind aus Gründen der konstruktiven Gestaltung überlappte Nähte unvermeidbar, ist sonstwie mit einem Zurückbleiben von Salznestern zu rechnen und handelt es sich um Schweißen, deren Korrosionsbeständigkeit unbedingt verlangt wird, dann benutzt man hauptsächlich nichthygroskopische Sonderflußmittel, die das Al nicht angreifen und eine Nachbehandlung der Schweißung erübrigen. Sie ist sogar unerwünscht, weil eine solche Flußmittelhaut selbst einen Schutz gegen Korrosion darstellt

Anwendungsbeispiele.

Das Anwendungsgebiet des Al-Schweißens erstreckt sich auf den Rohrleitungs-, Apparat- und Behälterbau. Infolge der Umstellung auf Al ist neuerdings häufig auch die Verbindung von Drähten und Kabeln durch Schweißen gebräuchlich. Dünne Drähte werden entweder an den Verbindungsenden verdreht, mit Paste bestrichen und zusammengeschmolzen oder — soweit sie nicht

über 0,5 mm dick sind — stumpf gestoßen und ebenfalls mit Paste bestrichen, mit der Flamme eines Streichholzes erhitzt und bei Verflüssigung zusammengestoßen. Über 0,5÷1,5 mm dicke Drähte können in ähnlicher Weise mit einer Spiritus- oder Bunsenflamme geschweißt werden. In immer steigendem Maße werden auch Ein- und Mehrleiterkabel unter sich und mit Kabelschuhen durch Schweißung verbunden. Allerdings werden dabei nicht die zum Leiter gehörigen Einzeldrähte, sondern das ganze Drahtbündel unter Verwendung eines nichthygroskopischen Flußmittels verschweißt. Zur Erleichterung der Arbeit und besseren Formerhaltung dienen häufig kleine offene Gießformen, in deren

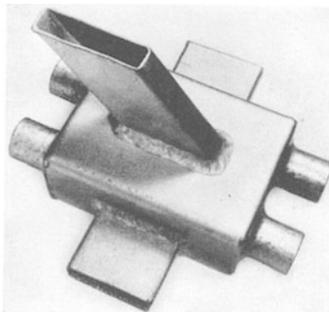


Abb. 256. Geschweißter Kabelverteilerkasten aus 1,5 mm-Al-Blech.

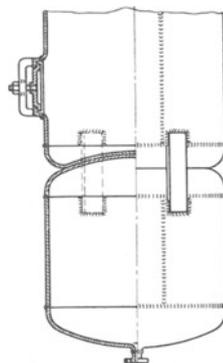


Abb. 257. Geschweißte Zeppelinlagertanks.

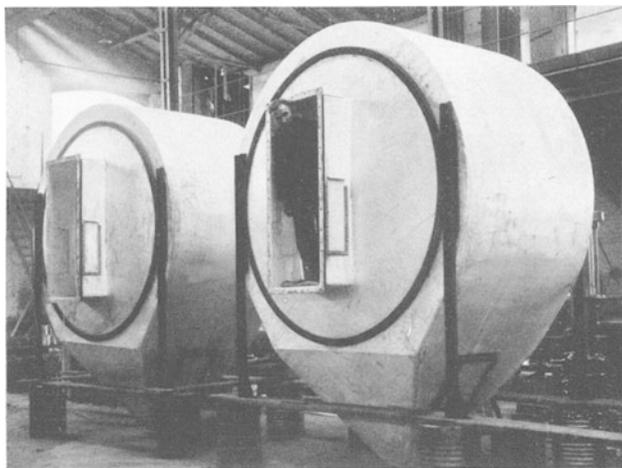


Abb. 258. Geschweißte Ausfallgehäuse.

beide Einführungen die Kabelenden eingelegt und miteinander verschmolzen werden.

Im Flugzeugbau spielt die Schweißung der Leichtmetalle natürlicherweise eine hervorragende Rolle, soweit es sich nicht um ausgehärtete Legierungen handelt. Ein Beispiel aus der Massenfertigung bringt Abb. 256, wobei es sich um einen geschweißten Kabelverteilerkasten aus 1,5 mm-Al-Blech für Flugzeuge handelt.

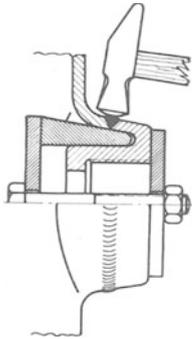


Abb. 259. Vorrichtung zum Hämmern von Rundnähten.

Die Konstruktion geschweißter Zepelinlagertanks, wie sie in großer Anzahl für Brauereibetriebe gefertigt werden, zeigt Abb. 257. Unterschiede in der Anordnung der Nähte zwischen Al- und Stahlkonstruktion sind kaum vorhanden.

Die eisenarmierten Ausfallgehäuse der Abb. 258 sind aus 3 mm-Al-Blech zusammenschweiß, haben einen Durchmesser von 2300 mm und sind 1600 mm hoch. Mäntel, Böden und Türkästen, wie alle Einzelteile, sind stumpf verschweiß.

Beim Aushämmern von Al-Schweißnähten muß, um ein Verziehen zu verhüten, stets für gute Gegenlager gesorgt werden. Beispielsweise bei Stutzenanschlüssen wird ein schwachkegelförmiger Bolzen eingezogen. Wie man sich auch bei verwickelten Nahtanschlüssen helfen kann, veranschaulicht Abb. 259.

b) Aluminium-Knetlegierungen.

Legierungsbestimmung. Die oft anzutreffende Auffassung, alle Knetlegierungen seien mit Aluminiumdraht und dem gleichen Flußmittel schweißbar, ist falsch. Fast alle Legierungen, die einer der acht genormten Gattungen angehören, erfordern besondere Drähte und Flußmittel. Infolgedessen muß bei Legierungen unbekannter Zusammensetzung zu werkstattmäßigen Unterscheidungsmitteln gegriffen werden. Die chemische Analyse wird wegen ihrer hohen Kosten und ihrer Dauer selten anwendbar sein. Betriebsmäßige Kurz- und Schnellproben können mechanischer, thermischer oder chemischer Natur sein.

Die mechanische Prüfung durch Bestimmung der Ritzhärte mit einer Aldrey-Reißnadel ist für den Schweißer weniger bedeutungsvoll.

Die thermische Probe, die auf einer Anschmelzung des Werkstoffs mit einer Schweißflamme beruht, ist mit Sicherheit nur für Elektron brauchbar, dessen Späne sich unter der Flamme entzünden. Bei hocherhitztem Silumin treten einige helleuchtende Punkte an der Werkstoffoberfläche auf, die von der Oxydation des Siliziums zu Kieselsäure herrühren.

Am zuverlässigsten ist die chemische Prüfung, die auf einem örtlichen Anätzen des Werkstoffs mit bestimmten Lösungsmitteln beruht und Rückschlüsse auf die Zusammensetzung und die Gattung der Legierung gestattet. Das bekannteste Ätzmittel ist Natronlauge. Man läßt sie etwa 10 min lang auf eine blank geschabte Stelle einwirken und spült dann mit Wasser nach. Hierbei weisen alle kupferhaltigen Legierungen eine deutliche Schwärzung auf, kupferfreie eine schwachgraue bis bräunliche Färbung, Reinaluminium wird reinweiß und Silumin grau gefärbt. Die Zusammensetzung der Natronlauge und drei weiterer von Bossard vorgeschlagener Lösungsmittel sind in ihrer Wirkung auf die Legierungen in Tabelle 13 angegeben.

Aushärtbare Legierungen. Diese umfassen bekanntlich die ersten 4 Gattungen des Normblatts 1713. Zur ersten Gattung gehören die kupfer-magnesiumhaltigen

Legierungen, wie Duralumin, Aludur, Bondur, Silal u. a., deren bedeutende Festigkeitsabnahme bei der durch das Schweißen bedingten Erhitzung eine Verbindung auf diesem Wege ausschließt, obwohl sie alle schweißbar sind. Nur in wenigen seltenen Fällen, wenn diese Festigkeitsabnahme und die sehr geringe Dehnung der Schweiße nicht ausschlaggebend sind und wenn es vielmehr auf die Stabilität ankommt, wird man schweißen oder löten. Das gilt auch für die kupfer-nickelhaltigen Legierungen und die nur mit Kupfer legierten Werkstoffe, denen als bekanntester Vertreter das Lautal angehört. Versuche, die Schweiße dieser Legierungen nachzuvergüten, sind nur von sehr geringem Erfolg, weil beim Hämmern die Gefahr der Ribbildung besteht und Erwärmen und Abschrecken angesichts der damit verknüpften Konstruktionsverwindung praktisch nicht möglich sind.

Lediglich die mit Magnesium und Silizium legierten Knetwerkstoffe sind trotz ihrer Aushärtbarkeit schweißbar, z. B. Pantal, Ulmal, Legal und Korrofestal. Sie zeigen unter der Schweißflamme einen strengen und trägen Fluß, sind spannungsempfindlich und müssen, um ein gutes Durchschweißen zu erzielen, mit steil gehaltener Flamme geschweißt werden. Als Zusatzwerkstoff wird ein Draht gleicher Zusammensetzung oder der Arbeitserleichterung halber der dünnflüssige Silumindraht verwendet.

Nichtausgehärtete Legierungen.

Die mit Magnesium legierten Werkstoffe und die mit Magnesium und Mangan legierten sind besonders gegen Seewasser beständig und besitzen auch im weichen Zustande hohe Festigkeit, die durch das Schweißen nur in geringem Maße beeinflusst wird. Hierzu gehören

Tabelle 13. Bestimmung von Leichtmetall-Legierungen durch die Tupfprobe.

Leichtmetallgattung	Wirkung der Lösungsmittel			
	L. 1 NaOH (20 vH)	L. 2 HCl (5 vH) nachdem in NaOH gebeizt	L. 3 HNO ₃ (30 vH) nachdem in NaOH gebeizt	L. 4 Cd-Lösung ohne vorheriges Beizen
Al Al-Cu (A.L.) Al-Zn-Cu (D.L.) Al-Cu-Ni Al-Si (Si) Al-Si-Cu Al-Si-Mg Al-Mg	Weißbeizung Schwärzung Schwärzung Schwärzung Grau-Braun-Färbung Schwärzung Grau-Braun-Färbung Weißbeizung	Schwärzung bleibt bestehen Schwärzung löst sich teilweise Schwärzung bleibt bestehen Färbung bleibt bestehen Schwärzung bleibt bestehen Färbung bleibt bestehen	Schwärzung löst sich Schwärzung löst sich völlig Schwärzung löst sich Färbung bleibt bestehen Schwärzung löst sich teilweise Färbung bleibt bestehen	keine oder nur schwache keine oder nur schwache grauer Niederschlag keine oder nur schwache keine oder nur schwache keine oder nur schwache keine oder nur schwache grauer Niederschlag
Mg-Al	kein Angriff	starker Angriff	starker Angriff	grauer Niederschlag
Al-Legierungen Elektron	Natronlauge (20 g festes Natriumhydroxyd in 100 cm ³ H ₂ O)	Salzsäure ÷ H ₂ O 1 ÷ 7	Salpetersäure ÷ H ₂ O 1 ÷ 1	Cadmiumsulfatlösung (5 g Cd-sulf. + 10 g NaCl + 20 cm ³ HCl + 100 cm ³ H ₂ O)

beispielsweise Hydronalium (Hy 5 und 7), BS-Seewasser, KS-Seewasser, Hedronal u. a.

Alle diese Legierungen werden mit einem Draht gleicher Zusammensetzung und mit Flußmitteln, die auf den höheren Magnesiumgehalt abgestimmt sind, geschweißt. Normale Aluminium-Flußmittel können das sich bildende Magnesiumoxyd, das den Schweißvorgang merklich stört, nicht lösen. Auch diese dick- und trägflüssigen Legierungen machen beim Schweißen vor allem dünner Bleche einige Schwierigkeiten, weil ein Durchschweißen und Zusammenfließen der unteren Blechränder nur bei großer Übung erreichbar ist. Außerdem neigen die hocherhitzten Werkstoffränder zum Absacken. Deshalb sollte bei schräger Flammenhaltung ein verhältnismäßig dünner Draht genommen, und, bildlich gesprochen, in das Schmelzbad hineingedrückt werden. Steile Flammenhaltung verlangt das Einschmelzen dickeren Drahtes.

Das Silizium enthaltende Silumin ist dünnflüssig und ist unter den Knetlegierungen am besten, und zwar mit Silumindraht schweißbar. Wenn dieser Werkstoff trotz seines hohen Siliziumgehaltes gut schweißbar ist und deshalb eine Ausnahme bildet, so ist dies auf die eutektische Legierung zurückzuführen, die nicht in einem größeren Temperaturbereiche (Erstarrungsintervall) fest oder flüssig wird, sondern, wie das Al selbst, bei gleichbleibender Temperatur.

Endlich bleibt noch die Gattung Al-Mn zu erwähnen, zu der beispielsweise Mangal gehört. Es zeigt im Schmelzfluß ein den Seewasserlegierungen ähnliches, zähflüssiges Verhalten.

Die Aluminium-Knetlegierungen werden nur nachlinksgeschweißt. Die Entfernung der Flußmittelreste geschieht durch Abwaschen und Abbürsten.

c) Aluminium-Gußlegierungen.

Spannungen. Reinaluminiumguß wird nicht hergestellt bzw. als solcher nicht verarbeitet. Sämtliche in den acht Gattungen der DIN 1713 unterschiedenen Gußlegierungen sind gut und stets besser schweißbar als Knetwerkstoffe der gleichen Zusammensetzung. Nur tritt ein neues wichtiges Moment in den Vordergrund: Die Gußspannungen. Wenn auch nicht in dem Maße wie bei Gußeisen, so müssen sie doch berücksichtigt und unschädlich gemacht werden, um ein Verziehen und Rißneigung des Werkstücks aufzuheben. Sie sind bei Aluminium-Zinklegierungen am größten, bei Aluminium-Kupfer-Zinklegierungen geringer und am geringsten beim eutektischen Siluminguß. Ob eine Vorwärmung des Gußkörpers je nach Lage der Schweißstelle überhaupt nötig, mit der Flamme oder im Holzkohlenfeuer ratsam ist, entscheiden die beim Gußschweißen angeführten Gesichtspunkte auch hier in gleicher Weise. Allerdings kommt es noch mehr auf die Einhaltung einer bestimmten Höchsttemperatur der Erhitzung an, da — ähnlich Bronze — erhitzte Aluminiumgußkörper nur sehr geringe Festigkeit haben und deshalb leicht in sich zusammenbrechen.

Temperaturbestimmung. Zur Bestimmung der Glühtemperatur, die bei etwa 300°, nicht aber oberhalb 350° liegen soll, sind verschiedene Hilfsmittel im Gebrauch. Von diesen sind zu nennen: Unschlitt, Kernseife, Ölstifte, Öl, Holzspäne, ein Gemisch von 50 vH Zinn und 50 vH Blei u. a., Stoffe, die beim Erreichen dieser Temperatur entweder sich färben, schmelzen oder entflammen. Mit Rücksicht auf eine gewisse Unzuverlässigkeit, Schwierigkeit und Umständlichkeit des Aufbringens dieser Stoffe sind sie weniger anzuzufempfehlen. Da ferner Meßgeräte (Pyrometer) nur selten zur Verfügung stehen und dem rauhen Schweißereibetriebe auch nicht entsprechen, bleibt nur das einfachste und praktisch ausreichende Mittel: der harzfreie Fichten- oder Tannenholzspan übrig. Bestreicht

man mit einem solchen Holz unter leichtem Druck den erwärmten Leichtmetallkörper, dann tritt folgendes ein:

- Bei 300° entsteht, langsam bestrichen, ein dunkelgelber Streifen,
- bei 300° entsteht, schnell bestrichen, ein hellgelber Streifen,
- bei 350° entsteht, langsam bestrichen, ein hellbrauner Streifen,
- bei 400° entsteht, langsam bestrichen, ein brauner Streifen.

Die darüberhinaus gehenden Temperaturen sind weniger für Gußwerkstoffe als für Knetlegierungen und deren Bearbeitung, wie Glühen, Schmieden usw., von Wichtigkeit. So hinterläßt beispielsweise der Holzspan bei 450° langsam gestrichen einen dunkelbraunen und schnell gestrichen einen hellbraunen Streifen. Der sich bei 500° bildende schwarze Strich verschwindet nach 10 s, bei 550° nach 1 s, d. h. der abgeschiedene Kohlenstoff verbrennt. Über 550° flammt der Holzspan auf.

Schweißvorgang. Nachdem die anteiligen Stellen von Oxyden, Fett, Öl und anderen Verunreinigungen durch Abwaschen mit Lauge oder Benzin befreit worden sind, werden die Riß- oder Bruchränder zum Schweißen vorbereitet. Ob ein Abbrennen der Flächen mit der Flamme ohne Rißgefahr möglich ist, entscheiden die Gestalt des Werkstücks und die Lage der Schweißstelle. Beim Abwaschen mit Benzin ist darauf zu achten, daß keine Reste davon in versteckten Öffnungen des Körpers zurückbleiben, weil sonst beim Erhitzen des Gehäuses Explosionen zu erwarten sind.

Ist eine Vorwärmung im Holzkohlenfeuer notwendig, dann sind die bei Gußeisen geschilderten Anweisungen zu beachten, und das Werkstück ist gut und oft zu unterbauen, damit es sich nicht verziehen kann. Es darf während des Schweißens, überhaupt so lange es erhitzt ist, nicht gewendet noch sonstwie bewegt werden. Auch stehende Nähte können bei einiger Übung leicht und sicher geschweißt werden.

Gußkörper mit sehr unterschiedlichen Querschnitten und schroffen Übergängen kann man, wenn es auf genaueste Formerhaltung ankommt, in einen mit Aluminiumspänen angefüllten Blechkasten einpacken, wodurch eine allorts gleichmäßige Erwärmung gewährleistet wird.

Flammeneinstellung und Flußmittel sind bekannt. Als Zusatzstäbe werden Legierungen gleicher Art oder auch im Handel erhältliche Sonderstäbe benutzt. Nur im Notfalle sollten beispielsweise kupfer-, bzw. kupfer- und zinkhaltige Gußarten mit Reinaluminiumdraht geschweißt werden. Er bindet schlecht ab, hat einen zu hohen Schmelzpunkt und kristallisiert in der Schweißaußerordentlich grob.

Die Silumine der Gattungen Al-Si , Al-Si-Cu und Al-Si-Mg werden ausschließlich mit Siluminstäben geschweißt, und zwar ohne Flußmittel. Es ist dies die einzige Gußart, die ohne Flußmittel besser schweißbar ist als mit diesen, ja, es stört sogar (Silumin-Knetwerkstoff ist, wie bereits betont, mit Flußmitteln zu schweißen!).

Die seewasserbeständigen Legierungen der Gattung Al-Mg sind, wie alle Gußlegierungen, viel besser schweißbar als Knetlegierungen derselben Art. Der Schweißvorgang ist der gleiche. Es wird mit Flußmitteln für hohen Magnesiumgehalt und mit einem dieser Legierungsgruppe angehörenden Draht gearbeitet.

Endlich schweißt man die Gußwerkstoffe der Gattung Al-Mg-Si entweder mit Draht derselben Zusammensetzung oder — entsprechend den Knetwerkstoffen — auch mit Silumin.

Alle Gußkörper während des Schweißens vor Zugluft zu schützen, ist unerläßlich. Nach Arbeitsbeendigung wird nochmals leicht nachgeglüht, und man läßt das ganze mit Blech, Asbest oder Eternit gut abgedeckt, sehr langsam erkalten. Ratsam ist, die Fugen der Schamottesteinmauer mit Lehm auszusmieren, um ein gleichmäßiges Abkühlen zu sichern.

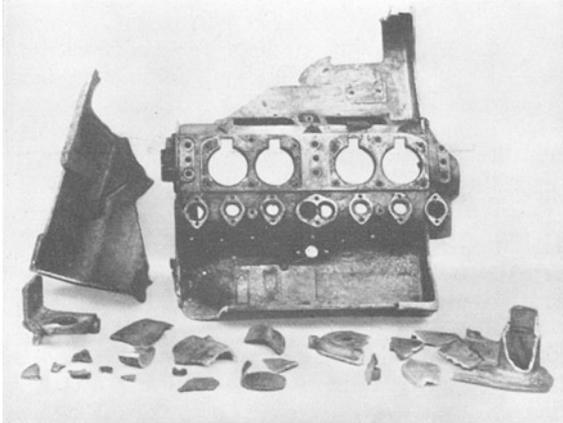


Abb. 260. Zerbrochenes Al-Gehäuse eines Vierzylinder-Automotors.

notwendig ist, so wird dies mit Holzraspeln, Schabern, Handfräsern oder durch Feilen, Stemmen usw. vorgenommen. In der Schweißzone gelegene bearbeitete Flächen sind besser auf spanabhebenden Werkzeugmaschinen zu behandeln.

Ausführungsbeispiel. Ein dankbares Betätigungsfeld für den Leichtmetallschweißer ist die Ausbesserung von Gußgehäusen, die in mannigfachster Gestalt

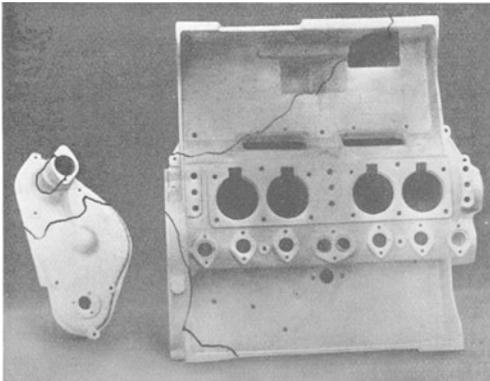


Abb. 261. Al-Gehäuse (Abb. 260) fertig geschweißt.

und Größe an den verschiedensten Stellen geschweißt werden können. Zeitersparnis und andere Umstände, wie Modellbeschaffung (z. B. bei älteren Autokonstruktionen oder Auslandswagen) können ohne Rücksicht auf wirtschaftliche Momente die Ursache in ihrem Ausmaße recht ungewöhnlicher Arbeiten sein. So bestätigt Abb. 260, daß man selbst vor der verwickeltsten und schwierigsten Ausbesserungsschweißung keineswegs zurückschreckt. Wie das Bild erkennen läßt, war das Aluminiumgehäuse eines Vierzylinder - Automotors infolge eines Zusammenstoßes stark zu

Bruch gegangen und wurde durch Schweißung (Abb. 261) instandgesetzt. Nach Bearbeitung der Schweißung war von dieser nichts mehr festzustellen. Die Abgrenzungen der eingesetzten Stücke sind eingezeichnet. Bei solchen Ausbesserungen geht man vorteilhaft wie folgt vor: Die am Gehäuse verbliebenen Bruchränder und die einzelnen Bruchstücke werden gereinigt und letzte unter sich gut angepaßt, geheftet und zusammengeschweißt. Erst dann wird das nun zusammengefügte Stück in das Gehäuse eingesetzt und

Nachbehandlung. Da die Flußmittel hier meist pulver-, nicht pastenförmig und in der Regel etwas im Überfluß verwendet werden, ist die Wahrscheinlichkeit ihres Ausblühens besonders groß. Sie müssen deshalb in der bereits besprochenen Weise sehr sorgfältig entfernt und unschädlich gemacht werden. Ein Einölen oder Fetten der gereinigten Stellen ist zu empfehlen.

Falls ein Abarbeiten der Schweißüberhöhungen an sonst unbearbeiteten Flächen

notwendig ist, so wird dies mit Holzraspeln, Schabern, Handfräsern oder durch Feilen, Stemmen usw. vorgenommen. In der Schweißzone gelegene bearbeitete Flächen sind besser auf spanabhebenden Werkzeugmaschinen zu behandeln.

verklammert, das ganze ins Feuer eingebaut, erhitzt und geschweißt. Richtiges Vorbereiten und überlegtes Schweißen verbürgen besten Erfolg. Im Anlieferungszustand verwundene oder beim Schweißen von der Form abgewichene Gußkörper kann man durch Auftragen von Werkstoff auf die betroffenen Stellen oder auch dadurch wiederherstellen, daß man sie an zwei Punkten unterstützt, erwärmt und etwas durchhängen läßt. Ungünstigstenfalls kann das Ausrichten größerer Strecken auch durch Belastung mit Gewichten und geringes Erhitzen des Körpers erreicht werden, wie man dies auch bei Gußeisen zu tun pflegt.

d) Magnesiumlegierungen.

Allgemeines. Reine Magnesium, das als solches gut schweißbar ist, hat als Baustoff keine Bedeutung. Seine Legierungen mit Aluminium, Zink, Kupfer und Mangan, die unter der Bezeichnung Elektron bekannt geworden sind, sind die leichtesten unter den üblichen Legierungen und weisen ein spez. Gew. von 1,8 auf. Elektron wird als Knet- und Gußwerkstoff verarbeitet, ist aber, was den Schweißer besonders angeht, infolge seines hohen Magnesiumgehaltes (bis zu 98 vH) brennbar! Brennendes Elektron kann nicht mit Wasser, sondern nur durch Ersticken mit Sand oder durch Überwerfen von Lappen gelöscht werden. Die sachgemäße Benutzung von Flußmitteln, die für Knetwerkstoffe flüssig oder pastenförmig, für Elektronguß pulverförmig geliefert werden, verhütet die Entflammung des Metalls. Elektron ist sehr dünnflüssig und bietet weder als Knet- noch als Gußwerkstoff schweißtechnische Schwierigkeiten. Ohne Flußmittel sind Magnesiumlegierungen überhaupt nicht schweißbar.

Mit Rücksicht auf die Korrosionsempfindlichkeit dieses Metalls ist die Entfernung von Flußmittelresten vor allem bei Guß zu beachten. Eine Nachbehandlung der Schweiße durch Abspülen genügt allein nicht, vielmehr muß eine als praktisch besonders wirkungsvoll erkannte Beize verwendet werden, die folgende Zusammensetzung hat: 15 vH Natrium- oder Kaliumbichromat, 15 vH konz. Salpetersäure, Rest Wasser. Durch das Beizen wird das Metall mit einer hell- bis dunkelgelb gefärbten Schutzschicht bedeckt.

Nur schwer zugängliche Stellen, wie Rohrverbindungen u. ä. werden mit einem Gemisch von 50 vH Öl und 50 vH Benzin gründlich ausgespült. Beim Schweißen erforderliche Verformungsarbeiten, z. B. scharfes Abkanten von Blechen für die Bördelnaht, können nur bei Temperaturen von etwa 200° vorgenommen werden, weil sonst Risse und Brüche auftreten.

Elektronknetwerkstoffe. Unter den verschiedenen Knetlegierungen haben schweißtechnisch nur die Legierung AM 503, AZM und Magnewin Bedeutung.

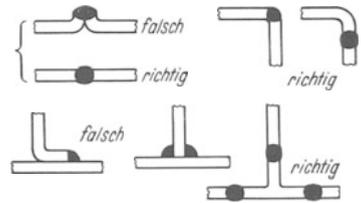


Abb. 262.
Richtige und falsche Anordnungen
von Elektron-Schweißnähten.

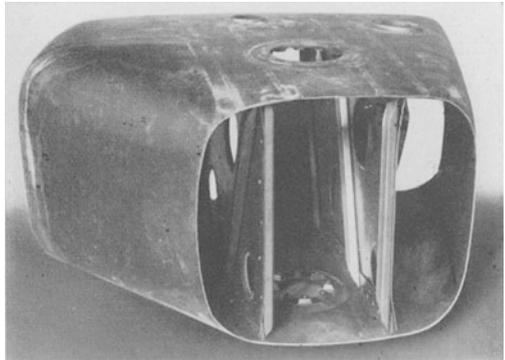


Abb. 263. Flugzeugbenzintank aus Elektron, geschweißt.

Weitaus am besten ist der Werkstoff AM 503 schweißbar, der außer 5 vH Aluminium 0,3 vH Mangan enthält. An ihm lassen sich schöne Nähte beliebiger Länge und Lage ohne Reißgefahr ausführen; jedoch ist der Werkstoff AZM, aus dem meistens Rohre hergestellt sind, nur in ganz kurzen Nahtstrecken schweißbar, andernfalls treten Risse auf. Während die erste Legierung, die hauptsächlich in Blechform verarbeitet wird, die Herstellung sehr sauberer und gleichmäßiger Schweißungen gestattet, trifft dies für die Legierung AZM nicht zu. Die Schweißnähte sind zwar fest und dicht, aber von ungleichmäßigem und unschönem Aussehen.



Abb. 264. Geschweißter Flugzeugsessel aus Elektron.

Angesichts des bereits erwähnten sehr ungünstigen Einflusses, den eingeschlossene Flußmittelreste ausüben, müssen die Schweißnähte stets so angeordnet sein, daß ihre Gegenseite durch die oben geschilderten Mittel behandelt werden kann. Abb. 262 zeigt eine im Schrifttum häufig wiederkehrende Darstellung richtiger und falscher Anordnungen von Schweißnähten an Elektron. Immer wieder kommt es darauf an, die Gegenseite der Schweißnaht frei zu halten, um das Zurückbleiben von Flußmitteln in Spalten auszuschließen.

Als Zusatzwerkstoff dient ausschließlich Elektronendraht, der der Legierung AM 503 entspricht und mit neutraler Schweißflamme verarbeitet wird.

Abb. 263 zeigt einen geschweißten Flugzeugbenzintank mit Schlingerwänden und Abb. 264 einen Elektronsessel für Flugzeuge.

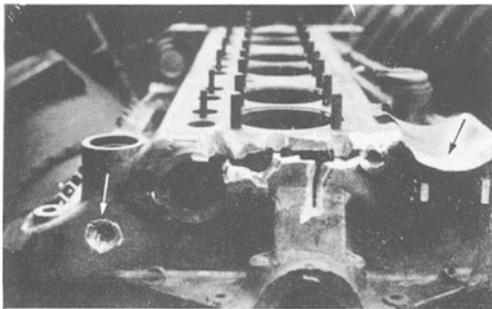


Abb. 265. Elektrongehäuse eines Sechszylindermotors für die Schweißung vorbereitet.

Elektronguß. Für die Schweißung von Elektrongußkörpern gilt ausnahmslos das für Aluminiumguß Gesagte, sowohl hinsichtlich der Vorwärmung als auch des Schweißvorgangs. Als Zusatzwerkstoff dienen Elektrongußstäbe, die zusammen mit einem pulverförmigen, möglichst nichthygroskopischen Flußmittel verarbeitet werden. Wesentliche Unterschiede im schweißtechnischen Verhalten der auf dem Markt befindlichen Legierungen, die bis zu 92 vH Magnesium, bis zu 10 vH Aluminium

und bis zu 0,5 vH Mangan enthalten und die Bezeichnung AFZ, AZG und V 1 führen, bestehen nicht. Auch die kürzlich auf den Markt gekommene Magnesiumlegierung „Magnewin“ ist gut schweißbar.

Abb. 265 veranschaulicht das Elektrongehäuse eines Sechszylindermotors in für die Schweißung vorbereitetem Zustande. Die außergewöhnlich umfang-

reichen Schäden wurden zu Versuchszwecken absichtlich und willkürlich angebracht. Auf die Wiedergabe des Gehäuses nach erfolgter Schweißung kann verzichtet werden, weil diese nach der Bearbeitung unsichtbar ist und sich von einer Aluminiumschweißung nicht unterscheidet.

IV. Das Löten mit dem Schweißbrenner.

(Autogenes Löten.)

Allgemeines. Der grundsätzliche Unterschied zwischen Autogenschweißen und -löten besteht darin, daß beim ersten eine örtliche Verflüssigung des Grundwerkstoffs vorgenommen und ein Zusatzdraht gleicher oder sehr ähnlicher Zusammensetzung eingeschmolzen wird, wohingegen für das Löten durch den Löt-ausschuß der Deutschen Gesellschaft für Metallkunde folgende Begriffsbestimmung festgelegt wurde: „Verbinden oder Ergänzen erhitzter, im festen Zustand bleibender Metalle und Legierungen durch schmelzende, metallische Bindemittel“. Demnach erstreckt sich die Lötung auch auf die Verbindung unter sich ungleicher Werkstoffe mit metallischen Stoffen fremder Art. In der obigen Begriffsbestimmung wurde festgelegt, daß die Bezeichnung „Lötmedium“ für alle Stoffe zu gebrauchen ist, mit denen man lötet, also sowohl für Lote als auch für Flußmittel.

Es ist zwischen zwei verschiedenen Lötverfahren zu unterscheiden: zwischen Weichlötung und Hartlötung. Die beiden Verfahren bedienen sich meist verschiedener Wärmequellen und erfordern nur eine Arbeitstemperatur, die dem Schmelzpunkte des jeweiligen Lotes entspricht.

A. Weichlötung.

Schwermetalle. Hierfür kommt ein im Feuer oder durch eine Azetylen- bzw. Leuchtgas-Luftflamme beheizter LötKolben in Frage. Eine Ausnahme macht nur die Aluminium-Weichlötung, die sich in Sonderfällen des LötKolbens, meist aber der Schweiß- oder Lötflamme bedient. Für das Weichlöten von Schwermetallen benutzt man Brenner besonderer Bauart mit meist verstellbaren, austauschbaren Kupferkolben mannigfacher Form und Größe. Die Heizung kleiner Kolben wird mit Hilfe der bekannten Bunsenbrennereinrichtung erreicht, welche die zur Verbrennung des Heizgases notwendige Luftmenge selbst ansaugt. Größere Kolben beheizt man mit Gas-Preßluft-, seltener Gas-Sauerstoffgebläseflammen. Im ersten Falle ist die Verwendung von Hochdruckazetylen empfehlenswert.

Als Lot dient hauptsächlich Weichlot, d. h. Lötzinn mit wechselnden Mengen von Zinn und Blei. Der Schmelzpunkt dieser Lote liegt zwischen 180 und 240°. Nach DIN 1707 wird Lötzinn nur nach den Zinngehalten bezeichnet, und es sind nur die Zinn-Bleilote genormt, nicht aber solche, die neben Blei andere Stoffe, wie Antimon, Wismut, Kadmium, Quecksilber u. dgl. als Hauptbestandteil enthalten. Die Lote werden mit Lötzinn 25÷90 (SnL 25÷90) bezeichnet, wobei die Zahl den Anteil an Zinn kennzeichnet.

Als Lötmedium (Oberflächenreinigungsmittel und Oxydationsschutz) werden „Lötmedium“ (Zinn in Salzsäure aufgelöst), „Lötmedium“ (Lötmedium mit Zusatz von Salmiak), „Lötmedium“, Kolophonium u. a. benutzt. Die mit dem LötKolben ausgeführten Weichlötungen gehören streng genommen nicht in das Gebiet des Autogenlötens, da man hierfür die Anwendung der offenen Schweiß- oder Lötflamme voraussetzt. Die Wirtschaftlichkeit der Weichlötung mit Gas beheizter Kolben liegt in der leichten Regelbarkeit der Kolbentemperatur und in der ununterbrochenen Arbeitsdurchführung.

Die Weichlötung erfaßt kaum die Eisenmetalle, dagegen Zink, Zinn (Weißblech), Zinkguß, Kupfer und seine Legierungen Messing und Bronze.

Leichtmetalle. Die Weichlötung von Leichtmetallen, die sich auf die Verbindung des Aluminiums und seiner Legierungen beschränkt, kann, soweit es die Kolbenlötung angeht, nur für sehr dünne Bleche unter 0,2 mm Dicke angewandt werden. Darüber hinaus ist nur die Bunsen- oder die Schweißflamme verwendbar. Da die Arbeitstemperatur für den Lötvorgang zwischen 200° und 400° liegt, gelten auch für die Weichlötung die für das Schweißen bezüglich des Festigkeitsabfalls ausgehärteter Aluminiumlegierungen gemachten Angaben.

Aluminiumweichlötstäbe bestehen hauptsächlich aus Schwermetallen wie Zink, Zinn, Kupfer, Blei, Kadmium u. a. und enthalten nur bis zu höchstens 30 vH Aluminium, meist aber nicht über 15 vH. Das bedeutende Übergewicht an Schwermetallen im Weichlot hat einerseits, wie später noch weiter ausgeführt wird, nur sehr geringe Korrosionsfestigkeit der Lötverbindung zur Folge. Andererseits erklärt sich aus den vielfältigen Legierungsmöglichkeiten die Tatsache, daß die Herstellung von Aluminiumweichloten Gegenstand ins Uferlose gehender Patentanmeldungen geworden ist. Die „Erfinder“ versprechen meist viel und halten um so weniger. Erfahrungsgemäß haben sich aus der ungeheuren Gruppe der Aluminiumweichlote nur wenige als besonders brauchbar erwiesen, z. B. „Löterna“, „Aurele“, „Firinit“ und „Tialit“.

Lötvorgang beim Aluminiumweichlöten. Es können verschiedene Wege eingeschlagen werden, und zwar wird mit und ohne Flußmittel gelötet oder auch die sog. Reaktionslötung angewandt.

Das Löten ohne Flußmittel geht so vor sich, daß der Werkstoff zunächst mit einer Drahtbürste aufgeraut und darauf an seiner Oberfläche unter Zuhilfenahme der Schweißflamme mit einem besonderen Lötstabe verzinkt wird. Das unter der Flamme verflüssigte Lot wird mit einer Stahldrahtbürste eingebürstet und die abgesetzte Krätze entfernt. Hierauf wird ein Stab meist anderer Zusammensetzung, das eigentliche Verbindungslot, aufgeschmolzen. Die Entfernung der Schlacke geschieht mit einem Spatel oder einem Eisendraht. Dieses Lötverfahren kommt, von einigen wenigen Ausnahmen abgesehen, nur bei Knetwerkstoffen zur Anwendung.

