

Schimpke - Horn
Praktisches Handbuch
der gesamten Schweißtechnik

II
Elektrische Schweißtechnik

Praktisches Handbuch der gesamten Schweißtechnik

Von

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

Professor, Chemnitz

Oberingenieur, Berlin

Zweiter Band
Elektrische Schweißtechnik

Mit 255 Textabbildungen
und 20 Zahlentafeln



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH 1926

ISBN 978-3-662-35542-8

ISBN 978-3-662-36370-6 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-662-36370-6

Softcover reprint of the hardcover 1st edition 1926

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

Vorwort.

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.

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
I. Einleitung	1
A. Allgemeines über Schweißen und elektrische Schweißverfahren	1
Zusammenfügungsarbeiten S. 1 — Begriff des Schweißens S. 1 — Arten der Schweißverfahren S. 1 — Wesen und Arten der elektrischen Schweißverfahren S. 2.	
B. Die sonstigen neueren Schweißverfahren	2
Die Wassergasschweißung S. 2 — Die Thermiterschweißung S. 3 — Die autogenen Schweißverfahren S. 4.	
C. Elektrische Grundlagen	8
1. Wichtige elektrische Maßeinheiten	8
2. Leitungswiderstand und Wärmewirkung	9
3. Allgemeines über die Stromquellen elektrischer Schweißanlagen	11
D. Überblick über die elektrischen Schweißverfahren und ihre Einrichtungen	14
1. Widerstandsschweißverfahren	14
2. Lichtbogenschweißverfahren	16
3. Schweißen mittels Elektrolyse	17
E. Die wichtigsten Eigenschaften der schweißbaren Metalle	17
1. Allgemeiner Überblick	17
2. Besonderes über die wichtigeren Metalle	19
II. Die Widerstandsschweißverfahren	24
A. Stumpfschweißung	24
1. Schweißbarkeit der Metalle	24
2. Stumpfschweißmaschinen	24
a) Die elektrische Einrichtung der Maschinen	24
b) Die mechanische Einrichtung der Maschinen	28
c) Die Einspannvorrichtungen	35
3. Die Technik der Stumpfschweißung	39
a) Vorarbeiten	39
b) Das Schweißen selbst	41
c) Das Abschmelzverfahren	49
B. Elektrische Erwärmungsmaschinen (Elektroessen)	50
C. Punktschweißung	52
1. Schweißbarkeit der Metalle	52
2. Punktschweißmaschinen	53
a) Die elektrische Einrichtung der Maschinen	53
b) Die mechanische Einrichtung der Maschinen	53
3. Die Technik der Punktschweißung	57
D. Nahtschweißung	64
1. Schweißbarkeit der Metalle	64
2. Nahtschweißmaschinen	64
a) Die elektrische Einrichtung der Maschinen	64
b) Die mechanische Einrichtung der Maschinen	66
3. Die Technik der Nahtschweißung	70
E. Vereinigte Maschinen	74

III. Die Lichtbogenschweißung	75
A. Der Lichtbogen und seine Eigenschaften	75
1. Der Kohlengleichstromlichtbogen	75
2. Der Kohlenwechselstromlichtbogen	83
3. Der Metallgleichstromlichtbogen	85
4. Der Metallwechselstromlichtbogen	86
B. Die Einrichtungen für die Lichtbogenschweißung	86
1. Die Stromquellen	86
a) Anforderungen an die Stromquellen	86
b) Verwendung von Netzstrom	88
c) Gleichstromumformer	90
d) Wechselstromtransformatoren	97
e) Äußeres und mechanische Ausführung der Umformer	101
2. Das Schweißzubehör	105
a) Meß- und Reguliereinrichtungen	105
b) Schweißkabel	106
c) Schweißkolben und Klemmen	107
d) Lichtschutz und Bekleidung	109
3. Die Schweißelektroden	111
a) Kohlenelektroden	111
b) Metallelektroden	111
4. Die Schweißwerkstatt	114
C. Die Technik der Lichtbogenschweißung	115
1. Einwirkungen des Lichtbogens auf das Schweißgut	115
a) Kohlenlichtbogen	115
b) Metalllichtbogen	116
2. Die Schweißung von Schmiedeeisen, Stahl und Stahlformguß	122
a) Die Vorbereitung von Eisenblechen	123
b) Die Schweißung von Eisenblechen	126
c) Die Schweißung von Profileisenkonstruktionen	131
d) Rohrschweißungen	134
e) Schienenschweißungen	136
f) Dampfkesselschweißungen	139
g) Reparaturschweißungen	140
3. Die Schweißung des Gußeisens	143
a) Die Kaltschweißung	143
b) Die Warmschweißung	151
4. Die Schweißung der Nichteisenmetalle	162
IV. Die Schweißung mittels Elektrolyse	164
Allgemeines S. 164 — Ausglühen und Härten S. 164 — Schweißen von Rohren S. 165 — Schweißen von Ketten S. 165.	
V. Elektrisches Löten	166
Allgemeines S. 166 — Elektrische Lötkolben S. 166 — Elektrische Löt- maschinen S. 167.	
VI. Die Güte der Schweißnaht und ihre Prüfung	167
A. Allgemeiner Überblick	167
B. Festigkeitsuntersuchungen	168
C. Metallographische Untersuchungen	177
D. Chemische Untersuchungen	183
VII. Leistungen und Kosten der elektrischen Schweißverfahren	186
A. Widerstandsschweißungen	186
B. Lichtbogenschweißungen	188
VIII. Das elektrische Schneiden	193
IX. Förderung des elektrischen Schweißens	195
Nachtrag zum Abschnitt Wechselstrom-Schweißtransformatoren	198
Zum Abschnitt Elektrisches Schneiden	199
Sachverzeichnis	201

Zeichen und Abkürzungen.

Abb. = Abbildung	WE = Wärmeeinheit	kWh = Kilowattstunde
bzw. = beziehungsweise	at = Atmosphäre	s = Sekunde
d. h. = das heißt	1° = 1 Grad Celsius	min = Minute
s. = siehe	1" = 1 Zoll englisch	h = Stunde
sog. = sogenannt	‰ = Prozent (vom	mm = Millimeter
u. dgl. = und dergleichen	Hundert)	mm² = Quadratmilli-
usw. = und so weiter	M. = Mark	m = Meter [meter
z. B. = zum Beispiel	V = Volt	m³ = Kubikmeter
÷ = bis	A = Ampere	l = Liter
D.R.P. = Deutsches	kVA = Kilovoltampere	kg = Kilogramm
Reichspatent	kW = Kilowatt	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, Löten und Schweißen entstandenen zu rechnen. In Wettbewerb stehen hier miteinander Nieten, Löten und Schweißen. Das Nieten erfordert zunächst Herstellung der Nietlöcher und Niete und dann die eigentliche Nietarbeit einer Nietkolonne von 3÷5 Mann. Beim Löten, der dem Schweißen verwandtesten Verbindungsart, wird zur Zusammenfügung der Metallstücke das Lot, ein leichtes 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. Die „Grundlagen für eine Gemeinschaftsarbeit über Schweißen und Schweißarbeit“, die vom Arbeitsausschuß des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute in Verbindung mit namhaften Schweißfachleuten ausgearbeitet wurden¹⁾ und bei deren Aufstellung auch die Verfasser mitgewirkt haben, geben folgende allgemeine Begriffsbestimmung 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, von denen der letztere heute schon vielfach Anwendung findet. 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;

¹⁾ S. „Stahl und Eisen“, 1924, S. 147.

2. Schmelzschweißung (flüssiger Zustand des Werkstoffs):

- a) Gasschmelzschweißung (autogene Schweißung);
- b) Elektroschmelzschweißung (elektrische Lichtbogenschweißung);
- c) 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 (dies sind die Schweißstellen) stark erwärmt. Man stieß zunächst zwei Werkstücke stumpf aneinander und preßte die auf Schweißhitze gebrachten Stoßenden nach Ausschaltung des elektrischen Stromes maschinell zusammen. Aus dieser auch heute noch gebräuchlichen Stumpfschweißung entstand später die Punktschweißung, bei der dünne, übereinandergelegte Bleche 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° 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, Slavjanoff und Zener. 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.

§B. Die sonstigen neueren Schweißverfahren¹⁾.

Altbekannte Schweißverfahren sind die Hammerschweißung (Feuerschweißung) von Schmiedeeisen und 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 nun 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 glühenden Kohlen gefüllten Generator (Gaserzeuger) Wasserdampf hindurchbläst, so wird der Wasserdampf zerlegt, und es entsteht das sog. Wassergas, dessen brennbare Bestandteile Wasserstoff und Kohlenoxyd

¹⁾ S. auch Schimpke: Die neueren Schweißverfahren, Heft 13 der Werkstattbücher. Berlin: Julius Springer, 2. Aufl. 1926.

sind. Dieses Wassergas wird mit Luft in Brennern gemischt und ergibt eine Stichflamme von etwa 1800° Temperatur, mit der das Werkstück an Stelle des Koksfeuers erhitzt wird. Abb. 1 zeigt im Schema die Anordnung einer Wassergasschweißstraße, wie sie zur Schweißung größerer Rohre benutzt wird. Die durch zwei Brenner auf $100\div 300$ 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 Wasserdruk 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

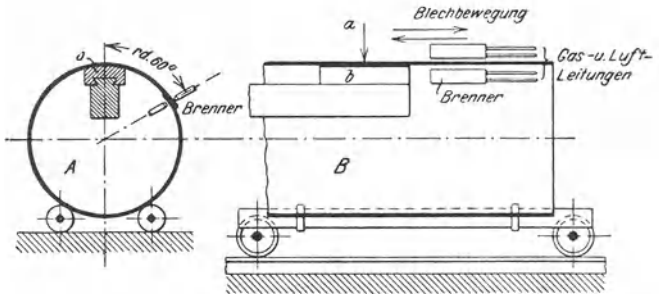


Abb. 1. Wassergasschweißstraße.

bei der Koksfeuerschweißung. Dabei wird im allgemeinen überlappt geschweißt, d. h. die Bleche müssen auf eine bestimmte Breite, je nach der Blechstärke, übereinandergelegt werden, wie beim Nieten (s. Abb. 2). Für große Blechstärken, insbesondere von 40 mm an aufwärts, wendet man die Keilschweißung an, wie es die Abb. 2 zeigt.

Die Wassergasschweißung kommt hauptsächlich für die Schweißung großer Rohre und Blechzylinder von $15\div 100$ mm Wandstärke in Frage, ist auf

diesem Sondergebiet wohl bisher noch allen anderen Verfahren überlegen, kommt aber für andere Anwendungsgebiete wegen der hohen Anschaffungskosten des Wassergaserzeugers und der Schweißeinrichtung kaum in Betracht.

Die Thermitischweißung 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 und Aluminiumpulver) entzünden und zur Zersetzung bringen läßt. Unter großer Hitzeentwicklung entsteht bei etwa 3000° dünnflüssiges Schmiedeeisen und oben-aufschwimmend 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 $\frac{1}{2}$ kg Eisen und $\frac{1}{2}$ kg Schlacke. Der Entzündungsvorgang, der nur $10\div 20$ s dauert, wird in sog. Spezialtiegeln (einfachen Kipp-tiegeln, Abb. 3 I) oder in Spitztiegeln (Abb. 3 II) ausgeführt.

Die Thermitischweißung ist entweder eine Preß- oder Gießschweißung. Abb. 3 I zeigt die Gießschweißung zur Ausbesserung kleiner Fehler an Gußstücken unter Anwendung des Spezialtiegels, aus dem die Schlacke vorher sorgfältig abgegossen sein muß. In Abb. 3 III sehen wir auch die Gießschweißung, und zwar das Anschweißen eines Walzenzapfens. Thermit wird einfach aufgeschüttet und angezündet; es dient zum Aufweichen der Bruchfläche. Die aufgesetzte Form wird nach Abziehen der 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 aneinanderstoßende 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 Thermitessen nicht etwa das Rohr durchbrennt.

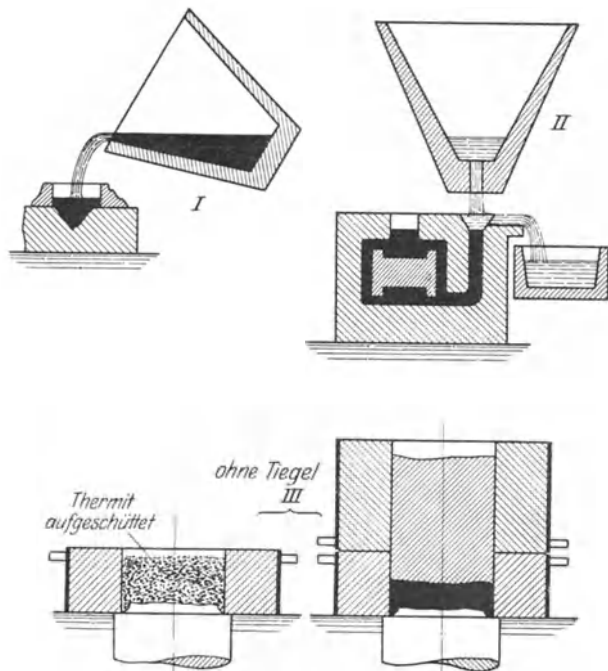


Abb. 3. Thermitschweißung.

Die Thermitschweißung kommt hauptsächlich bei Reparaturarbeiten an allen Arten von Eisenteilen, in erster Linie bei Großreparaturen, und dann bei der Schweißung der Stöße von Straßenbahnschienen in Frage. Die Schweißstelle (das Thermitessen) besteht aus weichem Schmiedeeisen mit etwa 0,1% Kohlenstoff; man kann aber auch beim Einschmelzvorgang Stahlspäne zugeben und dadurch eine Schweißstelle mit höherem Kohlenstoffgehalt (Stahl) erhalten.

Die autogenen Schweißverfahren¹⁾. Die Bezeichnung „autogen“ (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 autogenen Schweißung — wir müssen den Namen im allgemeinen noch benutzen, da die Bezeichnung Gasschmelzschweißung noch zu wenig bekannt ist — wird ein Gassauerstoffgemisch an der Spitze 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 Zusatzmaterial (Schweißdraht) und ein Schutzmittel (Schweißmittel, Schweißpulver) 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 eine glasige, leicht schmelzbare Schlacke, die die Schweißstelle gegen Einwirkung weiteren Luftsauerstoffs schützt und nach dem Schweißen leicht durch einige Hammerschläge entfernt werden kann. Bei Anwendung einer reduzierenden (d. h. Sauerstoff ent-

¹⁾ Näheres s. Schimpke-Horn: Praktisches Handbuch der gesamten Schweißtechnik, Band I: Autogene Schweiß- und Schneidtechnik. Berlin: Julius Springer, 1924.

ziehenden) Flamme kann man in bestimmten Fällen, insbesondere bei der Schweißung von Schmiedeeisen und Stahl das Schweißpulver fortlassen.

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

- a) Das Azetylen-Sauerstoffschweißverfahren, 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-Sauerstoffschweißverfahren;
- c) das Leuchtgas-Sauerstoffschweißverfahren;
- d) das Blaugas-Sauerstoffschweißverfahren;
- e) das Benzin- oder Benzoldampf-Sauerstoffschweißverfahren (auch Oxy-Benz-Verfahren genannt, das Oxy herrührend von Oxygenium-Sauerstoff).

Weitaus am bedeutungsvollsten ist heute das Azetylen-Sauerstoffschweißverfahren, 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 Reiniger von weiteren Verunreinigungen befreit und durch Rohrleitungen den Arbeitsstellen zugeführt. Dort wird es schließlich mit Sauerstoff, der aus der Flasche unter Entspannung auf niedrigen Druck (Reduzierventil, Druckminder-ventil) austritt, im Schweißbrenner gemischt und ergibt die zum Schweißen benötigte Stichflamme von sehr hoher Temperatur (in diesem Fall 3600–4000°).

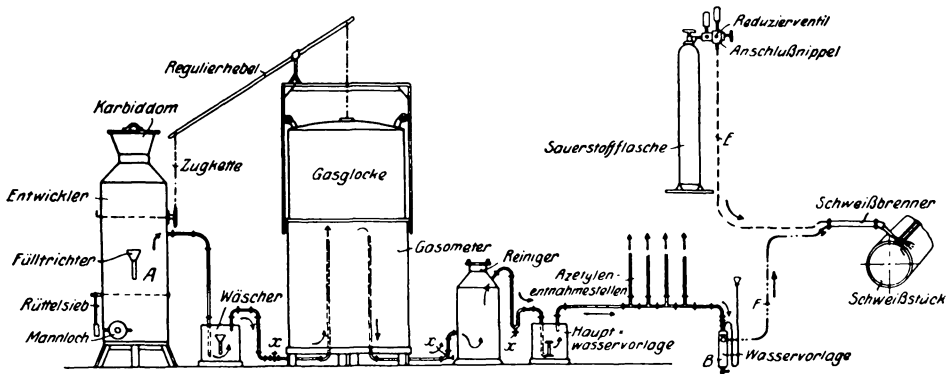


Abb. 4. Schema einer Azetylenschweißanlage,

Das autogene Schweißverfahren ist heute neben den elektrischen Verfahren das weitaus wichtigste. Es ist 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 Eisenkonstruktionsschweißungen, für Reparaturschweißungen an Schmiedeeisen-, Stahl-, Stahlguß- und Gußeisenstücken wird das autogene Verfahren in umfangreichem Maße verwendet.

