

**Schimpke-Horn**  
**Praktisches Handbuch**  
**der gesamten Schweißtechnik**

**II**  
**Elektrische Schweißtechnik**

**Zweite 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

## Zweiter Band Elektrische Schweißtechnik

Zweite  
neubearbeitete und vermehrte Auflage

Mit 375 Textabbildungen  
und 27 Tabellen



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

1935

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

**ISBN 978-3-662-37285-2      ISBN 978-3-662-38017-8 (eBook)  
DOI 10.1007/978-3-662-38017-8  
Softcover reprint of the hardcover 2nd edition 1989**

## Vorwort zur ersten Auflage.

Die Aufgabe, welche die Verfasser sich bei der Niederschrift des ersten Bandes (Autogene Schweiß- und Schneidtechnik) gestellt hatten, nämlich den Inhalt übersichtlich anzuordnen und ohne weitgehende theoretische Erörterungen die Praxis des Schweißens in allen Einzelheiten und für jeden auch weniger vorgebildeten Handwerker leichtverständlich und sachlich zu behandeln, ist bei dem vorliegenden zweiten Bande weiterverfolgt worden. Im Hinblick auf die vielseitigen elektrotechnischen Fragen, die bei elektrischen Schweißmaschinen und dem Elektroschweißen selbst auftreten, ließen sich allerdings wissenschaftliche Einfügungen nicht vermeiden, um so weniger, als auch der Ingenieur und Meister dem Buch die für sie notwendigen Unterlagen sollen entnehmen können. Um beiden Teilen gerecht zu werden, wurden die elektrischen Grundgesetze und die Eigenschaften des Lichtbogens in einer für die Kenntnis der Schweißverfahren ausreichenden Weise besprochen. Der Leser, der sich weiter in das Gebiet der elektrischen Starkstromtechnik vertiefen will, muß auf die diesbezügliche reichhaltige Literatur verwiesen werden. Damit der vorliegende Band ein in sich abgeschlossenes Ganzes bildet, sind einige allgemeine Abschnitte des ersten Bandes, wie „Allgemeines über Schweißen“, „Die sonstigen neueren Schweißverfahren“ und „Die wichtigsten Eigenschaften der schweißbaren Metalle“ unverändert bzw. ergänzt übernommen worden.

Die elektrischen Schweißverfahren, insbesondere die Lichtbogenschweißung, befinden sich im Zustande einer fortwährenden Entwicklung, so daß im Augenblick als unwahrscheinlich Bezeichnetes schon in kurzer Zeit zur Tatsache geworden sein kann. Es sei nur an die Wechselstrom-Lichtbogenschweißung erinnert, die noch vor wenigen Jahren fast allgemein abgelehnt wurde. Um diesen Verhältnissen Rechnung zu tragen, wurde insbesondere den Angaben praktisch ermittelter Werte und den Fragen konstruktiver Ausgestaltung der Maschinen weitgehend Platz eingeräumt, sowie in einem Nachtrage noch auf einige der wichtigsten letzten Neuerungen hingewiesen.

Es wäre sehr zu begrüßen, wenn fachmännische Kreise Anregungen zur stofflichen Ausgestaltung und Verbesserung des vorliegenden Buches geben würden, da durch das Zusammentragen umfassender praktischer Erfahrungen auf dem jungen Gebiet der Elektroschweißung der Sache selbst wie dem Ingenieur und Schweißer am besten gedient wird.

Chemnitz-Berlin, im April 1926.

Schimpke. Horn.



## Vorwort zur zweiten Auflage.

Die zweite Auflage, die leider infolge verschiedener widriger Umstände erst so spät erscheinen kann, ist zum großen Teil vollständig umgearbeitet und sowohl nach der praktischen wie theoretischen Seite hin erweitert und ergänzt worden. Wir sahen uns dazu infolge häufiger Wünsche und Anregungen aus dem Kreise der Leser und der Leiter und Teilnehmer von Schweißkursen und infolge der gewaltigen Fortschritte gerade auf dem Gebiete der Elektroschweißtechnik veranlaßt.

Im einzelnen wurde innerhalb der Einleitung der Abschnitt über die wichtigsten Eigenschaften der schweißbaren Metalle durch eine Einführung in die Metallographie ergänzt. Bei dem Widerstandsschweißverfahren waren nur die neueren Maschinentypen und Erfahrungen hinzuzufügen. Bei der Lichtbogenschweißung dagegen wurde nicht nur der Abschnitt über die Stromquellen, das Schweißzubehör und die Elektroden vollständig dem heutigen Stande angepaßt, sondern vor allem auch der wichtige Großabschnitt über die Technik der Lichtbogenschweißung gänzlich umgearbeitet und u. a. durch größtenteils neue Abschnitte, wie z. B. Spannungserscheinungen, Vergütung der Schweiße, Berechnen und Messen von Schweißverbindungen, neuzeitliche Anwendungen im Behälter- und Kesselbau, Fahrzeugbau, Stahlhochbau, Brückenbau und Schiffbau, Schweißung legierter Stähle usw. ergänzt, außerdem wurde die Schweißung der Nichteisenmetalle wesentlich erweitert. Neu hinzu kam ferner der Abschnitt über die Arcatom- und die Arcogenschweißung. Selbstverständlich wurden schließlich auch die Abschnitte über Prüfverfahren, Leistungen und Kosten der Elektroschweißnaht ergänzt und mit neuesten Angaben versehen.

Mit voller Absicht vermieden wurde ein Eingehen auf das Entwerfen von Schweißkonstruktionen und eine bis in die letzten Einzelheiten und Tiefen gehende Behandlungsweise der Hauptabschnitte, weil dies u. E. teils nicht mehr in den Rahmen des Buches hineingehört, teils den leider schon großen, aber notwendigen Umfang zu sehr vermehrt hätte. Wir glauben, so dem augenblicklichen Stande der Elektroschweißtechnik am besten gerecht geworden zu sein, und erhoffen eine freundliche Aufnahme der neuen Auflage in der engeren und weiteren Fachwelt.

Chemnitz – Berlin, im März 1935.

Schimpke. Horn.

# Inhaltsverzeichnis.

	Seite
<b>I. Einleitung</b> . . . . .	1
A. Allgemeines über Schweißen und elektrische Schweißverfahren. . . . . Zusammenfügungsarbeiten S. 1 — Begriff des Schweißens S. 1 — Arten der Schweißverfahren S. 1 — Wesen und Arten der elektrischen Schweißver- fahren S. 2.	1
B. Die sonstigen neueren Schweißverfahren . . . . . Die Wassergasschweißung S. 2. — Die Thermiterschweißung S. 3 — Die Gas- schmelzschweißung S. 4.	2
C. Elektrische Grundlagen. . . . .	8
1. Wichtige elektrische Maßeinheiten. . . . .	8
2. Leitungswiderstand und Wärmewirkung . . . . .	9
3. Allgemeines über die Stromquellen elektrischer Schweißanlagen . . . . .	10
D. Überblick über die elektrischen Schweißverfahren und ihre Ein- richtungen . . . . .	15
1. Widerstandsschweißverfahren . . . . .	15
2. Lichtbogenschweißverfahren . . . . .	16
3. Schweißen durch Elektrolyse . . . . .	18
E. Die wichtigsten Eigenschaften der schweißbaren Metalle . . . . .	18
1. Allgemeiner Überblick . . . . .	18
2. Besonderes über Stahl und Eisen . . . . .	20
3. Grundlagen der Metallographie des Eisens . . . . .	24
4. Besonderes über die Nichteisenmetalle. . . . .	28
<b>II. Die Widerstandsschweißverfahren</b> . . . . .	31
A. Stumpfschweißung . . . . .	31
1. Schweißbarkeit der Metalle . . . . .	31
2. Stumpfschweißmaschinen . . . . .	31
a) Die elektrische Einrichtung der Maschinen . . . . .	31
b) Die mechanische Einrichtung der Maschinen . . . . .	34
c) Die Einspannvorrichtungen . . . . .	39
3. Die Technik der Stumpfschweißung . . . . .	43
a) Vorarbeiten . . . . .	43
b) Das Schweißen selbst . . . . .	45
c) Das Abschmelzverfahren . . . . .	52
B. Elektrische Erwärmungsmaschinen (Elektroessen). . . . .	54
C. Punktschweißung . . . . .	55
1. Schweißbarkeit der Metalle . . . . .	55
2. Punktschweißmaschinen . . . . .	55
a) Die elektrische Einrichtung der Maschinen . . . . .	55
b) Die mechanische Einrichtung der Maschinen . . . . .	56
3. Die Technik der Punktschweißung . . . . .	59

	Seite
D. Nahtschweißung . . . . .	66
1. Schweißbarkeit der Metalle . . . . .	66
2. Nahtschweißmaschinen . . . . .	66
a) Die elektrische Einrichtung der Maschinen . . . . .	66
b) Die mechanische Einrichtung der Maschinen . . . . .	68
3. Die Technik der Nahtschweißung . . . . .	71
<b>III. Die Lichtbogenschweißung . . . . .</b>	<b>75</b>
A. Der Lichtbogen und seine Eigenschaften . . . . .	75
1. Der Kohlelichtbogen . . . . .	75
a) Der Gleichstrombogen . . . . .	75
b) Der Wechselstrombogen . . . . .	81
2. Der Metalllichtbogen . . . . .	82
a) Der Gleichstrombogen . . . . .	82
b) Der Wechselstrombogen . . . . .	83
3. Werkstoffübergang im Lichtbogen . . . . .	84
B. Die Einrichtung für die Lichtbogenschweißung . . . . .	86
1. Die Stromquellen . . . . .	86
a) Anforderungen an die Stromquellen . . . . .	86
b) Verwendung von Netzstrom . . . . .	87
c) Gleichstromschweißumformer . . . . .	89
d) Schweißtransformatoren mit einphasigem Anschluß . . . . .	95
e) Schweißtransformatoren mit dreiphasigem Anschluß . . . . .	99
f) Äußeres und mechanische Ausführung der Umformer . . . . .	101
g) Selbsttätige Schweißeinrichtungen . . . . .	106
h) Betriebstechnische Erläuterungen . . . . .	111
2. Das Schweißzubehör . . . . .	111
a) Meß- und Regeleinrichtungen . . . . .	111
b) Schweißkabel . . . . .	112
c) Elektrodenhalter und Klemmen . . . . .	114
d) Strahlungsschutz und Bekleidung . . . . .	115
3. Die Schweißwerkstatt . . . . .	117
4. Die Schweißelektroden . . . . .	119
a) Kohleelektroden . . . . .	119
b) Metallektroden . . . . .	119
C. Die Technik der Lichtbogenschweißung . . . . .	125
1. Behandlung des Lichtbogens und seine Einwirkung auf das Schweißgut . . . . .	125
a) Kohlelichtbogen . . . . .	125
b) Metalllichtbogen . . . . .	126
2. Grundsätzliches über die Schweißung von Stahl . . . . .	134
a) Die Vorbereitung des Werkstücks . . . . .	134
b) Die Schweißung einfacher Stahlbleche . . . . .	136
c) Schweißspannungen . . . . .	142
d) Vergütung der Schweiße . . . . .	146
e) Die Berechnung von Schweißverbindungen . . . . .	147
f) Das Messen von Schweißnähten . . . . .	152
3. Wichtige Anwendungsgebiete der Stahlschweißung . . . . .	153
a) Rohrschweißung . . . . .	153
b) Behälter- und Kesselbau . . . . .	158
c) Maschinenbau . . . . .	170
d) Fahrzeugbau . . . . .	178
e) Schiffbau . . . . .	183
f) Stahl-, Stahlhoch- und Brückenbau . . . . .	190
4. Die Schweißung von Stahlguß . . . . .	201
5. Die Schweißung von Sonderstählen . . . . .	203

	Seite
6. Die Schweißung von Gußeisen . . . . .	209
a) Die Kaltschweißung . . . . .	209
b) Die Warmschweißung . . . . .	215
7. Die Schweißung der Nichteisenmetalle . . . . .	222
a) Kupfer und seine Legierungen . . . . .	223
b) Nickel und seine Legierungen . . . . .	225
c) Blei . . . . .	226
d) Aluminium und seine Legierungen . . . . .	226
<b>IV. Die gas-elektrischen Schweißverfahren . . . . .</b>	<b>228</b>
A. Das Arcatom-Schweißverfahren . . . . .	228
a) Das Alexandergerät . . . . .	229
b) Das Langmuirgerät . . . . .	230
B. Das Arcogen-Schweißverfahren . . . . .	233
<b>V. Die Schweißung durch Elektrolyse . . . . .</b>	<b>236</b>
Allgemeines S. 236 — Ausglühen und Härten S. 236 — Schweißen von Rohren S. 237 — Schweißen von Ketten S. 237.	
<b>VI. Elektrisches Löten . . . . .</b>	<b>238</b>
Allgemeines S. 238 — Elektrische Lötkolben S. 238 — Elektrische Lötmaschinen S. 239.	
<b>VII. Das elektrische Schneiden . . . . .</b>	<b>239</b>
<b>VIII. Die Güte der Schweißnaht und ihre Prüfung . . . . .</b>	<b>241</b>
A. Allgemeiner Überblick . . . . .	241
B. Prüfungen ohne Zerstörung der Schweißnaht . . . . .	241
C. Prüfungen mit Zerstörung der Schweißnaht . . . . .	244
1. Festigkeitsprüfungen . . . . .	244
2. Metallographische Prüfungen . . . . .	251
3. Chemische Prüfungen . . . . .	257
D. Untersuchung von Schweißspannungen . . . . .	259
<b>IX. Leistungen und Kosten der elektrischen Schweißverfahren . . . . .</b>	<b>260</b>
A. Widerstandsschweißungen . . . . .	260
B. Lichtbogenschweißungen . . . . .	263
<b>X. Förderung des elektrischen Schweißens . . . . .</b>	<b>270</b>
Sachverzeichnis . . . . .	272

## Zeichen und Abkürzungen.

Abb. = Abbildung	at = Atmosphäre	kWh = Kilowattstunde
bzw. = beziehungsweise	atü = Atmosphären- überdruck	s = Sekunde
d. h. = das heißt	1° = 1 Grad Celsius	min = Minute
s. = siehe	1'' = 1 Zoll englisch	h = Stunde
sog. = sogenannt	vH = vom Hundert (Prozent)	mm = Millimeter
u. dgl. = und dergleichen	RM. = Reichsmark	mm <sup>2</sup> = Quadratmilli- meter
usw. = und so weiter	V = Volt	m = Meter
z. B. = zum Beispiel	A = Ampere	m <sup>3</sup> = Kubikmeter
÷ = bis	kVA = Kilovoltampere	l = Liter
D.R.P. = Deutsches Reichspatent	kW = Kilowatt	kg = Kilogramm
WE = Wärmeeinheit		t = Tonne

# I. Einleitung.

## A. Allgemeines über Schweißen und elektrische Schweißverfahren.

**Zusammenfügungsarbeiten.** Das elektrische Schweißen 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, Lötten und Schweißen entstandenen zu rechnen. In Wettbewerb stehen hier miteinander Nieten, Lötten und Schweißen. Das Nieten erfordert zunächst Herstellung der Nietlöcher und Niete und dann die eigentliche Nietarbeit einer Nietkolonne von 3 ÷ 5 Mann. Beim Lötten, der dem Schweißen verwandtesten Verbindungsart, wird zur Zusammenfügung der Metallstücke das Lot, ein leicht schmelzbares Metall oder eine Legierung (ein Gemisch mehrerer Metalle), benutzt. Beide Verbindungsarten werden heute bei den meisten schweißbaren Metallen 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 bereits zwei neugeprägte Ausdrücke, Preßschweißung und Schmelzschweißung, benutzt worden, die heute schon 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 und Arten der elektrischen Schweißverfahren.** Diese Verfahren zerfallen in der Hauptsache in zwei große Gruppen. In das Gebiet der Preßschweißung gehören die Widerstandsschweißverfahren, in das Gebiet der Schmelzschweißung fallen die Lichtbogenverfahren.

Bei den elektrischen Widerstandsschweißverfahren wird die Eigenschaft des elektrischen Stromes ausgenutzt, daß er den stromleitenden Körper an Stellen, die größeren Widerstand bieten (in der Hauptsache sind dies die Berührungsflächen der Schweißstellen), stark erwärmt. Man stieß zunächst zwei Werkstücke stumpf aneinander und preßte die auf Schweißhitze gebrachten Stoßenden nach Ausschaltung des elektrischen Stromes von Hand oder maschinell zusammen. Aus dieser auch heute noch gebräuchlichen Stumpfschweißung entstand später die Punktsschweißung, bei der dünne, übereinandergelegte Bleche mit Punktelektroden punktweise, ähnlich der Vernietung, verschweißt werden, und weiter die Nahtschweißung, bei der die punktweise Schweißung dünner Bleche durch Anwendung von Rollenelektroden zur Schweißung längerer Nähte ausgestaltet wurde. In allen Fällen schweißt man mit umgeformtem, niedriggespanntem Wechselstrom.

Bei den elektrischen Lichtbogenschweißverfahren wird der zwischen zwei Elektroden gezogene Lichtbogen zur Erzeugung der Schweißhitze benutzt. Da der Lichtbogen eine Temperatur von etwa  $3500^{\circ}$  besitzt, wird die Schweißstelle dünnflüssig; die Lichtbogenschweißung ist also eine ausgesprochene Schmelzschweißung. Je nach dem für die Elektroden verwendeten Werkstoff und je nach Anordnung der Elektroden unterscheidet man im einzelnen die Lichtbogenschweißverfahren von Benardos, Slavianoff und Zerener. Da man seit einigen Jahren nicht nur mit Gleichstrom, sondern auch mit Wechselstrom schweißen kann, unterteilt man die Lichtbogenschweißrichtungen noch in solche für Gleichstrom und solche für Wechselstrom.

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 ersterer wird der Lichtbogen zwischen zwei Wolframelektroden in einer Wasserstoffflammenhülle gebildet, bei letzterer arbeiten der normale Metalllichtbogen und eine Azetylen-Sauerstoff-Flamme gemeinsam.

## B. Die sonstigen neueren Schweißverfahren<sup>1</sup>.

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 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 dem elektrischen Schweißen wichtigsten neueren Schweißverfahren gegeben werden.

**Die Preßschweißung als Wassergasschweißung.** Wenn man durch einen schachtartigen, mit glühendem Koks oder Anthrazit gefüllten Generator (Gaserzeuger)

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

Wasserdampf bläst, so wird dieser zerlegt, und es entsteht das sog. Wassergas, dessen brennbare Bestandteile Wasserstoff und Kohlenoxyd (zu je etwa 50 vH) sind. Dieses Gas wird mit Luft in Brennern gemischt und ergibt eine Stichflamme von etwa 1800° Temperatur, mit der das Werkstück an Stelle des Koksfeuers erhitzt wird. Die Schweißung kann sowohl von Hand (Handfeuer, Zange) als auch maschinell (üblichste Art) durchgeführt werden. Abb. 1 zeigt im Schema 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 nach links auf einem Wagen 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, wendet man die Keilschweißung an, wie es die Abb. 2 zeigt.

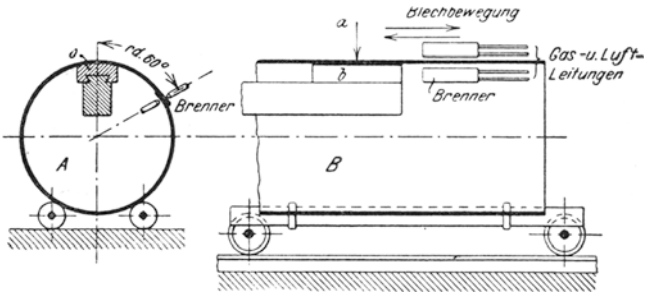


Abb. 1. Wassergasschweißstraße.

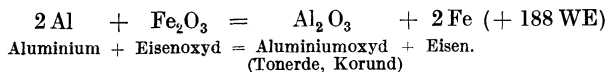
Die Wassergasschweißung kommt hauptsächlich für die Schweißung großer Rohre und Blechzylinder von 10 ÷ 100 mm (normal 15 ÷ 80 mm) Wanddicke in Frage, ist auf diesem Sondergebiet wohl bisher noch allen anderen Verfahren überlegen, kommt aber für andere Anwendungsgebiete wegen der hohen Anschaffungskosten des Wassergasgerätes und der Schweißeinrichtung kaum in Betracht.

Die Wassergasschweißung kommt hauptsächlich für die Schweißung großer Rohre und Blechzylinder von 10 ÷ 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 Wassergasgerätes und der Schweißeinrichtung kaum in Betracht.



Abb. 2. Wassergasblechschweißung.

**Die Thermiterschweißung 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<sub>2</sub>, und Aluminiumpulver) entzünden und zur Zersetzung bringen läßt. Das Entzündungsgemisch befindet sich in einer Pille oder Kapsel, die mit einem Magnesiumzündstreifen versehen ist. Unter großer Hitzeentwicklung entsteht bei etwa 3000° dünnflüssiger Stahl und obenaufschwimmend flüssige Schlacke (Aluminiumoxyd, Tonerde). Thermit wird in kleinen Säckchen von 5 und 10 kg Gewicht von der Th. Goldschmidt A.-G., Essen, geliefert. 1 kg Thermit ergibt 1/2 kg Eisen und 1/2 kg Schlacke. Der Entzündungsvorgang, der nur 10 ÷ 20 s dauert, wird in Spezialtieglern (einfachen Kipptieglern, Abb. 3 I) oder in Spitztieglern (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 Ausbesserung kleiner Fehler an Gußstücken unter Anwendung des Spezialtiegels, aus

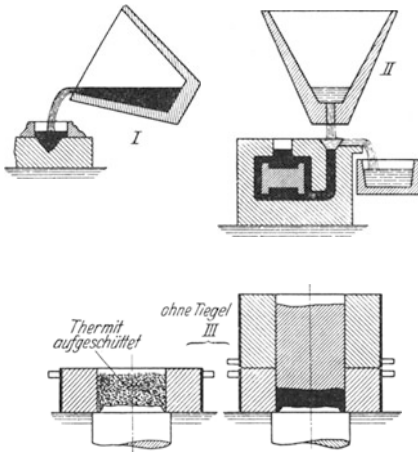


Abb. 3. Thermiterschweißung.

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 Thermitschlacke 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 aneinandergewinkelte Rohre oder Straßenbahnschienen mit Thermit und Schlacke, macht sie dadurch schweißwarm und drückt sie mittels besonderer Preßvorrichtungen gegeneinander. In manchen Fällen, z. B. bei Rohrstumpfschweißungen, schüttet man zuerst die

Schlacke in die Form, damit erstere als Schutzschicht wirkt und das Thermit-eisen nicht etwa festschmilzt oder das Rohr durchbrennt.

Die Thermiterschweißung kommt hauptsächlich nur noch für die Schweißung der Stöße von Straßenbahnschienen in Frage. Die Schweißstelle (das Thermit-eisen) 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 Gasschmelzschweißung (autogene Schweißung)<sup>1</sup>. Die Bezeichnung „auto-gen“ (selbsterzeugend), die für den deutschen Sprachgebrauch an und für sich unglücklich gewählt ist, soll zum Ausdruck bringen, daß diese Schweißung ohne Aufwand mechanischer Arbeit bewerkstelligt wird, was übrigens nur in beschränktem Umfang richtig ist. Besser ist, wie schon im Abschnitt I A erwähnt, der Name „Schmelzschweißung“, und zwar genauer „Gasschmelzschweißung“, zum Unterschied von der „elektrischen (oder Elektro-) Schmelzschweißung“.

Bei der Gasschmelzschweißung wird ein Gassauerstoffgemisch an der Mündung eines sog. Schweißbrenners entzündet, und die entstandene Stichflamme von hoher Temperatur ruft ein örtliches Schmelzen des Metalls 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 Metall und Luftsauerstoff entstanden) unschädlich zu machen; es bildet mit dem Metalloxyd zusammen im allgemeinen eine glasige, leicht schmelzbare Schlacke, die die Schweißstelle gegen Einwirkung weiteren Luftsauerstoffes schützt und nach dem Schweißen leicht durch einige Hammerschläge entfernt werden kann. Bei Anwendung einer

<sup>1</sup> Näheres s. Schimpke u. Horn: Praktisches Handbuch der gesamten Schweißtechnik, Bd. 1: Gasschmelzschweiß- und -schneidtechnik, 2. Aufl. Berlin: Julius Springer 1928.

reduzierenden (d. h. Sauerstoff entziehenden) Flamme kann man in bestimmten Fällen, insbesondere bei der Schweißung von Stahl, das Schweißpulver fortlassen.

Für die Zwecke der Gasschmelzschweißung hat man verschiedene Brenngase nutzbar gemacht, die stets mit (möglichst reinem) Sauerstoff gemischt werden

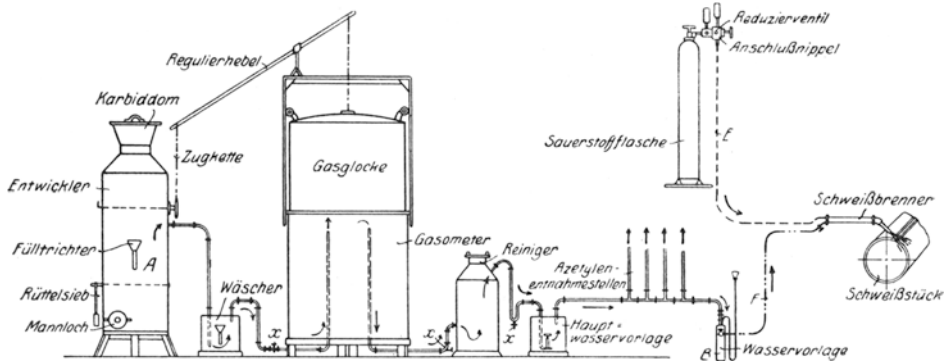


Abb. 4. Schema einer ortsfesten Azetylen-Schweißanlage.

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- und Äthylen-Schweißverfahren;
- f) das Öl-, Luft- und Vulkanogas-Schweißverfahren;
- g) das Schweißen mit flüssigen Brennstoffen, wie Benzin- oder Benzoldampf (auch Oxy-Benz-Verfahren genannt, das Oxy herührend von Oxygenium = Sauerstoff), ferner mit Petroleum- und Spiritusdämpfen.

Weitaus am bedeutungsvollsten ist heute das Azetylen-Schweißverfahren, dessen Einrichtungen für eine größere ortsfeste Anlage Abb. 4 im Schema zeigt. Links im Entwickler wird Azetylen aus Kalziumkarbid und Wasser erzeugt, im Wäscher gekühlt und gewaschen, unter der Gasglocke aufgespeichert, im chemischen oder mechanischen Reiner von weiteren Verunreinigungen befreit und durch Rohrleitungen den

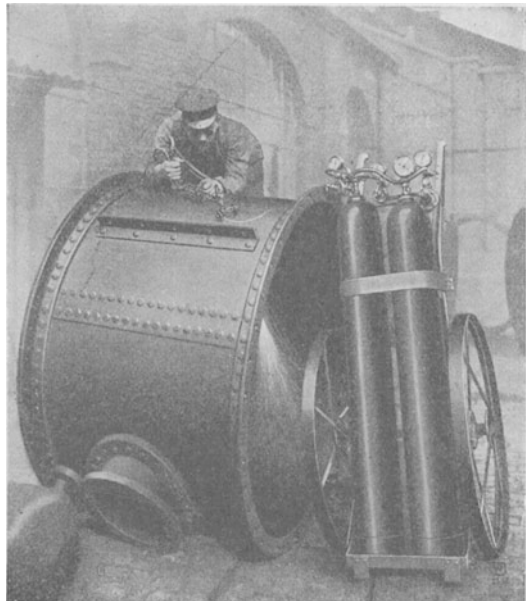


Abb. 5. Brennschneiden.

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 ÷ 15 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- und 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

Arbeitsstellen zugeführt. Dort wird es schließlich mit Sauerstoff, der aus der Flasche unter Entspannung auf niedrigen Druck (Reduzierventil, Druckminderventil) austritt, im Schweißbrenner gemischt und ergibt die zum Schweißen benötigte Stichflamme von sehr hoher Temperatur (in diesem Fall etwa 3100 ÷ 3200°).

Die Gasschmelzschweißung ist heute neben der Elektroschweißung das weitaus wichtigste und bisher noch das einzige Verfahren, das zur Schweißung aller schweißbaren Metalle und Legierungen benutzt werden kann. Für die Schweißung von Kupfer, Messing, Bronze, Rotguß, Aluminium und Aluminiumlegierungen, Nickel, Blei, Gold, Silber und Platin kommt es vor allen anderen Verfahren, zum Teil sogar ausschließlich in Betracht. Aber auch für Blech-, Rohr- und Eisenkonstruktionschweißungen, für Ausbesserungsschweißungen an Stahl-, Stahlguß- und Gußeisenstücken wird die Gasschmelzschweißung in umfangreichem Maße verwendet.

er verschiedenen neueren Schweißverfahren.

f	g	h	i	Bemerkungen
Wassergas	Thermit	Elektrische Lichtbogensschweißung	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- u. Nahtschweißung) überlappt	Die elektrische Widerstandsschweißung kommt entweder für Punktschweißung bis 25 mm Gesamtdicke in Frage oder als Stumpfschweißung stab-eisenförmiger Profile bis zu 40000 mm <sup>2</sup> Querschnittsfläche. Längsnähte können nur an dünnen Blechen bis zu 5 mm Gesamtdicke geschweißt 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 ÷ 16 000 l/h	—	15 ÷ 65 V 10 ÷ 3000 A	1 ÷ 10 V 300 ÷ 80 000 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	

Im Zusammenhang mit dem autogenen Schweißen ist auch das Brennschneiden<sup>1</sup> zu erwähnen. Bringt man durch die Stichflamme eines Brenners Stahl auf seine Entzündungstemperatur von etwa 1350° (helle Weißglut) und leitet man dann möglichst reinen Sauerstoff unter Druck auf die hoherhitzte Stelle, so verbrennt der Stahl sehr lebhaft im Sauerstoffstrahl; es entsteht eine Schnittstelle. Abb. 5 zeigt den Arbeitsvorgang. Brenngas (im vorliegenden Falle Wasserstoff) und Sauerstoff werden aus Flaschen dem Schneidbrenner zugeführt. Unter langsamer Bewegung des Brenners, an dessen Spitze das Brenngas-Sauerstoff-Gemisch die Heizflamme bildet und außerdem aus einer besonderen Leitung

<sup>1</sup> Näheres s. Schimpke u. Horn: Praktisches Handbuch der gesamten Schweißtechnik, Bd. 1: Gasschmelzschweiß- und -schneidtechnik, 2. Aufl. Berlin: Julius Springer 1928. — Horn: Das Trennen der Metalle vermittelt Sauerstoff. Halle (Saale): Wilh. Knapp 1925.

der Schneidsauerstoff austritt, entsteht ein kreisförmiger Ausschnitt. Gußeisen, Kupfer, Bronze, Aluminium usw. sind nicht brennschneidbar, weil die Entzündungstemperatur des Metalls oder der Schmelzpunkt des Metalloxyds oder beide über der Schmelztemperatur des Metalls liegen.

Eine Übersicht über die Anwendbarkeit aller neueren Schweißverfahren gibt zusammenfassend nochmals Tabelle 1.

## C. Elektrische Grundlagen.

Der elektrische Strom, eine Äußerungsform der Elektrizität, tritt aus der Gesamtheit der elektrischen Erscheinungen als die technisch wichtigste hervor. Wir vermögen ihn in motorische Kraft zu verwandeln und mit ihm magnetische, chemische und schließlich Wärmewirkungen zu erzielen; letztere sind die für uns weitaus bedeutungsvollsten, die übrigen nur Mittel zum Zweck. Um die Wirkungen des elektrischen Stromes, insbesondere die Wärmewirkungen, richtig zu erfassen, sind einleitend die hierfür wesentlichsten elektrischen Grundlagen zu besprechen. Das umfangreiche Gebiet der Starkstromtechnik hier eingehend zu behandeln, verbietet sich von selbst; es sei dieserhalb auf das Schrifttum verwiesen.

### 1. Wichtige elektrische Maßeinheiten.

Für die Messung elektrischer Größen sind die wichtigsten gesetzlichen Einheiten Ampere, Volt und Ohm.

Das Ampere (A) ist die Einheit der elektrischen Stromstärke. Es entspricht der ausfließenden Menge Wasser aus einer Wasserleitung. Seine Messung erfolgt durch das Amperemeter (Strommesser).

Das Volt (V) ist die Einheit der Spannung (Potentialdifferenz, Spannungsunterschied, gemessen zwischen zwei bestimmten Punkten zweier Leiter). Die Spannung entspricht dem Druck einer Wasserleitung. Die Messung der Spannung geschieht mit Hilfe des Voltmeters (Spannungsmessers).

Das Ohm ( $\Omega$ ) ist die Einheit des elektrischen Widerstandes, des Widerstandes, den ein Baustoff dem Stromdurchgang entgegensetzt. Das Ohm entspricht den Reibungswiderständen des Wassers an Rohrwänden und in sich selbst.

Nach dem Ohmschen Gesetz ist der Widerstand gleich der Spannung, dividiert durch die Stromstärke. In die Form einer Gleichung gebracht:

$$\text{Widerstand} = \frac{\text{Spannung}}{\text{Stromstärke}} \quad \text{oder} \quad \text{Ohm} = \frac{\text{Volt}}{\text{Ampere}} \left( R = \frac{E}{J} \right),$$

wobei die allgemeingültigen Abkürzungen bedeuten:

$R$  = Widerstand,

$J$  = Stromstärke,

$E$  = Spannung.

Durch Umkehrung der Gleichung lassen sich auch die übrigen Werte errechnen;

so ist:

$$\text{Stromstärke} = \frac{\text{Spannung}}{\text{Widerstand}} \quad \text{oder} \quad \text{Ampere} = \frac{\text{Volt}}{\text{Ohm}} \left( J = \frac{E}{R} \right).$$

Spannung = Stromstärke · Widerstand oder Volt = Ampere · Ohm ( $E = J \cdot R$ )

Das Watt (W) ist das Einheitsmaß der Leistung des Stromes ( $N$ ). Praktisch rechnet man meistens mit 1000 Watt = 1 Kilowatt (kW). Unter Watt hat man das Produkt von Stromstärke · Spannung (entsprechend dem Produkt: Wassermenge · Druck) zu verstehen, d. h.

$$\text{Watt} = \text{Ampere} \cdot \text{Volt} \quad (N = E \cdot J).$$

Im technischen Maß ist die Einheit der Leistung das Meterkilogramm in der Sekunde (mkg/s). Als praktische Einheit wird aber noch die Pferdestärke (PS) benutzt.

$$1 \text{ PS} = 75 \text{ mkg/s} = 736 \text{ W} = 0,736 \text{ kW} \quad (\text{umgekehrt: } 1 \text{ kW} = 1,36 \text{ PS}).$$

Einheiten der Arbeit, d. h. der Leistung in einer gewissen Zeit, sind: 1 Joule = 1 Wattsekunde, d. h. 1 Watt 1 Sekunde lang geleistet, und 1 Wattstunde = 1 Watt 1 Stunde lang geleistet. Praktisch rechnet man meistens mit 1 Kilowattstunde (kWh), d. h. also 1 Kilowatt wird 1 Stunde lang geleistet. Arbeit ist also das Produkt von Leistung ( $N$ ) und Zeit ( $t$ ):  $A = N \cdot t = E \cdot J \cdot t$ .

## 2. Leitungswiderstand und Wärmewirkung.

**Spezifischer Leitungswiderstand.** Alle elektrischen Schweißverfahren beruhen auf der Ausnutzung derjenigen elektrischen Wärme, die im stromdurchflossenen Leiter infolge Widerstands entsteht. Jeder Leiter setzt dem durchfließenden Strom einen Widerstand entgegen, für dessen Überwindung ein bestimmter Teil der verfügbaren Spannung aufgewendet werden muß, und zwar wird der Spannungsverlust um so größer, je größer der Widerstand im Leiter ist. Aus diesem Grunde ist es selbstverständlich, daß man die Leiter aus einem Metalle herstellen wird, das durch einen geringen spezifischen Widerstand besonders geeignet erscheint. Dieser Anforderung entspricht an technisch erster Stelle Kupfer, weshalb in der Starkstromtechnik, mit der wir es hier ausschließlich zu tun haben, fast nur Kupfer als Leitungswerkstoff Verwendung findet. Im Gegensatz hierzu stehen jene Fälle, wo zwecks Regelung der Stromstärke größerer Widerstände erwünscht ist. Zur Herstellung solcher Regelwiderstände, kurz Widerstände (Rheostate) genannt, verwendet man absichtlich einen Werkstoff von hohem „spezifischen“ Widerstand (Nickelin, Konstantan, Rheotan usw.). Der Widerstand von Drähten ist nun nicht allein vom spezifischen Widerstand des Drahtwerkstoffs abhängig, sondern wächst erfahrungsgemäß entsprechend der Länge des Drahtleiters und nimmt mit steigendem Querschnitt des Drahtleiters ab. Bedeutet  $\rho$  einen Koeffizienten, der den Einfluß des Werkstoffs auf den Widerstand zum Ausdrucke bringt,  $l$  die Länge des Drahtes in m und  $F$  dessen Querschnitt in  $\text{mm}^2$ , so erhalten wir die Gleichung  $R = \rho \cdot \frac{l}{F}$  (in Ohm). Setzt man  $l = 1$  und  $F = 1$ , dann ist  $R = \rho$ ; mit anderen Worten:  $\rho$  ist der dem Stromdurchgang entgegenwirkende Widerstand eines Drahtes aus bestimmtem Werkstoff von 1 m Länge und  $1 \text{ mm}^2$  Querschnittsfläche. Diesen sog. spezifischen Widerstand finden wir in Tabelle 2, Spalte 2 angeführt. In Spalte 3 ist der Wert  $k = \frac{1}{\rho}$ , d. h. also der umgekehrte Wert des spezifischen Widerstands, die elektrische Leitfähigkeit des betreffenden Metalls, vermerkt.

Tabelle 2.

Metall	Spezifischer Widerstand $\rho$	Elektrische Leitfähigkeit $k = \frac{1}{\rho}$	Metall	Spezifischer Widerstand $\rho$	Elektrische Leitfähigkeit $k = \frac{1}{\rho}$
Silber . . . . .	0,016	62,5	Quecksilber . .	0,96	1,04
Kupfer . . . . .	0,0178	56,1	Nickelin . . . .	0,38	2,9
Aluminium . . .	0,027	37	Konstantan . . .	0,53	1,9
Platin . . . . .	0,108	9,24	Manganin . . . .	0,42	2,4
Eisen . . . . .	0,09 ÷ 0,15	11,1 ÷ 6,7	Kohle . . . . .	100 ÷ 1000	0,01 ÷ 0,001
Blei . . . . .	0,21	4,8			

**Joulesche Wärme.** Der durch den Widerstand des stromdurchflossenen Metalls entstehende Verlust an elektrischer Energie muß sich, nach dem Gesetz der Erhaltung der Energie, in irgendeiner anderen Form wahrnehmbar auswirken. Die geleistete elektrische Arbeit verwandelt sich in Wärme; jeder Leiter wird vom durchfließenden Strom erwärmt. Diese Erwärmung wächst mit der Dauer des Stromdurchgangs. Auch der Widerstand des Leiters nimmt im allgemeinen entsprechend seiner Erwärmung zu, d. h. der spezifische Widerstand eines Werkstoffs ist nicht konstant, sondern erhöht sich mit dessen Temperatur. Nur bei einigen Stoffen (z. B. Kohle) nimmt der Widerstand mit der Erwärmung ab. Die durch den Widerstand erzeugte Wärmemenge läßt sich nun durch ein Gesetz festlegen, das nach dem englischen Physiker, der es zuerst aufgestellt hat, als Joulesches Gesetz bekannt ist. Nach Abschnitt 1 war die elektrische Arbeit  $A = E \cdot J \cdot t$ . Setzen wir hierin  $E = J \cdot R$  (auch nach Abschnitt 1), so ergibt sich:  $A = J^2 \cdot R \cdot t$  (in Joule). Nun entspricht die elektrische Arbeit von 1 Joule einer Wärmemenge von 0,239 cal [hierbei 1 cal = 1 Grammkalorie = diejenige Wärmemenge, welche notwendig ist, um 1 g Wasser um 1° zu erwärmen; 1 Cal = 1000 cal = 1 WE (Wärmeeinheit)]. Daher ergibt die elektrische Arbeit in Wärme ausgedrückt den Wert:

$$\text{Wärmemenge } Q = 0,239 J^2 \cdot R \cdot t \text{ (in cal).}$$

Diese Wärmemenge wird auch als Joulesche Wärme bezeichnet und gibt das Joulesche Gesetz wieder. Die durch den elektrischen Strom erzeugbare Wärmemenge entspricht also dem Quadrat der Stromstärke ( $J^2$ ), dem Widerstand ( $R$ ) des Leiters und der Zeit ( $t$ ), während der der Strom durch den Leiter fließt. Nach Abschnitt 1 ist 1 Joule = 1 Wattsekunde. Wir erhalten also die Wärmemenge, die 1 kWh entwickeln kann (mit  $J^2 = 1000 \text{ W}$ ,  $R = 1 \text{ } \Omega$ ,  $t = 1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$ ), zu:  $0,239 \cdot 1000 \cdot 1 \cdot 3600 = 860400 \text{ cal} = 860,4 \text{ Cal}$  (860,4 WE).

Da beim Schweißen die zur Erzielung der notwendigen Schweißtemperatur erforderliche große Wärmemenge rasch zustande kommen und möglichst auf das Schweißgut beschränkt werden muß, ergeben sich für die Konstruktion einer Elektroschweißmaschine zwei grundlegende Bedingungen:

1. Es sind Ströme von hoher Stärke (bis zu 80000 A) erforderlich. Infolge des verhältnismäßig geringen Widerstands an der Schweißstelle genügt indessen eine niedrige Spannung (1 ÷ 65 V), deren Maß vom Umfang der Widerstände im Stromkreis der Maschine und von der erforderlichen Stromstärke abhängig ist.

2. Für geringen Widerstand im stromzuführenden Leiter muß gesorgt werden. Hier wirkt jeder Widerstand schädlich und bringt Verluste an elektrischer Kraft, da die in der Stromzuleitung außerhalb der Schweißstelle entwickelten Wärmemengen sich niemals an der Steigerung der Temperatur an der Schweißstelle beteiligen können. Aus diesem Grunde muß die Stromzuleitung der Maschine aus gut leitendem Metall (Kupfer) von genügend großem Querschnitt hergestellt sein; bei den großen Stromstärken, welche beim Schweißen in Frage kommen, ist selbst der geringste Widerstand von hohem Einfluß auf den Stromverbrauch.

### 3. Allgemeines über die Stromquellen elektrischer Schweißanlagen.

**Stromarten.** Fließt der elektrische Strom in einem Leiter dauernd in einer Richtung, vom positiven Pol (+ Pol) zum negativen Pol (— Pol), so nennt man ihn Gleichstrom. Wechselt der Strom dagegen seine Richtung, indem er sich von einem positiven Höchstwert der Spannung und Stromstärke durch Null hindurch zu einem negativen Höchstwert und umgekehrt ändert, so sprechen wir von einem Wechselstrom. Die Richtungsänderung beim Wechselstrom erfolgt meistens (insbesondere in Deutschland) 100mal in der Sekunde. Ein

positiver und ein negativer Richtungswechsel zusammen machen eine Periode des Wechselstroms aus. Man sagt also, der Wechselstrom hat 100 Wechsel oder 50 Perioden (in der Sekunde) oder: die Frequenz des Wechselstroms ist 50 (Abb. 8). Beim Wechselstrom wird unterschieden zwischen Einphasen- und Mehrphasenströmen, von welch letzteren praktisch nur der Zwei- und Dreiphasenstrom Bedeutung haben. Ein Zweiphasenstrom ist gleichbedeutend mit zwei zusammenarbeitenden Wechselströmen (Einphasenströmen). Unter dem Dreiphasenwechselstrom, im allgemeinen Drehstrom genannt, versteht man also das Zusammenarbeiten dreier Wechselströme; die Spannungen und Stromstärken der drei Wechselströme (man sagt: der drei Phasen) sind in ihren gleich hohen Werten zeitlich gegeneinander verschoben, sie haben eine „Phasenverschiebung“.

**Netzspannung.** Der Wechselstrom, insbesondere der Drehstrom, eignet sich viel besser als der Gleichstrom zur Fernleitung des elektrischen Stromes, weil man mit Hilfe der nachher besprochenen Transformatoren leicht hohe Spannungen (bis 200000 V) erreichen und dann den Strom in Leitungen von geringem Querschnitt weiterleiten kann. Diese Fernleitungsspannungen werden auf die üblichen Netz- oder Gebrauchsspannungen heruntertransformiert; sie betragen 110 (seltener), 220, 380 oder 500 V (bei Gleichstrom meist 110 oder 220 V). Sie sind aber noch nicht passend für unsere Schweißeinrichtungen, denn die Widerstandsschweißung erfordert nur  $1 \div 10$  V (bei  $300 \div 80000$  A Stromstärke) und die Lichtbogenschweißung  $15 \div 65$  V (bei  $10 \div 3000$  A Stromstärke). Man schweißt daher nur ausnahmsweise bei der Gleichstrom-Lichtbogenschweißung aus dem Netz und baut im allgemeinen entweder besondere Schweißumformer (bei der Gleichstrom-Lichtbogenschweißung) oder Transformatoren, Umspanner (für die Wechselstrom-Lichtbogenschweißung und für die Widerstandsschweißung).

**Dynamomaschinen** (auch Generatoren, d. h. [Spannungs-] Erzeuger genannt). Die Starkstromerzeugung beruht ausschließlich auf magnetoelektrischer Induktion. Legt man um einen Eisenkern isolierte Drahtwindungen und schickt durch diese einen Gleichstrom, so wird der Kern zu einem Elektromagneten und sendet magnetische Kraftlinien aus (magnetisches Kraftfeld). Wird ein Leiter (Draht) durch das Kraftfeld bewegt, so entsteht beim Schneiden der Kraftlinien in dem Leiter eine Spannung. Man bezeichnet diesen Vorgang als Induktion. Um diese Spannungserzeugung praktisch auszunutzen, erhalten Elektromagnet und Leiter bestimmte Form und Anordnung, die wir in der Gestaltung einer Dynamo wiederfinden.

Das Schema einer Dynamo zeigt Abb. 6. Zwischen den beiden Magnetpolen  $a$  und  $b$  wird ein magnetisches Kraftfeld erzeugt, was durch die gestrichelten Linien angedeutet wird. Der Kraftlinienfluß wird durch das Gehäuse  $c$  geschlossen. Die magnetische Erregung der Pole erfolgt durch stromdurchflossene Windungen  $f$  (Erregerwicklung), die von einer Gleichstromquelle  $e$  gespeist werden. Die Größe des Kraftfeldes ist abhängig von der Windungszahl und der Stromstärke, die durch den Regler  $g$  in der Erregerleitung  $h$  verändert werden kann. Im Kraftfeld wird ein mechanisch oder motorisch angetriebener Anker  $d$  gedreht, auf dessen Umfang Leiter nach einem bestimmten Schema zu einer isolierten, in Nuten verlegten und durch Bandagen festgehaltenen Ankerwicklung zusammengeschlossen

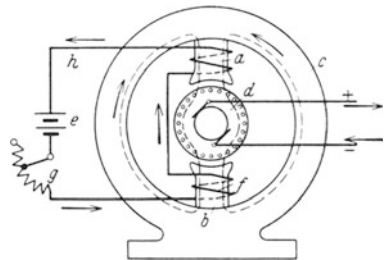


Abb. 6. Schema einer Dynamomaschine (Nebenschlußerregung).



sind. Bei Drehung des Ankers kreuzt er Kraftlinien; hierdurch wird in seiner Wicklung eine Spannung erzeugt. Betrachtet man, um auf die einfachste Darstellung zu kommen, die Umdrehung nur eines Ankerdrahtstückes *a* in Abb. 7, so erkennt man, daß in Stellung 1 Kraftlinien nicht geschnitten werden und demzufolge keine Spannung erzeugt (induziert) wird. Auf dem Wege des Drahtes *a* von 1 nach 2 werden die an Dichte zunehmenden Kraftlinien in steigendem Winkel geschnitten.

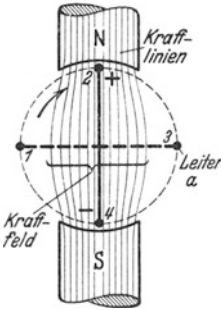


Abb. 7. Schema der Wechselstrominduktion.

Trägt man eine Umdrehung des Drahtes *a* als gerade Linie (Abszisse) auf und die in den vier angedeuteten Stellungen induzierten Spannungen senkrecht hierzu (Ordinaten), so erhält man eine Kurve (Sinuskurve) entsprechend der Abb. 8, die erkennen läßt, daß je nach der Neigung, die der Draht zu den Kraftlinien einnimmt und je nach seiner Lage zum +Pol (N) oder -Pol (S), sich Größe und Richtung der erzeugten Spannung ständig verändern. Eine auf diese Weise erzeugte Spannung, die von einem Nullwert zu einem positiven Höchstwert ansteigt, um dann wiederum über 0 auf einen negativen Höchstwert zu kommen, eine Spannung

also, die ihre Größe und Richtung fortwährend verändert, liefert einen Wechselstrom, der an zwei Schleifringen entnommen wird. Will man Gleichstrom entnehmen, so verwendet man an Stelle der beiden Schleifringe einen Stromwender (Kommutator, Kollektor), dessen einfachste Form zwei voneinander isolierten Schleifringhälften entspricht.

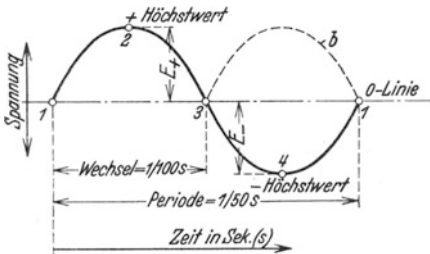


Abb. 8. Wechselstrom-Spannungskurve.

Beim Hinübergleiten des Stromabnehmers (der Bürsten) von einer zur anderen Ringhälfte des Kollektors wird die Stromrichtung an den Anschlußklemmen zwangsläufig vertauscht (gewendet). Mit anderen Worten: die Spannung der zweiten Halbwelle *b* in Abb. 8 verläuft nunmehr in der gleichen Richtung wie die erste. Da aber die Spannung nicht nur gleiche Richtung, sondern auch einen gleichbleibenden Wert

haben soll, wird der Kollektor nicht in zwei, sondern in viele Abschnitte (Kollektor-segmente), desgleichen die Ankerwicklung in gleich viele Spulen unterteilt, von denen jede an zwei benachbarten Segmenten endet. Die Bürsten, deren Zahl von der Anzahl der Pole abhängig ist und die unter sich paarweise parallelgeschaltet

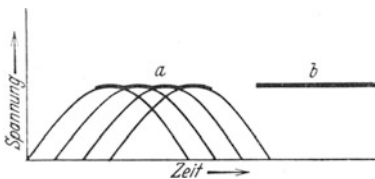


Abb. 9. Gleichstrom-Spannungskurve.

sind, werden so angestellt, daß sie die Spannung von den Segmenten abnehmen, deren zugehörige Ankerspulen gerade den wirksamsten Teil des Kraftfeldes schneiden und die mit der höchsten Spannung induziert werden. Wie aus Abb. 8 hervorgeht, erhält man bei zwei Kollektorsegmenten je Umdrehung des Ankers zwei gleichgerichtete Halbwellen

und damit starke Spannungsschwankung, die bei vielen Kollektorlamellen entsprechend deren Anzahl abnimmt, wie aus Abb. 9 bei *a* zu ersehen ist. Durch die praktisch üblichen Drehzahlen sowie durch Anordnung mehrerer Polpaare geht die wellige Spannungskurve *a* der Abb. 9 in eine geradlinige *b* über.

Nach Art der Erregung der Magnetpole unterscheidet man zwischen Selbst-, Eigen- und Fremderregung. Von Fremderregung (Abb. 6) spricht man, wenn

der Erregerstrom einem Gleichstromnetz oder einer besonderen Gleichstromdynamo (Erregermaschine) entnommen wird. Wird die Erregerdynamo, wie dies meist der Fall ist, unmittelbar mit der Dynamo gekuppelt, so spricht man von Eigenerrregung. Bei Selbsterregung wird der Erregerstrom von der Dynamo selbst, also ohne äußere Stromzufuhr, geliefert. Der in den Magnetpolen nach jedesmaligem Betriebe zurückbleibende (remanente) Magnetismus genügt, einen schwachen elektrischen Strom in der Ankerwicklung zu erzeugen. Wird dieser schwache Strom durch die Magnetwicklung geleitet, so tritt eine Verstärkung des Kraftfeldes und infolgedessen des Ankerstromes ein (dynamo-elektrisches Prinzip). Je nach der Schaltungsart zwischen Anker- und Erregerstromkreis unterscheidet man: 1. Hauptstrommaschine (Abb. 10a), bei der der gesamte Strom durch die Erregerwicklung fließt; 2. Nebenschlußmaschine (Abb. 10b), bei der die Erregerwicklung in einem abgezwigten Nebenstromkreis liegt; 3. Verbundmaschine (Kompondmaschine, Abb. 10c), bei der beide Wicklungen, also Hauptstrom- und Nebenschlußwicklung, angewandt werden. Diese Schaltungsarten geben den Dynamomaschinen ganz verschiedene und besondere Eigenschaften, die auch für ihren Gebrauch als Schweißdynamos von Bedeutung sind. Die weiteren Anforderungen, die man an Schweißdynamos stellt, und die sich daraus ergebenden Sonderkonstruktionen werden im Abschnitt „Die Einrichtungen für die elektrische Lichtbogenschweißung“ genauer behandelt.

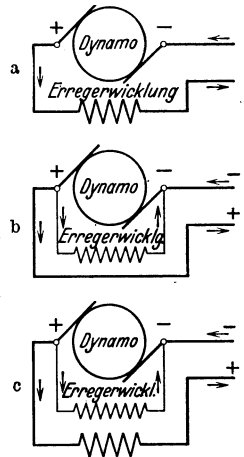


Abb. 10. Schaltungsarten für Gleichstromdynamos.

**Transformatoren (Umspanner).** Dies sind verhältnismäßig einfache und ruhende Apparate, deren Schema in Abb. 11 dargestellt ist. Der von *A* kommende hochgespannte Wechselstrom wird in einer bestimmten Anzahl Drahtwindungen (Primärspule *D*) um den einen Schenkel des in sich geschlossenen, aus einzelnen Blechen zusammengesetzten Eisenkerns *C* geleitet. Der primäre, durch die Windungen (Spule) *D* fließende Strom erzeugt nun im Eisenkern *C* einen Kraftlinienfluß von wechselnder Stärke und Richtung, entsprechend jedem Wechsel, d. h. jeder Veränderung in der Spannung und Stromstärke des durch *D* geschickten Stromes. Versieht man auch den gegenüberliegenden Schenkel des Rahmens (Jochs) *C* mit einer Anzahl Drahtwindungen, so daß hier eine zweite, die Sekundärspule *E* entsteht, so wird in dieser ein sekundärer Wechselstrom induziert, der die an sie angeschlossene Leitung *B* durchfließt. Die gewünschte Änderung des Verhältnisses zwischen Stromstärke und Spannung wird nun dadurch erreicht, daß man den Spulen eine bestimmte Anzahl Windungen gibt. Soll beispielsweise im sekundären Stromkreis, also in *B*, eine höhere Spannung herrschen als im primären Stromkreis *A*, dann erhält die Sekundärspule entsprechend mehr Windungen als die Primärspule, und umgekehrt weniger Windungen als diese, falls die Spannung niedriger sein soll. Mit der Änderung der Spannung geht auch eine Änderung der Stromstärke vor sich, und zwar in der Weise, daß zur geringeren Spannung die höhere Stromstärke gehört und umgekehrt, da ja die elektrische Leistung, das Produkt aus Stromstärke und Spannung (abgesehen von Verlusten im Transformator), auf beiden Seiten des Transformators dieselbe sein muß. Haben wir z. B. primärseitig

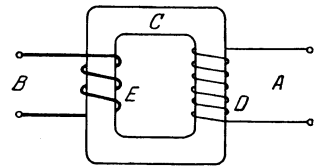


Abb. 11. Schematische Darstellung eines Transformators.

5000 V und 5 A, so ist die elektrische Leistung 25000 W. Beträgt die Spannung nach der Transformierung, auf der Sekundärseite, nur noch 220 V, dann muß die Stromstärke  $\frac{25000}{220} = 113$  A sein.

Das Verhältnis zwischen primärer und sekundärer Spannung heißt Übersetzungsverhältnis des Transformators. Die große Abweichung der im Sekundärstromkreis benötigten geringen Spannung von der diesem primärseits zugeführten Hochspannung, mit anderen Worten das hohe Übersetzungsverhältnis erfordert bei Schweißtransformatoren in der Sekundärspule meist nur eine Windung. Das bezieht sich allerdings nur auf Widerstandsschweißmaschinen, da diese nur bis zu 10 V benötigen; für Lichtbogenschweißung sind noch bis zu 80 V (Leerlaufspannung) gebräuchlich und deshalb mehrere Windungen notwendig. Mit Rücksicht auf die außergewöhnlich hohen Stromstärken, die für die Sekundärspule des Transformators einer Widerstandsschweißmaschine in Frage kommen, wird die eine Sekundärwindung entweder durch ein massiges Gußstück, ein Kupferseil, oder durch eine barrenähnliche starke Kupferstange ersetzt.

In zeichnerisch dargestellter Fernstromversorgung veranschaulicht man die Umspannung nach Art der Abb. 12. Der von der Dynamo *D* gelieferte Wechselstrom wird durch Leitung *A* der Primärspule eines Transformators  $T_1$  zugeführt, der den Strom auf hohe Spannung bringt. Der hochgespannte Strom fließt dann

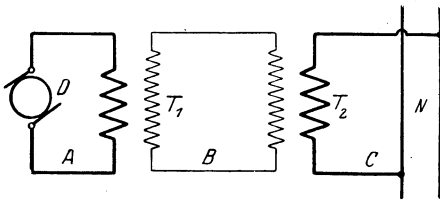


Abb. 12. Schema der Fernstromumformung.

durch die Fernleitung *B* zu einem zweiten Transformator  $T_2$ , dem die Aufgabe zufällt, die Spannung des Stromes auf das für praktische Zwecke zulässige Maß zu erniedrigen. Die Sekundärleitung *C* des Transformators  $T_2$  steht schließlich mit der Gebrauchsnetzleitung *N* in Verbindung. Wir können diese Umwandlung ohne weiteres aus der Zeichnung ablesen.

Die an die Primärspule des Transformators  $T_1$  angelegte Primärstromleitung (Niederspannungsleitung) ist mit wenigen, aber kräftigen Zickzacklinien dargestellt, d. h. niedere Spannung, hohe Stromstärke (gemäß dem großen Drahtquerschnitt). Die Sekundärleitung *B* durchfließt ein Strom von hoher Spannung und geringer Stromstärke (Hochspannungsleitung), das zeigen die vielen Windungen und die geringe Strichdicke. Im Transformator  $T_2$  vollzieht sich die Wandlung umgekehrt.

**Die Leistung im Wechselstromkreis.** Im Wechselstromkreis ruft der durch einen Spulendraht fließende Strom in den benachbarten Drähten derselben Spule eine Gegenwirkung zum zunächst fließenden Strom hervor, die man als Selbstinduktion bezeichnet. Nicht die ganze Spannung wird, wie beim Gleichstrom, nutzbar gemacht; ein Teil dient zum Ausgleich der Selbstinduktion. Die Leistung im Wechselstromkreis ist infolgedessen auch nicht  $N = E \cdot J$ ; dies ist nur die Scheinleistung, gemessen in Voltampere (VA); die Wirkleistung (wirkliche Leistung) ist  $N' = E \cdot J \cdot \cos \varphi$ , gemessen in Watt (W). Die Größe  $\cos \varphi$  wird Leistungsfaktor genannt. Aus beiden Leistungen folgt:

$$\cos \varphi = \frac{N'}{N} = \frac{\text{Wirkleistung}}{\text{Scheinleistung}}.$$

Für Kraftzwecke liegt der  $\cos \varphi$  zwischen 0,85 und 0,2; er kann höchstens den Wert 1 erreichen, dann ist das Stromnetz induktionsfrei. Der Verlust zwischen Schein- und Wirkleistung wird mit Blindleistung bezeichnet; sie errechnet sich aus  $N'' = \sqrt{N^2 - N'^2}$ . Wechselstrommaschinen und ihre Zuleitungen müssen

die Scheinleistung (Spannung  $E$  · Stromstärke  $J$ ) aufnehmen können; ihre Leistung wird daher nicht in kW, sondern in kVA angegeben. Man kommt zu denselben Ergebnissen, wenn man sagt, daß infolge der Selbstinduktion Spannung und Stromstärke nicht mehr gleichzeitig auf- und abschwngen, nicht mehr in gleicher Phase schwingen. Dann gibt das Produkt aus Spannung und Stromstärke nicht mehr den vollen Wert  $E \cdot J$ , sondern einen kleineren Wert, nämlich  $E \cdot J \cdot \cos \varphi$ . Die Größe  $\cos \varphi$  wird hiernach auch als Kosinus der Phasenverschiebung (zwischen Spannung und Stromstärke) bezeichnet. Sie spielt naturgemäß bei allen Wechselstrom-Schweißmaschinen eine bedeutsame Rolle.

Die Leistung im Drehstromkreis ist  $N = E \cdot J \cdot \sqrt{3} \cdot \cos \varphi$ , worin die  $\sqrt{3}$  mit den drei hier zusammenarbeitenden Wechselströmen und ihrer Schaltung zusammenhängt.

**Der Wirkungsgrad.** Der Wirkungsgrad einer jeden Maschinenanlage, also auch einer Schweißmaschine, ist stets  $\eta = \frac{\text{Nutzleistung der Maschine}}{\text{aufgewendete Leistung}}$ . Die Größe von  $\eta$  ist naturgemäß stets kleiner als 1; sie kann z. B. bei Transformatoren den Wert 0,95 (= 95 vH) erreichen, ist aber bei vielen elektrischen Maschinen, insbesondere auch bei Schweißmaschinen, meistens wesentlich kleiner.

## D. Überblick über die elektrischen Schweißverfahren und ihre Einrichtungen.

### 1. Widerstandsschweißverfahren.

Strom von hoher Stärke (bis 80000 A) und niedriger Spannung (1 ÷ 10 V) wird einem Hauptstromnetz über einen Transformator entnommen. Man schweißt also nur mit Wechselstrom, da die Umformung in Gleichstrom von erforderlicher niedriger Spannung und hoher Stromstärke die Verwendung großer und teurer umlaufender Umformer bedingen würde. Sämtliche zum Schweißen erforderlichen Teile einschließlich des Transformators baut man in einer Schweißmaschine zusammen. Im einzelnen unterscheidet man: Stumpf-, Punkt- und Nahtschweißung.

**Stumpfschweißung.** Abb. 13 zeigt schematisch, daß vom Wechselstromnetz

(gewöhnlich Anschluß an eine Phase des Drehstromnetzes) aus der Transformator gespeist wird. Die Sekundärwicklung des Transformators führt zu kupfernen Klemmbacken, die waagrecht und senkrecht verstellbar sind. In diese Klemmbacken wird das Schweißgut, im vorliegenden Falle Vierkant- oder Rundeisen, mittels irgendeiner Spannvorrichtung eingespannt. Schaltet man den Strom ein, so muß er den Widerstand an der Stumpfstoßstelle  $a$  der Schweißenden überwinden. Da durch Berührung der Stoßflächen bei  $a$  dort der größte Widerstand im Stromkreis entsteht, muß sich, nach unseren früheren Ausführungen, an der Stoß- und Schweißstelle demnach die gewünschte, größte Wärme im Leiter entwickeln. Sobald die Temperatur bei  $a$  auf Schweißhitze gestiegen ist, setzt im richtigen Augenblick eine Unterbrechung der Stromzufuhr und in den Pfeilrichtungen eine die Schweißung vollendende Stauchung ein. Aus der Stumpfschweißung wurde in neuerer Zeit die

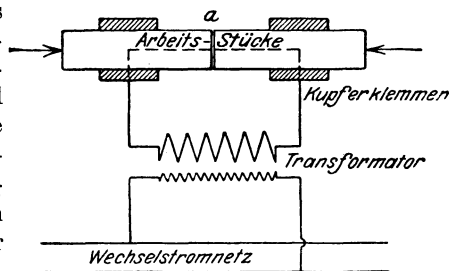


Abb. 13. Schema der elektrischen Stumpfschweißung.

Abschmelzschweißung entwickelt, die auf Stumpfschweißmaschinen ausgeführt wird, bei der aber die Stoßflächen durch geringes Entfernen beider Schweißstücke nach der Berührung und Bildung eines Lichtbogens zuerst abgeschmolzen und dann erst gegeneinander gedrückt und verschweißt werden. Ferner sind aus den Stumpfschweißmaschinen später auch elektrische Erwärmungsmaschinen (Elektroessen, elektrische Nieterrhitzer) hervorgegangen, bei denen das Werkstück durch Stromzufuhr nur erwärmt (nicht geschweißt) wird.

**Punktschweißung.** Sie hat den Zweck, überlappte Bleche in beliebigen Abständen durch punktwises Schweißen, durch Punktieren, zu verbinden. Dieses

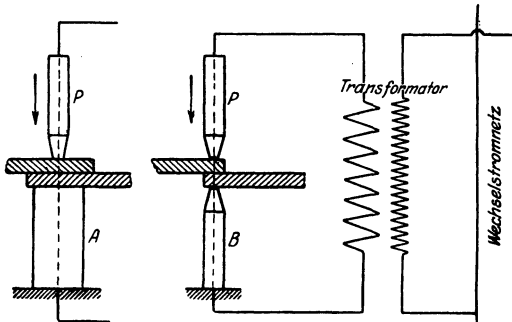


Abb. 14. Schema der elektrischen Punktschweißung.

Verfahren dient demnach als Ersatz für Nietung. Der Schweißvorgang ist in Abb. 14 ebenfalls schematisch dargestellt. Die Sekundärwicklung des Transformators steht mit je einer Elektrode *P* und *B* in Verbindung. Der Strom fließt durch die Elektrode *P*, überwindet den Widerstand der beiden aufeinanderliegenden Bleche, wobei diese örtlich (zwischen den beiden Elektroden) erhitzt werden, und gelangt durch die Elektrode *B* zur Stromquelle zurück. An der Stromdurchgangsstelle entsteht durch Zusammendrücken der Elektroden ein Schweißpunkt, dessen Durchmesser sich nach der Fläche der Elektrodenenden richtet. Abb. 14 zeigt links bei *A* eine Flächenelektrode, die einen zu starken Eindruck vermeidet. Durch dichtes, lückenloses Aneinanderreihen der einzelnen Schweißpunkte entsteht eine Schweißnaht, die sich häufig verbessern läßt, wenn man zur Nahtschweißung übergeht.

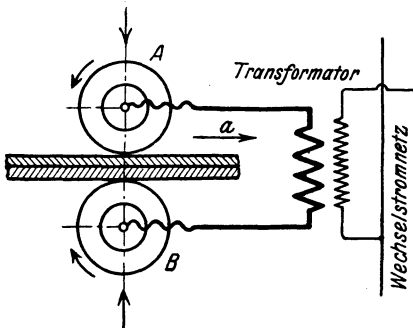


Abb. 15. Schema der elektrischen Nahtschweißung.

**Nahtschweißung.** Zur Herstellung von Längsnahten an dünnen Blechen bedient man sich meistens der Rollenelektroden. Zwei drehbar gelagerte, kupferne, als Rollen ausgebildete Elektroden *A* und *B* (Abb. 15) stehen mit dem Transformator in Verbindung. Beim Hindurchziehen der beiden überlappten Bleche (in Richtung des Pfeiles *a*) zwischen den stromdurchflossenen Rollen entsteht eine ununterbrochene Schweißnaht, wobei vorausgesetzt ist, daß vorerst die Rollen auf das Schweißgut dauernd einen Druck ausüben.

## 2. Lichtbogenschweißverfahren.

Der Strom wird entweder einem Gleichstromnetz oder einem Wechselstrom- (Drehstrom-) Netz entnommen. Im ersteren Falle kann er mit Hilfe von Vorschaltwiderständen unmittelbar Verwendung finden, was aber infolge großer Unwirtschaftlichkeit und der mit Berührung der Netzspannung verbundenen Gefahr selten geschieht. Fast immer wird der Netzstrom mit Hilfe von Schweißumformern (und zwar Gleichstrom-Gleichstrom- oder Drehstrom-Gleichstromumformern) in Gleichstrom von  $15 \div 65$  V Spannung oder der Wechselstrom auch mit Hilfe von Transformatoren in entsprechend niedrig gespannten Wechsel-

strom verwandelt. Man schweißt also entweder mit Gleichstrom oder mit Wechselstrom.

**Die verschiedenen Schweißverfahren.** Das Schema der Schweißeinrichtung zeigt Abb. 16. Der eine Pol einer Stromquelle  $D$  wird an das Schweißgut  $B$ , der andere an einen Schweißstab (Elektrode)  $K$  angeschlossen. Zwischen Elektrode  $K$  und dem als Gegenelektrode aufzufassenden Werkstück  $B$  bildet sich ein Lichtbogen (ähnlich der Bogenlampe), dessen Temperatur von etwa  $3500^{\circ}$  durch den Widerstand entsteht, der durch den Aus- und Eintritt des Stromes an den Elektroden  $K$  und  $B$  und durch den Luftübergangswiderstand hervorgerufen wird. Die heiße Flamme führt eine fast augenblickliche Schmelzung der von ihr getroffenen Stelle des Schweißgutes herbei; wir haben es hier demnach mit einem Schmelzschweißverfahren zu tun, im Gegensatz zum teigigen Zustande der Schweißnaht beim Widerstandsschweißverfahren. Nach Art und Beschaffenheit der Stabelektrode  $K$  richtet sich das Wesen des jeweiligen Verfahrens. Benardos, der Erfinder der Elektroschmelzschweißung, verwendet als Elektrode Kohlestäbe. Der beim Schmelzen durch Verdampfen verlorengelende und in der Schweißfuge fehlende Werkstoff wird durch Einschmelzen von Metalldrähten derselben Art ergänzt. Tritt an Stelle der Kohlelektrode  $K$  eine solche aus Metall, so erhalten wir das weitaus gebräuchlichste Slavianoffverfahren, bei dem die Metallelektrode gleichzeitig als Zusatzwerkstoff dient. Zerener gestaltete das Bernadosverfahren insofern um, als er der einen Kohlelektrode ( $K$  in Abb. 16) eine zweite hinzufügte

( $K_1$  und  $K_2$  in Abb. 17) und beide spitzwinklig zueinanderstellte. In diesem Falle wird der Lichtbogen  $L$  nicht mehr zwischen Elektrode und Schweißgut, sondern zwischen den beiden Kohlestäben  $K_1$  und  $K_2$  gezogen; mithin erfolgt die Lichtbogenbildung selbständig und vom Schweißgut unabhängig. Mit Hilfe eines in denselben Stromkreis eingeschlossenen Elektromagneten  $M$  wird der Lichtbogen auf die Schweißstelle abgelenkt. Dieses Verfahren hat heute keine praktische Bedeutung mehr.

**Die Schweißeinrichtungen.** Als Stromquellen kommen, wie bereits erwähnt, fast immer besondere Gleichstromschweißumformer oder Wechselstromtransformatoren in Betracht. Dazu gehören dann noch Meßinstrumente (wie z. B. das Voltmeter  $V$  und Amperemeter  $A$  in Abb. 16) und Regeleinrichtungen. Der Umschalter  $U$  ist nur für Gleichstromschweißung, zum Umwechseln der Pole, bestimmt. Schweißkabel leiten den Strom zum Elektrodenhalter  $G$  mit Schutzkorb  $S$  und Elektrode  $K$  sowie zum Schweißgut  $B$ . Der Schweißer muß eine Lichtschutzvorrichtung (Schild oder Kappe) und, besonders bei größeren Schweiß-

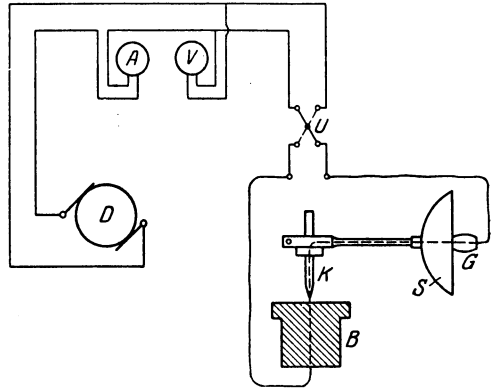


Abb. 16. Schema einer Lichtbogenschweißanlage.

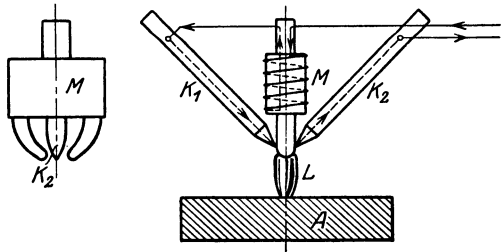


Abb. 17. Schema des Zerenerverfahrens.

**Die Schweißeinrichtungen.** Als Stromquellen kommen, wie bereits erwähnt, fast immer besondere Gleichstromschweißumformer oder Wechselstromtransformatoren in Betracht. Dazu gehören dann noch Meßinstrumente (wie z. B. das Voltmeter  $V$  und Amperemeter  $A$  in Abb. 16) und Regeleinrichtungen. Der Umschalter  $U$  ist nur für Gleichstromschweißung, zum Umwechseln der Pole, bestimmt. Schweißkabel leiten den Strom zum Elektrodenhalter  $G$  mit Schutzkorb  $S$  und Elektrode  $K$  sowie zum Schweißgut  $B$ . Der Schweißer muß eine Lichtschutzvorrichtung (Schild oder Kappe) und, besonders bei größeren Schweiß-

Bungen, entsprechende Schutzkleidung tragen. Gasabsaugevorrichtungen vervollständigen die Einrichtung.

### 3. Schweißen durch Elektrolyse.

Das von Lagrange und Hoho zuerst angewandte Schweißverfahren beruht auf der Elektrolyse des Wassers. An einen von der Erde gut isolierten, mit Bleiplatten belegten Bottich *B* (Abb. 18) wird der + Pol einer Gleichstromquelle *D* angeschlossen. Der Bottich *B* wird mit einer Sodalösung gefüllt, deren Leitfähigkeit für den elektrischen Strom durch geringen Zusatz an Schwefelsäure erhöht wird. Beim Eintauchen der an den — Pol des Stromkreises angeklebten Schweißstücke *A* entsteht ein Vorgang, wie er sich bei der Wasserstoffherstellung in Elektrolyseuren abspielt, d. h. das Wasser bzw. die Lösung, wird durch den elektrischen Strom zersetzt. Am negativen Pol, also am Schweißgut, scheidet sich Wasserstoff ab, der die Metallstücke mit einer dünnen Gasschicht umhüllt. Diese setzt dem elektrischen

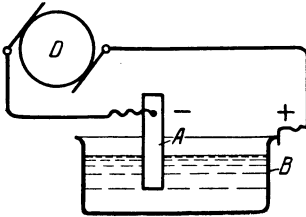


Abb. 18. Schweißung durch Elektrolyse.

Strom einen derart großen Widerstand entgegen, daß sich zwischen Elektrolyt (Flüssigkeit) und Metall eine große Anzahl winzig kleiner Lichtbogen bildet, welche das eingebrachte Schweißgut sehr bald zum Glühen bringen. Das Zusammenschweißen der Metallstücke wird außerhalb des Stromkreises, meist auf dem Amboß durch Hämmern (oder in Pressen), bewirkt. Das Verfahren hat keine praktische Bedeutung erreicht.

## E. 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 sog. 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 in teigigem oder in flüssigem 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 elektrisch mehr oder weniger gut (bzw. nach bestimmten Verfahren) schweißbar: Kupfer, Aluminium, Silber, Gold, Platin. Von Legierungen kommen bisher praktisch für elektrische 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  $600^{\circ} \div 900^{\circ}$ ) und „Weißglut“ (bei  $1200^{\circ} \div 1400^{\circ}$ ) des Stahls, weil er bei den angegebenen Temperaturen rot bzw. weiß aussieht.

**Spezifisches Gewicht.** Die Dichte oder das spezifische Gewicht (Eigen- gewicht, 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 3 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  $90^{\circ} \div 120^{\circ}$  und  $140^{\circ} \div 170^{\circ}$  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“ erwähnt.

**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 3) und Siedepunkt; bei letzterem werden sie gasförmig. Der Siedepunkt liegt wesentlich höher als der Schmelzpunkt, bei Zink aber z. B. schon bei  $906^{\circ}$ . Der Schmelzpunkt und der Erstarrungspunkt (beim Wiedererkalten) fallen praktisch zusammen.



Fast alle Metalle dehnen sich beim Erwärmen aus, nehmen also dann einen größeren Raum ein, und ziehen sich beim Erstarren zusammen. Letzteres, 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, in flüssigem Zustande stark Gase aufzusaugen, zunächst gelöst bei sich zu behalten und bei der Abkühlung wieder abzustößen. 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.

Tabelle 3.

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	961°	(Messing) . . . . .	8,5	900°

## 2. Besonderes über Stahl und Eisen.

**Stahl.** Die schmiedbaren Eisensorten werden entweder im Puddelofen in teiligem Zustande hergestellt und dann Schweißstahl ( $0,03 \div 1,6$  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, Tiegel- und Elektrostahl werden auch als Edelmetalle bezeichnet.

Außer dem wichtigsten Nebenbestandteil, dem Kohlenstoff, enthält 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 — meist  $0,1 \div 1,0$  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 schwer 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 ganzen 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 u. a., die bei dem Temperverfahren ihren Sauerstoff an einen Teil des Kohlenstoffs des Weißisengusses 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. Temperguß ist elektrisch besser schweißbar als autogen.

**Gußeisen.** Dieses Eisen ist aus grauem Roheisen durch Umschmelzen in Kupol-, 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  $1200^{\circ}$ ÷ $1250^{\circ}$  beträgt. Das Gußeisen hat die Eigenschaften des gegossenen Werkstoffs; es hat die Geschmeidigkeit und Biagsamkeit 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 behandelter Vorsichtsmaßregeln im allgemeinen gut schweißbar. Da der Schmelzpunkt des Eisenoxyds ( $1350^{\circ}$ ) 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 (oder mit ummantelten Elektroden geschweißt) 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 teilweise unter Einwirkung der Schweißflamme 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 Schweißelektroden (bei der sog. Warmschweißung) einen hohen Siliziumgehalt haben müssen. Mangan (meist  $0,5 \div 1$  vH im Guß) behindert die graphitische Ausscheidung des Kohlenstoffs, es macht Gußeisen hart. Phosphor ( $0,1 \div 1,25$  vH im Guß) macht Gußeisen dünnflüssig, Schwefel hingegen dickflüssig und erhöht die Sprödigkeit. Der Schwefelgehalt der Gußstücke wird daher auch möglichst unter  $0,1$  vH gehalten.

In neuerer Zeit, insbesondere in den letzten Jahren, hat man nach verschiedenen Verfahren hochwertiges Gußeisen hergestellt, und zwar in der Hauptsache entweder durch weitgehende Entschwefelung und Entgasung oder durch Verwendung kohlenstoffärmeren Gußeisens (mit etwa  $2,4 \div 3,0$  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 richtet sich nach Abmessung und Form des jeweiligen Gußkörpers. Zu diesen, fast also in

jedem Gußstück vorhandenen Spannungen treten beim Schweißen noch neue Spannungen hinzu, hervorgerufen durch Teilerhitzung des Schweißstücks. Übersicht 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 erschienenen deutschen Normen sind Auszüge aus einigen wichtigen Normblättern in den Tabellen 4 bis 7 wiedergegeben.

Tabelle 4 (Auszug aus DIN 1611)<sup>1</sup>.

Maschinenbaustahl					
Schwefel und Phosphor nicht mehr als je 0,06 vH, zusammen jedoch nicht mehr als 0,1 vH					
Markenbezeichnung	Zugfestigkeit $\sigma_B$ kg/mm <sup>2</sup>	Bruchdehnung mindestens vH		Kohlenstoffgehalt $\approx$ vH	Eigenschaften
		$\delta_5$	$\delta_{10}$		
St 34 · 11	34—42	30	25	0,12	einsetzbar, feuerschweißbar noch einsetzbar, schwer feuerschweißbar nicht einsetzbar, kaum feuerschweißbar, 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	

In Tabelle 4 bedeutet  $\delta_5$  die Bruchdehnung für eine Meßlänge gleich dem fünffachen Stabdurchmesser (kurzer Normalstab, Kurzstab),  $\delta_{10}$  gilt entsprechend für den langen Normalstab (Langstab). Bei der Markenbezeichnung bedeutet St = Stahl, 34 = Mindestzugfestigkeit in kg/mm<sup>2</sup> und 11 = letzte beide Zahlen des Normblattes 1611.

Tabelle 5 (Auszug aus DIN 1612).

Flußstahl gewalzt (Formstahl, Stabstahl, Breitflachstahl)										
Markenbezeichnung	Güte	Zugfestigkeit $\sigma_B$ kg/mm <sup>2</sup>	Bruchdehnung mindestens vH						Faltversuch	
			am Kurzstab $\delta_k$			am Langstab $\delta_l$				
			Probedicke mm						$\alpha$ = Biegewinkel, $D$ = Dorndurchmesser $a$ = Probedicke	
			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	$\alpha = 180^\circ$	$D = 0,5a$ bis 20 mm Dicke: $D = a$ über 20 mm Dicke: $D = 2a$ $D = 3a$
St 34 · 12	Sondergüte	34—42	30	26	22	25	22	18	$\alpha = 180^\circ$	
St 42 · 12	Sondergüte	42—50	24	22	18	20	18	16	$\alpha = 180^\circ$	
St 44 · 12	Sondergüte	44—52	24	22	18	20	18	15	$\alpha = 180^\circ$	
St 00 · 12	Handelsgüte	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 Dorndurchmesser $D = 4a$								

<sup>1</sup> Die Probe muß sich, ohne Anrisse auf der Zugseite zu zeigen, kalt zusammenschlagen lassen, bis die Schenkel flach aneinander liegen.

DIN 1681 für Stahlguß enthält außer den Marken der Normalgüte, die in Tabelle 6 angegeben sind, noch drei Marken „Sondergüte“ und zwei Marken

<sup>1</sup> Die Tabellen 4 bis 7 werden mit Genehmigung des Deutschen Normenausschusses abgedruckt.

Tabelle 6 (Auszug aus DIN 1681).

Stahlguß (Normalgüte)		
Markenbezeichnung	Zugfestigkeit $\sigma_B$ kg/mm <sup>2</sup> mindestens	Bruchdehnung ( $\delta_5$ ) mindestens in %H
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.

„Stahlguß mit besonderen magnetischen Eigenschaften“, ferner Angaben über Prüfung und Abnahme der Stahlgußstücke. 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.

Maschinenguß mit besonderen 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 in unbearbeitetem Zustande zu prüfen ist.

Tabelle 7 (Auszug aus DIN 1691).

Maschinenguß (mit besonderen Gütevorschriften)			
Markenbezeichnung	Zugfestigkeit $\sigma_B$ kg/mm <sup>2</sup> mindestens	Biegefestigkeit <sup>1</sup> $\sigma'_B$ kg/mm <sup>2</sup> mindestens	Durchbiegung $f$ 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

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

### 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.

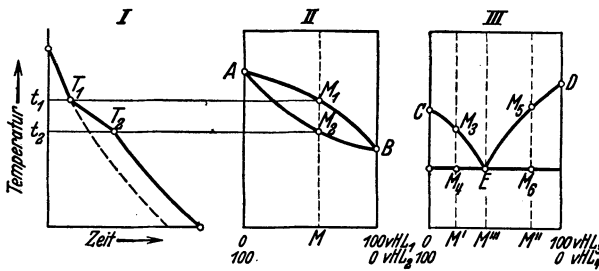


Abb. 19. Erstarrungskurve und Erstarrungsschaubilder.

Bei einer Legierung wird diese Erstarrungskurve (Abb. 19 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.

**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 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. 19). 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  $T_1T_2$  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  $1528^{\circ}$ . Im kristallinen festen Zustand erleidet Eisen mehrere Umwandlungen (Umkristallisationen), die man an den Haltepunkten der Erstarrungskurve erkennt. Das erstarrte  $\delta$ -Eisen wandelt sich bei  $1401^{\circ}$  in  $\gamma$ -Eisen um, dieses bei  $898^{\circ}$  in  $\beta$ -Eisen und letzteres bei  $769^{\circ}$  in  $\alpha$ -Eisen, das sich bis zum vollständigen Kaltwerden nicht mehr verändert.  $\beta$ -Eisen ist unmagnetisch,  $\alpha$ -Eisen dagegen magnetisch. Alle vier Abarten des Eisens heißen metallographisch Ferrit (von ferrum = Eisen). Durch Hinzutreten von Eisenkarbid ( $\text{Fe}_3\text{C}$ ) zum Eisen ergibt sich eine Zweistofflegierung. Sowohl der Schmelzpunkt wie auch die Temperaturen der Haltepunkte werden herabgesetzt.

**Das Erstarrungsschaubild Eisen-Eisenkarbid (Abb. 20).** Die Senkrechte zeigt links bei *A* den Schmelzpunkt (Erstarrungspunkt) des reinen Eisens, bei *G* und *M* die Umwandlungspunkte von  $\gamma$ - in  $\beta$ - und von  $\beta$ - in  $\alpha$ -Eisen. Das  $\delta$ -Eisen ist fortgelassen. In der Waagerechten ist, wie allgemein üblich, der Kohlenstoffgehalt des Eisens angegeben. Eigentlich müßte der Gehalt der Legierungsbestandteile Eisen und Eisenkarbid eingetragen werden.

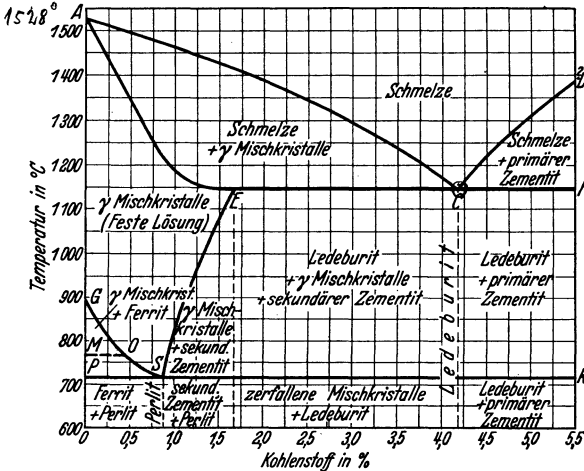


Abb. 20. Erstarrungsschaubild Eisen-Eisenkarbid.

Wir vergleichen das Schaubild zunächst am besten mit dem Schaubild III aus Abb. 19 und erkennen, daß bei *C* ein Eutektikum liegt, oberhalb *A C D* alles flüssig, unterhalb *A E C F* alles fest ist. Denken wir uns weiter das Bild durch eine Senkrechte in *E* — bei 1,75 vH Kohlenstoff, Grenze zwischen Stahl und Roheisen — in zwei Teile zerlegt, so entspricht der linke obere Teil einem Abschnitt aus dem

Schaubild II der Abb. 19. Wir stellen demnach weiter fest, daß sich in diesem linken Teil — der dem Stahl entspricht — zunächst nur Mischkristalle aus Eisen- und Eisenkarbid bilden, so daß unterhalb *A E* nur noch eine feste Lösung (Mischkristalle) besteht. Im rechten Teil der Abbildung legen wir das Eutektikum bei *C* als eine feinkörnige Mischung von Mischkristallen und von Eisenkarbid fest; es hat die Bezeichnung Ledeburit (nach dem deutschen Forscher Ledebur) erhalten. Im übrigen befassen wir uns nur noch weiter mit dem Stahl im erstarrten Zustande.

Eisenkarbid wird metallographisch Zementit genannt. Die Mischkristalle des erstarrten Stahls, die also aus Eisen (Ferrit) und Eisenkarbid (Zementit) bestehen, heißen Austenit. Die Linien *GOS* und *ES* und die Waagerechte durch *S* (bei  $721^{\circ}$ ) zeigen uns, daß der Austenit im festen Zustande (in der Hauptsache in Rotglut) noch Umkristallisationen erfährt. Bei *S* (Temperatur  $721^{\circ}$ ) wandelt er sich in eine eutektische feste Lösung um, die in Anlehnung an das Eutektikum als Eutektoid bezeichnet wird, wegen ihres perlmutterartigen

Glanzes und Aussehens (im Metallschliff) den Namen Perlit führt, aus feinen Kristallen von Ferrit und Zementit besteht und bei 0,9 vH Kohlenstoff liegt. Längs *GOS* scheiden sich überschüssige Ferritkristalle aus dem Austenit aus, so daß unterhalb *PS* nur Ferritkristalle in einer Grundmasse von Perlit vorhanden sein können, und zwar mit wenig Perlitinseln innerhalb der hellen Ferritkristalle

(Abb. 21), wenn der Stahl nur etwa 0,1 vH Kohlenstoff enthält, und mit viel Perlit (Abb. 22), wenn er z. B. schon 0,4 vH Kohlenstoff hat. Längs *ES* scheiden sich dementsprechend überschüssige Zementitkristalle aus den Mischkristallen

(Austenit) aus, so daß unterhalb der Waagerechten *PSK* rechts von *S* nur Zementitkristalle als helle Adern (Abb. 23) 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. 24 und die des Eutektoids Perlit Abb. 25, letzteren in streifiger (lamellarer) Form. Durch Glühen bei etwa 700° kann man noch einen körnigen Perlit bekommen. Für einen Vergleich der Schlibilder des vergrößerten Gefüges ist es übrigens wichtig, daß jedesmal die Vergrößerung angegeben wird (z. B. Abb. 25:  $V = 600$ , d. h. 600fach vergrößert).

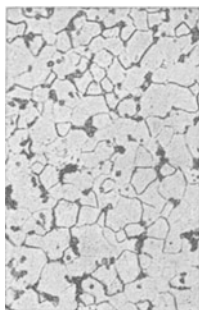


Abb. 21.  
Stahl mit 0,1 vH  
Kohlenstoff ( $V = 200$ ).

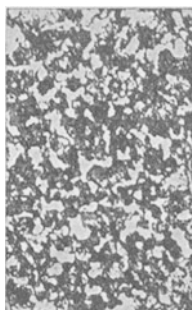


Abb. 22.  
Stahl mit 0,4 vH  
Kohlenstoff ( $V = 200$ ).

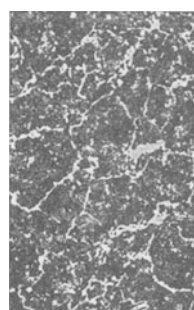


Abb. 23.  
Stahl mit 1,3 vH  
Kohlenstoff ( $V = 200$ ).

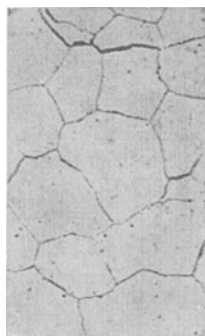


Abb. 24.  
Austenit ( $V = 600$ ).

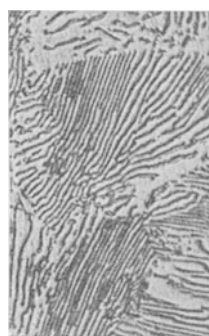


Abb. 25.  
Perlit ( $V = 600$ ).

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

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 (Mischkristalle) verwandelt sich dann nur noch in ein mehr oder weniger feinnadeliges Gefüge, das wahrscheinlich einer festen Lösung von Eisenkarbid



in  $\alpha$ -Eisen entspricht und nach dem deutschen Forscher Martens als Martensit bezeichnet wird. Dieser Martensit ist das Gefüge des gehärteten Stahls; er sieht grobnadelig aus (Abb. 26), wenn die Abschrecktemperatur verhältnismäßig hoch war, und feinnadelig bzw. fast strukturlos (Abb. 27, dann auch „Hardenit“ genannt), wenn nur kurze Zeit bis dicht über *GOSK* gegangen ist.

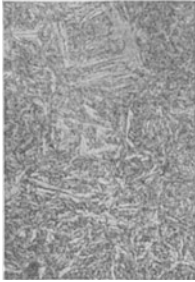


Abb. 26.  
Grob-nadeliger Martensit  
( $V = 200$ ).

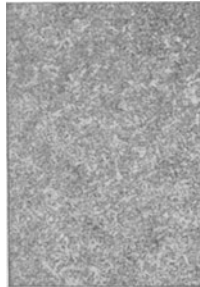


Abb. 27.  
Feinnadeliger Martensit  
(Hardenit,  $V = 200$ ).

Sonderstähle (legierte Stähle). Die zum Legieren benutzten Metalle (Nickel, Chrom, Wolfram usw.) verschieben einmal die Umwandelungspunkte 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.

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

#### 4. Besonderes über die Nichteisenmetalle.

**Allgemeines.** Wie schon weiter oben zum Ausdruck gebracht wurde, sind die Nichteisenmetalle mehr oder weniger gut, bzw. nur nach bestimmten Verfahren (Widerstands-, Kohlelichtbogen-, Arcatomschweißverfahren usw.) schweißbar. Die Entwicklung der Lichtbogenschweißung von Nichteisenmetallen ist z. Z. stark im Flusse, weshalb in diesem Abschnitt auch einiges über diese Metalle gebracht wird.

**Kupfer.** Das Metall kommt als Hüttenkupfer A ÷ D mit einem Reinheitsgrad von mindestens 99,0 ÷ 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 2292°. Kupfer hat eine lachsrote Farbe, ist sehr geschmeidig und dehnbar, aber schlecht gießbar, hat ferner eine große Leitfähigkeit für den elektrischen Strom und für Wärme. In erhitztem Zustand verbindet sich Kupfer mit dem Luftsauerstoff zu Kupferoxydul von schwarzer Färbung, dessen Schmelzpunkt unter dem des Kupfers liegt. 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 Hart-

messing (Schraubenmessing), Schmiedemessing, Druckmessing und Gußmessing in den Handel, ist gut gießbar und in kaltem Zustand hämmerbar, walzbar, ziehbar. Der Schmelzpunkt schwankt zwischen  $800^{\circ}$  und  $900^{\circ}$ ; 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  $3 \div 5$  vH Eisen, Mangan, Blei und Aluminium. Nach den deutschen Industrienormen werden auch die kupferreicheren Legierungen Halbtombak (Lötmessing), Gelbtombak (Schaufelmessing), Hellrottombak, Mittelrottombak und Rottombak, die  $67 \div 90$  vH Kupfer enthalten, unter die Gruppe der Messinge gerechnet.

**Bronze und Rotguß.** Bronze ist eine Legierung aus  $80 \div 94$  vH Kupfer, Rest Zinn und kommt als Guß- oder Walzbronze in den Handel. 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 beseitigen — und in die Schlacke gehen. Diese Bronze wird also dichter im Gefüge. Die „Sonderbronzen“ enthalten außer Kupfer und Zinn noch etwas Blei oder Aluminium. Der Schmelzpunkt der Bronzen liegt zwischen  $720^{\circ}$  und  $1000^{\circ}$ ; 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  $82 \div 93$  vH Kupfer,  $4 \div 10$  vH Zinn und  $3 \div 6$  vH Zink, manchmal auch mit etwas Bleigehalt. Der Schmelzpunkt liegt zwischen  $800^{\circ}$  und  $900^{\circ}$ . Die Legierung gibt infolge des Zinkzusatzes besonders dichten und guten Guß. Rotguß rechnet nach den Industrienormen zu den Bronzen und führt auch den Namen „Maschinenbronze“.

**Aluminium** wird aus Tonerde (Aluminiumoxyd) durch deren elektrolytische Zersetzung hergestellt und kommt als Reinaluminium 99,5, Reinaluminium 99 und Reinaluminium 98/99 (also mit Reinheitsgraden von  $98 \div 99,5$  vH) in den Handel. Es ist bekanntlich sehr leicht (spezifisches Gewicht 2,7), sein Schmelzpunkt liegt bei  $658^{\circ}$ , der Siedepunkt bei etwa  $1800^{\circ}$ . 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 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, Milchversandbehältern, Verdampfern, Schmelzkesseln, sodann in der Automobil- und Flugzeugindustrie, in letzteren Fällen, wie auch anderswo, oft in Form aluminiumreicher Legierungen; es hat eine hohe Wärmeleitfähigkeit und eine große chemische Verwandtschaft zum Sauerstoff. Letztere erschwert das Schweißen deswegen, weil das sich bildende Aluminiumoxyd einen viel höheren Schmelzpunkt (etwa  $2010^{\circ}$ ) 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 (auch als Umhüllungsmasse), die sich mit dem Aluminiumoxyd zu einer leichtflüssigen Schlacke verbinden, hat daher eine gute Aluminiumschweißung möglich gemacht.

**Aluminiumlegierungen.** Die wichtigsten Gußlegierungen sind: Die amerikanische Legierung mit 92 vH Aluminium und 8 vH Kupfer, die deutsche Legierung mit 88 vH Aluminium, 10 vH Zink und 2 vH Kupfer und Silumin

(im Ausland als „Alpax“ hergestellt) mit  $86 \div 89$  vH Aluminium und  $11 \div 14$  vH Silizium. Eine neue Guß- und Schmiedelegerung ist das Hydronalium, das Magnesium- und geringe Manganzusätze hat und sehr witterungsbeständig ist. Alle diese Gußlegierungen sind gut gießbar, härter und fester als reines Aluminium und verhältnismäßig gut elektrisch schweißbar.

Die wichtigsten schmiedbaren Legierungen sind folgende: Duralumin mit  $3,5 \div 4,5$  vH Kupfer,  $0,25 \div 1,0$  vH Mangan,  $0,5$  vH Magnesium, Rest Aluminium. Diese Legierung wird auf  $470^\circ$  erhitzt, dann an der Luft zum Erkalten gebracht oder in Wasser abgeschreckt und nun  $1 \div 5$  Tage einer selbsttätigen Veredlung überlassen. Ein späteres Erwärmen auf mehr als  $180^\circ$  bedingt einen Rückgang der Festigkeit. Dementsprechend beträgt die Festigkeit einer Schweißnaht aus Duralumin höchstens  $50$  vH der Festigkeit des vollen Werkstoffs, und außerdem entsteht neben der Schweißnaht eine Zone, die etwa  $300^\circ$  Temperatur erhalten hat, demnach ausgeglüht und wenig fest ist. Das Schweißen von Duralumin kommt hiernach im allgemeinen nicht in Frage. — Aludur, eine Art Hartaluminium mit  $98 \div 99$  vH Aluminium, schwach magnesiumhaltig, wird in acht Abstufungen hergestellt. — Lautal hat  $4$  vH Kupfer,  $2$  vH Silizium, Rest Aluminium; Skleron besitzt  $12$  vH Zink,  $3$  vH Kupfer,  $0,6$  vH Mangan,  $0,5$  vH Silizium,  $0,4$  vH Eisen und  $0,1$  vH Lithium. Neuere Legierungen sind: Telectal ( $2$  vH Silizium und Lithium), Aldrey ( $0,5 \div 0,6$  vH Silizium,  $0,4 \div 0,5$  vH Magnesium, unter  $0,3$  vH Eisen), Montegal und Constructal. — Alle diese Legierungen sind durch die betreffenden Zusätze und eine mehr oder weniger weitgehende Wärmebehandlung veredelt. Sie sind an und für sich schweißbar, verlieren aber in der Schweißnaht, ähnlich wie Duralumin, an Festigkeit. Bei Aludur und Lautal ist durch Versuche die Möglichkeit einer nachträglichen Vergütung der Schweiße (durch Warmhärten) festgestellt worden. — Der Schmelzpunkt aller genannten Aluminiumlegierungen liegt zwischen  $575^\circ$  und  $650^\circ$ .

Blei ist unter den technisch verwendbaren Metallen das weichste. Sein Schmelzpunkt liegt bei  $327^\circ$ , sein Siedepunkt bei  $1613^\circ$ . Es kommt mit einem Reinheitsgehalt von  $99,99$  vH, also sehr rein in den Handel. Bleidämpfe sind giftig. Bleischweißer müssen daher Respiratoren (Atmungsmasken) tragen.

Zink wird nach dem Normenentwurf in Feinzink I (mit über  $99,9$  vH Zink), Feinzink II (über  $99,8$  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  $419^\circ$ , der Siedepunkt liegt auffallend niedrig, bei  $905^\circ$  (der Beginn des Verdampfens liegt sogar schon bei  $500^\circ$ , was auch für die zahlreichen Messinglegierungen von Bedeutung ist). Das spröde, gegossene Zink wird bei  $90^\circ \div 120^\circ$  und bei  $140^\circ \div 170^\circ$  gut walz- und preßbar.

Monelmetall ist eine Natur-Nickellegerung, 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  $1360^\circ$ . Auch die umgekehrte Legierung mit  $70$  vH Kupfer und  $30$  vH Nickel, das sog. Kupfernichel, ist mit dem Metalllichtbogen gut schweißbar.

Silber, Gold, Platin. Silber schmilzt bei  $961^\circ$  und hat von allen Metallen die größte Leitfähigkeit für Wärme und Elektrizität. Gold schmilzt bei  $1063^\circ$ , Platin bei  $1764^\circ$ . Alle drei Edelmetalle sind infolge ihres geringen Oxydationsvermögens gut schweißbar.

## II. Die Widerstandsschweißverfahren.

### A. Stumpfschweißung.

#### 1. Schweißbarkeit der Metalle.

**Schweißbare Metalle.** Das elektrische Stumpfschweißverfahren ist anwendbar für die Schweißung von Stahl, Stahlguß, Temperguß, Kupfer, Messing, Bronze, Zink, Gold, Silber, Platin und Aluminium, jedoch nicht für Gußeisen. Infolge seiner vielseitigen Verarbeitung kommt unter diesen Metallen naturgemäß die Schweißung des Stahls in erster Reihe in Frage. In einigen Fällen läßt die Stumpfschweißung eine Verbindung zwischen zwei ungleichartigen Metallen zu, strenggenommen eine Hartlötung ohne Zusatz. So kann man Stahl mit Temperguß, Kupfer mit Stahl; weniger gut Kupfer mit Messing vereinigen.

**Hauptanwendungsgebiete.** Die elektrische Stumpfschweißung erstreckt sich ausschließlich auf Massenartikel, da jede Formveränderung des Schweißgutes auch eine Änderung der Einspannvorrichtung der Schweißmaschine bedingt, und keine Möglichkeit besteht, alle beliebigen Querschnitte auf ein und derselben Maschine oder einer verhältnismäßig kleinen Gruppe von Maschinen zu schweißen. Auf Stumpfschweißmaschinen werden geschweißt: Massenartikel der gesamten Draht-, Kleisen- und Schwerindustrie; Stab- und Formeisen; Ketten und Schnallen; Rohre u. a. m. In den folgenden Abschnitten werden Sonderanwendungsgebiete des Verfahrens an Hand von Bildern eingehender besprochen.

**Grenzen der Schweißquerschnitte.** Als untere Grenze der Schweißbarkeit überhaupt kann eine Querschnittsfläche von etwa  $0,07 \text{ mm}^2$  gelten, die einem Durchmesser von  $0,3 \text{ mm}$  gleichkommt. Die obere Grenze der Anwendbarkeit der Stumpfschweißung wird durch die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens und durch die erforderlichen großen Stromstärken bestimmt. Sie dürfte für Stahl bei etwa  $40000 \text{ mm}^2$  Querschnitt gelegen sein, was einem Rundeisen von etwa  $225 \text{ mm}$  Durchmesser entspricht. Für Kupfer, das infolge seiner hohen elektrischen Leitfähigkeit viel größere elektrische Leistungen als das Eisen erfordert, kann die obere Grenze der Schweißbarkeit mit  $2000 \text{ mm}^2$  Querschnitt angenommen werden, entsprechend einem Rundkupferdurchmesser von etwa  $50 \text{ mm}$ . Über die Größenordnung der Maschinen und den für die einzelnen Typen notwendigen Energiebedarf wird später das Erforderliche gesagt.

Stumpfschweißmaschinen können außer der Schweißung auch anderen Zwecken dienen, beispielsweise der Hartlötung und dem Erhitzen auf bestimmte Temperaturen (elektrische Esse) zum Härten, Schmieden, Stauchen, Strecken u. dgl.

#### 2. Stumpfschweißmaschinen.

##### a) Die elektrische Einrichtung der Maschinen.

**Art des Anschlusses an das Netz.** Angenommen, es stehe ein Wechselstromnetz  $L$  zur Verfügung, das den unmittelbaren Anschluß der Maschine gestatte, dann erhalten wir das in Abb. 28 gezeichnete, einfache Schema. Das Leitungsnetz  $L$  wird an passender Stelle angezapft und Strom von normaler Spannung ( $110 \div 500 \text{ V}$ ) über ein Amperemeter ( $A$ ) und Voltmeter ( $V$ ), über zwei Sicherungen  $S$  und einen Hebelschalter  $B$  der Hochspannungsspule  $H$  des Transformators  $T$  zugeführt. Der nur bei geschlossenem Stromkreis, also beim Zusammenstoßen der Enden der Schweißstücke  $D$  und  $D_1$  in der Niederspannungsspule  $N$  des Transformators  $T$  induzierte Strom (von hoher Stromstärke) entwickelt an der Stoß-

stelle *E* der eingespannten Schweißstücke die zum Schweißen notwendige Hitze, einerseits infolge des Übergangswiderstands zwischen den beiden Werkstoffenden bei *E*, andererseits infolge des spezifischen Widerstands des Schweißgutes selbst. Die Höhe der Schweißtemperatur, die neben anderen Größen, wie Zeit, Druck, Leitfähigkeit, Werkstoffbeschaffenheit usw., für den Ausfall der Schweißung maßgebend und die in der Nähe des Werkstoffschmelzpunkts gelegen ist, wird durch diesen Werkstoffwiderstand hergestellt; er ist verhältnismäßig gering und bewegt sich zwischen  $\frac{1}{100}$  bis  $\frac{1}{1000}$  Ohm. Daher genügt eine niedrige Spannung, um den hohen Strom durch das Schweißgut zu schicken. Die Regelung der Stromstärke und der von ihr bestimmten Schweißwärme geschieht in allen Fällen auf der Primärseite, d. h. im Hochspannungsstromkreis (s. nächsten Unterabschnitt).

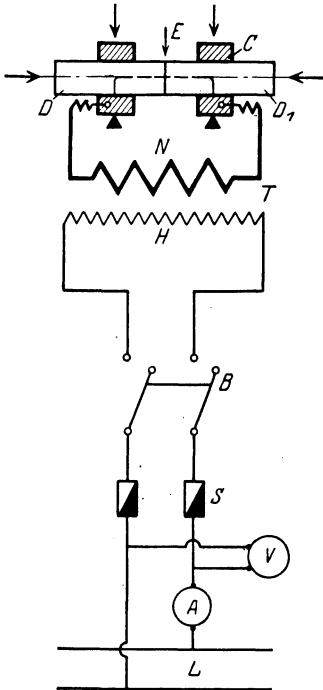


Abb. 28. Anschluß an ein Wechselstromnetz.

Die einfachste und bequemste Anschlußmöglichkeit, wie wir sie in Abb. 28 vor uns sehen, trifft praktisch nur in den seltensten Fällen zu. Meistens ist das Ortsnetz oder Fabriknetz heute ein Drehstromnetz, seltener auch ein Gleichstromnetz. Schließlich kann auch das Stromnetz ganz fehlen. Hiermit sind folgende Möglichkeiten des Strombezugs gegeben:

1. Günstigster Fall; es ist ein Netz einphasigen Wechselstroms vorhanden. Die Einschaltung der Maschinen in den Stromkreis erfolgt im Sinne der Abb. 28 und 29.

2. Es steht ein Drehstromnetz (Dreiphasenwechselstrom) zur Verfügung. Die Maschinen können zwischen zwei Phasen bzw. zwischen eine Phase und den Nullleiter der Leitung geschaltet werden. Mehrere Maschinen sind gemäß Abb. 30 möglichst gleichmäßig auf die drei Phasen des Netzes zu verteilen. Im allgemeinen gestatten die Elektrizitätswerke die Belastung einer Phase bis zu 50 kVA Leistungsaufnahme. Im besonderen hängt die zulässige Belastung von den mit den betreffenden Elektrizitätswerken getroffenen Vereinbarungen ab.

3. Ist nur Gleichstrom vorhanden, so muß dieser in Wechselstrom umgewandelt werden, was entweder mittels Motorgenerator (d. h. Gleichstrommotor und Wechselstromdynamo auf einer Welle) oder Einankerumformer (der Motor und Dynamo zugleich ist) geschehen kann. Das zugehörige Schaltungsschema ist in Abb. 31 veranschaulicht. Es ist das wirtschaftlichste und bequemste Mittel dieser Stromumformung. Auf der einen Seite wird dem Motor Gleichstrom zu-

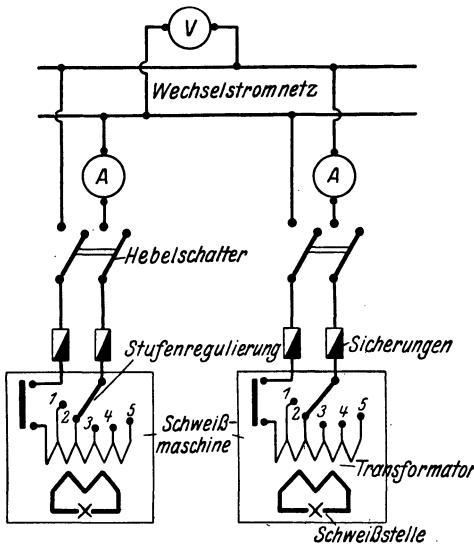


Abb. 29. Anschluß an ein Wechselstromnetz und Regelung durch Steckschalter.

Abb. 31 veranschaulicht. Es ist das wirtschaftlichste und bequemste Mittel dieser Stromumformung. Auf der einen Seite wird dem Motor Gleichstrom zu-

geführt, auf der anderen Seite der Dynamo Wechselstrom entnommen. Die Schaltung ist leicht verständlich.

4. Ist endlich überhaupt kein elektrischer Strom vorhanden, so muß eine zweckmäßige Stromerzeugungsanlage (Primäranlage) Aufstellung finden, die aus Transmissionsantrieb oder einer Antriebsmaschine (z. B. Gas- oder Ölmotor), ferner aus der Wechselstromdynamo und den erforderlichen Schalt- und Regeleinrichtungen besteht.

**Regelung.** Die verschiedene spezifische Leitfähigkeit der verschiedenen schweißbaren Metalle, deren Vereinigung unter Umständen auf ein und derselben Maschine bewirkt werden soll, und der Unterschied in den Flächengrößen ein und desselben Metalls erfordern eine gute Regelbarkeit der Stromstärke, die mit zunehmendem Schweißquerschnitt anwachsen muß. Normalerweise soll die Regelung mittelgroßer Maschinen eine Verminderung der Stromstärke je nach Erfordernis bis zu  $\frac{1}{10}$  der Höchstleistung zulassen.

Jede Regelung arbeitet mit Hilfe des Ab- und Zuschaltens von Primärwindungen des Transformators. Die Regelung selbst geschieht in Stufenreglern entweder mittels Steckers oder durch Schaltwalzen. Eine weniger übliche achtstufige Hebelschaltung verbildlicht das Schema der Abb. 32, während Abb. 29 das Schema des am meisten angewendeten fünfstufigen Steckschalters darstellt. Verstärkung oder Schwächung des Stromes soll bei allen Maschinen ohne praktisch nennenswerte Kraftverluste herbeigeführt werden. Die Stromregelung erfolgt nur im Leerlauf, nie bei Last, da sonst ein schnelles Verschmoren der Schalterkontakte eintritt und der Arbeiter gefährdet ist. Die genaueste, indessen verlustreichere Einstellung des Stromes gestatten Drosselspulen; sie gelangen in jenen Fällen zur Anwendung, wo sich eine

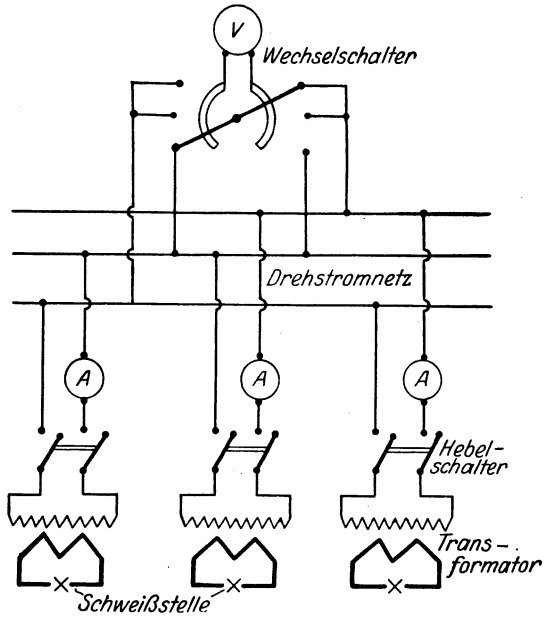


Abb. 30. Anschluß an ein Drehstromnetz.

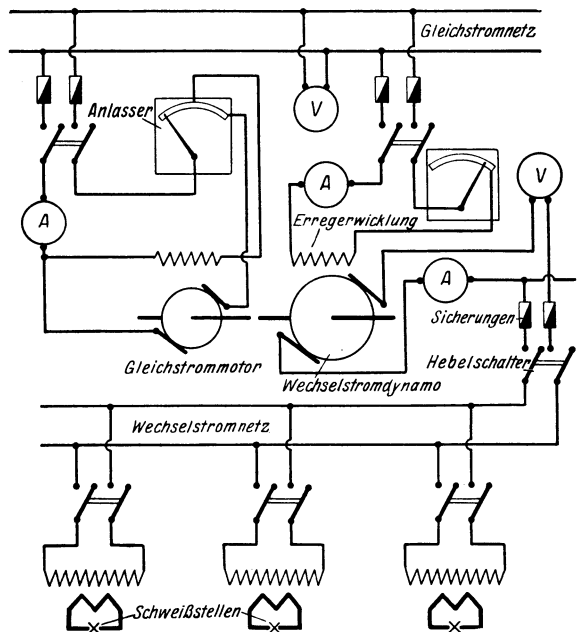


Abb. 31. Anschluß an ein Gleichstromnetz.

genaue Regelung der Schweißhitze erforderlich macht (Aluminium- und Messingschweißung). Jede Drosselspule ruft im Wechselstromnetz eine Selbstinduktion (s. Abschnitt I, C 3), eine drosselnde Gegenwirkung, hervor. Abb. 33 zeigt das

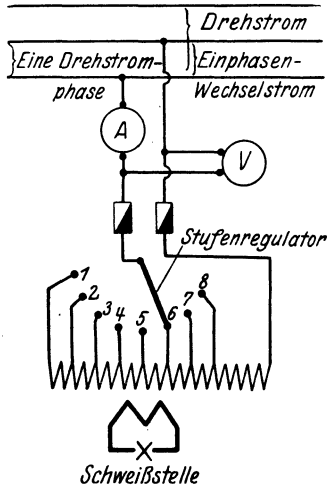


Abb. 32. Regelung durch achtstufigen Hebel­schalter.

Schaltungsschema der Drosselspulenregelung. Hier wie bei allen übrigen Schaltungsarten ist deutlich zu erkennen, daß die Regelung der Stromstärke ausnahmslos primärseitig, d. h. hochspannungsseitig, geschieht. Endlich gibt es noch eine seltener ausgenutzte Möglichkeit der Regelung im Dreispannungsgenerator, einer Dynamo, welche Strom von drei verschiedenen Spannungen (220 ÷ 260 ÷ 300 V oder ähnlich) zu liefern imstande ist. Diese Spannungsunterschiede können an sich schon als eine dreifache Regelung angesehen werden; die angeschlossenen Schweißmaschinen brauchen dann nur noch wenig regelbar zu sein. Diese Dreispannungsdynamos sind für Schweißmaschinenzwecke wenig hervor­getreten.

**Verschiedenes.** Transformator, Regler usw. werden im Gestell der Maschine untergebracht und gegen die übrigen Metallmassen gut isoliert.

Von den als Einspannbacken dienenden kupfernen Elektroden *C* (Abb. 28) sind die beiden unteren meist in der Senkrechten fest gelagert, während die beiden oberen Klemmbacken, durch Einspannspindeln oder Exzenter auf und nieder bewegt werden können. Außerdem ist die Möglichkeit einer seitlichen, waagerechten Verstellung eines Elektrodenpaares Bedingung.

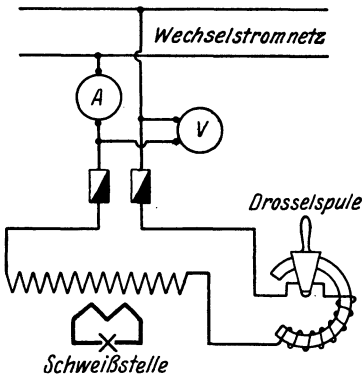


Abb. 33. Regelung durch Drosselspule.

Einer der wirtschaftlichen Vorzüge der elektrischen Widerstandsschweißung besteht darin, daß der Verbrauch an elektrischer Kraft auf die Dauer des Schweißvorgangs beschränkt bleibt, während der Leerlaufverlust sehr gering ist. Das Aus- und Einschalten des Sekundärstroms ist vom Schweißen selbst unmittelbar abhängig, geschieht also zwangsweise. Verluste an Kraft entstehen durch Umformung im Transformator, durch Widerstand in den Schweißstrom führenden Teilen, durch Wärmestrahlung der Schweißstelle und ihre Wärmeableitung an die benachbarten Metallmassen, vornehmlich an die Klemmbacken. Zur weitgehenden Verminderung dieser

Verluste und zur Erhöhung des Gesamtwirkungsgrads müssen alle sekundärseits stromzuführenden Teile so kurz wie möglich gehalten sein und durch ausreichend starke, gute Leiter auf den praktisch erreichbar geringsten elektrischen Widerstand gebracht werden. Einige weiterhin gezeigte Schaubilder sollen dies und die Art der Stromzuführung noch näher erklären.

b) Die mechanische Einrichtung der Maschinen.

Nach der mechanischen Bauart der Maschinen richtet sich die Art ihres Betriebes. Man unterscheidet zwischen Hand- und Fußbetrieb und halb oder ganz selbsttätig arbeitenden Maschinen (Halb- oder Ganzautomaten). Letztere

sind ausschließlich für Massenartikel bestimmt und so eingerichtet, daß alle Arbeitsvorgänge in erforderlicher Reihenfolge selbsttätig ausgelöst werden. Bei den Halbautomaten hat der Arbeiter lediglich das jeweilige Schweißgut der Maschine zuzuführen, während bei Vollautomaten auch diese Arbeit von der Maschine selbst übernommen wird.

**Die Einzelteile.** Die drei Hauptbestandteile einer Schweißmaschine sind: der Transformator, die Einspannvorrichtung und die Stauch- oder Preßvorrichtung. Form, Größe und Anordnung der einzelnen Maschinenteile richten sich natürlich nach Leistungsfähigkeit und Verwendungszweck der Maschine, die sowohl tragbar, fahrbar, wie ortsfest sein kann. Die Hauptbestandteile einer normalen Stumpfschweißmaschine sollen an Hand der Abb. 34 besprochen werden, welche das mittlere Modell einer Stumpfschweißmaschine für bis zu 5000 mm<sup>2</sup> Schweißquerschnitt und 125 kVA Höchstleistung vor Augen führt. In einem kastenförmigen Gestell ist ein luftgekühlter Hochleistungstransformator mit vielfach unterteilter Sekundäre eingebaut, dessen äußere Windungen besonders stark gehalten und gut isoliert sind, da diese

bei Schweißmaschinen größerer Leistung durch Einschaltströme erfahrungsgemäß am meisten gefährdet werden. Auf dem gußeisernen Bett ist ein schwerer Rahmen angeordnet, der die Stauchspindel und den auf dieser gleitenden Einspannbock trägt. Letzterer hat die zum Festspannen und Stauchen erforderlichen Kräfte aufzunehmen. Die oberen Einspannbacken (Klemmbacken, Elektroden) sind in links- und rechtsgängigen Einspannspindeln geführt und mittels Handrad (im Bilde links oben) gegen die unteren Einspannbacken verstellbar, um die Maulweite der Backen

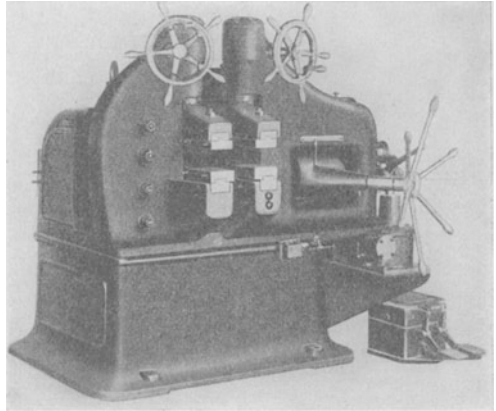


Abb. 34. Größere Stumpfschweißmaschine.

nach Erfordernis regeln zu können. Die unteren Backen sind mit dem Einspannbock fest verbunden und in senkrechter Richtung nicht beweglich. Der vom Transformator kommende Schweißstrom wird durch ein Bündel luftgekühlter, starker Kupferbänder, gegen Verspritzen verdeckt, den Spannböcken zugeführt, deren Öffnen und Schließen durch Handräder erfolgt. Diese Kupferbänder oder Anschlußfedern müssen infolge der Druckbewegung bei allen Maschinen beweglich und federnd eingerichtet sein. Die bündelweise, d. h. schichtförmige Anordnung der möglichst dünnen, dafür breit gehaltenen Kupferstreifen hat doppelten Zweck, einmal die federnde Beweglichkeit zu ermöglichen, zum andern eine gute Abkühlung des Stromleiters herbeizuführen. Durch die Einspannung muß das Werkstück so festgehalten werden, daß es sich beim späteren Stauchvorgang nicht verschieben kann. Durch einen selbstsperrenden Fußhebel wird der Schweißstrom eingeschaltet und durch einen durch Handrad zu betätigenden Regler nach Bedarf geregelt. Das Von- und Zueinanderbewegen der Spannbacken in waagerechter Richtung geschieht durch spiralverzahnte Kegelhäder, die durch ein stark übersetztes Handrad (Handstern) in Bewegung gesetzt werden. Nähern der Backen in waagerechter Richtung bedeutet Stauchen des eingespannten Schweißgutes, weshalb dieses Rad auch als Stauchrad bezeichnet wird.



**Selbsttätige Bedienung.** Um die Bedienung für die Schweißung von Massenartikeln bestimmter Maschinen auf das geringste Maß zu vermindern und damit das Schweißgut weniger von der Sorgfalt des Arbeiters abhängig zu machen, ist man in der konstruktiven Durchbildung der Stumpfschweißmaschine sogar so weit gegangen, daß alle Arbeitsbewegungen, wie Einspannen, Stromschluß, Stauchen usw., von nur einem Hebel aus selbsttätig bewirkt werden können, was durch die schematische Darstellung in Abb. 35 erläutert werden soll.

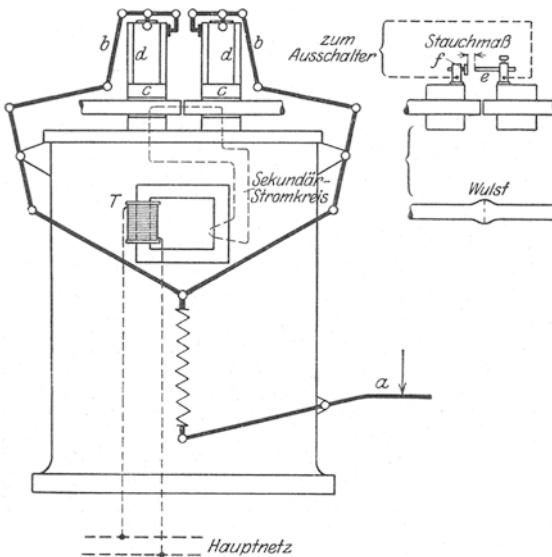


Abb. 35. Schema einer Stumpfschweißmaschine.

Wir sehen wieder den im Maschineninnern untergebrachten Transformator *T*, oberhalb auf der Deckplatte zwei sowohl waagrecht als senkrecht bewegliche Kulissen *d*, an deren unterem Ende die oberen Elektrodenbacken *c* sitzen. Beim Heruntertreten des Fußhebels *a* werden durch Betätigung des Hebelgestänges zunächst auch die beiden Kulissen *d* nach unten gedrückt, was das Einklemmen der zwischen den Spannbacken liegenden Stäbe zur Folge hat.

Weiteres Niederdrücken des Hebels *a* bewirkt eine Einwärtsbewegung der Hebel *b*, welche die beiden Teile *d* zwangsläufig mitnehmen und dadurch die Stoßenden der zu schweißenden Stäbe zusammenpressen. Im gleichen Augenblick ist aber auch der Kontakt des Sekundärstromkreises geschlossen. Sobald Schweißwärme erreicht ist, läßt sich der Fußhebel *a* noch weiter herunterdrücken, bis der zulässige Stauchweg zurückgelegt ist. Die Ausschaltung des Stromdurchgangs erfolgt ebenfalls selbsttätig, da eine an den Klemmbacken vorgesehene Kontakteinrichtung *ef* mittels einer Hilfsstromleitung den Ausschalter betätigt.

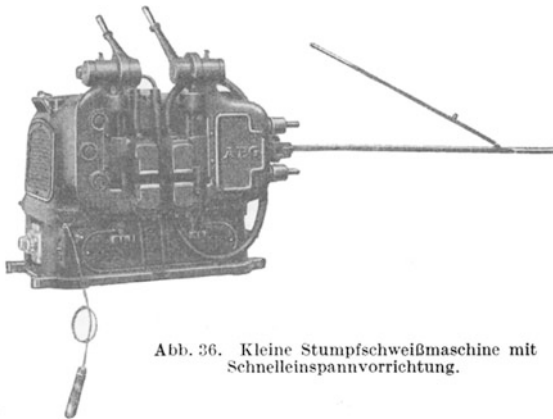


Abb. 36. Kleine Stumpfschweißmaschine mit Schnelleinspannvorrichtung.

**Einige normale Stumpfschweißmaschinen.** Eine für geringe Leistungen ( $4 \div 5$  kVA) bestimmte und für die Schweißung von Ösen, Ringen, Schnallen u. dgl. geeignete Maschine zeigt Abb. 36. Auch hier sind, wie bei fast allen anderen Maschinen, die

unteren Klemmbacken nur seitlich, nicht aber nach oben und unten verstellbar, während die oberen Backen in diesem Falle als Exzenter und durch kleine Handhebel beweglich ausgebildet sind (Schnelleinspannvorrichtung). Der rechts sichtbare waagerechte Hebel bewirkt Stromeinschaltung (Segment niederdrücken!) und Stauchung. Ein links seitlich erkennbarer Steckschalter ermöglicht die

Stromregelung. Die mechanische Einrichtung ist über dem Transformator in den Maschinenständer eingebaut.

Eine große Stumpfschweißmaschine, die für eine Dauerleistung von 140 kVA, eine Stundenleistung von 200 kVA und für Schweißquerschnitte bis 10000 mm<sup>2</sup> Eisen bei geschlossenen Längen eingerichtet ist, zeigt Abb. 37. Diese Maschine hat elektromotorische Einspannvorrichtung. Die gegenüber der Dauerleistung um 33 vH größere Stundenleistung zeigt, daß die Maschine vorübergehend größere Querschnitte als die normalen schweißen kann. Geschlossene Längen (Reifen, Rahmen usw.) haben größeren Stromverbrauch als offene von gleichem Querschnitt, worauf später noch eingegangen wird.

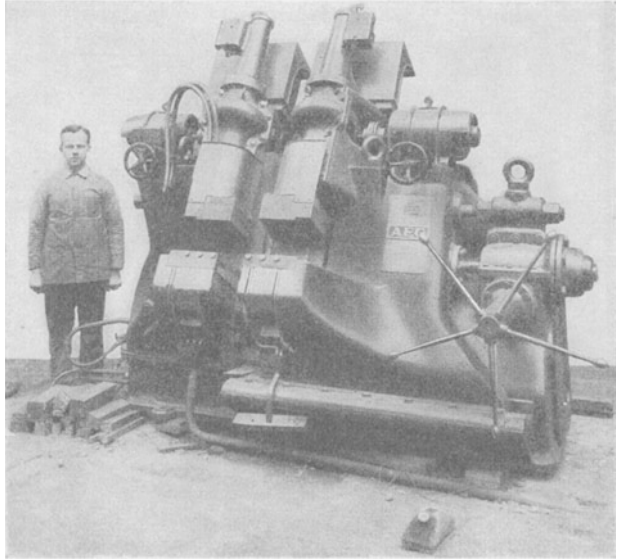


Abb. 37. Große Stumpfschweißmaschine.

Die bisher besprochenen Maschinen dienten der Querschnittsschweißung von Formeisen. Neuerdings ist man auch dazu übergegangen, Blechnähte nach dem später besprochenen Schmelzverfahren auf größere Längen stumpf zu schweißen. Eine solche Maschinenkonstruktion für senkrechte Einspannungen und für die Schweißung von Karosserierückwandnähten veranschaulicht Abb. 38, die sich von den anderen Maschinen vornehmlich durch die abweichende Durchbildung der Einspannvorrichtung unterscheidet.

Es kann nicht Aufgabe dieses Buches sein, den zahllosen Konstruktionsverschiedenheiten auf diesem Gebiet zu folgen. Sie sind beinahe unerschöpflich, und es ist leicht einzusehen, daß sich die mechanische Einrichtung der Schweißmaschine im wesentlichen nach dem Zwecke zu richten hat, dem die jeweilige Maschinentype dienen soll. Einige interessante Sondermaschinen sollen noch erwähnt werden.

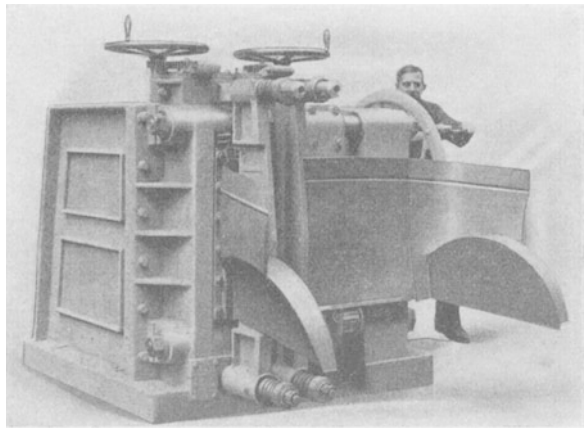


Abb. 38. Blechstumpfschweißmaschine.

Einige interessante Sondermaschinen sollen noch erwähnt werden.

**Kettenschweißmaschinen.** Die Kettenglieder werden auf besonderen, selbsttätig arbeitenden Biegemaschinen, die den Draht von der Haspel bis zur fertig

verhängten Kette verarbeiten, vorgebogen und dann auf der Kettenschweißmaschine auf elektrischem Wege stumpf geschweißt. Entsprechend der Mehrleistung der Biegemaschine gegenüber der Schweißmaschine arbeitet meist eine der ersteren mit 3÷4 der letzteren zusammen. Aus diesem Grunde ist eine wirtschaftliche Vereinigung beider Maschinen vielfach praktisch nicht durchführbar, vielmehr müssen allen Schweißmaschinen die Ketten mit zum Schweißen fertig vorgebogenen Gliedern zugeführt werden; auch die unmittelbare selbsttätige

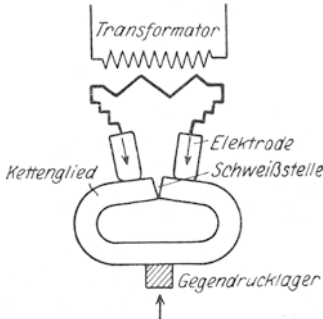


Abb. 39. Schema der Kettenschweißung.

Überführung der Glieder von der Biegemaschine zur Schweißmaschine ist nach vorigem nicht am Platze. Außerdem können auf Kettenbiegemaschinen Kettenglieder nur bis 12 mm Drahtdicke kalt gebogen werden, während die Schweißmaschine noch 25 mm dicke Kettenglieder einwandfrei zu schweißen vermag. Je nach dem Verwendungszweck, dem die Ketten zu dienen haben, gelangen diese als kalibrierte oder als Handelsketten auf den Markt. Letztere sind am einfachsten herzustellen, da die immer beim Stumpfschweißen durch das Stauchen gebildete Wulst (Abb. 35 rechts oben) und Verdickung an der Schweißstelle nicht hinderlich ist und deshalb belassen werden kann.

Die Vorbereitung des Kettenglieds und die Arbeitsweise der Schweißmaschine ist in Abb. 39 schematisch dargestellt. Zwei Elektroden führen den Strom zu und drücken gleichzeitig das vorgebogene Kettenglied zusammen, das an der anderen Seite an einem Gegendrucklager anliegt. Die auf Handkettenschweißmaschinen oder Halbautomaten hergestellte Ware trägt die vorhin erwähnte Stauchwulst, die für Handelsketten meist belanglos ist; andernfalls muß die Entfernung der Stauchwulst (Abgraten) nach der Schweißung außerhalb der Maschine durch Abhämmern in einem Gesenkhämmer oder in einer ähnlichen Vorrichtung vorgenommen werden. Bei selbsttätig arbeitenden Kettenschweißmaschinen, wie sie Abb. 40 darstellt, geschieht das Abgraten selbsttätig gleich nach dem Schweißen auf derselben Maschine. Da überdies die Glieder kalibrierter Ketten in der Schweißmaschine auf genaue Länge gedrückt werden müssen und keinerlei Verstärkung aufweisen dürfen, eignen sich zur Schweißung kalibrierter Ketten nur diese ganz selbsttätig arbeitenden Maschinen (Vollautomaten), die außerdem den Vorzug größerer Wirtschaftlichkeit haben, indem je 3÷4 Maschinen von einem Arbeiter bedient werden können. Die Bedienung der Maschine Abb. 40 beschränkt sich auf wenige Handgriffe, nämlich auf das Auflegen der

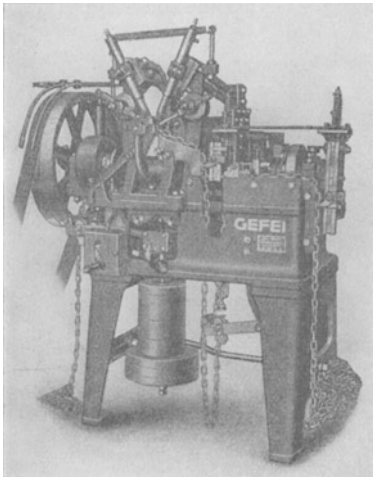


Abb. 40. Selbsttätig arbeitende Kettenschweißmaschine.