Wird mit Flußmitteln gelötet, dann fällt das Verzinnen fort. Dabei können selbstverständlich nur Flußmittel brauchbar sein, die bei niedriger, dem Lötvorgang angepaßter Arbeitstemperatur wirksam, d. h. wirklich oxydlösend sind. In Deutschland haben sich hierfür hauptsächlich eingeführt: „Sudal“ und „Firinit“; weniger bekannt sind „Aiagin“ und das angloamerikanische „Lumisold“. Diese zu einem Brei angerührten Flußmittel werden mit einem Pinsel oder Holzspan sparsam auf die Oberfläche aufgetragen, die vorher zweckmäßig leicht aufzurauen ist. Die Erwärmung der Oberfläche mit der Flamme sollte möglichst mittelbar, wenn angängig von der Gegenseite erfolgen, und zwar so lange, bis das Flußmittel zu schäumen beginnt. Dann erst wird das Lot aufgetragen.

Als eine Abart des bisher besprochenen Reiblöten ist das Schmier- und Modellierlöten aufzufassen, das bei einer Arbeitstemperatur von 250÷350° ausgeübt wird. Bei dieser Temperatur sind die Schmierlote nicht flüssig, vielmehr nur breiig, also teigig. Sie bestehen z. B. aus 15÷50 Teilen Zink, 50÷75 Teilen Zinn, 2,5÷15 Teilen Aluminium und bis zu 1,5 Teilen Kupfer. Doch sind auch andere Legierungsbestandteile, die in erster Linie der Regelung der Schmelz- und Arbeitstemperatur dienen, möglich. Dieses vor allem zur Ausbesserung von Gußfehlern angewandte Verfahren bedarf eines Vorverzinnens der durch Auskreuzen freigelegten Stellen. Das Vorwärmen und Auftragen des Lotes mit einem Spatel wird wie oben geschildert durchgeführt. Da diese Lote nur breiig

aufgetragen werden, können fehlende Teile durch Aufschmieren anmodelliert und ergänzt werden. Langsames Erkalten der ausgebesserten Körper in Sand, Asbest oder Kieselgur ist ratsam.

Eine weitere neuere Abart des Weichlötens ist die Reaktionslötung, ein Verfahren, das sich wesentlich einfacher gestaltet, da das für die Güte der Lötverbindung ausschlaggebende, mühsame und zeitraubende Loteinreiben fortfällt. An die Stelle der metallischen Lote treten hierbei chemische Verbindungen des Lötmittels mit anderen Salzen. Nachdem die Bruchstellen durch Klammern befestigt worden sind, wird das Reaktionslot pasten- oder pulverförmig aufgebracht und nur mäßig und mittelbar erwärmt. Bei 300–400° beginnt ein meist von starker Rauchentwicklung begleitetes Schmelzen des Lötmittels, es scheidet sich aus diesem durch eine Reaktion metallisches Lot aus, und die Verbindung ist hergestellt. Für langsame Abkühlung der Lötstelle und gründliches Abbürsten mit Wasser ist zu sorgen. Für die Weiterentwicklung dieser Lötart scheint die Beseitigung der leicht auftretenden Porenbildung erforderlich zu sein.

Anwendungsbereich des Weichlötens.

Man muß sich darüber im klaren sein, daß der Anwendung des Weichlötens — gleich welcher Art — enge Grenzen gezogen sind, denn es hat neben nur einem Vorteil, nämlich der niedrigen Arbeitstemperatur, viele Nachteile. Diese liegen außer bei geringer Arbeitsgeschwindigkeit vor allem in der chemischen Unbeständigkeit der Verbindung. Die Gegenwart verschiedener Schwermetalle in der Lötstelle, wie Kupfer, hauptsächlich aber Zink, das durch Diffusion (Durchdringung) eine Verankerung als Lötbrücke darstellt, bedingt bei Zutritt von Feuchtigkeit die Bildung eines galvanischen Elements und raschen korrosiven Zerfall der Lötstelle. Die beginnende Auflösung der Verbindung ist äußerlich an einer zunehmenden Dunkelfärbung, die sich über dunkelgrau bis ins Schwarze steigern kann, erkennbar. Demnach kann eine Weichlötung nur dann brauchbar sein, wenn sie durch Farbanstrich oder durch Öl und Fett gegen Feuchtigkeit und chemische Angriffe geschützt wird. Die mechanische Haltbarkeit der Verbindung, die mit der einer Schweißung nicht verglichen werden darf, ist im allgemeinen zwar ausreichend, aber von der Sorgfalt, mit der das Lot eingerieben wurde, abhängig.

Aus allen diesen Gründen folgt ein recht beschränkter Anwendungsbereich der Weichlötverfahren. Sie dienen zur Ausbesserung von Rissen, porösen Stellen, hauptsächlich kleiner Fehler an Gußstücken, zur Verbindung von Folien und von Aluminium mit anderen Metallen, besonders dann, wenn diese Stellen durch Isolierstoffe geschützt sind, wie an Elektromotoren, Kabelmuffen u. dgl. Reaktionslote, die weniger für Flächen- als für Fleckverbindungen, z. B. für die Befestigung von Ösen und Nadeln an Knöpfen, Plaketten und Abzeichen, in Frage kommen, haben demnach das technisch geringste Anwendungsgebiet. Man wird deshalb alle diese Verfahren nur dann wählen, wenn die ihnen bedeutend überlegene Hartlötung oder die immer bessere Schweißung nicht angewandt werden können.

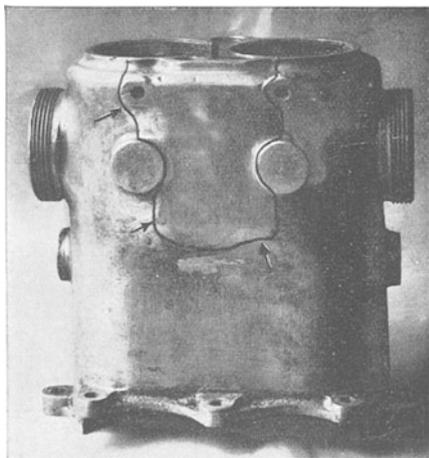


Abb. 266. Flugzeugmotorvergaser mit weichgelötetem Wassermantel.

Weichlotverbindung zwischen verschiedenen Metallen. Die Notwendigkeit, Aluminium mit Schwermetallen zu vereinigen, ist glücklicherweise nicht gerade häufig. Von Holler in großer Anzahl durchgeführte Versuche haben gezeigt, daß beispielsweise Aluminium mit Eisen, Nickel, Kupfer und Messing nur unter vorherigem Verzinnen der Lötflächen mit Weichlot verbunden werden kann. Bei der Verbindung Aluminium-Messing ist Silberlot am geeignetsten. Eine Verbindung zwischen Aluminium und V2A-Stahl kann mit Weichlot hergestellt werden, jedoch ohne Zinnzwischenicht, da Lötzinn auf Chromnickelstahl nicht haftet. Bei der Verbindung Aluminium-Blei überzieht man erstes mit Weichlot und lötet dann mit Bleidraht, was auch für Aluminium-Zinkverbindungen gilt, wo Zinkdraht aufgelötet wird.

Als ein Beispiel für die Weichlötung kann Abb. 266 gelten, die einen am Wassermantel ausgebesserten Flugzeugmotorvergaser alter Bauart darstellt.

B. Hartlötung.

Schwermetalle. Für die Hartlötung kommt nur die Vorwärmung des Werkstücks im Feuer oder mit der Flamme in Frage. Der LötKolben ist nicht zu gebrauchen. Die Erwärmung im Holzkohlenfeuer, ein an und für sich ebenso unsauberer und umständlicher wie, weil unübersehbar, unsicherer Erhitzungsvorgang, wird heute überwiegend durch die Azetylen-Sauerstoffflamme ersetzt, die je nach dem Schmelzpunkt des Lotes und des Werkstücks mehr oder weniger nahe an die Lötstelle herangeführt wird.



Abb. 267. Schliff eines mit Messingschweißdraht gelöteten 10 mm-Kupferblechs (natürliche Größe).

Als Lot dienen hauptsächlich Hartlote (Schlaglote nach DIN 1711, die die Nr. 42÷54 tragen, z. B. MsL 42). Die Zahlen nennen den Gehalt an Kupfer, der Rest besteht aus Zink. Der Schmelzpunkt liegt zwischen 820 und 875°. An Stelle dieses in Körnern gelieferten Schlaglotes wird beim Autogenlöten meist Sondermessing, sog. Bronzedraht geliefert, wie er auch für Schweißzwecke gebräuchlich ist. Abb. 267 zeigt den Schliff eines mit Messingschweißdraht gelöteten 10 mm-Kupferbleches in natürlicher Größe. Für an Kupfer- und Bronzestücken auszuführende feinere Arbeiten werden auch Silberlote nach DIN 1710 verwendet. Die Kurzzeichen AgL 4÷45 geben die Höhe des Silbergehaltes an. Diese Lote enthalten außerdem 25÷46 vH Zink und 30÷50 vH Kupfer. Der Schmelzpunkt liegt zwischen 720 und 855°. Auch dieses Lot wird in Körnerform und in Streifen (Stecklot) gehandelt.

Als Löt-pulver genügt in den meisten Fällen Borax. Nach diesem Verfahren lassen sich z. B. Kupfer mit Kupfer, Kupfer mit Messing, Messing mit Eisen, Eisen mit Kupfer usw. verbinden, wobei haltbare und saubere Löt-nähte entstehen. Dort, wo es auf hohe Korrosionsbeständigkeit ankommt, muß auch die Hartlötung vielfach dem Schweißen Platz machen.

Weniger bei der Lötung von Schwermetallen als bei der der Leichtmetalle ist eine genaue Abgrenzung der Begriffe Schweißen und Löten nur schwer möglich, da bisweilen ein dem Grundwerkstoff ähnliches Lot verwendet und erster oberflächlich angeschmolzen wird. Man hat deshalb den Zwischenbegriff „Schweißlöten“ geprägt und diesen vielfach auch auf Vorgänge übertragen, die rein löttechnischer Natur sind.

Gußeisen. Die Frage, ob die Bruchstellen gußeiserner Werkstücke vorteilhafter zu löten oder zu schweißen sind, ist auch heute noch umstritten und selten von rein technischen und wirtschaftlichen, als vielmehr von verkaufstechnischen Belangen beeinflusst. Selbstverständlich ist die fälschlich mit Bronzeschweißung bezeichnete Hartlötung von Gußeisen vielfach richtig am Platze, vor allem auch bei der Verbindung von Tempergußkörpern dann, wenn es sich um einen für die Schweißung ungeeigneten Werkstoff handelt.

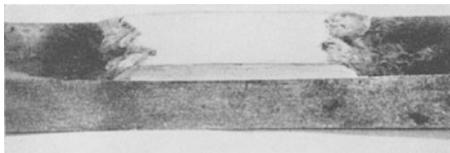


Abb. 268. Gußstück mit Auftragslötung.

Bei der Gußeisenhartlötung kommt es vor allem auf sorgfältiges Vorwärmen an, das nicht zu hoch getrieben werden darf, da sonst eine Überhitzung des Lötmetalls und ein Bläsig- und Brüchigwerden der Verbindung eintritt. Wird die Temperatur zu niedrig gehalten, dann tritt eine Verbindung zwischen Gußeisen und Lötwerkstoff nicht ein, und die fehlende, sonst durch Diffusion erreichbare Verankerung des Lotes bleibt aus. Wichtig ist, daß alle Stoffe, die eine metallische Vereinigung behindern, durch sorgfältiges Reinigen der Lötflächen entfernt werden, z. B. durch Abbrennen, Abbürsten und Abwaschen mit Benzin, Lauge usw. Als Flußmittel haben sich die für die Messingschweißung benutzten als brauchbar erwiesen. Für die Wahl des Lötdrahtes ist die geforderte Härte der Lötverbindung bestimmend. Man hat es in der Hand, dem Gußeisen angenäherte, gewünschtenfalls aber auch größere Härte zu erzielen. Dies hat besonders auf Auftragslötung Bezug.

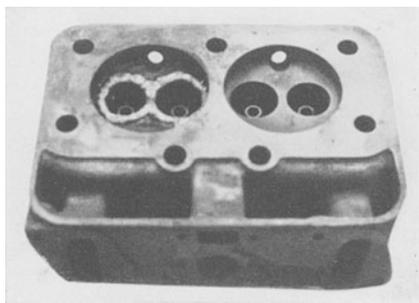


Abb. 269. Bronzelötung an Ventilsitzen eines Autozylinders.

Abb. 268 zeigt ein 10 mm dickes Gußstück mit einer Auftragslötung von etwa 4 mm Höhe, deren Härte um einige Brinelleinheiten höher liegt als die des Mutterwerkstoffs. Die polierte Oberfläche ist sehr dicht und, wie sich bei Beobachtung unter dem Mikroskop feststellen läßt, porenfrei. Einen Fall der praktischen Anwendung veranschaulicht Abb. 269, einen Autozylinder, dessen beschädigte und durch häufiges Ausschleifen unbrauchbar gewordene Ventilsitze durch Auftragen mit hochnickelhaltiger Bronze ausgebessert wurden. Die beiden linken Ventilsitze lassen die Lötung im Rohzustand erkennen, während die beiden rechten Sitze bereits bearbeitet sind. Solche Auftragslötungen, die in größerem Umfang vorgenommen werden, bewähren sich bestens. Der Lötung, die rasch vonstatten geht, geht eine Ausfräsung der meist mit Ölkohle verunreinigten Flächen und ein Vorwärmen im Holzkohlenfeuer voraus. Die bearbeitete Lötstelle hebt sich farblich nur wenig vom Gußeisen ab. Zur Verhütung des Abfließens von Bronze kann das Schmelzbad durch den jeweiligen Formen angepaßte Formkohlestücke abgegrenzt werden.

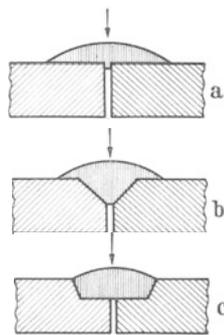


Abb. 270. Bronzelötung an gußeisernen Röhren.

Ein hauptsächlich in Amerika unter Verwendung von Tobinbronze durchgeführtes Bronzelötverfahren an gußeisernen Röhren hat sich in

Deutschland nur wenig einzuführen vermocht. Die Rohre werden stumpf zusammengestoßen und an den zu lötenden Enden metallisch blank gemacht, weil beim Belassen der Gußhaut eine Bindung zwischen Guß und Bronze ausbleibt. Der

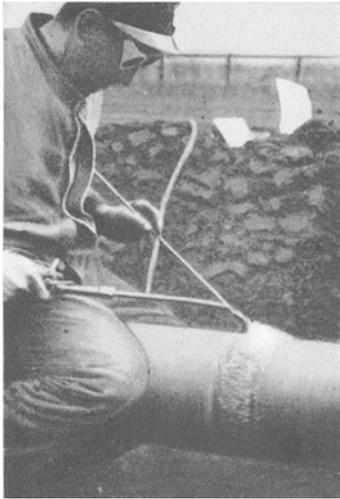


Abb. 271. Löten eines Gußrohres.

Rohrstoß *a*, Abb. 270, wird dann im Holzkohlenfeuer oder mit der Schweißflamme auf Dunkelrotglut vorgewärmt, reichlich mit Lötpulver bestreut und die Bronze in breiter Naht aufgetragen. Im Gegensatz zu anderen Lötverbindungen ist man hier bestrebt, das Durchfließen des Lotes durch die volle Rohrwanddicke zu vermeiden, um Zersetzungserscheinungen der Lötverbindung vom Innern des Rohres her aufzuhalten. Demzufolge wird eine besondere Vorbereitung der Rohrenden, wie sie bei *b* und *c* in Abb. 270 skizziert ist, erforderlich. Den Arbeitsvorgang beim Löten eines Gußrohres zeigt Abb. 271.

Leichtmetalle. Im Gegensatz zum Aluminiumweichlot besitzen die Hartlote einen wesentlich höheren Anteil an Aluminium. Er beträgt 70–75 vH. Die übrigen meist metallischen Legierungsbestandteile der Hartlötstäbe an Kupfer, Zink, Zinn, Silber, Nickel, Mangan, Kadmium, Silizium, Antimon, Wismut usw.

sind in viel geringeren Mengen vertreten, wodurch sich eine erhebliche Erhöhung der Schmelz- und damit Arbeitstemperatur ergibt. Diese liegt zwischen 530 und 620°. Dagegen hat die Hartlötung den Vorzug viel größerer Korrosionsfestigkeit,

außerdem ist sie polier- und eloxierbar. Die Wetterbeständigkeit der Lötstelle wird auch bei überlappter Anordnung der Bleche durch das Zurückbleiben von Flußmitteln nicht vermindert, denn dieses wird durch das nachlaufende Lot ausgetrieben. Die Hartlote sind nur mit Flußmitteln verarbeitbar, unter denen „Firinit“, „Sudal“ und „Lumisold“ die bekanntesten sind. Ein beliebtes Hartlot ist auch der Silumindraht.

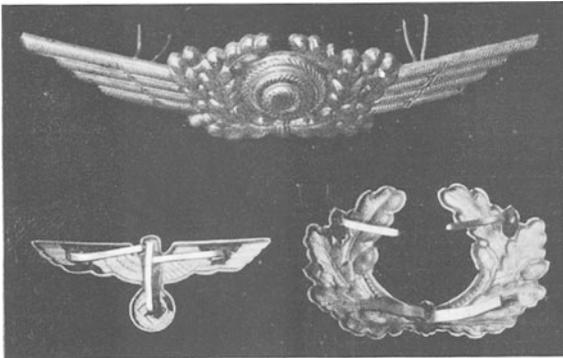


Abb. 272. Weichgelötete Abzeichen.

Die sog. Röhrenlote, das sind mit Flußmittel angefüllte Hohlstäbe, werden nur noch vereinzelt angewendet. Indessen sind beim Hartlöten von Massenwaren dem Messingschlaglot ähnliche Aluminiumlote in Kommaform (Kornschlaglote) bekannt. Streifenlot (Blech) wird wie Silberlot verarbeitet. Hartgelötet werden beispielsweise Gegenstände aus sehr dünnen Blechen wie Dosen und Etuis.

Die Lötstellen müssen mit Petroleum, Benzin u. a. von Fett und Öl befreit und nach vollendeter Lötung abgewaschen, gegebenenfalls wie Aluminiumschweißstellen mit Salpetersäure nachbehandelt und mit Lappen oder in Sägespänen sorgfältig getrocknet werden. Abb. 272 zeigt einige nach dem Reaktionslötverfahren weichgelötete Abzeichen aus Aluminium.

V. Das Brennschneiden (autogenes Schneiden).

A. Grundsätzliches über das Brennschneiden.

Wesen des Schneidens. Die bekannte Tatsache, daß ein auf Weißglut erhitztes Stückchen Stahldraht im Sauerstoffstrom rasch oxydiert, d. h. restlos verbrannt wird, ist auch die Grundlage des mit „Brennschneiden“ bezeichneten Vorganges. Der Unterschied zwischen Schweißen und Schneiden besteht u. a. darin, daß beim Brennschneiden nur bestimmte, und zwar gewünschte Teile des Werkstücks erhitzt werden und die Verbrennung nur auf diese beschränkt bleibt. Das geschieht praktisch mit einem Schneidbrenner, dessen Vorwärmflamme die örtliche Erhitzung des Stahls auf seine Entzündungstemperatur zu besorgen hat. Diese bei heller Weißglut gelegene Temperatur beträgt nach Versuchen von Wüst für reines Eisen etwa 1050° . Die Entzündungstemperatur wächst mit dem Kohlenstoffgehalt und liegt im Mittel bei etwa 1250° , bei 2,25 vH C an der oberen Schmelzgrenze (1375° C) und bei 3,3 vH C (Gußeisen) bestimmt oberhalb der Schmelztemperatur. Wird nun aus einer zweiten Düse des Schneidgeräts möglichst reiner Sauerstoff unter Druck auf die hochehrhitzte Stelle geblasen, so tritt örtlich eine sehr rasche Verbrennung des Stahls ein, wobei sich, bildlich gesprochen, der Sauerstoff in den Stahl hineinfrißt und eine lochförmige Öffnung entsteht, an deren Unterseite der verbrannte Stahl herausgeschleudert wird. Nach dieser einfachsten Art des Schneidens wurden 1901 eingefrorene Hochöfenabstiche erstmalig aufgeschmolzen. Beim Fortbewegen des Brenners trifft der Sauerstoff neue, durch die Verbrennung benachbarter Teile (Verbrennungswärme) und durch die Vorwärmflamme bereits auf Entzündungstemperatur gebrachte Werkstückzonen, so daß eine regelrechte Schnittfuge entsteht und der einmal eingeleitete Verbrennungsvorgang sich ununterbrochen fortsetzen läßt. Die der Verbrennungsstelle benachbarten Stahlteile werden verhältnismäßig wenig erhitzt und weder verbrannt noch geschmolzen. Aus dem Gesagten läßt sich folgern, daß der Schneidvorgang hauptsächlich chemischer Natur ist, da der Stahl zu Eisenoxyduloxyd verbrannt wird. Daneben aber treten für den Gesamtvorgang wichtige physikalische Erscheinungen auf, die besonders im Ausstoßen des Abbrandes durch das Arbeitsvermögen des hochgespannten Sauerstoffs beruhen. Desgleichen werden die im unmittelbaren Bereiche des Schneidvorgangs weniger oxydierten als geschmolzenen, geringen, im Abbrand eingeschlossenen Werkstoffmengen mit aus der Schnittfuge herausgeschleudert.

Die Schneidbarkeit der Metalle. Die Metalle müssen folgende Bedingungen erfüllen:

1. Das Metall muß im erhitzten Zustand im Sauerstoffstrom verbrennbar sein und ein leichtflüssiges Oxyd bilden, das sich gut aus der Schnittfuge beseitigen läßt.
2. Die Entzündungstemperatur des Metalls muß unterhalb seines Schmelzpunktes liegen, d. h. es muß verbrannt werden können, bevor es flüssig wird.
3. Der Schmelzpunkt des Metalls darf nicht höher liegen als der seines Oxyds.
4. Die Verbrennungswärme des Metalls muß möglichst groß und die Wärmeleitfähigkeit möglichst gering sein.

Daraus ergibt sich der unbefriedigende Schluß, daß eigentlich nur Stahl und Stahlguß schneidbar sind, während sich Gußeisen, Kupfer, Aluminium und andere Metalle und Metallegierungen nicht brennschneiden lassen. Die besondere Bewandnis, die es um die Möglichkeit des Schneidens von Gußeisen und Blei hat, wird später noch erörtert.

Anwendbarkeit des Schneidbrenners. Die Ausübung des Brennschneidens ist nicht mehr an Patentlizenz gebunden, da das grundlegende Verfahrenpatent

(D.R.P. 216963) vor einigen Jahren ablief. Beschränkt man sich zunächst auf Stahl und Stahlguß, so ist festzustellen, daß praktisch alle vorkommenden Werkstoffdicken schneidbar sind. Normalerweise werden Werkstoffdicken von 5 bis 300 mm geschnitten, doch gestattet die Verwendung von Sonderbrennern auch das Schneiden dünnerer (bis zu 1 mm) und dickerer (bis zu 1000 mm) Werkstücke, wobei die Form des Stahlkörpers (Blech, Formstahl, Rohr, Wellen usw.) keine besonderen Schwierigkeiten verursacht. Es ist deshalb kein Wunder, wenn sich die Ausübung des Brennschneidens in Industrie und Handwerk rasch und stetig gesteigert hat. Mit Hilfe des Schneidbrenners werden heute fast alle Vorbereitungsarbeiten an autogen und elektrisch zu schweißenden Blechkanten durchgeführt. Es werden auf diese Weise Profile, Gehrungen, Löcher, Ausnehmungen, Kurven und Kröpfungen geschnitten, verlorene Köpfe und Gießtrichter an Stahlguß und Wellen; Nietköpfe ab- und Nietschäfte ausgebrannt, und man schneidet unter Wasser. In der Massenfertigung wird der Schneidbrenner zur Herstellung von Stahlteilen, die früher gebohrt, gefräst, gehobelt oder sonst wie mit spanabhebenden Werkzeugen bearbeitet oder im Gesenk geschmiedet wurden, benutzt, z. B. zur Anfertigung von Klinken, Hebeln, Zahnstangen, Kurbelwellen, Ventiltellern usw. Häufig werden Blechpakete nach Schablonen oder Zeichnungen geschnitten u. a. Ferner findet das Verfahren auch außerhalb der Fertigung Anwendung bei der Zerlegung von Kesseln, Rohren, Lokomotiven, bei der Entfernung von Stahlkonstruktionen wie Brücken, Hochbauten, Spundwänden und bei Verschrottungsarbeiten aller Art an gewalzten und gegossenem Stahl, wobei es dann weniger auf sauberes als auf schnelles und wirtschaftliches Arbeiten ankommt.

Aussehen der Schnittflächen. Die Sauberkeit der Schnittflächen und die Schnittgeschwindigkeit hängen von den mannigfachsten chemischen und physikalischen Bedingungen ab, die sich z. T. aus dem Werkstoff selbst, aus dessen Legierung, Abmessung und Oberflächenbeschaffenheit, Gleichartigkeit, Wärmezustand u. a. ergeben. Daneben sind Sauerstoffdruck und -reinheit, Flammen-, Heizgasart, die Temperatur des Sauerstoffs, Vorschubgeschwindigkeit und -gleichmäßigkeit, Düsenbohrungen und -abstand u. a. für das Aussehen der Schnittflächen von z. T. ausschlaggebender Bedeutung, worauf später noch im einzelnen eingegangen wird.

B. Die Schneideinrichtungen.

1. Die Schneidbrenner.

Schon der gewöhnliche Schweißbrenner kann zum Schneiden bis zu 10 mm dicker Bleche dienen, wenn man nach erfolgter Vorwärmung das Brenngas absperrt und unter alleiniger, aber erhöhter Sauerstoffzufuhr den Brenner langsam weiterführt. Nach kurzer Zeit setzt die Verbrennung aus, man muß wieder von neuem vorwärmen. Da hierbei die Schneidzeit ein Vielfaches der mit Schneidbrennern erreichbaren ausmacht und die Schnittflächen sehr unsauber ausfallen, kann diese Arbeitsweise nur als ein Behelfsmittel für besondere Fälle betrachtet werden.

Einrichtung der Schneidbrenner. Der Schneidbrenner ist nichts anderes als die Vereinigung eines Schweißbrenners mit einem zweiten Rohr für Hochdruck-sauerstoff. Bringt man die beiden Grundarten auf die einfachste Form, dann ergeben sich für die Schneidbrennerkonstruktionen mit getrennten Düsen die Abb. 273a und b.

Beim sog. Zweischlauchbrenner (Abb. 273a) wird dem rechten Brennerrohr das Brenngas für die Heizflamme, dem linken der Sauerstoff zugeführt.

Letzterer wird geteilt, in geringer Menge der Injektordüse des Brenners, in größerer Menge über ein besonderes Regelventil der Schneiddüse zugeleitet. Gegenüber dem Schweißbrenner ist demnach nur der schraffiert angedeutete Teil des Geräts mit einem eigenen Ventil hinzugekommen. Diese Grundform entspricht der üblichsten Schneidbrennerbauart.

Der in Abb. 273b skizzierte Dreischlauchbrenner unterscheidet sich von dem der Form a dadurch, daß in ihm der Hochdrucksauerstoff für den Schneidstrahl nicht abgetrennt, sondern durch ein drittes Rohr mit eigenem Regelventil gesondert zugeführt wird. Brenner dieser Art kommen hauptsächlich für das Schneiden sehr dicker Werkstücke, für Unterwasser- und Maschinenschneidbrenner in Frage, allerdings mit konzentrischer, also zentraler Anordnung der Düsen (Abb. 275 I).

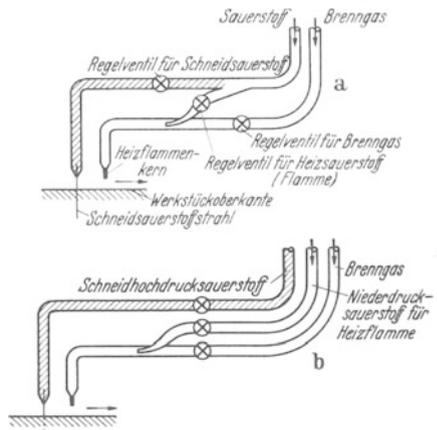


Abb. 273. Grundformen von Schneidbrennern.

Auf die Konstruktion übertragen, sieht beispielsweise ein Zweischlauch-Schneidbrenner grundsätzlich so aus wie es Abb. 274 zeigt. Brenngas und Sauerstoff werden dem teilweise im Schnitt, z. T. in der Ansicht gezeichneten Brenner getrennt zugeführt. Zur Aufnahme der Gasschläuche dienen, wie beim Schweißbrenner, Schlauchtüllen a und b, die am Handgriff c, der im vorliegenden Falle rechtwinklig zum Brennerschaft steht, befestigt sind. Die Brenngasmengen werden am Ventil e geregelt und strömen durch das Mischrohr i dem Brennerkopfe und der Heizdüse n zu.

Der Sauerstoffstrom wird bei h geteilt, bei f mengenmäßig geregelt über die in i befindliche Injektordüse ebenfalls zur Düse n und über das Ventil g durch das Rohr d in die in n zentral gelagerte Schneiddüse weitergeleitet. Zur Gleichhaltung des Abstandes zwischen Düsenmündung (n) und Werkstoffoberfläche und wegen der dringend erforderlichen Gleichmäßigkeit des Brennervorschubs, die beide für das Schnittausehen wichtig sind, ist ein Führungswagen o mit Rädchen p am Brennerkopf m angebracht. Die Rädchen, die auf dem Werkstück abrollen, nehmen gleichzeitig einen Teil des Brennergewichts auf und entlasten die Hand des Arbeiters.

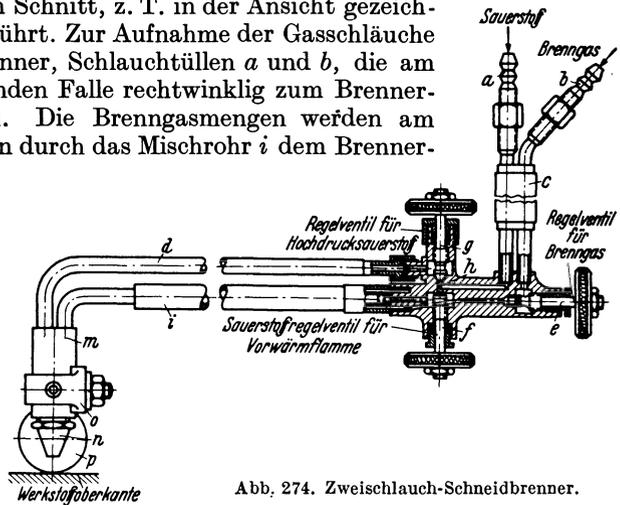


Abb. 274. Zweischlauch-Schneidbrenner.

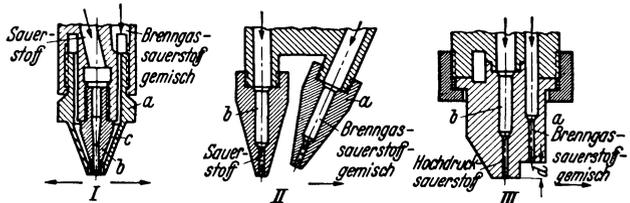


Abb. 275. Düsenanordnung der Schneidbrenner.

Düsenanordnung. Nach der Art der Düsenanordnung hat man laut Abb. 275 drei Schneidbrennerbauarten zu unterscheiden, und zwar

1. Brenner mit Ring- und Zentraldüse (*I*),
2. Brenner mit getrennten Düsen (*II*) und
3. Brenner mit Stufendüse (*III*).

Von diesen Bauarten ist die konzentrische (*I*) die heute weitaus üblichste, die beiden anderen sind exzentrisch, bei *II* getrennt und bei *III* zusammenhängend.

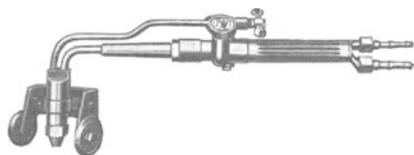


Abb. 276. Schneidbrenner mit auswechselbarem Schneideinsatz.

Ein hauptsächliches Unterscheidungsmerkmal der drei Düsenarten liegt darin, daß mit der Düse *I* in jeder beliebigen, mit den Düsen *II* und *III* jedoch nur in einer Richtung geschnitten werden kann, wie dies durch die Pfeile angedeutet ist (s. auch Abb. 273). Die Schneiddüse *b* der Skizze *I* befindet sich in der Mitte der Heizdüse *a*. Zwischen beiden wird ein vom Heizgasgemisch durchflossener Ringraum *c* gebildet, an dessen Mündung nicht eine normale Flamme von kreisförmigem, sondern eine solche von ringförmigem Querschnitt entsteht. Wie immer auch der Brenner geführt werden mag, es folgt der Sauerstoffstrahl einem zur Vorwärmung bestimmten Flammensausschnitt. Schneidmaschinen und Unterwasserschneidgeräte sind durchwegs mit dieser Düsenbauart versehen.

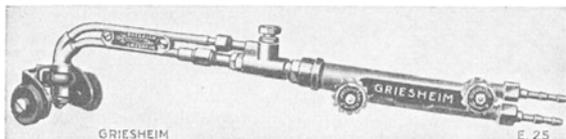


Abb. 277. Schneidbrenner, auch für Schweißzwecke geeignet.

Es ist selbstverständlich, daß die Größe der Heizdüse sowohl, wie die der Schneiddüse vor allem von der Dicke des zu schneidenden Werkstoffs und von dessen Oberflächenbeschaffenheit abhängt. Demnach müssen die Düsen auswechselbar sein und den Werkstoffdicken angepaßte Durchlässe haben. Den mit Nummern versehenen Düsenansätzen werden Tabellen für ihren jeweiligen Anwendungsbereich beigegeben.

Schneidbrennerarten. Die Unterteilung der Schneidbrennerarten ist jener für Schweißbrenner ähnlich; sie richtet sich nach folgenden Gesichtspunkten:

1. Nach der Art des Brenngases für die Vorwärmflamme. Es gibt Schneidbrenner für Azetylen, Wasserstoff, Leuchtgas, Methan, Benzol, Propan usw. Dabei können, wenn auch im beschränkten Umfange, bestimmte Vereinigungen zwischen z. B. Azetylen- und Wasserstoffbrennern bestehen.

2. Nach der Art der Düsenanordnung.

3. Nach der Brennergröße (Leistungsbereich). Kleinschneidgeräte für dünne Bleche; Normalgeräte für alle vorkommenden Arbeiten und Großschneidgeräte für ausgefallene dicke Werkstücke.

4. Nach der Art der Verwendung. Es gibt Schneidbrenner für Längsschnitte, Lochschneidbrenner, Nietkopfabstecher, Nietschaftausbrenner, Gußeisen- und Unterwasserschneidbrenner und Sonderbrenner (z. B. für die Feuerwehr).

5. Nach der Art der Führung. Handschneidgeräte, halbautomatische und automatische Schneidmaschinen.

Man unterscheidet außerdem zwischen Schneidbrennern als solchen und vereinigten Schneid- und Schweißbrennern. Erstere sind nur Schneidgeräte, häufig mit auswechselbarem Schneideinsatz für verschiedene Arbeiten (Arten 4),

immer aber mit austauschbaren Düsen ausgerüstet. Der Einsatz kann nach Abb. 276÷280 verschiedenen Verwendungszwecken dienen, der Handgriff bleibt derselbe. Bei den vereinigten Geräten ist der Handgriff so eingerichtet, daß neben den Schneideinsätzen auch Schweißensätze verschiedener Größe angebracht werden können. So zeigt z. B. Abb. 276 einen Schneidbrenner mit austauschbarem Schneideinsatz und Abb. 277 ein vereinigtes auch für Schweißzwecke geeignetes Gerät. Beide Ausführungen haben im Gegensatz zu Abb. 274 keinen senkrechten Handgriff. Gewünschtenfalls können Zwischenstücke hierfür vorgesehen werden. An den Griffen dieser Geräte (Abb. 276 und 277) können die in Abb. 278÷280 skizzierten Schneideinsätze angebracht werden.

Während kreisförmige Schnitte größerer Durchmesser mit jedem Schneidgerät dadurch geschnitten werden können, daß man am Führungswagen eine

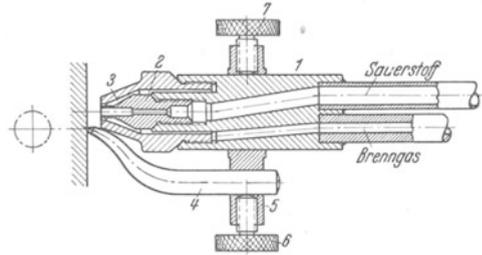


Abb. 278. Kopf eines Lochschneidbrenners.

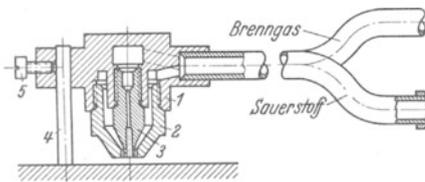


Abb. 279. Siederohr-Schneideinsatz.

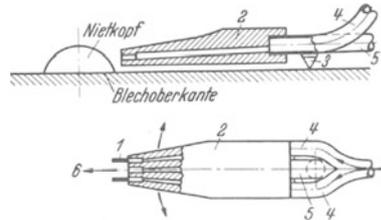


Abb. 280. Kopf eines Nietkopfabschneiders.

Zirkelstange mit verstellbarem Körner anbringt, macht das Schneiden kleinerer Lochdurchmesser besondere Einsätze erforderlich. Den Kopf eines Lochschneidbrenners dieser Art veranschaulicht Abb. 278. Die beiden Gaszuleitungsrohre münden in einen Brennerkopf 1, in dem die Düsen 2 und 3 axial zum Gerät stehen. In einem verschiebbaren Bolzenring 5, der durch Schraube 7 am Kopfe befestigt wird, ist ein in seiner Höhe und je nach Lochdurchmesser verstellbarer abgekröpfter Körner 4 angebracht und durch Schraube 6 gehalten.

Der Siederohr-Schneideinsatz Abb. 279 unterscheidet sich vom vorigen dadurch, daß die Düsen 2 und 3 im Kopfe 1 rechtwinklig zum Handgriff stehen. Der Stützzift 4, der eine Führung des Brenners mit gleichem Abstand im Rohrrinnen ermöglicht ist ebenfalls verstellbar und wird durch die Schraube 5 gehalten.