Tabelle

Übersicht über die Anwendbarkeit der

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:	3600÷4000°	etwa 2000°	etwa 2300°	etwa 2700°	etwa 1800°
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÷8 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 $\frac{1}{3}$ mehr):	80÷4000 l/h	60÷3000 l/h	80÷2000 l/h	100÷4000 l/h (gasförmig)	50÷3000 l/h
Kommt das Verfahren für Reparaturen in Frage?	ja in beschränktem Maße				
Welche Metalle und Legierungen sind schweißbar?	Schmiedeeisen, Stahl, Stahlguß, Gußeisen, Temperguß, Kupfer, Messing, Bronze, Aluminium (und seine Legierungen), Zink, Blei, Nickel (Gold, Platin, Silber)				
Kann autogen geschnitten werden?	ja	ja	ja	ja	ja
Anschaffungskosten für die gesamte Anlage:	teurer als die Anlagen in Spalte b÷e	teurer als in Spalte e	teurer als in Spalte b	teurer als in Spalte b u. e	billigste Anlage

Im Zusammenhang mit dem autogenen Schweißen ist auch das autogene Schneiden¹⁾ zu erwähnen. Bringt man durch die Stichflamme eines Brenners

¹⁾ Näheres s. Schimpke-Horn: Praktisches Handbuch der gesamten Schweißtechnik, Band I: Autogene Schweiß- und Schneidtechnik. Berlin: Julius Springer,

I.

verschiedenen neueren Schweißverfahren.

f	g	h	i	Bemerkungen
Wassergas	Thermit	Elektr. Lichtbogen- schweißung	Elektr. Widerstands- schweißung	Azetylen und Wasserstoff können zu Lötzwecken auch mit Luft gemischt werden (statt mit Sauerstoff).
Luft	—	—	—	
etwa 1800°	etwa 3000°	etwa 3500°	etwa 1350° ÷ 1500° (bei Schmiedeeisen und Stahl)	Die Temperatur richtet sich nach dem Schmelzpunkte des jeweiligen Metalls.
überlappt geschweißt wie im Feuer	stumpf geschweißt (oder gegossen)	stumpf oder überlappt	stumpf (Nahtschweißung überlappt)	Die elektrische Widerstandsschweißung kommt entweder für Punktschweißung bis 10 mm Blech in Frage oder als Stumpfschweißung stabisenförmiger Profile bis zu 20 cm ² Querschnittsfläche. Längsnähte können nur an dünnen Blechen bis zu 3 mm Einzelstärke geschweißt werden.
teigig	teigig (auch flüssig)	flüssig	teigig	
15 ÷ 80 mm	20 ÷ 100 mm	3 ÷ 60 mm	s. Bemerkung	
ja	ja (nein)	nein	ja	
nein	nein	ja	nein	
2000 ÷ 16000 l/h	—	15 ÷ 65 V 40 ÷ 1000 A	1 ÷ 10 V 300 ÷ 100 000 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 Materialquerschnitte anwendbar.
schmiedbares Eisen	alle Eisensorten	alle Eisensorten	schmiedbares Eisen (Kupfer und Mes- sing beschränkt)	
nein	nein	sehr beschränkt	nein	
weitaus teuerste Anlage	teurer als in Spalte a ÷ e	zwischen Spalte f u. i gelegen	meist teurer als Spalte h	Ende 1925 kostete z. B. eine vollständige Azetylschweißanlage 400 ÷ 500 M., eine Gleichstrom - Lichtbogenschweißanlage 3000 M.

Schmiedeeisen oder Stahl auf seine Entzündungstemperatur von etwa 1350° (helle Weißglut) und leitet man dann möglichst reinen Sauerstoff unter Druck

1924. — Horn: Das Trennen der Metalle vermittels Sauerstoff. Halle (Saale)
Wilh. Knapp, 1925.

auf die hochoverhitzte Stelle, so verbrennt das Eisen sehr lebhaft im Sauerstoffstrahl; es entsteht eine Schnittstelle. Abb. 5 zeigt den Arbeitsvorgang. Brenngas



Abb. 5. Autogenes Schneiden.

(im vorliegenden Falle Wasserstoff) und Sauerstoff werden aus Flaschen dem Schneidbrenner zugeführt. Unter langsamer Bewegung des Brenners, an dessen Spitze das Brenngas-Sauerstoffgemisch die Heizflamme bildet und außerdem aus einer besonderen Leitung der Schneidsauerstoff austritt, entsteht ein kreisförmiger Ausschnitt. Gußeisen, Kupfer, Bronze, Aluminium usw. sind nicht autogen schneidbar, 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 I.

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.

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 (Ω) ist die Einheit des elektrischen Widerstands, des Widerstands, 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:

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

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

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, die man übrigens meistens in Drahtform verwendet, 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 Leitungsmaterial Verwendung findet. Im Gegensatz hierzu stehen jene Fälle, wo zwecks Regulierung der Stromstärke größerer Widerstand erwünscht ist. Zur Herstellung solcher Regulierwiderstände, kurz Widerstände (Rheostate) genannt, verwendet man absichtlich ein Drahtmaterial von hohem spezifischen Widerstand (Nickelin, Konstantan, Rheotan usw.). Der Widerstand von Drähten ist nun nicht allein vom spezifischen Widerstand des Drahtmaterials abhängig, sondern wächst erfahrungsgemäß entsprechend der Länge des Drahtleiters und nimmt mit stei-

gendem Querschnitt des Drahtleiters ab. Bedeutet ρ 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 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: ρ ist der dem Stromdurchgang entgegenwirkende Widerstand eines Drahtes aus bestimmtem Werkstoff von 1 m Länge und 1 mm^2 Querschnittsfläche. Diesen sog. spezifischen Widerstand finden wir in Zahlentafel 1, 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.

Zahlentafel 1.

Metall	Spezifischer Widerstand ρ	Elektrische Leitfähigkeit $k = \frac{1}{\rho}$	Metall	Spezifischer Widerstand ρ	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 $J = 1000 \text{ W}$, $R = 1 \Omega$, $t = 1 \text{ h} = 3600 \text{ s}$), 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 100 000 A) erforderlich. Infolge des verhältnismäßig geringen Widerstands an der Schweißstelle genügt indessen eine niedrige Spannung ($1\div 65$ 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 einen 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. 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 100 000 V) erreichen und dann den Strom in Leitungen von geringem Querschnitt weiterleiten kann. Wir erhalten daher unseren Schweißstrom zunächst aus dem Netz in den meisten Fällen als Drehstrom; seine Gebrauchsspannung beträgt 110 (seltener), 220, 380 oder 500 V (bei Gleichstrom meist 110 oder 220 V). Sie ist aber noch nicht passend für unsere Schweißrichtungen, denn die Widerstandsschweißung erfordert nur $1\div 10$ V (bei $300\div 100\,000$ A Stromstärke) und die Lichtbogenschweißung $15\div 65$ V (bei $40\div 1000$ A Stromstärke). Man schweißt daher nur ausnahmsweise bei der Gleichstrom-Lichtbogenschweißung aus dem Netz und baut im allgemeinen entweder besondere Schweißdynamos (bei der Gleichstrom-Lichtbogenschweißung) oder Transformatoren (bei der Wechselstrom-Lichtbogenschweißung und bei der Widerstandsschweißung).

Dynamomaschinen (auch Generatoren, d. h. [Spannungs-]Erzeuger genannt). Zwei einander gegenüberstehende Pole *A* und *B* (Abb. 6) sind mit Draht

umwickelt, durch den ein Strom fließt; diese Wicklung heißt „Erregerwicklung“. Die umwickelten Pole sind Elektromagneten und erzeugen ein Kraftlinienfeld C (magnetisches Feld). Im Feld C kreisen eine Anzahl zu Spulen gewickelter Drähte E , die auf einem Tragkörper, dem Anker, befestigt sind. Die Drähte schneiden die Kraftlinien; in den Drähten wird hierdurch eine Spannung induziert (erregt). Da der einzelne Draht in jedem Augenblick eine andere Neigung zu den Kraftlinien hat und einmal vor dem Pol A und dann wieder vor dem Pol B steht, verändern sich Größe und Richtung der erzeugten Spannung ständig, und wir erhalten einen Wechselstrom. Mit Hilfe eines Kollektors (Kommutators, Gleichrichters) kann

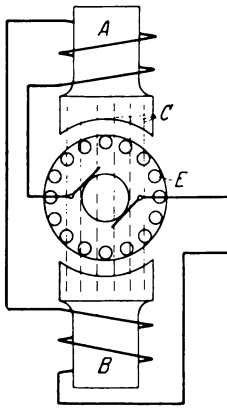


Abb. 6. Schema der Dynamomaschine (Hauptstrommaschine).

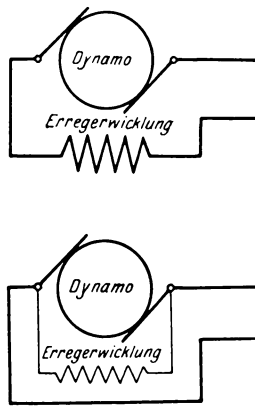


Abb. 7. Schaltungschema der Hauptstrom- und der Nebenschlußmaschine.

der zunächst stets als Wechselstrom erzeugte Strom auch, wenn man will, als Gleichstrom abgenommen werden. Ob die Pole feststehen und die Drahtwindungen auf dem Anker sich drehen oder ob die Pole sich drehen und die Drahtwindungen mit Anker feststehen, ist an und für sich gleichgültig; beide Ausführungsformen kommen vor (die letztere besonders bei Wechselstrom). Die Erregung (Magnetisierung) der Magnetpole erfolgt entweder vom Anker der Dynamomaschine selbst aus (Selbsterregung) oder von einer fremden Stromquelle aus (Fremderregung). Je nach der Schaltungsart zwischen Anker und Erregung unterscheidet man: 1. Hauptstrommaschinen (schematische Darstellung Abb. 7 oben; die Erregerwicklung liegt im Hauptstromkreis); 2. Nebenschlußmaschinen (s. Abb. 7 unten; die Erregerwicklung liegt in einem abgezweigten Nebenstromkreis); 3. Compoundmaschinen (Verbundmaschinen; die Magnetpole haben eine Hauptstrom- und eine Nebenschlußwicklung). Diese Schaltungsarten, ebenso auch die Selbst- oder die Fremderregung, 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.

Wechselstromtransformatoren. Dies sind verhältnismäßig einfache und ruhende Apparate, deren Wirkungsweise in Abb. 8 im Prinzip dargestellt ist.

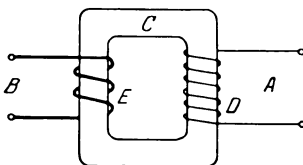


Abb. 8. Schematische Darstellung eines Transformators.

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 Strom 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 ganz 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 5000 V und 5 A, so ist die elektrische Leistung 25000 W. Beträgt die Spannung nach der Transformierung, auf der Sekundärseite, nur noch 200 V, dann muß die Stromstärke $\frac{25000}{200} = 125$ 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 100 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 dargestellten Stromläufen veranschaulicht man den Transformator nach Art der Abb. 9. 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 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 angeklemmte 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 Strichstärke. Im Transformator T_2 vollzieht sich die Wandlung umgekehrt.

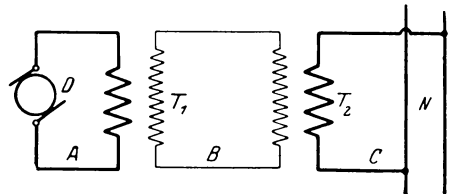


Abb. 9. Zeichnungsschema von Transformatoren.

Die Leistung im Wechselstromkreis. Im Wechselstromkreis ruft jeder Spulendraht in den Drähten der eigenen Spule eine Gegenwirkung zum zunächst erzeugten 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. 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 η ist naturgemäß stets kleiner als 1; sie kann z. B. bei Transformatoren den Wert 0,95 (= 95%) 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 Stromstärke (bis 100000 A) und niedriger Spannung (1–10 V) wird aus dem Wechselstrom eines Hauptstromnetzes mit Hilfe eines Transformators entnommen. Man schweißt also

nur mit Wechselstrom. Sämtliche zum Schweißen erforderliche Teile, einschließlich des Transformators, baut man in einer Schweißmaschine zusammen. Im einzelnen unterscheidet man: Stumpf-, Punkt- und Nahtschweißung.

Stumpfschweißung. Abb. 10 zeigt schematisch, daß vom Wechselstromnetz (gewöhnlich Anschluß an eine Phase des Drehstromnetzes) aus der Transformator gespeist wird. Die Sekundärwicklung des Transformators führt zu vier kupfernen Klemmbacken

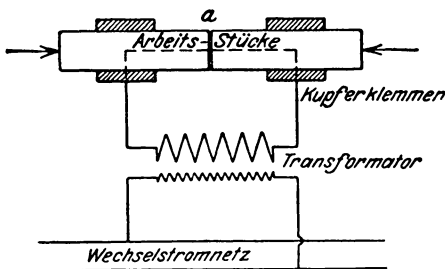


Abb. 10. Schema der elektrischen Stumpfschweißung.

(Kupferklemmen), die wagerecht und senkrecht verstellbar sind. In diese Klemmbacken wird das Schweißgut, im vorliegenden Falle Vierkant- oder Rundeisen, ver-

mittels irgendeiner Spannvorrichtung eingespannt. Schaltet man nun den elektrischen 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 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 heraus neuerdings auch elektrische Erwärmungsmaschinen (Elektroessen, elektrische Niet erhitzer) 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 Verfahren dient demnach als Ersatz für Nietung. Der Schweißvorgang ist in Abb. 11 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

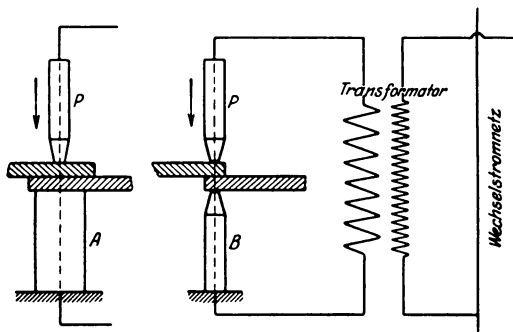


Abb. 11. Schema der elektrischen Punktschweißung.

Stromdurchgangsstelle entsteht durch Zusammendrücken der Elektroden ein Schweißpunkt, dessen Durchmesser sich nach der Fläche der Elektrodenenden richtet. Abb. 11 zeigt links bei *A* die Flächenelektrode *A*, die einen zu starken Blecheindruck vermeidet. Durch dichtes, lückenloses Aneinanderreihen der einzelnen Schweißpunkte entsteht eine Schweißnaht, die sich jedoch wesentlich verbessern und vor allem verbilligen läßt, wenn man zur Nahtschweißung übergeht.

Nahtschweißung. Zur Herstellung von Längsnähten an dünnen Blechen bedient man sich meistens der Rollenelektroden. Zwei drehbar gelagerte, kupferne, als Rollen ausgebildete Elektroden *A* und *B* (Abb. 12), 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 vorerst vorausgesetzt ist, daß die Rollen auf das Schweißgut dauernd einen Druck ausüben.

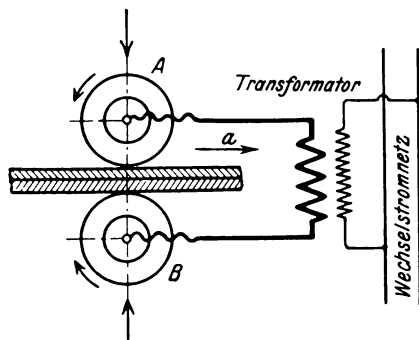


Abb. 12. Schema der elektrischen Nahtschweißung.

2. Lichtbogenschweißverfahren.

Der Strom wird entweder einem Gleichstromnetz oder einem Wechselstrom-(Drehstrom-)netz entnommen. Im ersteren Fall kann er mit Hilfe von Vorschaltwiderständen unmittelbar Verwendung finden, was aber infolge großer Unwirtschaftlichkeit selten geschieht. Fast immer wird der Strom mit Hilfe von Schweißumformern (und zwar Gleichstrom-Gleichstrom- oder Drehstrom-Gleichstromumformern) in Gleichstrom von 15–65 V Spannung oder der Wechselstrom auch mit Hilfe von Transformatoren in entsprechend niedrig gespannten Wechselstrom verwandelt. Man schweißt also entweder mit Gleichstrom oder mit Wechselstrom.

Die verschiedenen Schweißverfahren. Den Schweißvorgang und das Schema der Schweißeinrichtung zeigt uns Abb. 13.

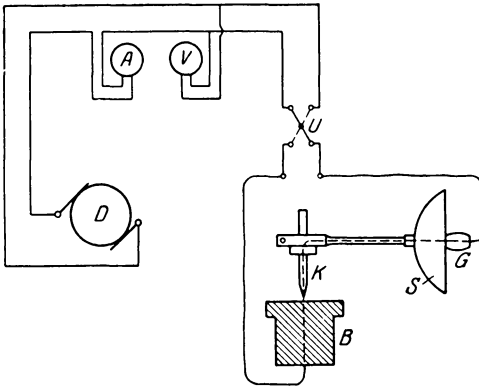


Abb. 13. Schema einer Lichtbogenschweißanlage.

schweißverfahren zu tun, im Gegensatz zum teigigen Zustand der Schweißnaht beim Widerstandsschweißverfahren. Nach Art und Beschaffenheit der Stabelektrode K richtet sich das Wesen des jeweiligen Verfahrens. Benardos,

der Erfinder der Elektroschmelzschweißung, verwendet Elektrodenkohle (wie bei der Bogenlampe) als Elektrodenmaterial. Das beim Schmelzen durch Verdampfen verlorengehende und in der Schweißfuge fehlende Material wird durch Einschmelzen von Metalldrähten derselben Art ergänzt, wodurch sich ähnliche Vorgänge wie bei der Gas-schmelzschweißung vollziehen. Tritt

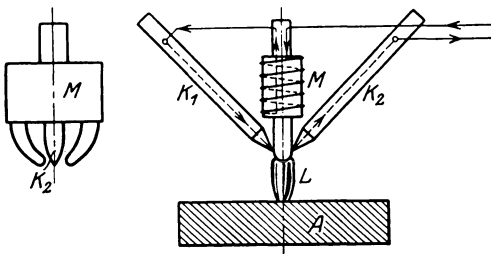


Abb. 14. Schema des Zerenervfahrens.

an Stelle der Kohlenelektrode K eine solche aus Metall, so erhalten wir das weitaus gebräuchlichste Slavianoffverfahren, bei dem die Metallelektrode gleichzeitig als Zusatzmaterial dient. Zerenerv gestaltete das Benardosverfahren insofern um, als er der einen Kohlenelektrode (K in Abb. 13) eine zweite hinzufügte (K_1 und K_2 in Abb. 14) und beide spitzwinklig zueinander stellte. In diesem Falle wird der Flambogen L nicht mehr zwischen Stabelektrode und Schweißgut, sondern zwischen den beiden Kohlenstäben K_1 und K_2 gezogen; mithin erfolgt die Flammenbildung selbständig und vom Schweißgut unbeeinflusst. Mit Hilfe eines

in denselben Stromkreis eingeschlossenen Elektromagneten M wird der Lichtbogen nach unten abgelenkt (abgeblasen), damit er die Schweißstelle besser trifft.