Kette und Einschalten der Maschine. Natürlich ist darauf zu achten, daß sich die Glieder während des selbsttätigen Vorschubs nicht verhängen. Alle Arbeiten: Schweißen, Fortbewegen, Stauchen und Abdrücken der Stauchwulst geschehen selbsttätig von einer durch Transmission angetriebenen Welle aus.

Auf der Maschine mit Hand- oder Fußbetrieb werden die Kettenglieder laufend geschweißt, weil jedes Glied von Hand gedreht und in die erforderliche Lage gebracht werden kann. Anders liegt die Sache bei Ganzautomaten. Hier macht die fortlaufende Schweißung der Glieder insofern Schwierigkeiten, als ja die einzelnen Glieder alle rechtwinklig zueinander stehen. Es müßte deshalb für jedes senkrecht stehende zweite Glied (oder umgekehrt je nach Anordnung der Klemmbacken) eine besondere Umspan-, Einspan- und Schweißvorrichtung vorgesehen sein, was jedoch die Maschine unnötig verwickelt machen würde. Man unterteilt daher häufig die Schweißarbeit in der Art, daß beim ersten Arbeitsweg der Kette ein um das andere Glied, mithin das 1., 3., 5., 7., 9. usw. Glied geschweißt wird. Dann läßt man die Kette ein zweites Mal durch die Maschine laufen, und die Zwischenglieder, also das 2., 4., 6., 8., 10. usw. Glied werden geschweißt. In größeren Betrieben empfiehlt sich die Aufstellung je einer zweiten Maschine, die mit der ersten im Parallelbetriebe steht, so daß die Zwischenglieder der Kette auf der anderen Maschine geschweißt werden können.

Im Gegensatz zu dem bisher üblichen Stumpfschweißverfahren, bei dem eine Stauchwulst oder ein Stauchgrat unvermeidlich war, ist kürzlich ein neues Verfahren entwickelt worden, das diesen Nachteil nicht mehr aufweist. Es handelt sich hierbei um eine Vereinigung zwischen Widerstandsschweißung und Azetylenflamme. Die Kettenglieder werden auf derselben Maschine gebogen und im gleichen Arbeitsgang und bei gleicher Geschwindigkeit ohne Stauchdruck geschweißt, was infolge Oberflächenzementation der Schweißstelle durch die Azetylenflamme (Schmelzpunkterniedrigung) ermöglicht wird. Dieses z. Z. in Entwicklung begriffene Verfahren scheint auch für andere Fertigungsgebiete als die Kettenherstellung von Bedeutung zu sein (z. B. Rohrschweißung).

**Universalmaschinen.** In Anpassung an die vielseitigen Bedürfnisse der Praxis sucht man hin und wieder die günstigsten Ausführungsformen elektrischer Stumpfschweißmaschinen in sog. Universalmaschinen zu vereinigen. Die verschiedenen Formen und Abmessungen des Schweißguts verlangen auch verschieden gestaltete Einspanbacken und besondere Schweiß- und Stauchkonstruktionen. So kann eine Kettenschweißmaschine nur für die Schweißung von Ketten, eine Reifenschweißmaschine nur für die Schweißung von Reifen nutzbar gemacht werden. Will man dagegen die Konstruktion zu einer Universalmaschine ausbauen, so nimmt man eine über dem Transformatorgestell angeordnete Deckplatte, auf welcher alle Einspan-, Schweiß-, Stauch- und unter Umständen Abgratvorrichtungen Platz finden und durch wenige Handgriffe ausgewechselt werden können. Die Auswechslung dieser Arbeitsvorrichtungen, je nach Art der verlangten Schweißung, versetzt uns in die Lage, auf derselben Maschine eine Reihe verschiedener, ganz oder teilweise geschlossener Werkstücke aus Flach-, Rund- oder Formeisen oder aus Stahl (Reifen, Ringe, Stangen) schweißen zu können<sup>1</sup>.

### c) Die Einspannvorrichtungen.

Den wichtigsten Bestandteil der Einspannvorrichtung bilden die Einspann- oder Klemmbacken, auch Elektroden genannt, weil sie gleichzeitig die Enden der Stromzuführung zum Werkstück darstellen. Metallart, Form und Größe des Schweißguts bestimmen die Beschaffenheit der Spannbacken, die infolgedessen in großer Vielgestaltigkeit notwendig sind. Hieraus ergibt sich, sofern auf ein

<sup>1</sup> Wir haben es absichtlich vermieden, auf andere Maschinenbauarten und Konstruktionseinzelheiten näher einzugehen, um so mehr als nach Erscheinen der 1. Auflage dieses Buches im gleichen Verlage das Buch Neumann: „Elektrische Widerstands-Schweißung und -Erwärmung“ herauskam, das sich ausschließlich mit diesem Thema befaßt.

und derselben Maschine verschiedene Arbeiten ausgeführt werden sollen, die Notwendigkeit, die Klemmbacken leicht und bequem auszuwechseln zu können; sie sind daher in den schraubstockähnlichen Einspannvorrichtungen mittels Keil, Schrauben, Nuten oder Schwalbenschwanz zu befestigen.

**Kühlung.** Alle elektrischen Widerstandsschweißmaschinen, mit Ausnahme jener, die unterbrochen arbeiten oder nur eine geringe Leistungsaufnahme haben, erfordern eine gute Kühlung der Elektroden durch fließendes Wasser. Deshalb sind fast sämtliche Elektroden als mehr oder weniger große Hohlkörper ausgebildet, deren Hohlräume oder einfache Bohrungen (Kanäle, Abb. 45) ständig von Wasser durchflossen werden, da insbesondere bei starkem Betrieb eine unzulässig hohe Wärmeableitung in das Maschineninnere oder ein Abschmelzen der Elektrodenbacken verhindert werden müssen. Überdies haben die Klemmbacken den mitunter recht bedeutenden Einspanndruck aufzunehmen, so daß in dieser Hinsicht die Kühlung auch zur Formerhaltung beiträgt. Die Kühlung kann entweder durch Anschluß der Maschine an eine Druckwasserleitung erfolgen, oder es wird nach Art der Warmwasserheizung eine Umlaufpumpe betrieben; diese drückt das wärmeabführende Wasser in einen erhöht aufgestellten Behälter, aus welchem es rückgekühlt den Elektroden ununterbrochen selbsttätig zufließt (Thermosiphonprinzip). Je nach Größe und Beanspruchung der Maschinen sind 5 ÷ 3000 l Kühlwasser in der Stunde notwendig. Die in Abb. 37 wiedergegebene Maschine läßt die für die Zu- und Ableitung des Wassers vorgesehenen Schläuche erkennen. Um eine wirksame Kühlung des Schweißtransformators herbeizuführen, wird vielfach das Kühlwasser durch Bohrungen im Transformator Kern geleitet. Die Temperatur des abfließenden Wassers sollte 60° nicht überschreiten, damit eine Kesselsteinbildung vermieden wird. Zur leichten Überwachung des Wasserumlaufes empfiehlt es sich, den Abfluß in einen offenen Trichter münden zu lassen.

Trotz starker Kühlung sind die Spannbacken, überhaupt Elektroden aller Widerstandsschweißmaschinen, einem hohen Verschleiß ausgesetzt, so daß ein Auswechseln (Erneuern) von Zeit zu Zeit nicht zu umgehen ist. Jedoch sind die meisten Backen nach geringer Umgestaltung immer noch für kleinere Schweißstücke brauchbar.

**Werkstoffe.** Vorteilhaft verwendet man Legierungen des Kupfers mit Silber oder Beryllium ( $\frac{1}{2}$  vH), auch geschmiedete Siliziumbronze usw., wobei allerdings die elektrische Leitfähigkeit nicht merklich herabgesetzt werden darf. Obwohl Mangan das Kupfer sehr härtet und zunderfest macht, kommt es wegen der schlechten elektrischen Leitfähigkeit der Kupfer-Mangan-Legierung nicht in Frage. Unter der Bezeichnung Hartkontakte versteht man ganz allgemein Legierungen von Kupfer oder Silber mit anderen Metallen, die den Kontakten eine höhere Druckfestigkeit verleihen. Zum Beispiel sind Elkonite und Wolkumit (mit Wolfram legiert) solche Metalle; diese Hartkontaktmetalle werden in Form von Plättchen auf die Elektroden hart aufgelötet.

**Ausführungsformen.** Einige Skizzen kennzeichnender Backenanordnungen dürften ausreichend sein, um erwünschte Formgestaltungen für die mannigfaltigen Bedürfnisse zu finden. Die schematischen Skizzen *a* bis *s* in Abb. 41 sind als Darstellung im Grundriß aufzufassen, wobei als Schweißgut Rund- oder Vierkantwerkstoff derselben Art oder ein ähnlicher Querschnitt angenommen ist. Die gebräuchlichste, für jede gewöhnliche Schweißung geeignete Konstruktion zeigt *a*. Die beiden Schweißstücke werden von Backen zentrisch und in einer bestimmten Einspannlänge (s. später) gefaßt. Die Richtung des Stauchdrucks ist hier, wie in allen übrigen Skizzen, durch Pfeile gekennzeichnet. Skizze *b* veranschaulicht

die Anordnung bei Schrägstoß, *c* beim Schweißen rohrförmiger Querschnitte. Die Skizzen *d*, *e*, *f* und *g* beziehen sich auf die Vorbereitung der Schweißstücke und finden weiter hinten Besprechung. Skizze *h* kennzeichnet die Anordnung beim Schweißen auf Gehrung. Die Stäbe sind um  $45^\circ$  gegen die Maschinenachse geneigt und die Backen zwecks Fixierung der Stäbe mit Führungflächen versehen. Durch waagerechte Verstellbarkeit der beiden Backen zueinander kann für dieselbe

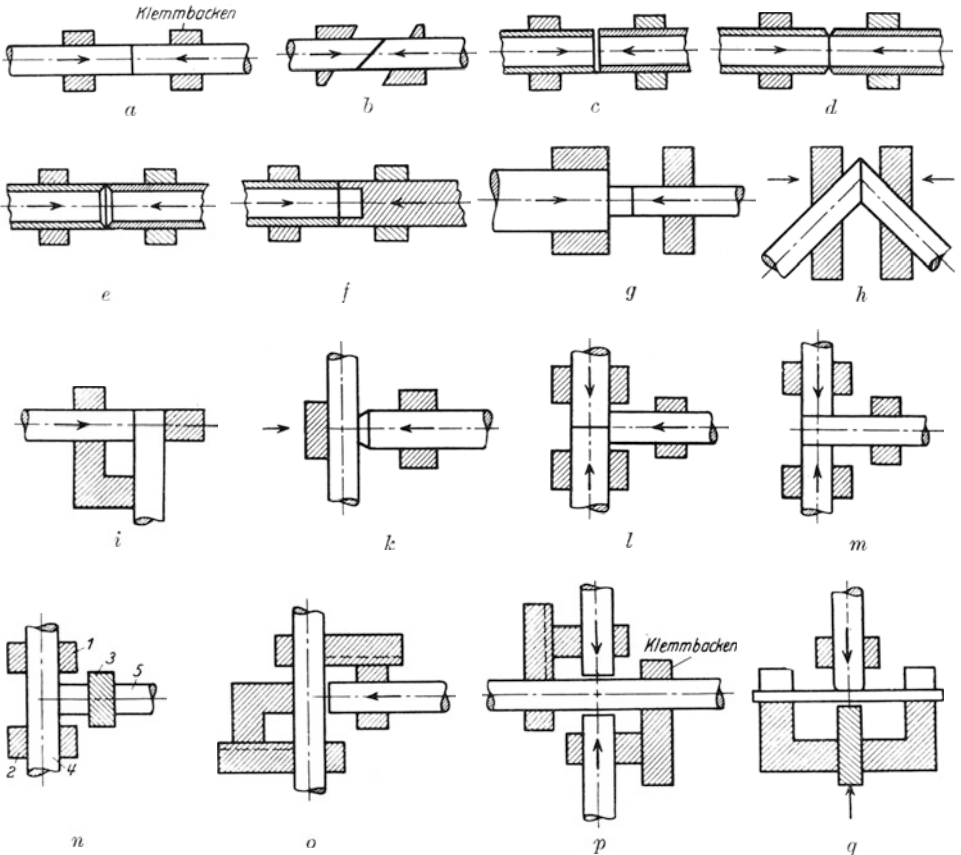
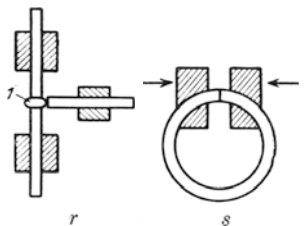


Abb. 41. Ausführungsformen von Klemmbacken.

Werkstoffdicke ein beliebiger Gehrungswinkel eingestellt werden, ohne daß die Backen ausgewechselt werden müssen. *i* stellt die Anordnung bei winkligem Schweißen dar, während *k*, *l*, *m*, *n* und *o* zeigen, wie man auf verschiedene Weise T-Stücke zu schweißen vermag. Haben die beiden Werkstückenden oder Schweißflächen ungleichen Durchmesser, so führt man die Schweißung nach Art der Skizzen *k* oder *l* aus. Die Elektroden bei *l*, *m*, *n* und *o* müssen gegenseitig genügend isoliert sein. Skizze *q* zeigt die Verbindung eines Stabes mit einem Teller, *s* die Schweißung eines Ringes.

**Sonderausführungen.** Mit Rücksicht auf möglichst zweckmäßige und lückenlose Anpassung der Spannbacken an das zu schweißende Werkstück lassen sich



Klemmbacken, die für eine größere Gruppe von Schweißarbeiten geeignet sind, selten oder gar nicht herstellen, oder die Bedingung, daß die Backen das Werkstück möglichst weit umschließen, wird nicht erfüllt. So ist beispielsweise für die Stumpfschweißung von Rohrenden für jeden Durchmesser der Rohre ein entsprechender Satz Backen notwendig, in deren lagerschalenförmige Aushöhlung (Abb. 42 A) die Rohrdurchmesser genau hineinpassen. Außer gleichmäßiger Wärmeleitung zur Schweißstelle muß man nämlich auch dafür sorgen, daß das Schweißgut durch das Einspannen und Stauchen nicht verformt wird. Würde man beispielsweise zwei Rohrenden in gewöhnliche Flächenbacken (Abb. 42 B) einspannen, so würden sie beim Schweißen flachgedrückt, da der Einspanndruck so stark sein muß, daß die durch ihn erzeugte Reibung den seitlich wirkenden

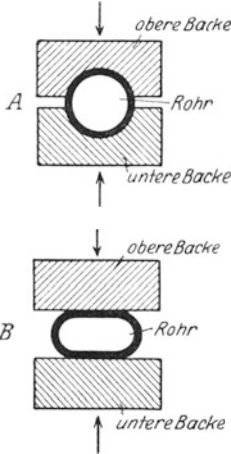


Abb. 42. Richtige und falsche Einspannbacken für Rohre.

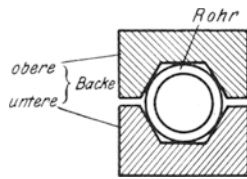


Abb. 43. Besondere Klemmbackenform für Rohre.

Stauchdruck überwindet; die dünnen Rohrwände können im rotwarmen Zustande aber nur geringen Druck aufnehmen. In den Backen Abb. 42 A ist im Gegensatz zu B dem Rohr keine Möglichkeit zum Ausweichen gegeben; die ausgehöhlten Backen sorgen für Aufrechterhaltung der Form. Nur in einigen wenigen Fällen läßt sich der Gedanke durchführen, unter Zuhilfenahme eines besonderen Klemmbackensatzes eine bestimmte Serie ziemlich gleich bemessener Teile zu schweißen. So kann man bei Rohren größeren Kalibers und vor allem bei solchen von dicker Wandung den Backen eine prismatische Aushöhlung geben, wie dies z. B. in Abb. 43 vorgeschlagen ist. Auch beim Schweißen von Radreifen, überhaupt Reifen, ist eine Verminderung der Backenzahl durch geeignete Mittel erreichbar, beispielsweise durch drehbare, d. h. zum Mittelpunkt des jeweiligen Reifendurchmessers verstellbare Sonderspannbacken, wie sie Abb. 44 zeigt. Doch kommen selbst hier größere Schwankungen im Reifendurchmesser nicht in Frage, da das Schweißgut sonst beim Einspannen verbogen wird, oder zwischen Schweißgut und Backen ein ungenügender elektrischer Kontakt besteht. Umständliche Spannbackenformen lassen sich mitunter durch gute Überlegung vereinfachen, indem

Stauchdruck überwindet; die dünnen Rohrwände können im rotwarmen Zustande aber nur geringen Druck aufnehmen. In den Backen Abb. 42 A ist im Gegensatz zu B dem Rohr keine Möglichkeit zum Ausweichen gegeben; die ausgehöhlten Backen sorgen für Aufrechterhaltung der Form. Nur in einigen wenigen Fällen läßt sich der Gedanke durchführen, unter Zuhilfenahme eines besonderen Klemmbackensatzes eine bestimmte Serie ziemlich gleich bemessener Teile zu schweißen. So kann man bei Rohren größeren Kalibers und vor allem bei solchen von dicker Wandung den Backen eine prismatische Aushöhlung geben, wie dies z. B. in Abb. 43 vorgeschlagen ist. Auch beim Schweißen von Radreifen, überhaupt Reifen, ist eine Verminderung der Backenzahl durch geeignete Mittel erreichbar, beispielsweise durch drehbare, d. h. zum Mittelpunkt des jeweiligen Reifendurchmessers verstellbare Sonderspannbacken, wie sie Abb. 44 zeigt. Doch kommen selbst hier größere Schwankungen im Reifendurchmesser nicht in Frage, da das Schweißgut sonst beim Einspannen verbogen wird, oder zwischen Schweißgut und Backen ein ungenügender elektrischer Kontakt besteht. Umständliche Spannbackenformen lassen sich mitunter durch gute Überlegung vereinfachen, indem

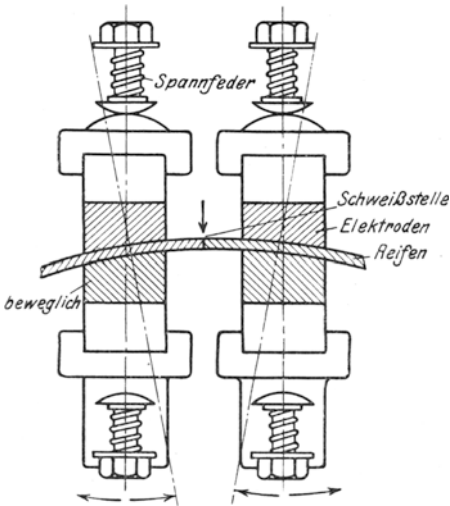


Abb. 44. Sonderspannbacken für Reifen.

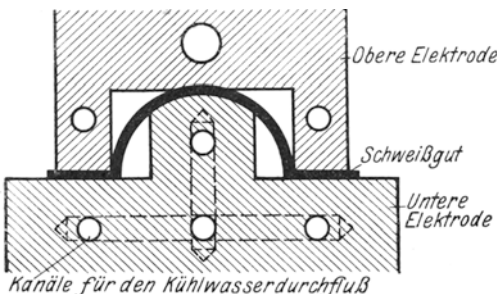


Abb. 45. Elektroden einer Formeisen-schweißmaschine.

Stauchdruck überwindet; die dünnen Rohrwände können im rotwarmen Zustande aber nur geringen Druck aufnehmen. In den Backen Abb. 42 A ist im Gegensatz zu B dem Rohr keine Möglichkeit zum Ausweichen gegeben; die ausgehöhlten Backen sorgen für Aufrechterhaltung der Form. Nur in einigen wenigen Fällen läßt sich der Gedanke durchführen, unter Zuhilfenahme eines besonderen Klemmbackensatzes eine bestimmte Serie ziemlich gleich bemessener Teile zu schweißen. So kann man bei Rohren größeren Kalibers und vor allem bei solchen von dicker Wandung den Backen eine prismatische Aushöhlung geben, wie dies z. B. in Abb. 43 vorgeschlagen ist. Auch beim Schweißen von Radreifen, überhaupt Reifen, ist eine Verminderung der Backenzahl durch geeignete Mittel erreichbar, beispielsweise durch drehbare, d. h. zum Mittelpunkt des jeweiligen Reifendurchmessers verstellbare Sonderspannbacken, wie sie Abb. 44 zeigt. Doch kommen selbst hier größere Schwankungen im Reifendurchmesser nicht in Frage, da das Schweißgut sonst beim Einspannen verbogen wird, oder zwischen Schweißgut und Backen ein ungenügender elektrischer Kontakt besteht. Umständliche Spannbackenformen lassen sich mitunter durch gute Überlegung vereinfachen, indem

nur bestimmte Flächenteile des Schweißguts eingespannt werden, wie dies in Abb. 45 bei den Elektroden einer Formeisenerschweißmaschine durchgeführt ist. Die Abbildung zeigt auch die Kanäle in den Klemmbacken für den Kühlwasserdurchfluß. Welches große Ausmaß die blockartigen Kupferelektroden schwerer Maschinen annehmen, veranschaulichten bereits Abb. 34 und 37.

**Stromzuführung.** Beim Stumpfschweißen ist die richtige Stromführung durch das Schweißgut besonders wichtig. Der Weg des Stromes soll möglichst durch die Mitte der Schweißfläche führen, um den ganzen Querschnitt gleichmäßig auf Schweißhitze zu bringen. Meist sind nur zwei Parallelbacken, und zwar die unteren, seltener die oberen, an den sekundären Stromkreis der Maschine angeschlossen, so daß die Stromführung von  $a$  nach  $a_1$  nach Art des Schemas Abb. 46A erfolgt. Nach einem AEG-Patent ist eine Anordnung der stromführenden Elektroden im Sinne der schematischen Darstellung Abb. 46B getroffen. Der Weg des Stromflusses von  $a$  nach  $a_1$  ist durch einen Pfeil markiert; die Stromzuführung zu den Backen geschieht über Kreuz. Die den Kupferbacken gegenüberliegenden stromlosen Backen werden als Stahlbacken ausgeführt. Vorteilhaft ist natürlich auch die Stromzuführung sowohl zu den beiden unteren wie zu den beiden oberen Klemmbacken, gegebenenfalls in doppeltdiagonaler Stromzuführung C. Bei Anwendung des später besprochenen Abschmelzverfahrens dürfte übrigens die Stromzuführung zu den unteren Backen fast immer genügen.

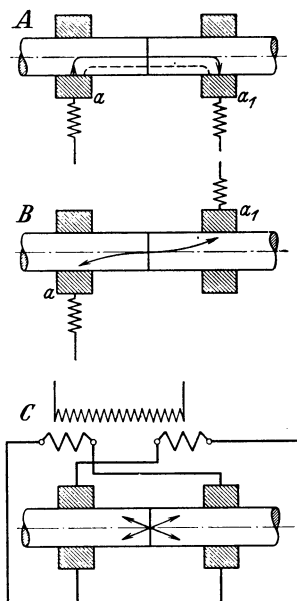


Abb. 46. Stromzuführung zu den Klemmbacken.

### 3. Die Technik der Stumpfschweißung.

#### a) Vorarbeiten.

**Vorbereitungsarbeiten.** Die normale Stumpfschweißung verlangt außer glatten Stoßflächen des Schweißguts auch, daß die Flächen der zusammenzuschweißenden Stücke möglichst gleich sind; sonst würde die Erhitzung des dünneren Stückes bis zur Verbrennung getrieben, bevor das dickere auf Schweißhitze gebracht werden kann. Aus diesem Grunde ist oft eine Vorbereitung der Schweißstücke nötig; ungleiche Werkstoffquerschnitte müssen an der Stoßfläche annähernd flächengleich gemacht werden, wie dies bei  $f$  und  $g$  in Abb. 41 und bei  $e$ ,  $h$  und  $k$  in Abb. 47 geschehen ist. Man erreicht dies dadurch, daß man entweder absetzt (Zapfen  $g$  in Abb. 41;  $e$ ,  $h$  und  $k$  in Abb. 47), anspitzt ( $k$  in Abb. 41) oder aushöhlt (Rohr an Rundeisen,  $f$  in Abb. 41). Mit anderen Worten: Die Übergangsquerschnitte der dickeren Teile sind zu verringern, um eine gleichmäßige Erwärmung zu bewirken.

**Vorwärmung.** Beim Schweißen von T-, +- und anderen Formstücken (Abb. 41  $k$ ,  $l$ ,  $m$ ,  $n$ ,  $o$  und  $p$ ) muß dem eigentlichen Schweißen eine Vorwärmung des schwerer auf Schweißhitze zu bringenden Teiles vorausgehen. Eine Möglichkeit der Vorwärmung auf elektrischem Wege und auf der gleichen Maschine besteht darin, daß der zwischen den gut voneinander isolierten Backen 1 und 2 der Abb. 41  $n$  eingespannte Teil des Eisens 4 vorgewärmt wird und nach Eintritt der Rotwärme mit Hilfe eines Wechselschalters die Umleitung des Stromlaufs von 3 nach



1 bzw. 2 bewerkstelligt wird, worauf die notwendige Schweißhitze an beiden Teilen 4 und 5 sehr bald eintritt. Sind an der verfügbaren Maschine solche oder ähnliche Vorkehrungen nicht getroffen und steht Drehstrom nicht zur Verfügung, dann muß die Vorwärmung auf besonderen elektrischen Erwärmungsmaschinen (s. Abschnitt II B) oder im Schmiedefeuer vorgenommen werden. Um das Schweißen von Stäben ungleichen Querschnitts zu erleichtern, wurden für solche Zwecke besonders konstruierte Schweißmaschinen gebaut. Diese Maschinen besitzen neben dem Schweißtransformator einen Vorwärmtransformator, deren beiden Primärstromkreise parallel ans Netz geschaltet werden. Das dickere Werkstück wird zuerst im Sekundärstromkreis des Vorwärmtransformators auf Rotwärme gebracht, darauf wird der Stromkreis unter gleichzeitigem Schließen des Schweißstromkreises (Sekundärstrom des Schweißtransformators) geöffnet und die Schweißung in üblicher Weise vollendet.

**Zweckmäßige Vorbereitung anstatt Vorwärmung.** In manchen Fällen kann die Vorwärmung eines der Schweißstücke durch zweckmäßige Vorbereitung um-

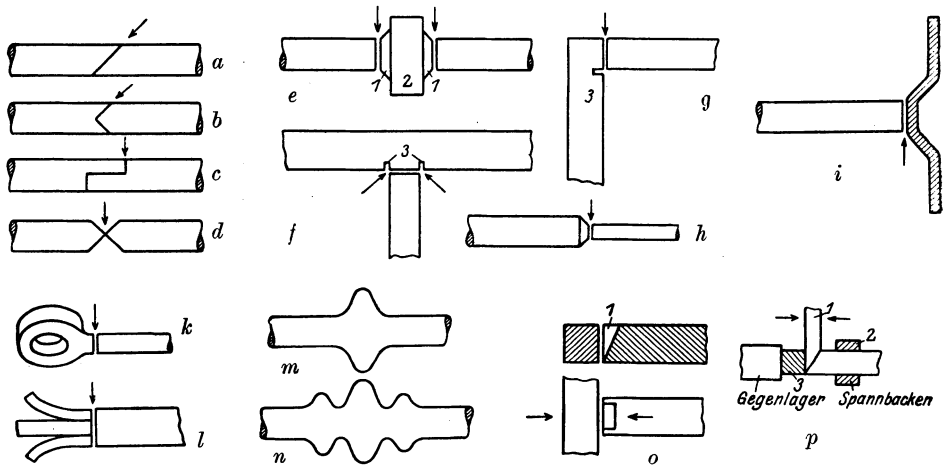


Abb. 47. Vorbereitungsarbeiten zur Stumpfschweißung.

gangen werden. Das bezieht sich vornehmlich auf die Schweißung von L-, T- und + -Stücken. Bei dünnem Werkstoff kann man sich z. B. nach dem Vorschlag Abb. 41r helfen; der Längsstab wird in der Mitte bei 1 etwas angestaucht (auf derselben Maschine) und an diese Wulst das Querstück angeschweißt. Man hat damit eine Stauung der Schweißwärme an der Stelle 1 bewirkt. Dickerer Werkstoff wird eine in beliebig scharfer Form gewünschte Stauchung, wie sie in Abb. 41r empfohlen ist, nicht immer hergeben, zumal dann nicht, wenn das Formeisen keine sonderliche Verkürzung erfahren darf. Vielfach genügen kleine Sägeeinschnitte (3 in Abb. 47 g und f), um die Schweißhitze an der gewünschten Stelle zu stauen. Umständlicher und weniger angewandt sind die in Abb. 47 o, p und q veranschaulichten Verfahren. Bei der Schweißung des T-Stückes o wird in das Ende des Querstabs eine keilförmige Nute 1 eingearbeitet, die während des Schweißens mit flüssigem Metall ausgegossen wird. Etwas günstiger wird die Aufgabe durch Abb. p gelöst. Hier klemmt man einen dünnen Keil 1 zwischen die Stoßstelle ein. Der Keil wird beim Erwärmen weich und mit der Längsstange 3 fest verbunden. Endlich kann nach Abb. q gearbeitet werden, wobei das Querstück 2 der T-förmigen

Verbindung am Schweißende gespalten ist und die vorstehenden Kanten während des Schweißens durch Stempel *l* zusammengedrückt werden. Die bei dem nach Skizze *p* und *q* ausgeführten Schweißverfahren etwa vorstehend gebliebenen Teilchen sind, falls hinderlich, abzuschleifen.

Im übrigen ist zu den Abb. 41 und 47 noch folgendes zu sagen: An Stelle des kurzen Absatzes in Skizze *g* (Abb. 41) kann ein etwas längerer vorgesehen werden, so daß auch die linken Spannbacken nur den kleineren Durchmesser zu umschließen haben. Dasselbe bezieht sich auf die beiderseits abgesetzte Scheibe 2 in Abb. 47 *e* und auf die Welle *h* derselben Abbildung. Bei den letzten Beispielen sind die konischen Ansätze dann zylindrisch zu halten. Zur Verringerung des Umfangs der Stauchwulst (s. diese) sind Vorbereitungen der Stoßstellen im Sinne der Abb. 47 *a* ÷ *d* weniger üblich.

**Parallelschweißverfahren.** Das sog. Parallelschweißverfahren beruht darauf, ungleiche Werkstoffe, z. B. Messing auf Eisen oder ungleiche Querschnitte und Flächen durch besonders eingerichtete Erhitzungsvorrichtungen zu schweißen. Gerade in dieser Hinsicht versagen die üblichen Stumpfschweißverfahren vielfach. Nach diesem Parallelschweißverfahren wird der Strom nicht an den Schweißflächen durch den Übergangswiderstand zwischen diesen in Wärme umgesetzt, sondern erwärmt vielmehr die beiden Schweißstücke unabhängig voneinander durch ihren eigenen inneren Widerstand, indem er parallel den aufeinanderliegenden Flächen gerichtet ist. Bei Eintritt der Schweißwärme wird die Schweißung in bekannter Weise durch Drücken oder Hämmern in der Maschine beendet. Das Verfahren hat sich besonders zum Plattieren bewährt, d. h. zum Aufschweißen einer dünnen Metallschicht auf eine dickere. Es empfiehlt sich dabei die Verwendung geeigneter Schweißpulver.

#### b) Das Schweißen selbst.

**Vorzüge der Stumpfschweißung.** Diese Vorzüge liegen in dem Erreichen verschiedener Temperaturen, der ständigen Betriebsbereitschaft, der Sauberkeit der Arbeit und in verschiedenen anderen Umständen begründet. Trotz der überaus hohen Stromstärke besteht für den die Maschine bedienenden Arbeiter nicht die mindeste Gefahr, da ja nur niedrige Spannungen (normal kaum über 5 V) in Frage kommen. Selbst beim Berühren der als Spannbacken dienenden Elektroden mit feuchten Händen läßt sich kein Stromfluß fühlen. Die häufig von seiten der Laien befürchteten Gefahrenquellen sind demnach nicht vorhanden, um so weniger als die den Primärstrom führenden Teile ganz ins Maschineninnere verlegt, gegen die Maschine überall hinreichend gut isoliert sind, und das Maschinengehäuse selbst geerdet wird.

**Höhe der Erhitzung.** Da der spezifische Widerstand des metallischen Schweißguts mit wachsender Temperatur zunimmt, verbreitet sich die Schweißhitze rasch über die ganze Stoßfläche. Um die Wärmeverluste auf ein erträgliches Maß zu vermindern, muß die Schweißzeit so kurz wie möglich gehalten werden. Dem Umstande, daß die Erhitzung von innen nach außen erfolgt, also gerade umgekehrt wie bei allen übrigen Schweißverfahren, ist — richtige Handhabung der Maschine vorausgesetzt — eine gute Schweißung zu verdanken. Die Güte der Schweißstelle wird außerdem dadurch günstig beeinflusst, daß keine Luft auf die erhitzte Stoßfläche treffen kann. Doch soll auf rost- und zunderfreie Stoßstellen des Schweißguts und auf Sauberkeit der Einspannstellen (Kontaktflächen) geachtet werden, da sonst bei den niedrigen Schweißspannungen der Stromübergang behindert wird. Bei den von Hand bedienten Maschinen ist besonders die richtige Schweißhitze gut anzupassen, und die Ausschaltung des Stromes bzw. der Eintritt der Stauchung

muß im richtigen Augenblick erfolgen, wenn ein Verbrennen des Werkstoffes verhütet werden soll. Dabei darf nicht vergessen werden, daß die von innen kommende natürliche Hitze auch im Kern der Schweißstelle am größten ist und die Wärme an der äußeren Fläche des Schweißstücks durch Strahlung rascher abgeleitet wird. Mit anderen Worten: Bei äußerlich feststellbarer vermeintlicher Schweißhitze kann der Kern bereits überhitzt sein! Die Wahrscheinlichkeit einer Überhitzung ist bei selbsttätig arbeitenden Maschinen geringer, weil im Augenblick des Eintritts der Schweißwärme Stauchung und Stromöffnung von selbst einsetzen und nicht von der Aufmerksamkeit des Arbeiters abhängen.

Tabelle 8.

Leistungs- aufnahme (Transformator- leistung) kVA	Schweißbarer Eisen- querschnitt (offene Längen) mm <sup>2</sup>	Entsprechender Rundeisen- durchmesser mm	Dauer der Schweißung s	Geeignete Stauchung mm	Stromverbrauch für 100 Schweißungen kWh
0,8	7,06	3	1,0	1,0	0,018
1,8	19,63	5	1,9	1,5	0,085
2,5	38,48	7	3,2	1,6	0,35
3,4	50,26	8	4,0	1,7	0,78
4,5	78,53	10	5,2	1,8	1,2
6,3	113,09	12	8,5	2,0	1,6
8,0	176,5	15	10,2	2,2	2,4
11,5	254,5	18	14,2	2,5	5,2
13,4	314,2	20	20,5	2,6	7,5
19,0	490,8	25	30,0	2,8	15,4
26,0	706,8	30	37,5	3,0	32,5
32,5	962,1	35	42,6	3,3	51,8
40,0	1256,6	40	51,5	3,6	78,0
60,0	1590,4	45	60,0	3,9	110,5
70,0	1963,5	50	75,8	4,5	167,0
82,0	2375,8	55	105,0	4,7	195,0
95,0	2827,5	60	138,5	5,0	225,0
110,0	3318,3	65	171,6	5,6	342,0
135,0	3848,5	70	200,0	7,0	450,0
160,0	4417,8	75	230,0	7,8	765,0
200,0	5026,5	80	260,0	8,5	926,0

**Leistungsaufnahme, Schweißdauer, Stromverbrauch.** Da mit der Temperaturzunahme auch der Verlust an Wärme durch Abwanderung an benachbarte metallische Teile und durch Strahlung steigt, muß bei Anwendung einer bestimmten Stromstärke und Steigerung der Schweißquerschnitte schließlich ein Zeitpunkt kommen, in dem Wärmezufuhr und Wärmeverluste gleich groß sind, d. h. trotz ununterbrochener Stromzufuhr bleibt eine bestimmte Temperatur bestehen; Schweißhitze ist nicht erreichbar. Daraus folgt, daß eine Temperatursteigerung nur durch Erhöhung der Stromstärke erzielbar ist, und da jede Schweißmaschine nur für einen bestimmten Stromstärkebereich eingerichtet ist, so werden für verschiedene Werkstoffdicken und Metalle auch Maschinen für verschiedene Leistungsaufnahme benötigt. Weiter ist mit Rücksicht auf Wärme- oder Stromverluste eine möglichst rasche Erzielung der Schweißhitze anzustreben, doch darf diese keineswegs so schnell eintreten, daß eine Beobachtung des Schweißvorgangs erschwert wird und die Verminderung des Stromverbrauchs auf Kosten der Güte der Schweißung erfolgt. Das besagt: Zwischen Schweißquerschnitt, Stromstärke und Schweißdauer sind praktisch einwandfrei erprobte Beziehungen einzuhalten. Einen annähernden Überblick hierüber gibt Tabelle 8, deren Werte dem Mittel, errechnet aus den Daten dreier führender Werke auf dem Gebiete des elektrischen

Stumpfschweißens, entsprechen. Ausgehend von der Überlegung, daß die von interessierten Firmen veröffentlichten Zahlen meist Spitzenwerte und Akkordangaben darstellen, die unter normalen Verhältnissen kaum erreichbar sind, ist ein Zuschlag von 30 vH auf die in Tabelle 8 aufgestellten Werte kaum zu hoch gegriffen, um auf praktische Durchschnittswerte zu kommen.

Wie aus der Zusammenstellung vorstehender Durchschnittsdaten (die stark schwanken können, z. B. je nach Einspannlänge) hervorgeht, nimmt die Schweißdauer mit wachsendem Querschnitt zu, wogegen die Leistungsaufnahme, bezogen auf 1 mm<sup>2</sup> Querschnitt, sinkt. Gleichzeitig ist trotz geringerer Schweißtemperatur für elektrisch gut leitendes Metall (Kupfer) ein größerer Kraftbedarf erforderlich als für den weniger gut leitenden Stahl. Unter sonst gleichen Voraussetzungen steigert sich der Kraftbedarf mit der elektrischen Leitfähigkeit des Metalls und vermindert sich mit dessen elektrischem Widerstand. Weitere Leistungsangaben, u. a. auch die zeichnerische Darstellung der Tabelle 8, sind im Abschnitt IX zu finden.

**Geschlossene Längen.** Beim Zusammenschweißen in sich geschlossener Stücke, wie Ringe, Reifen, Rahmen, Schnallen u. dgl., entsteht ein mit dem Querschnitt und dem Umfang des Körpers rasch ansteigender Kraftverlust infolge Nebenschlusses zur Schweißstelle. Wenngleich bei kleineren Gegenständen der Kraftverlust erträglich ist, nimmt er mit der Masse des Schweißguts Werte an, die eine Abstellung des Übelstandes dringend erfordern. Ein einfaches Mittel zur Abdrosselung der im Werkstück gebildeten Zweigströme besteht darin, den geschlossenen Körper, am besten gegenüber der Schweißstelle, mit einem Eisenkern zu umgeben, der jedoch das Werkstück nirgends berühren darf (Abb. 48). Der Eisenkern wirkt wie eine Drosselspule.

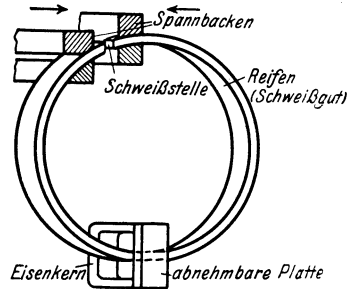


Abb. 48. Abdrosseln des Nebenschlusses bei der Reifenschweißung.

Die in Tabelle 8 aufgeführten Werte, die sich auf die Schweißung offener Längen beziehen, erfahren beim Schweißen geschlossener Stücke eine Änderung insofern, als der Stromverbrauch mit der Größe des im Schweißgut gebildeten

Nebenschlusses anwächst. Eine den Messungen der AEG für die Bestimmung der Größe des Nebenschlusses entnommene Verbrauchskurve ist in Abb. 49 festgehalten. Die für gleichbleibenden Querschnitt (81 mm<sup>2</sup>) qua-

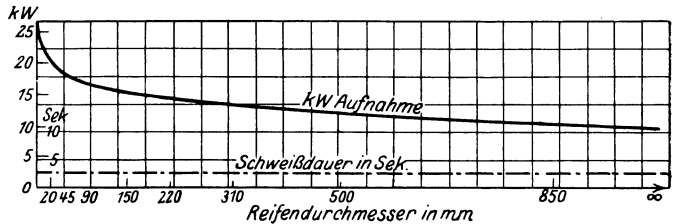


Abb. 49. Leistungsaufnahme und Schweißdauer bei Reifenschweißungen.

dratischen Eisens gültigen Werte setzen bei Ringen von 20 mm Durchmesser ein und diese steigen bis zu Reifen von unendlichem Durchmesser, d. h. bis zur offenen Länge. Leistungsaufnahmen und Zeit sind in der Senkrechten (als Ordinaten), die Reifendurchmesser in der Waagerechten (als Abszissen) aufgetragen. Der zeichnerischen Darstellung ist ohne weiteres zu entnehmen, daß mit zunehmendem Durchmesser bei fast gleicher Schweißdauer die Leistungsaufnahme von etwa 20 auf 10 kW sinkt, d. h. bei offenen Längen am geringsten ist; mit steigendem Reifendurchmesser fällt dementsprechend auch der Leistungsverbrauch. Die Werte der Abb. 49 sind nochmals in Tabelle 9 zahlenmäßig wiedergegeben.

Tabelle 9.

Durchmesser des Reifens (von $9 \cdot 9 = 81 \text{ mm}^2$ Querschnitt) mm	Leistungs- aufnahme kW	Schweißdauer s	Durchmesser des Reifens (von $9 \cdot 9 = 81 \text{ mm}^2$ Querschnitt) mm	Leistungs- aufnahme kW	Schweißdauer s
20	20	6	310	13	5
45	18	6	500	12	4,75
90	17	5,75	850	10	4,5
150	16	5,5	$\infty$	9,5	4
220	15	5,25			

**Einspannlängen.** Außer der konstruktiven Gestaltung der zu schweißenden Flächen sind die Einspannlängen der Schweißstücke für den Erfolg einer Querschnittsschweißung maßgebend. Die Beziehungen zwischen den Einspannlängen lassen sich ziemlich genau festlegen. Angenommen, die beiden Stabenden haben gleichen Durchmesser ( $d$  Abb. 50), so ergibt sich nachstehende Zusammenstellung:

- weicher Stahl und weicher Stahl,  $l = 1,4d$ ;  $\frac{l}{2} = 0,7d$  (Abb. 50 I),  
 $m + m_1$
- harter Stahl und harter Stahl  $l = 1,2d$ ;  $\frac{l}{2} = 0,6d$  (Abb. 50 II),  
 $m + m_1$
- weicher Stahl und harter Stahl  $l_1 = 2,1d$ ;  $a$  (harter Stahl)  $= 0,6d$ ,  
 $m_3 + m_2$   $b$  (weicher Stahl)  $= 1,5d$  (Abb. 50 II),
- Kupfer und Kupfer,  $l = 4d$ ;  $\frac{l}{2} = 2d$  (Abb. 50 I)  
 $m + m_1$
- Messing und Messing  $l = 3d$ ;  $\frac{l}{2} = 1,5d$  (Abb. 50 I),  
 $m + m_1$
- weicher Stahl und Kupfer,  $l_2 = 2,5d$ ;  $a_1$  (weicher Stahl)  $= 0,7d$ ,  
 $m + m_4$   $b_1$  (Kupfer)  $= 1,8d$  (Abb. 50 III).

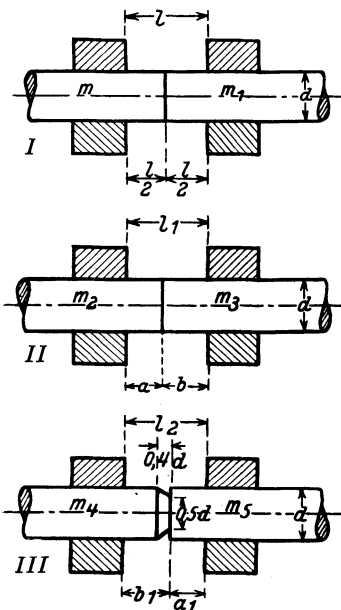


Abb. 50. Einspannlängen.

Daraus geht hervor, daß schlecht stromleitende Metalle kürzer, gut leitende jedoch länger eingespannt werden müssen. Wegen seiner hohen elektrischen Leitfähigkeit oder, was dasselbe ist, wegen seines geringen elektrischen Widerstands muß Kupfer, sofern es mit einem anderen Metall, mit dem es eine Verbindung einzugehen vermag, geschweißt wird, in der in Abb. 50 III angedeuteten Weise (bei  $m_4$ ) am Ende konisch verjüngt werden. Wie Abb. 50 zeigt, bezieht sich die Einspannlänge auf die Strecke zwischen Innenkante Backe und Schweißstoßstelle.

Überdies ist die Einspannlänge von nicht zu unterschätzendem Einfluß auf den Stromverbrauch. Dieser ist ganz allgemein um so geringer, je kürzer die Schweißdauer ist, und diese hängt wiederum von der Einspannlänge ab. Daraus läßt sich schließen, daß die Einspannlänge praktisch möglichst kurz gewählt werden muß, um die Dauer der Erwärmung zu verkürzen und den Stauchwulst klein zu halten. Dies zeigt auch Abb. 51, welche die Leistungsaufnahme und die

Schweißdauer in Abhängigkeit von verschiedenen Einspannlängen wiedergibt. Der Aufzeichnung liegt die Schweißung eines  $12 \cdot 12$  mm Quadratischeisens (also  $144 \text{ mm}^2$  Querschnittsfläche) zugrunde. Aber auch zu kurze Einspannlängen sind fehlerhaft, da sie starke Wärmeableitung vom Schweißgut zu den Elektroden hin verursachen, was erhöhten Zeit- und Energieaufwand bedeutet.

#### Verschweißen ungleicher Metalle.

Wenngleich die Verschweißung gewöhnlicher Stahlsorten keine großen Anforderungen an das Geschick des die Maschine bedienenden Arbeiters stellt, so bedingt doch die Schweißung von

Kupfer, Messing, Aluminium und noch mehr das Zusammenfügen zweier ungleicher Metalle, wie Stahl an Edelstahl, Kupfer an Stahl oder Messing usw., zweifellos große praktische Erfahrung, gute Beobachtung des Schweißvorgangs und genaue Einhaltung bestimmter Vorschriften. Bilden sich beim Schweißen Oxyde, deren Schmelzen nicht ohne Schwierigkeiten herbeigeführt werden kann und die eine homogene (gleichartige) Verbindung der beiden metallischen Flächen störend beeinflussen, dann wird der Schweißstelle ein geeignetes Schweißpulver oder Flußmittel zugeführt, z. B. bei Messing und Aluminium. Ein schätzenswerter Vorteil der Stumpfschweißung liegt in der Möglichkeit der Vereinigung von Temperguß mit Stahl. Schweißungen dieser Art gelingen aber nicht in allen Fällen sicher. Als ein Einzelfall derartiger Schweißungen mag die Verbindung tempergußeiserner Griffe mit Stahlklingen zu Scheren erwähnt sein, sowie das Zusammenschweißen von Tempergußbügeln und Stahlplatten zu Steigbügeln. Während sich Stahl mit Messing und Stahl mit Neusilber ziemlich einwandfrei verbinden läßt, ist die Vereinigung zwischen Stahl und Kupfer weniger fest.

**Schweißung harten Stahls.** Mit Rücksicht auf die Gefahr der Entkohlung muß harter Stahl sehr vorsichtig behandelt und darf nicht überhitzt werden. Die Erwärmung darf nicht plötzlich erfolgen. Eine Vorwärmung der zu schweißenden Stücke außerhalb der Maschine auf  $350^\circ \div 400^\circ$  ist empfehlenswert, ebenso langsames Abkühlen. Verbindungen zwischen hartem und weichem Stahl haben hohe Festigkeit. Da harter Stahl in Schweißhitze weniger weich ist als weicher Stahl, muß beim Stumpfschweißen harten Stahls ein wesentlich höherer Stauchdruck aufgewandt werden, was bei der Wahl der Maschine zu berücksichtigen ist.

**Kupferschweißung.** Umgekehrt liegen die Verhältnisse beim Kupfer, das hohe Leitfähigkeit besitzt sowohl für Elektrizität wie für Wärme. Die rasche Wärmeableitung und die Schwerschmelzbarkeit seines sich schnell bildenden Oxyds (Oxyduls) bedingen eine bedeutend größere Leistungsaufnahme und damit größeren Stromverbrauch als beispielsweise weicher Stahl. Kupfer nimmt vor Eintritt des Schmelzens keinen teigigen Zustand an (wie Stahl), sondern geht sogleich in den flüssigen Zustand über. Kurz vor seinem Schmelzpunkt ist es außerordentlich spröde und brüchig, und zwar um so mehr, je mehr es sich seinem Schmelzpunkte nähert. Darum darf auch der Stauchdruck, im Gegensatz zur Stahlschweißung, nur sehr mäßig sein. Kupfer braucht aus vorstehenden Gründen sehr große Stromstärken, dagegen allerdings sehr geringe Spannung (weniger als 1 V an der Schweißstelle). Die in Tabelle 10 angegebenen Werte beziehen sich auf Rundkupfer, während bei rechteckigen Schweißstücken gleicher Fläche etwa  $40 \div 50$  vH mehr an Leistung und  $20 \div 50$  vH mehr an Schweißzeit aufzuwenden

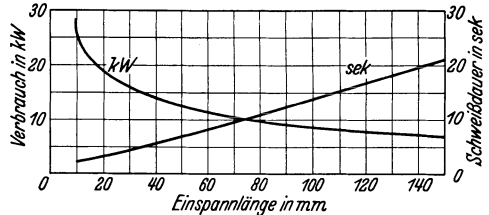


Abb. 51. Leistungsaufnahme und Schweißdauer bei verschiedenen Einspannlängen.

sind. Die Entfernung des Kupferoxyds an der Schweißstelle geschieht am besten durch Hämmern der erkalteten Schweiße, was außerdem eine Festigkeitssteigerung infolge Strukturverfeinerung bewirkt.

Tabelle 10.

Durchmesser des Kupferstabes mm	Zugehöriger Schweißquerschnitt mm <sup>2</sup>	Dauer einer Schweiße s	Erforderliche Leistungsaufnahme kVA	Durchmesser des Kupferstabes mm	Zugehöriger Schweißquerschnitt mm <sup>2</sup>	Dauer einer Schweiße s	Erforderliche Leistungsaufnahme kVA
4	12,6	5	1,5	18	254,5	22	30,0
5	19,6	5	2,0	20	314,2	25	40,0
6	28,3	6	3,0	25	490,9	28	60,0
7	38,5	8	4,0	30	706,9	34	80,0
10	78,5	12	8,0	35	962,1	38	120,0
13	132,7	16	12,0	40	1256,6	42	160,0
14	153,9	18	15,0	45	1590,4	48	200,0
16	201,0	20	25,0				

**Schweißung von Messing und Bronze.** Obwohl Messing viel leichter schmelzbar ist als Stahl und sein elektrischer Widerstand beinahe derselbe ist wie jener des Stahls von normaler Temperatur, bedarf auch das Messing einer großen Leistungsaufnahme und damit eines hohen Stromverbrauchs, der zwischen dem für Stahl und Kupfer (letzterem näher) gelegen ist. Dies kommt daher, daß der Widerstand des Stahls mit dessen Temperatur rasch anwächst, während der Widerstand des Messings mit zunehmender Temperatur sich nur wenig erhöht. Für den Erfolg der Messingschweißung sind vor allem die Struktur und die Bestandteile der Legierung ausschlaggebend. Im allgemeinen nimmt die Schweißbarkeit mit wachsendem Zinkgehalt ab. Messing verträgt im rotwarmen Zustande Bearbeitung mit dem Hammer so gut wie gar nicht, da es leicht brüchig und rissig wird. Ein ganz ähnliches Verhalten zeigt Bronze, doch lassen sich Bronzedrähte verhältnismäßig gut stumpfschweißen. Bronzezug ist nicht stumpfschweißbar. Auch einige andere Legierungen des Kupfers, z. B. Neusilber, Pakfong und Alfenide, lassen sich stumpfschweißen.

**Aluminiumschweißung.** Infolge der großen Verwandtschaft des Aluminiums zum Sauerstoff der Luft bildet sich schnell ein starres Oxyd in Form eines sehr schwer schmelzbaren Häutchens an der Oberfläche der Schweißstelle. Die Zerstörung bzw. Reduktion dieses Oxydbelags wird durch geeignete Schweißmittel sicher herbeigeführt, und die Aluminiumschweißstelle zeichnet sich durch große Festigkeit und Dichte aus. Scharfe Überwachung des Schweißvorgangs und genaue Abstimmung der Stromstärke sind für das Gelingen der Schweißung Bedingung.

**Die übrigen schweißbaren Metalle.** Die Metalle Gold, Silber und Platin sind ziemlich gleich gut schweißbar; sie kommen in Anbetracht ihrer hohen Preise ja nur in geringen Abmessungen in Frage. Die Schweißung von Ketten, Ringen, Ösen, chirurgischen Instrumenten, wie Pinzetten, Kapseln u. dgl., aus diesen Metallen verursacht keine nennenswerten Schwierigkeiten. Dasselbe gilt für Zink, Zinn und Blei. Doch ist bei diesen Metallen, besonders beim Blei, der Eintritt der Schweißwärme schwer feststellbar, weshalb auch hier die Regelung des Stromes mit großer Sorgfalt erfolgen muß. Bleirohre werden nach Art der Abb. 41*d* und *e* zur Schweißung vorbereitet.

**Schweißbeispiele und Anwendungsgebiete.** Besonders wertvoll ist die Stumpfschweißung für die Herstellung schwieriger Schmiedestücke. Als Beispiel hierfür

kann Abb. 52 angesehen werden, die eine Kurbelwelle mit vier stumpf angeschweißten Ausgleichstücken zeigt. In Abb. 53 sind nicht Ausgleichstücke angeschweißt, sondern die Welle ist aus neun auf der Schmiedepresse hergestellten, einfachen Einzelteilen zur Stumpfschweißung vorbereitet. Ähnliches gilt für die aus drei Teilen zusammengesetzte Pleuelstange. Die Pfeile geben die Schweißstellen an.



Abb. 52. Stumpfgeschweißte Kurbelwelle.

Abb. 54 zeigt der Reihe nach: ein geschweißtes Rohr; einen Rundestab; einen ebensolchen, jedoch an der Schweißstelle geschliffen; die Verschweißung eines Rundeisens mit einem Rohr, entsprechend Abb. 41 f, und endlich einen durch Ansetzen eines Rundstabes verlängerten Spiralbohrer.

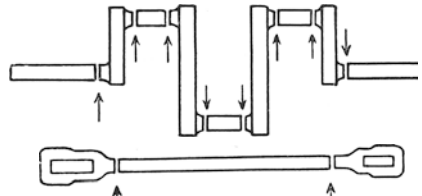


Abb. 53. Gekröpfte Welle und Pleuelstange stumpfgeschweißt.

Die durch das Stauchen der Teile entstehende Wulst (Abb. 54), d. i. die Verdickung an der Schweißstelle, welche an sich eine Verstärkung bedeutet, muß in vielen Fällen nach beendeter Schweißung wieder entfernt werden. Wie wir in Abb. 47 a ÷ d sahen, kann sie bei kleineren Gegenständen durch zweckmäßige

Formgebung der Schweißenden nahezu vermieden oder dort, wo sie nicht störend wirkt, wie bei Vieh- und Handelskettengliedern, belassen werden. Bei einfacheren

Rund- oder Vierkanteisenprofilen läßt sich die Wulst im Anschluß an das Schweißen in derselben Schweißhitze durch Hämmern, unter Umständen im Gesenk, entfernen, während andere Profile am besten in besonderen Wulstpressen, die neben der Schweißmaschine Aufstellung finden müssen, glatt und wulstlos zu machen sind. Im erkalteten Zustande beseitigt man die Wulst durch Feilen, leichter durch Abschleifen bzw. Abschmirgeln. Leichterem Stücken, z. B. Kettengliedern, nimmt man die Wulst meist in der Schweißmaschine selbst, wobei zwischen den Spannbacken eine passende Wulstpresse eingebaut ist. Den Arbeitsvorgang zeigt Abb. 55 im Schema. Man darf sich aber

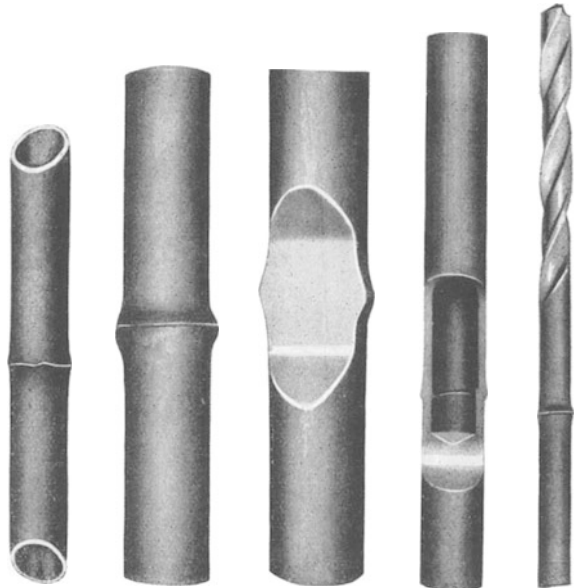


Abb. 54. Stumpfgeschweißte Rohre und Rundeisen.

keineswegs der Täuschung hingeben, daß ein Einpressen der Stauchwulst, weil es billig ist, auch immer zweckmäßig wäre; im Gegenteil, häufig wird eine schädliche Beeinflussung des Werkstoffgefüges eintreten. Die verschiedentlich



geäußerte Ansicht, das Pressen hätte außer der Glättung der Schweißstelle den Vorzug, die Festigkeit der Schweißung durch Werkstoffverdichtung zu erhöhen, ist selten zutreffend, wenn man sich vergegenwärtigt, daß die beim Stauchen aus der Schweißfuge ausgepreßten Schlacken- und Zunderteilchen von neuem in die Schweißung hineingequetscht werden. Es unterliegt keinem Zweifel: Die

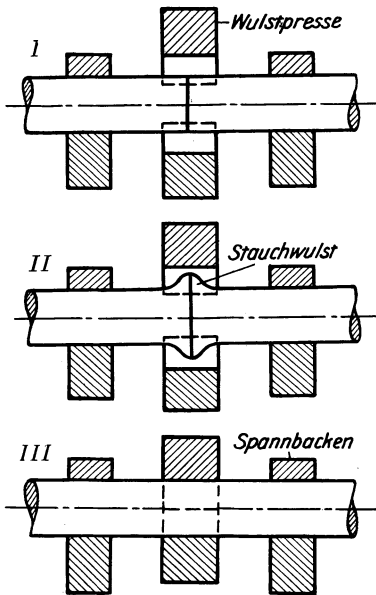


Abb. 55. Schema der Wulstpressung bei Kettengliedern.

Entfernung der Wulst auf druckfreiem und kaltem, d. i. spanabhebendem Wege, durch Drehen, Schleifen, Schmirgeln oder Feilen ist die beste Nachbearbeitung und allen anderen Verfahren vorzuziehen. Weiteres hierüber ist im Abschnitt IX zu finden.

Wir haben erkannt, daß sich nach dem Verfahren der Widerstandsschweißung im wesentlichen nur Arbeitsstücke von möglichst rundem oder quadratischem Querschnitt schweißen lassen und daß schwierige Querschnitte, wie Formeisen, Felgen, Schienen u. dgl., nur schlecht schweißbar sind, da infolge ungleicher Massenverteilung die Hitzeentwicklung meist unregelmäßig auftritt und dünnere und spitzere Teile verbrennen, bevor dickere Stellen auf Schweißhitze gebracht werden können. Dementsprechend ist die Anwendbarkeit der Stumpfschweißung nach dieser Richtung verhältnismäßig beschränkt, da es nur in den wenigsten Fällen zugänglich ist, die zu vereinigenden Querschnitte zur Erzielung gleicher Stoßflächen gleichzumachen,

und dadurch auch die Gestehungskosten der Schweißarbeit erheblich verteuert werden. Es liegt auf der Hand, welch großes Interesse für die Abstellung dieser Mängel bestehen muß.

### c) Das Abschmelzverfahren.

**Arbeitsvorgang.** Der befriedigenden Lösung der letztgenannten Aufgabe ist man zum großen Teil durch Einführung des Abschmelz- oder Abbrennverfahrens nähergekommen. Dieses unterscheidet sich von dem älteren Druckschweißverfahren dadurch, daß der Strom bereits eingeschaltet wird, bevor die Teile zur Berührung gebracht werden. Mit Hilfe einer zweckentsprechenden Schlittenführung wird durch mehrmaliges Nähern und Entfernen der Stoßflächen ein Funkensprühen erreicht, das schließlich in einen den ganzen Querschnitt umfassenden Feuerregen übergeht, so daß der Werkstoff an den Stoßflächen hoch erhitzt und verflüssigt in Form glühender Teilchen herausgeschleudert wird. Ist die erforderliche Schweißglut sowie das Stauchmaß durch Nachschieben von Werkstoff erreicht, dann werden die Schweißstücke unter Ausschaltung des Stromes mit kräftigem Stoß schlagartig zusammengepreßt. Da die Funken an hervorstehenden Teilen natürlich zuerst überspringen, schmelzen diese Stellen schnell ab, womit die saubere Bearbeitung der Stoßflächen, wie sie bei dem gewöhnlichen Stumpfschweißverfahren erforderlich ist, fortfällt. Bei diesem Verfahren tritt infolge des Funkenausgleichs eine gleichmäßige Erhitzung über dünne und dicke Stellen ein, und da ferner der während der Erhitzung geschmolzene Werkstoff durch die schlagartige Vereinigung aus der Verbindungsstelle herausge-

quetscht und die Erhitzung noch örtlicher gehalten wird als beim normalen Stumpfschweißen, so bildet sich nur ein geringer, das Abschmelzverfahren kennzeichnender perlenartiger Grat. Abb. 56 zeigt rechts die Stauchwulst bei normaler Stumpfschweißung und links den nach dem Abschmelzverfahren entstandenen viel kleineren Grat. Die erhöhte Gefahr des Einpressens der aus der Schweißfuge herausgequetschten Werkstoff- und Schlackenteilchen verbietet die Entfernung des entstandenen Stauchgrates durch Pressen bei diesem Verfahren vollkommen. Die gratartige Wulst ist nur mittels Meißels oder eines der früher aufgezählten Werkzeuge zu entfernen.

Die zur Zeit neueste und größte selbsttätige Abbrennstumpfschweißmaschine zeigt Abb. 57. Die 40 t wiegende Maschine hat eine Transformatorleistung von 800 kV für einen Höchstschweißquerschnitt von 25 000 mm<sup>2</sup>. Die Einspannung erfolgt motorisch unter einem Druck, der bis zu 70 t beträgt. Der Stauchdruck erfordert bis zu 50 t.

**Leistungsfähigkeit und Anwendungsgebiete.** Das Verfahren ist heute auf fast jeder gewöhnlichen Stumpfschweißmaschine durchführbar. Die Spannbacken können im großen und ganzen einfach gehalten werden, da sie nicht auf der ganzen Fläche aufzuliegen brauchen. Die Schweißung selbst wird im allgemeinen mit etwas höherer Spannung und geringerer Stromstärke ausgeführt; Stromverbrauch und Schweißzeit sind geringer, die Festigkeit der Schweißnaht ist höher als bei dem normalen Verfahren. Nähere Angaben bezüglich Güte der Schweißung und Wirtschaftlichkeit des Verfahrens sind in den Abschnitten VIII und IX gemacht.

Dem Abschmelzverfahren fällt vor allem das Gebiet des Vorschuhens von Rauch- und Siederohren zu. Zur Entfernung des im Rohrinnen sich bildenden Stauchgrats dienen im Rohrlichten zentrisch geführte, fräserartige Ausstoßdorne. Die Entgratung geschieht am warmen Rohr. Während man die Schweißung kleiner Schneldrehstahlstückchen auf gewöhnliche Stahlhalter nach dem

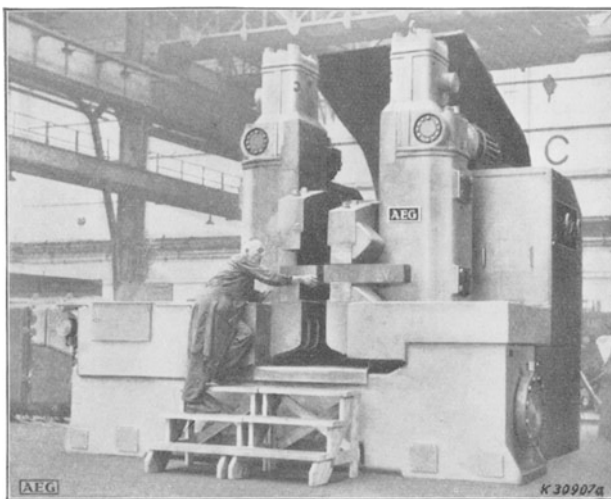


Abb. 57. Besonders große Abbrenn-Stumpfschweißmaschine.

normalen Schweißverfahren ausführt (s. auch Abschnitt Punktschweißung), ist man dazu übergegangen, hochwertige Schneidwerkzeuge, wie Bohrer, Fräser und ähnliches, durch Zusammenschweißen von hochwertigem Stahl mit minderwertigem Stahl nach dem Abschmelzverfahren herzustellen.

Die mannigfachen Vorteile der Abschmelzschweißung haben die rasche Ein-



Abb. 56. Wulst beim Stumpf- und Abschmelzschweißen.

führung dieses Verfahrens gefördert, und man kann behaupten, daß es heute schon mehr angewandt wird als die normale Stumpfschweißung. Die Entwicklung hat bereits zur Herstellung vollkommen selbsttätig arbeitender Maschinen mit Druckknopfsteuerung geführt, wie eine solche in Abb. 57 gebracht ist.

## B. Elektrische Erwärmungsmaschinen (Elektroessen).

**Vorteile der Elektroesse.** Die Elektrowärme wird außer für Schweißzwecke auch für Zwecke des bloßen Erhitzens von Arbeitsstücken verwendet. Maschinen dieser Art sind aus den Stumpfschweißmaschinen hervorgegangen; man bezeichnet sie als elektrische Erhitzungsmaschinen oder kurz als „Elektroessen“, im Gegensatz zur Feueresse. Wenn auch die Elektroesse bisher das alte Schmiedefeuer nur vereinzelt zu verdrängen vermochte, so ist es kaum zweifelhaft, daß, bei genügender Verbilligung des Strombezugs, die Elektrowärme auch auf diesem Gebiete den alten Arbeitsverfahren überlegen sein wird. Die Vorzüge der elektrischen Erhitzung gegenüber der Erhitzung im Koks- oder Kohlenfeuer sind vor allem folgende: schnellere Erwärmung (bis zu zehnmal so schnell) als im Kohlenfeuer, weniger Verzunderung, kein Rauch, keine Leerlaufsverluste (durch Anbrennen, Unterbrechungen), gute Regelbarkeit der Erwärmung, sofortige Betriebsbereitschaft, Fortfall der Kohlenbeförderung und eines Kohlenaufbewahrungsraums. Im einzelnen sei noch ausgeführt, daß die Metalle nach den alten Erhitzungsverfahren fast immer mit den Verbrennungsstoffen (Kohle, Koks, Holz, Gas) unmittelbar in Berührung kommen. Eine Ausnahme macht nur der Muffelofen. Wir wissen aber, daß allen diesen Verbrennungsstoffen mehr oder weniger große Mengen Verunreinigungen (Schwefel, Phosphor usw.) anhaften, die einen ungünstigen Einfluß, zumal auf den im erhitzten Zustande befindlichen Werkstoff, ausüben. Diese Mängel fehlen bei der Elektroesse gänzlich, da ihre Wärmequelle nicht chemischer, sondern rein physikalischer Natur ist. Die Elektrowärme gestattet ferner eine nahezu unbegrenzt genaue Regelbarkeit der Temperatur und eine sehr hohe Erhitzungsgeschwindigkeit des Metalls. So wurden erfolgreiche Anstrengungen gemacht, die Elektrowärme in für den Schmiedebetrieb geeigneter Form zu verwerten und Elektroessen zu schaffen zum Kröpfen, Stauchen, Recken u. dgl. Damit soll das Schmiedefeuer möglichst ganz, aber auch eine Anzahl der üblichen Schmiedemaschinen ersetzt werden.

**Ausbildung der Maschine.** Jede gewöhnliche Stumpfschweißmaschine kann auch als Elektroesse dienen, doch ist sie nur in engen Grenzen verwendbar, so daß man neuerdings auch hier auf Sonderkonstruktionen für die verschiedensten Zwecke gekommen ist. Die Starrheit und Unzulänglichkeit gewöhnlicher Stumpfschweißmaschinen machen sie als Esse ungeeignet; es mußten Mittel und Wege gefunden werden, die Maschinen den verschiedensten Werkstückformen anzupassen. Von Wichtigkeit war es, den Spannbacken der Maschinen größere Beweglichkeit zu geben, weil das in diesen eingespannte Werkstück auf eine, von der Spannbackenentfernung abhängige Länge erhitzt wird. Aus diesem Gesichtspunkt heraus hat sich eine große Gruppe von Sondermaschinen entwickelt, die hier um so weniger vorgeführt werden können, als die Esse mit der Schweißung in nur mittelbarem Zusammenhange steht. Kurz zusammengefaßt kann man sagen: Jeder Wärmebehandlung von Metallen, soweit sie deren Formgebung, wie Schmieden (Pressen, Stauchen, Strecken), Schweißen (überlapp) oder Hartlöten, Härten u. a. bezweckt, ist durch Elektroessen geeigneter Bauart möglich, unter bestimmten Voraussetzungen sogar erheblich billiger möglich als durch die Feueresse.

**Nieterhitzmaschine.** Eine Abart der Elektrosesse ist der Nietwärmer, der schon heute in ausgedehntem Maße verwendet wird und als einzige Maschine unter den Elektrosessen hier bildlich gebracht werden soll. Abb. 58 zeigt eine solche Maschine mit zweifacher Einspannvorrichtung und mit angebauter Umlaufwasserkühlung, wobei nebenbei erwähnt sei, daß neuerdings derartige Maschinen auch mit Verdampfungskühlung eingerichtet werden, also weder einer Pumpe noch der Wasserleitung bedürfen. Der elektrische Nietwärmer liefert bei Bedienung von Hand bis zu 900 Nieten (bei 8 mm Durchmesser und 16 mm Schaftlänge) in der Stunde. Neuerdings werden auch automatische Pinnen- und Nietwärmmaschinen mit selbsttätiger Zuführung und Ablage der Nieten gebaut. In der Hauptsache sind bisher Größen mit einer Leistungsaufnahme von  $8 \div 25$  kVA in Gebrauch, letztere für Nieten bis 30 mm Durchmesser. Zur Erwärmung von 1 kg Nieten sind etwa 0,4 kWh erforderlich. Letzthin ist man einen Schritt weitergegangen und hat Elektro-Warmnietpressen gebaut, in denen nicht nur eine elektrische Erwärmung der Nieten herbeigeführt wird, sondern auch der Schließkopf maschinell aufgesetzt wird.

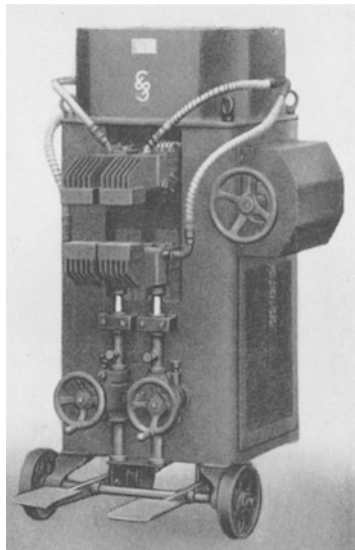


Abb. 58. Nieterhitzmaschine.

## C. Punktschweißung.

### 1. Schweißbarkeit der Metalle.

Die Punktschweißung eignet sich besonders für die Schweißung dekapiert (d. h. entzunderter) Bleche. Doch läßt sich auch gewöhnliches Schwarzblech gut schweißen, wenn die Werkstoffoberflächen nicht stark zundrig, verrostet oder sonstwie verunreinigt sind. Derartig verunreinigter Werkstoff muß, wie später gezeigt wird, vor der Schweißung gesäubert werden. Auch verzinktes, verzinn-tes, verbleites oder sonstwie überzogenes Eisen und nicht hochwertiger Stahl sind punktschweißbar. Unter bestimmten Voraussetzungen können die meisten Messingsorten, Kupfer, Walzbronze, Zink, Silber und Aluminium geschweißt werden.

### 2. Punktschweißmaschinen.

#### a) Die elektrische Einrichtung der Maschinen.

Die elektrische Punktschweißung ist aus der Stumpfschweißung entstanden. Nicht immer läßt sich ein genauer Unterschied zwischen diesen beiden Arbeitsverfahren festlegen. Beim Übergang vom Stumpf- zum Punktschweißen und umgekehrt ist die Schweißung oft so, daß sie sowohl die eine wie die andere Bezeichnung verdient. Die Punktschweißung stellt eine punktweise Verbindung von Metallflächen her und ist das einzige Arbeitsverfahren, nach welchem eine solche Schweißung möglich ist. Sie findet im wesentlichen vorteilhafte Anwendung als Ersatz für die Nietung, weniger für das Falzen und Löten. Doch sei gleich vorweg gesagt, daß man sich nicht dem falschen Glauben hingeben darf, als sei die Nietung

ganz allgemein durch die Punktschweißung verdrängbar. Das trifft jedenfalls zur Zeit noch nicht zu.

**Schaltung und Stromzuführung.** Bauen wir unsere ursprüngliche Skizze (Abb. 14) nach Art der Abb. 28 weiter aus, so entsteht das Schema der Abb. 59. Wie bei allen Widerstandsschweißmaschinen ist auch hier der Transformator  $e$  im Maschinengehäuse untergebracht. Seine Primärseite  $f$  läßt sich durch einen

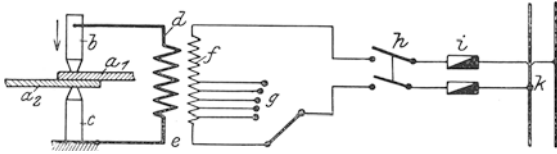


Abb. 59. Schaltung und Stromzuführung bei Punktschweißmaschinen.

in unserem Beispiel fünfteiligen Stufenschalter  $g$  regeln.  $h$  ist der Hebelschalter,  $i$  sind die Sicherungen und  $k$  ist das Wechselstromnetz, an das die Maschine bzw. der Transformator angeschlossen ist. Die eigentliche Schweißeinrichtung ist im Sekundärstromkreis  $d$  der Maschine gelegen. Die beiden an die Leitungsenden des Niederspannungskreises angeschlossenen Elektroden  $b$  und  $c$  sind im Gegensatz zur Stumpfschweißmaschine nicht mehr backen-, sondern stabförmig. Zwischen ihnen wird das Schweißgut eingeklemmt. Nach Andrücken der Elektrodenspitzen gegen die Bleche  $a_1$  und  $a_2$  und Einschalten des Stromes fließt dieser durch die Bleche hindurch und stellt einen Schweißpunkt her, dessen Durchmesser von dem der Elektrode und von der Blechdicke abhängig ist.

Die Maschinen sind mit wenigen Ausnahmen so eingerichtet, daß durch Betätigung eines Fuß- oder Handhebels der obere bewegliche Hebelarm, der die Elektrode  $b$  trägt, zunächst ein Andrücken der Elektrode und Festlegen der beiden Bleche  $a_1$  und  $a_2$  bewerkstelligt. Weiteres Durchdrücken des Fuß- oder Handhebels schließt den Stromschalter. Umgekehrt wird nach beendeter Schweißung zuerst der Strom ausgeschaltet und darauf das Blech freigegeben. Die Zeitfolge im Arbeitsgang muß auch beim Verstellen der Ausladung und Hubhöhe der Elektrodenarme beibehalten werden, da sonst beim Schließen, besonders aber beim Öffnen des Stromkreises Schweißpunkt und Elektrodenfläche anschmoren. Wesentliche Unterschiede bestehen in der elektrischen Einrichtung der verschiedenen Widerstandsmaschinen nicht, weshalb im übrigen auf das bei den Stumpfschweißmaschinen Gesagte hingewiesen sei.

#### b) Die mechanische Einrichtung der Maschinen.

Die Punktschweißmaschinen erreichen bei selbst größtem Arbeitsbereich bei weitem nicht die Abmessungen großer Stumpfschweißmaschinen. Die für die Einspannung und Stauchung notwendigen Maschinenelemente als solche sind wesentlich einfacher.

**Normale Maschinen.** Eine auf jedem Arbeitstisch aufstellbare Tisch-Punktschweißmaschine kleinster Bauart zeigt Abb. 60. Sie hat eine Transformatorenleistung von  $2 \div 4$  kVA und ist für die Schweiß-

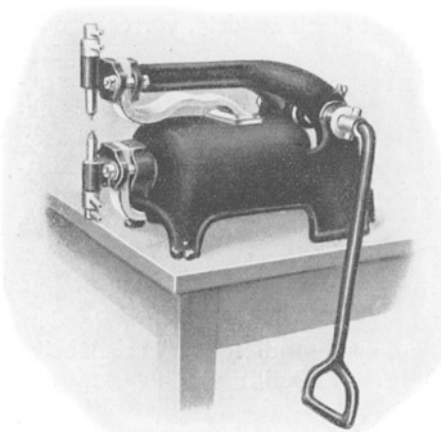


Abb. 60. Tisch-Punktschweißmaschine.

Bung nur dünnwandiger Werkstücke, wie feinmechanischer Teile, elektrotechnischer Artikel, chirurgischer Instrumente u. dgl., bestimmt. Der Strom wird durch ein

im Bilde deutlich sichtbares Bündel Kupferblechstreifen zugeführt; die Auf- und Niederbewegung des oberen Elektrodenarmes erfolgt durch den rechts angeordneten Handhebel.

In Abb. 61 ist eine Punktschweißmaschine normaler, einfacher Bauart und mittlerer Größe für etwa 10 kVA veranschaulicht. Sie wird durch Fußhebeldruck betätigt. Der im Innern des Gestells untergebrachte Transformator ist luftgekühlt. Unmittelbar oberhalb des Fußhebels befindet sich ein Stufenschalter mit drei Anzapfungen, durch den die für die jeweilige Schweißdicke notwendige Stromstärke geregelt wird. An den Elektrodenarmen sind Anschlußtüllen für die Kühlwasserschläuche angebracht. Der Kühlwasserbedarf der Punktschweißmaschinen beträgt 15 ÷ 500 l in der Stunde, je nach Maschinenleistung (s. Tabelle 11). An der Vorderseite der Maschine ist eine metallische Stirnplatte (meist Messing) angebracht,

in deren T-förmigen Nuten der untere, feststehende Elektrodenarm mit Schrauben befestigt ist. An dieser Platte können Elektrodenarme beliebiger Form und Ausladung in allen gewünschten Lagen ausgewechselt werden. Über dem feststehenden Arm befindet sich der obere ausschwenkbare, dessen Bewegung durch den Fußhebel vermittelt wird; dieser Arm ist in seiner Ausladung verstellbar und auch seitlich drehbar, so daß er in jede gewünschte Lage zum Schweißgut gebracht werden kann. In den vorderen Enden der beiden Arme befinden sich die axial genau übereinanderstehenden, kupfernen Elektroden. Sie sind, rascher und leichter Auswechslung halber, meist mit normalem Morsekonus versehen und werden, wie später gezeigt werden soll, sehr vielseitig ausgebildet.

Die Ausladung der Arme, besonders die Beschaffenheit des Unterarms, richtet sich nach der Form und Sperrigkeit des Schweißgutes. So kommen auch gekröpfte, winklige oder sonstwie gebogene Arme vor; man wird von Fall zu Fall für jeden Sonderzweck geeignete Einrichtungen treffen. Mitunter ist sogar ein seitliches Ausschwenken des ganzen Maschinenkopfes vorteilhaft. Man trennt dann das Transformatorengehäuse vom Fußgestell, lagert es in einer mit Zahnsegment ausgestatteten Achse

und bewegt das Ganze, einschließlich der Elektroden, durch ein mit Handrad betriebenes, auf dem Segment laufendes Ritzel.

**Sondermaschinen.** Eine große Rolle spielt das Schweißen hochwertiger Stähle, wobei es zwei verschiedene Möglichkeiten der Arbeitsdurchführung gibt. Es handelt sich dabei um das Aufschweißen von Edelstahl- oder Schnelldrehstahlplättchen auf Werkzeugstähle geringerer Güte. Die Aufschweißung geschieht neben dem Abschmelzverfahren auch durch Punkten, wofür sog. Edelmetallaufschweißmaschinen gebaut wurden, die ein Aufschweißen von Stahlplättchen auf Dreh- und Hobelstähle in jedem beliebigen Winkel gestatten.

Als weitere Sondermaschinen verdienen hervorgehoben zu werden: die Schnellpunktschweißmaschine und die Mehrpunktschweißmaschine. Erstere wird z. T. als Ersatz für die Nahtschweißmaschine verwandt und unterscheidet sich von normalen Konstruktionen vor allem dadurch, daß sie neben Hand- und Fußhebelbetrieb mit motorischem Antrieb ausgerüstet ist. Die Punkte

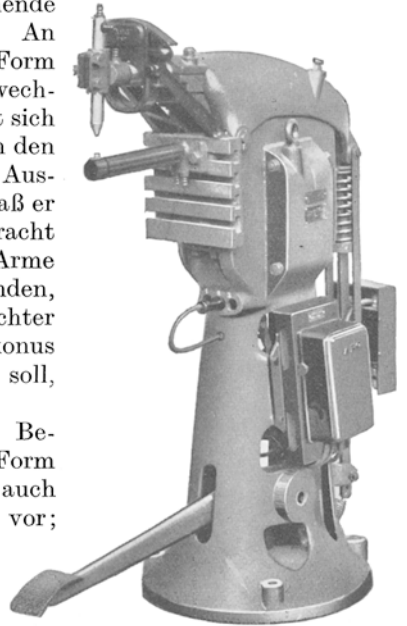


Abb. 61. Normale Punktschweißmaschine mit Schweißkontroller.

können dadurch in sehr rascher Folge, bis zu drei Punkten je Sekunde, gesetzt werden. Die Arbeitsweise gleicht etwa der einer Nähmaschine; die meist weit ausladenden schweren Elektrodenarme stehen während des Betriebes fest, und lediglich der obere Elektrodenkopf ist senkrecht beweglich, da bei dieser Schnellschweißung große Massenbewegungen ausgeschaltet sein müssen. Entsprechend der Arbeitsgeschwindigkeit und meist großer Armausladung haben diese Maschinen für gleiche Blechdicken eine höhere Leistungsaufnahme als normale (etwa 60 kVA). Abb. 62 veranschaulicht eine solche Maschine.

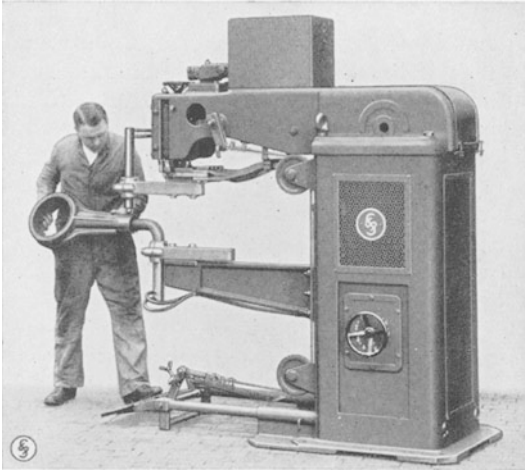


Abb. 62. Schnellschweißmaschine.

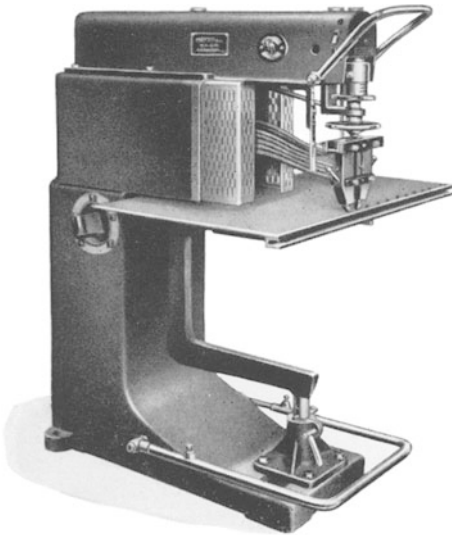


Abb. 63. Doppelpunktschweißmaschine.

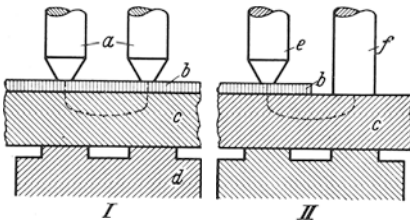


Abb. 64. Schema der Doppelpunktschweißung.

Die Mehrpunktmaschine gestattet das gleichzeitige Setzen mehrerer Punkte und ersetzt mitunter die Stumpfschweißung, z. B. in der Kettenherstellung, beim Schweißen zweiteiliger Kettenglieder. Die Mehrpunktschweißung geschieht im allgemeinen doppelseitig, also in der bisher beschriebenen Weise, nur, daß hier mehrere Elektrodenpaare gleichzeitig zusammenarbeiten. Das Bestreben, sich vom Gesamtschweißquerschnitt und der Form des Werkstücks möglichst unabhängig zu machen und große Querschnitte erfassen zu können, führte zur Konstruktion von Doppelpunktmaschinen, von denen eine Vertreterin neuester Bauart in Abb. 63 wiedergegeben ist. Die Anordnung der Elektroden zeigt das Schema Abb. 64. Die Elektroden *a* sind nebeneinanderliegend und in ihrem Mittenabstande zwischen 20 und 100 mm verstellbar. Der Stromweg ist durch eine gestrichelte Linie angedeutet. Daraus ergibt sich, daß das Unterteil *b* der Verbindung beliebige Abmessungen haben kann und nur die Blechdicke *b* (Oberteil) für die Leistung der Maschine maßgebend ist. Als Gegenlager dient zumeist ein bei *d*, also gegenüber der Elektrode, abgesetztes Formstück. Soll nur ein Punkt gesetzt werden, so wird, wie in Abb. 64 II gezeigt wird, nur die Elektrode *e* normal ausgeführt, während *f* mit großer Auflagefläche als Blindelektrode dient.

Die fünfstufig regelbare Maschine Abb. 63 hat einen ausziehbaren Schlitten-

kopf. Der Transformator ist mit diesem beweglich, wodurch der Sekundärstromweg die gleiche Länge behält. Der Unterarm ist schwenkbar und der Schlittenstellung anpaßbar. Um gleichen Elektrodendruck zu erreichen, ist eine Parallelogrammführung mit selbsttätigem Ausgleich vorgesehen. Der Elektrodendruck ist nach einer Skala durch Handrad regelbar. Die Maschine hat eine Spartransformatorschaltung und arbeitet mit Schweißkontroller.

### 3. Die Technik der Punktschweißung.

**Anwendungsgebiete.** Die Punktschweißung läßt sich außerordentlich vielseitig anwenden. Um nur einige Beispiele herauszugreifen, mögen genannt sein: Das Schweißen von Blechwaren aller Art, wie Ofentüren, Radiatoren, Jalousien, Blechmöbel, Blechschornsteine, Karosserien; das Schweißen von Spielzeugen, Drahtwaren (Lampenschirmgestellen), Sicherungen, Schreibmaschinenteilen und vieles andere mehr. Ein dankbares Betätigungsfeld findet das Punktschweißen auch in der Emaillierwarenindustrie zur Befestigung von Henkeln, Griffen und Zotten an Geschirr aller Art und bei der Verschweißung leichter Eisenkonstruktionsteile. Einige einfache Anwendungsbeispiele sind in Abb. 65 zusammengestellt; die einzelnen Schweißpunkte sind deutlich sichtbar gemacht. Einige andere Anwendungsfälle kommen noch bei der Besprechung der Elektroden zur Sprache.

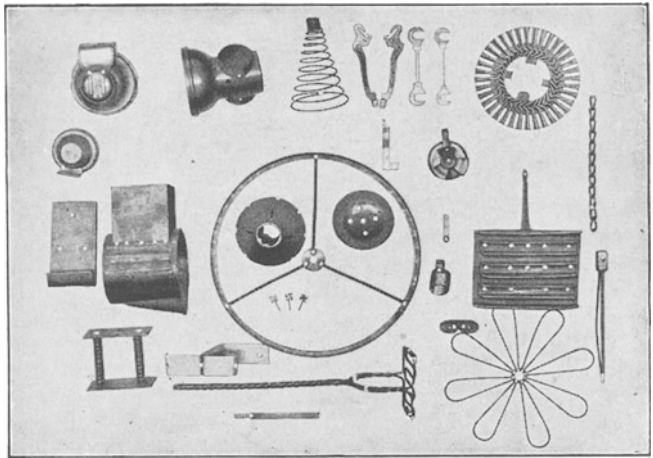


Abb. 65. Elektrische Punktschweißungen.

**Werkstoffdicken.** Dank der ausreichenden Regelfähigkeit besteht eine Begrenzung nach unten kaum, und es können noch die dünnsten Bleche und Drähte gut punktgeschweißt werden. Demgegenüber gibt es naturgemäß eine obere Grenze für die technische Durchführbarkeit und nicht zuletzt für die Wirtschaftlichkeit der Punktschweißung; sie liegt in der Gegend von 25 mm Gesamtdicke. Eine in Amerika probeweise in Betrieb genommene außergewöhnlich große Punktschweißmaschine hat zwar eine um über das Doppelte größere Leistung, doch scheinen rein wirtschaftliche Überlegungen gegen so schwere Maschinen zu sprechen. Die erwähnte Maschine ist für 2 · 38 mm Einzeldicke, mithin für 76 mm Gesamtblechdicke eingerichtet, benötigt 35 t Schweißdruck, 30 s Schweißdauer je Punkt und eine Stromstärke von 100000 A bei 20 V Spannung. Ihr Gewicht beträgt rund 6000 kg. In der Praxis wird man über 20 mm Gesamtdicke nur selten hinausgehen, um so weniger als die Druckfestigkeit des als Elektrodenwerkstoffs verwendeten Kupfers nicht ausreicht, um den immerhin bedeutenden Schweißdruck ohne Schaden auszuhalten. Außerdem treten durch die starke Erhitzung der unter Umständen in der Mitte großflächiger Bleche gelegenen Schweißpunkte erhebliche Spannungerscheinungen auf, die zu einer Verziehung der Bleche führen können.



Man könnte nun glauben, die Punktschweißung erstrecke sich nur auf die Verbindung zweier Metalle gleicher Dicke. Das trifft jedoch nicht zu, wie einige Abbildungen noch zeigen werden. Es können sowohl zwei verschieden dicke, wie ein ganzes Bündel Bleche gepunktet werden, wenn nur die Wahl der Elektroden und Stromstärke richtig getroffen wird. Darum können auch ohne Schwierigkeit dünne Bleche auf Winkel-, Flach-, Quadrat- oder anderes Eisen aufgepunktet werden.

**Schweißdauer.** Durchschnittswerte für Schweißdauer, Leistungsaufnahme der Maschinen für verschiedene Blechdicken sowie der Bedarf an Kühlwasser für die Elektroden sind in Tabelle 11 zusammengestellt. Die angegebene Schweißdauer

Tabelle 11.

Höchste Leistungsaufnahme kVA	Schweißbare Gesamtbledicke (Eisen) mm	Zeitdauer für einen Schweißpunkt s	Mittlerer Kühlwasserverbrauch l/h	Höchste Leistungsaufnahme kVA	Schweißbare Gesamtbledicke (Eisen) mm	Zeitdauer für einen Schweißpunkt s	Mittlerer Kühlwasserverbrauch l/h
2	1 (2 × 0,5)	1,8	30	16	12 (2 × 6)	9,0	180
4	2 (2 × 1,0)	2,0	75	18	14 (2 × 7)	10,5	195
8	5 (2 × 2,5)	3,4	100	25	16 (2 × 8)	13,0	200
10	6 (2 × 3)	4,5	130	30	20 (2 × 10)	18,5	230
12	8 (2 × 4)	6,5	150	50	24 (2 × 12)	23 ÷ 26	300

dürfte die praktisch erreichbaren Mittelwerte darstellen. Das geringste Zeitmaß für die Herstellung eines Schweißpunktes auf normalen Maschinen (bei Blechen unter 1 mm) sind etwa  $\frac{3}{10}$  s. Roh gerechnet kann man annehmen, daß — normale Stromstärke vorausgesetzt — je 1 mm Gesamtbledicke höchstens 1 s Schweißzeit erfordert, d. h. 2 Bleche von je 4 mm Dicke benötigen  $\sim 8$  s. Im übrigen hängt die Schweißdauer von der Beschaffenheit der Blechoberfläche ab; dekapierte (d. h. zunderfreie) Bleche sind rascher schweißbar als gewöhnliche, zudem noch unsaubere Bleche. Die Schweißzeit soll zur Vermeidung von Wärmeverlusten (Wärmeverschleppung) so kurz wie möglich bemessen werden. Je kürzer die Schweißzeit, um so geringer die Wärmeabwanderung und das Verziehen des Blechs.

Auf die Schweißdauer haben die verschiedenen Abmessungen der beiden Bleche nur geringen Einfluß. So ist es für die Schweißzeit ziemlich belanglos, ob bei 10 mm Gesamtdicke 2 · 5 mm Bleche oder ein solches von 8 mit einem anderen von 2 mm zusammengeschweißt werden. Dagegen ist die Form des Schweißgegenstands für die Schweißdauer ausschlaggebend. Die in Tabelle 11 vermerkten Werte haben nur auf offene Körper Bezug, also auf gestreckte oder sonstwie geformte, aber nicht zusammengeschlossene Bleche. Geschlossenes Schweißgut, wie Blechrümpfe, Eimer, Zargen und Rohre, erfordern einen um 15–40 vH höheren Zeitaufwand (vgl. Abb. 48 und zugehörigen Text).

Als Höchstzahl der in achtsündiger Arbeitsschicht bei Fußhebelbetrieb an dünnen Blechen ausführbaren Schweißpunkte können 15000 angenommen werden, ein Beweis für die Billigkeit des Punktschweißens im Verhältnis zum Nieten.

**Selbsttätige Regelung der Schweißdauer.** Bei den weitaus meisten Maschinen wird die Schweißdauer dem Ermessen des Arbeiters überlassen. Nun hat aber die Erfahrung längst gelehrt, daß selbst sonst zuverlässige Arbeiter, wenn sie stunden- und tagelang einen Schweißpunkt hinter den anderen setzen, dem einzelnen Schweißpunkt nicht mehr die erforderliche Aufmerksamkeit widmen oder infolge Ermüdens auch nicht mehr widmen können. Die Folgen davon sind: Stellenweises Verbrennen, ungenügendes Durchschweißen, überhaupt ungenügend

festen Schweißpunkte, alles Mängel, die sich in einer Naht von Schweißpunkten so und so oft wiederholen. Die Elektroden verschmoren und müssen ausgebessert werden. Diese Erscheinungen wachsen, wenn das Blech aus schlecht schweißbarem Metall besteht, da besonders hier ein kurzer Augenblick falsch bemessener Schweißzeit das Ergebnis entscheidend beeinflussen kann. Die Verhältnisse sind noch ungünstiger, wenn man es mit Metallen zu tun hat, deren Übergang vom festen in den flüssigen Zustand plötzlich, ohne die Zwischenstufe des plastischen Zustands, vonstatten geht. Zu diesen gehören vor allem Aluminium, dann Messing, Zink u. a.

Vergegenwärtigt man sich, daß die Bestimmung der Schweißhitze, die ja für die Güte der Schweißung grundlegend ist, nicht immer einfach ist und lediglich der Willkür des Arbeiters überlassen bleibt, so muß man zu der Einsicht kommen, wie wichtig es ist, menschliche Schwächen auszuschalten und maschinelle Mittel zur Schweißdauerbestimmung zu benutzen. Wenngleich damit noch lange nicht gesagt sein soll, daß nun jeder einzelne Schweißpunkt einwandfrei sein muß, so ist doch die Wahrscheinlichkeit des besseren Ausfalls einer Gesamtzahl von Schweißungen entschieden größer. Man hat bereits solche Einrichtungen, selbsttätige Schalter (Schweißkontroller, Schweißstrombegrenzer), geschaffen, die dem Arbeiter die Festlegung der Schweißzeit abnehmen. Über eine Anzahl verschiedener Konstruktionen hinaus ist man schließlich zur Erkenntnis gelangt, daß das Produkt aus Zeit und mittlerer Schweißstromstärke für jeden einzelnen Schweißpunkt bei einer bestimmten Blechdicke stets dasselbe (konstant) sein muß, und man hat heute brauchbare Automatschalter auf dem Markte, die dieser Forderung genügen (s. Abb. 61).

Das Neueste auf dem Gebiete der Punkt- und Nahtschweißung ist die Gittersteuerung der Stromstärke, die den Vorzug geringster Einzelschweißzeiten (bis zu  $\frac{1}{200}$  s) hat, was sich bei der Schweißung geringer Querschnitte auch an Nichteisenmetallen günstig auswirkt, z. T. überhaupt erst deren Schweißung ermöglicht. Die kurze Schweißdauer begrenzt die Erhitzungszone auf den Kernquerschnitt des Schweißpunktes, wodurch die besonderen Güteeigenschaften des Werkstoffs an den Oberflächen unverändert bleiben, z. B. bei nichtrostenden Stählen. Die Gittersteuerung bedient sich zweier motorisch angetriebener Schaltwalzen und zweier Quecksilberdampf-Gleichrichterröhren mit Gittern im Primärkreis des Transformators. Die Glasgleichrichter sind zur Ausnutzung beider Halbwellen des Wechselstroms im entgegengesetzten Sinne parallelgeschaltet und werden durch die eine synchron laufende Schaltwalze gesteuert. Die andere Schaltwalze schaltet den Strom im einstellbaren Verhältnis von Stromzeit und -pause ein und aus. Schließlich übernimmt die Gittersteuerung die Feinregelung der Stromstärke, indem jede Halbwelle durch Aufhebung der Gittersperrung angeschnitten und der Effektivstrom durch zeitliche Verschiebung der Gitterspannung stetig geregelt werden kann. Die Phasenverschiebung ist durch Verdrehen des drehbar gelagerten Motorgehäuses einstellbar.

**Leistungsaufnahme.** Sie richtet sich selbstverständlich nach der Leistung der Maschine und beträgt, wie aus Tabelle 11 ersichtlich ist, normalerweise zwischen 2 und 50 kVA. Die Tabellenwerte setzen Maschinen mit normaler Längenausladung der Elektrodenarme voraus. Diese soll bei kleineren und mittleren Maschinen 500 mm, bei größeren 1000 mm nicht überschreiten. Der Grund ist einerseits der, daß mit wachsender Ausladung der Arme eine gesteigerte Leistungsaufnahme (bis zu 30 vH) erforderlich wird, andererseits aber auch der, daß die mechanische Beanspruchung mit der Länge des Armes zu sehr gesteigert würde, da ja die untere Elektrode als Widerlager dient und im allgemeinen auf ihre ganze

Baulänge freitragend sein muß. Erwünscht ist daher ganz allgemein geringste Ausladung der Arme, und nur dort sind längere Arme vorzusehen, wo die Form des Schweißguts es erfordert. Soll bei geschlossenem Schweißgut die Schweißdauer vermindert werden, dann muß die Leistungsaufnahme eine dementsprechende Erhöhung erfahren. Außerdem ist die Leistungsaufnahme abhängig von der zwischen die Arme gebrachten Metallmasse.

Welche Leistungen sind mit einer Kilowattstunde (1 kWh) Stromverbrauch erreichbar? Man kann annehmen, daß 750 Schweißpunkte an einer Gesamtlechdicke von 2 mm ( $2 \cdot 1$  mm) rund 1 kWh benötigen. Doch läßt sich die Anzahl der Punkte um etwa das Vierfache steigern, wenn bei Verwendung dekapierten Bleches die Schweißung mit Automatschaltern erfolgt. Bei 8 mm Gesamtdicke ( $2 \cdot 4$  mm Blech) sind mit gleichem Stromverbrauch noch etwa 80 Punkte ausführbar.

**Elektrodenformen.** Nach der Art des Schweißgutes und nach der Lage der Schweißpunkte ist die Wahl der Elektrodenform zu treffen. Eine Anzahl Skizzen soll die Formenverschiedenheit der Elektroden und ihre Verwendbarkeit vor Augen führen. Zunächst sei noch vorausgeschickt, daß nach unseren früheren Erwägungen die Elektroden, soweit ihre Abmessung, vor allem ihr Durchmesser, es zuläßt, von Kühlwasser durchflossene Hohlkörper sind. Kleine Elektroden, die eine Ausbohrung nicht gestatten (Abb. 73 a), kühlt man mittelbar dadurch, daß die sie aufnehmenden Arme ausreichend von Wasser durchflossen werden. Gründliche Kühlung der Elektroden ist für deren Lebensdauer ausschlaggebend. Bei Betriebsstillstand ist das Kühlwasser abzusperren, da sich sonst Kondenswasser bildet, das für den Transformator schädlich werden kann.

Die Normalelektrode hat die Form der Abb. 66 a. Sie ist am unteren Ende kegelstumpfförmig verjüngt und trägt oben einen Morsekonus, der zwecks rascher Auswechslung lediglich in den Elektrodenhalter der Maschine hineingesteckt wird. Bei Ausführung des ersten Schweißpunktes zieht sich der Konus von selbst fest an. Der Durchmesser der Kegelfläche ist abhängig von der Art des zu schweißenden Werkstoffs und dessen Dicke. So kann man für Abb. 66 b

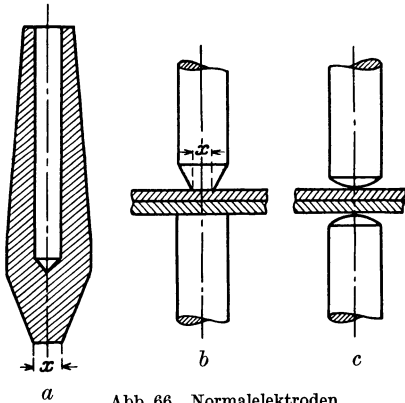


Abb. 66. Normalelektroden.

den Durchmesser  $x = 3$  mm setzen für Eisen- oder Stahlblech von  $0,3 \div 0,8$  mm Dicke,  $x = 4,5$  mm bei  $0,8 \div 1,3$  mm Blech und  $x = 6$  mm bei  $1,6 \div 2$  mm Blech. Über diese Dicken hinausgehend empfiehlt sich die Anwendung zweier zugespitzter Elektroden nach Art der Abb. 66 a. Das Maß  $x$  beträgt dann beiderseits (auch für die Gegenelektrode) für  $2,3 \div 2,5$  mm Dicke  $x = 6$  mm, für  $2,9 \div 3,8$  mm  $x = 7,5$  mm und endlich für  $4,1 \div 5,5$  mm  $x = 9$  mm. Vielfach ist auch eine leichte Wölbung (abgerundete Fläche) der Elektroden zweckmäßig, insbesondere beim Schweißen galvanisierter oder verkleideter Bleche. Elektroden solcher Form sind für fast alle Metalle brauchbar.

Die Anwendung stab- oder stiftförmiger (zylindrischer) Elektroden geht aus den Abb. 67 a  $\div$  d und 68 a  $\div$  c hervor, und zwar ist die Schweißung zweier gleich dicker, üblich überlappter Bleche in Abb. 67 a, die zweier ungleich dicker Bleche in Abb. 67 b skizziert, während c das Punkten bei geringer Überlappung zweier Bleche darstellt. Das Punkten eines Blechpaketes (mehr als zwei Bleche

aufeinander) ist in Abb. 67*d* angedeutet. Einige praktisch wichtige, häufig wiederkehrende Fälle des Punktens von Formeisen auf Blech oder Stabeisen unter sich sind in Abb. 68*a*÷*c* veranschaulicht.

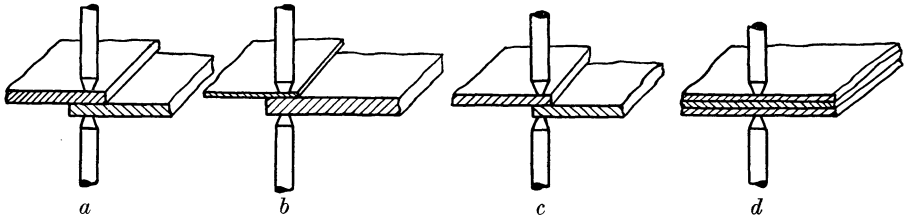


Abb. 67. Anordnung der Bleche.

Wenn es die Lage der Schweißpunkte und die Form des Gegenstands erfordern, sind die Elektroden ein oder mehrmals abzukröpfen. Gekröpfte oder Winkel-Elektroden sind in Abb. 69 und 71 dargestellt. In Abb. 69*a* und *c* sind nur die unteren, in Abb. 69*b* und 71*a* beide Elektroden gekröpft. In Abb. 71*b* ist nur die obere Elektrode winklig, während die untere gerade angeordnet ist. Einen Sonderfall zeigt Abb. 70, wobei es sich um das Punkten von Rundeisenstäben oder Ringen handelt und beide Elektroden mit einer diese Form aufnehmenden Hohlkehle ausgestattet sind. Das Anschweißen zylindrischer oder ähnlicher Stifte oder Bolzen an Bleche (Zapfenschweißung) erfordert eine besondere Ausbildung der unteren Elektrode, wie dies in Abb. 72 skizziert ist. Die Auflagefläche der oberen Elektrode entspricht etwa dem Stiftdurchmesser, während die untere Elektrode hohl gehalten ist und den Stift aufzunehmen hat. Das Maß *a*,

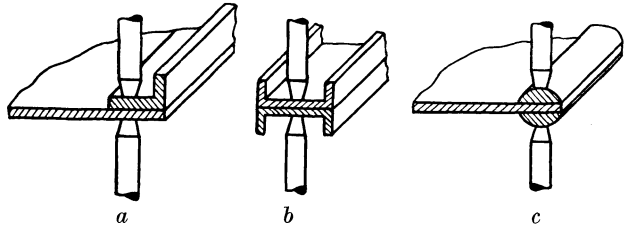


Abb. 68. Punktschweißung bei Formeisen.

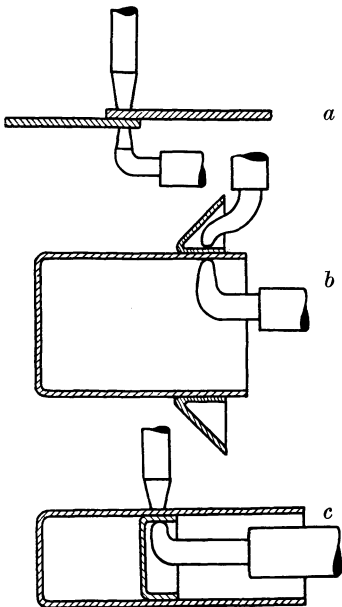


Abb. 69. Gekröpfte Elektroden.

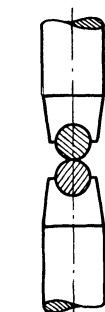


Abb. 70. Elektroden für Rundstäbe.

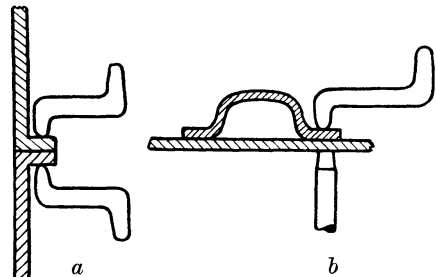


Abb. 71. Gekröpfte Elektroden.

um welches die obere Fläche des Stifts die Elektrode überragt, beträgt  $1 \div 2$  mm. Auf ähnliche Weise werden zur Verstärkung dienende Butzen an Blechkonstruktionen angeschweißt. Zwischen Dicke des Bleches und Zapfendurchmesser müssen bestimmte, praktisch zu erprobende Verhältnisse bestehen. Der Zapfen soll mög-

lichst kein Mittelloch enthalten und nicht ringförmig sein, da ja die Erhitzung von der Mitte des Zapfens aus beginnt.

Schließlich ist in Abb. 73 noch ein Sonderfall der Verlängerung des unteren Auslegerarmes wiedergegeben. Die eigentliche, auswechselbare Elektrode *a* wird

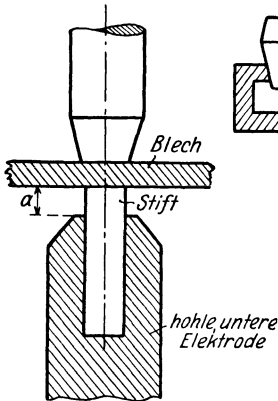


Abb. 72. Elektroden für Zapfenschweißung.

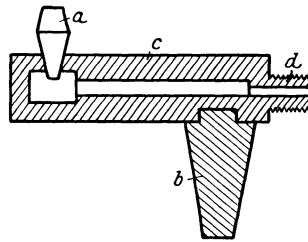


Abb. 73. Unterarmverlängerung mit auswechselbaren Elektroden.

in das Verlängerungsstück *c*, das bei *d* den Nippel für die Kühlwasserzuführung trägt, hineinsteckt. Der Ansatzkonus *b* wird von der Bohrung des Elektrodenhalters am Unterarm aufgenommen. Diese Verlängerung ist auch dann erwünscht, wenn der Durchmesser des unteren Armes das Überstecken kleiner Hohlkörper verhindert.

**Reinigung und Lebensdauer der Elektroden.** In der Abnutzung weit fortgeschrittene Elektroden werden rau, rissig, verschmort und sind von Kupferoxydul umgeben, was sich an der schwarzen Färbung des Kupfers der Elektroden erkennen läßt. Um

alle sich daraus ergebenden Schwierigkeiten beim Schweißen zu beseitigen, ist von Zeit zu Zeit ein Säubern der Elektroden mit Schmirgelpapier oder mit einer Schlichtfeile unerlässlich. Auch die Elektrodenarme und Verbindungsstellen an der Maschine sind hin und wieder gut zu reinigen, weil Zunder, Fett und Schmutz aller Art Nichtleiter sind und geringe Mengen davon genügen, um bei der niederen Spannung, mit der die Maschine betrieben wird, schlechten Kontakt zu geben. Dieser bringt aber erhöhten Stromverbrauch und schlechte Schweißergebnisse, außerdem ein Warmwerden der Elektrodenarme mit sich.

Aus den erwähnten Gründen sind die Elektroden der Punktschweißmaschine leider einem verhältnismäßig raschen Verschleiß unterworfen und müssen häufig ausgewechselt werden, da das wiederholte Abfeilen sehr bald die Elektroden unbrauchbar macht. Deshalb ist man zu legiertem Kupfer oder auch anderen druckfesteren Metallen übergegangen. Letztere werden in Form kleiner Plättchen auf die Elektrodenflächen aufgeschweißt oder -gelötet, z. B. Wolfram (s. auch S. 57). Ein vielfach und immer wieder anzutreffender Fehler ist der, die Elektrodenflächen, die durch den fortwährenden Stauchdruck naturgemäß vergrößert werden, zu groß zu belassen. Erfahrungsgemäß soll bei normalen Arbeiten die obere Elektrodenfläche zwischen 3 und 6 mm Durchmesser haben, während man die Gegenelektrode etwas größer wählt. Ungünstig geformte Elektroden, insbesondere gekröpfte und gebogene, von zu kleinem Leitungsquerschnitt und zu breiten Druckflächen, sowie solche mit schlechter Kühlung erhöhen Zeit- und Energiebedarf und sind raschem Verschleiß unterworfen.

**Der Schweißdruck.** Er richtet sich außer nach der Dicke auch nach der Schwere des Metalls, und zwar muß der Druck mit der Schwere des Metalls steigen. Ferner ist die Reinheit der Werkstoffoberfläche von Bedeutung für das Maß des Schweißdrucks; z. B. erfordern verzünderte Bleche, die den Widerstand an der Schweißstelle erhöhen, sowie Aluminium einen höheren Druck als reine. Im Gegensatz hierzu kann beim Schweißen gut leitender Metalle, wie Kupfer, Messing, Zinn und beim Schweißen galvanisierter oder sonstwie überzogener Eisenbleche der Druck ermäßigt werden; jedoch ist in diesen Fällen mehr Strom erforderlich. Der richtigen Bemessung des Schweißdruckes ist besonderes Augenmerk zuzu-

wenden. Eine Erhöhung des Druckes über das tatsächlich benötigte Maß hinaus ist nicht allein zwecklos, sondern auch schädlich, da der nutzbare Widerstand an der Schweißstelle verringert wird. Da die Elektroden, sofern sie richtig beschaffen sind, auf der Metalloberfläche eine bessere Auflage haben als die Metallteile unter sich, ist auch der Widerstand beim Übergang des Stromes von den Elektroden zum Schweißgut geringer als zwischen den Blechen. Wird ein zu kleiner Druck ausgeübt, so treten ähnliche Zustände ein wie bei zu starkem Strom; es bilden sich auffällig viel Funken an der Schweißstelle. Wird der Stromkreis geschlossen, bevor die innige Berührung der Metalle herbeigeführt ist, was auch eine Folge zu geringen Druckes sein kann, dann bilden sich zwischen beiden Blechen Nebenstromwege (Lichtbogen), die statt zu einer Schweißung zu einem beiderseitigen Einbrennen von Löchern in die Bleche führen. Daraus ergibt sich die Notwendigkeit, die Bewegung des oberen Elektrodenarmes zu regeln. Auf einfachste Weise erreicht man dies durch Anordnung einer verstellbaren Anschlagschraube am Maschinenkopf; eine geringe Verstellung genügt, um die Elektroden näher zusammenzubringen oder umgekehrt. Die Bleche müssen satt aufliegen und dürfen nicht, wie Abb. 74 zeigt, sperren. Mitunter bedient man sich der in Abb. 75 angedeuteten Buckelschweißung, die darauf beruht, das obere Blech mit Körnereindrücken zu versehen, um von vornherein eine gute Berührung zwischen den Blechen zu erzielen. Um einen gleichmäßigen Flächendruck zu erreichen, muß die Auflagefläche der Elektroden planparallel stehen, da sonst ein einseitiger Kantendruck ausgeübt wird.

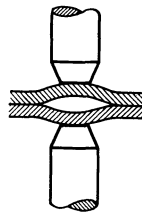


Abb. 74. Schlechtes Aufliegen der Bleche.

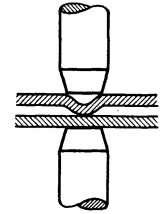


Abb. 75. Buckelschweißung.

Auch bei richtigem Schweißdruck hinterläßt jedes Punkten auf beiden Seiten des Schweißguts eine Vertiefung (Eindruck), deren Tiefe von der Blechdicke, dem Elektrodendurchmesser und der Höhe des Schweißdrucks abhängt. Dort, wo diese Vertiefungen aus irgendeinem Grunde (Schönheitsrücksicht) stören, kann man sich damit helfen, sie nur auf eine Seite des Gegenstands zu verlegen. Das geschieht in einfacher Weise derart, daß man die Elektrodenfläche auf jener Seite, wo eine Vertiefung der Punkte unterbleiben soll, vergrößert (Abb. 76 a) und die Gegenelektrodenfläche verkleinert (Abb. 76 b, s. auch Abb. 14 links).

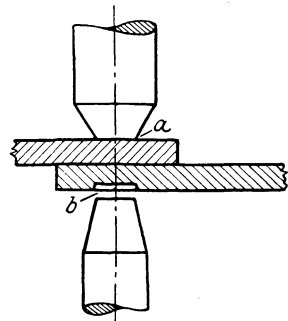


Abb. 76. Elektroden für einseitige Schweißindrücke.

**Ausführung von Punktschweißungen.** Sie ist, neben der Eigenart des Werkstoffs, in hohem Maße abhängig von der Beschaffenheit der Elektroden, weshalb wir auf diese auch im folgenden immer wieder zurückgreifen müssen. Die besten Schweißergebnisse werden an dekapierten und reinen Schwarzblechen und an Stahlblechen erzielt. Die Verwendung zundrigen, verrosteten oder sonstwie unreinen (fettüberzogenen) Werkstoffs führt sehr häufig zu Störungen, da gerade Zunder und Rost als Isolationsschicht wirken und dem Stromdurchgang an der Oberfläche Widerstand entgegensetzen. Man wird aus diesem Grunde guttun, derartige Bleche vor dem Punkten mittels Säure zu beizen; andernfalls werden infolge der an den Punkten auftretenden Kraterbildung nicht selten Teilchen herausgebrannt und völlig unsaubere, minderwertige Verbindungen hergestellt. Zur Entzunderung kann auch ein Sandstrahlgebläse dienen.

Es ist, wie betont, von Wichtigkeit, die zu vereinigenden Metalle an den Schweißstellen in innige Berührung zu bringen und auch einen kurzen Augenblick (Bruchteil einer Sekunde) nach Fertigstellung des Schweißpunkts in dieser Berührung verharren zu lassen, um dem örtlich halbgeschmolzenen Metall Zeit zum Erstarren zu geben, bevor der Elektrodendruck nachläßt. Das wird in der Hauptsache durch die Arbeitsweise der Maschine selbst erreicht, da zwischen Stromschluß und Schweißdruck (betätigt durch den Fußhebel), beziehentlich zwischen diesem und der Stromunterbrechung, selbsttätig eine Pause einsetzt.

Beim Aufbringen des Schweißgutes auf den unteren Elektrodenarm muß darauf geachtet werden, daß das Schweißstück nur die Spitze der Elektrode selbst, im übrigen aber nirgends den unteren, stromführenden Arm der Maschine berührt, da sich sonst während des Stromschlusses an den Kontaktstellen Lichtbogen bilden, und das Schweißgut an unerwünschten Stellen rasch angeschmolzen wird. Zur Vermeidung von Kraterbildungen an den Elektroden ist das Schweißgut stets so in die Maschine einzuführen, daß die Außenfläche mit der größeren Elektrode in Kontakt steht (Abb. 76). Mitunter wird die Anordnung eines isolierten Anschlags am unteren Arm oder an der Nutenplatte der Maschine vorteilhaft sein.

**Anordnung der Schweißpunkte.** Diese können beliebig und dem jeweiligen Erfordernis entsprechend angeordnet werden, da ja an keiner Stelle eine Schwächung des Werkstoffs wie beim Nieten (Nietlöcher) eintritt. Die Punkte können deshalb ein-, zwei- oder mehrreihig, geradlinig, parallel oder zickzackförmig wechselweise versetzt angebracht werden, ähnlich den Nietreihen an Blechkörpern. Auch der Abstand der Punkte unter sich kann ganz beliebig sein; er richtet sich zunächst nach der Beanspruchung der Verbindung und weiterhin nach der Gestaltung des Schweißgegenstands. Die Teilung, d. h. die Aufeinanderfolge der Punkte, kann, wenn auf Gleichheit besonderer Wert gelegt wird, durch isolierte Rasten oder ähnliche Vorrichtungen zwangsweise geregelt werden.

## D. Nahtschweißung.

### 1. Schweißbarkeit der Metalle.

Die Nahtschweißung kommt nur für dünne Bleche bis 5 mm Gesamtdicke in Frage und eignet sich, wie alle übrigen Widerstandsschweißverfahren, hauptsächlich für Eisen. Nach den mit Stromunterbrechung arbeitenden Verfahren lassen sich außer dekapierten und nicht hochwertigen Stahlblechen auch gewöhnliches Schwarzblech sowie Weißblech (verzinnertes Eisenblech) und andere metallüberzogene Bleche vereinigen. Das Verfahren ermöglicht auch die Schweißung von Messingblechen in besonders zufriedenstellender Weise.  $V_2A$ -Stahl- und Aluminiumblechnähte sind seit Einführung der gittergesteuerten Nahtschweißmaschinen in hoher Güte herstellbar.

### 2. Nahtschweißmaschinen.

#### a) Die elektrische Einrichtung der Maschinen.

**Übergang zur Nahtschweißung.** Wie sich die Punktschweißung aus der Stumpfschweißung entwickelt hat, so ist die Nahtschweißung wieder aus der Punktschweißung hervorgegangen. Auf jeder gewöhnlichen Punktschweißmaschine läßt sich durch dichtes Aneinanderreihen der einzelnen Schweißpunkte eine ge-

schlossene Naht herstellen, wie dies in Abb. 77 schematisch dargestellt ist. Die beiden Bleche  $a$  und  $b$  sind in der Breite  $d$  überlappt und  $c$  ist die Schweißpunkt-kette, dadurch entstanden, daß jeder folgende Punkt einen Teil des vorausgegangenen deckt. Es lag nun der Gedanke nahe, die Stiftelektroden der Punktschweißmaschine gegen scheibenförmige oder Rollenelektroden auszutauschen und zwischen diesen die zu vereinigenden Bleche hindurchzuziehen, womit die Schweißgeschwindigkeit erhöht wird.

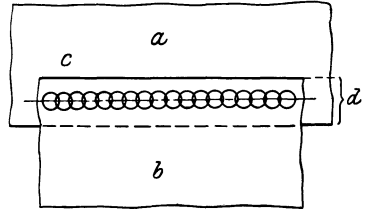


Abb. 77. Dichtes Aneinanderreihen von Schweißpunkten.

**Schaltung und Stromzuführung.** Tatsächlich handelt es sich denn auch bei der Nahtschweißung um eine Rollenelektrodenschweißung, deren Schema aus Abb. 78 zu ersehen ist. An die Stelle der beiden Stiftelektroden der Abb. 59 sind die Rollenelektroden  $a$  und  $b$  getreten. Sie stehen mit der Sekundärwicklung des Transformators  $c$  in Verbindung. Zwischen ihnen werden die Bleche  $a_1$  und  $a_2$  hindurchgeführt. In den Stromkreis der Primärwicklung ist ein fünfstufiger Regelschalter  $d$  eingebaut.  $g$  ist wiederum das Wechselstromnetz,  $f$  der Schalter und  $e$  sind die Sicherungen. Die Stromzuführung geschieht in bekannter Weise zu dem im Maschinengestell untergebrachten Transformator.

Während sich für die Besprechung der bisherigen Maschinenarten eine Teilung in elektrische und mechanische Einrichtungen verhältnismäßig einfach erreichen ließ, trifft dies für die Nahtschweißung nicht zu.

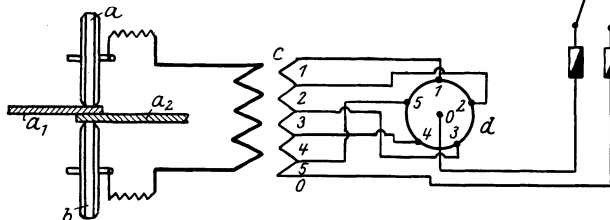


Abb. 78. Schaltung und Stromzuführung bei Nahtschweißmaschinen.

Beide Einrichtungen stehen im engsten Zusammenhang, und wenn hier trotzdem eine gesonderte Betrachtung bevorzugt wird, geschieht dies lediglich im Interesse des leichteren Verständnisses der Vorgänge.

**Die verschiedenen Arten der Nahtschweißung.** Man hat nach dem heutigen Stande der Schweißtechnik zwischen drei verschiedenen Arten der Nahtschweißung zu unterscheiden. Die älteste ist die, bei welcher die Rollen sich gleichförmig ununterbrochen drehen bei stets eingeschaltetem Strom; die zweite besteht darin, die Rollen auch fortlaufend zu drehen, im Gegensatz zur ersten Art jedoch mit unterbrochenem Strom zu arbeiten. Schließlich ist als dritte und letzte die zu nennen, bei welcher sowohl die Bewegung der Rollen als auch deren Stromführung zeitweise unterbrochen wird.

Die älteste Art der Nahtschweißung hat sich nicht gut bewährt. Ihr haften mancherlei Mängel an, auf die kurz eingegangen werden soll. Sie macht vorerst eine möglichst gleichbleibende Spannung notwendig, Spannungsunterschiede von etwa 5 vH genügen, um schlechte Schweißergebnisse zu bekommen. Die Schweißgeschwindigkeit (Vorschub des Bleches zwischen den Rollen) muß gering gehalten werden und darf höchstens 30 mm in der Sekunde betragen, obwohl sich wesentlich größere Geschwindigkeiten erreichen ließen. Höhere Arbeitsgeschwindigkeiten haben aber unbrauchbare und undichte Nähte zur Folge. Die obere Grenze der Anwendbarkeit liegt bei nur 2 mm Gesamtdicke, wobei vollständig zunderfreies,



sauberes (dekapiertes) Blech und kurze Nähte von höchstens 300 mm Länge vorausgesetzt sind. Die Nähte sind schwer dicht zu bekommen, und die Rollenabnutzung ist besonders groß.

Dauernd laufende Rollen, unterbrochener Strom, die zweite Art der Nahtschweißung, ist entschieden vorteilhafter. Die Maschinen sind weniger empfindlich gegen Spannungsschwankungen und Bleche von 4 mm Gesamtdicke sind noch betriebsmäßig schweißbar. Als Überlappungsbreite der Schweißränder genügt ein Viertel der Überlappung nach Verfahren 1, und es können auch leicht ver-

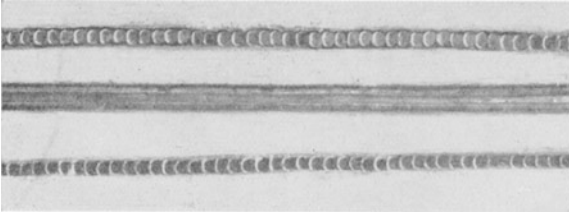


Abb. 79. Aussehen von mit Rollenelektroden geschweißten Nähten.

zunderte Bleche geschweißt werden. Bezeichnungen dieser Nahtschweißungsart sind auch: Maschennaht- oder Pilgerschrittschweißung. Die in bestimmten Grenzen und Zeitzwischenräumen regelbare Stromunterbrechung wird durch einen in den Primärstromkreis eingebauten Stromunterbrecher besorgt,

der zwangsläufig mit dem Regelgetriebe der Maschine gekuppelt ist. Um den Öffnungsfunken zu verringern, wird dem Stromunterbrecher ein hochohmscher Widerstand parallelgeschaltet.

Aus diesen beiden Arten hat sich die dritte entwickelt: die Rollenschrittschweißung. Dieses Verfahren stellt keine ununterbrochene Bandnaht her, Abb. 79 Mitte, sondern eine dem zweiten Verfahren ähnliche, deren Aussehen Abb. 79 oben und unten zu entnehmen ist. Es reiht die in Abb. 77 verketteten Punkte noch enger zusammen, so daß eine schuppenartige Naht entsteht,

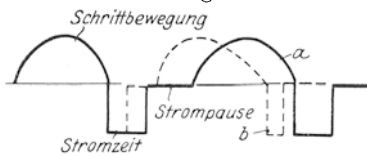


Abb. 80. Arbeitsweise der Rollenschrittschweißung.

ähnlich der oberen und unteren Naht in Abb. 79. Das Wesen der Schrittschweißung ist: Nach der eigentlichen Schweißung die Rollenelektroden bei unterbrochenem Strom noch unter Druck ruhen zu lassen, bis der Schweißpunkt fest geworden ist. Dann wird die Bewegung der stromlosen Rollen bis zum nächsten Schweißpunkt (Rollenschritt) fortgesetzt, wo

durch Wiedereinschalten des Stromes die nächste Schweißung vor sich geht. Diese Arbeitsweise ist aus Abb. 80 zu ersehen, und zwar zeigt die Kurve *a* ein Arbeiten mit langer, die punktierte Kurve *b* ein Arbeiten mit kurzer Stromschlußzeit. Die waagerechten Strecken der Abbildung entsprechen der Zeit, die senkrechten dem Rollenweg (oben) bzw. dem Strom (unten). Der Unterschied in der Stromschlußzeit ist erforderlich, um auch Metalle, die gegen Überhitzung und Durchbrennen empfindlich sind (Messing, Weißblech usw.), einwandfrei schweißen und eine Regelung des Stromes für die verschiedenen Blechdicken bewirken zu können.

#### b) Die mechanische Einrichtung der Maschinen.

**Maschinenarten.** Im Grunde genommen ist die gewöhnliche Nahtschweißmaschine nichts anderes als eine mit Rollenelektroden ausgerüstete Punktschweißmaschine. Tatsächlich kann auch die letztere durch Auswechslung der Elektroden in eine Nahtschweißmaschine verwandelt werden und umgekehrt. Je nach dem Zwecke, dem die Maschine zu dienen hat, unterscheidet man zwischen Längs-

und Quernaht-, zwischen Rund- und Bodennaht-, zwischen Normal- und Sondernahtschweißmaschinen. Eine Gruppe für sich bilden die baulich einfachsten sog. Hohlkörperschweißmaschinen.

**Elektrodenbewegung.** Die Bewegung der Elektroden geschieht bei kleinen Maschinen für kurze Nahtlängen häufig durch einen Handhebel, wobei sowohl die obere wie die untere Elektrodenrolle betätigt werden kann. Die Gegenrolle wird nicht zwangsweise bewegt, sondern läuft unter dem Druck des Bleches selbsttätig mit. Bei Rund- und Quernahtmaschinen stehen die Rollen parallel zur Stirnnutenplatte der Maschine, d. h. rechtwinklig zum Elektrodenarm. Umgekehrt ist es bei Längsnahtmaschinen, wo die Elektroden winklig zur Stirnplatte und parallel zum Arm angeordnet sind. Die obere Elektrode größerer Maschinen und aller Schrittnahtmaschinen wird mechanisch (automatisch) angetrieben, die untere wird wieder durch Reibung mitgenommen, sofern sie genügend großen Durchmesser hat, andernfalls wird auch diese mechanisch bewegt. Es ist nicht immer notwendig, daß zwei Rollen zur Anwendung kommen; manche Gegenstände verlangen eine zweckmäßigere Einrichtung. So kann an die Stelle der unteren Rolle ein stromführender Schlitten, eine Revolverscheibe, ein Dorn oder eine ähnliche Vorrichtung treten. Die obere Rolle bleibt jedoch immer bestehen. Von einigen Abarten abgesehen sind die Hohlkörperschweißmaschinen meist so eingerichtet, daß eine kleine Rolle in der Mitte einer waagerechten Kopfplatte der Maschine mit dieser parallel läuft.

**Verschiedene Nahtschweißmaschinen.** Abb. 81 gibt eine Längsnahtmaschine wieder, die durch Verstellung des oberen Rollenkopfes und durch Auswechseln des Unterarmes von einer Längs- in eine Quernahtschweißmaschine umgestellt werden kann. Der Antrieb der Oberrolle erfolgt motorisch über ein auf neun Geschwindigkeiten regelbares Zahnradgetriebe, in dessen Gehäuse (s. Bild oben rechts) auch der Stromunterbrecher untergebracht ist. Die Maschine ist bis 5 mm Gesamtlechdicke verwendbar; ihre Leistung bewegt sich zwischen 1,25 bis 0,17 m/min, bei einem Energieverbrauch von  $0,03 \div 0,8$  kWh je Meter Naht. Durch Austausch der Rollen gegen Schaftelektroden kann die gleiche Maschine als Punktschweißmaschine verwendet werden.

Das nächste Bild (Abb. 82) stellt ein Paar ebenfalls motorisch betriebener Maschinen dar, die auch mit dauernd laufender Rolle und unterbrochenem Strom arbeiten. Die linke Maschine in Abb. 82 ist eine Rund- oder Bodennaht-, die rechte eine Längsnahtmaschine. Die Einrichtung eignet sich besonders für die Schweißung von Konservendosen, wovon  $\sim 7000$  Stück für  $\frac{1}{2}$  l Inhalt in achtstündiger Arbeitsschicht hergestellt werden können. Der Antrieb erfolgt von einer gemeinsamen Transmissionswelle aus, und zwar wird bei der linken Maschine die untere, bei der rechten die obere Rolle selbsttätig bewegt. Die Verbindung zwischen Vorgelege und Elektrode erfolgt bei beiden Maschinen durch Gelenkketten. In der Mitte des

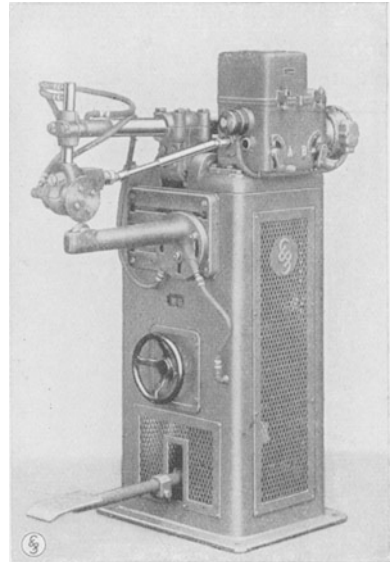


Abb. 81. Nahtschweißmaschine mit Stromunterbrechung.

Bildes ist ein ebenfalls von der gleichen Welle angetriebener Automatschalter angeordnet, dem die Aufgabe der zeitweiligen Stromunterbrechung zufällt.

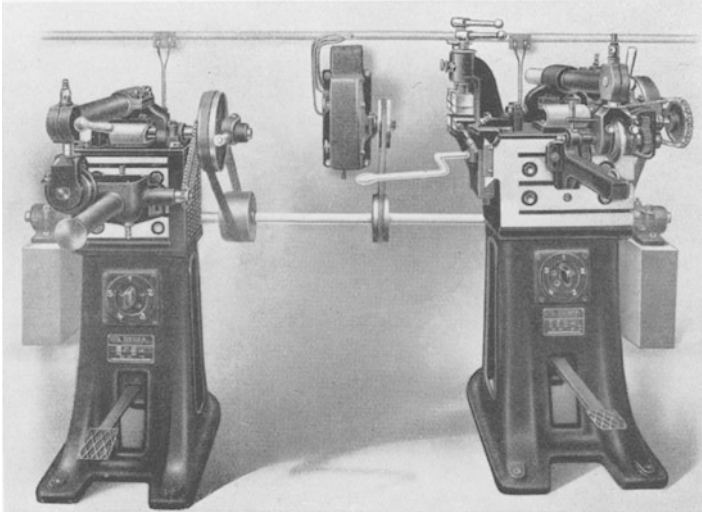


Abb. 82. Längs- und Quernahtschweißmaschinenpaar mit Transmissionsantrieb und Stromunterbrecher.