Den Kopf eines Nietkopfabschneiders zeigt Abb. 280. Der Schneidsauerstoff strömt durch das Rohr 5 der Schneiddüse 2 zu und bläst bei 6 in deren Mitte aus.

Das Heizgas-Sauerstoffgemisch wird in die Rohrgabel 4 eingeleitet und gelangt an den beiden Kanälen 1 zur Verbrennung. Die Führung des Geräts geschieht durch eine Körnerspitze 3, um die der Brennerkopf kreisförmig bewegt und knapp

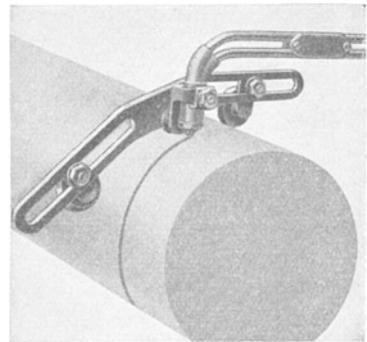


Abb. 281. Vorrichtung zum Wellenschneiden.

über der Blechoberfläche entlang geführt werden kann. Da nur der Nietkopf angewärmt wird, wird eine Beschädigung des Bleches beim Schneiden verhütet.

Schließlich veranschaulicht Abb. 281 eine Vorrichtung, die das Schneiden von Wellen von Hand wesentlich erleichtert. In einem doppelarmigen Kulissenbügel können zwei Führungsrädchen entsprechend dem Wellendurchmesser nach einer am Steg angebrachten Skala eingestellt und durch Muttern festgeklemmt werden. Die Vorrichtung läßt sich am Kopfe eines normalen Schneideinsatzes befestigen.

2. Die Schneidmaschinen.

Allgemeines. Schneidmaschinen bezwecken vor allem eine mechanische Führung des Brenners an Stelle der von Zufälligkeiten abhängigen unsicheren Führung von Hand. Dabei wird der Brenner entweder durch Drehen eines Handrades oder einer Kurbel zwangsläufig und gleichmäßig über ein Zahn-, Kegel- oder Schneckenradgetriebe bewegt oder auch elektromotorisch angetrieben. Solche Maschinen gibt es für die Ausführung von Längs-, Kurven-, Kreis-, Formstahl-, Rohr-, Wellen- und ähnlichen Schnitten, sowohl einzeln, als auch bis zu gewissen Grenzen in sog. Universalmaschinen zusammengefaßt.

Die Beschreibung der Einrichtungen solcher z. T. verwickelten Maschinenkonstruktionen und die Aufzählung aller ihrer Abarten würde hier viel zu weit

führen, weshalb nur das für das Verständnis der Arbeitsweise Wichtigste und auch nur die gangbarsten Maschinen kurz besprochen werden sollen.

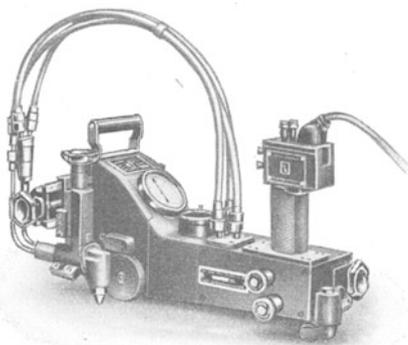


Abb. 282. Schneidmotor.

Sondermaschinen. Das Grundsätzliche der Maschinenkonstruktionen kann zweierlei Art sein: Entweder kommt das Werkstück zur Maschine oder umgekehrt. Letzteres trifft unter anderem bei den elektromotorisch getriebenen, von Hand oder auch motorisch geführten Handschneidgeräten der Abb. 282 und 283 zu. Diese Geräte sind als ein Übergang vom Hand- zum Maschinenschneidbrenner aufzufassen und haben sich hauptsächlich bei Schneidarbeiten an großflächigen Werkstücken

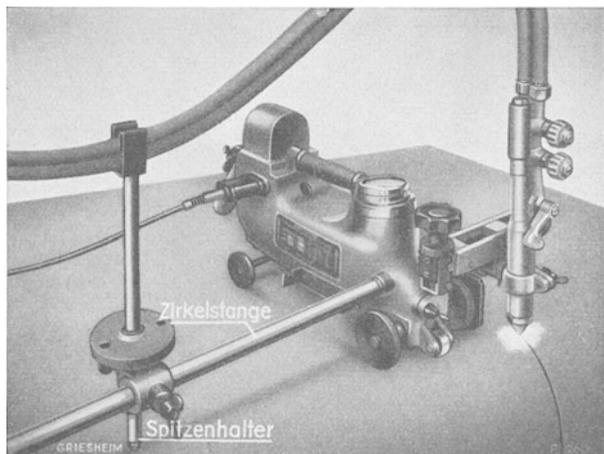


Abb. 283. Schneidmotor beim selbsttätigen Schneiden kreisförmiger Schnitte.

von 4÷100 mm Dicke sehr gut eingeführt. Der Schneidmotor ($\frac{1}{5}$ PS), wie das Gerät kurz genannt werden soll, wird an eine Steckdose angeschlossen,

hat Druckknopfsteuerung und geschlossene Bauart. Die stufenlose Regelung der Schnittgeschwindigkeit erfolgt durch einen eingebauten elektrischen Widerstand; das ebenfalls eingebaute Tachometer (Geschwindigkeitsmesser) zeigt diese unmittelbar in mm/min an. Ein Seitensupport trägt den Brenner, und eine Gehrungsskala erleichtert seine Einstellung bei Schrägschnitten. Abb. 282 zeigt

den Schneidmotor beim schablonenlosen Schneiden von Kurven. Der Motor bewegt das Gerät auf dem Werkstück mit der am Vorschaltwiderstand eingestellten Geschwindigkeit, und der Arbeiter hat lediglich das Gerät am Führungsriff so zu lenken, wie es dem Kurvenanriß auf dem Werkstück entspricht. Das gilt sowohl für Kurven mit kleineren wie mit größeren Krümmungen und besonders auch für die Einzelfertigung. Bei der Massenfertigung von Schnitten an schlanken Kurven kann der Schneidmotor auch an einer Schablone selbsttätig ablaufen, so daß sich die Führung von Hand erübrigt.

Gerad- und Schrägschnitte an Blechen lassen sich in jeder Länge völlig selbsttätig dadurch ausführen, daß man die Leitrollen des Geräts auf dem Schenkel einer als Führung dienenden und am Werkstück festgespannten Winkeleisen abrollen läßt. Einen Schneidmotor ähnlicher Bauart zeigt Abb. 283 beim selbsttätigen Schneiden kreisförmiger Schnitte.

Längsschneidmaschinen.

Sie dienen nur zur Ausführung von geraden und Gehrungslängsschnitten von bestimmter Länge und können sowohl von Hand als auch, wie Abb. 284 erkennen läßt, elektromotorisch angetrieben werden. Ein den Brenner tragender verstellbarer Quersupport wird durch eine Gewindespindel mit regelbarer Geschwindigkeit fortbewegt. Solche Maschinen werden normalerweise bis zu 500 mm Schnitttiefe gebaut.

Ähnlich arbeiten auch andere, allerdings meist von Hand bewegte Sondermaschinen, z. B. die sog. Profilstahlschneidmaschinen, die zum Ausklinken und Längs- und Quertrennen von Walzstahl (L, I usw.) verwendet werden.

Kreisschneidmaschinen (Abb. 285). Maschinen dieser Art werden heute vielfach durch den Schneidmotor (Abb. 282 und 283) oder durch Universalmaschinen ersetzt. Der Brenner der Maschine kann bei größeren Kreisdurchmesser um die mit einem Getriebe versehene Hauptsäule (rechts) und über beide Ausleger, bei kleinerem Durchmesser um die mittlere mit Zirkelstift ausgerüstete Säule und nur über den linken Ausleger gedreht werden. Ein im Kopfe der Mittelsäule

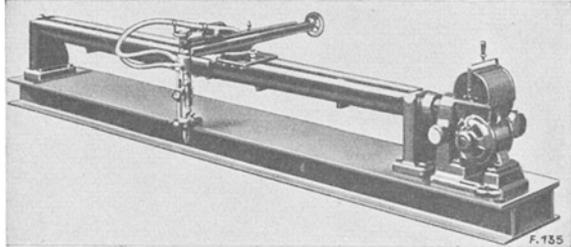


Abb. 284. Längsschneidmaschine.

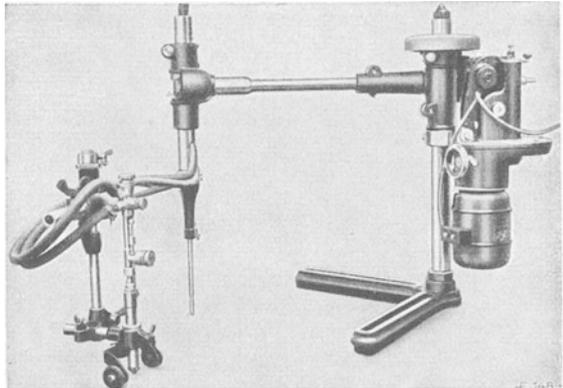


Abb. 285. Kreisschneidmaschine.

untergebrachtes Kegelradgetriebe wird durch Einrücken einer Kupplung betätigt. An Stelle des im Bilde dargestellten motorischen Antriebs kann auch Handradantrieb vorgesehen werden.

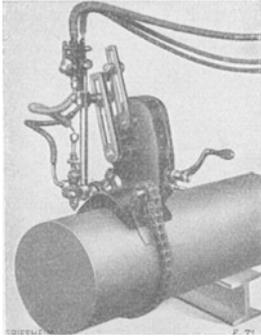


Abb. 286.
Wellenschneidmaschine.

Wellenschneidmaschinen. Die einzige ihrer Bauart zeigt Abb. 286. Sie gestattet die Ausführung sauberer und genauer Schnitte an Wellen. Durch zwei Kulissenführungen, deren Antrieb über Schneckenradgetriebe und Handkurbel erfolgt, wird der Brenner im gleichen Abstände von der Wellenoberfläche und in genau gleicher Richtung geführt. Um die Einstellung des Brenners senkrecht zur Wellenachse zu ermöglichen und verschiedene Wellendicken schneiden zu können, wird das Gerät mit einem Sattel aufgesetzt und mit Hilfe einer um die Welle gelegten Gelenkkette festgespannt. An einer Skala wird der zu schneidende Wellendurchmesser eingestellt; das übrige besorgt das Gerät.

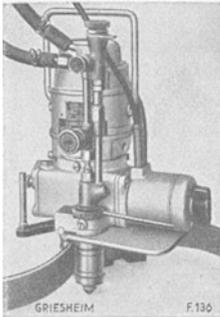


Abb. 287.
Kleinschneidmaschine für
Schablونسchnitte.

Schablونسchneidmaschinen. Während die Schneidmotore hauptsächlich auch als Handschneidgeräte verwendbar sind, ist die in Abb. 287 veranschaulichte Kleinschneidmaschine nur für Schablونسchnitte (an bis zu 100 mm Werkstoffdicke und für kleinste Radien bis zu 50 mm) bestimmt. Ihre Schnittlänge ist unbegrenzt. Wie Abb. 287 zeigt, läuft die Maschine an einer Hochkantschablone selbsttätig ab, wobei die über ein vierstufiges Schaltgetriebe bewegte Führungsrolle durch eine Gegendruckrolle an die Schablone angepreßt wird. Auch andere Maschinen ähnlicher Bauart dienen insbesondere der Herstellung von Schablونسchnitten in Schiffs-, Kessel- und Stahlbauanstalten zum Ausschneiden ausbesserungsbedürftiger Straßenbahn-Rillenschienen usw.

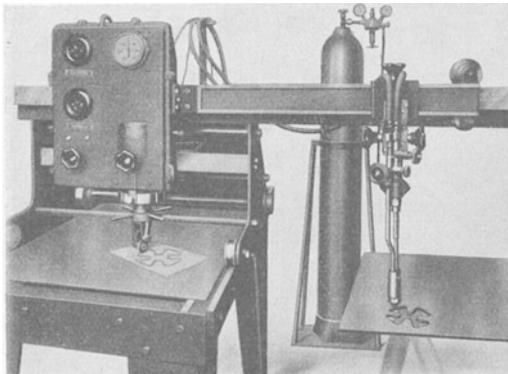
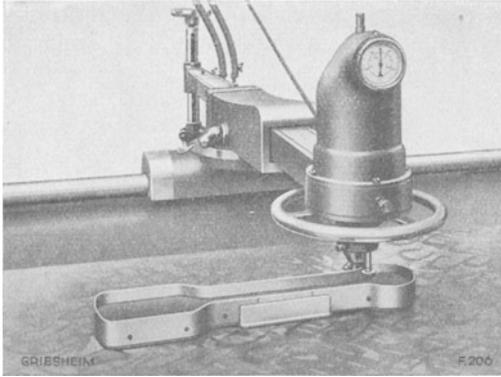


Abb. 288. Universalschneidmaschine.

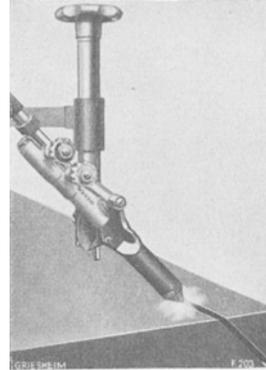
Universalschneidmaschinen. Diese werden in verschiedenen Größen als Klein- und Großmaschinen für bestimmte Arbeitsbereiche und Werkstoffdicken gebaut und alle elektromotorisch angetrieben. Auf solchen Maschinen können beliebige Form-, Winkel-, Gerad-, Stemmkanten- und Kreisschnitte ausgeführt werden. Die Steuerung der Führungsrollen (Lauf- oder Leitrollen) erfolgt entweder von Hand nach Anriß des Werkstücks oder nach Zeichnung (Einzelfertigung), oder mechanisch nach Schablone (Massenfertigung).

Eine hauptsächlich auch für kleine und mittlere Betriebe bestimmte Universalmaschine veranschaulicht Abb. 288. Auf einem Tisch ist ein Schaltkasten mit Laufrolle in der Längs- und Querrichtung beweglich angeordnet. Im Schalt-

kasten sind eingebaut: ein Elektromotor, dessen Schalter und Drehrichtungsschalter (für Vor- und Rücklauf), ein Regelwiderstand für die Brennevorschubgeschwindigkeit, das Getriebe, ein Tachometer usw., so daß alle Schalt- und Bedienungsgriffe örtlich und leicht übersichtlich zusammengefaßt sind. Mit dem Schaltkasten fest verbunden ist ein am Auslegearm aufgehängter auf Rollen



a



b

Abb. 289 a und b. Universalschneidmaschine.

laufender Querwagen, der das Schneidgerät mit seinen Einrichtungen für die Höhenverstellung und alle Gasregelventile trägt. Das Bild zeigt die Maschine im Zustande der Einstellung auf Zeichnungsschnitte. Die Zeichnung wird, um ihrer Beschädigung vorzubeugen, unter eine durchsichtige Platte auf den Tisch des Maschinengestells gelegt, und, zur besseren Sicht auch in schlechtbeleuchteten

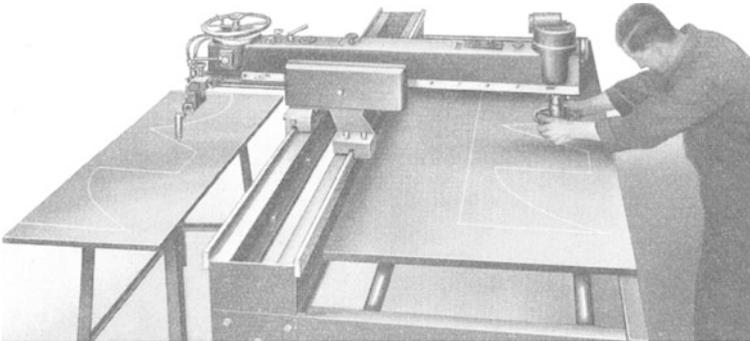


Abb. 290. Schwere Universalschneidmaschine mit Querwagen.

Räumen, elektrisch beleuchtet. Die motorisch angetriebene Laufrolle wird an dem darüber befindlichen Kreuzgriff von Hand an den Umrissen der Zeichnung entlang geführt und die Bewegung auf den Schneidbrenner übertragen. Bei Schablونسchnitten wird die Auflagetafel abgenommen und die Schablone auf hierfür vorgesehenen Einrichtungen festgespannt; die Laufrolle wird durch Führungsrollen ersetzt. Abb. 289a zeigt den Querwagen einer Maschine anderer Bauart auf maschinellen Schablونسchnitt eingestellt, veranschaulicht Abb. 289b. das Schneidgerät derselben Maschine, auf Gehrungsschnitt eingestellt, veranschaulicht Abb. 289b.

Eine mit Querwagen ausgestattete schwerere Universalmaschine, deren Betätigung durch das im Bilde ganz links sichtbare Lenkrad erfolgt, bringt

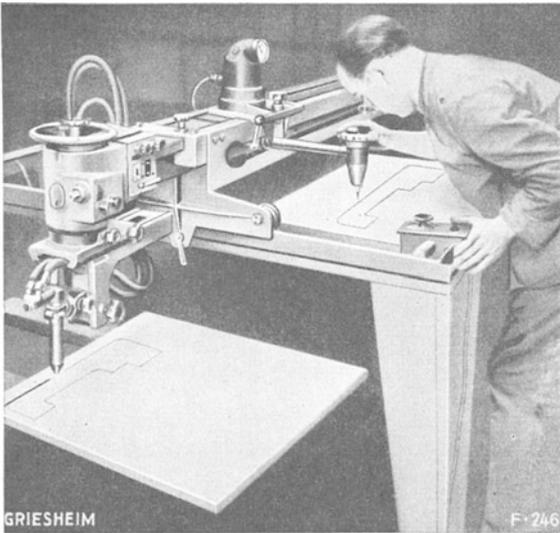


Abb. 291. Großschneidmaschine mit Kreuzwagen.

Abb. 290. Die Schalter und Regelgeräte sind im Gehäuse des Wagens untergebracht. Im Bilde ist die Maschine nicht auf Werkstückanriß, sondern auf Zeichnungsschnitt eingestellt, so daß die Steuerung nicht am Lenkrade, sondern am Handrade der Laufrolle erfolgt.

Großmaschinen. Sie sind für Gerad-, Schräg-, Rund-, Form-, Hand- und Schablonenschnitte, und zwar für mittlere und größere Betriebe bestimmt. So zeigt als Beispiel Abb. 291 eine Maschine mit Kreuzwagen, eingestellt auf Schablonenschnitt. Das Maschinengestell kann beliebig lang gewählt und deshalb für alle praktisch notwendigen Längsschnitte ein-

gerichtet werden. An Stelle von Flacheisenschablonen kommen solche aus Blech zur Verwendung, an deren Rändern eine Magnetrolle von auswechselbarer

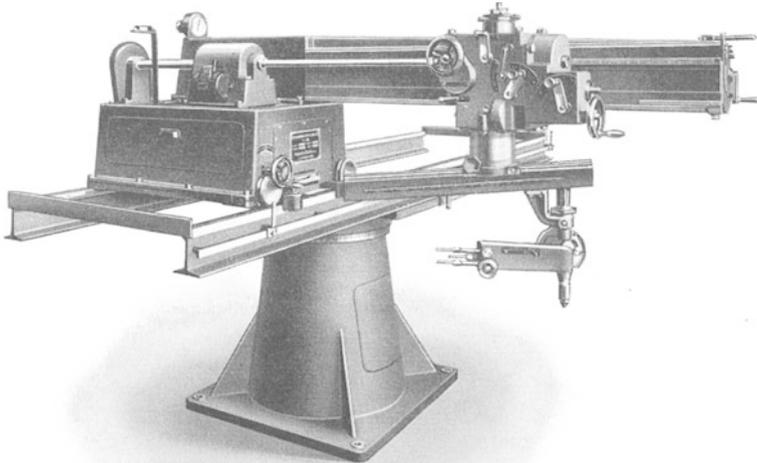


Abb. 292. Großschneidmaschine mit Drehtisch.

Größe abrollt. Die Rolle wird also nicht mechanisch angedrückt, sondern magnetisch angezogen und über ein regelbares Getriebe bewegt.

Die Entwicklung der Schneidmaschinen zur vollkommenen Werkzeugmaschine geht aus Abb. 292 hervor. Diese Maschine wird entweder mit einem normalen Gestell oder, wie die Abbildung zeigt, mit einem Drehtisch geliefert. Alle Bewegungen der Maschine, wie Längs-, Quer- und Rundbewegung, Schablonenführung und Schnittgeschwindigkeit sind im Vor- und Rücklauf unabhängig von einander und auch selbsttätig schaltbar. Dadurch können häufig vorkommende Formschnitte ohne Schablone ausgeführt werden.

C. Die Technik des Brennschneidens.

1. Allgemeines.

Heizgas. Da die Schneidbrennerflamme den Werkstoff lediglich auf seine Entzündungstemperatur zu erhitzen und nicht zu schmelzen hat, sind die beim Schweißen wichtigen Gesichtspunkte hinsichtlich der metallurgischen Eignung der Brenngase hier ohne Bedeutung. Ursprünglich wurde nur Wasserstoff für Schneidzwecke benutzt, und erst später folgten Azetylen und die anderen Heizgase. Heute wird bis zu 500 mm Dicke vorwiegend mit Azetylen geschnitten, weshalb, wenn nicht anders betont, von diesem im folgenden ausschließlich die Rede ist. Beim Schneiden dicker Werkstücke und beim Unterwasserschneiden wird hauptsächlich Wasserstoff als Heizgas verwendet, doch hat sich für das Unterwasserschneiden auch Benzol als gut geeignet erwiesen. Der Anwendungsbereich des Benzols liegt etwa bei jenem des Azetylens. Leuchtgas ist jedoch nur für Schnitte bis zu 150 mm Dicke einwandfrei verwendbar. Dickere Werkstoffe verlangen erhöhten Druck. So sind mit Leuchtgas von 0,4 atü noch Schnitte von etwa 500 mm Tiefe durchführbar. Die Fugenbreite beträgt dabei etwa 10 mm. Schneidmaschinen sind meist so eingerichtet, daß ihr Schneidgerät für verschiedene Brenngase, z. B. für Azetylen, Wasserstoff oder Leuchtgas ausgewechselt werden kann und die örtlichen betrieblichen Verhältnisse Berücksichtigung finden.

Der Einfluß des Heizwertes der Gase auf die Schnittgeschwindigkeit ist unerheblich. Zwar wird sie z. B. bei Wasserstoff und im höheren Maße bei Leuchtgas besonders durch die längere Vorheizzeit vor Beginn des Schneidens verzögert, doch wirkt sie sich im Verlaufe des Schneidvorganges gegenüber dem Azetylen mit dem höchsten Heizwert nur wenig unterschiedlich aus. Auch die Sauberkeit der Schnittflächen und ihre metallurgische Veränderung wird, richtige Vorschubgeschwindigkeit vorausgesetzt, durch die Art des Brenngases nur wenig beeinflußt.

Handhabung der Schneideinrichtung. Bezüglich der Handhabung und Behandlung der Gasquellen, Ventile und Brenner kann im allgemeinen auf das in den entsprechenden Abschnitten unter „Schweißen“ Gesagte verwiesen werden. Im besonderen sei noch folgendes hervorgehoben:

1. Bei Inbetriebsetzung des Schneidbrenners wird zunächst die Flamme in bekannter Weise eingestellt, darauf das Schneidsauerstoffventil kurz geöffnet, die Flamme scharf eingeregelt und das Ventil für den Schneidsauerstoff sofort wieder geschlossen.

2. Die Flamme wird an den Ausgangspunkt der zu schneidenden Stelle herangeführt, und bei eintretender Weißglut wird das Schneidsauerstoffventil geöffnet.

3. Der Schnitt soll möglichst an einer Kante des Werkstoffs eingeleitet werden. Muß der Schnitt auf der Fläche beginnen (Ausschnitte), so wird zweckmäßig ein Loch gebohrt, von dessen Rande aus das Schneiden einsetzt.

4. Die Schneiddüse muß je nach Dicke des Werkstoffs bis auf 3 mm an dessen Oberfläche herangeführt werden, damit der Sauerstoffstrahl möglichst wirksam

ist und neben schmalen auch saubere Schnittfugen entstehen. Der Abstand wird durch den Führungswagen, beim Maschinenschnitt selbsttätig gleichmäßig gehalten. Er soll bis zu 50 mm Blechdicke zwischen 3 und 5 mm, zwischen 50 bis 150 mm etwa 5÷8 mm, darüber hinaus 8 bis höchstens 10 mm betragen.

5. Der Brenner wird zu Beginn des Schneidens solange auf eine Stelle gehalten, bis der Sauerstoffstrahl die gesamte Blechdicke durchschlagen hat.

6. Der Schneidbrenner muß gleichmäßig mit richtiger Vorschubgeschwindigkeit und darf nie ruckweise oder rückwärts bewegt werden. Andernfalls werden die Schnittflächen furchig und unsauber, und der Schneidvorgang erfährt Unterbrechungen.

7. Bei Unterbrechungen des Schneidvorganges, die, wenn Werkstofffehler nicht vorliegen, bei einiger Übung nicht vorkommen, sowie bei Beendigung des Schnittes, ist der Sauerstoffstrahl sofort abzustellen. Unterbrochene Schnittstellen sind abermals anzuwärmen, und es ist so zu verfahren wie beim Schnittbeginn.

8. Zu große Heizflammen beschleunigen den Schneidvorgang, wie oft irrtümlich angenommen wird, nicht. Im Gegenteil, sie haben unsaubere, häufig angeschmolzene Schnittkanten zur Folge. Die Flamme soll nur so groß bemessen sein, wie zur ausreichenden Erwärmung der Schnittkanten erforderlich ist. Auch ein zu hoher Sauerstoffdruck ist nachteilig. Man richte sich, sowohl was die Gasmengen- und Druckverhältnisse anbelangt, als auch hinsichtlich der Schnittgeschwindigkeit nach den Düsennummern und den mitgelieferten Tabellen der Firmen.

9. Unsaubere Düsen bewirken unsaubere Schnittflächen und Flammerrückschlag. Bei einem solchen verhält man sich wie beim Schweißbrenner (sofort absperren, gegebenenfalls kühlen).

2. Die Ausführung von Schneidarbeiten.

Blech- und Formschnitte. Unter Punkt 3 des vorigen Abschnitts wurde auf den Schnittbeginn an einer Werkstoffkante hingewiesen. Die folgenden Skizzen veranschaulichen dies. Angenommen aus der Blechtafel Abb. 293, von beliebiger Größe und Dicke, soll ein Stück a oder b mit Gerad- oder Schrägschnitt herausgeschnitten werden. Dann beginnt man mit dem Schnitt an einer der Kanten 1 oder 2 und bewegt den Brenner in der Pfeilrichtung, nachdem die Erhitzung auf Weißglut und das Durchschlagen des Sauerstoffstrahls auf der Gegenseite abgewartet wurde. Es ist dies die einfachste Art des Schnittansatzes.



Abb. 293. Schnittbeginn bei Blechschnitten.

Soll jedoch ein beliebig geformter Schnitt auf der Blechfläche, also nicht am Rande beginnen, so geht man nach Abb. 294 vor. Wird c benötigt und ist d Abfall, so wird z. B. bei e , am Rande des Schnittes je nach Blechdicke ein 5- bis 15 mm-Loch gebohrt und an dessen anliegendem Rande der Schnitt in Richtung 3 oder 4 begonnen. Dabei liegt natürlich das Loch nach der Seite des Anrisses hin, die abfällt. Wird umgekehrt d gebraucht und ist c Abfall, dann kann der Schnitt bei 5 oder 6 im Abfallstück beginnen. Andere Schnittfolgen werden sinngemäß gewählt.

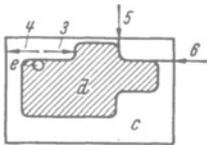


Abb. 294. Schnittbeginn innerhalb der Blechfläche.

Bei längeren von Hand auszuführenden Gerade- oder Schrägschnitten empfiehlt es sich zur gleichmäßigen Führung ein Stahllineal parallel der Schnittlinie flach

aufzuspannen und an dessen Kante eines der Rädchen des Brennerwagens entlangzuführen.

In Abb. 295 ist eine Gruppe maschinell geschnittener Bleche von 20÷40 mm Dicke zusammengestellt. Es handelt sich um einen Lokomotivrahmen und um verschiedene Teile, die alle von einer Werkstoffkante ausgehend geschnitten werden konnten. Das gilt auch für den äußeren Formschnitt des aus Abb. 296 ersichtlichen Pleuelkopfes, während die beiden Ausschnitte, wie die dazugehörigen Abfallstücke zeigen, je ein Loch für den Schnittbeginn haben. Außerdem sind an den Schnittträgern die Körnereinschläge (Anriß mit Kreide genügt nicht!) zu erkennen, die für die hier notwendige Bearbeitung der Schnittflächen durch spanabhebende Werkzeuge stehenbleiben müssen und nicht mit angeschnitten werden dürfen.

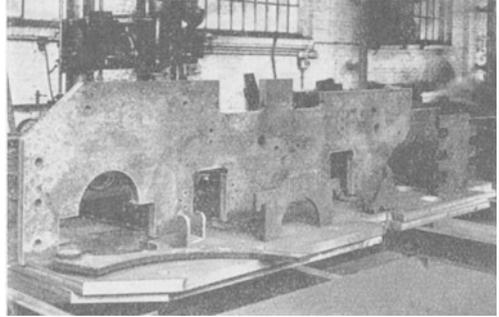


Abb. 295. Schnitt eines Lokomotivrahmens.

Die Schnittfugenbreite wächst mit der Blechdicke. Sie hängt außerdem ab: vom Sauerstoffdruck, von der Flammengröße, der Düsenbohrung, dem Werkstoff usw. und beträgt zwischen 1,5 und 15 mm. Z. B. beträgt die Schnittbreite bei einem Blech von 20 mm Dicke 1,5÷2 mm, bei 20÷50 mm zwischen 2 und 3 mm, bei 50÷100 mm etwa 3÷5 mm usw. Je dicker der Werkstoff, um so schwieriger ist es, die oberen Schnittkanten scharfkantig zu erhalten.

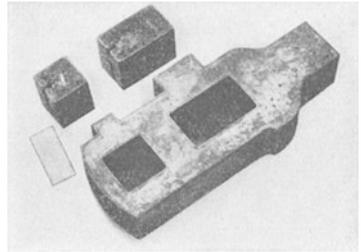


Abb. 296. Schnitt eines Pleuelkopfes.

Ähnlich, wie bisher geschildert, verläuft die Arbeitsdurchführung beim Ausschneiden von Kröpfungen an Kurbelwellen, wie zwei solche von 150 mm Dicke in Abb. 297 wiedergegeben sind. Dabei muß, um einer oft anzutreffenden falschen Meinung zu begegnen, darauf hingewiesen werden, daß alle Schnitte die gesamte Werkstoffdicke erfassen müssen und daß das Schneiden auf nur bestimmte Tiefen nicht möglich ist. Die im Vordergrund der Abb. 297 liegende Kurbelwelle ist demnach von oben nach unten, aber nicht etwa von der Seite ausgeschnitten worden.



Abb. 297. Schnitte an Kurbelwellen.

In diesem Zusammenhang ergibt sich noch die Frage, ob nur einzelne oder auch mehrere aufeinandergelegte Bleche gleichzeitig schneidbar sind. Das paketweise Schneiden von Blechen ist nur dann möglich, wenn der Schnitt am Rand einsetzen kann und wenn die Bleche gut, d. h. satt aufeinanderliegen, bzw. wenn ihr Eigengewicht nicht ausreicht, fest aufeinandergepreßt werden. Das Durchschlagen des Blechbündels

mit dem Sauerstoffstrahl ist ausgeschlossen. Jeder Luftspalt und jede Fremdkörperschicht, z. B. Rost, Farbe, Fett usw. zwischen den Blechen behindern das Schneiden empfindlich. Desgleichen sollten Pakete aus Blechen unter 5 mm Einzeldicke nicht geschnitten werden, weil sich infolge des Verziehens der Bleche der Sauerstoffstrom zwischen diesen fängt, Löcher entstehen und die Bleche unbrauchbar werden. Jedoch lassen sich z. B. Pakete aus 4 oder 5 Blechen von 10 mm Dicke unter Berücksichtigung des Gesagten zuverlässig schneiden.

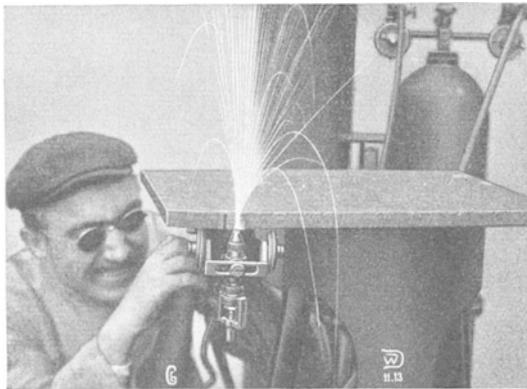


Abb. 298. Überkopfschneiden.

Das Bedürfnis, auch in anderer Richtung als senkrecht zu schneiden, liegt meist bei Abbrucharbeiten, allerdings auch in der Fertigung dann vor, wenn z. B. Aussparungen wie Mann- oder Stutzenlöcher in Behältern oder Kesseln angebracht werden sollen oder auch Gießtrichter an Stahlgußkörpern zu entfernen sind. Nach Möglichkeit wird man größere Abweichungen von der Senkrechten umgehen, da der vom Sauerstoffstrahl auszuschleudernde flüssige Abbrand, wenn er

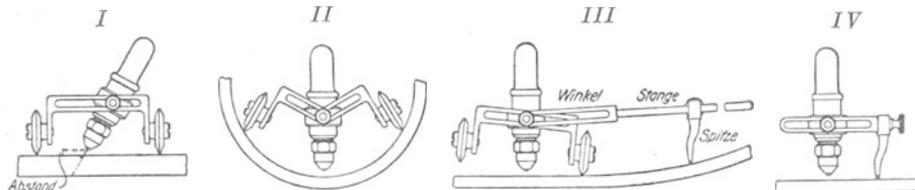


Abb. 299. Führungswagen mit Schlitzverstellung oder zweiteilig.

nicht von selbst abfließen kann, einen zu hohen Widerstand bildet und die Brennerflamme leicht zurückschlägt. Außerdem werden die Schnitte unsauber. Bei Überkopfschnitten liegt die Grenze der Schneidbarkeit praktisch bei etwa 30 mm Blechdicke, bei Stahlgußtrichtern, wo es auf saubere Schnittflächen weniger ankommt, bei etwa 150 mm. Abb. 298 zeigt das Überkopfschneiden an einem Blech von 25 mm Dicke.

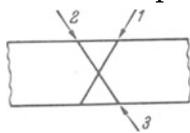


Abb. 300. Schnitte zur Vorbereitung der X-Nahtschweißung.

Sehr angebracht erscheint für die verschiedenartigsten Arbeitsmöglichkeiten ein Führungswagen mit Schlitzverstellung und der zweiteilige Wagen. Abb. 299 zeigt bei I den Brenner in Schrägstellung für Gehrungsschnitte, bei II den Brenner mit zweiteiligem Wagen für Arbeiten in Hohlkörpern, bei III die Zirkelstangenvorrichtung für Kreisschnitte und bei IV das Schneiden kleiner Kreise.

Mit der wachsenden Blechdicke stieg auch die Anwendung der X-Nahtschweißung, sowohl autogen wie elektrisch. Die Vorbereitung der Schweißfugen erfolgte im allgemeinen so, daß man, wie Abb. 300 grundsätzlich andeutet, zunächst einen Schrägschnitt 1 durch die gesamte Blechdicke ausführte und darauf nach Umlegen der Bleche die beiden Hälften nochmals bei 2 und 3 abschnitt. Zur

Beschleunigung und Erleichterung der Arbeit benutzt man neuerdings besondere Gehrungs-Doppelschneidbrenner, deren Einrichtung Abb. 301 erkennen läßt. Die beiden Brennerköpfe werden im gewünschten Schnittwinkel eingestellt und sind, von oben gesehen, um einige Millimeter zueinander versetzt, da, in einer Ebene eingestellt, das Zusammentreffen der Schneidstrahlen eine starke Wirbelbildung verursacht, die den Schneidvorgang behindert. Das Gerät gestattet die x-förmige Trennfuge in einem Arbeitsgange herzustellen.

Formstahl- und Rohrschnitte. Alles für das Schneiden an Blechen Gesagte gilt sinngemäß auch für Formstahlschnitte. Hierbei ist allerdings meist ein mehrmaliger Schnittansatz erforderlich, und zwar so oft, wie Schenkel, Flanschen und Stege vorhanden sind. So benötigen z. B. die in Abb. 302 skizzierten Walzstähle zweimaligen Schnittansatz, wenn es sich um Winkel-, und dreimaligen Ansatz, wenn es sich um \perp - oder Γ -Eisen handelt.

Auch das Rund- und Längsschneiden an Rohren macht keine besonderen Schwierigkeiten (s. auch Abb. 299 II), wenn auch bei Längsschnitten, ähnlich wie beim Schneiden von Formstahl, eine Federung infolge Dehnung und Eigenspannung des Werkstücks eintritt. Beim Rundschneiden dünner Rohrwandungen (bis zu 5 mm) kann der Schnitt meist auf der Wandungsfläche beginnen, dickere Rohre werden an der Ansatzstelle in bekannter Weise angebohrt.

Mitunter gibt es Schneidarbeiten, die zweckmäßig auf einer Drehbank ausgeführt werden. Der Brenner wird in den Support eingespannt und das Werkstück in die Planscheibe. Auf diese Weise sind die aus einem Stahlrohr ausgeschnittenen Spiralfedern (Abb. 303) entstanden.

Schwieriger ist das Wellenschneiden, besonders mit wachsendem Wellendurchmesser. Erleichtert wird die Arbeit durch das in Abb. 281 gezeigte einfache Hilfsgerät für Handschnitte und noch mehr durch den Wellenschneider der Abb. 286. Da die Welle keine Kante für den Schnittansatz darbietet, ist das Hilfsmittel zweckmäßig, eine künstliche Kante dadurch herzustellen, daß man mit dem Kreuzmeißel eine Kerbe in die Oberfläche einschlägt, woran der Schneidvorgang eingeleitet wird.