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. 13) und Regulierapparate. Der Umschalter U in Abb. 13 ist nur für Gleichstromschweißung, zum Umwechseln der Pole, bestimmt. Schweißkabel leiten den Strom zum Schweißkolben G mit Schutzkorb S und Elektrode K (Abb. 13), sowie zum Schweißgut B . Der Schweißer muß eine Lichtschutzvorrichtung (Schild oder Kappe) und, besonders bei größeren Schweißungen, entsprechende Schutzkleidung tragen. Gasabsaugvorrichtungen vervollständigen die Einrichtung.

3. Schweißen mittels 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. 15) wird der $+$ Pol einer Gleichstromquelle D angeschlossen. Der Bottich B wird mit einer Sodaauslösung 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 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.

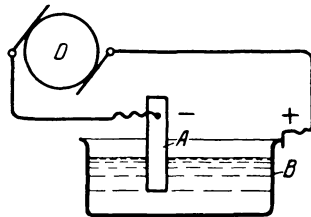


Abb. 15. Schweißung mittels Elektrolyse.

E. Die wichtigsten Eigenschaften der schweißbaren Metalle.

1. Allgemeiner Überblick.

Die Elemente oder Grundstoffe — Stoffe, welche mit unseren jetzigen Hilfsmitteln nicht weiter zerlegbar sind — 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÷4% Kohlenstoff) und in schmiedbares Eisen (mit praktisch 0,05÷1,6% 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). Das schmiedbare Eisen wird wieder eingeteilt in Stahl (Schweißstahl oder Flußstahl, je nachdem ob im teigigen oder im flüssigen Zustand hergestellt) und in Schmiedeeisen (Schweiß- oder Flußeisen, vom Praktiker oft kurzweg „Eisen“ genannt). Stahl ist härtbar und hat etwa 0,3÷1,6% Kohlenstoff; Schmiedeeisen ist nicht härtbar und hat etwa 0,05÷0,3% Kohlenstoff. In Zukunft soll übrigens, nach den Vorschlägen des Normenausschusses der deutschen Industrie, alles schmiedbare Eisen als Stahl bezeichnet werden, so daß wir dann nur noch Roheisen und Stahl kennen. 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, Blei, Zink, 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) und die Aluminiumlegierungen (Aluminium mit Kupfer, Magnesium, Silizium usw.).

Farbe. Jedes Metall hat zwar eine ihm eigentümliche Farbe, jedoch sehen die meisten Metalle weiß, grauweiß oder grau aus. Nur Kupfer hat eine charakteristische rote (Kupferlegierungen rötlich oder gelb) und Gold eine gelbe Farbe. In Pulverform sind die meisten Metalle glanzlos, in festen und besonders in polierten Stücken zeigen sie aber den sog. metallischen Glanz, der auf einer eigenartigen Lichtspiegelung beruht. 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°÷900°) und „Weißglut“ (bei 1200°÷1400°) des Schmiedeeisens, weil das Material bei den angegebenen Temperaturen rot bzw. weiß aussieht.

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

Geschmeidigkeit, Festigkeit. Unter der Geschmeidigkeit eines Metalls versteht man seine Dehnbarkeit, Ziehbarkeit und Zähigkeit, und unter Festigkeit seine Widerstandsfähigkeit gegen Zug, Druck, Biegung, Verdrehung usw. Ein

Metall ist dehnbar, wenn es sich hämmern, walzen, pressen läßt; andernfalls nennt man es spröde. Die Dehnbarkeit ist oft an gewisse Temperaturgrenzen gebunden — z. B. ist Zink nur bei 90° – 170° 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 und dann erst flüssig, andere gehen fast plötzlich in den flüssigen Zustand über (Schmelzpunkt). Alle Metalle haben einen bestimmten, ihnen eigentümlichen Schmelzpunkt (s. Zahlentafel 2) und Siedepunkt; bei letzterem werden sie gasförmig. Der Siedepunkt liegt wesentlich höher als der Schmelzpunkt, bei Zink aber z. B. schon bei 925° . 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 Wärmeleitungsvermögen 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 Wärmeleitungsvermögen hat. Platin, Zinn und Eisen haben nahezu dieselbe Wärmeleitfähigkeit; die des Aluminiums ist etwa $3\frac{1}{2}$ mal, die des Kupfers etwa 6 mal so groß. Verschiedene Metalle haben die Eigenschaft, in flüssigem Zustand stark Gase aufzusaugen, zunächst gelöst bei sich zu behalten und bei der Abkühlung wieder abzugeben. Das Gaslösungsvermögen ist z. B. bei Schmiedeeisen, Stahl, Stahlguß und Kupfer besonders groß für Wasserstoff, bei den genannten Eisensorten, ferner bei Nickel und Platin auch groß für Kohlenoxyd.

Zahlentafel 2.

Metall	spezifisches Gewicht	Schmelzpunkt	Metall	spezifisches Gewicht	Schmelzpunkt
Schmiedeeisen	7,85	1500°	Kupfer	8,9	1083°
Stahl	7,8	1400°	Aluminium	2,7	657°
Gußeisen	7,25	1200°	Zink	7,1	419°
Platin	21,4	1755°	Blei	11,3	327°
Gold	19,3	1063°	Zinn	7,3	232°
Silber	10,5	960°	(Messing).	8,5	900°

2. Besonderes über die wichtigeren Metalle.

Schmiedeeisen und Stahl. Die schmiedbaren Eisensorten werden, wie bereits erwähnt, eingeteilt in Schmiedeeisen und Stahl, sollen aber in Zukunft nur als Stahl bezeichnet werden. Sie sind entweder im Puddelofen in teigigem Zustand hergestellt und werden dann Schweißisen (0,05–0,3% Kohlenstoffgehalt) oder Schweißstahl (0,3–1,6% Kohlenstoffgehalt) genannt, oder sie werden

nach den neueren Verfahren flüssig erzeugt und in eiserne Blockformen (Kokillen) gegossen; sie heißen dann Flußeisen (Kohlenstoffgehalt gleich dem des Schweißeisens) oder Flußstahl. Im einzelnen unterscheidet man bei den letztgenannten Sorten noch nach dem Herstellungsverfahren: Bessemer-, Thomas-, Siemens-Martin-Stahl. Das im Tiegelofen verfeinerte Material ist als Tiegelstahl oder Tiegelgußstahl zu bezeichnen (nicht mehr als „Gußstahl“, da jeder Flußstahl auch ein Gußstahl ist) und das im Elektroofen gereinigte, besonders gute Material als Elektrostahl. Aus den letzteren beiden Sorten erhält man durch Zusatz von Chrom, Wolfram, Nickel usw. die Sonderstähle oder legierten Stähle. Letztere und Tiegelstahl und Elektrostahl werden auch als Edelstähle bezeichnet.

Neben dem wichtigsten Nebenbestandteil, dem Kohlenstoff, enthalten Schmiedeeisen und Stahl noch wechselnde Mengen von Mangan (unter 1%), Silizium (unter 0,5%), Phosphor (unter 0,1%) und Schwefel (unter 0,1%). Ein größerer Gehalt an Silizium als etwa 0,5% wirkt auf Faulbruch, d. h. das Material neigt, bei Bearbeitung mit dem Hammer, bei jeder Temperatur (ob kalt oder warm) zum Reißen. Material mit mehr als 0,1% Phosphor ist stark kaltbrüchig — leichtes Reißen beim Bearbeiten in kaltem Zustande —, solches mit mehr als 0,1% Schwefel ist stark warmbrüchig — leichtes Reißen beim Bearbeiten im rotwarmen Zustande. Je geringer der Prozentsatz aller genannten Beimengungen im Schmiedeeisen und im Stahl ist, desto besser sind auch diese Eisensorten schweißbar.

Stahlformguß (Stahlguß.) Das Material ist Schmiedeeisen oder Stahl — demnach teils mit geringem, teils mit höherem Kohlenstoffgehalt, meist 0,1–1,0% Kohlenstoff — aus dem Tiegel-, Martin- oder Elektroofen in Formen gegossen. Wir haben es also mit einem schmiedbaren Eisen zu tun, das sich, obwohl es schlecht blasen- und lunkerfrei gießbar ist, für Schweißungen recht gut eignet. Stahlguß wird immer mit gewöhnlichem Eisenschweißdraht (ohne Pulver) geschweißt und wie Schmiedeeisen (Flußeisen) behandelt. Die Schweißstellen lassen sich sauber verhämmern. Jeder Gußkörper ist mit Spannungen behaftet, was beim Schweißen besonders zu beachten ist. Jedoch sind beim Stahlformguß diese Spannungen größtenteils durch Ausglühen nach dem Gießen beseitigt; sie sind auch bei dem dehnbaren Stahlformguß lange 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 Weiß Eisen 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 Weißeisengusses abgeben, mit diesem Kohlenoxyd bildend. Der im Ausgangsmaterial vorhandene, an Eisen gebundene Kohlenstoff wird also größtenteils entfernt, teilweise aber auch durch das Glühen in freien Kohlenstoff, Temperkohle, verwandelt; das entstandene Erzeugnis ist Temperguß, es ist geschmeidiger und schmiedbar geworden (schmiedbarer Guß). 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 „Schwarzherzguß“.

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 schmiedeeisenähnlich oder mehr gußeisenähnlich ist, merkt man bei Beginn des Schweißens sehr bald.

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 sprödes, weder schmiedbares, noch im Feuer schweißbares Material. Mit steigendem Kohlenstoffgehalt sinkt sein Schmelzpunkt, der im allgemeinen 1200° – 1250° beträgt. Dem Gußeisen sind die Eigenschaften gegossenen Materials eigentümlich; es hat die Geschmeidigkeit und Biegsamkeit des schmiedbaren Eisens gänzlich eingebüßt und geht, was für den Schweißer wichtig ist, gleich in den flüssigen Zustand über, ohne vorher eine teigige Zone, wie Schmiedeeisen, zu durchlaufen. Im übrigen ist Gußeisen unter Beobachtung gewisser, im folgenden näher behandelter Vorsichtsmaßregeln im allgemeinen gut schweißbar. Da der Schmelzpunkt des Eisenoxys (1350°) höher liegt als der des Gußeisens — im Gegensatz zum schmiedbaren Eisen — 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% Kohlenstoff enthält Gußeisen in wechselnden Mengen Silizium, Mangan, Phosphor und Schwefel. Silizium (meist 1–3%) 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 hinreichenden Ersatz an diesem Element, so wird die Ausscheidung von Graphit beeinträchtigt, das Material wird hart. So erklärt es sich, daß die Schweißelektroden (bei der sog. Warmschweißung) einen hohen Siliziumgehalt haben müssen. Mangan (meist 0,5–1% im Guß) behindert die graphitische Ausscheidung des Kohlenstoffs, es macht Gußeisen hart. Phosphor (0,1–1,25% im Guß) macht Gußeisen dünnflüssig, Schwefel hingegen dickflüssig und erhöht die Sprödigkeit. Der Schwefelgehalt der Gußstücke wird daher auch möglichst unter 0,1% gehalten.

Anschließend hieran sei noch des Hartgusses gedacht. 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 solches Material ist vor allem verbrannter Guß, worunter man eine längere Zeit hindurch hohen Temperaturen oder offenem Feuer ausgesetzt gewesenes Gußeisen versteht. Diesem Guß ist ein großer Teil des Kohlenstoffs und Siliziums entzogen; es hat eine innere Verbrennung (Oxydation) dieser Bestandteile stattgefunden, und es ist ein Material mit vollkommen anderen Eigenschaften entstanden. Verbrannter Guß wird entweder gar nicht flüssig oder zerbröckelt wie trockener Kitt, ohne daß eine Verbindung herbeizu-

führen wäre; er erreicht Glashärte. Von der Schweißung solchen Materials (Roststäbe, gußeiserne Kochkessel, Herdplatten, Verdampferschalen, Heizkesselglieder u. dgl.) ist in allen Fällen abzuraten. Nur selten sind marktschreierische Abbildungen von angeblich gelungenen Reparaturen dieser Art ernst zu nehmen.

Gußspannungen treten hauptsächlich an den Übergangsstellen vom schwachen zum massiveren Materialquerschnitt 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 stärkeren. 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. Übersieht oder mißachtet man die im Gußstück bereits vorhandenen und die durch das Schweißen neu hinzukommenden Spannungen, so sind meistens unerwartete Fehlschläge die Folge. Die Körper verziehen sich, reißen, sie bersten, brechen und schlimmstenfalls fliegen sie in Stücke.

Kupfer. Das Metall kommt als Hüttenkupfer A÷D mit einem Reinheitsgrad von mindestens 99,0÷99,6% 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 gewalztes und gezogenes Material (in Blech-, Rohr-, Stangen- und Drahtform). Sein Schmelzpunkt ist 1083°, sein Siedepunkt liegt bei 2300°. Kupfer hat eine lachsrote Farbe, ist sehr geschmeidig und dehnbar, aber schlecht gießbar, hat ferner eine große Leitungsfähigkeit 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 weder härtbar noch schweißbar. Durch oberflächliche Oxydation wird Kupfer 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% Kupfer, Rest Zink, ausnahmsweise mit kleinen Zusätzen von Blei, und kommt als Hartmessing (Schraubenmessing), Schmiedemessing, Druckmessing und Gußmessing in den Handel, ist gut gießbar und in kaltem Zustand hämmerbar, walzbar, ziehbar. Der Schmelzpunkt schwankt zwischen 800° und 900°; er ist um so niedriger, je mehr Zink in der Legierung ist. Die Wärmeleitfähigkeit ist infolge des Zinkzusatzes bedeutend geringer als die des Kupfers. Messingähnliche Legierungen sind Delta- und Duranmetall usw., die man jetzt auch als „Sondermessing“ bezeichnet. Sie enthalten, neben Kupfer und Zink, etwa 3÷5% Eisen, Mangan, Blei und Aluminium. Nach den deutschen Industrienormen werden jetzt auch die kupferreicheren Legierungen Halb- und Rottombak (Lötmessing), Gelbtombak (Schaufelmessing), Hellrot- und Mittelrotombak und Rottombak, die 67÷90% Kupfer enthalten, unter die Gruppe der Messinge gerechnet.

Bronze ist eine Legierung aus 80÷94% 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 zerstören — und in die Schlacke gehen. Diese Bronze wird also dichter im Gefüge.

Die „Sonderbronzen“ enthalten außer Kupfer und Zinn noch etwas Blei oder Aluminium. Der Schmelzpunkt der Bronzen liegt zwischen 720° und 1000° ; je höher der Zinngehalt, um so niedriger der Schmelzpunkt. Alle Bronzen sind gut gießbar, aber nur ein Teil ist schmiedbar.

Rotguß ist eine Legierung von $82\div 93\%$ Kupfer, $4\div 10\%$ Zinn und $3\div 6\%$ Zink, manchmal auch mit etwas Bleigehalt. Der Schmelzpunkt liegt zwischen 800° und 900° . Die Legierung gibt infolge des Zinkzusatzes besonders dichten und guten Guß. Rotguß rechnet nach den Industrienormen jetzt 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 $98\div 99,5\%$) in den Handel. Es ist bekanntlich sehr leicht (spezifisches Gewicht 2,7), sein Schmelzpunkt liegt bei 657° , der Siedepunkt bei etwa 1800° . Die Farbe ist weiß; das Material ist schmiedbar, streckbar, hämmerbar und auch genügend gießbar, es 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 Haushaltsgegenständen, Gärbottichen, Milchversandbehältern, Verdampfern, Schmelzkesseln, sodann in der Automobil- und Flugzeugindustrie, in letzteren Fällen, wie auch anderswo, oft in Form aluminiumreicher Legierungen; es hat eine starke Wärmeleitfähigkeit und eine große Verwandtschaft zum Sauerstoff. Letztere erschwert das Schweißen deswegen, weil das sich bildende Aluminiumoxyd einen viel höheren Schmelzpunkt (etwa 3000°) hat als Aluminium. Die beim Schweißen an der Oberfläche des Metalls sich absetzenden Oxydteilchen bilden ein derart widerspenstiges Häutchen, daß eine brauchbare Schweißung ohne Zerstörung der Oxydhaut unmöglich ist. Erst die Erfindung geeigneter Schweißmittel, die sich mit dem Aluminiumoxyd zu einer leichtflüssigen Schlacke verbinden, hat daher eine gute Aluminiumschweißung möglich gemacht.

Aluminiumlegierungen. In Betracht kommt zunächst: Duraluminium mit $93\div 95\%$ Aluminium, Rest Kupfer, Mangan und Magnesium. Die Legierung erhält durch einen Veredlungsvorgang (Erhitzen und Abkühlen) eine wesentlich höhere Festigkeit und Dehnung als Reinaluminium. Ähnlich zusammengesetzt und behandelt sind Aludur, Skleron und Lautal. Während diese Legierungen walz- und ziehbar sind, kommen als wesentlichste Gußlegierungen in Frage: Amerikanische Legierung (8% Kupfer), Deutsche Legierung (10% Zink, 2% Kupfer), Silumin (11–14% Siliziumzusatz).