Die zur Schweißung geradliniger Nähte bestimmte automatische Rollenschnittmaschine (Abb. 83) unterscheidet sich von den übrigen dadurch, daß die untere Rollenelektrode durch einen zylindrischen Unterarm (Dorn, Abb. 87a) ersetzt ist, welcher auf seine ganze Länge als Elektrode dient.

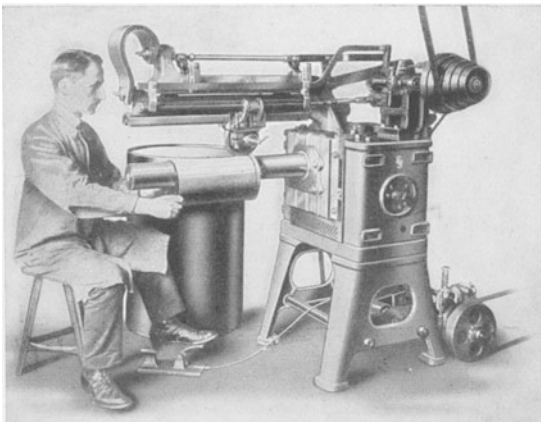


Abb. 83. Rollenschnitt-Nahtschweißmaschine mit Wanderrolle.

Das auf ihn aufgebrachte Werkstück ändert seine Lage auch während der Schweißung nicht, vielmehr läuft das obere Rollenlager in einem Schlitten geführt an einer Spindel schrittweise entlang der Naht (Wanderrollenarmatur). Nach Zurücklegung des jeweilig einstellbaren Schweißweges kehrt die Rolle ohne Schweißwirkung selbsttätig in ihre Ausgangsstellung mit beschleunigter Geschwindigkeit zurück.

Endlich wird als letzter Maschinentyp in Abb. 84 eine Hohlkörpernahtschweißmaschine gebracht, die sich durch ihre Einfachheit besonders auszeichnet. Auf ihr werden die Nähte von Messergriffen, Türgriffen, Feldflaschen, Säbelscheiden, Kannenausgüssen und ähnlichen aus zwei Hälften gestanzten Hohlkörpern geschweißt. Abb. 85 (Abb. 87b) gibt noch das Schema der Maschine wieder. Die zu schweißenden Hälften (*H*) werden in besondere Klemmvorrichtungen (*S*) eingespannt und freihändig an der sich drehenden

Rollenelektrode (*P*), die oben in der Mitte des Maschinentisches sitzt und auch in Abb. 84 sichtbar ist, entlang geführt. Die Verschweißung der Ränder erfolgt entweder durch Einlegen eines Drahtes oder durch die Ränder des Preß- oder Stanzgrats selbst.

### 3. Die Technik der Nahtschweißung.

**Anwendungsgebiete.** Die elektrische Nahtschweißung findet ausschließlich für die Vereinigung von Blechen bzw. schwacher Formeisen mit Blechen Anwendung; sie ersetzt in einer Anzahl von Fällen das Falzen, Nieten, Hart- und Weichlöten sowie die Gaschweißung. Sie dient hauptsächlich zur Herstellung von Blechballagen, Konservendosen aus Weißblech, Emaillierwaren, Benzin-, Öl- und sonstigen Flüssigkeitsbehältern; zur Anfertigung von Eisenfässern, Eimern, Kannen, Rohren, Radiatoren, Transformatorkästen, Eiszellen, Kotflügeln, Radfelgen sowie Blecharmaturen aller Art. Einen kleinen Überblick über die Verschiedenartigkeit nahtgeschweißter Gegenstände gewährt die in Abb. 86 zusammengestellte Gruppe.

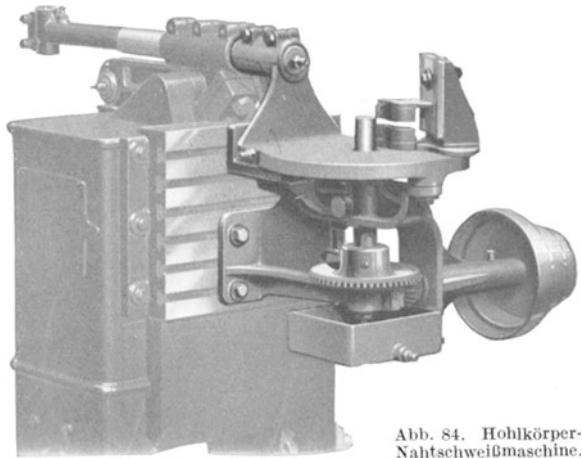


Abb. 84. Hohlkörper-Nahtschweißmaschine.

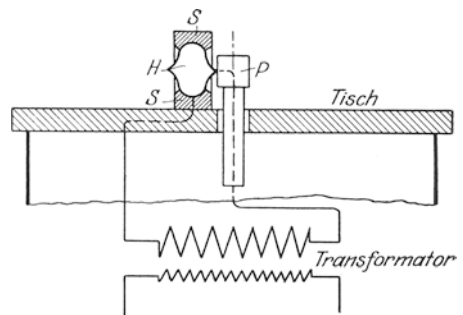


Abb. 85. Schema der Hohlkörperschweißung.

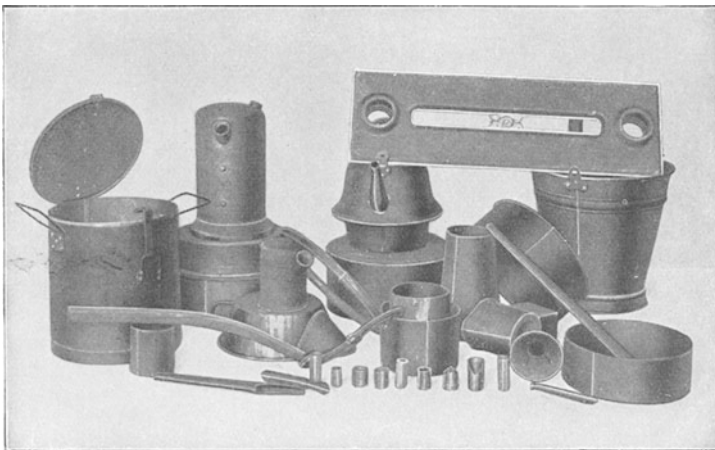


Abb. 86. Beispiele von Nahtschweißungen.

**Werkstoffdicken.** Wie schon erwähnt, bezieht sich die Nahtschweißung im wesentlichen nur auf dünne Bleche, und zwar von den praktisch feinsten Blechen

bis zu etwa 5 mm Gesamtdicke (zwei Bleche von je 2,5 mm). Über 5 mm geht man seltener. Für die gewöhnliche Nahtmaschine ohne Stromunterbrechung stellt die Vereinigung zweier Bleche von je 1 mm Dicke schon eine besondere Leistung dar. Für die Nahtschweißung kommen fast ausschließlich gleich dicke Bleche in Frage, doch lassen sich auch verschieden dicke Bleche schweißen, wenn der Dickenunterschied nicht mehr als 50 vH ausmacht.

**Schweißdauer.** Diese schwankt bei den verschiedenen Maschinenarten um bis zu 50 vH und erreicht theoretisch bei den Maschinen, die ohne Stromunterbrechung arbeiten, ihren Höchstwert. Praktisch ist indessen einwandfrei festgestellt, daß die Überschreitung einer normalen Arbeitsgeschwindigkeit völlig unbrauchbare Nähte ergibt, die nicht innig verbunden, sondern nur geklebt sind, so daß, wenn man mit einem Taschenmesser zwischen den beiden Blechen entlang der Naht fährt, diese ohne Mühe getrennt werden kann. Festigkeit und Dichtigkeit dieser Nähte sind in jeder Weise unzureichend. Die Schweißgeschwindigkeit hängt naturgemäß von der Dicke der Bleche, ihrer Art und Oberflächenbeschaffenheit ab. Die mittlere Schweißgeschwindigkeit für verschiedene Blechdicken ist aus Tabelle 12 zu entnehmen. Die Grenzverhältnisse liegen ungefähr so: Für 1 mm Gesamtdicke — Bleche mit völlig sauberer Oberfläche angenommen —, läßt sich die Arbeitsgeschwindigkeit bis zu 40 mm in der Sekunde (etwa 140 m in der Stunde) steigern. Jedoch tritt dann stets der oben angeführte Mangel auf. Die normale Arbeitsgeschwindigkeit liegt, wie wir sahen, bei etwa 20 mm in der Sekunde, was der bedeutenden stündlichen Leistung von etwa 70 m entspricht. Die Werte beziehen sich auf ununterbrochenes Schweißen ohne Berücksichtigung der durch das Einspannen, Heften usw. notwendigen Arbeitspausen, wodurch die in der Tabelle 12 aufgeführten Leistungen (Arbeitsgeschwindigkeiten) um im Mittel 30 vH verringert werden.

Tabelle 12.

Höchste Leistungsaufnahme kVA	Schweißbare Gesamtblechdicke (Eisenblech) mm	Normale Schweißdauer für 1 m Naht s	Höchste Leistungsaufnahme kVA	Schweißbare Gesamtblechdicke (Eisenblech) mm	Normale Schweißdauer für 1 m Naht s
6	0,4 (2 · 0,2)	30	16	2,5 (2 · 1,25)	110
8	0,8 (2 · 0,4)	50	20	3 (2 · 1,5)	120
10	1,0 (2 · 0,5)	60	25	4 (2 · 2)	150
12	1,5 (2 · 0,75)	75	30	5 (2 · 2,5)	180
14	2 (2 · 1)	90			

**Leistungsaufnahme.** Sie beträgt, wie sich aus Tabelle 12 ergibt, zwischen 6 und 30 kVA, je nach Maschinengröße, wobei Elektrodenarme von normaler Länge vorausgesetzt sind. In Tabelle 12 ist ferner die Leistung in Meter Naht angegeben. Mit 1 kWh lassen sich rund 25 m (20 ÷ 30 m) Schweißnaht an 1 mm Gesamtblechdicke oder 4 m (3 ÷ 5 m) Naht an 3 mm Gesamtblechdicke ausführen.

**Elektrodenformen.** Bei der Besprechung der verschiedenen Maschinenarten sind uns die üblichen Formen der Nahtschweißelektroden bekanntgeworden. Wir haben gesehen, daß sie beiderseits als Rollen ausgebildet sein können (Abb. 81 und 82), oder die untere Elektrode ist von zylindrischer (Abb. 83), dornförmiger (Abb. 87) oder prismatischer Gestalt, je nach dem Gegenstand, der die eine oder andere Einrichtung vorteilhafter erscheinen läßt. Abb. 87 zeigt das Schema der Anordnung der Rollenelektrode zur zylindrischen Gegenelektrode. Beim Schweißen von Hohlkörpern kommt nur eine Rollenelektrode von kleinem Durchmesser zur

Anwendung (Abb. 85 und 87b), während die Gegenelektrode durch ein geteiltes Elektrodenfutter (Abb. 87b, 1 und 2) gebildet wird, dessen Form dem zu schweißenden Gegenstand angepaßt ist. Das Futter dient gleichzeitig als Einspannvorrichtung und wird auf der stromführenden Platte (Abb. 85), aus deren Mitte die sich drehende Rollenelektrode hervorragt, unter Andrücken der zu verbindenden Naht an der Rolle entlang geführt. Da lediglich der beim Stanzen besonders vorgesehene Grat von etwa  $\frac{1}{2}$  mm die Schweißung herbeizuführen hat, so kann an die Naht kein Anspruch auf größere Festigkeit gestellt werden.

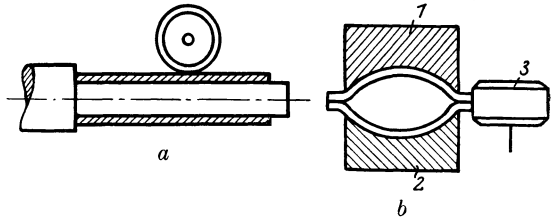


Abb. 87. Elektrodenformen.

Während der Entwicklung der Nahtschweißung machte die Art der Überlappung der Bleche besondere Schwierigkeiten. Diese richtete sich insbesondere nach dem Verfahren, nach dem geschweißt werden sollte, und das Bestreben ging dahin, die Überlappung möglichst gering werden oder ganz in Fortfall kommen zu lassen. In Abb. 89b sehen wir die normale Nahtschweißung überlappter Bleche. Die Rollen sind ähnlich beiderseits konisch abgeschägten Scheiben mit schmaler zylindrischer Lauffläche. Elektroden gleicher Form sind bei überlappter Schweißung in Abb. 89c und d dargestellt, wobei in e die untere Rolle einseitig gelagert ist. Um die Naht zu verstärken und damit die Festigkeit zu steigern, wurden auch Rollen ausgebildet, die in der Lauffläche gewölbt waren und in die schräg ausgearbeiteten, stumpf zusammengestoßenen Blechkanten einen runden oder quadratischen Draht hineinpreßten. Nach der Schweißung hat die wulstförmig verstärkte Naht das Aussehen der Abb. 88e. Dieses Arbeitsverfahren, das nur für Bleche über 3 mm anwendbar ist, hat verschiedene Nachteile und ergibt technische Schwierigkeiten. Die Arbeitsweise Abb. 89a, die Bleche schräg versetzt aneinander zu stoßen, ist ebenfalls weniger gebräuchlich. Dagegen ist die Arbeitsweise Abb. 88b mehr in Anwendung und die der Abb. 88a, die eigentliche Stumpfschweißung, wird angestrebt. Letztere ist nach dem Rollenschritt-

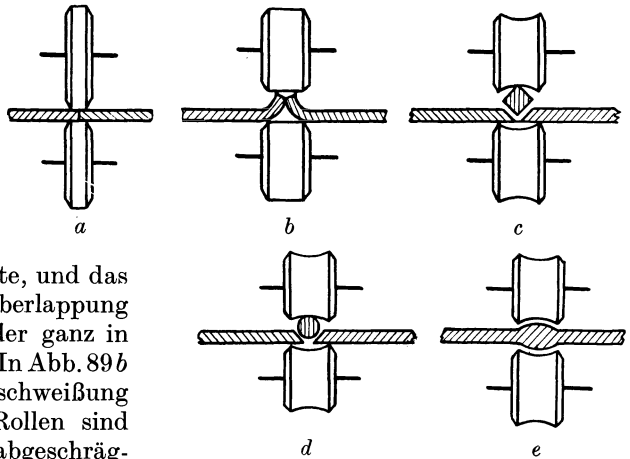


Abb. 88. Elektrodenform und Nahtausbildung.

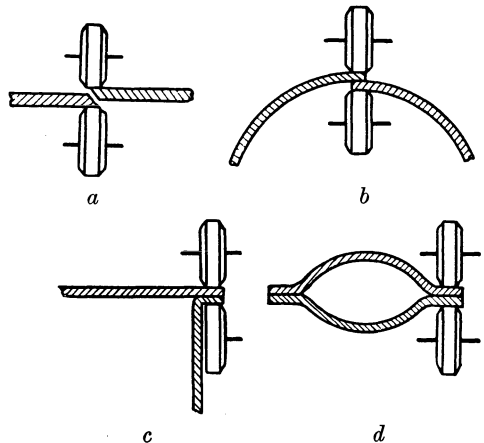


Abb. 89. Elektrodenform und Nahtausbildung.

Die Arbeitsweise Abb. 89a, die Bleche schräg versetzt aneinander zu stoßen, ist ebenfalls weniger gebräuchlich. Dagegen ist die Arbeitsweise Abb. 88b mehr in Anwendung und die der Abb. 88a, die eigentliche Stumpfschweißung, wird angestrebt. Letztere ist nach dem Rollenschritt-

verfahren bei dünnen Blechen schon jetzt durchführbar, doch ist die Festigkeit der Naht im Verhältnis zur überlappten meist geringer. Aus diesem Grunde wird doch die überlappte Naht, von der noch später die Rede ist, zu bevorzugen sein. Selbstverständlich müssen die Rollenflächen symmetrisch auf den Blechen abrollen, da sonst ein Auseinandertreiben der Bleche und Beulenbildung unvermeidlich sind. Abgenutzte und breitgedrückte Rollenbahnen werden zweckmäßig nicht befeilt, sondern durch Hämmern in die alte Form gebracht, da das Hämmern ein Härten des Kupfers bewirkt und damit höhere Verschleißfestigkeit erzielt wird. Ein Einfetten der Rollenlager erschwert den Stromübergang, weshalb nur sehr schwach und mit leichtflüssigem Öl geschmiert werden soll.

**Ausführung von Nahtschweißungen.** Eine gute Nahtschweißung muß jede Nachbearbeitung, wie Drücken, Poltern, Ziehen, Querkantung usw., aushalten, ohne sich auch nur auf kurze Strecken aus ihrem Verbands zu lösen. Maßgebend hierfür sind unter anderem ein richtiger, nicht zu groß und nicht zu schwach gewählter Rollendruck und eine mäßige Vorschubgeschwindigkeit, worauf besonders bei von Hand bedienten Maschinen peinlich zu achten ist.

Die Bleche müssen sehr rein, insbesondere aber zunderfrei sein, und es genügt nicht immer, wie beim Punkten, die Nahtzone zu beizen, sondern häufig muß sie geschliffen werden. Eine Besserung trat erst ein, als man mit unterbrochenem Strom arbeitete, und das Rollenschrittverfahren ermöglicht sogar die Verschweißung von Blechen mit dünnen Zunderschichten. Der Zunder verursacht leicht Brandwirkungen in der Naht und unverbundene Stellen, die beim Nachschweißen Lochbildung zur Folge haben. Die Erscheinung unverbundener Stellen wird außerdem bei gewöhnlichen Maschinen durch die beim Schweißen in den Blechkörper gebrachten Spannungen gefördert, und bei langen Nähten ist die Gefahr des Aufplatzens der Naht besonders groß. Auch hierin liegt ein Vorzug der Rollenschrittverschweißung, daß sie imstande ist, runde in sich zurückkehrende Nähte (Boden- und Rundnähte) zu erzielen, ohne daß ein Aufreißen der Nähte eintritt, wenn die Rollen über bereits geschweißte Stellen laufen. Die dauernd unter Strom stehende Elektrode neigt besonders zu Funkenbildungen, und es kommt nicht selten vor, daß Stücke aus der Schweißstelle strichweise herausgehoben werden.

Zusammenfassend kann man sagen: Das bestgeeignetste Nahtschweißverfahren ist das Verfahren mit Stromunterbrechung. Es erreicht die höchste Grenze der Anwendbarkeit bei geringster Rollenabnutzung, sauberstem Nahtaussehen und hoher Festigkeit. Es ist das Verfahren, das von der Oberflächenbeschaffenheit des Bleches, von Stromschwankungen, Blechverschiedenheiten und ähnlichen Faktoren am wenigsten beeinflusst wird, ein Grund, weshalb nach diesem Verfahren auch die dickeren Bleche geschweißt werden können.

Was nun die Überlappung anbelangt, so bedarf die Maschine, die mit gleichmäßig bewegten und dauernd stromführenden Rollen arbeitet, einer Überlappungsbreite, die etwa der fünffachen Blechdicke entspricht. Bei den anderen, mit Stromunterbrechung arbeitenden Verfahren genügt eine der Blechdicke gleiche Überlappung, die durch den Rollendruck fast auf Einzelblechdicke zusammengedrückt wird. Der Nachteil breit überlappter Nähte macht sich vorwiegend bei späterer Nachbearbeitung geltend. Die Naht reißt leichter auf und ist insbesondere beim Emaillieren ein nicht zu unterschätzendes Hindernis (Bläschenbildung).

Wie beim Punkten ist auch beim Nahtschweißen für das richtige Einbringen des Schweißguts in die Maschine zu sorgen, damit an keiner anderen als der gewünschten Stelle Kontakt und nirgends ein Anschmelzen entsteht. Wie wir sehen, kann das Schweißgut festliegen und der Nahtvorschub durch die obere, in einer Spindel oder sonstwie geführten Rolle (Wanderrolle) bewirkt werden, oder

es wird das Schweißgut durch die auf einer feststehenden Achse sich drehenden Rollen zwischen und von diesen selbst vorgeschoben.

Um eine gleichmäßige Überlappung und eine an allen Stellen gleiche Nahtbreite zu erhalten, ist es notwendig (ähnlich wie beim Gasschweißen), die Naht vor dem Schweißen auf ihre ganze Länge zu heften. Der Abstand der Heftpunkte, die entweder auf der gleichen Maschine unter Verwendung von Hilfsvorrichtungen, wie Heftleisten, oder auf einer besonders hierzu bereitgehaltenen Punktschweißmaschine hergestellt werden, richtet sich nach der Blechdicke und der Form des Körpers und beträgt zwischen 30 und 100 mm.

### III. Die Lichtbogenschweißung.

#### A. Der Lichtbogen und seine Eigenschaften.

Je nach dem Werkstoff der Elektroden ist zunächst zwischen dem Kohlelichtbogen (Verfahren von Benardos und Zerener, Abschnitt I D 2) und dem Metalllichtbogen (Verfahren von Slavianoff, ebenfalls Abschnitt I D 2) zu unterscheiden. Da man heute sowohl mit Gleichstrom wie mit Wechselstrom schweißt, ergeben sich als weitere Untergruppen der Kohlegleich- und -wechselstromlichtbogen bzw. der Metallgleich- und -wechselstromlichtbogen.

##### 1. Der Kohlelichtbogen.

###### a) Der Gleichstrombogen.

**Der Lichtbogen zwischen Kohlenstiften.** Um über die Vorgänge und Erscheinungen im Lichtbogen Klarheit zu verschaffen, ist es zweckmäßig, zunächst auf den Lichtbogen einer gewöhnlichen Bogenlampe einzugehen. Werden die beiden Kohlenstäbe miteinander in Berührung gebracht, so tritt an den Enden der Kohlenstifte (Elektroden) beim Stromübergang eine starke Wärmeentwicklung auf. Wir haben es auch hier mit Joulescher Wärme (s. Abschnitt I C 2) zu tun, die verursacht wird durch Überwindung des Ein- und Austrittswiderstands an den Elektrodenenden. Bei ausreichender Spannung und Stromstärke geraten die Spitzen beider Kohlenstäbe ins Weißglühen, was eine außerordentliche Lichtentwicklung zur Folge hat. Diese Lichtentwicklung nimmt an Größe zu, wenn die beiden Elektroden etwas voneinander entfernt werden. Der elektrische Strom fließt dann von einer Spitze zur anderen durch die Luft, und es entsteht eine leuchtende Brücke, der sog. Licht- oder Flammbogen. Der Gesamtwiderstand wird dabei um die Größe des zwischen den Elektroden gebildeten Luftwiderstands erhöht.

Abb. 90 zeigt skizzenhaft das Aussehen des Lichtbogens zwischen zwei Kohleelektroden, wobei nochmals betont wird, daß es sich vorderhand immer um Gleichstrombogen handelt. Der Strom fließt vom Pluspol (+) zum Minuspol (—). Die Quelle der größten Lichtentwicklung liegt in der weißglühenden, kraterartigen Spitze *a* der positiven (+) Kohle. Man hat durch umfangreiche Versuche einwandfrei festgestellt, daß zur Zündung und Unterhaltung des Lichtbogens Weißglut der Kathodenspitze unbedingt erforderlich ist; Weißglut der positiven Elektrode allein genügt niemals zur Lichtbogenbildung.

Das an sich verschiedene Aussehen des Lichtbogens wird unter anderem durch die Art der Gase bedingt in welchen er brennt; für uns kommt ausschließlich das Brennen an der Luft in Frage. Die blauviolett leuchtende Gassäule zwischen den beiden Kohlenspitzen, die aus glühenden Kohlendämpfen besteht und den eigentlichen Träger des Lichtbogens ausmacht, wird aus den beiden weißglühenden



Kratern *a* und *b* der rötlich glühenden Elektrodenenden ausgestoßen. Die treffende Bezeichnung Krater rührt daher, daß die den beiden Kohlespitzen vulkanartig entsteigenden und sich vereinigenden Gaskegel 1 und 2 an den Austrittsstellen kraterförmige Vertiefungen hinterlassen. Der Teil 3 in Abb. 90 ist eine rötlich gefärbte Aureole die von aufsteigenden sekundären (d. h. in zweiter Linie entstandenen) Verbrennungsgasen gebildet wird und den Lichtbogen ummantelt. Sie tritt nur bei sauerstoffhaltigen Gasen, demnach auch beim Verbrennen an der Luft, in Erscheinung.

Da zur Unterhaltung des Lichtbogens außer elektrischer Arbeit auch eine bestimmte Menge Elektrodenwerkstoff, hier also Kohle, benötigt wird und ferner Umfang und wärme- und lichterregende Kraft der beiden sich gegenüberstehenden Gassäulen des Lichtbogens so sehr verschieden groß sind, muß sich dies folge-

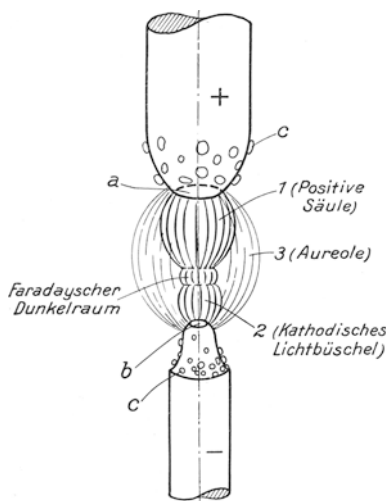


Abb. 90. Gleichstromlichtbogen zwischen zwei Kohlelektroden.

richtig auch im verschiedenen Aussehen der beiden Kohlenkrater äußern. Tatsächlich ist auch der positive Krater vor dem negativen durch wesentlich stärkere Wärme- und Lichtentwicklung ausgezeichnet und hat einen wesentlich größeren Verbrauch an Kohle. Dieser mit Abbrand bezeichnete Kohleverbrauch ist nicht allein ein Maßstab für die aufgewendete Stromstärke, sondern auch für die Umgebung, in welcher die sekundäre Verbrennung des Lichtbogens stattfindet. Infolge der hohen Temperatur findet neben einer Verdampfung der Kohle ein mechanisches Lösreißen von Kohlenteilchen statt, die zum Teil in der Luft verbrennen, zum Teil im glühenden Zustande geschoßartig auf die gegenpolige Kohlespitze geschleudert werden, woselbst sie sich allmählich in warzenähnlichen Gebilden (*c* in Abb. 90) niederlassen. Der Abbrand der positiven Kohle ist etwa doppelt so groß wie der am negativen

Pol, so daß, um die schnellere Aufzehrung der positiven Kohle auszugleichen, dieser bei gleicher Länge ein entsprechend größerer (etwa doppelt so großer) Durchmesser gegeben werden muß als der negativen Kohle.

**Entstehung des Lichtbogens.** Um auf die Entstehung des Lichtbogens an sich zurückzukommen, müssen wir uns kurz mit der Elektronentheorie befassen. Unter Elektronen versteht man winzig kleine, unter sich gleich große elektrische Urteilchen, die, wie man annimmt, den Gesamtraum des Äthers, des Trägers physikalischer Erscheinungen, ausfüllt. Die Elektronen haben die Neigung, sich mit Atomen und Molekülen zu vereinigen, weshalb man ein normales, unelektrisches Atom als eine Vereinigung eines oder mehrerer Elektronen mit einem materiellen Rest anspricht. Werden diesem Atomverband auf irgendeine Weise Elektronen entzogen, so bleibt ein positives Restatom zurück, während die aus dem Verband ausgeschiedenen Elektronen gleich großen negativen Charakter zeigen. Dem positiven Restatom hat man den Namen positives Ion beigelegt. Durch Beladung mit Elektronen kann ein Atom oder Molekül auch negatives Ion werden. Die Kraft, wenn man sich der Anschaulichkeit halber so ausdrücken darf, welche das Elektron mit dem Atom zusammenkettet, ist in den verschiedenen Stoffen sehr ungleich groß. Sie ist am stärksten in elektrischen Isolationsstoffen, am schwächsten in Leitern, weshalb in ihnen die Wanderung der Elektrizität

leicht vonstatten geht; bildlich gesprochen: Ein elektrischer Strom ist eine große Schar wandernder Elektronen. Unter normalen Verhältnissen sind alle Gase Nichtleiter, ja sogar gute Isolatoren für den elektrischen Strom. Spaltet man jedoch ihre Moleküle in Ionen, was neben anderen Möglichkeiten besonders durch Ionisierung oder Ionenstoß (heftigen Anprall von Elektronen oder Ionen) erreicht werden kann, so werden die Gase befähigt, die Elektrizität zu leiten.

Der Lichtbogen ist in der Lage, die Bedingungen zur Ionisierung der zwischen den Elektroden bestehenden Gassäule selbst zu erfüllen, da nach Annahme der Ionentheorie die neutralen Gasmoleküle einer Spaltung in Gasionen unterworfen sind. Die ionisierten Gase sind deshalb die eigentlichen Wege, auf denen sich die Wanderung der Elektrizität vollzieht. Im Innern der Gassäule werden die aus den neutralen Molekülen ausgetriebenen, positiv geladenen Ionen (Anionen) zur negativen Elektrode, die negativ geladenen Ionen (Kationen) zur positiven Elektrode geschleudert und schüren durch ihren Aufprall die Hitze der Kohlenkrater bis zur Siedetemperatur. Die außerordentlich rasche Bewegung der Elektronen oder Ionen verursacht ihren Zusammenstoß mit im Gasstrom befindlichen neutralen Molekülen und hat deren sofortigen Zerfall in positive und negative Ionen im Gefolge, die ihrerseits ebenfalls dem Elektrizitätstransport zur Verfügung stehen.

Durch die Elektronentheorie läßt sich auch die Lichtbogenbildung des negativen Kohlenkraters erklären. Bekanntlich kann man ein Metall stark negativ elektrisch laden, d. h. die Elektronen auf ihm in hohem Maße verdichten, ohne daß sie aus der Oberfläche des Metalls austreten, obwohl die Elektronen im Leiter besonders leicht beweglich sind. Diese merkwürdige Trägheit in der Abwanderung der Elektronen, oder anders ausgedrückt, die Starrheit, mit welcher die Metalloberfläche dem Austritt der Elektronen widerstrebt, wird mit wachsender Temperatur abgeschwächt und geht bei Erhitzung des Metalls auf Weißglut vollkommen verloren. Auf die Zündung des Lichtbogens angewandt, gelangen wir zu folgender Überlegung: Durch die kleinen Unebenheiten der Fläche an der negativen Elektrodenspitze wird eine hohe Stromdichte herbeigeführt, die vorerst in der noch kurzen Gasstrecke (die Kohlenstabenden stoßen zusammen), unterstützt durch die in jedem Gase anwesenden freien Ionen, einen Glimmstrom, (eine glühelektrische Erscheinung) und damit den Elektronenfluß ins Leben ruft. Dieser Glimmstrom entwickelt soviel Wärme, als dazu notwendig ist, einer Schar negativer Elektronen die Abwanderung zur gegenpoligen Elektrode, d. h. den Stromdurchgang durch Gase zu gestatten. Der rasch folgenden Weißglut des negativen Kraters schließt sich der vorhin beschriebene Vorgang des Ionenstoßes an, durch welchen neue Ionen gebildet werden. Auf diese Weise wird dann der einmal bestehende Lichtbogen unterhalten. Der elektrische Lichtbogen ist daher weiter nichts als eine selbsttätige Gasentladung, die dank der Fähigkeit der negativen Elektrode, ionenbildend zu sein, die Elektrizität über eine gewisse Luftstrecke von einem zum anderen Pol zu befördern vermag.

**Die Charakteristik des Lichtbogens.** Zu jedem Stromstärkewert des Lichtbogens gehört eine bestimmte Spannung. Das Verhältnis zwischen diesen elektrischen Größen gibt den elektrischen Charakter des Lichtbogens wieder. Man nennt deshalb eine zeichnerische Darstellung, die eine Übersicht über die gegenseitigen Verhältnisse zwischen Stromstärke und Spannung zum Ausdruck bringt, eine „charakteristische Kurve“ oder eine „Charakteristik“ (Kennlinie). Eine solche Charakteristik des Lichtbogens ist in Abb. 91 aufgezeichnet. Zunächst ist zu erkennen, daß sehr große Spannungen aufzuwenden sind, um dem Strom den Übergang von einer zur anderen Elektrode zu ermöglichen. Dieser „Zündgipfel“ genannte Höchstwert ist in Abb. 91 mit  $\alpha$  bezeichnet. Ist der Stromfluß eingeleitet,

dann nimmt der zwischen den Elektroden gemessene Spannungsunterschied rasch ab, wobei die Stromstärke entsprechend ansteigt. Aus diesem Grunde sagt man, der Lichtbogen habe eine fallende Charakteristik (Kurve *b* in Abb. 91),

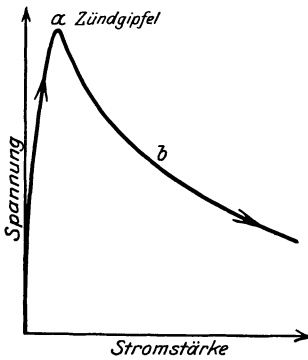


Abb. 91. Charakteristik des Lichtbogens.

was, nebenbei bemerkt, einer der wichtigsten Umstände ist, die den Anschluß mehrerer Lichtbogenschweißstellen an nur eine Schweißdynamo verbieten.

Wie später noch gezeigt werden soll, ist aus schweißtechnischen Gründen ein möglichst langer Kohlelichtbogen erwünscht. Um diesen zustande zu bringen, wird man aber nicht hohe Spannungen anwenden, die für den Schweißer gefährlich sind, sondern den Zündgipfel (Abb. 91) insofern erniedrigen, als man die Entladungsstrecke zwischen den Elektroden auf das geringste Maß verkürzt. Das geschieht dadurch, daß man die Elektroden vorübergehend kurzschließt, d. h. für einen Augenblick miteinander in Berührung bringt. Beim Auseinanderziehen der Elektrodenspitzen bildet sich dann sofort der Lichtbogen.

**Wärmewirkungen des Lichtbogens.** Wie in jedem stromdurchflossenen Leiter findet auch im Lichtbogen eine ununterbrochene Umformung elektrischer Kraft in Wärme statt, und die Temperatur wächst so lange, bis die durch Strahlung, Leitung und Überführung abgewanderte Wärme der im Lichtbogen erzeugten gleich groß wird. Gleich der Verteilung der Lichtfülle ist auch die Verteilung der im Lichtbogen bestehenden Temperaturen am Zustande der Kohlelektroden selbst deutlich wahrnehmbar, und zwar haben wir an der Anode (+ Pol) die höchste Temperatur, die nach neueren Messungen etwa  $4000^{\circ}$  beträgt. Die Kratertemperatur der Anode kann durch Brennen des Lichtbogens unter erhöhtem Druck auf etwa  $6000^{\circ}$  getrieben werden. Das ist die höchste, künstlich herstellbare Temperatur überhaupt, bei der alle Stoffe zur Vergasung gebracht werden können. Die Bestimmung so hoher Temperaturen bietet außerordentliche Schwierigkeiten, weshalb Abweichungen in den Temperaturangaben der verschiedenen Forscher leicht verständlich sind. Die Temperaturbestimmung erfolgt durch Messung der Lichtstrahlung mit Hilfe von optischen Pyrometern. Von der Anode zur Kathode findet ein Temperaturabfall von etwa  $600^{\circ}$  statt, so daß die Temperatur des negativen Pols nur etwa  $3400^{\circ}$  beträgt. Diese Tatsache ist natürlich für den schnelleren Abbrand der heißeren positiven Kohle mitbestimmend. Der Grund für die ungleiche Wärmeentwicklung an den beiden Polen ist nach Ansicht verschiedener Forscher in den verschiedenen Übergangswiderständen an den Elektroden zu suchen.

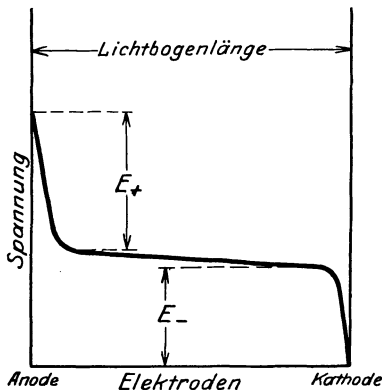


Abb. 92. Spannungsabfall im Lichtbogen.

Auf jeden Fall ist die innerhalb des elektrischen Lichtbogens einschließlich der Elektroden erzeugte Wärmemenge entsprechend dem Spannungsabfall innerhalb des Lichtbogens verschieden groß. Während die Hauptmenge der erzeugten Wärme aus den Kratern in die Elektroden abwandert, geht nur ein geringer Teil durch Strömung und Strahlung verloren. Die Spannungsverteilung läßt sich auf Grund angestellter Versuche

an Hand der zeichnerischen Darstellung Abb. 92 erklären. Hiernach sind ungefähr 43 vH der Gesamtwärme an die Anode und 36 vH an die Kathode abgewandert. Wir sehen ferner, daß das Spannungsgefälle an den Elektroden am größten ist, während innerhalb der Gassäule, der Trägerin der Bogenentladung, dieser Spannungsabfall gering ist und unter sonst gleichen Voraussetzungen gleichmäßig mit der Länge des Lichtbogens zunimmt. Von anderer Seite wird übrigens der Spannungsabfall an der positiven Elektrode wesentlich größer als der an der negativen Elektrode angegeben.

**Der Lichtbogen zwischen Kohle und Metall.** Die Spannung dieses Lichtbogens liegt niedriger als die des Bogens zwischen Kohle und Kohle. Man kann einen solchen Lichtbogen schon mit einer Mindestspannung von 30 V aufrechterhalten.

Die Elektro-Thermit G. m. b. H. in Berlin hat in ihrem Laboratorium Untersuchungen durchgeführt bezüglich der Lichtbogenzonen und der Einwirkung magnetischer Felder. Diese Versuche sind insofern von besonderem Interesse, als sie sich im Gegensatz zu den früheren Untersuchungen (Kohle und Kohle [Verfahren von Zerener]) mit dem Lichtbogen zwischen Kohle und Metall (Verfahren von Benardos) beschäftigen. Die Firma bediente sich außer der spektralanalytischen insbesondere auch photographischer Verfahren, so daß die Untersuchungsergebnisse hier vorgeführt werden können.

Um den Lichtbogen selbst besser erkennen zu können, mußten besondere Tricks (Lichtfilter, Ratenbeleuchtung u. a.) angewandt werden, wie dies bei Abb. 93 geschehen ist. In der mittleren Zone des Bogens (Abb. 93) sieht man deutlich einen durch hellere Färbung ausgezeichneten Stromkern, das ist der Weg der von der Kathode ausgestoßenen Elektronen. Diesen Kern umgibt ein lichtschwächerer

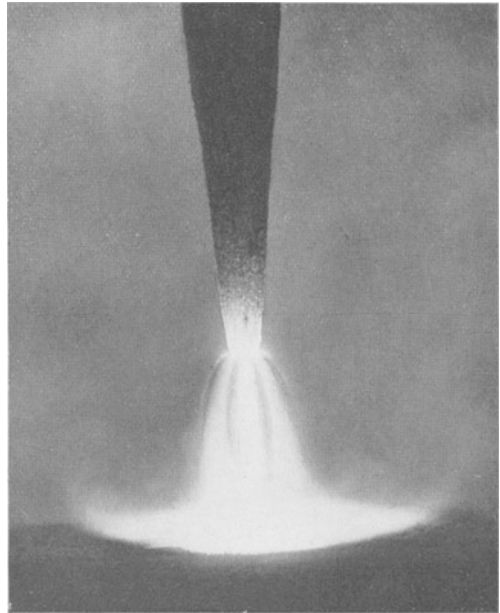


Abb. 93. Die Struktur des Lichtbogens zwischen Kohle und Metall.

Mantel, der seinerseits wieder von der Aureole, die ja als sekundäre Verbrennungserscheinung bewertet werden kann, ummantelt wird. Auffällig ist der elektromagnetische Einfluß auf die Richtung des Lichtbogens, wovon man bei selbsttätiger Kohlelichtbogenschweißung erfolgreich Gebrauch macht. So nimmt bei zum Metall schräg gehaltener Kohle der Bogen nicht, wie erwartet werden könnte, den kürzesten Weg (das wäre die Senkrechte zwischen den beiden Polen), sondern er stellt sich in der Verlängerung des Kohlenstabes, also axial zu diesem, ein. Diese für manche Schweißarbeiten günstige Tatsache, die nur beim Kohlebogen zutrifft, ist darauf zurückzuführen, daß sich in Richtung des Kohlenstabes ein Feld magnetischer Wirbelringe bildet, das unterstützt durch das Bestreben der Kathodenstrahlen, axial aus der Kathodenfläche auszutreten, dem Bogen eine gleichbleibende Richtung gibt. Auch die Flucht des Bogens vor der Eintrittsstelle des Stromes in das Schweißgut und sonstige praktisch unlieb-

same Ablenkungen sind auf das Vorhandensein magnetischer Kraftlinien zurückzuführen. Diese Wahrnehmung ist in Abb. 94 photographisch festgehalten (Strom-eintritt durch den an der Mutter befestigten Kabelschuh). Starkes Zusammen-drängen von Stromlinien kann unter Umständen zum magnetischen Ausblasen des Bogens führen.

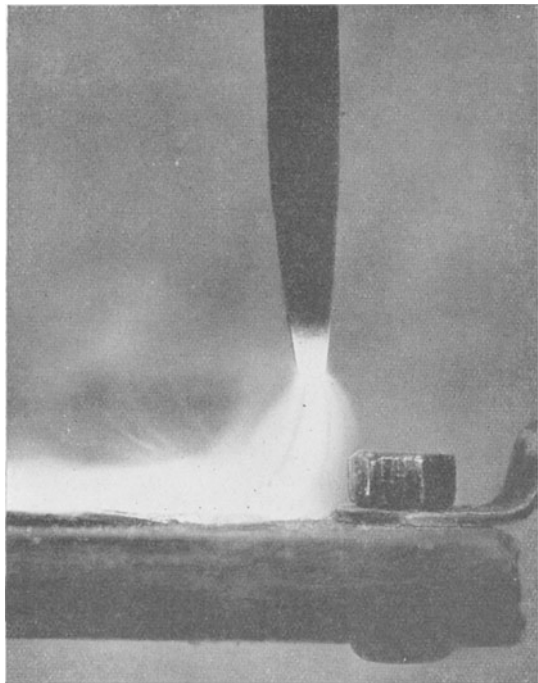


Abb. 94. Die Flucht des Lichtbogens vor der Eintrittsstelle des Stroms.

Aus den theoretischen Erörterungen über die Ionisierung ergibt sich für die Praxis der Kohlelichtbogenschweißung die Tatsache, daß die Kohleelektroden an den — Pol anzuklemmen sind, wobei ein gleichmäßiger Abbrand (Abb. 93) und ein ruhiger Lichtbogen erhalten wird. Er läßt sich gut zünden und ohne Abreißen lang halten. Der Lichtbogen der an den + Pol angeschlossenen Kohlen läßt sich schwer zünden, brennt unruhig (Tanzen des Bogens) und reißt schon bei mäßiger Länge ab. Die Kohle brennt stumpf und ungleichförmig ab. Dem Schweißer, dem diese Erscheinungen geläufig sind, kann die Kohleelektrode in Zweifelsfällen als Mittel zur Bestimmung der Polarität dienen.

**Belastung der Kohleelektroden.** Bei dem Lichtbogen zwischen Kohle und Metall ist eine Spannung von  $45 \div 70$  V üblich. Aus später hervorzuhebenden

Gründen bedingt der zu Schweißzwecken benutzte Lichtbogen Längen bis zu 100 mm. Das erfordert andererseits den Aufwand erheblich größerer Energiemengen als bei Bogenlampen und führt zu einem viel schnelleren Abbrand der Kohle, so daß selbst bei starken Kohlendurch-

Tabelle 13.

Schweißstromstärke A	Lichtbogen-spannung V	Elektroden-durchmesser	
		Gewöhnliche Kohle mm	Graphitkohle mm
60 ÷ 140	30 ÷ 35	10 ÷ 15	8 ÷ 10
140 ÷ 210	35 ÷ 45	15 ÷ 22	10 ÷ 13
210 ÷ 285	40 ÷ 50	22 ÷ 26	14 ÷ 16
285 ÷ 400	45 ÷ 75	26 ÷ 30	17 ÷ 20

messern (30 mm) und 400 mm Länge eine Brenndauer von höchstens 2 h erreichbar ist. Dieser außergewöhnlich schnelle Abbrand drückt auch dem Aussehen des Kohlenstabes seinen Stempel auf. Wie aus Abb. 93 u. 94 zu erkennen ist, sind die Kohleelektroden an den Kraterenden auf Längen von  $50 \div 150$  mm konisch abgebrannt. Der Kohledurchmesser muß der Größe der Belastung angepaßt werden, worüber Tabelle 13 Aufschluß gibt. Bei automatischer Schweißung kann bei gleicher Belastung der Kohledurchmesser geringer gewählt werden.

## b) Der Wechselstrombogen.

**Allgemeines.** Die Vorgänge in dem durch Wechselstrom gespeisten Lichtbogen sind bedeutend verwickelter als im Gleichstrombogen, weil beim Wechselstrom ein bestimmter Pol nicht besteht, vielmehr die Elektroden ihre Rolle z. B. hundertmal in der Sekunde (je nach der Periodenzahl) vertauschen, d. h. abwechselnd  $+$  und  $-$  Pol sind. Daß der Lichtbogen trotz der bei jeder Umkehr in der Stromrichtung eintretenden Unterbrechung des Stromflusses nicht abreißt, ist lediglich eine Folge des kurzen Zeitraumes, währenddessen sich die Polwechsel vollziehen; der Gassäule ist keine Gelegenheit gelassen, sich auf Temperaturen abzukühlen, die zum Erlöschen des Lichtbogens notwendig sind. Jedoch gestattet der Wechselstrom nur das Halten eines verhältnismäßig kurzen Bogens, zu dessen Aufrechterhaltung daher eine geringere Spannung als bei Gleichstrom nötig ist, und wobei die Kohle nicht schlank konisch, sondern stumpf abbrennt.

**Statische und dynamische Charakteristik.** Die rasche Folge der Wechsel von Strom und Spannung, der weder die Temperatur der Gassäule noch der Elektroden unmittelbar zu folgen vermögen, hinterläßt Nachwirkungen, denen man die aus anderen Gebieten, z. B. aus dem Magnetismus, übernommene Bezeichnung „Hysteresis“ (Nachwirkungserscheinung, wörtlich „Zuspätkommen“) beigelegt hat. Die Beobachtung dieser Vorgänge ist vor allem durch Aufstellung der dynamischen Charakteristik für Wechselstrom möglich. Die in Abb. 91 erwähnte Charakteristik ist nämlich eine sog. statische Charakteristik. Man nimmt eine solche (z. B. an einer Schweißdynamo) in der Weise auf, daß man an Stelle des Lichtbogens einen veränderlichen Belastungswiderstand in den Stromkreis einschaltet und unter Änderung dieses Widerstands die jeweiligen Spannungen und Stromstärken mißt. Die statische Charakteristik veranschaulicht demgemäß mehr einen Dauerzustand, im Gegensatz zur dynamischen Charakteristik, die die Verhältnisse bei schnellen Veränderungen von Strom und Spannung innerhalb einer kurzen Zeitspanne kennzeichnet, wie dies insbesondere bei jedem Wechselstrom, aber auch bei Gleichstrom, vorkommt. Anders ausgedrückt: Die dynamische Charakteristik stellt die Abhängigkeit zwischen Spannung, Strom und Zeit dar. Die dynamische Charakteristik wird an Hand der Strom- und Spannungsschwankungen aufgezeichnet, die man mit Hilfe eines Oszillographen aufnimmt. Dieser Apparat gestattet es, die Strom- und Spannungskurven auf eine weiße, sich drehende Rolle zu werfen, wo sie photographisch festgehalten werden können. Die Aufnahme des Oszillogramms eines Wechselstromlichtbogens hat dann etwa das Aussehen der Abb. 95. Man sieht, daß sowohl Stromstärke wie Spannung sich von positiven Höchstwerten durch Null hindurch zu negativen Höchstwerten hin ändern und umgekehrt. Überträgt man aus diesem Oszillogramm punktweise Stromstärke und Spannung in ein Koordinatensystem, so erhält man in Abb. 96 die dynamische Charakteristik des Wechselstromlichtbogens für eine Periode. Man nennt sie auch „Hysteresisschleife“, weil hier die

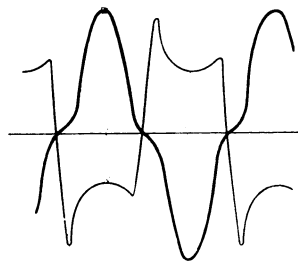


Abb. 95. Oszillogramm eines Wechselstromlichtbogens.

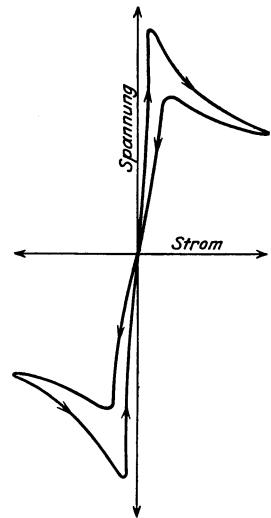


Abb. 96. Dynamische Charakteristik des Wechselstromlichtbogens (für eine Periode).

Überträgt man aus diesem Oszillogramm punktweise Stromstärke und Spannung in ein Koordinatensystem, so erhält man in Abb. 96 die dynamische Charakteristik des Wechselstromlichtbogens für eine Periode. Man nennt sie auch „Hysteresisschleife“, weil hier die

vorhin erwähnte Hysteresis ins Erscheinen tritt; die beiden Kurvenäste (der bei steigender und der bei fallender Stromstärke entstehende) fallen nicht zusammen, vielmehr werden bei wachsender Stromstärke höhere Spannungswerte durchlaufen als bei abnehmender. Bezüglich der statischen und dynamischen Charakteristik sei hier noch, um Irrtümer zu vermeiden, darauf hingewiesen, daß man sowohl bei Gleichstrom wie bei Wechselstrom von einer statischen und einer dynamischen Charakteristik sprechen kann. Auch im Gleichstromkreis können sich, wie später noch im Abschnitt „Gleichstromschweißumformer“ für das Schweißen mit dem Gleichstromlichtbogen auszuführen ist, Stromstärke und Spannung so schnell ändern, daß man neben der statischen auch die dynamische Charakteristik zur Beurteilung der Vorgänge mit heranziehen muß.

## 2. Der Metalllichtbogen.

### a) Der Gleichstrombogen.

**Unterschied zwischen Kohle- und Metallelektroden.** Während die Kohlelektrode nicht flüssig wird, vielmehr nur in dampfförmig feinzerstäubtem Zustand die Leitfähigkeit der Lichtbogenstrecke unterstützt, wird das Schweißende der Metallelektrode tropfbar flüssig. Hierzu kommt, daß die Wärmeableitung metallischer Elektroden viel größer ist als die der Kohlelektroden. Die Krater des Metalllichtbogens leuchten viel weniger hell, und der Lichtbogen als solcher brennt viel unruhiger als der Kohlebogen, was von den anhaltenden Schwankungen in der Bogenlänge, verursacht durch das rasche Abschmelzen der Elektroden, herrührt. Obwohl bei der Elektroschmelzschweißung die Gegenelektrode unmittelbar durch das Schweißgut gebildet wird, ergeben sich hieraus keine Unterschiede in der Gestaltung des Lichtbogens. Als Elektrodenwerkstoff wird naturgemäß vorwiegend Stahl, daneben Gußeisen und von den Nichteisenmetallen Nickel, Monelmetall, Bronze, weniger Aluminium und seltener Kupfer angewandt.

Die Verwendung des Schweißstabes selbst als Elektrode (Verfahren von Slavjanoff) ist zweifellos vorteilhaft, wengleich damit die Notwendigkeit verknüpft ist, im Augenblick des beginnenden Stromflusses auch Werkstoff einzuschmelzen. Ein Anwärmen des Werkstücks mit dem Lichtbogen ohne Abschmelzen der Elektrode ist ausgeschlossen. Bis zu dreißigmal sekundlich wandert



Abb. 97. Lichtbogen zwischen Eisen und Eisen.

ein Tropfen flüssigen Elektrodenstoffs zur Schweißstelle ab, wo er verhältnismäßig rasch erstarrt. Größe und Anzahl der Tropfen sind von der Beschaffenheit der Elektrode, der Bogenlänge und der Stromstärke abhängig.

**Bogenlänge und Spannung.** Während beim Kohlelichtbogen Bogenlängen unter etwa 20 mm von schädlichem Einfluß auf das Schweißgut sind, muß der Metalllichtbogen, worauf später noch näher eingegangen wird, so kurz als praktisch durchführbar gehalten werden. Das praktisch erzielbare kürzeste Maß beträgt etwa 1,5 mm, das

längste soll nicht über 8 mm liegen; als Faustregel gilt: Bogenlänge gleich Dicke der Elektrode. Mit der Spannung wächst die Bogenlänge.

Die Mindestspannung, die zur Aufrechterhaltung des Lichtbogens (Schweißspannung) erforderlich ist, beträgt etwa 15 V, während zum Zünden des Lichtbogens je nach Maschinenart eine Zündspannung bis zu 75 V verwandt wird. Beim Schweißen von Stahl bewegt sich die Schweißspannung praktisch zwischen 17 ÷ 22 V für nackte Elektroden und 22 ÷ 30 V für umhüllte, bei Gußeisenwärmeschweißung zwischen 40 und 70 V. Das Aussehen des zwischen Eisen und Eisen gebildeten Lichtbogens gibt die photographische Aufnahme Abb. 97 wieder.

#### b) Der Wechselstrombogen.

**Allgemeines.** Im Aussehen unterscheidet sich die Flamme des Wechselstrombogens von jener des Gleichstrombogens so gut wie gar nicht; in wärmetechnischer Hinsicht ist jedoch auf den Kohlewechselstrombogen zu verweisen. Durch den normal hundertmaligen Wechsel in der Stromrichtung je Sekunde, wobei die Schweißelektrode einmal Plus- und einmal Minuspol ist, umgekehrt das Werkstück, tritt theoretisch eine Temperaturgleichheit der Pole ein, was gegenüber der Gleichstromschweißung, bei welcher der +Pol (mit höherer Temperatur) an das massigere Werkstück angeschlossen werden kann, vielfach als Nachteil angesprochen wird. Inwieweit ein solcher tatsächlich besteht, soll später erörtert werden. Hingegen kann man mit Sicherheit behaupten, daß das Halten des Lichtbogens bei Wechselstrom etwas schwieriger ist als bei Gleichstrom. Das ist auch leicht erklärlich, wenn man außer dem Polwechsel noch die Störungen des Lichtbogens berücksichtigt, die durch das Abwandern der Metalltropfen entstehen. Darum versucht man mit irgendeinem Mittel das Halten des Lichtbogens zu erleichtern. Das bekannteste ist die Verwendung umhüllter Schweißstäbe, deren Umhüllung die Lichtbogenstrecke besser leitend macht, worüber im Abschnitt „Schweißelektroden“ eingehender gesprochen wird.

**Hochfrequenzüberlagerung.** Um den Wechselstrombogen ebenso leicht zünden und halten zu können wie den Gleichstrombogen, müßten Zündspannungen über 100 V verwendet werden, was besonders bei Wechselstrom eine Gefahr bedeutet. Um sie abzuwenden, ist man praktisch auf etwa die Hälfte der Leerlaufspannung heruntergegangen (im Mittel auf 70 V), so daß man zur leichteren Zündung und Stabilisierung des Bogens zur Anwendung besonderer Mittel gezwungen ist, von denen die Umhüllung der Elektroden bereits erwähnt wurde. Infolge des hohen Abfalls zwischen Zünd- und Schweißspannung haben alle Schweißtransformatoren einen schlechten  $\cos \varphi$  (Leistungsfaktor), den zu verbessern man durch Parallelschalten eines Kondensators anstrebt.

Ein anderes Mittel, um die Zündspannung herunterzudrücken und trotzdem das Zünden und Halten des Bogens zu erleichtern, ist die Überlagerung des Lichtbogens mit Hochfrequenzstrom. Dabei handelt es sich um hochfrequente Ströme von hoher Spannung (3000 ÷ 5000 V) und außergewöhnlich hoher Schwingungszahl (sekundlich viel millionenmal). Es bestehen verschiedene Schaltungsmöglichkeiten, auf die hier nicht näher eingegangen werden kann. Die Überlagerung mit hochfrequenten Strömen ermöglicht die Zündung des Bogens auch ohne Berührung der Elektrode mit dem Werkstück und unterhält ständig die Ionisierung der Bogenstrecke. Die bisher nur laboratoriumsmäßig erfolgreich durchgeführten Versuche haben eine praktische Verwendung deshalb nicht ergeben, weil der Isolationsschutz gegen die hohen Spannungen Schwierigkeiten verursacht und die verhältnismäßig verwickelte Einrichtung eine zu teure Ergänzung der Schweißanlage ist.

Um Zweifel auszuschließen, muß noch gesagt werden, daß die Hochfrequenzüberlagerung genau so gut beim Gleichstrombogen möglich ist, aber aus den



soeben genannten Gründen auch hier praktisch bisher nicht zur Anwendung kommt.

### 3. Werkstoffübergang im Lichtbogen.

**Oszillographische Aufnahmen.** Die Vorgänge im Lichtbogen können bei der Beobachtung durch ein Dunkelglas nur roh erfaßt werden; man erkennt ein mehr oder weniger gleichmäßiges oder ein tropfenförmiges Abschmelzen der Elektrode. Der geeignetste Weg zur genaueren Untersuchung ist hinsichtlich der optischen Erscheinungen die Zeitdehner-Filmaufnahme, hinsichtlich der elektrischen Vorgänge die oszillographische Aufnahme der dynamischen Charakteristik, die sich beide zur Erfassung der Vorgänge günstig ergänzen. An Hand des Erklärungsoszillogramms einer Gleichstromschweißung, Abb. 98, soll der elektrische Verlauf eines kurzen Schweißabschnittes erläutert werden.

In der zeichnerischen Darstellung ist oberhalb der 0-Linie die Spannung, unterhalb von ihr die Stromstärke in Abhängigkeit von der Zeit aufgenommen. Das Oszillogramm ist in drei Hauptabschnitte unterteilt, und zwar in Zündvorgang, Schweißen und Abreißen des Bogens. Die Spannungskurve beginnt bei

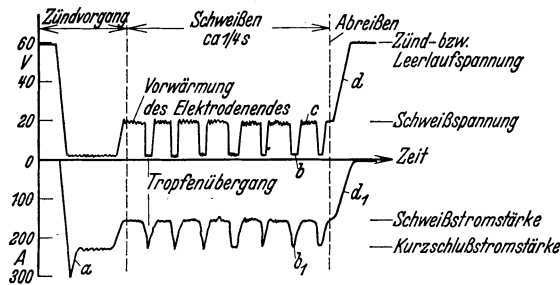


Abb. 98. Erklärungsoszillogramm einer Gleichstromschweißung.

60 V Zündspannung, wobei die Stromstärke noch 0 ist. Mit dem Aufsetzen der Elektrode auf das Werkstück (Kurzschließen!) fällt die Spannung nahezu auf 0, während ein Strom zu fließen beginnt, der praktisch zur gleichen Zeit seinen Höchstwert in einer Stromspitze  $a$  erreicht, um sofort wieder auf die eigentliche Kurzschlußstromstärke zurück-

zugehen. Beim Abheben der Elektrode bildet sich der Lichtbogen, und die Spannung steigt entsprechend dessen Länge auf den Schweißspannungswert, während der Strom auf die Schweißstromstärke zurückgeht.

Das Schweißen selbst beginnt mit dem Vorwärmen und Schmelzen ( $c$ ) des Elektrodenendes und dauert eine gewisse Zeitspanne, die als Vorwärmezeit bezeichnet wird. Sie ist abhängig von der Bogenlänge und ein Kennzeichen für die Beschaffenheit der Elektrode. Der von der Elektrode zum Werkstück übergehende Metalltropfen schließt beide kurz, was in den Kurven durch Sinken der Spannung ( $b$ ) und Anwachsen der Stromstärke ( $b_1$ ) zum Ausdruck kommt. Sofort nach Abwandern des Tropfens wird die alte Lichtbogenlänge selbsttätig wiederhergestellt. Dieser Vorgang wiederholt sich im Oszillogramm während  $\frac{1}{4}$  Sekunde siebenmal, womit der Normalfall eines günstigen Abschmelzvorganges gekennzeichnet sein soll. Die kleineren Schwankungen in der Schweißspannung  $c$  während des Vorwärmens haben ihre Ursache in der Bewegung des Schmelzbades sowie des verflüssigten Elektrodenendes. Bei beabsichtigtem Abheben der Elektrode oder unfreiwilligem Abreißen des Lichtbogens steigt die Spannung ( $d$ ) auf den Leerlaufwert, indessen die Stromstärke ( $d_1$ ) auf 0 zurückgeht.

Eine mit dem Oszillographen aufgenommene dynamische Charakteristik einer Wechselstromschweißung veranschaulicht Abb. 99. Die Zeitlinie liegt in der Mitte, sie entspricht der 0-Linie für die Stromverhältnisse entsprechend Abb. 98. Die Zeit ist demnach wiederum als Abszisse, Spannung und Stromstärke sind beiderseits als Ordinaten aufgetragen. Der Bildabschnitt zeigt eine Schweiß-

zeit von  $\frac{3}{100}$  Sekunden an. Spannungs- und Stromkurven sind entsprechend Abb. 95 der Übersichtlichkeit halber wechselseitig aufgetragen. Die Spannungskurve ist verzerrt, zeigt zu Beginn jedes Wechsels eine Spitze und schneidet die 0-Linie zu anderer Zeit als die Stromkurve, wodurch die Phasenverschiebung zum Ausdruck kommt. Im mittleren Wechsel erreicht die Stromstärke einen größeren Wert als die beiden anderen unterhalb der 0-Linie, was auf eine gewisse Gleichrichterwirkung des Wechselstrombogens schließen läßt.

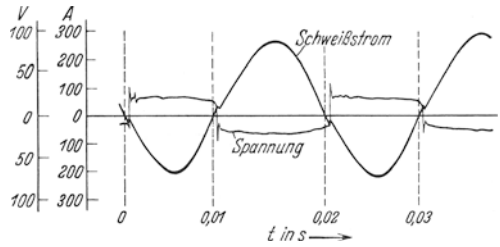


Abb. 99. Oscillogramm einer Wechselstromschweißung.

Einen Ausschnitt aus einer weiteren Wechselstromaufnahme zeigt Abb. 100, die sich von Abb. 99 dadurch unterscheidet, daß Spannung und Strom keine gemeinsame 0-Linie besitzen und die Kurven stark zusammengedrängt sind, was auch aus den eingetragenen Zeiten hervorgeht. Dadurch lassen sich mehrere Tropfenübergänge veranschaulichen.

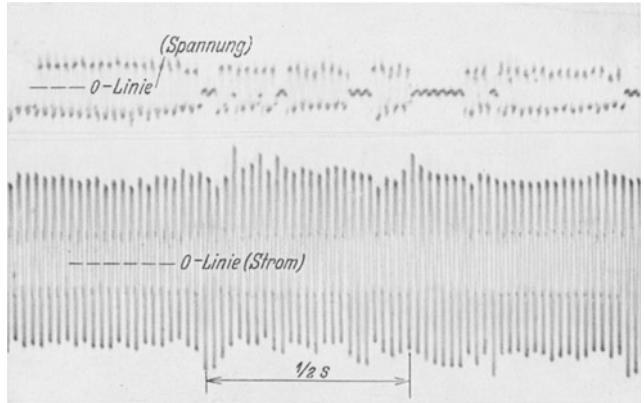


Abb. 100. Oscillogramm einer Wechselstromschweißung mit Tropfenübergang.

**Zeitdehner-Filmaufnahmen.** Nach ursprünglich erheblichen Schwierigkeiten gelang es, nach dem Verfahren von Thun durch Steigerung der Bildanzahl (sekundlich bis zu 4000 Aufnahmen) und Überstrahlung der großen Lichtbogenhelligkeit durch eine

noch lichtstärkere Beleuchtungsquelle ein Schattenbild des Werkstoffüberganges zu filmen. Die im Auftrage des Fachausschusses für Schweißtechnik (VDI) von Hilpert und Thun angestellten Untersuchungen erstreckten sich auf oszillographische und Filmaufnahmen gleichzeitig. Unter etwa 3000 untersuchten Tropfengebilden ergeben sich zwei hervortretende Formen, und zwar die Pilz- und die Fadenform. In Abb. 101 sind Ausschnitte aus Filmstreifen herausgezeichnet; sie entsprechen den unmittelbar aufeinanderfolgenden Zuständen in Zeitfolgen von je  $\frac{1}{1600}$  Sekunde. Beim fadenförmigen Übergang (Abb. 101 a) tritt keine Verdickung des schmelzenden Elektrodenendes auf, und ein kleiner Tropfen wandert unter Einschnüren und darauf eintretendem Abreißen auf das Werkstück hinüber. Der pilzförmige Tropfen (Abb. 101 b) bildet sich unter Verdickung des Elektrodenendes, haftet schwankend an diesem verhältnismäßig längere Zeit, um dann im größeren Umfange, oft explosionsartig, auf das Werkstück überzugehen.

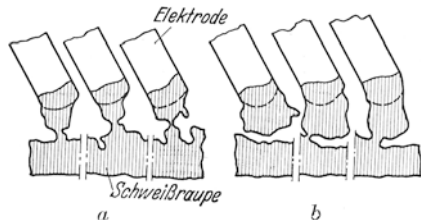


Abb. 101. Ausschnitte aus Filmaufnahmen vom Werkstoffübergang im Lichtbogen.

Die Dauer für einen Tropfenübergang schwankte zwischen  $\frac{1}{7}$  und  $\frac{1}{2000}$  Sekunde. Tropfenzahl je Sekunde und Verhältnis von Vorwärmezeit (Brenndauer des Bogens) zur darauffolgenden Tropfenübergangszeit (Kurzschluß) sind abhängig von der Beschaffenheit der Elektrode, von Spannung und Stromstärke.

## B. Die Einrichtungen für die Lichtbogenschweißung.

### 1. Die Stromquellen.

#### a) Anforderungen an die Stromquellen.

**Allgemeine Anforderungen.** Auf Grund der Ausführungen im vorigen Hauptabschnitt III A wissen wir, daß der Schweißlichtbogen nur bei bestimmten Spannungen aufrechterhalten werden kann, und daß die Spannung des Lichtbogens mit wachsender Stromstärke sinkt. Der Lichtbogen hat eine fallende statische Charakteristik, wie wir sagen. Diese Charakteristik (Kennlinie) ist

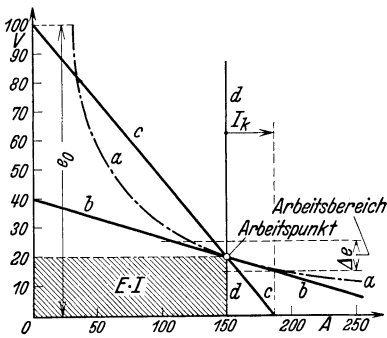


Abb. 102. Statische Charakteristik des Lichtbogens.

nochmals in Abb. 102 in der Kurve *a* im Vergleich mit den theoretischen Grenzkurven *b* und *d* wiedergegeben. Zunächst muß eine Zündspannung vorhanden sein (für Kurve *a* bei 100 V), damit beim Berühren der Elektrode mit dem Werkstück (Antippen) ein Lichtbogen erzeugt werden kann. Stabiler brennt der Lichtbogen bei niedrigen Spannungen, in der Gegend von 20 V, weshalb man praktisch mit Spannungen schweißen wird, die in dem mit  $\Delta e$  bezeichneten Arbeitsbereich gelegen sind. Die Schweißspannung von 20 V ist auf der Kurve *a* mit Arbeitspunkt bezeichnet, der etwa der Verwendung einer 4-mm-Elektrode entspricht. Die

statische Charakteristik einer Schweißdynamo ist dem Verlauf der Kurve *a* möglichst anzupassen. Wird im Arbeitspunkt an die Bogencharakteristik *a* eine Tangente *b* gelegt, so schneidet diese die Spannungsordinate bei 40 V und die Stromabszisse bei etwa 300 A. Diese Maschinencharakteristik *b* würde hinsichtlich der niedrig gelegenen Leerlaufspannung als günstig anzusprechen sein, da der Spannungsabfall bis auf die Schweißspannung nur gering ist. Hinsichtlich der Stromstärke aber wäre dieser Grenzfall ungünstig, weil die Kurzschlußstromstärke etwa das Doppelte der Schweißstromstärke beträgt. Als Idealkurve für die Stromstärke wäre die Senkrechte *d* anzusehen, bei der die Kurzschlußstromstärke den Wert der Schweißstromstärke nicht überschreitet. Es ist aber praktisch unmöglich, eine Dynamo mit einer solchen Charakteristik zu konstruieren. Da die beiden Grenzfälle *b* und *d* teils ungünstig, teils nicht erreichbar sind, ist man in der Praxis gezwungen, auf Charakteristiken hin zu arbeiten, die einmal nicht zu hohe Zündspannungen und andererseits nicht zu hohe Kurzschlußströme aufweisen. Die als Mittelkurve eingezeichnete geradlinige Charakteristik *c* hat zwar einen geringen Kurzschlußstrom ( $J_K$ ), aber noch eine zu hohe Zündspannung. Betrachtet man die Neigung der Kennlinien im Arbeitsbereich, so ist dort ein möglichst steiler Verlauf wünschenswert, da dann Spannungsschwankungen nur geringe Änderungen in der Stromstärke zur Folge haben. Wie man diese Kennlinien durch besondere Schaltungsarten erzielt, wird später behandelt.

**Bedingungen für eine gute Schweißstromquelle.**

1. Spannung und Stromstärke müssen sich den Veränderungen, die sich durch die schwankende Lichtbogenlänge ergeben, gut anpassen (steile Charakteristik im Schweißbereich).

2. Der Kurzschlußstrom ist bei Berührung von Elektrode und Werkstück oder beim Werkstoffübergang möglichst niedrig zu halten.

3. Spannung und Stromstärke sollen sich je nach den Betriebsverhältnissen weitgehend einstellen lassen.

4. Der Lichtbogen soll sich leicht zünden und halten lassen; die erforderliche Schweißspannung soll nach Kurzschluß schnell wieder erreicht werden.

5. Guter Wirkungsgrad bzw. hoher Leistungsfaktor ( $\cos \varphi$ ).

6. Geringe Leerlaufverluste.

7. Allgemeine Forderungen: Geringes Gewicht, funkenfreier Lauf, gedrängte Bauart, gute Lüftung und Kühlung, Schutz gegen Regenwasser und Staub.

Die Begrenzung des Kurzschlußstromes ist nicht allein zum Schutze der Stromquelle erforderlich, sondern auch um ein starkes Spritzen der Elektrode und ihr Festkleben beim Zündvorgang zu verhüten.

Ob eine Maschine die Forderung unter Punkt 4, die Schweißspannung nach Kurzschluß rasch wieder herzustellen, erfüllt, ist aus der dynamischen Charakteristik erkennbar. Bei träger Anpassung der Maschine an die Schweißverhältnisse wird eine Beruhigungsdrösselspule, auch Stabilisator genannt, in den Schweißstromkreis eingeschaltet, die im Augenblick des Stromabfalles eine Spannungserhöhung und bei Stromanstieg eine Spannungserniedrigung bewirkt.

**Spannungen und Stromstärken.** Die erforderliche Schweißspannung ergibt sich nach dem vorigen Hauptabschnitt zu  $15 \div 70$  V. Im einzelnen braucht man bei der Stahlschweißung und bei der Gußeisenkaltschweißung mit Metallelektroden nur  $15 \div 30$  V, bei der Gußeisenwarmschweißung mit Metallelektroden und bei der Schweißung mit Kohlelektroden  $30 \div 75$  V. Die Zündspannung bzw. Leerlaufspannung der Stromquelle soll einerseits möglichst hoch sein, um ein leichtes Zünden des Lichtbogens zu erzielen, andererseits aber möglichst niedrig, um den Schweißer keiner Gefahr auszusetzen und um zu große Maschinen und damit zu hohe Anschaffungskosten und ungünstige Wirkungsgrade zu vermeiden. Bei Gleichstrom sind mit Rücksicht auf den Schweißer Leerlaufspannungen bis etwa 100 V zulässig, bei Wechselstrom soll man wegen der ungünstigeren Wirkung auf den menschlichen Körper möglichst nicht über 70 V hinausgehen. Wenn nur das Schweißen mit Metallelektroden vorgesehen ist, so ist es zweckmäßig, die Möglichkeit der Spannungsschwankungen bei der Stromquelle einzuschränken, damit der Schweißer hierdurch gezwungen wird, den Lichtbogen möglichst kurz zu halten. Die im Schweißstromkreis in Frage kommenden Stromstärken schwanken allgemein betrachtet zwischen etwa 40 und 1000 A. Die meist üblichen Stromstärken sind  $60 \div 250$  A für die Stahl- und Gußeisenkaltschweißung und  $400 \div 600$  A für die Gußeisenwarmschweißung.

**b) Verwendung von Netzstrom.**

**Allgemeines.** In der Entwicklungszeit der Lichtbogenschweißung nahm man den Strom zum Schweißen zuerst aus Akkumulatorenbatterien, dann aus dem allgemeinen Stromversorgungsnetz selbst oder aus normalen Dynamomaschinen unter Einschaltung von Widerständen, um deren Normalspannung von z. B. 110 oder 220 V auf die Schweißspannung herabzudrosseln. Der Vorschalt-

widerstand, der zur Erzielung verschiedener Stromstärken regelbar sein muß, ist entweder ein Drahtwiderstand (aus Eisen; Sonderlegierungen, wie z. B. Nickel usw., sind zu teuer) oder ein Wasserwiderstand. Im letzteren Falle werden zwei Eisenplatten in einen Holzbottich gehängt (Abb. 104). Die Charakteristik

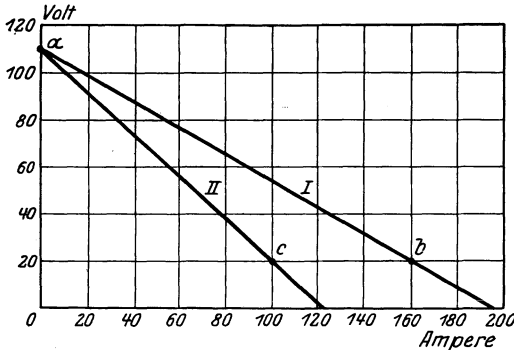


Abb. 103. Statische Charakteristik des Lichtbogens bei Verwendung von Netzstrom.

der Netzstromschweißung zeigt Abb. 103 für zwei Regelstellungen I und II und eine Netzspannung von 110 V. Wir sehen zunächst die erwünschte fallende Charakteristik. Bei der Zündspannung *a* (110 V) läßt sich der Lichtbogen mit Sicherheit zünden. Regelstellung I gibt sodann bei Punkt *b* mit 20 V Schweißspannung eine Schweißstromstärke von 160 A und Regelstellung II bei Punkt *c* mit 20 V Schweißspannung eine Schweißstromstärke von 100 A. Bei beiden Stellungen ist der Kurzschlußstrom (Spannung ~ 0) genügend begrenzt; bei Stellung I beträgt er z. B. annähernd 200 A. Die Größe des Vorschaltwiderstands  $R_1$  bzw.  $R_2$  ist für unser Beispiel:

$$R_1 = \frac{E}{J_1} = \frac{110-20}{160} = 0,56 \Omega \text{ und } R_2 = \frac{E}{J_2} = \frac{110-20}{100} = 0,9 \Omega.$$

Bei einer Veränderung der Spannung schwankt die Stromstärke, infolge der genügend steil abfallenden statischen Charakteristik, nur in mäßigen Grenzen. Die Änderung von Spannung und Stromstärke findet mit Hilfe des Vorschaltwiderstands fast gleichzeitig statt; anders ausgedrückt: Die dynamische Charakteristik ist ebenfalls günstig. Die wesentlichsten Bedingungen für eine gute Schweißstromquelle sind also an und für sich erfüllt.

**Stromstoßautomat.** Die Schweißung vom Netz hat neben dem nachher zu besprechenden und nichtbehebbareren Nachteil geringer Wirtschaftlichkeit noch einen

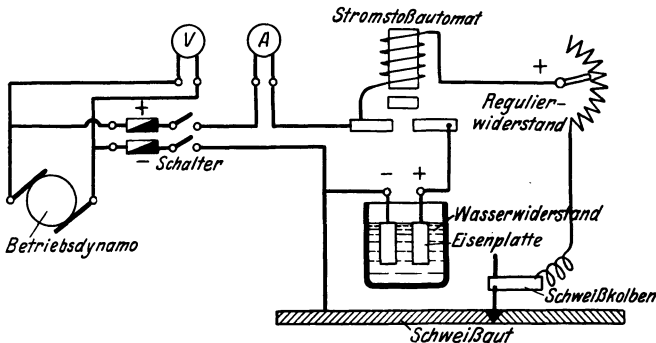


Abb. 104. Schweißen vom Gleichstromnetz mit Stromstoßautomat.

anderen, durch Anwendung eines Stromstoßautomaten aber behebbaren Nachteil. Durch die beim Schweißen unvermeidliche, stoßweise einsetzende Belastung des Netzes werden andere, an das Netz angeschlossene Stromabnehmer geschädigt, da die Spannung im Netz stark schwankt. Der in die Schaltung

für Schweißung vom Netz eingezeichnete Stromstoßautomat (Abb. 104) wirkt nach dieser Richtung hin ausgleichend. Abb. 104 zeigt uns zunächst, daß bei Einlegen des Schalters der Strom, unter Messung durch Voltmeter *V* und Amperemeter *A*, von der Stromquelle (Betriebsdynamo oder Netz) durch den Stromstoßautomaten, Regelwiderstand, Schweißkolben, Lichtbogen, Schweißgut zurück zur

Dynamo geht. Der Magnet des Stromstoßautomaten wird dabei durch den Schweißstrom geöffnet gehalten, fällt aber bei Unterbrechung des Schweißstroms sofort herab und schaltet den durch den Wasserwiderstand gehenden Stromkreis ein. Der Wasserwiderstand oder an seiner Stelle ein Drahtwiderstand muß natürlich in seiner Größe dem Widerstand entsprechen, den sonst der Schweißstromkreis bietet. Ein Nachteil des Stromstoßautomaten ist der, daß ständig, auch in den Schweißpausen, Strom verbraucht wird. Außerdem besteht die Gefahr der Berührung der offenen Netzspannung, da der Spannungsabfall im Schweißstromkreis erst bei Stromfluß einsetzt. Auch der Umstand, daß die hohe Netzspannung das Halten eines langen Lichtbogens gestattet, ist ein Nachteil.

**Wirtschaftlichkeit.** Das Schweißen vom Netz hoher Spannungen über Vorschaltwiderstände ist stets sehr unwirtschaftlich. Wenn man z. B. die Spannung von 110 V durch den Widerstand auf 20 V herabdrosselt, so macht man nur  $\frac{20}{110} \cdot 100 = 18,2$  vH der in den Schweißstromkreis hineingegebenen elektrischen Leistung nutzbar, d. h. man erreicht nur einen Wirkungsgrad von 0,182. Je höher die Netzspannung, desto geringer sogar der Wirkungsgrad. Bei 220 V Netzspannung beträgt er z. B. nur noch 0,091. Demgegenüber erreicht man bei Gleichstromschweißumformern Wirkungsgrade von  $0,35 \div 0,6$ , bei Wechselstromschweißtransformatoren  $0,8 \div 0,96$ . Das Schweißen vom Netz oder von einer normalen Dynamomaschine aus ist also aus rein wirtschaftlichen Gründen zu vermeiden und wird auch nur selten angewendet.

### c) Gleichstromschweißumformer.

**Allgemeines.** Die im vorigen festgelegten Anforderungen an eine für Schweißzwecke gut brauchbare Stromquelle haben zur weiteren Ausbildung der Gleichstromschweißung und zum Bau besonderer Schweißumformer, bestehend aus Antriebsmotor (für Gleichstrom oder Drehstrom) und Schweißgenerator (Schweißdynamo), geführt. Einige der wesentlichsten, insbesondere in Deutschland gebräuchlichen Ausführungsformen von Schweißumformern sollen im folgenden betrachtet werden. Die Schweißgeneratoren sind entweder selbst-, eigen- oder fremderregt. Zuweilen trifft man auch eine Vereinigung der Selbst- mit der Eigen- bzw. Fremderregung an. Um die fallende Charakteristik zu erzielen, bedient man sich bei normalen Generatoren regelbarer Vorschaltwiderstände, bei Schweißgeneratoren ordnet man eine Gegenverbundwicklung an oder man verstärkt die Ankerrückwirkung durch Bürstenverschiebung.

**Generatoren mit Vorschaltwiderstand.** In dem Ausführungsbeispiel, dessen Schaltung Abb. 105 schematisch (nur in den Hauptteilen) wiedergibt, ist der Schweißgenerator *D* eine Verbund- (Kompond-) Maschine, d. h. er hat eine Nebenschlußwicklung *N* und eine Hauptstromwicklung *H*. Die Generatorspannung wird im Nebenschlußkreis bei *R* geregelt. Der Generator zeigt als Verbundmaschine eine leicht abfallende statische Charakteristik (z. B. Linie *I'* in Abb. 106). Durch die Regelung

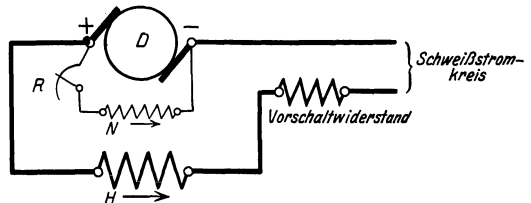


Abb. 105. Schaltung eines Schweißgenerators mit Verbundwicklung und Vorschaltwiderstand.

können auch die Charakteristiken *II'* und *III'* erhalten werden. Die Leerlaufspannung der Charakteristik *I'* liegt zweckmäßig bei etwa 65 V; diese Leerlaufspannung kann z. B. bis auf 35 V heruntergeregelt werden. Im Hauptstromkreis

liegt nun noch, wie in Abb. 105 angegeben, ein nicht regelbarer Vorschaltwiderstand, der bei steigender Stromstärke einen der Steigerung entsprechenden Spannungsabfall herbeiführt. Die statischen Charakteristiken von Generator und Vorschaltwiderstand zusammen entsprechen dann den Linien I, II und III. In Abb. 106 sind außerdem noch die Charakteristiken des Metalllichtbogens für

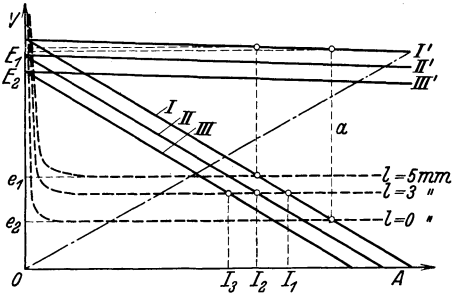


Abb. 106. Statische Charakteristik eines Schweißgenerators mit Verbundwicklung und Vorschaltwiderstand.

Längen von 0,3 und 5 mm eingetragen. Wir sehen, daß z. B. bei einer Bogenlänge von 3 mm durch Regelung im Nebenschlußkreis des Generators auf die drei verschiedenen Schweißstromstärken  $J_1$ ,  $J_2$  und  $J_3$  eingestellt werden kann. Ferner ist zu erkennen, daß, wenn sich die Lichtbogenlänge von 0 ÷ 5 mm (entsprechend der Spannungsveränderung von  $e_2$  auf  $e_1$ ) verändert, die Spannungsänderung am Generator nur geringfügig ist. Die magnetische Trägheit des Generators wird also gar nicht zur Geltung kommen. Vielmehr wird, wie

beim Schweißen vom Netz, die Änderung von Stromstärke und Spannung mit Hilfe des Vorschaltwiderstands sehr schnell vor sich gehen; mithin: günstige statische und dynamische Charakteristik der Anlage. Ein Nachteil der Anlage liegt darin, daß, wie beim Schweißen vom Netz, wenn auch nicht in demselben Maße, durch die Herabdrösselung der Spannung mit Hilfe des Vorschaltwiderstands der Wirkungsgrad der Anlage herabgedrückt wird.

**Generatoren mit Gegenverbundwicklung und Eigenerrregung.** Ein anderes Mittel, um eine fallende statische Charakteristik für den Schweißgenerator selbst zu erhalten, ist die Anordnung einer sog. Gegenverbundwicklung auf den Magnet-

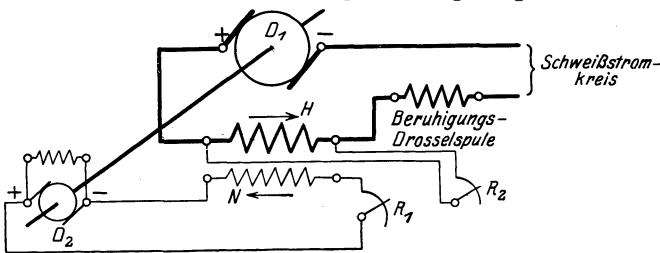


Abb. 107. Schaltung eines Schweißgenerators mit Gegenverbundwicklung und Eigenerrregung.

polen des Generators. Der Generator ist eine Nebenschlußmaschine (s. Abschnitt I C 3). In Abb. 107 wird die Erregerwicklung  $N$  von einer besonderen kleinen, mit dem Schweißgenerator  $D_1$  auf derselben Welle sitzenden

Erregerdynamo  $D_2$  ge-

speist. Die Leerlaufspannung wird durch einen Regler  $R_1$  im Nebenschlußkreis eingestellt. Eine weitere Regelung der Spannung und Stromstärke kann durch einen Regler  $R_2$  erfolgen, der der nachher beschriebenen Hauptstromwicklung  $H$  parallel gelegt wird. Man bezeichnet diesen Regler  $R_2$  auch als „Shunt“ und spricht von einem Abshunten der Hauptstromwicklung. Legt man nun eine zweite Wicklung  $H$  mit entgegengesetztem Stromdurchgang über die Erregerwicklung und schaltet man diese Wicklung  $H$  in den äußeren Stromkreis ein (also Hauptstromwicklung), so wird mit wachsender Stromstärke im äußeren Stromkreis (dem Schweißstromkreis) das Magnetfeld der Wicklung  $N$  durch das Magnetfeld der Wicklung  $H$  geschwächt und somit die Spannung herabgedrückt. Man spricht bei dieser Schaltung von einer Gegenhauptstromwicklung oder Gegenverbundwicklung. Die Eigenerrregung der Nebenschlußwicklung hat den Vorteil, daß der Schweißgenerator nach Kurzschluß sehr schnell wieder auf Spannung

kommt, während bei Maschinen mit Selbsterregung die Spannung nach Kurzschluß nur langsam wiederkehrt. Die Schweißgeneratoren der beschriebenen Art und auch mehrere der folgenden Schweißgeneratoren haben meistens noch eine Beruhigungs-drosselspule (auch Selbstinduktion oder Stabilisator genannt) im Schweißstromkreis, wie sie auch in Abb. 107 eingezeichnet ist. Diese Drosselspule besteht aus einer Anzahl Drahtwindungen und wirkt einmal beim plötzlichen Anwachsen der Stromstärke (Kurzschluß) in der Weise, daß dann in ihr eine der Spannung des Schweißstromkreises entgegengesetzte Spannung induziert (erregt) wird; daher auch die Bezeichnung „Selbstinduktion“. Durch die entgegengesetzte Spannung und den damit erzeugten Gegenstrom wird aber die Schweißstromstärke erniedrigt. Fällt umgekehrt die Stromstärke im Schweißstromkreis, so erzeugt die Selbstinduktion eine zusätzliche Spannung. Sie wirkt also dämpfend auf zu starke Schwankungen von Spannung und Stromstärke und ermöglicht ein leichteres Ziehen und Aufrechterhalten des Lichtbogens; sie hat aber andererseits den Nachteil, daß sie, wie jede Drosselspule, Stromverluste mit sich bringt.

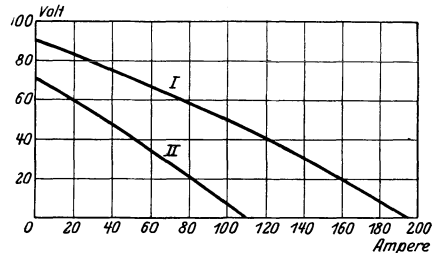


Abb. 108. Statische Charakteristik eines Schweißgenerators mit Gegenverbundwicklung und Eigenerrregung.

Abb. 108 zeigt die statische Charakteristik des beschriebenen Schweißgenerators bei zwei Regelstellungen. Bei Stellung *I* hat der Generator 90 V Leerlaufspannung (bei Stellung *II*: 70 V) und gibt bei 20 V Schweißspannung eine Stromstärke von 160 A (bei Stellung *II*: 80 A). Die statische Charakteristik ist also zufriedenstellend, aber die dynamische ist nicht so günstig, weil das Feld der Gegenverbundwicklung keine besonders schnelle Änderung von Spannung und Stromstärke zuläßt. Vorteilhaft ist zwar, wie schon erwähnt, die Eigenerrregung. Sie kommt aber infolge der Nachwirkung des Gegenfeldes nicht so schnell zur Auswirkung wie bei den später beschriebenen Maschinen mit Ankerrückwirkung und Eigenerrregung.

**Generatoren mit Gegenverbundwicklung, Selbsterregung und Eigenerrregung.**

Diese Ausführung und Schaltung ist nach dem Namen des Erfinders als Krämer-schaltung bezeichnet worden. Zur Gegenverbundwicklung *H* und Eigenerrregung *N*<sub>2</sub> (Abb. 109) tritt noch eine selbsterregte Nebenschlußwicklung *N*<sub>1</sub>. Hierdurch wird die in Abb. 110 wiedergegebene statische Charakteristik der Maschine insofern verbessert, als die Kurve im Bereich der praktischen Schweißspannungen (15 ÷ 30 V) steiler abfällt, d. h. bei Veränderung der Spannung in den genannten Grenzen schwankt die Stromstärke nur sehr wenig. Der Schweißgenerator hat drei Regler, und zwar bei *R*<sub>1</sub> im selbsterregten Nebenschlußkreis, bei *R*<sub>2</sub> im eigenerrregten Nebenschlußkreis und bei *R*<sub>3</sub>, wo die Nebenschlußwicklung der kleinen Erregerdynamo *D*<sub>2</sub> geregelt werden kann. Die Schaltung sieht

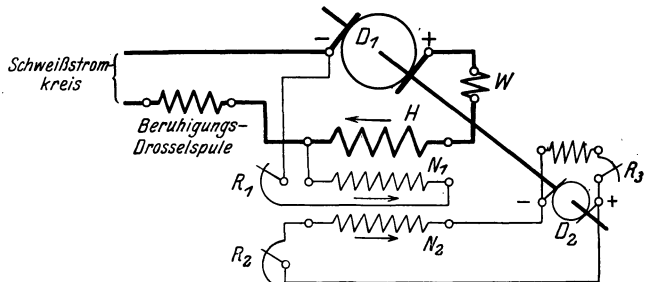


Abb. 109. Schaltung eines Schweißgenerators mit Gegenverbundwicklung Selbst- und Eigenerrregung.

Abb. 109 zeigt die Schaltung eines Schweißgenerators mit Gegenverbundwicklung, Selbsterregung und Eigenerrregung. Die Schaltung sieht



ferner, wie in Abb. 107, eine Beruhigungsdrosselspule im Schweißstromkreis vor und schließlich noch eine Wendepol- (oder Hilfspol-) Wicklung *W* im Hauptstromkreis. Letztere findet bei der Mehrzahl der Schweißgeneratoren Anwendung; sie ist zunächst kein Mittel zur Verbesserung der statischen oder dynamischen

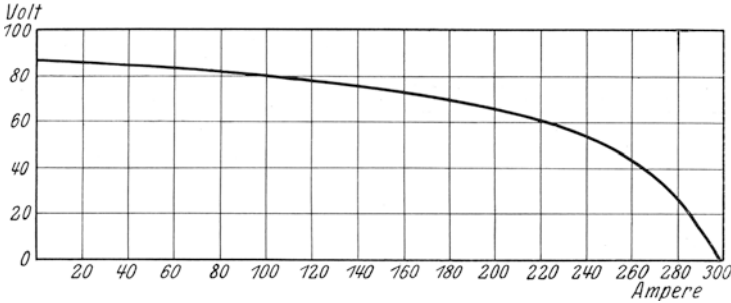


Abb. 110. Statische Charakteristik eines Schweißgenerators mit Gegenverbundwicklung, Selbst- und Eigenregung.

Charakteristik der Maschine (anders ausgedrückt: kein Mittel zur Verbesserung der schweißtechnischen Eigenschaften der Maschine); sie dient vielmehr dazu, einen möglichst funkenfreien Lauf des Schweißgenerators zu erzielen. Auf die Ursache der Funkenbildung und die Wirkung der Wendepolwicklung wird kurz bei den Maschinen mit Ankerrückwirkung (s. den nächsten Absatz) eingegangen, weil das dort näher erklärte Ankerfeld bei der Betrachtung von Bedeutung ist.

Nach den früheren Ausführungen ist die statische Charakteristik der Krämermaschine günstig, nicht ganz ebenso die dynamische. Die Maschine wird etwas träge arbeiten, ein Nachteil, der nach Möglichkeit wieder durch die Beruhigungsdrosselspule behoben wird.

**Generatoren mit Ankerrückwirkung und Eigenregung.** Das Wesen der Ankerrückwirkung, die hier nutzbar gemacht wird, ergibt sich aus folgender

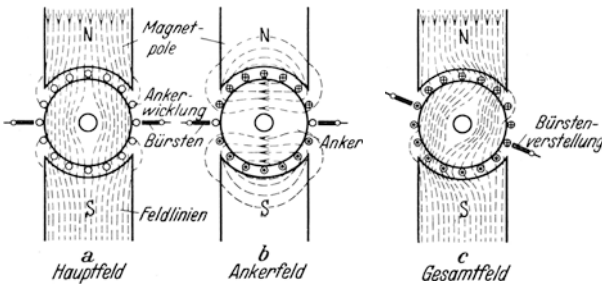


Abb. 111. Feldverteilung im Anker einer Gleichstromdynamo mit Ankerrückwirkung.

Überlegung. Nach Abschnitt IC 3 wird durch Drehung des Ankers zwischen den Polen ein magnetisches Feld, in Abb. 111a als Hauptfeld bezeichnet, zur Stromerzeugung ausgenutzt. Im Anker bildet sich nun, sobald durch seine Drähte Strom hindurchfließt, ein zweites magnetisches Feld, das sog. Ankerfeld (Abb. 111b). Dieses

schwächt und verzerrt das Hauptfeld. Die Wirkung dieses zum Hauptfelde quer stehenden Ankerfeldes kann durch Verschiebung der Bürsten im Drehsinne des Ankers gesteigert werden, so daß der in Abb. 111c mit Gesamtfeld bezeichnete Zustand eintritt (verstärkte Ankerrückwirkung). Durch entsprechende Bemessung der Ankerwicklung u. a. m. kann man die Ankerrückwirkung bei Schweißgeneratoren so ausnützen, daß beim Über-

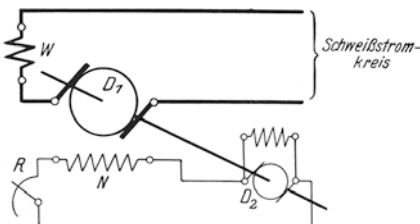


Abb. 112. Schaltung eines Schweißgenerators mit Ankerrückwirkung und Eigenregung.

schreiten einer gewissen Stromstärke das Ankerfeld die Spannung schließlich bis auf Null herabsinken läßt.

Der Schweißgenerator (Abb. 112) zeigt weiter eine Wendepolwicklung  $W$ , genauer gesagt: Wendepole, deren Wicklung im Hauptstrom liegt. Wie schon im vorigen Absatz erwähnt, sollen diese Wendepole zunächst die Funkenbildung am Kollektor der Maschine beheben, die letzten Endes von einem Teile des Ankerfeldes herrührt. Wendepole, die bei einer zweipoligen Maschine senkrecht zu den Hauptpolen angeordnet werden, ergeben nämlich ein dem Ankerfeld entgegengesetzt gerichtetes Feld, wodurch das Ankerfeld geschwächt bzw. aufgehoben wird. Im vorliegenden Falle (Abb. 112) sind die Wendepolwicklungen jedoch so

geschaltet, daß sie das Ankerfeld und damit die Ankerrückwirkung verstärken. Die Regelung der Maschine erfolgt im Nebenschlußkreis bei  $R$ . Die Nebenschlußwicklung  $N$  ist eigenerrigt durch die besondere, mit dem Schweißgenerator  $D_1$  auf einer Welle sitzende Erregermaschine  $D_2$ . Die statische Charakteristik eines solchen Schweißgenerators sehen wir in Abb. 113 für zwei Reglerstellungen. Bei Stellung  $I$  hat der Generator 100 V Leerlaufspannung, 140 ÷ 170 A Schweißstromstärke bei 15 ÷ 25 V und eine Kurzschlußstromstärke von 200 A, bei Stellung  $II$  ist die Leerlaufspannung 70 V, die Schweißstromstärke etwa 90 ÷ 120 A bei 15 ÷ 25 V und die Kurzschlußstromstärke 150 A.

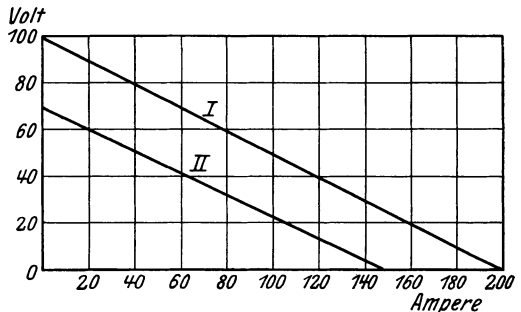


Abb. 113. Statische Charakteristik eines Schweißgenerators mit Ankerrückwirkung und Eigenerrregung.

Schweißgeneratoren dieser Art zeigen eine genügend steile statische bei gleichzeitig guter dynamischer Charakteristik; außerdem sind sie einfach in der Bauart und in der Schaltung. Die dynamische Charakteristik ist günstig, da infolge der Eigenerrregung nach Kurzschluß die Spannung rasch wiederkehrt.

Eine Abart dieser Generatoren hat Selbst- und Eigenerrregung. Sie hat infolge der Selbsterregung eine etwas steilere, also günstigere statische Charakteristik im Schweißbereich, aber eine schlechtere dynamische. Die Maschinen sind also träger und benötigen deshalb eine Beruhigungsdrrosselspule im Schweißstromkreis.

**Generatoren mit Selbsterregung.** Die Schaltung dieser Schweißgeneratoren ist sehr einfach. Abb. 114 zeigt eine Dynamo  $D$  mit Selbsterregung im Nebenschluß-

kreis  $N$ , die bei  $R$  geregelt wird. Es wurde schon erwähnt, daß die Spannung einer selbsterregten Maschine nach Kurzschluß erst in einer gewissen Zeit wieder hoch kommt. Die selbsterregte Maschine ist also ohne ein besonderes Hilfsmittel nicht als Schweißgenerator zu gebrauchen. Solche üblichen Hilfsmittel sind z. B. die Ausnutzung der Ankerrückwirkung, Drrosselspulen u. a. Abweichend von den bekannteren Maßnahmen ist eine sog.

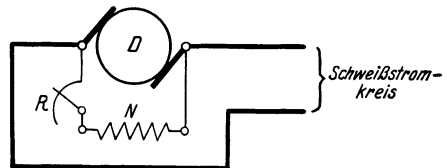


Abb. 114. Schaltung eines Schweißgenerators mit Selbsterregung.

Dämpferwicklung, welche die Polschuhe der Hauptpole ringartig umgibt. Wird das Hauptmagnetfeld durch Kurzschluß plötzlich stark geschwächt, so wird dadurch auf die Dämpferwicklung eine stark induzierende Wirkung ausgeübt; es entsteht in ihr ein Strom, der das Hauptmagnetfeld stärkt und

unterhält. Die statische Charakteristik einer solchen Maschine, wie sie Abb. 115 wiedergibt, zeigt bei höheren Stromstärken eine eigentümliche, etwas rückläufige Form. Die Dauerkurzschlußstromstärke ist niedriger als die eigentliche

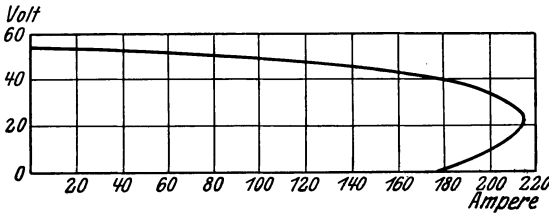


Abb. 115. Statische Charakteristik eines Schweißgenerators mit Selbsterregung.

Schweißstromstärke. Dies kommt daher, daß der Spannungsabfall auch das durch die selbsterregte Nebenschlußwicklung erzeugte Hauptmagnetfeld schwächt und die Schwächung des Hauptmagnetfeldes einen verstärkten Abfall der Spannung bewirkt.

Die selbsterregten Maschinen haben den Vorteil Einfachheit; sie sind billiger als die eigenerregten Maschinen, da die Erregerdynamo fortfällt. Ihre statische Charakteristik ist gut. Die verhältnismäßig niedrige Leerlaufspannung der Charakteristik in Abb. 115 zwingt den Schweißer, einen kurzen Lichtbogen zu halten. Andererseits ist bekanntlich eine höhere Leerlaufspannung günstiger für die Zündung des Lichtbogens. Die dynamische Charakteristik wird durch die Dämpferwicklung günstig beeinflusst.

**Generatoren mit Hauptstromerregung.** Bei diesen Maschinen handelt es sich ausschließlich um sog. Querfeldschweißgeneratoren mit verstärkter Ankerückwirkung. Sie besitzen nur zwei Pole, deren Schuhe den Anker der Dynamo fast völlig umfassen. Der remanente Magnetismus induziert zwischen den Hilfsbürsten zwar nur eine geringe Spannung, hat aber, da die Hilfsbürsten kurzgeschlossen sind (Abb. 116), einen merklichen Ankerstrom zur Folge, der das Querfeld erzeugt. Dieses wird durch die großen Polschuhe gegenüber dem Primärfeld besonders wirksam, so daß zwischen den Hauptbürsten, die mit dem Schweißstromkreis verbunden sind, eine höhere Spannung (Leerlaufspannung) induziert

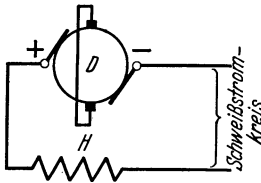


Abb. 116. Schaltung einer Querfelddynamo.

wird. Wird der Schweißstromkreis kurzgeschlossen, so bewirkt die Leerlaufspannung einen Strom, der die Hauptstromwicklung und den Anker durchfließt, letzteren jedoch so, daß die Ankerfeldkomponente des Hauptstromes dem Primärfeld entgegengesetzt gerichtet ist und damit die Kurzschlußstromstärke begrenzt.

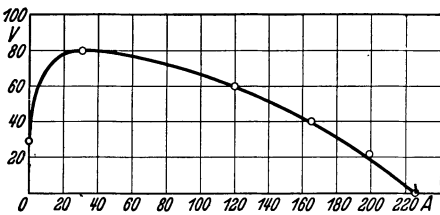


Abb. 117. Statische Charakteristik einer Querfelddynamo.

Die Einstellung der Stromstärke geschieht durch Veränderung des magnetischen Hauptfeldes, entweder durch Verstellung von Polkernen oder durch Ab- und Zuschalten von Hauptstromwindungen.

Die statische Charakteristik einer Querfelddynamo zeigt Abb. 117. Die stets niedrige Leerlaufspannung ist für alle Regelleistungen und zugehörigen Kurven die gleiche und nur vom remanenten Magnetismus der Pole abhängig.

Die Charakteristik zeigt eine nur dieser Maschinenart eigentümliche Kurve, deren Spannungshöchstwert nur beim Abreißen des Lichtbogens durchlaufen wird. Trotz der besonders niedrigen Leerlaufspannung läßt sich eine z. B. bei der Kohleschweißung erwünschte höhere Schweißspannung (länger Lichtbogen) erreichen. Der einfache Aufbau dieser Maschinenart ergibt einen niedrigen Anschaffungspreis, was wohl die Hauptursache für die neuer-

dings bevorzugte Verwendung dieser Konstruktion ist. Während bei den übrigen Maschinen die Regelung durch Einstellen einer bestimmten Leerlaufspannung erfolgt, ist dies bei der Querfeldmaschine nicht möglich. Vielmehr regelt man diese nach der Kurzschlußstromstärke, weshalb vom Einbau eines Voltmeters meist abgesehen wird.

**Schweißgleichrichter.** Er ist im wesentlichen ein Transformator mit auf der Sekundärseite befindlichen elektrischen Ventilen (Quecksilbergleichrichter oder Glühkathodenröhren), wodurch der Wechsel- oder Drehstrom des Netzes in Gleichstrom zum Schweißen verwandelt (gleichgerichtet) wird und gleichzeitig eine symmetrische Belastung des Drehstromnetzes erzielt werden kann.

Die praktische Anwendungsmöglichkeit des Schweißgleichrichters wurde bis vor kurzem noch verneint, vornehmlich wegen der Empfindlichkeit der Glaskörper. Die Entwicklung ist jedoch so weit vorangeschritten, daß die Gleichrichter eine genügende mechanische Widerstandsfähigkeit aufweisen und bei geeigneter Aufhängung für den rauen Schweißbetrieb jetzt besser geeignet sind. Die neuesten Versuche mit unzerbrechlichen Platten-Trockengleichrichtern eröffnen noch weitere günstige Aussichten.

Trotz geringer, ungefährlicher Leerlaufspannung lassen sich nackte Elektroden verarbeiten und infolge der fast trägheitslosen Stromanpassung brennt der Lichtbogen ruhig und stabil, so daß dem Schweißgleichrichter künftig eine größere Beachtung geschenkt werden wird. Abb. 118 zeigt einen Schweißgleichrichter ohne Gehäuse, wodurch die Transformatorenwicklung, die Gleichrichterröhren und die Regeleinrichtung sichtbar sind.

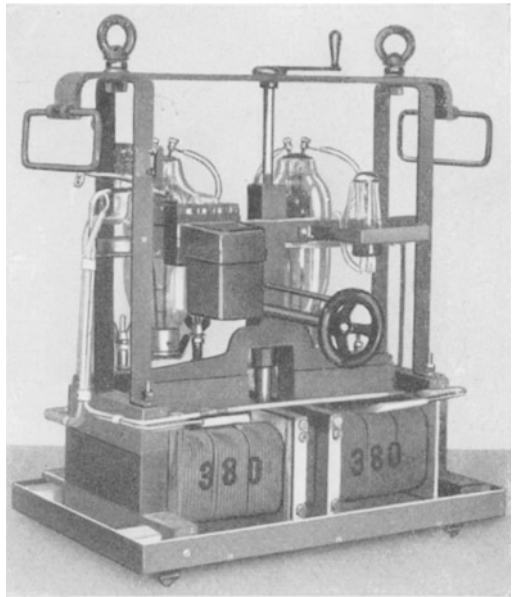


Abb. 118. Schweißgleichrichter.

#### d) Schweißtransformatoren mit einphasigem Anschluß.

**Allgemeines.** Die Bedingungen, die an den Wechselstromtransformator zu stellen sind, sind dieselben wie beim Gleichstromumformer. Der normale Transformator hält, ebenso wie der normale Generator, bei jeder Strombelastung die Spannung möglichst gleichmäßig; er muß also für Schweißzwecke so durchgebildet sein, daß eine fallende Charakteristik erreicht wird. Das Schema eines Wechselstromtransformators wurde bereits in Abb. 11 wiedergegeben. Eine Primärwicklung erzeugt in einem Eisenkern ein Kraftlinienfeld, das eine Sekundärwicklung trifft und in ihr einen Strom hervorruft, dessen Spannung abhängig ist von der Windungszahl der Wicklung. Die erforderliche abfallende Charakteristik wird einmal durch Verwendung von Drosselpulen im Schweißstromkreis erreicht, zum anderen hauptsächlich durch die Ausnutzung absichtlich herbeigeführter Streuung der Kraftlinien. Je größer die Streuung des Transformators, d. h. je

größer derjenige Teil der Kraftlinien ist, der aus dem Eisenkern heraustritt und die Sekundärwicklung nicht schneidet, um so größer wird der Spannungsabfall und um so geeigneter ist der Transformator zum Schweißen. Allerdings bringt die große Streuung den Nachteil eines schlechten Leistungsfaktors. Der  $\cos \varphi$  beträgt  $0,25 \div 0,45$ . Die Streuung und damit die Regelung der Stromstärke erreicht man durch Ab- und Zuschalten von Primär- oder Sekundärwindungen (Anzapfregelung), durch Verschiebung einer der beiden Spulen, durch Verstellung eines Luftspaltes und durch Veränderung der Stellung des Eisenkerns.

**Schweißtransformator mit Regelung durch Drosselspule.** Transformatoren dieser Art sind so eingerichtet, daß ihre Regelung durch Zu- und Abschalten von

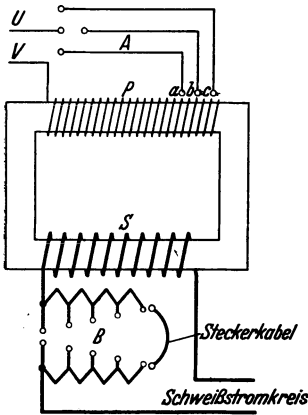


Abb. 119. Schweißtransformator mit Regelung durch Drosselspule.

Windungen einer sekundärseits angeordneten Drosselspule *B* in Abb. 119 erfolgt, die sowohl mit der Transformatorwicklung *S* kombiniert und getrennt eingebaut sein kann. Die Anordnung dieser Drosselspule entspricht dem Vorschaltwiderstande beim

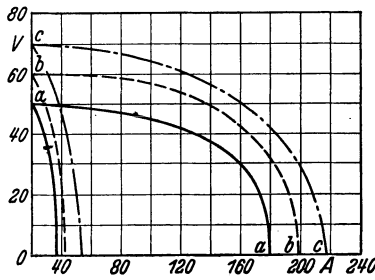


Abb. 120. Statische Charakteristik des Schweißtransformators der Abb. 119.

Schweißen vom Gleichstromnetz. Zur Erweiterung des durch die Drosselerzielbaren Regelbereichs sind bei dem in Abb. 119 schematisch veranschaulichten Transformator drei Anschlüsse *a*, *b* und *c* an der Primärwicklung

vorgesehen, denen drei bestimmte, vom Übersetzungsverhältnis abhängige Zündspannungen *a*, *b*, *c* der Abb. 120 ( $50 \div 70$  V) entsprechen. Auch einem primären Spannungsabfall kann dadurch Rechnung getragen werden. Die in Abb. 120 dargestellten Kurven entsprechen der obersten und untersten Schaltstufe der Drossel bei jeweils einer der drei Zündspannungen. Die Zwischenstufen sind nicht ein-

gezeichnet.

**Schweißtransformator mit Anzapfregelung.** Den einfachsten Fall eines Schweißtransformators stellt Abb. 121 dar. Die Streuung dieses Transformators ist an und

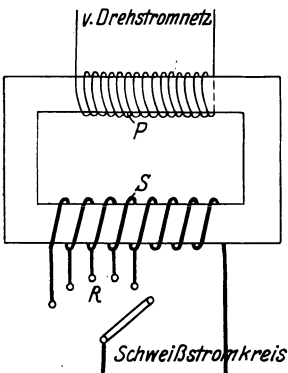


Abb. 121. Schweißtransformator mit Anzapfregelung.

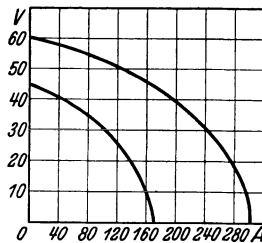


Abb. 122. Statische Charakteristik des Transformators Abb. 121.

für sich ziemlich groß, da nur ein Teil der Kraftlinien die Sekundärwicklung *S* trifft. Einzelne Windungen der Sekundärwicklung können mit Hilfe des Reglers *R* zu- oder abgeschaltet werden, wodurch Spannung und Stromstärke des Schweißstromkreises in gewissen Grenzen regelbar sind. Die Anzapfung kann in gleicher Weise auch auf der Primärseite eingerichtet

werden. Ein Nachteil dabei ist der, daß durch Veränderung des Übersetzungsverhältnisses die Leerlaufspannung für jede Regelstufe verändert wird. Die zu-

gehörige statische Charakteristik für die niedrigste und höchste Regelstellung veranschaulicht Abb. 122. Transformatoren dieser Art sind weniger im Gebrauch, da die obere Zündspannung nicht über die Gefahrgrenze hinaus gesteigert werden darf und damit für die unteren Regelstufen nur eine geringe Zündspannung verbleibt.

**Schweißtransformator mit verschiebbarer Spule.** Der Netzstrom durchfließt

die verschiebbare Primärspule  $P$  (Abb. 123) und erzeugt in der seitlich neben ihr sitzenden Sekundärspule  $S$  den Schweißstrom. Die Regelung der Spannung erfolgt mit Hilfe eines Handrads  $H$ , das eine Mutter auf einer Spindel und mit Hilfe der Mutter die Spule  $P$  verschiebt. Je weiter  $P$  nach rechts geschoben wird, d. h. je näher die Primärspule  $P$  an die Sekundärspule  $S$  herankommt, desto geringer wird die

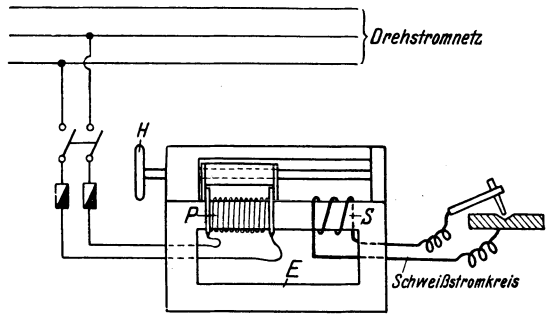


Abb. 123. Schweißtransformator mit verschiebbarer Spule.

Streuung, weil dann eine sehr große Anzahl von Kraftlinien, die von  $P$  ausgehen, die Spule  $S$  treffen. Die äußerste Rechtsstellung von  $P$  ist also die Stellung der geringsten Streuung, und die äußerste Linksstellung von  $P$  bewirkt die größte Streuung. In Abb. 124 finden wir die statische Charakteristik eines solchen Transformators, und zwar gibt die Kurve  $I$  die Charakteristik für die geringste Streuung und die Kurve  $II$  die Charakteristik für die größte Streuung wieder. Zwischen diesen beiden äußersten Kurven kann man durch kleinere oder größere Verschiebung der Spule  $P$  noch auf beliebige Zwischenkurven einstellen. Eine Schweißspannung von  $15 \div 25$  V angenommen, kann man also mit einem Transformator nach Abb. 123 und 124 auf Stromstärken von etwa  $110 \div 195$  A fortlaufend einstellen; die Leerlaufspannung beträgt dabei etwa 60 V. Transformatoren dieser Art sind einfach und leicht und dementsprechend auch billig.

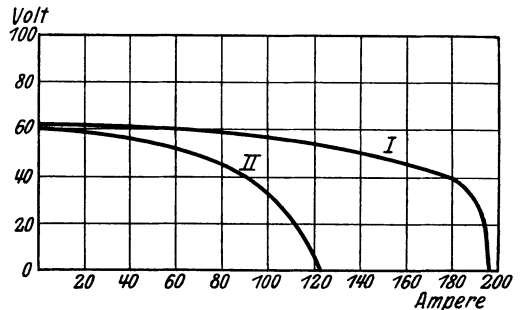


Abb. 124. Statische Charakteristik des Schweißtransformators der Abb. 123.

**Schweißtransformator mit Luftspaltregelung.** In Abb. 125 bleiben die Windungszahlen der beiden Spulen  $P$  und  $S$  unverändert, so daß die Leerlaufspannung in allen Regelstellungen die gleiche ist. Die Veränderung des Luftspalts  $L$  und die damit im Zusammenhange stehende Veränderung der Stromstärke erfolgt durch Verstellung des Jochs  $A$ . Die Charakteristik ähnelt der Abb. 124. Die Einstellung des Transformators dieser Bauart erfolgt stufenlos.

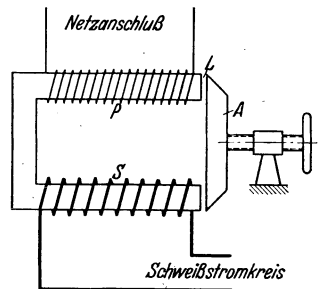


Abb. 125. Schweißtransformator mit Luftspaltregelung.

**Schweißtransformator mit Streupaketten.** Die Primärspule (Abb. 126) sitzt, in zwei Teile  $P_1$  und  $P_2$  geteilt, auf dem oberen Kern des Transformators. Die Sekundärspule ist ebenfalls in zwei Teile  $S_1$  und

$S_2$  unterteilt, von denen  $S_1$  auf dem oberen und  $S_2$  auf dem unteren Kern untergebracht ist. Diese beiden Spulenpakete haben wohl zu der Bezeichnung „Streupakete“ geführt, da sie durch die in ihnen verschiedene starke Streuung eine besondere Rolle bei der Regelung spielen. Im Inneren des Transformators ist noch ein Zwischenjoch  $Z$  angebracht, das eine Anzahl Kraftlinien auf sich ablenken und damit die Streuung vergrößern soll. Die Regelung erfolgt zwar durch Zu- oder Abschalten von Sekundärwindungen, aber in ganz anderem Sinne als bei Abb. 121, indem nämlich mit Hilfe eines Steckers oder einer Steuerwalze eine Windung von  $S_1$  (im Bereich des starken Kraftlinienfeldes) abgeschaltet und gleichzeitig eine Windung von  $S_2$  (im Bereich des schwächeren Kraftlinienfeldes) zugeschaltet wird oder umgekehrt. Werden stets gleich viel Windungen zu- und abgeschaltet (was bei dieser Konstruktion leicht durchführbar ist), so bleibt das Verhältnis der Primärwindungszahl zur Sekundärwindungszahl stets dasselbe und damit auch die Leerlaufspannung des Transformators die gleiche. Die statische Charakteristik dieses Transformators zeigt Abb. 127 in den

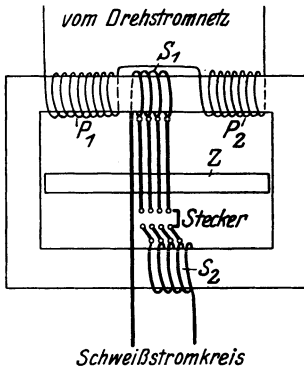


Abb. 126. Schweißtransformator mit Streupaketen.

äußersten Regelstellungen, und zwar Kurve *I* für die geringste Streuung (größte Stromstärke) und Kurve *II* für die größte Streuung (kleinste Stromstärke). Zwischen diesen Grenzkurven kann man mit Hilfe des Steckers oder der Steuerwalze noch

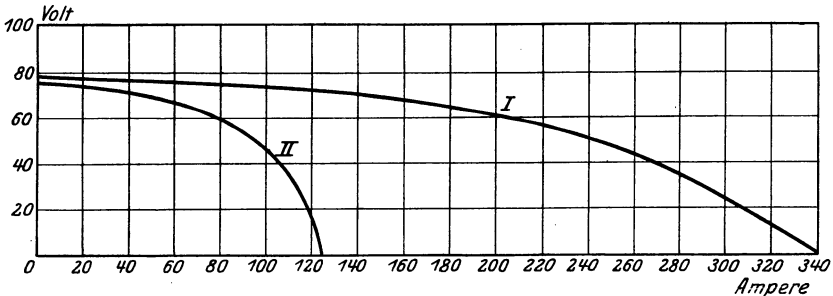


Abb. 127. Statische Charakteristik des Transformators der Abb. 126.

auf eine Anzahl Zwischenkurven einstellen. Der Aufbau dieser Transformatoren ist etwas schwieriger als der der Transformatoren mit verschiebbarer Spule.

Daß die statische Charakteristik der gebräuchlichen Schweißtransformatoren eine zufriedenstellende ist, geht schon aus den Abbildungen hervor. Die dynamische Charakteristik wird bei allen Schweißtransformatoren insofern eine günstige sein, als ja das Kraftlinienfeld stets (auch bei Kurzschluß), von der Primärseite her erregt, vorhanden ist und nicht, wie bei einer Anzahl Gleichstromschweißumformer, bei Kurzschluß mehr oder weniger verlorengeht.

**Anschluß der Transformatoren an das Netz.** Die vorbeschriebenen Schweißtransformatoren arbeiten mit einphasigem Schweißstrom, so daß sie primärseits nur ein Einphasenwechselstromnetz benötigen. Da aber heute fast überall Drehstrom als Kraftstrom zur Verfügung steht, werden die Wechselstromtransformatoren entweder zwischen zwei Phasen oder zwischen eine Phase und den Nulleiter des Drehstromnetzes angeschlossen, wie es bereits beim Anschluß von Widerstandsschweißmaschinen (Abschnitt II, A 2) besprochen wurde.

Zum besseren Verständnis sei noch kurz auf die beiden Schaltungsarten des Drehstroms, auf die Dreieck- und die Sternschaltung, eingegangen. Nach Abschnitt I C 3 versteht man unter Drehstrom das Zusammenarbeiten von drei Wechselströmen, die um je eine Drittelperiode gegeneinander verschoben sind. Wollte man jeden dieser drei Wechselströme für sich fortleiten, so hätte man sechs Leitungen nötig. Wenn man aber die Wicklungen z. B. in der Weise miteinander „verkettet“, daß das Ende der ersten mit dem Anfang der zweiten Wicklung, das Ende der zweiten mit dem Anfang der dritten und das Ende der dritten mit dem Anfang der ersten verbunden wird, so sind nur drei Leitungen erforderlich. Diese in Abb. 128 wiedergegebene Schaltung wird als Dreieckschaltung bezeichnet. Zwischen zwei Phasen ergibt sich eine bestimmte Spannung, z. B. 220 oder 380 V; zwischen zwei Phasen ist auch, wie es die Abbildung zeigt, der Schweißtransformator angeschlossen. Man kann nun auch die drei Wicklungen des Generators so miteinander verketten, daß sie mit je einem Ende untereinander

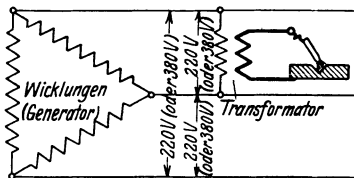


Abb. 128. Drehstromsystem in Dreieckschaltung mit Schweißtransformator zwischen zwei Phasen.

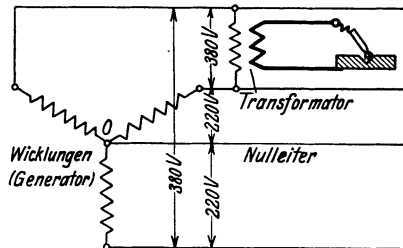


Abb. 129. Drehstromsystem in Sternschaltung mit Schweißtransformator zwischen zwei Phasen.

verbunden sind (Sternschaltung). Dann kann man vier Leitungen verlegen (Abb. 129), indem man den Strömen eine gemeinsame, in dem Vereinigungspunkt *O* der Wicklungen angeschlossene Rückleitung gibt. Diese als Nulleiter bezeichnete Leitung hat daher ihren Namen, daß in ihr bei gleicher Belastung der drei Phasen kein Strom fließt (weil die Summe der drei gegeneinander verschobenen Wechselströme zu jedem beliebigen Zeitpunkt gleich Null ist). Meistens wird daher der Nulleiter auch gar nicht verlegt, und man kommt also auch bei der Sternschaltung mit drei Leitungen aus. Herrscht zwischen zwei Phasen hier eine Spannung von 380 V (verkettete Spannung), so ist die Spannung zwischen einer Phase und dem Nulleiter (die Phasenspannung) stets kleiner und durch Division durch  $\sqrt{3}$  aus der verketteten Spannung zu errechnen; die Phasenspannung ist hier also gleich 220 V. Zwischen zwei Phasen ist auch in Abb. 129 der Schweißtransformator angeschlossen.

e) Schweißtransformatoren mit dreiphasigem Anschluß (Drehstromtransformatoren).

Der einphasige Anschluß der bisher besprochenen Schweißtransformatoren bringt eine ungleichmäßige Belastung der drei Phasen eines Drehstromnetzes mit sich. Um diesem Übelstand abzuweichen, strebte man besondere Schaltungen bzw. den Bau von Drehstromtransformatoren an.

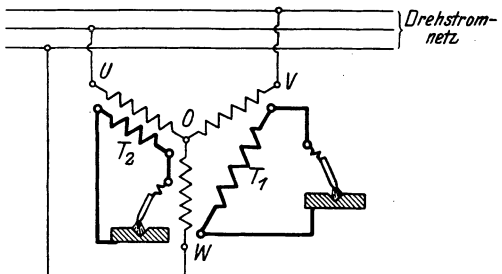


Abb. 130. Scottsche Schaltung für Schweißtransformatoren.

**Scottsche Schaltung.** Der Transformator in Abb. 130 zeigt zunächst in seinem



Anschluß an das Drehstromnetz, also auf der Primärseite, die Sternschaltung wie in Abb. 129. Auf der Sekundärseite ist der eine Schweißstromkreis  $T_1$  an die Punkte  $V$  und  $W$  der Sternschaltung geführt, der andere Schweißstromkreis  $T_2$  aber an die Punkte  $O$  und  $U$ . Man müßte nach den vorhergehenden Ausführungen über die Sternschaltung bei  $T_1$  eine höhere Spannung als bei  $T_2$  erwarten, erhält aber tatsächlich in beiden Schweißstromkreisen gleich hohe Spannungen dadurch, daß verschiedene Windungszahlen genommen werden. Das Wesentlichste ist, daß man das Drehstromnetz gleichmäßig belastet, indem man aus dem Drehstrom zwei Einphasenströme macht.

**Schweißtransformator für dreiphasigen Anschluß.** Primärseitig wird dem Transformator mit einer Leistung von 75 kVA (Abb. 131 a) Drehstrom vom Hauptnetz aus zugeführt; sekundärseitig wird verketteter Zweiphasenstrom entnommen,

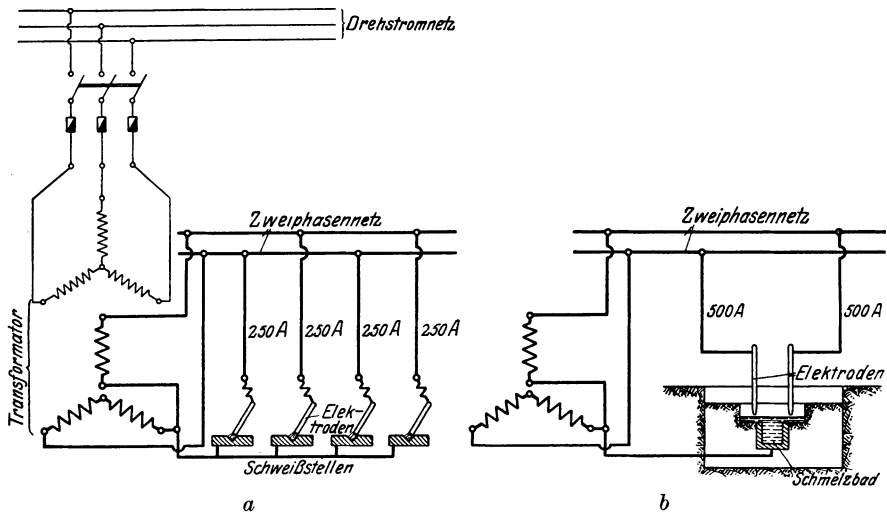


Abb. 131. Schweißtransformator mit dreiphasigem Anschluß.

an den die Schweißstellen angeschlossen sind. Das Schaltungsschema zeigt bei *a* die Einrichtung für vier Schweißstellen, an denen unabhängig voneinander mit je 250 A Höchstleistung geschweißt werden kann. Bei *b* ist die Einrichtung für zweimal je 500 A Schweißstrom mit einem Schmelzbad einer Gußwärmeschweißung dargestellt. Es ist natürlich auch möglich, mit je 500 A Schweißstrom auf zwei voneinander getrennte Schweißstellen zu arbeiten. Das Drehstromnetz ist bei dieser Ausführung gleichmäßig belastet, wenn das sekundäre Zweiphasennetz gleichmäßig belastet ist. Dies wird stets der Fall sein, wenn an allen Schweißstellen mit gleicher Stromstärke gleichzeitig gearbeitet wird.

**Drehstromlichtbogen.** Eine gleichmäßige Phasenbelastung versprach man sich von der Anordnung eines Drehstromlichtbogens, bei der das Werkstück mit einem Leiter und die beiden Elektroden mit den beiden anderen Leitern verbunden sind, so zwar, daß jeweils ein Lichtbogen zwischen Werkstück und Elektrode und der dritte Bogen zwischen den beiden Elektroden (Zwillingelektroden) gebildet wird. Diese Anordnung hat sich praktisch nicht bewährt.

**Zackse Schaltung.** In Verfolgung der gleichen Idee und unter Beibehaltung des Drehstromtransformators hat Zack eine in Abb. 132 dargestellte Schaltung entwickelt, bei der das Schweißen mit zwei Elektroden an einer Stelle oder auch an zwei Stellen (Abb. 132 a) möglich ist. Die dritte Phase liegt hierbei am Werk-

stück. Eine der beiden Elektroden kann erforderlichenfalls eine Kohlelektrode sein, die besonders beim Schweißen gut wärmeleitender Nichteisenmetalle zur Vorwärmung dient. Wird nur mit einer Elektrode gearbeitet, so muß die unbeteiligte Phase, wie Abb. 132 b zeigt, kurzgeschlossen werden. Die Regelung des Transformators geschieht durch unterspannungsseitig angebrachte Drosselspulen mit hoher Selbstinduktion. Der Ohmsche Widerstand des Lichtbogens beeinflusst den gesamten Widerstand des Schweißstromkreises (Impedanz) nur um ein Geringes, so das die Phasenbelastung auch nur wenig schwankt.

**Periodenumformer.** Um die bereits geschilderten Schwierigkeiten des Zündens und Aufrechterhaltens des Wechselstromlichtbogens zu verringern, hat man neuerdings den Weg der Anwendung höherer Periodenzahlen beschrrieben.

Dies ist praktisch nicht mit ruhenden Transformatoren, sondern nur mit Hilfe von umlaufenden Maschinen, sog. Periodenumformern möglich. Zurzeit beträgt die Periodenzahl bis zu 200 Hertz. Die erhöhte Periodenzahl hat außer einer Erniedrigung der Zündspannung eine Steigerung des Leistungsfaktors im Gefolge. Ob diese Neuerung die an sie gestellten Erwartungen in der Praxis rechtfertigen wird, bleibt abzuwarten.

Abb. 133 zeigt das Schaltbild des Hansa-Rotrans-Periodenumformers. Es handelt sich um einen Einwellenumformer für 150 Perioden. Motor und Generator werden aus dem Drehstromnetz erregt, wodurch eine gleichmäßige Netzbelastung erreichbar ist. Der Schweißstrom wird einer feststehenden Wicklung (Stator) entnommen. Die Charakteristik wird durch Streuung zwischen Ständer (Stator) und Läufer (Rotor) generatorseitig hervorgerufen. Hervorzuheben ist, daß nur die Hälfte der Leistung aus dem Netz unmittelbar transformiert, die andere Hälfte umgeformt wird. Die Regelung des Schweißstromkreises erfolgt an einer Drosselspule mit acht Anzapfungen.

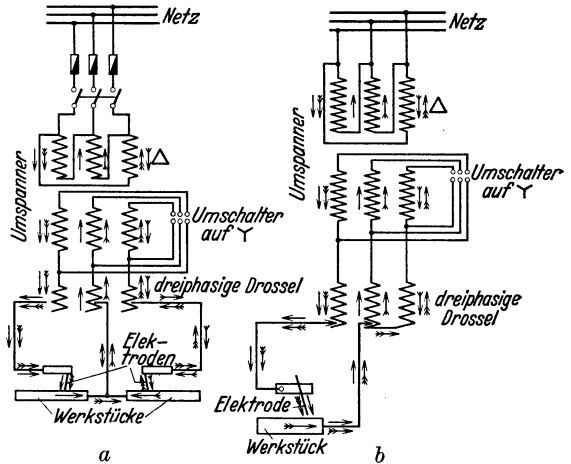


Abb. 132. Schaltung einer Drehstromschweißanlage.

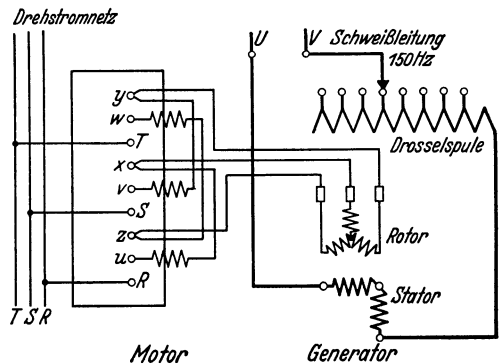


Abb. 133. Schema der Periodenumformer-Schweißmaschine.

f) Äußeres und mechanische Ausführung der Umformer.

**Gleichstromschweißumformer.** Die Gleichstromschweißanlagen können, je nach Größe und Gewicht, ortsfest oder fahrbar sein. Der Antrieb der Schweißumformer ist je nach Kraftquelle verschieden und bestimmend für die Ausführungsform. Als einfachste Maschine ist die Schweißdynamo mit Riemenantrieb anzusehen, die heute nur noch selten anzutreffen ist.

Steht Kraftstrom zur Verfügung, so erfolgt der Antrieb in der überwiegenden Mehrzahl der Fälle durch einen Elektromotor für Gleich- oder Drehstrom, je nach Anschlußbedingungen. Diese Motoren werden mit der Welle der Dynamo durch eine Kupplung verbunden, wodurch die Möglichkeit gegeben ist, im Bedarfsfall, z. B. für Montagezwecke, die Antriebsform, entsprechend Stromart und Spannungsverhältnissen, auszuwechseln.

Um Baulänge und Gewicht des Maschinensatzes auf ein möglichst geringes Maß zu beschränken, werden Eingehäuseschweißumformer gebaut, bei denen Motor und Generator auf einer gemeinsamen Welle sitzen und in einem gemeinsamen Magnetgehäuse untergebracht sind.