Sauerstoff-Hobler. Zur Beseitigung von Rissen, Einschlüssen, Schalen und anderen Oberflächenfehlstellen an Stahlblöcken und Brammen benutzt man als Ersatz für Preßluftmeißel sog. Sauerstoff-Hobler, eine baulich schwerere Abart des Handschneidgeräts. Abb. 304 zeigt die Anwendung beim Kerbrillenschneiden an einem Stahlblock. Größere Fehlstellen werden durch mehrere neben- oder übereinander-

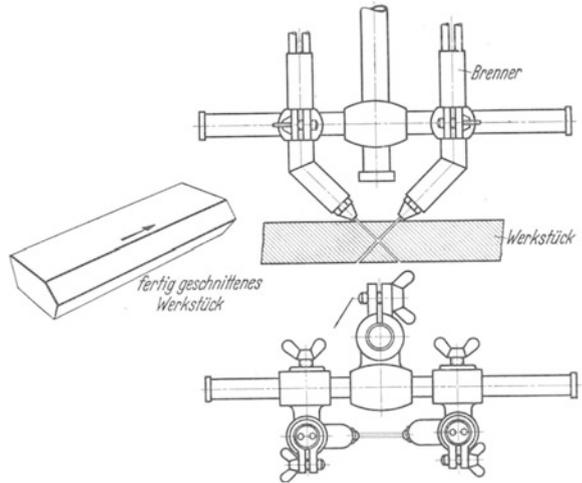


Abb. 301. Gehrungs-Doppelschneidbrenner.

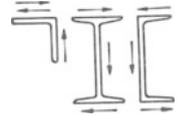


Abb. 302. Formstahlschnitte.

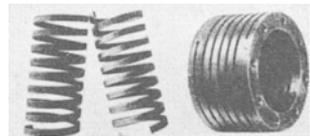


Abb. 303. Aus einem Stahlrohr ausgeschnittene Spiralfedern.

liegende Kerbrillen beseitigt. Die Arbeitsgeschwindigkeit beträgt $3\div 6$ m/min, wobei es vorteilhaft ist an warmen Blöcken zu schneiden. Längere Risse an kalten Blöcken werden durch mehrmaliges Bestreichen mit der Flamme des Gerätes etwas vorgewärmt.

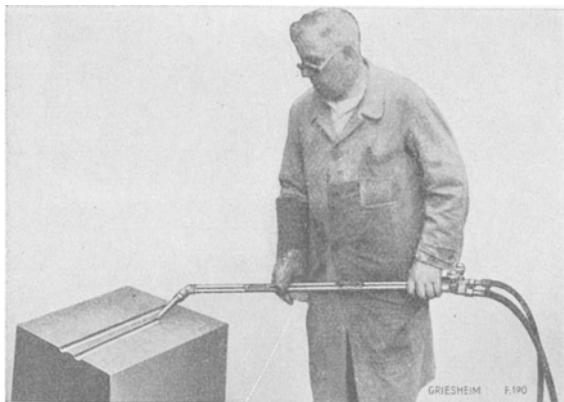


Abb. 304. Schneiden von Kerbrillen an einem Stahlblock mit dem Sauerstoffhobler.

geschützte getrennt worden; hierbei mußte der z. T. großen Werkstoffdicken wegen mit besonders großen Brennern gearbeitet werden. Beim Zerschneiden von Schiffen ist es infolge der mitunter außerordentlich dicken Farbanstriche der Schiffswandungen öfters zu Bleivergiftungen gekommen. Dies ist darauf zurückzuführen, daß sich Mennige oberhalb 570° in Bleioxyd und Sauerstoff zersetzt und bei höherer Temperatur verdampft und verflüchtigt. Daher muß der Anstrich vor dem Zerschneiden längs der Schnittlinie in genügender Breite entfernt werden. Der Arbeiter soll überdies möglichst im Freien, nicht im Schiffsinnenen, arbeiten, und am besten so, daß ihm der Wind im Rücken steht und etwa entstehende Bleidämpfe von ihm wegtreibt. Im Notfall ist ein Respirator (Atmungsmaske) als Schutzmittel zu benutzen.

3. Abhängigkeit des Schneidvorgangs von verschiedenen Bedingungen.

Die Anzahl der Faktoren, die den Schneidvorgang mehr oder weniger beeinflussen, ist außerordentlich groß. Es ist deshalb im Rahmen dieses Buches nicht möglich, auf alle Punkte einzugehen, die damit im Zusammenhange stehen. Nur das Wichtigste kann hier gebracht werden. Im übrigen muß auf das Sonderschrifttum über Brennschneiden verwiesen werden¹.

Einfluß der chemischen Beschaffenheit des Werkstoffs. Daß zunächst einmal die Eigenschaften und die Zusammensetzung des Werkstoffs selbst den Schneidvorgang maßgeblich beeinflussen ist selbstverständlich. Im Abschnitt V A sind die hauptsächlichsten Bedingungen für die Schneidbarkeit eines Baustoffs aufgezählt worden. Danach sind fast alle Baustähle (St 37, St 42, St 52 usw.) schneidbar. Ausschlaggebend ist vor allem der Gehalt an Kohlenstoff, mit dessen

¹ Die Ergebnisse grundlegender und umfassender Untersuchungen auf diesem Gebiete, die im Forschungslaboratorium des Werkes Autogen der I.G. Farbenindustrie durchgeführt wurden, sind in der Schrift „Das autogene Schneiden von Baustählen und von legierten Stählen“ zusammengefaßt.

Zunahme die Schneidbarkeit stark abnimmt. Im folgenden ist aus diesem Grunde der Einfluß anderer Legierungselemente auf die Schneidbarkeit stets in Abhängigkeit vom Kohlenstoffgehalt angegeben.

1. Kohlenstoff. Die Grenze für die Kaltschneidbarkeit liegt nach Wüst bei 2 vH C. Darüber hinaus, bis zur Höchstgrenze von 2,5 vH C, muß der zu schneidende Körper auf Rotglut vorgewärmt werden. Der Mangel an Schneidbarkeit wird durch die Gegenwart von Eisenkarbid (Zementit) und Graphit bedingt.

2. Mangan. Reines Mangan und Manganstähle mit bis zu 1,3 vH C, auch der austenitische mit 13 vH Mn und 1,3 vH C, sind hervorragend schneidbar. Mangan fördert die Schneidbarkeit.

3. Silizium. Stähle mit bis zu 2,5 vH Si sind sauber schneidbar, wenn unter 0,2 vH Kohlenstoffgehalt vorliegt. Bei höherem Gehalt an C und Si keine Schneidbarkeit. Deshalb sind auch hochprozentige Silizium-Gußlegierungen (über 12 vH Si), wie Thermisilid und Duracid, nicht schneidbar.

4. Chrom. Während Stähle mit bis zu 1,5 vH Cr schneidbar sind, trifft dies für rostfreie Chromstähle mit 0÷10 vH Ni nicht zu.

5. Nickel. Alle Nickelstähle mit bis zu 7 vH Ni sind gut schneidbar, höher legierte Stähle (bis 35 vH Ni) nur dann, wenn nicht mehr als 0,3 vH C vorhanden ist. Nickel selbst kann nicht geschnitten werden.

6. Kupfer. Das Metall selbst ist, wie bereits betont, nicht, aber Stähle mit bis 0,3 vH Cu sind wie gewöhnlicher Stahl schneidbar.

7. Molybdän. Ein Stahl mit 8 vH W, 1,4 vH Cr, 1 vH C und 5,5 vH Mo ist nicht schneidbar; fehlt Mo, dann schneidbar. Molybdän hemmt die Schneidbarkeit sehr.

8. Wolfram. Wolframstähle (bis 5 vH Cr, 0,2 vH Si, bis 0,8 vH C) sind gut schneidbar, wenn nicht mehr als 10 vH W vorhanden ist. Oberhalb 20 vH W hört die Schneidbarkeit auf.

9. Aluminium. Das Metall selbst und ebenfalls Alunitstähle (10÷15 vH Al) sind nicht schneidbar. Alitierte Stähle sind je nach Al-Schichtdicke leicht, schwer oder gar nicht schneidbar.

10. Phosphor beeinflusst die Schneidbarkeit nur wenig. Selbst Phosphorstahl mit 2 vH P ist nach Wüst noch gut schneidbar.

11. Schwefel in den in technischen Stahlsorten vorkommenden Mengen verschlechtert die Schneidbarkeit nicht.

Zusammenfassend können die Grenzgebiete für die Schneidbarkeit von legiertem Stahl wie folgt festgelegt werden: Wenn nicht mehr als 0,2 vH C vorhanden, liegt die Anwendbarkeit des Brennschneidens — von den oben angeführten Einzelheiten abgesehen — für legierte Stähle bei 5 vH Cr, 35 vH Ni, 10 vH W und 3 vH Si. — Schnelldrehstähle sind nicht schneidbar.

Einfluß der physikalischen Beschaffenheit des Werkstoffs. Unsaubere Blechoberflächen, Rost, Farbüberzüge, Narben, Dopplungen, Lunker usw. ergeben unsaubere Schnitte und setzen die Schnittgeschwindigkeit herab; meist sind größere Flammen und erhöhter Sauerstoffdruck erforderlich. Schlackeneinschlüsse oder sonstige mechanische Verunreinigungen im Werkstoff führen zu Schnittunterbrechungen, da sie nicht verbrennen und stets ein Hindernis darstellen. Bei größeren Schlackeneinschlüssen oder Lunkern müssen die anteiligen Stellen mechanisch getrennt werden. Auch sonst nicht feststellbare Dopplungen werden beim Brennschneiden sofort erkannt, weil der Sauerstoffstrahl nicht durchschlägt, sondern in der oberen Blechlage starke Anschmelzungen und Lochbildung verursacht.

Einfluß des Sauerstoffs. Der Druck des Schneidsauerstoffs soll nicht höher als notwendig sein; durch Drucksteigerung wird die Schnittgeschwindigkeit nur bis zu einer bestimmten Grenze erhöht, um dann wieder abzunehmen. Diese Erscheinung ist darauf zurückzuführen, daß ein Überschuß an Sauerstoff sich praktisch am Schneidvorgang nicht mehr beteiligen kann, sondern infolge erhöhter Entspannungskälte eine Verzögerung verursacht. Außerdem ergibt ein Sauerstoffüberschuß breitere Schnittfugen und furchige Schnittflächen. Jedes Mehr bedeutet Unwirtschaftlichkeit. Der Druck richtet sich in erster Linie nach der Werkstoffdicke, ferner nach der Düsenbohrung u. a. Druck- und Bohrungsverhältnisse sind aus Tabelle 16 zu ersehen. So benötigen z. B. ein 10 mm-Blech $2 \div 3$ at, 30 mm $3 \div 4$ at, 100 mm $6 \div 8$ at usw. Natürlich steigt der Verbrauch an Sauerstoff mit dessen Druck. Die Druckeinstellung erfolgt, um es zu wiederholen, stets an Hand der auf den Düsen angegebenen Werte oder nach den beigelieferten Tabellen.

Anderseits muß der Sauerstoffdruck so bemessen sein, daß er die gesamte Blechdicke zu durchschlagen vermag; sonst tritt, wie bei *c* in Abb. 305 angedeutet ist, in bestimmter Werkstofftiefe eine starke Erweiterung des Schnittkanals auf, und das verbrannte und flüssige Eisen wird nach oben geschleudert.

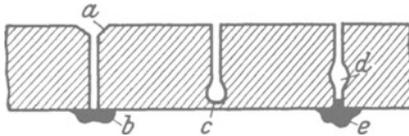


Abb. 305. Unter verschiedenen Bedingungen ausgeführte Schnittfugen.

Die Reinheit des Sauerstoffs soll möglichst groß sein. Unreiner Sauerstoff ergibt: Verlängerung der Schnittzeit, Erhöhung des Drucks und damit höheren Verbrauch und

breitere Schnittfugen. Sauerstoff mit einem Reinheitsgrad von 90 vH bedingt ungefähr die doppelte Schnittdauer gegenüber solchem von 99,5 vH Reinheitsgrad. Im Durchschnitt kann man mit einem Reinheitsgrad von mindestens 98 vH rechnen.

Einfluß der Vorwärmflamme. Im allgemeinen werden die Vorwärmflammen viel zu groß bemessen. Sie sollen nur so stark sein, daß sie eine kleine Werkstoffstelle (Kante) auf Entzündungstemperatur bringen. Zu große Flammen ergeben Gasvergeudung, Verringerung der Schnittgeschwindigkeit und unsaubere Schnittkanten. Nur zum Schneiden stark angerosteter Bleche ist eine kräftigere Vorwärmflamme am Platze. Abb. 305 zeigt bei *a* die durch zu starke Flamme verursachte Kantenansmelzung und bei *b* das Anhaften flüssigen, wenig verbrannten Eisens. Die Folge ist ein regelrechtes Anschweißen an den unteren Werkstoffrändern, so daß beim Abschlagen Werkstoffteile mit herausgerissen werden. Sind die Ansätze bei *b* reine Schlackenansätze (Abbrand), so sind sie nicht schädlich; sie lassen sich leicht abschlagen. Ist die Gasmischung der Vorwärmflamme falsch, so zeigt sich, ebenso wie beim Schweißen, bei Sauerstoffüberschuß Oxydation, bei Azetylenüberschuß Kohlenstoffanreicherung an den oberen Schnittkanten. Der offensichtlich ungewöhnlich große Abbrandansatz bei *e* rührt von einem Lunker oder Schlackeneinschluß bei *d* her.

Einfluß der Schnittgeschwindigkeit. Die Schnittgeschwindigkeit, die bei Handschnitten meist geringer ist als bei Maschinenschnitten, hängt von der Dicke und Beschaffenheit des Werkstoffs, daneben von den Bohrungs- und Gasdruckverhältnissen des Schneidgeräts ab. Bei einiger Übung im Schneiden sind die Brennergas-Geschwindigkeiten schon rein gefühlsmäßig leicht richtig zu treffen. Die Schnittleistung je m/h in Abhängigkeit von der Blechdicke sind in Tabelle 15 zusammengestellt. Das Aussehen mit verschiedener Vorschubgeschwindigkeit ausgeführter Schnittflächen läßt Abb. 306 erkennen. Die mit *A* bezeichnete Fläche ist zu langsam geschnitten worden. Demnach trifft die oft

vorhandene irrtümliche Vermutung, daß langsames Schneiden saubere Schnittflächen ergäbe, nicht zu. Vielmehr ist der Schnitt furchig und zerfressen. Der gleichfalls von Hand ausgeführte Schnitt *B* ist einwandfrei; die schwachen vom Sauerstoffstrom herrührenden Riefen verlaufen fast senkrecht; die Schnittgeschwindigkeit war normal. Bei zu schneller

Schnittgeschwindigkeit zeigt die Schnittfläche *C* nach unten gekrümmte Rillen, da die Wirksamkeit des Sauerstoffstroms der Geschwindigkeit der Brennerbewegung nicht zu folgen vermochte. Alle drei Schnitte sind also mit einer Brennerführung von rechts nach links ausgeführt worden. Es war demnach bei *A* die Geschwindigkeit um etwa 25 vH zu gering und bei *C* um 25 vH zu hoch.

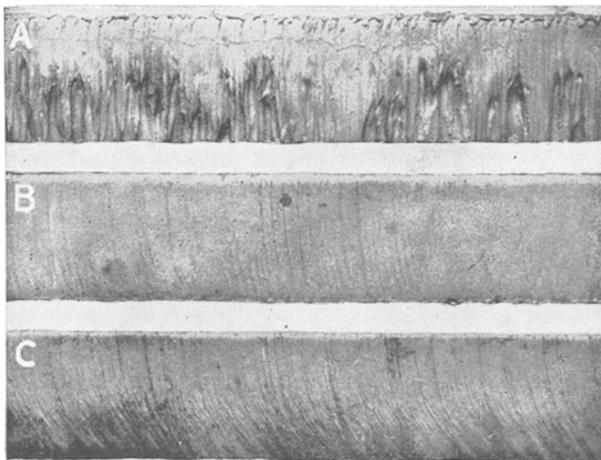


Abb. 306. Einfluß der Schnittgeschwindigkeit auf das Aussehen der Schnittfläche.

Auch der Schnittwinkel ist auf die Arbeitsgeschwindigkeit und demnach auf den Gasverbrauch von wesentlichem Einfluß. Der Sauerstoffstrahl soll möglichst immer senkrecht zur Blechfläche und zur Schnittrichtung stehen, da mit wachsender Abweichung von 90° die zu schneidende Blechdicke *a* zunimmt, wie dies aus Abb. 307 ersichtlich ist. Die Strecke *b* wächst mit abnehmendem Schnittwinkel sehr rasch und beträgt, wie trigonometrisch leicht nachgewiesen werden kann, bei *c* fast das Doppelte. Damit tritt außer einer Abnahme der Schnittgeschwindigkeit auch eine bedeutende Verschlechterung des Schnittflächenaussehens ein. Auch bei Schräg- oder Gehrungsschnitten, wo eine abweichende Einstellung des Schnittwinkels zur Werkstückoberfläche in gewünschter Größe Bedingung ist, soll der Sauerstoffstrahl in Richtung der Schnitfführung stets senkrecht stehen, weil Schnitthöhe und Schnittdauer hier noch mehr gesteigert werden.

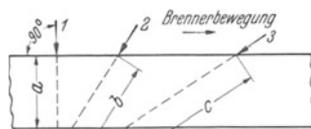


Abb. 307. Schnittwinkel.

4. Einfluß des Schneidens auf den Werkstoff.

Mechanische Veränderungen. Untersuchungen hinsichtlich des mechanischen Verhaltens der Schnittflächen haben ergeben, daß der Autogenschnitt den mit spanabhebenden Werkzeugen bearbeiteten Flächen gleichzusetzen, wenn er nicht sogar als überlegen anzusehen ist. Besonders auch bei Scherenschnitten, Nietnähten und Stemmkanten treten Verzerrungen und Quetschungen des Werkstoffgefüges infolge mechanischer Beanspruchung auf, die beim Brennschnitt gänzlich fehlen, da ja eine gewaltsame Verformung des Gefüges durch Druck hierbei wegfällt.

Es fragt sich nun zunächst, wie es sich mit der Härte der erhitzten und dann mehr oder weniger rasch erkalteten Schnittfläche verhält. Die Härte ist

grundlegend abhängig von dem Grade der Härtungsfähigkeit des Werkstoffs, also von seiner chemischen Zusammensetzung, von der Abkühlungsgeschwindigkeit der Schnittfläche, der Dicke des Werkstücks, von der Temperatur der Flamme und des Sauerstoffs u. a. m. Im allgemeinen stellt die Brennschnittfläche einen milde und nur oberflächlich im Einsatz gehärteten Stahl dar, dessen mechanische Nachbearbeitung, soweit sie fertigungstechnisch notwendig ist, keinerlei Schwierigkeiten verursacht. Die Schnittfläche ist bei normalen Baustählen weniger hart als die eines Kaltscherschnittes. Die Härte der Brennschnittfläche wächst meist mit der Werkstoffdicke, immer aber mit dem Kohlenstoffgehalt. Die Härtesteigerung beträgt z. B. bei einem 20 mm-Stahlblech mit 0,1 vH Kohlenstoff etwa 30 vH, bei 0,2 vH C etwa 38 vH, bei 0,3 vH C etwa 42 vH. Ein Nickelsatzstahl von 174 kg/mm² Härte ergibt an der Schnittfläche rund 270 kg/mm². Durch Glühen der Schnittflächen kann der Härteunterschied erforderlichenfalls auf ein sehr geringes Maß vermindert werden. Etwa die gleiche Wirkung wird durch sog. Anlaßschneiden, worunter man ein Trennen entsprechend vorgewärmter Werkstücke versteht, erreicht.

Der Einfluß der Brenngasart auf die Härte der Schnittfläche geht nach Wiss aus den folgenden Zahlen hervor: Ein Stahl mit 0,9 vH C, von 80 mm Dicke, etwa 80 kg/mm² Festigkeit und 228 kg/mm² Härte ergab mit Azetylen geschnitten 380÷400, mit Wasserstoff 340÷350 und mit Leuchtgas 330÷345 kg/mm² Härte in den Schnittflächen. Demnach gewährleisteten weniger heiße Vorwärmeflammen Schnittkanten geringerer Härte, eine in der Praxis oft berücksichtigte Tatsache.

Was die übrigen technologischen Werte anbelangt, so sind auch hier wesentliche Veränderungen an ungeglühten Schnittflächen gegenüber z. B. gehobelten Werkstücken praktisch nicht festzustellen. Die Festigkeit und Streckgrenze sind von dem Umfange der Durchglühung der Schnittfläche und von der Zugstabbreite und Schnittdicke abhängig und liegen bei dünnen Blechen (5 mm) etwa um 10 vH niedriger, die Dehnung und Einschnürung bis zu 8 vH höher. Beim 10 mm-Blechschnitt und mehr nehmen dagegen mit wachsender Stabbreite Festigkeit und Streckgrenze zu, Dehnung und Einschnürung ab.

Die dynamischen Untersuchungen (Kerbschlag- und Ermüdungsversuche) an autogen geschnittenen Stäben ergaben, daß die Kerbzähigkeit des Autogenschnittes größer ist als die gehobelter Proben. Für die bei Ermüdungsversuchen erzielbaren Werte ist vor allem die Oberflächenbeschaffenheit des Schnittes, der möglichst glatt sein muß, maßgebend. Maschinenschnitte zeitigen bessere Werte als Handschnitte. Die Ergebnisse an sauberen Schnitten stehen den durch spanabhebende Bearbeitung hergestellten Versuchsstücken nicht nach.

Spannungen. Hobelt man einen I-Träger in seiner Stegmitte der Länge nach durch, dann federn die beiden Hälften nach den Enden zu um einige Millimeter auseinander. Das Maß der Abweichung, das angenähert dem beim Brennschnitt entstandenen gleichkommt, beruht auf einer durch Walzspannungen verursachten Verformung, also auf Eigenspannungen des Werkstücks, wie sie auch bei den verschiedensten anderen Fertigungsverfahren (Härten, Nieten, Verstemmen, Pressen, Scherenschnitt u. a.) auftreten. Auch in Blechen bestehen, wenn sie nicht ausgeglüht sind, mehr oder weniger Eigenspannungen, die durch hinzukommende Dehnungs- und Schrumpfungsvorgänge beim Schneiden in einer meist sehr geringen, praktisch kaum merklichen Verlängerung der Schnittkanten (etwa 0,12 vH) zum Ausdruck kommen. Beim Abschneiden schmaler und dünner Blechstreifen kann man vor dem Erkalten des Schnittes ein Verziehen, sowohl zur Blechebene als senkrecht zu ihr, feststellen. Besonders gut lassen sich Rest-

spannungen, und auf diese kommt es allein an, an autogen geschnittenen Körpern beim Ausschneiden eines Blechrahmens beobachten. Wird der Rahmen an irgendeiner Stelle quer zur Schnittfläche durchgesägt, dann tritt entweder ein Auseinanderklaffen oder ein Übereinanderziehen der beiden Streifenenden ein, je nachdem, ob zuerst der innere oder äußere Rand des Rahmens autogen geschnitten wurde. Ähnlich liegen die Verhältnisse auch bei Sägeschnitten. Versuche ergaben jedoch, daß die Gesamtrestspannungen in autogen geschnittenen Streifen aus bis zu 40 mm Baustählen nur $1\div 2$ kg/mm² betragen und deshalb unbedenklich in Kauf genommen werden können.

Viel unangenehmer sind Spannungsrisse, wie sie bei hochgekohten oder hochlegierten Stählen, die beim Brennschneiden große Randhärte ergeben (z. B. Nickelvergütungsstähle, Wolframstähle), besonders bei Blechdicken über 100 mm auftreten können. Die Risse verlaufen meist senkrecht zur Schnittfläche und parallel zur Schnittrichtung. Das einzige Mittel, die Gefahr einer Rißbildung abzuwenden, ist die Wärmebehandlung, deren Ausmaß sich nach der Höhe des Kohlenstoffgehalts zu richten hat. Der zu schneidende Körper wird langsam und gleichmäßig (Höchsttemperatur 700°) vorgewärmt und darauf der Anlaßschnitt ausgeführt. Stahlgußteile sollten immer nur im geglähten Zustande geschnitten werden, da dann jede Rißgefahr wegfällt. Nach Durchführung des Schnittes genügt ein Ausglühen bei etwa 600° in allen Fällen, um die Schnittspannungen zu beseitigen.

Metallurgische und chemische Veränderungen. Durch die unabwendbare Wärmebehandlung beim Brennschneiden erfährt die Schnittfläche eine Gefügeveränderung, die durch besondere Wärmemaßnahmen mehr oder weniger stark beeinflußt werden kann. Die Gesamtbreite der auf eine Anlaßtemperatur bis etwa 250° erhitzten Zone beträgt, je nach Blechdicke, $5\div 30$ mm. Wenn auch diese Temperatur eine Gefügeumwandlung, die oberhalb etwa 700° beginnt, nicht verursacht, so ist doch unmittelbar an der Schnittfläche mit einer Erwärmung auf 1500° und mehr zu rechnen, weshalb eine erhebliche Umkristallisation an der Schnittoberkante und eine deutliche Kornvergrößerung stets zu erwarten ist. Daneben treten je nach Legierung des Werkstoffs Entmischungs- oder Anreicherungserscheinungen auf, die hauptsächlich in einer Veränderung der Verteilung des Kohlenstoffs bestehen. Eine Anreicherung an bestimmten Legierungsbestandteilen in der Schnittfläche tritt besonders bei hochnickelhaltigen Stählen auf, wo der Anteil an Nickel in der Schnittfläche oft erheblich größer ist als im Werkstoff.

Bezüglich des Verhaltens der Begleiter des Stahls beim Brennschneiden kann im allgemeinen als Regel gelten, daß z. B. Chrom, Mangan und Silizium ausbrennen, ihre Anteile im Schnitt mithin geringer sind als im Baustoff. Umgekehrt verhalten sich Kohlenstoff, Nickel und Kupfer, die sich durch den Stahlabbrand am Schnitt anreichern. Im Abbrand fehlen diese Elemente meist gänzlich. Durch diese Veränderungen kann die Güte der Schnittfläche oft verbessert werden, selten nur wird sie verschlechtert.

Die Tiefe der Umwandlungszone beträgt zwischen 0,2 und 2,0 mm und richtet sich neben anderem vor allem nach der Blechdicke, dem Werkstoff und der Schnittgeschwindigkeit. Letztere soll möglichst groß sein, was durch maschinelles Schneiden, durch Vorwärmen des Sauerstoffs, am besten aber durch Vorwärmen des Werkstoffs erreicht wird.

Die Untersuchungen bezüglich der Korrosionsfestigkeit der Schnittflächen gegenüber beispielsweise gehobelten haben erwiesen, daß der Brennschnitt besser ist. Der Gewichtsverlust durch Korrosion betrug oft nur 50 vH desjenigen an

gehobelten Flächen; der Rostangriff ging in allen Fällen wesentlich langsamer vor sich. Daraus läßt sich folgern, daß die höhere Korrosionsbeständigkeit der Brennschnitte mit dem Härtingsgefüge der Umwandlungszone in ursächlichem Zusammenhange steht.

5. Das Schneiden von Gußeisen.

Der Schneidvorgang. Nach den vorausgegangenen Ausführungen sind beim Gußeisen die Bedingungen für seine Schneidbarkeit im Sinne des normalen Brennschneidens in mehrerer Hinsicht nicht gegeben. Wenn trotzdem von einem Brennschneiden gesprochen wird, so liegt dies daran, daß Gußeisen dann verbrannt werden kann, wenn man seinen Schmelzfluß auf Zündtemperatur überhitzt und dann Sauerstoff aufbläst. Daraus ergibt sich — auch mit Rücksicht auf das schlechte Wärmeleitvermögen des im Gußeisen reichlich vorhandenen Graphits, das zu überwinden ist — die Notwendigkeit, sehr viel Wärme in kürzester Zeit auf einer Stelle zu vereinigen. Mit anderen Worten, es sind außerordentlich starke Heizflammen anzuwenden.

Andere Verfahren, die z. B. darauf beruhen, auf die Oberfläche des Gußkörpers im Schnittbereich Flachstahl aufzulegen oder mit Stahl Raupen elektrisch aufzuschweißen, um durch deren Verbrennungswärme die notwendige Überhitzung des geschmolzenen Gußeisens zu erreichen, sind zu umständlich und heute nur selten noch üblich. Das gilt auch für das Hilfsmittel, in der Schnittfuge Stahlstäbe mit abzubrennen.

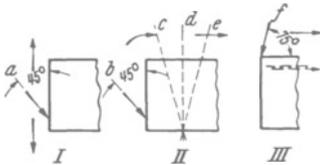


Abb. 308. Brennerführung beim Schneiden von Gußeisen.

Abweichend vom Stahlschneiden ist die Erhitzung und Brennerführung eine andere, da ja zunächst das örtliche Schmelzen des Gusses abgewartet werden muß. Dabei gibt es zwei Möglichkeiten. Die eine, Abb. 308 I und II, ist die, die stets mit Azetylenüberschuß eingestellte Brennerflamme unter einem Winkel von etwa 45° an der Stirnfläche des Gußstückes solange auf- und abzubewegen, bis oberflächliches Anschmelzen einsetzt. Darauf wird das Schneid-Sauerstoffventil geöffnet und mit der Brennerstellung *b* (II), also an der unteren Kante in Richtung nach *c* begonnen. Der Brenner gelangt allmählich in die Richtung über *d* nach *e* und wird so bis zum Schnittende weitergeführt. Die andere Möglichkeit ist bei III skizziert. Der Brenner wird nach reichlicher Vorwärmung der oberen Schnittfläche in die Stellung *f* gebracht und dann in Pfeilrichtung, und zwar am besten mit kleinen Hin- und Herbewegungen (wie beim Sägen) weitergeführt. Da größere Werkstoffdicken erhebliche Fugenbreiten ergeben, die dazu ausreichen, den Brennerkopf auch innerhalb der Schnittfuge zu führen, ist auch eine Auf- und Abwärtsbewegung des Brenners möglich, ja sie ist sogar erforderlich, wenn die gesamte Werkstoffdicke erfaßt werden soll. Der Schnitt kann deshalb nur von Hand und nur mit einem Gerät ohne Führungswagen erfolgen. Eine obere Grenze für den Schnittbereich gibt es bei Gußeisen praktisch nicht.

Dem abweichenden Hergang des Schneidens und der erheblich anderen Legierung des Werkstoffs gegenüber Stahl entspricht auch eine andere Zusammensetzung des Abbrands. Er besteht nur zum größeren Teil aus Oxyden, der Rest ist geschmolzenes Eisen. Fast restlos oxydiert das Silizium, das sich in Form kleiner Plättchen als Siliziumdioxid in der weiteren Umgebung abgelagert. Desgleichen verbrennen größere Anteile des Phosphors und Schwefels. Der Graphitgehalt der Schnittfläche wird wesentlich geringer.

Brennerkonstruktionen. Neben einer amerikanischen Bauart sind verschiedene Gußschneidbrennerkonstruktionen auf den Markt gekommen, wovon die eine, Abb. 309 aus Frankreich, die andere Abb. 310 aus Deutschland stammt. Die Grundform des französischen Brenners zeigt Abb. 309. Das Azetylen wird dem Brenner bei *e* zugeleitet und strömt zum Teil der Schneiddüse *a* zu, wo es mit dem aus *d* ausströmenden Hochdrucksauerstoff verbrennt. Der restliche Teil des Azetylens strömt durch das Rohr *f* zur Ringflamme *b*, angesaugt durch den aus der Injektordüse *c* der Mischvorrichtung austretenden Heizstoff. Der Hochdruck- (Schneid-) Sauerstoff wird bei *g* in den Schneidkopf eingeführt.

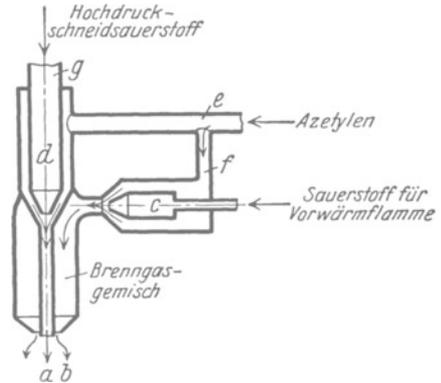


Abb. 309. Gußeisenschneidbrenner (französische Bauart).

Das Gerät Abb. 310 unterscheidet sich von der eben besprochenen Konstruktion vor allem dadurch, daß er nicht eine, sondern drei Vorwärmeflammen hat und den Hochdrucksauerstoff ohne Beimischung von Azetylen der Schneiddüse zuführt, *a* und *b* sind mit Azetylen-Sauerstoff gespeiste Vorwärmeflammen, *c* ist eine Ringmantelflamme, in deren Mitte der reine Sauerstoffstrahl austritt. Das Hochdruckrohr *d* ist aus Kupfer hergestellt und spiralförmig um den Brennerkopf gewunden (was der Deutlichkeit halber in Abb. 310 fortgelassen ist), damit der Sauerstoff vorgewärmt wird. Die beiden winklig zueinander angeordneten Düsen *a* und *b* ergeben eine breite Schmetterlingsflamme. Auf die Wiedergabe weiterer ähnlicher deutscher Brennerkonstruktionen kann verzichtet werden.

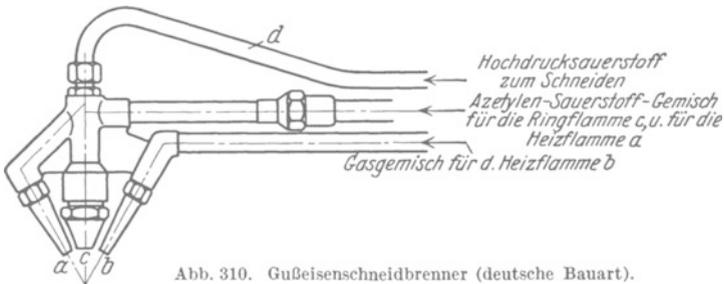


Abb. 310. Gußeisenschneidbrenner (deutsche Bauart).

Anwendbarkeit. Infolge des erheblichen Gasverbrauchs und der Unsauberkeit der Schnittflächen, ihrer Härte und der bedeutenden Breite der Schnittfuge, sowie der Gefahr der Ribbildung hat das Gußeisen schneiden nur sehr beschränkt technische und wirtschaftliche Berechtigung. Aus der Tabelle 14 geht hervor, daß die Schnittdauer bei Gußeisen wesentlich größer und der Gasverbrauch unverhältnismäßig höher ist als beim Schneiden von Stahl.

Tabelle 14.

Werkstoff- dicke mm	Sauerstoff- druck (Schneid- strahl) at	Gasverbrauch je m Schnittlänge		Stündliche Schnitt- leistung etwa m
		Azetylen l etwa	Sauerstoff l	
25	3 ÷ 4	900	1600	3,0
50	4 ÷ 6	1200	2800	2,5
100	6 ÷ 8	2300 ÷ 2600	9500	1,5
150	8 ÷ 10	2500 ÷ 3000	11000	1,0 ÷ 1,2
300	10 ÷ 12	3200 ÷ 3600	13000	0,6 ÷ 0,7

Die Schnittfuge ist meist stark konisch (nach unten verjüngt) und geht erst bei über 40 mm Werkstoffdicke in parallele Flächen über. Diese Umstände, vor allem aber die erheblichen Kosten des Verfahrens, verhindern seine Ausnutzung in dem ursprünglich erwarteten Umfange.

Im allgemeinen kann man sagen, daß das Verfahren für die Fertigung gar nicht in Frage kommt, vielmehr nur dort eine wirkliche Berechtigung hat, wo es sich um das Verschrotten schwerer und sperriger Werkstücke, z. B. Fundamente, Schwungräder u. ä. handelt, deren Transport zur Fallbirne unmöglich ist. Ferner wird man das Verfahren dort anwenden, wo andere technische Hilfsmittel, z. B. Schlag- oder Fallwerkzeuge, versagen, zu teuer oder zu umständlich sind.

Für die Ausführung von Konstruktionsschnitten ist das Verfahren schon deshalb ungeeignet, weil die örtliche Erhitzung der Werkstücke meist Rißbildung und Brüche (Spannungen) zur Folge hat und ein gleichmäßiges Vorwärmen schwerer Gußkörper wohl in den seltensten Fällen möglich ist. Versuche der Verfasser, z. B. gußeiserne Rohre zu schneiden oder Löcher für Abzweigungen anzubringen, zeigten jedesmal mehr oder weniger große Rißbildung. Demnach eignet sich das Verfahren für solche Arbeiten nicht.

6. Das Schneiden anderer Metalle.

Allgemeines. Zur Zeit der Drucklegung dieses Buches sind abermals Versuche im Gange, unter Zuhilfenahme des Brennschneidgerätes auch andere Metalle, insbesondere Kupfer und Nickel zu schneiden. Inwieweit diese Bestrebungen von Erfolg begleitet sein werden, läßt sich noch nicht übersehen. Fest steht jedoch, daß alle auf diesem Gebiete entwicklungsfähigen Verfahren die gemeinsame Grundlage haben, die physikalische Wirkung des Schneidgerätes auszunützen, d. h. durchzuschmelzen und nicht zu verbrennen, da dies ja wiederholt für andere Metalle als Stahl als technisch unmöglich geschildert wurde. Daß auf diesem Wege ein Erfolg durchaus denkbar ist, beweist das praktisch angewandte Bleischneiden. Dem Sauerstoff des Schneidgerätes kommt in allen diesen Fällen lediglich die Aufgabe zu, das geschmolzene Metall aus der Schnittfuge herauszuschleudern, oxydieren soll er nicht.