Blei ist unter den technisch verwendbaren Metallen das weichste. Sein Schmelzpunkt liegt bei 327° , sein Siedepunkt bei 1525° . Es kommt mit einem Reinheitsgehalt von 99,99%, 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% Zink), Feinzink II (über 99,8%), Rohzink und Raffinadezink (Zinkgehalt noch nicht festgelegt) eingeteilt. Außerdem kommt noch ungeschmolzenes Zink (Remelted-Plattenzink genannt, aus Altzink mit oder ohne Zugabe von Rohzink erschmolzen) in den Handel. Der Schmelzpunkt ist 419° , der Siedepunkt liegt auffallend niedrig, bei 925° (der Beginn des Verdampfens liegt sogar schon bei 500° , 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 walzbar und preßbar.

II. Die Widerstandsschweißverfahren.

A. Stumpfschweißung.

1. Schweißbarkeit der Metalle.

Schweißbare Metalle. Das elektrische Stumpfschweißverfahren ist anwendbar für die Schweißung von: Schmiedeeisen, Stahl (wenn überhaupt schweißbar), Kupfer, Messing, Bronze, Zink, Gold, Silber, Platin und Wolfram, weniger geeignet für Aluminium und gar nicht für Gußeisen. Infolge seiner vielseitigen Verarbeitung kommt unter diesen Metallen naturgemäß die Schweißung schmiedbaren Eisens in erster Reihe in Frage. Es ist ein glücklicher Umstand, daß die Stumpfschweißung, ähnlich der autogenen, in einigen Fällen eine Verbindung zwischen zwei ungleichartigen Metallen zuläßt. So kann man Schmiedeeisen mit Temperguß, Eisen mit Stahl, Kupfer mit Eisen; weniger gut Kupfer mit Messing vereinigen. Inwieweit Abweichungen hinsichtlich Güte und Festigkeit der stumpfgeschweißten Naht bestehen, wird später noch erörtert werden.

Hauptanwendungsgebiete. Um jedem Zweifel vorzubeugen, sei gleich hier darauf hingewiesen, daß sich die elektrische Stumpfschweißung ausschließlich auf Massenartikel erstreckt, da jede Formveränderung des Schweißgutes auch eine Änderung der Einspannvorrichtung der Schweißmaschine bedingt, und die Möglichkeit, alle beliebigen Materialquerschnitte auf ein und derselben Maschine oder einer verhältnismäßig kleinen Gruppe von Maschinen zu schweißen, keineswegs besteht. Auf Stumpfschweißmaschinen werden geschweißt: Massenartikel der gesamten Draht-, Kleineisen- und Schwerindustrie; Stab- und Formeisen; Ketten und Schnallen; Rohre u. a. mehr. In den folgenden Abschnitten werden Sonderanwendungsgebiete des Verfahrens an Hand von Bildern eingehender besprochen werden.

Grenzen der Materialquerschnitte. Als untere Grenze der Schweißbarkeit überhaupt kann eine Querschnittsfläche von etwa $0,785 \text{ mm}^2$ gelten, die einem Durchmesser von 1 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 Eisen höchstens bei etwa 30000 mm^2 Querschnitt gelegen sein, was einem Rundeisen von etwa 195 mm Durchmesser entspricht. Bis jetzt bleibt das Maß der Schweißflächen fast immer unter 10000 mm^2 . Für Kupfer, das infolge seiner hohen elektrischen Leitfähigkeit viel größere elektrische Leistungen als das Eisen erfordert, kann die obere Grenze der Schweißbarkeit mit 2000 mm^2 Querschnitt angenommen werden, entsprechend einem Rundkupferdurchmesser von etwa 50 mm. Über die Größenordnung der Maschinen und den für die einzelnen Typen notwendigen Energiebedarf werden wir später noch zu sprechen haben.

Schließlich darf nicht unerwähnt bleiben, daß Stumpfschweißmaschinen außer der Schweißung auch anderen Zwecken dienen können, beispielsweise der Hartlötung und zum bloßen Erhitzen auf bestimmte Temperaturen (elektrische Esse) behufs 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, welches den unmittelbaren Anschluß der Maschine gestatte, dann erhalten wir das in Abb. 16 gezeichnete, einfache Schema. Das Leitungs-

netz L wird an passender Stelle angezapft und Strom von normaler Spannung (110–500 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 Stoßstelle E der eingeklemmten Schweißstücke die zum Schweißen notwendige Hitze, einerseits infolge des spezifischen Widerstands des Schweißgutes selbst, andererseits infolge des Übergangswiderstands zwischen den beiden Materialenden bei E . 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 $1/100$ bis $1/1000$ Ohm. Daher genügt eine niedrige Spannung, um den hohen Strom durch das Schweißgut zu schicken. Die Regulierung der Stromstärke und der von ihr bestimmten Schweißwärme geschieht in allen Fällen auf der Primärseite, d. h. im Hochspannungstromkreis (s. nächsten Unterabschnitt).

Die einfachste und bequemste der Anschlußmöglichkeiten, wie wir sie in Abb. 16 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. 16 und 17.

2. Es steht ein Drehstromnetz (Dreiphasenwechselstrom) zur Verfügung. Die Maschinen können zwischen zwei Phasen der Leitung geschaltet werden. Mehrere Maschinen sind gemäß Abb. 18 möglichst gleichmäßig auf die drei Phasen des Netzes zu verteilen. Im allgemeinen gestatten die Elektrizitätswerke die Belastung einer Phase bis zu 15 kVA Leistungsaufnahme, neuerdings teilweise bis 100 kVA mit der Verpflichtung, die Maschinen außer Betrieb zu setzen, wenn Störungen im Netz auftreten sollten. Abgesehen davon ist in manchen

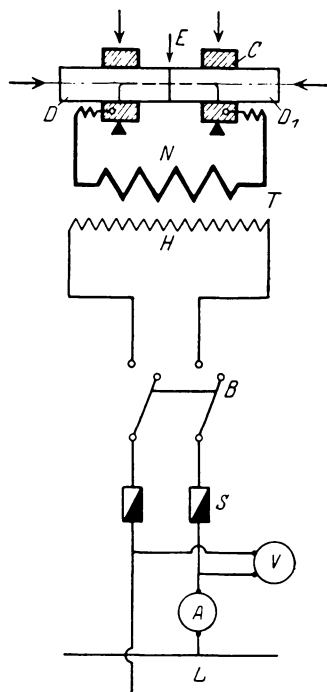


Abb. 16. Anschluß an ein Wechselstromnetz.

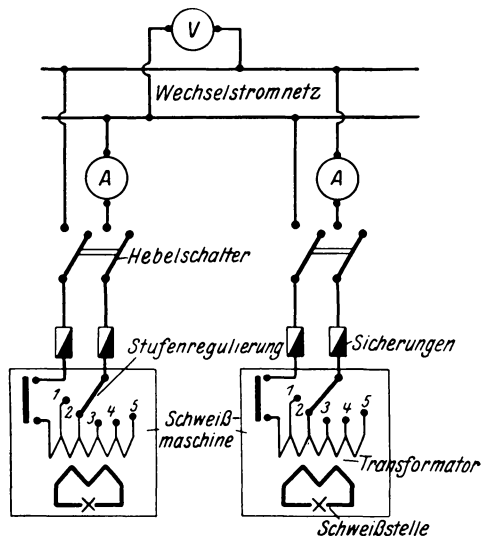


Abb. 17. Anschluß an ein Wechselstromnetz und Regulierung durch Steckschalter.

Sonderfällen der Anschluß an alle drei Leiter des Drehstromnetzes sogar erwünscht.

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. 19 veranschaulicht. Es ist das wirtschaftlichste und bequemste Mittel dieser Stromumformung.

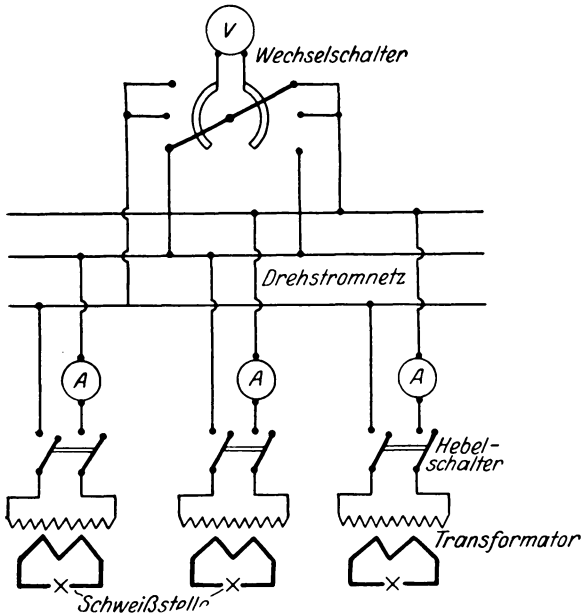


Abb. 18. Anschluß an ein Drehstromnetz.

Auf der einen Seite wird dem Motor Gleichstrom zugeführt, auf der anderen Seite des Dynamo Wechselstrom entnommen. Die Schaltungsweise ist leicht verständlich, so daß sich weitere Erläuterungen bezüglich des Stromlaufs erübrigen.

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 Regulierapparaten besteht.

Regulierung. Wir wissen, daß die gewaltigen Stromstärken von mehreren tausend Ampere tatsächlich viel weniger dazu nötig sind, den allerdings meist nur geringen Widerstand des Schweißstücks zu überwinden, als dazu, diesen Widerstand, also das Schweißgut, möglichst rasch auf Schweißhitze zu bringen. 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 des-

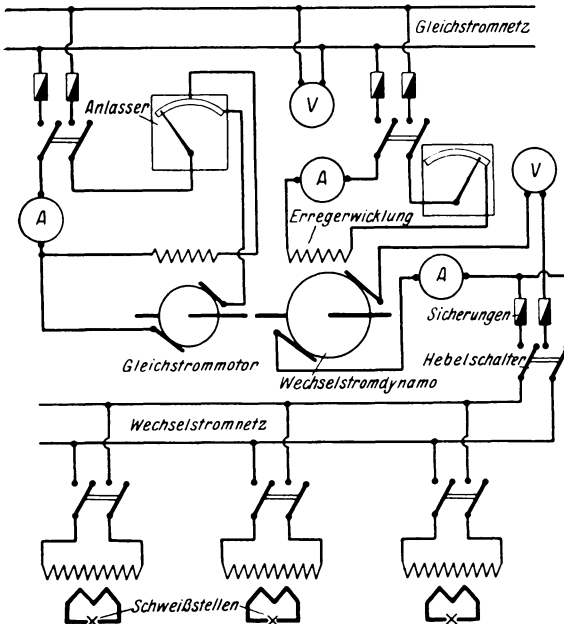


Abb. 19. Anschluß an ein Gleichstromnetz.

selben Metalls erfordern aber gute Regulierbarkeit der Stromstärke, die mit zunehmendem Schweißquerschnitt anwachsen muß. Normalerweise soll die Regulierung der Maschinen eine Verminderung der Stromstärke je nach Erfordernis bis zu $\frac{1}{10}$ der Höchstleistung zulassen.

Jede Regulierung arbeitet mit Hilfe der Ein- und Ausschaltung von Widerständen. Die Regelung selbst geschieht in Stufenregulatoren entweder mittels Hebel- oder Steckschalters. Eine weniger übliche achtstufige Hebelschaltung verbildlicht das Schema der Abb. 20, während Abb. 17 das Schema des am meisten angewendeten fünfstufigen Steckschalters darstellt. Verstärkung oder Schwächung des Stromes soll bei allen Maschinen ohne praktisch nennenswerte Kraftverluste herbeigeführt werden können. Die genaueste, indessen verlustreichere Einstellung des Stromes gestatten Drosselspulen; sie gelangen mitunter in jenen Fällen zur Anwendung, wo sich eine genaue Regulierung der Schweißhitze erforderlich macht (Aluminium- und Messingschweißung). Jede Drosselspule ruft im Wechselstromnetz eine Selbstinduktion (s. Abschnitt I, C 3), eine drosselnde Gegenwirkung, hervor. Abb. 21 zeigt das Schaltungsschema der Drosselspulenregulierung. Hier wie in allen übrigen Schemata ist deutlich zu erkennen, daß die Regulierung der Stromstärke ausnahmslos primärstromseitig, d. h. hochspannungsseitig geschieht. Endlich gibt es noch eine seltener ausgenutzte Möglichkeit der Regulierung 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 Regulierung angesehen werden; die angeschlossenen Schweißmaschinen bedürfen nur geringer Regulierbarkeit. Diese Dreispannungsdynamos sind für Schweißmaschinenzwecke wenig hervorgetreten.

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

Von den als Einspannbacken dienenden kupfernen Elektroden *C* (Abb. 16), auf die wir noch näher einzugehen haben, sind die beiden unteren meist in der Senkrechten fest gelagert, während die beiden oberen Klemmbacken, durch Einspannspindeln oder Exzenter geführt, auf und nieder bewegt werden können. Außerdem ist die Möglichkeit einer seitlichen, wagerechten Verstellung eines Elektrodenpaares Bedingung.

Einer der wirtschaftlichen Vorzüge der elektrischen Widerstandsschweißung besteht darin, daß der Verbrauch an elektrischer Kraft auf die Dauer des Schweißvorgangs beschränkt bleibt, da ja nur dann der im Transformator sekundär erzeugte Strom im eigentlichen Schweißstromnetz fließt, wenn der Stromkreis an

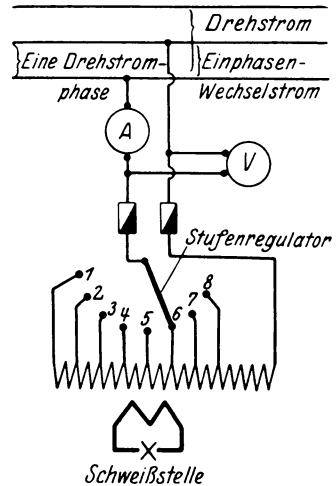


Abb. 20. Regulierung mittels achtstufiger Hebelschaltung.

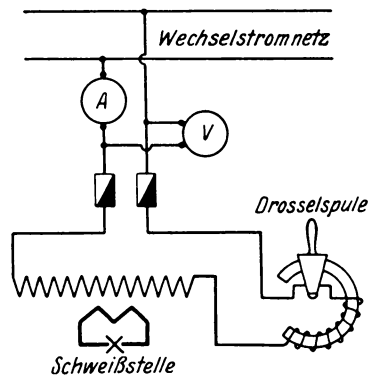


Abb. 21. Regulierung mittels Drosselspule.

keiner Stelle unterbrochen ist. Die Aus- und Einschaltung des Sekundärstroms ist vom Schweißen selbst unmittelbar abhängig; sie wird zudem meist automatisch, also zwangsweise betätigt. Verluste an Kraft entstehen durch Umformung im Transformator, durch Widerstand in den Schweißstrom führenden Teilen, durch Wärmestrahlung der Schweißstelle und ihrer Wärmeleitung an die benachbarten Metallmassen, vornehmlich an die Klemmbacken. Zur weitgehendsten Verminderung dieser Verluste und zur Erhöhung des Gesamtwirkungsgrads müssen alle sekundärseits stromführenden Teile so kurz wie möglich gehalten sein und durch ausreichend starke, gute Leiter auf den praktisch erreichbar geringsten, elektrischen Widerstand gebracht werden. Einige in der Folge 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

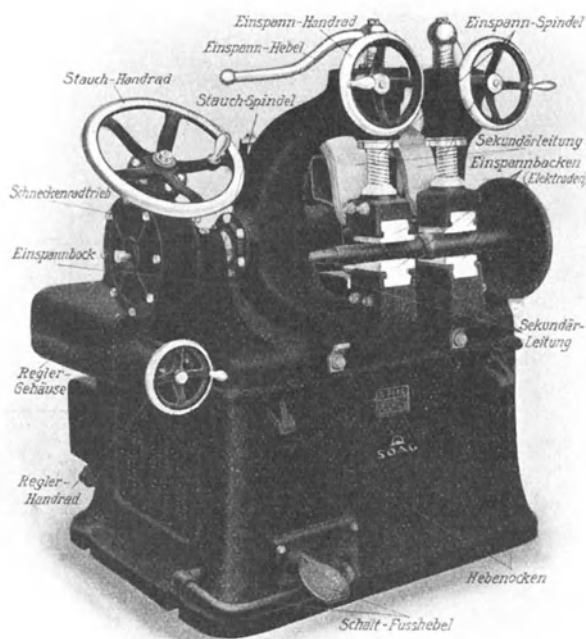


Abb. 22. Größere Stumpfschweißmaschine.