Steht kein Kraftstrom zur Verfügung, dann wird der Antriebsmotor durch eine Verbrennungskraftmaschine (Diesel-, Benzol- oder Benzinmotor) ersetzt.

Bei Mehrstellenbetrieb benutzt man auch Mehrmaschinenschweißumformer oder Mehrstellenschweißanlagen mit besonderem Schweißgenerator. Der Mehrmaschinenschweißumformer (Mehrfachaggregat) besteht aus mehreren Generatoren und einem gemeinsamen Motor, die untereinander gekuppelt sind und bei Fremderregung nur eine gemeinsame Erregermaschine besitzen. Von dieser Einrichtung unterscheidet sich die Mehrstellenschweißanlage dadurch, daß

nur ein großer Generator für konstante Spannung aufgestellt wird. Jede Schweißstelle muß dann einen regelbaren Vorschaltwiderstand erhalten.

**Beispiele.** In den folgenden Abbildungen werden eine Anzahl Vertreter der oben angeführten Umformerarten gezeigt. Einen mit einem Drehstromschleifringmotor gekuppelten, eigenerregten Generator veranschaulicht Abb. 134. Der Umformer ist in der üblichen Weise auf

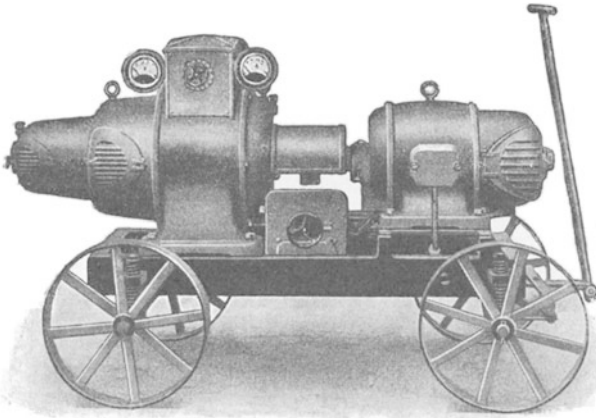


Abb. 134. Fahrbarer Schweißumformer mit Erregermaschine (links).

ein geschweißtes gutgefedertes Fahrgestell, dessen Räder oft Vollgummibereifung tragen, montiert. Anlasser, Nebenschlußregler und Meßinstrumente (Volt- und Amperemeter) sind auf dem Bilde deutlich sichtbar. Neben einigen anderen können auch bei diesem Umformer zwei Schweißstrombereiche (einer unter und einer über 100 Ampere) eingestellt werden. Alle fahrbaren Schweißumformer sind „ventiliert gekapselt“, d. h. alle Einzelteile sind zum Schutze gegen atmosphärische Einflüsse geschützt. Die Belüftung besorgen ein auf der Maschinenwelle angeordneter Ventilator und in der Einkapselung vorgesehene Jalousien.

Der Eingehäuseumformer Abb. 135 unterscheidet sich äußerlich von der vorigen Maschine durch gedrungene Bauart. Im linken Gehäuseteil ist der Motor, im rechten der Generator untergebracht. Auf den gleichen Seiten befinden sich die Kabelanschlußkästen und Handräder für den Anlasser und den Schweißstromregler. Die durch eine Blechklappe gegen Beschädigung geschützten Meßinstrumente sitzen unter der Abdeckhaube. Alle Maschinen werden mit Tragösen ausgestattet. Unten am Maschinengehäuse ist zwischen den Rädern eine Erdungsklemme vorgesehen, um bei Gehäuseschluß die Spannung nach der Erde abzuleiten.

Eine Querfelddynamo anderer Konstruktion, ebenfalls einen Eingehäuseumformer, bringt Abb. 136. In dem Bilde fällt neben kurzer Baulänge auch eine geringe Höhe der Maschine auf, die auf die drei vollgummibereiften Räder kleinen Durchmessers und auf den Verzicht jeglichen Aufbaues zurückzuführen ist. Der Stern-Dreieck-Anlasser sitzt auf der Motorseite, daneben der Schweißkabelanschlußkasten mit einer dreifachen Grobeinstellung, die durch eine Feineinstellung (Handrad) ergänzt wird. Wie im Abschnitt III B 1 c erläutert wurde, ist diese Maschine nur mit einem Amperemeter ausgerüstet.

Als Beispiel für ein Mehrfachaggregat diene Abb. 137. Generatoren und Motor, der sich in der Bildmitte befindet, sind auf einem gemeinsamen Fundament aufgestellt. Das Bild zeigt vier selbsterregte Generatoren. Die Wellenstumpfe der beiden äußeren Maschinen gestatten den weiteren Anbau von Maschinen, doch geht man im allgemeinen nicht über sechs Generatoren hinaus. Solche Maschinensätze werden nur bei nahe beieinanderliegenden Schweißplätzen von Vorteil sein. Hinsichtlich der Leistungsbemessung des Motors gelten dieselben Gesichtspunkte wie für die Mehrstellenschweißanlagen mit besonderem Schweißgenerator, Abb. 138. Dieser Generator liefert etwa 65 V konstante Spannung (Doppelschlußmaschine) in ein Schweißnetz, dem über parallelgeschaltete, regelbare Vor-

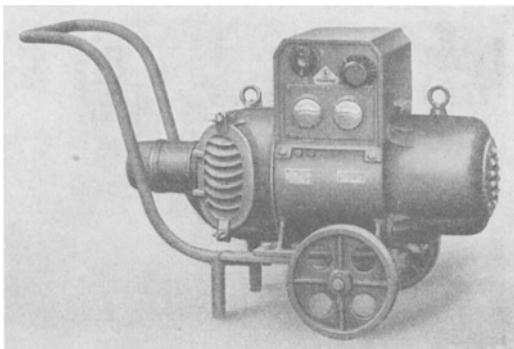


Abb. 135. Fahrbarer Eingehäuseumformer mit Querfelddynamo.

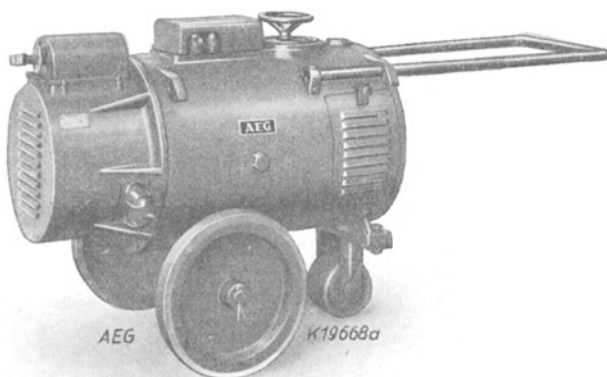


Abb. 136. Fahrbarer Eingehäuseumformer mit Querfelddynamo.

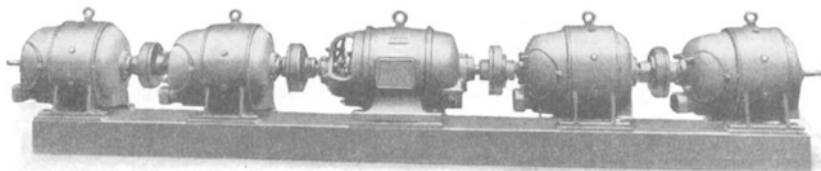


Abb. 137. Mehrfachschweißumformer.

schaltwiderstände der Schweißstrom entnommen wird. Für jede Schweißstelle ist ein unabhängiger Widerstand erforderlich. Die Bemessung der Leistung und der wirtschaftliche Betrieb sind an nachstehende Bedingungen geknüpft. Die Schweißstellen müssen räumlich eng zusammenliegen, damit zu große Leitungsquerschnitte

vermieden werden und doch auch an der entferntest liegenden Stelle hinreichende Zündspannung vorhanden ist. Wenn es sich nicht gerade um Automatschweißung handelt, wird praktisch immer mit größeren Unterbrechungen (Schweißpausen) zu rechnen sein. Ebenso braucht man an den einzelnen Schweißständen nicht dauernd die größtmögliche Stromstärke, so daß Überschneidungen der Einzel-

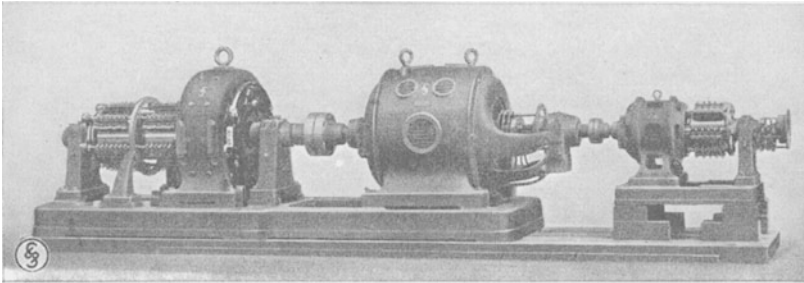


Abb. 138. Großschweißmaschinensatz.

belastungen eintreten. Aus diesen Gründen kann die Gesamtleistung der Anlage geringer bemessen werden, als dem Produkt aus Anzahl der Schweißstellen und größter Einzelstromstärke entspricht. Z. B. stehe eine 130-kW-Anlage zur Verfügung, die bei 65 V 2000 A abgibt. Würden jeder Schweißstelle dauernd 200 A

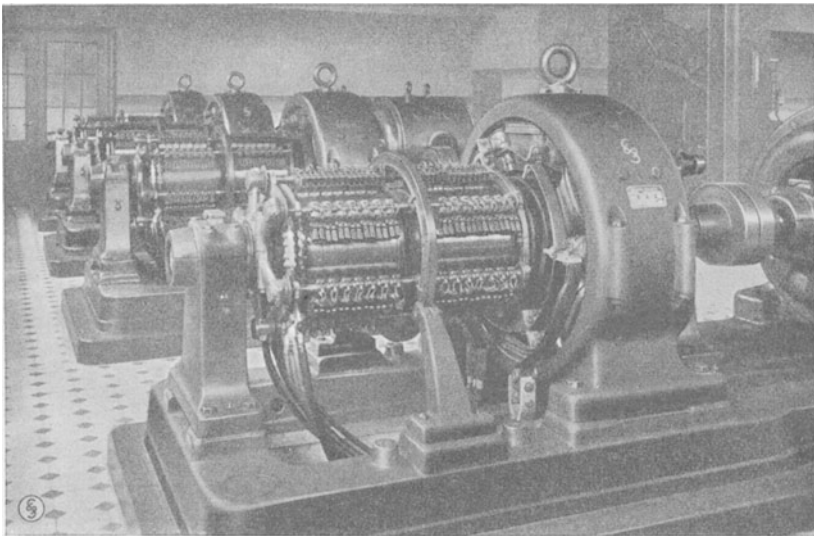


Abb. 139. Schweißmaschinenzentrale.

zur Verfügung gehalten, so könnten 10 Schweißplätze von diesem Aggregat gespeist werden. Angenommen die zeitliche Ausnutzung der Anlage betrage nur 33 vH, so können 30 Schweißstellen betrieben werden, wenn die Anlage gegen zufällige Überlastung gesichert ist.

Einen solchen Großschweißmaschinensatz zeigt Abb. 138. Auf einer gemeinsamen Grundplatte ist in der Mitte des Maschinensatzes ein kompensierter Drehstrom-Asynchron-Motor (200 kW, 5000 V) angeordnet, der linksseitig mit einem

Gleichstromgenerator (65 V, 2000 A) und rechtsseitig mit einer Erregermaschine gekuppelt ist. Eine Gruppe gleicher Maschinen zeigt die Schweißmaschinenzentrale Abb. 139, bei der gegenüber normalen Dynamos die durch hohe Stromstärken bedingten, außergewöhnlich umfangreichen Kollektoren besonders ins Auge fallen.

Um besonders große Leistungen an einer Schweißstelle zu erhalten, so wie sie für die Gußeisenwärmeschweißung bzw. für die Stahlschweißung mit umhüllten Elektroden großen Durchmessers erforderlich sind, gibt es zwei Möglichkeiten. Entweder es werden mehrere Einzelumformer normaler Leistung ( $200 \div 300$  A) und gleicher Charakteristik parallelgeschaltet, oder man benutzt Großaggregate, wie sie bisher besonders für die Wärmeschweißung gebaut wurden. Der elektrische Aufbau entspricht jenem der normalen Umformer, jedoch handelt es sich hierbei um 500-, 600- und 1000-Ampere-Maschinen. Das Aussehen einer solchen Maschine gleicht etwa dem der Abb. 138.

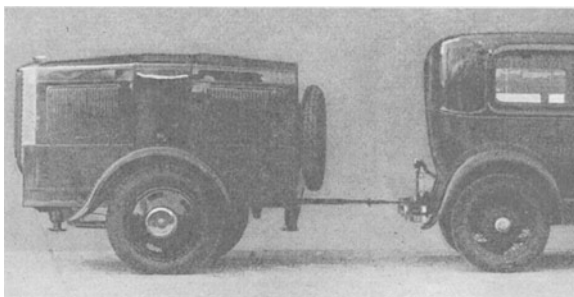


Abb. 140. Schweißgenerator mit Benzinmotorantrieb („Schweißwagen“).

Schweißanlagen mit Antrieb durch Verbrennungskraftmaschinen werden meist fahrbar eingerichtet, da sie leicht beweglich sein müssen und dort eingesetzt werden, wo Kraftstrom nicht verfügbar ist, bzw. schwer beschafft werden kann. Eine solche, meist mit „Schweißwagen“ bezeichnete Einrichtung ist in Abb. 140 veranschaulicht. Neben dieser als Anhänger durchgebildeten Konstruktion sind auch Lastwagen mit aufgebauter Anlage üblich, wobei der Fahrmotor selbst als Antriebsmaschine für die Dynamo Verwendung finden kann. Abb. 141 veranschaulicht noch eine Schweißmaschine mit Dieselmotorantrieb, die infolge ihrer gedrängten Anordnung auch auf einem Wagen untergebracht werden kann. Die stark wechselnde Belastung des Generators und die Forderung des Aufrechterhaltens der Drehzahl bedingen eine Antriebsmaschine hinreichender Leistung und mit einem schnellwirkenden Drehzahlregler.

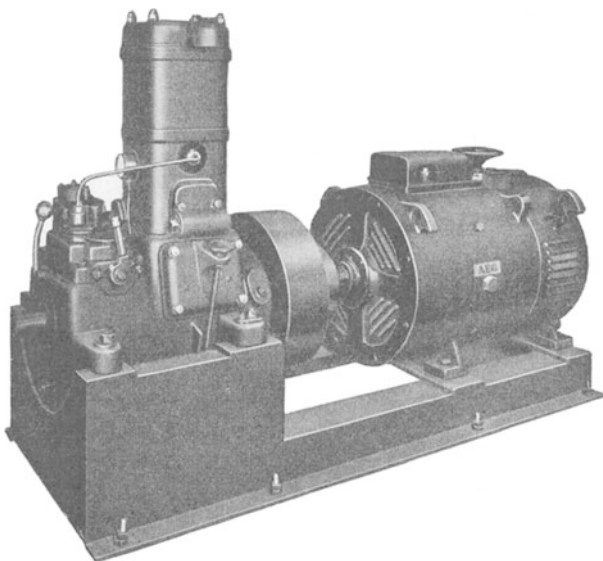


Abb. 141. Mit Dieselmotor gekuppelte Schweißmaschine.

Um die durch meist willkürliche Leistungsangaben für die Maschinen entstandenen Unstimmigkeiten abzuwenden, sind durch eine Gemeinschaftsarbeit des

Fachausschusses für Schweißtechnik im VDI und der Normalkommission des VDE „Regeln für die Bewertung und Prüfung von Gleichstrom-Lichtbogenschweißmaschinen RESM/1931“ aufgestellt worden. In diesen Bestimmungen haben nur die Abweichungen von den allgemeinen Regeln für die Bewertung und Prüfung von elektrischen Maschinen Aufnahme gefunden. Hier kann auszugsweise nur auf die Angaben des Leistungsschildes hingewiesen werden. Neben einigen unwesentlichen Angaben, wie Modellbezeichnung, Listenummer, Fertigungsnummer, Nenndrehzahl usw., sind nachstehende Punkte als besondere Kennzeichen für die jeweilige Maschinentype hervorzuheben: höchste Leerlaufspannung, Betriebsart, Nennspannung und zugehöriger Nennstrom, Nenn-erregerspannung und Regelbereich. Die Betriebsart wird unterschieden in Dauerbetrieb (DB) und Dauerbetrieb mit aussetzender Belastung (DAB und relative Einschaltdauer). Der Zwang zur Angabe des Regelbereichs ist von seiten des Käufers sehr zu begrüßen.

**Schweißtransformatoren.** Nach der Art der Kühlung ist zwischen luft- und ölgekühlten Transformatoren zu unterscheiden, von denen je eine Konstruktion in den Abb. 142 und 143

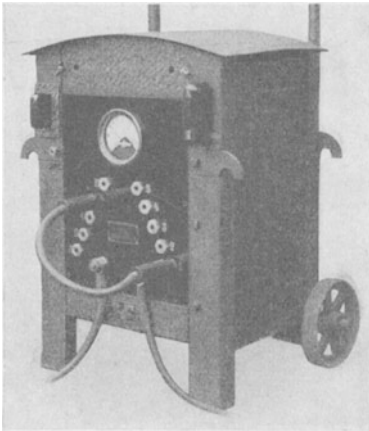


Abb. 142. Fahrbarer Schweißtransformator mit Luftkühlung.

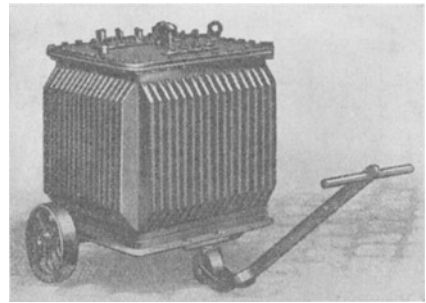


Abb. 143. Fahrbarer Schweißtransformator mit Ölkühlung.

wiedergegeben ist. Die luftgekühlten Transformatoren sind entweder in Holzgehäusen oder in Blechkästen mit gelochten Wandungen untergebracht, während die ölgekühlten im allgemeinen Luftkühlrippen tragen. Anstatt durch Stecker kann auch durch Handräder geregelt werden. Auch die Transformatoren werden geerdet.

#### g) Selbsttätige Schweißeinrichtungen.

**Entwicklung.** Der Konstruktion der seit einigen Jahren auf dem Markte befindlichen selbsttätigen Lichtbogenschweißeinrichtungen (Lichtbogen-Schweißautomaten) lag neben Erhöhung der Schweißleistung der Gedanke zugrunde, eine gleichmäßige, von der Geschicklichkeit des Schweißers unabhängige Schweißnaht herstellen zu können. Da die Sauberkeit der Schweißnaht zunächst in hohem Maße von der gleichbleibenden Lichtbogenlänge abhängt, war es naheliegend, einen selbsttätigen gleichmäßigen Vorschub der Elektrode herbeizuführen. Der heute üblichen Konstruktion selbsttätiger Schweißmaschinen ging ein Gerät (Tafelschweißer) voraus, bei dem zwar der Vorschub des Schweißdrahts mechanisch, die Bewegung des Geräts in der Schweißrichtung indessen von Hand erfolgte. Aus dieser nicht recht befriedigenden Halbautomatenkonstruktion hat sich dann später der heutige Vollautomat entwickelt.

**Anwendungsgebiete.** Die selbsttätige Lichtbogenschweißung wird hauptsächlich bei der Fertigung immer wiederkehrender Massengüter und für die Herstellung längerer Nähte angewandt. Außerdem ermöglicht die selbsttätige Schweißung auch die einwandfreie Vereinigung dünner Bleche (unter 3 mm), was dem Handschweißer bei nur großer Übung einwandfrei gelingt. Allerdings muß ausdrücklich betont werden, daß sich solche Einrichtungen nur für waagerechte Schweißungen, und zwar für Auftrags- und Verbindungsschweißungen aller Art eignen.

**Vorzüge.** Die Leistungssteigerung beim maschinellen Schweißen ist vor allem dem Umstande zu verdanken, daß die kurze Einspannlänge der endlosen Elektrode erheblich höhere Strombelastungen gestattet, wodurch die in der Zeiteinheit abschmelzbaren Werkstoffmengen beträchtlich größer werden können. Sodann fallen die durch die Auswechselung der Elektroden entstehenden Arbeitspausen fort. Außer dem Vorteile, daß der die Maschine Bedienende nicht unbedingt Schweißer zu sein braucht, liegt darin, daß vielfach ein Bedienungsmann mehrere Maschinen gleichzeitig überwachen kann, ein weiterer Faktor für die Leistungssteigerung. Die maschinell geschweißte Naht ist auch der Handschweißung an Güte meist überlegen, was dem völlig gleichmäßigen rucklosen Vorschub und der ununterbrochenen gleichbleibenden Führung der Elektrode zu verdanken ist.

**Gesamteinrichtung.** Die selbsttätigen Schweißmaschinen können sowohl für den Betrieb mit Metall- als auch Kohlelichtbogen eingerichtet sein, wobei letzterem hauptsächlich das Gebiet der Schweißung von Bördelstößen, also ohne Schweißdrahtzusatz, zufällt. Alle diese Maschinen setzen sich aus einem elektrischen und mechanischen Teile zusammen. Ersterer umfaßt den Schweißkopf mit den zugehörigen Steuereinrichtungen, Meßinstrumenten und einem oder mehreren Motoren für den Vorschub des Schweißkopfs bzw. des Werkstücks und für die Betätigung von Einspannvorrichtungen. Im weiteren Sinne gehört zur elektrischen Ausrüstung eine Schweißstromquelle. Die Art der Fertigung beeinflußt weniger die konstruktive Gestaltung des elektrischen als den Aufbau des mechanischen Teils. Dieser wird sinngemäß dem jeweiligen Verwendungszweck angepaßt und dient zur Schweißung von Längs- und Rundnähten, sowie zur Auftragsschweißung an Radbandagen, Rollen, Wellen u. dgl.

**Schweißkopf.** Der wichtigste Teil jedes Schweißautomaten ist der sog. Schweißkopf, der die Schweißdraht-Vorschubeinrichtung umfaßt. Letztere besteht aus einem Vorschubmotor, einem Übersetzungsgetriebe mit Drahttransportrollen, gegebenenfalls Drahttrichtvorrichtungen, einer Schweißstromzuführung und der Drahtführungsdüse. Das Vorschieben und Zurückziehen des von einer Haspel abgewickelten Drahtes beim Zünden, sowie der weitere Drahtvorschub beim Schweißen, bedürfen einer besonderen Regelung, die in Abhängigkeit von der Lichtbogenlänge zu erfolgen hat. Diese Steuerung geht, je nach Bauart, nach grundsätzlich verschiedenen Gesichtspunkten vor sich. Eine dieser Ausführungsformen bringt das Schema Abb. 144. Die Veränderungen in der Drahtbewegung geschieht hier durch Vor- und Rücklauf des Drahtvorschubmotors, dessen Regelung über eine in einem besonderen Gehäuse untergebrachte Steuereinrichtung (linke Bildhälfte) bewerkstelligt wird. Der Pluspol des Schweißstromkreises liegt in der Regel unmittelbar am Werkstück, während das Kabel des Minuspols mit der Kontaktrolle am Schweißdraht verbunden ist. Der Antrieb des Motors erfolgt gesondert von einem Gleichstromnetz. Vor- und Rücklauf werden durch ein in der Abb. 144 links oben dargestelltes Schaltrelais mit je einer Spule für Vor- und Rücklauf geschaltet. Dieses Schaltrelais wird wiederum durch das darunter gezeichnete Steuerrelais gesteuert, das vom Schweißstromkreis in Abhängigkeit von der Lichtbogenlänge beeinflusst wird.



Eine zweite Art der Steuerung bringt Abb. 145, bei der nicht der Motor, sondern das Getriebe auf Vor- bzw. Rücklauf gesteuert wird. Der Drehstrommotor treibt mit konstanter Drehzahl ein Reibradgetriebe, das in der Übersetzung veränderlich ist und zwei Magnetschalen 1 und 2 antreibt. Die eine dieser Magnetschalen läuft vorwärts, die andere rückwärts. Zwischen beiden liegt eine Ankerscheibe 3, die die Transportrolle 4 über ein Übersetzungs-vorgelege antreibt. Diese Ankerscheibe wird, je nach dem augenblicklichen Betriebsverhältnis am Lichtbogen, von einer der beiden Magnetschalen mitgenommen und damit vor- oder rückwärts bewegt. Auch bei dieser Konstruktion wird die Steuerung der Magnetschalen durch ein Spannungsrelais im Schweißstromkreis beeinflusst.

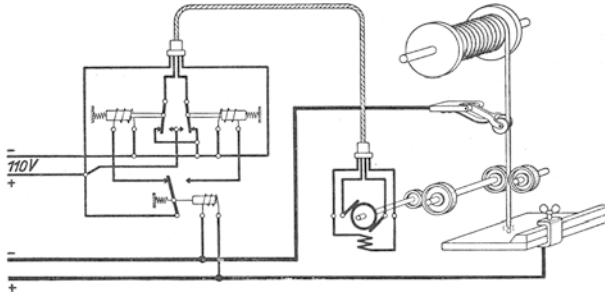


Abb. 144.

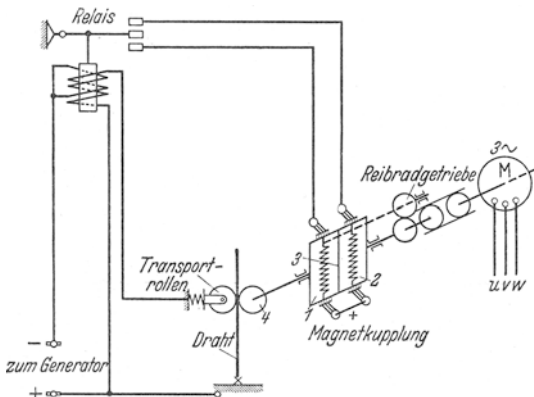


Abb. 145. Schemata von Lichtbogenschweißautomaten.

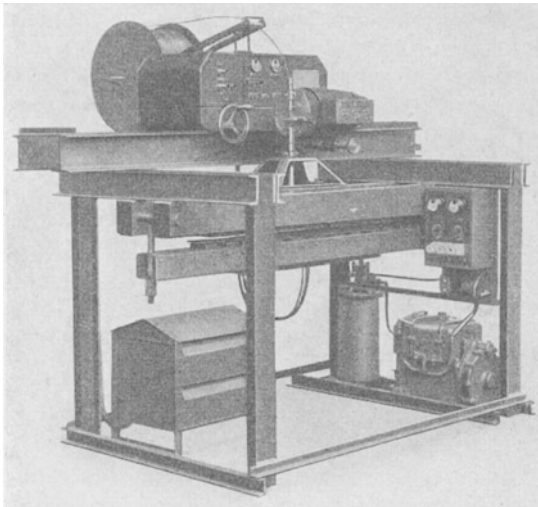


Abb. 146. Automatische Längsnahtschweißmaschine.

kungen im Drahtvorschub nicht eintreten, was praktisch nur durch eine feinfühligere, gut abgestimmte und leicht ansprechende Steuerung erreicht werden kann.

**Beispiele.** Im folgenden seien einige Schweißautomaten angeführt, die deutlich auch die gut durchgebildete Werkzeugmaschine erkennen lassen. Es handelt sich dabei durchweg um Einrichtungen für Verbindungsschweißungen, während die Durchbildung der Automatik auf dem Gebiete des Auftragschweißens, vor allem der Spurkranzschweißung lag.

Eine Längsnahtschweißmaschine mit der im Schema Abb. 145 dargestellten Automatik veranschaulicht Abb. 146. Das aus geschweißter Formeisenkonstruktion hergestellte Maschinengestell trägt oben zwei Laufschiene, auf denen der Schaltschrank mit angebautem Schweißkopf und Drahthaspel bewegt wird. Die Fortbewegung der Schweißeinrichtung geschieht durch einen im Schaltschrank eingebauten Fahrmotor, während der Draht durch den im Schweißkopf untergebrachten Vorschubmotor vorgeschoben wird. Im Schaltkasten sind die Steuerorgane angeordnet und außen sichtbar die zur Bedienung gehörigen Druckknopfschalter und Meßinstrumente. Die zu schweißenden Bleche werden durch eine Vorrichtung eingespannt, deren untere Wange hydraulisch angepreßt wird. Die hydraulische Maschinenanlage, rechts unten im Bilde, vervollständigt die Anlage, deren Maschinengestell auch für größere Nahtlängen eingerichtet werden kann.

Die in Abb. 147 teilweise wiedergegebene Einrichtung dient der automatischen Schwellenschweißung, und zwar dem Aufschweißen von Klemmplatten auf die Schwellendecken mit einer Kehlnaht. Da je Schwelle zwei solcher Platten aufzuschweißen sind, arbeiten auch zwei der im Bilde gezeigten Einrichtungen jeweils paarweise. Die Automatik entspricht dem Schema Abb. 144, von der hier nur der Schweißkopf 3 zu sehen ist. Oberhalb des Kopfes ist die Drahthaspel 2 angeordnet. Umfangreicher als der Schweißkopf ist die übrige Einrichtung, der die Aufgabe zukommt, den Schweißdraht fortlaufend in senkrechter Richtung zur Kehle entlang dem Plattenumfang zu führen. Der Antrieb erfolgt durch den Motor 1 mit Regelung bei 7. Unter dem Fahrmotor 1 befindet sich ein Übersetzungsgetriebe. Um die Wendigkeit der Maschine zu erhöhen, wird der Schweißstrom an den Abnahmestellen über Schleifkontakte 8 und weiter über Schalter 4 der Schweißdüse zugeleitet. Für den störungsfreien Ablauf der Schweißdüse und die Richtungsweisung des Drahtendes dienen neben anderen die Schablonenkulissen 6.

Selbsttätige Schweißeinrichtungen werden auch für den Betrieb mit Kohlelichtbogen gebaut, besonders dann, wenn in der Fertigung lediglich ein Verschweißen von Kanten und Bordrändern, also eine Verbindung ohne Drahtzusatz in Frage kommt. In neuerer Zeit wurden aber auch erfolgreiche Versuche unternommen, auch bei der Kohleschweißung mit Drahtzusatz zu arbeiten, weil die Kohleschweißung im Verhältnis zur Metallschweißung größere Arbeitsgeschwindigkeiten gestattet.

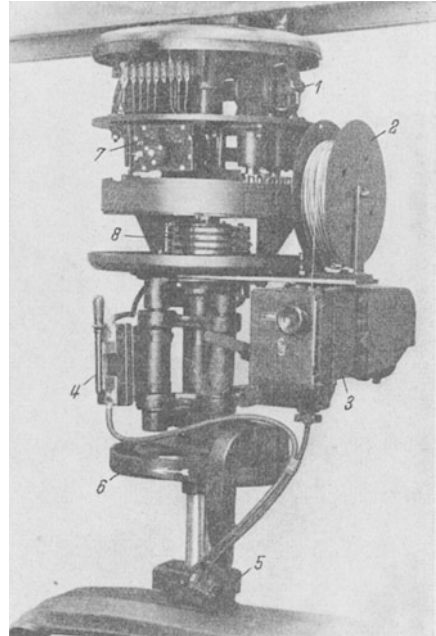


Abb. 147. Schweißautomat für Schwellenschweißung.

Der Kohleschweißkopf, der mit verhältnismäßig höheren Stromstärken betrieben wird, ist wassergekühlt, da sich zur Stabilisierung des Kohlebogens die

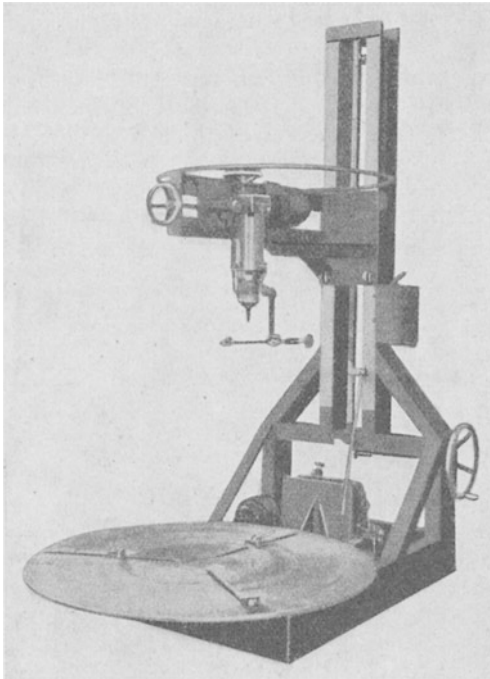


Abb. 148. Selbsttätige Schweißmaschine für Faßschweißung.

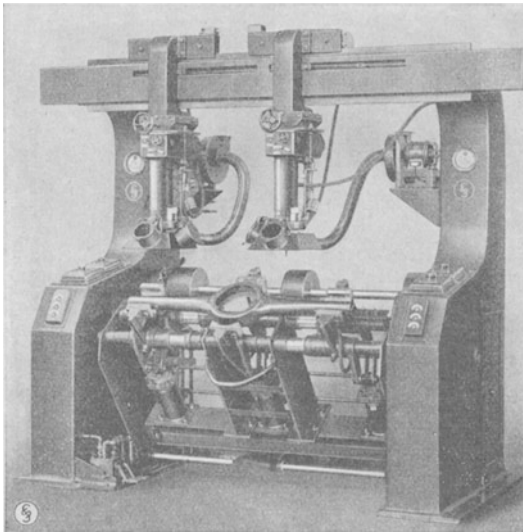


Abb. 149. Selbsttätige Schweißmaschine für Hinterachsbrücken.

Anordnung von Magnetwindungen an der Schweißdüse als zweckmäßig erwiesen hat und diese, wie überhaupt der Kopf, vor der hier viel größeren Wärmestrahlung und -leitung geschützt werden müssen. Der Kohlevorschub erfolgte, in Anbetracht des geringen Abbrands, ursprünglich von Hand, später nach dem Differentialbogenlampenprinzip und heute wie bei den Schweißköpfen für Metallelektroden. Ein Vorschubmotor wird entsprechend der Lichtbogenlänge gesteuert.

Abb. 148 zeigt eine einfachere Kohleautomatenkonstruktion für Faßschweißung, bei der der Kopf feststeht und im Gegensatz zu den bisherigen Beispielen das Werkstück bewegt wird, ein Verfahren, das übrigens bei allen Rundnahtmaschinen zur Anwendung gelangt. Der mit Zentriervorrichtung versehene Kopf ist an einem Querträger des Gestelles sowohl waagrecht wie senkrecht, entsprechend den jeweiligen Faßabmessungen, verstellbar. Das zu schweißende Faß wird auf einem elektromotorisch angetriebenen Drehtische mit drei Klemmbanken aufgespannt. Die Regelung der Umlaufgeschwindigkeit des Tisches ist in weiten Grenzen über ein Nortongetriebe erreicht.

Eine weitere Sondereinrichtung zeigt Abb. 149. Es handelt sich um eine selbsttätige Schweißmaschine für Hinterachsbrücken, die aus zweiteilig gepreßten Blechgehäusen längsnahtgeschweißt werden. Im unteren Teile, zwischen den Maschinenständern, ist eine schwenkbare hydraulische Einspannvorrichtung eingebaut, deren Preßzylinder im Bilde deutlich sichtbar sind. Den einzelnen Spannbackenpaaren wird der Schweißstrom zugeführt, um an allen Punkten der Stumpfnah

haben. Links unten sind die für die Betätigung der Einspannvorrichtung dienenden Fußhebel angebracht. Die an der Brücke des Maschinengestells aufgehängte Automatik wird durch zwei, auf dem Bilde nicht sichtbare Motoren fortbewegt. Die zugehörigen Schalt- und Meßeinrichtungen sind in den beiden Maschinenständern untergebracht. Die beiden Schweißstellen sind von Schutzhauben überdeckt, die mit je einem Exhaustor durch biegsame Stahlschläuche in Verbindung stehen. Die Schweißköpfe sind wassergekühlt. Gerade dieses Beispiel läßt erkennen, welch weitgehende Entwicklung der mechanische Aufbau solcher selbsttätigen Schweißeinrichtungen schon erfahren hat.

#### h) Betriebstechnische Erläuterungen.

Bei der Wartung der Schweißanlagen und der Sicherheitseinrichtungen sind selbstverständlich die jeweiligen Anweisungen der Lieferfirmen zu befolgen. Es würde hier zu weit führen, auf alle Einzelheiten einzugehen, die sich auf Betriebsstörungen, sachgemäße Wartung usw. erstrecken. Nur einige wichtige Hinweise seien noch gegeben.

Alle spannungsführenden Teile und Klemmen müssen durch geeignete Vorrichtungen gegen unbeabsichtigte Berührung gesichert sein. Alle Kabel sind gegen Beschädigung zu schützen; beschädigte Leitungen und auch Schweißkabel müssen unverzüglich nachisoliert werden. Elektrodenhalter dürfen weder auf das in den Stromkreis eingeschlossene Werkstück, noch auf den Schweißstisch abgelegt werden.

Beim Ausbleiben der Netzspannung ist der Motor sofort abzuschalten. Ursachen können sein: durchgebrannte Sicherungen, Unterbrechung einer Phase, Störung in der eigenen Schaltanlage oder im Elektrizitätswerk. Ungenügender Kontakt an den Anschlußklemmen, an der Schweißzange oder zwischen Werkstück und Schweißstisch, vor allem, wenn letzterer stark bespritzt ist, verursachen schlechtes Zünden oder ein Abreißen des Lichtbogens. Auch eine verringerte Drehzahl des Motors kann schlechtes Zünden des Lichtbogens zur Folge haben.

## 2. Das Schweißzubehör.

### a) Meß- und Regeleinrichtungen.

**Meßeinrichtungen.** Erforderlich sind für den praktischen Betrieb Meßeinrichtungen für die Spannung und die Stromstärke (im Schweißstromkreis) und für den verbrauchten elektrischen Strom. Die Spannung mißt man mit dem Voltmeter, die Stromstärke mit dem Amperemeter, den Stromverbrauch mit dem Kilowattstundenzähler. Die Ablesung dieser Meßeinrichtungen ist sehr einfach. Weitere Meßeinstrumente kommen nur für besondere Versuche in Betracht, wenn man z. B. den Wirkungsgrad des Schweißumformers u. a. m. feststellen will. Bei Versuchs- und Kontrollmessungen verwendet man mitunter auch selbstaufzeichnende Meßeinstrumente, die meist Strom- und Spannungsverlauf auf einen Papierstreifen kurvenmäßig aufzeichnen (Abb. 150). Das Voltmeter und das Amperemeter sind in den Schweißstromkreis einzuschalten, der Kilowattstundenzähler da-

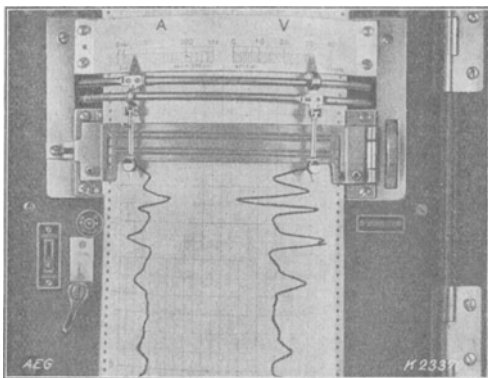


Abb. 150. Registrierendes Volt- und Amperemeter.

gegen in die Zuleitung vom Netz her; denn im praktischen Betriebe kommt es nur darauf an, den Gesamtstromverbrauch der Schweißanlage zu messen, nicht den meist wesentlich niedrigeren Stromverbrauch im Schweißstromkreis, während uns andererseits für den Schweißvorgang nur Spannung und Stromstärke im Schweißstromkreis interessieren. Es wurde schon darauf hingewiesen, daß bei fahrbaren Schweißumformern und Transformatoren zweckmäßig Voltmeter und Amperemeter (beim Transformator begnügt man sich oft mit dem Amperemeter) am Umformer selbst angebracht werden (Abb. 134 und 142). Bei Großanlagen baut man im allgemeinen die Meßinstrumente zusammen mit den Anlassern und Regeleinrichtungen in eine Schalttafel ein.

**Regeleinrichtungen.** Der Antriebsmotor erfordert einen Anlasser, während die Schweißdynamo in der Weise geregelt wird, wie es bei den Schaltungsschemen besprochen wurde. Es handelt sich bei Gleichstrom im allgemeinen darum, die Erregerströme der Magnetfelder zu regeln, was durch einfache regelbare Vorschaltwiderstände im Nebenschlußkreis der Schweißdynamo erfolgt. Die Gegenverbundwicklung kann entweder durch einen parallel gelegten Widerstand (Abb. 107 bei  $R_2$ ) oder durch Abschalten von Windungen geregelt werden. Über die Anzapf- und Streuungsregelung der Schweißtransformatoren wurde schon im Abschnitt 1 d dieses Kapitels gesprochen. In allen Fällen handelt es sich darum, die Spannung im Schweißstromkreis zu beeinflussen, zu regeln. Damit regelt man dann auch von selbst (nach dem Ohmschen Gesetz) die Stromstärke. Ob man also hier von einer Regelung der Spannung oder der Stromstärke spricht, ist letzten Endes gleichgültig.

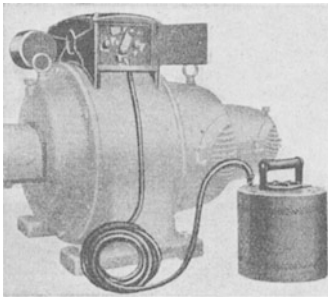


Abb. 151. Tragbarer Fernregler, angeschlossen.

Den elektrotechnischen und mechanischen Aufbau der Regeleinrichtungen zu beschreiben, liegt nicht im Rahmen dieses Buches. Bei kleinen fahrbaren Schweißumformern werden die Regeleinrichtungen zweckmäßig am Umformer selbst untergebracht (Handräder in Abb. 134 und 135). Bei Montagearbeiten, wo der Schweißer nicht selten gezwungen ist, mit langen Schweißkabeln weit entfernt vom Standort des Umformers zu arbeiten, z. B. im Stahlbau, Schiffsbau usw., ist der Fernregler (Abb. 151) ein willkommenes Hilfsgerät. Zu den Regeleinrichtungen zählen schließlich auch die bereits erwähnten, z. T. recht verwickelten Steuereinrichtungen selbsttätiger Schweißanlagen.

#### b) Schweißkabel.

**Kabelauführung und -querschnitte.** Die Klemmen des Schweißumformers werden zur Stromleitung einerseits mit dem Elektrodenhalter, andererseits mit dem Werkstück durch Kupferleitungen verbunden. Diese müssen möglichst beweglich sein und überall verwendet werden können; sie sind daher gut zu isolieren und zu schützen, was durch ihre Ausbildung als Kabel geschieht. Ein Schweißkabel besteht aus vielen einzelnen, als Seil gewickelten Kupferdrähten, die mit Hilfe von Gummi-, Leinenband- und Kordelumwicklungen, oft auch durch Einnähen in Leder isoliert und geschützt sind. Um die Beweglichkeit des Elektrodenhalters möglichst wenig zu behindern, wird häufig das letzte Stück in etwa 1 m Länge, das man auch als Handkabel bezeichnet, besonders biegsam gewählt.

Wenn die Kabel nicht zu lang sind, also kein größerer Spannungsverlust zu erwarten ist, bemißt man sie auf Grund der zulässigen Erwärmung, die wiederum

von der Stromstärke abhängt. Die Vorschriften und Normen des Verbands Deutscher Elektrotechniker sehen für bestimmte Querschnitte der Kabel die in Tabelle 14 angeführten höchsten, dauernd zulässigen Stromstärken vor. Da aber die Stromstärke im Schweißstromkreis längst nicht dauernd ihren Höchstwert hat, vielmehr der Strom zeitweise sogar ganz unterbrochen wird, kann man mit der Belastung der Schweißkabel über die in Tabelle 14 angegebenen Werte hinausgehen, sofern dadurch keine größere Erwärmung der Kabel als bei der Dauerbelastung eintritt. Praktisch darf man die Stromstärkenwerte der Tabelle 14 um etwa 25 vH überschreiten. Ein Kabel von z. B. 50 mm<sup>2</sup> Querschnitt kann also anstatt mit 160 A noch mit 200 A, ein Kabel von 240 mm<sup>2</sup> anstatt mit 450 A noch mit 560 A belastet werden.

Tabelle 14.

Kabelquer- schnitt	Höchste dauernd zulässige Stromstärke	Kabelquer- schnitt	Höchste dauernd zulässige Stromstärke	Kabelquer- schnitt	Höchste dauernd zulässige Stromstärke	Kabelquer- schnitt	Höchste dauernd zulässige Stromstärke
mm <sup>2</sup>	A	mm <sup>2</sup>	A	mm <sup>2</sup>	A	mm <sup>2</sup>	A
10	43	50	160	150	325	400	640
16	75	70	200	185	380	500	760
25	100	95	240	240	450	625	880
35	125	120	280	300	525	800	1050

**Berücksichtigung des Spannungsverlustes.** Nach Abschnitt I C 1 und I C 2 gilt (und zwar für Gleichstrom und einphasigen Wechselstrom):

$$R = \frac{E}{J} \quad \text{und} \quad R = \rho \cdot \frac{2l}{F} \quad (\text{oder} \quad R = \frac{2l}{k \cdot F}),$$

worin  $R$  den Leitungswiderstand,  $E$  den Spannungsverlust in der Leitung in Volt,  $J$  die Stromstärke in Ampere,  $\rho$  den spezifischen Leitungswiderstand,  $k$  die elektrische Leitfähigkeit,  $l$  die einfache Länge des Kabels in Metern ( $2l$  folglich Hin- und Rückleitung) und  $F$  den Kabelquerschnitt in Quadratmillimetern bedeuten. Aus beiden Gleichungen folgt:

$$\frac{E}{J} = \frac{2l}{k \cdot F} \quad \text{und} \quad E = \frac{J \cdot 2l}{k \cdot F}.$$

Nach dem vorigen Absatz können wir uns z. B. bei der am häufigsten vorkommenden höchsten Stromstärke von 200 A noch mit einem Kabel von 50 mm<sup>2</sup> Querschnitt begnügen. Nehmen wir nun erstens eine einfache Kabellänge von 20 m und zweitens eine solche von 100 m an und setzen wir in der letztgenannten Gleichung die elektrische Leitfähigkeit des Kupferdrahtes unseres Kabels nach Tabelle 2 mit 56,1 ein, so erhalten wir:

$$\text{Spannungsverlust } E = \frac{J \cdot 2l}{k \cdot F} = \frac{200 \cdot 2 \cdot 20}{56,1 \cdot 50} = 2,84 \text{ V (Fall 1),}$$

$$\text{bzw. } = \frac{200 \cdot 2 \cdot 100}{56,1 \cdot 50} = 14,2 \text{ V (Fall 2).}$$

Wir sehen, daß der Spannungsverlust genau entsprechend (proportional) der Länge des Kabels zunimmt. Bei einer Klemmenspannung des Schweißumformers von z. B. 25 V haben wir also bei 20 m einfacher Kabellänge einen Spannungsverlust von  $\frac{2,84}{25} \cdot 100 = 11,3$  vH; dagegen beträgt der Spannungsverlust bei 100 m einfacher Kabellänge 56,5 vH oder anders ausgedrückt: Die Spannung an der Schweißstelle sank auf  $25 - 14,2 = 8,8$  V. Mit dieser Spannung ist natürlich

keine Schweißung mehr durchführbar. Wir sehen also, daß wir den Spannungsverlust in erträglichen Grenzen, nach vorigem sicherlich auf weniger als 20 vH, halten müssen. Nur bei kürzeren Kabeln (bis etwa 30 m einfacher Länge) genügt demnach die Festlegung des Kabelquerschnitts nach Tabelle 14; bei langen Kabeln müssen größere Querschnitte gewählt werden, als sie sich nach Tabelle 14 ergeben. Zum Beispiel muß unser vorhin angeführtes Kabel von 100 m Länge mit Rücksicht auf einen Spannungsverlust von weniger als 20 vH den sehr hohen Querschnitt von 150 mm<sup>2</sup> erhalten; dann erst ergibt sich nämlich der zulässige Spannungsverlust:

$$E = \frac{200 \cdot 2 \cdot 100}{56,1 \cdot 150} = 4,73 \text{ V } (= 18,9 \text{ vH von } 25 \text{ V}).$$

### c) Elektrodenhalter und Klemmen.

**Elektrodenhalter** (Schweißzange, -kolben). Der Elektrodenhalter muß betriebssicher und möglichst leicht sein, sowie ein schnelles Auswechseln der Elektroden (Schweißstäbe) gestattet.

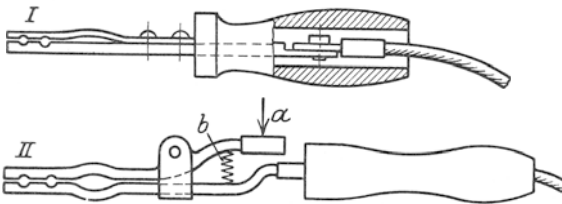


Abb. 152. Schweißzange für Kaltschweißungen.

Man unterscheidet zwischen Elektrodenhaltern für Kaltschweißung, die nur dünne Elektroden zu halten haben und deshalb besonders handlich ausgeführt werden können, und solchen für Warmschweißung, die wegen der hohen

Stromstärken und dickeren und längeren Elektroden schwerer gebaut sein müssen. Den einfachsten Elektrodenhalter für Kaltschweißung zeigt Abb. 152 I in einer einfachen Klemmvorrichtung, die aus zwei Eisenschienen hergestellt ist. Die neue Elektrode wird von links vorn eingeklemmt; der Rest der alten Elektrode fällt dabei von selbst heraus. Der Anschluß an das Schweißkabel, durch eine Schraube bewirkt, liegt geschützt rechts im Holzgriff. Ein Nachteil der Vorrichtung ist das Nachlassen der Klemmvorrichtung nach längerem Gebrauch. Nach dieser Richtung besser und dabei doch auch leicht genug ist

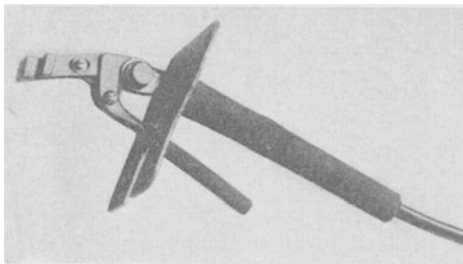


Abb. 153. Elektrodenhalter.

die Schweißzange in Abb. 152 II. Durch einen Druck mit dem Daumen auf den Zangenhebel bei  $\alpha$  wird die Feder  $b$  zusammengedrückt und das Maul der Schweißzange geöffnet. Der Rest des verbrauchten Schweißstabes fällt heraus; der neue Stab wird eingelegt und durch Nachlassen des Daumendrucks eingeklemmt. Derartige Elektrodenhalter können sehr wohl leicht und handlich ausgeführt werden, wie es auch Abb. 152 zeigt. Ein kleines Schild soll die Hand des Schweißers gegen Metallspritzen und Wärme schützen. Diese Schweißzangen werden allerdings manchmal unnötig schwer gemacht und sind dann mit Recht beim Schweißer unbeliebt. Eine andere in Deutschland wenig übliche Ausführungs-

form zeigt Abb. 154. Diese Schweißzangen werden allerdings manchmal unnötig schwer gemacht und sind dann mit Recht beim Schweißer unbeliebt. Eine andere in Deutschland wenig übliche Ausführungs-

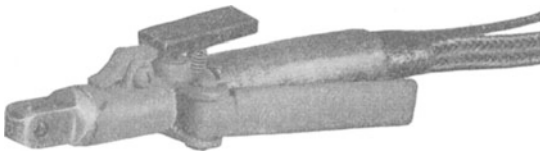


Abb. 154. Elektrodenhalter mit Zündkontakt.

ausgeführt werden, wie es auch Abb. 152 zeigt. Ein kleines Schild soll die Hand des Schweißers gegen Metallspritzen und Wärme schützen. Diese Schweißzangen werden allerdings manchmal unnötig schwer gemacht und sind dann mit Recht beim Schweißer unbeliebt. Eine andere in Deutschland wenig übliche Ausführungs-

form ist noch in Abb. 154 wiedergegeben. Der seitliche Hebel dient zum Festklemmen des Schweißstabs; die Auswechslung dürfte hier aber nicht so schnell vor sich gehen wie bei dem in Abb. 152 II und 153 dargestellten Elektrodenhalter. Den oberen Hebel in Abb. 154 benutzt der Schweißer zur Betätigung eines Zündkontakts, wodurch die Spannung des Schweißgenerators augenblicklich auf den zum Zünden des Lichtbogens günstigsten Wert gesteigert wird (s. Abschnitt „Gleichstromumformer“, Generatoren mit besonderem Vorschaltwiderstand). Der Kopf dieser Schweißzange ist abschraubbar und kann leicht durch einen neuen ersetzt werden.

Der Schweißkolben für Warmschweißung (größere Gußschweißungen), wie ihn Abb. 155 veranschaulicht, hat gewöhnlich links eine Flügel-schraube zum sichereren Festklemmen der schweren Gußeisenelektroden. Auch der Griff ist länger und schwerer gehalten, da er oft mit beiden Händen angefaßt wird.

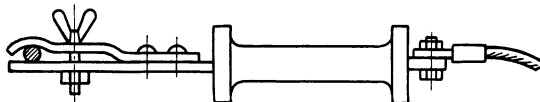


Abb. 155. Schweißkolben für Warmschweißungen.

Das an den Elektrodenhalter angeschlossene Kabel ist meistens nur etwa 5 m lang. Bei größeren Entfernungen des Schweißstücks vom Umformer wird ein Zusatzkabel in Gebrauch genommen (meist etwa 20 m lang), das an den Umformer angeschlossen wird und dessen anderes Ende mit dem Handkabel durch eine Schraube verbunden ist. Die Verbindungsstelle wird durch einen aufklappbaren Holzkasten gegen Kurzschluß geschützt.

Leider muß festgestellt werden, daß der Schweißbetrieb einen großen Verschleiß an Elektrodenhaltern mit sich bringt und alle bisher auf dem Markte befindlichen Ausführungsformen den praktischen Betriebsbedürfnissen nur wenig genügen.

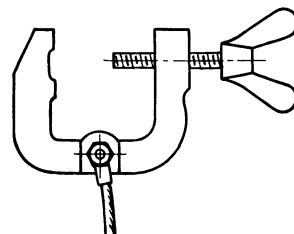


Abb. 156. Anschlußklemme für das Werkstück.

**Anschlußklemmen.** Im allgemeinen endigt das Schweißkabel, das mit dem Werkstück verbunden wird, in einer Klemme (Schraubzwinde), die an das Werkstück angeschraubt wird (Abb. 156). Bei kleineren Arbeiten, die auf einem Schweißtisch ausgeführt werden, genügt es auch in den meisten Fällen, daß die Klemme am Schweißtisch befestigt wird.

#### d) Strahlungsschutz und Bekleidung.

**Lichtstrahlen.** Die Strahlen, die vom Lichtbogen ausgehen, kann man einteilen: in sichtbare Lichtstrahlen, unsichtbare infrarote Strahlen und unsichtbare ultraviolette Strahlen. Gegen die sichtbaren Lichtstrahlen kann man sich — ähnlich wie beim Gasschweißen, nur daß hier die Lichtwirkung stärker ist — durch dunkelfarbige Gläser schützen. Besser als rote und blauviolette sind die grünen Gläser, weil sie den Schweißgegenstand und den Lichtbogen besser sichtbar machen. Die unsichtbaren infraroten (d. h. im Spektrum außerhalb des Rot liegenden) Strahlen werden auch Wärmestrahlen genannt, weil sie beim Auftreffen auf für sie undurchlässige Stoffe in Wärme verwandelt werden. Sie werden am wenigsten von dunklem Glimmer, dann auch noch verhältnismäßig wenig von grünem und blauem Glas durchgelassen. Am gefährlichsten sind die unsichtbaren ultravioletten (d. h. jenseits des Violett liegenden) Strahlen, weil sie stets sehr schnell eine starke Schädigung der Augen und außerdem noch eine Verbrennung der Haut (gegen die allerdings manche Menschen unempfindlich sind)



herbeiführen. Undurchlässig für ultraviolette Strahlen sind gewöhnliches Glas von größerer Dicke, klarer oder bernsteinfarbiger Glimmer und weißes oder farbiges Zelluloid. Dabei ist allerdings zu beachten, daß bei einer gewöhnlichen Glasbrille seitliche Lichtreflexe (Lichtrückstrahlungen) das Auge hinter den Brillengläsern treffen, eine einfache Brille also nicht verwendbar ist. Man sucht sich im allgemeinen gegen alle drei Strahlenarten durch ein farbiges (am besten wohl grünes) Spezialglas<sup>1</sup> zu schützen, das inmitten eines größeren Schirmes oder einer Haube sitzt. Nach neueren Erkenntnissen sind zwei verschiedenfarbige Gläser (z. B. rot und blau) nicht erforderlich. Die Farbtonung des Glases muß der Schweißer in gewissen Grenzen selbst bestimmen, da der eine durch ein gefärbtes Glas bestimmter Tönung noch gut sehen kann, das für einen anderen zu dunkel ist. Selbstverständlich darf unter der Wahl eines helleren Glases der wirksame Augenschutz nicht leiden. Da die farbigen Gläser verhältnismäßig teuer sind und durch Metallspritzer bald undurchsichtig und unbrauchbar werden, schützt man sie durch Vorsetzen des billigeren gewöhnlichen Fensterglases.

Farbige Filter und Glimmer an Stelle der Gläser zu verwenden, hat sich insofern nicht als vorteilhaft erwiesen, als sie sich unter dem Einfluß der Wärme nach kurzer Zeit z. T. werfen oder durch Gefügeveränderungen trüb und undurchsichtig werden.

**Strahlungsschutzeinrichtungen.** Man unterscheidet zwischen Handschutzschilden und Schutzhauben. Andere Bezeichnungen wie Schweißspiegel, Kopfmaske, Schweißkappe usw. sind zwar gebräuchlich aber weniger treffend. Ist die linke Hand während des Schweißens frei, so bedient sich der Schweißer mit Vorliebe des Handschutzschildes, weil es die Bewegungsfreiheit des Kopfes nicht behindert und bei kurzen Arbeitsunterbrechungen beiseitegelegt werden kann. Werden beide Hände durch den Schweißvorgang in Anspruch genommen, z. B. beim Warmschweißen, bei den gaselektrischen Schweißverfahren, beim Arbeiten auf Leitern u. dgl., so ist das Tragen einer Schutzhaube unerlässlich. Sie hat den Nachteil weniger guter Ventilation, hemmt die Bewegungsfreiheit des Kopfes und erfordert bei den meisten Konstruktionen zur Öffnung des Fensters oder zum Hochklappen der Haube das Freimachen einer Hand. Ein Ablegen kommt nur bei größeren Arbeitsunterbrechungen in Frage.

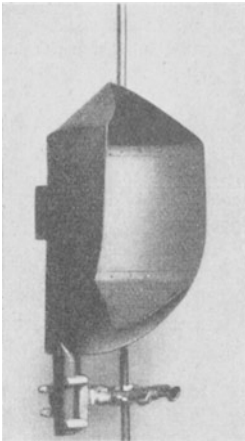


Abb. 157. Handschutzschild gegen Lichtstrahlen.

Die Schutzgeräte sollen unverbrennbar, nicht stromleitend, von geringem Gewicht, handlich und bequem sein. Übliche Baustoffe für ihre Herstellung sind Sperrholz, Vulkanfiber, Preßspan, Leder, Kunstpreßmassen usw. Die Abmessungen der Schutzgeräte müssen so gehalten sein, daß das Gesicht allseitig geschützt ist und die Fensteröffnungen ein genügendes Blickfeld offen lassen. Die das Schild haltende Hand soll möglichst durch einen Ledervorhang oder andere einfache Maßnahmen gegen Strahlenwirkung geschützt sein, sonst müssen Handschuhe getragen werden.

Damit die Hauben dem Schweißer möglichst wenig lästig fallen, ist auf geeignete Befestigungseinrichtungen besonders Wert zu legen. Ledersegmentkappen, Stirnbänder, Kopfbügel und ähnliches dürfen nicht drücken.

<sup>1</sup> Zur Zeit der Drucklegung dieser Auflage befaßt sich der deutsche Normenausschuß mit der Normung der für den Strahlungsschutz bestgeeigneten farbigen Gläser und deren Mindestdicken.

Abb. 157 zeigt ein vielgebräuchliches Handschutzschild aus Vulkanfaser, das den allgemeinen Anforderungen gut entspricht. Abb. 158 veranschaulicht die Innenansicht einer Schutzhaube aus Kunstpreßmasse mit drehbarem Schutzfilter, das nicht von Hand, sondern durch einen Kinnhebelmechanismus betätigt werden kann.

Nicht nur der Schweißer selbst, sondern auch die in der Nähe eines Schweißplatzes Beschäftigten oder Vorübergehende müssen gegen die Strahlenwirkung geschützt werden. Deshalb verlegt man feste Schweißplätze in allseitig abgeschlossene Kojen. Wechselnde Montageplätze werden durch Schutzwände, Vorhänge oder bei Schienenschweißungen durch Schweißerzelte gegen Sicht geschützt. Auf Ausstellungen und Versuchsständen begegnet man auch abgeschlossenen Ständen, die nach der Besucherseite hin mit großen Schutzglasfenstern versehen sind.

**Bekleidung.** Außer den Augen muß auch der Körper gegen die ultravioletten und Wärmestrahlen geschützt werden. Eine Arbeitserleichterung durch Entblößen des Oberkörpers ist also nicht angängig. Dazu kommen noch die glühenden Eisenspritzer. Der Anzug soll deshalb derb, glatt und festanliegend sein. Insbesondere trage man eine einfache Kappe, binde die Rockwärmel am Handgelenk zu, oder trage Handschuhe mit langen Stulpen. Diese werden aus Asbest, besser aus Leder gewählt. Gegen die besonders unangenehmen Verbrennungen der Füße durch die glühenden Spritzer beim Tragen von Halb- und Schnürschuhen sind übergreifende Gamaschen immer empfehlenswert. Abb. 159 veranschaulicht einen Schweißer in solcher Bekleidung und mit allem Zubehör für einfache Schweißarbeiten.

Noch nicht erwähnt sind die wenigen Handwerkzeuge, wie Spitzhammer, Hammer, Meißel, Drahtbürste usw., die zur Reinigung der Schweißflächen und zum Entfernen der Schlacken erforderlich sind.

### 3. Die Schweißwerkstatt.

**Die Werkstatteinrichtung.** Die Werkstatt selbst soll ein hoher, luftiger und heller Raum sein und zur Schonung der Augen nach Möglichkeit sonnenfrei gehalten werden; angenehm empfunden werden braun gestrichene Wände, die nicht glänzend, sondern matt sein sollen. Abb. 160 gestattet den Einblick in eine zweckmäßig eingerichtete Elektroschweißerei. Im Hintergrund haben die Schweißmaschinen — in diesem Fall Gleichstromschweißumformer — Aufstellung gefunden mit den zugehörigen Schalttafeln. Im Vordergrund sieht man die einzelnen Schweißstände (Schweißzellen), die zum Schutze der Schweißer durch Blechwände



Abb. 158. Schutzhaube für Elektroschweißer.



Abb. 159. Schweißer mit Schweißgerät (beim Schienenaufschweißen).

voneinander getrennt und durch bewegliche Blechschirme gegen die übrige Werkstätte abgeschlossen sind. Über den Schweißbüchsen sind Saugtrichter und an den Fenstern entlang ist die Absaugeleitung für Gase und Dämpfe zu erkennen, die an einem im Hintergrund in der Ecke der Werkstatt rechts oben befindlichen Absaugeventilator (Exhaustor) angeschlossen ist. Nur bei großen Mehrstellen-Schweißumformern und Warmschweißeinrichtungen ist deren Aufstellung in einem besonderen Raum vorzuziehen. Ein Laufkran zum Transport schwererer Stücke ist empfehlenswert. Der Fußboden sollte zum Teil aus Sand bestehen, um vor allem Gußausbesserungsstücke einformen zu können. Für Gußwarmschweißungen sind auch Wärmeöfen, Wärmegruben u. a. m. erforderlich, worauf im Abschnitt „Warmschweißung des Gußeisens“ genauer eingegangen wird. Je nach Umfang

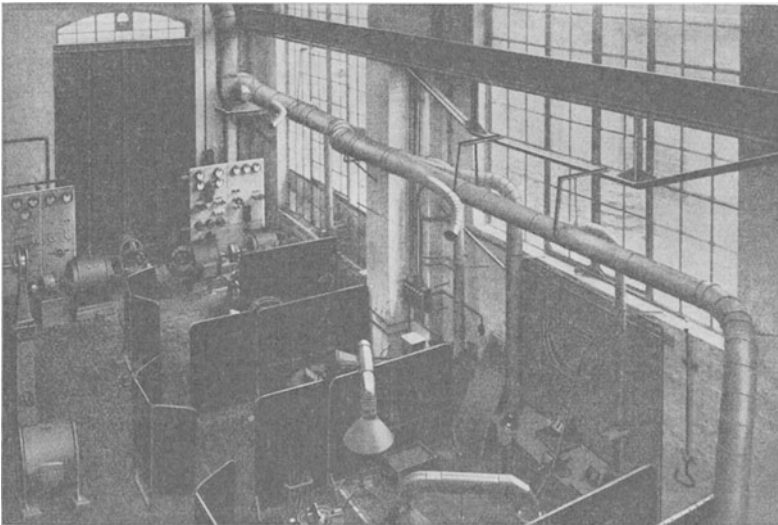


Abb. 160. Schweißwerkstatt.

der Schweißerei sind zu Vor- und Nacharbeiten notwendig: eine Drehbank, eine oder mehrere Handbohrmaschinen (zum Abbohren von Rissen und für das Einsetzen von Stahlstiften bei Gußeisenkaltschweißungen) und eine elektrische Handschleifmaschine, am besten mit biegsamer Welle. Selbstverständlich muß das übliche Schlosser- und Schmiedehandwerkzeug vorhanden sein, insbesondere Hämmer, Meißel, Feilen und Drahtbürsten.

**Die Größe der Maschinenanlage.** Zur Schweißung von Stahl und für die Gußeisenkaltschweißung genügen nach früherem Schweißumformer für  $200 \div 300$  A und bis zu 30 V Schweißspannung. Ein Gleichstromschweißumformer hat dementsprechend bis zu etwa 15 kW Leistung am Antriebsmotor nötig. Ein Wechselstromtransformator muß auf etwa 15 kVA bemessen werden, weil trotz des günstigen Wirkungsgrads des Transformators ihm infolge des niedrigen Leistungsfaktors ( $\cos \varphi$ ) von  $0,25 \div 0,45$  vom Netz her etwa das Anderhalbfache der bei Gleichstromumformung erforderlichen Stromstärke zugeführt werden muß. Sind mehrere Maschinen der genannten Größe vorhanden, so können sie, wenn sie die gleiche Charakteristik haben, parallel geschaltet, also zusammen zur Gußeisenwarmschweißung benutzt werden. Für die letztere braucht man im Schweißstromkreis  $400 \div 1000$  A (seltener 1500 A) bei im Mittel 55 V. Nimmt man einen Gleich-

stromschweißumformer von 500 A Schweißstromstärke, so erfordert dieser eine Leistung des Antriebsmotors von etwa 50 kW. Der entsprechende Wechselstromschweißtransformator braucht  $60 \div 70$  kVA. Für ganz schwere Warmschweißungen kann man zwei der obenerwähnten Maschinen oder zwei Maschinen für Kaltschweißung und die größere Warmschweißmaschine parallel schalten. Die Kaltschweißmaschinen müssen dann allerdings eine höhere Spannung hergeben können, da sie bei Warmschweißung mit  $50 \div 60$  V Schweißspannung arbeiten. Hinsichtlich verschiedener Maschineneinheiten sei auf die früheren Abschnitte „Schweißumformer“ und „Schweißtransformatoren“ verwiesen.

#### 4. Die Schweißelektroden.

##### a) Kohleelektroden.

**Werkstoff.** Die älteste Art der Elektroden ist die Kohleelektrode. Ähnlich der Bogenlampenkohle wird sie in Form von runden Stäben verwendet. Als Werkstoff dient in der Hauptsache Retortenkohle (Destillationsrückstand in den Retorten der Gasanstalten), neben dieser auch Graphit, Koks, Anthrazit und Ruß. Diese Stoffe werden fein pulverisiert, mit heißem Teer versetzt, innig gemengt, darauf in Pressen unter hohem Druck zu Stäben gepreßt und schließlich in Tiegeln gebrannt. Die vollen amorphen Kohlenstäbe bezeichnet man als Homogenkohlen, zum Unterschied von sog. Dochtkohle, deren Kern aus einem Fremdstoff (Wasserglas, Kohle und Borsäure) besteht und ein gleichmäßiges und ruhiges Brennen des Lichtbogens bewirken soll. Werden die Kohleelektroden ausschließlich aus Graphit hergestellt und unter Luftabschluß in elektrischen Öfen geglüht, so erhält man eine viel dichtere, sog. Graphitkohle. Sie vermag höhere Stromdichten aufzunehmen und hat den Vorteil geringeren Abbrandes.

**Abmessungen.** Beim Benardos-Verfahren, nach dem nur ein Kohlenstab zur Anwendung gelangt, da die Gegenelektrode durch das metallische Schweißgut selbst gebildet wird, haben die Elektroden eine Länge von  $200 \div 800$  mm bei einem Durchmesser von  $5 \div 30$  mm.

**Anwendung.** Während das Zerener-Verfahren keine praktische Anwendung mehr findet, kommt das Benardos-Verfahren neuerdings wieder mehr in Aufnahme, insbesondere bei selbsttätigen Schweißeinrichtungen mit und ohne Drahtzusatz. Es wird angewandt bei der Schweißung von Stahl, hauptsächlich zum Niederschmelzen von Stirn- und Bördelnähten (Eisenfässer u. dgl.), zur Ausbesserung von Lunkern in Stahlgußstücken und für die Schweißung von Nichteisenmetallen. Auf die Anwendung der Kohleelektrode neben einer Metallelektrode beim Schweißen mit Drehstrom wurde bereits hingewiesen.

##### b) Metallelektroden.

**Allgemeines.** Dem auf dem Gebiete der Elektrodenfrage weniger Bewanderten wird eine Auswahl aus der Unzahl der auf dem Markt befindlichen, beliebig bezeichneten Elektroden immer schwer fallen, um so mehr als die Farbkennzeichen willkürlich, also ungenormt sind. Außerdem glauben manche Elektrodenfirmen die Verarbeitung ihrer Schweißstäbe als ein besonderes „Verfahren“ hinstellen zu müssen, was einerseits fast ausnahmslos unberechtigt ist, da durch die Art der Elektrode als solche keine Änderung des Lichtbogenschweißverfahrens begründet ist, und andererseits den Verbraucher noch mehr verwirrt. Aus diesem Grunde erscheint es notwendig, vorerst eine nach sachlichen Gesichtspunkten aufgestellte Einteilung zu bringen, die sich auf die äußere Beschaffenheit der Elektroden bezieht.

**Einteilung.** Grundlegend unterscheidet man zwei Hauptgruppen:

- A. nackte Elektroden (Abb. 161 *I*, *IV* und *V*),  
 B. umhüllte Elektroden (Abb. 161 *II*, *III*, *VI* und *VII*).

Die nackten Elektroden (Gruppe A) werden unterteilt in:

1. gegossene Stäbe für Gußeisen, unter Umständen auch für Metallguß,
2. gewalzte Drähte für harte Werkstoffe,
3. gezogene Drähte:
  - a) Drähte, die entweder „blank“ bleiben oder schwarz oder braun „geglüht“ werden,
  - b) oberflächenbehandelte Drähte, verkupferte, vernickelte usw.,
  - c) Seelendrähte mit nichtmetallischem Kern (*IV*),
  - d) Seelendrähte mit metallischem Kern (*V*).

Die umhüllten (ummantelten) Elektroden (Gruppe B) werden unterteilt in:

1. getauchte Elektroden:
  - a) einmal getaucht, mit dünner Umhüllung (*II*),
  - b) mehrmals getaucht, mit dicker Umhüllung (*III*), bisweilen auch Schmelzmantel-Elektroden genannt,
2. umwickelte Elektroden:
  - a) asbestumwickelte (*VI* und *VII*),
  - b) papierumwickelte (ähnlich *V*).

Einige Bezeichnungen bedürfen noch erläuternder Angaben. In Abb. 161 *IV* ist ein Seelendraht mit nichtmetallischem Kern skizziert, der nicht etwa ein mit Schweißpulver gefülltes Röhrchen darstellt, sondern dessen Kern *c* beim Auswalzen des Stahlblocks bereits vorhanden ist. Der Kern soll die Drahtlegierung beeinflussen und teilweise die Umhüllung ersetzen. Der bei *V* skizzierte Seelendraht mit metallischem Kern unterscheidet sich von *IV* dadurch, daß der eigentliche Draht *g* von einem Blechmantel *e* umschlossen und der Zwischenraum *f* mit einem Schweißmittel ausgefüllt ist. Dieser in Deutschland weniger eingeführte Draht dient ausschließlich der automatischen Schweißung. Der Blechmantel *e* hat die Aufgabe, die Umhüllung *f* beim Einrollen des endlosen Drahtes und beim Abrollen zwischen den Kontakt- und Vorschubrollen des Schweißkopfes gegen Beschädigung zu schützen. Auch der Draht *IV* eignet sich wie jeder nackte Draht zur Verarbeitung im Automaten.

Bei den umwickelten Elektroden kann die Schnur aus blauem oder weißem Asbest in engen (*VI*) oder in weiten (*VII*) Windungen gelegt werden, wobei im

letzteren Falle zwischen den Asbestwindungen *o* eine Schweißpaste *p* eingebracht wird. Diese Elektroden werden nach ihrer ursprünglichen Herkunft als Alloy-

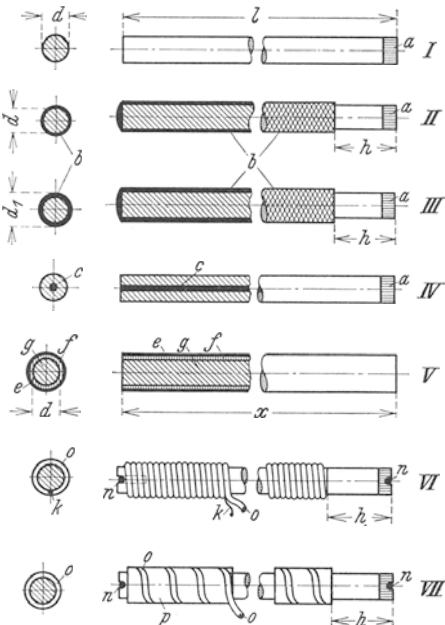


Abb. 161. Bildliche Darstellung der verschiedenen Elektrodenarten (Metallelektroden).

welding- (A. W. P.-) Elektroden bezeichnet. Bei der enggewickelten Elektrode *VI* legt die Quasi Arc Comp. einen 0,2 mm dicken Aluminiumdraht *k* unter die Wicklung, deren Enden, wie in den meisten anderen ähnlichen Fällen, in kleinen an den Stabköpfen angebrachten Nuten befestigt sind. Getauchte und umwickelte Elektroden (*II*, *III*, *VI* und *VII*) sind am Einspannende (für die Zange) auf die Strecke *h* (etwa 25 mm) ohne Überzug hergestellt, um an der Einspannstelle einen guten elektrischen Kontakt zu erzielen. Die papierumwickelten Elektroden sind der Skizze *V* ähnlich mit dem Unterschiede, daß die Blechmanschette *e* durch einen besonders behandelten, spiralförmig um die Pastenmasse gewickelten Papierstreifen ersetzt ist. Allerdings ist dann die Dicke der Tauchmasse *f* meist größer als bei *V*.

Unterscheidet man nur nach dem Verwendungszweck der Elektroden, so hat man zu unterteilen zwischen Elektroden

1. für Verbindungsschweißungen,
2. für Auftragsschweißungen,
3. zum Schneiden.

Eine weitere gegliederte Unterteilung der Gruppen 1 und 2 erfolgt nach der Art des Metalls und nach den von der Schweiße verlangten Gütewerten, die von der Legierung der Elektroden, gegebenenfalls im Zusammenwirken mit geeignet zusammengesetzten Umhüllungen abhängen. Hierauf wird später noch näher eingegangen.

**Abmessungen.** Die üblichen Abmessungen für Elektroden, ob Stahl- oder Nichteisenmetallelektroden, ob nackt oder umhüllt, betragen 350, 450 und 550 mm Länge bei 1,5 bis etwa 15 mm Dicke. Die Länge *l* der Elektroden wird zwischen beiden Kopfen, also einschließlich *h* (Abb. 161), gemessen. Die Dicke bezieht sich auf den reinen Drahtdurchmesser *d* ohne Berücksichtigung der Hüllendicke *d*<sub>1</sub>. Die 4-mm-Elektrode wird am meisten benutzt. Die für automatische Schweißung bestimmten Drähte (auch *I*, *IV* und *V*) werden in Ringen von verschiedener Länge geliefert. Gußeisenstäbe, mit und ohne Überzug, haben Längen von 500 bis 1000 mm bei 6–25 mm Durchmesser.

**Kennzeichnung.** Die Stäbe werden durch bestimmte Färbung des einen Kopfes (*a*) oder auch nur der Stirnfläche mit Ölfarbe gekennzeichnet. Bei den getauchten und umwickelten Elektroden genügt meist schon die natürliche oder auch künstliche Färbung — die Farbe soll dann aber griffest sein — der Tauchmasse bzw. der Umwicklung, um die verschiedenen Sorten des gleichen Herstellers unterscheiden zu können. Da die Elektroden-Farbkennzeichen der einzelnen Firmen sehr verschieden sind, muß man sich bei den Erzeugnissen an die vom Lieferanten beigegebenen Anwendungstabellen halten, die außerdem die Art der Polarität, die Stromstärke usw. für die einzelnen Elektrodensorten angeben.

**Allgemeines über den Elektrodenwerkstoff<sup>1</sup>.** Die Stahlelektroden sollen möglichst frei sein von Rost, Schlacken, Oxyden und Lunkern, von Glasblasen, Öl und sonstigen Verunreinigungen; sie dürfen, wie der Fachmann sagt, sich nicht aufrollen und nur wenig spritzen. Im Lichtbogen müssen die Elektroden gleichmäßig abschmelzen und eine gewisse „Kletterfähigkeit“ besitzen, um bei Schweißungen an senkrechter Wand verwendet werden zu können.

Die chemische Zusammensetzung des Elektrodenwerkstoffs richtet sich nach dem Schweißverfahren und dem Verwendungszweck. Bindungen bestehen nur für bestimmte Drahtsorten. Im allgemeinen hält man den Kohlenstoffgehalt

<sup>1</sup> S. auch „Bedingungen für die Lieferung und Abnahme von Zusatzwerkstoffen für die Gas- und Lichtbogenschweißung von Stahl“, 1933 und DIN-Vornorm 1913.

unter 0,2 vH (teilweise bis 0,3 vH zugelassen), den Siliziumgehalt unter 0,15 vH und den Phosphor- und Schwefelgehalt unter 0,03 vH. Im übrigen teilt man die Sorten ein nach der Mindestzugfestigkeit  $30 \div 52 \text{ kg/mm}^2$  in E 30  $\div$  E 52 und bei solchen für Auftragsschweißung nach der Kugeldruckhärte (Brinellhärte)  $150 \div 350 \text{ kg/mm}^2$  in E 150  $\div$  E 350. Elektroden für schmiedbare Schweißen erhalten das Kennzeichen h, z. B. E 37 h.

Stähle von noch höherer Festigkeit und die bei Auftragsschweißungen oft verlangte hohe Verschleißfestigkeit bedingen besondere Legierungen für die Elektroden. Elektroden für verschleißfeste Auftragsschweißung erhalten z. B. Zusätze von Mangan bis zu 14 vH (Schienenauftragsschweißung) oder Zusätze von Wolfram, Uran, auch Titan usw. Letzteres scheint sich insofern günstig auszuwirken, als sich beim Schweißen Titansäure ( $\text{TiO}_2$ ) bildet, womit eine Desoxydation (Befreiung von Sauerstoff) des Schmelzbades verbunden ist und eine blasenfreie Schweißung entsteht. Durch die große Verwandtschaft des Titans zu Stickstoff bilden sich Nitride ( $\text{Ti}_3\text{N}$ ,  $\text{TiN}$ ), die eine Härtung der Auftragsschweißung im Gefolge haben.

Eine andere Sondergruppe umfaßt Elektroden für die Schweißung von nichtrostenden Stählen (z. B. Nirosa, VA- und VM-Stähle von Krupp) und hochhitzebeständigen Stählen (z. B. Nichrotherm, Ferrotherm, Nialit), die teilweise recht schwierig schweißbar und meist auf der Chrom- oder Chrom-Nickel-Basis legiert sind. Solche Stäbe enthalten zwischen 0,08  $\div$  0,22 vH Kohlenstoff; 10  $\div$  27 vH Chrom und 7  $\div$  20 vH Nickel. Häufig werden diesen Stäben die Stoffe in höheren prozentualen Anteilen beilegiert, die unter dem Einflusse des Lichtbogens leicht herausbrennen. Die Schwierigkeit bei der Schweißung dieser Stähle ist auf die Gegenwart von Stoffen zurückzuführen, die schwer schmelzbare Oxyde bilden (Silizium, Chrom, Wolfram, Aluminium usw.). Um diese Oxydation möglichst zu unterbinden, werden legierte Elektroden meist mit Umhüllungen versehen, die im nächsten Abschnitt behandelt werden.

**Einfluß des Kohlenstoffs.** Mit der prozentualen Zunahme an Kohlenstoff nimmt die gute Verschweißbarkeit der Elektrode ab. Starkes Sprühen und Spritzen des Drahtes während des Schmelzens ist meist auf hohen Kohlenstoffgehalt zurückzuführen, wobei allerdings nicht selten Gaseinschlüsse im Drahte mitwirken. Jedenfalls gibt kohlenstoffreicher Draht leicht zu Blasenbildung Anlaß, weil sich der Kohlenstoff mit dem Luftsauerstoff zu Kohlenoxyd oder Kohlendioxyd verbindet und diese gasförmigen Stoffe in der Schweißung eingeschlossen bleiben können. Deshalb wurde früher Holzkohlenschweißdraht vorgeschlagen, ohne dabei zu berücksichtigen, daß es sich, wenn nicht schwedisches Holzkohleneisen genommen wurde, hierbei um einen in Holzkohle nur geglühten Draht durchschnittlicher Güte handelte. Ob der Draht geglüht ist oder nicht, ist für die chemische Zusammensetzung und die Struktur der Schweißung im allgemeinen belanglos, sofern die Legierung des Drahtes dieselbe bleibt. Immerhin zeigt sich in der Praxis, daß geglühte Drähte beim Abschmelzen meist weniger spritzen, weshalb man diese nicht selten bevorzugt. Diese niedriggekohlten Drahtsorten ergeben, da die mechanische Festigkeit wesentlich von der Höhe des Kohlenstoffgehaltes abhängt, Schweißen von niedriger bis mittlerer Festigkeit. Zur Erzielung höherer Festigkeit der Schweißung ist ein kohlenstoffreicherer Draht nötig, und man muß die schwierigere Verschweißbarkeit, die durch geeignete Umhüllungen des Drahtes zum Teil behoben werden kann, mit in Kauf nehmen.

**Einfluß des Mangans.** Mit steigendem Manganengehalt wird eine Verringerung der Aufnahme von Sauerstoff und Stickstoff in der Schweißung festgestellt. Außerdem verhindert die Bildung von Mangandämpfen das zu starke Verbrennen von Sili-

zium. Ferner verleiht Mangan der geglühten Schweißung höhere Dehnung und hebt die schädliche Wirkung des Siliziums auf, so daß bei Anwesenheit von 0,5 vH Mangan noch bis zu 0,15 vH Silizium zulässig sind.

**Gußeisenelektroden.** Als gute Zusammensetzung, die nur für die Gußeisenschweißung gebraucht wird, gilt: 3 ÷ 3,5 vH Kohlenstoff, 3 ÷ 3,5 vH Silizium, 0,5 ÷ 0,7 vH Mangan, bis 0,8 vH Phosphor, bis 0,06 vH Schwefel, also ein siliziumreicher Werkstoff, da Silizium die Ausscheidung von Graphit fördert und damit die Schweißung weich erhält. Bei dem hohen Anteil an Silizium ist berücksichtigt, daß ein Teil beim Schweißen verbrennt.

**Nichteisenmetall-Elektroden.** Hier sind hervorzuheben: Monelmetall, Kupfer, Bronze und Aluminium. Monelmetall, mit 67 vH Nickel, 28 vH Kupfer und 5 vH Mangan und Eisen, wird als natürliche und künstliche Legierung sowohl für die Schweißung von Monelmetall selbst als für die Gußeisenschweißung verwandt, wenn diese im Gegensatz zur Verwendung von Stahlelektroden bearbeitbar bleiben soll. Kupfer-Elektroden enthalten neben 1,2 bis 1,8 vH Mangan 2,5 vH Silizium. Des weiteren hat sich der für die Gasschweißung gut eingeführte Canzler-Kupferdraht, eine Legierung mit Phosphor (bis zu 0,5 vH) und etwa 1,5 vH Silber, auch für elektrische Schweißung als brauchbar erwiesen. Bei der Vielfältigkeit der Bronzelegierungen können Analysenangaben nur schwer gemacht werden, um so weniger, als die Lichtbogenschweißung von Bronze erst selten ausgeübt wird. Dasselbe gilt für Aluminium, bei dem meist lediglich Stäbe aus handelsüblichem Aluminiumdraht in Frage kommen. Nichteisenmetall-Elektroden erfordern durchwegs eine Umhüllung, sofern sie nicht als nackter Zusatzdraht bei der Kohlebogenschweißung Verwendung finden, jedoch müssen dann, wie bei der Gasschweißung, Flußmittel benutzt werden.

**Anforderungen an Elektroden-Umhüllungen.** Die an die Umhüllung gestellten Anforderungen sind sowohl physikalischer als chemischer Natur und sind zusammengefaßt in der Hauptsache folgende: Die beim Zünden des Lichtbogens schnell einsetzende Verdampfung einiger in der Umhüllung enthaltenen Stoffe (Ionisierungsbestandteile) erleichtert dem Schweißer zunächst das Zünden und im weiteren Fortgang durch gesteigerte Leitfähigkeit der Lichtbogenstrecke auch das „Halten“ des Bogens, nicht nur in waagerechter, sondern auch in senkrechter und Überkopflage. Daher sind besonders Anfängern und noch ungeübten Schweißern umhüllte Elektroden willkommen; bei Wechselstrom sind sie auch für den Geübten praktisch unerläßlich. Außerdem soll die Umhüllung ein ruhiges Brennen des Lichtbogens und einen leichten und gleichmäßigen Fluß des Elektrodenwerkstoffs bewirken, hauptsächlich dann, wenn er als nackte Elektrode zu stark spritzt, ungleichmäßig abschmilzt und ungenügend einbrennt, was bei höher gekohlten Stäben infolge niederen Schmelzpunkts eintreten kann. Die Umhüllung muß haltbar sein, also nicht hygroskopisch (Feuchtigkeit anziehend), darf auch bei geringer Biegung des Schweißstabs und bei dessen Verschmelzung nicht abplatzen oder bröcklig werden. Der Schmelzpunkt soll weder zu niedrig liegen, da sonst das Elektrodenelement vorzeitig freigelegt wird, noch zu hoch, weil sich sonst ein so tiefer Krater bildet, daß eine sachgemäße Schweißung nicht mehr möglich ist. Er muß so abgestimmt sein, daß die im Lichtbogen umgeschmolzenen Stoffe den Schweißvorgang nicht stören. Die aus der Umhüllung entstehende Schlacke muß spezifisch leicht sein, damit sie immer rasch aus dem Schweißbad an die Oberfläche steigen kann. Sie soll sich zusammenhängend über die Schweißung ausbreiten, ohne sich aufzublähen oder aufzurollen, da ihr ja die wichtige Aufgabe zukommt, den niedergeschmolzenen Werkstoff gegen den Zutritt von Sauerstoff und Stickstoff aus der Luft und gegen ein zu rasches Erkalten zu schützen.



Der Schutz des im Lichtbogen übergehenden Elektrodenwerkstoffs gegen den Einfluß der Luft ist von der chemischen Zusammensetzung der Umhüllung abhängig. In der Lichtbogenstrecke erfolgt die Abwehr der eindringenden Luft durch einen Gas- oder Dampfmantel der Chemikalien, der sich einerseits durch mechanischen Abschluß, andererseits durch Bindung von Sauerstoff und Stickstoff auswirkt. Das erreicht man durch beigegebene Reduktions- und Denitrierungsmittel.

Darüber hinaus enthalten manche Umhüllungen Stoffe, die dem übergehenden Werkstoff zusätzliche Legierungsbestandteile geben sollen. In welchem Umfang und mit welcher Gleichmäßigkeit das möglich ist, muß dahingestellt bleiben. So begrüßenswert es wäre, auf einem so einfachen Wege alle gewünschten Legierungen zu erreichen und die Güte der Schweiße mehr durch Umhüllungsstoffe als durch einen metallurgisch gut ausgewählten Kernwerkstoff zu bestimmen, so muß doch an dem praktischen Erfolg dieses Verfahrens gezweifelt werden. Im übrigen wird im Abschnitt „Die Technik der Lichtbogenschweißung“ auf diese Vorgänge noch näher eingegangen. Dagegen sind jedenfalls einer günstigen Vereinigung der geschilderten physikalischen und chemischen Wirkungen von hochwertigen Umhüllungen mit einem metallurgisch richtig gewählten Elektrodenkernwerkstoff hohe Güte der Schweiße zu verdanken, die auch weitgesteckten Anforderungen Genüge leisten. Während bei sachgemäßer Schweißung auch nackte Elektroden eine hinreichende Festigkeit der Schweißverbindung ergeben, konnten die Ansprüche an Zähigkeit und Dehnung der Schweiße erst nach mühsamer Entwicklungsarbeit an Umhüllungen befriedigt werden. Es muß hier klar ausgesprochen werden, daß diese Erfolge keineswegs die übertriebenen Forderungen rechtfertigen, die Güte des Grundwerkstoffs durch die der Schweiße zu übertreffen. Niemandem würde es ja auch jemals einfallen, von anderen metallischen Verbindungen ähnliches zu verlangen.

**Zusammensetzung der Umhüllung.** Diese wird von den Herstellern durchwegs als Fabrikationsgeheimnis betrachtet, was wegen der mit der Entwicklung wirklich brauchbarer Tauchmassen verbundenen großen geldlichen Opfer verständlich ist. Die Erfahrung hat gelehrt, daß theoretische Überlegungen für die Herstellung von Umhüllungsmassen, die alle im vorigen Abschnitt angeführten Auswirkungen gewährleisten, allein nicht ausreichen, vielmehr langwieriges praktisches Ausprobieren unumgänglich ist. Hieraus erklärt sich z. T. die große Zahl von Patenten, die eine Unsumme aller erdenklichen Chemikalienmischungen umfassen. Das bekannte ursprüngliche Patent Kjellbergs, das praktisch alle chemischen Zusammenstellungen als elektrische Leiter zweiter Klasse schützte, hat erst durch spätere gerichtliche Auslegung, daß gleichzeitig auch eine Kraterbildung vorhanden sein müsse, eine Einschränkung erfahren. Inzwischen ist es erloschen, so daß die fortschrittliche rasche Entwicklung der Umhüllungsmassen nicht mehr gehemmt ist.

Da das Lichtbogenschweißen im Grunde genommen dem Vorgang im Elektrostahlofen ähnelt, kann man die Umhüllung mit den Zuschlägen der Stahlschmelzen vergleichen oder aber auch mit den Flußmitteln, wie sie bei der Gasschweißung üblich sind. Neben den chemischen Stoffen, denen die Ionisierung, Desoxydation, Auflegierung, Schutzgas- und Schlackenbildung usw. zukommt, sind sog. Bindemittel in den Pasten notwendig; man benutzt organische Klebemittel, z. B. Dextrin und Schellack, und anorganische Stoffe, die mit einzelnen Bestandteilen der Masse abbinden, z. B. Wasserglas. Die Tauchmassen bilden im wesentlichen feinpulverisierte Mischungen aus Oxyden, Hydroxyden, Chloriden, Karbonaten und Silikaten der Metalle Kalium, Natrium, Magnesium, Aluminium, Kal-

zium, Eisen, Mangan und des selteneren Titan, Cer, Zirkonium u. a. oder aus Komplexsalzen, wie gelbes Blutlaugensalz, oder aus Metallegierungen, wie Ferro-Silizium, Ferro-Mangan, Ferro-Titan usw. Dazu treten nichtmetallische Verbindungen und Stoffe, wie Borax, Borsäure, Kolophonium, Glas, Holzkohle- und Graphitpulver. Man verwendet diese Stoffe sowohl in Form reiner Chemikalien wie auch als Stoffe natürlichen Vorkommens, z. B. Sand, Schlemmkreide, Schiefermehl, Dolomit, Tonerde und natürliche Silikatverbindungen, unter denen blauer und weißer Asbest hervorzuheben sind, der meist zu Schnur gesponnen zur Umwicklung der Elektroden dient, seltener faserförmig den Tauchmassen zugegeben wird.

Wegen der weitgehenden Mischungsmöglichkeit obiger Stoffe wird hier davon abgesehen, irgendwelche Richtanalysen anzugeben. Dies ist auch um so weniger angebracht, als sich die Analysen wiederum mit dem jeweiligen Verwendungszweck umhüllter Elektroden ändern. Aus diesem Grunde ist auch dem Verbraucher vom „Selbsttauchen“ der Elektroden abzuraten. Die Nachahmung bewährter Massen ist übrigens insofern nicht leicht, als chemische Analysen zwar die Metalloxyde und Säurereste, nicht aber die eigentlichen Ausgangsstoffe erfassen, es sei denn, daß es sich um Tauchmassen ganz einfacher Zusammensetzung handelt.

## C. Die Technik der Lichtbogenschweißung.

### 1. Behandlung des Lichtbogens und seine Einwirkung auf das Schweißgut.

#### a) Kohlelichtbogen.

**Kohlenstoffaufnahme der Schweiße.** Im Abschnitt III A war schon ausführlich auf die Eigenschaften des Kohlelichtbogens eingegangen worden. Während der Kohlelichtbogen längere Zeit nur eine untergeordnete Rolle spielte, kommt er neuerdings wieder stärker in Aufnahme, und zwar hauptsächlich bei der automatischen Schweißung. Nach neueren Erkenntnissen scheint die Gefahr der Kohlenstoffaufnahme der Schweiße aus dem Kohlebogen nicht so groß zu sein, als ursprünglich angenommen wurde, wenn die Elektrode an den Minuspol angeschlossen wird. Infolgedessen ist außer den in Abschnitt III A 1 erwähnten physikalischen Gründen auch aus schweißtechnisch-metallurgischen Gründen der Anschluß an den Minuspol Bedingung, da Kohlenstoff seinen Weg immer vom + zum — Pol nimmt. Versuche haben gezeigt, daß mit dem + Pol ausgeführte Schweißen eine ganz erhebliche Kohlenstoffaufnahme bis zu 2,5 vH, vereinzelt auch bis 3 vH, zeigten, während die Kohlung des mit dem — Pol geschweißten Stahls nur bis zu etwa 0,6 vH betrug. Im übrigen ist einwandfrei festgestellt, daß alle mit Wechselstrom ausgeführten Kohleschweißungen durch Kohlenstoffaufnahme spröde werden, da durch den ständigen Wechsel der Polarität die Vorteile der Minusschweißung fortfallen.

Ein hinreichend wirksames Mittel zur Verhütung unzulässig hoher Anreicherung des Kohlenstoffs in der Schweiße ist außerdem die Verlängerung der Gas-säulenstrecke des Lichtbogens. Die chemische Vereinigung des Luftsauerstoffs mit dem von der Elektrode ausgestoßenen Kohledampf erfolgt im Mantel des Lichtbogens unter Bildung der bereits bekannten Aureole. Deshalb soll der Kohlelichtbogen nicht unter 20 mm Länge haben, um dem Sauerstoff Gelegenheit zu geben, auf einer längeren Strecke sich mit dem Kohledampf zu Kohlenoxyd bzw. Kohlensäure zu verbinden. Allerdings darf auch hier ein von der Stromdichte abhängiges Höchstmaß nicht überschritten werden, wenn ein Verbrennen des Stahls verhütet werden soll. Hinsichtlich der praktisch

angewandten Stromstärken und Schweißspannungen sei auf Tabelle 13 (Abschnitt III A 1) verwiesen.

#### b) Metalllichtbogen.

Es ist vor auszuschicken, daß sich die folgenden Ausführungen, soweit keine besonderen Angaben gemacht werden, vorerst auf den Eisenlichtbogen ganz allgemein beziehen, ohne Unterschied der Stromart.

**Schmelzvorgang.** Sobald der Lichtbogen hergestellt ist, beginnt ein rasches örtliches Erhitzen des Werkstücks und ein Erweichen des Elektrodenendes. Der Werkstoffübergang im Lichtbogen ist bereits im Abschnitt III A 3 besprochen worden. Es bilden sich in der Hauptsache faden- und pilzförmige Tropfen. Gleichzeitig dehnen sich die das Eisen begleitenden Gase in diesen flüssigen Tropfen bei der hohen Temperatur rasch aus und schleudern, unterstützt durch die Schwerkraft des Metalltropfens, die von Gasen durchsetzten flüssigen Werkstoffteilchen geschoßartig gegen das nach kurzer Zeit örtlich fließende Schweißgut. Diese Wirkung wird verstärkt durch alle diejenigen in der Elektrode vorhandenen Legierungsbestandteile, die in den flüssigen und gasförmigen Zustand übergehen, vor allem durch den Kohlenstoff. Das zum Werkstück übergehende Eisen zusammenzuhalten und vor dem Einflusse der atmosphärischen Luft zu schützen, ist eine der Aufgaben der Elektrodenumhüllung. Das gilt auch für die in mehr oder weniger großer Anzahl am Umfang übergehenden kleinen Metallkügelchen. Die Zeitdehnerfilmaufnahmen bestätigen die Ansicht, daß der weitaus größere Teil des Werkstoffs in flüssiger Form übergeht, aber nur sehr geringe Mengen der vergasten Werkstoffteile auf der Gegenseite wieder feste Form annehmen.

**Polanschluß bei Gleichstrom.** Da das an Masse immer größere Werkstück die zugeleitete Wärme in höherem Maße ableitet als die viel kleinere Elektrode, legt man bei Gleichstrom den um  $600^{\circ}$  heißeren Pluspol (positiven Pol) an das Werkstück. Abweichend von dieser sonst allgemein gültigen Regel erfordern hoch gekohlte und sonderlegierte, auch stark umhüllte Elektroden oftmals das Verschweißen am Pluspol, wogegen dünne, leicht überhitzbare Bleche (unter 3 mm) an den negativen Pol anzuschließen sind. Beim Wechselstrom ist diese vorteilhafte Verteilung der Poltemperatur nicht möglich. Infolge des schnellen Polwechsels besteht praktisch kein Temperaturunterschied zwischen den beiden Polen; demnach kann eine Überhitzungsgefahr nur durch richtige Wahl der Stromstärke abgewendet werden.

**Zündung.** Nachdem die Schweißmaschine entsprechend der Betriebsanweisung auf die erforderliche Leerlaufspannung bzw. Kurzschlußstromstärke eingestellt worden ist, wird das Zünden des Lichtbogens durch Tupfen oder Streichen herbeigeführt. Das Zünden durch „Tupfen“, das am üblichsten ist, beruht darauf, die Elektrode einen kurzen Augenblick senkrecht gegen das Werkstück zu stoßen und sofort wieder um einige Millimeter zurückzuziehen, wobei sich der Lichtbogen bildet. Als Faustregel gilt: Lichtbogenlänge = Elektrodendurchmesser. Beim Bogenzünden durch „Streichen“ wird die Elektrode rasch auf einen kurzen Weg über das Werkstück gestreift, ähnlich so, wie man ein Zündholz an einer Reibfläche entzündet. Bei zu langer Dauer der Berührung kann die Elektrode an das Werkstück angeschweißt werden, was vom Schweißer mit „Festkleben“ bezeichnet wird. In diesem Falle kann die Elektrode nicht durch Hochziehen, sondern nur durch seitliches, ruckweises Hin- und Herbewegen des Halters wieder gelöst werden. Ist ein Loslösen auf diese Weise nicht möglich, so muß der Elektrodenhalter abgezogen und ein Hammer oder eine Zange zu Hilfe genommen werden. Erhält man bei wiederholtem Antupfen keinen Lichtbogen, so können

folgende Ursachen vorliegen: Schlechte Kontakte im gesamten Stromkreis, hauptsächlich an der Anschlußklemme und an dem Elektrodenhalter oder zwischen Werkstück und Schweißstisch; ferner nicht ausreichende Zündspannung oder die Elektrodenspitze ist nicht von der Tauchmasse befreit. Ist bei häufigen Zündversuchen das Elektrodenende auf eine größere Strecke glühend geworden, so wird dadurch die Zündung erschwert. Abhilfe: Elektrode erkalten lassen, in Wasser abkühlen (wenn nicht umhüllt) oder auswechseln.

**Haltung der Elektrode.** Der Winkel, unter dem die Elektrode zum Werkstück gehalten wird (fernerhin kurz Anstellwinkel genannt), schwankt mit der Art der Elektrode, mit der Lage und Art der Schweißnaht, und ist außerdem von der Blaswirkung (Ablenkung des Lichtbogens), auf die noch näher eingegangen wird, abhängig. Während die Elektrode zum Werkstück tatsächlich nur in einem Winkel gehalten werden kann, ist ihre Stellung zur Schweißnaht durch zwei Winkel bestimmt. Wir unterscheiden zwischen einem Winkel  $\alpha$ , um den die Elektrode in Richtung der Naht von der Senkrechten abweicht, und einem Winkel  $\beta$ , der die Neigung der Elektrode gegenüber der Senkrechten, und zwar quer zur Schweißrichtung, angibt. Für den einfachsten Fall, das Auftragen einer Raupe auf eine waagerechte Ebene, ergibt sich die Abb. 162. Der Anstellwinkel  $\alpha$  beträgt bei nackten und leichtumhüllten Elektroden normaler-

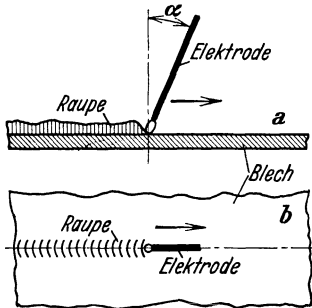


Abb. 162. Elektrodenhaltung in Schweißrichtung.

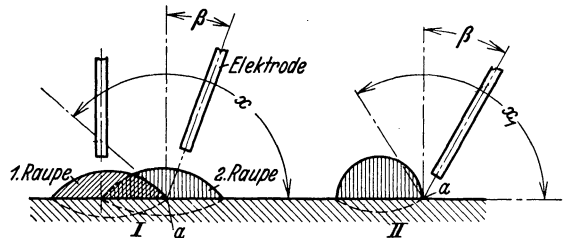


Abb. 163. Elektrodenhaltung quer zur Schweißrichtung.

weise  $15^\circ$ ; bei dickumhüllten Elektroden erheblich mehr, je nach Sorte zwischen  $30^\circ$  und  $60^\circ$ , was auszuprobieren ist (Abweichungen s. Abschnitt Blaswirkung). Die Schweißrichtung ist durch einen Pfeil gekennzeichnet. Dieser Winkel  $\alpha$  bleibt bis auf einige Ausnahmen für alle Stellungen, für Waagrecht-, Senkrecht- und Überkopfschweißung der gleiche. Das gilt nicht für den Winkel  $\beta$ , der sich für die verschiedenen Stellungen ändert. Aus Abb. 162 b geht hervor, daß der Winkel  $\beta$  bei einer Raupe  $0^\circ$  ist, während nach Abb. 163 bei mehreren Raupenlagen nebeneinander die Elektrode so weit geneigt werden muß, daß der theoretische Winkel  $\alpha$ , den man sich zwischen Blechoberfläche und Raupenflanke denken kann, etwa halbiert wird, um an dessen Scheitel bei  $a$  einen guten Einbrand zu erzielen. Demnach wächst der Winkel  $\beta$  mit der Höhe der vorgelegten Raupe, wie aus Skizze II der Abb. 163 zu ersehen ist.

Beim Schweißen von V- oder X-Nähten in der Waagerechten wird die Elektrode im Sinne der Abb. 164 Ia gehalten, mithin genau so wie beim Auftragen einer Raupe, nur kommt hinzu, daß, je nach der Breite der eingeschmolzenen Lage, seitliche Bewegungen quer zur Nahrichtung auszuführen sind. Die Stellung b der Elektrode ist falsch, da hierbei nur ein einseitiges Einbrennen eintritt. Beim Schweißen überlappter Nähte, Abb. 164 II, wie überhaupt beim Schweißen von Kehlnähten, also auch beim T-Stoß III, wird die Elektrode in Richtung der Winkelhalbierenden gehalten, damit in beiden Schenkeln ein gleich-

mäßiger Einbrand erreicht wird. Die Haltung der Elektrode beim Senkrechtschweißen ist aus Abb. 164 IV zu ersehen; sie richtet sich nach der Schweißrichtung, mit der sie wechselt, und danach, ob es sich um ein Auftragen oder um eine Verbindungsschweißung handelt. Wird von unten nach oben geschweißt (*a*), so wird  $\alpha = 0$  und  $\beta = 0$ , mit anderen Worten: die Elektrode steht zum Blech allseitig rechtwinklig. Zieht man eine Raupe von oben nach unten, wie bei IV *b* skizziert, dann ist der übliche Anstellwinkel  $\alpha = 15^\circ$ . Das eben Gesagte gilt auch für senkrechte Verbindungsschweißungen an dünneren Blechen. Dicke Bleche machen dann eine Ausnahme, IV *c*, wenn die Schweißfuge in einer oder mit der zweiten Lage völlig ausgefüllt werden soll. Der Winkel  $\alpha$  beträgt etwa  $30^\circ$  und die Elektrodenspitze wird in der mit dem Pfeil *a* (Abb. 164 V, Draufsicht) gekennzeichneten Richtung bewegt, wobei sie zu den Fugenrändern jeweils etwa rechtwinklig stehen soll, wie dies durch kleinere Pfeile angedeutet ist. Die Haltung der Elektrode bei waagrechttem Schweißen an stehender Wand geht aus

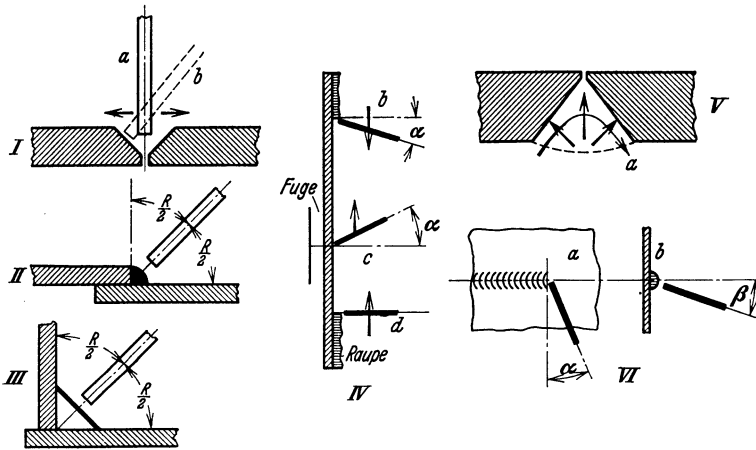


Abb. 164. Elektrodenhaltung beim Schweißen in verschiedenen Stellungen.

Abb. 164 VI hervor. In Skizze *a* beträgt der Anstellwinkel  $\alpha = 15^\circ$ , ebenso der Winkel  $\beta$ , der in der Seitenansicht *b* erkennbar ist. Schließlich ist noch die Überkopfschweißung zu erwähnen, für die sinngemäß die Abb. 162, 163 und 164 I—III um  $180^\circ$  verdreht gelten.

Die über Anstellwinkel gemachten Ausführungen sind nur als Richtlinien aufzufassen. Dem Schweißer muß eine gewisse Freiheit gelassen werden, da der Grad der Verflüssigung des Elektrodenwerkstoffs, die Beeinflussung des Lichtbogens durch magnetische Blaswirkungen sowie die Handfertigkeit des Schweißers mehr oder weniger große Abweichungen bedingen können.

**Blaswirkungen.** Bisweilen nimmt der Lichtbogen zwischen Elektrode und Werkstück nicht den kürzesten Weg, sondern wird unter mehr oder weniger heftigem Flattern seitlich abgelenkt, eine Erscheinung, die die Schweißung merklich stört, mitunter fast unmöglich macht und auf magnetische Blaswirkungen zurückzuführen ist, die übrigens auch die Ursache schlechten Zündens glühender Elektroden sein dürften. Systematische Untersuchungen der Entstehung und des Verlaufs dieser Erscheinung sind zur Zeit noch nicht gemacht; es bestehen nur gewisse Vorstellungen. Bekanntlich sind alle stromdurchflossenen Leiter von magnetischen Feldern umgeben, so auch die Schweißkabel, die Elektrode und das Werkstück. Dazu kommen noch elektrostatische Kantenauf Ladungen, deren

Bestehen aus der starken Beeinflussung des Lichtbogens besonders an Kanten gefolgert wird. In unmittelbarer Nähe der Anschlußklemme wird der Bogen von dieser weg abgelenkt, während an entfernteren Stellen die Kantenaufladung in ihrer Blaswirkung überwiegt. Für die Größe der Blaswirkung ist die Form und Größe des für die magnetische Leitfähigkeit maßgebenden Werkstücks sowie die Verdichtung der magnetischen Kraftlinien vor dem Lichtbogen ausschlaggebend.

Zwei praktische Beispiele bringt Abb. 165. In der Skizze *a* ist die Ablenkung des Lichtbogens, verursacht durch Kantenaufladung, schematisch dargestellt. Während der Lichtbogen bei der mittleren Stellung der Elektrode fast unbeeinflusst ist, wird er an beiden Blechkanten trotz richtigen Haltens der Elektrode zur Blechmitte hin abgelenkt. Die Blaswirkung kann verringert werden, wenn man den Anstellwinkel vergrößert und gegen Ende der Naht entgegen der üblichen Haltung die Elektrode in Richtung der fertigen Raupe neigt. Besondere Schwierigkeiten verursacht die Schweißung der Kehlnähte zweier aufeinandergelegter dicker Bleche, wie dies bei *b* skizziert ist, wo bei den Punkten *1* vier Kanten zusammentreffen. Die Pfeile deuten die Schweißrichtung an, die jeweils von den Punkten *1* ausgeht.

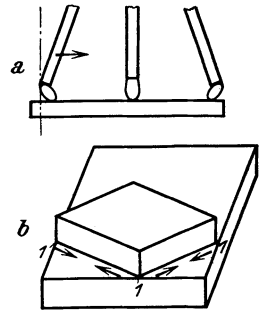


Abb. 165. Darstellung der magnetischen Blaswirkung.

**Führung der Elektrode.** Neben der Haltung ist auch die Führung der Elektrode für das Ergebnis der Schweißung von ausschlaggebender Bedeutung. In der Praxis haben sich die verschiedensten Führungsarten eingebürgert; sie richten sich nicht allein nach der Beschaffenheit der Elektrode, sondern auch nach der Lage der Schweißnaht, nach der Form der Vorbereitung und nicht zuletzt nach der Handfertigkeit des Schweißers. Gerade der zuletzt erwähnte Umstand verbietet es, dem Schweißer bindende Vorschriften zu machen, wie er die Elektrode zu führen hat, doch können die in Abb. 166 und 167 gegebenen Hinweise als die meist üblichen Führungsarten angesehen werden.

Die einfachste Art der Führung bei waagerechter Schweißung entspricht Abb. 166 *a*, d. h. sie verläuft geradlinig und läßt eine schmale Schweißraupe entstehen. Auch die erste Lage in einer V- oder X-Fuge sowie in einer Hohlkehle wird in dieser Weise geschweißt. *b* zeigt die sog. Pilgerschrittführung, die von *a* insofern abweicht, als die Elektrodenspitze in Richtung der Naht zunächst um einen kurzen Schritt voran und dann um etwa den halben Schritt wieder zurückbewegt wird. Die Skizze *b* ist (die Bewegung geschieht nur in einer Ebene, in einer Linie) gewissermaßen als Seitenansicht zu betrachten, während alle anderen Führungslinien in Draufsicht zu lesen sind, wobei die strichpunktiierten Linien die Mitte der Raupe bzw. der Schweißfuge andeuten. Die häufigste Führungsform *c* entspricht einer quer zur Naht zickzackförmig pendelnden Bewegung. Sie kann sowohl bei Auftrags- als auch bei Verbindungsschweißungen angewandt werden. Die kreisende Bewegung der Skizze *d* ist für die erste Lage bei Verbindungsschweißungen, indessen nicht bei Auftragsschweißungen und Decklagen,

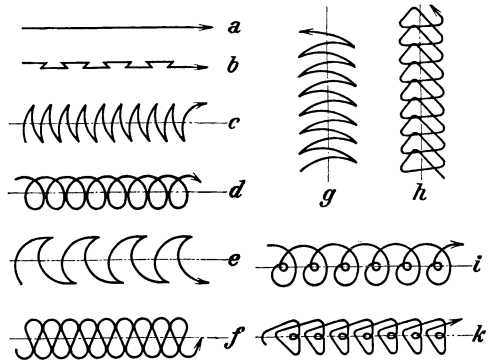


Abb. 166. Arten der Elektrodenführung.

anwendbar. Die Führung der Elektrode im Sinne von  $e$  verbürgt einen guten Einbrand an den Abschrägungen der Schweißungen. Sie weicht von  $c$  insofern ab, als die Elektrode an den Rändern eine kurze Strecke entlang geführt und darauf bogenförmig zurückbewegt wird.<sup>1</sup> Beim Auftragen breiter Raupen und bei der Herstellung breiter Lagen, vor allem bei Decklagen, kann auch die schleifenförmige Bewegung  $f$  gewählt werden. Abb. 173 zeigt eine so ausgeführte Decklage.

Für Senkrechtschweißungen, die von oben nach unten ausgeführt werden, was für die erste Lage fast immer gilt, kommt die Führung  $c$ , sinngemäß um  $90^\circ$  gedreht, in Frage. Bei aufsteigender Schweißung (von unten nach oben) wird nach  $g$  vorgegangen, d. h. das Führungsbild  $c$  gilt mit umgekehrter Bewegungsrichtung. Wird die stehende Schweißung dickerer Bleche in einem Zuge aufsteigend ausgeführt, so wird nach  $h$  und nach Abb. 164  $V$  verfahren.

Waagerechte Schweißungen an stehender Wand sind schwieriger durchzuführen. Für Auftragsschweißungen kann die Führungsform  $d$ , für Verbindungsschweißungen die Führungsform  $e$  empfohlen werden. Um den aufgeschmolzenen Werkstoff gleichmäßig zu verteilen und ein Absacken nach unten zu verhüten, ist es ratsam, den Lichtbogen am oberen Rande der Raupe langsamer, am unteren Rande schneller zu führen, worunter allerdings der Einbrand nicht leiden darf.

Am schwierigsten sind Überkopfschweißungen, d. h. Schweißungen, bei denen der Lichtbogen nach oben gerichtet ist. Außer den Bewegungen  $c$  und  $e$  sind die Führungen  $i$  und  $k$  gebräuchlich. Dabei müssen die kleinen Schleifen schneller als die übrigen Kurvenzüge durchlaufen werden.

Insbesondere bei Kehlnähten sind gleichmäßige Anordnung der Raupen und guter Einbrand von einer richtigen Elektrodenführung abhängig. Um im Scheitel einen guten Einbrand zu erreichen, wird zweckmäßig die erste Lage mit einer schwächeren Elektrode nach Abb. 166  $a$  ausgeführt, wie dies in Abb. 167 für die Lage  $a$  gelten soll. Für die nachfolgende Lage ist die Führungsart  $b$  zu empfehlen, wobei es darauf ankommt, nach Ausführung der Schleife den Lichtbogen nicht gerade nach unten, sondern stark schräg voran zu führen, um das Absacken des Schweißgutes zu vermeiden und guten Einbrand zu erzielen.

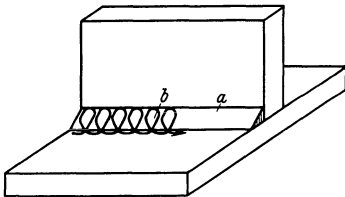


Abb. 167. Elektrodenführung bei Kehlschweißung.

Wichtig ist ferner, durch die Führung Schlackeneinschlüsse zu verhindern, die vor allem von der Umhüllung der Elektrode, von Zunderschichten des Schweißgutes und von im Lichtbogen oxydierten Legierungsbestandteilen der Elektrode herrühren.

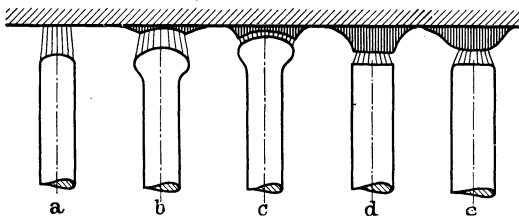


Abb. 168. Überkopfschweißung.

**Überkopfschweißung.** Die Überkopfschweißung gelingt nur einem geübten Schweißer, der hierauf besonders geschult ist. Deshalb muß geraten werden, solche Schweißungen möglichst zu vermeiden oder in größeren Kolonnen wenigstens einen geschulten Schweißer für nicht zu vermei-

dende Überkopfschweißungen bereitzuhalten. An Hand der Abb. 168 läßt sich der Vorgang des Überkopfschweißens verständlich machen, wobei es belanglos ist, ob mit Wechselstrom oder Gleichstrom geschweißt wird. Bei Gleichstromschweißung bleibt der Minuspol an der Elektrode, wenn nicht die Elektrode von sich aus auch

beim waagerechten Schweißen ein Umpolen verlangt. Zunächst erkennt man bei *a* den soeben gezündeten Lichtbogen, darauf das Erweichen und Fließen der Elektrode und des Werkstücks bei *b*, das bei *c* weiter fortgeschritten ist, so daß anschließend die gegenseitige Berührung unter Verlöschen des Lichtbogens erfolgt. Der flüssige halbkugelförmige Tropfen wandert an das Werkstück ab (*d*), unterstützt durch die Schleudervirkung der explodierenden Gase im flüssigen Elektrodenwerkstoff, worauf der Lichtbogen wieder auftritt. Gesteigert durch die Anhaftekraft an der Berührungsstelle breitet sich die Schweiße (bei *e*) am Blech aus. Öffnen und Schließen des Lichtbogens geschieht etwa  $10 \div 15$  mal sekundlich; ebensoviel Tropfen wandern ab, mithin weniger als beim Schweißen nach unten, wo sekundlich  $20 \div 30$  kleinere Tropfen an das Werkstück übergehen.

Man kann sich leicht vorstellen, daß der flüssige Metalltropfen in der Zeit zwischen Bildung am oberen Elektrodeneude und seinem Überwandern an das Werkstück das Bestreben hat, gemäß dem Gesetz der Schwere abzufließen und an der Stabelektrode herunterzulaufen, wie dies in Abb. 169*a* dargestellt ist. Denkt man sich einen sauberen Glasstab, auf dessen obere Fläche Wasser aufgebracht wird, so wird nur ein kleiner Tropfen gehalten werden können (*b*), das Zuviel wird seitlich, wie bei *a*, ablaufen. Fettet man aber das obere Ende des Stabmantels etwas ein, so können, ruhiges Halten des Stabes vorausgesetzt, viel größere Flüssigkeitstropfen ohne Abfließen auf der oberen Stabendfläche gehalten werden (*c*), weil Fett und Wasser nicht ineinander überfließen. Der gleiche Gedanke liegt der Wirkung der Umhüllung einer Elektrode zugrunde, weshalb für Überkopfschweißungen umhüllte Elektroden empfohlen werden. Abb. 169*d* zeigt, wie durch die Umhüllung rings um den Krater eine manschettenartige Hülse gebildet wird, die bis zur Überführung des Flüssigkeitstropfens zum Werkstück sein Abfließen verhindert. Die Umhüllung muß deshalb hinsichtlich Schmelzbarkeit und Dicke so zusammengesetzt sein, daß sie zunächst noch kurze Zeit standhält, um die genannte Hülse bilden zu können, und dann erst schmilzt. Zum Schluß soll nicht unerwähnt bleiben, daß die Überkopfschweißung mit dickgetauchten Elektroden erhebliche Schwierigkeiten verursacht.

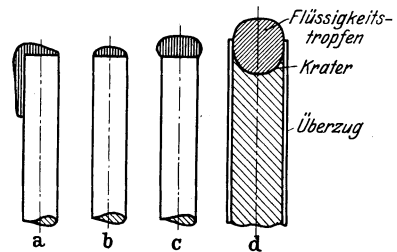


Abb. 169. Einfluß der Umhüllung beim Überkopfschweißen.

**Metallurgische Vorgänge in der Schweiße.** Die chemischen Vorgänge im Schmelzbade sind außerordentlich verwickelt. Sie werden außer durch die Legierung des Grundwerkstoffs und der Elektrode sowie deren Umhüllungsmasse durch die umgebende Luft beeinflusst, und zwar durch ihre beiden Hauptbestandteile Sauerstoff und Stickstoff. Eine Verbindung mit Sauerstoff (O) bezeichnet man als Oxydation, die eine Verbrennung mit oder ohne Flammenbildung ist. Es ist naheliegend, daß der durch den Lichtbogen übergehende Elektrodenwerkstoff einer stärkeren Einwirkung der Luft unterliegt als der Grundwerkstoff. Von den Bestandteilen der Elektroden oxydieren vor allem Silizium, Mangan, Kohlenstoff, Chrom, Nickel und das Eisen selbst. Ein geringer Anteil des Eisens geht in Form feinen Sprühregens (Spritzen) für die Schweiße verloren (Abbrandverlust) und schlägt sich als rostbrauner Belag oder in Form kleiner Perlen in der Umgebung nieder (Abb. 170). Der Gehalt an Phosphor, Schwefel und Kupfer bleibt in der Schweiße nahezu erhalten. Die Sauerstoffaufnahme in der Elektroden-schweiße ist wesentlich größer als bei der Gasschweißung, wenn nicht dickumhüllte



Elektroden verwendet werden. Untersuchungen ergaben, daß bei nackten Elektroden der Sauerstoffgehalt von etwa  $0,05 \div 0,1$  vH in der Elektrode auf  $0,15$  bis  $0,3$  vH in der Schweiße anstieg. Der Sauerstoff tritt in der Schweiße meist in Form feinverteilter Eisen- und Manganoxyde auf, die bei der schnellen Erstarrung der Schmelze nur unvollkommen ausgeschieden werden können. Sie bewirken, ebenso wie Stickstoffverbindungen, eine Herabsetzung der Zähigkeit und Dehnung der Schweiße.

Ein hoher Gehalt an Stickstoff (N) ist ein auffallendes Kennzeichen mit nackten Elektroden geschweißten Stahls und ist der stickstoffbindenden Kraft des Lichtbogens zuzuschreiben. Stickstoff und Sauerstoff der Luft verbrennen im Lichtbogen zu Stickoxyden, die ihrerseits mit dem Schmelzbad eine Umsetzung eingehen und zu Eisenstickstoffverbindungen (Nitriden) führen. Nitrierter, d. h. also stickstoffhaltiger Stahl ist stets hart und mehr oder weniger spröde. Nach chemischen Untersuchungen hat z. B. lichtbogengeschweißter Stahl bei normal  $0,005 \div 0,010$  vH Stickstoffgehalt der nackten Elektrode in der Schweiße  $0,1 \div 0,2$  vH Stickstoff. Wenn auch eine Steigerung der Härte und eine Zunahme der Festigkeit manchmal erwünscht ist, so trifft dies doch nur für bestimmte Fälle zu und erfolgt stets auf Kosten der Dehnung. Man kann nämlich annehmen, daß ein Stickstoffgehalt von etwa  $0,1$  vH zwar eine Festigkeitszunahme von  $20$  vH, jedoch eine Herabsetzung der Dehnung um etwa  $80$  vH bewirkt. Der Nachweis der

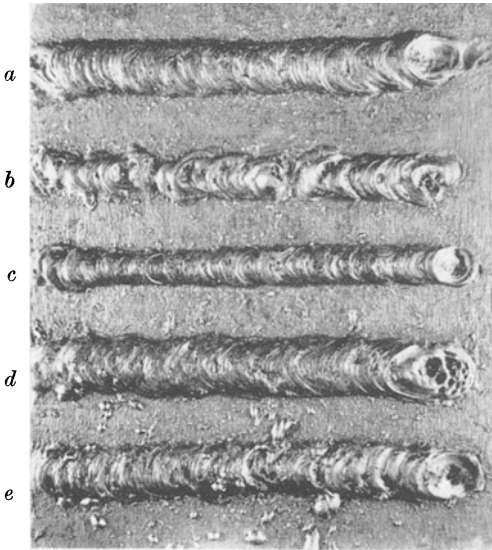


Abb. 170. Aussehen von Schweißraupen.

Stickstoffbindung wird später an Hand der metallographischen Prüfung erbracht, wo der Stickstoff im ausgeglühten Schliff in Form von Stickstoff- oder Nitridnadeln sichtbar wird.

Zur Verhütung oder wenigstens Verringerung der Sauerstoff- und Stickstoffaufnahme der Schweiße ist der Lichtbogen, wie schon früher erwähnt, möglichst kurz zu halten. Noch wirksamer sind die desoxydierenden Bestandteile der Seelen- oder dicker umhüllten Elektroden. Zur Erklärung sei bemerkt, daß Desoxydation der Gegensatz von Oxydation ist, also eine Sauerstoffentziehung kennzeichnet. Ein Desoxydationsmittel muß demnach so beschaffen sein, daß es sich leichter mit Sauerstoff verbindet als Eisen, Mangan, Silizium und andere Legierungsbestandteile; außerdem muß die gebildete Sauerstoffverbindung aus der Schweiße ausgeschieden werden und in die Schlacke übergehen, soweit sie nicht gasförmig entweicht. Dazu muß das Schmelzbad einen gewissen Flüssigkeitsgrad aufweisen, der von der Höhe der Stromstärke abhängig ist. Eine zu geringe Stromstärke führt zu einer zu raschen Erstarrung des Schmelzbades, so daß die nicht ausgeschiedenen Oxyde einen hohen Sauerstoffgehalt der Schweiße ergeben. Naturgemäß ist auch eine zu hohe Stromstärke schädlich, da sie zur Überhitzung oder Verbrennung der Schweiße führen kann. Deshalb muß auch aus metallurgischen Gründen die Stromstärke richtig bemessen sein (s. Tabelle 14).

**Aussehen der Schweißnaht.** Das Aussehen einer Schweißraupe ist von folgenden Faktoren abhängig: von der Stromstärke, der Lichtbogenlänge, der Elektrodenart, der Handfertigkeit des Schweißers im Halten und Führen des Lichtbogens und der Schweißgeschwindigkeit. An Hand von Raupenmustern, die unter den verschiedensten Bedingungen hergestellt worden sind, soll der Einfluß auf deren Aussehen erklärt werden. Die Raupen der Abb. 170 und 171 sind mit nackten Elektroden und mit Gleichstrom geschweißt. *a* ist die richtig hergestellte normale Schweißraupe, während *b* die mit allen Fehlern behaftete Raupe eines Anfängers wiedergibt. Sie zeigt eine wahllose Verteilung der aufgeschmolzenen Stahltropfen, im Gegensatz zur gleichmäßig schuppenkettartigen Anordnung der Naht *a*. Eine mit zu geringem Strom geschweißte Raupe veranschaulicht *c*; sie ist trotz Beibehaltens des gleichen Elektrodendurchmessers von nicht genügendem Einbrand und bei geringer Breite von starker Überhöhung. Die nächste Schweißraupe *d* ist mit zu hoher Stromstärke geschweißt und von zahlreichen auch oberflächlich erkennbaren Poren durchsetzt, die ihr Höchstmaß im Endkrater erreichen. Endlich veranschaulicht *e* eine mit zu langem Lichtbogen geschweißte Raupe. Sie ist teilweise auch mit den Kennzeichen der Überhitzung behaftet und beiderseits von starken Spritzern umlagert, die sogar bis in die Umgebung der Raupe *c* gelangt sind. Den Einfluß der Elektrodenführung auf die Raupenbildung hebt Abb. 171 hervor, in der *f* in geradliniger Führung (Abb. 166 *a*), *g* mit pendelnder Bewegung (Abb. 166 *c*) und *h* mit Schleifenführung (Abb. 166 *f*) ausgeführt sind. Mit schwach umhüllten Elektroden geschweißte Raupen weichen im Aussehen von diesen Raupenbildern nur wenig ab.

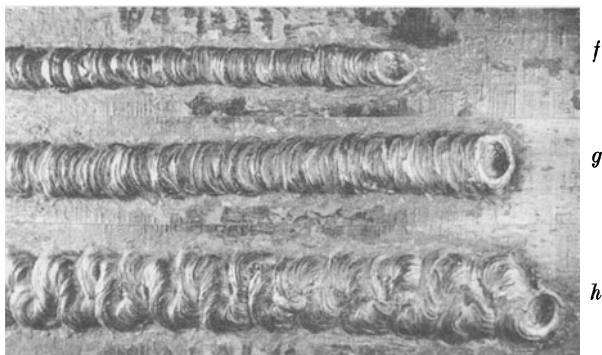


Abb. 171. Aussehen von Schweißraupen.

zahlreichen auch oberflächlich erkennbaren Poren durchsetzt, die ihr Höchstmaß im Endkrater erreichen. Endlich veranschaulicht *e* eine mit zu langem Lichtbogen geschweißte Raupe. Sie ist teilweise auch mit den Kennzeichen der Überhitzung behaftet und beiderseits von starken Spritzern umlagert, die sogar bis in die Umgebung der Raupe *c* gelangt sind. Den Einfluß der Elektrodenführung auf die Raupenbildung hebt Abb. 171 hervor, in der *f* in geradliniger Führung (Abb. 166 *a*), *g* mit pendelnder Bewegung (Abb. 166 *c*) und *h* mit Schleifenführung (Abb. 166 *f*) ausgeführt sind. Mit schwach umhüllten Elektroden geschweißte Raupen weichen im Aussehen von diesen Raupenbildern nur wenig ab.

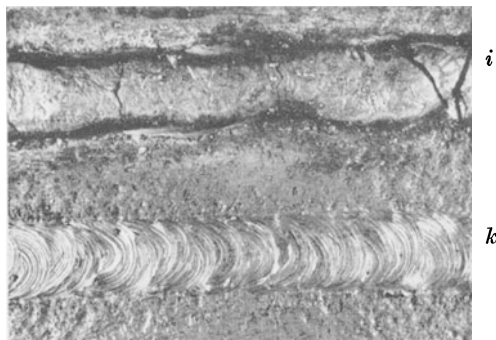


Abb. 172. Aussehen von Schweißraupen mit und ohne Schlacke.

Dickumhüllte Elektroden verändern das Aussehen der Raupen wesentlich, wie dies auch in den Abb. 172 und 173 zum Ausdruck kommt. Nach dem Niederschmelzen der Elektroden bildet sich eine dicke Schlackendecke *i*, die sich nach dem Erkalten möglichst von selbst abheben oder doch sehr leicht entfernen lassen soll und unter

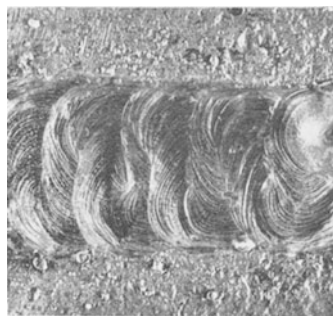


Abb. 173. Aussehen einer Decklage.

Abb. 173. Aussehen einer Decklage.

der dann eine sehr saubere, metallisch glänzende und flachliegende Schuppenkette zum Vorschein kommt, wie dies bei *k* ersichtlich ist. Ein gleich schönes Aussehen hat die Decklage Abb. 173 eines

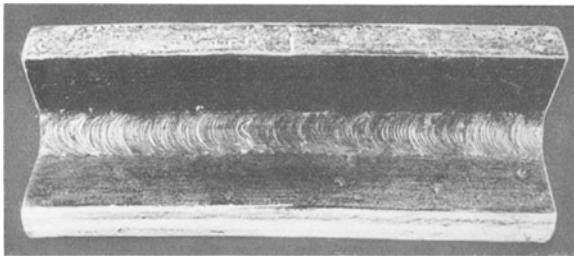


Abb. 174. Aussehen einer Kehlschweißung.

in sechs Lagen geschweißten dickeren Bleches, bei der die Schleifenführung zur Anwendung kam. Die Kehlnaht der Abb. 174 zeigt ein besonders gefälliges Aussehen, wie wenn sie maschinell hergestellt wäre. Nähte solchen Aussehens lassen stets auf die Verwendung dickumhüllter Elektrodenschließen.

## 2. Grundsätzliches über die Schweißung von Stahl.

### a) Die Vorbereitung des Werkstücks.

Mit Rücksicht darauf, daß die Lichtbogenschweißung mehr ein Auftrags- als ein Einschmelzverfahren darstellt, ist dem sachgemäßen Zurichten der zu schweißenden Werkstoffkanten besondere Sorgfalt zuzuwenden. Von Wichtigkeit sind die Anpassung der Konstruktion an die Bedingungen der Schweißung sowie Vorbeugungsmaßnahmen gegen Wärmewirkung und Anordnungen zur Erhöhung der Sicherheit der Verbindung. Zunächst sollen die grundlegenden Verbindungsarten besprochen werden.

**Stumpfschweißungen.** Maßgebend für die Art des Stumpfstoßes ist die Blechdicke (Abb. 175 I ÷ VIII). Der Bördelstoß I, der weniger mit dem Metall- als mit dem Kohlelichtbogen geschweißt wird, findet bei dünnen Blechen unter  $d = 2$  mm Anwendung, wobei  $b$  möglichst gering gehalten werden soll. Die nächsten drei Arten II ÷ IV werden als I- (J-) Stöße bezeichnet und für etwa 2 ÷ 4 mm dicke Bleche verwendet. Der Kantenabstand  $a$  beträgt  $0,5 \div 1,5$  mm. Da es schwierig ist, dünne Bleche zu schweißen, bedient man sich, wenn angängig, einer genuteten Kupferunterlage IV *e*, die außerdem ein sauberes Aussehen der Nahrückseite bewirkt. Bedingt die Konstruktion eine Versteifung der Bleche, so wird zweckmäßig der Stoß auf diese verlegt und mit dieser verschweißt, wie dies in II *c* durch ein  $\tau$ -Profil, das auch durch beliebige andere Formeisen ersetzt werden kann, gesehen ist.