Bleischneiden. Um in Sonderfällen Bleiplatten in beliebiger Form trennen zu können, wurde eine besondere Brennerkonstruktion entwickelt, die sich gut bewährt. Da es sich auch hier um ein regelrechtes Durchschmelzen handelt, mußten neue Wege beschritten werden, um die sonst ja erforderliche Oxydation des Metalls (bei Stahl) und die Schnittfugenbreite auf das geringste Maß zu bringen. Zu diesem Zwecke wird einer besonderen Brennerringdüse sog. Kühlgas (z. B. Luft oder Stickstoff) zugeführt, wodurch sowohl die Oxydationsmöglichkeit verringert wie die Wirkung der Schmelzflamme auf die Schnittfuge selbst beschränkt wird. Die Schnittflächen haben ebenes und spiegelblankes Aussehen und die Schnittrillen sind so schwach ausgeprägt, daß sie mit dem Finger nicht gefühlt werden können. Die Breite der Schnittfuge beträgt bei 10÷15 mm dickem Blei 1,5÷2,5 mm, die Schnittgeschwindigkeit 300÷500 mm/min.

7. Das Schneiden unter Wasser.

Allgemeines. Die Zerlegung versenkter oder gesunkener Schiffe und unterhalb des Wasserspiegels liegender Brückenteile, das Abschneiden von Spundwänden unter Wasser u. ä. sind das Hauptanwendungsgebiet des erstmalig im Jahre 1908 ausgeübten Unterwasser-Schneidverfahrens. Es ist noch in Wassertiefe bis zu 40 m ohne Störung anwendbar und gestattet, Werkstoffdicken bis 150 mm

rasch und wirtschaftlich zu trennen. Während Wasserströmungen den Schneidvorgang nur wenig beeinflussen, ist undurchsichtiges Wasser für die Schnittleistung nachteilig. Selbstverständlich ist ein mit dem Sonderschneidergerät gut ausgebildeter Taucher erforderlich.

Brennerkonstruktion. Bei der Durchbildung des Unterwasser-Schneidbrenners (U-W-Brenners) lagen verschiedene Schwierigkeiten vor, da das Mischungsverhältnis der Gase hier ein anderes sein muß als über Wasser. Der Flamme muß die gesamte zur vollständigen Verbrennung des Brenngases notwendige Sauerstoffmenge unmittelbar zugeführt werden, weil ja der Luft-sauerstoff fehlt. In geringer Wassertiefe, bis etwa 3 m, kann der Gasdruck der Flamme gegenüber dem Wasserdruck noch aufrechterhalten werden. In größeren Tiefen sind besondere Vorkehrungen zu treffen, die für ein Abdrängen des im Bereiche der Flamme befindlichen Wassers zu sorgen haben.

Einen mit dem U-W-Gerät ausgerüsteten Taucher zeigt Abb. 311. Das Gerät besitzt in diesem Falle einen im Gelenk beweglichen, also auf beliebigen Schnittwinkel und für alle Stellungen einstellbaren Kopf und 4 Zuleitungsrohre, deren getrennt angeschlossenen Schläuchen Brenngas, Vorwärmesauerstoff, Schneidsauerstoff und Preßluft für die Wasserverdrängung zugeleitet werden. Die Gasdrücke für die verschiedenen Wassertiefen sind auf Grund von Messungen in Versuchsanlagen festgelegt. So sind z. B. für 20÷25 m Wassertiefe erforderlich: 4,5÷5 at für Preßluft und Brenngas, 6÷7 at für den Vorwärme- und Schneidsauerstoff.

Im Kopfe des Geräts sind drei konzentrische Düsen angeordnet, durch deren mittlere der Schneidsauerstoff, durch deren zweite das Heizgas-Sauerstoffgemisch und durch deren dritte die Preßluft geleitet wird. An Stelle von Preßluft kann auch Sauerstoff für die Wasserverdrängung dienen. Andere Brennerbauarten besitzen keinen Preßluftmantel; bei ihnen brennt die Flamme ohne Schutzmantel frei im Wasser.

Zündvorrichtung. Anfangs erfolgte die Zündung der Brennerflamme über Wasser und das Niedergehen des Tauchers mit schnittfertigem Brenner, was zu erheblichen Störungen und Schwierigkeiten Veranlassung gab. In jedem Falle technisch und wirtschaftlich günstiger, besonders bei etwaigem Erlöschen der Flamme, ist es, wenn der Taucher den Brenner an Ort und Stelle beliebig regeln und an- und ausschalten kann. Zu diesem Zwecke wurde ein elektrischer Unterwasser-Zündapparat konstruiert. Er besteht im wesentlichen aus

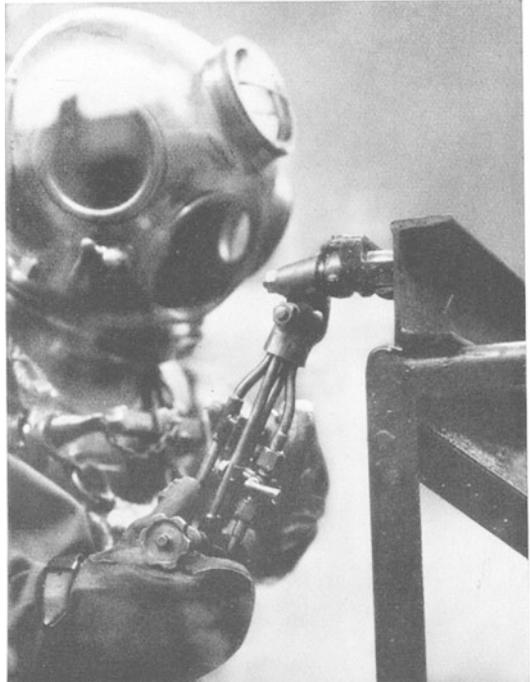


Abb. 311. Taucher mit Unterwasser-Schneidbrenner.

einer elektrischen Zündkerze mit Druckschalter und ist durch Kabel mit einem auf der Brust des Tauchers getragenen Gehäuse verbunden. In diesem ist ein Akkumulator untergebracht, der über einen Umformer Hochspannungsstrom an die Zündkerze abgibt.

Schneidanlage. Beim Unterwasserschneiden werden als Heizgas hauptsächlich Wasserstoff und Benzol angewendet. Alle zur Einrichtung gehörigen Teile befinden sich (natürlich außer Brenner und Zündgerät) über Wasser und werden von Hilfsarbeitern bedient. So zeigt Abb. 312 eine vollständige Benzol-U-W-Anlage, bestehend aus einer Sauerstoff-Flaschenbatterie mit den verschiedenen Druckminderventilen für die Sauerstoffleitungen und den dazugehörigen Schläuchen,

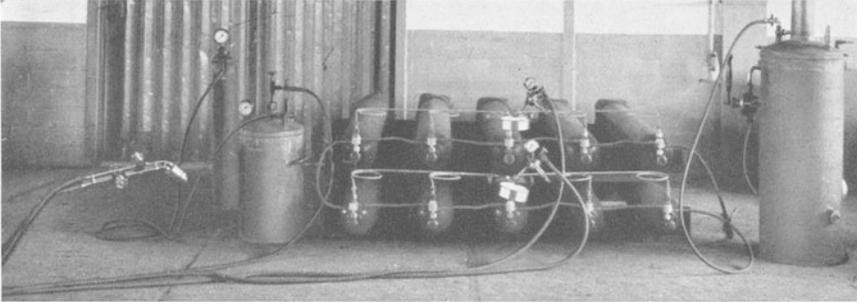


Abb. 312. Benzolanlage für das Unterwasserschneiden.

einer Sauerstoff-Vorwärmeeinrichtung (rechts), einem Benzolbehälter (links), einer Flasche mit Preßluft oder Stickstoff für die Benzolförderung zum Brenner und dem eigentlichen U-W-Gerät. Die Vergasung des Benzols erfolgt im Brenner selbst mittels einer elektrischen Heizspirale. Die Flamme brennt frei im Wasser ohne Schutzmantel.

Schnittleistung. Sie hängt von der Durchsichtigkeit des Wassers, der Zugänglichkeit der Schnittstelle, von der Brennerbauart, der Gasart und der Geschicklichkeit des Tauchers ab und beträgt $40 \div 80$ vH jener des Überwasserschneidens bei $4 \div 6$ fachem Gasverbrauch. Die Schnittflächen sind sauber und nach unten verjüngt; die Fugenbreite liegt um $30 \div 50$ vH höher als beim Schneiden an der Luft.

D. Schnittleistungen.

Leistungs- und Verbrauchsangaben. Die folgenden Betrachtungen beziehen sich ausschließlich auf das Schneiden von Stahl. Stellt man die seitens dreier führender deutscher Firmen angegebenen Leistungs- und Verbrauchsziffern tabellarisch zusammen und errechnet hieraus das arithmetische Mittel, so ergeben sich die in Tabelle 15 angeführten Werte für den Verbrauch an Azetylen, Sauerstoff und Zeit je Meter Schnitt, sowie die Leistung in Meter-Schnitt je Stunde. Die Werte beziehen sich auf Handschnitte an Stahlblechen von $2 \div 300$ mm Dicke. Maschinenschnitte liefern in der Regel etwas günstigere Werte. Um auf mittlere praktische Berechnungsunterlagen zu kommen, ist es ratsam, auf die Ziffern der ersten beiden Spalten (Gasverbrauch) $15 \div 25$ vH und auf die Ziffern der dritten Spalte (Schnittdauer) $10 \div 15$ vH aufzuschlagen. Dementsprechend sind von den Werten der vierten Spalte (Leistung je Stunde) $10 \div 15$ vH abzusetzen.

Um häufige Fragen nach dem Gasverbrauchsverhältnis zwischen Azetylen und Sauerstoff (im Gegensatz zum Schweißen) zu beantworten, sind in der

untersten Reihe die aus der Tabelle bestimmten Werte hierfür angegeben. Daraus ist zu entnehmen, daß der Mehrverbrauch an Sauerstoff im Vergleich zum Azetylen bei 2 mm Schnittdicke rund das 2,5fache, bei 50 mm das 10fache und bei 300 mm bereits das 20fache ausmacht.

Tabelle 15.

Blechdicke in mm	Fa.	2	3	5	10	20	30	50	75	100	150	200	250	300
Azetylen- verbrauch je m Schnitt	A	—	—	12	15	25	35	50	75	100	150	200	—	300
	B	20	—	—	30	—	—	82	—	135	—	—	—	—
	C	—	13	14	16	20	30	40	70	100	140	180	230	270
Mittelwerte:	—	20	13	13	20	22,5	32,5	57	72,5	111	145	190	230	258
Sauerstoff- verbrauch je m Schnitt	A	—	—	50	100	200	300	550	850	1200	2000	3000	—	5500
	B	53	—	—	128	—	—	595	—	1270	—	—	—	—
	C	—	50	70	130	230	360	580	850	1250	2250	3250	4300	5800
Mittelwerte:	—	53	50	65	120	215	330	578	850	1240	2125	3125	4300	5650
Zeit in min je m Schnitt	A	—	—	2,5	3	3,5	4	5	6	8	10	12	—	16
	B	4	—	—	4,5	—	—	6,5	—	8	—	—	—	—
	C	—	3	3	3,5	4	4,5	5	6,5	8	10	12	14	16
Mittelwerte:	—	4	3	2,75	3,5	3,8	4,25	5,5	6,25	8	10	12	14	16
Leistung in m Schnitt je h	A	—	—	24	20	17	15	12	10	7,5	6	5	—	3,75
	B	15	—	—	13	—	—	9,2	—	7,5	—	—	—	—
	C	—	20	20	17	15	12	12	9	7,5	6	5	4,5	3,75
Mittelwerte:	—	15	20	22	16,5	16	13,5	11	9,5	7,5	6	5	4,5	3,75
Verhältnis von Aze- tylen: Sauerstoff =		1/2,5	1/2,5	1/5	1/6	1/9	1/10	1/10	1/11	1/12	1/15	1/16	1/18	1/20

Überträgt man der besseren Anschaulichkeit halber diese Werte der Tabelle 15 in ein Koordinatensystem, so entsteht das Schaubild Abb. 313. In ihm entspricht

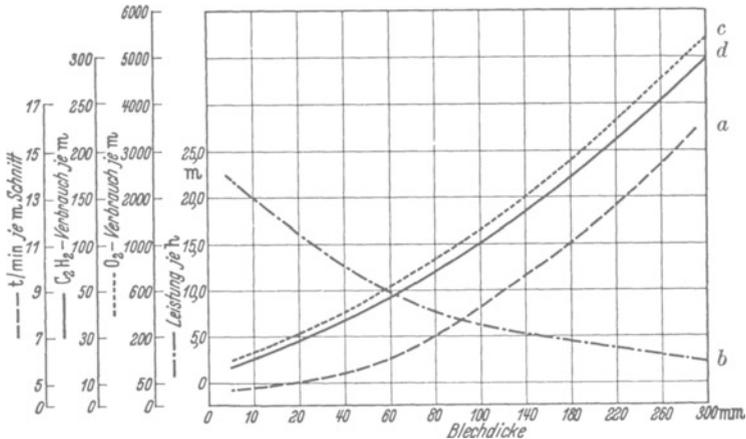


Abb. 313. Gasverbrauch und Schnittleistungen beim Brennschneiden.

der Kurvenzug *a* der je Meter Schnitt aufzuwendenden Zeit für die auf der Abszisse (Waagerechten) aufgetragenen Blechdicken. Zu dieser Kurve gehört die

erste Skala der Ordinaten (Senkrechten), welche die Zeit in Minuten angibt. Der Kurvenzug *b* bezieht sich auf die Schnittleistung je Stunde; die dazugehörige

Tabelle 16.

Blechdicke mm	Bohrung der Schneid-düse mm	Sauerstoff-schneid-druck at	Gasverbrauch je m Schnitt-länge		
			Sauerstoff l	Azetylen l	Wasserstoff l
5	0,8	2,0	65	13,0	60
10	0,8	3,0	120	20,0	80
20	1,0	4,0	215	22,5	100
50	1,5	5,0	580	57,0	190
100	1,5	7,5	1240	111,0	375
200	1,5	10,0	3125	190,0	720
300	2,0	12 ÷ 13	5650	258,0	1100

Meterzahl ist aus der vierten Ordinatenkolonne abzulesen. Schließlich geben die Kurven *c* und *d* den Verbrauch an Sauerstoff und Azetylen je Meter Schnitt an. Die dazugehörigen Werte sind auf der zweiten und dritten Skala eingetragen. Die vH-Zuschläge sind im Schaubild unberücksichtigt.

In Tabelle 16 ist in Spalte 6 der Verbrauch an Wasserstoff beim Schneiden mit diesem als Heizgas angegeben und den

Werten der Tabelle 15 gegenübergestellt. Außerdem sind in der zweiten und dritten Spalte die gebräuchlichen Düsenbohrungen und die entsprechenden Sauerstoffdrücke angeführt.

Tabelle 17.

Maße mm	Schneid-zeit min	Gasverbrauch	
		Wasserstoff l	Sauerstoff l
Winkelstahl			
20 × 20 × 4	0,50	5	8
30 × 30 × 6	0,75	8	10
40 × 40 × 8	0,75	9	10
60 × 60 × 8	1,00	11	14
70 × 70 × 9	1,00	12	18
100 × 100 × 12	1,50	20	33
140 × 140 × 15	1,75	25	40
160 × 160 × 17	2,00	30	50
I-Eisen			
NP 3	1,00	8	12
NP 5	1,20	13	17
NP 8	1,40	17	32
NP 12	1,45	24	38
NP 16	2,00	32	48
NP 20	2,10	40	57
NP 26	2,30	58	80
NP 34	3,10	90	150
NP 50	4,00	130	260
□-Eisen			
NP 20	2,10	34	46
NP 48	4,00	110	215
Rundstahl			
20	0,30	15	20
40	0,40	18	30
60	1,00	22	60
100	1,20	48	135
300	3,00	150	1300
600	8,00	7500	8400

Schneidzeit und Gasverbrauch bei Formstahlschnitten sind aus Tabelle 17 zu ersehen.

Die Wirtschaftlichkeit des Schneidens ist stets eine Frage des Gasverbrauchs. Das technische Erfordernis, möglichst schnell zu schneiden, also die Schnittgeschwindigkeit möglichst zu erhöhen, deckt sich mit den Forderungen der Wirtschaftlichkeit. Die mit höherer Schnittgeschwindigkeit verbundene Lohnersparnis spielt praktisch gar keine Rolle, da, wie immer wieder betont werden muß, nicht der geringe Unterschied im Lohnaufwand, sondern nur der Aufwand an Gasen die Kalkulation weitgehend beeinflußt.

Wirtschaftlichkeit der Heizgase. Aus der Zahlenaufstellung ist zu ersehen, daß der Verbrauch an Wasserstoff etwa das Vierfache des Azetylenverbrauchs ausmacht, wodurch die überlegene Wirtschaftlichkeit des Schneidens mit Azetylen, trotz dessen höheren Preises, verständlich wird.

Schneidversuche mit einem Gemisch von Methan und Wasserstoff als Heizgas haben bei einer Mischung von 35 vH Methan und 65 vH Wasserstoff eine Ersparnis von

etwa 50 vH gegenüber der Verwendung von Wasserstoff ergeben. Außerdem erwies sich der Ringdüsenbrenner bei diesen Versuchen infolge wesentlich

höheren Heizgasverbrauchs als unwirtschaftlicher als der Zweidüsenbrenner, was mit der viel größeren Flamme zu begründen ist.

Schere, Säge, Brennschneiden. Bei dünnen Blechen ist, von Kurvenschnitten abgesehen, das Schneiden mit der Schere billiger als das Brennschneiden, bei dicken Blechen ist es umgekehrt. Beim Abschneiden von Gußrichtern an Stahlgußstücken wird das Brennschneiden etwa $2\div 5$ mal billiger als das Absägen mit der Kaltsäge.

Einzelkostenberechnungen. Sie lassen sich auf Grund der Angaben in Tabelle 15 bis 17 oder der Errechnung des Gasverbrauchs aus dem Ablesen des Gasdrucks an den Manometern in derselben Weise durchführen, wie es im Abschnitt VII für das Schweißen klargelegt wird.

VI. Die Güte der Schweißnaht und ihre Prüfung.

A. Allgemeiner Überblick.

Allgemeines. Vorweg sei besonders betont, daß der folgende Überblick über Prüfungen der Schweißnaht im Rahmen dieses Buches nicht erschöpfend sein kann und will. Dazu müßte allein ein besonderes Buch geschrieben werden. Der Zweck dieses Abschnitts kann daher nur der sein, die wesentlichsten Prüfverfahren für die Schweißnaht zu kennzeichnen, sie durch kurze, mit Absicht allgemein gehaltenen Erläuterungen dem Verständnis aller mit der Gasschweißtechnik in Berührung kommenden Fachkreise nahezubringen und durch einige Zahlenangaben die bisherigen Güteergebnisse der Schweißnaht festzulegen.

Von der Güte der Schweißnaht hängen Anwendung und Anwendungsbereich aller Schweißverfahren in erster Linie ab. Die Güte der Schweißnaht ist wiederum in der Hauptsache abhängig von der Güte der Schweißeinrichtungen, von den Kenntnissen und der Fertigkeit des Schweißers, von der Güte des Arbeitsstücks und der des Zusatzwerkstoffs; hierüber ist in den vorhergehenden Abschnitten das Wesentlichste gesagt worden. Es fehlt noch die Feststellung der Schweißnahtgüte selbst. Dies ist die Aufgabe der Schweißnahtprüfung. Sie soll aber nicht nur einen bestimmten Gütegrad erkennen lassen, sondern auch die Fehler der Schweißnaht zeigen und damit zu Verbesserungen anregen. Daher sind neben der möglichst einfachen Prüfung für den Betrieb auch weitgehende wissenschaftliche Untersuchungsverfahren nicht zu entbehren.

Prüfung der Schweißnaht. Man unterscheidet heute grundsätzlich nach Prüfverfahren ohne Zerstörung der Schweißnaht, wie sie der praktische Schweißbetrieb braucht, und solchen mit Zerstörung der Schweißnaht, die auch Rückschlüsse für praktische Schweißungen erlauben, manche Schweißfehler aber besser erkennen lassen als die zerstörungsfreie Prüfung und damit zu Verbesserungen anregen. Ein Universalprüfgerät, das Wertaussagen über Schweißnähte jeder Art und Abmessung und in jeder Lage des Werkstücks zuverlässig angibt, kann nach dem jetzigen Stande der Prüfgerätetechnik nicht erwartet werden. Für beide Gruppen von Prüfverfahren sind daher eine Anzahl einzelner Verfahren in Gebrauch, die im Abschnitt B und C näher betrachtet werden.

Messungen von Schweißspannungen. Dieser Frage hat man sich erst in den letzten Jahren mehr zugewandt. Sie ist von großer Bedeutung sowohl für die Berechnung wie für die Ausführung von Schweißverbindungen, da die Güte der Schweißung in weiterem Sinne nicht nur von der Festigkeit der Schweißnaht selbst, sondern auch von den auf die Schweißnaht und den benachbarten Werkstoff ausgeübten Schweißspannungen abhängt. Der heutige Stand der hierher gehörenden Untersuchungen wird im Abschnitt D kurz geschildert.

B. Prüfungen ohne Zerstörung der Schweißnaht.

Prüfung des äußeren Befundes. Diese Prüfung ist bereits im Abschnitt IIIA4 anhand mehrerer Abbildungen behandelt worden. Sie kann nur grobe Fehler, wie z. B. schlechte Schweißraupen, nicht genügendes Durchschweißen, Kerben, Oberflächenporen, starke Überhitzung usw., zeigen und muß daher unbedingt durch weitere Prüfungen ergänzt werden. — Eine erste einfache Ergänzung liegt in der Prüfung mit einer einfachen oder einer binokularen Lupe, die sich bei Schiffsschweißungen bewährt hat. Jedoch ist Vorsicht am Platze, da gut aussehende Nähte doch in der Wurzel Bindefehler oder Schlackeneinschlüsse enthalten können.

Prüfung auf Dichtigkeit. Übergießt man die mit einem kleinen Damm aus Kitt umgebene Schweißnaht mit Petroleum und bestreicht man die andere Nahtseite mit Kreide, so zieht das Petroleum an undichten Stellen durch und färbt die Kreide dunkel. Ähnlich kann man auch durch leichtflüssiges Öl Risse erkennen, indem man das Öl in die Schweißnaht eindringen läßt und nach Ab-

wischen des Restes die Naht mit in Spiritus angerührter Schlemmkreide bestreicht. Nach kurzer Zeit zeichnet sich auf der Kreide der Riß durch das Öl dunkel ab.

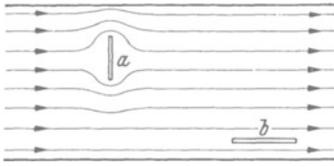


Abb. 314. Kraftlinienverlauf an zwei Fehlstellen.

Härteprüfung. Insbesondere für Auftragschweißungen kommt eine einfache Härteprüfung in Betracht. Bei dem Kugeldruckversuch nach Brinell wird eine gehärtete Stahlkugel von 2,5÷10 mm Durchmesser mit bestimmter Belastung (z. B. 3000 kg für Eisensorten bei 10 mm

Kugeldurchmesser) in die Oberfläche der Schweißnaht hineingedrückt. Die Brinellhärte ist dann das Verhältnis: Belastung in Kilogramm zu eingedrückter Kalottenfläche in mm². Die Zugfestigkeit eines Kohlenstoffstahls ist angenähert = 0,36 · Brinellhärte, so daß man mit dieser verhältnismäßig einfachen Probe gleichzeitig Härte und Zugfestigkeit ermitteln kann. Etwas anders wirkt der Rockwell-Härteprüfer, der den Eindruck einer kleinen Kugel oder Diamantspitze mißt. Man kann schließlich auch Schlaghärteprüfer oder Rücksprunghärteprüfer, letztere z. B. nach Art des Skleroskops von Shore, verwenden, bei dem ein kleiner Stahlhammer in einer Glasröhre auf das Prüfungsstück herabfällt. Die an einer Einteilung ablesbare Strecke, um die der Hammer zurückspringt, gilt in diesem Fall als Härtezahl.

Schallprüfung. Mit einem Hörrohr werden Klangunterschiede abgehört, die sich beim Anschlagen der Schweißnaht mit einem Hammer an den verschiedenen Stellen ergeben. Das Verfahren hat sich bis jetzt nicht als praktisch verwertbar erwiesen.

Elektromagnetische Prüfung. Feinporige Schweißungen, Lunker, Bindungsfehler, Risse, Strukturfehler u. dgl. setzen dem Durchgang des elektrischen Stromes oder eines durch Magneten erzeugten Kraftlinienflusses höheren Widerstand entgegen als die glatte gute Schweißung. Dies kann man auf einfachste Weise an Eisenfeilspänen feststellen, die auf ein über die Schweißnaht gelegtes (lichtempfindliches) Papier aufgestreut werden. Links und rechts der Schweißnaht mögen Elektromagnete stehen. Dann werden bei einer guten Schweißnaht die Feilspäne gleichmäßig verteilt liegen, bei schlechten Schweißstellen werden sie aber stärker angehäuft daliegen (zuerst 1927 von Roux eingeführt). Aus Abb. 314, die den Kraftlinienverlauf an zwei Fehlstellen wiedergibt, ist weiterhin zu erkennen, daß bei dem gezeichneten Verlauf der Kraftlinien nur der Fehler a

erkannt wird, nicht aber der Fehler *b*, weil er keine Unterbrechung des magnetischen Flusses bewirkt. Das Werkstück muß also in zwei aufeinander senkrechten Richtungen magnetisiert werden, um alle Fehler zu erfassen.

Das neuere Magnetpulververfahren berücksichtigt die Erfahrung, daß bei trocken aufgestreuten Feilspänen die Fehlererkennbarkeit gering ist, weil die Reibungskräfte der Feilspäne im Verhältnis zu der kleinen magnetischen Richtkraft zu groß sind. Man ging infolgedessen dazu über, sehr feines Eisenoxydpulver in Öl oder Benzin oder Petroleum aufzuschwemmen und dieses Gemisch über die Schweißstellen zu gießen. Durch den nun zwischen Werkstück und Feilspan vorhandenen Ölfilm wurde die Beweglichkeit der Feilspäne wirksam vergrößert und die Empfindlichkeit des Verfahrens wesentlich vergrößert. Trotzdem ist es bei Wechselstromerregung nur zum Nachweis von Oberflächenfehlern, für diese und insbesondere für den Nachweis feiner Risse aber sehr gut brauchbar. Bei Gleichstromerregung kommt man auf eine größte Tiefenwirkung von 8 bis 10 mm.

Eine andere Form der elektromagnetischen Prüfung, das magnetinduktive Verfahren, hat zur Ausbildung des IG-Schweißnahtprüfers geführt, der in seiner älteren Ausführungsform mit einer Abhörvorrichtung versehen ist. In Abb. 315 werden auf das Werkstück *W* die permanenten (Dauer-) Magnete *M* aufgesetzt.

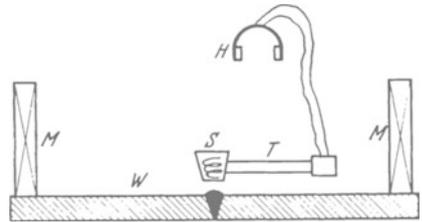


Abb. 315. Grundform des IG-Schweißnahtprüfers.

Der durch die Schweißnaht gehende Kraftlinienfluß erzeugt in der mit dem Taster *T* von Hand geführten Schwingenspule *S* einen schwachen elektrischen Strom, der sich mit Hilfe eines in dieser Grundform nicht dargestellten Lautverstärkers in dem angeschlossenen Kopfhörer *H* als gleichmäßiges Summen bemerkbar macht. Enthält die Schweißnaht Fehler, so tritt dort eine Häufung der Kraftlinien auf. Der Strom in der Abtastspule wird stärker, und dies wirkt sich im Kopfhörer als Änderung der Lautstärke und der Klangfarbe aus. Die hierdurch festgestellten Fehlstellen können durch Röntgenstrahlen oder Anfräsung (s. die folgenden Abschnitte) nachgeprüft werden. An die Stelle des Kopfhörers ist neuerdings die Ablesung eines Zeigergeräts getreten.

Röntgenprüfung. Die Werkstoffdurchleuchtung beruht darauf, daß die Werkstoffe durch besonders kurzweilige (harte) Röntgenstrahlen durchdringbar sind, und daß diese Strahlen je nach den Hemmungen, die sie im Werkstück finden, einen Leuchtschirm mehr oder weniger stark zum Aufleuchten bringen bzw. die photographische Platte oder einen doppelseitig begossenen Röntgenfilm mehr oder weniger stark schwärzen. Zum Betrieb der Röntgenröhren werden in neuerzeitlichen Anlagen Hochspannungstransformatoren verwendet, die zunächst einen hochgespannten Wechselstrom von $60000 \div 600000$ V (= $60 \div 600$ kV) erzeugen. Dieser Wechselstrom wird dann mit Hilfe von Glühventilröhren in Gleichstrom verwandelt. Je geringer das Atomgewicht des Metalls, desto größer ist die Durchdringbarkeit. So braucht man für $10 \div 50$ mm-Aluminiumblech nur $30 \div 70$ kV, für 10 mm-Stahlblech aber schon 100 kV und für $70 \div 80$ mm-Stahlblech 200 kV¹. Die Anschaffungskosten der Anlagen, die auch fahrbar hergestellt werden, sind noch sehr hoch. Nach Berthold erfordert eine Röntgenanlage für 200 kV-Röhrenspannung bei $8000 \div 10000$ RM. Anschaffungskosten

¹ Siehe auch Richtlinien für die Prüfung von Schweißverbindungen mit Röntgen- und Gammastrahlen, DIN 1914.

etwa 1300 RM. für Röhrenersatz, aber nur 200 RM. an elektrischem Strom. Die Betriebsstunde kommt auf $12 \div 25$ RM. (je nach Ausnutzung). Die Prüfung von 1 m Schweißnaht ohne Film kostet bei Stumpfstößenähten von $10 \div 15$ mm

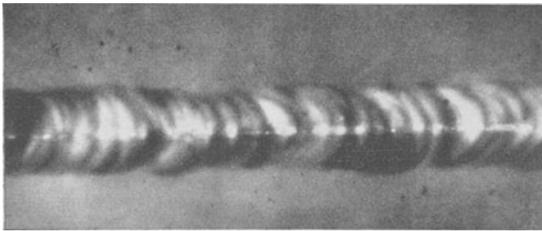


Abb. 316. Röntgenbild einer nicht einwandfreien Rechtsschweißung.

Untersuchung von Rundschweißungen an Rohren und Behältern eignen wird.

Abb. 316 zeigt uns zunächst die Röntgenaufnahme einer nicht einwandfreien Rechtsschweißung von 10 mm-Stahlblech. Die Fuge ist nicht ganz durch-

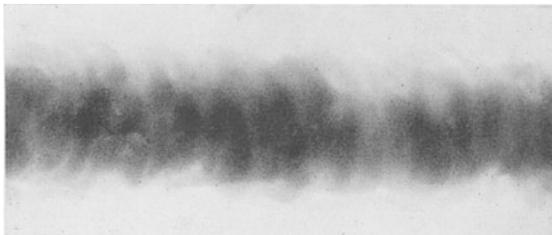


Abb. 317. Röntgenbild einer guten Aluminiumblechschweißung (ungehämmert).

geschweißt, was an den hellen Stellen der Raupe zu erkennen ist. Demgegenüber sehen wir in Abb. 317 die einwandfreie Schweißung eines Aluminiumblechs von 25 mm Dicke in ungehämmertem Zustande; es handelt sich um eine V-Naht.

Abb. 318 gibt auch das Röntgenbild einer 25 mm-Aluminiumblechschweißung wieder mit dem Unterschiede, daß

die Schweißnaht x-förmig ausgeführt und mit einem Kugelhammer warm gehämmert wurde. Daher stammen die hellen Flecken in dem dunklen Bild der Schweißnaht. Zur Vervollständigung des Überblicks über die Röntgenbilder an sich sei hier noch den 3 Bil-

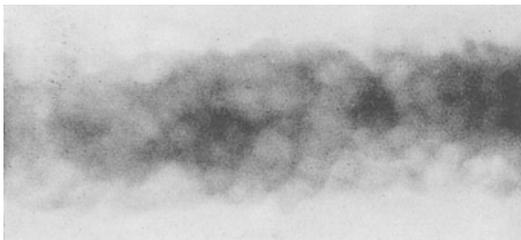


Abb. 318. Röntgenbild einer guten Aluminiumblechschweißung (gehämmert).

dern über autogen geschweißte Bleche in Abb. 319 das Röntgenbild einer elektrisch geschweißten Kessellängsnaht hinzugefügt, das aus 4 unter-

einander geklebten Streifen besteht und eine sehr gute Schweißung erkennen läßt. Bei der Röntgenuntersuchung ist weniger die Aufnahmetechnik schwierig, als die eindeutige

Auswertung des Films.

Prüfung mit Radiumstrahlen (Gammastrahlen). Die Durchleuchtung wird ähnlich wie bei Röntgenstrahlen durchgeführt, wobei an die Stelle der Röntgenröhre eine Kapsel tritt, in der Radium oder Mesothorium untergebracht ist. Die in Frage kommenden besonderen Radiumstrahlen, die Gammastrahlen, sind härter als die Röntgenstrahlen, wodurch die Unterschiede zwischen den hellen

Prüfung mit Radiumstrahlen (Gammastrahlen). Die Durchleuchtung wird ähnlich wie bei Röntgenstrahlen durchgeführt, wobei an die Stelle der Röntgenröhre eine Kapsel tritt, in der Radium oder Mesothorium untergebracht ist. Die in Frage kommenden besonderen Radiumstrahlen, die Gammastrahlen, sind härter als die Röntgenstrahlen, wodurch die Unterschiede zwischen den hellen

und dunklen Stellen auf dem Film weniger deutlich werden. Die Durchdringungsfähigkeit der Gammastrahlen ist bedeutend höher, die Belichtungszeiten sind sehr viel länger. Der Anwendungsbereich des noch nicht genügend entwickelten Verfahrens ist vorläufig noch als gering anzusehen.

Nahtschwächende Prüfung.

Am bekanntesten ist das Prüfgerät von Schmuckler. Abb. 320 zeigt das Grundsätzliche des Verfahrens. Von einem Motor wird ein besonderer Fräser angetrieben, der ein Stück aus der Schweißnaht herausnimmt und gleichzeitig den eigentlichen Werkstoff (Urstoff) ein wenig bloßlegt. Die Prüfung der geöffneten Schweißnaht erfolgt

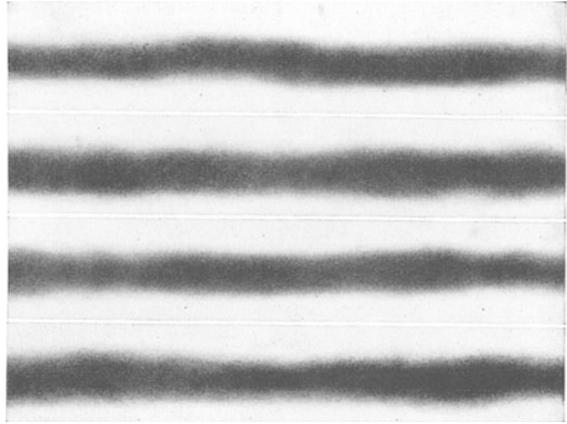


Abb. 319. Röntgenbilder der Längsnaht geschweißter Kessel.

dann mit bloßem Auge oder mit einer Lupe und wird noch genauer, wenn man die gefrästen Flächen poliert und mit einem der bekannten Ätzmittel, z. B. Kupferammoniumchlorid, anätzt. Wenn es sich z. B. um Schweißungen einfacher Eisenkonstruktionen handelt, so können die Ausfräsungen unbedenklich offen bleiben; bei Brücken, Kesseln, Rohrleitungen usw. werden sie zweckmäßig wieder zugeschweißt. Das Gerät ist nur in der Hand eines erfahrenen Prüfers zuverlässig und ermöglicht nur Stichproben.

Belastungsprobe. Üblich und vielfach vorgeschrieben ist die Belastungsprobe durch Wasserdruck bei Kesseln und Behältern. Ferner kommt bei Eisenkonstruktionen und Brücken, seltener bei Maschinenteilen, die Belastung einzelner Konstruktionsteile vor dem Einbau oder die Belastung der ganzen Konstruktion durch Gewichte, Fahrzeuge, Preßvorrichtungen usw. in Betracht. Im allgemeinen wird in diesen Fällen nur der vorgeschriebene Höchstdruck bzw. die Höchstbelastung im Betriebe nachgeprüft; nur ausnahmsweise ist man bis zur Überschreitung der Streckgrenze des Werkstoffs gegangen (s. das von Daeves besprochene Verfahren im nächsten Abschnitt).

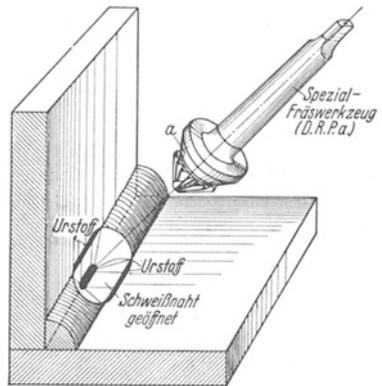


Abb. 320. Prüfgerät nach Schmuckler.

C. Prüfungen mit Zerstörung der Schweißnaht.

1. Festigkeitsprüfungen.

Zugversuch. Zunächst hat man den üblichen Zugversuch nach DIN 1605 und DIN-DVM, A 120 (hierin bedeutet DVM: Deutscher Verband für die Materialprüfungen der Technik) auf die Prüfung von Schweißungen übertragen, indem man die Zugfestigkeit des quer zur Längsrichtung geschweißten Stabes in

kg/mm² und seine Bruchdehnung in vH feststellte und beide Werte mit den entsprechenden Werten des vollen Werkstoffs verglich. Mit neueren Schweißdrähten geschweißte Verbindungen zeigen nun, daß der Probestab sowohl bei der rohen wie bei der abgedrehten bzw. abgehobelten Probe fast immer außerhalb der Schweißstelle reißt. Man stellt dann naturgemäß eine Zugfestigkeit der Schweißnaht von mindestens 100 vH derjenigen des Urwerkstoffs fest, aber auch eine sehr günstige Bruchdehnung. Letztere rührt aber nur vom Urwerkstoff her, ist also als Dehnung der Schweißstelle ganz irreführend. Die wirkliche Dehnung der Schweißnaht, die man z. B. an einem nur aus Schweißwerkstoff angefertigten Stab messen kann, ist im allgemeinen noch gering und bei der Lichtbogenschweißung geringer als bei der Gasschweißung. Jedenfalls hat also die beim normalen Zugversuch ermittelte Bruchdehnung keine merkliche Bedeutung für die Beurteilung der Schweißnaht. Man verlangt daher aus dem Zugversuch nur die Angabe der Mindestzugfestigkeit.