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 Ma-

schine 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. 22 besprochen werden, welche uns ein schweres Modell einer Stumpfschweißmaschine für bis zu 5000 mm² Schweißquerschnitt vor Augen führt. In einem mit Hebenocken ausgerüsteten, geschlossenen, kastenförmigen Gestell ist ein sog. selbstkühlender Scheibentransformator 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 gegen die unteren Einspannbacken verstellbar, um die Maulweite der Backen nach Erfordernis regulieren zu können. Die unteren Backen sind mit dem Einspannbock fest verbunden und in senkrechter Richtung nicht beweglich. Der vom Transformator kommende (sekundäre) Schweißstrom wird durch

ein Bündel luftgekühlter, starker Kupferbänder allen vier 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. Hat das Werkstück (in diesem Falle ein Waggonpuffer) die richtige Lage, dann wird es durch die stark übersetzten Einspannhebel unter größerem Druck eingespannt, so daß

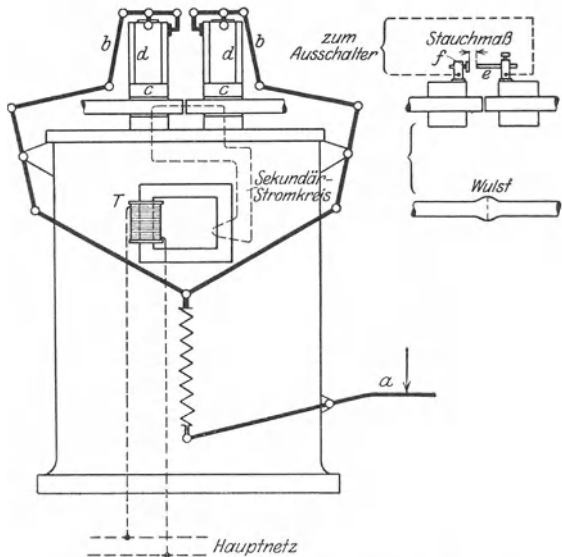


Abb. 23. Schema einer Stumpfschweißmaschine.

es sich beim späteren Stauchvorgang nicht verschieben kann. Durch einen selbstsperrenden Fußhebel wird der Schweißstrom eingeschaltet und durch einen durch Handrad zu betätigenden Regler (Spule) nach Bedarf reguliert. Das Von- und Zueinanderbewegen der Spannböcken in wagerechter Richtung geschieht durch einen Schneckenradantrieb, der durch ein stark übersetztes Handrad in Bewegung gesetzt wird. Nähern der Backen in wagerechter Richtung bedeutet Stauchen des eingespannten Schweißgutes, weshalb auch das betreffende Rad im Bilde als Stauch-

handrad bezeichnet ist. Der Schneckenantrieb der in Abb. 22 gezeigten Maschine gestattet die Erzielung eines Stauchdrucks von annähernd 5 t.

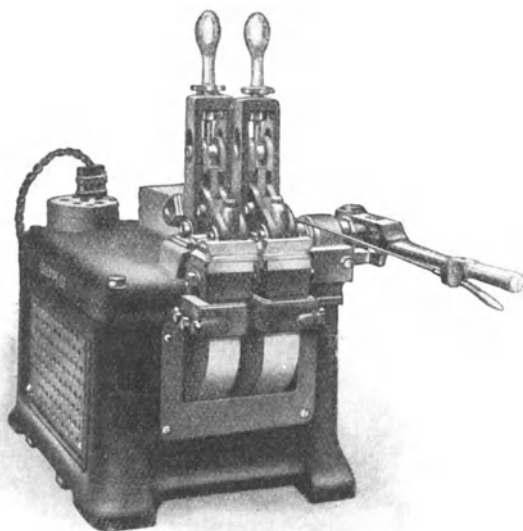


Abb. 24. Kleine Stumpfschweißmaschine mit Schnelleinspannvorrichtung.

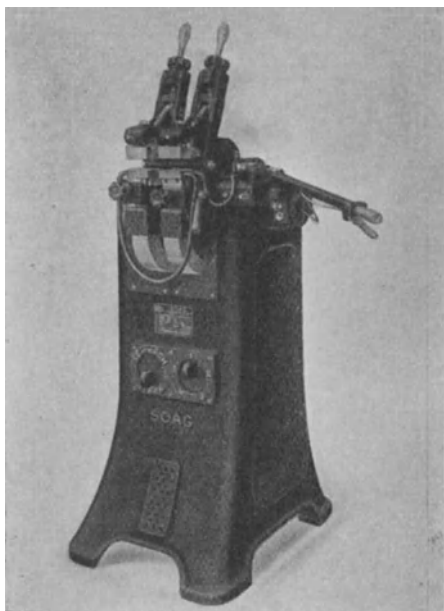


Abb. 25. Kleine Stumpfschweißmaschine.

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. 23 erläutert werden soll. Wir sehen wieder den im Maschineninnern untergebrachten Transformator *T*, oberhalb auf der Deckplatte zwei sowohl wagerecht 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 *e*/ mittels einer Hilfsstromleitung den Ausschalter betätigt.

Einige normale Stumpfschweißmaschinen. Eine mit halb selbsttätiger (halb automatischer) Stauchvorrichtung und Stromauslösung ausgestattete, für geringe Leistungen (4÷6 kVA) bestimmte und für die Schweißung von Ösen, Ringen,

Schnallen u. dgl. geeignete Maschine zeigt Abb. 24. 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 wagerechte Hebel bewirkt Stromeinschaltung (Segment niederdrücken!) und Stauchung. Ein links seitlich erkennbarer Steckschalter ermöglicht die Stromreglung. Die ganze mechanische Einrichtung ist auf dem Transformatorgehäuse (Deckplatte) montiert und die Maschine leicht beweglich (Tischapparat).

Die im nächsten Bilde (Abb. 25) dargestellte einfache Maschine für Leistungen von $8 \div 16$ kVA zeigt oben einfache Handhebel zum Verstellen der oberen Klemmbacken und rechts einen weiteren Handhebel zum Stauchen.

Abb. 26 bringt eine Stumpfschweißmaschine für $30 \div 60$ kVA Leistungsaufnahme und 800 bis zu 2500 mm^2 Schweißquerschnitt. Sie unterscheidet sich von den vorigen Maschinentypen vor allem durch ihre selbsttätige Schaltung, die links vom Stauchhandrad erkennbar ist. Einmaliges Niederdrücken des Handhebels dieses Automatschalters hat eine dauernde Einschaltung des Primärstroms zur Folge, die erst wieder ausgelöst wird, wenn der vorgeschriebene Stauchweg (Abb. 23 rechts oben) der Klemmbacken zurückgelegt ist. Ein mit dem Automatschalter verbundener kleiner Fußhebel gestattet die Ausschaltung in einem beliebigen Augenblick.

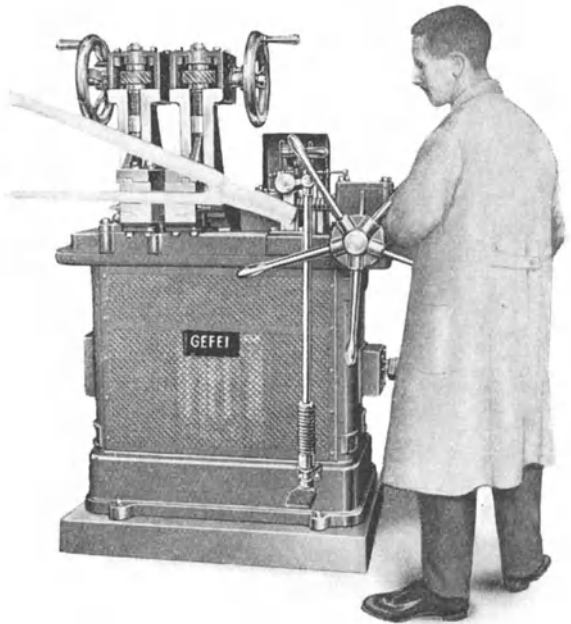


Abb. 26. Mittelgroße Stumpfschweißmaschine.

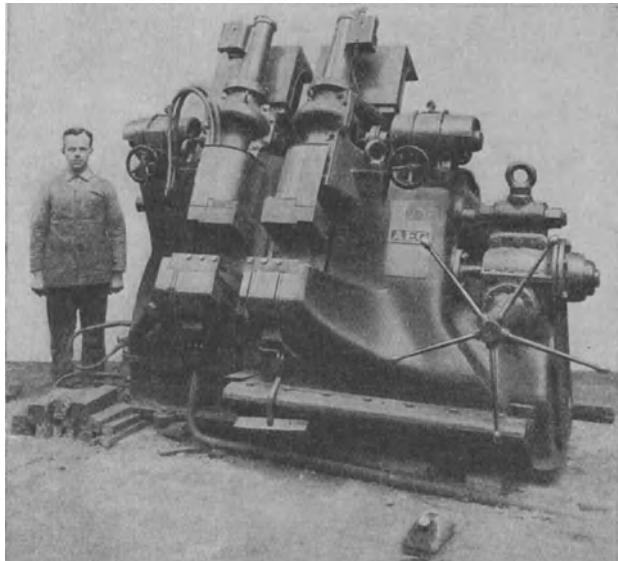


Abb. 27. Große Stumpfschweißmaschine.

Daß dem von Hand erzielbaren Stauchdruck eine gewisse Höchstgrenze gesetzt ist, ist ohne weiteres erklärlich, und wenn die Maschine Abb. 22 Drucke bis zu 5 t zuläßt, was sie dem Schneckenradtrieb zu verdanken hat, so dürfte damit die obere Druckgrenze von Hand bedienter Maschinen erreicht sein. Im allgemeinen reichen diese durch Handräder über Zahnrad- oder Schneckenradgetriebe hervorgebrachten Stauchkräfte nur für Maschinen bis zu etwa 100 kVA Leistungsaufnahme aus; Maschinen höherer Leistung gibt man maschinelle Stauchvorrichtungen, unter Umständen auch ebensolche Einspannung. Abb. 27 zeigt eine große Stumpfschweißmaschine, die für eine Dauerleistung von 140 kVA, eine Stundenleistung von 200 kVA und für Schweißquerschnitte bis 10000 mm² Eisen bei geschlossenen Längen eingerichtet ist. Diese Maschine hat elektromotorische Einspannvorrichtung. Die gegenüber der Dauerleistung um 33% 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.

Es kann nicht als die Aufgabe dieses Buches aufgefaßt werden, den zahllosen Konstruktionsverschiedenheiten auf diesem Gebiete 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. Wenige Bilder mögen noch einige interessante Spezialmaschinen veranschaulichen.

Kettenschweißmaschinen. Die maschinelle Herstellung von Ketten ist besonders erwähnenswert, eine ansehnliche Industrie, die ihren derzeitigen Blütestand nicht zuletzt der elektrischen Stumpfschweißung zu verdanken hat. 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 praktisch nicht durchführbar, vielmehr müssen allen Schweißmaschinen die Ketten mit zum Schweißen fertig vorgebogenen Gliedern zugeführt werden; auch die unmittelbare selbsttätige Überführung der Glieder von der Biegemaschine zur Schweißmaschine ist nach vorigem nicht am Platze. Außerdem können auf Kettenbiegemaschinen Kettenglieder nur bis 12 mm Drahtstärke kalt gebogen werden, während die Schweißmaschine noch 25 mm starke Kettenglieder einwandfrei zu schweißen vermag. Je nach dem Verwendungszweck, dem die Ketten zu dienen haben, gelangen diese als kalibrierte oder als Handelsketten

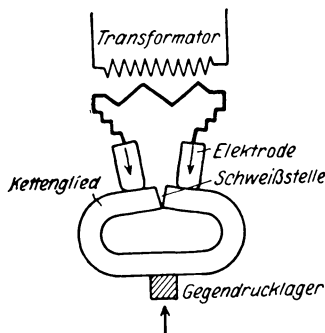


Abb. 28. Schema der Kettenschweißung.

auf den Markt. Letztere sind am einfachsten herzustellen, da die immer beim Stumpfschweißen durch das Stauchen gebildete Wulst (Abb. 23 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. 28 schematisch dargestellt. Zwei Elektroden führen den Strom zu und drücken gleichzeitig das vorgebogene Kettenglied zusammen, das an der anderen Seite an einem Gegendrucklager anliegt. Abb. 29 zeigt uns eine Tischkettenschweiß-

maschine für Handbetrieb, Abb. 30 eine halbselbsttätige Ständerkettenschweißmaschine mit beweglicher Fußhebelschaltung. Bei dieser werden Einspann- und Stauchdruck durch kräftige Spiralfedern erzeugt. Wie man im Bilde sieht, sind die Kettenglieder linksseitig der Maschine ungeschweißt und lassen noch die Stoßfuge erkennen. Die auf Handkettenschweißmaschinen 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 Gesenkhammer oder in einer ähnlichen Vorrichtung vorgenommen werden. Bei ganz selbsttätig arbeitenden Kettenschweißmaschinen, wie Abb. 31 eine solche darstellt, geschieht das Ab-

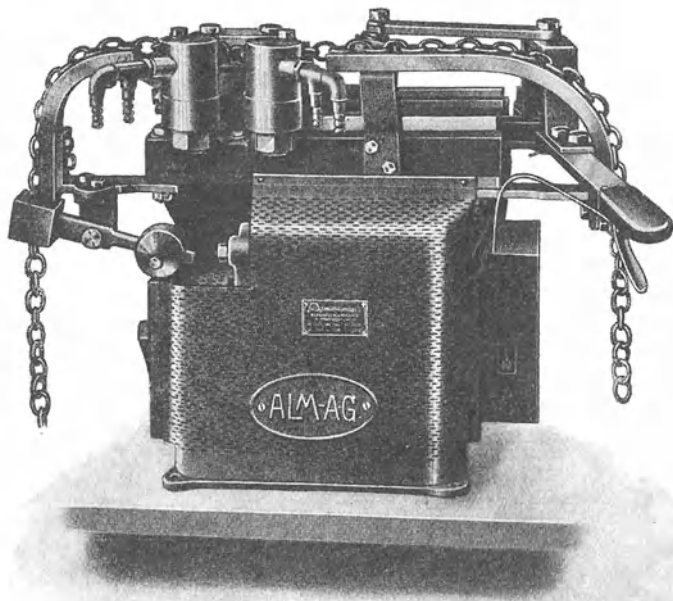


Abb. 29. Tisch-Kettenschweißmaschine.

graten 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 (Arbeiterin) bedient werden können. Die Bedienung der Maschine Abb. 31 beschränkt sich auf wenige Handgriffe, nämlich auf das Auflegen der Kette und Einschalten der Maschine. Natürlich ist darauf zu achten, daß sich die Glieder während des automatischen Vorschubs nicht verhängen. Alle Arbeiten: Schweißen, Fortbewegen, Stauchen und Abdrücken der Stauchwulst geschehen selbsttätig von einer motorisch (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 Umspann-, Einspann- und Schweißvorrichtung vorgesehen sein, was jedoch die Maschine unnötig verwickelt machen würde. Man findet sich mit dem kleineren Übel, wenn überhaupt von einem solchen gesprochen werden kann, ab und unterteilt 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

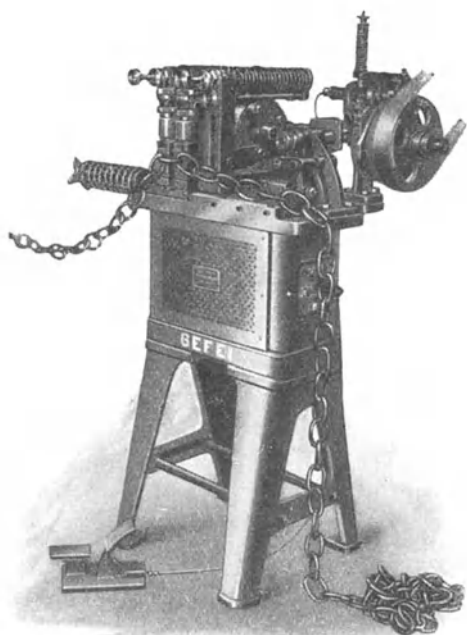


Abb. 30. Halbsebsttätige Kettenschweißmaschine.

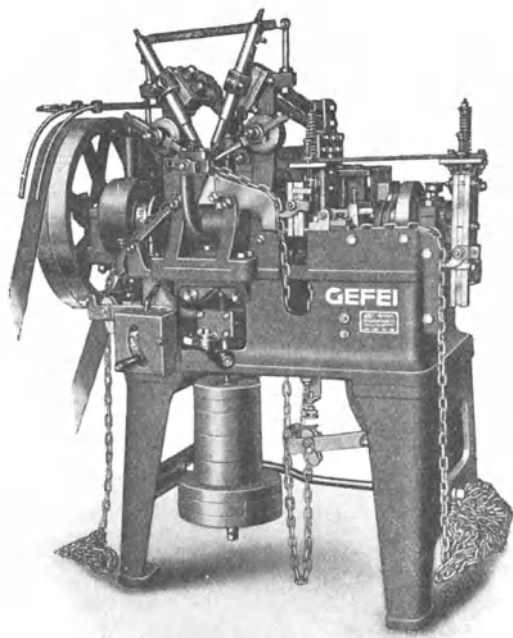


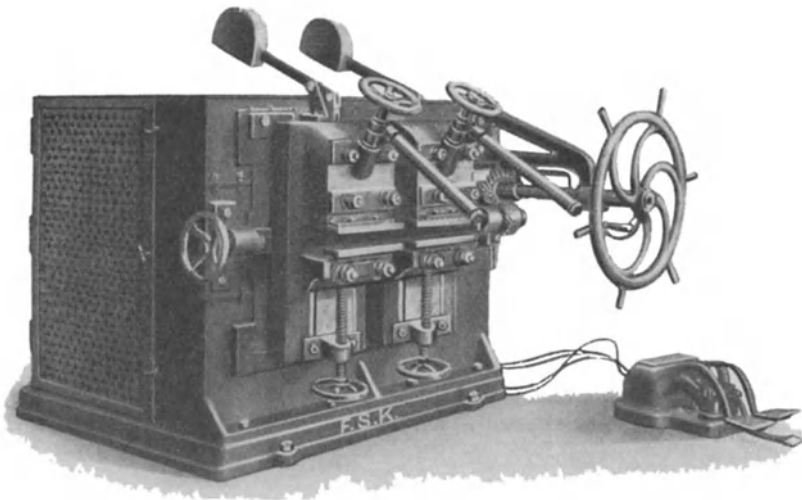
Abb. 31. Ganz selbsttätig arbeitende Kettenschweißmaschine.

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.

Universalmaschinen. In Anpassung an die vielseitigen Bedürfnisse der Praxis sucht man die günstigsten Ausführungsformen elektrischer Stumpfschweißmaschinen in sog. Universalmaschinen zu vereinigen. Ob diese Bezeichnung ihre Berechtigung hat oder nicht, möge dahingestellt bleiben, jedenfalls finden wir solche Maschinen vor und wollen uns kurz mit ihnen befassen. Die verschiedenen Formen und Abmessungen des Schweißguts verlangen auch verschieden gestaltete Einspannbacken 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 aus-

bauen, so nimmt man eine über dem Transformatorgestell angeordnete Deckplatte, auf welcher alle Einspann-, 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 Profileisen oder aus Stahl (Reifen, Ringe, Stangen) schweißen zu können.