Bleche über 4 mm Dicke bedingen zur Erfassung des vollen Querschnitts der Verbindung beim Schweißen ein Abschrägen der Blechkanten und Auseinanderlegen der Fugenränder (V ÷ VIII), um das immer wichtigere Durchschweißen zu gewährleisten. Der Abstand  $a$  beträgt  $1,5 \div 3$  mm je nach Blechdicke, wird er größer gewählt, so ist eine Kupferunterlage wie bei Skizze IV notwendig. Entsprechend der Abschrägung hat man zu unterscheiden zwischen V- (Vau-) Stoß V, X- (Ix-) Stoß VI, U-Stoß (Kelch- oder Becherstoß) VII und Doppel-U-Stoß VIII.

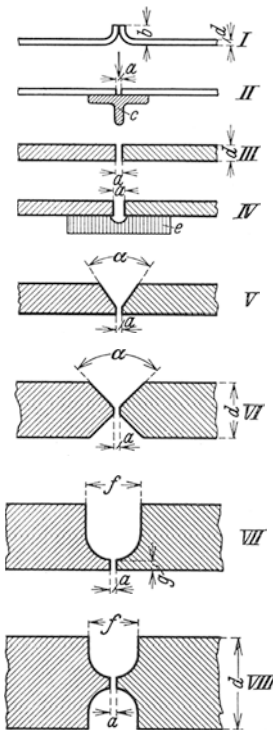


Abb. 175. Vorbereitung von Blechkanten zur Stumpfschweißung.

Die meistangewandte Verbindung ist der V-Stoß, der im allgemeinen erst bei Blechen über 15 mm Dicke durch den X-Stoß ersetzt wird, wenn die örtlichen Verhältnisse eine beiderseitige Zugänglichkeit des Stoßes gestatten. Der Abschrägungswinkel  $\alpha$  beträgt  $70^\circ$ , bei dickeren Blechen, besonders beim X-Stoß, etwa  $60^\circ$ . Die Praxis hat ergeben, daß diese Winkel ausreichend sind und gegenüber dem bei der Entwicklung der Schweißtechnik ursprünglich angegebenen Abschrägungswinkel von  $90^\circ$  den Vorzug haben, daß die einzuschmelzenden Werkstoffmengen erheblich geringer sind, was nicht allein von wirtschaftlicher, sondern auch von technischer Bedeutung ist, weil das Schrumpfen der Schweißse verkleinert wird. Der Querschnitt des X-Stoßes beträgt bei gleicher Blechdicke und gleichem Winkel  $\alpha$  nur die Hälfte des entsprechenden V-Querschnitts. Ist das Schweißen eines X-Stoßes nicht möglich, dann ist bei sehr dicken Blechen der U-Stoß zu empfehlen, wiederum um die einzuschmelzenden Werkstoffmengen kleiner zu halten. Damit verbindet sich der Vorteil einer fast über den ganzen Querschnitt gleichmäßigen Schrumpfung, da die Kanten ziemlich parallel zueinanderstehen. Allerdings kann die Vorbereitung nicht, wie beim V- und X-Stoß, durch Brennschneiden, sondern nur durch Hobeln erfolgen. Das Maß  $f$  sollte  $\frac{2}{3}$  der Blechdicke  $d$  betragen,  $g$  zwischen 3 und 6 mm, je nach Elektrodendurchmesser. Die gleichen Gesichtspunkte, die für den Ersatz des V- durch den X-Stoß bestimmend sind, gelten auch für den Doppel-U-Stoß, der nur in seltenen Fällen notwendig ist.

**Kehlschweißungen.** Die einfachste Form der Schweißverbindung ist die Kehlnaht, da sie keiner besonderen Vorbereitung der Blechränder bedarf. Sie

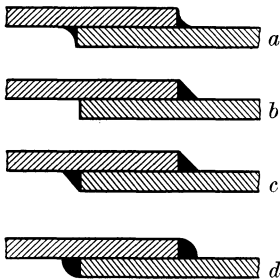


Abb. 176. Ausführung der überlappten Schweißung.

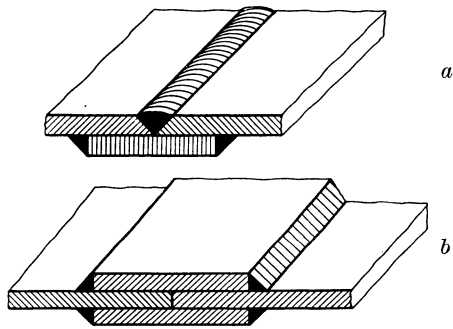


Abb. 177. Einfache und doppelte Laschenverbindung.

wird angewandt bei Überlapp-, Winkel- und T-Stößen. Die Überlappungsschweißung, gegenüber der Gasschweißung eine besondere Anwendungsmöglichkeit der Elektroschweißung, kann ein- und doppelseitig ausgeführt werden. In Abb. 176 sind Überlappungsschweißungen verschiedener Art dargestellt. Die Ausführungsform *a*, doppelseitige leichte Kehlnaht, und *b*, einseitige volle Kehlnaht, kommen nur dort in Frage, wo geringe mechanische Kräfte auf die Naht einwirken. Müssen größere Kräfte übertragen werden, so sind die Beispiele *c* und *d*, die doppelseitige volle bzw. überhöhte Kehlnaht üblich. Die Breite der Überlappung beträgt bei Blechdicken bis zu 10 mm:  $40 \div 50$  mm, bei Dicken von  $11 \div 20$  mm:  $60 \div 70$  mm.

Zu dieser Verbindungsart zählen auch Laschenverstärkungen, von denen zwei Fälle in Abb. 177 dargestellt sind. Das Aufschiessen einseitiger Laschen erfordert natürlich auch die Schweißung des eigentlichen Blechstoßes, während dieser bei doppelseitiger Laschenverbindung offen bleiben kann. Dabei unter-

scheidet man Stirn- und Flankennähte, wie sie in Abb. 178 skizziert sind. Die quer zur Stabachse liegenden Kehlen *a* sind als Stirnnaht, die längs liegenden Kehlen *b* als Flankennähte anzusprechen. Ein Sonderfall ist die Schlitznahtschweißung, bei der die Langloch- und die Rundlochnaht unterschieden wird (Abb. 179). Man wird sie nur dann ausführen, wenn Stirn- und Flankennähte schwer anzubringen sind oder nicht ausreichen. Wichtig ist eine genügend große Öffnung, die ein unbehindertes Führen der Elektrode ermöglicht.

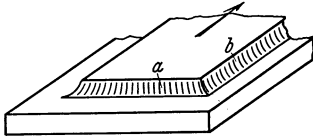


Abb. 178. Stirn- und Flankennaht.

Außer eines sauberen Zuschnitts bedarf auch der Winkelstoß *a*, Abb. 180 (Eck- oder Kantenschweißung), keiner besonderen Vorbereitung, da die Kanten zwangsläufig eine Kehle bilden, wie beim T-Stoß *b*, der meist doppelseitig geschweißt wird.

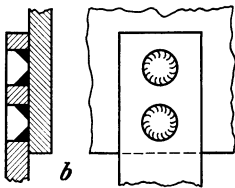
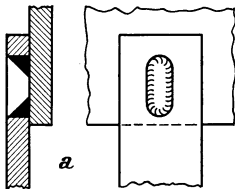


Abb. 179. Schlitznähte  
*a* = Langlochnaht,  
*b* = Rundlochnaht.

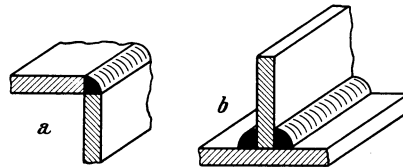


Abb. 180. Winkel- und T-Stoßverbindung.

Während bei allen Stumpfstoßverbindungen nur eine durchlaufende Naht mit oder ohne Überhöhung Anwendung findet, können Kehlnähte häufig auch als unterbrochene Nähte ausgeführt werden, wenn sie zur Kraftübertragung ausreichen und Dichtschweißung nicht verlangt wird. Eine Ausnahme macht der Winkelstoß, der nur als durchlaufende Naht vorkommt. Die Anordnung der unterbrochenen Naht geht aus Abb. 181 hervor. Entweder liegen sich die Nahtstrecken gegenüber, wie bei *a* (Kettenschweißung), oder sie liegen wechselweise versetzt, wie bei *b*, was auch

als Zickzackschweißung bezeichnet wird. Die von der Schweißung nicht erfaßten Nahtstrecken  $l_1$  sind meist länger als die Schweißnahtabschnitte  $l$ , mit anderen Worten: die Teilung  $t$ , die von Mitte zu Mitte Schweißstrecke gemessen wird ist stets größer als  $l$ . Wird die Schweißung auf Biegung beansprucht, so können die nicht verschweißten Nahtstrecken  $l_1$  die erforderliche Dehnung aufnehmen und die weniger zähe Schweißung entlasten.

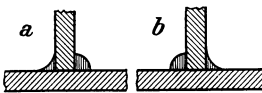
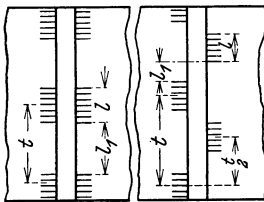


Abb. 181.  
Unterbrochene Kehlnähte.

Für alle diese Verbindungsformen hat der „Fachauschuß für Schweißtechnik“ im VDI in Zusammenarbeit mit dem Deutschen Normenausschuß das Normblatt DIN 1912 herausgegeben, in dem schweißtechnische Zeichen und Begriffe in Skizzen erläutert und in Sinnbildern für Zeichnungen festgelegt sind<sup>1</sup>.

b) Die Schweißung einfacher Stahlbleche.

**Anschluß an die Schweißmaschine.** Voraussetzung ist, daß die zur Verfügung stehende Schweißmaschine

<sup>1</sup> Auf die Wiedergabe der Normblätter wird hier mit Rücksicht auf den Raumangel verzichtet. Sie sind zu 0,75 RM. je Stück durch den Beuth-Verlag, Berlin S 14, Dresdener Straße 14 erhältlich. Zur Zeit sind Bestrebungen im Gange, internationale Normen für Zeichen und Begriffe zu vereinbaren.

sachgemäß und auf Grund der jeweils mitgegebenen besonderen Betriebsvorschrift bedient wird. Das Werkstück (Blech) wird, sofern Gleichstrom zur Verfügung steht, an das +Kabel der Stromleitung angeklemt, der Elektrodenhalter an das —Kabel. Bei Wechselstrom ist die Art des Anschlusses gleichgültig. Im übrigen ist die Wirkung dieselbe, ganz gleich, ob das Blech unmittelbar mit der stromführenden Klemme in Verbindung steht oder ob die Klemme an einen stromleitenden Werkstisch angeschlossen ist, auf den das Blech nur aufgelegt wird. Die Hauptsache ist, daß für guten Kontakt gesorgt wird; wenn notwendig, wird die Stelle, an welche die Klemme anzuschließen ist, metallisch blank gemacht, da Rost isolierend wirkt. Die Klemmen müssen fest angezogen sein, lose Klemmen werden warm und schmelzen schließlich ab. Die Klemmen an den Maschinen und Tafeln sind fast immer mit + und — gekennzeichnet, entsprechend dem positiven und negativen Stromanschluß. Fehlt diese Angabe oder polt eine Hauptstrommaschine aus irgendwelchen Ursachen um, so kann die Feststellung des Pols durch angefeuchtetes Polreagenzpapier erfolgen. Der —Pol hinterläßt, an das Papier gehalten, einen rötlichen Punkt, der +Pol markiert sich nicht. Es handelt sich um mit Kochsalz- und Phenolphthaleinlösung getränktes Fließpapier (Rotfärbung des Phenolphthaleins am —Pol). Ist kein Polreagenzpapier zur Hand, dann taucht man beide Drahtenden (nicht zusammenkommen lassen!) in ein Gefäß mit Wasser. Dabei tritt am —Pol stärkere Gasentwicklung ( $H_2$ ) als am +Pol ( $O_2$ ) auf. Wie schon früher erwähnt, kann auch der Kohlelichtbogen zur Bestimmung der Polarität dienen.

**Spannung und Stromstärke.** Nachdem man sich vom richtigen Anschluß der Maschine und der vorschriftsmäßigen Vorbereitung und Reinigung der Schweißstelle des Blechs von anhaftendem Rost, Öl und Schmutz überzeugt hat, kann die Maschine in Betrieb gesetzt werden. Hierbei ist darauf zu achten, daß der Elektrodenhalter nicht mit dem Gegenpol in Berührung kommt. Am besten wird er an einem Holzgestell oder an einer trockenen Wand aufgehängt. Nun erfolgt die Regelung des Schweißstroms nach der für die Maschine gelieferten Anweisung, die sich in ihren Daten etwa der Tabelle 15 nähert und zusätzliche Angaben enthält, die die für ihre Maschinen erforderlichen Leerlaufspannungen bzw. Kurzschlußstromstärken umfassen. Die Werte in Tabelle 15 sind als normale

Tabelle 15.

Blechedicke mm	Elektroden- durchmesser mm	Schweiß- spannung V	Schweißstromstärke A
2	2	16 ÷ 18	50 ÷ 60
3	3	16 ÷ 18	80 ÷ 90
4—5	4	17 ÷ 19	120 ÷ 150
6—7	4—5	17 ÷ 19	130 ÷ 150; 150 ÷ 170
8—10	5	18 ÷ 20	160 ÷ 190
11—15	5	18 ÷ 20	180 ÷ 220
16—20	5	19 ÷ 22	200 ÷ 230
über 20	5—6	20 ÷ 25	200 ÷ 260

die Stromstärken um etwa 10 vH niedriger gehalten werden. Für dickumhüllte Elektroden können die Spannungen bis zu 30 vH höher und die Stromstärken bis zu 20 vH niedriger liegen. Die Zusammenstellung der Tabelle 15 umfaßt Elektroden bis zu 6 mm Durchmesser, da dickere Elektroden in nackter Ausführung nicht angewandt werden. Über 6 mm dicke Elektroden werden nur mit Umhüllung benutzt. Das Verhältnis zwischen Stromstärke und Elektrodenquerschnitt bezeichnet man als Stromdichte, die sich beispielsweise für eine 4-mm-Elektrode und 150 A errech-

net zu  $150 : \frac{4^2 \cdot \pi}{4} = 12 \text{ A/mm}^2$ . Diese Belastungsziffer schwankt zwischen 8 und  $12 \text{ A/mm}^2$ , weicht aber für Elektroden über 5 mm Durchmesser nach unten ab.

**Schweißarbeit.** Beim Zünden des Lichtbogens fällt das Voltmeter fast auf 0, während das Amperemeter plötzlich in die Höhe schnell. Das beweist, daß in diesem Augenblick nur eine sehr geringe Spannung, dafür aber die ganze verfügbare Stromstärke durch den Berührungspunkt am Werkstück hindurchgeht. Ist der Lichtbogen gebildet, so stellen sich Spannung und Stromstärke selbsttätig ein. Mit der Herstellung des Kurzschlusses muß man sich über den Verlauf der Arbeit, über Schweißrichtung und Elektrodenführung im klaren sein, da mit der Lichtbogenbildung sofort der Werkstoffübergang von der Elektrode einsetzt. Im Werkstück entsteht ein Schmelzkrater, in den der Elektrodenwerkstoff einzuschmelzen ist. Es ist Grundbedingung, daß das Werkstück örtlich gut warm und nach wenigen Sekunden genügend flüssig ist, damit eine gute Verbindung des aufgeschmolzenen Blechs mit dem Schweißgut hergestellt wird und kein Kleben eintritt, was eine Folge zu geringer Stromstärke oder zu hoher Schweißgeschwindigkeit sein kann. Wichtig ist — das muß immer wieder hervorgehoben werden —, den Lichtbogen bei allen Elektrodenarten so kurz wie angängig zu halten! Selbstverständlich erfordert es einige Übung, bis man den Vorschub der Elektrode mit dem jeweils abschmelzenden Werkstoff in das richtige Verhältnis bringt. Versäumt man dies, so muß naturgemäß der Lichtbogen länger werden, bis er endlich abreißt und von neuem gezündet werden muß. Das häufige Erlöschen des Lichtbogens ist für die Güte der Schweißung nachteilig und kennzeichnet — eine gute Schweißmaschine und brauchbare Elektroden vorausgesetzt — immer die Ungeschicklichkeit des Schweißers. Übrigens läßt sich die Handfertigkeit des Schweißers auch durch Beobachtung des Voltmeters prüfen. Starke Schwankungen des Voltmeterzeigers deuten auf schwankende Lichtbogenlänge hin; Verlängerung und Verkürzung des Lichtbogens treten in rascher Aufeinanderfolge ein. Dagegen vermag ein geübter Schweißer den Lichtbogen so gleichmäßig lang zu halten, daß sich kaum eine merkliche Bewegung des Voltmeters feststellen läßt.

Um das An- und Abschmelzen des Elektrodenhalters zu verhüten, darf die Elektrode nicht zu weit abgeschmolzen werden. Das Einspannende der Elektrode von etwa 35 mm (je nach Maulbreite des Halters) muß abfallen. Durch knappes Einklemmen der Elektrode können die unvermeidlichen Abfälle verringert werden. Vorrichtungen für das Zusammenschweißen der Abfallenden haben sich nicht bewährt. Dünne, leicht durchfedernde Stäbe spannt man in der Mitte ihrer Länge ein und wendet, wenn die eine Hälfte niedergeschmolzen ist, den Halter um oder stößt den Stab nach der unteren Seite des Halters durch. Das Einspannen dünner Elektroden auf geringere Längen hat außerdem den Vorteil, daß die Elektrode nicht so leicht glühend wird und weniger federt. Infolgedessen kann der Lichtbogen leichter gehalten werden.

**Schweißraupen und Einbrand.** Die Schweiße besteht bei Einlagenschweißungen aus einer Raupe, bei Mehrlagenschweißungen aus dem Aufbau mehrerer neben- oder übereinander angeordneter Raupen. Beim Erlernen des Schweißens<sup>1</sup> beginnt man deshalb mit dem Auftragen von Raupen auf ebenen, waagerechten Flächen, um neben richtigem Halten und Führen des Lichtbogens die mit den Eigenschaften der Elektroden und Stromstärken zusammenhängenden Vorgänge der Schmelz-

<sup>1</sup> Es ist nicht Aufgabe dieses Buches, Anweisungen für die planmäßige Ausbildung von Elektroschweißern zu geben. Recht brauchbare Unterlagen hierfür sind die „Lehrblätter für Lichtbogenschweißung“ des Deutschen Ausschusses für Technisches Schulwesen (Datsch), Berlin, die unter Mitwirkung der Verfasser in Gemeinschaftsarbeit entstanden sind.

schweißung kennenzulernen. Neben der Gleichmäßigkeit im äußeren Aussehen der Raupen kommt es vor allem auf ihre innige Verschmelzung mit dem Werkstück an, wofür der Ausdruck Einbrand geprägt wurde. Der erzielte Einbrand läßt sich äußerlich am Endkrater der Raupe abschätzen, ist aber mit Sicherheit nur im Querschnitt feststellbar. Abb. 182 zeigt einige Raupenquerschnitte in schematischer Darstellung. Bei Annahme gleichen Elektrodendurchmessers und gleicher Schweißgeschwindigkeit in den verschiedenen Fällen zeigt *a* eine mit zu geringer Stromstärke geschweißte und deshalb ohne ausreichenden Einbrand gebliebene Raupe. Den Querschnitt einer mit richtiger Stromstärke ausgeführten Raupe zeigt *b*, während *c* mit zu hoher Stromstärke geschweißte Raupe und einen viel zu tiefen Einbrand erkennen läßt. Auf den Einbrand sind außerdem von Einfluß: die Blechdicke, die metallurgischen Eigenschaften des Werkstücks sowie der Elektrode und gegebenenfalls deren Umhüllung und die Polarität. Daß zwischen Raupe und Werkstück eine innige Verschmelzung eintreten muß, ist selbstverständlich, jedoch gehen die Meinungen auch in Fachkreisen darüber auseinander, welches Maß der Einbrandtiefe hierfür erforderlich ist. Aus vielen technologischen Untersuchungen geht hervor, daß schon Einbrandtiefen von 1 mm völlig ausreichend waren. Auf Grund praktischer Erfahrungen darf behauptet werden, daß Einbrandtiefen über 3 mm nicht nur nicht erforderlich sind, sondern sogar schädlich sein können, abgesehen von der Unwirtschaftlichkeit, die mit unnötig tiefem Einbrand verbunden ist.

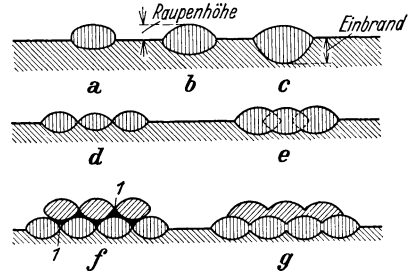


Abb. 182. Querschnitte durch Schweißraupen.

Beim Aneinanderreihen von Raupen ist darauf zu achten, daß jede folgende Raupe die vorangehende um ein bestimmtes Maß überschneidet, damit ein dichter zusammenhängender Verband gewährleistet wird. Demnach ist die Anordnung der Raupen bei Skizze *d* falsch, da sich die Raupenflanken nur berühren. Richtig ist allein nur der Aufbau bei *e*, unter Berücksichtigung des zur Abb. 163 Gesagten. Dieselben Gesichtspunkte gelten für Mehrlagenschweißung, d. h. für den Aufbau der Raupenlagen übereinander. Die im Querschnitt von *f* entstandenen Hohlräume *I* haben ihre Ursache in den bei *d* gemachten Fehlern, wogegen der gleichmäßige Aufbau der Schweißung *g* im Sinne von *e* erfolgte und einwandfrei ist.

**Aufbau der Schweißung.** Die folgenden Abbildungen behandeln den Aufbau von Verbindungsschweißungen. Da der I-Stoß nur für dünne Bleche in Frage kommt, wird er nur in einer Lage geschweißt. Der Querschnitt entspricht etwa der Abb. 183 I. Die Anzahl der Lagen in abgeschrägten Stumpfstößen (Abb. 175 V ÷ VIII) richtet sich nach der Form der Schweißmulde und der Dicke der benutzten Elektroden. Unabhängig von der Anzahl der Lagen soll der Gesamtquerschnitt der Schweißung das Aussehen der Abb. 183 II aufweisen. Bei *A* ist ein gutes Durchschweißen angedeutet; die Flächen *e* deuten den Einbrand an, und *h* ist die übliche Überhöhung der Schweißung, d. h. die Verstärkung der Schweißung über die Blechdicke *d*

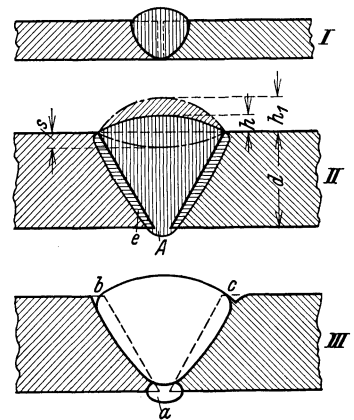


Abb. 183. Querschnitte von I- und V-Schweißungen.

Die folgenden Abbildungen behandeln den Aufbau von Verbindungsschweißungen. Da der I-Stoß nur für dünne Bleche in Frage kommt, wird er nur in einer Lage geschweißt. Der Querschnitt entspricht etwa der Abb. 183 I. Die Anzahl der Lagen in abgeschrägten Stumpfstößen (Abb. 175 V ÷ VIII) richtet sich nach der Form der Schweißmulde und der Dicke der benutzten Elektroden. Unabhängig von der Anzahl der Lagen soll der Gesamtquerschnitt der Schweißung das Aussehen der Abb. 183 II aufweisen. Bei *A* ist ein gutes Durchschweißen angedeutet; die Flächen *e* deuten den Einbrand an, und *h* ist die übliche Überhöhung der Schweißung, d. h. die Verstärkung der Schweißung über die Blechdicke *d*



hinaus, die je nach Blechdicke  $2 \div 4$  mm beträgt. Eine darüber hinausgehende Verdickung der Schweißse, etwa wie bei  $h_1$  gezeichnet, ist unschön, wertlos und unwirtschaftlich. Grobe Fehler im Innern der Schweißse und Bindungsfehler bei  $a$  im Scheitel sind dadurch in keinem Falle auszugleichen. Eine konkave (hohle) Oberfläche der Schweißse, die um das Maß  $s$  gegenüber der Blechoberfläche zurücksteht, ist falsch, da sie eine Schwächung der Konstruktion bedeuten würde.

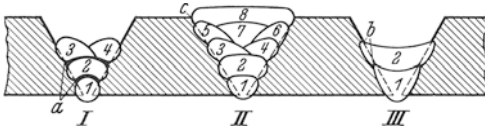


Abb. 184. Aufbau der v-Schweißse.

Bei allen Beanspruchungen wirken sich Kerben als besonders gefährlich aus, da sie allein schon den Bruch der Schweißse zur Folge haben können. Kerben entstehen beim ungenügenden Durchschweißen im Scheitel, was durch eine Kappnaht *IIIa*

behoben werden kann, sofern nicht eine Unterlage (Abb. 175 *IV*) bevorzugt wird. Oder sie entstehen an der Oberfläche der Schweißse durch falsche Führung der Elektrode innerhalb (*IIIb*) oder außerhalb (*IIIc*) des Schweißquerschnitts.

Der Aufbau einer Mehrlagenschweißung beginnt für die unterste Lage *I*, Abb. 184 *I*, mit einer dünneren Elektrode, um ein gutes Durchschweißen sicherzustellen. Für die folgenden Lagen geht man zu dickeren Elektroden über.

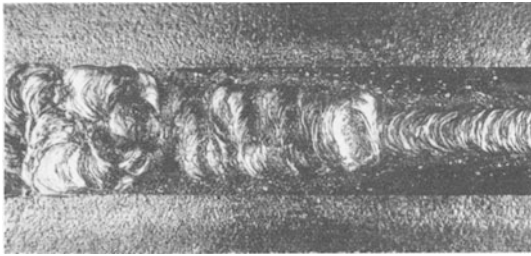


Abb. 185. Aufbau einer dreilagigen v-Schweißse.

Die zweite Lage erfaßt den Querschnitt in voller Breite, wobei darauf zu achten ist, daß eine gute Verbindung mit den Fugenrändern eintritt und keine durch starke Wölbung der Lage hervorgerufene Furchen  $a$  entstehen, die zu späteren Schlackeneinschlüssen und unverbundenen Stellen führen. Sie sind durch richtige Elektrodenführung zu vermeiden, bzw. treten sie bei

dickumhüllten Elektroden infolge der Leichtflüssigkeit der Schweißse nicht so oft in Erscheinung (*IIIb*). Mit zunehmender Lagenzahl wächst die Fugenbreite, weshalb meist mehrere Raupen nebeneinander aufzutragen sind, und zwar immer zuerst die an den Werkstoffrändern gelegenen, wie dies aus der Zahlenfolge der Abb. 184 *II* hervorgeht. Damit die Oberfläche der Schweißse keine als Kerben wirkenden Rillen zwischen den Raupenflanken enthält, wird die oberste Lage, die Decklage, häufig in Wellenführung (Abb. 166 *f*) hergestellt, d. h. die Raupen werden quer zur Nahrichtung aufgetragen, wie dies aus der photographischen Aufnahme Abb. 185 (und Abb. 173) zu ersehen ist. Abb. 185 zeigt den

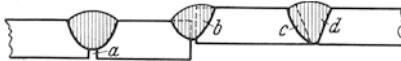


Abb. 186. Fehlerhafte Schweißse.

Gesamtaufbau in drei Lagen, insbesondere die mittlere auch in Wellenführung ausgeführt. Bei Herstellung der Decklage ist zu beachten, daß die Blechränder richtig erfaßt werden und weder Randkerben  $c$  in Abb. 184 zwischen Schweißse und Blechabschrägung noch bei sehr breiter Decklage im Blech auftreten.

Sieht man von wirtschaftlichen Gesichtspunkten ab, so ist der Mehrlagenschweißung als der technisch besseren wohl immer der Vorzug zu geben, weil die folgenden Lagen die vorausgegangenen ausglühen und damit die Schweißse vergüten. Gleichzeitig hat man den Vorteil geringer Schrumpfung der Schweißse und eine Herabminderung der inneren Spannungen.

Häufig anzutreffende Fehler sind in Abb. 186 skizziert. Bei  $a$  ist nicht durchgeschweißt; die Stoßfuge bleibt zum Teil unverbunden und wirkt als Kerbe. Ähnliche Erscheinungen zeigt  $b$ , eine Naht mit versetzten Blechrändern, die bei geringer Beanspruchung bricht. Schließlich haben wir bei  $c$  den Fall einseitiger Verbindung, während  $d$  völlig unverbunden blieb, eine Folge falscher Elektrodenführung.

Bei der Senkrechtschweißung baut sich die Schweißnaht meist aus zwei Lagen auf, entsprechend der Abb. 187. Hierbei wird die erste Lage ( $I$ ) oft von oben nach unten gelegt, die zweite Lage, den vollen Querschnitt ausfüllend, zweckmäßig von unten nach oben im Sinne der Abb. 164 V. Diese Ausführungsart ist deshalb zugänglich, weil das Schmelzbad trotzdem auf kleiner Fläche gehalten werden und nicht auf ungenügend erhitzte Blechränder voranfließen kann. In gewisser Hinsicht tritt auch hier ein Ausglühen ein, dem ein langsames Erkalten folgt. Allerdings ist in diesem Falle die Querschrumpfung meist sehr groß.

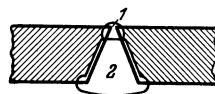


Abb. 187. Aufbau einer stehenden Naht.

Der Aufbau von Kehlschweißen ist an T-Stößen in Abb. 188 dargestellt und gilt sinngemäß auch für Überlappstöße. Die Schweißnaht soll im Querschnitt ein gleichschenkelig rechtwinkliges Dreieck bilden, dessen Höhe  $a$  ( $I$ ) für die Festigkeitsberechnung bestimmend ist. Die Überhöhung  $\Delta a$  kann deshalb gering gehalten werden, um wirtschaftlich zu bleiben. Die bei  $I$  rechts dargestellte leichte Kehlnaht, bei der das Maß  $a$  um das Stück  $h$  von der Grundlinie zurücksteht, wird insofern als günstiger angesehen, als der Übergang zwischen Blech- und Nahtoberflächen allmählich verläuft, während sie bei stark überhöhter Wulst einen Winkel mit scharf ausgeprägtem Scheitel bilden, was für den Kraftlinienfluß ungünstig ist. Die Anordnung der Lagen ergibt sich aus  $II$ ; auf der linken Seite sind 2-Lagen-, auf der rechten 3-Lagen-Schweißungen dargestellt. Die erste Lage darf höchstens mit 4 mm-Elektroden ausgeführt werden, um einen guten Einbrand  $e$  am Scheitel zu erzielen. Wird die Kehlnaht mit der zweiten Lage vollendet ( $II$  2 links), dann gilt das zur Abb. 167 bezüglich der Elektrodenführung Gesagte. Reichen zwei Lagen nicht aus, um das vorgeschriebene Maß  $a$  zu erhalten, so müssen drei und mehr Lagen angeordnet werden, wie das im rechten Teil von  $II$  veranschaulicht ist. Gerade bei Kehlnähten werden in der Praxis die verschiedensten, z. T. grundlegenden Fehler gemacht, die in  $III$  und  $IV$  schematisch angedeutet sind. Da ein Durchsacken der Schweißnaht nicht eintreten kann, neigen die Schweißer manchmal dazu, die Einbrandtiefen  $e$  zu übertreiben, wie dies in  $III$  zum Ausdruck gebracht ist. Das ist eine Vergeudung von Wärme und dürfte auch technisch nachteilig sein. Weit häufiger ist der bei  $f$  ( $IV$ ) gezeigte Fehler ungenügenden Einbrands, der eine Verkürzung des Maßes  $a$  mit sich bringt. Im selben Bild ist bei  $k$  auf den Fehler der Schwächung des Blechquerschnitts durch Kerbbildung am Rande der Schweißnaht hingewiesen. Den Querschnitt der Schweißnaht, wie er bei unsachgemäßer Elektrodenführung nicht selten anzutreffen ist, gibt  $i$  wieder. Die Schweißnaht ist der Schwere folgend nach unten abgefließen

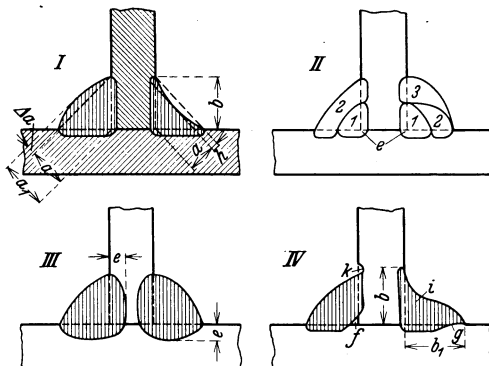


Abb. 188. Aufbau von Kehlschweißen.

Wird die Kehlnaht mit der zweiten Lage vollendet ( $II$  2 links), dann gilt das zur Abb. 167 bezüglich der Elektrodenführung Gesagte. Reichen zwei Lagen nicht aus, um das vorgeschriebene Maß  $a$  zu erhalten, so müssen drei und mehr Lagen angeordnet werden, wie das im rechten Teil von  $II$  veranschaulicht ist. Gerade bei Kehlnähten werden in der Praxis die verschiedensten, z. T. grundlegenden Fehler gemacht, die in  $III$  und  $IV$  schematisch angedeutet sind. Da ein Durchsacken der Schweißnaht nicht eintreten kann, neigen die Schweißer manchmal dazu, die Einbrandtiefen  $e$  zu übertreiben, wie dies in  $III$  zum Ausdruck gebracht ist. Das ist eine Vergeudung von Wärme und dürfte auch technisch nachteilig sein. Weit häufiger ist der bei  $f$  ( $IV$ ) gezeigte Fehler ungenügenden Einbrands, der eine Verkürzung des Maßes  $a$  mit sich bringt. Im selben Bild ist bei  $k$  auf den Fehler der Schwächung des Blechquerschnitts durch Kerbbildung am Rande der Schweißnaht hingewiesen. Den Querschnitt der Schweißnaht, wie er bei unsachgemäßer Elektrodenführung nicht selten anzutreffen ist, gibt  $i$  wieder. Die Schweißnaht ist der Schwere folgend nach unten abgefließen

und bei  $g$  mit dem Grundwerkstoff unverbunden geblieben. Dadurch wird der Anlageschenkel  $b_1$  länger als  $b$  und die Nutzhöhe  $a$  im Verhältnis zum Schweißquerschnitt  $i$  sehr gering.

Auf gründliche Säuberung der Lagenoberflächen vor dem Auftragen der nächsten Lage ist sorgfältig zu achten. Die Befreiung von Schlacken, Oxyden und sonstigen Verunreinigungen ist bei allen Schweißungsarten dringend erforderlich und geschieht unter Zuhilfenahme von Stahldrahtbürsten, Pickhämmern, Meißeln usw. Wird die Beseitigung der Zunder- und Schlackenschichten der einzelnen Lagen unterlassen, so wirken sie isolierend und verhindern ein gutes Verschmelzen und Abbinden der Schweiße, ganz abgesehen von der Verringerung der Festigkeit.

### c) Schweißspannungen.

In den vorigen Abschnitten war wiederholt von Spannungen die Rede, und es wurde darauf hingewiesen, daß von der Beherrschung oder der Unschädlichmachung dieser Spannungen der Erfolg einer Schweißung in hohem Maß abhängig sein kann. So sind Verwerfungen und Risse in oder neben der Schweißung die sichtbaren Folgen von Spannungen. Aber auch beim Fehlen dieser äußeren Kennzeichen können bedeutende Spannungen in geschweißten Körpern vorhanden sein, die während der Beanspruchung im Betrieb das Werkstück stark gefährden, da sich zu diesen Vorspannungen gleichgerichtete Belastungen zuaddieren können. Für die Berechnung einer Schweißkonstruktion ist es besonders wichtig, Größe, Richtung und Verteilung der Spannungen in und neben der Schweißnaht zu kennen.

**Spannungs-Dehnungs-Schaubild.** Ganz allgemein gesprochen kann man annehmen, daß die Spannung der innere Widerstand eines Körpers ist, den dieser einer äußeren Kraft entgegensetzt, gleichviel, ob sie mechanischer Art ist oder durch Temperaturveränderung veranlaßt wird. Das einfachste Beispiel ist das durch Gewicht belastete Gummiband, das sich so lange dehnen wird, bis die innere Spannkraft des Gummis (Elastizität) der Belastung das Gleichgewicht hält. Die gleichen Vorgänge spielen sich auch im belasteten Eisenstab ab. Untersucht man die Abhängigkeit der Dehnung eines Eisenstabes vom Belastungsgewicht, ein Versuch, den man auf der Zerreißmaschine durchführt, so erhält man ein Spannungs-Dehnungs-Schaubild, auf das wir mit Rücksicht auf die Verwandtschaft mit den durch Temperaturveränderung bedingten Spannungen hier kurz eingehen und dem Abschnitte „Die Güte der Schweißnaht und ihre Prüfung“ vorgreifen müssen.

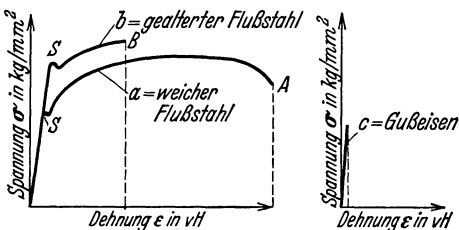


Abb. 189. Beziehungen zwischen Dehnung und Spannung bei Belastung.

Die Beziehungen zwischen Spannung und Dehnung bei Belastung eines Eisenstabes sind in Abb. 189 schematisch angedeutet. Die Kurve  $a$  entspricht weichem Flußstahl, die Kurve  $b$  gealtertem Flußstahl und die Kurve  $c$  dem Gußeisen. Aus der Abbildung ist ersichtlich, daß die Kurven  $a$  und  $b$  zunächst geradlinig ansteigen, dann allmählich, um im Fall  $a$  schließlich noch wieder etwas abzufallen. Bei  $A$  bzw.  $B$  hört die Kurve plötzlich auf, der Stab ist zerrissen. Unterbricht man den Belastungsvorgang im Teile des geradlinig ansteigenden Kurvenastes, indem man die Belastungskraft auf 0 zurückgehen läßt, so wird der Stab auf seine ursprüngliche Länge zurückgehen. Würde man indessen den Zugversuch oberhalb des Punktes  $S$  (Streckgrenze)

unterbrechen, so ergäbe die Messung eine bleibende Längung des Stabes. Demnach entspricht der geradlinige ansteigende Teil der Abbildung dem Gebiete der federnden Dehnung und die sich daran anschließende Kurve dem Gebiete der bleibenden Dehnung. Da, wie die Kurve *c* zeigt, Gußeisen praktisch gar keine Dehnung hat und auch die Zugfestigkeit viel geringer ist, kann dieser Werkstoff nur sehr viel weniger Spannungen aufnehmen als Flußstahl.

Die Dehnung eines Stabes bezeichnet man mit  $\varepsilon$  und drückt sie im vH einer bestimmten Meßlänge aus; die Spannung wird mit  $\sigma$  bezeichnet und in  $\text{kg/mm}^2$  angegeben. Das Verhältnis  $\frac{\text{Dehnung}}{\text{Spannung}} = \frac{\varepsilon}{\sigma} = \alpha$  nennt man die Dehnungszahl. In dem geradlinig ansteigenden Teil der Kurve ist dieses Verhältnis immer gleich derselben Zahl, und zwar hat man durch Versuche festgestellt, daß eine Spannung von  $1 \text{ kg/mm}^2$  bei Flußstahl eine Dehnung von  $0,0000465 \text{ mm}$  hervorruft. Da diese Zahl sehr klein ist, gibt man vielfach ihren umgekehrten Wert an:  $\frac{\sigma}{\varepsilon} = \frac{1}{\alpha} = E$  und nennt diesen Wert Elastizitätsmaß, das allgemein auf  $\text{kg/cm}^2$

bezogen wird. Für Flußstahl ist demnach  $E = \frac{1}{0,0000465} = 21500 \text{ kg/mm}^2$  oder  $2150000 \text{ kg/cm}^2$ . Ist die Dehnung  $\varepsilon$  eines Stahlstabes bekannt, so kann die Spannung  $\sigma = E \cdot \varepsilon = 2150000 \cdot \varepsilon \text{ kg/cm}^2$  berechnet werden. Wird z. B. auf einen Stahlstab eine Meßlänge von  $100 \text{ mm}$  aufgetragen und dieser einer Belastung unterworfen, so daß er sich um  $\frac{1}{10000} \text{ mm}$  längt, dann ist die Zugspannung  $\sigma = E \cdot \varepsilon = (2,15 \cdot 10^6) \cdot (10 \cdot 10^{-5}) = 215 \text{ kg/cm}^2$ .

**Schweißspannungen.** Beim Schweißen werden die Spannungen durch Wärmeausdehnung oder Schrumpfung der Schweiße bzw. des Werkstoffs verursacht. Denkt man sich einen Stab eingespannt, so daß ihm die Möglichkeit sich auszudehnen oder zusammenzuziehen genommen ist, und erwärmt ihn, so müssen durch die Einspannung derartige Kräfte auftreten, daß eine der Wärmeausdehnung zwar gleich große, aber entgegengesetzt gerichtete Kraft entsteht. Bei einer Wärmeausdehnung werden demnach an den Einspannstellen Druckkräfte, beim Schrumpfen Zugkräfte entstehen. Durch genaue Meßversuche ist man in die Lage versetzt, für jeden Körper seine Längenausdehnungszahlen oder Wärmedehnzahlen. Eisen hat eine Wärmedehnzahl von  $1,1 \cdot 10^{-5}$ . Erwärmt man einen Eisenstab von  $1 \text{ m}$  Länge gleichmäßig um  $100^\circ$ , so wächst seine Länge um  $1,1 \text{ mm}$ . Die Größe der Kraftdehnung, wie die Dehnung des Stabes in der Zerreißmaschine bezeichnet werden soll, war so, daß  $1 \text{ kg/mm}^2$  Spannung eine Dehnung von  $0,0000465 \text{ mm}$  hervorrief, d. h. also um einen Eisenstab von  $1 \text{ m}$  Länge um  $1,1 \text{ mm}$  zu dehnen, ist eine Kraft von  $\frac{1,1}{1000 \cdot 0,0000465} = 23 \text{ kg/mm}^2$  notwendig. Demnach hat man auf Grund der Wärmedehnzahl eine Beziehung zwischen Temperaturgraden und Spannung gefunden. Im Beispiel entspricht eine Erwärmung von  $100^\circ$  einer Spannung von  $23 \text{ kg/mm}^2$ , und es würde, um  $1 \text{ kg/mm}^2$  Spannung im Stabe zu erreichen,  $\frac{100}{23} = 4,3^\circ$  Temperaturveränderung notwendig sein. Bei einer Erwärmung des eingespannten Stabes um etwa  $100^\circ$  würde sich bereits eine Druckspannung ergeben, die zu einer bleibenden Verformung führt.

Für das Entstehen von Spannungen in einem Körper durch Erwärmen oder Abkühlen ist dessen Einspannung Vorbedingung. Diese Einspannung ist beim Schweißen durch das Vorhandensein eines allmählich abgestuften Temperatur-

verlaufs im Werkstücke gegeben, wie er in Abb. 190, aus Versuchen ermittelt, angedeutet ist. Da jeder Temperaturstufe eine bestimmte Ausdehnung entspricht,

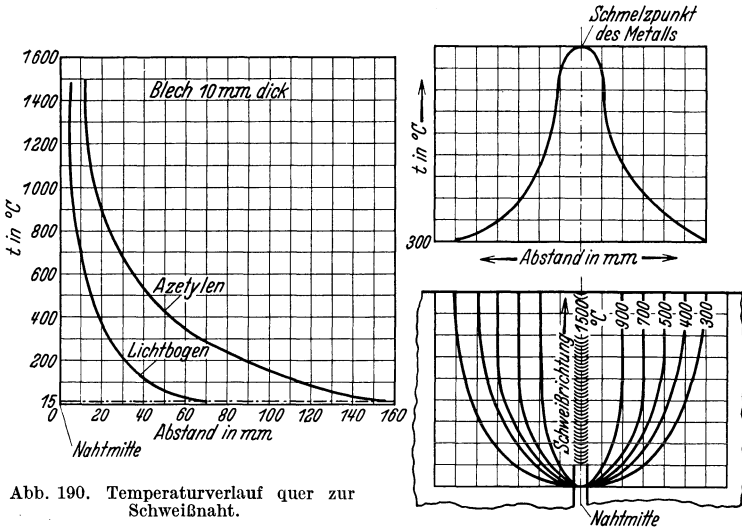


Abb. 190. Temperaturverlauf quer zur Schweißnaht.

das Werkstück aber einen zusammenhängenden Körper darstellt, wird ein Temperaturgebiet mit höherer Dehnung durch ein Gebiet mit niedriger Dehnung an seinem Dehnungswillen behindert, und es entstehen Spannungen, deren Höhe dort am größten sein wird, wo das Temperaturgefälle am größten ist, d. h. in der Schweißnaht selbst und unmittelbar daneben. Oberhalb etwa 600° ist Stahl derartig weich, daß er keine Spannungen aufzunehmen vermag, so daß die mit der Abkühlung von 1500°, der Schmelztemperatur des Stahls an der Schweißstelle, bis in das Temperaturgebiet von etwa 600° auftretende Schrumpfung des Werkstoffs ohne besonderen Widerstand, d. h. ohne Auslösung von Spannungen, erfolgen kann. In Abb. 191 sind die innerhalb des Querschnitts einer Auftrags-, V- und X-Schweißung auftretenden Zug- und Druckspannungen schematisch veranschaulicht. Wir haben natürlich bei allen Schweißnähten zwischen Längs- und Querspannungen zu unterscheiden (Abb. 192). Die in Richtung der Blechdicke auftretenden Spannungen können ihrer Geringfügigkeit halber vernachlässigt werden. Betrachtet man einen Schnitt quer durch die Naht, so sieht man sofort, daß die Naht nur einen geringen Bruchteil des Gesamtquerschnitts ausmacht; die Schrumpfkkräfte auf den Gesamtquerschnitt bezogen sind also klein. Ein in und längs der

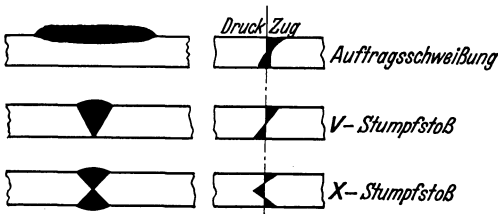


Abb. 191. Schematische Darstellung des Spannungsverlaufes innerhalb des Schweißquerschnitts.

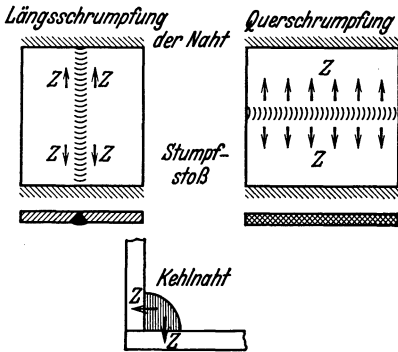


Abb. 192. Schrumpfkkräfte bei Stumpf- und Kehlnähten.

man einen Schnitt quer durch die Naht, so sieht man sofort, daß die Naht nur einen geringen Bruchteil des Gesamtquerschnitts ausmacht; die Schrumpfkkräfte auf den Gesamtquerschnitt bezogen sind also klein. Ein in und längs der

Naht verlegter Schnitt zeigt aber, daß der Schweißquerschnitt gleich dem Gesamtquerschnitt ist. Die Schrumpfspannungen treten hier also im ganzen Querschnitt auf und können sehr groß werden. Daher sind im Gesamtbild betrachtet die Schrumpfspannungen quer zur Naht die gefährlichsten. Günstiger liegen die Verhältnisse bei Kehlnähten. Hier liegen die Zugkräfte nicht entgegengesetzt gerichtet, sondern sie stehen senkrecht aufeinander, so daß die Gefahr einer Ribbildung unwahrscheinlich ist.

**Hilfsmaßnahmen.** Da das Maß der mit der Schrumpfung verknüpften Spannung von der in der Schweiße eingeschmolzenen Werkstoffmenge abhängig ist, wird man diese praktisch möglichst gering bemessen, d. h. man wird die Abschrägungswinkel bei Stumpfstoßverbindungen nicht über  $70^\circ$  wählen. Dabei ist es außerdem wesentlich, ob das Ausfüllen der Schweißmulde in mehreren Lagen erfolgt oder auf einmal. Es ist selbstverständlich, daß mit der Anzahl der Lagen die Schweißspannungen im Querschnitt wachsen, jedoch werden bei gleichem Querschnitt und gleicher Einschmelzmenge die durch Mehrlagenschweißung entstehenden Spannungen zusammen genommen immer geringer sein als die einer Einlagenschweißung. Um die auftretenden Verwindungen und Änderungen der Maßhaltigkeit der Körper möglichst gering zu halten, werden bei Blechen größerer Abmessungen Zuschläge beim Zuschnitt gegeben, die z. B. im Schiffbau durch praktische Versuche mit etwa 1,8 mm je Meter für Querschrumpfung an 5 ÷ 12 mm dicken Blechen ermittelt wurden. Die viel geringere Längsschrumpfung ergab nach Lottmann einen Durchschnittswert von 0,35 mm je Meter. Diese Mittelwerte können je nach den vorliegenden Betriebsverhältnissen Änderungen erfahren. So sind Schweißgeschwindigkeit, Stromstärke, Elektrodenart, Schweißen im Freien oder in der Werkstatt, Anzahl der Schweißlagen usw. Faktoren, die das Maß der Schrumpfung sehr beeinflussen. Deshalb ist es auch schwierig, bindende Zahlen dafür zu geben, inwieweit man Formänderungen durch vorherige Richtungsabweichung der Blechstöße begegnen kann. Hierauf bezieht sich Abb. 193. Bei *a* ist gezeigt, wie bei einer Auftragsschweißung durch Schrumpfen eine in Richtung der Schweißung auftretende Biegung des Bleches eintritt, der man durch eine Vorbiegung des Bleches, wie bei *b*, in entgegengesetzter Richtung entgegenwirken kann. Die gestrichelten Linien zeigen den Vorbereitungszustand, die ausgezogenen den Zustand des Bleches nach vollendeter Schweißung an. Beim V-Stoß *c* bewirkt die Schrumpfung ein Aufbiegen der Bleche von der Ausgangslage um den Winkel  $\alpha$ , der um so größer sein wird, je dünner und kleiner die Bleche sind. Die Verformung kann man ausgleichen, indem nach *d* die Bleche in dem zu erwartenden Biegungswinkel schräg zueinander gelegt werden. Das gleiche gilt für eine Kehlnaht entsprechend dem T-Stoß in Skizze *e*. Bei X-Nähten heben sich die Formabweichungen praktisch gegenseitig auf, wenn auf beiden Seiten abwechselnd geschweißt wird. Über diese grundlegenden Hilfsmaßnahmen hinaus wird man besonders bei zusammengesetzten Konstruktionen auf eine feste Einspannung der Einzelteile nicht verzichten können. Man wird zwar auf diese Weise Verwerfungen verhindern, aber durch die erzwungene Erhaltung der Form mit um so größeren Spannungen zu rechnen haben, wenn nicht eine zweckmäßige Verteilung der Nähte und Schweißung in Abschnitten beachtet

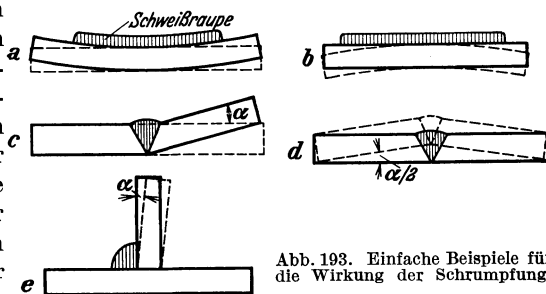


Abb. 193. Einfache Beispiele für die Wirkung der Schrumpfung.

wird. Eine örtliche Anhäufung von Nähten, parallel und überschneidend, ist möglichst zu vermeiden.

#### d) Vergütung der Schweißung.

Die in diesem Abschnitte zu behandelnde Frage der Vergütung soll sich ausschließlich auf eine Nachbehandlung der fertigen Schweißung beziehen und kann sich daher nur auf eine Veränderung des Gefügebauaufbaues erstrecken. Schlackeneinschlüsse, Pastennester und Stickstoff- und Sauerstoffeinschlüsse lassen sich durch Nachbehandlung nicht beseitigen. Die Vergütung bezweckt neben der Einschränkung der Schrumpfspannungen eine Verbesserung der Festigkeit, Dehnung, Kerbzähigkeit und Dichte der Schweißverbindung. Praktisch kommen nur zwei Mittel in Betracht: Wärmebehandlung und Hämmern.

**Aufbau der Schweißung.** Die linke Bildhälfte (Abb. 194) zeigt den Kristallaufbau einer nicht nachbehandelten, also der Rohschweißung, die rechte Bildhälfte

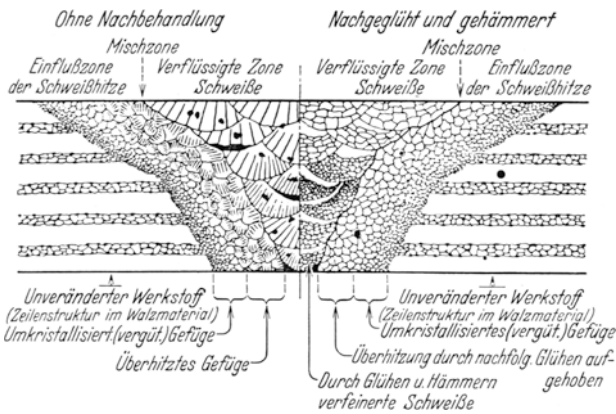


Abb. 194. Schematische Darstellung des Aufbaues einer Schweißung.

das Gefüge einer nachgeglühten und gehämmerten Schweißung. Es handelt sich um eine V-Schweißung an einem Flußstahlblech, das normale Zeilenstruktur besitzt. Von der Bildmitte ausgehend nach links ist zunächst die verflüssigte Zone, die Schweißung, angedeutet, die ein allen gegossenen Werkstoffen eigentümliches grobes Korn aufweist. An sie schließt eine Zone überhitzten Gefüges mit gegenüber dem Grundwerkstoff größeren Kristallen an, deren Größe

im weiter angelagerten Gebiete des durch Umkristallisation vergüteten Gefüges abnimmt, um schließlich in den durch den Schweißvorgang unverändert gebliebenen Grundwerkstoff auszulaufen. In der rechten Bildhälfte ist dagegen ein durch Glühen und Hämmern verfeinertes Schweißgefüge dargestellt und die in der Einflußzone der Schweißhitze entstandene Überhitzung aufgehoben.

**Vergütungsfähigkeit der Schweißung.** Ob eine Elektroschweißung geglüht und gehämmert werden kann oder nicht, ist im allgemeinen von den verwendeten Elektroden abhängig. Da ein Hämmern der Naht — vom Ausrichten abgesehen — nur dann von Bedeutung sein kann, wenn es an der erhitzten Schweißung durchgeführt wird, kann man natürlich ein zum Rotbruch neigendes, mithin auch schlecht schmiedbares, durch höheren Sauerstoff- und Stickstoffgehalt gekennzeichnetes Schweißgefüge nicht hämmern. Dagegen wird eine Vergütung der mit hochwertigen Elektroden hergestellten Schweißungen durch Glühen und Hämmern meist Erfolg haben.

**Normalglühen und Hämmern.** Maßgebend für den Erfolg der Wärmebehandlung ist neben der Glühdauer (mindestens  $\frac{1}{2}$  Stunde) die Glühtemperatur, die sich nach der Zusammensetzung des Elektrodenwerkstoffes, besonders nach dem Kohlenstoffgehalt der Schweißung zu richten hat und deren niedrigste Werte in dem im Abschnitte I E 2 gebrachten Eisen-Kohlenstoff-Schaubild (Abb. 20) längs der Linie *GOS* verlaufen. Temperaturen bis zu  $700^\circ$  können nach dem

Schaubild keine Gefügemwandlung zeitigen, sondern nur ein „Spannungsfreiglühen“ bewirken. Ein Glühen bei Temperaturen über  $720^{\circ}$  bis knapp oberhalb  $900^{\circ}$ , das sog. Normalglühen, schließt außer dem Spannungsfreimachen eine Umkristallisation, d. h. Kornverfeinerung, in sich, die durch sachgemäßes Hämmern unterstützt werden kann. Man kann sich dabei die Wirkung des Hammers so vorstellen, daß durch die starke Erschütterung ein Zertrümmern der Kristalle auftritt und ihr Wachstum unterbunden wird. Das Warmhämmern hat ferner eine Streckung des Korns und eine Gefügeverdichtung zur Folge. Allerdings kann das Hämmern einer Elektroschweiße während des Glühens praktisch in den wenigsten Fällen durchgeführt werden; es bleibt meist auf die Dauer der Herstellung der Schweiße beschränkt. Während ein längere Zeit auf über  $900^{\circ}$  erhitzter, sog. überhitzter Stahl durch Normalglühen ohne weiteres wieder verbessert werden kann, trifft dies für verbrannten Stahl (längere Zeit über  $1200^{\circ}$  erhitzt) nicht mehr zu; er ist endgültig verdorben (s. Abschnitt I E 2).

Die Wirkung der Wärmebehandlung einer Einlagenschweißung geht aus Abb. 195 hervor. Das Bild *I* zeigt den Übergang zwischen Grundwerkstoff *M*

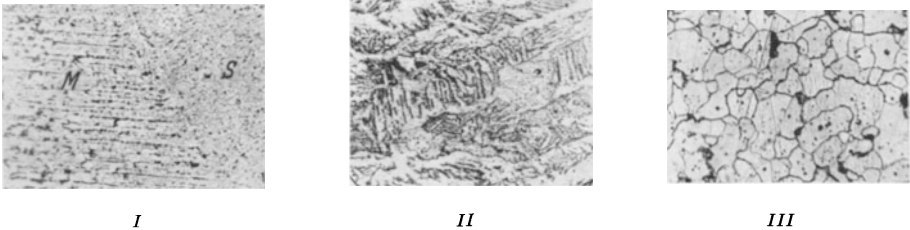


Abb. 195. Unbehandelte und vergütete Schweiße ( $V = 60$  und  $V = 200$ ).

(Zeilenstruktur) und Schweiße *S* in 60facher Vergrößerung, wobei allerdings hervorzuheben ist, daß nicht die reine Schweiße selbst, sondern die Umwandlungs- und Mischzone sichtbar ist. Bild *II* zeigt ein der Mitte der Schweiße entnommenes Schliffbild in 200facher Vergrößerung mit Widmannstättenscher Gußstruktur, die sich durch ungleichmäßig verteilte, langgestreckte Kristalle auszeichnet. Endlich läßt Bild *III* das Gefüge derselben, aber normalgeglühten Schweiße bei gleicher Vergrößerung erkennen. Die gleichmäßigen Kristalle beweisen, daß das Gefüge durch das Normalglühen wesentlich verbessert worden ist.

#### e) Die Berechnung von Schweißverbindungen.

**Allgemeines.** Solange die Schweißung mehr als ein Ausbesserungsmittel angesehen wurde, lag das Bedürfnis, eine Schweißverbindung zu berechnen, kaum vor. Im übrigen fand man sich damit ab, die Festigkeit einer Schweißverbindung etwa jener einer genieteten Konstruktion gleichzusetzen, d. h. die Zugfestigkeit der Schweiße mit 75 vH der des Grundwerkstoffs anzunehmen. Erst als die Schweißung ein wertvolles Konstruktionselement in der Fertigung von z. T. hochbeanspruchten Bauwerken wurde, war zwangsläufig die Forderung gegeben, die aus Festigkeitsuntersuchungen ermittelten Gütezahlen der Schweiße auf deren Berechnung zu übertragen und die Werte für die zulässigen Spannungen bei Schweißverbindungen festzulegen. Die genaue Ermittlung der durch Wirkung äußerer Kräfte in den Schweißverbindungen auftretenden Spannungen wird dadurch erschwert, daß neben den aus der Herstellung (z. B. durch Verformung) im Werkstoff vorhandenen latenten (verborgenen) Spannungen vor allem die beim Schweißen entstehenden oft erheblichen Schrumpfspannungen vorhanden



sind. Die für die Berechnung als zulässig anerkannten Spannungswerte sind unter Berücksichtigung der Schrumpfspannungen festgelegt worden, weshalb letztere bei unseren künftigen Betrachtungen ausscheiden.

Die für die Beanspruchung einer Schweißverbindung zugelassenen Höchstwerte richten sich nicht allein nach der Art der Kraftwirkung (Zug, Druck, Biegung usw.), sondern auch nach der Art der Beanspruchung (des Belastungsfalls). So ist z. B. die Beanspruchung der Schweißverbindungen im Stahlhochbau meist nur eine ruhende, im Brückenbau und Schiffbau vorwiegend eine wechselnde, und im Dampfkesselwesen kommt noch die Berücksichtigung der hohen Temperaturen und deren häufigen Schwankungen hinzu. Aus diesem Grunde haben die zuständigen Überwachungs- und Abnahmebehörden voneinander abweichende Vorschriften für geschweißte Bauteile erlassen<sup>1</sup>.

Bei der Berechnung von Schweißverbindungen ist nach den üblichen Gesetzen der Festigkeitslehre zu verfahren. Auf Grund umfangreicher Untersuchungen und Erfahrungen sind die in den Einzelfällen zugelassenen Beanspruchungen der Schweißverbindungen unter Berücksichtigung bestimmter Sicherheitsgrößen bei den verschiedenen Belastungsarten festgelegt.

**Einfache Zug- und Druckbeanspruchung.** Die allen einfachen Festigkeitsberechnungen (bei Zug- und Druckbeanspruchungen) für eine Schweißzugrunde liegende Beziehung lautet:

$$P = \sigma \cdot F .$$

Hierin bedeutet:

$P$  = Belastung in kg,

$\sigma$  = Festigkeit in kg/cm<sup>2</sup>,

$F$  = beanspruchten Schweißquerschnitt in cm<sup>2</sup>.

Der Querschnitt  $F$  ergibt sich aus dem Produkt von Länge und Dicke der Schweißnaht. Zur Bestimmung der Festigkeit bei Zugversuchen werden die vollen Werte für Länge und Dicke eingesetzt. Die Nahtdicke für V-Nähte ergibt sich nach Abb. 183 II zu  $d + h$ , wobei  $h$  die mittlere Nahtüberhöhung bezeichnet. Infolge des schuppenkettigen Ausfalls der Schweißnaht wird, im Längsschnitt betrachtet, eine sägenförmige Oberfläche entstehen, so daß die Abstände vom Scheitel  $A$  bis zur Nahthöhe veränderlich sind und ein Mittelwert eingesetzt werden muß. Letzteres trifft auch für die Kehlnaht zu, bei welcher sich die mittlere Kehlnahthöhe aus Abb. 188 I mit  $a_1 = a + \angle a$  ergibt. Wenn wir für beide Fälle die Gesamthöhe  $h_1 = d + h = a + \angle a$  einsetzen, so lautet die erste Gleichung:

$$P = \sigma \cdot l \cdot h_1 \text{ oder } \sigma = \frac{P}{l \cdot h_1} .$$

Diese Formel dient zur Bestimmung der Zugfestigkeit von Probestücken bei der Prüfung von Schweißern. Wenn, wie in der Mehrzahl der Fälle bei V-Nähten, auch ein Abarbeiten der Überhöhung auf Blechdicke erfolgt, so ist für  $h_1$  nur die Blechdicke einzusetzen.

Bei der Berechnung der durch die Schweißung aufzunehmenden Kräfte geschweißter Konstruktionen ist, von vorigem etwas abweichend, weder die volle Länge noch die volle Höhe des Schweißquerschnitts in Ansatz zu bringen. Die Länge  $l$  vermindert sich um den Anfang und den Endkrater der Naht, da diese fast immer einen geschwächten Teil im Schweißquerschnitt ausmachen. Die Ausmaße der Krater sind von Elektrodendurchmesser, Elektrodenart und

<sup>1</sup> Vorschriften für geschweißte Stahlbauten (Hoch- und Brückenbau); Vorschriften für Klassifikation und Bau von Schiffen (Germanischer Lloyd); Werkstoff- und Bauvorschriften für Landdampfkessel.

Stromstärke abhängig, diese ihrerseits wiederum von der Blechdicke, weshalb feste Maße für die Längenabzüge nicht festgelegt sind. Ganz allgemein werden die Längenabzüge für die Krater mit der Blechdicke zumindest bei V- und X-Nähten verhältnismäßig geringer werden müssen. Auf jedes Nahtende bezogen, werden sie sich praktisch zwischen 6 und 12 mm bewegen, mithin insgesamt einen Abzug von  $12 \div 24$  mm der Gesamtnahtlänge erfordern. In den „Vorschriften für geschweißte Stahlbauten“ wird als nutzbare Nahtlänge nur die zwischen den Kratern gelegene Strecke in Rechnung gesetzt und ein Maß für die Höhe des Abzugs nicht angegeben. Bei in sich geschlossenen Schlitz- und Rundlochnähten (Abb. 179) wird die Länge der tragenden Naht hinreichend genau durch die Summe der Lochrandlängen bestimmt.

Das Maß  $h_1$  der überhöhten Nahtdicke wird ersetzt durch das Maß  $a$ , welches bei der V- und X-Schweiße der Blechdicke  $d$ , bei verschiedenen dicken Blechen dem schwächeren Querschnitt und bei der Kehlnaht (Abb. 188 I) der Höhe des der Schweiße eingeschriebenen gleichseitigen rechtwinkligen Dreiecks entspricht. Die Überhöhungen  $h$  (Abb. 183 II) und  $\angle a$  (Abb. 188 I) sowie das Mindermaß  $h$  (Abb. 188 I rechts) bleiben demnach unberücksichtigt, so daß starke Überhöhungen praktisch zwecklos sind, da sie in die Berechnung nicht mit einbezogen werden. Die Beziehung zwischen dem kürzeren Anlageschenkel  $b$  des rechtwinkligen Dreiecks und dessen Höhe  $a$  (Abb. 188 I) ergibt sich zu:  $a = \frac{b}{\sqrt{2}}$ .

**Belastungsfälle.** Die Art des Belastungsfalls und der Beanspruchung sind für den Grad der Sicherheit und somit für die Berechnung geschweißter Konstruktionen grundlegend. Man unterscheidet drei Belastungsfälle.

Belastungsfall I: ruhende, also statische Belastung,

Belastungsfall II: dauernder Belastungswechsel zwischen 0 und einem Höchstwert,

Belastungsfall III: beliebig häufiger Belastungswechsel zwischen einem positiven und negativen Höchstwert.

Hieraus ergeben sich die in Tabelle 16 wiedergegebenen Werte für die zulässigen Beanspruchungen von Schweißverbindungen im allgemeinen Maschinenbau. Im Vergleich zur zulässigen Beanspruchung des Grundwerkstoffs ist für den Belastungsfall I eine 3÷4fache Sicherheit, für den Fall II eine 4—6fache und für den Fall III eine 10÷15fache Sicherheit angenommen.

**Wichtige Einzelvorschriften.** Hiervon abweichend ist in den zur Zeit noch gültigen „Werkstoff- und Bauvorschriften für Landdampfkessel“ für die Bewertung von nach dem Lichtbogenschweißverfahren ausgeführten Schweißnähten ein Sicherheitsfaktor von 0,5 angegeben, d. h. die Festigkeit der Schweißverbindung darf nur mit 50 vH jener des Grundwerkstoffs eingesetzt werden. In Ausnahmefällen gilt ein Sicherheitsfaktor von 0,55, und nur bei Ausbesserungsarbeiten darf in Sonderfällen der Faktor 1,0 eingesetzt werden, d. h. die Festigkeit der Schweißverbindung der des Grundwerkstoffs gleichgesetzt werden. Allerdings sehen die Vorschriften noch vor, daß *besonders vergüteten, also geglühten und gehämmerten* Schweißverbindungen ein

Tabelle 16.

Belastungsart	Belastungsfall	Zulässige Beanspruchung $\sigma_{zul} = \text{kg/cm}^2$
Zug	I	900
	II	600
	III	250
Druck	I	900
	II	600
	III	—
Biegung	I	900
	II	600
	III	250
Scherung	I	750
	II	500
	III	200

Sicherheitsfaktor von 0,65 zugrunde gelegt werden darf. In richtiger Erkenntnis der außerordentlichen Entwicklung der Schweißtechnik in den letzten Jahren sind in mehreren Fällen bestimmten Firmen Ausnahmen von diesen Vorschriften zugestanden worden derart, daß die Schweißverbindung mit dem Faktor  $0,8 \div 0,9$  bewertet werden kann. Bezeichnet man diese Sicherheitszahl, bezogen auf die Zugfestigkeit des Grundwerkstoffs  $[p]$  mit  $x$ , die Blechdicke mit  $s$ , mit  $D$  den größten Innendurchmesser des Kesselmantels in mm, und bedeutet  $p$  den Betriebsdruck in  $\text{kg/cm}^2$ ,  $K_z$  die Blechfestigkeit in  $\text{kg/mm}^2$  und  $v$  das Verhältnis der Minderfestigkeit der Längsnaht zur Zugfestigkeit des Grundblechs, so ergibt sich für die Berechnung der Blechdicke eines längsnahtgeschweißten Druckzylinders die Formel

$$s = \frac{p \cdot D}{200} \cdot \frac{x}{K_z \cdot v} + 1 \text{ mm.}$$

Die für den deutschen Handelsschiffbau maßgebenden „Vorschriften des Germanischen Lloyd“ sind ganz anders aufgebaut, indem sie von der Nietverbindung ausgehen. In besonderen Tabellen werden für Stumpfstoß- und Kehlnähte die geforderten Mindestüberhöhungen der Schweiße für die verschiedenen Blechdicken angeführt.

Ganz anders geartet sind die „Vorschriften für geschweißte Stahlbauten“, die sich bei der Bewertung der Festigkeit der Schweißverbindungen von der Nietkonstruktion völlig frei gemacht und die Bemessung der Nähte nur von der Spannungsart abhängig gemacht haben. Die für die Spannungen der Schweißnähte zulässigen Werte  $\rho$  sind in Tabelle 17 wiedergegeben. Sie gelten für St 00

Tabelle 17.

Nahtart	Art der Spannung	Zulässige Spannung $\sigma_{zul}$	Bemerkung	
Stumpf- nähte	Zug	0,75 $\sigma_{zul}$	$\sigma_{zul}$ ist die nach den bestehenden Vorschriften für den zu verschweißenden Werkstoff zulässige Spannung.	
	Druck	0,85 $\sigma_{zul}$		
	Biegung	Zugzone		0,75 $\sigma_{zul}$
		Druckzone		0,85 $\sigma_{zul}$
	Abscheren	0,65 $\sigma_{zul}$		
Kehlnähte (Stirn- und Flankennähte)	jede Beanspruchungsart	0,65 $\sigma_{zul}$		

und für St 37; für andere Stahlsorten sind die zulässigen Spannungen der Schweißnähte auf Grund von Versuchen besonders festzusetzen. Bei der Berechnung von Schweißnähten wird die Spannung  $\rho$  von Flanken- und Stirnnähten der Anschlüsse und Stöße gezogener und gedrückter Glieder und der Schweißnähte an Trägeranschlüssen nach der bereits früher angegebenen Formel

$$\rho = \frac{P}{\sum (a \cdot l)}$$

errechnet. Sie darf nicht höher werden als die Werte der Tabelle 17. Ist bei der Berechnung der Schweißnähte neben einer Auflagekraft  $A$  auch ein Moment  $M$  zu berücksichtigen, so kann die Spannung aus dem Moment  $M$  nach der Formel  $\rho_1 = \frac{M}{W}$  bestimmt werden, wobei  $W$  das Widerstandsmoment einer Fläche be-

deutet, die entsteht, wenn man sich die Dicken  $a$  sämtlicher Schweißnähte in die Anschlußebene umgeklappt denkt. Der Auflagedruck  $A$  ergibt sich aus der Formel  $e_2 = \frac{A}{\sum a \cdot l}$  wobei  $\sum a \cdot l$  sämtliche Anschlußnähte umfaßt. Die Gesamtspannung  $\rho$ , die den Wert  $0,65 \sigma_{zul}$  nicht überschreiten darf, errechnet sich nach der Formel:

$$\rho = \sqrt{e_1^2 + e_2^2}.$$

Soweit die Einzelvorschriften.

Im folgenden sind noch einige grundlegende Berechnungsformeln für Stumpf- und Überlappstoßverbindungen angeführt, für die die zulässigen Spannungen  $\sigma_{zul}$  aus den Tabellen zu entnehmen sind.

**1. Stumpfnähte.**

a) Zug quer zur Naht (Abb. 196, nur mit den Kräften  $P$ ).  $P = a \cdot l \cdot \sigma_{zul}$ . Hierin ist aber nach vorigem  $a = d$  zu setzen, und es ergibt sich dann die Blechdicke  $d = \frac{P}{l \cdot \sigma_{zul}}$ .

b) Biegung längs der Naht (Abb. 196, mit Kraft  $P_1$ ). Die Biegespannung ist  $\sigma_{zul} = \frac{M}{W}$ .

Hierin ist  $W = \frac{l \cdot d^2}{6}$  das Widerstandsmoment

des Querschnitts, und es ist das Biegemoment  $M = \frac{P_1}{2} \cdot e$ , wobei  $e$  die Auflagerentfernung bedeutet. Es ist also auch  $M = \frac{P_1}{2} \cdot e = \frac{l \cdot d^2}{6} \cdot \sigma_{zul}$ .

Wird die Schweißverbindung hochkant auf Biegung beansprucht (Abb. 197), so beträgt  $M = \frac{P_1}{2} \cdot e = \frac{d l^2}{6} \cdot \sigma_{zul}$ .

**2. Überlappstoß** mit Stirnkehlnähten (Abb. 198). Nach Haas hat sich auf Grund von Versuchen ergeben, daß sich die Formel für Zugbeanspruchung  $P \cdot \sqrt{2} = 2a \cdot l \cdot \sigma_{zul}$  infolge zusätzlicher Beanspruchungen mit wechselnder Blechdicke, die mit zunehmender Überlappung abnehmen, in die praktisch brauchbare Formel

$$P = \frac{2(a - 0,1d) \cdot l \cdot \sigma_{zul}}{1 + \left(\frac{d}{b + 3a}\right)^2}$$

umformen läßt, wobei  $a$  nach den im vorhergehenden für Abb. 188 I gemachten Ausführungen anzusetzen ist.

Ist  $b \leq 4d$ , so kann als Faustformel gelten:

$$P = 1,8a \cdot l \cdot \sigma_{zul}.$$

**3. Rohrstoß** (Abb. 199).

Bei Beanspruchung auf Zug gilt für diese Rohrverbindung die Formel:

$$P_2 = 2,2(a - 0,1d) \cdot (D + 0,7a) \cdot \sigma_{zul}.$$

Bei Beanspruchung auf Biegung ergibt sich:

$$M_b = \frac{P}{2} \cdot e = 2,6 \cdot \left(\frac{D}{2} + 0,35a\right)^2 \cdot (a - 0,1d) \cdot \sigma_{zul}.$$

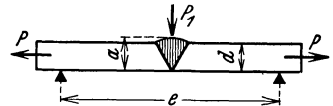


Abb. 196. Zugbeanspruchung quer zur Naht und Biegebeanspruchung längs der Naht.

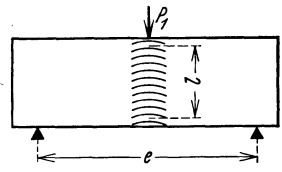


Abb. 197. Biegebeanspruchung der hochkant gestellten Schweißverbindung.

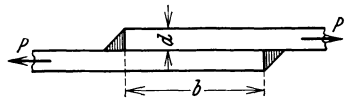


Abb. 198. Beanspruchung des Überlappstoßes.

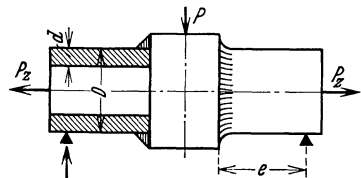


Abb. 199. Beanspruchung des Rohrstoßes.

Hinsichtlich weiterer Beispiele für die Berechnung geschweißter Verbindungen sei auf den Abschnitt C3f und auf einige in der Fußnote angezogene Veröffentlichungen hingewiesen<sup>1</sup>.

f) Das Messen von Schweißnähten.

**Allgemeines.** Bis jetzt werden V- und X-Nähte meist durchgehend überhöht, ohne diese Verstärkung durch besondere Bezeichnungen zum Ausdruck zu bringen. Nur in einzelnen Fällen, für Zerreißstäbe bei Festigkeitsbestimmungen der Schweiße oder wenn Schweißnähte durch Laschen verstärkt werden sollen, wird die Überhöhung abgearbeitet.

Bei Kehlnähten jedoch unterschied man von Anbeginn an zwischen leichter, Voll- und verstärkter Kehlschweißung. Wie aus dem vorigen Abschnitt e hervorgeht, ist die Dicke einer Schweißnaht durch die Berechnung genau festgelegt. Eine Unterschreitung der Nahtdicke (besser: Kehlnahthöhe) ergibt eine unzulässige Festigkeitsverminderung, während eine Überhöhung (oder Verdickung) oder bei Kehlnähten ein ungleichschenkliger Schweißquerschnitt eine Verschwendung an Schweißwerkstoff, Energie und Zeit bedeutet, da die normal vorgeschriebene Nahtdicke (Höhe) dem Sicherheitsfaktor bereits Rechnung trägt. Das Messen von Schweißnähten bezieht sich demnach auf die Bestimmung bzw. Nachprüfung des Wertes  $a$ , der Höhe des eingeschriebenen gleichseitigen, rechtwinkligen Dreiecks, wobei vom kürzeren Anlageschenkel  $b$  auszugehen

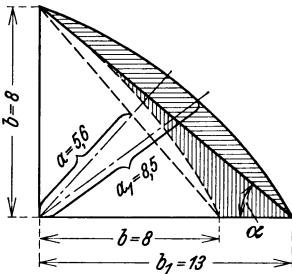


Abb. 200. Bestimmung des Maßes  $a$ .

ist (Abb. 200). Hier entspricht das rechnerisch erforderliche Maß  $a = 5,6$  mm einer Schenkellänge von  $b = 8$  mm. Bei ungleichschenkligen Querschnitten, dessen einer Schenkel  $b_1 = 13,0$  mm lang ist, beträgt das Maß  $a_1 = 8,5$  mm; der Höhenunterschied von  $8,5 - 5,6 = 2,9$  mm darf für die Bestimmung von  $a$  nicht berücksichtigt werden, so daß sich ein unnötig um 60 vH größerer Nahtquerschnitt ergibt.

berücksichtigt werden, so daß sich ein unnötig um 60 vH größerer Nahtquerschnitt ergibt.

**Meßgeräte.** Es gibt eine Anzahl von Meßgeräten, von denen ein Teil zur unmittelbaren Bestimmung von  $a$  dient, gleiche Schenkellängen  $b$  vorausgesetzt, was aber in der Praxis fast nie der Fall ist. Dieser Tatsache trägt z. B. das Gerät von Schmuckler dadurch Rechnung, daß es die kleinere Schenkellänge  $b$  bestimmt und auf einem Parallelmaßstab  $a$  Abb. 201 abzulesen gestattet. Es zeigt drei in einem Schieber verstellbare und mit Schrauben  $t$  feststellbare Maßstäbe, von welchen der die Skala III tragende Diagonalstab eine Ablesung der Höhe  $a$  unmittelbar gestattet, während die Skala der Stäbe I und II die Schenkellängen und die dazu

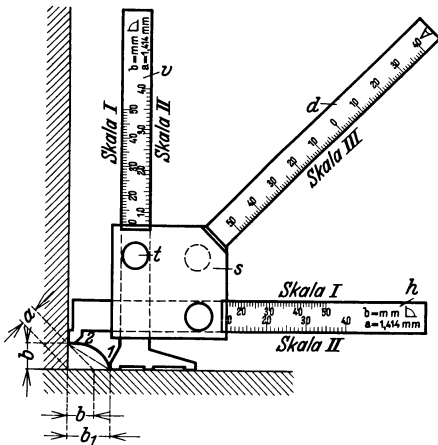


Abb. 201. Messen einer ungleichschenkligen Kehlnaht nach Schmuckler.

<sup>1</sup> Kommerell, Erläuterungen zu den Vorschriften geschweißter Stahlbauten; Schmuckler, Ausführungen über die Anwendungen der Vorschriften für geschweißte Stahlbauten mit Beispielen; Haas, Wege zur Berechnung der Festigkeit von lichtbogenschweißten Verbindungen.

gehörigen  $a$ -Werte abzulesen ermöglicht. Die unmittelbare Ablesung kommt nur für leichte Kehlnähte, die mittelbare für alle anderen Fälle in Frage. Die Zweckmäßigkeit der zur Zeit üblichen Meßgeräte ist umstritten, da eine genaue Feststellung des Maßes  $a$  unter Berücksichtigung aller praktisch vorkommenden Fälle kaum möglich ist; jedoch reicht die Meßgenauigkeit für den Betrieb aus.

### 3. Wichtige Anwendungsgebiete der Stahlschweißung.

Nachdem die bisherigen Abschnitte das Grundsätzliche der Schweißtechnik und den Aufbau der Schweißbehandlungen, wird in den folgenden Abschnitten — nach bestimmten Fachgebieten unterteilt — die Anwendung der Lichtbogenschweißung geschildert. Angesichts der vielseitigen, oft sehr verwickelten Konstruktionen und Formgebungen, die auf allen technischen Gebieten anzutreffen sind und die durch die Einführung der Schweißung eine fast unerschöpfliche Erweiterung erfahren haben, kann hier nur so weit darauf eingegangen werden, als es für das Verständnis des Konstruktionsgedankens und der Arbeitsdurchführung notwendig ist. Dabei ist es absichtlich vermieden worden, die ausführenden Firmen zu nennen, um den Eindruck einer Werbung auszuschalten. Weitere, ins einzelne gehende Anwendungsbeispiele in verschiedenen Fachrichtungen bringen dem Leser die Sonderschriften des VDI<sup>1</sup>.

Der besseren Übersicht halber und um eine zu weitläufige Unterteilung zu umgehen, sind Betrachtungen über Fertigung und Ausbesserung gemeinschaftlich behandelt.

#### a) Rohrschweißung.

Während die Rohrschweißung zur Zeit der Entwicklung der neuen Schweißverfahren ausschließlich von der Gasschweißung beherrscht wurde und diesem Arbeitsverfahren das bedeutendste Betätigungsfeld überhaupt zuwies, ist mit dem Fortschritt der Lichtbogenschweißung hierin insofern ein Wandel eingetreten, als Rohrleitungen größerer Abmessungen heute schon vielfach elektrisch geschweißt werden. Das bezieht sich insbesondere auf das Herstellen und Verlegen von Dampf-, Wasser-, Ferngas-, Petroleum-, Öl-, Wind- und Absaugrohrleitungen verschiedenster Art.

**Vorteile der Schweißung.** Das geschweißte Stahlrohr hat allen bekannten Verbindungsverfahren gegenüber die Vorzüge der dauernden Dichtigkeit, Dehnbarkeit, Bruchsicherheit, praktisch unbeschränkten Formgestaltung, Gewichtsersparnis (Fortfall von Flanschen und Überlappungen), erhöhten Wirtschaftlichkeit und des Fortfalls der Rohrschwächung durch Gewinde u. dgl. Sie haben einmal dazu geführt, die gußeisernen Rohre zu verlassen, aber auch immer mehr den Ersatz von Rohrverschraubungen, Verflansungen, des Nietens 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 vorhanden.

Bei gezogenen und gewalzten Rohren ersetzt die Schweißnaht Fittings und Flanschen, welche letztere nur noch an — aus betriebs- oder montagetechnischen Bedürfnissen heraus — lösbaren Stellen angewandt werden; bei Muffenrohren

<sup>1</sup> „Ausgewählte Schweißkonstruktionen“, Bd. 1–6, gesammelt und herausgegeben vom Fachausschuß für Schweißtechnik im VDI.

ersetzt sie die Packung und Bleiverstimmung. Eingerollte Rohre werden im allgemeinen längsnahtgeschweißt, was von Hand wie auch auf Schweißautomaten geschieht. Dabei handelt es sich um geradlinige oder spiralförmige Längsnahtverbindungen einfachster Art, auf die hier näher einzugehen sich erübrigt. In folgendem soll daher ausschließlich von Rohrrundnähten, also Rohrstößen, -anschlüssen und -formstücken, die Rede sein.

**Stumpfstöße.** Eine größere Gruppe von üblichen Formen des Stumpfstoßes für Rohrrundnähte ist in Abb. 202 veranschaulicht, wobei die Wahl des einen oder anderen von dem Verwendungszwecke, der Abmessung und der von ihm auf-

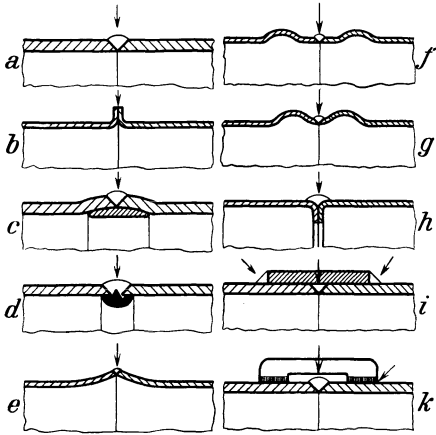


Abb. 202. Geschweißte Rohrstöße.

zunehmenden Kraftübertragung abhängig ist. Der einfachste Verbindungsstoß ist bei *a* dargestellt. An Rohren bis zu 3 mm Wanddicke kann die Abschrägung fortfallen. Besonders dicke Rohre erhalten an Stelle der V-Mulde auch eine Kelchnaht (Abb. 175 VII) oder bei Rohren großen Durchmessers eine X-Naht. Schwachwandige Rohre können mit Bördelstößen — wie bei *b* gezeigt — versehen werden, wobei sich vorteilhaft die Kohlelichtbogenschweißung anwenden läßt. Der Innenbord bei *h* kommt nur in Frage, wenn das Rohr nicht dem Durchflusse von Körpern, sondern als Konstruktionsteil dient. 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. Sogenannte 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 und ähnliches hervorgerufen werden. Die Aushalsung bei *e* und die Anordnung der doppelseitigen Sicken bei *f* und *g* bezwecken außerdem eine Aussteifung dünnwandiger Rohre und damit eine Erleichterung 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.

**Abzweigungen.** Im allgemeinen sind die Abzweigungen der Abb. 203 gebräuchlich. Bei *a* haben lichte Weite des Stutzens und des ihn aufnehmenden

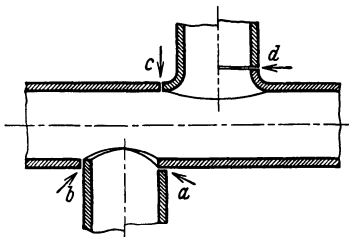


Abb. 203. Rohr-abzweigungen.

Loches gleichen Innendurchmesser, während bei *b* das Stutzenende in ein größer gehaltenes Loch eingepaßt wird. In beiden Fällen entstehen Kehlnahtverbindungen. Das einzuschweißende Rohrende des Stutzens muß bogenförmig ausgearbeitet sein, damit der Durchflußquerschnitt des Rohres nicht vermindert wird. Wird das Rohrinne nicht benutzt, so ist diese Maßnahme nicht notwendig. Im übrigen kann natürlich die Abzweigung an jeder beliebigen Stelle und unter

jedem beliebigen Winkel angeordnet sein, wenn nur dafür gesorgt wird, daß die Naht für die Elektrode ringsum zugänglich bleibt. Nicht immer sind die einfachsten Abzweigungen *a* und *b* ausreichend. Wo es auf möglichst reibungs-

und stoßfreien Durchgang ankommt, wird die Verbindungsart *c* und *d* gewählt. Diese hat außerdem den Vorteil, daß die Schweißnaht außerhalb der am stärksten auf Biegung beanspruchten Stoßkante verlegt wird.

**Flanschen.** Um lösbare Verbindungen zu erhalten, verwendet man bei kleinkalibrigen Rohren meist Rohrverschraubungen, bei großkalibrigen Rohren vorwiegend Flanschen, die früher mit Gewinden aufgeschraubt oder als Losflanschen auf gebördelten Rohrenden angeordnet wurden. Mit der Schweißverbindung erreicht man dies einfacher und vor allem dauerhafter, indem man entweder Ringflanschen im Sinne der Skizzen *a*, *b* und *c*, Abb. 204, anschweißt oder Ansatzflanschen, wie sie bei *d* und *e* dargestellt sind. Darüber hinaus sind auch noch andere Flanschenformen möglich; jedoch stellt *f* die beste Form eines Schweißflansches dar, dessen Ansatz auf die Wanddicke des Rohres verjüngt und mit diesem durch eine V- oder X-Naht verbunden ist. Damit entfällt besonders die bei dickwandigen und großkalibrigen Rohren mühevoll arbeitende Gewindeschneidung.

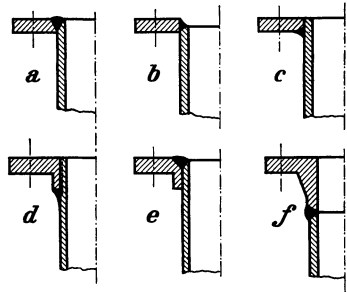


Abb. 204. Geschweißte Rohrflanschen.

Das Aussehen und die Güte der Schweiße werden gesteigert, wenn man — was bei werkstattmäßiger Herstellung der Verbindungen fast immer erreichbar sein wird — die Schweißnaht in die jeweilig für den Schweißer bequemste Lage bringt, z. B. durch Verwendung von Drehvorrichtungen. Bei Massenfertigung von Rohrverbindungen wird sich fast immer die Aufstellung eines Schweißautomaten verlohnen.

**Rohrsysteme.** Das gefällige Aussehen und die Einfachheit einer geschweißten Rohrkonstruktion kommen sinnfällig bei Rohrsystemen zum Ausdruck. Die Schweißung hat dem Konstrukteur hier völlig neue Wege der Formgebung eröffnet, die es ihm ermöglichen, mit erheblich geringerem Arbeits- und Gewichtsaufwand auszukommen. Heizrohrregister, Kühlschlangensysteme, Rohrverdampfer und vieles andere werden heute fast ausschließlich geschweißt hergestellt, wobei der große schweißtechnische Vorzug — von normalen Rohrabmessungen und -formen gänzlich unabhängig zu sein — besonders ins Gewicht fällt. Ein Kühlschlangenregister

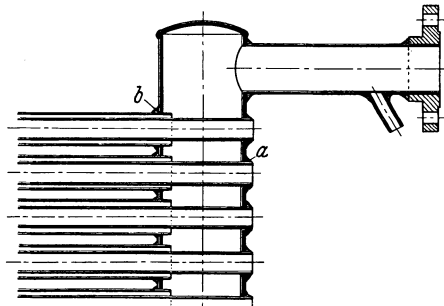


Abb. 205. Kühlschlangenregister.

mit der gebräuchlichen, konzentrischen Anordnung von Doppelrohren ist im Schema der Abb. 205 dargestellt. Die inneren Rohre sind bei *a*, die äußeren bei *b* in das Sammelrohr eingeschweißt. Ebenso sind die Deckel, Stutzen und Flanschen durch Schweißung in dem System verbunden. Das Ausführungsbeispiel eines aus zwei Elementen bestehenden Steilrohrverdampfers bringt Abb. 206. Der Verdampfer besteht aus 284 elektrisch in die Sammelrohre eingeschweißten Stehrohren von 52,5/44,5 mm Durchmesser. Boden, Stutzen, Flanschen und Verbindungsrohre sind ebenfalls elektrisch verschweißt.

**Formstücke.** Im engeren Zusammenhange mit der Erzeugung von Abzweigungen stehen die sog. Rohrformstücke. Die schwierigsten und verwickeltsten Rohrformstücke, die aus fertigungstechnischen Rücksichten weder mit gießerei-



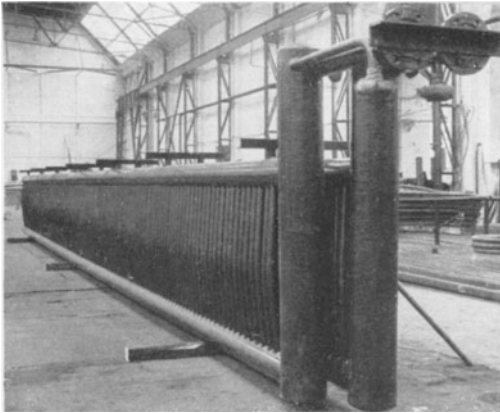


Abb. 206. Steilrohrverdampfer.



Abb. 207. Elektrisch geschweißtes Hosenrohr.



Abb. 208. Hosenrohrformstück für eine Turbine.

technischen Mitteln noch durch Nietung u. a. herstellbar sind, werden durch den Zusammenbau zweckentsprechend geformter, in und unter sich geschweißter Einzelteile in gefälliger Weise hergestellt, wobei der Vorteil des Schweißens in der Mehrzahl der Fälle mit den Abmessungen der Formstücke wächst. Der Schweißtechnik verdanken auch die Rohrbogenwerke ihre Entstehung. Sie fertigen nach gewissen Normen gestufte Schweißbogen und die verschiedensten Formstücke, die, untereinander oder mit Rohrsträngen zusammengeschweißt, einfachste, elegante und billige Konstruktionen ergeben.

Tritt an die Stelle des gezogenen, genormten Kaliberrohres ein aus Blech eingerolltes, dann wird der Nutzen der Schweißung bei Formstücken noch mehr offenbar, wie dies für die Hosenrohre, Abb. 207 und 208, zutrifft. Das aus 11 Segmenten bestehende Formstück für eine Dampfturbine (Abb. 207) hat 1000 mm Durchmesser und erfordert rund 50 m Schweißnaht. Die 3 Flanschenbordringe und die beiden Linsenkompensatoren sind ebenfalls geschweißt. Das gigantische Hosenrohrformstück der Abb. 208, dessen Größenverhältnisse sich im Vergleich zu dem auf der danebenstehenden Leiter ab-

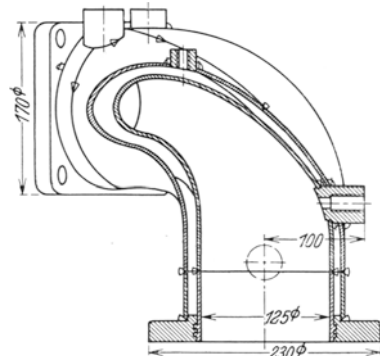


Abb. 209. Geschweißter Auspuffstutzen einer Dieselmachine.

gebildeten Arbeiter abschätzen lassen, ist aus rund 100 geschweißten Blechsegmenten und -schüssen sowie mehreren Versteifungsrippen hergestellt worden. Die Gesamtlänge der elektrischen Schweißnähte beträgt etwa 300 m. Solch verwickelten Zusammenbauarbeiten kommt der Vorteil des leichten Heftens der Stöße mit dem Lichtbogen und das verhältnismäßig geringe Verziehen der Bleche besonders zustatten. Auch der aus gepreßten Blechstücken gefertigte, doppelwandige Auspuffstutzen eines Dieselmotors, Abb. 209, ist samt den 3 Flanschen elektrisch geschweißt. Art und Lage der Nähte sind durch genormte Schweißzeichen hervorgehoben.

**Muffenrohre.** Stahlmuffenrohre, die in den letzten Jahren an Stelle von Gußrohren immer mehr Eingang gefunden haben, werden je nach Länge und Durchmesser der Rohrstränge über dem Graben geschweißt und dann an Flaschenzügen versenkt, oder sie werden im Graben selbst geschweißt. Letzteres erfordert das Auswerfen entsprechender Kopflöcher, die dem Schweißer eine möglichst unbehinderte Bewegungsfreiheit gestatten müssen. Aus der großen Anzahl der üblichen Muffenrohrverbindungen, die z. T. unter Patentschutz stehen, sind in Abb. 210 die wesentlichsten zusammengestellt, soweit sie einer Warmverformung der Muffe während des Verlegens nicht bedürfen. Muffen der letzteren Art werden vornehmlich gasgeschweißt. Zu diesen gehören vor allem die als Strenger- und Klöppermuffen bekannten Verbindungen.

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* 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 wird mit dem Muffenrande durch eine äußere Kehlnaht verbunden. Bei größerer Beanspruchung des Rohrnetzes, besonders auch bei größeren Rohrdurchmessern und in den Fällen, wo durch Erdverlagerungen oder -rutschungen (z. B. Bergbaug Gebiet) 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 im gleichen Abstand verteilte Schweißblöcher angebracht werden, die mit Schweißwerkstoff ausgefüllt und mit dem eingeschobenen Rohrende verschweißt werden. Um das Auftreten von hohen Spannungen zu vermeiden, ist es dabei wichtig, die mit dem Fortschreiten der Rundnaht anliegenden Sicherungslöcher gleichzeitig, und nicht vor oder nach dem Schweißen der Rundnaht, auszufüllen. Die Ausführung *e* unterscheidet sich von der vorhergehenden durch die Anordnung von Längsschlitzten 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 Druckprobe notwendige Gewindeloch *I*

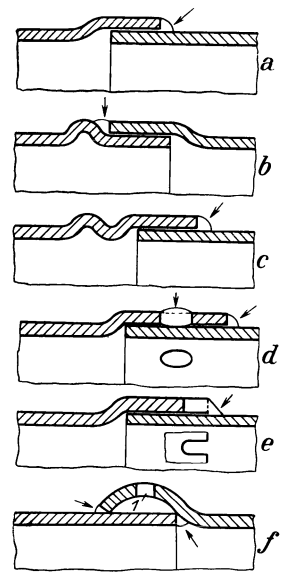


Abb. 210. Geschweißte Muffenrohrverbindungen.

wird mit einem Pfropfen verschlossen, damit gegebenenfalls die Druckprobe beliebig wiederholt werden kann.

b) Behälter- und Kesselbau.

Die Anwendung der Schweißung für die Fertigung von offenen und geschlossenen Gefäßen und Behältern ist infolge der Vielfältigkeit der Form und der zur Verwendung kommenden Blechdicken, insbesondere aber der in weiten Grenzen wechselnden Abmessungen recht umfangreich, ganz abgesehen von der inneren oder äußeren Belastung der Körper auf Druck und ihrer Inanspruchnahme durch höhere Betriebstemperaturen.

**Offene Behälter.** Wasserkästen, Tanks aller Art, Schmelzwannen, Silos, Bunker usw. von eckiger oder runder Form können mit und ohne Versteifung in

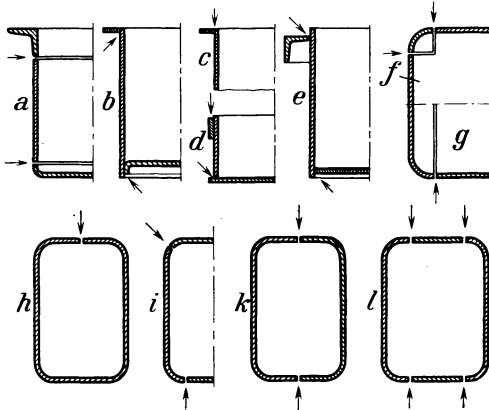


Abb. 211. Vorbereitung von Blechkästen zur Schweißung.

unbeschränkten Abmessungen einwandfrei geschweißt werden. Die Lage der Blechstöße und die Anordnung von Böden und Versteifungsrahmen richten sich nach Dicke und Abmessung der Blechtafeln, wobei selbstverständlich die Verwendung größerer Blechtafeln eine Ersparnis an Schweißnähten ergibt.

Eine Reihe von Ausführungsbeispielen eckiger, offener Gefäße ist in Abb. 211 zusammengestellt. Die Längsnähte an den Blechschißen werden ausnahmslos stumpf geschweißt, während in besonderen Fällen aus betriebs- oder fertigungstechnischen Gründen die Randver-

steifung überlappt angebracht und durch Kehlnähte mit dem Behälter verbunden werden können. Die Skizzen *h*, *i*, *k* und *l* deuten rechteckige Gefäße mit abgerundeten Ecken an. 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 bei unabgerundeten Kanten die Schweißnaht nicht in diese verlegen darf (s. Abb. 212*b*), einmal wegen der Schwierigkeit der Arbeitsdurchführung — die Schweißnaht kann nicht ausgerichtet werden —, zum anderen wegen der ungünstigen Beanspruchung der Naht. Im Falle *h* und *k* der Abb. 211 sind die Nähte in die kleineren Flächen des Behälters gelegt, was ein leichteres

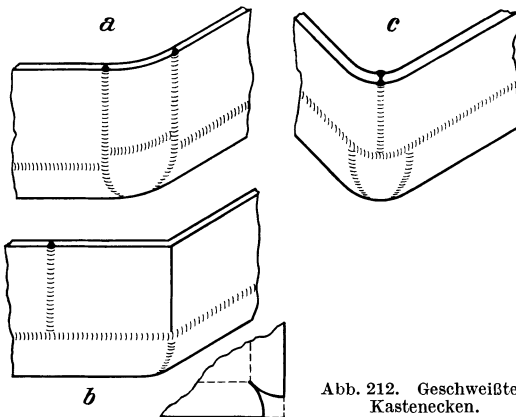


Abb. 212. Geschweißte Kastenecken.

Ausrichten ermöglicht. Freilich wird man bei Behältern größerer Abmessung auf das Anbringen von Nähten in den Längsseiten nicht verzichten können. In Skizze *i* unten und bei *l* sind die Längsbleche an beiden Enden abgekantet, so daß die Schweißnähte unmittelbar neben die Rundung zu liegen kommen, eine

für alle Fälle günstige Konstruktion; doch kann auch im Sinne der Skizze *f* sowie *a* in Abb. 212 verfahren werden, wo eine abgerundete Kante aus einem Blechstreifen bestehend durch zwei Nähte mit dem Behälter verbunden wird. Weniger üblich ist die Anordnung der Naht nach Abb. 212 *c*. Diese Ausführungsform kommt im allgemeinen nur bei dicken Blechen und bei X-Nähten vor.

Für die Beschaffenheit der Böden und deren Anschlußnähte ist wiederum neben der Blechdicke die Abmessung des Behälters maßgebend. Die einfachste Form von Bodennähten ist bei *d* und *e* Abb. 211 angedeutet, wobei ein entsprechend größerer Boden über den Mantel hinausragt (*d*) oder ein entsprechend kleiner gehalten in die Grundfläche des Behälters um Blechdicke oder auch mehr vom Rande zurückgesetzt (*e*) und durch eine Kehlnaht mit den Behälterwandungen verschweißt wird. Hierdurch wird die für die Elektroschweißung einfachere Kehlnaht ohne Blechüberlappung erreicht. Das gilt auch für den Fall *b*, wo allerdings ein mit Bord versehener Boden in die Behälterzarge ein- und wie bei *e* zurückgesetzt ist. Einen durch V-Naht mit dem Behälter verbundenen, gekümpelten Boden zeigt *a*. Abgekantete oder gekümpelte Böden machen einen besonderen Zuschnitt nötig, wie dies auch aus den Beispielen Abb. 212 hervorgeht. Besonders eingesetzte Kastenecken zeigen *a* und *c* Abb. 212.

Fast immer werden offene Behälter am oberen Rande durch Rahmenverstärkungen versteift, die aus Blech- oder Formeisen hergestellt sein können (*a* bis *e* Abb. 211).

Das Anwendungsbeispiel Abb. 213 gibt einen völlig geschweißten, sechsteiligen Benzintank wieder, der bei 7500 mm Baulänge eine nutzbare Höhe von 2500 mm besitzt und an den Längsseiten

mit einer großen Anzahl angeschweißter Lochflanschen versehen ist. Die Bodenkonstruktion entspricht der Abb. 212 *b*, die Rahmenverstärkung der Abb. 211 *a*.

Großflächige, vor allem dünnwandige Körper werden durch aufgeschweißte Versteifungen verstärkt, wie dies aus Abb. 214, einem aus 8-mm-Blech bestehenden Aschenbunker von 4500 · 2800 · 2400 mm Größe, ersichtlich ist. Bei der vorliegenden Ausführung sind einfach Flacheisen hochkant mit der allein für die Elektroschweißung möglichen und ausreichenden abgesetzten Kehlnahtschweißung angebracht worden.

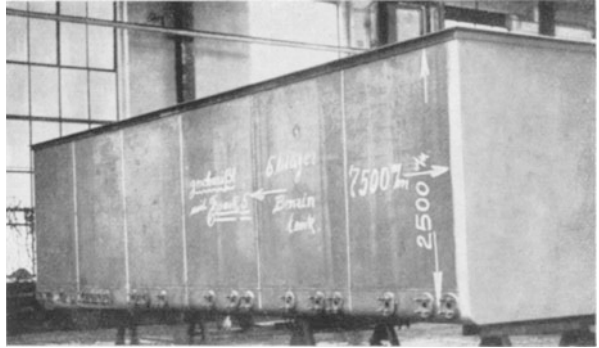


Abb. 213. Völlig geschweißter Benzintank.

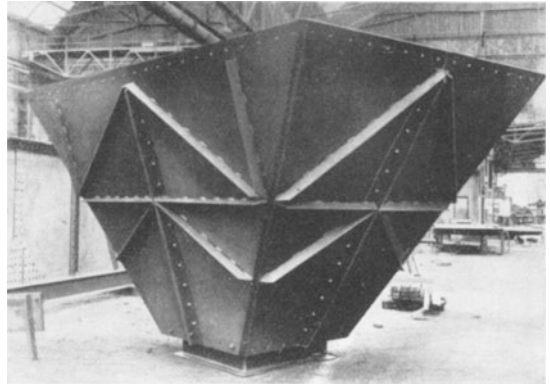


Abb. 214. Geschweißter Aschenbunker.

Der Großraum-Kohlenstaubbunker der Abb. 215 veranschaulicht die Flächenversteifung geschweißter Konstruktionen besonders sinnfällig. Die Flächen der Bunkerrutschen sind ringsum durch aufgeschweißte Winkel-

eisen, der eigentliche Behälter ist durch abschnittsweise angeschweißte  $\tau$ -Profile ausgesteift.

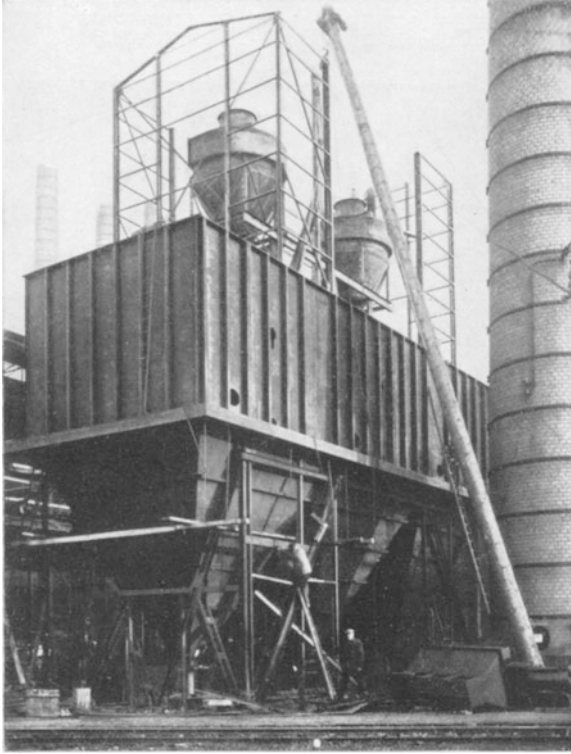
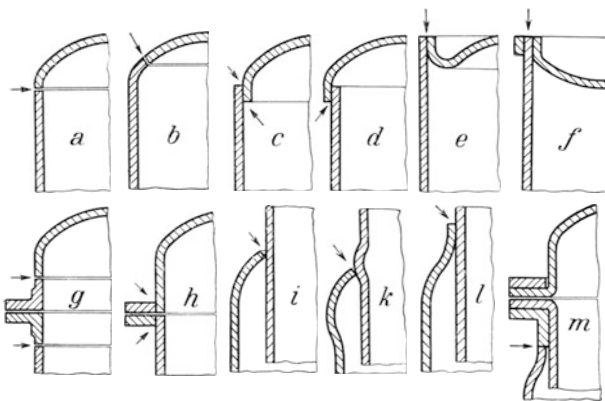


Abb. 215. Geschweißter Großraum-Kohlenstaubbunker.

**Geschlossene Behälter und Kessel.** Auch im Bau geschlossener Behälter haben sich der Schweißtechnik angepaßte Verbindungsformen ergeben, die nur vereinzelt geringe Abweichungen erfahren und in ihrer Art von der Beanspruchung des jeweiligen Körpers (Druck, Temperatur) abhängig sind. Während die Längsnähte auch hier restlos als Stumpfnähte (V-, U- und X-Nähte) ausgebildet werden, sind Überlappungen an Rundnähten nicht gerade selten. Verschiedene Möglichkeiten der Ausführung von Behälter-Rundnähten sind in Abb. 216 schematisch zusammengestellt, wobei stets zu beobachten ist, daß sich die Vorbereitung der Schweiß-

kanten wie bei Längsnähten nach der Blechdicke (Abb. 175) zu richten hat, gleichgültig, ob es sich um Rundnähte an den einzelnen Blechschüssen oder um Mantel-Boden-Verbindungen handelt.



Die obere Reihe der Abb. 216, Skizze *a* bis *f*, beziehen sich auf unlösbare

Bodenwandverbindungen,

und zwar zeigen *a* und *b* die

Stumpfnäht, *c* und *d* die

Überlappnäht nach außen

gewölbter Böden. Skizze *a*

entspricht auch einer normalen

Schubrundnäht. Gutes,

d. h. gleichmäßiges Vorbereiten

der Blechrundnähte auf

Durchmesser und Schweiß-

fuge erleichtert die Ausführung

der Schweißung erheblich

Abb. 216. Anordnung der Schweißnähte an geschlossenen Behältern.

und gewährleistet saubere Nähte und geringe Ausrichtarbeit. Versetzte oder im Durchmesser ungleiche Schüsse zeitigen nicht allein unansehnliche, in ihren

Gestehungskosten wachsende, sondern bei Innendruck auch ungünstig beanspruchte Schweißnähte. Handelt es sich um Behälter von im Verhältnis zu ihrem Durchmesser geringen Blechdicken, so sind Überlappungen bei *c* und *d* angebracht, z. T. aus Gründen leichteren Zusammenbaus, z. T. um den Körper zu versteifen und durch das Eigengewicht bedingte Verformungen während der Beförderung zu verhindern. Die Notwendigkeit der doppelseitigen Rundnaht (Fall *c*) wird durch die Druck- und gegebenenfalls dynamischen Beanspruchungen bestimmt. Bei eingesetzten Böden ( $e \div f$ ) mit oder ohne Randverstärkung (*f*) wird die Kehlnaht häufig durch die Stirnnaht abgelöst, wenn Kohlelichtbogenschweißung in Frage kommt. Da diese Nahtanordnung nur dann brauchbar ist, wenn es sich um geringe Druckbeanspruchungen, also um mit dem Kohlelichtbogen schweißbare Stumpfnähte an dünneren Blechen handelt, gestaltet man Lichtbogennähte an dickeren Blechen so, wie es bei Abb. 211 *b* angedeutet ist, wodurch eine Kehlnaht entsteht.

In der unteren Reihe der Abb. 216 ist bei *g*, *h* und *m* die Anordnung von Nähten an lösbaren Behälterdeckeln veranschaulicht. Bei *g* treten zwei Winkeleisenringe an die Stelle des Mantelschusses, wodurch auch zwei Rundnähte erforderlich werden. Die an die Blechschüsse anschließenden Schenkel der Winkeleisenrahmen sind auf Blechdicke abgesetzt. Die einfachste Form stellt *h* dar, wo zwei die Deckelschrauben aufnehmende Flacheisenringe hochkantig mit der Mantel- und Druckwand durch Kehl Nähte verbunden werden. Alle diese Arbeiten verlangen ein folgerichtiges Heften der Nähte in nicht zu weiten Abständen.

**Doppelwandige Behälter** (*i*, *k*, *l* Abb. 216). Sie erhalten sowohl Kehl- als auch V-Nähte, je nach dem Anschlusse des äußeren Mantels. Eine Bauart, die vorwiegend bei mit Dampf beheizten Boilern beliebt ist, zeigt *k*. An den Anlageflächen des Außenmantels an dem inneren besitzt letzterer eine Sicke, die die Schweißnaht aufnimmt und größere Spannungen vermeidet. Schließlich zeigt *m* den Anschluß eines Außenmantels an den Winkelrahmen eines doppelwandigen Behälters mit lösbarem Boden.

Einige Schwierigkeiten verursachen Zwischenböden in Behältern und Kesseln, vor allem dann, wenn sie öl- oder druckdicht sein müssen oder größere Durchmesser, die eine Bodenversteifung verlangen, in Frage kommen. Ausführungsbeispiele sind aus den Skizzen *a* ÷ *h* der Abb. 217 zu ersehen. Der für die Lichtbogenschweißung geeignetsten Nahtverlegung entspricht *d* (Doppelkehlnaht). Hier wie bei *b*, *e*, *f* und *h* ist eine Teilung des Mantelbleches erforderlich, während bei *a*, *c* und *g* die Zwischenböden in den ungeteilten Mantelschuß eingesetzt werden. Außerdem bedingen die

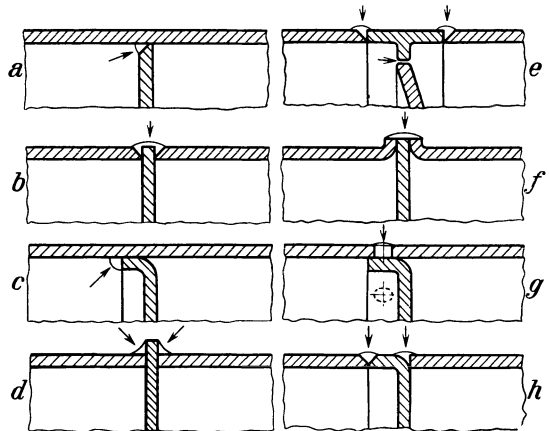


Abb. 217. Geschweißte Zwischenwände in Behältern.

Beispiele *a* und *c* eine Zugänglichkeit des Kesselinneren. Je eine innere Naht ist angebracht bei dem ebenen Boden *a* und dem gekümpelten Boden *c* (Kehl-naht), der ein sorgfältiges Einpassen des Zwischenbodens verlangt. Die Ausführungen *b*, *e* und *h* machen je zwei äußere Nähte erforderlich, und das Beispiel *f* ist nur für den Kohlelichtbogen, also für dünnere Bleche, verwendbar.

Der gepoltete Boden in *e* kann vorerst an den T-Eisenring angeschweißt und dann in die Mantelschüsse eingepaßt werden. Ist eine dichte Verbindung des Zwischenbodens nicht notwendig und das Behälterinnere für den Schweißer nicht zugänglich, so kann man im Sinne von *g* verfahren und den gebördelten Boden von außen durch Lochschweißung befestigen.

**Gasbehälterschweißung<sup>1</sup>.** Gasbehälter von größeren Ausmaßen sind bisher nur vereinzelt durch Elektroschweißung hergestellt worden. Dagegen wird die Ausbesserung von Gasglocken, die durch Verrosten undicht geworden sind, oft und zwar unter Gasdruck ausgeführt. Eine stattliche Zahl im In- und Auslande während des Betriebes durch Schweißung ausgebesselter Großgasbehälter legen Zeugnis davon ab, daß eine Ausbesserung von Gassammlern ohne Unterbrechung der Gasversorgung heute ohne weiteres möglich ist. Explosionen durch die Gegen-

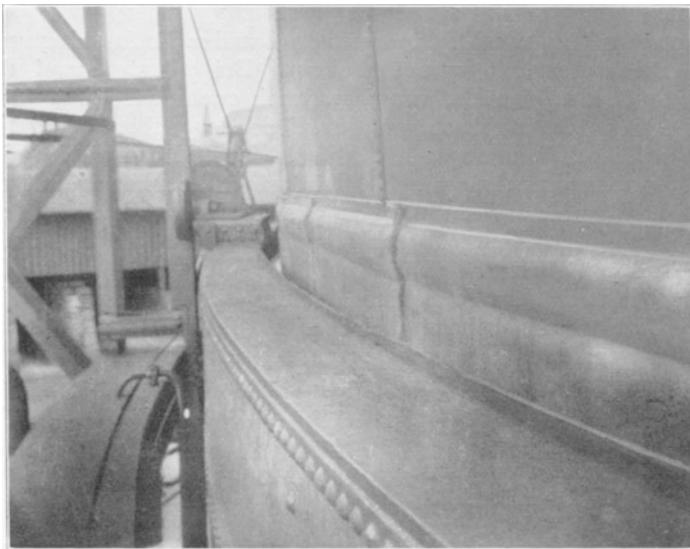


Abb. 218. Durch Schweißung ausgebesserte Gasbehälterglocke.

wart des Lichtbogens in nur mit Steinkohlengas gefüllten Behältern sind nur dann möglich, wenn die erforderlichen Luftmengen ( $78 \div 94$  vH) vorhanden sind, was beim normalen Betriebe natürlich ausgeschlossen ist. Der Lichtbogen kann demnach nur das Entstehen einer vom ausströmenden Gase genährten Stichflamme, d. h. nur ruhige Verbrennung, zur Folge haben, die im Augenblicke des Verschweißens der entstandenen Öffnung ihr natürliches Ende findet. Durchgerostete Stellen an Gasglocken waren immer das große Sorgenkind der Gaswerke, die zu den verschiedensten Behelfsmitteln griffen, um die Stilllegung der Behälter hinauszuschieben. Nicht nur vereinzelte Flicker oder Blechtafeln werden mit dem Lichtbogen auf die beschädigten Flächen aufgeschweißt, sondern völlig neue Schüsse; ja, ganze Glockenmäntel sind durch Anschweißen von Blechtafeln erneuert worden, wobei oft viele hundert Meter Schweißnaht erforderlich waren. Die angeschweißten Tafeln erhalten Sicken, die die vorhandenen Nietnähte überbrücken. Die Arbeitsausführung verlangt nicht allein verschiedene

<sup>1</sup> Siehe auch Horn: Die Schweißung von Gasbehältern während des Betriebes. Schmelzschweißg. 1929 S. 132 ÷ 134.

Vorsichtsmaßnahmen, sondern auch Schweißer, denen das Dichtschweißen dünner Bleche an stehender Wand keine Schwierigkeiten verursacht. Abb. 218 zeigt eine mit mehreren angeschweißten Blechschüssen versehene Gasglocke und läßt auch die über der Nietnaht liegende Sickenüberbrückung deutlich erkennen. Ein sinnreiches Verfahren gestattet auch die Ausbesserung der im Sperrwasser der Behälter bzw. der Teleskoptassen gelegenen Glockenschüsse, demnach ein Schweißen unter der Wasserlinie, was erreicht wird, indem ein der Krümmung der Glocke angepaßter und nach vier Seiten abgeschlossener Blechkasten mit geeigneten Dichtungstoffen an dem Glockenmantel befestigt und das in ihm befindliche Wasser ausgepumpt wird, so daß die Glockenwand örtlich freiliegt.

**Ausführungsbeispiele aus dem Großbehälterbau.** Einige geschweißte Oberflächenkondensatoren für Dampfturbinen verschiedener Größe zeigt Abb. 219. Längs- und Rundnähte, Versteifungsanschlüsse, Anschluß- und Einbaukonsolen, Flanschen usw. sind geschweißt, desgleichen die Versteifungsrippen des Rohrdoms.

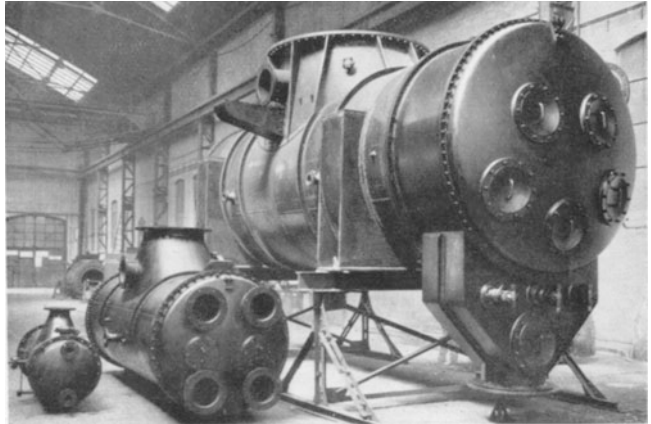


Abb. 219. Oberflächenkondensatoren für Dampfturbinen.

Um die mit dem Fortschreiten der Rundnaht jeweilig geeignetste Lage eines Behälters für den Schweißer zu erhalten, bedient man sich auf der Werkstattsohle oder in Baugruben in gewisser Entfernung angesetzter Führungsböcke mit Gleitrollen, auf denen zylindrische Mäntel bequem radial bewegbar sind. Dies zeigt z. B. Abb. 220, wobei es sich um drei zusammengeschweißte, nahtlos gewalzte Kesselschüsse einer 12 m<sup>3</sup>-Druckluftflasche handelt, die eine ganze Länge von 8400 mm und 1400 mm Durchmesser besitzt. Die Blechdicke beträgt 60 mm, der Betriebsdruck 70 atü. Die Schußkanten sind für die Schweißung der beiden Bodennähte vorbereitet.

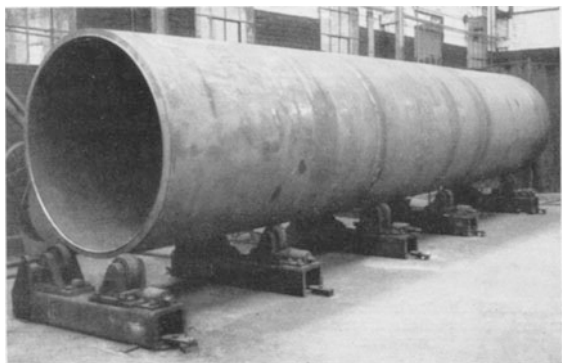


Abb. 220. Geschweißter Hochdruckkesselmantel auf Rollböcken.

Auch der auf Rollböcken gelagerte Doppelkessel für 16 atü Betriebsdruck der Abb. 221 ist in allen seinen Teilen (Böden, Stutzen, Warzen, Tragknaggen) geschweißt. Die Bodenrundnaht ist eine V-Schweißung, alle übrigen Nähte sind Kehlschweißungen. Der Innenkessel (1800 mm Durchmesser, 3500 mm Länge) besteht aus 31 mm Blech, der Außenkessel (2000 mm Durchmesser, 3100 mm Länge) aus 27 mm Blech.



**Rohrwände.** Obgleich nicht in so hohem Maße als bei der Gasschweißung ist doch auch bei der Lichtbogenschweißung ein plötzlicher Übergang von größeren auf kleinere Werkstoffquerschnitte in oder unmittelbar an der Naht unerwünscht,

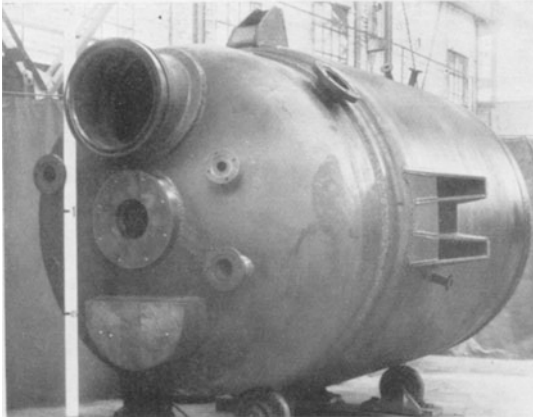


Abb. 221. Geschweißter doppelwandiger Kessel.

weil die Bemessung der Elektrode und die ihr angepaßte Stromstärke vom schwächeren Querschnitt abhängig und damit die Gefahr schlechten Einbrands gegeben ist.

Man soll deshalb bestrebt sein, scharfe Werkstoffübergänge an der Schweißnaht zu vermeiden, was z. B. nach den Vorschlägen der Abb. 222, 223 und 224 erreichbar ist. Die Rohrwand *e* eines Wärmeaustauschers der Abb. 222 ist bei *a* so ausgedreht, daß ein Anschlußbord bei *b* entsteht, der etwa der Blechdicke des Mantels *c* entspricht. Der Lichtbogen hat dann zwei fast gleich dicke Blech-

ränder anzuschmelzen. Die Rohre *d* sind im vorliegenden Beispiel in die Rohrwand eingewalzt.

In der folgenden Darstellung der Abb. 223 I und II, wobei es sich um einen Kondensator handeln kann, wird die Rohrwand so eingestochen, daß eine Ringnut *a* und ein Flansch *b* entstehen. Letzterer wird warm herangezogen. Desgleichen wird der Innenflansch *b*<sub>1</sub> herumgeholt und je ein Ansatz *d* und *d*<sub>1</sub> für die Innen- und Außenmäntel *e* und *e*<sub>1</sub> geschaffen, die bei *c* verschweißt werden. Solche Vorkehrungen trifft man besonders bei Leichtmetallbehältern.

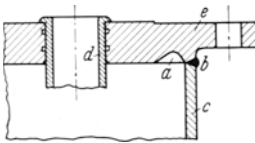


Abb. 222. Angeschweißte abgesetzte Rohrwände.

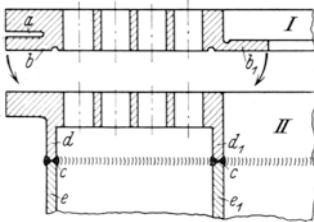


Abb. 223. Maßnahmen zur Abstimmung der Blechdickenübergänge beim Schweißen.

Sollten die Rohre nicht wie bei *d* in Abb. 222 eingewalzt, sondern nach Abb. 224 *e* eingeschweißt werden, dann werden zur besseren Wärmebindung konzentrische Ringnuten *d* um die Rohrlöcher in die Wand *a* eingefräst und ein Schweißbord *c* mit entsprechender Abschrägung von *a* und Rohr *b* hergestellt.

**Behälterberohrung.** Nach einem patentierten Verfahren werden seit einigen Jahren Rohrschlangen an beheizten Behältern in der Weise angebracht, daß, wie Abb. 225 schematisch darstellt, Heizschlangen *b* spiralförmig um die metallisch reine Behälterwand *a* gewickelt und an diese elektrisch angeheftet werden. Nach dem Einstimmen von Kupferkeilen *d*, die der Vergrößerung der Auflagefläche und

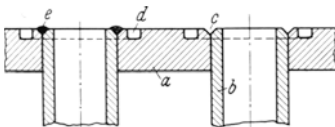


Abb. 224. Ausgleich zwischen Rohrwand und Rohrdicken beim Schweißen.

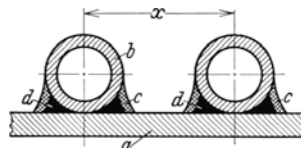


Abb. 225. Schema der Berohrung stählerner Behälter.

die metallisch reine Behälterwand *a* gewickelt und an diese elektrisch angeheftet werden. Nach dem Einstimmen von Kupferkeilen *d*, die der Vergrößerung der Auflagefläche und

besseren Wärmeübertragung von Rohr *b* nach *a* dienen sollen, werden die Rohrspiralen auf ihre ganze Länge beiderseits bei *c* angeschweißt, wodurch viele hundert Meter Nahtlänge an einem derartigen Behälter nicht gerade selten sind. Bei Behältern aus Gußeisen oder Nichteisenmetallen wird die Berohrung mit Heizschlangen so durchgeführt, daß letztere mit geriffelten Kupferunterlagen (Abb. 226) gemeinsam gewickelt und dann geheftet werden. Diese Bauweise hat sich trotz ihrer hohen Gestehungskosten als sehr wirtschaftlich erwiesen und wird heute bereits in großem Umfange angewandt. Das Ausführungsbeispiel Abb. 227 stellt eine Destillationsblase mit aufgeschweißter Berohrung dar.

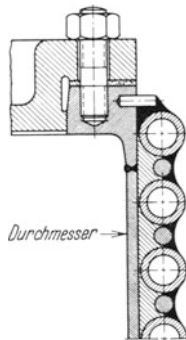


Abb. 226. Schema der Berohrung von Behältern aus Gußeisen oder Nichteisenmetallen.

**Dampfkesselschweißung.** Ursprünglich fand die Schweißung im Dampfkesselwesen nur als Ausbesserungsmittel Anwendung. Erst mit der Entwicklung der Elektroden, nach Sammlung ausreichender Erfahrungen und nicht zuletzt, als man über in ihrem neuen Berufe gut eingearbeitete Schweißer verfügte, trat man der Anwendung der Schweißung bei der Fertigung von Dampfkesseln näher. Da feuerbeheizte Dampfgefäße infolge höherer Drücke und Wärmespannungen ungleich mehr beansprucht werden als andere Behälter, unterliegen Bau und Ausbesserung solcher Kessel besonderen behördlichen Vorschriften. Weil nun die Anforderungen dieser Vorschriften nicht in allen Fällen schweißtechnisch erreicht werden können, wird heute noch überwiegend die Nietung angewendet oder z. B. aus dem Vollen gewalzte, nahtlose Kesseltrommeln hergestellt. In neuerer Zeit hat man allerdings völlig geschweißte Lokomotivkessel zugelassen und solche nach verschiedenen Verfahren geschweißte in Dienst gestellt. Soweit zur Zeit Dampfkessel teilweise oder vollkommen bei der Herstellung geschweißt werden, bestehen keine grundsätzlichen Unterschiede in der Anordnung und Ausführung der Schweißverbindungen zwischen diesen und den bereits geschilderten Großbehältern.

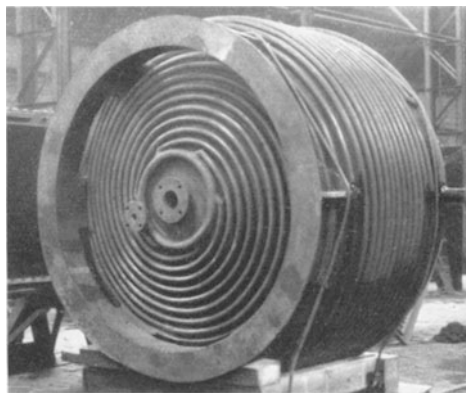


Abb. 227. Elektrisch geschweißte Berohrung einer Destillationsblase.

#### Ausbesserung von Dampfkesseln<sup>1</sup>.

Ein häufig sehr schwieriges, aber sehr interessantes Anwendungsgebiet der Lichtbogenschweißung umfaßt die Instandsetzung schadhafter Dampfkessel. Arbeiten solcher Art stellen schon wegen der meist beschränkten räumlichen Verhältnisse und der Bedingung, in jeder Körperlage schweißen zu können, besonders hohe Anforderungen an die Handfertigkeit, Umsicht und Gewissenhaftigkeit des Schweißers. Instandsetzungsarbeiten an Dampfkesseln dürfen nur unter Beaufsichtigung verantwortlicher Fachingenieure und ebenso nur im Einverständnis mit den zuständigen, amtlichen Überwachungsorganen durchgeführt werden.

Die hauptsächlich an Dampfkesseln vorkommenden Ausbesserungsarbeiten beziehen sich auf die Schweißung von Korrosionen (innere und äußere Anfrassungen

<sup>1</sup> Siehe auch Horn: Die Schweißung von Dampfkesseln. Schmelzschweißg. 1931, S. 173 ÷ 179.

an allen Kesselteilen), auf abgezehrte und durch häufiges Verstemmen schadhafte gewordene Stemmkannten, Nietköpfe u. dgl. Zu den schwierigeren Arbeiten gehören die Ausbesserungen von Rissen und Brüchen an Nietlöchern, Flammrohren, Boden- und Flammrohrkrempe, an Kesselmänteln, sowie das Einsetzen von Flickern, wobei es sich um Land-, Schiffs-, Lokomobil- und Lokomotivkessel handeln kann. Von der Schweißung alter Kessel mit ermüdetem Werkstoff sollte ganz allgemein Abstand genommen werden.

**Korrosionen.** Zu den verhältnismäßig leichten Schweißarbeiten an Dampfkesseln zählt die Ausbesserung von Korrosionen, sofern sie durch normale Auftragsschweißung erfolgen kann. Korrosionen sind muldenförmige, bisweilen sehr große Anfrassungen, ähnlich Rostnarben, die sich entweder auf der Wasserseite des Kesselblechs befinden und von chemischen Bestandteilen verunreinigten Wassers oder auch von der Bildung galvanischer Ketten herrühren oder, wenn auch weniger, auf der Feuerseite der Flammrohre anzutreffen sind, wo ihr Ursprung auf größeren Schwefelgehalt der Rauchgase zurückzuführen ist. Die Anfrassungen sind vor dem Schweißen gründlich von Rost, Kesselstein, Farbe und anderen Verunreinigungen zu befreien. Beim Schweißen der in der Nähe von Nieten und Nietnähten gelegenen Korrosionen ist das Leckwerden von Nieten und Stemmkannten infolge der Schweißwärme zu berücksichtigen, weshalb in solchen Fällen die Schweißarbeit häufig unterbrochen werden muß, um die Erwärmung der Nachbarzonen auf das geringste Maß zu beschränken. In besonders ungünstig gelagerten Fällen sind die Entfernung angrenzender Niete und das Wiedereinsetzen neuer Niete nicht zu umgehen. Sind die Anfrassungen sehr umfangreich und tief, so wird der Auftragsschweißung vielfach das Einsetzen eines Flickstücks vorgezogen.



Abb. 228. Verschweißte Korrosionen an einem Kesselflamrohr.