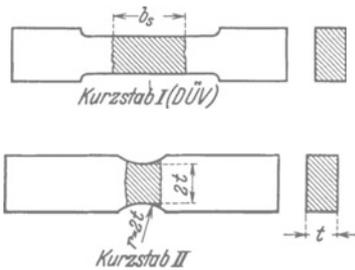


Abb. 321. Kurzstäbe für Zugversuche.

Aus mehreren Gründen nimmt man heute für den Zugversuch bei der Schweißnahtprüfung nicht mehr den Rundstab — was sich ja bei dünneren Blechen von selbst verbietet —, sondern den Flachstab und auch hier wiederum die besonderen Formen nach Abb. 321. Gut bewährt hat sich der DÜV-(Dampfkessel-Überwachungs-Verein) Kurzstab, dessen schmaleres Mittelstück nicht viel länger ist als die Breite der Schweißung b_s . In DIN-DVM, A 120 ist für die Prüfung des Schweißgutes die in Abb. 321 unten wiedergegebene Form gewählt. In beiden Fällen will man, im allgemeinen wenigstens, den Bruch des Stabes in der Schweißnaht erreichen, um die wirkliche Zugfestigkeit der Schweißung zu ermitteln.

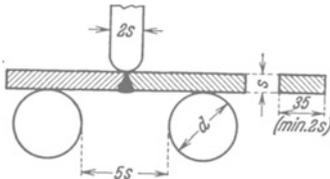


Abb. 322. Abmessungen für den Biegeversuch.

Biege- oder Kaltversuch. Zur rohen Beurteilung genügt schon die Biegung der Schweißprobe in einem Schraubstock, vielleicht mit anschließendem vollständigem Aufbrechen der Schweißnaht, um das Schweißgefüge (Schlackeneinschlüsse usw.) zu erkennen. Man macht hiervon mit gutem Erfolge bei den Schweißerprüfungen Gebrauch.

Für einen Abnahmeversuch ist natürlich eine sorgfältigere Prüfung in einer einfachen Biegemaschine vorzusehen, deren Grundform Abb. 322 (s. auch DIN 4100 und DIN-DVM, A 121) wiedergibt. Die Hauptschwierigkeit bei diesem Versuch liegt immer darin, daß die Biegung der Probe schlecht in die Schweißnaht zu bringen ist, weil sich der Werkstoff der Schweißnaht wegen seiner gewöhnlich größeren Härte beim Biegen anders verhält als der Grundwerkstoff. Als Vergleichsmaßstab hat sich die Tetmayersche Biegegröße als unzureichend erwiesen, ebenso — wie nach vorigem leicht ersichtlich — die Dehnungsmessung. Man hat daher wieder dem Biegewinkel den Vorzug gegeben, indem man den Biegeversuch nicht als wissenschaftlich scharfe Prüfung, sondern als einen Versuch ansieht, der zur schnellen und werkstattmäßig hinreichend

genauen technologischen Untersuchung der Schweißnaht vorläufig noch am besten geeignet ist.

Für die Arbeitsprüfung kommt der Biegeversuch mit Wulst und für die Werkstoffprüfung der Biegeversuch ohne Wulst in Betracht. Es ist möglich, daß sich für bestimmte Zwecke der Biegeversuch mit gleichzeitiger Dehnungsmessung durchsetzen wird, wenn sich die Form des Freibiegeversuchs ohne Dorn bewährt. Bei diesem Gerät steht die Probe durch Aufbringen des Biegemoments auf die Probeenden in ihrer ganzen Länge unter der Wirkung eines gleich großen Biegemoments. Der Fachausschuß für Schweißtechnik im VDI hat Freibiegeversuche und Reckversuche zur Verformungsprüfung von Schweißverbindungen eingeleitet. Zur Zeit liegt aber noch kein endgültiges Ergebnis vor.

Schmiedeprobe. Der Probestab von 300 mm Länge und 35 mm Breite ist bei Hellrot-Gelbglut in einer Hitze auf eine Länge = $10 \times$ Probendicke von der Mitte aus auf die Hälfte der Blechdicke und Probenbreite auszuschmieden. Der ausgeschmiedete Probeteil muß sich bei obiger Hitze um 360° verdrehen lassen, ohne Anrisse zu zeigen. Diese Probe auf Schmiedbarkeit der Schweißnaht läßt sich in jedem Betriebe ausführen.

Härteprüfung. Hier kann auf das im vorhergehenden Abschnitt B Gesagte verwiesen werden. In Anwendung ist vor allem die Kugeldruckprobe nach Brinell für Auftragsschweißungen (s. DIN 1605, Blatt 3).

Kerbschlag- und Schlagzugversuch. Beim Kerbschlagversuch wird ein eingespannter, mit einer Kerbe versehener Probestab mit Hilfe eines Pendelhammers durchschlagen und die Kerbzähigkeit (spezifische Schlagarbeit) in mkg/cm^2 gemessen. Aus der Vielzahl der Stabformen bevorzugt man heute in Deutschland die kleine DVM-Probe mit 10×10 mm Querschnitt und Rundkerbe (DIN-DVM, A 122). Ihre Durchführung wird z. B. bei der Schweißdrahtprüfung gefordert. Beim Schlagzugversuch wird ebenfalls der vorerwähnte Pendelhammer benutzt. Der Probestab ist mit dem einen Ende in das Pendelgewicht selbst und mit dem anderen Ende in einen am Pendelgewicht sitzenden Bär eingeschraubt, der beim Durchgang des Pendels durch die tiefste Lage gegen Stoßflächen des Maschinengestells trifft und das eine Ende des Stabes zurückhält, während das andere Ende mit dem Pendel weiterschwingen will. Der Stab zerreißt infolge der ruckartigen Zugbeanspruchung, und es wird die zum Zerreißen erforderliche spezifische Schlagarbeit in mkg/cm^2 gemessen.

Beide Versuche sind reine Laboratoriumsversuche und erfordern große Sachkenntnis in der Auswertung. Infolge der starken Streuungen bei den Versuchsergebnissen ist der Wert dieser Prüfungsarten für die Schweißnahtprüfung noch umstritten. Die Kerbzähigkeit ist kein Maßstab für die dynamische Festigkeit einer Schweißverbindung.

Prüfung auf Dauerfestigkeit. Unter Dauerfestigkeit versteht man denjenigen Grenzwert der wechselnden Beanspruchung, der gerade noch beliebig lange ertragen werden kann. Dauerversuche werden bei einer bestimmten Lastwechselzahl abgebrochen, falls der Bruch bis dahin nicht erfolgt. Sie wird als Grenzwechselzahl bezeichnet und beträgt in der Regel bei Stahl 5 oder 10 Millionen, bei Leichtmetallen $30 \div 50$ Millionen Wechsel. Pendelt die wechselnde Beanspruchung zwischen gleich großen positiven und negativen Werten, so wird die Dauerfestigkeit als Wechselfestigkeit bezeichnet. Pendelt die wechselnde Beanspruchung dagegen zwischen Null und einem Höchstwert, so spricht man von Schwellfestigkeit oder Ursprungsfestigkeit. Zur Durchführung der Dauerfestigkeitsversuche kann man sich der Dauerschlagwerke, der Dauerbiegeprüfmaschinen, der Pulsatoren (Erschütterungsmaschinen) oder ganzer schwingender Fachwerkbrücken, der Schwingbrücken, bedienen, in die die zu prüfenden

Schweißstäbe an bestimmten Stellen eingebaut werden. In Abb. 323 ist eine solche Schwingbrücke wiedergegeben. Da man inzwischen schon eine große Empfindlichkeit gewisser Schweißverbindungen gegenüber Dauerbeanspruchungen festgestellt hat und da andererseits Dauerbeanspruchungen im Maschinenbau, Brückenbau usw. ständig in Betracht gezogen werden müssen, liegt die Bedeutung dieses Prüfverfahrens auf der Hand.

Belastungsprobe. Im Gegensatz zu den im Abschnitt B angeführten Belastungsproben wird hier der Höchstdruck (bei Kesseln und Behältern) bzw. die Höchstlast (bei Eisenkonstruktionen) so hoch gewählt, daß die Gesamtkonstruktion an irgendeiner Stelle zu Bruch geht. Man wird derartige, meist auch sehr

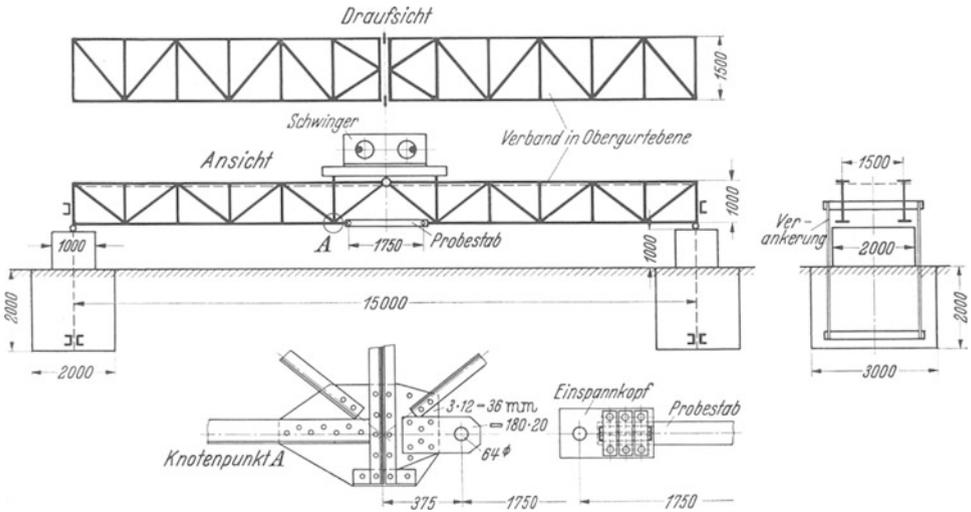


Abb. 323. Schwingbrücke.

kostspielige Proben nur dann durchführen, wenn einfachere Versuche zur sicheren Erkenntnis der Schweißnahtgüte nicht genügen.

Festigkeitsergebnisse von Schmelzschweißungen (insbesondere Gasschweißungen) bei Stahl. Für die Gasschweißung waren zunächst die Versuche von Diegel, Höhn, Bock und Bardtke grundlegend und richtunggebend. Diegel (1922) prüfte Lichtbogen- und Gasschweißungen durch den Zug- und Biegeversuch und fand eine größere Sprödigkeit der Lichtbogenschweißung. Höhn machte 1921 Versuche mit elektrisch und gasgeschweißten Proben, wobei er für die Gasschweißung schon eine Zugfestigkeit von 93÷100 vH von der des vollen Blechs erhielt. 1923 untersuchte er auch elektrisch und gasgeschweißte Hohlkörper. Gasgeschweißte Walzenkessel von 776 mm Durchmesser und 6 mm Wanddicke rissen erst bei 50÷66 at Wasserdruk. Bock (1925) stellte den Schlagzugversuch für die Prüfung von stoßweise auftretenden Belastungen heraus. Bardtke (1927) erreichte bei der Prüfung von über 800 Schweißern bei gasgeschweißten Proben 90÷100 vH der Zugfestigkeit des vollen Blechs und stellte auch Festigkeitsprüfungen an fertigen Stücken im Eisenbahnbetriebe an. Nach Angaben von Ehrhardt auf der schweißtechnischen Tagung in Wien (1928) waren dort gasgeschweißte Hochdruckteile unter 80÷90 at Druck damals schon in zufriedenstellendem Betrieb.

Daeves weist (1926) auf ein Prüfverfahren für den Bau geschweißter Hochdruckbehälter hin, bei denen eine völlige Gewißheit über die Sicherheit der Verbindungen erforderlich ist. Derartige fertig geschweißte Kessel sollen zunächst einem Druck ausgesetzt werden, der sie bis etwas über die Streckgrenze hinaus beansprucht. Jede fehlerhafte Stelle der Schweißnaht macht sich dann bemerkbar. Um aber nun die bei dieser hohen Probebeanspruchung aufgetretenen Reckungen, die Veranlassung zu Alterungserscheinungen des Werkstoffs und der Schweißnaht geben, wieder zu beseitigen, wird der Kessel nachträglich vollkommen ausgeglüht. Es wurde bei derartigen Prüfungen auch durch Kerbschlag- und metallographische Proben nachgewiesen, daß das nachträgliche Glühen die bei hochgetriebener Druckprobe entstandenen Gefügeumänderungen mit Sicherheit beseitigt.

Fiek und Hoffmann stellten (1931) durch Schlagzugversuche fest, daß diejenige Schweißnaht, welche geringere Zugfestigkeit, wenn auch größeres Arbeitsvermögen (Formänderungsfähigkeit) als das Blech besitzt, bei Stoßbeanspruchungen minderwertiger war. Hieraus darf man schließen, daß bei jeder guten Schweißung zunächst die Schweißnahtfestigkeit mindestens gleich der Blechfestigkeit sein muß, damit das Arbeitsvermögen des Blechs möglichst voll ausgenutzt wird. Außerdem ist noch ein gewisses Arbeitsvermögen der Schweißnaht selbst erforderlich.

Dauerfestigkeitsversuche mit Schweißverbindungen wurden in großem Umfange 1930÷1934 vom Fachausschuß für Schweißtechnik im VDI durchgeführt. Aus dem Bericht¹ sei zusammenfassend hervorgehoben, daß die Gas- und die Lichtbogenschweißung bei dynamisch beanspruchten Bauteilen im allgemeinen als gleichwertig anzusehen sind, daß die Dauerfestigkeit der geschweißten Verbindungen nicht wesentlich verschieden waren, ganz gleich ob es sich um Bauteile aus St 37, aus Schiffbaustahl S II oder aus St 52 handelte, und daß Verbindungen mit Schweißdraht von mäßiger Festigkeit, aber erheblicher Dehnung höhere Dauerfestigkeiten lieferten als Schweißwerkstoff, der höhere Festigkeit, aber geringere Dehnung besaß. Während man früher bei dynamisch beanspruchten Bauteilen rein gefühlsmäßig Kehlnähte für die zuverlässigere Bauweise hielt, erwiesen sich bei den Dauerversuchen gut ausgeführte Stumpfnähte als wesentlich besser. Es rührt dies daher, daß bei den Stumpfnähten der Kraftfluß viel natürlicher ist und ungestörter verläuft als bei Kehlnähten. Die hiernach im allgemeinen anzustrebende Verwendung der Stumpfnäht hat außerdem noch den Vorteil, daß die Stumpfnäht leichter auf ihre Brauchbarkeit mit Hilfe der bereits beschriebenen Prüfverfahren untersucht werden kann als die Kehlnäht. Die Dauerfestigkeit in der Form der früher erwähnten Ursprungsfestigkeit beträgt bei sorgfältig ausgeführten Stumpfnähten 18 kg/mm².

Andere Dauerfestigkeitsversuche, so z. B. von Bierett, Thum usw., zeigten entsprechende Ergebnisse. Der Konstrukteur muß dahin streben, durch geeignete Formgebung einen möglichst gleichmäßigen Kraftfluß zu erzielen.

Prox berichtet (1932 und 1933) über Versuche an Kesseln mit der Lichtbogensonderschweißung der Firma Pintsch, Fürstenwalde, die mit Hilfe von Sonderelektroden ausgeführt wird und ein Normalglühen des Kessels nach dem Schweißen vorsieht. Erreicht wird fast durchgehend eine höhere Streckgrenze der Schweißnaht als die des Kesselblechs, stets ein Biegewinkel von 180° und z. B. bei 74 amtlichen Prüfungen eine durchschnittliche Kerzbähigkeit von 21 kg/cm². Dauerfestigkeitsversuche ergaben am vollen Blech (von 20÷21 kg/mm² Streckgrenze und 35 kg/mm² Zugfestigkeit) eine Ursprungsfestigkeit von 22 kg/mm²

¹ Dauerfestigkeitsversuche mit Schweißverbindungen. Berlin NW 7: VDI-Verlag 1935.

bei X-Naht-Schweißungen und abgearbeiteter Schweißwulst 20 kg/mm^2 und bei unbearbeiteten Schweißnähten 17 kg/mm^2 , also sehr hohe Werte. Während aber ein glatter Schweißstab bei einer Höchstlast von 19 kg/mm^2 ohne Anriß einen Lastwechsel von 2 Millionen ertrug, riß ein mit kleinen Bohrungen (seitlich der Naht) versehener Schweißstab schon bei $0,25 \div 0,3$ Millionen Lastwechseln, und auch ein Schweißstab, der eine unauffällige Blechnarbe (außerhalb der Schweißung natürlich) hatte, in dieser Narbe schon bei rund 1 Million Lastwechseln. Hieraus ist zu erkennen, daß regelmäßig vorkommende Fehler des Blechs auf die Dauerfestigkeit größeren Einfluß haben können als eine einwandfrei ausgeführte Schweißung. Ebenso wird bei Kesseln die Ablenkung des Kraftlinienflusses durch Bohrungen, Stutzen usw. die Dauerfestigkeit stärker beeinflussen als die Schweißverbindung. — Nach den preußischen Erlassen von 1931, 1933 usw. darf die Festigkeit der genannten und anderer Sonderschweißungen bei Kesselblech I und (seit 1933) auch bei Kesselblech II ($41 \div 50 \text{ kg/mm}^2$ Zugfestigkeit) bei Zugbeanspruchung mit 90 vH der Blechfestigkeit in Rechnung gesetzt werden. Auch brauchen die Schweißnähte nicht mehr mit Laschen gesichert zu werden. Bis dahin waren für die Schmelzschweißung an Kesseln 50 vH, in Sonderfällen bis 65 vH und an Dampffässern 70 vH zulässig; außerdem wurde bei Kesseln stets Laschen-sicherung der Schweißnähte gefordert. Entsprechend stellt sich Vigener bei Besprechung des neuen Entwurfs der „Werkstoff- und Bauvorschriften für Landdampfkessel“ ein¹, auf den im Abschnitt „Glühbehandlung“ nochmals eingegangen wird.

Neuere Festigkeitsergebnisse von Gasschweißungen an Stahl. Sommer stellte 1932 fest, daß sich bei Kohlenstoffgehalten von über etwa 0,35 vH bzw. bei Stählen hoher Festigkeit (60 kg/mm^2 und mehr) Schwierigkeiten ergaben insofern, als sich mit den zur damaligen Zeit erhältlichen, auch legierten Schweißdrähten bei größeren Blechdicken die notwendige Festigkeit nicht mehr mit Sicherheit erreichen ließ. Zeyen (1935 und 1936) erhielt bei Schweißungen mit legiertem Schweißdraht befriedigende Zugfestigkeiten bei Kohlenstoffgehalten bis 0,56 vH für 12 mm Blechdicke und bis 0,6 vH für 6 mm Blechdicke. Die Biegewinkel waren allerdings nur bis 0,38 vH C als ausreichend zu bezeichnen. Bei geringeren Blechdicken kann nach Zeyen schon bei 0,3 vH C Schweißbrissigkeit auftreten. Ebenfalls rät er bei großen Blechdicken und Stählen höheren Kohlenstoffgehalts zur Vorsicht. Sehr gute Festigkeitsergebnisse erhielt er für dünne Bleche bei Anwendung legierter Schweißdrähte, bei Entwicklung einer neuen Stahlsorte mit weitgehender Unempfindlichkeit gegen Schweißüberhitzung (z. B. Kruppstahl Aero 50) und insbesondere bei Vergütung der Schweiße durch Härten und Anlassen, was naturgemäß nur in bestimmten Fällen praktisch anwendbar ist.

Holler und Frankenbusch (1936) prüften hochbeanspruchte Schweißnähte bis St 60 und fanden als erforderlich für gute Festigkeitsergebnisse die Verwendung entsprechender (manganlegierter) Schweißdrähte und eine Vergütung der Schweiße durch wurzelseitiges Nachschweißen oder mehr noch durch Hämmern. Schweißdrähte mit höherem Nickelgehalt (z. B. 3 vH Ni bei St 42) ergaben keinerlei Vorteile. Stursberg (1937) untersuchte eingehend die Schmelzverhältnisse und Güteeigenschaften bei höher gekohlten Flußstahl-Schweißungen ($0,25 \div 0,4$ vH C). Er stellte die Überlegenheit der Nachrechts- gegenüber der Nachlinksschweißung auch in gütetechnischer Hinsicht fest. Durch wurzelseitiges Überschweißen der fertiggestellten Naht ergab sich eine Verbesserung der Biegedehnung und der Kerbzähigkeit um etwa 50 vH. Bei Kohlenstoffgehalten bis 0,40 vH erhielt er stets eine Zugfestigkeit der Schweißnaht,

¹ S. Z. VDI 1936, S. 1215 u. f.

die höher war als die des Grundwerkstoffs. Eine Glühbehandlung der Schweißnaht wird empfohlen. Schweißrissigkeit wurde nicht festgestellt. Czternasty (1937) prüfte Gasschweißungen niedriglegierter Kesselbaustoffe (z. B. Mangan-Siliziumstahl mit 0,12 vH C, 0,80 vH Mn, 0,24 vH Si, Molybdänstahl mit 0,13 vH C, 1,19 vH Mn, 0,15 vH Mo und Rohrschweißungen von Kupfer-Molybdän- und Chrom-Molybdänstahl) und stellte durchweg hinsichtlich Zugfestigkeit (100 vH), Biegewinkel (180°) und Kerbzähigkeit ($14\text{--}15\text{ mkg/cm}^2$) sehr gute Ergebnisse für die Gasschweißung fest. Die besten Werte ergaben sich bei Normalglühung. Bei dem Mangan-Siliziumstahl wurde durch Hämmern (in Rotglut) keine Verbesserung gegenüber dem Glühen erzielt. Es ist hiernach also auch bei niedriglegierten Kesselbaustoffen möglich, mit der Gasschweißung hochwertige Schweißverbindungen zu erzielen. Hase (1938) bringt Angaben über Festigkeitswerte beim Schweißen von Verbundblechen (plattierten Blechen). Die Zugfestigkeiten bei Schweißungen an Verbundblechen mit Deckschichten aus Kupfer, Nickel und Monelmetall liegen im Mittel bei $95\div 100$ vH der Festigkeit des ungeschweißten Bleches.

Glühbehandlung von Schweißnähten. Vigener stellt in seinen bereits angezogenen Ausführungen über „Die neuen Vorschriften für geschweißte Dampfkessel“ fest, daß nach dem heutigen Stande unserer wissenschaftlichen Erkenntnis der für den Kesselbau in Frage kommende Werkstoff in normalgeglühtem Zustande die günstigsten Eigenschaften aufweist. Deshalb wird für Dampfkesselschweißungen im allgemeinen weiterhin das Normalglühen verlangt. Ein Verzicht auf eine Wärmebehandlung ist bei hochwertigen Schweißungen nur möglich, wenn der Schweißwerkstoff eine sehr große Dehnungsfähigkeit besitzt. Unter einschränkenden Bestimmungen wird auch das „Spannungsfreiglühen“ (bei $600\div 650^\circ$) und schließlich auch die ungeglühte Schweißung zugelassen. Beim Spannungsfreiglühen wird aber die Bewertung der Schweißnaht nur bis zu 70 vH und bei ungeglühter Schweißung nur bis zu 50 vH des Grundwerkstoffs zugelassen, bei letzterer auch nur ein Betriebsdruck bis zu 8 at. Czternasty stellte bei seinen schon erwähnten Versuchen an niedriglegierten Kesselbaustoffen noch fest, daß das sog. „Ablassen“ (ein Normalglühen mit langsamer Abkühlung im Ofen auf 700° und anschließender Luftabkühlung) eine unerwünschte Verminderung der Streckgrenze und Dauerfestigkeit zur Folge hatte, also gegenüber dem Normalglühen mit Luftabkühlung nicht empfohlen werden kann.

Schweißempfindlichkeit. Unter Schweißempfindlichkeit, auch Wärmeempfindlichkeit oder Schweißrissigkeit genannt, versteht man die Erscheinung, daß der Werkstoff unter gewissen Umständen neben der Schweißnaht reißt. Der Grund hierfür liegt darin, daß ein härterer Stahl (von etwa 0,3 vH C ab aufwärts) neben der Schweißnaht eine Gefügeumwandlung erleidet, die mit starker Härtung und Versprödung verbunden ist. Allgemein läßt sich nach Untersuchungen von Zeyen (1936) sagen, daß bei Stählen die Schweißempfindlichkeit mit abnehmender Werkstoffdicke, mit zunehmender Werkstofffestigkeit und mit steigender Schwierigkeit der Schweißkonstruktion zunimmt. So zeigt z. B. ein Kohlenstoffstahl mit 0,3 vH C in größeren Werkstoffdicken (von etwa 6 mm an aufwärts) keine Schweißempfindlichkeit, wohl aber in geringen Werkstoffdicken (z. B. 2 mm und weniger). Weicher Stahl (unter 0,2 vH C) ist schweißunempfindlich. Zur Prüfung der Schweißempfindlichkeit werden Schweißproben ohne oder mit Einspannung des Probestücks benutzt, von denen sich die Einspannschweißprobe am meisten eingeführt hat.

Von ungünstigem Einfluß auf die Schweißempfindlichkeit sind u. a. fehlerhafte Wärmebehandlung des Werkstoffs bei der Herstellung und bei der Schweißung (Überhitzung), ungeeignete Schweißdrähte und ungeeigneter Werkstoff an

sich. Zeyen ermittelte z. B., daß beim Kohlenstoffstahl eine Erhöhung des Mangangehalts sehr vorteilhaft war und daß bei Chrom-Molybdänstählen die Schweißempfindlichkeit bei mehr als 1,0 vH Cr und mehr als 0,2 vH Mo stark anstieg. Obwohl die Ansichten über den Einfluß von P und S beim Cr-Mo-Stahl noch nicht einheitlich sind, wurden doch diese Gehalte in den neuen Lieferbedingungen auf höchstens 0,035 vH P + S begrenzt.

Festigkeitsergebnisse von Gasschweißungen an Nichteisenmetallen.

Kupferschweißungen. Im Mittel lassen sich folgende Werte erzielen:

Mutterwerkstoff	21 ÷ 24	kg/mm ² Zugfestigkeit und 38 vH Dehnung
Rohschweiße	11,8 ÷ 12,0	kg/mm ² Zugfestigkeit und 5,8 ÷ 8,9 vH Dehnung
Warmgehämmerte Schweiße	20 ÷ 22	kg/mm ² Zugfestigkeit und 30 ÷ 34 vH Dehnung

Messingschweißungen. Der Biegewinkel längs und quer zur Naht beträgt durchweg 180°, die Zugfestigkeit der Rohschweiße selten unter 90 vH. An Ms 63 ausgeführte Schweißungen ergaben im Mittel folgende Werte:

Mutterwerkstoff	38,6	kg/mm ² Zugfestigkeit und 40 vH Dehnung
Rohschweiße	34,5	kg/mm ² Zugfestigkeit und 30 vH Dehnung
Gehämmerte Schweiße	37,2	kg/mm ² Zugfestigkeit und 45 vH Dehnung

Im allgemeinen wird also durch Warmhämmern (zwischen 500 und 600°) sowohl die Zugfestigkeit wie die Dehnung gesteigert.

Schweißungen an Sonderbronzen. Schweißversuche an Blechen von 6 und 10 mm Dicke aus Aluminiumbronze mit 96 vH Kupfer und 4 vH Aluminium ergaben folgende Werte:

Mutterwerkstoff	36,0	kg/mm ² Zugfestigkeit, 53,0 vH Dehnung, 180° Biegewinkel
Rohschweiße	31,0	kg/mm ² Zugfestigkeit, 39,0 vH Dehnung, 180° Biegewinkel

Umfangreiche Versuche von Bürgel (1936) an 7 Sorten Sonderbronzen, in der Hauptsache mit Zink-, Nickel- und Aluminiumzusatz, zeigten eine sehr gute Eignung der Azetylschweißung. Die Zugfestigkeit erreichte meist die des ungeschweißten Bleches, auch die Dehnung war befriedigend. Eine Nachbehandlung der Schweiße durch Vergüten ergab keine nennenswerte Gütesteigerung.

Aluminiumschweißungen. Versuche von Zimmermann (1937) an Aluminiumblechen mit 99,5 vH Al ergeben das Bild der Tabelle 18. Es zeigt sich, daß bei weichem Werkstoff die Zugfestigkeit der Schweiße die des Grundwerkstoffs stets übersteigt. Bei hartem Werkstoff liegen die Zugfestigkeitswerte

Tabelle 18.

Blechdicke mm	Be- zeichnung	Zugfestigkeit kg/mm ²		Dehnung vH	
		Grundstoff	Geschweiß	Grundstoff	Geschweiß
3	weich	7,98	8,43	45,5	24,5
3	halbhart	11,67	8,20	18,4	20,9
6	weich	7,67	7,41	49,1	30,9
6	halbhart	11,61	7,56	19,1	32,2
12	weich	7,08	7,84	66,9	27,1
12	halbhart	11,50	8,38	35,7	36,6
20	weich	8,02	8,20	67,5	37,4
20	halbhart	10,54	8,48	54,1	43,7

der Schweiße etwa in der Höhe des weichen Werkstoffs bzw. dessen Schweiße. Die Dehnung der Schweiße ist bei weichen Blechen, entsprechend der größeren Härte der Schweiße, geringer als die des weichen Werkstoffs, und bei harten Blechen, entsprechend der Ausglühwirkung, größer als die der Schweiße erbrachte eine mäßige Erhöhung der Zugfestigkeit, aber eine starke Verbesserung der wohl erstmalig bei Aluminiumschweißungen festgestellten Kerbzähigkeit. Bei dem Warmabhämmern wurden beim 20 mm-Blech sogar die Werte des Grundwerkstoffs für die Kerbzähigkeit (10,5 ÷ 11,0 mkg/cm²) erreicht.

Schweißungen von Nickel und Nickellegierungen. Schweißungen an Reinnickelblechen ergaben im Mittel:

Mutterwerkstoff	42 kg/mm ² Zugfestigkeit und 40 ÷ 50 vH Dehnung
Rohschweiße	35 kg/mm ² Zugfestigkeit und 10 ÷ 30 vH Dehnung
Geschweißt, gehämmert und geglüht	58 kg/mm ² Zugfestigkeit und 38 vH Dehnung
Hammerschweiße	42 kg/mm ² Zugfestigkeit und 26 vH Dehnung

Schweißungen an Monelmetallblechen von 3 und 4 mm Dicke zeigten im Mittel:

Mutterwerkstoff	49,36 kg/mm ² Zugfestigkeit und 31,4 vH Dehnung
Schweiße	48,53 kg/mm ² Zugfestigkeit und 18,0 vH Dehnung

Zinkschweißungen ergaben nach Horn (1936) ungehämmert eine Zugfestigkeit von 8 ÷ 10 kg/mm² und einen Biegewinkel von 100 ÷ 180° bei 1 ÷ 2 mm-Blech gegenüber etwa 17 ÷ 19 kg/mm² Zugfestigkeit des Mutterwerkstoffs.

2. Metallographische Prüfungen.

Allgemeines. Der Metallograph untersucht das Kleingefüge des Metalls und dessen Aufbau und zieht aus der Struktur des meist im Mikroskop stark vergrößerten Werkstoffs Schlüsse auf dessen Herstellung und Behandlung. Er entnimmt dem zu prüfenden Werkstück kleine Stückchen, feilt, schleift und poliert eine Fläche und macht, da auf der glänzenden Fläche selten etwas zu erkennen ist, das Gefüge dadurch sichtbar, daß er die Schlifffläche entweder anläßt oder, was am häufigsten vorkommt, mit gewissen Lösungen ätzt. Meist erfolgt ein Ätzen mit Kupferammoniumchlorid bei Prüfungen des Großgefüges (mit bloßem Auge, makroskopische Prüfung) oder mit alkoholischer Salzsäure bei Prüfungen des Kleingefüges (mikroskopische Prüfung). Durch das Anlassen oder Ätzen treten die einzelnen kristallinen Bestandteile des Metalls in verschiedenen Farben oder erhaben hervor. Für einen Vergleich von Bildern des vergrößerten Gefüges ist es wichtig, daß jedesmal die Vergrößerung angegeben wird (z. B. Abb. 328 und 329; $V = 200$, d. h. 200fach vergrößert).

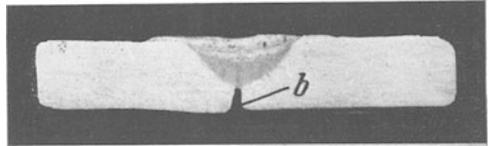


Abb. 324. Schlecht geschweißtes Flußstahlblech.

Untersuchungen an Gasschweißungen. Der Unterschied zwischen Kohlung und Entkohlung tritt in Abb. 324 (Flußstahlblech) scharf hervor. *b* ist nicht durchgeschweißt; oberhalb dieser Fuge wurde zuerst mit Gasüberschuß (dunkle Färbung), darauf mit Sauerstoffüberschuß (helle Färbung) geschweißt. Im obersten Teile der Schweißnaht machen sich schon Anzeichen von Überhitzung und die Einlagerung von Fremdkörpern (Oxydeinschlüssen) bemerkbar. Infolge von Gasüberschuß oder Eintauchen des Flammenkegels kann die Kohlung (Zementation) des Stahls so weit getrieben werden, daß der Nahtquerschnitt in der Schliffätzung ausgesprochen schwarz erscheint. Solche Schweißungen sind, gleich den verbrannten, spröde und deshalb unbrauchbar.

Die nun folgenden Abb. 325 und 326 zeigen doppelseitig geschweißte Flußstahlbleche von 30 mm Dicke. Die Ätzung in Abb. 325 stammt von einer Schweißnaht, die trotz geringer Mängel als gut anzusprechen ist, da Bleche von solchen Abmessungen schwer schweißbar sind. Hier ist die Wassergasschweißung am Platze. Nur an der Stelle *b* ist dem Schweißer ein Fehler unterlaufen insofern, als er eine Oxydschicht nicht genügend zerstört und mit eingeschmolzen,

beziehentlich den Werkstoff nicht ausreichend geschmolzen (kaltgeschweißt) hat. Bei *a* sehen wir Schwefeladern, die an der Schweißfuge unterbrochen sind.

Aus Abb. 325 ist auch die kristalline, körnige Gefügestruktur des eingeschmolzenen Zusatzwerkstoffs ersichtlich, der sich auf diese Weise vom Grundwerkstoff, dessen Gefüge

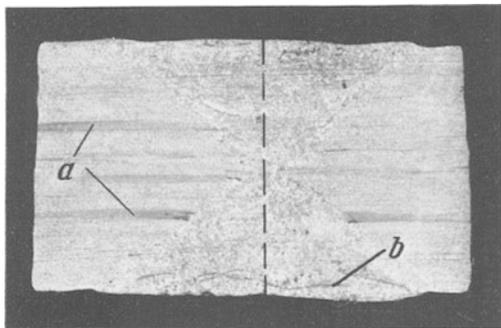


Abb. 325. Dickes, doppelseitig geschweißtes Flußstahlblech.

von streifigem, langgezogenem Aussehen ist, abhebt. Man erhält bei ungehämmerten, ungeglühten Schweißnähten das Gefüge eines gegossenen Werkstoffs, denn die Schmelzschweißung ist im Grunde genommen nichts anderes als ein Kleingießverfahren. Das beim Walzen des Blechs entstandene, in der Schweißung unterbrochene, faserige Gefüge kann annähernd wiederhergestellt werden, wenn die Schweißnaht im rotwarmen Zustande (oberhalb 800°)

gut gehämmert, gestreckt (ausgebreitet) oder gewalzt wird. Diese mechanische Bearbeitung muß aber stets bei einer Temperatur erfolgen, bei welcher das Eisen nicht mehr magnetisch ist (deutliche Rotglut, über 770°). Hieraus erklärt es sich, warum man in Schweißereien mitunter kleine Hufeisenmagnete antrifft; sie dienen dazu, die zulässige untere Grenze der Hämmerertemperatur auf einfachste Weise festzustellen. Da Eisen unterhalb 770° wieder seinen Magnetismus zurückerhält, darf es in diesem Zustande (Blauwärme) nicht mehr gehämmert werden, wenn innere Spannungsrisse im Werkstoff verhindert werden sollen, die späterhin im Betriebe zu Bruchbildung Veranlassung geben können.

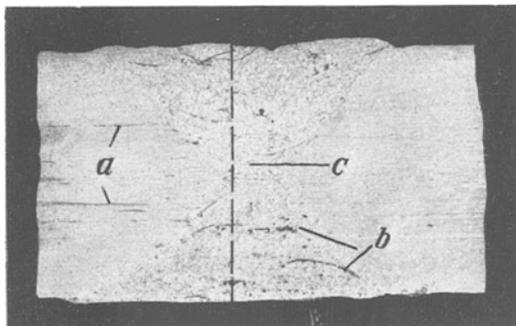


Abb. 326. Dickes, doppelseitig geschweißtes Flußstahlblech mit Schlackeneinschlüssen.

ebenfalls 30 mm dicken, im übrigen doppelseitig gut geschweißten Flußstahlblechs zeigen. Umfangreiche Schlackeneinschlüsse sind an verschiedenen Stellen der Naht (insbesondere bei *b*) eingelagert und beeinträchtigen deren Querschnittsfestigkeit erheblich. Bei *a* sind noch Schwefeinschlüsse zu erkennen. Bei *c* treffen die beiderseitigen ersten Schweißlagen zusammen.