Eine derartige Universalmaschine ist in Abb. 32 wiedergegeben. Sie ist zur Schweißung von Schmiedeeisen und Stahl jeden Profils in gestreckten Längen und zur Schweißung von Ringen, Rohren, Reifen usw. geeignet. Durch auswechselbare Einsätze ist sie leicht an jedes Schweißstück anpassungsfähig.



Die Leistungsaufnahme beträgt $100 \div 500$ kVA, der entsprechende Schweißquerschnitt $3000 \div 20000$ mm².

In den weiteren Abschnitten werden noch Sonderfälle von Maschinenkonstruktionen an passender Stelle hier und da gestreift werden.

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 Vielseitigkeit notwendig sind und für jede Maschine in größerer Anzahl (in Sätzen) vorhanden sein müssen. Hieraus ergibt sich ferner die Notwendigkeit, die Klemmbacken leicht und bequem auswechseln zu können; sie sind daher in den schraubstockähnlichen Einspannvorrichtungen mittels Keil, Schrauben, Nuten oder Schwalbenschwanz zu befestigen. Mit sehr geringen Ausnahmen dient Kupfer als Klemmbackenmaterial, da ja der Widerstand der stromzuführenden Teile der Maschine auf das geringste Maß beschränkt bleiben muß.

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. 37) ständig von Wasser

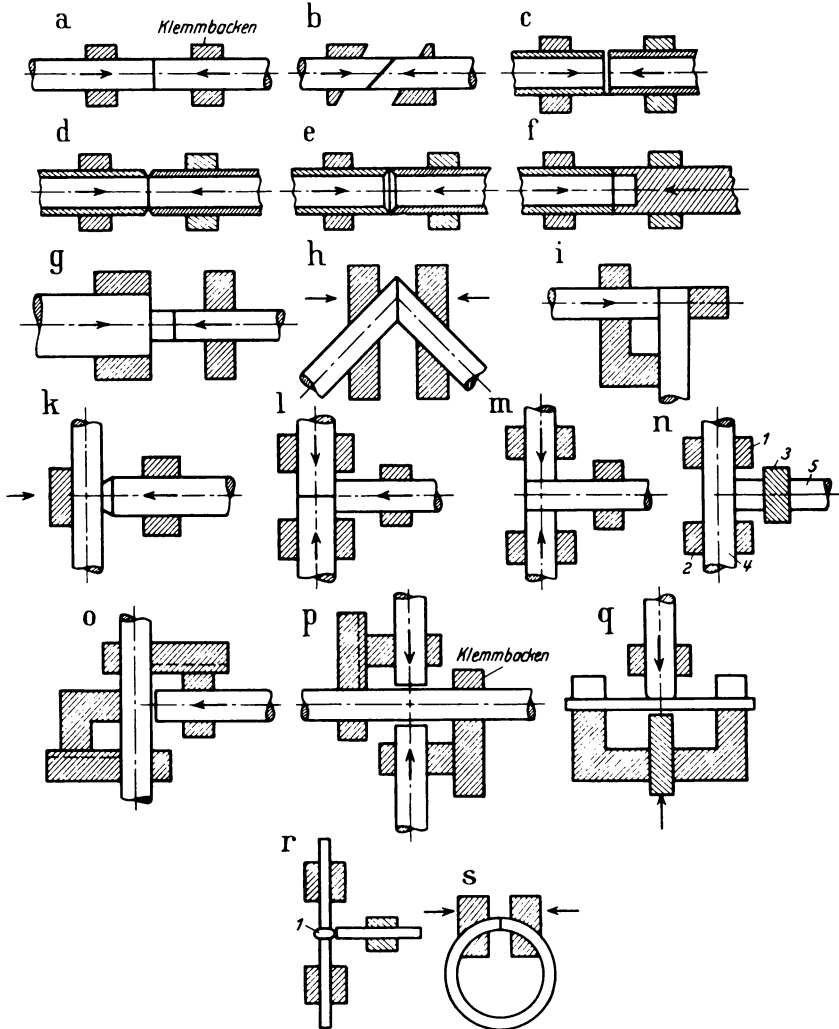


Abb. 33. Ausführungsformen von Klemmbacken.

durchflossen werden, da insbesondere bei starkem Betriebe eine unzulässig hohe Wärmeableitung in das Maschineninnere oder ein Abschmelzen der Elektrodenbacken unbedingt 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 gekühlt den Elektroden ununterbrochen selbsttätig zufließt. Je nach Größe und Beanspruchung der Maschinen sind 5–3000 l Kühlwasser in der Stunde notwendig. Die in Abb. 25 wiedergegebene Maschine z. B. läßt an ihren Elektrodenbacken die für die Zu- und Ableitung des Wassers vorgesehenen Schlauchanschlüsse deutlich erkennen. Um eine wirksame Kühlung des Schweißtransformators herbeizuführen, wird vielfach die Kühlwasserleitung am Transformator entlang gelegt.

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

Ausführungsformen. Über alle Ausführungsformen von Klemmbacken können wir uns hier aus verständlichen Gründen nicht auslassen. Einige Skizzen kennzeichnender Backenanordnungen dürften ausreichend sein, um in Anlehnung an diese für die mannigfaltigen Bedürfnisse erwünschte Formgestaltungen zu finden. Die schematischen Skizzen *a* bis *s* in Abb. 33 sind als Darstellung im Grundriß aufzufassen, wobei als Schweißgut Rund- oder Vierkantmaterial derselben Art oder ein ähnlicher Querschnitt angenommen ist. Die gebräuchlichste, für jede gewöhnliche Schweißung geeignete Konstruktion zeigt Abb. 33*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 hohler Zylinder (Rohre). 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° gegen die Maschinenachse geneigt und die Backen zwecks Fixierung der Stäbe mit Führungsflächen versehen. Durch wagerechte Verstellbarkeit der beiden Backen zueinander kann für dieselbe Materialstärke ein beliebiger Gehrungswinkel eingestellt werden, ohne daß die Backen ausgetauscht 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 Materialenden oder Schweißflächen ungleichen Durchmesser, so führt man die Schweißung nach Art der Skizzen *k* oder *o* 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. 34 *A*) die Rohrdurchmesser genau hineinpassen. Außer gleichmäßiger Wärmezu- und -abfuhr zur Schweißstelle muß nämlich auch Verhütung der Deformation des Schweißgutes durch das Einspannen und Stauchen angestrebt werden. Würde man beispielsweise zwei Rohrenden in ge-

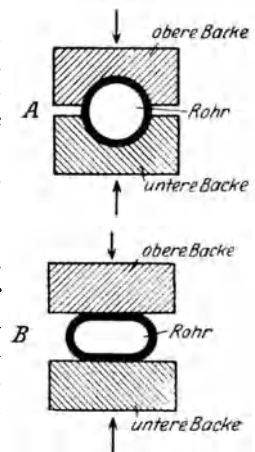


Abb. 34. Richtige und falsche Einspannbacken für Rohre.

wöhnliche Flächenbacken (Abb. 34 B) einspannen, so würden beim Schweißen elliptische Querschnitte entstehen, da der Einspanndruck so stark sein muß, daß

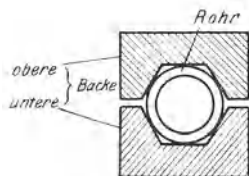


Abb. 35. Besondere Klemmbackenform für Rohre.

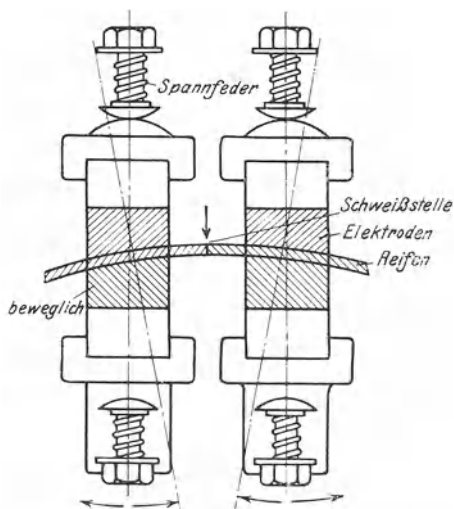


Abb. 36. Sonderspannbacken für Reifen.

formen lassen sich mitunter durch gute Überlegung vereinfachen, indem nur bestimmte Flächenteile des Schweißguts eingespannt werden, wie dies in Abb. 37

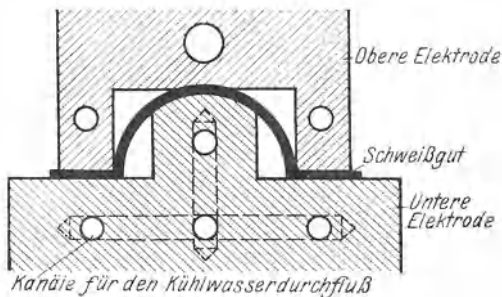


Abb. 37. Elektroden (Klemmbacken) einer Profileisenschweißmaschine.

Schweißfläche führen, um den ganzen Querschnitt gleichmäßig auf Schweißhitze zu bringen. Diese Bedingung wird von einer großen Reihe Schweißmaschinen nur unzulänglich erfüllt, weil die Art des Stromlaufs nicht einwand-

die durch ihn erzeugte Reibung den seitlich wirkenden Stauchdruck überwindet; die dünnen Rohrwände können im rotwarmen Zustande aber nur geringen Druck aufnehmen. In den Backen Abb. 34 A ist hingegen dem Rohr keine Möglichkeit zur Ausweichung 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 sich bei Rohren größeren Kalibers

und vor allem bei solchen von dicker Wandung dadurch über diese Schwierigkeit hinweghelfen, daß man den Backen keine runde, sondern prismatische Aushöhlung gibt, wie dies z. B. in Abb. 35 vorgeschlagen ist. Auch beim Schweißen von Radreifen, überhaupt Reifen, einer stark in Aufnahme gekommenen elektrischen Schweißarbeit, ist eine Verminderung der Backenzahl durch geeignete Mittel erreichbar, beispielsweise durch drehbare, d. h. zum Mittelpunkt des jeweiligen Reifendurchmessers verstellbare Sonderspannbacken, wie sie Abb. 36 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 Spannbacken-

formen lassen sich mitunter durch gute Überlegung vereinfachen, indem nur bestimmte Flächenteile des Schweißguts eingespannt werden, wie dies in Abb. 37 bei den Elektroden einer Profileisenschweißmaschine durchgeführt ist. Die Abbildung zeigt auch die Kanäle in den Klemmbacken für den Kühlwasserdurchfluß. Welch nicht zu unterschätzendes Ausmaß die blockartigen Kupferelektroden schwerer Maschinen annehmen, veranschaulichten bereits Abb. 22, 27 und 32.

Stromzuführung. Beim Stumpfschweißen ist die richtige Stromführung durch das Schweißgut besonders wichtig. Der Weg des Stromes soll möglichst durch die Mitte der

frei ist. 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. 38 A erfolgt. Um diesen Mangel abzustellen, hat die AEG eine Anordnung der stromführenden Elektroden im Sinne der schematischen Darstellung Abb. 38 B 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; sie ist aber wegen der großen Kupferquerschnitte sehr teuer. Bei Anwendung des später besprochenen Abschmelzverfahrens dürfte übrigens die Stromzuführung zu den unteren Backen genügen.

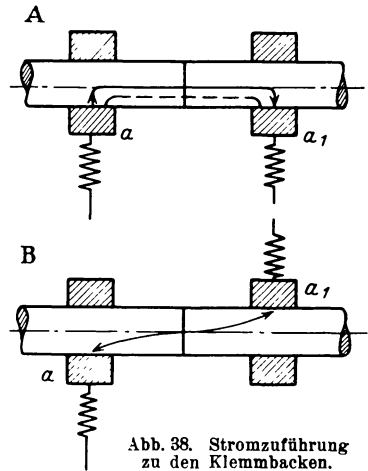


Abb. 38. Stromzuführung zu den Klemmbacken.

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 schwächeren Stückes bis zur Verbrennung getrieben, bevor das stärkere auf Schweißhitze gebracht werden kann. Aus diesem Grunde ist oft eine Vorbereitung der Schweißstücke nötig; ungleiche Materialquerschnitte müssen an der Stoßfläche annähernd flächengleich gemacht werden, wie dies bei f und g in Abb. 33 und bei e , h und k in Abb. 39 geschehen ist. Man erreicht dies dadurch, daß man entweder absetzt (Zapfen g in Abb. 33; e , h und k in Abb. 39), anspitzt (k in Abb. 33) oder aushöhlt (Rohr an Rundeisen, f in Abb. 33). Mit anderen Worten: Die Übergangsquerschnitte der stärkeren Teile sind zu verringern, um eine gleichmäßige Erwärmung zu bewirken.

Vorwärmung. Beim Schweißen von T-, +- und anderen Formstücken (Abb. 33 k , l , m , n , o und p) muß dem eigentlichen Schweißen eine Vorwärmung des schwerer auf Schweißhitze zu bringenden Teiles vorausgehen. Die Vorwärmung erfolgt je nach den örtlichen Verhältnissen und den konstruktiven Einzelheiten der Maschinen. 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. 33 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 stärkere Werkstück wird zuerst im Sekundärstromkreis des Vorwärmtransformators auf Rotwärme gebracht, darauf wird der Stromkreis unter gleichzeitigem Öffnen des Schweißstromkreises (Sekundärstrom des Schweißtransformators) geschlossen und die Schweißung in üblicher Weise vollendet.

Zweckmäßige Vorbereitung anstatt Vorwärmung. In manchen Fällen kann die Vorwärmung eines der Schweißstücke durch zweckmäßige Vorbereitung umgangen werden. Das bezieht sich vornehmlich auf die Schweißung von L-, T- und $+$ -Stücken. Bei dünnen Material kann man sich z. B. nach dem Vorschlag Abb. 33 r 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. Stärkeres Material

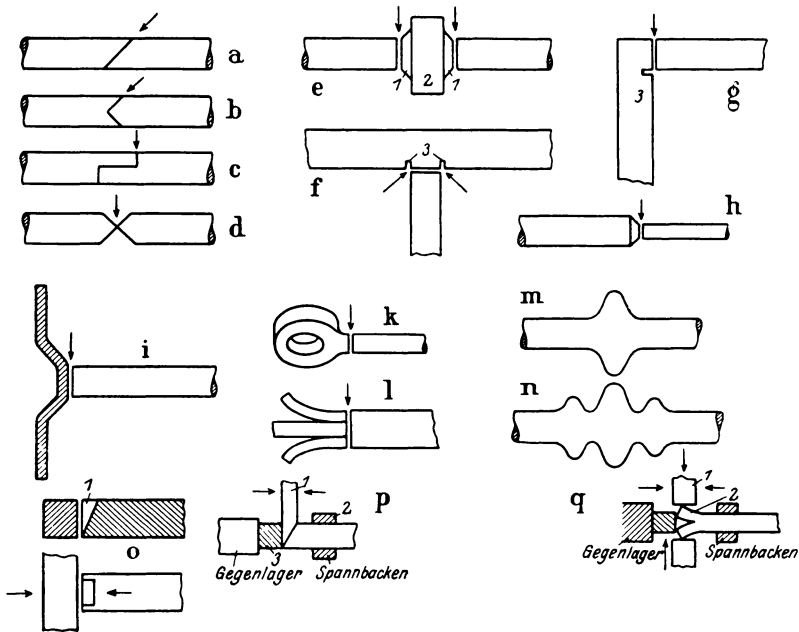


Abb. 39. Vorbereitungsarbeiten bei Stumpfschweißungen.

wird eine in beliebig scharfer Form gewünschte Stauchung, wie sie in Abb. 33 r empfohlen ist, nicht immer hergeben, zumal dann nicht, wenn das Stabmaterial keine sonderliche Verkürzung erfahren darf. Vielfach genügen kleine Sägeeinschnitte (3 in Abb. 39 g und f), um die Schweißhitze an der gewünschten Stelle zu stauen. Umständlicher und weniger angewandt sind die in Abb. 39 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 eine Arbeitsweise nach Abb. q durchgeführt werden, wobei das Querstück 2 der T-förmigen Verbindung am Schweißende gespalten ist und die vorstehenden Kanten während des Schweißens durch Stempel 1 zusammengedrückt werden. Die bei dem nach Skizze p und q ausgeführten Schweißverfahren etwa vorstehend gebliebenen Teilchen müssen, falls hinderlich, abgeschliffen werden.

Im übrigen ist zu den Abb. 33 und 39 noch folgendes zu sagen: An Stelle des kurzen Absatzes in Skizze *g* (Abb. 33) kann ein etwas längerer vorgesehen werden, so daß auch die linken Spannbacken nur den geringeren Durchmesser zu umschließen haben. Dasselbe bezieht sich auf die beiderseits abgesetzte Scheibe 2 in Abb. 39*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. 39*a*–*d* häufig angebracht.

Parallelschweißverfahren. Im Anschluß hieran mag noch kurz eines Schweißverfahrens gedacht sein, das seiner Eigentümlichkeit halber Beachtung verdient. Es handelt sich um das der Firma Pfretzschner, München, patentierte sog. Parallelschweißverfahren, das darauf beruht, ungleiche Materialarten, 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 insonderheit zum Plattieren bewährt, d. h. zum Aufschweißen einer dünnen Metallschicht auf eine stärkere. Es empfiehlt sich dabei die Verwendung geeigneter Schweißpulver.

b) Das Schweißen selbst.

Vorzüge der Stumpfschweißung. Die Vorzüge der gebräuchlichsten Art der Widerstandsschweißung, der normalen Stumpfschweißung, liegen in der Einstellbarkeit verschiedener Temperaturen, der ständigen Betriebsbereitschaft, der Sauberkeit der Arbeit und in verschiedenen anderen Umständen begründet. Trotz der überaus hohen Stromstärke, deren die Durchführung des Schweißens bedarf, 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 das Berühren der als Spannbacken dienenden Elektroden mit feuchten Händen läßt keine elektrischen Strömungen erkennen. 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 und gegen die Maschine überall hinreichend gut isoliert sind.