Welchen Umfang Auftragsschweißungen an korrodierten Kesselteilen annehmen können, veranschaulicht die Abb. 228, die eine größere Auftragsschweißfläche an dem Wellrohr eines Zweiflammrohrkessels zeigt. Die einzelnen

Schweißraupen sind auf dem Bilde deutlich zu erkennen, und es sei hierbei noch besonders betont, daß aus korrosionstechnischen Gründen eine Glättung der Schweißflächen z. B. durch Schleifen nicht ratsam ist, da erfahrungsgemäß die Schweißhaut meist korrosionsbeständiger ist als die Walzhaut eines Bleches. Was außerdem den Übergang der Schweißränder zum Blech anbelangt, so sollte immer darauf geachtet werden, daß scharfe, d. h. plötzliche Übergänge vermieden bleiben, wie dies aus Abb. 228 hervorgeht, da sonst — wie das Schema Abb. 229 veranschaulicht — leicht Kerbwirkungen auftreten können, die zu

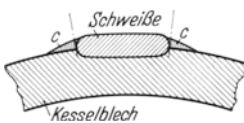


Abb. 229. Schema einer Auftragsschweißung.

neuen Rißbildungen Anlaß geben. Der Übergang von der Schweißoberfläche zu der des Kesselbleches soll, wie dies bei *c* in Abb. 229 angedeutet ist, allmählich verlaufen. In vorliegender Abbildung wurden Auftragsschweißungen an gewölb-

ten, dazu noch gewellten Flächen vorgenommen. Beim Schweißen ebener Flächen oder beim Auftragen auf glatte Flammrohre empfiehlt es sich, um die Schweißspannungen auf ein geringes Maß zu bringen, größere Flächen nicht mit parallel liegenden Raupen zu versehen, sondern diese feld-, d. h. abschnitts- und sprungweise, etwa rechtwinklig zueinander anzuordnen, ähnlich so, wie dies bei geriffelten Klinkerplatten der Fall ist.

**Anrisse und Brüche.** Für die Säuberung von zu schweißenden Rissen gilt das oben Gesagte. Von Wichtigkeit ist immer ein genügend gründliches Auskreuzen. Die Feststellung von Haarrissen geschieht, indem man die beteiligten Flächen mit Öl oder Petroleum bestreicht und feines Schmirgel- oder Kreidepulver aufbringt, das in die Risse eindringt und nach Entfernung der Schicht mit einem Lappen den Verlauf des Risses sichtbar werden läßt. Die Tiefe der Auskreuzung des Risses richtet sich nach der Gestaltung des Meißelspans. Solange sich ein doppelter, also geteilter Span zeigt, ist der Auslauf des Risses nicht erreicht. Am häufigsten treten Risse an den Krepfen von Flammrohren, Dömen, im Umbug von Kesselböden, in Rohrwandstegen und an Nietlöchern auf. Der Arbeitsgang beim Schweißen von Rissen soll an Hand der Abb. 230 geschildert werden. Die beiden Blechschüsse 1 und 2 sind durch eine doppelreihige Nietnaht verbunden, und in Blech 1 soll bei *a* ein in Richtung der Stemm- kante verlaufender Riß aufgetreten sein. Er wird ausgekreuzt und in Pfeilrichtung, also an der eingespannten Stelle beginnend, verschweißt. Der vom Riß eingeschlossene Niet muß entfernt und neu eingezogen werden; gegebenenfalls kann in das Reißende ein Meißel oder Keil eingetrieben und der Riß vor der Schweißung erweitert werden.

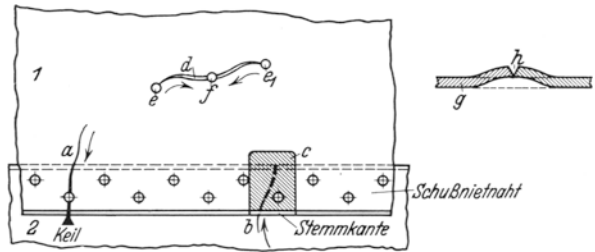


Abb. 230. Schweißen von Rissen.

Liegt der Riß bei *b* im Blech 2, also unter der Blechüberlappung, und ist diese von der Gegenseite nicht zugänglich, so muß aus der Überlappung des Bleches 1 ein entsprechendes Stück herausgeschnitten und nach Ausbesserung des Risses *b* ein neuer Flicker *c* eingeschweißt werden. Bezüglich der Flickenschweißung sei auf das zu Abb. 238 Gesagte hingewiesen.

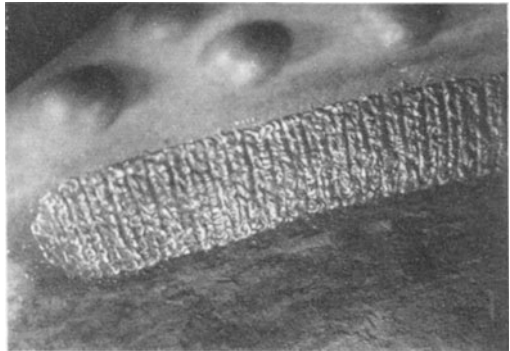


Abb. 231. Teil eines geschweißten Krempeirisses.

Der ungünstigste Fall ist bei *d* angedeutet, wo ein Riß ohne freies Ende, also im vollen Blech, verläuft. Hier gibt es im wesentlichen zwei Ausführungsmöglichkeiten. Die erste besteht darin, die Reißenden bei *e* und *e*<sub>1</sub> abzubohren und bei *f* etwa in der Mitte der Reißlänge einen Keil einzutreiben. Darauf wird von *e* und *e*<sub>1</sub> ausgehend auf den Keil zu geschweißt und zuletzt die von diesem

Der ungünstigste Fall ist bei *d* angedeutet, wo ein Riß ohne freies Ende, also im vollen Blech, verläuft. Hier gibt es im wesentlichen zwei Ausführungsmöglichkeiten. Die erste besteht darin, die Reißenden bei *e* und *e*<sub>1</sub> abzubohren und bei *f* etwa in der Mitte der Reißlänge einen Keil einzutreiben. Darauf wird von *e* und *e*<sub>1</sub> ausgehend auf den Keil zu geschweißt und zuletzt die von diesem

hinterlassene Öffnung zugeschmolzen. Bei der zweiten Ausführung nach Skizze *g* wird der Riß *h* mit einer Schweißflamme erhitzt und um ein geringes Maß nach der Schweißseite hin durchgedrückt und aufgetrieben. Nach beendeter Schweißung kann die etwa verbliebene Ausbeulung ausgerichtet werden.

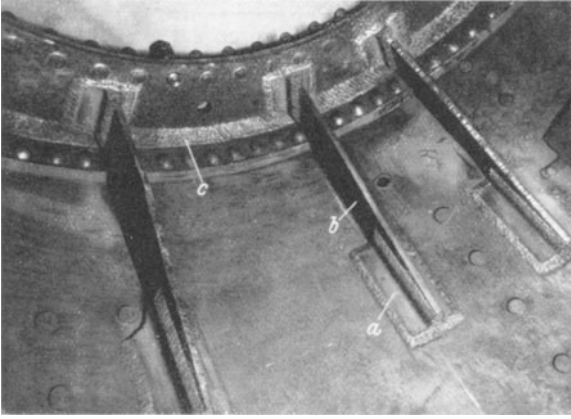


Abb. 232. Verstärkungsanker an einem geschweißten Krepfenbruch.

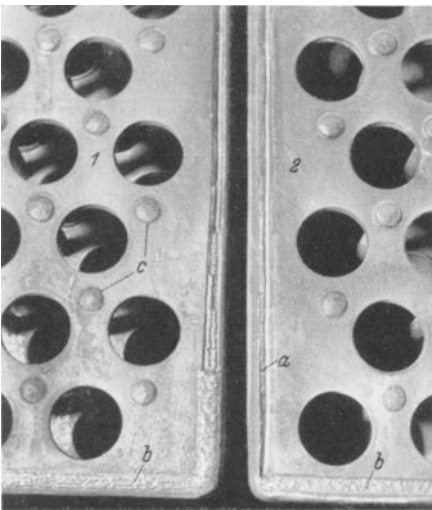


Abb. 233. Geschweißte Umlaufbleche an einem Wasserkammerkessel.

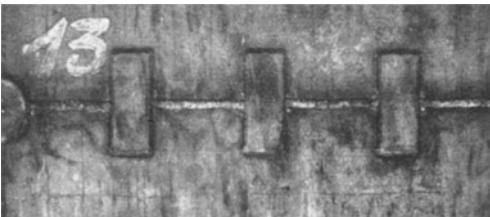


Abb. 234. Mit Laschen gesicherte Schweißnaht.

Den Ausschnitt aus einer längeren Schweißnaht eines geschweißten Krepfenrisses zeigt Abb. 231. Verschweißte Risse oder Brüche an Böden mit zu geringem Krümmungsradius werden meist durch den Einbau zweckentsprechender Versteifungsanker gesichert, wie dies bei dem ausziehbaren Flammrohrkessel der Abb. 232 geschehen ist. Die etwa 1800 mm lange Krepfenbruchnaht *c* ist durch mehrere Anker *b*, die einerseits am Boden, andererseits am Mantel durch angeschweißte Winkel *a* verbunden sind, gesichert worden.

Eine Schweißarbeit von nicht gerade alltäglichem Umfange wurde in einem Großkraftwerk ausgeführt. Gelegentlich einer Kaltwasserdruckprobe an den seit 12 Jahren im Betriebe gewesenen 10 Wasserrohrkammerkesseln stellten sich Undichtheiten an den feuergeschweißten Ecknähten der Umlaufbleche der Kammerwände heraus. Da an allen Kesseln Stichproben sehr mangelhafte Feuerschweißung erkennen ließen, wurden alle Nähte ausgekreuzt, wie dies bei Rissen geschieht, und rund 800 m Schweißnaht-hergestellt. Abb. 233 zeigt Ausschnitte aus den beiden vorderen Wasserkammern eines dieser Kessel. Eine Entlastung der feuergeschweißten Nähte durch die Stehbolzen *c* war nicht vorhanden, da die Umlaufbleche nicht zwischen den Kammerwänden lagen, sondern vor diesen, so daß die lange, störungsfreie Betriebsdauer der Kessel verwunderlich war. Das Bild zeigt bei *a* an der Kammer 2 die zur Schweißung durch Auskreuzen

vorbereiteten Fugen und bei *b* das Aussehen bereits fertiggeschweißter Nähte. An der linken Kammer *1* ist außerdem die Anordnung der einzelnen Lagen erkennbar.

**Laschensicherung.** Der Wert einer durch Laschen gesicherten und damit entlasteten Schweißnaht ist viel umstritten, und man neigt zu der Ansicht, daß sich die zusätzlichen Querspannungen, die durch die Summe der Einzelnähte der Laschen entstehen, recht ungünstig auswirken können. Deshalb ist man vielfach von der vermeintlichen Verstärkung der Naht durch Laschensicherung abgegangen, zumal auch das Aussehen solcher Laschenanordnungen dem technischen Empfinden widerspricht. Nur der Vollständigkeit halber sei in Abb. 234 ein Abschnitt einer mit sog. Höhnschen Laschen (Querlaschen) gesicherten Naht vor Augen geführt und weiter hierauf nicht eingegangen. Demgegenüber sind Versteifungsklammern an feuergeschweißten Wasserkammern häufig und mit bestem Erfolge angebracht worden. Die Anordnung der Klammern und ihrer Schweißnähte geht aus Abb. 235 hervor, während Abb. 236 eine praktische Ausführung wiedergibt.

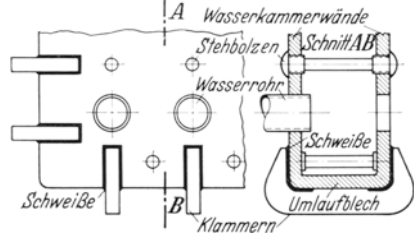


Abb. 235. Verstärklammern an Wasserkammern.

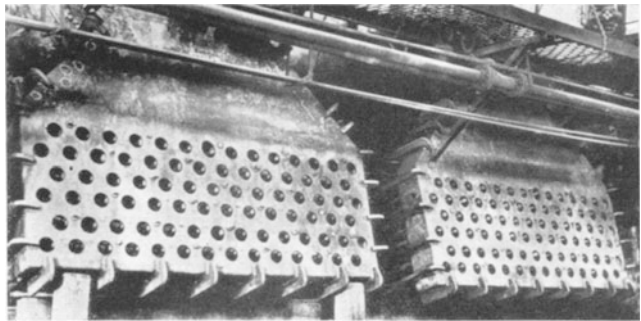


Abb. 236. Praktische Anwendung von Verstärklammern.

**Einsetzen von Flickern.** Wo sich eine unmittlere Verschweißung tiefer und großflächiger Korrosionen nicht mehr verlohnt, oder dort, wo Risse und Anbrüche durch die Einwirkung von Gasen oder von Wasser stark angefressenen Werkstoff erkennen lassen, werden Blechflicker eingesetzt. Aufgesetzte, d. h. überlappte Flicker gibt es bei Dampfkesselschweißungen nicht. Für den Arbeitsgang ist die örtliche Lage des Flickers maßgebend, und die Schweißung wird um so schwieriger, je mehr Seiten des Flickers in das Blech einzuschweißen sind. Der schwierigste Fall wäre demnach das Einsetzen eines an vier Seiten einzuschweißenden Flickers, um so mehr dann, wenn er in einer ebenen Fläche liegt. Das Vorschauen eines einseitig geschweißten Flickers kommt im Kesselbau verhältnismäßig selten vor. Das Einsetzen eines Flickers mit Zweikantenschweißung geht aus Abb. 237 hervor. Das Bild zeigt den zur Schweißung vorbereiteten

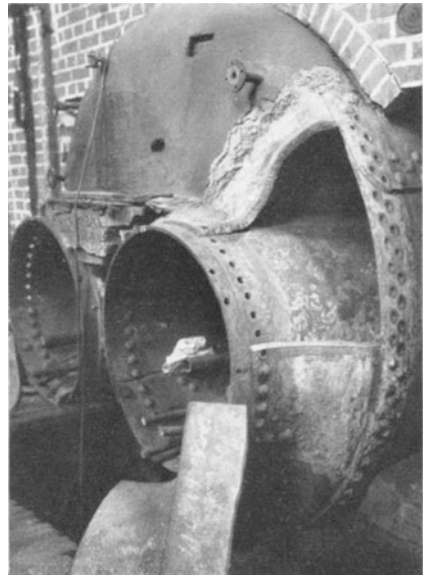


Abb. 237. Zur Schweißung vorbereiteter Dampfkesselboden.

Zweiflammrohrkessel, an dem rechtsseitig ein Teil des vorderen schadhafte Bodens mit dem Schneidbrenner entfernt wurde. Die anteiligen Niete im Mantel und dessen Überlappung, sowie am vorderen Schusse des Flammrohrs sind ebenfalls entfernt. Ein neues, der Form des ausgeschnittenen Stückes gut angepaßtes Kesselblech (im Vordergrund des Bildes sichtbar) wird an den Schweißrändern abgeschragt, wie dies auch an den Bodenrändern zu erkennen ist. Das eingepaßte Stück wird sorgfältig geheftet und von außen mit der erforderlichen Anzahl Lagen verschweißt, ohne daß in Anbetracht der freien Beweglichkeit des Körpers besondere Maßnahmen bezüglich der Wärmeableitung erforderlich sind. Die unter der Mantelüberlappung gelegenen Nahtstrecken werden vom Kesselinnern aus verschweißt, wie es überhaupt empfehlenswert ist, das Innere der Schweißfuge mit einer Kappnaht zu überziehen. Nach vollendeter Schweißung werden die Nietnahtüberlappungen warm angerichtet, die Nietlöcher in die Flicken eingebohrt, neue Niete eingezogen und die Stemmkante nachgestemmt. Für die Durchführung solcher Arbeiten bestehen — immer wieder sachgemäße Schweißung und folgerichtigen Arbeitsgang vorausgesetzt — keine sicherheitstechnischen Bedenken. Es muß jedoch erwähnt werden, daß alle Flicken, gleichgültig, ob eine oder alle vier Seiten eingeschweißt werden müssen, stramm in die Öffnung einzupassen sind, damit die durch Schrumpfung der Schweißung eintretende Verkürzung des Bleches keine unzulässig hohen Zugspannungen in das Kesselblech hineinbringt.

Beim Einsetzen dreiseitig einzuschweißender Flicken verfährt man im Sinne der Abb. 238 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. Sowohl hier als auch bei dem zweiseitig geschweißten Flicken der Abb. 237 ist an den freien Enden ein Blechlängenschlag zu geben, damit die fertiggestellte Schweißung maßhaltig ist.

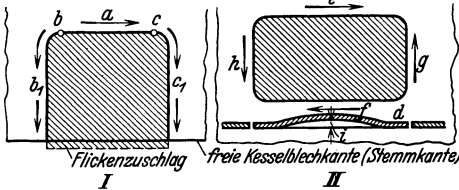


Abb. 238. Einsetzen von Flickern.

Endlich zeigt Abb. 238 II den Arbeitsgang, wie er neben anderen Möglichkeiten beim Einsetzen eines vierseitig geschweißten Flickens üblich ist. Zur Bekämpfung der auftretenden Schweißspannungen hat sich oft ein Auspoltern der Flicken — wie bei  $d$  skizziert — als vorteilhaft erwiesen. In der Abb. 238 II ist das Stichmaß  $i$  der Auswölbung übertrieben gezeichnet; in der Praxis genügt auch bei größeren Flickern  $i = \text{Blechdicke}$ . Die Wölbung wird nach der leichter zugänglichen Seite, möglichst aber nach der Schweißseite hin verlegt. Kehrt der Flicker nach gänzlichem Erkalten der Schweißnähte nicht in die Ebene zurück, so ist ein Warmnachrichten erforderlich. Die Reihenfolge der Schweißnähte ist mit Buchstaben  $e \div h$  bezeichnet, wobei größere Einzellängen noch abschnittsweise geschweißt werden können.

### c) Maschinenbau.

**Allgemeiner Maschinenbau.** Im Behälter- und Kesselbau ersetzt die Schweißung vornehmlich das Nieten, im Maschinenbau außerdem vielfach den Guß und Schmiedestücke unter dem Schlagworte „Schweißen statt Gießen“, das zuweilen eine bedeutende Umwälzung im Maschinenbau gezeitigt hat. Jedoch werden heute noch vielfach abwegige Konstruktionen ausgeführt, die den schweißtechnischen Eigentümlichkeiten nicht gerecht werden und sich krampfhaft an

genietete und gegossene Formen halten, von denen sie jedoch abweichen müssen, wenn technische und wirtschaftliche Vorzüge erzielt werden sollen. Die Vorteile der Schweißung gegenüber der Nietung sind: vielseitigere, ungezwungene Formgestaltung, Formschönheit; Fortfall der Überlappung und damit Gewichts- und Frachtersparnis; Fortfall der unnatürlichen Konstruktionschwächung durch Nietlöcher, die größere Werkstoffdicken bedingt; dauernde Dichtigkeit; glatte Oberfläche durch Fortfall der Nietköpfe; Geräuschfreiheit bei der Herstellung (wobei an Preßluftwerkzeuge zu erinnern ist); geringerer Preis u. a. Außerdem fällt die bei der Nietung bestehende Gefahr der Lockerung der Verbindung fort.

Wenn auch die höhere Korrosionsbeständigkeit des Gußeisens und sein oft ausschlaggebender Vorteil der Starrheit und damit geringer Eigenschwingung nicht zu verkennen ist, so wird die geschweißte Stahlkonstruktion, die häufig schwerer gehalten und mehr versteift werden muß, als hinsichtlich ihrer statischen oder dynamischen Beanspruchung erforderlich wäre, trotzdem bevorzucht, da sie gegenüber dem gegossenen Körper folgende Vorteile aufweist: bedeutende Gewichtsersparnis; größere Festigkeit; erheblich größere Widerstandsfähigkeit gegen Bruch; Modellfortfall, besonders bei Einzelanfertigung; geringe Bearbeitungszugabe; nachträgliche Änderungsmöglichkeit und nicht zuletzt die von gießereitechnischen Rücksichten unabhängige, freizügige Formgebung. Außerdem kann in besonderen Fällen an große Werkstoffquerschnitte ein kleinerer angeschlossen werden.

Der außerordentliche Umfang der durch die Schweißung gegebenen Konstruktionsmöglichkeiten gestattet nur einige richtungweisende Beispiele zu bringen, und es muß dem Konstrukteur überlassen bleiben, diese folgerichtig auf sein eigenes Arbeitsgebiet zu übertragen.

Der außerordentliche Umfang der durch die Schweißung gegebenen Konstruktionsmöglichkeiten gestattet nur einige richtungweisende Beispiele zu bringen, und es muß dem Konstrukteur überlassen bleiben, diese folgerichtig auf sein eigenes Arbeitsgebiet zu übertragen.

Im Vorrichtungsbau, insbesondere bei der Herstellung von Bohrlehren, ist die Lichtbogenschweißung insofern ein willkommenes Hilfsmittel, als sie bei einfachster Formgebung die Verwendung selbst geringster Werkstoffabfälle gestattet. Zudem handelt es sich hier meist um Einzelanfertigungen bzw. um einmalige Herstellung, so daß durch Werkstoff- und Modellersparnis sowie erheblich geringere Bearbeitung auch Ersparnisse an Gestehungskosten zu erzielen sind. Eine gute schweißtechnische Konstruktion einer Bohrvorrichtung für größere Werkstücke zeigt Abb. 239.

Zu den leichteren Schweißarbeiten im Maschinenbau zählt auch die Herstellung von Konsolen, wie eine solche in drei Ausführungsformen in Abb. 240 dargestellt ist. *b* und *c* sind geschweißte Ausführungen und der gegossenen *a* gegenübergestellt. Während sich *b* noch an die gegossene Konsolform anlehnt, hat man sich bei *c*

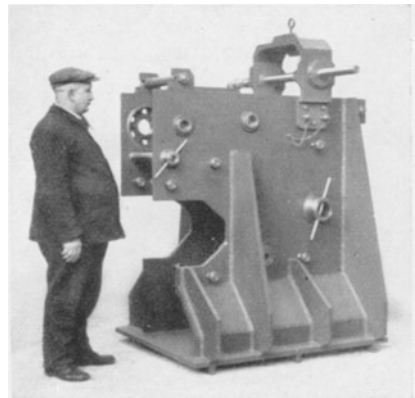


Abb. 239. Geschweißte Bohrvorrichtung.

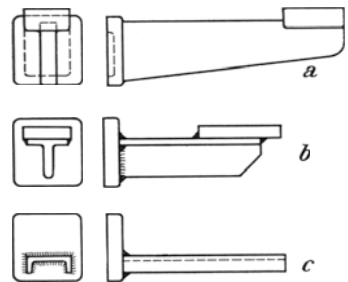


Abb. 240. Konsole, gegossen und geschweiß.



von dieser völlig frei gemacht und damit die einfachste, rascheste und billigste Herstellung eines solchen Körpers erreicht.

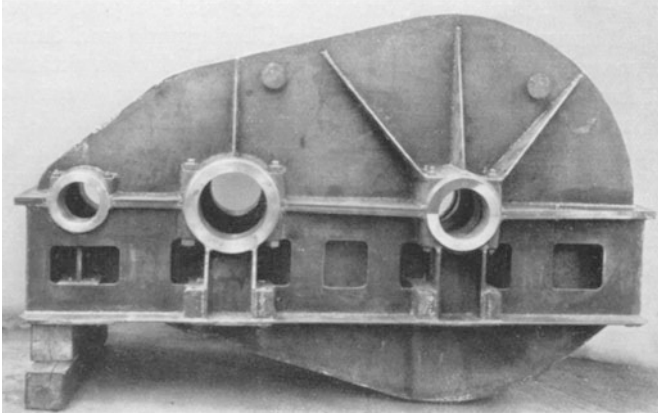


Abb. 241. Schutzkasten für Rädergetriebe.

Die eingangs erwähnten Vorzüge der geschweißten Blechkonstruktion im Vergleich zum Gußeisen kommen bei der Fertigung von Rad-  
schutzkästen und Radverdecken fast alle zur Auswirkung. Einen größeren geteilten Radschutzkasten für eine 25-t-Laufkatze bringt Abb. 241, bei der die Lagerbuchsen, die

Kastenflanschen, Versteifungsrippen, Nocken usw. mit dem Lichtbogen an das Gehäuse angeschweißt sind.

Durch zweckmäßige Vereinigung von Blechen und Formeisen lassen sich Tragkonstruktionen, Aufspannröste, Spannbocke, Grundplatten und ähnliche Körper wirtschaftlich und vielgestaltig ausführen. Gerade bei

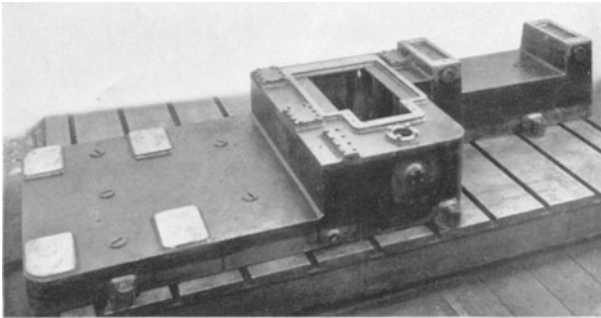


Abb. 242. Grundplatte für Maschinensatz.

solchen Arbeiten fallen neben Gewichtserparnis, Bruchsicherheit, die bedeutende Ermäßigung der Bearbeitungsflächen und der Fortfall der Modellanfertigung ins Gewicht. Hinzu kommt die bisher unerwähnte, mitunter aber ausschlaggebende, verkürzte Lieferzeit. Auch hier soll nur ein Beispiel gebracht werden, und zwar eine Grundplatte für einen Maschinensatz (Abb. 242), die ohne Verwendung von Formeisen aus Blechen zusammen-  
gestellt ist. Die zu bearbeitenden Auflageflächen sind durch Kehlnähte aufgeschweißt. Leichte, durch Formeisen un-  
verstärkte Grundplatten und Rahmen können noch dadurch vereinfacht werden, daß die Blechtafeln mit kleinem Radius

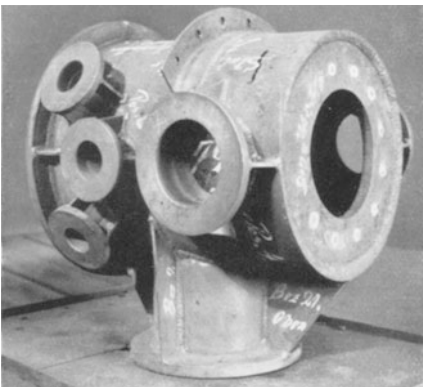


Abb. 243. Kondensationsstützen einer Schiffsmaschine.

abgekantet und nur die Rahmenecken eingeschweißt werden, wodurch die rings um die Platte verlaufenden Verbindungsnahte zwischen Seiten- und Decken-

wänden fortfallen. Etwa erforderliche Versteifungen können durch Anschweißen mit beliebiger Teilung angebrachter Winkel- oder Stegbleche erzielt werden. Zur Erhaltung der Winkligkeit und zur Erleichterung der Zusammenbauarbeit werden solche und ähnliche Körper auf Spannplatten mit geeigneten Vorrichtungen vor allem während des Heftens festgespannt.

Einige Beispiele der Anwendung der Schweißung beim Bau von Maschinengehäusen sind in Abb. 243 und 244 veranschaulicht, und zwar zeigt erstere den Stutzen eines Schiffsmaschinenkondensators und letztere das Gehäuse einer Baggerkreiselpumpe von 1300 mm Durchmesser. Die Einzelteile des Kondensatorstutzens sind mit Positionsnummern versehen, die sich auf den Zusammenbau nach der Werkstattzeichnung beziehen. Sämtliche Teile, wie Gehäusewände, Böden, Flanschen, Versteifungsrippen usw., sind, wie dies im Maschinenbau heute ganz allgemein üblich ist, mit dem Schneidbrenner maßhaltig geschnitten und unter sich elektrisch verschweißt. Die Möglichkeit auch einer verwickelten Formgebung — wie in vorliegenden Beispielen — läßt die Vorzüge der geschweißten Konstruktion erkennen.

Die Herstellung von Rädern aller Art in geschweißten Stahlkonstruktionen wird praktisch nur dann erwogen, wenn Einzelfertigung vorliegt oder durch längere Lieferfristen bedingte Betriebsstörungen vermieden werden sollen. Im übrigen wird die geschweißte Konstruktion mit der Massenherstellung gegossener Räder wirtschaftlich nicht in Wettbewerb treten können, vorwiegend dann nicht, wenn es sich um kleinere Abmessungen handelt. Bei nicht zu hoher Beanspruchung des Rades können die Speichen durch Bleche ersetzt werden, die entweder ringsum oder — wie es in Abb. 245 der Fall ist — nur abschnittsweise mit dem Kranz und der Nabe verschweißt werden. Kranz und Nabe werden aus gewalzten Werkstoffen eingerollt und stumpfgeschweißt. Das Beispiel eines aus gewalztem Stahle geschweißten Zahnrads mit Verstärkungsrippen zeigt Abb. 246 im unbearbeiteten und bearbeiteten Zustande. Der Arbeitsgang ist dabei folgender: Zunächst wird die Scheibe *a* an die Nabe und dann die Scheibe *b* an die Nabe und die Scheibe *a* angeschweißt. Darauf wird das Ganze in den Radkranz eingepaßt und mit diesem durch eine Kehlnaht verbunden; zuletzt werden die sechs Stegrippen *c* eingesetzt und mit Scheibe, Kranz und Nabe verschweißt.

**Ausbesserungen.** Das ursprünglich vorherrschende Anwendungsgebiet der Schweißung war die Instandsetzung schadhafter Maschinenteile. Obgleich auch

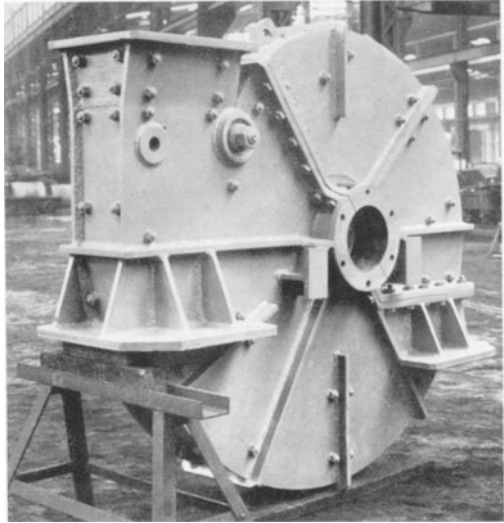


Abb. 244. Gehäuse einer Baggerkreiselpumpe.

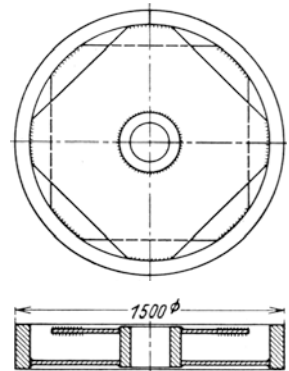


Abb. 245. Geschweißter Radkörper.

Das ursprünglich vorherrschende Anwendungsgebiet der Schweißung war die Instandsetzung schadhafter Maschinenteile. Obgleich auch

heute noch der Ausbesserung durch Schweißung z. T. sogar gesteigerte Bedeutung zukommt, so tritt sie doch im Verhältnis zur Fertigung in der mengenmäßigen Anwendung zurück. Sie erstreckt sich auf die Instandsetzung von gerissenen, gebrochenen, abgenutzten und durch Verrosten geschwächten Maschinenkörpern aus den verschiedensten Metallen. Allgemein wird daher auf die verschiedenen

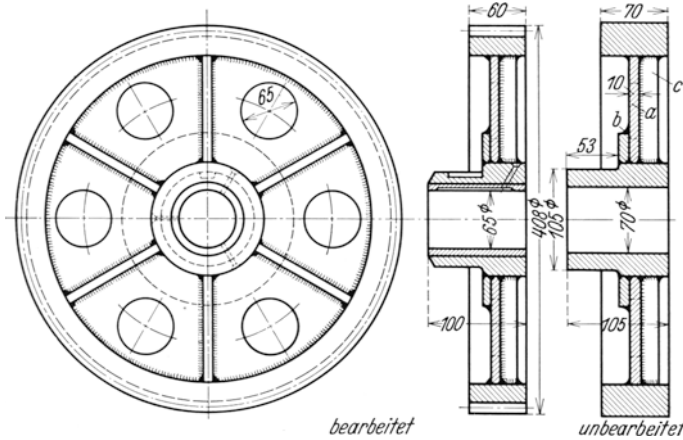


Abb. 246. Geschweißtes Zahnrad.

zugehörigen Unterabschnitte dieses Buches verwiesen. Hier soll nur die Ausbesserung von Stahlteilen durch Auftragschweißung erwähnt werden, wobei nicht allein durch betriebsmäßige Beanspruchung anfallende Ausbesserungsarbeiten in Frage kommen, sondern auch solche, die auf Grund von Fertigungsfehlern bei spanabhebender Bearbeitung oder beim

Schmieden und Pressen auftreten. So z. B. sind beim Fräsen oder Hobeln von Kurbelstangen, Kurbelwellen, Pleuelstangen und ähnlichen wertvollen Maschinenteilen entstandene Bearbeitungsfehler durch Auftragen von jeweils gut angepaßtem Elektrodenwerkstoff zu beseitigen.

Im Betriebe durch Verschleiß schadhafte Achsen, Wellen, Zapfen, Kulissen und andere Maschinenteile werden ebenfalls durch Auftragschweißung ausgebessert. Häufig werden zur Erhöhung der Verschleißfestigkeit besonders legierte Elektroden, beispielsweise solche mit hohem Manganhalt, verwendet (siehe Abschnitt: „Die Schweißelektrode“).

So zeigt Abb. 247 zwei Stahlwerkswalzen, die an den Stellen *a*, an den sog. Kleeblattzapfen, starken Verschleiß aufweisen. Die im Vordergrund des Bildes mit *b* bezeichnete Walze ist bereits, wie die Pfeile andeuten, durch Auftragschweißung mit manganlegierten Elektroden ausgebessert und verschleißfester gemacht.

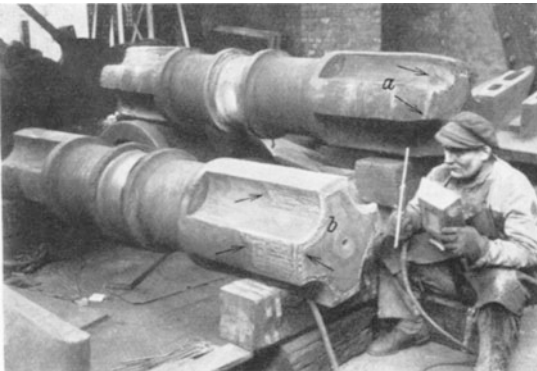


Abb. 247. Auftragschweißung an Walzenzapfen.

Derartige Walzenzapfenabnutzungen treten laufend auf, und häufig wird das Auftragen von 100 kg Elektrodenwerkstoff und mehr je Zapfen erforderlich. Da trotz der großen Schweißmasse an diesen Walzen schon in Anbetracht der meist größeren Abmessungen und des Fortfalls einer sorgfältigen Bearbeitung ein geringes Verziehen des Körpers unschädlich ist, brauchen besondere Maßnahmen bei der Durchführung der Ausbesserung kaum getroffen

zu werden. Dagegen ist beim Auftragen auf Wellen oder Zapfen, die durch sauberes Schlichten zu bearbeiten sind — soweit sie auf Grund ihrer betrieblichen Verhältnisse und ihrer etwaigen Sonderlegierung überhaupt schweißbar sind —, darauf zu achten, daß eine einseitige Erhitzung, die ein radiales Verziehen herbeiführt, verhütet wird. Das wird durch richtige Reihenfolge in der Verteilung der Schweißraupen erreicht, wie es die Zahlenfolge der Abb. 248 angibt. Mit anderen Worten, es wird ein Verziehen infolge ungleichmäßiger Wärmeverteilung durch jeweils gegenüberliegend zu schweißende Raupen vermieden. Auftragsschweißungen an Wellen können nur in axialer Richtung, mithin längs der Welle und niemals radial, also quer zur Achse erfolgen, da die letzte Ausführungsart in der Praxis häufig Dauerbrüche zur Folge hatte. Ist ein Auftragen von Keilen, Keilflächen oder in Nuten notwendig, so muß mit größeren zeitlichen Unterbrechungen geschweißt werden, um eine zu große einseitige Wärmeaufnahme der Welle auszuschließen.

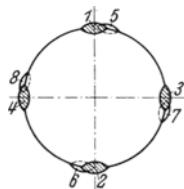


Abb. 248. Schema der Lagenverteilung beim Auftragen auf Wellen.

Eine mit hochmanganhaltigen (14 vH Mn) Elektroden, also mit einem besonders verschleißfesten Werkstoff ausgeführte Schweißung an einer Kettentrommel aus Manganhartstahl ist in Abb. 249 wiedergegeben. Die Schweißflächen sind durch Pfeile hervorgehoben.

**Kraftmaschinen.** Die im allgemeinen Maschinenbau gesammelten Erfahrungen ermutigten den Ingenieur, die Elektroschweißung auch auf den Bau von Kraftmaschinen auszudehnen. Angesichts der vielseitigen Erfolge hat die geschweißte Maschinenkonstruktion das Gußeisen auf diesem Sondergebiete z. T. völlig verdrängt, und es werden heute Maschinen auch von allergrößten Abmessungen in geschweißter Stahlbauweise ausgeführt. Der Zusammenbau geschieht auch hier durch Blech- und Formeisen Einzelteile von mitunter recht ansehnlichen Wanddicken, die für die Elektroschweißung keine Schwierigkeit bedeuten. Die sich aufdrängende Frage, ob der gegossene Körper nicht billiger herzustellen ist und ein Verziehen der Schweißkonstruktion teure Nacharbeiten erfordert, kann dahingehend beantwortet werden, daß der geschweißte Gegenstand stets billiger wird. Das liegt daran, daß sich viel weniger Bearbeitungsflächen ergeben und bei richtigem Arbeitsgang, d. h. bei folgerichtiger Reihenfolge in der Ausführung der Schweißnähte eine Verwindung der Konstruktion praktisch so gut wie gar nicht vorkommt, während gegossene Körper von großen Abmessungen beim Erkalten oft recht störende Verwerfungen erfahren.

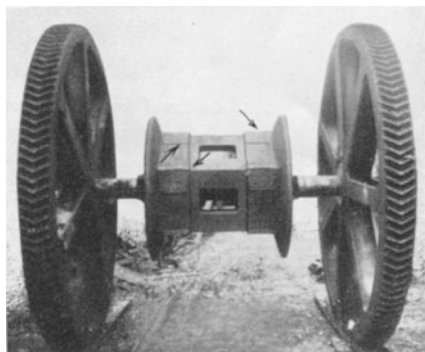


Abb. 249. Auftragsschweißung an einer Kettentrommel.

Das völlig geschweißte, mit Rippenversteifungen versehene Maschinengestell eines 250 PS diesel-elektrischen Maschinensatzes für einen Triebwagen bringt Abb. 250 im Rohzustand. Zu erwähnen ist, daß man auch vor der Schweißung größter Schiffsdieselmotoren nicht haltgemacht hat.

Weniger Anwendung als im Explosionsmotorenbau findet die Schweißung im Dampfmaschinenbau. Doch sind hier die ersten Versuche gemacht worden, einzelne Maschinenelemente, wie Kreuzköpfe, Pleuelstangenköpfe, Pleuelstangen

u. ä., aus geschweißten Stahlkonstruktionen anzufertigen, z. T. unter Verwendung von Trägerprofilen.

Die Tatsache, daß der Elektromaschinenbau von der Schweißtechnik den ausgiebigsten Gebrauch macht, ist u. a. wohl in dem Interesse an der Förderung der Elektroschweißung begründet. Man ist — wie

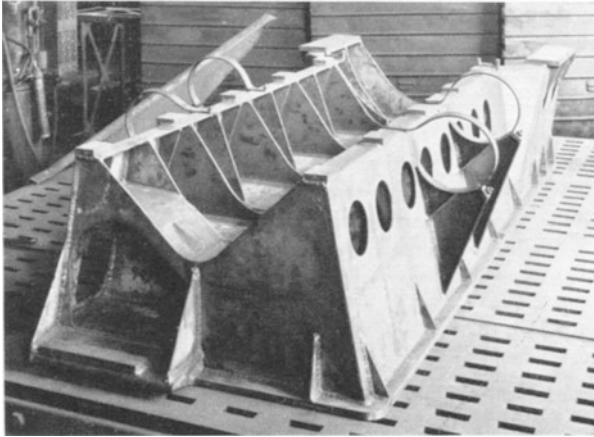


Abb. 250. Geschweißtes Dieselmotorenstell.

im übrigen Maschinenbau, was verständlich ist — nur schrittweise vorgegangen und hat die an zunächst unwesentlichen Bauteilen ausgeführte Schweißung im Betriebe ausreichend beobachtet, bevor man auf Grund guter Erfolge gänzlich geschweißte Elektromaschinen unbedenklich bauen konnte. So wurden ursprünglich nur ruhende Maschinenteile, wie Grundrahmen, Gehäuse, Lager, und später erst auch umlaufende Teile, wie Lüfter und Läufer, geschweißt. Wie im Dieselmotorenbau war auch hier vorerst nur

der Anreiz zur Ausführung mittelgroßer, geschweißter Einheiten gegeben, da die Herstellung kleinerer, geschweißter Maschinentypen keine wirtschaftlichen Vorteile erwarten ließ. Diese Vermutung ist indessen nicht zugetroffen, und man schweißt heute nicht allein große und allergrößte Einheiten, sondern man hat bereits Wege beschritten, auch kleine Maschinen in Stahlkonstruktion zu bauen.

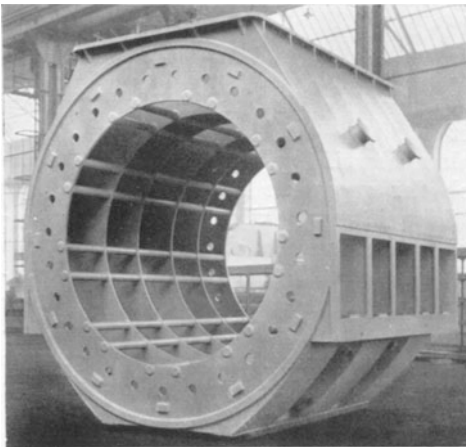


Abb. 251. Geschweißtes Dynamogehäuse.

Eine Vorstellung von einem für den elektrischen Einbau fertigen, geschweißten Ständergehäuse einer größeren Dynamomaschine soll die Abb. 251 vermitteln. Schon bei flüchtiger Betrachtung sind neben gefälligem Aussehen die gute Versteifung und das geringe Gewicht des Körpers festzustellen.

Ständer und Läufer einer noch größeren Einheit veranschaulichen die Abb. 252 und 253. Die im Ständer zu erkennenden Aussparungen, die der besseren Lüftung dienen und gleichzeitig eine Gewichtsersparnis bedeuten, sind mit dem Schneidbrenner ausgeführt worden.

Wie weit man sich in der Anwendung des Lichtbogenschweißens im Elektromaschinenbau vorgewagt hat, kann man daraus entnehmen, daß bereits Läufersterne von solch bedeutenden Abmessungen wie in Abb. 253 mit den Achsen durch Kehlnähte verbunden worden sind, wobei außer einem Vor-

wärmen des entsprechenden Wellenteils auf einige hundert Grad eine rasche Arbeitsdurchführung mit mehreren, gleichzeitig angesetzten Schweißern notwendig wird.

#### Werkzeugmaschinen.

Wenn die Schweißung im Werkzeugmaschinenbau anfänglich nur zögernd Eingang fand, so lag dies nicht allein an verschiedenen konstruktiven Rücksichten, sondern es waren auch rein äußerliche Bedenken in der Formgestaltung maßgebend. Es war das Gefühl zu überwinden, daß abgerundete und geschweifte Übergänge gegossener Körper mehr ansprechen als die ebene, winklige und scharfe Begrenzung der geschweißten Stahlbauweise. Die geringsten Schwierigkeiten treten dort auf, wo auch vor der geschweißten Ausführung nicht Gußeisen, sondern Stahl — wenn auch genietet — verwendet wurde. Die in Abb. 254 gezeigte Kaltschere, bei deren Herstellung man lediglich von der Niet- auf die Schweißverbindung überzugehen brauchte, läßt erkennen, wie Ecknähte zugunsten von Kehlnähten vermieden werden, indem das eine anstoßende Blech um die Breite der Kehlnahtbasis zurückgesetzt wird. Eine schwungradlose Blechscheren für 6 m Schnittlänge bei 8 mm Blechdicke gibt Abb. 255 wieder, bei der Durchbiegungen durch eingeschweißte Stegplatten ausgeschlossen werden, deren Anzahl, falls es wünschenswert erscheinen sollte, ohne nennenswerten Aufwand nachträglich erhöht werden kann. Solche nachträglichen Verbesserungen wären bei der Gußausführung nicht möglich. Von einer vollkommenen Form kann man bei der Drehbank in Abb. 256 sprechen, bei der Bett,

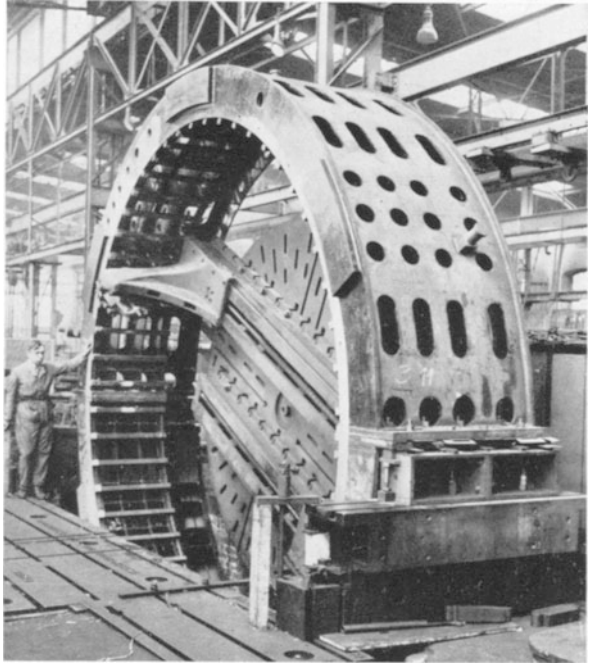


Abb. 252. Geschweißter Ständer einer Dynamo.

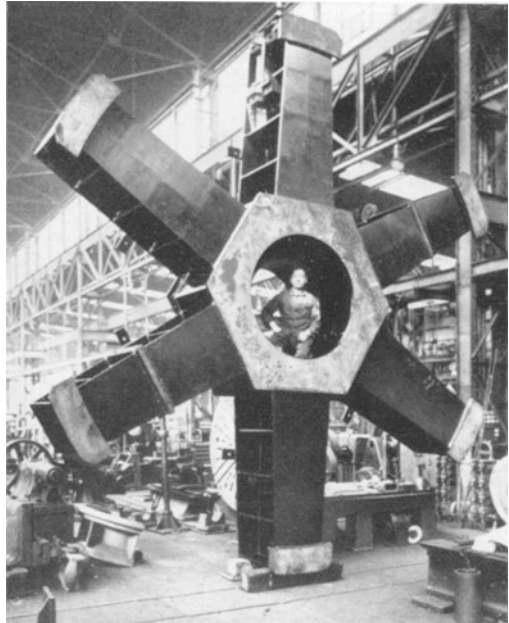


Abb. 253. Geschweißter Läufer einer Dynamo.

Getriebekasten, Support und Reitstock geschweißte Stahlausführung sind. Lediglich für eine der Gleitflächen wird wegen des besseren Gleitens Guß bei-

behalten, doch hat man schon Versuche gemacht, auf die jeweils kleinere oder geeignetere Gleitfläche eine Gußschicht aufzuschweißen, um zur restlos geschweißten Ausführung zu kommen.

Beim Bau sehr großer und schwerer Pressen bringt die Stahlkonstruktion recht erhebliche Gewichtersparnisse. Auch sind infolge der höheren Festigkeit von Stahl bei bisweilen auftretenden Überlastungen Brüche nicht mehr zu erwarten. Fehlschläge sind auf unzureichende Bemessung und Aussteifung zurückzuführen.

#### d) Fahrzeugbau.

**Allgemeines.** Im Vergleich zum genieteten Fahrzeug hat das geschweißte den unverkennbaren Vorzug größerer Starrheit und damit

erhöhter Sicherheit gegen Stoßbeanspruchung. Die bei Dauerversuchen und gelegentlich von Zusammenstößen gesammelten Erfahrungen sind restlos zugunsten geschweißter Fahrzeuge ausgefallen. Während die genietete Ausführung

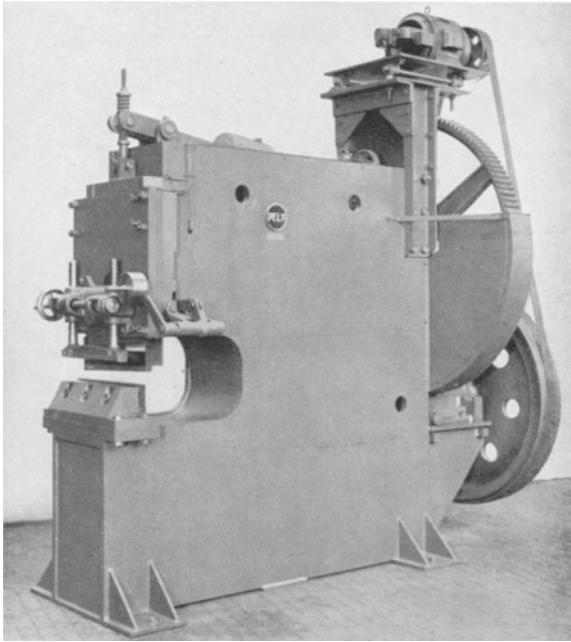


Abb. 254. Geschweißte Stahlkonstruktion einer Blechscherer.

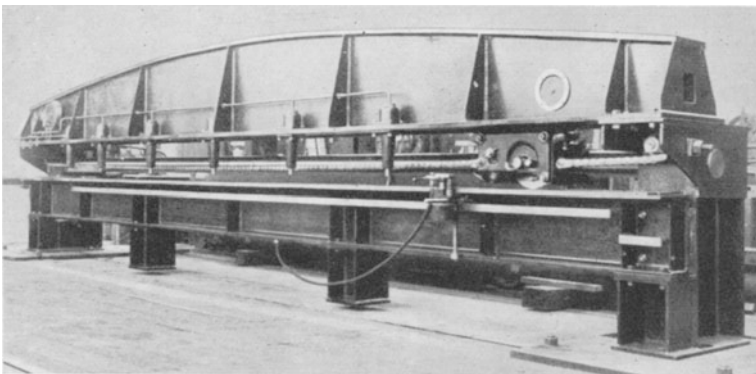


Abb. 255. Blechscherer in Stahlkonstruktion.

durch Abscheren der Niete und durch Aufreißen von Nietlöchern zu Bruch geht, hielten die geschweißten Fahrzeuge selbst den stärksten Beanspruchungen stand, und es traten lediglich Verformungen in der Konstruktion ein, ohne daß die

geschweißten Verbindungen sichtbare Beschädigungen erlitten. Neben dieser ausschlaggebenden Tatsache ist der Vorteil der Verminderung des Eigengewichts

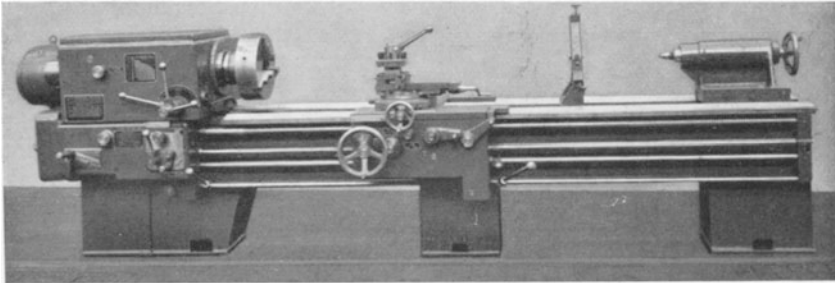


Abb. 256. Geschweißte Leitspindeldrehbank.

der Fahrzeuge und dadurch erhöhter Nutzbelastung bei gleichen Betriebskosten der Anstoß gewesen, im Landfahrzeugbau von der Schweißung weitgehenden Gebrauch zu machen. Im Flugzeugbau hat die Lichtbogenschweißung bisher noch nicht Fuß zu fassen vermocht, da es sich dort überwiegend um die Herstellung dünnwandiger Bauteile handelt, für die die Gasschweißung und die elektrische Widerstandsschweißung in Frage kommen.

**Schienenlose Fahrzeuge.** Das Anwendungsgebiet der Elektroschweißung im Straßenfahrzeugbau umfaßt alle Gefährte, gleichgültig, ob sie von Hand, durch Tiere oder motorisch betrieben werden. So werden Schub- und Sackkarren, Fahrgestelle für Maschinen und Geräte, landwirtschaftliche Wagen, Leiter-, Tafel- und Tankwagen, Feuerwehrleitern, Personen- und Lastkraftwagen, Anhänger u. a. in geschweißter Ausführung hergestellt.

An diesen Fahrzeugen werden, was die Einzelteile anbelangt, Federböcke, Bremswellen, Gestänge, Hinterachsbrücken, Kardanrohre, Achsrohre, Hebel aller Art, Scheinwerfer- und Bremsarmaturen, Bügel, Stützen, Kofferträger, Auspufftöpfe und -leitungen, Räder u. a. geschweißt. Manche dieser Einzelteile werden allerdings — wie dies auch für Karosserieaufbauten zutrifft — unter Zuhilfenahme der Widerstandsschweißung hergestellt. Bedeutender ist die Anwendung der Lichtbogenschweißung bei der Herstellung von Fahrgestellen in Rohr-, Formeisen- oder Blechkonstruktion.

Als Beispiel eines geschweißten Einzelteiles ist der Federbock der Abb. 257 herausgegriffen. Im Gesenk gepreßte oder geschmiedete Körper dieser Form werden durch einen mit Kehlnaht angeschweißten Steg verstärkt und erhalten dadurch eine fast unbegrenzte Lebensdauer. Sind höherem Verschleiß unterworfenen Einzelteile vorhanden, so werden häufig auch Schweißung und Nietung vereinigt, wie dies beispielsweise bei dem Drehgestell eines Lastwagenanhängers, Abb. 258, zutrifft. Das Drehgestell selbst ist geschweißt und die Beschlagteile sind angenietet, um sie erforderlichenfalls leicht auswechseln zu können.

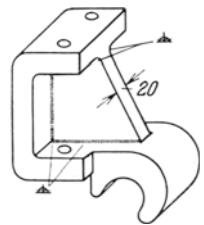


Abb. 257. Geschweißter Federbock.

Auch im Bau motorisch betriebener Feuerwehrleitern hat die Lichtbogenschweißung grundlegende Veränderungen gebracht, und es wurden die bisherigen Holzleitern durch geschweißte Stahlleitern ersetzt, die neben geringem Gewicht bei gleicher Festigkeit den Vorzug größerer Widerstandsfähigkeit gegen



Witterungseinflüsse, der Unverbrennlichkeit und der Erreichung größter Steighöhen besitzen. Die Rückansicht einer auf rund 40 m Steighöhe ausziehbaren, geschweißten Feuerwehr-Stahlleiter zeigt Abb. 259. Holme und Sprossen sind

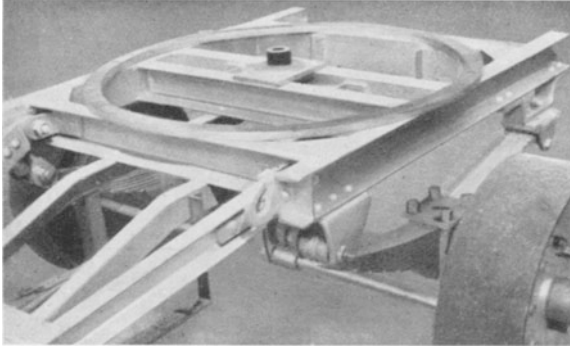


Abb. 258. Drehgestell eines Lastwagenanhängers.

aus Blechhohlprofilen hergestellt, wie dies aus Abb. 260 ersichtlich ist. Die Holme bestehen aus zwei gepreßten Blechen, die I-förmig ausgebildet und mit einem dazwischen liegenden Stehblech gemeinsam verschweißt werden. Das Gewicht von Stehblech und Holm ist durch wechselweise Aussparungen um ein weiteres herabgemindert. Die Sprossen werden als nahtlose Vierkant-Stahlrohre durch die Holmwandungen und den Steg hindurchgesteckt und beiderseitig verschweißt. Die Blechdicke der Holmensprossen beträgt  $1 \div 2$  mm je nach Bauhöhe der Leiter. Für kleinere Leitern tritt an die Stelle der Vierkant-Stahlrohre für die Sprossen normales, also rundes Stahlrohr.



Abb. 259. Geschweißte Feuerwehrstahlleiter.

**Schienenfahrzeuge.** Auch bei an Schienen gebundenen Fahrzeugen kleinster und größter Bemessung und für die verschiedensten Beförderungszwecke dient die Schweißung als überlegener Ersatz für die Nietung, der gegenüber sie insbesondere den Vorzug glatter, geringste Anfrassungsmöglichkeiten bietender Flächen besitzt. Zudem ermöglichen die glatten Innenwände bei Greifern, Kippern, Selbstentladern usw. eine restlose Entladung des Beförderungsgutes. Erhöhte Bedeutung kommt hierbei auch der größeren Haltbarkeit zu, wenn es sich um scho-

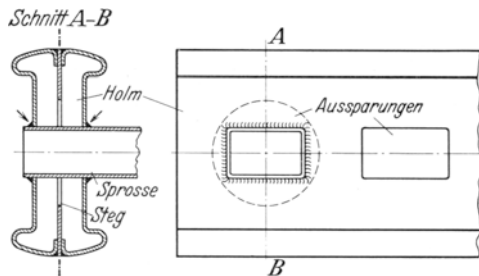


Abb. 260. Einzelheiten zur geschweißten Feuerwehrleiter.

nungslos behandelte Kleinfahrzeuge, wie Muldenkipper, Grubenförderwagen, Seilbahnförderkübel usw. handelt.

Als Großfahrzeuge kommen die der Straßen- und Eisenbahn in Betracht. In richtiger Erkenntnis der Bedeutung der Schweißung im Fahrzeugbau hat

die Reichsbahn als größtes technisches Unternehmen die Entwicklung der Lichtbogenschweißung außerordentlich gefördert und macht auch in ihren eigenen Betrieben von diesem Verfahren weitgehenden Gebrauch.

Während beim Bau von Straßenbahn-Motor- und -Anhängern z. Z. meist nur die Dreh- und Fahrgestellrahmen geschweißt werden, ist man bei Eisenbahnfahrzeugen schon viel weiter gegangen, indem man auch den Aufbau der Wagen, gleichviel, ob es sich um Personen- oder Güterwagen handelt, in völlig geschweißter Ausführung herstellt. Abb. 261 veranschaulicht das mit unterbrochenen Kehlnähten geschweißte Drehgestell eines sechsachsigen Großraumsattelwagens, das aus mit dem Schneidbrenner zurechtgeschnittenen Formeisen und Blechen besteht. Den Gesamtaufbau eines vollkommen geschweißten Großraumsattelwagens von 27,6 t Gewicht und mit 100 m<sup>3</sup> Inhalt bringt Abb. 262. Neben gewöhnlichen Kohlenstoffstählen werden in den letzten Jahren auch Sonderstähle, z. B. Si-Baustähle, im Wagenbau verwendet. Einen aus diesem Werkstoffe gebauten, völlig geschweißten Großraumsattelwagen für ein Ladegewicht von 55 t bei 21 t Eigengewicht zeigt Abb. 263.

Daß man zunächst gegenüber der Schweißung von Lokomotiven Zurückhaltung übte, ist verständlich. Aber nun, da sich Probeausführungen bestens bewährt haben, hat die Schweißung auch in der Fertigung von Rahmen und Drehgestellen elektrischer Schnellzugslokomotiven Eingang gefunden. Den Zusammenbau des Rahmens einer I Do 1-Lokomotive E 18 durch Schweißung zeigt Abb. 264.

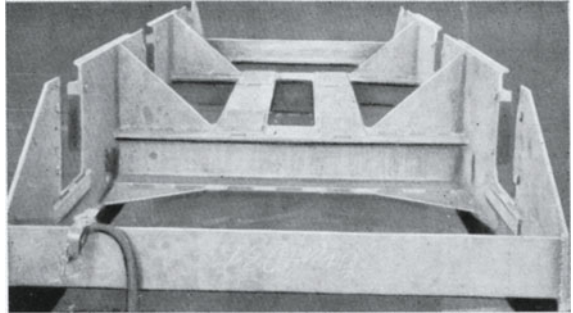


Abb. 261. Geschweißtes Drehgestell.

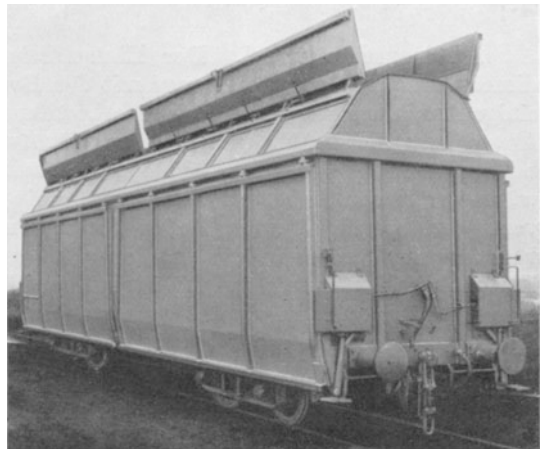


Abb. 262. Vollkommen geschweißter Großraum-Sattelwagen.



Abb. 263. Vollkommen geschweißter Großraum-Sattelwagen (Si-Stahl).

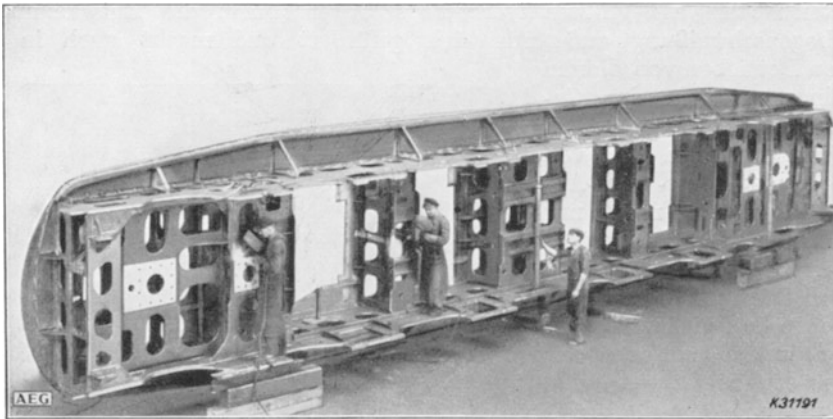


Abb. 264. Geschweißter Lokomotivrahmen.

**Schienenerschweißung<sup>1</sup>.** Der Einfachheit und Kürze halber sollen sich an dieser Stelle im Zusammenhange mit den Betrachtungen von Schienenfahrzeugen einige Ausführungen über Schienenerschweißung anschließen. Unumstritten ist die Anwendung der Lichtbogenschweißung für Ausbesserungsarbeiten an Straßenbahnschienen, die fast ausschließlich im Auftragen abgenutzter Stellen bestehen, während sich um die beste und billigste Schienenstoßschweißung alle Schweißverfahren bemühen, unter denen die Thermitschweißung noch führt. Das gilt vorzugsweise für die in die Straßendecke verlegten Rillenschienen, weniger für Eisenbahnschienen, die auf freiliegendem Oberbau beweglicher Stöße nicht entbehren können. Sie werden höchstens auf Brücken oder in Tunnels durch Stumpfschweißung zu längeren Strängen verbunden, wobei die Lichtbogenschweißung versuchsweise mit herangezogen wurde. Öfters findet diese Anwendung bei der Herstellung von Kreuzstücken, Herzstücken, Gabelungen und Weichen von Straßenbahngleisen, wo sie nicht als Stumpf-, sondern als Laschenverbindung auftritt.

Herzstücke und Kreuzungsanlagen im zeitgemäßen Straßenbahngleisbau haben nicht die in Abb. 265 mit *b* bezeichneten Rillentiefe von etwa 40 mm, wie es auf geraden Strecken bei normalem Profil meist der Fall ist, sondern die Rille wird so flach gehalten, daß das Maß *a* etwa  $7 \div 10$  mm beträgt. Hierdurch wird beim Befahren der Radkranz des Straßenbahnwagens, also die eigentliche Fläche des Rades vom Fahrkopf abgehoben, und es läuft nur der Spurkranz auf dem Rillenboden. Damit wird die Flachrille innerhalb der Kreuzungen der Träger der gesamten rollenden Last und ermöglicht ein stoßfreies Überfahren der Fahrflächenunterbrechungen an den Schnittpunkten. Infolge des verhältnismäßig hohen spezifischen Flächendrucks tritt sehr bald eine in ihrer Größe von verschiedenen Bedingungen abhängige Abnutzung der Rille auf. Diese wird durch Lichtbogenschweißung so weit wieder aufgefüllt, bis die vorgeschriebene Tiefe von etwa 7 mm in geraden Strängen bzw. 10 mm in Abzweigungen erreicht ist.

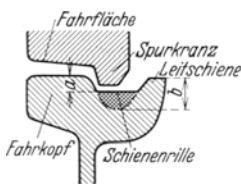


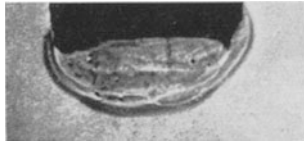
Abb. 265. Rillenschiene mit Spurkranzauflauf.

<sup>1</sup> Siehe auch Horn und Tewes, Elektrische Auftragsschweißung im Straßenbahnbetriebe: Elektroschweißg. 1932 S. 113 ÷ 115.

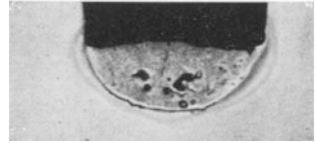
Auch Fahrkopfschienenenden werden nach Überschreiten ihrer bestimmten Abnutzungsgrenze durch Auftragsschweißung ausgebessert. Welche Bedeutung der Schienenauftragsschweißung zukommt, geht daraus hervor, daß eine große deutsche Straßenbahngesellschaft in 4 Jahren rund 30 km Auftragsschweißung allein an Rillenböden vorgenommen hat.

Bei der Durchführung der Auftragsschweißung ist vor allem darauf zu achten, daß die Stromstärken für die immer hochlegierten Elektroden nicht zu groß gewählt werden

und eine richtige Arbeitsfolge sowie nicht zu rasches Schweißen, eine den hohen Anforderungen gewachsene Fahrfläche gewährleisten. Zu rasches Arbeiten und hohe Stromstärke können Rißbil-



*a* = richtige Stromstärke



*b* = zu hohe Stromstärke

Abb. 266. Geschweißte Rillenprofile an Straßenbahnschienen, unearbeitet (V = 2:1).

dungen in der Schweißung oder am Übergange zur Folge haben; ferner wird dabei meist eine größere Porosität in der Schweißung unvermeidlich sein (s. Abb. 266). Während für das Rillenbodenauftragen harte Schweißungen erwünscht sind, werden für die Fahrköpfe und Leitschienen Elektroden verwendet, die weniger eine harte, als eine verschleißfeste Schweißung ergeben, um Ausbrechungen im Schienenstrang und vorzeitige Abnutzung des Radwerkstoffes zu vermeiden.

#### e) Schiffbau.

**Ausbesserungsarbeiten.** Im Schiffbau hat die Schweißung verhältnismäßig frühzeitig Eingang gefunden, zunächst allerdings vornehmlich bei Ausbesserungsarbeiten an maschinentechnischen Teilen. Es wurden Winden, Spills, Maschinenrahmen und -gehäuse, Rohrleitungen, Entlüfter, die Kesselanlagen, Behälter für Öl und Trinkwasser, ausgelaufene Wellen, Pleuelstangen, Propeller u. a. unter Zuhilfenahme der Schweißung instand gesetzt, Gegenstände, die in den entsprechenden Unterabschnitten dieses Buches erwähnt wurden.

Gelegentlich von Seeschäden oder beim Auflaufen auf Grund griff man später auch für schiffsbau technische Teile zur Schweißung und besserte z. B. Steven und Ruder oder den Schiffskörper selbst aus durch das Schweißen gerissener oder gebrochener Bodenversteifungen, Kielbleche, Spanten, Auf- und Einbauten usw. Binnen- und Seeschiffbau, Handels- und Kriegsschiffbau nutzen, wenn gegenwärtig auch noch nicht gleichermaßen, die Vorteile des billigsten und raschesten Ausbesserungsverfahrens, nämlich der Schweißung, im großen Umfang aus.

Ein nicht mehr fortzudenkendes, ideales Hilfsmittel ist das Schweißen bei Schiffsumbauten, z. B. bei Verlängerungen an Schiffsrümpfen, worüber auch dem der Schweißtechnik Fernstehenden durch Wochenschaufilme öfter und in anschaulicher Weise Eindrücke vermittelt werden.

**Geschweißte Einzelteile (Neubau).** Daß auf Grund der guten Erfahrungen, die man im Schiffbau mit der Ausbesserungsschweißung und den z. T. bereits geschweißten Konstruktionen bei Seeschäden machte, sehr bald auch die Schweißung neuer Konstruktionsteile in Frage kam, versteht sich von selbst. So wurde in ständig steigendem Maße die Schweißung das Konstruktionselement im Bau von Steven, Gegenpropellern, Rudern, Pollern, Maschinen- und Windenfundamenten, Schiebebalken, Masten, Bootsdavits, Deckstützen, Oberlichtern und sonstigen Innen- und Deckaufbauten. Dabei sind Gewichtersparnisse im

einzelnen bis zu 50 vH zu verzeichnen, Werte, die, abgesehen vom Flugzeugbau, für kein Fahrzeug von so einschneidender Bedeutung sind als gerade für das Schiff.

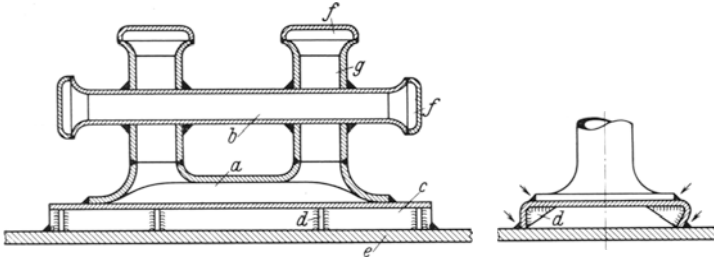


Abb. 267. Geschweißter Stahldoppelpoller.

haft ist, weil es den Zusammenbau der geschweißten Einzelteile erleichtert. Diese

Mischverbindungen dürften auch in absehbarer Zeit noch dem Schiffbau eigentümlich bleiben.

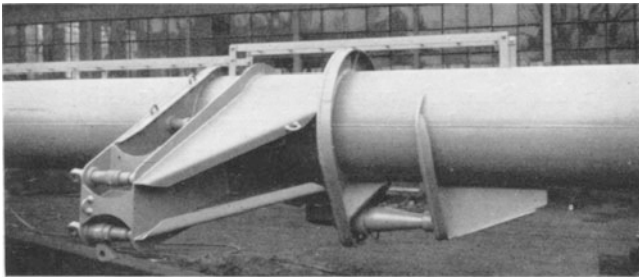


Abb. 268. Geschweißter Schiffsstahlmast.

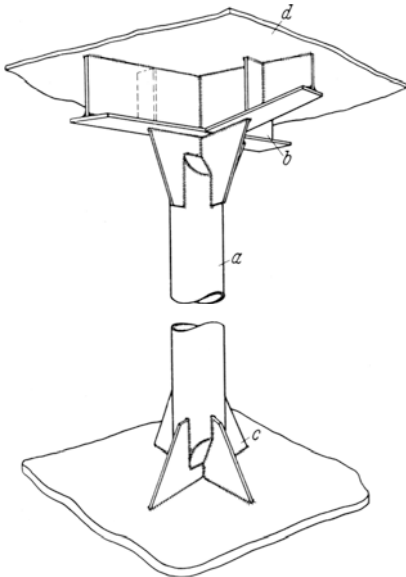


Abb. 269. Deckstütze mit geschweißter Kopf- und Fußkonstruktion.

Der in Abb. 267 im Längs- und Querschnitt skizzierte Doppelpoller ist aus 9 Einzelstahlteilen zusammengesetzt. An die beiden Stützen der gepreßten Platte *a* werden zwei nach oben aufgeweitete

Stahlrohre *g* angesetzt und mit der Platte verschweißt. Das Rohr *b* wird in entsprechende Löcher der Rohre *g* eingesteckt und ebenfalls beiderseitig durch Kehlnähte verbunden. Die vier angeschweißten Kappen *f* vervollständigen den Poller, dessen Fuß *a* durch Kehlschweißung ringsum mit dem seitlich offenen, U-förmigen Sockel *c* verbunden wird. Auch dieser durch Winkel *d* verstärkte Sockel *c* wird an den Längsseiten an das Deck *e* unmittelbar angeschweißt.

Einen in allen seinen Teilen geschweißten, demnach gänzlich nietlosen Mast mit Ladebaumstuhl und Radbolzen für einen 40-t-Ladebaum bringt Abb. 268. Die Gefälligkeit seiner Form und die Einfachheit der Versteifungen sind hervortretende Merkmale der Schweißkonstruktion, die auch in der nebenstehenden Darstellung, Abb. 269, zum Ausdruck kommen, wo es sich um eine Deckstütze für etwa 35 t Bruchlast handelt. Sie besteht aus einem Stahlrohr *a* mit angeschweißter Kopfkonstruktion *b* und Fußkonstruktion *c*, beide ohne die Verwendung von Formeisen aus Blechen hergestellt. Die Blechstege des Kopfes *b* sind unmittelbar

an das Deckblech *d* angeschweißt, wodurch eine weitere Gewichtsverminderung erreicht wird.

**Geschweißte Binnenschiffe.** Die stattliche Zahl der schon heute geschweißten Binnenschiffe spricht für sich selbst. So stehen neben Motorbooten, Schleppern und Pontons auch Fracht- und Personendampfer in geschweißter Ausführung seit Jahren im Verkehr und haben sich bestens bewährt. Selbst die Außenhaut vieler dieser Schiffe ist geschweißt. Bevor man sich allerdings hierzu entschloß, erstreckte sich die Anwendung der Schweißung auf den Bau von Bodenwrangen, Spanten, Deckbalken, Längs- und Querschotten usw. Besonders letzteren kommt noch jetzt erhöhte Bedeutung zu, da durch ihre geschweißte Versteifungskonstruktion — auch im Seeschiffbau — außerordentliche Gewichtsersparnisse erzielt werden.

Einige Beispiele der hauptsächlichsten Schottenwandversteifungen sind in Abb. 270 skizziert. Die Verstärkung besteht bei *a*, *b* und *c* aus Blechstreifen oder Flacheisen, die unmittelbar an die Schottwand hochkantig angeschweißt sind. Da es sich hierbei nur um Festigkeits- und nicht um Dichtigkeitsverbindungen handelt, werden die Kehlnähte unterbrochen ausgeführt, und zwar entweder wechselweise (Zick-Zack-Schweißung) mit kleiner oder großer Zwischen teilung ( $t$  und  $t_1$ ), im Sinne von *a* und *b*, oder als Parallelnähte, wie bei *c* angedeutet. Letztere werden beispielsweise dann bevorzugt, wenn in dieser Weise versteifte Blechwände auf Biegung beansprucht werden. Erforderlichenfalls kann das Flacheisen durch einen an einem Schenkel an die Schottwand stumpf angeschweißten Winkel *d* ersetzt werden. Außer diesen kommen die Konstruktionsarten *e* und *f* weniger für Binnenschiffe als für die meist viel größeren Seeschiffe in Frage. Von den vorigen Formen weichen sie durch an den Steg angeschweißte Blechflanschen ab, die meist fischbauchartig zugeschnitten sind. Die sich daraus ergebende Querschnittsform, die der jeweiligen örtlichen Beanspruchung der Konstruktion angepaßt ist, kann in Walzprofilen nicht hergestellt werden.

Den Übergang vom genieteten zum geschweißten Schiff und die Anwendung gemischter Verbindungen führt Abb. 271, das Kollisionsschott eines Motorschiffes, vor Augen. Spanten, Außenhaut, Bodenkonstruktion und Deckrahmen sind hier noch genietet, die Schottwand selbst ist bei *a* und *b* aus drei Blechschüssen zusammengeschweißt (Stumpfnähte) und bei *c* ringsum durch Kehlnaht mit dem Schiffsrumpf verbunden. Diese vollen, nicht unterbrochenen Schweißnähte *c* sind sog. Dichtigkeitsnähte und doppelseitig ausgeführt. Die auf der Schottwand mit Kreide vermerkten römischen Zahlen sind Anweisungen für den Schweißer, in welcher Reihenfolge und mit welchen Teilungen ( $t$  und  $t_1$ , Abb. 270) die unterbrochenen Nahtstrecken an den sechs Versteifungsblechen *d* anzubringen sind. Auch die im Bilde gut erkennbaren Querversteifungen *e* sind durch unterbrochene Kehlnähte mit dem Schott verbunden.

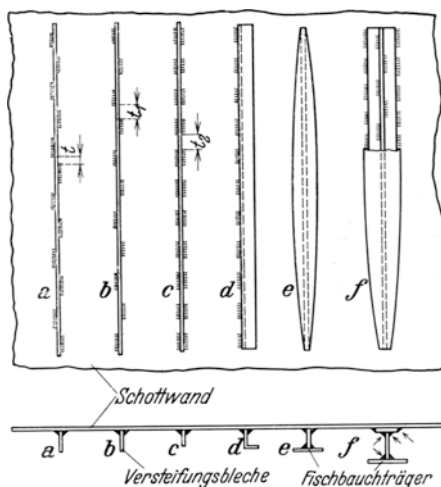


Abb. 270. An Schottwände angeschweißte Versteifungsbleche und -träger.

Ähnliche Gewichtersparnisse und dauerhafte Dichtigkeit sind mit geschweißten

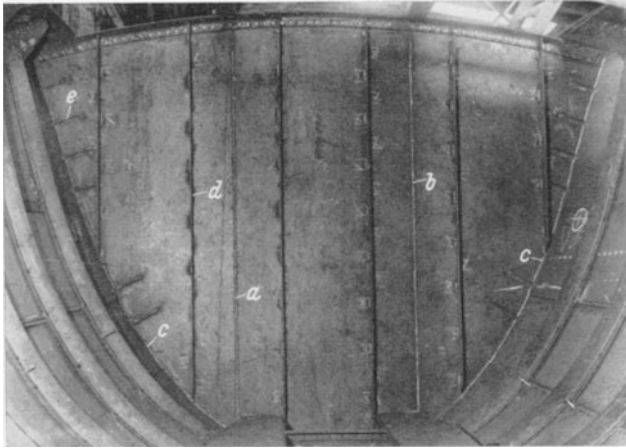


Abb. 271. Geschweißtes Kollisionsschott eines Motorschiffes.



Abb. 272. Schweißen am Deck eines Spülers.

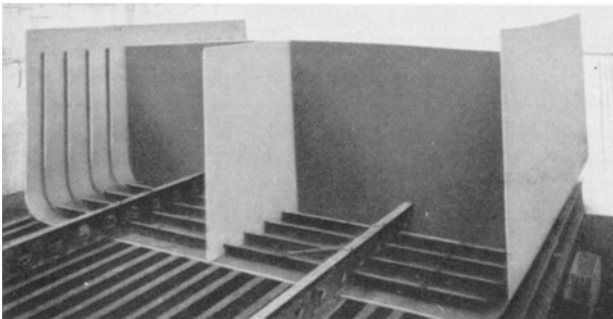


Abb. 273. Teil eines ganz geschweißten Motortankboots.

Decknähten zu erzielen, da die für die Nietung erforderlichen Innenlaschen entfallen. In Abb. 272 ist ein Elektroschweißer mit der Fertigung von Decklängsnähten *a* an einem Spüler beschäftigt. Die Blechschüsse werden durch Schrauben an den Deckbalken festgehalten und erst nach Fertigstellung der Nähte im Querverbände mit diesen vernietet.

Unter anderen Wasserfahrzeugen werden auch Motortankboote meist ganz geschweißt. Einen Teil eines solchen zeigt Abb. 273. Sie gibt ein Beispiel dafür, wie Abschnitte eines Schiffes in der Werftwerkstätte auf geeigneten Spannrosten bequem hergestellt und dann auf der Helling zusammengebaut werden können. Das Tankboot hat eine Länge von 40 m, bei 6,5 m Breite und 2,2 m Höhe. Die Ladefähigkeit beträgt 250 t und das Gewicht der in der Werkstätte geschweißten Einzelteile etwa 10 t.

Nennenswerte Konstruktions- und Bauerleichterung bietet die Schweißung außerdem bei verwickelten Durchdringungen und Anschlüssen, z. B. bei Schrauben- und Wellentunnels, Wellenböcken, Stevenrohren, bei Kielwannen und Schwert-

kasten für Segeljachten, wo mitunter der Zusammenbau durch Schweißung kieloben erfolgt.

Nach einem patentierten Verfahren werden die Seitenwände und der Boden von Schuten zusammenhängend in einer Ebene und an diese die Versteifungen fertig angeschweißt. Darauf biegt man die Seitenwände kalt hoch und fügt Heck und Bug durch Schweißung mit dem Schiffskörper zusammen. Auf diese Weise ergeben sich fast nur waagerechte Nähte und ein schneller Zusammenbau des Schiffes.

**Geschweißte Seeschiffe.** Zahlreiche der angeführten Beispiele lassen sich mit mehr oder weniger Abweichungen auch auf den Bau von Seeschiffen übertragen, die in ihrer Vielgestaltigkeit als Handels- und Kriegsfahrzeuge der Schweißung unerschöpfliche Anwendungsmöglichkeiten bieten, soweit nicht einschränkende Bestimmungen der Versicherungsgesellschaften im Handelsschiffbau nur das Schweißen bestimmter Einzelteile gestatten. Die Vorschriften des Germanischen Lloyd haben im Hinblick auf die bahnbrechenden Erfolge mit geschweißten Marinefahrzeugen erfreulicherweise letzthin Erleichterungen gebracht, die eine umfangreichere Einführung der Schweißung im Handelsschiffbau erwarten lassen.

Das erste ganz geschweißte Schiff, das den obigen Vorschriften entspricht, war ein Motor-Ölfahrzeug von 45 m Länge. Die Gewichtsersparnis betrug rund 30 vH. Angesichts der bei solchen

Fahrzeugen neben allen anderen bestehenden Forderungen notwendigen zuverlässigen Öldichtheit, sind die Vorteile der Schweißung gegenüber der Nietung besonders auffällig.

Zur Erleichterung der Schweißung und des Zusammenbaus werden die Schotten, gleich welcher Größe, ob für Fracht-, Fahrgast- oder Kriegsschiffe, auf Richtplatten hergestellt und als fertiger Teil in die Schiffsrümpfe eingebaut und eingeschweißt. Das Aufspannen von Schottwänden mit Spannbügeln auf Richtplatten und das Anschweißen von Versteifungen veranschaulicht Abb. 274. In den dicken Richtplatten sind Löcher angebracht, die die Spannbügel aufnehmen. Diese drücken die hier bereits zu verzüngten T-Profilen zusammengeschweißten Versteifungsträger (Abb. 270 e) gegen die durch Stumpfnähte verbundenen Schottenwandschüsse und fixieren ihre Lage bis zur Vollendung der Zick-Zack-Kehlnähte.

Den Hauptspant eines geschweißten Ölfahrzeugs zeigt Abb. 275. Bodenwangen, Spanten, Schotten, Deck, Deckbalken und die Außenhaut sind geschweißt und die Nähte durch die genormten Zeichen angedeutet. Schotten und Spanten sind mit der Außenhaut durch doppelseitige Kehlnähte vereinigt. Nur die Verbindungen des Mittellängsschotts mit dem Kiel (unten Mitte) und die am Stringerwinkel (Längsspanten, oben rechts) sind genietet.



Abb. 274. Schweißen eines Schotts auf der Spannplatte.





geführt sein, der seit Jahren erfolglos angestrebt und nur nach weitgehender Anwendung der Schweißung Wirklichkeit wurde. Die hervorragende Bedeutung der Schweißung im Kriegsschiffbau kam dann auch schnell zur praktischen Auswirkung und nach gut verlaufenen Versuchen mit einem geschweißten Boot wurden die Ergebnisse auf den Bau der ersten 12 Torpedoboote der „Möve“- und „Wolf“-Klasse übertragen, die ihrerseits wiederum eine außerordentliche Entwicklung der Schweißung im Kreuzer- und Schlachtschiffbau zur Folge hatten. Die Reichsmarine, der die großzügige Anwendung der Schweißtechnik im Schiffbau ganz allgemein zu verdanken ist, wandte dann erstmalig die Schweißung beim Kreuzer „Emden“ und später bei den Kreuzern „Köln“, „Königsberg“, „Leipzig“ und „Karlsruhe“ in mit der Baufolge gesteigertem Umfang an.

Als Beispiel für viele andere sollen die Abb. 277 und 278 gelten<sup>1</sup>. Wichtige Konstruktionseinzelheiten, und zwar die Bodenwrange und der Spant eines

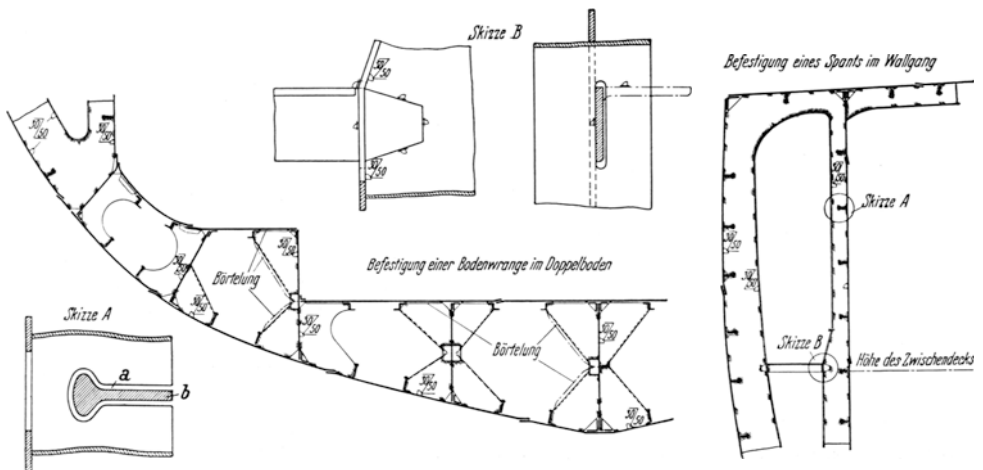


Abb. 277. Bodenwrange und Spant eines Torpedoboots, geschweißt.

geschweißten Torpedoboots, sind in Abb. 277 dargestellt. Die gesamte Konstruktion ist in allen ihren Teilen geschweißt. Zum besseren Verständnis sind die durch die Schottenwände durchgesteckten und mit diesen ringsum verschweißten Längsbänder in Skizze A herausgezeichnet. Bei *a* sind die Kehlnähte an den Schotten, bei *b* die abschnittweisen Schweißnähte an der Außenhaut angeordnet. Die Konstruktion entspricht der vorhin geschilderten Längsspannenbauweise.

Das Schott eines Panzerkreuzers zeigt Abb. 278. Es ist im Sinne der Abb. 270 *e* und *f* (siehe auch Schnitte *A—A* und *E—E*) durch Fischbauchträger versteift. Bei dünneren Schottenblechen wird außerdem die Versteifung des Bördelstoßes *D—D* ausgenutzt.

Die zur Aufnahme der Beplattung dienenden Decksbalkenfelder von Kriegsschiffen werden aus Längs- und Querbalken hergestellt, die aus Blech-T-Trägern mit unterbrochenen Kehlnähten bestehen. Die Deckbeplankung wird über Kopf durch Heftschweißung befestigt.

<sup>1</sup> Siehe auch Lottmann: Schiffbau. Band 5 der ausgewählten Schweißkonstruktionen, VDI-Verlag 1933, dem diese Bilder entnommen sind.

Je nach Abmessungen und Art der Kriegsfahrzeuge ergibt die Schweißung eine mehr oder weniger größere Gewichtsersparnis, die z. B. bei Panzerkreuzern den ansehnlichen Betrag von 18÷25 vH ausmacht. Wie weit die Ersparnis bei Kriegsschiffeinzelteilen gehen kann, geht aus einem Bericht über den Bau des Kreuzers „New Orleans“ (USA.) hervor, der 180 m lang und 19 m breit ist und

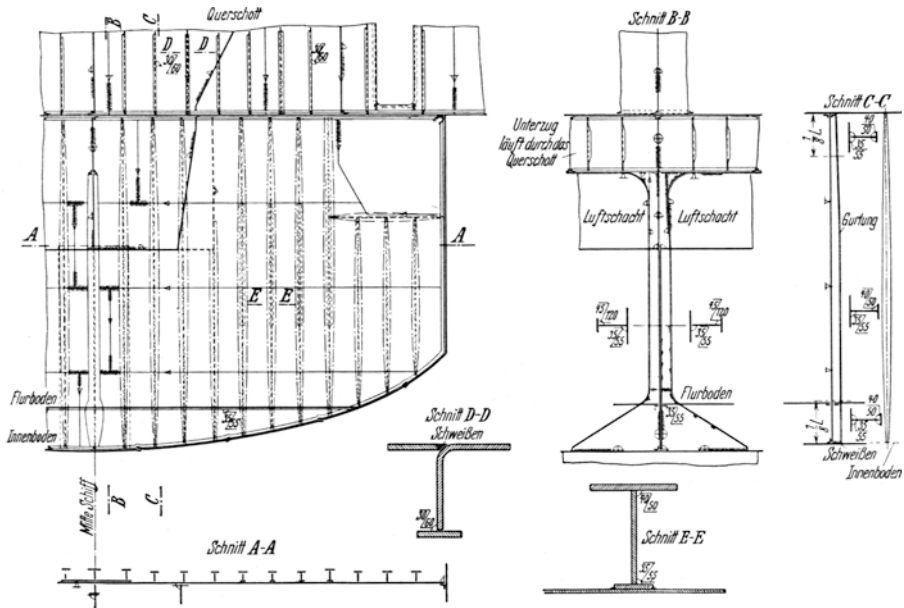


Abb. 278. Geschweißtes Querschnitt eines Schlachtschiffs.

einen Tiefgang von 6,9 m hat. Der Steven dieses fast ganz geschweißten Schiffes ergab in geschweißter Ausführung (gegenüber Stahlguß) eine Gewichtsersparnis von 62,3 vH und eine Kostenverminderung um 46 vH.

#### f) Stahl-, Stahlhoch- und Brückenbau.

**Allgemeines über Stahlbauschweißung.** Ebenso wie im Maschinen- und Schiffbau hat die Schweißung auch auf den Stahlbau großen Einfluß gewonnen. Nicht nur die konstruktive Durchbildung der Bauelemente als solcher, sondern auch die praktische Ausführung der Bauwerke ist grundlegend gewandelt worden. Sowohl in der Werkstatt als auch auf der Baustelle mußten neue Wege beschritten werden, um die Vorteile des Schweißens zur Auswirkung kommen zu lassen.

Ausgehend von der Konstruktionsarbeit im Büro erkennt man die Vereinfachung der Berechnung der Verbindungen und ihre klare übersichtliche Darstellung durch Schweißzeichen in den Werkstattzeichnungen. Die Schweißtechnik gibt dem Konstrukteur ein Mittel an die Hand, besser als bisher die äußeren Formen der Bauglieder den in ihnen wirkenden Kräften weitgehend anzupassen. Hierdurch und durch die Anwendung des Schweißens überhaupt ist es möglich, das Eigengewicht des Bauwerkes herabzumindern.

Infolge der Vereinfachung der Bauglieder ist der Zusammenbau in der Werkstatt ebenfalls vereinfacht worden, obwohl mitunter besondere, der Eigenart der Schweißung angepaßte Vorrichtungen und Arbeitsweisen nötig sind. Trotzdem kann bei der Montage und bei gewissen Bausystemen auf Schraubenverbindungen

nicht verzichtet werden. Durch Vereinigung dieser beiden Verbindungsmittel lassen sich auch schwierige Konstruktionen überbrücken.

Für die Frage der Anwendung der Schweißung im Stahlbau sind neben der Gewichtersparnis selbstverständlich die Gestehungskosten von ausschlaggebender Bedeutung, wclch letztere, wenn auch seltener, zugunsten der Nietung entscheiden.

Dem Stahlbau muß die Anerkennung zugesprochen werden, daß er als erster Berechnungsgrundlagen für die Bemessung von Schweißnähten aufstellte und diese kürzlich in erweiterter und in einer der Entwicklung der Schweißtechnik angepaßten Form in den „Vorschriften für geschweißte Stahlbauten DIN 4100“ niedergelegt hat.

**Förderanlagen.** Die Fachwerkkonstruktionen von Dreh-, Schwenk- und Laufkränen, von Baggern und Verladebrücken und ähnlichen Förderanlagen werden trotz oft stärkster dynamischer Beanspruchung häufig völlig geschweißt. So zeigt die Abb. 279 das Fachwerk eines 5-t-Krans in einer geschweißten Aus-



Abb. 279. Fachwerk eines geschweißten 5-t-Krans.

führung, wie sie sich bei der Ablösung des Nietens durch das Schweißen ergab. Bei richtiger Wahl der Stabquerschnitte wären die Knotenbleche wahrscheinlich vermeidbar gewesen. Auch die Anordnung der Stabanschlüsse entspricht nicht mehr der heute üblichen.

Die Anwendung der Schweißtechnik im Großbaggerbau veranschaulicht Abb. 280, wobei es sich um den größten, und zwar völlig geschweißten Bagger Europas handelt, von dessen riesenhaften Abmessungen und Leistungen man sich nur an Hand einiger Zahlen eine Vorstellung zu machen vermag. Die 40 Eimer des Doppeltor-Schwenkbaggers nehmen je 1100 l Inhalt auf. Die Gesamtleistung beträgt 1400 m<sup>3</sup> je Stunde. Die Gesamtabtragungshöhe beträgt 50 m bei 50° Schnittwinkel. Das Fahrgestell läuft auf zehn vierachsigen Drehgestellen mit 80 Rädern. Die Baulänge des Fahrzeugs beträgt 17 m, die Gesamtbaulänge 75 m. Der zweistielige Rahmen, der den Bagger aufnimmt und nach neuzeitlichsten Grundsätzen ausgebildet ist, das Fachwerk der beiden Ausleger, das Maschinenhaus, der Führerstand, die Baggereimer usw. sind geschweißt.

**Fachwerke.** Die Anpassung der Konstruktion an die Eigenart der Schweißung kommt am deutlichsten in der Ausbildung der Profile und Anschlüsse zum Ausdruck. Bei genieteten Konstruktionen war der Winkel zum Bilden eines zu-

sammengesetzten Querschnittes unerlässlich. Die geschweißte Verbindung bedarf seiner nicht mehr oder nur als selbständigen Stabquerschnitts. Die erforderlichen Stabquerschnitte werden aus unter sich durch Schweißung verbundenen



Abb. 280. Geschweißter Doppeltor-Schwenkbagger.

Walz- und Flacheisen entwickelt. Die häufige Anwendung von Halbprofilen ist eine Eigenart der geschweißten Konstruktionen. In Abb. 281 *a-k* sind einige schweißgerechte Profile zusammengestellt, wie sie sich aus der Verbindung zwischen

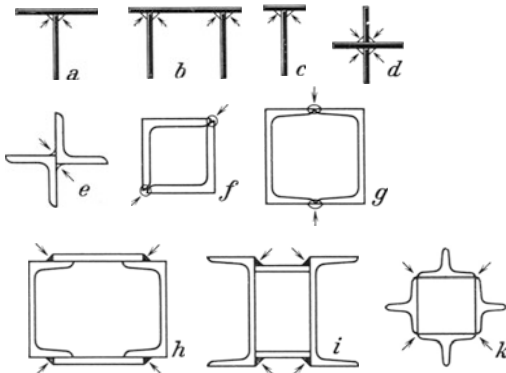


Abb. 281. Durch Schweißung entstandene Konstruktionsprofile.

Blechen, zwischen Formeisen oder zwischen Blechen und Formeisen ergeben. Die Einfachheit der Profile erübrigt weitere Erläuterungen.

Durch die Anordnung solcher oder ähnlicher Querschnitte, insbesondere von einsteigigen T-Profilen, ist häufig die Möglichkeit gegeben, Stabverbindungen ohne Knotenbleche herzustellen, wodurch die statischen Voraussetzungen (gelenkige Knotenpunkte) besser erfüllt und Nebenspannungen durch Knotenbleche vermieden werden können. Aber nicht nur die Stabquerschnitte an sich, sondern auch die

Ausbildung von Laschen, Bindeblechen, Pfettenbefestigungen u. a. werden der Schweißung angepaßt. Die in den letzten Jahren ausgeführten geschweißten Bauwerke lassen hinsichtlich ihrer allgemeinen Durchbildung bereits eine völlige Umstellung auf die Anforderungen der Schweißung erkennen.

Als Beispiel sei der vollständig geschweißte Fachwerkbinder der Abb. 282 gebracht, dessen Stäbe durchweg doppelwandig ausgeführt sind. Der gedrückte Obergurt hat einen Querschnitt aus Flacheisen mit Druckplatte und angeschweißten Bindeblechen. Die übrigen Stäbe bestehen aus Walzeisen, an die die Bindebleche

ebenfalls angeschweißt sind. Die spärliche Verwendung von Knotenblechen kann als eine Folge der geschweißten Konstruktion angesehen werden. Die Abbildung veranschaulicht die Binderkonstruktion während einer Probelastung.

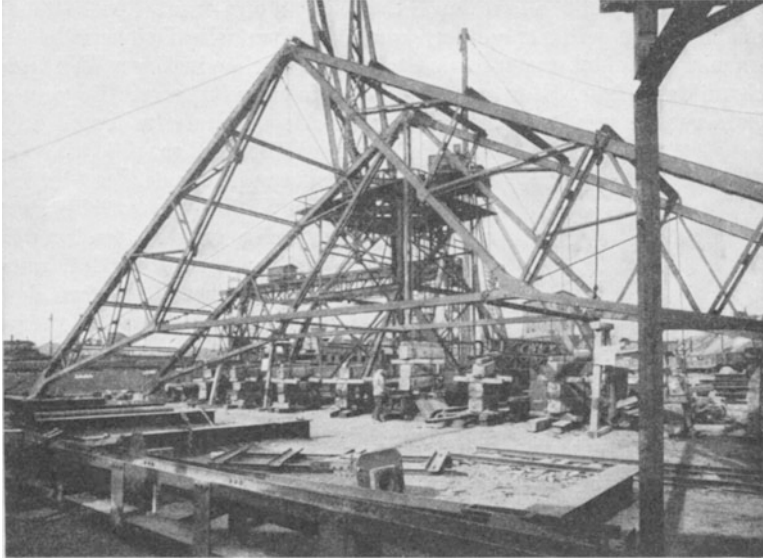


Abb. 282. Schweißkonstruktion eines Fachwerkbinders (Probelastung).

**Vollwandkonstruktionen.** Eine auffällige Umstellung lassen geschweißte vollwandige Konstruktionen erkennen, die wesentlich vereinfacht worden sind. Verschiedene geschweißte Rahmenecken sind in den Abb. 283 ÷ 285 schematisch dargestellt. Bei der in Abb. 283 veranschaulichten Rahmenecke ist der Oberflansch des Walzeisenriegels *a* über den Querschnitt des Stiels *b* hinweggeführt und mit diesem ringsum verschweißt. Die Vorteile des geschweißten Profils kommen besonders in Abb. 284 zum Ausdruck, wo Stiel *a* und Riegel *b* in ihrem Querschnitte dem Kräfteverlauf angepaßt und mit einem abgerundeten Einsatzstück *f* gestoßen sind. Der Stoß der Stege wird im vorliegenden Falle durch je zwei Laschen *c* gedeckt und die Gurtlaschen *d* um das Einsatzstück herumgeführt. Eine zusätzliche Versteifung des Einsatzbleches *f* wird durch beiderseits eingeschweißte und radial angeordnete Versteifungsbleche *e* erzielt.

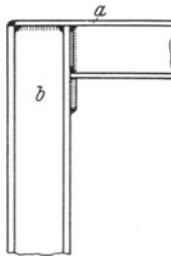


Abb. 283.

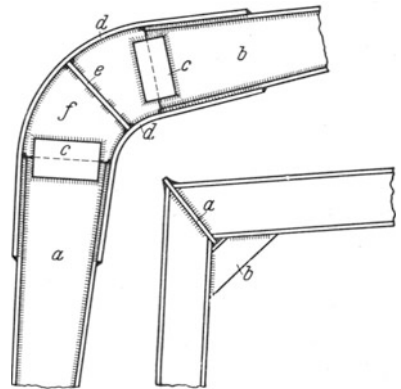


Abb. 284.  
Geschweißte Rahmenecken.

Abb. 285.

Die Rahmenecke nach Abb. 285 ist insofern bemerkenswert, als ein zwischen die abgeschrägten Profile gestecktes Blech *a* auf der Oberseite um etwa doppelte Blechdicke herausragt, so daß die beiden Flanschen der Träger an dieses durch

Kehlnaht angeschlossen werden können. Das Anbringen der Kehlnähte an den unteren Flanschen wird durch Abschrägung des überstehenden Bleches *a* erleichtert. Der Versteifung der Rahmenecke dient das an die unteren Trägerflanschen angeschweißte Blech *b*. Solche und ähnliche geschweißte Vollwandrahmenkonstruktionen haben sich nicht allein im Industrie-, Wohn- und Geschäftshausbau in steigendem Maße eingeführt, sondern auch die Deutsche Reichsbahn hat Bahnsteighallen und -überdachungen sowie Stellwerksbrücken in dieser Weise ausgeführt.

**Geschweißte Träger.** Bei geschweißten Vollwandträgern, die vor allem im Brückenbau zur Anwendung kommen, wird das unversteifte Profil zunächst in der Weise hergestellt, daß man je eine Gurtplatte mit einem Blechsteg im Sinne der Skizze Abb. 286 verschweißt. Um Verwindungen des Profils während der Schweißung zu verhüten, werden besondere Spannvorrichtungen verwendet, unter denen die in Abb. 286 angedeutete insofern den Vorzug verdient, als sie gleichzeitig eine bequeme Veränderung der Lage des Trägers während der Arbeitsausführung ermöglicht. Zwei Blechscheiben, deren Durchmesser und Dicke sich nach der Bemessung des Profils zu richten haben, erhalten in der Mitte eine rechteckige Aussparung, in die der Blechsteg

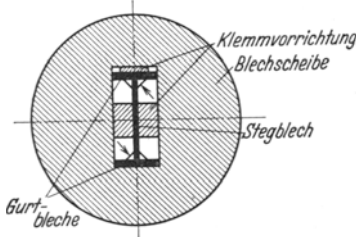


Abb. 286. Einspannvorrichtung für das Schweißen von Trägerprofilen.

und die Gurtungen gut hineinpassen und allseitig verkeilt werden. Durch Rollen dieser Einspannscheiben kann der Schweißer die für die Durchführung seiner Arbeit jeweils günstigste Stellung des Trägers zur Elektrode erzielen.

**Stahlskelettbau.** Auch aus dem Gebiete des Stahlskelettbaus können hier nur wenige für die Schweißtechnik sinnfällige Konstruktionseinzelheiten gebracht

werden. Die durch die Anwendung der Schweißung z. T. auffällig vereinfachte Anschlußmöglichkeit der Deckenträger an die Geschoßbaustützen kommt in der Abb. 287 zur Geltung. In den meisten Fällen genügt das Aufschweißen einer Knagge aus Stahlblech (*a* in Abb. A und B). Um eine gute waagerechte Auflagerung des Trägers auf der Stütze zu erreichen, werden Druckstücke *b* vorgesehen; der Oberflansch des Trägers wird mit der Stütze durch Stumpfnahht verbunden. Um die Stützen zur

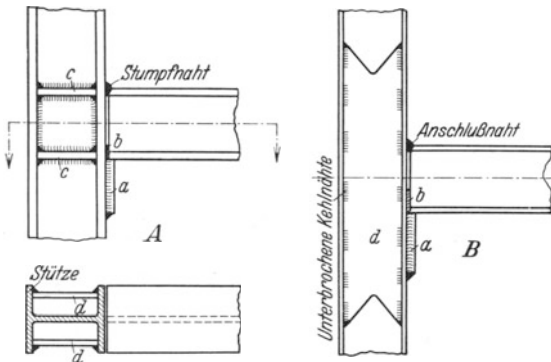


Abb. 287. Anschluß von Deckenträgern an Geschoßbaustützen.

Aufnahme der Momente im Knotenpunktsbereich steifer zu machen, werden waagerechte und senkrechte Rippen *c* und *d* in die Stützenprofile eingeschweißt. Eine besonders günstige Form der Stielversteifung zeigt Abb. B bei *d*.

Noch steifere Verbindungen von Deckenträgern und Stützen erhält man durch unmittelbares Verschweißen des Trägers mit dem Stützenflansch. Je nach dem Grade der Einspannung liegen für sehr starre Verbindungen nur geschweißte Ausführungen vor, während für weniger starre Verbindungen Schweißung und Schraubenverbindung gemeinsam angewendet werden. Um die mitunter nicht einfache Baustellenschweißung zu vermeiden, zieht man vielfach in solchen Fällen in den Deckenträgern, Stützen usw. die Schraubenverbindungen vor. Die in den

Wänden liegenden Bauglieder, z. B. Wandriegel, werden mit den Stützen durch Kehlschweißungen verbunden.

Eine wesentliche Umstellung ergab die Schweißung in der Auflagerung von eingespannten Pendelstützen. Dem Konstrukteur sind hier die mannigfachsten Baumöglichkeiten gegeben, wobei die geringen Bauhöhen und die damit verbundene Gewichtersparnis besonders hervorzuheben sind. Der in Abb. 288 dargestellte Stützenfuß<sup>1</sup> besteht aus einem Peiner Normalprofil, das die Last auf die Fußplatte überträgt. Diese wird auf Biegung und Abscheren beansprucht, weshalb es nötig ist, sie durch Fuß- und Kragbleche zu versteifen. In genieteteter Ausführung wiegt der gleiche Stützenfuß von gleicher Festigkeit 730 kg, in geschweißter Ausführung nur 390 kg; außerdem ist die geschweißte Konstruktion in der Bauhöhe um 150 mm niedriger gehalten, was die Vorteile der Schweißung gegenüber der Nietung erhärtet. Es sei noch erwähnt, daß auch die Trägerroste und Verankerungen der Stützenfüße geschweißt werden können.

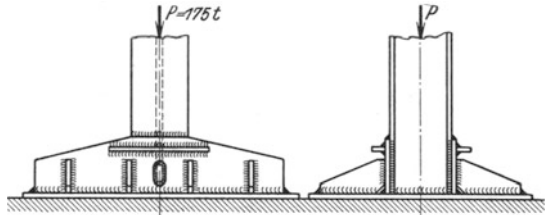


Abb. 288. Geschweißter Stützenfuß.

**Allgemeines über Brückenbau.** Im Hinblick darauf, daß im Brückenbau neben den statischen erhebliche dynamische Beanspruchungen zu berücksichtigen sind, ist es verständlich, daß man zunächst nur mit Zurückhaltung an die Anwendung der Schweißung heranging. Außerdem ergaben sich infolge der damals noch vorgeschriebenen niedrigen Spannungen für Schweißverbindungen Schwierigkeiten, die auftretenden Kräfte durch Schweißnähte folgerichtig aufzunehmen. Aus diesen Gründen wurden anfänglich lediglich Querträger, Längsträger, Schlinger- und Windverbände, Fußwege und Geländer geschweißt, während die Hauptträger und ihre Knotenpunkte in genieteteter Ausführung hergestellt wurden. Die günstigen Erfahrungen, die man mit der Schweißung im allgemeinen Stahlbau gemacht hat, die Entwicklung der Schweißung als solcher und des Elektrodenwerkstoffs führten bald zu vollständig geschweißten Brückenkonstruktionen, von denen im In- und Auslande eine größere Anzahl zu verzeichnen ist.

**Fachwerkbrücken.** Zur Ausnutzung der Vorteile, die durch die Schweißung geboten werden, ist eine ihr angepaßte zweckmäßige Durchbildung der Hauptträgerstäbe bei Fachwerkbrücken von besonderer Bedeutung. Gleich genieteten Konstruktionen werden sowohl einwandige Querschnitte als auch doppelwandige Kastenquerschnitte in Schweißkonstruktion ausgeführt. Die einwandigen Querschnitte sind bei kleineren und mittleren Brücken am Platze, da sie neben Herstellung eine günstige Ausbildung der Knotenpunkte mit den verschiedenen Stabanschlüssen ermöglichen. Für die Stabanschlüsse werden fast durchweg einfache Bleche benutzt, wenn nötig bis zu einer Dicke von 30 mm, so daß ohne weiteres der erforderliche Querschnitt erreichbar ist. Bei kleineren Brücken mit einwandigem Querschnitt ist auch die Verwendung halbiertes I- oder IP-Träger, die zu diesem Zwecke besonders gewalzt werden, angebracht, sofern eine Ausnutzung des vorhandenen Querschnittes gewährleistet ist. Bei nicht so hohen Anschlußkräften und zweckentsprechender Bemessung der Stäbe ist es häufig — wie im Stahlhochbau — möglich, ohne Knotenbleche auszukommen. Sind die erforderlichen Schweißnähtlängen größer als der zur Verfügung stehende Steg

<sup>1</sup> Eine Sammlung vorbildlicher Konstruktionsbeispiele findet sich in: Der praktische Stahlbau von A. Gregor, Band 4, geschweißte Stahlbauten. Berlin: Verlag R. Kiepert, 1932.



des Gurtstabes, so kann auf Knotenbleche nicht verzichtet werden. Ihre Anordnung kann auf verschiedenste Weise erfolgen. Entweder werden die Gurtstäbe an ein Knotenblech — ähnlich wie beim Nieten — angeschlossen, und das Blech wird an den Steg der Gurtstäbe angeschweißt, oder man läßt die Füllstäbe auf den Steg des Ober- bzw. Untergurtes auflaufen, schweißt sie auf diesen, soweit die örtlichen Verhältnisse es gestatten, fest und verlängert den Steg durch ein angeschweißtes Blech, um die noch fehlenden Längen der Anschlußkehlnähte unterzubringen. Den auffälligen Gegensatz zwischen einer genieteten und einer geschweißten Fachwerk-konstruktion zeigt Abb. 289. Die Einfachheit des geschweißten Knotenpunktes ist unverkennbar. Das Bild zeigt, daß der kastenförmige Querschnitt des Obergurtes in der geschweißten Ausführung durch einen einwandigen T-Querschnitt ersetzt worden ist. Im Gegensatz zur genieteten Ausführung liegt das Knotenblech in der Ebene des Steges des Obergurtes und wird mit diesem durch eine V- bzw. X-Naht verbunden. Ebenso stoßen die Haupttragbleche der Füllstäbe stumpf gegen das Knotenblech. Auch die Kopfplatte des Obergurtes ist mit der Kopfplatte des Knotenbleches

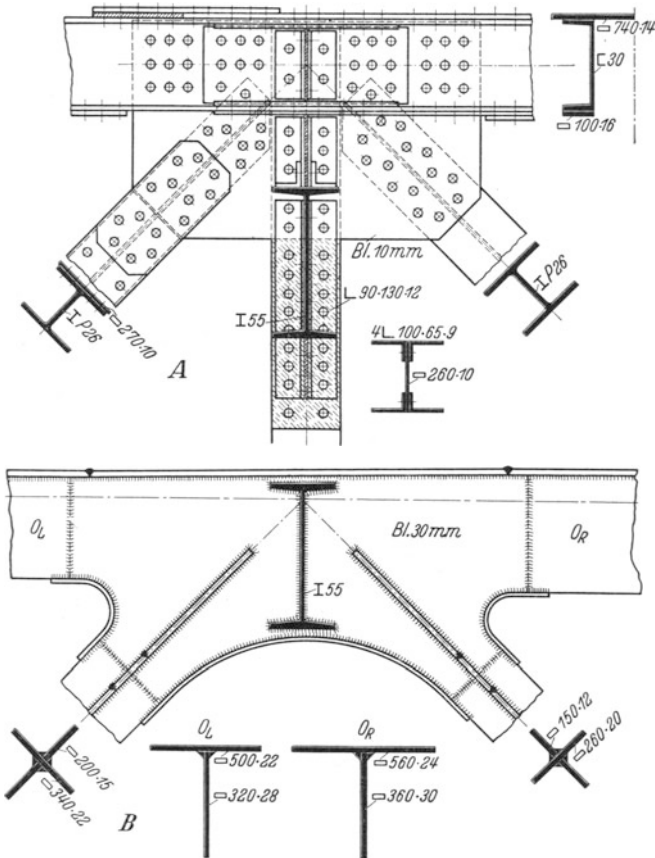


Abb. 289. Genieteteter und geschweißter Knotenpunkt im Brückenbau.

stumpf gestoßen. Die eigenartige Form des Knotenbleches ist gewählt worden, um eine möglichst gute Spannungsverteilung im Anschluß zu erzielen. Zur Versteifung und zur Verhütung des Aufreißens der Stumpfnahte sind noch Flach-eisen hochkant um den Rand des Knotenbleches herumgelegt.

Wie bereits angedeutet, bietet das Schweißen der Fahrbahn kaum noch Schwierigkeiten. Die meist vollwandigen Querträger werden nach den gleichen Gesichtspunkten hergestellt, die für vollwandige Brücken entscheidend sind; hierauf wird noch eingegangen. Der Anschluß der Längsträger, für die meist Walzprofile verwendet werden, an die Querträger wird ebenfalls durch Kehlnähte an den Stegen und Flanschen hergestellt, wobei der Längsträger zweckmäßig auf einer angeschweißten Auflagerknagge oder auf einem Auflegewinkel ruht (s. Abb. 290). Auch bei durchlaufenden Längsträgern ergeben sich keine Konstruktionsschwierigkeiten. Wind-, Schlinger- und Bremsverbände sind ohne

weiteres schweißgerecht ausführbar. Dasselbe gilt auch für die seitlich auskragenden Fußwege mit Geländern, Rohrleitungen usw. Sofern die Fahrbahn-decke bei Straßenbrücken nicht aus Eisenbeton besteht, ist das Anschweißen der Belageisen oder der Buckelbleche gleichfalls vorteilhaft. Bei Eisenbahnbrücken

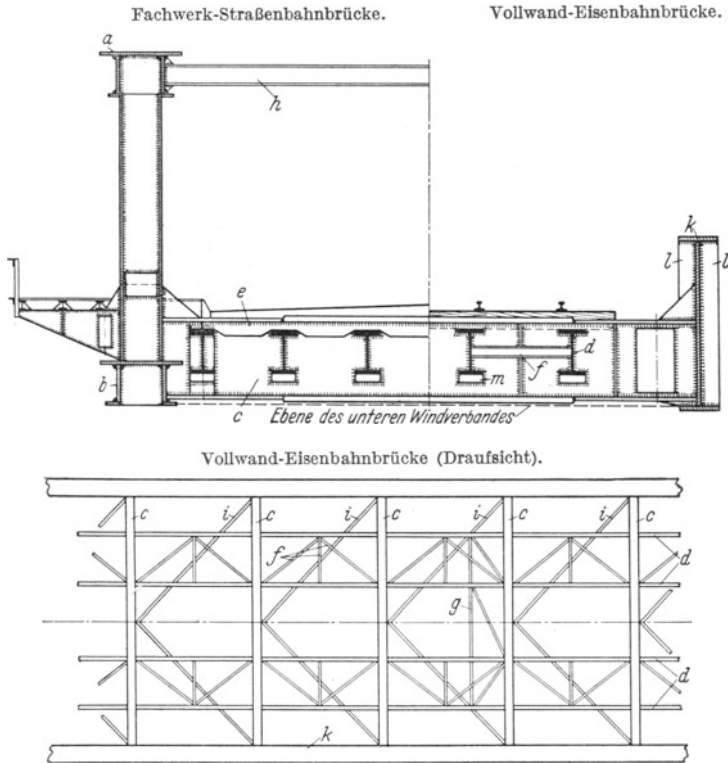


Abb. 290. Schematische Darstellung geschweißter Brücken.

*a* = Hauptträger Obergurt; *b* = Hauptträger Untergurt; *c* = Querträger; *d* = Längsträger; *e* = Buckelbleche; *f* = Schlingerverband; *g* = Bremsverband; *h* = oberer Windverband; *i* = unterer Windverband; *k* = vollwandiger Hauptträger; *l* = Versteifungsbleche; *m* = Auflagerbleche.

mit durchgehender Bettung werden die Buckelbleche und bei offenen Brücken die Schwellenbefestigung auf den Längsträgern schon seit längerer Zeit geschweißt.



Abb. 291. Geschweißte Vollwandbrücke.

**Vollwandbrücken.** Die Fahrbahn einer völlig geschweißten Vollwandbrücke mit Buckelblechen veranschaulicht Abb. 291. Der Träger ist der leichteren Be-

förderung halber zwischen Sonderfahrzeugen hochkant aufgestellt und deshalb deutlich zu erkennen. Wie in anderen Konstruktionseinzelheiten hat die Schweißung auch die Ausbildung der Hauptträger von Vollwandbrücken erheblich beeinflusst. Die weniger günstige, anfänglich übliche Art des Anschweißens der Gurtwinkel an die Stegbleche und Gurtplatten ist heute gänzlich verlassen worden. Gurtplatten werden unmittelbar an den Steg ohne Zwischenglieder angeschweißt. Eine weitere Ausführung ist die, daß man halbierte Normalprofile, Peiner- oder Halbprofile beiderseits stumpf an ein Stegblech von gleicher Dicke wie die Profilstege anschweißt und dadurch die zur Erlangung des erforderlichen Trägheits- und Widerstandsmomentes notwendige Höhe erzielt. Die Skizze in Abb. 292a veranschaulicht dies. Außerdem werden heute sog. Nasenprofile verwendet, Abb. 292b, die ein Verziehen der Gurtplatten beim Schweißen verhindern sollen.

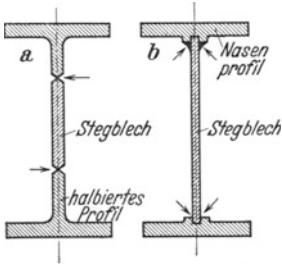


Abb. 292. Beispiele geschweißter Trägerprofile.

Während man früher entsprechend der Momentenlinie des Trägers die Gurtplatten aufeinander packte, hat man sich der Eigenart der Schweißung angepaßt und verwendet häufig nur eine dickere Gurtplatte, die entsprechend dem Momentenverlauf in verschiedene Längen von verschiedener Dicke unterteilt und unter sich stumpf verschweißt werden, wobei nötigenfalls Laschenverstärkungen vorgesehen werden können, s. Abb. 293.

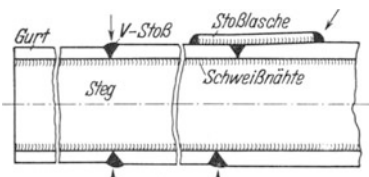


Abb. 293. Gurtplattenstöße.

Stegstöße können, ähnlich wie in Abb. 284 bei c gezeigt, durch V- oder X-Naht miteinander verbunden oder mit Hilfe zweier angeschweißter Stoßlaschen hergestellt werden.

Die neuzeitige Bauweise einer gänzlich geschweißten Vollwandbrücke zeigt Abb. 294. Die auf der Kohlenabsturzbrücke stehenden Großraumwagen sind

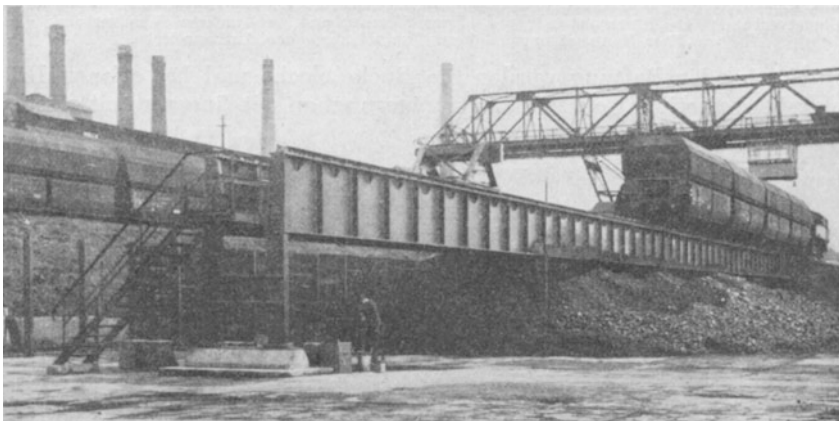


Abb. 294. Gänzlich geschweißte Vollwandbrücke.

ebenfalls geschweißt worden. Die Hauptträger der Brücke, die zugleich Schienenauflager sind, bestehen aus einem Stahlblech mit je einer oberen und unteren

Gurtplatte. Von Auflager zu Auflager sind die Träger durch Versteifungsbleche (s. auch Abb. 290 I) in zehn gleiche Felder unterteilt. Die Versteifungsbleche sind mit durchlaufenden Kehlnähten an die Gurte und Stegbleche angeschweißt. Der gedrückte Obergurt ist in jedem Einzelfeld nochmals gegen den Steg abgesteift, um sein Verwinden zu verhindern. Bemerkenswert ist noch die Konstruktion der Auflager, besonders die Rahmenkonstruktion des im Bilde deutlich sichtbaren Endauflagers.

**Brückenverstärkung.** Die ständig steigenden Verkehrsbeanspruchungen machen häufig die Verstärkung genieteter Brücken, die diesen Beanspruchungen nicht mehr gewachsen sind, notwendig. Man hat daher die mit der Schweißung gemachten Erfahrungen auch auf die Verstärkung von Brücken übertragen. Die Verstärkung einer genieteten Diagonalen durch das Aufschiessen von Hochkantflacheisen bringt

Abb. 295. In *a* ist der ursprüngliche Zustand der genieteten Konstruktion, in *b* ihr Aussehen nach angebrachter Verstärkung dargestellt.

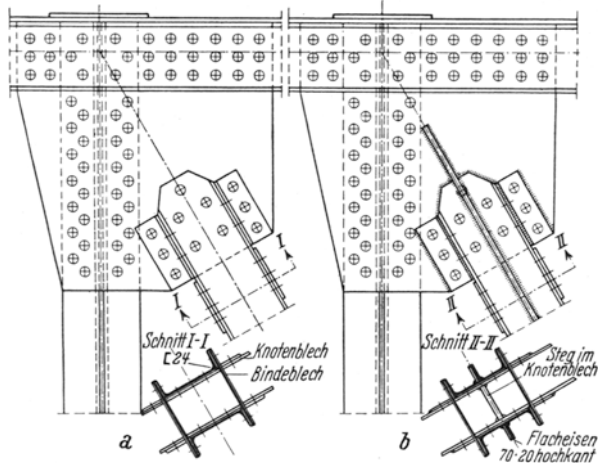


Abb. 295. Brückenverstärkung durch Schweißung.

**Berechnungsbeispiele.** Unter Berücksichtigung der für den Stahlbau gültigen Vorschriften (DIN 4100) ergeben sich für die Berechnung von Schweißnähten verhältnismäßig einfache Ansätze. Zur Einführung sollen einige einfache, häufig wiederkehrende Beispiele angeführt werden.

**1. Beispiel.** Berechnung des Anschlusses eines Winkels an einen Obergurt. Gegeben ist der in Abb. 296 dargestellte Anschluß des  $\sphericalangle 65 \cdot 130 \cdot 10$

mit einer Zugkraft  $P = +21,0$  t. Der Abstand der Winkelschwerlinie beträgt nach der Tabelle:  $e_1 = 4,65$  cm;  $e_2 = 8,35$  cm. Der Werkstoff ist St 37 mit  $\sigma_{zul} = 1,4$  t/cm<sup>2</sup>.

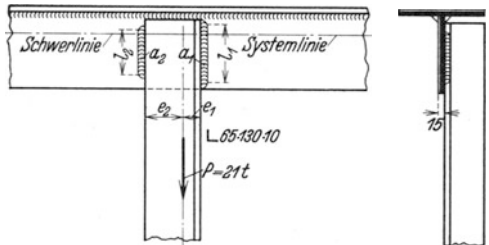


Abb. 296. Anschluß eines Winkels an einen Obergurt.

Nach den Vorschriften ist:  $\rho_{zul}$  (für Kehlnähte) =  $0,65 \sigma_{zul} = 0,910$  t/cm<sup>2</sup> und  $\alpha_{max} = 0,707$   $t_{min} = 0,707 \cdot 1,0 = 0,7$  cm.

Die Schwerachse der Kehlnähte muß mit der Winkelschwerachse übereinstimmen. Zweckmäßig wählen wir für  $a_1 = 0,7$  cm, und entsprechend der Abrundung des Winkels für  $a_2 = 0,5$  cm.

Da  $\rho = \frac{P}{F_{schw}}$  und  $F_{schw} = \sum a \cdot l$  ist, werden die erforderlichen Nahtlängen:  $l_1 = \frac{P}{a_1 \left(1 + \frac{e_1}{e_2}\right) \cdot \rho_{zul}}$  und  $l_2 = \frac{P}{a_2 \left(1 + \frac{e_2}{e_1}\right) \cdot \rho_{zul}}$ .

Setzt man in diese Formeln die entsprechenden Zahlenwerte ein, dann ist

$$l_1 = \frac{21,0}{0,7 \cdot \left(1 + \frac{4,65}{8,35}\right) \cdot 0,91} = 21,2 \text{ cm}; \quad l_{1\text{zul}} = 40a = 28 \text{ cm}.$$

$$l_{1\text{wirkl}} = l_1 + 2a \text{ (Endkrater = } a) = 21,2 + 2 \cdot 0,7 = 22,6 \text{ cm}.$$

$$\text{Ferner ist } l_2 = \frac{21,0}{0,5 \left(1 + \frac{8,35}{4,65}\right) \cdot 0,91} = 16,6 \text{ cm}; \quad l_{2\text{zul}} = 20,0 \text{ cm}.$$

$$l_{2\text{wirkl}} = l_2 + 2a = 16,6 + 2 \cdot 0,5 = 17,6 \text{ cm}.$$

Die in den Nähten vorhandene Spannung infolge von  $P$  ist:

$$q_{\text{vorh}} = \frac{P}{F_{\text{schw}}} = \frac{21,0}{0,7 \cdot 21,2 + 0,5 \cdot 16,6} = \frac{21,0}{23,14} = 0,905 \text{ t/cm}^2, \quad q_{\text{zul}} = 0,910 \text{ t/cm}^2.$$

Das Rechnungsergebnis zeigt, daß die zulässige Beanspruchung der Nähte im vorliegenden Beispiel nicht überschritten wird. Die größte Länge  $l_1$  ist durch die Konstruktion begrenzt, wodurch man genötigt ist, für  $a_1$  den höchstzulässigen Wert ( $a = 0,7$  t) einzusetzen. In der Praxis ist man bestrebt, für  $a$  den geringsten möglichen Wert mit dem größtzulässigen Wert für  $l$  einzusetzen, da hierdurch bei gleichbleibendem Querschnitt an einzuschmelzendem Werkstoff (Elektroden) gespart werden kann.

**2. Beispiel.** Berechnung eines Walzträgerstoßes mit Stoßblech. Gegeben ist ein  $\text{IP 20}$  (Peiner) von  $l = 2$  m entsprechend Abb. 297. Das Stoßblech ist  $220 \cdot 20$  mm. Die Einzellast  $P = 5,9$  t wirkt in der Mitte, also an der ungünstigsten Stelle.

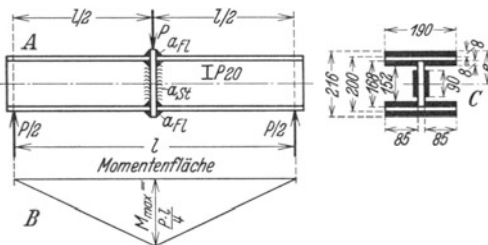


Abb. 297. Walzträgerstoß mit Stoßblech.

Das im Stoß auftretende Biegemoment  $= M_{\text{max}} = \frac{P \cdot l}{4} = \frac{5,9 \cdot 200}{4} = 295$  cmt. Für die Flanschnähte  $a_{Fl}$  wird 0,8 cm angenommen, für die Stegnähte  $a_{St} = 0,5$  cm. In Skizze C sind die Dicken der Schweißnähte in ihre Anschlußebenen umgeklappt.

$$F_{\text{schw}} = (2 \cdot 19,0 + 4 \cdot 8,5) \cdot 0,8 + 2 \cdot 0,5 \cdot 9,0 = 57,6 + 9,0 = 66,6 \text{ cm}^2.$$

$$J_{\text{schw}} = \frac{1}{12} \cdot 19,0 (21,6^3 - 20,0^3) + \frac{1}{12} \cdot 2 \cdot 8,5 (16,8^3 - 15,2^3) = 5032 \text{ cm}^4.$$

$$W_{\text{schw}} = \frac{J_{\text{schw}}}{e_{\text{max}}} = \frac{5032}{10,8} = 466 \text{ cm}^3.$$

Nach den Vorschriften dürfen zur Aufnahme des Momentes nur die Flanschnähte ( $a_{Fl}$ ), zur Aufnahme der Querkraft nur die Stegnähte ( $a_{St}$ ) herangezogen werden.

$$\text{Die Spannung infolge des Momentes: } q_1 = \frac{M}{W_{\text{schw}}} = \frac{295}{466} = 0,63 \text{ t/cm}^2.$$

$$\text{Die Spannung infolge der Querkraft: } q_2 = \frac{P}{F_{\text{schw/steg}}} = \frac{5,9}{9,0} = 0,655 \text{ t/cm}^2.$$

Hieraus ergibt sich eine Gesamtspannung von

$$q_{\text{vorh}} = \sqrt{q_1^2 + q_2^2} = \sqrt{0,63^2 + 0,655^2} = 0,908 \text{ t/cm}^2, \quad q_{\text{zul}} = 0,910 \text{ t/cm}^2.$$

**3. Beispiel.** Berechnung der durchlaufenden Kehlnähte eines Schweißträgers. Gegeben ist laut Abb. 298 ein Stegblech von  $750 \cdot 12$  mm und Gurtplatten von  $200 \cdot 20$  mm. Die Querkraft  $Q = 60,0$  t. Das Trägheitsmoment des gesamten Querschnitts ist:

$$J = \frac{1}{12} (20,0 \cdot 79,0^3 - 18,8 \cdot 75,0^3) = 160\,794 \text{ cm}^4.$$

Das statische Moment der Gurtplatte auf die X-Achse bezogen ist:

$$S = F \cdot y = 20,0 \cdot 2,0 \cdot 38,5 = 1540 \text{ cm}^3.$$

Da es sich um eine durchlaufende Naht handelt, berechnen wir deren Dicke  $a$

für den laufenden Zentimeter. Setzt man  $l = 1,0$  cm, so lautet die Formel:  $a = \frac{Q \cdot S}{J} \cdot \frac{1}{2\varrho}$ ; die errechneten Werte eingesetzt ergibt sich:  $a = \frac{60,0 \cdot 1540}{160\,794} \cdot \frac{1}{2 \cdot 0,910} = 0,32$  cm. Aus praktischen Gründen würde man die Gurtplatte mit  $a = 0,4$  cm an das Stegblech anschließen.

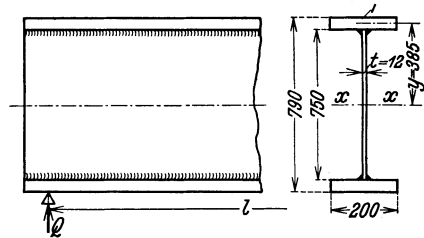


Abb. 298. Schweißträger.

#### 4. Die Schweißung von Stahlguß.

**Werkstoffeigenschaften.** Stahlguß (Stahlformguß) ist ein im Martin-, Tiegel-, Elektroofen oder in der Birne erschmolzener und in Formen vergossener Werkstoff, dessen Zusammensetzung je nach dem Zwecke, dem er zu dienen hat, in weiten Grenzen schwankt. Im allgemeinen enthält er  $0,1 \div 0,8$  vH Kohlenstoff,  $0,2 \div 0,4$  vH Silizium,  $0,2 \div 0,8$  vH Mangan und stets unter  $0,08$  vH Phosphor und unter  $0,03$  vH Schwefel. Die Zugfestigkeit beträgt bei Normalgüte  $38 \div 60$  kg/mm<sup>2</sup>, die Dehnung  $8 \div 20$  vH. Man unterscheidet zwischen Stahlguß für Motoren- und Dynamogehäuse mit geringem Kohlenstoffgehalt ( $0,1 \div 0,15$  vH), solchem für den allgemeinen Maschinen- und Schiffbau mit mittlerem Kohlenstoffgehalt ( $0,25 \div 0,3$  vH) und hartem Stahlguß ( $0,6 \div 0,8$  vH Kohlenstoff), wie er für hochbeanspruchte oder starkem Verschleiß unterworfenen Maschinenteile in Frage kommt.

**Elektroden.** Aus vorgenannter Aufzählung geht hervor, daß für die Schweißung von Stahlguß je nach seinem Kohlenstoffgehalt bzw. seiner Festigkeit verschiedene Elektroden zu verwenden sind. Während für den am leichtesten schweißbaren Stahlguß geringen und mittleren Kohlenstoffgehalts bzw. entsprechender Festigkeit die normalen Flußstahlelektroden im allgemeinen ausreichend sind, müssen für Stahlguß von hoher Festigkeit Sonderelektroden verwendet werden.

**Schweißverfahren.** Das Anwendungsgebiet der Stahlgußschweißung umfaßt vor allem Ausbesserungsarbeiten, wie z. B. die Schweißung von Lunkern, Spannungsrissen, das Ausfüllen von Fehlstellen und Auftragen von Verschleißstellen, weniger die Verbindung von Formstücken unter sich und die Verschweißung von Stahlguß mit gewalztem oder gezogenem Stahl. Der grundsätzliche Unterschied zwischen Stahlguß und Gußeisen besteht darin, daß ersterer Kohlenstoff nur in gebundener Form und in erheblich geringerer Menge enthält als Gußeisen, bei dem der weitaus größte Teil des Kohlenstoffs in Form von Graphit ausgeschieden ist. Obwohl Stahlguß nur schwer blasen- und lunkerfrei zu gießen ist, macht seine Schweißung grundsätzlich keine Schwierigkeiten; sie unterscheidet sich von der des gewalzten Stahles so gut wie gar nicht. Die Vorbereitungsarbeiten entsprechen den bei der Stahlschweißung üblichen, d. h. Risse müssen durch Aus-

kreuzen oder Ausbrennen, Lunker durch Freilegen für den Lichtbogen zugänglich gemacht werden.