In Abb. 327 haben wir eine Gasschweißnaht aus dem Wasserrohrkessel eines Torpedoboots in unbearbeitetem Zustande vor uns, und zwar oben im Querschnitt und unten im Längsschnitt, in der Richtung *a*÷*b* geschnitten. Die Schweißung zeigt im nichtvergrößerten Bild kleine Poren und hat trotzdem 11 Jahre tadellos gehalten. Auch dann riß sie nicht, sondern das Torpedoboot wurde außer Dienst gestellt. Zu berücksichtigen ist in diesem Falle besonders, daß der Schweißer

Welchen Einfluß die Verwendung unreinen, daher erfahrungsgemäß ungeeigneten Zusatzwerkstoffs hat, soll Abb. 326, die Schlißfläche eines

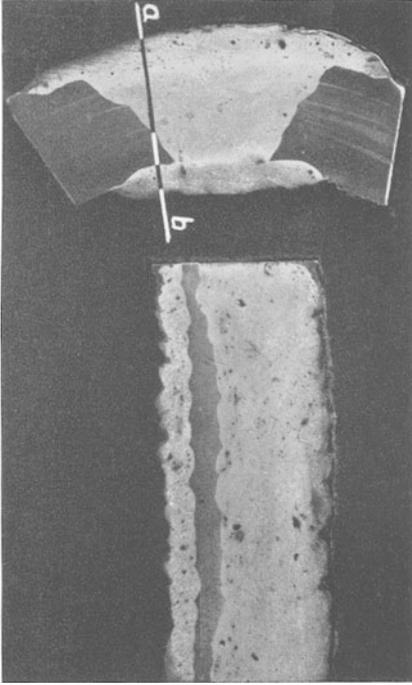


Abb. 327. Schweißnaht eines Wasserrohrs in einem Torpedobootskessel.

unter ungünstigen Licht- und Platzverhältnissen und zum Teil über Kopf schweißen mußte.

Die Abb. 328 und 329 zeigen Proben aus reinem Schweißgut (Stahldraht mit 0,13 vH C) in 200facher Vergrößerung, und zwar in Abb. 326 ohne Wärmebehandlung (Rohschweiße) und in Abb. 329 eine halbe Stunde lang normalgeglüht. Das Gefügebild zeigt in beiden Fällen Ferrit und Perlit.



Abb. 328. Probe aus reinem Schweißgut (Rohschweiße), V = 200.

Ausscheidungen von Stickstoffnadeln und oxydische Einschlüsse sind nicht zu erkennen. Das Gefüge der wärmebehandelten Schweiße (Abb. 329) ist feiner als das der nichtwärmebehandelten (Abb. 328), was bei der Festigkeitsuntersuchung in einer Erhöhung der Dehnungswerte zum Ausdruck

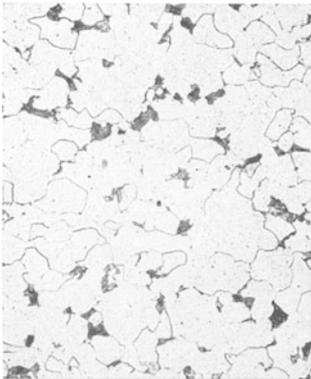


Abb. 329. Probe aus reinem Schweißgut (normalgeglüht), V = 200.

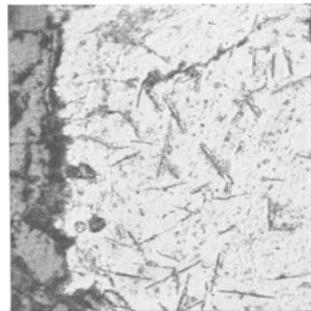


Abb. 330. Lichtbogenschweißung mit Nitridnadeln (V = 500).

kommt. Demgegenüber neigt die mit nackten und leichtumhüllten Elektroden hergestellte Naht zur Stickstoffaufnahme. Wie Abb. 330 erkennen läßt, erscheint der Stickstoff bei genügend starker Vergrößerung (in diesem Falle V = 500) in Form feiner Nitridnadeln (Eisennitrid, Fe_2N , eine Eisenstickstoffverbindung),

die das ganze Feld des Metallschliffs durchsetzen. Hierbei darf nicht übersehen werden, daß solche Nitridnadeln in schnell abgekühlten oder sogar abgeschreckten



Abb. 331. Kleingefüge von Kupfer, ungeschweißt ($V=115$).



Abb. 332. Grobkristallines Kleingefüge einer unvergüteten Kupferschweißnaht ($V=115$).

Schweißen auch bei starker Vergrößerung im Mikroskop nicht sichtbar sind, woraus jedoch keineswegs auf ihre Abwesenheit geschlossen werden darf. Glüht

man die Probe und läßt sie langsam erkalten, so tritt das nadelige Gefüge deutlich hervor.

Abb. 331 und 332 zeigen das Kleingefüge von Kupferblechen von 2 mm Dicke in 115facher Vergrößerung. In Abb. 331 haben wir den reinen Werkstoff des Blechs in einiger Entfernung von der Schweißstelle vor uns. Die Kupferkristalle sind feinkörnig und gleichmäßig. In Abbildung 332 sehen wir demgegenüber die Kristalle in der Schweißnaht; sie sind sehr grobkörnig. Die schwarzen Stellen sind Hohlstellen bzw. Einschlüsse von Kupferoxydul, die schon im Ursprungswerkstoff vorhanden waren. Die grobe Kristallstruktur der Schweißnaht läßt sich durch Verhämmern wieder verfeinern; sie sieht dann fast genau so aus wie in Abb. 331 und ist hierdurch als verbessert anzusprechen.

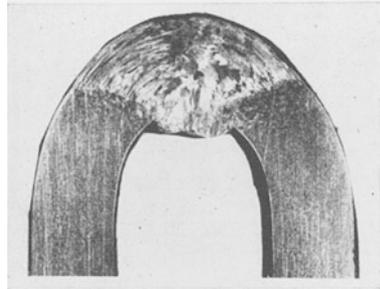


Abb. 333. Aluminiumbronzeschweißung, um 180° gebogen.

Eine nach dem Biegen um 180° geätzte Schliffprobe eines Aluminiumbronzblechs von 10 mm Dicke, das mit umhüllten Stäben autogen geschweißt wurde, zeigt uns die Abb. 333. Diese Rohschweiße ist völlig poren- und fehlerfrei



Abb. 334. Zinkblechschweißung, 0,6 mm dick ($V = 15$).



Abb. 335. Gute Nickelblechschweißung.

und zeigt das der Legierung eigentümliche grobkristalline stengelige Gefüge, dessen Kristalle aber der Biegedehnung anstandslos gefolgt sind.

Die Abb. 334 gibt sodann das Gefüge einer Zinkblechschweißung von 0,6 mm Dicke in 15facher Vergrößerung wieder. Man erkennt in der Schweiße sehr grobe Stengelkristalle, die zu einer erheblichen Abnahme der Festigkeit führen.

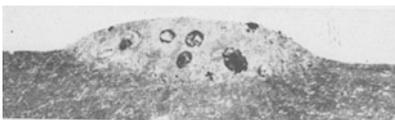


Abb. 336. Fehlerhafte Nickelblechschweißung.

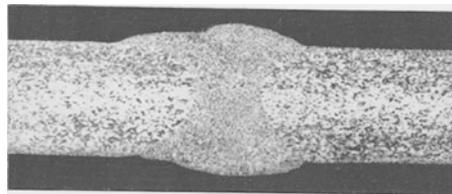


Abb. 337. Aluminiumblechschweißung, mit Reinaluminiumdraht geschweißt und warm gehämmert.

Die Ausbildung des groben Kornes erfolgt sehr plötzlich, schließt ohne Übergang an den Mutterwerkstoff an und nimmt mit abnehmender Blechdicke zu.

In Abb. 335 haben wir eine fehlerfreie Nickelblechschweißung an einem 2 mm dicken Blech vor uns; die mit richtig eingestellter Flamme und gutem Schweißdraht nachrechtsgeschweißt worden ist. Die Schweiße ist nicht vergütet. Die gleich dicke Schweißnaht in Abb. 336 ist mit falscher Flammeneinstellung und einem ungeeigneten Flußmittel nachlinksgeschweißt.

Zwei Aluminiumblechschweißungen zeigen uns die Abb. 337 und 338, und zwar sehen wir in Abb. 337 die Schweiße eines Aluminiumblechs von 22 mm

Dicke, das mit Reinaluminiumdraht geschweißt und warm gehämmert worden ist, und in Abb. 338 eine feinkörnige Schweiße desselben Bleches, die mit einem titanlegierten (0,1 vH) Draht ohne Vergütung erreicht wurde.

Schließlich gibt Abb. 339 noch eine Hartlötung an Kupferblech in 35facher Vergrößerung wieder. Das Lot bestand aus einem Messingsonderdraht. Beiderseits sieht man das reine Kupferblech.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß metallographische Untersuchungen der Schweißnaht durch nähere Aufklärung über die Struktur des

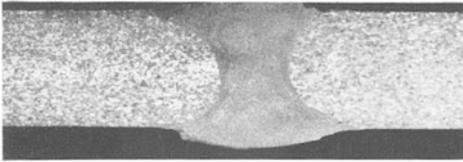


Abb. 338. Aluminiumblechschweißung, Schweißdraht mit Titanzusatz, Rohschweiße.

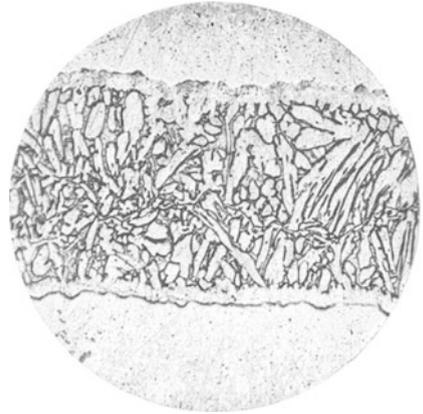


Abb. 339. Hartlötung an Kupferblech (V = 35).

Schweißgefüges zu Verbesserungen anregen können und selbst schon bei geringer Vergrößerung Schweißfehler deutlich erkennen lassen.

3. Chemische Prüfungen.

Werkstück. Flußstahlblech für hochwertige Schweißkörper soll nach Diegel folgende chemische Zusammensetzung haben: 0,06÷0,12 vH Kohlenstoff (C), unter 0,1 vH Silizium (Si), 0,45÷0,8 vH Mangan (Mn), unter 0,05 vH Phosphor (P) und unter 0,05 vH Schwefel (S). Jedoch hebt Mangan die schädliche Wirkung des Siliziums auf, so daß bei Anwesenheit von 0,5 vH Mn noch bis zu 0,15 vH Si zulässig sind. Bei einer Zugfestigkeit von 34÷45 kg/mm² ist dieser zweckmäßig im Siemens-Martin-Ofen hergestellte Flußstahl dem Schweißstahl mindestens gleichwertig. Als gutes Gußeisen für Schweißungen ist nach Neese zu bezeichnen ein Werkstoff mit folgender Zusammensetzung: 3÷3,5 vH C, 3÷3,5 vH Si, 0,5÷0,7 vH Mn, bis 0,8 vH P, bis 0,06 vH S.

Die Rücksichtnahme auf die chemische Zusammensetzung des Werkstücks konnte im Laufe der Jahre immer mehr zurückgestellt werden, da heute auch kohlenstoffreiche Stähle und Sonderstähle, alle Gußeisensorten usw. unter Beobachtung der nötigen Vorsichtsmaßregeln schweißbar sind.

Schweißdraht. Nicht die chemische Analyse allein ist, wie schon mehrfach erwähnt, maßgebend für die Güte des Drahts, sondern auch sein Verhalten bei Probeschweißungen und die bei diesen Schweißungen erzielten Festigkeitswerte. In den „Bedingungen für die Lieferung und Abnahme von Zusatzwerkstoffen für die Gas- und Lichtbogenschweißung von Stahl, 1933“ und in der DIN-Vornorm 1913 sind auch kurze Angaben über die chemische Zusammensetzung der Schweißdrähte enthalten (im allgemeinen unter 0,04 vH P und unter 0,03 vH S). Es wird aber mit Recht betont, daß die Schweißdrahtzusammensetzung sich nach dem Schweißverfahren und dem Verwendungszweck richten muß. Zur Erhöhung der Festigkeit dient vor allem höherer Manganzusatz, zur Erhöhung der Dehnung ein erhöhter Zusatz an Mangan, Kupfer, Nickel, Molybdän,

zur Erhöhung der Verschleißfestigkeit wieder ein Manganzusatz bis zu 14 vH. Man stellt Schweißdrähte für die Gas- und für die elektrische Lichtbogenschweißung üblicherweise nicht aus den gleichen Schmelzungen her. Für Gasschweißdrähte verwendet man einen desoxydierten Stahl, damit der Draht beim Abschmelzen in der Brennerflamme möglichst wenig Schlackenbildung ergibt. Im Gegensatz hierzu sind in Lichtbogenschweißdrähten nichtmetallische Einschlüsse erwünscht, weil sie zur Stabilisierung des Lichtbogens beitragen.

Schweiße. Nach Versuchen von Hoffmann, Zeyen, Czternasty u. a. ergaben sich zwischen den chemischen Zusammensetzungen des Schweißdrahts und der Schweiße bei Flußstahlschweißungen verschiedene kennzeichnende Unterschiede, wie sie auch aus den in Tabelle 19 auszugsweise wiedergegebenen Versuchsergebnissen zu erkennen sind.

Tabelle 19.

Gegenstand	Kohlenstoff C	Silizium Si	Mangan Mn	Phosphor P	Schwefel S	Sauerstoff O	Stickstoff N
	vH	vH	vH	vH	vH	vH	vH
Versuche von Hoffmann:							
Schweißdraht	0,05	—	—	0,010	0,018	0,031	0,028
Schweiße	0,06	—	—	0,010	0,018	0,082	0,048
Schweißdraht	0,40	—	—	0,014	0,021	0,025	0,020
Schweiße	0,24	—	—	0,010	0,017	0,071	0,040
Versuche von Zeyen:							
Schweißdraht	0,13	0,07	0,66	—	—	—	0,005
Schweiße	0,10	0,02	0,49	—	—	—	0,017
Versuche von Czternasty:							
Schweißdraht	0,14	0,40	1,00	0,011	0,006	—	—
Schweiße	0,11	0,25	0,74	0,020	0,009	—	—
Schweißdraht	0,15	0,42	0,45	0,017	0,020	—	—
Schweiße	0,10	0,37	0,45	0,017	0,028	—	—

Der Kohlenstoffgehalt des Schweißdrahts nimmt, insbesondere wenn er höher ist, beim Übergang in die Schweiße infolge von Verbrennungsvorgängen ab, ebenso der Silizium- und der Mangangehalt. Der Phosphor- und der Schwefelgehalt bleiben nahezu unverändert. Der Sauerstoff- und der Stickstoffgehalt aber nehmen, infolge von Sauerstoff- und Stickstoffaufnahme aus der Luft, ziemlich stark zu, allerdings lange nicht in dem Maße wie bei der elektrischen Lichtbogenschweißung mit nackten und getauchten Elektroden.

Bei Gußeisenschweißungen zeigen Schweiße und Gußstück im allgemeinen nahezu dieselbe Zusammensetzung, wie dies ja auch erwünscht ist.

Für die Gasschweißung von Kupfer ist eine DIN-Vornorm seitens des Fachausschusses für Schweißtechnik im VDI mit Lieferbedingungen für den Schweißdraht in Bearbeitung. Vorgesehen ist u. a., daß der Kupfergehalt des Drahts mindestens 98 vH betragen muß und der Gehalt an Arsen nicht 0,5 vH, der an Phosphor nicht 0,08 vH, der an Eisen nicht 0,03 vH und der an Sauerstoff nicht 0,03 vH überschreitet, ferner eine Mindestzugfestigkeit der Schweißverbindung von 18 kg/mm² und ein Mindestbiegewinkel von 180° bei 5÷10 mm Blechdicke bzw. von 120° bei 12÷16 mm Blechdicke.

Korrosionsversuche. Aus einer zusammenfassenden Darstellung von Bürgel¹, die auf eigene und andere Versuche Bezug nimmt, sei folgendes hervorgehoben: Die Korrosionsbeständigkeit normaler Stahlschweißungen wird selten zu prüfen

¹ Bürgel: Autogene Metallbearb. 1936, S. 148 u. f.

sein, da die geschweißte Konstruktion im allgemeinen mit einem Schutzanstrich versehen wird. Bei rostfreien Stählen mit höherem Kohlenstoffgehalt tritt durch Karbidausscheidung an den Korngrenzen Korrosion auf. Sie wird vermieden durch Abschrecken aus höheren Temperaturen (1150°) oder besser durch Erniedrigung des Kohlenstoffgehalts (auf unter 0,07 vH) und Zusatz von Titan, Tantal, Niob, die ausgesprochene Karbidbildner und Karbidhalter sind, so daß bei der Schweißung keine Karbidausscheidung auftritt. Die Untersuchung von Sonderbronze, Monelmetall, Aluminium und Hydronalium ergab bei deren Schweißung mindestens die gleiche Korrosionsbeständigkeit wie beim Grundwerkstoff. Feineres Korn ergibt eine größere Korrosionsbeständigkeit als grobes Korn. Kornverletzungen und Kornverbiegungen begünstigen die Korrosion. Dementsprechend verbessert Warmhämmern die Korrosionsbeständigkeit, dagegen wird sie durch Kalthämmern verschlechtert.

Aus Versuchen von Hunsicker sei noch zusätzlich hervorgehoben, daß bei Aluminium und Blei die Wasserstoffflamme schlechtere Korrosionswerte ergibt als die Azetylenflamme und daß beim Aluminiumschweißen etwaige auf der Schweißnaht zurückbleibende Pastenreste korrosionsfördernd wirken.

D. Untersuchung von Schweißspannungen.

Vorbemerkung. Nicht nur beim Schmelzschweißen entstehen Spannungen, sondern auch bei anderen Arbeitsverfahren. Bekanntlich stehen Gußstücke und gehärtete Teile meist unter Restspannungen. Unter Spannung stehen auch Niet-, Schrauben- und Keilverbindungen, Schrumpfringe usw. Aber auch beim Biegen von Blechen, beim Drehen, Hobeln usw. entstehen unter Umständen bedeutende Spannungen. So wurden z. B. beim Rundbiegen eines 28 mm-Kesselblechs auf 800 mm Durchmesser Druck- und Zugspannungen von 18 kg/mm^2 gemessen, ferner beim Drehen unter bestimmten Voraussetzungen Oberflächen-druckspannungen von $25 \div 30 \text{ kg/mm}^2$.

Meßverfahren. Das bis jetzt gebräuchlichste Verfahren besteht darin, daß man mit geeigneten Meßeinrichtungen eine bestimmte Meßstrecke (z. B. 100 mm) auf dem zu prüfenden Schweißblech vor, sowie nach dem Schweißen und nach dem Entspannen oder nur vor und nach dem Schweißen mißt. Das Entspannen geschieht durch Auseinanderschneiden des Blechs oder durch Ausglühen oder durch eine Verbindung beider Verfahren. Der Unterschied zwischen Messung nach dem Schweißen und nach dem Entspannen ist die Rückfederung (federnde Dehnung). Aus dieser läßt sich die Schweißspannung durch Rechnung ermitteln, und zwar ist die Spannung $\sigma = E \times \epsilon$, worin E das Elastizitätsmaß des Werkstoffs und ϵ die gemessene Rückfederung ist. Die Messung vor und nach dem Schweißen oder auch während des Schweißens (mit Dehnungsmessern, Tensometern) ist die einfachere; sie ist auch ebenso genau und tritt daher zur Zeit in den Vordergrund.

Ein einfaches Instrument für die Messung der Rückfederung bzw. Dehnung ist die Schieblehre mit Genauigkeiten bis etwa $\frac{1}{50} \text{ mm}$, was aber im allgemeinen nicht ausreicht. Sogenannte Setzdehnungsmesser, die schon genau genug messen (z. B. $\pm \frac{2}{1000} \text{ mm}$), verwenden z. B. Stäbe, deren Spitzen in vorbereitete kegelige Eindrehungen oder kugelige Aufsatzpunkte in kegeligen Eindrehungen einzusetzen sind. Die Abstandsänderung wird durch Hebelübertragung übersetzt und an einer Meßuhr abgelesen. Genügend genau arbeiten auch besondere Meßmikroskope. Die Setzdehnungsmesser für die Messung während des Schweißens bzw. vor und nach dem Schweißen sind jetzt am gebräuchlichsten.

Meßergebnisse. Nach Versuchen von Mies an freibeweglichen 12 mm-Stahlblechen treten die größten Spannungen in der Schweißnaht selbst auf. Die Mittelwerte der Längszugspannungen betragen 25 kg/mm^2 , woraus zu schließen ist, daß die Höchstwerte sogar die Streckgrenze der Schweißnaht sicher erreichen. Bei den Zugspannungen quer zur Naht ergaben sich für die Gasschweißung 6 kg/mm^2 und für die Lichtbogenschweißung $10,7 \text{ kg/mm}^2$. Bierett fand bei seinen Versuchen Spannungen in ähnlicher Größenordnung. Während man früher der Gasschweißung ohne weiteres die größeren Spannungen zuschrieb, dürfte jetzt gesagt werden können, daß die Lichtbogenschweißung in der Schweißnaht selbst die höheren Spannungen aufweist, während die Spannungen im Blech — für die Mies in der Längsrichtung Werte von $20 \div 30 \text{ kg/mm}^2$ und in der Querrichtung bis 12 kg/mm^2 fand — bei der Gasschweißung etwas höher sind. Eine vollkommene Wärmebehandlung zur Auslösung der Spannungen kommt in den meisten Fällen nicht in Frage, vielleicht manchmal eine örtliche Erwärmung außerhalb der Naht mit der Schweißflamme.

Brückner befaßt sich innerhalb einer Abhandlung über „Erfahrungen mit dem Schweißen von Eisenbahnbrücken“¹ auch eingehend mit Schweißspannungen und weist u. a. darauf hin, daß erstmalig 1936 an geschweißten Brücken die Schweißspannungen durch das Ausmessen von Meßstrecken vor und nach dem Schweißen bestimmt wurden. Da man sehr hohe Werte erhielt, wurden im Staatl. Materialprüfamt Berlin-Dahlem weitere Versuche an einer geschweißten Pendelstütze von großen Abmessungen vorgenommen. Nach dem Verlauf der Schrumpfspannungskurven war im Stegblech mit Zugspannungen von 25 kg/mm^2 zu rechnen. In den Gurtwulstprofilen ergaben sich Druckspannungen bis zu $15,8 \text{ kg/mm}^2$. Der Knickversuch zeigte aber, daß diese hohen Spannungen die Tragfähigkeit gegenüber statischer Last nicht oder nur unwesentlich herabgesetzt haben. Weiter haben zahlreiche Versuche mit geschweißten Vollwandträgern sogar eine höhere Dauerfestigkeit als bei genieteten Verbindungen ergeben. Risse treten nach Brückner bei St 37 niemals erst bei Belastung des Bauwerks, sondern schon beim Schweißen selbst auf, und zwar dann, wenn die Schrumpfspannung größer geworden ist als die Tragfähigkeit der Schweißnaht oder des umgebenden Werkstoffs. Es wird also beim Herstellen der Schweißverbindung darauf ankommen, die Schrumpfspannungen so niedrig zu halten, daß nicht die frisch hergestellte Naht reißt.

Auf die Entstehung der Schweißspannungen und ihre Berücksichtigung beim Gasschweißen ist schon im Abschnitt III A 3÷5 eingehend hingewiesen worden. Hier sei deshalb nur noch einiges aus Ausführungen von Bierett über Schrumpfspannungen² hervorgehoben. Er betont auch, daß die Höhe dieser Spannungen oft etwa an der Streckgrenze liegt, daß aber ein mehrachsiger und ungleichmäßiger Spannungszustand in der Schweißnaht gegeben ist, der eine Fließbehinderung zur Folge hat, und daß in zahlenmäßig hohen Verspannungswerten nicht von vornherein ein erhebliches Gefahrenmoment gesehen werden kann, da infolge der Formänderungsbehinderung wesentlich höhere Spannungen ohne Fließen ertragen werden können. Bierett bespricht die Abhängigkeit der Schrumpfspannungen von verschiedenen Einflüssen. Die Größe der Wärmezufuhr gibt keinen allgemein gültigen Maßstab für diese Spannungen, wohl aber für die Verwerfungen. Ungleichmäßige und beschleunigte Wärmeableitung hat hohe Schrumpfspannungen zur Folge. Die Größe des Werkstücks macht sich

¹ Brückner: S. Z. VDI 1938, S. 33 u. f.

² Bierett: S. Anleitungsblätter für das Schweißen im Maschinenbau. Berlin: VDI-Verlag 1936.

unangenehm bemerkbar, wenn die Erhitzungszonen im Verhältnis zur Werkstückgröße örtlich begrenzt sind. Beim Entwurf von Schweißkonstruktionen soll ein Schweißen unter Einspannungen, die durch die Art der Konstruktion gegeben sind, vermieden werden. Da dies nicht immer zu erreichen ist, dürfen aber zum mindesten zu starre Verspannungen nicht vorkommen. Hinsichtlich der Schweißfolge ist bei der Lichtbogenschweißung die schrittweise Schweißung (Pilgerschrittschweißung) bei langen Nähten vorzuziehen. Bei der Gasschweißung sieht man allerdings hiervon ab, soweit nicht Flickenschweißungen in Frage kommen. Vollkommene Wärmebehandlung (Glühen) kommt, wie bereits früher erwähnt, nur in Sonderfällen in Betracht. Örtliche Wärmebehandlungen können, richtig angewendet, auch schon die Schrumpfspannungen wesentlich verringern. Hämmern in Rotglut dient der Gefügeverbesserung, beeinflusst die Schrumpfspannungen aber nicht wesentlich. Kalthämmern vermindert die Zugspannungen in der Naht, ist aber nur mit Vorsicht anzuwenden, um nicht die mechanischen Eigenschaften zu verschlechtern. Wenn sich Dehnungsmöglichkeiten für eine unbehinderte Schrumpfung schaffen lassen, werden vor allem die Querspannungen stark herabgesetzt. Daß auch Schweißdraht und Grundwerkstoff bei den Spannungen eine gewisse Rolle spielen, wurde bereits früher (s. z. B. Schweißempfindlichkeit des Werkstoffs) behandelt.

VII. Leistungen und Kosten der Gasschweißverfahren.

Versuchswerte von Handschweißungen. Vorweg sei darauf hingewiesen, daß sich alle folgenden Angaben, soweit nicht ein anderer Werkstoff besonders angegeben

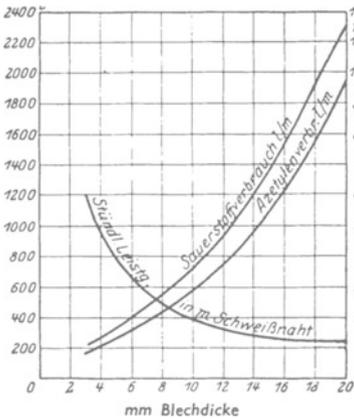


Abb. 340. Sauerstoff- und Acetylenverbrauch in l/m Naht und stündliche Leistung in m Naht beim Gasschweißen.

ist, auf Schweißungen an Stahlblechen oder Stahlrohren beziehen. Zunächst seien einige Angaben aus früheren Versuchen der Verfasser angeführt — s. Abb. 340 mit dem Sauerstoff- und Acetylenverbrauch in l/m Naht und der stündlichen Schweißleistung in m Naht beim Gasschweißen —, wobei zu beachten ist, daß diese Ergebnisse weitgehend mit den heutigen übereinstimmen und daher zum Teil für die nachfolgenden Rechnungen übernommen werden können. Zu den angegebenen Schweißleistungen sei noch bemerkt, daß sie ohne weiteres von geübten Schweißern kürzere Zeit (z. B. 1 h lang) erreicht werden können. Zur praktischen Verwertung der gefundenen Stundenhöchstleistungen sind in Abb. 341 vier Leistungskurven eingetragen. Die Kurve *a* zeigt die aus Abb. 340 entnommene, höchsterreichbare Stundenleistung in m Schweißnaht für die Gasschweißung. Gibt man zu der bei dieser Leistung gebrauchten Zeit etwa

25 vH Zuschlag, so kommt man auf die Leistungskurve *b*, die als die Normalleistung eines Schweißers im Betrieb bei kurzen Schweißungen bis zu etwa 1 h Schweißzeit auch einschließlich Nebenarbeiten angesehen werden kann. Für eine Tagesleistung von 8 h sind auf Grund der vorliegenden Unterlagen aus der Praxis etwa 50÷100 vH (der Vomhundertsatz mit steigender Blechdicke steigend) Zuschläge zu den für Kurve *a* gebrauchten Zeiten zu geben, um in Kurve *c* auf die erreichbare Leistung bei achtstündiger Schweißzeit zu kommen.

Unter wiederum 25 vH Zuschlag zu den Schweißzeiten, die der Kurve *c* entsprechen, erhalten wir in Kurve *d* schließlich die durchschnittliche Betriebsleistung eines Schweißers bei achtstündiger Arbeitszeit. Hervorgehoben sei noch, daß sich alle Leistungskurven auf einfache Blechschweißungen, ohne wesentliche Umwendearbeiten usw., beziehen.

Man kann nun den im vorigen schon teilweise wiedergegebenen Grundlagen für die Selbstkostenermittlung von Schweißungen planmäßig durch weitere Versuchsschweißungen, Messungen bei praktischen Schweißarbeiten und durch Rechnung nachgehen.

Nach den Unterlagen der Verfasser ergibt sich folgendes Bild: Für die Gasschweißung können die Angaben der Abb. 340 und 341 ohne weiteres über-

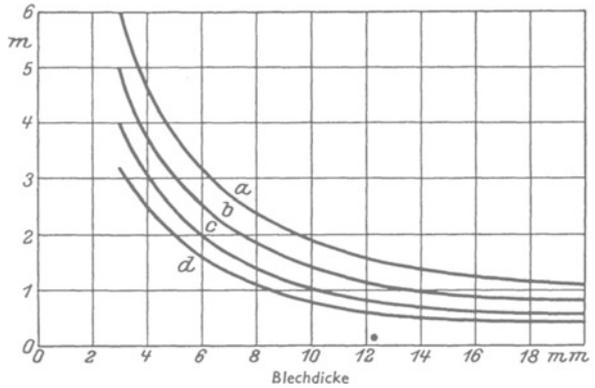


Abb. 341. Stündliche Höchst- und Normalleistungen in m Schweißnaht (Gasschweißung) bei kurzer und langer Arbeitszeit.

nommen werden, wobei im Hinblick auf die manchmal zu ungünstigen Angaben über die Gasschweißung besonders darauf hinzuweisen ist, daß allein die Anwendung der Rechtsschweißung eine Leistungssteigerung ergibt, die die Werte der Abb. 340 und 341 schon zu durchschnittlich erreichbaren macht. Abb. 342 gibt sodann einen Überblick über den Schweißdrahtverbrauch, wobei zu beachten ist, daß im Durchschnitt mit einem Gewichtsverlust von 30 vH (bezogen auf das Nahtgewicht) durch Abfall und Spritzer gerechnet werden muß; das reine Schweißnahtgewicht ist also entsprechend geringer. In dieser und in den folgenden Abbildungen sind übrigens nur die Werte für 4÷20 mm Blechdicke eingetragen, weil die z. T. errechneten Werte wegen der angenommenen Nahtformen (Kehlnaht, V- und X-Naht) nur für dieses Blechdickengebiet Gültigkeit haben. Abb. 343 bringt die Stromverbrauchs- und Leistungsangaben für Lichtbogenschweißungen, die ersteren auf der Grundlage, daß, um 1 kg Nahtgewicht einzuschweißen, bei Gleichstromumformern (mit einem Wirkungsgrad von 50 vH) etwa 6 kWh und bei Wechselstromumspannern (mit einem Wirkungsgrad von 80 vH) etwa 4,5 kWh Stromverbrauch in Frage kommen. Bei allen Kehlnahtangaben sei besonders darauf hingewiesen, daß sie sich nicht

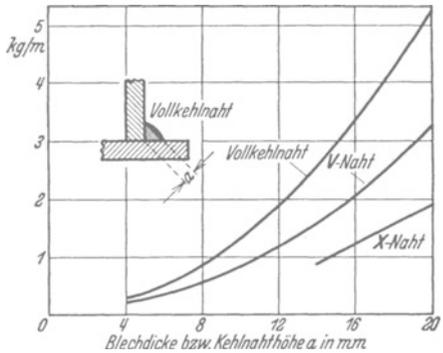


Abb. 342. Schweißdrahtverbrauch beim Gas- und Lichtbogenschweißen.

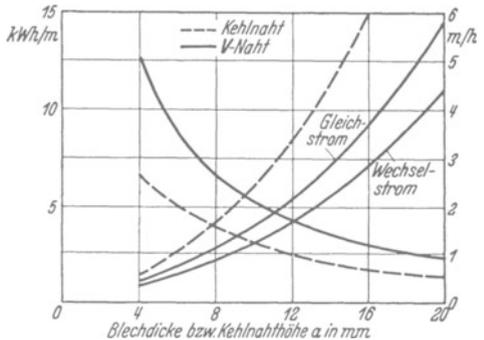


Abb. 343. Stromverbrauch und Leistungsangaben beim Lichtbogenschweißen.

auf die Blechdicke, sondern auf die Kehlkehlnhöhe a (Abb. 342) beziehen. Die Schweißzeiten in Abb. 343 sind gut erreichbare reine Schweißzeiten. Die Gesichtspunkte, die zu einer Erhöhung der Schweißzeit führen, sind zu zahlreich, um alle hier einzeln berücksichtigt werden zu können. Es sei nur auf das Auswechseln der Schweißdrähte bzw. Elektroden, das Reinigen und Ausrichten der Schweißnähte, die Zugänglichkeit der Nähte je nach Größe und Form des Werkstücks, die Unterschiede infolge der verschiedenen Blechdicken usw. hingewiesen. Man muß also, um auf die Gesamtarbeitszeit zu kommen, entweder Zuschläge (wie im vorigen Absatz) machen oder, was im Grunde natürlich dasselbe ist, mit einem Ausnutzungsfaktor rechnen, der in mittleren und größeren Schweißbetrieben etwa $0,6 \div 0,7$ sein wird, in kleineren Betrieben aber oft niedriger ist, wenn z. B. der Schweißer auch die Heft- und Zusammenbauarbeiten zu erledigen hat.

Überschlagsrechnungen mit Hilfe von Kennziffern. Auf Grund von Messungen in Schweißereien und Versuchsbetrieben hat man festgestellt, daß insbesondere für den Blechdickenbereich von $2 \div 12$ mm eine Schweißer-Kennziffer besteht, die man je nach dem Typ des schnellen, mittleren und langsamen Schweißers und auch je nach dem angewendeten Schweißverfahren (Nachlinks-, Nachrechtsschweißung, Mehrflammenschweißung) höher oder niedriger anzusetzen hat. Im Durchschnitt beträgt diese Kennziffer bei

	Nachlinksschweißung	Nachrechtsschweißung
Schneller Schweißer	15	18,5
Mittlerer Schweißer	12	15
Langsamer Schweißer	10	12,5

Die Kennziffer kommt dadurch zustande, daß man einfach die Blechdicke in mm mit der Schweißgeschwindigkeit in m/h multipliziert. Es besteht also die einfache Beziehung:

Schweißerkenziffer = Schweißgeschwindigkeit (in m/h) \times Blechdicke (in mm).

Beispielsweise erreicht hiernach ein schneller Schweißer, wenn er nachrechtsschweißt, beim 10 mm-Blech: $18,5 : 10 = 1,85$ m/h. Ein mittlerer Schweißer erzielt, wenn er nachlinksschweißt, bei 3 mm-Blech: $12 : 3 = 4$ m/h. Diese Überschlagsrechnungen stimmen übrigens mit den Kurven der Abb. 340 und 341 gut überein.

Man kann auch eine Azetylenkennziffer festlegen, indem man die Beziehung aufstellt:

Azetylenverbrauch (in l/m) = Azetylenkennziffer \times (Blechdicke in mm²).

Im Durchschnitt beträgt diese Azetylenkennziffer bei

	Nachlinksschweißung	Nachrechtsschweißung
Schneller Schweißer	6,7	5,4
Mittlerer Schweißer	8,3	6,7
Langsamer Schweißer	10,0	8,0

Beispielsweise beträgt der Azetylenverbrauch bei einem schnellen Schweißer, wenn er ein 10 mm-Blech nachrechtsschweißt: $5,4 \times 10^2 = 540$ l/m, bei einem mittleren Schweißer: $6,7 \times 10^2 = 670$ l/m, was wiederum gut mit der Azetylenverbrauchskurve in Abb. 340 übereinstimmt.

Der Sauerstoffverbrauch ist bei Gleichdruckbrennern dem Azetylenverbrauch gleichzusetzen; bei Injektorbrennern ist er um $10 \div 20$ vH höher als der Azetylenverbrauch anzunehmen (wie in Abb. 340).

Schließlich läßt sich auch noch eine Drahtkennziffer aufstellen nach der Beziehung:

Drahtverbrauch (in g/m) = Drahtkennziffer \times (Blechdicke in mm²).

Die Drahtkennziffer ist naturgemäß in der Hauptsache von dem Abschrägungswinkel der Schweißnaht abhängig und beträgt im Durchschnitt:

Abschrägungswinkel	Drahtkennziffer für Stahlblech
90°	10
80°	9
70°	8
60°	7

Beispielsweise wird der Drahtverbrauch für ein 10 mm-Blech bei 70° Abschrägungswinkel betragen: $8 \times 10^2 = 800 \text{ g/m} = 0,8 \text{ kg/m}$.