Höhe der Erhitzung. Da der spezifische Widerstand des metallischen Schweißguts mit wachsender Temperatur zunimmt, verbreitet sich die Schweißhitze rasch über die ganze Stoßfläche. Eine Folge der Temperaturzunahme ist das Sinken der Stromstärke bei zunächst gleichbleibender Spannung, was zwar einerseits den Vorzug längeren Teigigbleibens des Werkstoffs hat, andererseits aber eine Erhöhung der Spannung bedingt. 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 günstig beeinflusst durch die Abwendung der schädlichen Einwirkung der Luft auf die erhitzte Stoßfläche. Doch soll allenthalben auf rost- und zunderfreie Stoßstellen des Schweißguts geachtet werden. Bei den von Hand bedienten Maschinen ist besonders die richtige Schweißhitze gut abzu-

passen, und die Ausschaltung des Stromes bzw. der Eintritt der Stauchung muß im richtigen Augenblick erfolgen, wenn ein Verbrennen des Materials verhütet werden soll. Dabei darf nicht vergessen werden, daß die von innen kommende Hitze natürlich 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 automatischen Maschinen geringer, weil im Augenblick des Eintritts der Schweißwärme Stauchung und Stromöffnung selbsttätig einsetzen und nicht von der Aufmerksamkeit des Arbeiters abhängen.

Zahlentafel 3.

Leistungsaufnahme (Transformatorleistung) kVA	Schweißbarer Eisen- querschnitt (offene Längen) mm ²	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 ein gesteigerter Verlust an Wärme durch Abwanderung an benachbarte metallische Partien und durch Strahlung in die Luft nicht zu vermeiden ist, 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 Materialstärken und Metalle auch Maschinen für verschiedene Leistungsaufnahme benötigt. Weiter ist mit Rücksicht auf Wärme- oder Stromverluste, was dasselbe ist, 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 Schweißstelle erfolgt. Das besagt: Zwischen Schweißquerschnitt, Stromstärke und Schweißdauer sind praktisch einwandfrei erprobte Beziehungen einzuhalten. Einen dies-

bezüglichen, annähernden Überblick gibt Zahlentafel 3, deren Werte dem arithmetischen Mittel, errechnet aus den Daten dreier führender Spezialwerke auf dem Gebiete des elektrischen Stumpfschweißens entsprechen. Ausgehend von der Überlegung, daß die von interessierten Firmen veröffentlichten Zahlen meist stark beschönigt sind und Akkordangaben darstellen, die unter normalen Verhältnissen nie erreichbar sind, ist ein Zuschlag von 30% auf die in Zahlentafel 3 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 Materialquerschnitt zu, wogegen die Leistungsaufnahme, bezogen auf 1 mm^2 Querschnitt, sinkt. Gleichzeitig ist trotz geringerer Schweißtemperatur für elektrisch gut leitendes Material (Kupfer) ein größerer Kraftbedarf erforderlich als für das weniger gut leitende Eisen, eine in der bedeutenden Wärmeableitung begründete Tatsache. 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 Zahlentafel 3, sind im Abschnitt VII zu finden.

Geschlossene Längen. Beim Zusammenschweißen in sich geschlossener Stücke, wie Ringe, Reifen, Rahmen, Schnallen u. dgl., entsteht ein mit dem Materialquerschnitt und dem Längenumfang des Körpers rasch ansteigender Kraftverlust infolge Nebenschlusses zur Schweißstelle. Wenngleich bei kleineren Gegenständen der Kraftverlust erträglich ist, nimmt er mit der Masse des Schweißguts 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 40). Der Eisenkern wirkt wie eine Drosselspule.

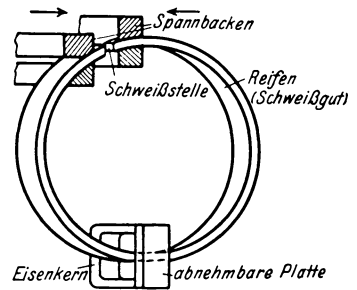


Abb. 40. Abdrosselung des Nebenschlusses bei der Reifenschweißung.

Die in Zahlentafel 3 angeführten 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

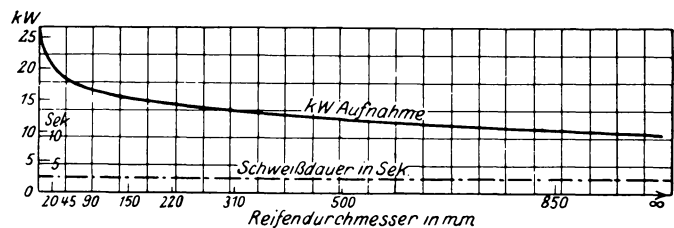


Abb. 41. Leistungsaufnahme und Schweißdauer bei Reifenschweißungen.

Ringen von 20 mm Durchmesser ein und 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 Wagerechten (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 Stromverbrauch. Die Werte der Abb. 41 sind nochmals in Zahlentafel 4 zahlenmäßig wiedergegeben.

Zahlentafel 4.

Durchmesser des Reifens (von $9 \times 9 = 81 \text{ mm}^2$ Querschnitt) mm	Leistungsauf- nahme kW	Schweißdauer s	Durchmesser des Reifens (von $9 \times 9 = 81 \text{ mm}^2$ Querschnitt) mm	Leistungsauf- nahme 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	∞	9,5	4
220	15	5,25			

Einspannlängen. Außer der konstruktiven Gestaltung der zu schweißenden Flächen sind die Einspann- oder Schweißverhältnisse, d. h. die Einspannlängen der Schweißstücke für den Erfolg einer Querschnittsschweißung maßgebend. Die Beziehungen zwischen den Einspannlängen lassen sich ziemlich genau festlegen. Angenommen, die Materialdurchmesser d (Abb. 42) seien auf beiden Seiten der Schweißfläche gleich groß, so ergibt sich nachstehende Zusammenstellung:

Eisen und Eisen, $l = 1,4d$; $\frac{l}{2} = 0,7d$ (Abb. 42 I),
 $m + m_1$

Stahl und Stahl, $l = 1,2d$; $\frac{l}{2} = 0,6d$ (Abb. 42 II),
 $m + m_1$

Eisen und Stahl, $l_1 = 2,1d$; a (Stahl) $= 0,6d$, b (Eisen) $= 1,5d$ (Abb. 42 II),
 $m_3 + m_2$

Kupfer und Kupfer, $l = 4d$; $\frac{l}{2} = 2d$ (Abb. 42 I)
 $m + m_1$

Messing und Messing, $l = 3d$; $\frac{l}{2} = 1,5d$ (Abb. 42 I),
 $m + m_1$

Eisen und Kupfer, $l_2 = 2,5d$; a_1 (Eisen) $= 0,7d$, b_1 (Kupfer) $= 1,8d$ (Abb. 42 III),
 $m_5 + m_4$

Stahl und Stahl, $l_1 = 2,1d$; a (hoher C-Gehalt) $= 0,6d$, b (geringer C-Gehalt) $= 1,5d$ (Abb. 42 II).
 (mit hohem C-Gehalt) + (mit geringem C-Gehalt)
 $m_2 + m_3$

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. 42 III angedeuteten Weise (bei m_4) am Ende konisch verjüngt werden. Wie Abb. 42 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. Dies zeigt auch Abb. 43, welche die Leistungsaufnahme und die Schweißdauer in Abhängigkeit von verschiedenen Einspannlängen wiedergibt. Der Aufzeichnung liegt die Schweißung eines 12·12 mm Quadrateisens (also 144 mm² Querschnittsfläche) zugrunde.

Verschweißen ungleicher Metalle. Wenn gleich die Schweißung von Eisen und gewöhnlichen Stahlsorten eigentlich 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 Eisen oder Messing usw., zweifellos große praktische Erfahrung, gute Beobachtung des Schweißvorgangs und genaue Einhaltung bestimmter Vorschriften. Bilden sich beim Schweißen Oxyde, deren Schmelzung 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, wobei indessen nicht verschwiegen werden darf, daß Schweißungen dieser Art nicht in allen Fällen sicher gelingen. Als ein Fall derartiger Schweißungen mag die Verbindung tempergußeiserner Griffe mit Stahlklingen zu Scheren erwähnt sein, so wie das Zusammenschweißen von Tempergußbügeln und Stahlplatten zu Steigbügeln. Während sich Eisen mit Messing und Eisen mit Neusilber ziemlich einwandfrei verschweißen läßt, ist die

Vereinigung zwischen Eisen und Kupfer weniger fest und nicht genügend.

Stahlschweißung. Die Schweißtemperatur des Stahls liegt niedriger als die des Schmiedeeisens. Mit Rücksicht auf die Gefahr der Entkohlung muß 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°—400° ist empfehlenswert, ebenso langsames Abkühlen. Verbindungen zwischen Stahl und Schmiedeeisen haben hohe Festigkeit. Da Stahl in Schweißhitze weniger weich ist als Schmiedeeisen, muß beim Stumpf-

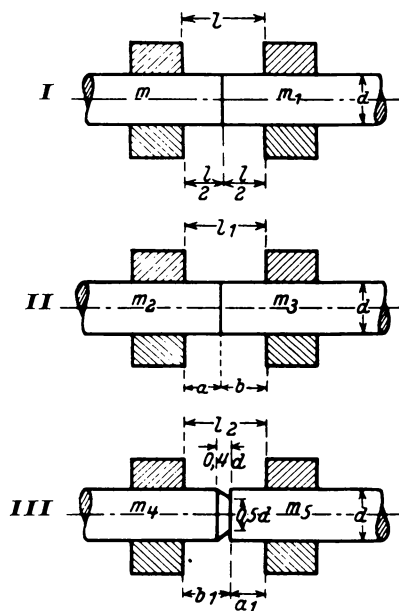


Abb. 42. Einspannlängen.

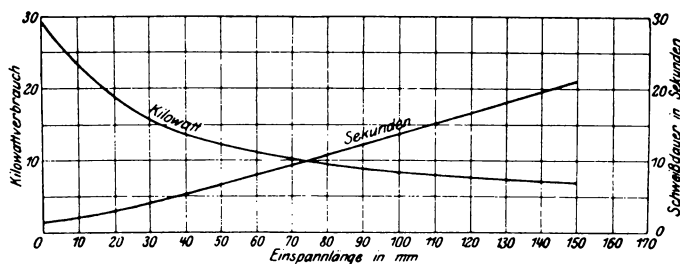


Abb. 43. Leistungsaufnahme und Schweißdauer bei verschiedenen Einspannlängen.

schweißen des 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 Eisen. Kupfer nimmt vor Eintritt des Schmelzens keinen teigigen Zustand an (wie Eisen), 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, vor allem infolge seines geringen elektrischen Widerstands, sehr große Stromstärken, dagegen allerdings sehr geringe Spannung (weniger als 1 V an der Schweißstelle). Die in Zahlentafel 5 angegebenen Werte beziehen sich auf Rundkupfer, während bei rechteckigen Schweißstücken gleicher Fläche etwa 40÷50 % mehr an Leistung und um 20÷50 % längere Schweißzeit aufzuwenden ist. Die Entfernung des Kupferoxyds an der Schweißstelle geschieht am besten durch Hämmern der erkalteten Schweiße, was zudem eine Festigkeitssteigerung infolge Strukturverfeinerung bewirkt.

Zahlentafel 5.

Durchmesser des Kupferstabes mm	Zugehöriger Schweißquerschnitt mm ²	Dauer einer Schweiße s	Erforderliche Leistungsaufnahme kVA	Durchmesser des Kupferstabes mm	Zugehöriger Schweißquerschnitt mm ²	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 Eisen und sein elektrischer Widerstand beinahe derselbe ist wie jener des Eisens von normaler Temperatur, bedarf auch das Messing einer großen Leistungsaufnahme und damit eines hohen Stromverbrauchs, der zwischen dem für Eisen und Kupfer (letzterem näher) gelegen ist. Dies kommt daher, daß der Widerstand des Eisens 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. Bronzeßuß 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 Zer-

störung 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

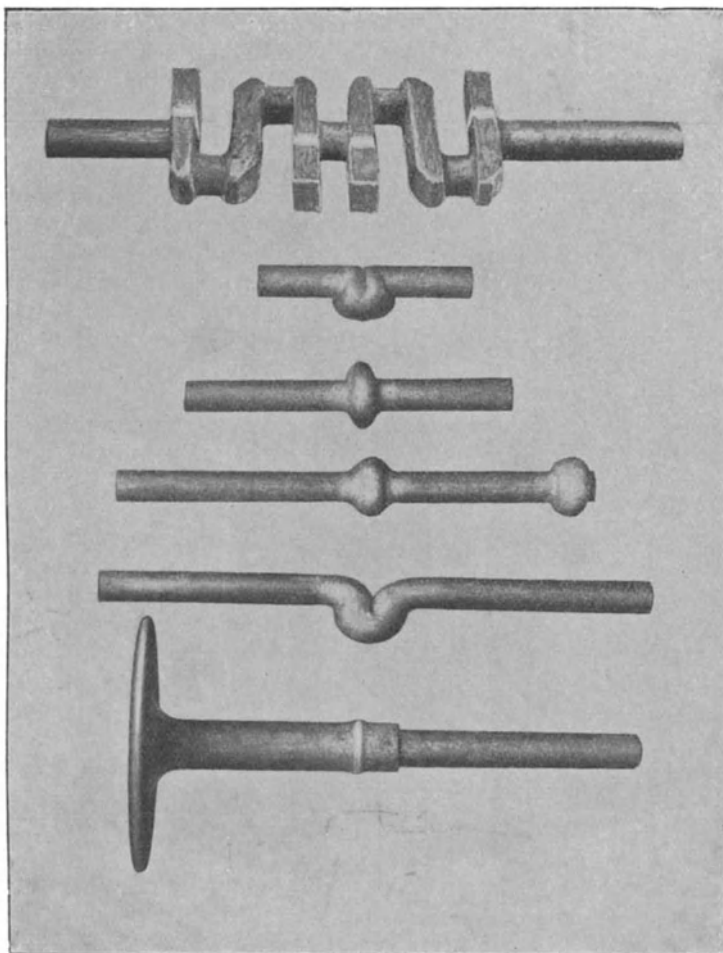


Abb. 44. Stumpfgeschweißte Teile.

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 Zinn, Zinn und Blei. Doch ist bei diesen Metallen, besonders beim Blei, der Eintritt der Schweißwärme schwer feststellbar, weshalb auch hier die Regulierung des Stromes mit großer Sorgfalt erfolgen muß. Bleirohre werden nach Art der Abb. 33d und e zur Schweißung vorbereitet.

Schweißbeispiele und Anwendungsgebiete. Einige stumpfgeschweißte Teile sind in Abb. 44 wiedergegeben. Das untere Bild der Gruppe veranschaulicht

einen geschweißten Eisenbahnwaggonpuffer, das obere eine Kurbelwelle mit vier stumpfangeschweißten Ausgleichstücken. Die mittleren vier Rundeisen sind nach Art der Skizzen Abb. 39m und n gestaucht. Besonders wertvoll ist die Stumpfschweißung auch für die Herstellung schwieriger Schmiedestücke. Als Beispiel hierfür kann Abb. 45 angesehen werden. Es handelt sich wiederum um eine Kurbelwelle, in-

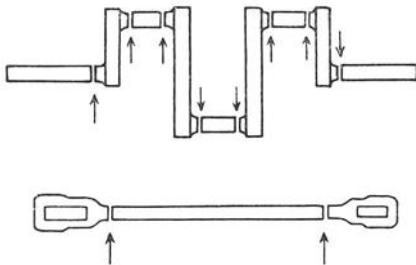


Abb. 45. Gekröppte Welle und Pleuelstange stumpfgeschweißt.

dessen mit dem Unterschied gegenüber Abb. 44, daß hier nicht Ausgleichstücke angeschweißt sind, sondern die Welle aus neun auf der Schmiedepresse hergestellten, einfachen Einzelteilen stumpf zusammengeschweißt ist. Ähnliches gilt für die aus drei Teilen zusammengesetzte Pleuelstange. Die Pfeile geben jedesmal die Schweißstellen an.

Abb. 46 zeigt der Reihe nach: ein geschweißtes Rohr; einen Rundeisenstab; einen ebensolchen, jedoch an der Schweißstelle geschliffen; die Verschweißung



Abb. 46. Stumpfgeschweißte Rohre und Rundeisen.

eines Rundeisens mit einem Rohr, entsprechend Abb. 33f, und endlich einen durch Ansetzen eines Rundstabes verlängerten Spiralbohrer.

Die durch die Aufstauung des Materials entstehende Wulst (Abb. 46), d.i. die Verdickung an der Schweißstelle, welche an sich eine Verstärkung letzterer bedeutet, muß in vielen Fällen nach beendeter Schweißung wieder entfernt werden. Wie wir in Abb. 39a÷d sahen, kann sie bei kleineren Gegenständen durch zweckmäßige Formgabe 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, indessen 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. Abschmiegeln. 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. 47 im Schema. Man darf sich aber keineswegs der Täuschung hingeben, daß ein Einpressen der Stauchwulst, weil es billig ist, auch immer zweckmäßig wäre; im Gegenteil wird häufig eine schädliche Beeinflussung der Materialstruktur die Folge sein.