Für das zur Anwendung kommende Schweißverfahren, ob Kohle- oder Metalllichtbogen, sind das Ausmaß der Arbeit maßgebend und daneben die jeweiligen Betriebsverhältnisse. So wird in der Stahlgießerei selbst für die Ausbesserung von Lunkern der Kohlelichtbogen häufiger angewandt als in anderen Betrieben. Da außerdem, wie in allen anderen Gußkörpern, mit vorhandenen Gußspannungen gerechnet werden muß, wird eine dem eigentlichen Schweißvorgang voraufgehende Vorwärmung des Stahlgußkörpers nicht immer zu vermeiden sein. Bei der Ausbesserung von Lunkern mit dem Kohlelichtbogen werden meist normale Rundeisenstäbe als Zusatzwerkstoff eingeschmolzen. Sie haben bis zu 15 mm Durchmesser. Die Stromstärke kann 400 A und mehr erreichen bei einer Lichtbogenlänge von bis zu 100 mm, wodurch besonders kurze Schweißzeiten erzielt werden. Die durch das Schweißen entstandenen zusätzlichen Spannungen werden durch ein Spannungsfreiglühen oder Normalglühen (s. Abschnitt IIIC2d) aufgehoben, wobei dem Ausglühen mitunter auch noch die Aufgabe zufällt, harte Übergangszonen zwischen Schweißte und Grundwerkstoff zu beseitigen.

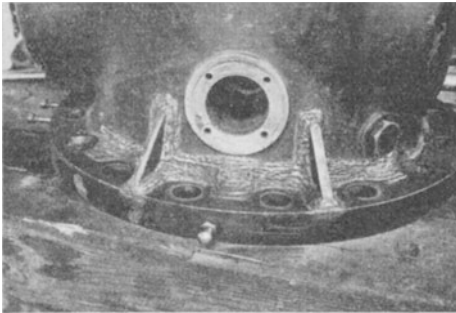


Abb. 299. Geschweißtes Stahlgußgehäuse.

Außerhalb der Stahlgießerei wird der Metalllichtbogenschweißung fast immer der Vorzug gegeben, weil die für das Ausglühen erforderlichen Einrichtungen nur selten vorhanden sind. Der Fortfall des Ausglühens bedingt besondere Vorsichtsmaßnahmen zur Vermeidung neuer Spannungen, hauptsächlich durch Anwendung verhältnismäßig niedriger Stromstärken und demgemäß dünnerer Elektroden. Unterbrochenes und abgesetztes Schweißen ermöglichen ein Niedrighalten von Temperatur und Spannung.



Abb. 300. Oberteil eines Spiralpumpengehäuses vor der Schweißung.

**Schweißbeispiele.** Da die Ausbesserung von Lunkern nichts Besonderes zeigt, ist auf die Wiedergabe entsprechender Bilder verzichtet worden. Die Abb. 299 zeigt ein Stahlgußgehäuse, dessen etwa 50 mm dicker Flansch auf die Hälfte seines Umfanges angerissen war. Der ausgekreuzte Riß wurde mit Stahlelektroden ausgeschweißt und der Flansch mit dem Gehäuse durch im Bilde deutlich sichtbare, rings um verschweißte Rippen verstärkt. — Abb. 300 zeigt das Oberteil eines großen Spiral-

pumpengehäuses, an dem drei Risse fertig zum Schweißen ausgekreuzt sind. Nach der Schweißung wurde das Gehäuse auf 50 at abgedrückt. Schwierigkeiten haben sich im Betriebe nicht ergeben.

## 5. Die Schweißung von Sonderstählen.

**Abgrenzung der Stahlsorten.** Unsere bisherigen Betrachtungen über die elektrische Schweißung von Stahl bezogen sich auf gewöhnliche Bau- oder Konstruktionsstähle, sog. unlegierte Kohlenstoffstähle, die als Normalstähle (Regelstähle) anzusehen sind (St 00.11 bis St 70.11). Im Gegensatz zu den Normalstählen von geringer bis mittlerer Festigkeit (bis St 44.12, mit 0,1 ÷ 0,25 vH Kohlenstoff), die sich leicht und gut schweißen lassen, verursachen Stähle höherer Festigkeit (St 48 ÷ 70.11, mit 0,3 ÷ 0,6 vH Kohlenstoff) Schwierigkeiten und verlangen besondere schweißtechnische Maßnahmen, weshalb hierüber in diesem Abschnitte noch einiges zu sagen ist.

Da auf Grund von Erfahrungen behauptet werden darf, daß weder normale, noch weniger aber hochwertige Werkzeugstähle mit Erfolg lichtbogenschweißbar sind (z. T. allerdings durch Widerstandsschweißung verbindbar), kann die große Gruppe dieser Stähle hier ohne weiteres ausgeschaltet werden. Die Schnellschneidlegierungen, auch unter der Bezeichnung Hartmetalle bekannt, sind ebenfalls nur z. T. widerstandsschweißbar. Für die Lichtbogenschweißung kommen sie selten oder gar nicht in Frage. Sie gehören auch nicht zu den Sonderstählen, da sie Eisen nur in geringen Mengen (als Verunreinigung) enthalten. Nur der Vollständigkeit halber sollen sie hier mit angeführt sein. Es sind Legierungen von Kobalt, Chrom und Wolfram; sie kommen unter der Bezeichnung Stellite (Stellit, Percit, Caedit, Celsit, Akrit usw.) in den Handel. Aus Wolframkarbiden bestehende Schneidlegierungen sind unter dem Namen Widia, Volomit, Miramant usw. bekannt geworden.

Mit den wachsenden Anforderungen an Maschinen und technische Bauwerke aller Art 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 Standpunkte besonders folgende von Interesse: Geringe Wärmeausdehnungszahl, gutes oder schlechtes Wärmeleitvermögen, Verschleißfestigkeit, Korrosionsbeständigkeit (Rostsicherheit), Hitzebeständigkeit (Zunderfestigkeit), hohe Verformbarkeit u. a. m.

Freilich sind auch die Kohlenstoffstähle (Zweistofflegierung Eisen-Kohlenstoff) niemals völlig frei von dritten und weiteren Begleitern, wie z. B. Silizium, Mangan, Phosphor, 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 und mehr Elementen als Zusätze enthalten. Als solche sind hervorzuheben: Silizium, Mangan, Chrom, Nickel, Vanadin, Wolfram und Kupfer.

**Einfluß der Zusätze auf den Stahl und seine Schweißbarkeit.** Wie der Kohlenstoff haben auch die übrigen Legierungselemente die Eigenschaft, mit steigendem Gehalt die Festigkeit des Stahles zu steigern und die Schweißbarkeit zu verringern. Der Sonderstahl ist nicht mehr am Minus-, sondern am Pluspol (an der Elektrode) zu verschweißen. Bei besonders hohen Gehalten an einem oder mehreren Legierungselementen ist selbst die Schweißung am Pluspol nur dann möglich, wenn dickummantelte Elektroden zur Anwendung kommen. Eindeutige Richtlinien lassen sich aber hier nicht aufstellen.

Ein Gehalt von 0,8 ÷ 1,2 vH Silizium erhöht die Festigkeit (Si-Baustahl). Höher silizierter Stahl (1,5 ÷ 4,2 vH Silizium), wegen seiner günstigen magne-



tischen Eigenschaften für Transformatoren- und Dynamobleche gebräuchlich, ist schwieriger schweißbar, da auch Silizium im Lichtbogen leicht oxydiert und außerdem einen trägen Fluß des Schmelzbades verursacht.

Mangan hat desoxydierende Wirkung. Ein Gehalt von  $0,8 \div 2$  vH erhöht die Streckgrenze. Manganstähle dieser Zusammensetzung ergeben gute Schweißen, wenn mit manganlegierten (u. U. molybdän- oder nickel-vanadin-legierten) Elektroden gearbeitet wird. Größere Anteile an Mangan ( $10 \div 14$  vH) liefern einen verschleißfesten und zähen Stahl und erschweren die Schweißung, zumal diese Legierung im rotwarmen Zustande sehr brüchig ist und infolge von Schrumpfspannungen leicht Risse zeigt. Mangan oxydiert im Lichtbogen sehr leicht und hinterläßt gern große Poren, hochmanganlegierte Stähle spielen bei der Auftragsschweißung eine Rolle, z. B. bei der Schienenschweißung.

Reine Chromstähle sind meist sehr schlecht schweißbar, und zwar nimmt die Schweißbarkeit mit steigendem Chromgehalt rasch ab, weil sich nicht schmelzbare Oxyde und Schlacken bilden, die z. T. in der Schweiße abgelagert werden, z. T. auch auf der Oberfläche des Schmelzbades die Durchführung der Schweißung stören. Für die Schweißbarkeit von Chromstählen ist ihr Gehalt an Kohlenstoff von ausschlaggebender Bedeutung. So ist zwar ein Stahl mit 2 vH Kohlenstoff und 12 vH Chrom trotz der hohen Oxydierbarkeit des Chroms schweißbar, während Stähle gleichen Chromgehalts mit nur 0,2 vH Kohlenstoff praktisch nicht schweißbar sind. Die Grenzen der Eisen-Chrom-Legierungen, bei denen sie bei Erwärmung und normaler Abkühlung keine nennenswerten Härtesteigerungen erfahren, liegen etwa wie folgt:

0,10 vH Kohlenstoff bei	~ 17 vH Chrom
0,25 vH	„ „ ~ 24 vH „
0,45 vH	„ „ ~ 30 vH „

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  $800^{\circ}$ ) sehr spröde werden. Nachbehandlung durch Glühen bei  $700 \div 800^{\circ}$  ist nur von geringerem Einfluß auf die Zähigkeit und Festigkeit der Schweiße. Sehr gefördert wird die Schweißbarkeit durch Zusatz von Nickel. Es genügen schon einige Prozente dieses Metalls, um die sonst sehr schwer oder gar nicht schweißbaren Legierungen gut schweißbar zu machen, während dies von reinen Nickelstählen nicht ohne weiteres behauptet werden kann. Stähle vorgenannter Art zählen zur Gruppe der rost-sicheren, unmagnetischen Chrom-Nickel-Stähle (bis 20 vH Chrom und bis 12 vH Nickel).

Ausschließlich mit Vanadin legierte Stähle kommen fast nur im Kesselbau (0,2 vH Vanadin) und bei hochbeanspruchten Schmiedestücken vor. Der geringe Gehalt an Vanadin beeinflußt die Schweißbarkeit kaum merklich. Die Schweißen von Vanadinstählen müssen meist normalisiert werden. Das gilt auch für Molybdän- und Silizium-Mangan-Chrom-Stähle. Man läßt dann die Stähle bis auf Schwarzwärme kalt werden und erhitzt sie wieder auf etwa  $830^{\circ}$ , um sie dann ganz allmählich an der Luft erkalten zu lassen. Die Glüh-temperatur darf jedoch nicht überschritten werden, weil sonst ein grobkörniges Gefüge entsteht.

Geringe Zusätze an Wolfram ( $1 \div 1,5$  vH) steigern die Härte (und Verschleißfestigkeit) des Stahls ohne Einbuße an Zähigkeit. Stähle dieser Art spielen als Elektrodenwerkstoff bei verschleißfester Auftragsschweißung eine Rolle.

Endlich wird neuerdings Kupfer den Baustählen bis zu 0,7 vH zur Erhöhung der Witterungsbeständigkeit zugegeben. Der geringe Kupfergehalt ver-

ursacht praktisch keine besonderen schweißtechnischen Schwierigkeiten, doch ist ein Verlust der Schweiße an Kupfer zu verhindern, da sonst die Witterungsbeständigkeit aufgehoben wird.

**Das Schweißen von Armcoeisen.** Mitunter ist ein möglichst reines Eisen als Baustoff erwünscht. Ein solches ist das unter dem Namen Armcoeisen bekanntgewordene, das fast chemisch rein ist, nur sehr wenig Kohlenstoff und nur geringe Spuren an anderen Begleitern enthält. Armcoeisen ist witterungsbeständig und unter Beobachtung einiger Vorsichtsmaßregeln leicht und sehr gut schweißbar. Es ergibt einen guten Einbrand, gute Bindung und Dichte, verformbare Nähte von hoher Dehnung. Armcoeisen wird mit dem Minuspol an der Elektrode und mit praktisch noch erreichbar kürzestem Lichtbogen geschweißt, um Veränderungen des Metalls auszuschließen und die Witterungsbeständigkeit zu erhalten. Aus diesem Grunde dürfen Armcoelektroden (es handelt sich um Armcodraht derselben Beschaffenheit) nur im blanken Zustande verschweißt werden, da bei getauchten Stäben die Gefahr des Einschlusses von Schlackeninseln besteht, womit ebenfalls eine Verminderung der Witterungsbeständigkeit verknüpft ist. Die beim Schweißen sich bildende Zunderschicht läßt sich leicht entfernen. Das Gefüge der Schweiße und deren Übergang ist vom Grundwerkstoff kaum zu unterscheiden.

**Das Schweißen von St 52.** Die Schwierigkeiten bei dem hochwertigen Baustahl St 52 beruhen vor allem darauf, daß ursprünglich etwa zwei Dutzend Stähle gleicher Bezeichnung mit stark wechselnden Analysen im Handel waren. Die Zusammensetzungen schwankten in weiten Grenzen zwischen  $0,09 \div 0,22$  Kohlenstoff,  $0,25 \div 1,1$  Silizium,  $0,75 \div 1,65$  Mangan, neben geringen Mengen an Kupfer und auch Chrom und Molybdän. Heute ist die Frage der Schweißung von St 52 als restlos gelöst anzusehen, nachdem eine gewisse Stetigkeit in den Legierungen erreicht wurde und diesem Sonderzweck angepaßte Elektroden in den Handel kamen. Neben dem bekannten Si-Stahl liegen heute hauptsächlich drei Grundarten der St 52-Legierungen vor, und zwar Chrom-Kupfer-, Silizium-Mangan-Kupfer- und Molybdän-Silizium-Mangan-Kupfer-Stähle. Die Praxis hat gelehrt, daß die Verwendung getauchter Elektroden nicht unbedingt erforderlich ist, sondern auch mit nackten Sonderelektroden (z. B. Seelendraht mit bis zu  $2 \text{ vH}$  Mangan) einwandfreie Schweißungen erreichbar sind. St 52 ist im gewissen Sinne sogar sehr gut schweißbar. Die Festigkeit der Schweiße erreicht oder übertrifft die des Grundwerkstoffs.

**Die Vorgänge beim Schweißen von Sonderstählen.** Man hat in der Hauptsache zwischen perlitischen, martensitischen und austenitischen Stählen zu unterscheiden, die sich beim Schweißen grundverschieden verhalten (s. Abschnitt I E 3).

Unter perlitischen Stählen versteht man Stähle mit Legierungsbestandteilen in geringeren prozentualen Anteilen, so daß sich der Gefügebau 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  $600 \div 750^\circ$  (je nach Legierung) herabgemindert werden. Solche Stähle sind gut und ohne unangenehme Begleiterscheinungen schweißbar, sofern geeignete Elektroden zur Verwendung gelangen. Blanke Stäbe sind meist am Pluspol zu verschweißen. Zweckmäßig wird den Elektroden Nickel an Stelle von Mangan zugesetzt, da es wie Mangan wirkt, aber restlos in der Schweiße verbleibt und nicht oxydiert.

Erheblich anders verhalten sich martensitische Stähle, deren Zusatz an verschiedenen Legierungselementen so groß ist, daß selbst bei sehr langsamem Erkalten harte und spröde, ja sogar glasharte Schweißen entstehen, die durch Glühen kaum oder überhaupt nicht zu beeinflussen sind. Schweißen dieser Art dürfen statisch nur wenig und dynamisch gar nicht beansprucht werden, da stoß- oder schlagartige Beanspruchung, oft schon geringe Biegung genügt, um die Verbindung zu zerstören. Daraus erklärt es sich daß martensitische Stähle für Verbindungsschweißungen (abgesehen von Chrom-Nickel-Stählen, von denen später noch die Rede ist) völlig ungeeignet sind und aus der Gruppe der schweißbaren legierten Stähle im engeren Sinne ausscheiden müssen. Dagegen wird die Auftragschweißung von mit Chrom bzw. Wolfram legierten martensitischen Stählen für hohe Härte oder Verschleißfestigkeit häufig angewandt, weil es bei dieser Schweißung nicht auf ein hohes Arbeitsvermögen, sondern gerade auf Härte und Verschleißfestigkeit ankommt. Aus den bereits bekannten Ursachen sind Elektroden dieser Art am Pluspol abzuschmelzen.

Schließlich ist noch die Gruppe der austenitischen Stähle zu nennen, die noch höher legiert sind, meist mit Nickel, Chrom 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 rostsicher. Auch bei Abkühlung aus hoher Temperatur bleiben sie zäh und werden nicht hart. Hierher gehören z. B. der verschleißfeste Manganstahl (1,2 vH Kohlenstoff und 12 vH Mangan) und verschiedene Chrom-Nickel-Stähle. 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-Nickel-Legierungen mit stark wechselnden Mengen an diesen Elementen. Tabelle 18 gibt, nach metallographischen Gesichtspunkten geordnet, einen zusammenfassenden Überblick über die in Deutschland üblichen etwa 25 Sorten solcher Stähle.

Tabelle 18.

Gefügeart	Kohlenstoff vH	Silizium vH	Mangan vH	Chrom vH	Nickel vH	Wolfram vH	Molybdän vH
austenitisch . .	0,05 ÷ 0,55	0,3 ÷ 1,0	0,3 ÷ 0,8	16,5 ÷ 26,0	8,5 ÷ 78	(2,0 ÷ 2,5)	(2,5 ÷ 4,5)
martensitisch .	0,15 ÷ 0,9	0,1 ÷ 0,7	0,2 ÷ 0,6	12,0 ÷ 16,5	0,4 ÷ 2,0	(0,8 ÷ 1,0)	—
halbferritisch .	0,12	0,3 ÷ 0,5	0,3 ÷ 0,4	14,0 ÷ 18,0	(1,0 ÷ 2,0)	—	—
ferritisch . . .	0,2 ÷ 0,45	0,25 ÷ 0,45	0,3 ÷ 0,5	24,0 ÷ 32,0	—	—	—

Unter den nichtrostenden Stählen kommt schweißtechnisch vor allem die austenitische Gruppe in Betracht, deren Hauptvertreter der Kruppsche V2A-Stahl ist. Die austenitischen Stähle besitzen eine um 50 vH höhere Wärmeausdehnung als die anderen und nur  $\frac{1}{4} \div \frac{1}{3}$  der Wärmeleitfähigkeit des Flußstahls. Deshalb machen sich für die Schweißung besondere Maßnahmen erforderlich, da durch Wärmestauung weit höhere Spannungen und Verwerfungen auftreten als bei unlegierten Stählen.

Eine wesentliche Forderung, die man noch an die Schweiße solcher Stähle stellen kann, ist das Verhalten bei Korrosionsbeanspruchung. Um ungleiche Korrosionsbeständigkeit (Nichtrosten) auszuschließen, ist gleiche Beschaffenheit von Werkstoff und Elektroden Draht Bedingung, wenn nicht in Sonderfällen, um den Abbrand auszugleichen, ein Zusatz an ausbrennenden Stoffen erforderlich ist. So bewährt sich z. B. ein Siliziumzusatz, weil er für ein gutes Fließen des Elektrodenwerkstoffs sorgt und einen gewissen Schutz gegen die Oxydation des

für die Korrosionseigenschaften wichtigen Chroms bietet. Auch Zusätze von Kobalt, Wolfram, Molybdän, Vanadin, Titan, Aluminium u. a. sind vorteilhaft. Nackte Elektroden eignen sich weniger, vielmehr sind getauchte Elektroden bevorzugt, die bei dünnen Blechen (2÷4 mm) am Minuspol, bei dickeren Blechen jedoch am Pluspol verschweißt werden. Da zu der geringen Wärmeleitfähigkeit des Stahls noch ein höherer elektrischer Widerstand hinzukommt, ist die Überhitzungsgefahr im Lichtbogen recht groß, weshalb mit geringen Stromstärken (90÷100 A für 4 mm-Elektrode) gearbeitet werden muß. Außerdem verwendet man, um ein rasches Glühendwerden zu verhüten, kürzere Elektroden, oder man spannt sie in der Stabmitte ein und schmilzt sie beiderseitig ab. In diesem Falle wird die Umhüllung in der Stabmitte (Einspannstelle) auf etwa 20 mm Länge entfernt.

Um der durch die Wärmestauung im schlechtleitenden Stahl auftretenden Verwerfung des Werkstücks zu begegnen, ist eine gute Einspannung des Schweißstücks unerläßlich. Dünnere Bleche werden in einer Lage, dickere in zwei und mehr Lagen geschweißt, wobei die Abschrägung der Bleche sowohl V- wie X-förmig sein kann und schon bei 3 mm Blechdicke notwendig ist.

Die Schweiße austenitischer Stähle ist zäh und sehr 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-Chrom-Karbid verwandelt wird. Die Karbide verursachen Stellen niedrigen Potentials, lagern sich an den Korngrenzen ab und rufen infolge der elektrolitischen 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.

V2A N-Stähle werden vergütet, indem sie auf 1100÷1150° erhitzt und abgeschreckt werden, V2A H- und V2A S-Stähle auf 930÷980° erhitzt mit nachfolgendem 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 V2A E- und V4A E-Stahl (Titanlegierungen) herzustellen, die einer Vergütung der Schweiße durch Wärmehochbehandlung überhaupt nicht mehr bedürfen. Bei allen austenitischen Stählen (erkennbar an dem Buchstaben A in der Bezeichnung: z. B. V2A) 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“, die ursprünglich die Schweißung dieses Stahls ganz in Frage stellte, abgewendet worden. Bei den älteren VA-Stählen zeigte sich nämlich, daß zwar die Schweiße als solche meist korrosionsfest war, aber in einiger Entfernung beiderseits nach kurzer Zeit ein Brüchigwerden einsetzte, was darauf zurückzuführen war, daß dem Stahl Erwärnungen auf 600÷700° besonders gefährlich wurden, gleichgültig ob man ihn schnell oder langsam abkühlte. Diese Wärmezone in dem der Schweiße benachbarten Werkstoff zu vermeiden, ist ausgeschlossen, weshalb eine Wärmehochbehandlung, die auch die Korrosion nur verzögerte und nicht aufhob, unerläßlich war. In den neuen Extrastählen 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 Schweiße nicht mehr erforderlich.

Beim Schweißen der Stähle der halferritischen 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 Wärmenachbehandlung 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. Nichtnachbehandelte Schweißen brechen bei geringster Biegebeanspruchung. Eine Vergütung (Abkühlen in Luft oder Öl und Anlassen) bleibt von geringem Erfolge. Es kann zwar in der Schweiße die Festigkeit des Grundwerkstoffs, aber nicht entfernt seine Dehnung erreicht werden. Glücklicherweise liegt die Notwendigkeit bzw. der Wunsch, martensitische Chrom-Nickel-Stähle zu schweißen, in Anbetracht ihrer andersgearteten 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, Nialit [Guß]). Bei hoher Temperatur gleichen sich die Eigenschaften des Grundwerkstoffs und der Schweiße annähernd aus. Feuerbeständige Stähle dieser Art haben nur sehr geringen Zunderverlust. Die Höhe der Legierungsbestandteile richtet sich nach dem Grade 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-Nickel-Stähle und das im folgenden Absatz Ausgeführte.

Außer den zunderbeständigen Eisen-Chrom- und Eisen-Chrom-Nickel-Legierungen ist noch ein neuerer 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-Aluminium-Stähle besteht die Zunderschicht größtenteils aus Tonerde (Aluminiumoxyd,  $Al_2O_3$ ), die einen hohen elektrischen Widerstand besitzt, weshalb sie vor Beginn der Schweißung an den Schmelzrändern durch Feilen oder Schmirgeln zu entfernen ist. Da der Schmelzpunkt dieser Stähle tiefer liegt als bei weichem Kohlenstoffstahl, wird eine um etwa 15 vH größere Abschmelzgeschwindigkeit der Elektrode und damit eine höhere Schweißgeschwindigkeit erreicht. Von großer Wichtigkeit für eine dichte Schweiße ist die Zusammensetzung der Umhüllungsmasse, die stark eisenoxydhaltige saure Schlacke enthalten muß, um wirksam zu sein. Die Elektroden haben eine dem Grundwerkstoff ähnliche Zusammensetzung. Mit Rücksicht auf die Empfindlichkeit solcher Stähle gegen Wärmespannungen ist es, um Ribbildungen zu vermeiden, meist notwendig, Legierungen mit höherem Aluminiumgehalt auf 100 ÷ 300° vorzuwärmen. Die verbleibenden Schweißspannungen werden auch hier durch Ausglühen und allerdings langsames Erkaltenlassen beseitigt.

Da sich äußerliche Unterschiede im Aussehen geschweißter Sonderstahlkonstruktionen gegenüber gewöhnlichen nicht feststellen lassen, wird hier von der Wiedergabe von Bildern abgesehen.

## 6. Schweißung von Gußeisen.

**Schweißverfahren.** Grundsätzlich sind zwei verschiedene Gußeisenschweißverfahren zu unterscheiden, und zwar die Kaltschweißung und die Warmschweißung. Erstere ist nur elektrisch, letztere sowohl als Gas- wie als Elektroschweißung durchführbar. Eine eigentliche Gaskaltschweißung gibt es strenggenommen nicht, da eine sachgemäße Schweiße auf diesem Wege nicht erzielbar ist. Als Sonderart der elektrischen Warmschweißung kann noch die Halbwarmschweißung genannt werden, die praktisch weniger von Bedeutung ist. Kalt- und Warmschweißung ergänzen sich vielfach gegenseitig, doch haften der Kaltschweißung erhebliche Mängel an.

**Anwendungsgrenzen.** Alle Gußeisenschweißverfahren sind Ausbesserungsmittel. Die Konstruktionsschweißung an Gußkörpern hat sich bisher noch nicht eingeführt, obwohl sie häufig bei verwickelten Konstruktionen wirtschaftlich anwendbar wäre. Die Fälle, in denen Gußeisen überhaupt nicht schweißbar ist, sind selten; sie beschränken sich ausschließlich auf durch innere Oxydation zersetzten Guß, d. h. auf Körper, die längere Zeit der Einwirkung von Flammen, von überhitztem Dampf oder auch dem Einflusse von Wasser ausgesetzt waren. Diese als Brand-, Herd-, selbst Faulguß bezeichneten Körper nach einem der möglichen Verfahren schweißen zu wollen, wird meist zu einem Mißerfolg führen. Derartige nicht schweißbare Gußsorten lassen sich weder mit der Gebläseflamme noch mit dem Lichtbogen verflüssigen und zerbröckeln in der Wärme oft wie trockener Ton. Dabei ist eine bisher ungeklärte Umwandlung des normalen Graphits in weißen Graphit (Graphitit) eine besonders auffallende Erscheinung.

**Zur Wahl des Schweißverfahrens.** Die Entscheidung, welches der verschiedenen Schweißverfahren für diese oder jene Ausbesserung wegen des geringsten Kostenaufwands und des besten Erfolges zu bevorzugen ist, ist durchaus nicht leicht; eine falsche Disposition im Arbeitsgang ist nur zu oft als Grund für eine mißlungene Schweißung anzusprechen. Bei der elektrischen Gußschweißung soll man nach Möglichkeit die Warmschweißung bevorzugen. Zur Kaltschweißung sollte man sich nur dann entschließen, wenn die Warmschweißung aus triftigen Gründen, die von Ausbau-, Transport-, Gewichts-, Kosten- und anderen Verhältnissen abhängen, nicht anwendbar ist. Die Kaltschweißung ist ein ausgesprochenes Behelfsmittel, auf das gänzlich zu verzichten aber nicht gut möglich ist, da es nur zu oft der einzige Weg ist, der zur Erhaltung beschädigter Gußstücke beschritten werden kann. Während des Schweißens nicht umwendbare Gußkörper mit großen Bruchflächen<sup>1</sup>, ferner solche, die das Einschmelzen größerer Gußmengen oder auch den Ersatz größerer fehlender Teile notwendig machen, werden zweckmäßig, wenn nicht zwangsläufig warmgeschweißt.

### a) Die Kaltschweißung.

**Allgemeines.** Die Kaltschweißung umfaßt vorwiegend die Ausbesserung von Werkstücken, die weder gut druckdicht sein müssen, noch höhere Festigkeitsbeanspruchungen auszuhalten haben. Beispielsweise werden Risse und Brüche an Platten, Hebeln, Seilscheiben, Schwung- und Zahnrädern, Gehäusen, Fundamentrahmen, Maschinenständern usw. meistens kalt geschweißt. Der große Vorzug der Kaltschweißung liegt darin, daß das Werkstück in jeder beliebigen Lage geschweißt werden kann, sofern die schadhafte Stelle nur für den Elektrodenhalter zugänglich ist. Demnach kann auch in senkrechter Lage, ja sogar gut über Kopf geschweißt werden; denn es wird nicht Gußeisen eingeschmolzen, wie

<sup>1</sup> Siehe Horn: Die Schweißung schwerer Gußkörper. Techn. Zbl. 1930 Heft 4.

bei der Gas- und elektrischen Warmschweißung, sondern Stahl. Bei sämtlichen Gußeisenkaltschweißungen werden Stahlelektroden (meist umhüllt) verwendet, wenn nicht besondere Anforderungen ein Löten mit Nichteisenmetall bedingen, wovon noch später die Rede ist. Versuche, für die Kaltschweißung auch Gußeisenelektroden zu benutzen, sind gescheitert, weil die erhitzten Elektroden leicht abbrechen und in großen Tropfen abfließen, ohne sich mit dem noch zu kalten Mutterwerkstoff zu verbinden. Zur Zeit werden Anstrengungen gemacht, hochnickelhaltige Gußstäbe für die Gußeisenkaltschweißung nutzbar zu machen. Weil nun eine innige Verbindung zwischen Stahl und Gußeisen nur schwer und nicht immer erzielbar ist, ist die Kaltschweißung nicht als vollkommen anzusehen. Es sind Hilfsmittel erforderlich, die eine einigermaßen ausreichende Festigkeit und Dichtigkeit der Schweiße ergeben. Die Undichtigkeiten, als Folge dieser mangelhaften Abbindung, sind immer beiderseits der Schweiße entlang den Übergangsrändern anzutreffen, während die Stahlschweiße an sich dicht ist. Nach vorigem können also Gußkörper, von denen im Betriebe Dichtigkeit verlangt wird, z. B. Pumpen-, Dampfmaschinen-, Explosionsmotor- oder Kompressorzylinder, Behälter usw., selten kalt geschweißt werden.

**Erklärung der harten Schweißränder.** Die Kaltschweißung ist an den Übergangsrändern zum Werkstück meist so hart, daß eine Bearbeitung nur durch Schleifen möglich ist. Die Entstehung dieser Härte soll an Hand der Abb. 301 kurz besprochen werden. Die die Zonen 1, 2 und 3

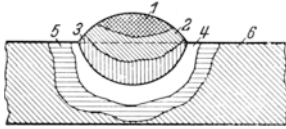


Abb. 301. Schema einer Gußeisenkaltschweiße.

umfassende Linse entspreche dem Querschnitt einer auf das Gußstück 6 aufgetragenen Stahlraupe. Im Kopfe dieser Raupe bei 1 ist in einem von der Größe der Fläche und der Höhe der Schweißstromstärke abhängigen Umfang ein Werkstoff anzutreffen, der etwa dem der Elektrode entspricht; es handelt sich in Zone 1 demnach um weichen Stahl. In Zone 2 wird durch Kohlenstoffaufnahme aus dem Gußeisen (vergaster Graphit) eine etwas härtere, aber immer noch gut bearbeitbare Stahlschicht vorliegen, während in Zone 3 ein durch größere Kohlenstoffaufnahme hart gewordener spröder Stahl praktisch kaum zu vermeiden ist. Weitaus am härtesten ist jedoch die Übergangszone 4, in der ein abgeschrecktes weißes Gußeisen (Hartguß) gebildet wird, das infolge seiner Sprödigkeit während des Erkaltes der Schweiße leicht zu Ribbildung führen kann. Endlich zeigt die Zone 5 einen durch Wärmewirkung umgewandelten Grauguß und 6 den nicht beeinflussten Grundwerkstoff.

Es soll in dünnen Lagen geschweißt werden, um die harten Zonen und die weiter aufliegenden immer wieder auszuglühen. Dabei muß man mit geringer Stromstärke arbeiten, da infolge der verschiedenen Ausdehnungskoeffizienten der einzelnen Schichten leicht Spannungen und Haarrisse entstehen, die dann die bereits erwähnte Undichtigkeit zur Folge haben. Eine bessere Bindung, weniger spröde und dichtere Schweißen erhält man, wenn an Stelle der Stahlelektroden solche aus Monelmetall eingeschmolzen werden. Dabei bleiben die Übergangsränder meist bearbeitbar (s. auch „Schweißvorgang“).

**Vorbereitung der Arbeitsstücke.** Die Vorbereitungen der Arbeitsstücke zur Schweißung, wie wir sie beim Stahlschweißen kennengelernt haben, sind für Gußschweißungen unzulänglich. Würde man die V-förmige Mulde einfach mit im Lichtbogen niedergeschmolzenen Stahlelektroden auffüllen, dann würde in mindestens 90 vH der Fälle die eingeschmolzene Schicht mit Hammer und Meißel in langen Stücken mühelos herausgeschlagen werden können, ein Beweis für schlechte Verbindung an den Übergangsrändern zum Guß. Um sich dagegen zu

schützen, greift man zu einem allerdings zeitraubenden und etwas umständlichen Hilfsmittel, zum sog. Stiftverfahren, welches darauf beruht, die beiden Bruchränder mit versetzten Gewindestiften (Stahlstiften, ähnlich Stiftschrauben) zu versehen. Diese Stifte bilden dann die Grundpfeiler zu einer Brücke, die durch den aufgetragenen, von der Schweißelektrode abgeschmolzenen Stahl gebildet wird. Letzterer stellt also in der Hauptsache eine Verbindung mit den Stahlstiften her, während zwischen ihm und den Rändern des Gusses meist nur eine mangelhafte Verbindung besteht.

Die Art der Anordnung der Stifte richtet sich nach dem Aussehen der Bruchfläche, nach der Werkstoffdicke und dem Grade der gewünschten Festigkeit. Selbstverständlich ist es sehr wichtig, mit den Abmessungen der Stifte nicht zu weit zu gehen, damit der Werkstoffquerschnitt nicht unnützlich weitere Schwächungen erfährt. Abb. 302 I–III veranschaulicht die Anbringung und Verteilung der Stifte bei Schweißungen an Werkstücken bis zu 30 mm Wanddicke. In die Bruchfuge wird eine V- bzw. X-förmige Schweißmulde eingearbeitet (am

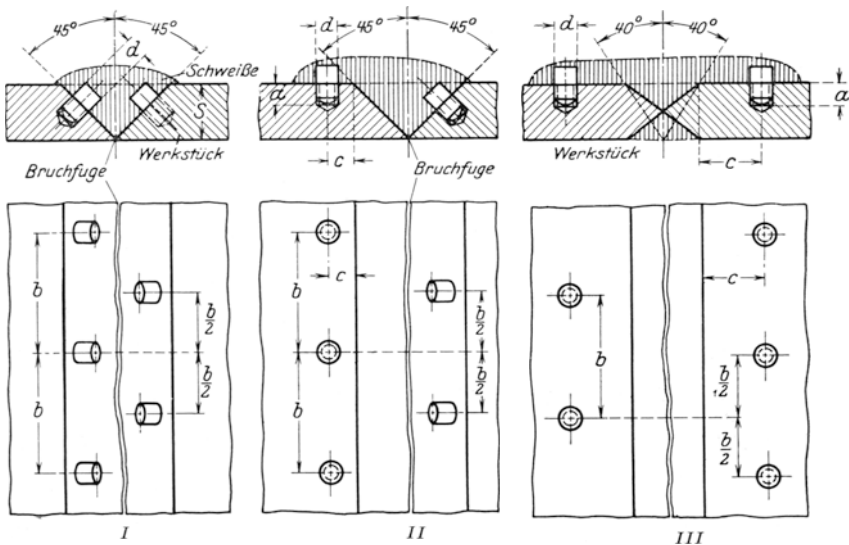


Abb. 302. Anordnung von Stiften bei Gußeisenkalterschweißungen.

schnellsten mit Druckluftmeißeln) und in oder an dieser, wie Niete verteilt, eine entsprechende Anzahl von Stiftschrauben eingeschraubt. Es genügen gewöhnliche Maschinenschrauben, deren Kopf nach dem Einschrauben in die Gewindelöcher abgesägt wird. Einfacher ist es allerdings, die Köpfe samt dem überflüssigen Teile der Bolzenlänge vorher abzusägen oder abzuschlagen und die Bolzen mit einer Blitzzange einzuziehen. Bei I (Abb. 302) liegen die Stiftschrauben an beiden Bruchrändern innerhalb der Schweißhaltung und winklig zu dieser, bei II nur einerseits, während auf der anderen Seite die Bolzen winklig zur Körperfläche und außerhalb der Schweißmulde gelegen sind. In Abb. 302 III sind die Schrauben auf beiden Seiten außen entlang der Schweißfuge angebracht. Im übrigen ist die Anordnungsweise von den örtlichen Verhältnissen und der Zugänglichkeit des Schweißguts abhängig.

Zwischen Werkstoffdicke, Bolzendicke und Mittenentfernung von Bolzen zu Bolzen bestehen, unter Zugrundelegung der in Abb. 302 enthaltenen Zeichen, folgende Beziehungen:



Abb. 302 I und II  $d = 0,3 \div 0,4 s$ , höchstens  $\frac{1}{2}''$  (13 mm Durchmesser),  
 Abb. 302 III  $d = 0,5 s$ , „  $\frac{3}{4}''$  (20 mm Durchmesser),  
 $a = 1,0 \div 1,5 d$ , „  $0,5 s$ ,  
 $c = 1,5 d$ ,  
 $b = 4 \div 8 d$  (versetzt),

wobei  $d$  den Durchmesser der Schraubenbolzen,  $a$  die Gewindelochtiefe,  $c$  die Entfernung der Lochmitte von der Schweißkante,  $b$  die Bolzenteilung und  $s$  die Werkstoffdicke bedeutet. Über 30 mm Werkstoffdicke erfordert meist eine zwei- und mehrreihige Stiftsetzung, wie dies Abb. 303 I und II wiedergibt. Es ist dann  $c = 4 d$ ,  $d$  beliebig (jedoch nicht über  $0,3 s$ ) und  $a = 1,0 \div 1,5 d$ . Teilung und Stärke der Bolzen müssen bei der naturgemäß recht mannigfaltigen Formgebung der Gußstücke und dem Zwecke, dem sie zu dienen haben, dem Gefühl des erfahrenen Praktikers überlassen bleiben; bindende Maßverhältnisse für alle vorkommenden Fälle lassen sich nicht aufstellen.

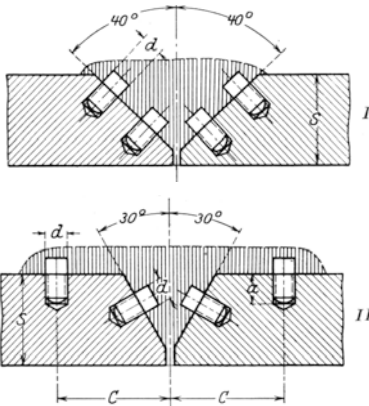


Abb. 303. Zweireihige Stiftsetzung.

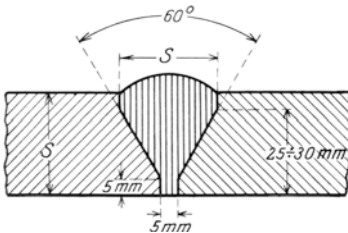


Abb. 304. Bearbeitung der Schweißmulde ohne Stiftsetzung.

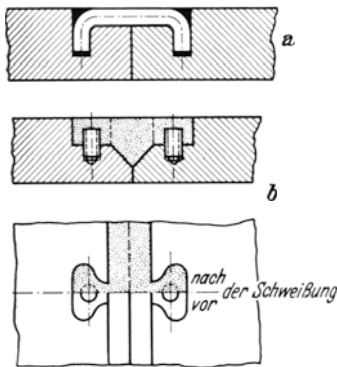


Abb. 305. Anker in der Gußschweiß.

Hat man sich von der Beschaffenheit des Gußeisens durch eine Schweißprobe überzeugt und glaubt man bei Werkstücken, die nur geringer Festigkeitsbeanspruchung standzuhalten haben, ohne Stiftsetzung auszukommen, dann bearbeitet man die Schweißmulde zweckmäßig nach Abb. 304. Im übrigen kann die Bruchfläche auch X-förmig ausgearbeitet und doppelseitig geschweißt werden. Sehr zu empfehlen ist es, beiderseits der Schweißfuge die Gußhaut auf  $10 \div 20$  mm Breite und  $2 \div 3$  mm Tiefe auszuweißeln (bei  $c$  in Abb. 307). Wenn die Gußhaut bleibt, wird die Bindung zwischen Guß und Stahl nur mangelhaft, und die Schweißbe läßt sich um so leichter herausheben. Häufig genügt auch das Einsetzen von Klammern (Abb. 305 a), die in beide Bruchränder eingehohrt und dort verschweißt werden. Dabei kann es sich allerdings nur um geringere Gußquerschnitte handeln. Bei dickeren Gußwandungen (Pressenständer und ähnliches) unterstützt man die Stifte häufig noch durch Anker (Abb. 305 b). Allerdings erfordert dieses Verfahren eine besonders mühsame Vorbereitung der Bruchränder. Der eigentliche, durch die Stifte gefestigte Kopfanker besteht aus Schweißbe, die beim Einschrumpfen die Bruchränder zusammendrückt. Derartig verstärkte Kaltschweißungen haben ziemlich hohe Festigkeit und halten bei Maschinenbrüchen oft besser als der Grundwerkstoff. Mitunter wird die Schweißbe auch durch Stahllaschen verstärkt, die über der eigentlichen Schweißbe ebenfalls durch Schweißung befestigt werden. So zeigt Abb. 306 einen Fall, in dem außer der Verstärkungslasche noch Paß-

flächen  $a$  vorgesehen sind. Das Maß  $a$  soll möglichst knapp bemessen sein und nicht über 5 mm und nicht unter 2,5 mm betragen. Diese Paßflächen werden unverbunden gelassen, also nicht durchgeschweißt, und dort angewandt, wo die Gegenseite der Schweiße (der Scheitel) gut bearbeitbar sein muß. Die Schwächung des Querschnitts soll durch die aufgeschweißte Lasche aufgehoben werden.

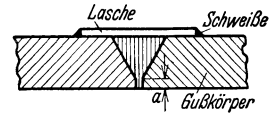


Abb. 306. Gußschweiße mit Verstärkungslasche.

**Der Schweißvorgang.** Die Schweißarbeit unterscheidet sich von jener der Stahlschweißung eigentlich gar nicht, da ja auch hier Stahlelektroden verschmolzen werden. Indessen ist es besonders wichtig, die Wärmezufuhr und die Wärmeleitung im Gußkörper auf das geringste Maß zu beschränken, da sonst Spannungsrisse in den meisten Fällen kaum zu vermeiden sind. Das gilt sowohl für dünnwandigen Guß wie für besonders mit Spannungen behaftete Gußhohlkörper (Zylinder u. dgl.) und radförmige Werkstücke. Auch beim Schweißen dickwandiger, an sich aber weniger mit Spannungen behafteter Gußkörper können durch große Schweißquerschnitte, die sehr viele Lagenschweißungen bedingen, erhebliche Spannungen auftreten, die Rißbildung verursachen. Deshalb darf oft nur sehr langsam und mit größeren Arbeitspausen gearbeitet werden. Der Schweißstrom soll nicht zu hoch und muß niedriger sein als bei der Stahlschweißung. Als Annäherungswerte können die Daten der Tabelle 19 gelten, von denen je nach besonderen Verhältnissen entsprechende Abweichungen zulässig sind. Während der Arbeitsausführung muß der jeweilige Wärmezustand des Gußkörpers gut beobachtet werden. Wird die Wärmeableitung an den der Schweiße benachbarten Teilen zu groß, so muß die Schweißung öfter unterbrochen werden. Der Aufbau der

Tabelle 19.

Wanddicke mm	Schweiß- spannung V	Schweißstrom- stärke A	Elektroden- durchmesser mm
5	22	120	3 ÷ 4
10	24	150	4
15	26	160	4
20	30	180 ÷ 190	4 ÷ 5
über 20	35	190 ÷ 200	5

Lagen kann nicht wahllos erfolgen, vielmehr muß die Aufeinanderfolge der Abb. 307 berücksichtigt werden, wenn eine möglichst dichte und im Übergang feste Schweiße angestrebt wird. Es wäre beispielsweise falsch, die Lagen vom Scheitel der Mulde ausgehend aufeinanderzuschichten; vielmehr muß man so vorgehen, daß vorerst die Lage 1 mit gutem Einbrand und guter Bindung eingeschmolzen wird. Sodann werden die übrigen Lagen an den Rändern der Mulde dicht nebeneinanderliegend angeordnet, mit Raupe 2 beginnend bis zur Abschlusraupe 3. Es folgen in gleicher Weise die Raupen 4 ÷ 5 an der gegenseitigen Abschrägung, und erst jetzt wird der gesamte Querschnitt bis zur Lage 6 schichtweise ausgefüllt. Um die geschilderte Undichtigkeit am Übergang zwischen Schweiße und Guß, also entlang der Flächen  $a$  zu beseitigen, werden häufig die Raupen 1, 3 und 5 mit einem sehr weichen Elektrodenwerkstoff aufgetragen und dann vorsichtig verstemmt. Aus dem gleichen Grunde und um die Randzonen der Schweiße bei 3 und 5 bearbeitbar zu erhalten, wird die oberste Lage (3—6—5) oft auch mit Monelmetall ausgeführt, das in die Poren des Gusses, die durch Vergasung der Graphitadern gebildet werden, eindringt und sich im Gußgefüge gut verankert.

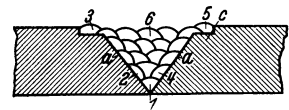


Abb. 307. Anordnung der Lagen bei Gußeisenkaltschweißungen.

Die Kaltschweißung hat aber auch, wie wir bereits sahen, verschiedene Vorzüge. Zunächst fällt die mit erheblichen Kosten verknüpfte Einförmigkeit und Vorwärmung des Schweißgutes fort, und dann, was das Wichtigste ist, der Gußkörper

kann fast immer in jeder Lage geschweißt werden, ohne daß er ausgebaut oder gewendet werden muß. Der eingeschweißte Stahl läßt sich in jeder Richtung halten, ohne abzufließen, während beim elektrischen Warmschweißen und Gasschweißen die waagerechte Lage der Schweißstelle wenigstens annähernd und dauernd erhalten bleiben muß, weil hier in beiden Fällen Gußeisen eingeschmolzen wird, das sonst abfließen würde, bevor es erstarren kann. Da die Kaltschweißung außerdem eine Unterbrechung der Arbeit gestattet, so oft dies der Wärmezustand des Schweißguts erheischt, versetzt sie uns in die angenehme Lage, Gegenstände, die nicht ausgebaut und nicht fortbewegt werden können, an Ort und Stelle zu schweißen, was die Warmschweißung und die Gasschweißung in den seltensten Fällen ermöglichen.

**Ausgeführte Schweißungen.** Den Werdegang einer Kaltschweißung veranschaulichen die Abb. 308 und 309. Nach dem Ausvauen der Bruchstelle

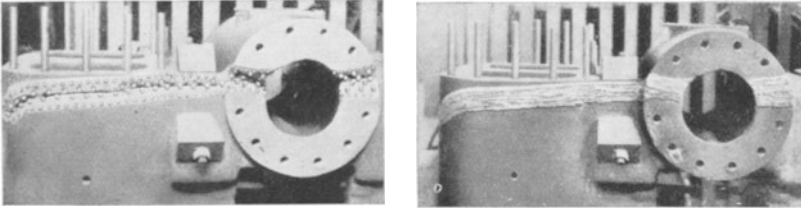


Abb. 308 und 309. Kaltschweißung eines Gußzylinders.

hatte der Zylinder das Aussehen der Abb. 308. Die Flächen der Schweißmulden wurden beiderseits doppelreihig verstiftet und im Sinne der Abb. 303/ verschweißt. Das Schweißergebnis ist in Abb. 309 in unbearbeitetem Zustande photographisch festgehalten worden.

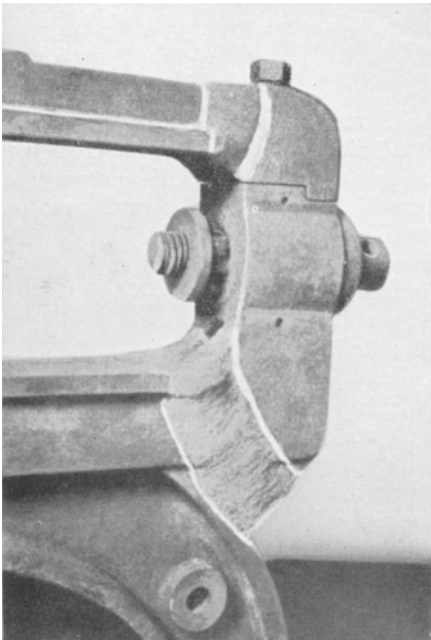


Abb. 310. Schweißung am Ständer einer Gummiwalze.

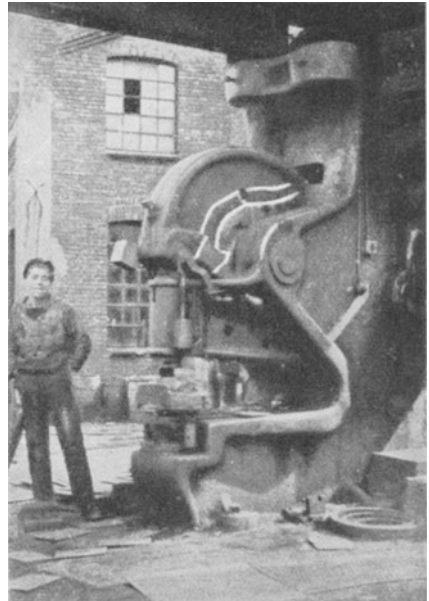


Abb. 311. Schweißung des Balancers einer Schiffbaustanze.

Abb. 310 zeigt die fertige Schweißung am massiven Ständer einer Gummiwalze und Abb. 311 die Schweißung des Balanciers einer schweren Schiffbaustanze. Beide Ausbesserungen wurden an Ort und Stelle ohne Ausbau und ohne Umlegen der sehr schweren Gußkörper durchgeführt. Die Schweißungen sind mit Kreide umrandet.

#### b) Die Warmschweißung.

**Allgemeines.** Die Anwendung von Festigkeitsträgern (Stiften, Laschen usw.) fällt fort. Als Elektrodenwerkstoff dienen nicht mehr Stahlstäbe mit ihrer ganz anderen physikalischen Beschaffenheit und ihrem vom Gußeisen stark abweichenden Ausdehnungskoeffizienten, sondern Gußstäbe, sowohl nackte wie überzogene. Infolgedessen ergibt sich zwischen Werkstoff und Schweißung eine gute, gleichmäßige und, was das Wichtigste ist, dichte Verbindung, die in der Schweißung sogar höhere Festigkeit erreicht, als sie der Grundwerkstoff besitzt. Die Schweißung bleibt weich und ist leicht mechanisch bearbeitbar, was bei der Kaltschweißung nicht oder sehr selten zutrifft.

Das Wesen der Warmschweißung beruht darauf, das zu schweißende Werkstück in Sand einzufüllen, im Feuer vorzuwärmen, unter Verwendung hoher Schweißstromstärken mit Gußeisenelektroden zu schweißen und im Feuer oder in heißer Asche allmählich erkalten zu lassen. Aus dieser kurzen Beschreibung läßt sich die Anwendbarkeit der an sich vorzüglichen, wenn auch teuren und umständlichen Warmschweißung verhältnismäßig leicht bestimmen. Sie kommt dort in Frage, wo eine dichte Schweißung und hohe Festigkeit verlangt wird, wo die Schweißung im Betrieb dauernden Temperaturschwankungen ausgesetzt ist und gut bearbeitbar sein muß, und endlich dort, wo das betreffende Werkstück ausgebaut und eingefüllt werden kann. Mittels der Warmschweißung werden daher vor allem geschweißt: Zylinder von Dampf-, Eis- und Gasmaschinen, von Kompressoren, Pumpen usw., überhaupt Innendrücken ausgesetzte Hohlkörper. Doch gibt es eine untere Grenze bezüglich der Wanddicken. So sind beispielsweise Risse in Autozylindern selten nach dem Warmschweißverfahren schweißbar, nur in vereinzelten Fällen nach dem Kaltschweißverfahren, meist nur gasschweißbar.

#### Einrichtung der Warmschweißerei.

Außer der vollständigen elektrischen Einrichtung (Maschine, Meß- und Schaltinstrumenten, Kabeln, Schweißzange, Lichtschutz usw.) gehören zur Ausrüstung einer gut eingerichteten Warmschweißerei: Ein deneigentlicher Schweißraum überspannender Laufkran, eine, besser mehrere Schweißgruben ( $4 \times 2$  m), die je nach Bedarf unterteilbar und unter Umständen mit Schamotteplatten ausgemauert sind, ferner eine gute Ventilationsvorrichtung, die eine Belästigung der aufs



Abb. 312. Elektrische Warmschweißung eines Maschinenständers.

äußerste angespannten Schweißer durch die sich beim Schweißen entwickelnden Gase verhütet. Die Absaugleitung muß der besseren Wirkung halber mit einem Exhaustor in Verbindung stehen und muß ein Stück über der Schweißgrube beweglich und in einem Winkel von etwa  $90^\circ$  verstellbar sein. Über jeder Schweißgrube ist mindestens eine Absaugleitung (Trichter) vorzusehen.

Abb. 312 gestattet den Einblick in einen Teil einer Warmschweißerei. Das

gerade in Arbeit befindliche Werkstück (Maschinenständer) ist hier allerdings nicht in einer Schweißgrube, sondern auf der Werkstattsohle in einem Eisenkasten eingeformt. Man erkennt deutlich das bewegliche Abzugsrohr und die darunter sich bildenden Gase. Die beiden die Arbeit ausführenden Schweißer sind vorschriftsmäßig gekleidet; sie tragen Asbestschürzen und -handschuhe und klappbare Lichtschutzhelme mit Lederschutz. Beide wechseln sich von Zeit zu Zeit ab; der linke Mann ist in Bereitschaft, die Schweißzange mit der eingespannten Gußelektrode in der Hand. Arbeitsunterbrechungen dürfen nicht stattfinden,

Weiter gehören noch zur Einrichtung der Warmschweißerei: Formsand, Asche, Holzkohle, Koks, Sand, Blechtafeln, Schamottesteine, Asbestplatten, Formplatten usw. Zur Bearbeitung der Bruchstellen für das Schweißen sind möglichst Druckluftmeißel zu verwenden.

**Vorbereitung der Bruchränder.** Die für die Kaltschweißung gebräuchlichen Schweißmulden sind für die Warmschweißung selten ausreichend, vielmehr muß hier für möglichst große Öffnung der Schweißstelle gesorgt werden, damit der immerhin dicke Schweißstab gut bewegt werden kann und der Lichtbogen an den Bruchrändern genügend Angriffsflächen findet. Die Bruchränder werden entweder mit Druckluftmeißeln ausgearbeitet oder, wenn durchführbar, durch Abbohren künstlich erweitert. Zwar kann die Schweißfuge mitunter auch mit der Kohlelektrode eingeschmolzen werden, doch ist diese Art der Vorbereitung des Schweißbettes nicht immer empfehlenswert, weil, wenn sie im kalten Zustande des Werkstücks erfolgt, infolge von Spannungen unter Umständen neue Risse und Brüche auftreten können. Ein Verstimfen der Bruchränder und die Anwendung ähnlicher Festigkeitsträger gibt es beim Warmschweißen nicht. Dagegen ist es häufig angebracht, größere Bruchstücke, die an das Werkstück wieder mit anzuschweißen sind, vor dem Einformen durch eiserne Laschen, Schienen, Winkel usw. zu befestigen.

**Einformen des Schweißguts.** Beim Warmschweißen handelt es sich tatsächlich um ein Kleingießverfahren, denn es werden nicht nur kleine, unmittelbar unter der Flamme gelegene Stellen flüssig, wie beim Kalt- und Gasschweißen, sondern größere Flächen des Werkstücks. Der Umfang des flüssig werdenden Stücks ist abhängig von der aufgewandten Schweißstromstärke und wächst mit dieser. Damit das flüssige Gußeisen nicht aus dem Schmelzbad abfließen kann, ist eine Einformung des Werkstücks, zumindest jedoch der Schweißfugenränder erforderlich. Die Einformung muß von Fall zu Fall der Erfahrung des Schweißers oder seines Vorgesetzten überlassen bleiben und ist übrigens auch abhängig von den örtlichen Verhältnissen und der Einrichtung der Schweißerei. Gerade die erforderlichen Formarbeiten stellen hohe Anforderungen an das Geschick und die Erfahrungen des Warmschweißers, und seine Schweißergebnisse werden um so besser sein, je mehr er sich in der Kunst sachgemäßen und zweckentsprechenden Formens zurechtfindet. Nicht allein auf eine gute Schweißung als solche ist Wert zu legen, sondern auch darauf, mit Rücksicht auf Strom- und Werkstoffvergeudung unnötig große Angüsse zu vermeiden.

Sind nur Sprünge (Risse) in dem zu schweißenden Gußkörper vorhanden, so genügt meist die Einbettung in den Einformboden (die Sohle) der Schweißerei, wie dies in Abb. 313 schematisch dargestellt ist. Die Gußstücke werden ganz in Sand eingeformt und nur die Schweißstelle, die immer nach oben und möglichst waagrecht zu liegen hat, wird frei gelassen. Eine Gruppe auf diese Weise eingeformter und zur Schweißung vorbereiteter Gußstücke ist aus Abb. 314 zu ersehen. Sind die Bruchstücke der Gußkörper vorhanden und genügend

groß, so daß sie beim Schweißen nicht vollkommen verflüssigt werden, so werden diese Bruchstücke nach entsprechender Vorbereitung wieder verwendet und mit eingeformt. Wenn die abgebrochenen Stücke jedoch zu klein, zu oft unterteilt oder in Verlust geraten sind, dann werden sie durch Einschmelzen neuen Gusses völlig ersetzt.

Wichtig ist auch die Rücksichtnahme auf den Abzug der beim Schweißen gebildeten Gase. Wenn die Gase im Schweißgut keine ausreichende Abzugsmöglichkeit haben, bilden sich in der Schweißung nicht allein Poren und Blasen, sondern von unten nach oben verlaufende (senkrechte) röhrenartige Kanäle, welche die ganze Schweiß-

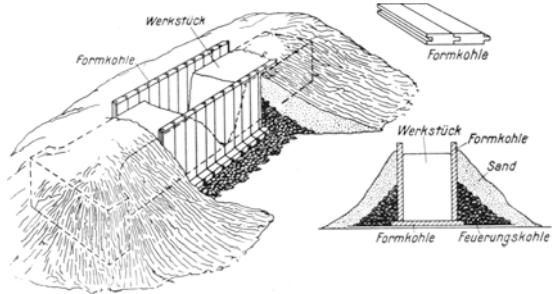


Abb. 313. Vorbereitung zur elektrischen Wärmeschweißung.

stelle durchsetzen und außer zu Undichtigkeiten noch zur Verringerung der Festigkeit führen. Um die Gase leicht entweichen zu lassen, bedarf es nur einer Maßnahme: Erweiterung der Bruchstelle nach oben. Diese winklige Erweiterung der Bruchstelle hat noch den Vorteil, daß die Stabelektrode leichter bis zum Grunde der Schmelzstelle gelangen kann, ohne den magnetischen Wirkungen der Bruchränder ausgesetzt zu sein oder an diesen Kurzschluß (Lichtbogenbildung) zu verursachen.



Abb. 314. Zur Wärmeschweißung vorbereitete Gußstücke.

Das Werkstück wird an der Schweißstelle mit einem nach oben offenen Formkasten umgeben, der mit Formsand ausgefüllt wird. Die Beschaffenheit des Formkastens richtet sich danach, ob über oder unter der Werkstättensohle geschweißt werden soll. Schwere Gußstücke mit größeren Bruch- beziehentlich Schweißflächen werden vorteilhaft in den bereits beschriebenen Schweißgruben eingeformt, kleinere in der Werkstattsohle selbst oder über dieser in hohen Formkästen (Blechkästen), wie dies schon Abb. 312 zeigte. Die Sandhaltebleche, wie man die Formkästen besser bezeichnen sollte, werden aus 2 ÷ 5 mm-Eisenblechen hergestellt und in erforderlicher Größe und Entfernung um die Schweißstelle herumgestellt. Die Befestigung der Bleche miteinander erfolgt durch Klammern, Spannriegel u. dgl. Mitunter erübrigt sich die Anwendung von Sandhalteblechen auch ganz. In Abb. 313 und 315 ist die Einförmung des Schweißguts ohne, in Abb. 316 mit Formkasten schematisch dargestellt.

Die Schweißstelle selbst wird zunächst mit einem besonderen Formstoff, sog. Retortenkoksplatten, umgeben. Die Formkohlen sind in verschiedenen Ab-

messungen und Dicken, auf Wunsch auch mit Nut und Feder erhältlich, wie dies schon Abb. 313 rechts oben zeigt. Sie lassen sich sehr gut feilen; man kann

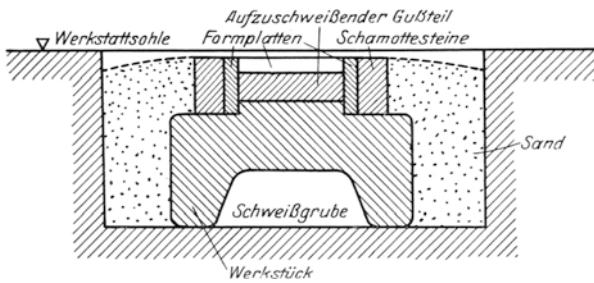


Abb. 315. Einförmung eines Warmschweißstücks ohne Formkasten.

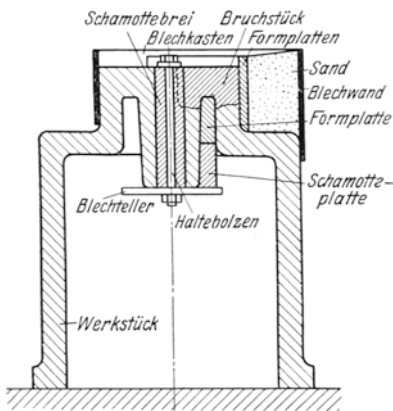


Abb. 316. Einförmung eines Warmschweißstücks mit Formkasten.

Wichtig ist es, die Einförmung des Werkstücks so vorzunehmen, daß die

gesamte Schweißfläche von einer Seite (von oben) aus zugänglich ist. Verboten dies formtechnische oder sonstige Gründe, dann muß nach Fertigstellung der ersten Teilarbeit eine neuerliche Einförmung und abermaliges Schweißen des nun restlichen Teiles stattfinden. Dadurch kann allerdings die Fertigstellung der Gesamtarbeit Tage und sogar Wochen länger dauern, womit die Wichtigkeit wohlüberlegter Einförmung besonders hervortritt.

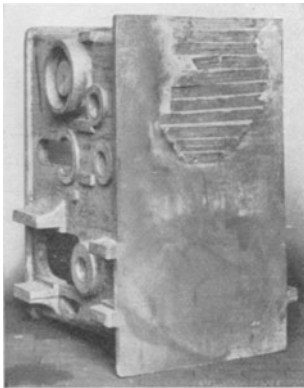


Abb. 317. Warmschweißung eines Pressentisches.

Handelt es sich um breite Grundflächen der Schmelzformen und um große Mengen niederschmelzenden Gußeisens, so kann die Schweißung oft selbst bei großer Stromstärke und starken Elektroden nicht in ununterbrochenem Zuge durchgeführt werden. Vielmehr wird, aus später zu erörternden Gründen, eine besondere Arbeitsweise notwendig: die Schweißstelle muß in kleine Kammern unterteilt werden, indem man im Sinne der Abb. 318 verfährt.

Eine der erforderlichen Unterteilung entsprechende Anzahl Formplatten wird als Querwände *a* eingebaut und jedes zweite der hierdurch gebildeten Kästchen *b* mit

ihnen daher jede, dem Zwecke gerade am besten entsprechende Form geben. Bei vorsichtigem Umgang mit den Koksplatten sind sie wiederholt benutzbar. Die Schweißstelle ist derart mit Formplatten einzufassen, daß diese ringsum die Schweißstelle um etwa 20 ÷ 50 mm überragen (Abb. 313, 315 und 316), damit während des Schweißvorgangs

kein flüssiges Eisen aus dem Schmelzbad abfließen kann und die Schweiße für die darauffolgende Bearbeitung genügend dick wird. Auf das Maß, um welches die Formplatten über die Bruchränder vorstehen, kommt es im allgemeinen nicht sehr an, da der Schweißer es in der Hand hat, die Form mehr oder weniger hoch auszufüllen. Der Zwischenraum zwischen den Platten und den Sandhalteblechen wird dann vorsichtig mit Formsand ausgefüllt und dieser festgestampft, so daß eine zur Vorwärmung fertige, allseitig elektrisch leitende Gußform entsteht. In Abb. 317 ist eine geschweißte, unbearbeitete Platte eines Pressentisches zu erkennen, die noch deutlich die Abdrücke der Kohlenplatten zeigt, welche zur Einförmung dienten.

Sand ausgefüllt; die übrigen (c) bleiben offen und werden zuerst mit dem Elektrodenwerkstoff angefüllt. Darauf werden die Formstege *a* und der Sand sauber entfernt und die entstehenden Hohlräume *b* ebenfalls mit Gußeisen ausgefüllt.

**Vorwärmung.** Der Wärmezustand des Gußkörpers ist für den Erfolg der Schweißung in hohem Maße ausschlaggebend. Die im Gußstück vorhandenen und während des Schweißens hinzukommenden Spannungen gehen verloren, sobald das Werkstück rotwarm wird. Auch um die gleichmäßige Ausdehnung zu erzielen und das Verziehen zu verhüten, muß für eine gute, gleichmäßige Durchwärmung des Gußkörpers gesorgt werden. Durch längeres Flüssighalten der Schweiße wird überdies eine innigere Mischung zwischen Füllstoff und Grundmetall herbeigeführt, die Kohlenstoffausscheidung (Graphitbildung) begünstigt und damit die Schweiße weich erhalten.

Alle diese Gründe, zuvorderst aber die Ausschaltung der Werkstoffspannungen, bedingen gleichmäßiges und allmählich zunehmendes Vorwärmen auf Rotglut ( $500 \div 700^\circ$ ). Der eingeförmte und zur Schweißung vorbereitete Gußkörper wird dann am besten in die Schweißgrube eingesetzt; die Formen werden mit Asbestplatten gut abgedeckt, das Ganze wird mit Holzkohlenfeuer umgeben. Die Anwärmung durch ein Koksfeuer ist weniger angebracht, da sie bei nicht genügend sorgsamer Überwachung zu An- und Abschmelzungen vorstehender Gußteile führen kann, besonders wenn das Feuer durch Unterwindgebläse betrieben wird. Die Vorwärmung im Holzkohlenfeuer nimmt je nach Masse des Schweißguts  $2 \div 10$  h in Anspruch. Am besten wird über Nacht geheizt, so daß am darauffolgenden Morgen mit der eigentlichen Schweißarbeit begonnen werden kann.

**Ausführung der Schweißarbeit.** Im allgemeinen bedingt die Gußwärmeschweißung den Aufwand bedeutender elektrischer Leistungen. Die Schweißstromstärke bewegt sich in den Grenzen zwischen mindestens 300 und höchstens 1500 A, die Betriebsspannung zwischen 40 und 70 V (Leerlaufspannung 90 bis 110 V); normal sind  $400 \div 600$  A gebräuchlich. Die Stromstärke muß stets so hoch gehalten werden, daß das Schweißbad gut flüssig bleibt. Zu geringe Stromstärken ergeben harte Schweißstellen. Als Füllstäbe werden gußeiserne, stark siliziumhaltige Elektroden von  $8 \div 20$  mm Durchmesser verwendet, die entweder nackt oder überzogen sind. Im ersten Falle wird dem eingeschmolzenen Werkstoff ein schlackenbildendes Schweißpulver unmittelbar zugesetzt, während sich dies beim Schweißen mit ummantelten Elektroden erübrigt. Das Werkstück liegt am Pluspol und der Schweißstab am Minuspol. Als Werkstoff, der sich gut zum Schweißen eignet, ist ein Gußeisen zu bezeichnen mit  $3 \div 3,5$  vH Kohlenstoff,  $0,5 \div 0,7$  vH Mangan,  $3 \div 3,5$  vH Silizium, bis  $0,8$  vH Phosphor und bis  $0,06$  vH Schwefel.

Während der Ausführung der Schweißarbeit verbleibt der Gußkörper in der Schweißgrube bzw. im Feuer; nur die Schweißstelle wird aufgedeckt und sauber von Kohlenstaub, Asche u. dgl. ausgeblasen. Um den Schweißer nicht unmittelbar der großen Wärmestrahlung des Schweißguts auszusetzen, wird dieses, soweit es möglich, mit Eisenblechen und darübergelegten Asbestplatten

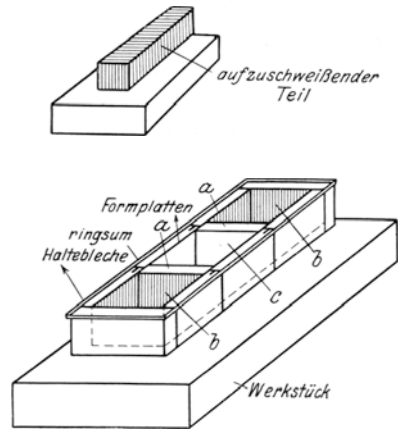


Abb. 318. Unterteilung der Schweißstelle in Kammern.



ringsum abgedeckt, so daß nur die Schweißstelle frei liegt. Die Schweißung schwerer Werkstücke erfordert die wechselweise Ablösung zweier oder mehrerer Schweißer; die Leute würden sonst zu sehr ermüden, was die Güte der Schweißung stark beeinträchtigt. Deshalb werden an den Minuspol zwei oder mehr Kabel mit Schweißkolben angeklemt, wovon nur immer einer im Betriebe steht, während sich die anderen in Bereitschaft befinden (Abb. 312).

Eine gute Schweißung setzt voraus, daß das von der Elektrode abfließende Gußeisen auf flüssiges, zumindest aber bis kurz vor den Verflüssigungsgrad erhitztes Grundmetall aufgeschmolzen wird, wenn rasches Abschrecken des Elektrodeneisens und Hartwerden der Schweißstelle vermieden werden soll. Aus diesem Grunde hat sich der Schweißer vor Beginn seiner Arbeit vom ausreichenden Wärmezustande des Werkstücks durch Verwendung von Tasthaken zu überzeugen und, um Wärmeverluste des Werkstücks zu verhüten, die Schweißung so rasch durchzuführen, wie die Verhältnisse es gestatten. Der ziemlich umfangreiche Lichtbogen bringt sowohl das Ende der Stabelektrode als auch die Bruchränder der Schweißstelle fast gleichzeitig zum Fließen, und das abfließende Gußeisen füllt die Schweißform allmählich aus. Auf diese Weise können Gußmengen von 2 ÷ 20 kg/h niedergeschmolzen werden, wobei die Niederschlagsmenge sich natürlich nach der Stromstärke und dem Stabdurchmesser richtet. Für die eben angegebenen Mengen sind Elektroden von 8 ÷ 15 mm Durchmesser und eine Schweißstromstärke von 300 ÷ 600 A angenommen.

Da das Ausgießen größerer Formen mit den Elektroden allein zu langsam geht, greift man häufig zu einem einfachen Mittel, um den Schweißvorgang zu beschleunigen. Sobald ein genügender Schmelzfluß vorhanden ist, wirft man kleine Gußstückchen (Abfälle von Elektroden u. dgl.), vorteilhaft auch etwas Schweißpulver in das Schmelzbad hinein und schmilzt alles mit dem übrigen Werkstoff zusammen. Bei zu großer Ausdehnung der Schweißfläche läuft man Gefahr, daß dauernd Teile des eingeschmolzenen Eisens auf noch kalte oder unzureichend erhitzte Teile des Grundmetalls auffließen, ohne sich mit diesen zu verbinden, da der Lichtbogen ja nur eine bestimmte, begrenzte Fläche der Gesamtschweißfläche gleichmäßig auf Schmelztemperatur erhalten kann. Deswegen geht man bei großflächigen Schweißen dazu über, diese in eine Reihe von Kammern zu unterteilen (Abb. 318); der Lichtbogen ist dann in der Lage, die Schweißfläche gut flüssig zu erhalten und eine gleichmäßige Verbindung des niedergeschmolzenen Gußeisens mit dem Grundwerkstoff herzustellen. Nach Abschmelzung jeder Elektrode wird die Oberfläche des Schmelzbads gründlich von Schlacke und Schmutz (durch Kratzen u. ä.) gereinigt.

**Nachwärmung.** Ist die Form ausgefüllt und die Schweißung beendet, d. h. die Schmelze erstarrt, so wird die Schweißgrube mit Holzkohlenstaub, Asche oder Sand abgedeckt und die ganze Schweißgrube mit Sand verschüttet. Wenn das Feuer inzwischen zu weit niedergebrannt ist, wird die Schweißstelle nochmals mit Feuer umgeben. Für recht langsames Abkühlen des geschweißten Körpers ist Sorge zu tragen, wobei sich die Geschwindigkeit des Erkaltes in einfacher Weise durch das Nachwärmefeuern regeln läßt. Die Dauer der Abkühlung richtet sich naturgemäß nach der Masse des Gußstücks und kann in besonderen Fällen 8 Tage und mehr in Anspruch nehmen.

**Beispiele ausgeführter Arbeiten.** Um den Werdegang einer Warmschweißung verfolgen zu können, sind einige Abbildungen (Abb. 319 ÷ 322) interessanter Werkstücke wiedergegeben, die durch elektrische Warmschweißung ausgebessert wurden. Abb. 319 zeigt einen Ständer (Königsstuhl), dessen etwa 60 mm dicke Platte

in mehrere Stücke zerbrochen ist. Der Gußkörper wurde so eingeformt, daß seine Säule in der Schweißgrube nach unten, die Platte mit den Schweißstellen nach oben und waagrecht zu liegen kam, wie dies aus der Abbildung ersichtlich ist. Sie führt das fertig eingeformte, an den Bruchrändern auf etwas über Werkstoffdicke ausgearbeitete Gußstück vor Augen. Das Schweißergebnis (Abb. 320) zeigt sieben unbearbeitete Schweißnähte. Ob sich eine so umfangreiche Schweißung an einem verhältnismäßig einfachen Stück, wie es das vorliegende darstellt, immer verlohnt, ist mehr eine Frage des Zeitverlustes bei Neuguß, da die Kosten der Schweißung hier die des Neugusses wohl übertreffen dürften.

Abb. 321 zeigt einen am Schieberkasten stark beschädigten Lokomotivzylinder im für die Schweißung teilweise vorbereiteten Zustande, äußerlich jedoch nicht eingeformt. Das Zylinderinnere ist in bekannter Weise mit einem Formplattenkern ausgelegt. Nach der Schweißung hatte der Zylinder das Aussehen der Abb. 322. Der eingeschweißte Teil ist durch Umränderung mit Kreide leichter sichtbar gemacht.

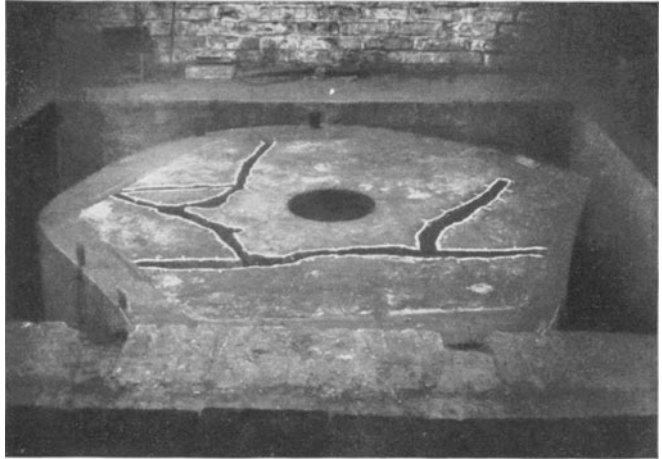


Abb. 319. Zur Warmschweißung vorbereitete Ständerplatte.

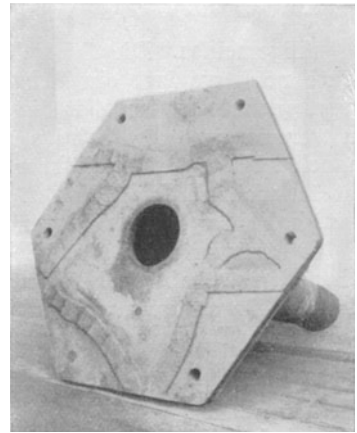


Abb. 320. Ständerplatte nach der Schweißung.

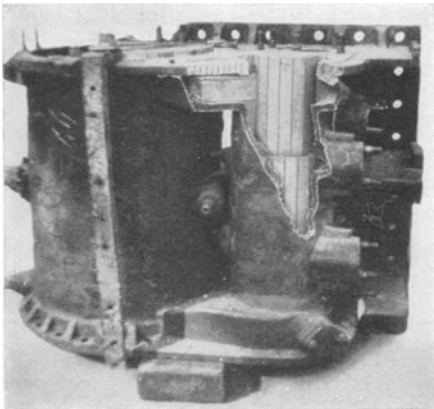


Abb. 321. Lokomotivzylinder vor der Schweißung.

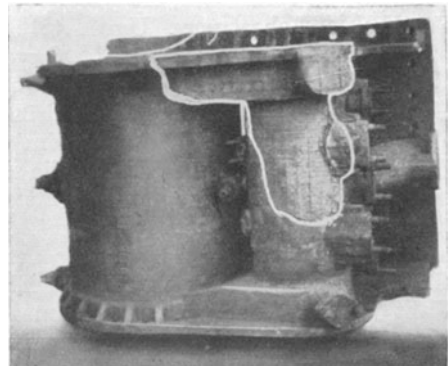


Abb. 322. Lokomotivzylinder (Abb. 321) nach der Schweißung.

**Halbwarmschweißung.** Sie unterscheidet sich von der Warmschweißung lediglich in der Art der Vorwärmung und soll nur der Vollständigkeit halber Erwähnung finden. Die Vorwärmung wird bis zu etwa 250° getrieben, also kaum bis zur Hälfte der beim Warmschweißen üblichen Wärmegrade. Vorbereitung und Einformung bleiben dieselben, während das zu schweißende Werkstück jedoch nicht ganz, sondern durch örtliches Aufbringen von Holzkohlenfeuer nur an der Schweißstelle auf vorerwähnte Temperatur angeheizt wird. Dabei ist auf gutes Austrocknen der Form zu achten. Der Verlauf der Schweißung ist im übrigen derselbe wie beim Warmschweißen; es wird mit denselben Stromstärken und Spannungen gearbeitet, und die gleichen Elektrodenstäbe werden eingeschmolzen.

Halbwarm geschweißt werden vor allem verhältnismäßig kleine Werkstücke, an denen größere Mengen Gußeisen niedergeschmolzen werden müssen und bei welchen auf Grund ihrer Formgestaltung Gefahren infolge von Spannungserscheinungen nicht zu gewärtigen sind. Die Ausbesserungen erstrecken sich daher meist auf freiliegende und vorstehende Ecken, Kanten oder sonstige Teile des Werkstücks.

## 7. Die Schweißung der Nichteisenmetalle.

**Allgemeines.** Die Schweißung der Nichteisenmetalle (NE-Metalle) ist auch heute noch weniger ein Arbeitsgebiet der Lichtbogen- als der Gasschweißung, wenn auch in letzter Zeit die elektrische Schweißung nennenswerte Fortschritte zu verzeichnen hat. Einige schweißtechnisch recht unliebsame Eigenschaften mancher NE-Metalle und ihrer Legierungen erschweren die elektrische Schweißung beträchtlich. Es sind dies u. a.: hohes Wärmeleitvermögen, Wärmeempfindlichkeit, hohe Oxydierbarkeit und leichte Vergasbarkeit.

Die ersten Versuche, NE-Metalle mit dem Kohle- oder Metalllichtbogen zu schweißen<sup>1</sup>, ergaben scheinbar unlösbare Schwierigkeiten, weniger wegen der technischen Durchführbarkeit als wegen der ungenügenden Güteverhältnisse der Schweißung. Da anfänglich die NE-Metallschweißung mit Metallelektroden nicht nur metallurgisch, sondern auch schweißtechnisch fehlschlug, nahm man den Kohlelichtbogen zu Hilfe. Die Schweißung mit diesem vollzieht sich ähnlich der der Gasschweißung. Der Lichtbogen wärmt zu Beginn den Nahtanfang vor, schmilzt dann die Werkstoffkanten an und den Zusatzstab ein. Infolge der Leichtflüchtigkeit der meisten NE-Metalle bedient man sich, um das Durchsacken der Schweißung zu vermeiden, oft geeigneter Unterlagen, wie Platten aus Eisen, Kupfer, Formkohle, Asbest usw. Um Metalloxyde zu lösen und sie zu einer Schlacke zu binden, sowie die Bildung neuer Oxyde möglichst zu verhindern, verwendet man Flußmittel oder Schweißpulver von derselben Zusammensetzung wie bei der Gasschweißung. Auch als Zusatzdrähte benutzt man — von einigen Ausnahmen abgesehen — die gleichen wie beim Gasschweißen.

Die Tatsache, daß NE-Metallelektroden mit dem Pluspol zu verschweißen sind, wurde schon lange vor den Untersuchungen über die Physik des Lichtbogens und unabhängig von dieser erkannt. Man beobachtet vielfach einen sehr unregelmäßigen großtropfigen Übergang des Elektrodenwerkstoffs im Lichtbogen und ein häufig starkes Verspritzen der Elektroden seitlich der Naht. Zu Beginn der Naht binden die Raupen manchmal schlecht ab, und erst nach hinreichender Vorwärmung des Stückes kommt man zu ungleichmäßigen, nicht selten porigen Schuppenketten von meist wechselnder Breite und Überhöhung.

<sup>1</sup> Horn-Liedloff: Die Lichtbogenschweißung von NE-Metallen. TZ 1933 Heft 10/11.

## a) Kupfer und seine Legierungen.

**Wahl der Stromstärke.** Die schweißtechnisch unangenehmste Eigenschaft des Kupfers ist sein großes Wärmeleitvermögen (etwa 6mal so groß wie beim Eisen). Aus diesem Grunde ist trotz des verhältnismäßig niedrigen Schmelzpunktes (1083° für Reinkupfer) eine bedeutende Wärmezufuhr nötig, um eine örtliche Schmelzung einzuleiten. Bei Verwendung des Kohlelichtbogens ist genügende Wärmezufuhr und Verflüssigung des Werkstücks, bevor mit dem Zusatz von Draht begonnen wird, zwar ohne weiteres möglich, doch besteht dabei die Gefahr, daß bei zu hoher Stromstärke oder bei zu langem Verweilen des Lichtbogens an einer Stelle, also bei zu langsamem Schweißen, die Kupferschmelze überhitzt bzw. verbrannt wird. Die Wahl der Stromstärke ist so zu treffen, daß die Schmelzzone möglichst nicht breiter wird als die doppelte Blechdicke. Für Blechdicken zwischen 2 und 15 mm bewegen sich die Schweißstromstärken zwischen 80 und 300 A, die Spannungen zwischen 35 und 50 V und die Kohledurchmesser zwischen 12 und 25 mm bei gewöhnlicher und 8 und 16 mm bei Graphitkohle.

**Vorbereitung und Art der Schweißung.** An vorbereitenden Maßnahmen kommen für dünne Bleche nur Unterlagen in Frage, da ein I-Stoß mit einem Kantenabstand von einem Viertel der Blechdicke ausreicht. Von 6 mm Blechdicke an aufwärts muß zur V-Schweißung übergegangen werden. Da stehende Nähte infolge Abfließens der Schweiße äußerst schwierig, deshalb praktisch so gut wie nicht ausführbar sind, kann nur in waagerechter oder leicht ansteigender Ebene gearbeitet werden. X-Schweißungen an längeren Nähten, bei denen ein Schweißen der Gegenseite nach Wenden des Stückes stattfinden würde, schließen sich von selbst aus, da Nachschweißungen ein Aufreißen der zuerst gelegten Naht zur Folge haben. Ausnahmen bilden nur kurze Nahtlängen, bei denen das Stück dauernd in Rotglut bleibt. Daraus folgt, daß alle Nähte in einem Zuge bis oben aufgefüllt werden müssen und Mehrlagenschweißungen nicht vorgenommen werden können. Kehlschweißungen bieten insofern Schwierigkeiten, als infolge der Leichtflüssigkeit ein Absacken der Schweiße eintritt. Dickere Hohlkehlnähte sind im allgemeinen nur dann möglich, wenn der Körper so gedreht werden kann, daß die Hohlkehle zur waagerechten V-Fuge wird. Unter dieser Voraussetzung ist ihre Anordnung bei Konstruktionen infolge des Fortfalls von Unterlagen zwar vorteilhaft, doch wird man sie im Kupferapparatebau weniger antreffen.

**Schweißtechnische Schwierigkeiten.** Neben der Beschränkung der Lage der Schweißnähte ist an schweißtechnischen Schwierigkeiten nur noch das Tanzen und Abirren des Kohlelichtbogens zu erwähnen, das bei gut angespitzter Kohle und nicht zu ausgedehntem Schmelzbade nachläßt. Daher sind Schweißnähte mit formenschönen Schuppenketten nur sehr schwer zu erreichen. Gasporen und kleine Vertiefungen an der Oberfläche, in denen sich Flußmittelreste festsetzen, werden nach deren Beseitigung sichtbar. Erst durch nicht zu kräftiges Hämmern der Nahtüberhöhung kann ein hinreichender Ausgleich der unschönen Oberfläche geschaffen werden. Das Aussehen einer nichtgehämmerten Naht an 10 mm dickem Kupferblech, dessen Oberfläche von Schlackenresten befreit ist, zeigt Abb. 323.

Die jeden Kohlelichtbogen umgebende Aureole von verbrennenden Kohleteilchen kann den Einfluß des Luftsauerstoffs nicht hinreichend abhalten; man muß deshalb immer zu einem Flußmittel greifen, das die Schweiße und deren erhitzte Nachbarzonen schützend bedeckt. Auch bei reichlicher Zugabe von Flußmitteln läßt sich eine merkliche Aufnahme von Sauerstoff nicht unterbinden.

Er ist im mikroskopischen Ätzbild, immer in Form von Kupferoxydul, anzutreffen. Abb. 324 zeigt das Schliffbild einer 10 mm-Kupferblechschweiße mit starker Einstrahlung. Die Anordnung der groben Kristalle steht in Richtung des

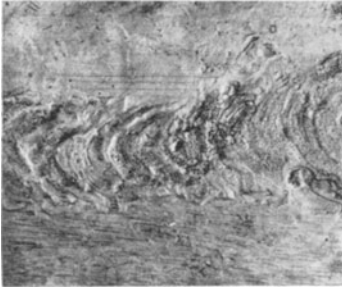


Abb. 323. Mit dem Kohlelichtbogen geschweißtes Kupferblech.

Wärmefflusses senkrecht zu den Fugenrändern und zur Blechoberfläche. Die nur 100 mm lange Naht gestattete eine doppelseitige Schweißung.

Die in der Kupferschweiße anzutreffenden Gasporen entstehen bei der Reduktion des Kupferoxyduls durch Kohlenstoffteilchen der Elektrode. Es bilden sich dann Kohlenoxyd und Kohlensäure, die nicht mehr an die Oberfläche des Schmelzbades gelangen können, bevor dieses erstarrt. Weder das Oxydul noch die Gasblasen lassen sich durch Nachbehandlung beseitigen; lediglich ist durch Glühen und Hämmern eine Verfeinerung der Grobstruktur erreichbar, wodurch die Festigkeit gesteigert wird. Die Festig-

keit einer rohen Kupferschweiße beträgt etwa  $12 \text{ kg/mm}^2$  (rund 50 vH der Festigkeit des Grundwerkstoffs) und bei nachbehandelten Schweißen etwa  $19 \text{ kg/mm}^2$  (rund 85 vH des Grundwerkstoffs). Die Zähigkeit nimmt mit steigendem Oxydulgehalt rasch ab; daher ergeben sich nur geringe Biegewinkel. Die Dehnung wurde

in der Rohschweiße mit etwa 5 vH, in der nachbehandelten Schweiße mit etwa 15 vH ermittelt.

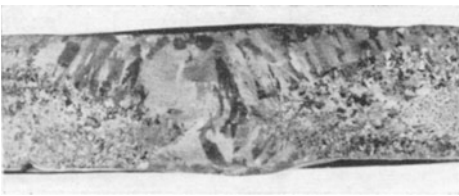


Abb. 324. Querschnitt einer Kupferschweißnaht (Schliffbild).

Mit der Metalllichtbogenschweißung des Kupfers sind praktisch brauchbare Ergebnisse bisher nicht erzielt worden, da infolge der hohen Leitfähigkeit keine ausreichende Erwärmung massiger Werkstücke eintritt. Mit Steigerung der Stromstärke tritt wohl ein beschleunigtes Abschmelzen

der Elektrode in großen Tropfen ein, aber das Werkstück wird nicht genügend erhitzt, so daß die Schweiße nur „klebt“. Gleichzeitig entstehen Verbrennungen und eine Oxydation der Schweiße. Die Elektrodenhersteller empfehlen deshalb meist nur umhüllte Bronzestäbe zur Kupferschweißung. Dabei kann natürlich nur von einer Hartlötung die Rede sein, die von beschränkter Korrosionsbeständigkeit ist. Die Kupferschweißung mit Metallelektroden muß also bei dem heutigen Stande der Schweißtechnik als noch nicht gelöst bezeichnet werden.

**Messingschweißung.** Da die Siedetemperatur von Zink sehr niedrig liegt, tritt auf Grund der großen Wärmewirkung des Lichtbogens eine so starke Verdampfung von Zink aus der Messingschmelze ein, daß porenfreie Schweißnähte auch bei überreichem Zusatz von Flußmitteln weder mit dem Kohle- noch mit Metalllichtbogen herzustellen sind. Die Praxis kann sich deshalb z. Z. der elektrischen Messingschweißung noch nicht bedienen.

**Bronzeschweißung.** Günstiger gestaltet sich die Bronzeschweißung, bei der man nicht lange in der Entwicklungsstufe der Kohlelichtbogenschweißung verweilte, sondern sich sehr bald dem Metalllichtbogen zuwandte. Die Hauptaufgabe der Bronzeschweißung besteht in der Herstellung geeigneter Legierungen für die Elektroden, allenfalls unter Beigabe einer geeigneten Umhüllung. Geringe Legierungszusätze können von ausschlaggebender Bedeutung sein, weshalb nach

dieser Richtung hin im Augenblick Untersuchungen angestellt werden. Zur Zeit werden Bronzeelektroden nur von wenigen Firmen hergestellt; sie empfehlen ein leichtes Vorwärmen des Werkstücks (bis zu 200°), was auf eine Halbwarm-schweißung hinausläuft. Werden gegossene Stäbe verarbeitet, so ist eine Vorwärmung des Bronzekörpers auf etwa 700° Bedingung. Das stark tropfenförmige Abschmelzen der Gußelektrode ist zwar schweißtechnisch nicht besonders störend, jedoch müssen zum Schutze der erhitzten Werkstückoberflächen geeignete Flußmittel gefordert werden, auch dann, wenn dünngetauchte Stäbe Anwendung finden. Bei der Wahl der Stromstärke ist auf den Wärmezustand Rücksicht zu nehmen, und es ist darauf zu achten, daß nicht allein der Elektrodendurchmesser für die Höhe der Stromstärke bestimmend ist, sondern auch die Massenverhältnisse des Bronzekörpers. Dabei dürfen ferner niedrig siedende Legierungsbestandteile nicht durch Überhitzung verdampfen und keine Gas-poren hinterlassen.

Bei Bronze ist noch besonders zu beachten, daß sie im erhitzten Zustand ihre Festigkeit fast ganz einbüßt, weshalb Bronzekörper vor Beginn der Anwärmung gut gelagert und unterbaut werden müssen, um das Absacken oder Abbrechen von Teilen zu verhüten. Da ferner beim Bronzeschweißen reichlich Gase und Dämpfe ausgeschieden werden, ist es ratsam, bei Arbeiten von längerer Dauer, den Schweißer zum Tragen einer Atmungs-maske (Respirator) anzuhalten.

Bronzeschweißungen auch ohne Vorwär-mung durchführen zu können, ist der verständliche Wunsch der Praxis. Hierzu verwendet man gewalzte und gezogene Bronzedrähte mit hohem Kupfergehalt und Flußmittel, wie sie bei der Gasschweißung üblich sind. Die Wirkung der vermeintlich immer notwendigen Stabumhüllung kann bei nackten Bronzestäben durch besondere Legierungsbestandteile erreicht werden, die den Schweißvorgang erleichtern. So ist die Auftragsschweißung in Abb. 325 mit nackten Stäben ausgeführt worden. Die rechte Raupe ist mit einer 5 mm-Elektrode und mit 170 ÷ 180 A bei 20 ÷ 22 V aufgetragen worden, und zwar auf die kalte Lagerschale. Die linke Raupe, die mit nur 140 A verschmolzen wurde, zeigt neben ungenügendem Einbrand seitlich übergelaufene Ränder; die Stromstärke war zu gering. Der Grundwerkstoff läßt im Querschnitt des Bildes große Kristalle erkennen, während die Schweißze, die rasch erkaltet, ein sehr feines Korn aufweist. Im Gegensatz zur blasenfreien Oberfläche sind im Raupenquerschnitt vereinzelt kleine Poren vorhanden, die im vorliegenden Ausmaße unschädlich sind. Völlig porenfreie Nähte in Bronze werden in der Praxis wohl kaum anzutreffen sein. Der erhöhte Kupfergehalt der Elektrode kommt im Gesamtbild der Schweißung durch den rötlicheren Farbton der eigentlichen Schweißze zum Ausdruck. Farbgleichheit zwischen Grundwerkstoff und Schweißze zu erzielen, bei sonst gleichbleibenden schweißtechnischen und metallur-gischen Vorzügen, wird vorerst noch Schwierigkeiten machen.

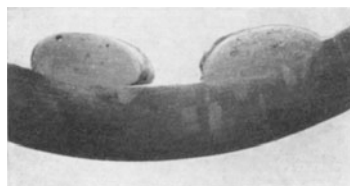


Abb. 325. Querschnittsschliffe von aufgeschweißten Bronzeraupen ( $V = \frac{1}{2}$ ).

### b) Nickel und seine Legierungen.

**Nickel.** Auch beim Schweißen von Reinnickel und hochnickelhaltigen Le-gierungen besteht besonders die Gefahr einer Überhitzung. Wie alle NE-Metalle werden auch diese mit dem Pluspol an der Elektrode und mit möglichst kurzem Lichtbogen geschweißt. Wird mit dem Kohlelichtbogen gearbeitet, der sich hier weniger eignet, so liegt die Kohle am Minuspol.

**Monelmetall**, ein aus Kupfer-Nickel-Erzen unmittelbar erschmolzenes Naturmetall, und das ihm ähnliche synthetisch hergestellte Nicorros zeigen praktisch kaum Unterschiede in der Schweißbarkeit. Um ein Verbrennen scharfer Blechkanten zu vermeiden sind diese zum Schweißen so vorzubereiten, daß nur  $\frac{3}{4}$  bis  $\frac{4}{5}$  der Blechdicke abgeschrägt wird und der Rest im Stumpf- (I-) Stoß verbleibt. Die Schweißung erfolgt abschnittsweise über den ganzen Querschnitt in einer Lage, da sonst Rißbildungen kaum vermeidbar sind. Die zwischen den einzelnen Abschnitten verbliebenen Zwischenräume werden in gleicher Weise in einer Lage ausgefüllt. Dünnere Bleche schweißt man in der für Stahl üblichen Art.

Während dünnere Monel- und Nicorrosbleche häufig auch mit nackten Elektroden geschweißt werden können, müssen zur Schweißung dickerer Bleche dieser Metalle sowie für Nickelbleche aller Dicken umhüllte Elektroden angewandt werden. Für Nickel und hochnickelhaltige Legierungen (mit mehr als 50 vH Nickel) haben sich neben einem 25proz. Titan-Kalzium-Gemisch Mischungen aus Silizium-Mangan-Magnesium als Elektrodenüberzüge gut bewährt. Zum Beispiel ist ein Gemenge von 2 Teilen Desoxydationslegierung mit 2 Teilen Borax und 0,5 Teilen Graphit, wobei erstere aus 14 ÷ 16 vH Magnesium, 27 ÷ 33 vH Mangan und 45 ÷ 50 vH Silizium besteht, als ein praktisch bewährtes Mittel für Elektrodenüberzüge anzusprechen.

Zu den heute meist verwendeten Legierungen mit einem Nickelgehalt unter 50 vH zählen die Kupfer-Nickel-Legierungen mit 20 ÷ 30 vH Nickel, die das Reinnickel und die vorhin erwähnten Sonderlegierungen bezüglich ihrer Wärmeempfindlichkeit noch übertreffen. Bei diesen Legierungen entscheidet mehr der Gehalt an Kupfer als der an Nickel über die beim Schweißen zu treffenden Maßnahmen. Es muß hier mit verhältnismäßig geringen Stromstärken gearbeitet werden, so daß nicht selten eine Vorwärmung dickerer Werkstücke unvermeidlich ist. Als Elektrodenüberzug dienen die für die Schweißung des Kupfers und seiner Legierungen üblichen Mischungen.

#### c) Blei.

Blei kann nur mit dem Kohlelichtbogen geschweißt werden. Die Stromstärken sind sehr gering; sie bewegen sich zwischen 10 und 50 A bei Blechdicken zwischen 2 und 10 mm. Die Spannung beträgt 18 ÷ 32 V. Blei wird nur im I-Stoß verbunden, eine Abschrägung der Schweißkanten gibt es nicht. Außerdem ist es ohne geeignete Unterlagen (Eisenblech, Asbest) nicht schweißbar. Dickere Bleche (über 5 mm) läßt man um 2 ÷ 3 mm auseinanderstehen. Als Zusatzstäbe verwendet man mit Schmirgelleinen gesäuberte Bleistreifen oder Bleidraht. Flußmittel sind nicht erforderlich. Das Tragen von Atmungsmasken, worüber zu Eingang dieses Abschnittes bereits gesprochen wurde, ist Bedingung, da Bleidämpfe sehr giftig sind.

#### d) Aluminium und seine Legierungen.

**Elektrodenumhüllung.** Das Aluminium besitzt neben einem verhältnismäßig niedrigen Schmelzpunkt (658°) eine hohe Schmelzwärme und große Leit- und Oxydationsfähigkeit. Ein Fortschritt auf dem Gebiete der elektrischen Aluminiumschweißung war deshalb nur möglich, wenn durch geeignete Elektrodenumhüllungen eine Lösung von Oxyden und die Verhinderung ihrer Neubildung zu erzielen war, eine Aufgabe, die beim Gasschweißen von Aluminium seit vielen Jahren gelöst ist. Nachdem nun kürzlich die Frage der Umhüllungsmasse von Aluminiumelektroden befriedigend gelöst wurde, kann die elektrische Schweißung

von Aluminium heute ohne nennenswerte Schwierigkeiten durchgeführt werden. Die Kohlelichtbogenschweißung findet nur noch vereinzelt Anwendung.

Die große Wärmeleitfähigkeit des Aluminiums gestattete zunächst nicht die Einleitung des Schmelzvorgangs, ohne daß eine besondere Vorwärmung des Nahtanfanges voraufging. Gerade die Regelung des Wärmezustands des Werkstücks verursachte bedeutende Schwierigkeiten, die nach der Herstellung geeigneter Flußmittelüberzüge auf Aluminiumelektroden heute als überwunden angesehen werden können. Wenn außerdem der Einfluß des Luftsauerstoffs auf eine Reinaluminiumschmelze durch wirksame Flußmittel unterbunden wird, wie dies jetzt zutrifft, treten auch keine metallurgischen Schwierigkeiten mehr ein. Die Wahl der Stromstärken ist weniger von der Elektrodendicke als von der Masse des zu schweißenden Werkstücks abhängig, so daß gerade zum Aluminiumschweißen ein ausgeprägt schweißtechnisches Feingefühl gehört.

**Schweißvorgang.** Vor Schweißbeginn sind die Blechkanten sauber abzuschaben oder abzubürsten, fettige und ölige Stoffe sind restlos zu entfernen, da sie die Bindung der Schweiße sehr ungünstig beeinflussen. Die Schweißung selbst geht rasch vonstatten, da die Elektrode schnell abschmilzt und ein schneller Vorschub ein Durchschmelzen der Blechkanten verhütet. Die Elektrode soll möglichst nur in Richtung der Naht, also ohne seitlich pendelnde Bewegung geführt werden. Aus praktischen Gründen sollte man mit Einlagenschweißungen auszukommen suchen, obwohl unter gewissen Voraussetzungen Mehrlagenanordnung möglich ist. Wo möglich, wird eine Unterlage aus Eisen oder Kupfer verwendet, auf die bei dünnen Blechen keinesfalls verzichtet werden kann. Um ein gutes Aussehen der Gegenseite zu erzielen, wird in die Unterlage eine Nut gehobelt, die das Abfließen geschmolzenen Aluminiums begünstigt. Bei Ecknähten dienen Winkelisen als Unterlage. Die Elektrode wird auch hier an den Pluspol einer Gleichstromquelle von möglichst hoher Zündspannung gelegt, die durch die etwas dickere Umhüllung der Elektroden erforderlich wird. Die Schweißspannung bewegt sich zwischen 18 und 28 V. Als normale Stromstärken können angenommen werden:

Elektrodendurchmesser	3 mm	Stromstärken	60 ÷ 100 A
„	4 „	„	100 ÷ 150 „
„	5 „	„	150 ÷ 200 „
„	6,5 „	„	200 ÷ 250 „

Ist infolge zu starken Flusses ein Durchsacken der Schweiße oder ein Abschmelzen der Bleche zu befürchten, so sind kurzzeitige Unterbrechungen notwendig. Nach vollendeter Schweißung ist die Schlacke beiderseits des Bleches mit warmem Wasser und einer feinen Drahtbürste restlos zu entfernen, da sonst im Laufe der Zeit Korrosionserscheinungen an der Naht auftreten können.

Das Aussehen einer Stumpfnah an 3 mm-Blech zeigt Abb. 326, Abb. 327 das einer Kehlnah. Die Naht

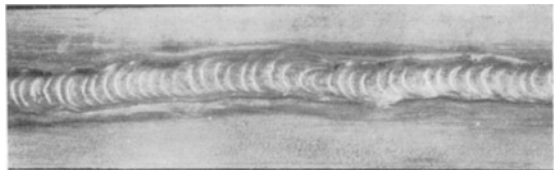


Abb. 326. Aluminiumschweißnaht; 3 mm-Blech.

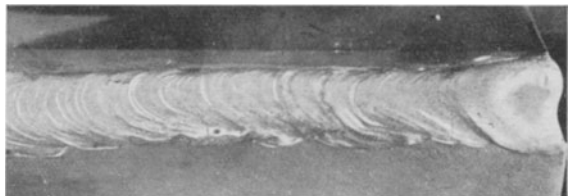


Abb. 327. Ecknaht (Kehlnah) an 3 mm-Aluminiumblech.



hat die Festigkeit des Reinaluminiumgusses ( $8 \div 10 \text{ kg/mm}^2$ ) bei einer Dehnung von etwa 25 vH. Ein Vergüten durch Hämmern oder Walzen erhöht die Festigkeit auf etwa  $18 \text{ kg/mm}^2$ , womit sie auf das Maß des Grundwerkstoffs gebracht wird. Abb. 328 zeigt das Schweißgefüge im Querschnitt. Die Abbildung in natürlicher Größe weist grobe, in Richtung des Wärmefflusses angeordnete Kristalle auf, die durch die wiederholt erwähnten Vergütungsverfahren verfeinert werden können.

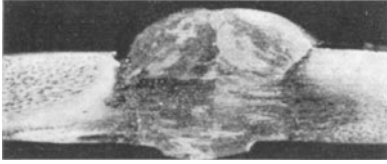


Abb. 328. Schliffbild einer Aluminiumblechschweißnaht.

**Aluminiumlegierungen.** Zur Ausbesserung von Aluminiumgußstücken sind zwar Reinaluminiumelektroden verwendbar, doch hat man bereits umhüllte Stäbe aus Aluminiumlegierungen hergestellt. Neben den normalen Aluminiumgußsorten (mit Zink- und Kupfergehalt) ist auch Silumin mit Stäben gleicher Zusammensetzung schweißbar.

Die Schweißung veredelter Aluminiumwalzlegierungen, wie Duralumin, Lautal usw., ist praktisch genau so wenig brauchbar wie die Gasschweißung, da schon geringe Wärmezufuhr genügt, um die physikalische Veredlung aufzuheben und die Festigkeit des Grundwerkstoffs erheblich herabzusetzen.

## IV. Die gas-elektrischen Schweißverfahren.

**Einteilung.** Unter dem Begriff „gas-elektrische Schweißung“ werden drei an sich verschiedene Verfahren verstanden, die einmal den Zweck haben, den Kohle-, mehr noch den Metalllichtbogen in einer Schutzgasflamme (daher auch Schutzgasschweißung) brennen zu lassen und damit den Einfluß des Luftstickstoffs und -sauerstoffs auf das Schmelzbad und auf die Elektrode selbst zu unterbinden, und zum anderen außerdem eine erhöhte Schweißgeschwindigkeit zu erzielen (Arcogenschweißung). Das Bestreben geht demnach dahin, die Vorteile der beiden grundsätzlich verschiedenen Verfahren, der elektrischen Lichtbogen- und Gasschmelzschweißung, zu vereinigen und die Nachteile beider nach Möglichkeit auszuschalten.

Zwei dieser vereinigten Verfahren werden als atomares Wasserstoff- oder Arcatom-Schweißverfahren bezeichnet bzw. nach ihren Erfindern als Alexander- und Langmuir-Verfahren. In Deutschland wurden diese Verfahren von der AEG entwickelt. Eine Bedeutung kommt mehr dem zuletzt genannten Schweißverfahren zu.

Das dritte und neueste Verfahren führt die Bezeichnung Arcogen- oder autogen-elektrische Schweißung und beruht darauf, eine Azetylen-Sauerstoff-Flamme unabhängig von einem Metalllichtbogen aber gleichzeitig mit diesem zum Schweißvorgang zu verwenden; es wurde von der I.G. Farbenindustrie A.-G., Werk Autogen, in Gemeinschaft mit der AEG entwickelt.

### A. Das Arcatom-Schweißverfahren.

**Allgemeines.** Der Schöpfung dieses Verfahrens lag der Gedanke zugrunde, die chemische Wirkung der Elektrodenumhüllungen durch die Flammenhülle eines neutralen Schutzgases zu ersetzen und zu steigern. Der um den Lichtbogen gebildete Schutzgasmantel soll den ungünstigen Einfluß des Luftstickstoffs und Luftsauerstoffs auf die Schweißnaht selbst verhindern und ferner die Legierungs-



**Gesamtanlage.** Abb. 330 zeigt einen Arcatomschweißer mit vollständigem Gerät, jedoch ohne Stromquelle, auf die noch besonders einzugehen ist. Auf dem Tische rechts steht der Gaserzeuger (Methanolvergaser).

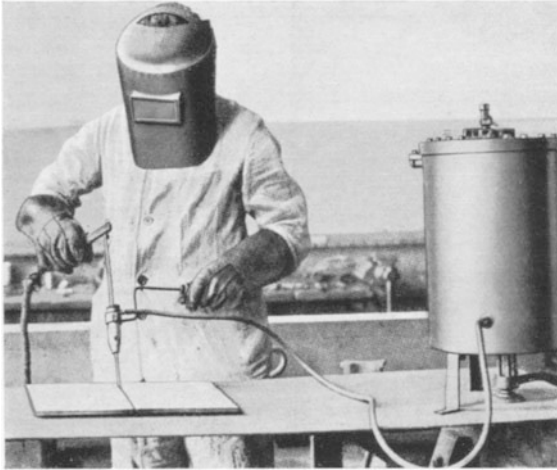


Abb. 330. Das Schweißen mit dem Alexandergerät.

oben erwähnten Schwierigkeiten hat sich das Alexanderverfahren, zumindest das von Hand ausgeübte, nur sehr wenig einzuführen vermocht, weshalb sich weitere Ausführungen hier erübrigen. Auf die maschinelle Anwendung des Geräts wird später kurz eingegangen.

b) Das Langmuirgerät.

**Allgemeines.** Während beim Alexanderverfahren der Lichtbogen zwischen Werkstück und Elektrode gezogen, mithin nach Slavianoff gearbeitet wird, arbeitet das Gerät nach Langmuir nach dem Zerenerschen Prinzip,

d. h. der Lichtbogen wird vom Werkstück unabhängig zwischen zwei, von einer Wasserstoff-Schutzgasflamme umgebenen Metallelektrodenenden gezogen. Da dieses Verfahren praktisch mit Erfolg und öfter zur Anwendung kommt, soll hierauf etwas näher eingegangen und bei dieser Gelegenheit auch auf die elektrische Einrichtung und auf die Vorgänge, die sich innerhalb der Schutzgasatmosphäre abspielen, hingewiesen werden.

**Einrichtung der Anlage.** Wie beim Alexandergerät ist auch hier ein besonderer Transformator erforderlich. Es wird demnach nur mit Wechselstrom gearbeitet. Die Gesamtanordnung der Anlage geht aus Abb. 331 hervor. Der Strom wird einem 13stufigen, fahrbaren Transformator von  $20 \div 40$  kVA Anschlußwert, der mit einer Sonderdrosselspule eingerichtet ist, entnommen. Die Stufenregelung geschieht durch ein Handrad, die Stromverhältnisse sind an einem Meßinstrument ablesbar. Das Zünden und Halten des Lichtbogens im Wasserstoffstrom erfordert höhere Spannungen als in der atmosphärischen Luft. Die Zündspannung beträgt etwa 300 V, die Schweißspannung  $60 \div 100$  V. Im Transformator sind zwei Unter Spannungswicklungen angeordnet, von denen die eine die Zündspannung von 300 V, die andere die Schutzspannung für ein Schütz von 60 V hergibt. Der Schweißstromkreis verläuft über eine Drossel durch den Lichtbogen und schließt sich über die Wicklung des Schützes. Die Einschaltung der 60-V-Spannungsspule des Schützes erfolgt durch einen Druckknopfschalter, nach dessen Betätigung der Schweißstromkreis lediglich durch die beiden Elektroden des Schweißgeräts unterbrochen ist. Diese Elektroden bestehen aus Wolfram, das bekanntlich einen hohen Schmelzpunkt ( $3300^\circ$ ) besitzt.

**Arbeitsgang.** Die Wolframelektroden haben einen Durchmesser von 1,5 oder 3 mm, je nach der zu schweißenden Werkstoffdicke, werden beim Zünden des Lichtbogens kurzzeitig zur Berührung gebracht und auf die entsprechende Lichtbogenlänge auseinandergezogen; gleichzeitig wird Schutzgas zugegeben, das einer normalen Stahlflasche mit auf 150 atü verdichtetem Wasserstoff entnommen

wird. Beim Abreißen des Lichtbogens wird die Zündspannung (Leerlaufspannung) von 300 V selbsttätig abgeschaltet; sie kehrt erst nach Wiedereinschalten des Schützes zurück, das auch während des Brennens des Lichtbogens eingeschaltet

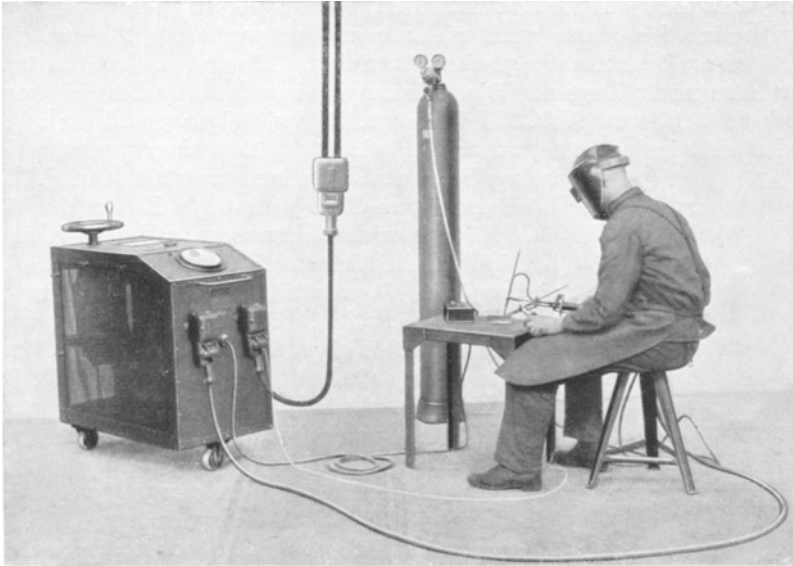


Abb. 331. Arcatom-Schweißeinrichtung nach Langmuir.

bleibt. Der außer Betrieb befindliche Brenner ist spannungsfrei. Die Schweißstromstärke bewegt sich zwischen 20 und 130 A. Zur Erhöhung der Betriebssicherheit ist für eine gute Erdung des Transformators, am besten auch des Schweißtisches bzw. des Werkstücks Sorge zu tragen.

Um den Verbrauch an den teuren Wolframelektroden niedrig zu halten, ist eine ununterbrochene Zugabe von Wasserstoff, besonders sogleich beim Zünden des Lichtbogens erforderlich. Der Gasdruck, der an einem möglichst fein regelbaren Konstantdruckminderventil (an der Stahlflasche) eingestellt wird, beträgt  $100 \div 1200$  mm WS und muß gleichmäßig gehalten werden. Der Wasserstoff wird dem in Abb. 332 schematisch veranschaulichten Schweißbrenner durch zwei Gummischläuche zugeführt, in denen auch gleichzeitig die Stromkabel untergebracht sind. Die Regelung und Abstimmung des Wasserstoffs erfolgt an einem Ventilkasten, der am Transformator (Stromzapfstelle) neben dem Druckknopfschalter angeordnet ist. Die Stellung der V-förmig zueinander gelagerten Wolframelektroden wird an einem Handrädchen des Brennergriffs geregelt. Vorn am Brennergriff ist ein Schutzschirm angeordnet, der die Hand des Schweißers vor Wärmestrahlen schützen soll. Die Nachstellung der Elektroden geschieht von Hand.

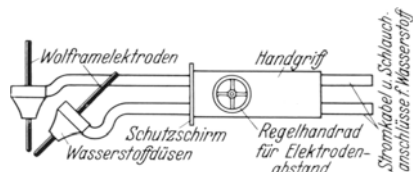


Abb. 332. Schematische Darstellung eines Arcatomschweißbrenners.

**Schweißautomaten.** Nachdem die Brauchbarkeit des Arcatomgeräts erkannt und die Güte der atomaren Wasserstoffschweißung erwiesen war, lag der Gedanke nahe, das Gerät selbsttätig arbeitend zu machen. Es sind deshalb Schweißauto-

maten mit besonderen, den Bedingungen der Alexander- und Langmuirverfahren angepaßten Schweißköpfen konstruiert und auf den Markt gebracht worden, wobei der mechanischen Einrichtung der Maschinen besonders die Regelung des Vorschubs zufällt. Den nach dem Langmuirverfahren arbeitenden Automaten auch die Tätigkeit des Drahtzusatzes zu übertragen, ist wegen der vielfachen Schwierigkeiten bis heute noch nicht gelungen, weshalb z. Z. nur Nähte an I-Stößen ohne Drahtzusatz geschweißt werden können, z. B. Rohrlängsnähte.

**Der Arcatomlichtbogen.** Die Wirkungsweise des Arcatomlichtbogens sei an Hand eines Schemas Abb. 333 erläutert. Die winklig angeordneten Wolfram-elektroden sind in kupferne, stromführende Ringdüsen eingespannt, welche letzteren Wasserstoff ringsum zugeführt wird. Die auf Weißglut (etwa  $2700^{\circ}$ ) erhitzten Enden der Wolfram-elektroden bewirken zusammen mit dem im Entstehen begriffenen Lichtbogen einen teilweisen Zerfall (Dissoziation) des Wasserstoffgases, der sich beim Brennen des Lichtbogens in erhöhter Weise fortsetzt und wobei die ursprünglich vorhandenen Wasserstoffmoleküle ( $H_2$ ) in Atome ( $2H$ ) zerlegt werden. Die zur Spaltung der Moleküle erforderlichen Wärmemengen werden den glühenden Elektrodenenden und vor allem dem Lichtbogen entzogen. Am Rande des scheiben- oder fächerartigen, hufeisenförmigen Lichtbogens von violetterlicher Farbe tritt eine Wiedervereinigung der Atome zu

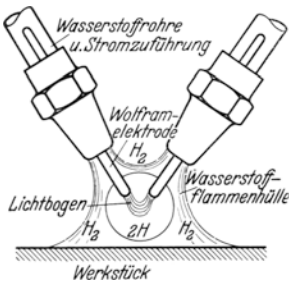


Abb. 333. Schematische Darstellung des Arcatomlichtbogens.

Molekülen ein, wobei die vorher dem Lichtbogen entzogene Wärme wieder frei wird und eine bedeutende Temperatursteigerung verursacht, die nach Langmuir in der Randzone des Lichtbogens  $4000^{\circ}$  erreicht. Damit kommt die bei der Umformung der Atome zu Molekülen frei werdende Wärme dem Werkstück, d. h. der Schweißstelle zugute, wodurch diese schneller angeschmolzen wird. Außerdem wird die Abkühlung der Schweiße verzögert, was ihre Güte günstig beeinflusst.

**Anwendungsbereich.** Da die Unabhängigkeit des Lichtbogens vom Werkstück eine Regelung des Wärmezustandes der Schweißstelle jederzeit dadurch ermöglicht, daß man den Abstand zwischen Lichtbogen und Werkstück verändern kann, ohne daß der Lichtbogen erlischt, ist die Arcatomschweißung ihrem Wesen nach der Gasschweißung sehr ähnlich und ergibt annähernd gleichwertige Güteeigenschaften der Schweiße.

Mit den neuen Einrichtungen sind Stahlbleche in allen Dicken schweißbar. Dünne Bleche (bis 4 mm) können im I-Stoß, also ohne Abschrägung und je nach Erfordernis mit und ohne Zusatzdraht geschweißt werden. Letzterer ist der gleiche wie bei der Gasschweißung. 1-mm-Blech ist noch ohne Schwierigkeit schweißbar; die Schweißung dünnerer Bleche erfordert große Handfertigkeit. Die obere Grenze der schweißbaren Blechdicke liegt bei etwa 80 mm. Die Vorbereitung der Blechkanten ist dieselbe wie beim Gasschweißen. Die Schweißraupen sind gleichmäßig und flach und von gasgeschweißten Nähten kaum zu unterscheiden.

Für die Schweißung von Gußeisen ist das Arcatomverfahren weniger geeignet, dagegen um so besser für die meisten Nichteisenmetalle. Bronze, Messing, Blei, Aluminium und andere Metalle lassen sich mit bestem Erfolg schweißen, wobei jeweils die beim Gasschweißen üblichen Flußmittel und Zusatzstoffe (Drähte oder Streifen) anzuwenden sind.

Im Hinblick auf die Gefahr der Wasserstoffaufnahme ist die Arcatomschweißung für die Bearbeitung des Kupfers weniger zu empfehlen. Das trifft

in gewissem Umfang auch für Reinnickel zu. Dagegen sind Chromnickel- und Manganbleche (mit bis zu 14 vH Mangan) mit guten Ergebnissen geschweißt worden. Das gilt besonders auch für die austenitischen Chrom-Nickel-Stähle, z. B. für den nichtrostenden V2A-Stahl; jedoch sind arcatomgeschweißte V2A-Nähte meist etwas spröder als normal elektrisch oder gasgeschweißte, was scheinbar ebenfalls auf Wasserstoffaufnahme zurückzuführen ist. Bekanntlich nimmt mit steigendem Nickelgehalt die Wasserstofflöslichkeit des Stahls zu.

## B. Das Arcogen-Schweißverfahren.

**Allgemeines.** Auch diesem Verfahren liegt der Gedanke zugrunde, die Vorzüge der elektrischen und der Gasschweißung zu vereinigen und außerdem die Schweißleistung zu erhöhen. Vom Arcatomverfahren unterscheidet es sich in vielen Punkten grundsätzlich. Auch hier wird zwar Wechselstrom verwendet, doch wird nach dem Slavianoff-Verfahren, also mit einer Metallelektrode und dem zwischen Werkstück und Elektrode gezogenen Lichtbogen gearbeitet. Ein besonderer Zusatzdraht ist demnach nicht erforderlich. Die Gasflamme wird unabhängig vom Lichtbogen geführt. Als Schutzgas dient nicht Wasserstoff, sondern eine normale Azetylen-Sauerstoff-Flamme, der gleichzeitig eine Vorwärmung und ein Aufschmelzen des Werkstücks und ein beschleunigtes Abschmelzen der Elektrode zufällt.

**Stabilisierung des Lichtbogens.** Der Grund, weshalb auch beim Arcogenschweißen Wechselstrom verwandt wird, während die Verwendung von Gleichstrom schweißtechnisch zu erwarten wäre, ist ein anderer als bei der Arcatomschweißung. Bei letzterer muß möglichst Temperaturgleichheit an beiden Elektroden bestehen, was mit Gleichstrom nicht zu erreichen ist. Beim Arcogenverfahren ist das Brennen des Lichtbogens in der Schweißflamme der physikalische Grund, weshalb Gleichstrom ungeeignet ist. Die Eigentümlichkeit der Flammen, daß in ihnen beim Durchgang von Gleichstrom ein positiver, in entgegengesetzter Richtung fließender Strom entsteht, der die Stabilität des Lichtbogens stört, macht Wechselstrom erforderlich. Die Flamme fördert also den positiven und erschwert den negativen Stromfluß, was bei Wechselstrom entfällt, da er eine Polarität nicht herstellt und deshalb ein Gegeneinanderwirken zweier Stromrichtungen nicht möglich ist. Oszillographische Aufnahmen haben gelehrt, daß die Flamme eine gewisse Gleichrichterwirkung ausübt.

Nachdem anfängliche Schwierigkeiten in bezug auf die Möglichkeit des stabilen Haltens des Lichtbogens in der Schweißflamme mit Hilfe elektrochemischer und atomphysikalischer Erkenntnisse überwunden waren, ergab sich ein brauchbares, wenn auch in seiner Handhabung etwas umständliches Verfahren. Die erwähnten Hindernisse, die sich auch bei Wechselstrom einstellten, beruhen auf der Tatsache, daß trotz der Gegenwart von den Stromübergang gut leitenden Gasen in der Schweißflamme ( $H_2$  und  $CO_2$ ) ein stabiler Lichtbogen mit nackten oder normalgetauchten Elektroden deshalb nicht zu bekommen war, weil die Wucht des strömenden Gasgemisches (120 m/s Geschwindigkeit und mehr) so auf den Lichtbogen einwirkte, daß die gebildeten Ionen anhaltend weggeblasen wurden und nur im Augenblick des Werkstoffübergangs eine sehr kurzzeitige Lichtbogenbildung zustande kam. Die sich daraus ergebende Aufgabe lautete: Herstellung einer Elektrode, deren Überzug Stoffe enthält, die eine starke Ionisierung der Lichtbogenstrecke bewirken und den Stromdurchgang außerordentlich erhöhen. Die befriedigende Lösung dieser schwerwiegenden Aufgabe wurde in einer Umhüllung gefunden, die die Leitfähigkeit auf fast das Tausendfache steigert, so daß

beim Zünden des Lichtbogens in Gegenwart der Flamme kein Kurzschließen der Elektrode mehr erforderlich ist. Infolge dieser günstigen Zündbedingungen braucht der Schweißer nicht besonders auf den Lichtbogen zu achten; er hat lediglich das Elektrodenende in die Schweißflamme zu bringen und dieser sein besonderes Augenmerk zuzuwenden.

**Einrichtung der Anlage.** Zur Arcogenschweißeinrichtung gehört eine Wechselstrom- und eine Azetylschweißanlage, die unabhängig voneinander arbeiten. Der Strom wird einem fahrbaren, auf 9 Stufen zwischen 40 und 80 A regelbaren Transformator *F* (Abb. 334) von  $4 \div 8$  kVA-Anschlußwert entnommen und einem etwas größer gehaltenen Elektrodenhalter *H* zugeführt, der auch das Einspannen dicker (bis 8 mm Durchmesser) und längerer Elektroden, die in einem Ständer *L* in verschiedenen Abmessungen zur Hand liegen, gestattet. Der mit einem Satz verschieden großer Schweißsätze ausgerüstete Brenner<sup>1</sup> *A* steht einerseits mit der Sauerstoffflasche *C*, andererseits mit der Azetylanlage<sup>1</sup>

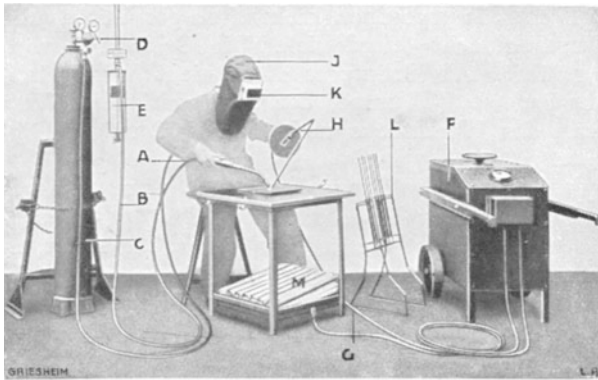


Abb. 334. Arcogenschweißanlage.

in Verbindung. Die Einstellung des mit der Brennergröße wechselnden Sauerstoffdruckes erfolgt am Druckminderventil *D*. In Abb. 334 ist die Gaszufuhr aus einer festverlegten Azetylenleitung (ortsfeste Entwickleranlage) über eine Wasservorlage *E* angenommen. An ihrer Stelle kann jedoch auch eine Flasche mit gelöstem, verdichtetem Azetylen benutzt werden, wobei ebenfalls durch ein Druckminderventil der Gasdruck entsprechend der mit

der Blechdicke wechselnden Flammengröße geregelt wird. Da der Arcogenschweißer, genau wie der Arcatomschweißer, mit beiden Händen zu arbeiten gezwungen ist, muß er eine mit klappbarem Buntglasfenster *K* versehene Schutzmaske *J* tragen.

**Ausübung des Verfahrens.** Im Gegensatz zur Arcatomschweißung ist dieses Verfahren nur für waagerechtes Arbeiten, nicht also für die Schweißung von

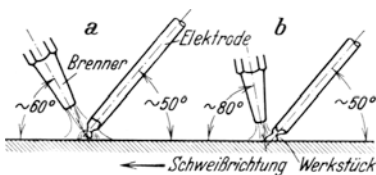


Abb. 335. Stellung von Brenner und Elektrode.

Überkopf- und stehenden Nähten anwendbar. Die Elektrode wird linkshändig, der Brenner in der rechten Hand geführt, d. h. es wird die Rechtsschweißung (von links nach rechts) ausgeübt, wie dies in den Abb. 334 und 335 zu erkennen ist. Zunächst wird die Blechkante, an der der Schweißvorgang eingeleitet werden soll, mit der Azetylenflamme gut vorgewärmt und erst darauf der Lichtbogen durch Einbringen

in die Flamme gezündet. Von Wichtigkeit ist die Stellung der Schweißflamme zur Elektrode, die in Abb. 335 in ihren beiden praktisch richtigen Möglichkeiten schematisch angedeutet ist. Man erzielt eine um so höhere Schweißge-

<sup>1</sup> Schimpke-Horn, Band 1.

schwindigkeit und einen um so stärkeren Einbrand, je mehr der Flammenkegel auf das Elektrodenende auftrifft und je steiler sich der von der Flamme gerichtete Lichtbogen einstellt (Haltung *a*). Bessere Vorwärmung und geringeren Einbrand ergibt die Haltung *b* mit flachem Lichtbogen und gleicher Elektrodenneigung von etwa  $50^\circ$ , wobei jedoch der Winkel der Brennerstellung von  $60^\circ$  auf  $80^\circ$  vergrößert wird. Infolge der außergewöhnlich starken Ionisierung der Lichtbogenstrecke reißt der Lichtbogen auch bei stark wechselnder Länge nicht ab, weshalb der Schweißer weniger auf ihn achten soll als auf den richtigen Schmelzfluß der Schweiße, deren Wärmezustand zu regeln er bei richtiger Führung der Schweißflamme in der Hand hat. Praktisch kann man sich die Sache so vorstellen, daß die Elektrode lediglich den Zusatzwerkstoff zu liefern hat, während der Flamme die richtige Erwärmung und eine gute gleichmäßige Verteilung des verflüssigten Werkstoffs zufällt.

**Besondere Elektroden.** Infolge sehr großer Wärmezufuhr, wie sie beim autogen-elektrischen Schweißen durch die Wirkung zweier Flammen gegeben ist, besteht die Gefahr der Überhitzung (grobe Kornbildung) oder gar Verbrennung. Sie wirkt hauptsächlich auf die Oberfläche des Schmelzbades, während bei Unachtsamkeit die unteren Schichten für eine gute Bindung zu kalt bleiben können. Dies ist der Grund, weshalb man neben der normalen, dick umhüllten Elektrode eine sog. Kühldraht-Doppelelektrode eingeführt hat. Das Schema der Schaltung geht aus Abb. 336 hervor. Die eigentliche Elektrode ist wie üblich geschaltet und wird zur Lichtbogenbildung herangezogen. Der von ihr isoliert in einer gemeinschaftlichen Bewicklung untergebrachte Kühldraht ist nicht stromleitend und wird vom Lichtbogen mit abgeschmolzen, wodurch einerseits eine wirksame Kühlung des Schmelzbades, andererseits eine vergrößerte Abschmelzmenge erzielt wird. Der Mehrpreis für diese Zwillingselektroden wird durch die eben erwähnten Vorzüge ausgeglichen. Sache des Schweißers ist es, für eine ausreichende Vorwärmung sowie für eine gute Verteilung des eingeschmolzenen Werkstoffs zu sorgen.

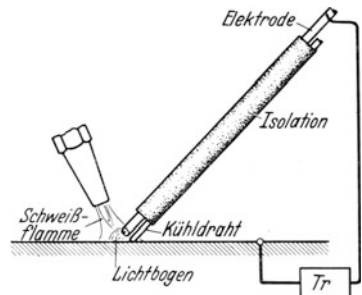


Abb. 336. Anwendung der Kühldraht-Doppelelektroden.

**Anwendungsbereich.** Das Arcogenverfahren ist für Verbindungsschweißungen, für Kehlnaht- und für Auftragsschweißung gleich gut verwendbar. Nach Vorschlägen der Griesogen, der Ausgestalterin des Verfahrens, sollen Bleche von  $2 \div 10$  mm Dicke beim Schweißen mit der Normalelektrode unabgeschrägt (I-Stoß) bleiben, jedoch einen Kantenabstand erhalten, der bei 2 und 3 mm-Blechen die Hälfte der Dicke, bei  $4 \div 10$  mm-Blechen bis 2 mm ausmachen soll. Infolge der doppelten Wärmemenge liegt die untere Grenze der Anwendbarkeit bei 4 mm Blechdicke und reicht bis zu 50 mm. Über 10 mm-Bleche werden in der üblichen Weise abgeschrägt (V- oder X-Form). Auf Grund praktischer Erfahrungen ist es zweckmäßig, auch 8 mm-Bleche schon abzuschragen. Während bis zu 10 mm dicke Bleche in einer Lage schweißbar sind, empfehlen sich für 20 mm 3, für 30 mm 4, für 40 mm 5 und für 50 mm 6 Lagen. Ähnlich dem Arcatomverfahren ist auch die Arcogenschweißung für höher gekohlte Stähle, für Stahlguß, legierte Stähle und im Gegensatz zum ersteren auch für Gußeisen verwendbar. Im übrigen hat sich das Verfahren auch für die Schweißung von Nichteisenmetallen bewährt.

**Neue Sonderausführung.** Zur Zeit ist man mit der Ausgestaltung einer Abart des Arcogenschweißens, dem sog. „Arcogen II“, beschäftigt, das eine andere



Anordnung zwischen Lichtbogen und Flamme bedingt und darauf beruht, eine Schutzgasflamme hinter dem Lichtbogen in etwa 40 mm Entfernung zu bewegen, wodurch ein Flüssighalten der aus der dickumhüllten Elektrode herstammenden Schlackendecke so lange gewährleistet wird, bis die darunter liegende Schweiße erstarrt ist. Demnach kommt hier der Flamme mehr die Bedeutung einer nachträglichen Vergütung der Schweiße zu, während die gesteigerte Schweißleistung auf eine besonders starke Wirkung des Lichtbogens zurückzuführen ist. Ob sich das Arcogenverfahren praktisch durchsetzen wird, scheint fraglich und bleibt abzuwarten.

## V. Die Schweißung durch Elektrolyse.

**Allgemeines.** Wie bereits im einleitenden Abschnitt I D 3 kurz auseinandergesetzt wurde, beruht die Erhitzung und Schweißung durch Elektrolyse darauf, daß beim Eintauchen des an den negativen Pol eines Gleichstromkreises angeschlossenen Schweißstücks *A* (Abb. 18) in Wasser letzteres zersetzt und am negativen Pol Wasserstoff gebildet wird; der elektrische Strom geht dann durch die Wasserstoffhülle des Schweißstücks unter Bildung kleiner Lichtbogen, die das Schweißstück zum Glühen bringen. Das Verfahren stammt von den Physikern Lagrange und Hoho und ist eigentlich kein Schweiß-, sondern nur ein Erhitzungsverfahren. Das eigentliche Schweißen erfolgt erst nach dem Erhitzen außerhalb des Wasserbottichs durch Hämmern. Ein wesentlicher Nachteil des Verfahrens ist der, daß bei Metallen mit geringer Wärmeleitfähigkeit, wie Eisen, und besonders bei stärkeren Stücken die Oberfläche des Metalls zu stark angegriffen wird, ehe das Schweißstück die nötige Schweißtemperatur erlangt hat. Günstig liegen die Verhältnisse in dieser Beziehung nur bei dem stark wärmeleitenden Kupfer. Die Schweißung mittels Elektrolyse ist durch die Ausbildung und Ausbreitung der Widerstandsschweißverfahren fast restlos verdrängt worden und hat heute fast nur noch geschichtlichen Wert. Einige kennzeichnende Anwendungsbeispiele mögen folgen.