Verbesserungen der Handschweißung. Bereits vor einer Reihe von Jahren sind umfangreiche Versuche der I.G. Farben, Werk Autogen in Griesheim, durchgeführt worden, bei denen man den Einfluß des Brennerabstandes; der Brennergröße, der Brennerbewegung, der Austrittsgeschwindigkeit der Gase und der Gasmischungsverhältnisse auf die Schweißleistung untersuchte. Durch diese Versuche wurde u. a. der Nachrechtschweißung der Weg gebahnt, und eine Verbesserung der Wirtschaftlichkeit der Gasschweißung eingeleitet. Streb und das Autogenwerk Griesheim haben weiter durch Versuche festgestellt, daß eine Sauerstoffverunreinigung von bis zu 5 vH auf die Wirtschaftlichkeit der Gasschweißung keinen oder doch zum mindesten einen geringeren Einfluß hat als die ungleichmäßige Arbeitsweise des Schweißers. Auch ein geringer Feuchtigkeitsgehalt des Azetylens (unter 2,5 vH) hat nur unbedeutenden Einfluß.

Die neuere Entwicklung ist zahlenmäßig durch die Kurven in Abb. 344 gekennzeichnet. Kurve *d* zeigt in der Nachrechtsschweißung die Werte der früher angegebenen Kurven entsprechend einer Schweißerkennziffer von etwa 18÷19 und damit schon eine deutliche Verbesserung gegenüber der älteren Nachlinkschweißung (Kennziffer 15). In Kurve *c* ist die Geschwindigkeitssteigerung durch den Zweiflammhandbrenner wiedergegeben (Kennziffer etwa 24 für kleinere und mittlere Blechdicken). Kurve *b* entspricht der wesentlich größeren Leistung des Lindewelders (Kennziffer 40÷45) und Kurve *a* leitet mit den Werten für die einfache Längsnahtschweißmaschine (Kennziffer etwa 40, oberhalb 5 mm Dicke aber weniger) zur Maschinenschweißung über. Für einen Vergleich mit der nachfolgenden Tabelle 20 ist darauf hinzuweisen, daß die Werte der Abb. 344, wie alle vorhergehenden, sich auf die reine Schweißzeit (ohne Nebenzeiten) beziehen.

Angaben über Maschinenschweißungen. Bei dem allerdings nur für Massenfertigung in Frage kommenden Maschinenbetrieb kommt man, insbesondere beim Rohrschweißen, noch auf wesentlich höhere Leistungen, wie sie aus Tabelle 20 ersichtlich sind. Die Leistungen gelten sogar einschließlich der Nebenzeiten. Die reinen Schweißgeschwindigkeiten sind z. T. noch wesentlich höher. Z. B. hat man bei Widerstandsnahtschweißmaschinen und 0,5 m Blechdicke bis zu $540 \text{ m/h} = 9 \text{ m/min}$ erzielt. Die Rohrschweißmaschinen kommen auf so günstige Werte, weil sie eine fast ununterbrochene Arbeitsweise haben. Auf Angaben über Gas- und Stromverbrauch wird mit Absicht verzichtet, um eine

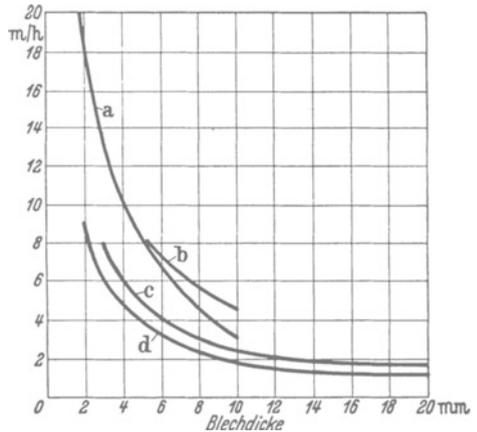


Abb. 344. Schweißgeschwindigkeiten von Hand- und Maschinenbrennern bei Stahlblech.

Tabelle 20. Schweißleistungen von Längsnahtschweißmaschinen in m/h.

Schweißverfahren	Blechdicke in mm						
	0,5	1,0	1,5	2	3	4	5
Gasschweißmaschinen	30	20	15	12	10	9	8
Lichtbogenschweißmaschinen	—	45	32	24	18	15	12
Widerstandsschweißmaschinen	120	100	60	—	—	—	—
Röhrenschweißung (Gas)	—	230	200	150	70	30	12
Röhrenschweißung (Widerstands- schweißung, Amerika)	—	—	—	180	100	60	30

gewisse Grenze im Umfang der wirtschaftlichen Betrachtungen nicht zu überschreiten. Hinsichtlich der Gasschweißmaschinen sei nur kurz darauf hingewiesen, daß der Gasverbrauch in l/m Schweißnaht wesentlich unter dem der Hand-schweißung liegt.

Andere Brenngase außer Azetylen. Die wirtschaftliche Überlegenheit der Azetylen-schweißung gegenüber dem Schweißen mit Wasserstoff, Benzol usw. ist bekannt. Auch das Schweißen mit einem Leuchtgaszusatz zum Azetylen bringt, wie auf Grund von Versuchen nachgewiesen ist, keine wirtschaftlichen Vorteile. Ein merklicher Leuchtgaszusatz zum Azetylen setzt die Schweißgeschwindigkeit erheblich herab. Höhere Schweißgeschwindigkeiten wirken sich aber, abgesehen von der wirtschaftlichen Seite, auch hinsichtlich der Verringerung der Spannungen und der Güteverbesserung der Schweißnaht stets vorteilhaft aus.

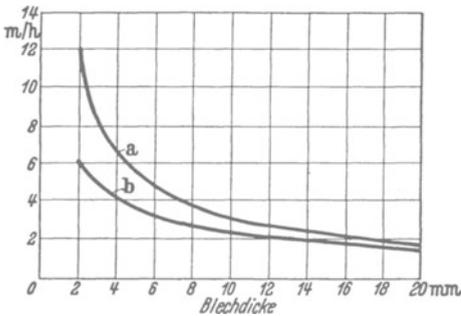


Abb. 345. Schweißgeschwindigkeiten bei Kupferblech (a) und Aluminiumblech (b).

Versuchswerte von Nichteisenmetallschweißungen. In Abb. 345 sind die normalen Schweißgeschwindigkeiten für Kupfer- und Aluminiumbleche in den Kurven a und b angegeben. Werden die Nähte gehämmert, so sind die Schweißzeiten nur etwa 50 vH höher anzusetzen. Die Schweißgeschwindigkeiten für Zinkbleche (mit dem Azetylen-Sauerstoffbrenner) betragen etwa 15 m/h beim 1 mm-Blech, 10,5 m/h beim 2 mm-Blech und 7,5 m/h beim 3 mm-Blech. Bei der Zinkschweißung mit Azetylen-Luftbrennern erreicht man nur 50÷60 vH dieser Werte.

Bei der Schweißung von kupfernen Lokomotivfeuerbuchsen hat sich im Durchschnitt eine Ersparnis an Arbeitslohn von 19 vH und an Kupfer von 6 vH ergeben. Außerdem kann der Kumpelradius für den Boden größer genommen werden, infolgedessen wird die Kumpelrißgefahr geringer. Weiter ist kein Nachstemmen von Stemmkanten erforderlich. Es sind keine Nietköpfe im Feuer vorhanden und es besteht keine Nietlochrißgefahr und schließlich auch nicht die Gefahr des Kesselsteinansatzes an Nietköpfen.

Schweißkostenaufstellung für den Einzelfall. Das Beispiel bezieht sich auf die reine Schweißarbeit. Die Vorbereitungskosten sind weggelassen, da sie nicht so einheitlich wie die Schweißung selbst behandelt werden können. Aufzustellen sind die Kosten an Gasen für die Gasschweißung bzw. an elektrischem Strom, an Schweißdraht (Elektroden), an Lohn und an allgemeine Werkstattkosten; die letzteren werden als Vomhundertsatz der Löhne in den Werkstätten festgelegt. Die Kosten für Verzinsung, Abschreibung und Instandhaltung des Anlage-

kapitals sind, umgerechnet auf die Arbeitsstunde oder auf 1 m Schweißnaht, bei der Gasschweißung verhältnismäßig unbedeutend. Rechnet man als Gesamtkosten eines Schweißplatzes mit Entwickler 350 RM., so ergeben sich bei 8 vH Zinsen, 20 vH Abschreibung und 5 vH Instandhaltungskosten rund 115 RM. Jahreskosten oder für 1 m Schweißdraht = 0,23 RM. (bei 500 m Jahresleistung) bzw. 0,046 RM. (bei 2500 m Jahresleistung). Der Gleichstromumformer erfordert dagegen bei 2200 RM. Anschaffungskosten, einschließlich Einrichtung der Schweißstelle und Netzanschluß und bei 8 vH Zinsen, 15 vH Abschreibung und 6 vH Instandhaltungskosten rund 640 RM. Jahreskosten oder für 1 m Schweißnaht 1,28 RM. bzw. 0,26 RM. Es seien nun zunächst die Kosten von 1 m Naht eines 10 mm-Blechs ausgerechnet und eine ungünstige Ausnutzung der Anlage mit 500 m Jahresleistung (gleichzeitig auch mehr dem Kleinbetrieb entsprechend) einer günstigen Ausnutzung mit 2500 m Jahresleistung und vorteilhaften Gas- bzw. Strompreisen gegenübergestellt. Für den günstigeren Fall (gleichzeitig Großbetrieb) sind auch sinngemäß Schweißdrahtkosten und Lohn etwas niedriger angesetzt. Um die bei gleichem nacktem Draht besseren technologischen Ergebnisse der Gasschweißnaht etwas zu berücksichtigen, ist in der ersten Reihe für 500 m Jahresleistung die teurere umhüllte Elektrode in die Rechnung eingeführt worden.

Tabelle 21. Kosten einer Gas- bzw. Lichtbogenschweißung.

1 m Schweißnaht (V-Naht), 10 mm-Blech (Handschweißung)						
Gasschweißung	500 m	2500 m	Elektrische Lichtbogenschweißung	500 m	500 m	2500 m
	Klein- betrieb RM.	Groß- betrieb RM.		20 Rpf. RM.	20 Rpf. RM.	4 Rpf. RM.
Sauerstoff 0,7 m ³ (0,70 bzw. 0,20 RM./m ³)	0,49	0,14	Stromverbrauch 4 kWh.	0,80	0,80	0,16
Azetylen 0,6 m ³ (1,00 bzw. 0,90 RM./m ³)	0,60	0,54	Kapitaldienstkosten (640 RM. im Jahr)	1,28	1,28	0,26
Kapitaldienst (115 RM. je Jahr)	0,23	0,05	Elektroden 0,8 kg	0,64	0,32	0,32
Schweißdraht 0,8 kg	0,32	0,28	Lohn 1/2 h	0,50	0,50	0,45
Lohn 1/2 h	0,50	0,45	Allgemeine Unkosten (125 vH vom Lohn)	0,63	0,63	0,56
Allgemeine Unkosten	0,63	0,56				
Gesamtkosten	2,77	2,02	Gesamtkosten	3,85	3,53	1,75

Das durchgerechnete Beispiel soll zunächst den Aufbau einer einfachen Schweißkostenaufstellung zeigen. Darüber hinaus erkennt man aber schon deutlich, wie verschieden die Gesamtkosten je nach den Grundpreisen der Rohstoffe und je nach dem Ausnutzungsgrad der Schweißanlage sein können. Insbesondere für die Lichtbogenschweißung findet man eine starke Abhängigkeit der Gesamtkosten von dem Ausnutzungsgrad (Beschäftigungsgrad). Hinsichtlich der Lichtbogenschweißung sei noch hinzugefügt, daß eine Kostenaufstellung für Wechselstromschweißung keinerlei wesentliche Unterschiede in den Gesamtkosten ergeben würde.

Vergleich von Gasschweißung und Lichtbogenschweißung¹. Ein wirtschaftlicher Vergleich beider Schweißverfahren für den einfachen Fall der von Hand geschweißten V-Naht läßt sich in großen Zügen durchführen, wenn man die im vorigen aufgestellte Einzelrechnung sinngemäß auf die Blechdicken ausdehnt,

¹ Ausführliches siehe Horn-Schäfer: Kalkulation von Schweißarbeiten; Werkstattstechnik 1933, Heft 1.

für die in den bisherigen Unterabschnitten und Abbildungen nähere Angaben gemacht wurden. Dann finden wir die in Abb. 346 eingetragenen Grenzkostenkurven, die selbstverständlich keine absoluten, keine äußersten Grenzen nach oben und unten darstellen, aber doch annähernd den Bereich zeigen, innerhalb dessen die Schweißkosten etwa schwanken werden.

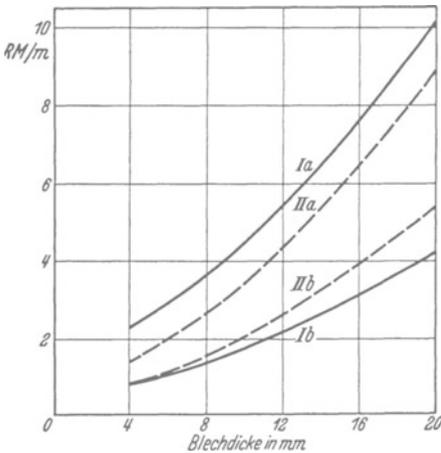


Abb. 346. Grenzcosten der V-Naht, lichtbogenschweißt (I) und gasgeschweißt (II).

sein. Da jedoch im Einzelfall die technischen Vorteile oder Verfahren, die Güte der Schweißnaht u. a. m. eine entscheidende Rolle spielen können, sei ausdrücklich noch einmal eine zu weitgehende Verallgemeinerung voriger Ergebnisse abgelehnt.

Geschweißt oder genietet.

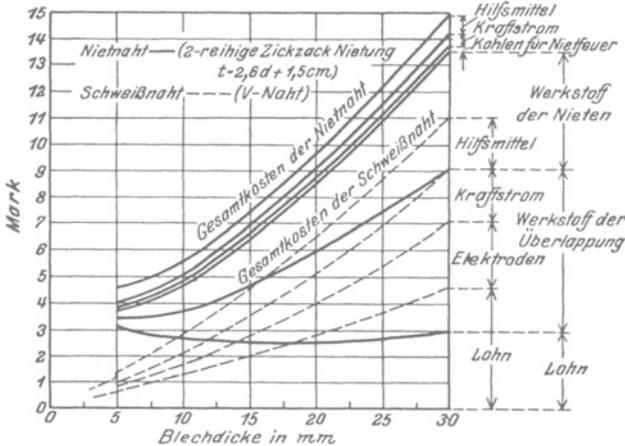


Abb. 347. Kosten von 1 m Nietnaht und 1 m Elektroschweißnaht.

dagegen die Kosten des Werkstoffs der Überlappung und der Nieten. Wenn diese, was natürlich unzulässig ist, in einem Vergleich fortgelassen werden, so ändert sich das Bild sofort zugunsten der Nietung. Aus Abb. 347 ist zu erkennen, daß die Schweißung bei Blechen bis etwa 10 mm Dicke nur halb so teuer ist wie die Nietung und auch bei dickeren Blechen immer noch wesentlich billiger bleibt. Dabei ist die Schweißung im Falle derartiger Blechschweißungen bei Schiffen oder der Eisenkonstruktionsschweißungen in der Güte der Nietung mindestens gleichwertig.

In Abb. 347 ist ein sehr lehrreiches Beispiel aus früheren weitgehenden Versuchen von Strelow (1927) wiedergegeben, worin die elektrische Lichtbogenschweißung für verschiedene Blechdicken einer zweireihigen Zickzacknietung gegenübergestellt ist. Bei anderen Nietverbindungen wird das Bild noch günstiger für die Schweißung. Im einzelnen ersieht man aus der Abbildung, daß mit wachsender Blechdicke bei der Schweißung die Lohnkosten stark steigen, bei der Nietung

Die Gewichtersparnis durch Schweißen bei deutschen Kriegsschiffen wird zu 18÷25 vH angegeben. — Ein geschweißter 70 t-Eisenbahnwagen wiegt nur 27,4 t, d. h. nicht mehr als ein 50 t-Wagen der genieteten Ausführung. Gegenüber dem früheren 70 t-Wagen wurden 4,8 t oder 18,6 vH an totem Gewicht durch Anwendung der Schweißung gespart. — Die neue Tyrnsbrücke über die Radbuza bei Pilsen ist eine der ersten vollständig geschweißten Straßenbrücken; sie hat eine Spannweite von 50,60 m und wiegt 111 t, während eine genietete Brücke 135,4 t, also 22 vH mehr, gewogen hätte.

Geschweißt oder gegossen. Auf Zahlenangaben aus Einzelbeispielen wird mit Absicht verzichtet, da ein falsches Bild entstehen könnte. Die wirtschaftlichen Vorteile der Schweißung liegen vor allem in folgendem: Im Einzelfall ist das Werkstück bestimmt billiger herzustellen, da die verhältnismäßig hohen Modellkosten fortfallen. Die Ausschußgefahr ist bei der Schweißung praktisch beseitigt. Die Möglichkeit, einen gegenüber dem Gußeisen hochwertigeren Werkstoff (Stahl) zu verwenden, bringt bedeutende Gewichtersparnisse. Diesen wirtschaftlichen Vorteilen der Schweißung im Einzelfall oder auch noch bei der Anfertigung einer geringen Stückzahl stehen kaum wesentliche Nachteile technischer Natur gegenüber. Die Festigkeit, auch neuerdings die Dauerfestigkeit geschweißter Verbindungen ist der des Gußeisens mindestens gleichwertig. Nur die Dämpfungsfähigkeit des Gußeisens scheint größer zu sein, d. h. die durch Stoß herbeigeführten Schwingungen brauchen bei Gußeisen weniger Zeit zum Abklingen als bei geschweißten (im allgemeinen eben leichteren) Verbindungen.

Glühkosten von Schweißungen. Das Glühen geschweißter Kesseltrommeln kommt nach einer Umfrage bei verschiedenen Herstellerwerken beim Spannungsfreiglühen auf etwa 7÷10 vH und beim Normalglühen auf etwa 10÷15 vH des Herstellungswertes zu stehen. Diese Zahlen gelten für mittlere Blechdicken und Kessellängen von 5÷6 m. Bei größeren Abmessungen werden die Glühkosten höher, bei kleineren entsprechend niedriger liegen.

Ausbesserungsschweißungen. Aus einer sehr großen Zahl von Ausbesserungsschweißungen auf Hüttenwerken sind in Tabelle 22 einige kennzeichnende Beispiele wiedergegeben. Sie zeigen einmal die verschiedensten Gewichtsverhältnisse, u. a. auch besonders große Schweißungen, und sodann den großen wirtschaftlichen Vorteil der Schweißung als Ausbesserungsmittel.

Meistens liegen, wie bei den Stücken der Tabelle 22, die gesamten Schweißkosten zwischen nur 15÷50 vH der Kosten eines

Tabelle 22. Ausbesserungsschweißungen.

Gegenstand	Gewicht	Neuwert	Gesamte Schweißkosten
	kg	R.M.	R.M.
Steuerbock	47	28	15
Lagerbock	175	105	18
Kammwalze	620	560	141
Zylinderdeckel . . .	2970	1930	210
Walzenständer . . .	17000	6120	1734

neuen Werkstücks. Dabei ist noch zu betonen, daß der Wert der Schweißung in diesen Fällen nicht nur in der Kostenersparnis am Arbeitsstück, sondern vor allem auch in derjenigen Zeit- und Kostenersparnis liegt, die durch schnellere Wiederinbetriebsetzung der Maschinen- und Werksanlagen erzielt wird.

VIII. Die Förderung der Schweißtechnik.

Die folgenden Ausführungen sollen nur einen zusammenfassenden Überblick geben. Hinsichtlich der Einzelheiten wird auf die angeführten genaueren Unterlagen verwiesen.

Forschung, Vorträge, Zeitschriften. Auf dem Gebiet aller neueren Schweißverfahren arbeiten die Laboratorien der Hoch- und Fachschulen und industrieller Werke und die Großlehrwerkstätten des Verbandes für Autogene Metallbearbeitung in Berlin, Duisburg und Halle, der Fachausschuß für Schweißtechnik im VDI und hinsichtlich der Gasschweißung insbesondere noch der Verband für Autogene Metallbearbeitung und der Deutsche Azetylenverein und hinsichtlich der Elektroschweißung noch die Deutsche Gesellschaft für Elektroschweißung. Vorträge werden insbesondere seitens der genannten Stellen und von Vertretern der Fachindustrie abgehalten. Als Zeitschriften kommen in Frage: Die Autogene Metallbearbeitung, Einzelnummern der Zeitschrift des VDI, des Maschinenbaus, des Technischen Zentralblatts, Mitteilungen des Fachausschusses für Schweißtechnik u. a. m., während die Elektroschweißung in erster Linie die elektrische Lichtbogenschweißung vertritt.

Technisches Schulwesen. Vortragsunterricht sowie praktische Übungen werden innerhalb des technologischen Unterrichts oder auch schon als Sonderfach an einer Reihe von technischen Hoch- und Fachschulen durchgeführt. Durch Entgegenkommen der Schweißindustrie und der mit den Schweißverfahren in Verbindung stehenden Industrie und Verbände sind den technischen Schulen wertvolle Lehr- und Anschauungsmittel zur Verfügung gestellt worden.

Schweißerausbildung. Bereits vor dem Weltkriege sind Schweißkurse zur Ausbildung von Schmelzschweißern von Kautny in Köln und Richter in Hamburg eingerichtet worden. Im Jahre 1926 wurden durch Abkommen des Verbandes für Autogene Metallbearbeitung und des Fachausschusses für Schweißtechnik im VDI die Arbeiten beider Verbände auf dem Gebiet der Schweißerausbildung vereinigt und 1928 auf Grund dieser Gemeinschaftsarbeit „Richtlinien für Schweißlehrgänge“ herausgegeben, die 1936 in Verbindung mit der Deutschen Gesellschaft für Elektroschweißung und der Deutschen Arbeitsfront neu herausgebracht worden sind. Die Schweißlehrgänge selbst — eingeteilt in der Hauptsache in Einführungslehrgänge, Praktikerlehrgänge für Fortgeschrittene und Sonderlehrgänge für bestimmte Fachrichtungen mit einer Ausbildungsdauer von 44÷220 h — sind in großem Umfange durch die Ortsgruppen des Verbandes für Autogene Metallbearbeitung, durch die Reichsbahn und durch größere Industriebetriebe durchgeführt worden und haben zum mindesten schon die Bedürfnisse einer ersten grundlegenden Ausbildung erfüllen können. Nebenher erfolgte die Ausgestaltung von Lehrblättern für die Gas- und Lichtbogenschweißung durch den Deutschen Ausschuß für technisches Schulwesen. 1930 schuf der Gesamtverband deutscher Metallindustrieller in Verbindung mit den bereits genannten und anderen an der Schweißtechnik interessierten Verbänden eine Arbeitsgemeinschaft für Schmelzschweißerausbildung, die sich als Hauptaufgaben die Umschulung von Facharbeitern zu Schweißern und die Lehrlingsausbildung stellte. Die „Richtlinien und Prüfungsordnung für die Ausbildung von Facharbeitern, die aus wesensverwandten Berufen für die Schmelzschweißung umgeschult werden“, wurden 1932 aufgestellt, den in Frage kommenden Stellen zugeleitet und auch schon praktisch verwertet. Bei der Lehrlingsausbildung, die bei der Reichsbahn und in der Industrie bereits durchgeführt wird, sind im

allgemeinen 4 Jahre Lehrzeit vorgesehen, unterteilt in etwa $1\frac{1}{2}$ Jahre Schlosser- ausbildung und $2\frac{1}{2}$ Jahre Ausbildung als Schmelzschweißer für Gas- und Licht- bogenschweißung. Das Schweißhandwerk ist als Facharbeiterberuf bereits im Jahre 1927 anerkannt worden.

Schweißerprüfung. Bei Einstellung von Schweißern ist es erforderlich, sie einer Prüfung auf ihre Leistungsfähigkeit zu unterziehen. Auch sollte diese Prüfung von Zeit zu Zeit, wie es z. B. die Reichbahn macht, wiederholt werden. Dies ist um so wichtiger, als die Behörden in ihren Vorschriften die Zulassung geschweißter Konstruktionen von einem Befähigungsnachweis der Schweißer abhängig machen.

Schweißerprüfungen werden seit 1928 vom Verband für Autogene Metall- bearbeitung für die Lehrschweißer der Schweißlehrgänge durchgeführt. Sie sind ferner vorgesehen und werden durchgeführt innerhalb der in den „Richt- linien für Schweißlehrgänge“ enthaltenen großen Ausbildungslehrgänge von 220 h Ausbildungsdauer und innerhalb der in DIN 4100, DIN 2470 usw. vor- geschriebenen Prüfungen. In Gemeinschaftsarbeit des Verbandes für autogene Metallbearbeitung, der Deutschen Gesellschaft für Elektroschweißung und der Deutschen Arbeitsfront wurde ein Hauptprüfungsausschuß für angelernte Schmelz- schweißer ins Leben gerufen, dem die Betreuung aller mit der Ausbildung und Prüfung von Schweißern verbundenen Fragen obliegt.

Wichtige DIN-Normen.

1901÷1903 und 1908 Schläuche für Schweißbrenner und Schlauchtüllen.

1904 und 1905 Schweiß- und Schneidbrenner.

1906, 1907 und 1909 Gasdruckminderer, Manometer, Anschlußbügel.

1910÷1912 Begriffe und Zeichen.

1913 (Vornorm) Schweißdraht für Gas- und Lichtbogenschweißung von Stahl.

1914 Richtlinien für die Prüfung von Schweißverbindungen mit Röntgen- und Gammastrahlen.

2470 Richtlinien für Gasrohrleitungen mit geschweißten Verbindungen von mehr als 200 mm Durchmesser und mehr als 1 kg/cm^2 Betriebsüberdruck.

4100 Vorschriften für geschweißte Stahlhochbauten.

4101 Vorschriften für geschweißte vollwandige stählerne Straßenbrücken.

4664÷4672 Stahlflaschen und Zubehör.

Sonstige wichtige allgemeine Vorschriften.

Deutsche Azetylenverordnung.

Werkstoff- und Bauvorschriften für Landdampfkessel.

Richtlinien für Schweißlehrgänge.

Deutsche Reichsbahn (Lieferbedingungen für Schweißdraht, Vorschriften über das Schweißen von Brücken, über geschweißte Fahrzeuge [Vogefa]).

Sachverzeichnis.

- Abschrecken (Kupfer) 206.
 Acagen 36.
 Aluminium 22.
 Aluminiumlötung 234.
 Aluminiumschweißung 223.
 Anstellwinkel (Brenner) 135.
 Anwärmeverrichtungen 120, 195.
 Anwendungsgebiete der autogenen Schweißung 150.
 Anzünden (Flamme) 110.
 Arcatomschweißung 6.
 Arcogenschweißung 6.
 Armcoeisenschweißung 186.
 Arten der Schweißverfahren 1, 2.
 Asbestbekleidung 120.
 Auftragschweißung 177.
 Ausbesserungsschweißungen 176.
 Ausbrennschutz 58.
 Ausglühen (Schweißnaht) 150.
 Aussehen der Schweißnaht 145.
 Austenit 19.
 Autogal 132.
 Autogen (Begriff) 1.
 Autogenes Schneiden 239.
 Azeton 38.
 Azetylenauschuß 65.
 Azetylenbrenner 95.
 Azetylendissous 38.
 Azetylerzeugung 30.
 Azetylerzeugungsanlagen 64.
 Azetylenweißanlage 7.
 Azetylenverordnung 65.

 Beagid 35, 73.
 Bearbeitung der Schweißnaht 150.
 Begriff des Schweißens 1.
 Behälterschweißung 161.
 Behandlung der Azetylenentwickler 84.
 — der Brenner 110.
 — der Druckminderventile 64.
 — der Sicherheitsvorlage 92.
 — der Stahlflaschen 45.
 Benardosverfahren 5.
 Benzol 29.
 Benzolbrenner 9.
 Benzolschweißanlage 9.
 Berechnung des Flascheninhalts 46.
 Bessemerstahl 13.
 Bewegung der Brenner 135.
 Biegeversuch 272.
 Blaugas 29.
 Blaugasschweißanlage 9.
 Blechschneiden 250.
 Blechschweißung 140.
 Blei 24.
 Bleischweißung 216.
 Bleischneiden 262.
 Bleivergiftung 24.
 Borax 131.
 Brenneinteilung 93.
 Brennerhandhabung 110.
 Brennerhaltung 135.
 Brennschneiden 239.
 Brillen 118.
 Bronze 22.
 Bronzeschweißung 212.

 Calorie 33.
 Chemische Prüfungen 284.
 Chemischer Reiniger 86.

 Dampfkesselschweißung 172.
 Dauerfestigkeit 273.
 Dehnung der Schweißnaht 143.
 Dissousgas 38.
 Dreischlauchbrenner 241.
 Druckmesser 59.
 Druckminderventil 53.
 Düsenreinigung 111.
 Duralumin 23.

 Edelstahl 13.
 Eigenschaften der Metalle 10.
 Einfrieren der Entwickler 81.
 — der Ventile 62.
 Einwurfentwickler 68.
 Einzelbrenner 95.
 Elektrische Schweißverfahren 1, 2, 4, 5.
 Elektromagnet, Prüfung 268.
 Elektron 24, 231.
 Elektrostahl 13.
 Eloxalverfahren 223.
 Entmischung 107.
 Entschlammung 78.
 Entwickler 64.
 Erstarrungspunkt 11.
 Erstarrungsschaubild 17.
 Euflamol 36.
 Eutektikum 18.
 Explosionsgefahr (Azetylen) 38, 82.
 — (Stahlflaschen) 52.

 Faltversuch 272.
 Farbe der Metalle 10.
 Ferrit 19.
 Festigkeitsprüfungen 271.
 Firinit 132.
 Flamme (Schweißbrenner) 103, 133.
 Flammenbild 108, 109.
 Flammenrückschlag 111.
 Flanschenverbindungen 154.
 Flasche 41.
 Flaschenazetylen 38.
 Flaschengas 38.
 Flascheninhalt 46.
 Flaschenventil 43.
 Flickeneinschweißen 180.
 Flußmittel 130.
 Flußstahl 10, 13.
 Formstahlkonstruktionen 173.
 Framabrenner 101.
 Franklin 36.
 Führungswagen 252.

 Gammastrahlen (Prüfung) 270.
 Gasglocke 86.
 Gasinhalt der Flasche 46.
 Gaslösungsvermögen 11.
 Gasreinheit (Azetylen) 33.
 Gassammler 86.
 Gasschmelzschweißung 2.
 Gasverbrauch 288.
 Gelbguß 22.
 Gewicht der Metalle 11, 12.
 Gleichdruckanlagen 114.
 Glühen 150, 277.
 Graphit 14.
 Güte der Schweißnaht 267.
 Gußeisen 14.
 Gußeisenschneiden 260.
 Gußeisenschweißung 192.
 Gußspannungen 15, 194.

Haltung der Brenner 135.
 Hämmern der Schweißnaht 150.
 Härteprüfung 268.
 Hammerschweißung 1, 2, 223.
 Handhabung der Brenner 110.
 Hartguß 15.
 Hartlöten 236.
 Hartwerden der Schweißung 193.
 Hauptwasservorlage 91.
 Heratol 36.
 Hobler (Sauerstoff-) 253.
 Hochdruckentwickler 74.
 Hochdruckschlauch 118.
 Hochdruckvorlage 91.

Inhaltsprüfung der Stahlflaschen 45.
 Injektorbrenner 95.

Kalkgrube 84.
 Kalorie 33.
 Kalziumkarbid 30.
 Kapnaht 147.
 Karbid 30.
 Karburylein 36.
 Katalysol 36.
 Kerbschlagversuch 273.
 Kesselschweißung 161.
 Kleingefüge 279.
 Klingerit 36.
 Knallen der Brenner 99.
 Knallgasflamme 108.
 Konstantdruckanlagen 113.
 Korrosion 12.
 Korrosionsversuche 285.
 Kosten der Schweißung 288.
 Kostenberechnung 293.
 Kreisschneidmaschine 245.
 Kühlung des Sauerstoffs 98.
 Kupfer 21.
 Kupferschweißung 203.

Längsschneidmaschine 245.
 Lagerung der Stahlflaschen 50.
 Legierte Stähle 13, 21.
 Legierungen 22.
 Leichtmetalle 22.
 Leichtmetallschweißung 221.
 Leistungen der Schweißverfahren 288.
 — beim Schneiden 264.
 Leuchtgaszerzeugung 28.
 Leuchtgasschweißanlage 8.
 Lichtbogenschweißung 5.
 Lindewelder 101.
 Lochschneidbrenner 243.
 Lösungsvermögen (Wasser für Azetylen) 83.
 Löten 1, 233.
 — (autogen) 233.

Manometer 59.
 Martensit 21.
 Maschinenschweißung 115.
 Mechanische Reiniger 87.
 Mehrflammenbrenner 100.
 Messing 22.
 Messingschweißung 209.
 Metallographie des Eisens 17.
 Metallographische Prüfungen 279.
 Methan 29.
 Mischdüsenbrenner 94.
 Mitteldruckentwickler 71.
 Monelmetall 27.
 Muffelofen 120.
 Muffenrohrschweißung 159.

Nachlinksschweißung 135.
 Nachrechtsschweißung 139.
 Nachvergasung 78.
 Nachwärmen der Gußstücke 195.
 Neusilberschweißung 215.
 Nichtisenmetalle 21, 202.
 Nichtrostender Stahl 187.
 Nickelschweißung 219.
 Niederdruckbrenner 95.
 Nieten 1.
 Nietkopfabsteiner 243.
 Normalglühen 150.
 Normen 15, 103.

Panzerschlauch 118.
 Patronid 35.
 Perlit 19.
 Perlitguß 15.
 Phosphorbronze 22.
 Phosphorwasserstoff 35.
 Pistole (Brenner) 93.
 Plattierte Bleche 191.
 Preßschweißung 1.
 Prüfung des Azetylens 50.
 — der Schweißer 296.
 — der Schweißnaht 267.
 — der Stahlflaschen 44.
 Puratylen 36.

Radikal 36.
 Radiumstrahlen (Prüfung) 270.
 Reinheit der Gase 50, 256.
 Reiniger, chemische 86.
 — mechanische 87.
 Reiniger der Brenner 111.
 Respirator 120.
 Retortenentwickler 71.
 Richtlinien für Schweißblehrgänge 296.
 Ringdüsensteinerbrenner 241.
 Rißschweißungen 179.
 Röntgenprüfung 269.

Roheisen 10.
 Rohrleitung 67.
 Rohrschweißungen 116, 150.
 Rotguß 22.
 Rückschlag der Flamme 88.
 Rückschlagpatrone 59.
 Rückschlagsicherung der Brenner 98.

Sauerstofferzeugung 25.
 Sauerstoffhobler 253.
 Sauerstoffleitung 91.
 Schablonenschneidmaschine 246.
 Schienenschweißungen 175.
 Schlammablassen 82.
 Schläuche 117.
 Schlauchanschlüsse 118.
 Schmelzschweißung 1.
 Schmelzpunkte 12.
 Schmiedbarer Guß 14.
 Schmiedeeisen 10.
 Schmuckler-Prüfergerät 271.
 Schneidbarkeit der Metalle 239.
 Schneiden 239.
 Schneidbrenner 240.
 Schneidmaschinen 244.
 Schneidzeit 265.
 Schnittbreite (-tiefe) 251.
 Schnittleistungen 264.
 Schwarzguß 14.
 Schweißen (Begriff) 1.
 Schweißbarkeit der Metalle 10.
 Schweißbrenner 93.
 Schweißbrille 118.
 Schweißdraht 121.
 Schweißrichtungen 7.
 Schweißempfindlichkeit 277.
 Schweißflamme 103, 133.
 Schweißblehrgänge 296.
 Schweißmaschinen 115.
 Schweißpulver 130.
 Schweißrissigkeit 277.
 Schweißschulen 296.
 Schweißspannungen 286.
 Schweißstäbe 121.
 Schweißstahl 10, 13.
 Schweißtisch 119.
 Schweißzubehör 117.
 Senkrechte Nähte 149.
 Sicherheitsvorlage 88.
 Siedepunkt 11.
 Siemens-Martin-Stahl 13.
 Slavianoffverfahren 5.
 Sonderstahl 13, 21.
 Sonderstahlschweißung 184.
 Spannungen 15, 194, 258, 286.
 Spannungsfreiglühen 150.
 Spezifische Gewichte 11, 12.
 Spiegelschweißung 154.
 Stahl 13.
 Stahlflaschen 41.

- Stahlguß 13.
 Stahlgußschweißung 182.
 Stumpfschweißung 140.
- Tauchentwickler 70.
 Technik des Schneidens 249.
 — des Schweißens 133.
 Temperguß 14.
 Tempergußschweißung 183.
 Thermitschweißung 1, 3.
 Thomasstahl 13.
 Tiegelstahl 13.
 Trockenvorlage 93.
- Übergasung 78.
 Überhitztes Azetylen 83.
 Überkopfschneiden 252.
 Überkopfschweißung 149.
 Überlappschweißung 143.
 Überzogene Bleche 163.
 Undichtigkeiten an Stahl-
 flaschenventilen 49.
- Universalschneidmaschine 246.
 Unterwasserschneiden 262.
- Verbrauch an Gas 288.
 Verdichtete Gase 25, 41.
 Verdrängungsentwickler 72.
 Verhämmern 150.
 Verschrotten 254.
 Verunreinigungen des Azety-
 lens 33.
 Verziehen der Gußstücke 194.
 Vorbereitungsarbeiten 140.
 Vorwärmeflamme 256.
 Vorwärmung der Gußstücke
 195.
- Wärmeeinheit 33.
 Wärmeleitvermögen 11.
 Wäscher 85.
 Wassergasschweißung 3.
 Wasserstoffbrenner 94.
- Wasserstofferzeugung 27.
 Wasserstoffkrankheit (Kupfer)
 203.
 Wasserstoffschweißanlage 8.
 Wasservorlage 88.
 Wechselbrenner 96.
 Weichlöten 233.
 Wellenbrüche 178.
 Wellenschneidmaschine 246.
 Werkstoffe 10.
 Werkstoffnormen 15.
 Widerstandsschweißung
 (elektrische) 4.
- Zementit 19.
 Zerenerverfahren 5.
 Zink 22.
 Zinkschweißung 218.
 Zubehör beim Schweißen 119.
 Zugversuch 271.
 Zulegwerkstoff 121.
 Zusammenfügungsarbeiten 1.
 Zweischlauchbrenner 240.
-