**Ausglühen und Härten.** Beim Ausglühen abgebrauchter Werkzeuge, die nachher wieder geschärft und gehärtet werden sollen, kann die Erhitzung mittels Elektrolyse ohne Anwendung besonderer Vorsichtsmaßregeln nach Abb. 337 durchgeführt werden. Der mit Blei ausgekleidete Bottich, der mit dem positiven Pol der Stromquelle verbunden ist, ist nur mit Wasser gefüllt. *S* stellt einen Regelwiderstand dar.

Will man dagegen die Elektrolyse zum Härten benutzen, so besteht zunächst der bereits erwähnte Übelstand, daß insbesondere die Kanten und Schneiden

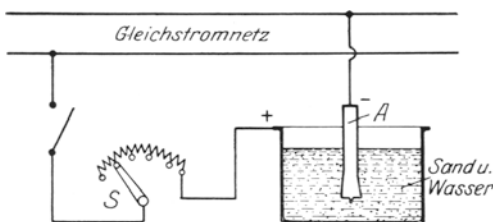


Abb. 337. Härten eines Bohrers durch Elektrolyse.

eingehängter Werkzeuge durch die kleinen Lichtbogen angegriffen und stumpf werden. Man hilft sich z. B. (nach Pfretzschner, München) dadurch, daß man den Bottich bis zu einer entsprechenden Höhe mit feinkörnigem Sand (und natürlich auch mit Wasser) füllt. Der Sand verdrängt zum Teil das Wasser um den eingehängten Bohrer *A* (Abb. 337).

Außerdem wird man zweckmäßig das Werkzeug drehen und so die Zerstörung der Oberfläche mehr oder weniger verhindern. Man kann auch z. B. den mit Schneiden versehenen Teil des Werkzeugs zu Anfang in ein Porzellanrohr

stecken, zuerst den übrigen Teil des Werkzeugs der Erhitzung durch Elektrolyse aussetzen und dann erst die Schneiden aus dem Rohr herausziehen und erwärmen. Infolge der schon erfolgten Erwärmung des übrigen Teils werden die Schneiden nun schnell heiß werden und wenig leiden. Ein Vorteil der Erwärmung durch Elektrolyse liegt darin, daß man nur so lange zu erhitzen braucht, bis die äußere Schicht des Werkzeugs genügend warm geworden ist; ein weiterer Vorteil ist der, daß man die Abschreckung gleich, durch Abstellen des Stroms, anschließen kann, ohne daß das Werkzeug erst an die Luft kommt. Die erforderliche Stromstärke beträgt 5 A für 1 cm<sup>2</sup> Querschnitt und die Spannung 100 ÷ 200 V, je nach Größe des Stücks. Ein Gesteinsbohrer von 25 mm Schaftdicke kann auf 100 mm Länge in 2 min bis zur Weißglut erhitzt werden bei einer Leistungsaufnahme von 14 kW; er erfordert also einen Stromverbrauch von  $14 \cdot \frac{2}{60} = 0,47$  kWh. Vorteilhaft ist auch noch, daß in dem elektrolytischen Bade gleichzeitig mehrere Werkzeuge erhitzt werden können. Soll eine Schärfmaschine ohne Unterbrechung bedient werden, so setzt man die Werkzeuge in bestimmten Zeitabständen ein, so daß jeweils nach einer gewissen Zeit ein Werkzeug die erforderliche Erhitzung erreicht hat.

**Schweißen von Rohren.** Die Abb. 338 zeigt im Schema die Anwendung der Elektrolyse beim Schweißen von Rohren und Hohlkörpern. Das Rohr ist wieder

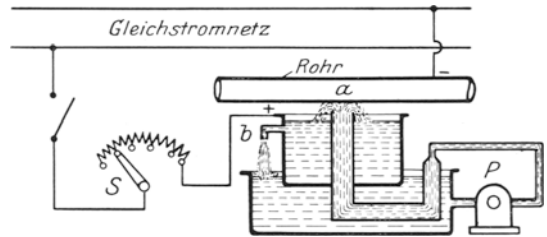


Abb. 338. Schweißen einer Rohrlängsnaht durch Elektrolyse.

an die negative Elektrode, der Wasserbottich an die positive Elektrode der Stromquelle angeschlossen. Eine Pumpe *P* hebt das Wasser aus einem Rohr in der Mitte bei *a* gegen die Längsnaht des zu schweißenden Rohrs. Das bei *b* abfließende Wasser wird durch den unteren Behälter wieder der Pumpe zugeführt. Das zu schweißende Rohr wird mit der Längsnaht nach unten über den oberen Bottich hinweggezogen. Es ist zweckmäßig, den Kanten der Rohrlängsnaht eine kleine Bördelung zu geben, die dann in der erzeugten Hitze zu fließen anfängt und ohne Anwendung von Druck eine glatte Naht ergibt. Es wird also an und für sich stumpf geschweißt, ohne Überlappung.

**Schweißen von Ketten.** In diesem Fall dient die Elektrolyse wieder nur zur Erhitzung des Werkstücks. Die verhängten Kettenglieder (Abb. 339) werden,

mit der Schlitzstelle nach unten, über Rollen gezogen. Die Rollen *a*<sub>1</sub> und *a*<sub>2</sub> sind mit dem negativen Pol des Gleichstromnetzes verbunden. Nach der Erwärmung der Kettenglieder im Bottich erfolgt die eigentliche Schweißung rechts außerhalb des Bottichs zwischen Stauchbacken mit Hilfe eines Hammers. Die mittlere Geschwindigkeit ist 1 m in der Minute; sie ist, je nach der Kettendicke,

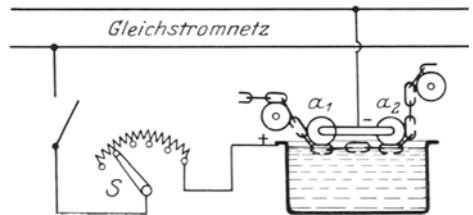


Abb. 339. Schweißen von Ketten durch Elektrolyse.

regelbar. Diese Ausführung sieht zunächst geraden Schnitt der Kettenglieder vor. Vorteilhafter ist der Schrägschnitt oder der schwalbenschwanzförmige Schnitt der Stoßstellen, bei dem sich die Hämmern und nachherige Wulstpressung erübrigt. Während Ketten aus vollem Eisendraht oder anderem

Metalldraht auf diese Weise elektrolytisch verschweißt werden können, bestehen Ketten aus Messing, Gold usw. aus mit Lötwasser gefüllten Rohren (auch als „Lotdraht“ bezeichnet); ihre Kettenteile verschmelzen beim Durchziehen durch den Bottich durch die dann schmelzende Lötmasse.

## VI. Elektrisches Löten.

**Allgemeines.** Beim Löten wird die zu verbindende Stelle nicht auf Schweißtemperatur gebracht, sondern nur so weit vorgewärmt, als es der Schmelzpunkt des Lots verlangt; zur Verbindung der Teile dient das Lot (das Hartlot oder Weichlot). Alle mit Hartlot (Schlaglot) ausgeführten Lötungen sind als Hartlötung zu bezeichnen. Der Gegenstand wird im Holzkohlenfeuer, besser mit der Gasflamme oder mit elektrischen Hartlötmaschinen erhitzt. Die Haupthartlote bestehen aus 42 ÷ 54 Teilen Kupfer, Rest Zink (Schmelzpunkt 820 ÷ 875°). Für feinere Arbeiten sind an Kupfer-, Messing- und Bronzeteilen auch Silberlote mit 30 ÷ 50 Teilen Kupfer, 25 ÷ 52 Teilen Zink und 4 ÷ 45 Teilen Silber (Schmelzpunkt 720 ÷ 855°) in Gebrauch (s. DIN 1710 und 1711), für die Aluminiumhartlötung wieder besondere Hartlote, insbesondere das „Firinit“, dessen Schmelzpunkt genügend weit unter dem des Aluminiums liegt. Als Lötpulver (entsprechend dem Schweißpulver) genügt, abgesehen vom Aluminium, Borax. Der Hartlötung gegenüber steht die Weichlötung, bei der der zu verbindende Werkstoff im allgemeinen nicht erwärmt, vielmehr das leicht schmelzbare Weichlot (Lötzinn) mittels eines heißen LötKolbens abgeschmolzen und auf das vorher metallisch blank gebeizte Metall in dünner Schicht aufgetragen wird. Als Weichlot nimmt man vor allem Zinnbleilegerungen mit 25 ÷ 90 Teilen Zinn, Rest Blei (Schmelzpunkt 180 ÷ 240°, s. DIN 1707). Als Schutz- und Beizmittel sind Kolophonium, Stearin, besser aber Lötwasser (Zink in Salzsäure aufgelöst) oder Löt-salz (Löt-wasser unter Zusatz von Salmiak) in Gebrauch. Das Löten soll im folgenden nur noch hinsichtlich der Verwendung elektrischer Lötgeräte kurz besprochen werden. Der Löt-vorgang selbst wird als bekannt vorausgesetzt.

**Elektrische LötKolben.** Für die Weichlötung wurden bisher LötKolben und Löt-lampen verwendet. Beim elektrischen Löten sind für die Weichlötung die LötKolben beibehalten und durch Lötmaschinen ergänzt worden. Der elektrische LötKolben enthält in seinem Kopfteil eine Drahtwicklung, die durch den elektrischen Strom glühend gemacht wird und ihre Hitze dem äußeren Kupferkörper mitteilt. Der unmittelbare Anschluß elektrischer LötKolben an Stromnetze der üblichen Spannung von 110 V und darüber erfordert sehr dünne Drähte im LötKolben, die leicht reißen und geringe Lebensdauer haben. Um stärkeren und damit haltbareren Draht für die Heizwicklung im LötKolben verwenden zu können, ist die Zwischenschaltung eines Transformators zweckmäßig, der die Netzspannung in eine niedrigere Gebrauchsspannung umwandelt und in seiner einfachen Ausführungsform leicht auf einer Konsole untergebracht werden kann. Die Netzspannung kann dann beliebig zwischen 100 und 500 V liegen; bei Zwischenschaltung dieses Transformators ist allerdings nur Wechselstrom verwendbar. Die Leistungsaufnahme der LötKolben beträgt je nach der Größe 150 ÷ 600 W, die Dauer des Anheizens 5 ÷ 6 min. An einem Transformator können auch, je nach seiner Größe, mehrere LötKolben angeschlossen werden. Ist Gleichstrom vorhanden, so ist es zweckmäßig, ihn mittels Einankerumformer in Wechselstrom umzuwandeln und dann dem Transformator zuzuführen. Die elektrische Lötung ist in dieser Art demnach nur dann wirtschaftlich, wenn mehrere Kolben laufend im Betriebe stehen.

**Elektrische Lötmaschinen.** Bei der Weichlötung empfiehlt es sich, für den Fall der Anwendung auf Massenteile an die Stelle des LötKolbens die Lötmaschine treten zu lassen, die auf verschiedene Art ausgeführt werden kann. Bei Tropfmaschinen tropft das flüssige Lot in gleichmäßigen Zwischenräumen, regelbar in der Menge, aus einer feinen Düse, an die der zu löten Gegenstand gehalten wird. Bei Rollenmaschinen wird eine Rolle durch den elektrischen Strom auf die nötige Temperatur gebracht und dient gewissermaßen als drehbarer LötKolben für den darunter entlang gleitenden Körper. Zur Weichlötung kleiner Massenteile kann die Bandmaschine dienen. Die zu lötenden Teile werden vorbereitet auf einem endlosen Band durch ein elektrisch zum Glühen gebrachtes Rohr gezogen. Auf diese Weise können auch Ketten aus Lotdraht gelötet werden.

Für die Hartlötung kommen bei elektrischer Erhitzung nur Lötmaschinen in Frage. Zunächst kann schon die eben erwähnte Bandmaschine auch als Hartlötmaschine Verwendung finden, da das glühend gemachte Rohr auch so weit erhitzt werden kann, daß das Hartlot schmilzt. Vielfach dienen zur Hartlötung elektrische Schweißtische mit eingebautem Transformator. Auf der Tischplatte können dann die verschiedenartigsten Vorrichtungen aufgebaut werden, mit Hilfe deren das Löten von Hand oder selbsttätig erfolgt.

## VII. Das elektrische Schneiden.

**Allgemeines.** Das elektrische Schneiden wird praktisch nur dann in Frage kommen, wenn wirtschaftliche Momente unberücksichtigt bleiben, und bei den Metallen, die nach dem Brennschneidverfahren schlecht (Gußeisen) oder gar nicht (Kupfer) trennbar sind. Der grundsätzliche Unterschied zwischen den beiden Verfahren besteht darin, daß beim Brennschneiden (autogenes Schneiden) die Trennung des Werkstoffs durch einen chemischen Vorgang, und zwar durch Verbrennung im Sauerstoffstrom vonstatten geht<sup>1</sup>, während es sich beim Lichtbogenschneiden nur um eine mechanische Trennung durch Abschmelzen handelt. Die für das Ergebnis des Trennungsvorganges grundlegende Verschiedenheit der Verfahren kommt nicht allein in der Leistung, sondern auch im Aussehen der Schnittflächen und im weiteren durch die verschieden große Bereiche der Anwendbarkeit zum Ausdruck, die nach beiden Richtungen (Kupfer ausgenommen) zugunsten des Brennschneidens ausfallen. Die Ergebnisse der beiden Schneidverfahren sind praktisch kaum vergleichbar; denn der Brennschnitt kann an jedem betriebsmäßig erforderlichen Querschnitt durchgeführt werden, gleichgültig, ob es sich um geradlinige oder kurvenförmige Schnitte handelt.

**Ausführung des Verfahrens.** Zum elektrischen Schneiden kann sowohl der Kohle- wie der Metalllichtbogen verwendet werden. Der Kohlelichtbogen hat den Vorteil, daß mit höheren Stromstärken und schneller gearbeitet werden kann, wobei jedoch nicht außer acht zu lassen ist, daß mit steigender Stromstärke der Elektrodendurchmesser und die Schnittfugenbreite größer werden. Die Kohleelektrode wird, wie beim Schweißen, an den Minuspol gelegt, weil sie sonst unruhig, stumpf und schneller abbrennt, was auch bei Wechselstrom der Fall ist. Da außerdem die Schnitt- bzw. Schmelzleistung bei Wechselstrom erheblich geringer ist — sie beträgt nur etwa 80 vH — zieht man Gleichstrom vor. Zum Halten der Kohlestäbe sind lange und schwere Halter erforderlich. Versuche, die angestellt wurden, Hohlstäbe mit sauerstoffabgebenden chemischen Stoffen auszufüllen, um dadurch den Schneidvorgang zu beschleunigen, sowie Versuche, dem Kohlelicht-

<sup>1</sup> Siehe Schimpke-Horn: Band 1 (Abschnitt: Das Brennschneiden).

bogen z. B. beim Schneiden „unter Wasser“ verdichteten Sauerstoff zuzuführen, um damit dem Brennschneiden näherzukommen, sind sowohl wegen der Unwirtschaftlichkeit wie auch wegen der umständlichen Arbeitsweise und sicherheitstechnischer Bedenklichkeit praktisch ohne Bedeutung geblieben. Beim Schneiden mit dem Kohlebogen sind mittlere Stromstärken von 400 A üblich; als Höchststromstärken können 1500 A bei etwa 65 V Lichtbogenspannung angesehen werden.

Als Metallelektroden können beim Schneiden nackte wie auch ummantelte Stäbe Verwendung finden, wobei, um jeden Zweifel vorzubeugen, erwähnt sei, daß auch zum Trennen von Gußeisen und Kupfer nur Stahlelektroden verwendet werden. Stahlelektroden ergeben schmalere Schnittfugen als Kohlestäbe, haben aber den Nachteil, daß sie wegen der hohen Stromstärken rasch abgeschmolzen werden. Einige Firmen bringen Schneidelektroden mit besonderen sauerstoff-abgebenden Stoffen versehen auf den Markt, deren Polung nach Gebrauchsanweisung vorzunehmen ist. Die Stromstärken liegen um etwa 50 vH höher als beim Schweißen, wodurch ein schnelles Glühendwerden der Elektroden eintritt, so daß sie zeitweise in Wasser abgekühlt werden müssen.

Da es sich beim elektrischen Schneiden um ein Abschmelzen handelt, muß das Werkstück so gelagert werden, daß die geschmolzenen Metallmengen frei abfließen können und der Elektrodenwerkstoff nicht auf den Schnittflächen abgesetzt wird, was durch richtige Haltung der Elektrode (durch einen langen Lichtbogen) erreicht wird. Es ist selbstverständlich, daß der Schnitt nur an einer Werkstoffkante begonnen werden kann, damit ein unbehindertes Abfließen des geschmolzenen Werkstoffs von Beginn an möglich ist.

**Anwendungsbereich.** Angesichts der sehr rauen Schnittflächen und der ungleichen breiten Schnittfugen ist das elektrische Schneiden für die Fertigung gar nicht anwendbar, es kommt vielmehr nur vereinzelt bei Abbruch- und Verschrottungsarbeiten zur Geltung, zumal es wirtschaftlich dem Brennschneiden, das es an Kosten um ein Vielfaches übertrifft, bedeutend unterlegen ist.

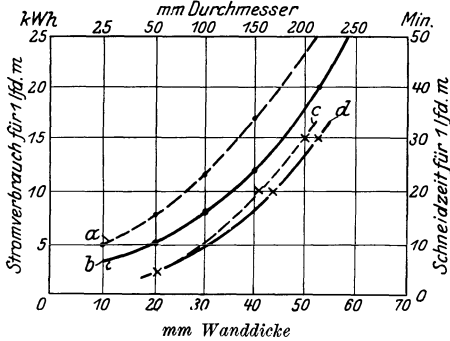


Abb. 340. Zeit- und Stromverbrauch beim elektrischen Schneiden.

- a = kWh-Verbrauch für 1 m } bei Stahl
- b = Schneiddauer .. 1 m }
- c = kWh-Verbrauch .. 1 m }
- d = Schneiddauer .. 1 m } bei Gußeisen

liegt bei etwa 60 mm Blechdicke. Für Gußeisen lassen sich Zahlen kaum nennen, da hier die Form des Körpers für die Durchführung des Schnittes maßgebend ist und in gewissem Sinne auch die größten Querschnitte schneidbar sind.

**Leistungen.** Stromverbrauch und Schneiddauer sind in den Kurven der Abb. 340 veranschaulicht. Die Werte beziehen sich auf Stahl und Gußeisen von 10 ÷ 60 mm Dicke. Da das Schneiden längerer Werkstücke auf elektrischem Wege weniger häufig vorkommt, können die in Abb. 340 gebrachten Daten nur angenäherte sein; praktisch werden die Leistungen meist um 20 ÷ 30 vH niedriger liegen. Um einen Fall herauszugreifen, sei angeführt, daß zum elektrischen Zerschneiden eines 1 m langen 50 mm-Blechs etwa 50 min erforderlich sind, während der Brennschnitt nur etwa 7 min in Anspruch nimmt. Die obere Grenze der Anwendbarkeit des elektrischen Schneidens

## VIII. 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 Elektroschweißtechnik 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 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 IIIC1b (Aussehen der Schweißnaht) an Hand mehrerer Abbildungen behandelt worden. Sie kann nur grobe Fehler, wie z. B. schlechte Schweißraupen, nicht genügendes Durchschweißen, Poren, starke Überhitzung usw., zeigen und muß daher unbedingt durch weitere Prüfungen ergänzt werden.

**Prüfung auf Dichtigkeit.** Übergießt man die mit einem kleinen Damm aus Kitt umgebene Schweißnaht mit Petroleum und bestreicht man die andere Naht-

seite 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 Abwischen 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.

**Härteprüfung.** Insbesondere für Auftragserschweißungen kommt eine einfache Härteprüfung in Betracht. Bei dem Kugeldruckversuch nach Brinell wird eine gehärtete Stahlkugel von  $2,5 \div 10$  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 kg zu eingedrückter Kalottenfläche in  $\text{mm}^2$ . Die Zugfestigkeit eines Kohlenstoffstahls ist  $\cong 0,36 \cdot$  Brinellhärte, so daß man mit diesem 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, u. a. m.

**Schallprüfung.** Mit einem Hörrohr werden Klangunterschiede abgehört, die sich beim Anschlagen der Schweißnaht mit einem Hammer an den verschiedenen Stellen ergeben. Das Verfahren scheint nur in Amerika in Anwendung zu sein.

**Elektrische und 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 (Verfahren von Roux).

Die Versuche, die Fehler durch ein Meßinstrument anzeigen zu lassen, haben zunächst zur Einschaltung eines Galvanometers und dann zur Entwicklung des in Abb. 341 schematisch dargestellten IG-Schweißnahtprüfers (erfunden von

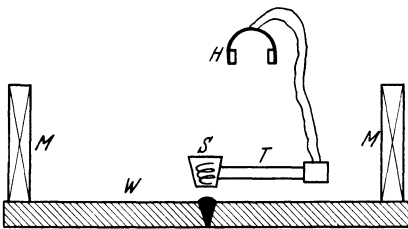


Abb. 341. Schema des IG-Schweißnahtprüfers.

Schweitzer und Kießkalt) geführt, der mit einer Abhöreinrichtung versehen ist. Auf das Werkstück  $W$  werden die permanenten (Dauer-) Magnete  $M$  aufgesetzt oder mit diesen lediglich die anteiligen Flächen durch Bestreichen magnetisiert. Der durch die Schweißnaht gehende Kraftlinienfluß erzeugt (induziert) in der mit dem Taster  $T$  von Hand geführten schwingenden Spule  $S$  einen schwachen elektrischen Strom, der

sich mit Hilfe eines im Schema 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 Fehlerstellen können durch Röntgenstrahlen oder Anfräsung (s. die folgenden Abschnitte) nachgeprüft werden.

**Röntgenprüfung.** Die Werkstoffdurchleuchtung beruht darauf, daß die Werkstoffe durch kurzwellige 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. eine photographische Platte oder einen doppelseitig begossenen Röntgenfilm mehr oder weniger stark schwärzen. Abb. 342 zeigt uns die Röntgenaufnahme eines mit Schmelzmantelektroden geschweißten Bleches von 6 mm Dicke. Die Schweißnaht ist einwandfrei

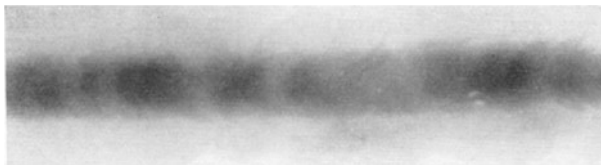


Abb. 342. Röntgenaufnahme einer guten Elektroschweißung.

Demgegenüber sehen wir in Abb. 343 eine fehlerhafte Schweißung an einem 15 mm dicken Blech, ebenfalls mit Schmelzmantelektroden ausgeführt. Die hellen Stellen zeigen starke Schlackeneinschlüsse, die von der Elektrodenumhüllung herrühren. Abb. 344 zeigt uns wiederum mehrere Röntgenbilder der Längsnaht eines mit Pintschlektroden (s. nächsten Abschnitt) geschweißten Kessels. Alle Bilder lassen erkennen, daß die Schweißnähte vorzüglich sind.

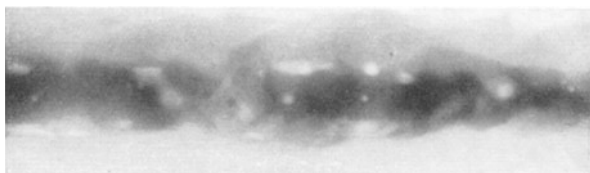


Abb. 343. Röntgenaufnahme einer schlechten Elektroschweißung.

Man arbeitet mit Gleichstromspannungen von 30000 bis 200000 V (= 30 bis 200 kV). Je geringer das spezifische Gewicht des Metalls, desto größer ist die Durchdringbarkeit. So braucht man für 10 ÷ 50 mm Aluminiumblech nur 30 bis 70 kV, für 10 mm Eisenblech aber schon 100 kV und für 70 ÷ 80 mm-Eisenblech 200 kV<sup>1</sup>. Die Anschaffungskosten der Anlagen, die auch fahrbar hergestellt werden, sind noch sehr hoch.

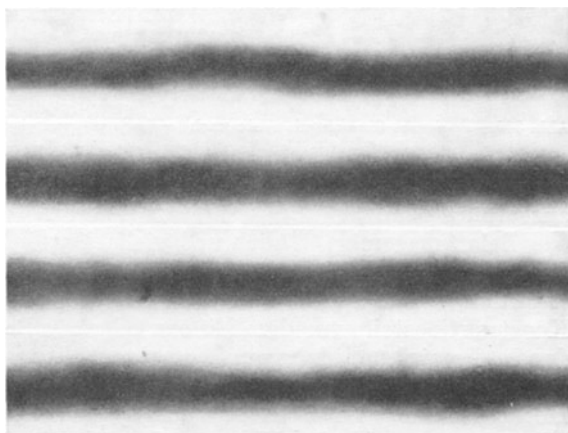


Abb. 344. Röntgenbilder der Längsnaht geschweißter Kessel.

Nach Berthold erfordert eine Röntgenanlage für 200-kV-Röhrenspannung bei 8000 ÷ 10000 RM. Anschaffungskosten etwa 1300 RM. für Röhrenersatz, aber nur 200 RM. jährlich an elektrischem Strom. Die Betriebsstunde kommt auf 12 ÷ 25 RM. (je nach Ausnutzung). Die Prüfung von 1 m Schweißnaht ohne Film kostet jedoch 1,50 ÷ 3,00 RM., mit Film 3,30 ÷ 6,60 RM. bei Stumpfstoßnähten von 10 ÷ 15 mm Dicke. Eine derartige Untersuchung ist also im allgemeinen noch unwirtschaftlich. Man muß zweckmäßig mit einem einfachen Fehler-

<sup>1</sup> Siehe auch Richtlinien für die Prüfung von Schweißverbindungen mit Röntgen- und Gammastrahlen, DIN Entwurf 1, E 1914.



sucher erst die schlechten Stellen festlegen und kann dann an ihnen Einzelröntgenprüfungen vornehmen.

**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 Belichtungszeiten sind länger und die Durchdringungsfähigkeit der Gammastrahlen ist bedeutend höher. Der Anwendungsbereich des noch nicht genügend entwickelten Verfahrens ist vorläufig noch als gering anzusehen und kommt praktisch nur dann in Frage, wenn die Röntgenstrahlen nicht mehr ausreichen.

**Nahtschwächende Prüfung.** Am bekanntesten ist das Prüfgerät von Schmuckler. Abb. 345 zeigt das Grundsätzliche des Verfahrens. Von einem Motor wird

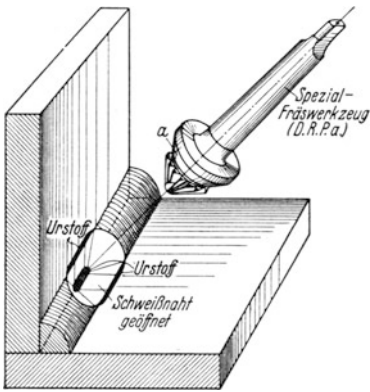


Abb. 345. Prüfgerät für Schweißnähte nach Schmuckler.

mit biegsamer Welle, bzw. unmittelbar gekuppelt, ein besonderer Fräser angetrieben, der ein Stück aus der Schweißnaht herausnimmt und gleichzeitig den Grundwerkstoff mit anfräst. Die Prüfung der geöffneten Schweißnaht erfolgt dann mit bloßem Auge oder mit dem Mikroskop 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. Beim Bau der Schlachthofbrücke in Dresden sind die nach DIN 4100 vorgeschriebenen Prüfungen der Schweißnähte durchweg nach diesem Verfahren ausgeführt worden.

**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).

## C. Prüfungen mit Zerstörung der Schweißnaht.

### 1. Festigkeitsprüfungen.

**Zugversuch.** Zunächst hat man den üblichen Zugversuch nach DIN 1605 auf die Prüfung von Schweißungen übertragen, indem man die Zugfestigkeit des quer zur Längsrichtung geschweißten Stabes in  $\text{kg/mm}^2$  und seine Bruchdehnung in  $\text{vH}$  feststellte und beide Werte mit den entsprechenden Werten des ungeschweißten Werkstoffs verglich. Mit neueren Schweißdrähten geschweißte Verbindungen zeigen nun nicht nur bei der Widerstandsschweißung (s. Abb. 346),

sondern auch bei der Lichtbogenschweißung — wie natürlich auch bei der Gasschweißung —, daß der Probestab sowohl bei der rohen wie bei der abgedrehten Probe fast immer außerhalb der Schweißstelle reißt. Man stellt dann naturgemäß eine Zugfestigkeit der Schweißung von mindestens 100 vH derjenigen des Urwerkstoffes 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 im allgemeinen aus dem Zugversuch nur die Angabe der Mindestzugfestigkeit.

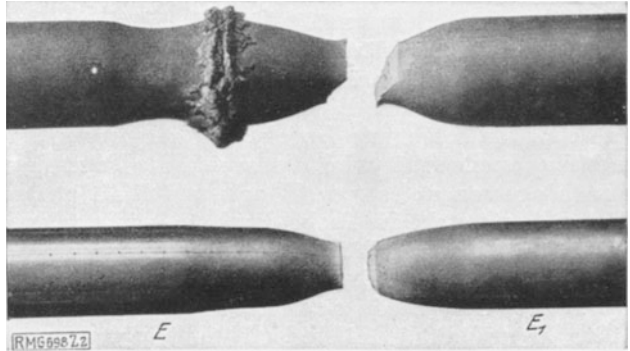


Abb. 346. Elektrisch nach dem Abschmelzverfahren geschweißter Probestab, roh und abgedreht zerrissen.

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. 347. 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 den „Bedingungen für die Lieferung und Abnahme von Zusatzwerkstoffen für die Gas- und Lichtbogenschweißung von Stahl“ ist die in Abb. 347 unten (Kurzstab II) 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.

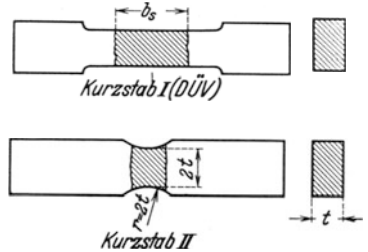


Abb. 347. Kurzstäbe für Zugversuche.

Zur Beurteilung einer Schweißung, die höheren Temperaturen ausgesetzt ist (Dampfkessel, Lokomotivfeuerbuchsen) kann an Stelle des bisher behandelten Kaltzugversuchs der Warmzugversuch treten, d. h. der Probestab wird im erwärmten Zustande zerrissen.

**Biege- oder Faltversuch.** Zur rohen Beurteilung genügt schon die Biegung der Schweißprobe in einem Schraubstock, vielleicht mit anschließendem vollständigem Aufbrechen der Schweißnaht, um das Bruchgefüge (Schlackeneinschlüsse usw.) zu erkennen. Für einen Abnahmeversuch ist natürlich eine sorgfältigere Prüfung in einer einfachen Biegemaschine vorzuziehen, deren Schema Abb. 348 (s. auch DIN 4100 u. a. O.) wiedergibt. Die Abmessungen entsprechen den neuesten Vorschlägen des Fachausschusses für

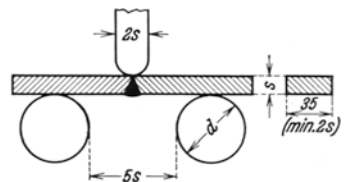


Abb. 348. Abmessungen für den Faltversuch.

Schweißtechnik im VDI. 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 unzuweckmäßig 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 neuerdings aufgekommene Freibiegeversuchs (von Block und Ellinghaus) ohne Dorn bewährt. Bei diesem Gerät steht die Probe durch Aufbringen des Biegemoments auf die Probenenden in ihrer ganzen Länge unter der Wirkung eines gleich großen Biegemoments.

**Schmiedeprobe.** Der Probestab von 300 mm Länge und 35 mm Breite ist bei Hellrot-Gelbglut in einer Hitze auf eine Strecke =  $10 \cdot$  Probendicke von der Mitte aus und auf die Hälfte der Blechdicke und Probenbreite auszuschmieden. Der ausgeschmiedete Probeteil muß sich bei obiger Hitze um  $360^\circ$  verdrehen lassen, ohne Anrisse zu zeigen. Diese Probe auf Schmiedbarkeit der Schweißnaht läßt sich in jedem Betrieb ausführen.

**Härteprüfung.** Hier kann auf das im vorhergehenden Abschnitt B Gesagte verwiesen werden. In Anwendung ist vor allem die Kugeldruckprobe nach Brinell für Auftragschweißungen.

**Kerbschlag- und Schlagzugversuch.** Beim Kerbschlagversuch wird ein mit einer Kerbe versehener Probestab mit Hilfe eines Pendelhammers durchschlagen und die Kerbzähigkeit (spezifische Schlagarbeit) in  $\text{mkg/cm}^2$  gemessen. 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  $\text{mkg/cm}^2$  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 sehr umstritten und läßt keinen Schluß auf die Dauerfestigkeit zu.

**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 Grenzwertwechselzahl 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. 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 kostspielige Proben nur dann durchführen, wenn einfachere Versuche zur sicheren Erkenntnis der Schweißnahtgüte nicht genügen.

**Festigkeitsergebnisse von Widerstandsschweißungen.** Es sind hier, wie auch im folgenden, nur einige der wesentlichsten Versuche herausgegriffen. Für die elektrische Stumpf- und Abschmelzschweißung sind immer noch grundlegend die Versuche von Füchsel (1924) und Bock (1925). Füchsel prüfte Rundstäbe von 10, 20 und 50 mm Durchmesser aus handelsüblichem Siemens-Martin-Stahl von  $34 \div 41 \text{ kg/mm}^2$  Zugfestigkeit. Bei den Zugversuchen riß die Mehrzahl der Probestäbe (bei der Abschmelzschweißung von 31 sogar 26) außerhalb der Schweißnaht. Bei den Kaltbiegeversuchen

wurde der geschweißte Stab um einen Dorn von der Dicke des Probestabes bis zum Anriß oder Bruch gebogen. Bei den Proben mit Randwulst oder Grat ergaben sich Biegewinkel von  $152^\circ$  bei der Stumpfschweißung und  $167^\circ$  bei der Abschmelzschweißung ohne Nachbehandlung. Proben mit abgeschliffenem Randwulst oder Grat ergaben infolge größerer Biegebeanspruchung der Schweißstellen ungünstigere Werte ( $83^\circ$  bzw.  $158^\circ$ ).

Bei den dann noch ausgeführten Schlagbiegeversuchen wurde mit einem 1,75 bzw. 3 kg schweren

Vorschlaghammer geschlagen, bis die Schenkel einen Winkel von  $152^\circ$  einschlossen, darauf gewendet und mit Schlägen bis zur Anfangslage zurückgebogen; diese Prüfung hielten 75 bzw. 87,5 vH der Proben aus, woraus sich eine große Zähigkeit der Schweißnähte ergibt. Bei der Stumpfschweißung zeigte sich deutlich, daß das Verschmieden der Wulst auf dem Amboß zu verwerfen ist, auch schon das Hammerglätten in der Maschine. Ist die Beseitigung der Stauchwulst erwünscht, so muß dies durch Abdrehen oder Abschleifen erfolgen. Den nachteiligen Einfluß des Verschmiedens der Wulst gibt auch sehr deutlich Abb. 349 wieder. Es ist ein mit Kupferammoniumchlorid geätzter Schliff mit 1,4facher Vergrößerung. Die dunklen Stellen sind Phosphorseigerungen. Bedeutende Querrisse sind als Folge des Verhämmerns entstanden.

Bei den Versuchen von Bock wurden Proben von 25 mm Durchmesser aus weichem Flußstahl (Flußeisen) und solche aus schwerer schweißbarem Flußstahl

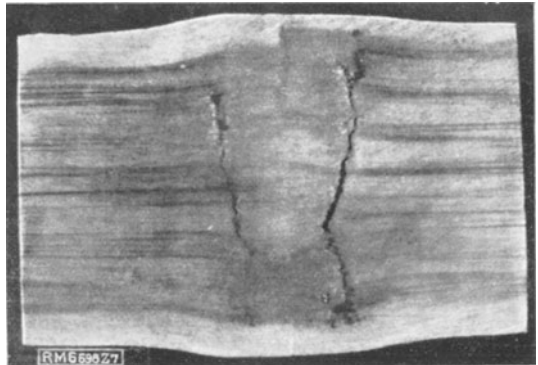


Abb. 349. Risse in einer gehämmerten Stumpfschweißung ( $\bar{V} = 1,4$ ).

mit 0,3 vH Kohlenstoff dem Zugversuch, der Härteprüfung und der metallographischen Prüfung unterworfen. Alle Stäbe hatten mindestens 100 vH der Zugfestigkeit des Grundwerkstoffs. Die Bruchdehnungsmessungen zeigten, daß der Stahl mit 0,3 vH Kohlenstoff den hohen Temperaturen der Abschmelzschweißung gegenüber doch schon deutlich empfindlicher ist als der weiche Flußstahl. Die Härte des letzteren wurde durch das Schweißen von 100 auf 113 kg/mm<sup>2</sup> gesteigert. Bei dem härteren Flußstahl führte die in der Schweißstelle auftretende Entkohlung zu einer Verminderung der Härte von 175 auf 160 kg/mm<sup>2</sup>.

Neuere wesentliche Versuche über Punkt- und Nahtschweißungen liegen nicht vor. Man kann sich aber leicht durch Zugversuche davon überzeugen, daß punktgeschweißte und (bei dünnen Blechen) auch nahtgeschweißte Bleche selten oder nie in der Schweißstelle reißen.

**Festigkeitsergebnisse von Lichtbogenschweißungen.** Für die Schmelzschweißung waren die Versuche von Diegel, Neese, Höhn, Bock, Bardtke und der Forschungsgemeinschaft für Schmelzschweißung, Hamburg (in den Jahren 1922 ÷ 1927) grundlegend und richtunggebend. Diegel prüfte Lichtbogen- und Gasschweißungen durch den Zug- und Biegeversuch und fand eine größere Sprödigkeit der Lichtbogenschweißnaht. Neese stellte Gleichstrom- und Wechselstromschweißungen, Schweißungen mit blanken und umhüllten Elektroden einander gegenüber und ging auch erstmalig näher auf die Prüfung der Gußeisenschweißung ein, wobei er bei der Warmschweißung den Bruch meist außerhalb der Schweißstelle feststellte. Höhn untersuchte verschiedene Elektrodenarten und Schweißnahtprofile und auch elektrisch geschweißte Walzenkessel von 600 bis 800 mm Durchmesser und 6 ÷ 8 mm Blechdicke, die 60 ÷ 120 at Druck aushielten und dann teils in den Schweißnähten, teils im vollen Blech rissen. Bock benutzte (1925) bei Versuchen an Gleichstrom- und Wechselstromschweißungen neben dem statischen Zugversuch noch den Schlagzugversuch und stellte damals noch sehr unterschiedliche und z. T. sehr niedrige spezifische Schlagarbeiten, also eine starke Sprödigkeit der Schweißnaht fest. Die Versuche der Forschungsgemeinschaft für Schmelzschweißung in Hamburg befaßten sich eingehend mit der Gleichstrom- und Wechselstromschweißung von Schiffbaublechen und ergaben damals einerseits für die Gleichstromschweißung, andererseits für die umhüllten Stäbe die besten Werte.

Von neueren Versuchen seien zunächst die von Bardtke in der schweißtechnischen Versuchsabteilung Wittenberge (1931) erwähnt. Bei Gleichstromschweißung und blanken Elektroden wurden in größeren Versuchsreihen 97° Biegewinkel bei waagerechter, 82° bei senkrechter und 81° bei über Kopf geschweißter V-Naht erreicht. Bei Wechselstrom und umhüllten Elektroden wurden 93° bzw. 115° und 97° erzielt. Die Zugversuche ergaben ein anderes Bild, nämlich bei Gleichstrom und blanken Elektroden 100 bzw. 94 und 90 vH der Zugfestigkeit des Grundwerkstoffs, bei Wechselstrom und umhüllten Elektroden 90 bzw. 90 und 66 vH. Im allgemeinen ist also die Festigkeit von senkrechten und insbesondere über Kopf geschweißten Nähten deutlich geringer als die der waagrecht geschweißten, was bei Berechnung von Schweißverbindungen zu berücksichtigen ist.

Fiek und Hoffmann stellten (1931) durch Schlagzugversuche fest, daß diejenige Schweißnaht, welche geringere Zugfestigkeit als das Blech, aber größeres Arbeitsvermögen (Formänderungsfähigkeit) 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.

Fry stellte (1931) u. a. durch Zugversuche fest, daß das Glühen von Lichtbogenschweißungen naturgemäß zwar die Zugfestigkeit etwas erniedrigt, aber die Dehnung erhöht. Die Biegewinkel stiegen von  $66 \div 97^\circ$  auf  $111 \div 180^\circ$  bei blanken Elektroden und von  $136 \div 180^\circ$  auf durchweg  $180^\circ$  bei umhüllten Elektroden. Fry fand dabei ferner auch den günstigen Einfluß höheren Mangangehalts im Schweißdraht stets bestätigt (s. auch die spätere Tabelle 20).

Schaper berichtet (1933) über Dauerfestigkeitsversuche, die mit Schwingbrücken oder Pulsatoren in den Materialprüfungsämtern in Dahlem, Dresden und Stuttgart sowie in industriellen Versuchsanstalten durchgeführt wurden. Die bisherigen hauptsächlichsten Versuchsergebnisse besagen, daß gute, mit blanken Elektroden geschweißte Stumpfnähte in V-Form bei einer Spannung, die zwischen 800 und 1600 kg/cm<sup>2</sup> wechselt, 10 Millionen Lastwechsel ertragen, Laschenverbindungen mit Flankenkehlnähten dagegen nur 0,28 Millionen Lastwechsel. Die Erklärung für die geringe Dauerfestigkeit der letzten Verbindungsart ist darin zu finden, daß an der Stoßstelle ein schroffer Übergang von der Lasche zu den verlaschten Teilen vorhanden ist und hier eine starke Spannungsanhäufung stattfindet. Die Versuche bei der Gutehoffnungshütte zeigten u. a., daß geschweißte Vollwandträger mit unterbrochenen Schweißnähten zwischen Stegblech und Gurtungen eine weit geringere Dauerfestigkeit haben als Träger mit durchlaufenden Schweißnähten. Schaper zieht aus den bisherigen Versuchen folgende Schlüsse:

1. Träger für ruhende Lasten können als vollwandige und fachwerkartige Gebilde in geschweißter Ausführung mit durchaus hinreichender Sicherheit ausgeführt werden.

2. Träger für wechselnde Beanspruchung, wie z. B. Brücken, lassen sich z. Z. noch nicht als geschweißte Fachwerkträger, wohl aber als Vollwandträger mit ausreichender Sicherheit ausführen (Beispiel: vollwandige geschweißte Eisenbahnbrücken der Reichsbahn).

Bei diesen Vollwandträgern sind vor allem unterbrochene Schweißnähte zu vermeiden, eine Anhäufung von Schweißnähten ist zu verhüten und bei den Stößen von Gurtungen und Stegblechen ist die Stumpfnahht vor allen anderen Verbindungen zu bevorzugen.

Andere Dauerfestigkeitsversuche, so z. B. von Hoffmann, 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 Sonder Elektroden 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  $180^\circ$  und z. B. bei 74 amtlichen Prüfungen eine durchschnittliche Kerbzähigkeit von 21 kg/cm<sup>2</sup>. Dauerfestigkeitsversuche ergaben am vollen Blech (von  $20 \div 21$  kg/mm<sup>2</sup> Streckgrenze und 35 kg/mm<sup>2</sup> Zugfestigkeit) eine Ursprungsfestigkeit von 22 kg/mm<sup>2</sup>, bei X-Naht-Schweißungen und abgearbeiteter Schweißwulst 20 kg/mm<sup>2</sup> und bei unbearbeiteten Schweißnähten 17 kg/mm<sup>2</sup>, also sehr hohe Werte. Während aber ein glatter Schweißstab bei einer Höchstlast von 19 kg/mm<sup>2</sup> 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, Stützen usw. die Dauerfestigkeit stärker beeinflussen als die Schweißverbindung. — Nach dem preußischen Erlaß von 1931 und 1933 darf die Festigkeit der genannten Sonderschweißung 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 Dampfzesseln 70 vH zulässig; außerdem wurde bei Kesseln stets Laschensicherung der Schweißnähte gefordert.

Küchler macht Angaben (1932) über Lichtbogenschweißversuche mit Baustahl St 52. Die Zugversuche ergaben 87,5 vH der Festigkeit des vollen Werkstoffs. Auch die Kerbschlagversuchsergebnisse waren gut, etwa 50 vH derjenigen des Grundwerkstoffs. Die besten Ergebnisse wurden mit einem Seelendraht von  $1,8 \div 2,0$  vH Mangangehalt erzielt.

Schottky und Zeyen sowie Heßler und Kautz berichten (1932 und 1934) über Untersuchungen an Lichtbogenschweißungen aus nichtrostenden und säurebeständigen Stählen (insbesondere V2A-Stahl). Die Zugfestigkeit der Schweißung erreicht nahezu oder ganz 100 vH der des Grundwerkstoffs, der Biege- und Kerbzähigkeitswerte der Schweißungen sind gut.

Belastungsproben an Konstruktionsteilen und Kesseln bis zum Bruch sind mehrfach durchgeführt worden. So hat z. B. die Gutehoffnungshütte

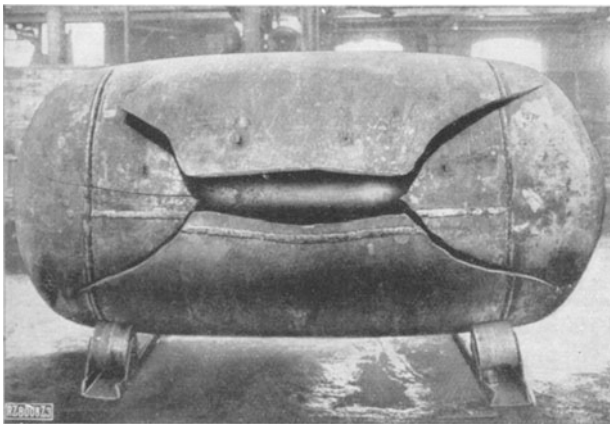


Abb. 350. Versuchsdruckkessel, nach dem Pintschverfahren geschweißt, gerissen bei 155 at.

schon 1923 einen doppelwandigen Fachwerkträger von 10 m Stützweite in allen Teilen elektrisch schweißen lassen und mit nach und nach gesteigerter Belastung zu Bruch gebracht, wobei keine Schweißnaht in Richtung der Stabkraft riß. Bei Versuchen von Strelow wurde ein Ladebaum von 15 m Länge durchgeknickt und ein geschweißter Schiffsstevan Fallversuchen aus  $1,5 \div 3,5$  m Höhe unterzogen, wobei ebenfalls kein Reißen der Schweißnähte auftrat.

Czernasty berichtet (1932) über die Sprengung eines nach dem Pintschverfahren elektrisch geschweißten Versuchskessels von 1,5 m Durchmesser und 30 mm Wanddicke. Der zulässige Betriebsdruck betrug bei Verwendung von Flußstahl F I ( $35 \div 44 \text{ kg/mm}^2$  Zugfestigkeit) rund 30 at. Der Wasserdruckversuch ging in der Weise vor sich, daß der Druck allmählich erhöht wurde, unter zeitweiser Entspannung zur Vornahme von Dehnungsmessungen. Nach starker Verformung (Ausbauchung) riß der Kessel, wie es Abb. 350 zeigt, bei 155 at Druck von der

Mitte des Mantels aus, und zwar im vollen Blech. An keiner Stelle riß eine Schweißnaht; auch trat in keinem Fall durch die Schweißnaht ein Richtungswechsel des Bruches ein.

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.

Die Frage, ob die Gleichstrom- oder Wechselstromschweißung die höheren Festigkeitswerte ergibt, wird nach diesen Darlegungen heute kaum noch erörtert. Die Festigkeitsfrage ist im allgemeinen eine Elektrodenfrage, wozu unter Umständen eine zweckmäßige Behandlung nach dem Schweißen tritt (Normalglühen).

Über Festigkeitswerte der Arcatomschweißung berichtet Sandelowsky (1930); er stellt z. B. bei St 37 fest, daß von 3 mm Blechdicke an aufwärts die Zugfestigkeit der Schweißnaht die des Grundwerkstoffs übertrifft und daß die Biegewinkel bei Blechdicken bis 6 mm stets  $180^\circ$  betragen. Die stärkeren Streuungen und schlechteren Werte des Biegewinkels bei Blechdicken von 6 ÷ 12 mm erklärt er durch die Ausfüllung der Schweißfuge mit Zusatzdraht. — Festigkeitswerte der Arcogenschweißung gibt Münter (1930) an. Die Zugfestigkeit beträgt durchschnittlich 95 vH derjenigen des Grundwerkstoffs; die Biegeproben erreichen durchschnittlich  $180^\circ$ . Die Kerbzähigkeit nimmt er bei geglühten Schweißungen zu 50 vH der des Grundwerkstoffs an.

Abschließend ist darauf hinzuweisen, daß die oben angeführten Ergebnisse auf bestimmte Untersuchungen zurückzuführen und nicht für alle Fälle zu verallgemeinern sind. So ist z. B. durch Normalglühen nur dann eine weitere merklige Gütesteigerung erreichbar, wenn die verwendete Elektrode von vornherein die Voraussetzung hierzu gibt; denn bei der Verwendung gewöhnlicher Elektroden kann das Normalglühen den Einfluß der Sauerstoff- und Stickstoffaufnahme auf die Schweißung nicht aufheben, unter Umständen sogar zu einer Verschlechterung der Verbindung führen. Für die Beseitigung von Spannungen wird das Glühen indessen immer seinen Wert haben.

Versuche über elektrische Schweißungen von Nichteisenmetallen liegen erst in geringem Umfange vor.

## 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 Schlieffläche entweder anläßt oder, was am häufigsten vorkommt, mit gewissen Ätzmitteln behandelt. 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. 351:  $V = 67$ , d. h. 67fach vergrößert).

**Untersuchungen von Widerstandsschweißungen.** Zunächst sei nochmals auf Abb. 349 verwiesen, die eine Prüfung des Großgefüges in fast natürlicher Größe darstellt. Es handelte sich hier nur darum, die durch Hämmern entstandenen Risse gut sichtbar zu machen. Aus weiteren Untersuchungen von Bock an Stumpf- und Abschmelzschweißungen seien noch folgende Abbildungen zur Betrachtung herangezogen: Abb. 351 zeigt in 67facher Vergrößerung rechts das Gefüge eines Flußstahls in 17 mm Entfernung von der Stumpfschweißstelle und

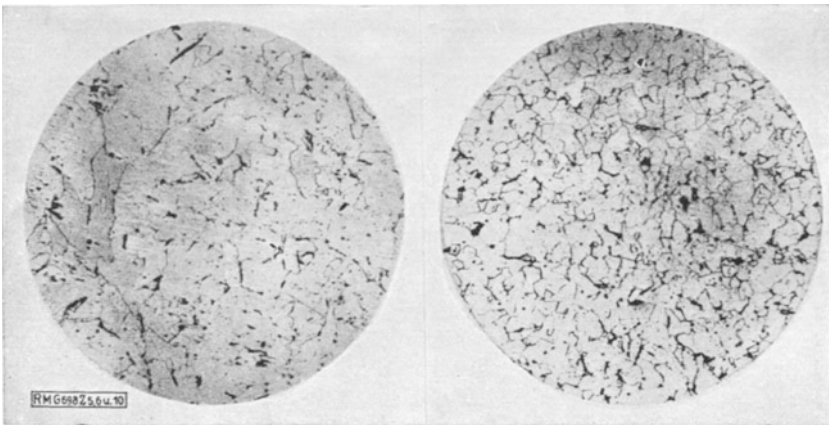


Abb. 351. Gefüge stumpfgeschweißten Flußstahls in und neben der Schweißstelle ( $V = 67$ ).

links das Gefüge in der Schweißstelle selbst. Die weiß aussehenden Kristalle rechts sind reine Eisenkristalle (metallographisch als „Ferrit“ bezeichnet), die schwärzlichen Stellen in den Fugen sind feine Körnchen von Eisen und Eisenkarbid (Perlit). Die Größe der Eisenkristalle ist noch ungefähr dieselbe wie die des ungeschweißten Werkstoffs, während links, in der Schweißung, eine Vergrößerung des Kornes, herrührend von einer gewissen Überhitzung, festzustellen ist.

Die folgenden Abbildungen sind Vergrößerungen einzelner Stellen anderer Proben von Stumpf- und Abschmelzschweißungen, und zwar alle 67fach vergrößert. Abb. 352 zeigt das Gefüge des ungeschweißten Stahls. Der dunkle Perlit nimmt etwa ein Drittel des ganzen Querschnitts ein, entsprechend einem Kohlenstoffgehalt des Stahls von etwa einem Drittel von 0,9 vH (Kohlenstoffgehalt also etwa 0,3 vH). In der Abschmelzschweißnaht (Abb. 353) sehen wir ein ganz anderes Gefüge, grobkörnig und grobmaschig; diese Struktur tritt immer dann auf, wenn Stahl von hoher Temperatur ziemlich schnell abgekühlt wird, wie es bei der Abschmelzschweißung der Fall ist. Der Ferrit hüllt als helles Netz den dunklen Perlit ein, der noch mit Ferritkörnern durchsetzt ist. Dieselbe Schweißstelle ist in Abb. 354 nochmals, aber nach halbstündigem Glühen bei 850°, dargestellt. Wir sehen ein ganz anderes, dem ungeschweißten Werkstoff der

Abb. 352 mehr ähnelndes Gefüge. Die Struktur ist feinkörnig, also durch den Glühvorgang verbessert. Das Gefüge — auch schon das der Abb. 353 — war an allen Stellen so gleichartig, daß man die Schweißstelle im Mikroskop nicht erkennen konnte. Deshalb gibt in Abb. 354 ein Bleistiftstrich senkrecht durch die Abbildung die Schweißstelle an. Bei der Stumpfschweißung wird infolge der nicht so hohen Temperatur die Schweiße nicht so grobkörnig wie bei der

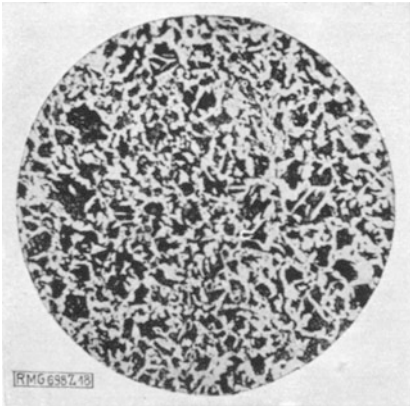


Abb. 352. Gefüge des ungeschweißten Stahls (V = 67).



Abb. 353. Gefüge der Schweißstelle (Abschmelzschweißung) (V = 67).

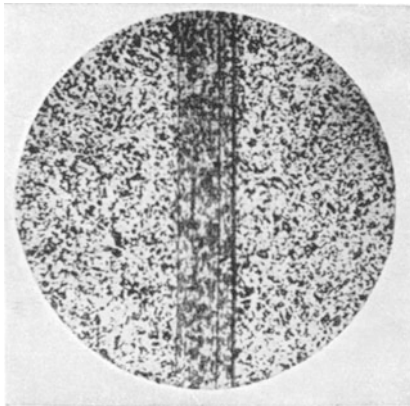


Abb. 354. Gefüge der Schweißstelle (Abschmelzschweißung nach dem Glühen) (V = 67).

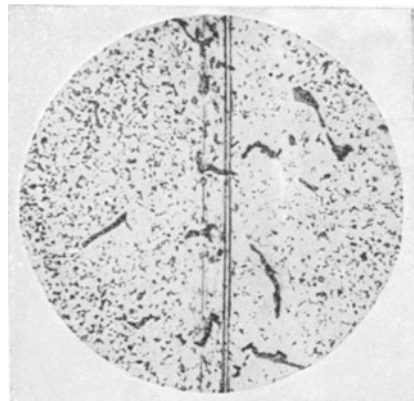


Abb. 355. Gefüge der Stumpfschweißung (V = 67).

Abschmelzschweißung. Abb. 355 läßt dies erkennen, obwohl die Schweiße noch eine halbe Stunde lang bei  $850^{\circ}$  geglüht worden ist. Die Struktur ist ungefähr dieselbe wie vor dem Glühvorgang, also feinkörnig, aber links und rechts von der wieder durch einen Bleistiftstrich hervorgehobenen Schweißstelle zeigen sich nun zahlreiche, dunkle sulfidische (schwefelreiche) Einschlüsse. Diese Sulfide sind im Grundwerkstoff vorhanden gewesen und bei der Stumpfschweißung nicht verbrannt, da die Temperatur nicht hoch genug war. Bei der Abschmelzschweißung dagegen sind sie verbrannt, bzw. beim Zusammenpressen der

Hälften des Probestücks in den Grat hinausgepreßt worden. Letzteres sehen wir an Abb. 356 besonders deutlich, die eine Stelle des Grats mit großen Schlackeneinschlüssen wiedergibt. Zum Teil sind diese sulfidischen Schlacken beim Polieren des Schiffs ausgebrochen, woraus sich die in der Abbildung besonders dunkel aussehenden Stellen erklären. Die Abb. 352 ÷ 356 sind übrigens sämtlich mit alkoholischer Pikrinsäure geätzt.

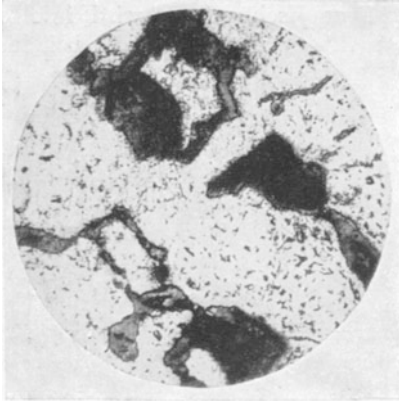


Abb. 356. Grat der Abschmelzschweißung mit starken Schlackeneinschlüssen ( $V = 67$ ).

Eine einzige Schweißlage, wie sie bei dünnen Blechen vorkommt, und entsprechend auch die oberste von mehreren Lagen, zeigt Überhitzungserscheinungen, was man an groben Kristallen (Gußstruktur, Abb. 359) erkennt. In dickeren Blechen wird diese Gußstruktur durch einen selbsttätigen Ausglühvorgang mehr oder weniger beseitigt, insofern als die unteren Schweißlagen beim Aufbringen der oberen diesem Ausglühen ausgesetzt sind. Den Unter-

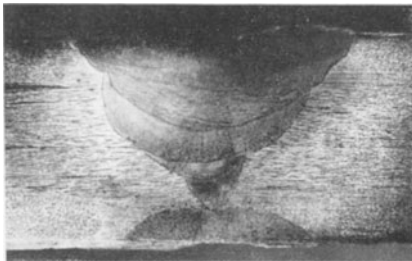


Abb. 357. Dreilagenschweißung mit Kappnaht. ( $V = 2$ ).

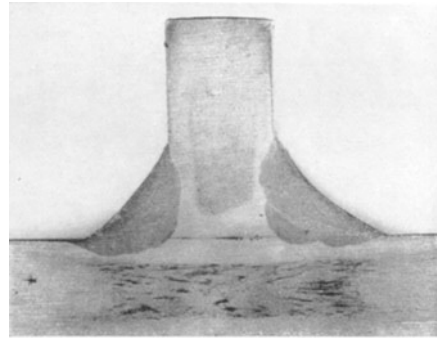


Abb. 358. Gute elektrische Kehlnaht-Schweißungen. ( $V = 1$ ).

schied in der Struktur verschiedener Schweißlagen erkennt man beim Vergleich von Abb. 359 und 360. Letztere Abbildung gibt eine untere Schweißlage wieder; das Gefüge ist infolge des Ausglühens durch Aufbringen weiterer Schweißlagen feinkörniger und damit besser (widerstandsfähiger) als das Gußgefüge. Von Interesse ist auch die folgende Abb. 361 insofern, als sie zweierlei Gefüge zeigt. Rechts erblickt man die sog. „Zeilenstruktur“, wie sie gewalztem Flußstahl infolge der Wirkung des Walzvorgangs auf die Kristallkörner eigen ist. Links in der Abbildung aber ist diese Zeilenstruktur vollständig verschwunden und ein sehr feines Korn entstanden. Dies läßt sich durch die

Glühwirkung des Lichtbogens auf die Werkstoffstellen in der Nähe der Schweißfuge erklären. Bei Erhitzung solcher Stellen auf etwa  $900^{\circ}$  entsteht eine feinkörnige Struktur. Es handelt sich also rechts in der Abbildung um eine Stelle des Flußstahlblechs, die beim Schweißen noch keine starke Erhitzung erfahren hat, links um eine Stelle, die schon ziemlich nahe der Schweißfuge liegt.

Wird ein Blech nach voraufgegangener Kaltverformung (Kaltbiegen, -ziehen usw.) nur auf etwa  $500 \div 700^{\circ}$  erwärmt, also unterhalb des Umwandelungspunktes gegläht, so wächst das von der Streckung befreite Kristallkorn. Es entsteht ein grobes Korn bzw. ein neues Korn; das Gefüge wird wenig widerstandsfähig. Diesen Vorgang bezeichnet man als Rekristallisation. Man soll beim Glühen daher stets bis in das Temperaturgebiet der Umkristallisation, also bis auf etwa  $800 \div 900^{\circ}$  gehen, um ein feines Korn und damit wieder ein verbessertes Gefüge zu erhalten.

Die Lichtbogenschweiße neigt zur Stickstoffaufnahme, was bereits mehrmals erwähnt wurde. Der Stickstoff erscheint bei genügend starker Vergrößerung in Form feiner Nitridnadeln (Eisen-nitrid,  $\text{Fe}_2\text{N}$  = eine Eisenstickstoffverbindung), die das ganze Feld des Metallschliffs durchsetzen, wie dies auch

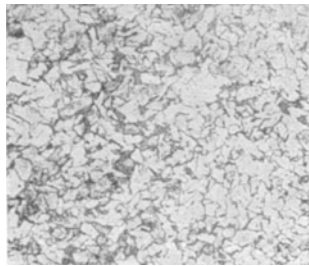


Abb. 360. Untere Schweißlage einer Lichtbogenschweißung, ausgeglüht durch Aufbringen mehrerer Schweißlagen ( $V=120$ ).

Abb. 362 erkennen läßt. Hierbei darf nicht übersehen werden, daß solche Nitridnadeln in schnell abgekühlten oder gar abgeschreckten Schweißen auch bei der Betrachtung durch das Mikroskop und bei starker Vergrößerung nicht sichtbar sind, woraus jedoch keineswegs auf ihre Abwesenheit geschlossen werden kann. Glüht man die Probe und läßt sie langsam erkalten, so tritt das nadlige Gefüge in Erscheinung.

Zwei Abbildungen aus den Untersuchungen der Forschungsgemeinschaft für Schmelzschweißung in Hamburg stellen folgende Unterschiede im Gefüge der Gleichstrom- und Wechselstromschweißung fest: Die Gleichstromschweißung mit nackten Elektroden (Abb. 363) zeigt wohl kleine oxydische Einschlüsse, aber keine größeren Hohlräume. Das streifige Gefüge der Abb. 363 weist auf Überhitzung (grobes Korn) und auf die Aufnahme von Oxyden und Nitriden des Eisens hin. Der tieferliegende Werkstoff ist durch Umkristallisation

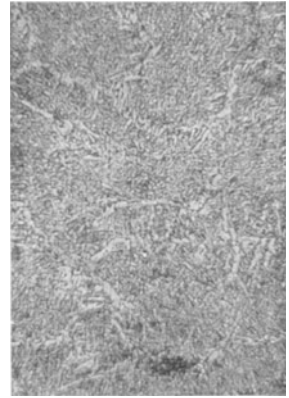


Abb. 359. Gußstruktur einer Lichtbogenschweißung ( $V=100$ ).

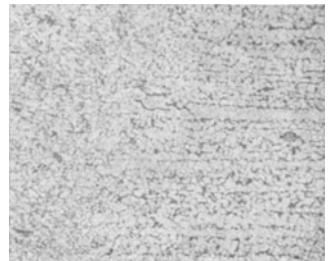


Abb. 361. Zellenstruktur von Flußstahl (rechts) und Wärmewirkung des Lichtbogens (links) ( $V=60$ ).

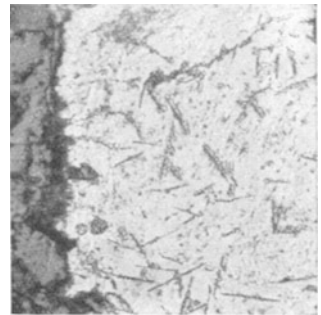


Abb. 362. Lichtbogenschweißung mit Nitridnadeln ( $V=500$ ).

verbessert worden, was sich mit den früheren Ausführungen über das Ausglühen der unteren Schweißfugen deckt. Die Gleichstromschweißung mit dickumhüllten Elektroden erschwert bei unzureichender Handfertigkeit den dichten Aufbau der Naht und ergibt leicht Hohlräume, ist aber viel freier von Oxyden und Nitriden als die Gleichstromschweißung mit nackten Elektroden. Die Wechselstromschweißung mit nackten Elektroden ähnelt im Gefügebau der entsprechenden Gleich-

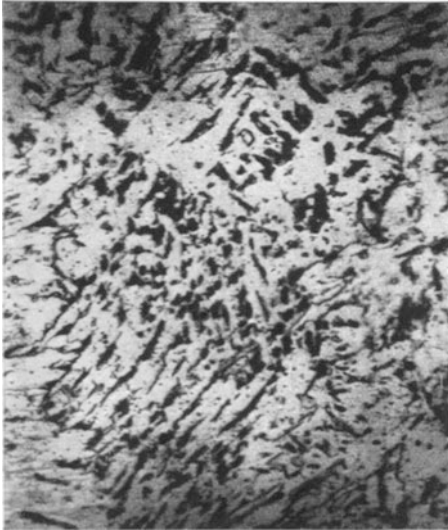


Abb. 363. Gleichstromlichtbogenschweißung mit nackten Elektroden ( $V = 500$ ).

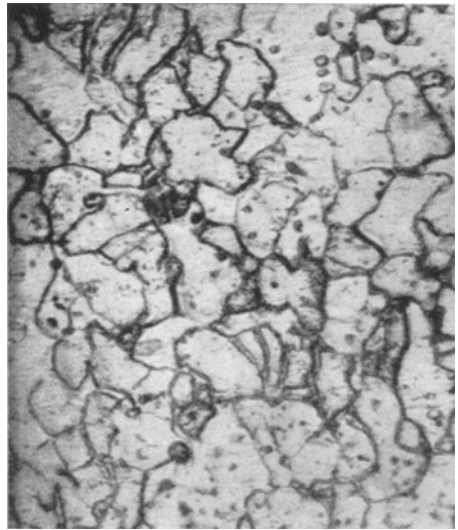


Abb. 364. Wechselstromlichtbogenschweißung mit umhüllten Elektroden ( $V = 500$ ).

stromschweißung mit dem Unterschied, daß die reichlich vorhandenen Oxyd- und Schlackenstellen eine häufige Unterbrechung des eben schwerer zu haltenden Lichtbogens erkennen lassen. Die Überhitzung ist geringer als bei der Gleichstromschweißung, was auf die geringere Heizwirkung des Wechselstromlichtbogens zurückzuführen sein dürfte. Die Wechselstromschweißung mit umhüllten Elektroden (Abb. 364; wie Abb. 363 mit 500facher Vergrößerung) zeigt wieder große Ähnlichkeit mit der entsprechenden Gleichstromschweißung. Die Struktur ist feinkörnig; kleine Fremdkörper, die auch in Abb. 364 erkennbar sind, kann man als Kristallisationskeime ansehen, die vor allem zur Ausbildung der feinkörnigen Struktur beigetragen haben.

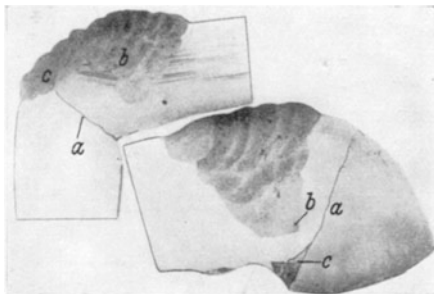


Abb. 365. Elektrische Fehlschweißungen bei der Ausbesserung einer Wasserkammer ( $V = 1/2$ ).

Abb. 365 führt uns schließlich an Hand eines klaren Beispiels in geringer Vergrößerung auf das Gebiet der Fehlschweißungen bei Ausbesserungsarbeiten. Es handelt sich um elektrische Schweißungen an der Wasserkammer eines Kessels in  $1/2$  natürlicher Größe. Die untere Aufnahme zeigt, daß die Auskreuzung und

Schweißung vollständig neben der alten Feuerschweißnaht *a* liegt. Es ist fälschlicherweise gesunder Werkstoff entfernt, der Riß nicht erkannt worden. Die

Schweiße besteht aus vierzehn unter sich gut abgebundenen Lagen mit einer geringfügigen Kaltlage bei *b*. Bei *c* befindet sich eine bei der früheren Feuerschweißung nachträglich hergestellte künstliche Abdichtung. Auch in der oberen Aufnahme, einer Überkopfschweißung an der gleichen Wasserkammer, liegt die Schweiße *b*, die aus 25 Lagen besteht, zunächst ganz neben dem Riß *a*. Während des Schweißens ist der Schweißer dann auf den Riß gestoßen, hat bei *c* eine Mulde auskreuzen lassen und trotzdem den Riß *a* nur notdürftig und ungenügend verschweißt.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, daß metallographische Untersuchungen der Schweißnaht durch nähere Aufklärung über die Struktur des 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:  $0,06 \div 0,12$  vH Kohlenstoff (C), unter  $0,1$  vH Silizium (Si),  $0,45 \div 0,8$  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  $34 \div 45$  kg/mm<sup>2</sup> 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:  $3 \div 3,5$  vH C,  $3 \div 3,5$  vH Si,  $0,5 \div 0,7$  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 Schweißregeln schweißbar sind.

**Elektrodenwerkstoff.** 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 bereits angezogenen „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 Elektroden enthalten (im allgemeinen unter  $0,2$  vH C, unter  $0,15$  vH Si, unter  $0,03$  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. Für den Zusatzdraht bei der Kohlelichtbogenschweißung gilt etwa als Zusammensetzung:  $0,04 \div 0,08$  vH C,  $0,35 \div 0,5$  vH Mn, Spuren Si,  $0,06$  vH P + S. Die Gußeisenelektrode für die Warmschweißung soll haben:  $3 \div 3,5$  vH C,  $3 \div 3,5$  vH Si,  $0,5 \div 0,7$  vH Mn, bis  $0,8$  vH P, bis  $0,06$  vH S.

**Elektrodenumhüllung.** Nach Versuchen von Neese haben sich Kohlenstoff als Mittel zur Desoxydation (Sauerstoffentziehung) der Schweiße, ferner Glaspulver und Kalkpulver als schlackenbildende Körper hinsichtlich eines Einflusses auf die Güte der Schweiße nicht bewährt. Die untersuchten Umhüllungen hatten die verschiedenartigste Zusammensetzung. Als Schlackenbildner und Desoxydationsmittel waren enthalten: bis zu  $35$  vH B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Borsäure), bis  $40$  vH Na<sub>2</sub>B<sub>4</sub>O<sub>7</sub> (Borax), bis  $45$  vH Glas, bis  $15$  vH Na<sub>2</sub>CO<sub>3</sub> (Soda), bis  $35$  vH CaO (gebrannter Kalk), bis  $30$  vH NaCl (Kochsalz), bis  $27$  vH K<sub>4</sub>Fe(CN)<sub>6</sub> (Kali, gelbes Blutlaugen-

salz), bis 25 vH SiO<sub>2</sub> (Kieselsäure), bis 25 vH MgO (Magnesia), bis 30 vH C (Kohlenstoff), bis 10 vH Mg (Magnesium), bis 5 vH Mn (Mangan), bis 5 vH Al (Aluminium) usw. Nach Angaben von Meller enthielten Umhüllungen: 1,8 bis 54,7 vH CaO, 0,2÷8,6 vH Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Tonerde), 0÷7,2 vH MgO, 0÷42,8 vH Mn, 0÷44,4 vH SiO<sub>2</sub>, 5,7÷15,7 vH CO<sub>2</sub> (Kohlensäure, diese aus den Kalk- und Magnesiaverbindungen) usw. Die bisherigen Angaben bezogen sich auf Umhüllungen für Stahlschweißungen. In untersuchten Ummantelungen der Elektroden für Gußeisenkaltschweißungen waren nach Meller enthalten: 2,3÷46,3 vH CaO, 0,6÷13,3 vH Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 0÷6,3 vH MgO, 0÷40,8 vH SiO<sub>2</sub>, 0÷21 vH CO<sub>2</sub> usw.; hier fehlte gegenüber den vorhergehenden Angaben der Manganzusatz.

**Schweiße.** Nach Versuchen von Neese, Hoffmann, Fry, Baumgärtel u. a. ergaben sich zwischen den chemischen Zusammensetzungen der Elektrode und der Schweiße bei Flußstahlschweißungen verschiedene kennzeichnende Unterschiede, wie sie auch aus den in Tabelle 20 auszugsweise wiedergegebenen Ver-

Tabelle 20.

Gegenstand	Kohlenstoff C vH	Silizium Si vH	Mangan Mn vH	Phosphor P vH	Schwefel S vH	Sauerstoff O vH	Stickstoff N vH
<b>Versuche von Neese:</b>							
Elektrode . . . . .	0,136	0,110	0,350	0,015	0,030	—	—
Schweiße . . . . .	0,030	—	0,037	0,020	0,031	—	—
Elektrode . . . . .	0,080	Spuren	0,460	0,042	0,038	0,103	0,005
Schweiße . . . . .	0,019	—	0,250	0,042	0,031	0,289	0,116
<b>Versuche von Hoffmann:</b>							
Elektrode . . . . .	0,100	0,100	0,440	0,012	0,020	0,053	0,007
Schweiße (umhüllte Elektrode) . .	0,020	0,013	0,120	0,014	0,030	0,216	0,140
Schweiße (nackte Elektrode) . . .	0,020	0,010	0,150	0,012	0,019	0,215	0,152
Elektrode . . . . .	0,530	0,110	0,660	0,022	0,035	0,092	0,009
Schweiße (umhüllte Elektrode) . .	0,070	0,020	0,220	0,027	0,036	0,149	0,089
Schweiße (nackte Elektrode) . . .	0,220	0,040	0,420	0,022	0,033	0,148	0,091
<b>Versuche von Fry:</b>							
Elektrode . . . . .	0,040	0,050	0,050	—	—	—	—
Schweiße (umhüllte Elektrode) . .	0,030	—	0,180	—	—	0,078	0,052
Schweiße (nackte Elektrode) . . .	0,010	—	0,070	—	—	0,180	0,130
Elektrode . . . . .	0,040	0,010	0,720	—	—	—	—
Schweiße (umhüllte Elektrode) . .	0,030	—	0,310	—	—	0,066	0,032
Schweiße (nackte Elektrode) . . .	0,020	—	0,300	—	—	0,078	0,110
<b>Versuche von Baumgärtel:</b>							
Elektrode . . . . .	0,600	0,220	0,590	0,022	0,026	—	—
Schweiße (nackte Elektrode) . . .	0,200	0,050	0,280	0,018	0,029	—	—
Elektrode . . . . .	0,110	0,010	0,410	0,024	0,038	—	—
Schweiße (umhüllte Elektrode) . .	0,060	0,010	0,170	0,027	0,061	—	—

suchsergebnissen zu erkennen sind. Der Kohlenstoff-, Silizium- und Mangan-gehalt der Elektrode nimmt beim Übergang in die Schweiße, infolge von Verbrennungsvorgängen, stark ab; der Phosphor- und Schwefelgehalt bleibt vielfach unverändert. Auffallend ist nur die Erhöhung des Schwefelgehalts bei den Versuchen mit umhüllten Elektroden von Baumgärtel. Vermutlich ist in den Umhüllungen eine Schwefelverbindung gewesen. Der Sauerstoff- und Stickstoffgehalt der Schweiße nimmt, infolge Sauerstoff- und Stickstoffaufnahme aus der

Luft, stark zu, im Gegensatz zur Gasschweißung, bei der die Sauerstoff- und Stickstoffaufnahme ziemlich gering ist. Nach Angabe von Neese kann man den Sauerstoff- und Stickstoffgehalt der Schweiße durch Anwendung von Desoxydationsmitteln von rund 0,12 vH auf rund 0,05 vH herabdrücken. Die üblichen Umhüllungen zeigten nach den Versuchen von Hoffmann keine wesentliche Herabsetzung der Sauerstoff- oder Stickstoffaufnahme der Schweiße, während dies bei den Versuchen von Fry deutlich der Fall war und heute wohl auch allgemein anzunehmen ist. Fry erkennt aus seinen Versuchen auch eine günstige Einwirkung erhöhten Mangangehalts. Wichtig ist natürlich auch das Kurzhalten des Lichtbogens und die Wahl der richtigen Stromstärke. Paterson fand in Schweißen, die mit 60 A hergestellt waren, 0,6 vH Sauerstoff und 0,16 vH Stickstoff. Beide Mengen fielen bei 140 ÷ 160 A auf 0,25 vH Sauerstoff und 0,10 vH Stickstoff, um bei noch höherer Stromstärke wieder langsam zu steigen. Bei Gußeisenwarmschweißungen zeigen Schweiße und Gußstück im allgemeinen nahezu die gleiche Zusammensetzung, wie dies ja auch erwünscht ist, so z. B. das Gußstück: 2,80 vH Graphit, 0,70 vH gebundener Kohlenstoff, 2,10 vH Silizium, 0,43 vH Mangan, 0,64 vH Phosphor, 0,068 vH Schwefel und die Schweiße: 2,86 vH Graphit, 0,40 vH gebundener Kohlenstoff, 2,9 vH Silizium (infolge der Verwendung eines Schweißstabs mit höherem Siliziumgehalt), 0,50 vH Mangan, 0,48 vH Phosphor, 0,056 vH Schwefel.

## D. Untersuchung von Schweißspannungen<sup>1</sup>.

**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 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 (s. Abschnitt IIIC2c, Schweißspannungen) ermitteln, und zwar ist die Spannung  $\sigma = E \cdot \varepsilon$ , worin  $E$  das Elastizitätsmaß des Werkstoffs und  $\varepsilon$  die gemessene Rückfederung ist. Die Messung vor und nach dem Schweißen oder auch während des Schweißens (mit Dehnungsmessern) ist die einfachere; sie ist auch ebenso genau und tritt daher z. Z. in den Vordergrund.

Ein einfaches Instrument für die Messung der Rückfederung bzw. Dehnung ist die Schieblehre mit Genauigkeiten bis etwa  $\frac{1}{50}$  mm, was aber im allgemeinen nicht ausreicht. Sogenannte Setzdehnungsmesser, die schon genau genug messen (z. B.  $\pm \frac{2}{1000}$  mm), verwenden z. B. Stäbe, deren Spitzen in vorbereitete kegelige Eindrehungen einzusetzen sind, oder kugelige Aufsatzpunkte in kegeligen Eindrehungen. 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 treten die größten Spannungen in der Schweißnaht selbst auf. Die Mittelwerte der Längszugspannungen betragen 25 kg/mm<sup>2</sup>, woraus zu schließen ist, daß die Höchstwerte sogar die Streckgrenze der Schweißnaht sicher erreichen. Bei den Zugspannungen quer zur Naht ergeben sich für die Gasschweißung 6 kg/mm<sup>2</sup> und für die Lichtbogenschweißung

<sup>1</sup> Siehe auch S. 142 ÷ 146.



10,7 kg/mm<sup>2</sup>. 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 ÷ 30 kg/mm<sup>2</sup> und in der Querrichtung bis 12 kg/mm<sup>2</sup> 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. Die verständnisvolle Ausnutzung der Schrumpfungerscheinungen wird voraussichtlich in Zukunft eine wesentliche Voraussetzung für die Sicherheit geschweißter Konstruktionen sein, vielleicht auch eine Erhöhung der Beanspruchungen zulassen.

## IX. Leistungen und Kosten der elektrischen Schweißverfahren.

### A. Widerstandsschweißungen.

**Bleeschweißungen.** Einen Überblick über die Schweißzeit und den Stromverbrauch bei Punktschweißungen gibt Abb. 366. Es wird bei Aufzeichnung dieser Kurven in derselben Weise verfahren, wie wir es schon bei der Aufzeichnung

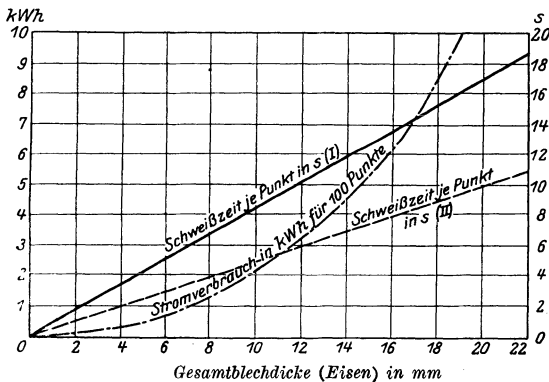


Abb. 366. Schweißzeit und Stromverbrauch bei Punktschweißungen.

der Kennlinien von Schweißmaschinen gesehen haben, und man kann aus Abb. 366 z. B. für 8 mm Gesamtblechdicke die Schweißzeit nach Kurve I zu etwa 7 s, nach Kurve II zu 4 s und den Stromverbrauch für 100 Punkte zu etwa 1,3 kWh ablesen. Die Schweißzeiten der Kurve II entstammen den Angaben von Schweißfirmen und dürften nur in günstigen Fällen eingehalten werden können, wogegen die Schweißzeiten der Kurve I stets gut zu erreichen sind. Weitere wirtschaftliche Einzelangaben waren schon im Abschnitt II C 3 (Technik der Punktschweißung) gemacht worden. Es wurde auch dort schon erwähnt, daß man im allgemeinen nicht über 10 mm einfache Blechdicke (20 mm Gesamtblechdicke) hinausgeht, da bei größeren Blechdicken, wie es auch die Stromverbrauchskurve in Abb. 366 zeigt, die Punktschweißung nicht mehr wirtschaftlich ist. Die Punktschweißung wird besonders bei dünneren Blechen wesentlich billiger als das früher allgemein übliche Nieten, da die Kosten für das Vorzeichnen und Bohren oder Stanzen der Nietlöcher, für das Einziehen der Nieten, für den Nietwerkstoff usw. fortfallen und man außerdem viel schneller arbeitet. Neuere Versuche in Eisenbahnwerkstätten ergaben z. B. beim Punktschweißen eine 2 ÷ 7 mal geringeren Zeitaufwand als beim Nieten.

Eine Kostenaufstellung für hundert geschweißte Kassetten in der Größe 175 · 130 · 80 mm aus 1,5 mm dickem Blech ergab z. B. nach Groß für alle Nietarbeiten eine Gesamtarbeitszeit von 14,5 h, für alle Schweißarbeiten nur 4,6 h.

Für die Schweißung der 100 Kassetten sind 3700 Schweißpunkte erforderlich, entsprechend einem Stromverbrauch von 6,7 kWh. Bei einem Strompreis von 0,10 R.M. entstehen also für 100 Kassetten nur 0,67 R.M. Stromkosten.

Für die Nahtschweißung sind Schweißzeiten und Stromverbrauch aus Abb. 367 zu entnehmen. Aus technischen und wirtschaftlichen Gründen — s. auch die in Abb. 367 von etwa 3,5 mm Gesamtblechdicke schnell ansteigende Strom-

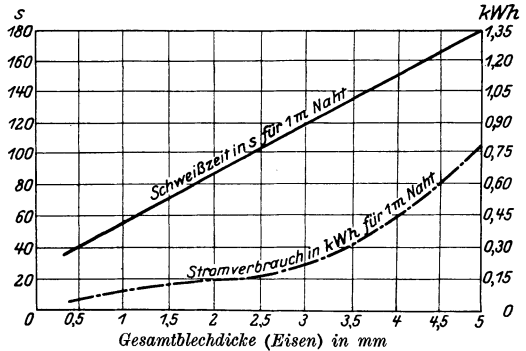


Abb. 367. Schweißzeit und Stromverbrauch bei Nahtschweißungen (Widerstandsschweißung).

verbrauchscurve — geht man selten über 5 mm Gesamtblechdicke, meistens nicht über 3 mm Gesamtblechdicke (also 1,5 mm Einzelblechdicke) hinaus. Die in Abb. 367 eingetragenen Schweißzeiten gelten als reine Schweißzeiten für normale Nahtschweißmaschinen. Sie lassen sich in besonderen Fällen (bis 3 mm Gesamtblechdicke) bei Schnellschweißmaschinen noch wesentlich herabdrücken (s. auch die spätere Tabelle 22 über Längsnahtschweißmaschinen), allerdings auf die Gefahr hin, bei nicht ganz einwandfreier

Einstellung und nicht ganz einwandfreiem Blech Schwierigkeiten zu bekommen.

**Gewöhnliche Stumpf- und Abschmelzschweißungen.** Abb. 368 gibt Durchschnittswerte über Schweißzeit, Leistungsaufnahme und Stromverbrauch bei Stumpfschweißungen bis 80 mm Rundeisendurchmesser. Der Abschnitt IIA3 enthält noch einige weitere wirtschaftliche Angaben. Die Leistungsaufnahme

(dem entsprechend auch der Kraftbedarf) ist bei Kupfer ganz wesentlich höher als bei Eisen, die Schweißzeit ziemlich dieselbe. Bei quadratischen und rechteckigen Kupferquerschnitten ist  $40 \div 50 \text{ vH}$  mehr an Leistung und  $20 \div 50 \text{ vH}$  mehr an Zeit aufzuwenden als bei Rundkupfer (stärkerer Wärmeabfluß infolge größerer Außenfläche). Alle Werte können insbesondere je nach der Einspannlänge stark schwanken. Kürzere Einspannlängen ergeben zwar höheren Leistungsverbrauch als

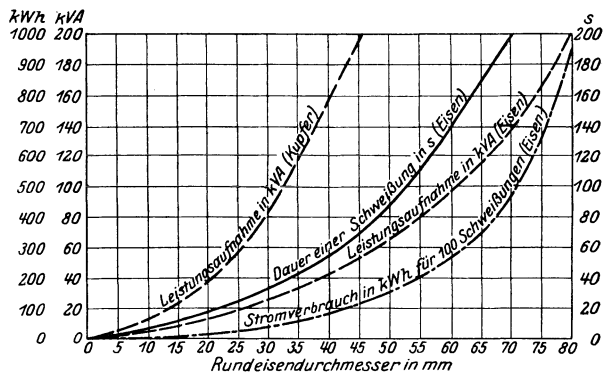


Abb. 368. Schweißzeit, Leistungsaufnahme und Stromverbrauch bei Stumpfschweißungen.

längere, aber wesentlich geringere Schweißzeit, sind also im allgemeinen vorzuziehen. Beim Abschmelzschweißen ist nach neueren Feststellungen der Stromverbrauch geringer als beim Stumpfschweißen. Schmatz fand bei gleichen Werkstoff- und Einspannverhältnissen für die reine Erhitzung eines Stabes einen Stromverbrauch von 0,375 kWh, für die eigentliche Stumpfschweißung 0,281 kWh und für die eigentliche Abschmelzschweißung eines entsprechenden Stabes 0,208 kWh. Bei der Abschmelzschweißung ist zwar die Spannung (während des Abschmelzens) höher, aber die Stromstärke wesentlich geringer als bei der Stumpfschweißung.

Zwischen der Stumpf- oder Abschmelzschweißung und der Feuerschweißung sind mehrfach Vergleichsversuche durchgeführt worden. So ergab z. B. nach Füchsel die Herstellung einer Bremsdreieckswelle mit zwei Schweißstellen in den Schenkeln:

an Arbeitsaufwand

für die Feuerschweißung		für die Widerstandsschweißung	
Arbeiterzahl . . . . .	1 $\frac{1}{2}$	Arbeiterzahl . . . . .	1
Arbeitszeit . . . . .	1 $\frac{2}{3}$ h	Arbeitszeit . . . . .	10 min
Kohlenverbrauch . . . . .	20 kg	Stromverbrauch . . . . .	1 kWh
Stromverbrauch für Gebläse usw..	1 kWh	Kühlwasserverbrauch . . . . .	30 l

an Kosten der reinen Schweißarbeit

für die Feuerschweißung		für die Widerstandsschweißung	
Arbeitslohn . . . . .	1,25 RM.	Arbeitslohn . . . . .	0,09 RM.
Kohlenverbrauch . . . . .	0,68 „	Stromverbrauch . . . . .	0,15 „
Stromverbrauch . . . . .	0,15 „	Kühlwasserverbrauch . . . . .	0,01 „
Zusammen	2,08 RM.	Zusammen	0,25 RM.

Die Gegenüberstellung der Schweißarbeit an einem 75-mm-Rundeisen sieht vor an

Arbeitsaufwand usw.

für die Feuerschweißung		für die Abschmelzschweißung	
Arbeiterzahl . . . . .	3	Arbeiterzahl . . . . .	2
Arbeitszeit . . . . .	20 min	Arbeitszeit . . . . .	4,15 min
Kohlenverbrauch . . . . .	10 kg	Stromverbrauch . . . . .	4,2 kWh
Stromverbrauch für Gebläse . . . .	1 kWh		

Gesamtkosten der Schweißarbeit

für die Feuerschweißung		für die Abschmelzschweißung	
Arbeitslohn . . . . .	0,65 RM.	Arbeitslohn . . . . .	0,09 RM.
Unkosten . . . . .	0,98 „	Unkosten . . . . .	0,14 „
Kohlenverbrauch . . . . .	0,25 „	Stromverbrauch . . . . .	0,63 „
Stromverbrauch . . . . .	0,15 „	Abschreibung . . . . .	0,04 „
Zusammen	2,03 RM.	Zusammen	0,90 RM.

Zum letzten Beispiel ist noch hinzuzufügen: Die allgemeinen Unkosten wurden mit 150 vH der Löhne angesetzt. Die Schweißmaschine kostet 9400 RM.; ihre Abschreibung ist mit 15 vH angenommen. Zum Ausgleich für die bei der elektrischen Schweißung fehlenden Kühlwasserkosten sind bei der Feuerschweißung die Abschreibungskosten der Anlage fortgelassen. Das Beispiel läßt erkennen, daß die Widerstandsschweißung auch bei großen Querschnitten noch wirtschaftlich günstig dasteht.

Auf Grund einer größeren Anzahl von Eisenbahnwerkstättenarbeiten ließ sich feststellen, daß im Gesamtdurchschnitt die Kosten der Widerstandsschweißung nur 13 vH der Kosten bei Schmiedefeuerarbeit ausmachten und der Zeitaufwand nur 11 vH der Zeit bei Schmiedefeuerarbeit betrug. Außerdem ist noch zu berücksichtigen, daß das wesentlich schnellere Arbeiten der Schweißmaschine oft zur Beschleunigung anderer Arbeiten, z. B. zum Schnellausbessern von Fahrzeugen in Eisenbahnwerkstätten, beitragen kann.

**Kettenschweißungen.** Die Leistung elektrischer Kettenschweißmaschinen ergibt sich aus Tabelle 21. Ein tüchtiger Kettenschmied stellt demgegenüber z. B. bei einer 10 mm-Kette in der Stunde nur 15 Glieder her. Mit Feuerschweißung

und Federhämmern sind in Amerika 60 Glieder in der Stunde bei 22 mm-Ketten erzielt worden.

Tabelle 21.

Drahtdurchmesser in mm	2÷6	5÷8	7÷12	10÷16	12÷20	20÷26
Zahl der Ketten- Schweißungen in der Minute	12÷10	12÷10	10÷6	—	—	—
Leistungsaufnahme in kW . . .	2÷4	4÷8	8÷15	12÷20	14÷25	20÷30
Stromverbrauch in kWh für 1000 Schweißstellen . . . .	5÷25	15÷60	40÷150	90÷320	150÷500	180÷800
Durchschnittliche Jahres- leistung einer Maschine in t	50	75	150	300	500	750

## B. Lichtbogenschweißungen.

**Grundlegende Angaben über Handschweißungen.** Zunächst seien in Abb. 369 und 370 die Ergebnisse früherer Versuche der Verfasser angeführt, wobei zu be-

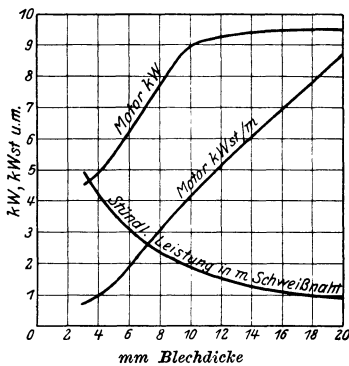


Abb. 369. Motorleistung, Motorstromverbrauch für 1 m Naht und stündliche Leistung in m Naht bei der Lichtbogenschweißung.

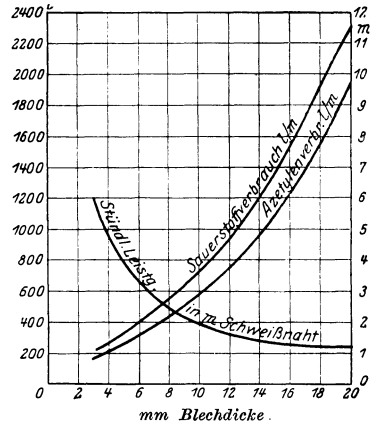


Abb. 370. Sauerstoff- und Acetylenverbrauch in l/m Naht und stündliche Leistung in m Naht beim Gasschweißen.

achten 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. 371 vier Leistungskurven eingetragen. Die Kurve *a* zeigt die aus Abb. 369 entnommene, höchsterreichbare Stundenleistung in m Schweißnaht für die Lichtbogenschweißung. 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 40÷70 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. In entsprechender Weise erhält man die Durch-

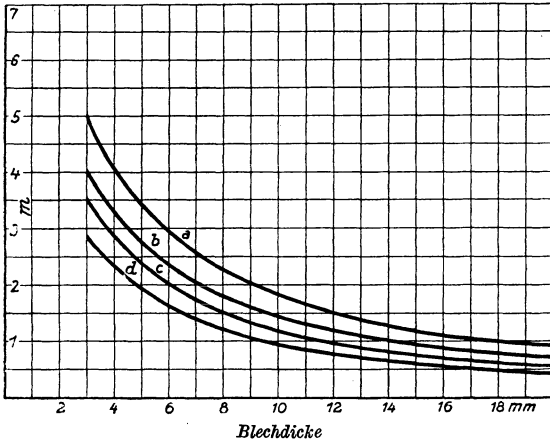


Abb. 371. Stündliche Höchst- und Normalleistungen in m Schweißnaht (Lichtbogenschweißung) bei kurzer und langer Arbeitszeit.

schnittsleistung beim Gasschweißen aus der Höchstleistung in Abb. 370, indem man wieder etwa 25 vH mehr an Zeit rechnet. Bei der Tagesleistung sind  $50 \div 100$  vH an Schweißzeit zuzuschlagen. 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. 370 ohne weiteres übernommen 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. 370 schon zu durchschnittlich erreichbaren macht. Abb. 372 gibt sodann einen Überblick über den Elektrodenver-

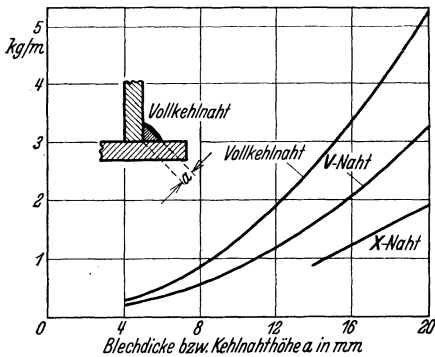


Abb. 372. Elektrodenverbrauch bei Lichtbogenschweißungen.

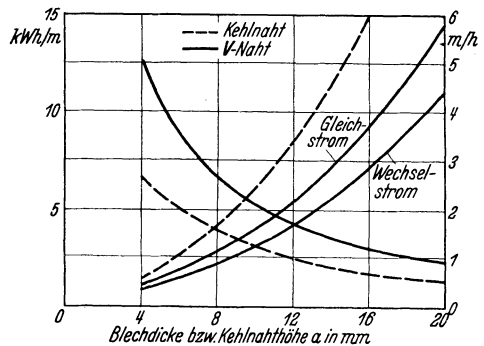


Abb. 373. Stromverbrauchs- und Leistungsangaben bei Lichtbogenschweißungen.

brauch, 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  $4 \div 20$  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. 373 bringt die Stromverbrauchs- und Lei-

stungsangaben, die ersteren auf der Grundlage, daß, um 1 kg Nahtgewicht einzuschweißen, bei Gleichstromumformern (mit einem Wirkungsgrad von 50 vH) etwa 6 kWh und bei Wechselstromtransformatoren (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 auf die Blechdicke, sondern auf die Kehlnahthöhe  $a$  (Abb. 372) beziehen. Die Schweißzeiten in Abb. 373 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 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.

**Angaben über Maschinenschweißungen.** Die bisher genannten Werte gelten sämtlich für Handbetrieb. Demgegenüber kommt man bei dem allerdings nur für Massenfertigung in Frage kommenden Maschinenbetrieb auf wesentlich höhere Leistungen, wie sie aus Tabelle 22 ersichtlich sind. Die Leistungen gelten sogar

Tabelle 22. 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

einschließlich der Nebenzeiten. Die reinen Schweißgeschwindigkeiten sind zum Teil noch wesentlich höher. Zum Beispiel hat man bei Widerstandsnahtschweißmaschinen und 0,5 mm Blechdicke bis zu 540 m/h = 9 m/min erzielt. Die Rohrschweißmaschinen kommen auf so günstige Werte, weil sie eine fast ununterbrochene Arbeitsweise haben. Auf Angaben über Stromverbrauch usw. wird mit Absicht verzichtet, um eine gewisse Grenze im Umfang der wirtschaftlichen Betrachtungen nicht zu überschreiten.

**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 elektrischem Strom (bzw. an Gasen für die Gasschweißung), an Elektroden (Schweißdraht), an Lohn und an allgemeinen Werkstattunkosten; die letzteren werden als Vohundertersatz der Löhne in den Werkstätten festgelegt. Die Kosten für Verzinsung, Abschreibung und Instandhaltung des Anlagekapitals 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 Schweißnaht = 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 Strom- bzw. Gaspreisen 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 an einer Stelle die teurere umhüllte Elektrode in die Rechnung eingeführt worden (in dem Fall, der 3,85 RM Gesamtkosten ergibt).

Tabelle 23. Kosten einer Lichtbogen- bzw. Gasschweißung.

1 m Schweißnaht (v-Naht), 10 mm Blech (Handschweißung)						
Elektrische Lichtbogenschweißung	500 m	500 m	2500 m	Gasschweißung	500 m	2500 m
	20 Rpf.	20 Rpf.	4 Rpf.		Klein-	Groß-
	RM.	RM.	RM.		betrieb	RM.
Stromverbrauch 4 kWh	0,80	0,80	0,16	Sauerstoff 0,7 m <sup>3</sup> (0,70 bzw. 0,20 RM./m <sup>3</sup> ) . . . . .	0,49	0,14
Kapitaldienstkosten (640 RM. im Jahr) . . . . .	1,28	1,28	0,26	Azetylen 0,6 m <sup>3</sup> (1,00 bzw. 0,90 RM./m <sup>3</sup> ) . . . . .	0,60	0,54
Elektroden 0,8 kg . . . . .	0,64	0,32	0,32	Kapitaldienst (115 RM. je Jahr) . . . . .	0,23	0,05
Lohn 1/2 h . . . . .	0,50	0,50	0,45	Schweißdraht 0,8 kg . . . . .	0,32	0,28
Allgemeine Unkosten (125 vH vom Lohn) . . . . .	0,63	0,63	0,56	Lohn 1/2 h . . . . .	0,50	0,45
				Allgemeine Unkosten . . . . .	0,63	0,56
<b>Gesamtkosten</b>	<b>3,85</b>	<b>3,53</b>	<b>1,75</b>	<b>Gesamtkosten</b>	<b>2,77</b>	<b>2,02</b>

Das durchgerechnete Beispiel (Tabelle 23) 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).

**Vergleich von Lichtbogenschweißung und Gasschweißung.** 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, für die in den bisherigen Unterabschnitten und Abbildungen nähere Angaben gemacht wurden. Dann finden wir die in Abb. 374 eingetragenen Grenzkostenkurven, die selbstverständlich keine absoluten, keine äußersten Grenzen nach oben und unten darstellen, aber doch annähernd den

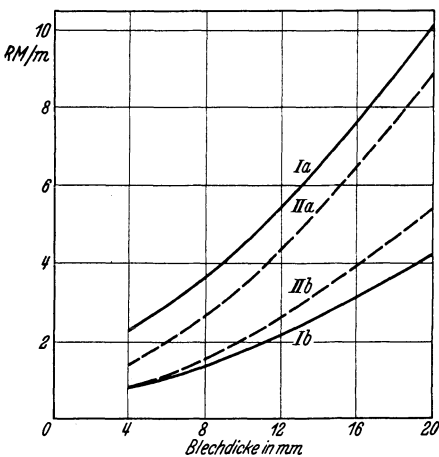


Abb. 374. Grenzkosten der v-Naht lichtbogenschweißst (I) und gasgeschweißst (II).

getragenen 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. *Ia* und *IIa* geben die höchsten, *Ib* und *IIb* die niedrigsten Kosten wieder. Wenn man auch aus den Kurven keine zu weitgehenden Folgerungen ziehen darf, so kann man doch wohl sagen, daß im Kleinbetrieb mit seinem geringeren Ausnutzungsgrad die Gasschweißung im allgemeinen, selbst auch bei größeren Blechdicken, wirtschaftlich vorteilhafter sein wird, denn Kurve *IIa* bleibt stets deutlich unter *Ia*. Im größeren Betrieb und bei starker Ausnutzung liegt die Grenze für die wirtschaftliche Anwendung der Gasschweißung je nach den örtlichen und Betriebsverhältnissen etwa zwischen 4 und 8 mm Blechdicke. Darüber hinaus wird fast immer die Lichtbogenschweißung im Vorteil 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.

**Die Arcatomschweißung.** Auf Grund praktischer Erfahrungen bei umfangreichen Schweißungen der Verfasser ergeben sich die in Tabelle 24 eingetragenen

Tabelle 24. Leistungs- und Verbrauchswerte der Arcatomschweißung (für 1 m Naht).

Blechdicke mm	Schweißzeit min	Elektroden- durchmesser mm	Wolfram- verbrauch mm	Wasserstoff- verbrauch l	Strom- stärke A	Strom- verbrauch kWh
2	6	1,5	2,8	50	20	0,2
3	8	1,5	6,0	70	23	0,24
4	11	1,5	6,8	100	23	0,45
6	16	3,0	11,0	150	46	1,32
8	25	3,0	39,0	220	70	2,25
10	32	3,0	74,0	310	76	3,80
12	46	3,0	143,0	430	87	5,70

Werte, die als gute Durchschnittswerte anzusehen sind. Der Verbrauch an Wolframelektroden hängt in hohem Maße von der Geschicklichkeit des Schweißers ab und wächst erheblich mit der Zahl der Zündungen, weshalb es praktisch wirtschaftlicher ist, den Lichtbogen im Leerlauf brennen zu lassen, anstatt ihn häufiger zu zünden.

Die Schweißzeiten liegen bei 2 ÷ 6 mm-Blechen nicht viel günstiger als bei der normalen Lichtbogenschweißung, bei mehr als 6 mm Blechdicke liegen sie sogar höher, ebenso ist der Stromverbrauch im allgemeinen größer. Setzt man 1 m<sup>3</sup> Wasserstoff mit 0,80 RM. und für 1,5 mm dicke Wolframelektroden 0,04 RM. je 10 mm Wolframverbrauch, für 3 mm-Elektroden 0,12 RM. je 10 mm Wolframverbrauch und im übrigen die bisher benutzten Werte ein, so ergibt sich, daß die Arcatomschweißung von etwa 4 mm Blechdicke an teurer wird als die Lichtbogenschweißung und daß ihre Kosten von etwa 6 ÷ 8 mm Blechdicke an überaus stark ansteigen. Bemerkenswert sind aber demgegenüber die guten Festigkeitswerte der Arcatomschweißung, die Dichtigkeit der Naht und ihr gutes Aussehen, so daß man ihr bei hohen Ansprüchen an die Schweißnaht trotz geringerer Wirtschaftlichkeit sehr wohl im Einzelfalle den Vorzug geben kann.

**Die Arcogenschweißung.** Die in Tabelle 25 eingetragenen Leistungs- und Verbrauchszahlen sind wiederum gute Durchschnittswerte. Die Leistung in m Schweißnaht liegt nur 25 ÷ 40 vH über der der Lichtbogenschweißung und der Gasschweißung. Setzt man die bisher benutzten Einheitswerte usw. ein und bedenkt man, daß man hochwertige Elektroden mit etwa dem 4 ÷ 5fachen Preis der blanken Elektroden verwenden muß, so läßt sich selbst bei dünnen Blechen



Tabelle 25. Leistungs- und Verbrauchswerte der Arcogenschweißung (für 1 h).

Blechdicke mm	Elektroden- durchmesser mm	Strom- verbrauch kWh	Gasverbrauch 1/h		Leistung an Schweißnaht m
			Azetylen	Sauerstoff	
2	3	1,3	140	160	8,2
3	4	1,4	290	320	7,3
5	5	2,2	460	550	5,2
7	6	2,6	750	890	4,5
8	6	3,7	830	960	3,6
10	8	4,3	1200	1450	2,5

kaum ein wirtschaftlicher Vorteil der Arcogenschweißung gegenüber der Lichtbogen- und der Gas-schweißung finden. Dazu kommt die Umständlichkeit des Verfahrens, das auch fast nur für waagerechte Schweißnähte

verwendbar ist. Vorteilhaft sind daher nur die guten Festigkeits- und technologischen Werte der Schweißnaht.

**Gleichstrom- oder Wechselstromschweißung.** Der Einfachheit halber seien die Kosten von 1 h Gleichstrom- bzw. Wechselstromschweißung einander gegenübergestellt. Dem Gleichstromumformer mit Schweißplatzeinrichtung und Anschlußkosten (zusammen 2200 RM. Anlagewert) sind beim Wechselstromtransformator etwa 1000 RM. entgegenzustellen (wobei der Transformator selbst nur mit 750 RM. eingesetzt ist). Elektrodenverbrauch (etwa 1 kg/h) und Schweißleistung (also auch der Lohn) seien in beiden Fällen zunächst gleich groß angenommen. Der Stromverbrauch für 1 kg Nahtgewicht ist nach früherem bei Gleichstrom 6 kWh und bei Wechselstrom 4,5 kWh. Unter Berücksichtigung von 30 vH Elektrodenabfall und Spritzverlust ist also der Stromverbrauch für 1 kg Elektroden bei Gleichstrom 4,6 kWh und bei Wechselstrom 3,5 kWh. Mit diesen Annahmen ergibt sich das Gesamtbild der Tabelle 26. Man erkennt, daß ein

Tabelle 26. Gleichstrom- und Wechselstromschweißung.

	Gleichstrom RM.	Wechselstrom RM.
Gesamtkosten der Anlage . . . . .	2200	1000
Verzinsung (8 vH), Abschreibung (15 vH), Instandhaltung (6 bzw. 3 vH) bei 2400 h/Jahr . . . . .	0,27	0,11
Stromkosten: 4,6 bzw. 4,3 kWh, je 0,10 RM. . . . .	0,46	0,35
Elektroden: 1 kg je 0,40 bzw. 0,80 RM. . . . .	0,40	0,80
Lohn: 1 h je 1,— RM. . . . .	1,00	1,00
Kosten von 1 h	2,13	2,26

wesentlicher Unterschied zwischen den Gesamtkosten beider Schweißarten nicht besteht. Vielleicht könnte bei anderen Annahmen der Wechselstrompreis dem des Gleichstroms noch etwas genähert werden. Für den Gleichstrom spricht aber zunächst noch wirtschaftlich, daß man die Schweißgeschwindigkeit bei nackten Elektroden im allgemeinen, auf Grund umfangreicher Versuche, höher annehmen kann als die der umhüllten, und technisch, daß die Spannungsgefahren geringer sind und die am Werkstück liegende positive Elektrode einen besseren Einbrand gewährleistet.

**Blanke oder umhüllte Elektroden.** Wirtschaftlich gesehen ist nach Möglichkeit die billigere nackte Elektrode vorzuziehen. Auf eine Brückenschweißung mögen etwa 2 vH des Brückengewichts von 1000 t an Schweißung kommen; dies sind 20 t. Um 20 t Schweißung herzustellen, brauchen wir 26 t nackte und etwa 30 t umhüllte Elektroden, bei letzteren mehr wegen der mitgewogenen und also mit bezahlten Umhüllung, was wir übrigens früher — der kleinen Mengen halber —

nicht berücksichtigt hatten. Bei einem Großhandelspreis von 0,30 RM. je kg nackter Elektroden kostet der gesamte Elektrodenwerkstoff für die Brücke 7800 RM.; bei  $0,80 \div 1,20$  RM. je kg umhüllter Elektroden kostet er 24000 bis 36000 RM., ein gewaltiger Unterschied. Nun könnte man vielleicht bei einer hochwertigen umhüllten Elektrode — aber nur bei dieser, die im vorliegenden Fall mindestens 1,20 RM. je kg kosten würde — den Querschnitt und damit das Gewicht der Schweißnähte verringern, entsprechend etwa der angenommenen höheren Zugfestigkeit. Nimmt man aber selbst einmal an, daß dann nur die Hälfte des Gewichts an Schweiße erforderlich wäre — was praktisch bis auf weiteres nicht zugelassen werden dürfte —, so kommt man immer noch auf die im Vergleich zu nackten viel zu hohen Kosten der umhüllten Elektroden von 18000 RM.

**Geschweißt oder genietet.** In Abb. 375 ist ein sehr lehrreiches Beispiel aus den 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 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. 375 ist zu erkennen, daß die Schweißung bei Blechen bis etwa

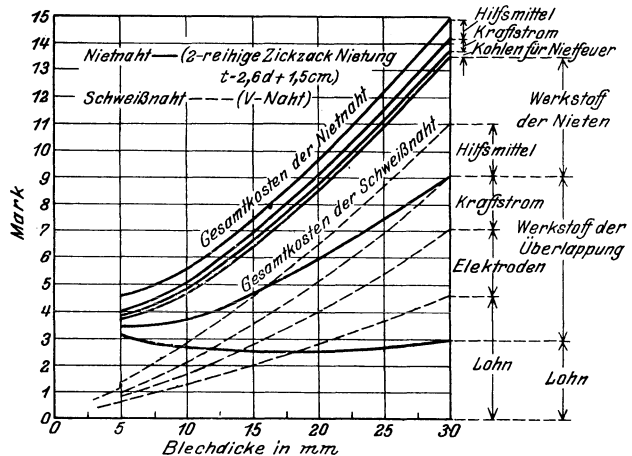


Abb. 375. Kosten von 1 m Nietnaht und 1 m Elektroschweißnaht.

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 Eisenkonstruktionschweißungen in der Güte der Nietung mindestens gleichwertig.

Bereits im Abschnitt III C 3 e (Schiffbau) wurde die Gewichtsersparnis durch Schweißen bei deutschen Kriegsschiffen zu  $18 \div 25$  vH angegeben. — Ein geschweißter 70 t-Eisenbahnwagen (1931) 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 (1933) 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 Ausschußfahrt ist bei der Schweißung praktisch beseitigt. Die

Möglichkeit, einen gegenüber dem Gußeisen hochwertigeren Werkstoff (Stahl) zu verwenden, bringt bedeutende Gewichtserparnisse. 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.

**Ausbesserungsschweißungen.** Aus einer sehr großen Zahl von Ausbesserungsschweißungen der letzten Jahre auf Hüttenwerken, die hauptsächlich mit Hilfe der Lichtbogenschweißung ausgeführt wurden, sind in Tabelle 27 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

Tabelle 27. Ausbesserungsschweißungen.

Gegenstand	Gewicht	Neuwert	Gesamte
	kg	RM	Schweißkosten RM
Steuerbock . . . .	47	28	15
Lagerbock . . . .	175	105	18
Kammwalze . . . .	620	560	141
Zylinderdeckel . .	2970	1930	210
Walzenständer . .	17000	6120	1734

liegen, wie bei den Stücken der Tabelle 27, die gesamten Schweißkosten zwischen nur  $15 \div 50$  vH der Kosten eines 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.

## X. Förderung des elektrischen Schweißens.

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 einiger Hoch- und Fachschulen und industrieller Werke und die Großlehrwerkstätten des Verbandes für autogene Metallbearbeitung in Berlin und Duisburg, der Fachausschuß für Schweißtechnik im VDI 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 Elektroschweißung, Einzelnummern der Z. d. VDI, des Maschinenbaus, des Technischen Zentralblatts, Mitteilungen des Fachausschusses für Schweißtechnik u. a. m., während die Autogene Metallbearbeitung in erster Linie die Gasschweißung 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 Schweißkurse“ herausgegeben, die z. Z. einer Neubearbeitung unterliegen. Die Schweißkurse selbst — eingeteilt in der Hauptsache in Einführungskurse, Praktikerkurse für Fortgeschrittene und Sonderkurse für bestimmte Fachrichtungen mit einer Ausbildungsdauer von 30 bis etwa 250 Stunden — 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 an einzelnen Stellen bei der Reichsbahn und in der Industrie bereits in kleinerem Umfange durchgeführt wird, sind 4 Jahre Lehrzeit vorgesehen, unterteilt in etwa 1½ Jahre Schlosserausbildung und 2½ Jahre Ausbildung als Schmelzschweißer für Gas- und Lichtbogenschweißung. Das Schweißhandwerk ist als Facharbeiterberuf bereits im Jahre 1927 anerkannt worden.

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 Reichsbahn macht, wiederholt werden. Dies ist um so wichtiger, als die Behörden in mehreren der nachher angezogenen Vorschriften die Zulassung geschweißter Konstruktionen von einem Befähigungsnachweis der Schweißer abhängig machen.

**Wichtige Bestimmungen über Lichtbogenschweißungen.** Regeln für die Bewertung und Prüfung von Gleichstrom-Lichtbogenschweißmaschinen, RESM 1931. — Bedingungen für die Lieferung und Abnahme von Zusatzwerkstoffen für die Gas- und Lichtbogenschweißung von Stahl, 1933 (s. auch DIN-Vornorm 1913). — Vorschriften für geschweißte Stahlbauten (DIN 4100). — Richtlinien für geschweißte Gasrohrleitungen von mehr als 200 mm Durchmesser und mehr als 1 atü Betriebsdruck. — Werkstoff- und Bauvorschriften für Landdampfkessel. — Vorschriften über das Schweißen an Dampfkesseln (Jaeger-Ulrichs: Bestimmungen über Anlegen und Betrieb der Dampfkessel). — Germanischer Lloyd: Elektrische Schweißung, Ergänzung zu den Vorschriften für Klassifikation und Bau von flußeisernen See- und Binnenschiffen, 1931.

## Sachverzeichnis.

- Abschmelzschweißung 16, 52.  
Äußeres der Schweißumform 101.  
Aldrey 30.  
Alexandergerät 229.  
Alloy Welding-Elektroden 120.  
Aludur 30.  
Aluminium 29.  
Aluminiumlegierungen 30, 228.  
Aluminiumschweißung 50, 226.  
Ampere 8.  
Ankerrückwirkung 92.  
Anschlußfedern 35.  
Anschlußklemme 115.  
Anzapfregelung 96.  
Arcatomschweißung 229.  
Armcoeisen 205.  
Arcogenschweißung 233.  
Arten der Schweißverfahren 1, 2.  
Ausbesserungsschweißungen 165, 174.  
Ausbildung der Schweißer 271.  
Aussehen der Schweißnaht 133.  
Aureole des Lichtbogens 76.  
Austenit 26.  
Autogenes Schneiden 7.  
Autogenes Schweißen 4.  
Automatische Schweißung 106.  
Azetylschweißung 5, 6.
- Begriff des Schweißens 1.  
Behälterschweißung 17.  
Bekleidung 117.  
Benardverfahren 17.  
Benzolschweißung 5, 6.  
Berechnung von Schweißverbindungen 147.  
Biegeversuch 245.  
Blanke Elektroden 120.  
Blaswirkungen 128.  
Blaugassschweißung 5, 6.  
Blechsweißung 134.  
Blei 30.  
Bleischweißung 226.
- Brennschneiden 7.  
Bronze 29.  
Bronzschweißung 50, 224.  
Brückenbau 195.
- Charakteristik des Lichtbogens 77.  
Chemische Untersuchungen der Schweißnaht 257.
- Dampfkesselschweißung 165.  
Dauerversuche 246.  
Dichtigkeitsprüfung 241.  
Doppelpunktschweißmaschine 58.  
Drehstrom 11.  
Drehstromlichtbogen 100.  
Dreieckschaltung 99.  
Dreiphasiger Anschluß von Transformatoren 99.  
Drosselspule 96.  
Duralumin 30.  
Dynamische Charakteristik 81.  
Dynamomaschine 11.
- Eigenerregung 13, 90.  
Einheitsgewichte der Metalle 20.  
Einspannlängen 48.  
Einspannvorrichtungen 39.  
Eisen 18, 19.  
Eisenbahnfahrzeuge 181.  
Eisenblechschweißung 134.  
Elektrische Grundlagen 8.  
Elektrische Maßeinheiten 8.  
Elektrisches Löten 238.  
Elektrisches Schneiden 239.  
Elektroden 119.  
Elektrodenformen 62, 73.  
Elektrodenhalter 114.  
Elektrodenhaltung 127.  
Elektroesse 54.  
Elektrolyse 18, 236.  
Elektrolytkupfer 28.  
Elektromaschinenbau 176.  
Elektronen 76.  
Elektrostahl 20.  
Erstarrungskurve 24.  
Erstarrungsschaubild 25, 26.
- Erwärmungsmaschine 54.  
Eutektikum 25.
- Fahrzeugbau 179.  
Faltversuch 245.  
Farbe der Metalle 19.  
Ferrit 26.  
Festigkeitsuntersuchungen der Schweißnaht 244.  
Feuerschweißung 2.  
Flammenführung 129.  
Flüssiggasschweißung 5, 6.  
Flußeisen, Flußstahl 19.  
Förderanlagen 191.  
Förderung des Schweißens 270.  
Formkohlen 217.  
Fremderregung 12.  
Frequenz 11.
- Gammastrahlen 244.  
Gas-elektrische Schweißung 228.  
Gasschmelzschweißung 4.  
Gegenverbundwicklung 91.  
Generator 11.  
Geschlossene Längen 47.  
Getauchte Elektroden 120.  
Gewicht der Metalle 20.  
Gießschweißung 4.  
Gittersteuerung 61.  
Gleichrichter 95.  
Gleichstrom 10, 12.  
Gleichstromschweißumformer 89.  
Gold 30.  
Graphit (im Gußeisen) 21.  
Güte der Schweißnaht 241.  
Gußeisen 21.  
Gußeisenkaltschweißung 209.  
Gußeisenwarmschweißung 215.  
Gußspannungen 22.
- Härteprüfung 242.  
Halbwarmschweißung 222.  
Hammerschweißung 2.  
Handwerk des Schweißers 271.  
Hartguß 22.  
Hartlöten 238.

Hauptstrommaschine 13, 94.  
 Hochfrequenzstrom 83.  
 Höhnsche Laschen 169.  
 Hohlkörperschweißung 71.  
 Hoho 18.  
 Hüttenkupfer 28.  
 Hydronalium 30.  
 Hysteresis 81.  
 Ion 76.  
 Joulesches Gesetz 10.  
 Kabel 112.  
 Kaltschweißung 209.  
 Kehlschweißung 135.  
 Kennlinie (des Lichtbogens) 77.  
 Kerbschlagversuch 246.  
 Kesselschweißung 165.  
 Kettenschweißmaschinen 37.  
 Kilowattstunde 9.  
 Klemmbacken 41.  
 Klemmen 114.  
 Kohleelektroden 119.  
 Kohlelichtbogen 75.  
 Kolben 114.  
 Kosten des elektrischen Schweißens 260.  
 Krämerschaltung 91.  
 Krater des Lichtbogens 76.  
 Kühlung (Stumpfschweißung) 40.  
 Kupfer 28.  
 Kupferschweißung 49, 223.  
 Kurse 271.  
 Längsnahtschweißmaschinen 66.  
 Lagrange 18.  
 Langmuirgerät 230.  
 Lautal 30.  
 Legierte Stähle 20, 203.  
 Legierungen 30, 223.  
 Leistung (elektrische) 13, 14.  
 Leistungen der elektrischen Schweißverfahren 260.  
 Leistungsfaktor 14.  
 Leitfähigkeit 11.  
 Leitungswiderstand 9.  
 Leuchtgasschweißung 5, 6.  
 Lichtbogen 75.  
 Lichtbogenschweißverfahren 16, 75.  
 Lichtstrahlen 115.  
 Löten (elektrisch) 238.  
 LötKolben 238.  
 Lötmaschinen 239.  
 Lokomotivrahmen 181.  
 Luftspaltregelung 97.  
 Mangan (im Eisen) 20.  
 Martensit 28.

Maschinenbau (Schweißung) 170.  
 Maßeinheiten, elektrische 8.  
 Mehrfachschweißumformer 103.  
 Mehrpunktschweißmaschine 57.  
 Meßeinrichtungen, elektrische 111.  
 Messen von Schweißnähten 152.  
 Messing 28.  
 Messingschweißung 50, 224.  
 Metallelektroden 119.  
 Metalllichtbogen 82.  
 Metallographie (des Eisens) 24.  
 Metallographische Untersuchungen 251.  
 Monelmetall 30, 226.  
 Nachwärmung 220.  
 Nackte Elektroden 120.  
 Nahtschweißung 16, 66.  
 Nebenschlußmaschine 13.  
 Netzstromschweißung 87.  
 Nietierhitzmaschine 55.  
 Nieteisenmetallschweißung 222.  
 Nickellegierungen 30, 225.  
 Normalglühen 146.  
 Normen (für Werkstoffe) 23.  
 Ohm 8.  
 Oszillogramm 81, 84.  
 Oxybenzverfahren 5, 6.  
 Oxydationswirkungen 131.  
 Parallelschweißverfahren 45.  
 Periodenumformer 101.  
 Perlit 27.  
 Perlitguß 22.  
 Phasenverschiebung 11.  
 Phosphor (im Eisen) 20.  
 Phosphorbronze 29.  
 Pintschschweißung 249.  
 Platin 30.  
 Preßschweißung 1, 2.  
 Prüfung der Schweißnähte 241.  
 Punktschweißung 16, 55.  
 Quasi-Arc-Elektroden 121.  
 Quecksilbergleichrichter 95.  
 Querfelddynamo 94.  
 Radiumstrahlen 244.  
 Regelung der Schweißumformer 111.  
 — der Stumpfschweißmaschine 33.  
 Rißschweißungen 167.  
 Röntgenprüfung 243.

Roheisen 18.  
 Rohrschweißung 153.  
 Rollenschrittschweißung 68, 70.  
 Rotguß 29.  
 Sauerstoff 5, 7.  
 Sauerstoffaufnahme beim Schweißen 131.  
 Schallprüfung 242.  
 Scheinleistung 14.  
 Schienenschweißung 182.  
 Schiffbauschweißung 183.  
 Schlagbiegeversuch 247.  
 Schlagzugversuch 246.  
 Schmelzpunkte der Metalle 20.  
 Schmelzschweißung 1.  
 Schmiedbarer Guß 21.  
 Schmiedeeisen 19.  
 Schmucklergerät 244.  
 Schneiden, elektrisches 239.  
 Schneltpunktschweißmaschine 57.  
 Schrittschweißung 68.  
 Schwarzguß 21.  
 Schwefel (im Eisen) 20.  
 Schutzhaube 117.  
 Schutzschild 116.  
 Schweißnaht 4, 119.  
 Schweißelektroden 119.  
 Schweißerhandwerk 271.  
 Schweißkabel 112.  
 Schweißklemme 114.  
 Schweißkolben 114.  
 Schweißkopf 107.  
 Schweißkurse 271.  
 Schweißlagen 139.  
 Schweißpulver 4.  
 Schweißraupen 139.  
 Schweißspannungen 142, 259.  
 Schweißstahl 19.  
 Schweißumformer 89, 95.  
 Schweißwerkstatt 117.  
 Schweißzubehör 114.  
 Scottsche Schaltung 99.  
 Seelendrähte 120.  
 Selbsterregung 13, 93.  
 Selbstinduktion 14.  
 Senkrechtschweißung 141.  
 Silber 30.  
 Silizium (im Eisen) 20.  
 Silumin 29.  
 Skleron 30.  
 Slavianoffverfahren 17.  
 Sonderstähle 20, 203.  
 Spannungen 142.  
 Spannungsfreiglühen 147.  
 Spezifische Gewichte 20.  
 Stahl 19.  
 Stahlbau 190.  
 Stahlguß 20, 201.  
 Statische Charakteristik 81.  
 Sternschaltung 99.

- Stickstoffaufnahme beim Schweißen 255.  
 Strahlungsschutz 115.  
 Streupakete 97.  
 Stromstoßautomat 88.  
 Stumpfschweißung 15, 31, 134.  
 Technik der Gußschweißung 209.  
 — der Lichtbogenschweißung 125.  
 — der Nahtschweißung 71.  
 — der Punktschweißung 59.  
 — der Stumpfschweißung 43.  
 Telectal 30.  
 Temperguß 21.  
 Thermit 3.  
 Thermitschweißung 3.  
 Thun (Filmaufnahme) 85.  
 Tiegelstahl 20.  
 Tombak 29.  
 Transformator 13, 95.  
 Überkopfschweißung 130.  
 Überlappede Schweißung 135.
- Übersetzungsverhältnis (beim Transformator) 13.  
 Ultraviolette Strahlen 115.  
 Umformer 89, 95.  
 Umhüllte Elektroden 120.  
 Ummantelte Elektroden 120.  
 Universalmaschinen 39.  
 Unterricht 270.  
 Untersuchung der Schweißnähte 241.  
 Verbrannter Guß 22.  
 Verbundmaschine 13.  
 Vergütung der Schweiße 146.  
 Volt 8.  
 Vorrichtungsbau 171.  
 Vorträge 270.  
 Vorwärmung 219.  
 Wärmeleitvermögen 20.  
 Warmschweißung 215.  
 Wassergas 3.  
 Wassergasschweißung 2, 3.  
 Wasserstoffschweißung 5, 6.  
 Watt 8.
- Wechselstrom 10.  
 Wechselstromtransformatoren 95.  
 Weichlöten 238.  
 Wendepole 93.  
 Werkstatt 118.  
 Werkstoffübergang (im Lichtbogen) 84.  
 Werkzeugmaschinenbau 177.  
 Widerstandsschweißverfahren 15, 31.  
 Wirkleistung 14.  
 Wirkungsgrad 15.  
 Wissenschaftliche Arbeiten 270.  
 Zacksche Schaltung 100.  
 Zangen 114.  
 Zeitdehner-Filmaufnahme 85.  
 Zementit 26.  
 Zerenerverfahren 17.  
 Zink 30.  
 Zubehör (Lichtbogenschweißung) 111.  
 Zugversuch 244.  
 Zusammenfügungsarbeiten 1.

## Praktisches Handbuch der gesamten Schweißtechnik

Von

Akademiedirektor Professor Dr.-Ing. **P. Schimpke**, Chemnitz  
und Oberingenieur **Hans A. Horn**, Berlin

Erster Band: **Gasschmelzschweiß- und Schneidtechnik**. Zweite, verbesserte und vermehrte Auflage. Mit 229 Textabbildungen und 14 Zahlentafeln. VII, 222 Seiten. 1928. Gebunden RM 12.—\*

Darstellung der Gasschmelzschweißung, ihrer Geräte, deren Arbeitsweise und Behandlung. Die Technik des Schweißens mit grundlegenden Beispielen. Autogenes Schneiden.

---

**Die neueren Schweißverfahren**. Von Professor Dr.-Ing. **Paul Schimpke**, Chemnitz. („Werkstattbücher“, Heft 13.) Dritte, verbesserte Auflage. Mit 71 Abbildungen und 5 Tabellen im Text. 63 Seiten. 1932. RM 2.—

---

**Elektrische Widerstand-Schweißung und -Erwärmung**. Von Dipl.-Ing. **A. J. Neumann**, Oberingenieur. Mit einem Geleitwort von Professor Dr.-Ing. **A. Hilpert**, Berlin. Mit 250 Textabbildungen. VIII, 193 Seiten. 1927. Gebunden RM 17.50\*

... Einleitend läßt sich der Verfasser über die Grundzüge der Elektrotechnik und der Erwärmungstechnik aus, bespricht dann kurz die einzelnen Metalle (Eisen, Kupfer, Kupferlegierungen, Aluminium, Nickel, Blei und Zink) und deren Schweißung und erörtert weiter das Prinzip der Widerstandsschweißung. Die Stumpfschweißmaschinen, Punktschweißmaschinen, Nahtschweißmaschinen, elektrische Widerstandslötmaschinen, elektrische Signierapparate, elektrische Nietwärmer, elektrische Reifenwärmer und elektrische Trennmaschinen werden eingehend behandelt und auch über die Wartung der elektrischen Schweißmaschine werden wichtige Angaben gemacht. Die Emaillierung geschweißter Rohware dürfte hier zum ersten Male in den Kreis der Betrachtungen gezogen worden sein. Das vorzügliche Buch wird die Beachtung aller Schweißer und auch der Studierenden finden. „Gießerei-Zeitung.“

---

**Die Schweißung des Kupfers und seiner Legierungen Messing und Bronze**. Von Oberingenieur **Hans A. Horn**, Berlin. Mit 102 Textabbildungen. IV, 102 Seiten. 1928. RM 4.80\*

---

**Das Lichtbogenschweißen**. Eine Einführung in die Technik des Lichtbogenschweißens. Von Dipl.-Ing. **Ernst Klose**. („Werkstattbücher“, Heft 43.) Mit 65 Abbildungen im Text. 56 Seiten. 1931. RM 2.—\*

---

Ⓜ **Das autogene Schweißen und Schneiden mit Sauerstoff**. Handbuch zum Studium, zur Einrichtung und zum Betriebe von Sauerstoff-Metallbearbeitungs-Anlagen. Von Ingenieur **Felix Kagerer**. („Technische Praxis“, Band I.) Dritte, verbesserte und erweiterte Auflage. Mit 127 Abbildungen und 15 Tabellen. 278 Seiten. 1923. Gebunden RM 3.—

\* abzüglich 10% Notnachlaß. Ⓜ = Verlag von Julius Springer - Wien.



**Die Sicherung geschweißter Nähte.** Im Auftrag des Schweizerischen Vereins von Dampfkesselbesitzern herausgegeben von Oberingenieur **E. Höhn**. Mit 119 Abbildungen im Text und 7 Zahlentafeln. 100 Seiten. 1929. RM 3.—\*

---

**Über die Festigkeit elektrisch geschweißter Hohlkörper.** Versuche, veranstaltet vom Schweizerischen Verein von Dampfkesselbesitzern. 1923. Bericht-erstatte: Oberingenieur **E. Höhn**. 130 Seiten. 1924. RM 4.50\*

---

**Nieten und Schweißen der Dampfkessel** dargestellt mit Berücksichtigung von Versuchen des Schweizerischen Vereins von Dampfkesselbesitzern, 1924/25. Von Oberingenieur **E. Höhn**. Mit 154 Abbildungen im Text und 28 Zahlentafeln. 148 Seiten. 1925. RM 8.—\*

---

**Lehrgang der Härtetechnik.** Von Studienrat Dipl.-Ing. **Joh. Schiefer** und Fach-lehrer **E. Grün**. Dritte, verbesserte Auflage. Mit 175 Textabbildungen. VI, 211 Seiten. 1927. RM 7.50; gebunden RM 8.75\*

---

**Härten und Vergüten.** Von Dr.-Ing. **Eugen Simon**. („Werkstattbücher“, Heft 7 u. 8.)

Erster Teil: **Stahl und sein Verhalten.** Dritte, völlig umgearbeitete und ver-mehrte Auflage. Mit 91 Abbildungen im Text u. 8 Tabellen. 70 Seiten. 1930. RM 2.—\*

Zweiter Teil: **Die Praxis der Warmbehandlung.** Dritte, völlig umgearbeitete und vermehrte Auflage. Mit 116 Abbildungen im Text und 6 Tabellen. 65 Seiten. 1931. RM 2.—\*

---

**C. J. Smithells, Beimengungen und Verunreinigungen in Metallen.**

Ihr Einfluß auf Gefüge und Eigenschaften. Erweiterte deutsche Bearbeitung von Dr.-Ing. **W. Hessenbruch**, Heraeus Vakuumschmelze A.-G., Hanau. Mit 248 Text-abbildungen. VII, 246 Seiten. 1931. Gebunden RM 29.—

---

**Die praktische Werkstoffabnahme in der Metallindustrie.** Von Dr. phil.

**Ernst Damerow**, Vorsteher der Werkstoffprüfung der A. Borsig Maschinenbau-A. G. Mit 280 Textabbildungen und 9 Tafeln. VI, 207 Seiten. 1935.

RM 16.50; gebunden RM 18.—

---

**Praktische Metallkunde.** Schmelzen und Gießen, spanlose Formung, Wärme-behandlung. Von Professor Dr.-Ing. **G. Sachs** VDI, Frankfurt a. M.

Erster Teil: **Schmelzen und Gießen.** Mit 323 Textabbildungen und 5 Tafeln. VIII, 272 Seiten. 1933. Gebunden RM 22.50

Zweiter Teil: **Spanlose Formung.** Mit 275 Textabbildungen. VIII, 238 Seiten. 1934. Gebunden RM 18.50

Dritter Teil: **Wärmebehandlung.** Mit 217 Textabbildungen. V, 203 Seiten. 1935. Gebunden RM 17.—

---