Die verschiedentlich geäußerte Ansicht, das Pressen hätte außer der Glättung der Schweißstelle den Vorzug, die Festigkeit der Schweißung durch Materialverdichtung zu erhöhen, ist selten zutreffend, wenn man sich vergegenwärtigt, daß die beim Stauchen aus der Schweißfuge ausgepreßten Schlacken- und Zundertheilchen von neuem in den Materialquerschnitt hineingequetscht werden. Es unterliegt keinem Zweifel: Die 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 VI 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 Fassoneisen, Felgen u. dgl. nur schlecht schweißbar sind, da infolge ungleicher Massenverteilung die Hitzeentwicklung meist unregelmäßig auftritt und dünnere und spitzere Materialteile verbrennen, bevor stärkere Stellen auf Schweißhitze gebracht werden können. Dementsprechend ist die Anwendbarkeit der Stumpfschweißung nach dieser Richtung verhältnismäßig beschränkt, und das um so mehr, als 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 besteht und welche Anstrengungen gemacht werden, um die elektrische Stumpfschweißung gegenüber den übrigen neuzeitlichen Schweißverfahren wettbewerbsfähig zu erhalten.

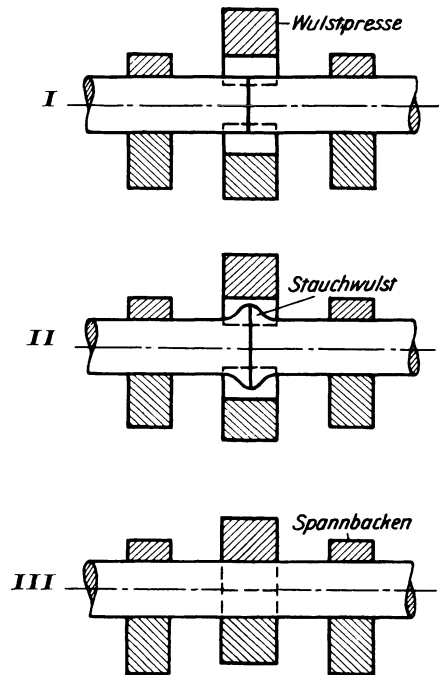


Abb. 47. Schema der Wulstpressung bei Kettengliedern.

c) Das Abschmelzverfahren.

Arbeitsvorgang. Der befriedigenden Lösung der letztgenannten Aufgabe ist man zum großen Teil durch Einführung des Abschmelzverfahrens nähergekommen. Das Abschmelz- oder Abbrennverfahren unterscheidet sich von der üblichen Stumpfschweißung in erster Linie dadurch, daß die in Klemmbacken festgespannten Stücke nicht anfänglich zusammengestoßen werden und darauf der Stromkreis geschlossen wird, sondern der Strom schon eingeschaltet wird, ehe sich die Stoßflächen berühren. Durch eine zweckentsprechende Schlittenführung werden dann erst die beiden Stoßflächen allmählich einander genähert, bis der Luftwiderstand zwischen ihnen so gering ist, daß der Strom funkenförmig überspringt. Durch anhaltendes Gegeneinanderschieben der Schweißstücke erhöht sich das Funkensprühen schließlich zu einem förmlichen Feuerregen; die Stoßflächen schmelzen so lange, bis die erforderliche Schweißglut erreicht ist. Erst jetzt preßt man die Schweißstücke unter Ausschaltung des Stromes mit kräftigem Stoß zu-

sammen. Da die Funken an den hervorstehenden Teilen natürlich zuerst überspringen, schmelzen diese Stellen schnell ab, womit die Bearbeitung der Stoßflächen, wie sie bei dem gewöhnlichen Stumpfschweißverfahren erforderlich war, fortfällt. Bei diesem Verfahren tritt infolge des Funkenausgleichs eine gleichmäßige Erhitzung über schwache und starke Stellen ein, und da ferner das während der Erhitzung geschmolzene Material durch die schlagartige Vereinigung aus der Verbindungsstelle herausgeschleudert und die Erhitzung noch örtlicher gehalten

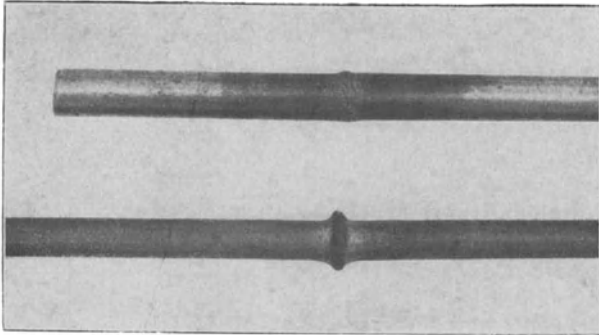


Abb. 48. Wulst beim Stumpf- und Abschmelzschweißen.

wird als bei dem einfachen Stumpfschweißen, so bildet sich nur eine geringe, das Abschmelzverfahren kennzeichnende Stauchwulst. Abb. 48 zeigt unten die Stauchwulst bei normaler elektrischer Schweißung und oben die nach dem Abschmelzverfahren entstandene viel kleinere Wulst. Die erhöhte Gefahr des Einpressens der aus der Schweißfuge herausgequetschten geschmolzenen Material-

und Schlackenteilchen verbietet die Entfernung der entstandenen Stauchwulst durch Pressen bei diesem Verfahren vollkommen. Die gratartige Wulst ist nur mittels Meißels oder eines der früher aufgezählten Werkzeuge zu entfernen.

Leistungsfähigkeit und Anwendungsgebiete. Das Verfahren ist auf jeder gewöhnlichen Stumpfschweißmaschine durchführbar, und 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 sind in den Abschnitten VI und VII gemacht.

Dem Abschmelzverfahren fällt vor allem das Gebiet des Vorschuhens von Rauch- und Siederohren zu. Zur Entfernung des im Rohrrinnern sich bildenden Stauchgrats dienen im Rohrlichten zentrisch geführte, fräserartige Ausstoßdorne. Die Entgratung geschieht am warmen Rohr. Auch bei der Erweiterung des sog. Werkstoffverbundsystems bringt dieses Verfahren wirtschaftliche Vorteile, besonders bei der Herstellung von Schneidwerkzeugen. Während man die Schweißung kleiner Schneldrehstahlstückchen auf gewöhnliche Stahlhalter nach dem 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 oder Eisen nach dem Abschmelzverfahren herzustellen. In Zukunft wird aber das Abschmelzverfahren der normalen Stumpfschweißung auch beim Verschweißen von vollen und einfachen Querschnitten den Rang streitig machen.

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, und man be-

zeichnet sie als elektrische Erhitzungsmaschinen oder kurz als „Elektroessen“, im Gegensatz zur Feueresse. Wenngleich die Elektroesse bisher das alte Schmiedefeuer nur vereinzelt zu verdrängen vermochte, so ist es kaum zweifelhaft, daß über kurz oder lang 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 des Kohlentransports und eines Kohlenaufbewahrungsraums. Im einzelnen sei noch ausgeführt,

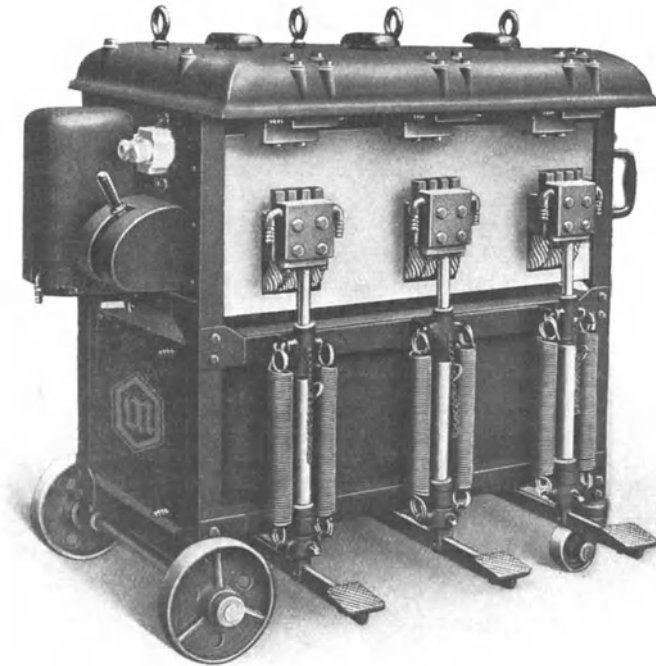


Abb. 49. Nieterhitzmaschine.

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 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 sind ihrer Verwendbarkeit enge Grenzen gezogen, so daß man neuerdings auch hier auf Sonderkonstruktionen für die verschiedensten Zwecke gekommen ist. Die Starrheit und Unzulänglichkeit gewöhnlicher Stumpfschweißmaschinen machen diese als Esse ungeeignet; es mußten Mittel und Wege gefunden werden, den Maschinen gute Anpassungsfähigkeit an die verschiedensten Werkstückformen zu verleihen. 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 Spezialmaschinen entwickelt, die hier um so weniger vorgeführt werden können, als die Esse mit der Schweißung in nur mittelbarem Zusammenhange steht und nur aus Gründen verwandtschaftlicher Beziehungen zur Schweißung und der Vollständigkeit halber hier erwähnt wird. Kurz zusammengefaßt kann man sagen: Jede Wärmebehandlung von Metallen, soweit sie deren Formgebung, wie Schmieden (Pressen, Stauchen, Strecken), Schweißen (überlapp) oder Hartlöten, Härten u. a. zum Zwecke hat, ist durch Elektroessen geeigneter Bauart möglich, unter bestimmten Voraussetzungen sogar erheblich billiger möglich als durch die Feuereisse.

Nieterhitzmaschine. Eine Abart der Elektroesse ist die Nieterhitzmaschine, die schon heute in ausgedehntem Maße in Verwendung steht und als einzige Maschine unter den Elektroessen hier bildlich gebracht werden soll. Abb. 49 zeigt eine solche Maschine mit dreifacher 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. Die abgebildete Maschine ist übrigens für direkten Anschluß an alle drei Phasen des Drehstromnetzes eingerichtet, ein Vorteil hinsichtlich der gleichmäßigeren Belastung des Netzes. Der elektrische Nietwärmer liefert bei Bedienung von Hand bis zu 300 Nieten in der Stunde. Neuerdings werden auch automatische Pinnen- und Nietwärmmaschinen mit selbsttätiger Zuführung und Ablage der Nieten gebaut, wobei Leistungen bis zu 600 Stück Nieten in der Stunde keine Seltenheit mehr sind. In der Hauptsache sind bisher Größen mit einer Leistungsaufnahme von 8–25 kVA in Gebrauch, letztere für Nieten bis 30 mm Durchmesser. Zur Erwärmung von 1 kg Nieten sind etwa 0,4 kWh erforderlich.

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, wie Eisen überhaupt, gut schweißen, wenn die Werkstoffoberflächen nicht stark zundrig, verrostet oder sonstwie verunreinigt sind. Derartig verunreinigtes Material muß, wie später gezeigt wird, vor der Schweißung gesäubert werden. Auch verzinktes, verzinntes, verbleites oder sonstwie überzogenes Eisen und nicht hochwertiger Stahl sind punktschweißbar. Unter bestimmten Voraussetzungen können die meisten Messingsorten, Kupfer, Zink, Silber und Wolfram geschweißt werden. Die erreichbare Festigkeit ist allerdings gering.

2. Punktschweißmaschinen.

a) Die elektrische Einrichtung der Maschinen.

Die elektrische Punktschweißung ist aus der Stumpfschweißung entstanden, und nicht immer läßt sich ein genauer Unterschied zwischen diesen beiden Arbeitsverfahren festlegen. Beim Übergang vom Stumpf- zum Punktschweißen und umgekehrt ist die Schweißungsart oft so gestaltet, daß sie sowohl die eine wie die andere Bezeichnung verdient. Die Punktschweißung stellt, was ja schon ihr Name sagt, 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 mag gleich vorweg gesagt sein, 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. Einige Anwendungsbeispiele werden uns später das Anwendungsgebiet der Punktschweißung erkennen lassen.

Schaltung und Stromzuführung. Bauen wir unsere ursprüngliche Skizze (Abb. 11) nach Art der Abb. 16 weiter aus, so entsteht das Schema der Abb. 50. Wie bei allen übrigen Widerstandsschweißmaschinen ist auch hier der Transformator e im Maschinengehäuse untergebracht.

Seine Primärseite f läßt sich durch einen in unserem Beispiel fünfteiligen Stufenschalter g regulieren. h ist der Hebelschalter, i sind die Sicherungen und k ist das Wechselstromnetz, an das die Maschine bzw. der Transformator angeschlossen ist.

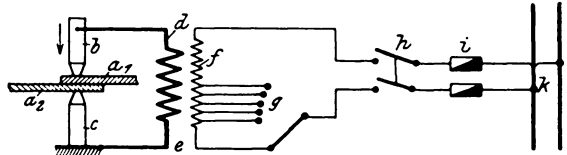


Abb. 50. Schaltung und Stromzuführung bei Punktschweißmaschinen.

Die eigentliche Schweißeinrichtung ist im Sekundärstromkreis d der Maschine gelegen. Die beiden an die Leitungsenden des Niederspannungsstromkreises angeschlossenen Elektroden b und c sind im Gegensatz zur Stumpfschweißmaschine nicht mehr backen-, sondern stabförmig. Zwischen ihnen wird das Schweißgut eingeklemmt. Bei Einschaltung des Stromes und Andrücken der Elektroden spitzen gegen die Bleche a_1 und a_2 fließt der Strom durch die Bleche hindurch und stellt einen Schweißpunkt her, dessen Durchmesser abhängig ist von jenem der Elektrode und von der Blechdicke.

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. Wesentliche Unterschiede bestehen in der elektrischen Einrichtung der verschiedenen Widerstandsmaschinen überhaupt nicht, weshalb im übrigen auf das bezüglich der Stumpfschweißmaschinen Gesagte hingewiesen sei.

b) Die mechanische Einrichtung der Maschinen.

Die Punktschweißmaschinen erreichen bei selbst größtem Arbeitsbereich bei weitem nicht die baulichen Abmessungen großer Stumpfschweißmaschinen, jedoch stehen ihre mechanischen Einrichtungen, was Sondermaschinen anbelangt, denen der Stumpfschweißmaschinen nicht nach; die für die Einspannung und Stauchung

notwendigen Maschinenelemente als solche sind allerdings wesentlich einfacher. Die normale Punktschweißmaschine ist sogar in allem recht einfach aufgebaut.

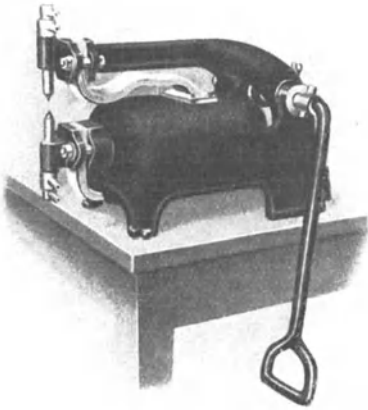
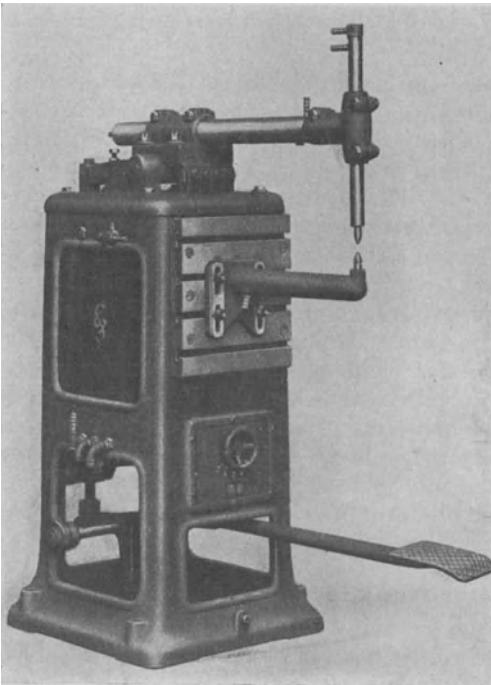


Abb. 51. Tisch-Punktschweißmaschine.

Normale Maschinen. Eine auf jedem Arbeitstisch aufstellbare Tisch-Punktschweißmaschine kleinster Bauart zeigt Abb. 51. Sie hat eine Transformatorleistung von 2–4 kVA und ist für die Schweißung nur dünnwandiger Werkstücke, wie feinmechanische Teile, elektrotechnische Artikel, chirurgische Instrumente u. dgl., bestimmt. Die Stromzufuhr geschieht durch ein im Bilde deutlich sichtbares Bündel Kupferblechstreifen; die Auf- und Niederbewegung des oberen Elektrodenarmes erfolgt durch den rechts angeordneten Handhebel.

In Abb. 52 ist eine Punktschweißmaschine normaler, einfacher Bauart und mittlerer Größe für etwa 15 kVA veranschaulicht. Sie wird durch Fußhebeldruck betätigt. Der im Innern des Gestells untergebrachte Transformator ist luftgekühlt. Die Luft streicht durch die beiderseits am Gestell angeordneten durchlochten Blecheinsätze hindurch. Unmittelbar oberhalb des Fußhebels befindet sich ein Primärstromstufenschalter mit fünf

Anzapfungen des Transformators, an welchen die für die jeweilige Schweißdicke notwendige Stromstärke reguliert wird. Auf der linken Maschinen- seite sind Anschlußtüllen für die Kühlwasserschläuche angebracht. Auch die für die Elektrodenarme vorgesehenen Anschlüsse sind im Bilde sichtbar. Der Kühlwasserbedarf der Punktschweißmaschinen beträgt im allgemeinen zwischen 15–500 l in der Stunde, je nach Maschinenleistung (s. Zahlentafel 6). 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 ausgetauscht 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 zum Schweißgut in jede gewünschte Lage gebracht werden kann. In den vorderen Enden der beiden Arme befinden sich die axial genau übereinander stehenden, kupfernen Spitzelektroden. Sie sind, rascher und bequemer Auswechslung halber, meist mit normalem Morsekonus versehen und werden, wie später gezeigt werden soll, in für mannigfache Verwendungszwecke geeigneten Formen ausgebildet.

Die Ausladung der Arme, besonders die Beschaffenheit des Unterarms, richtet sich nach der Form und Sperrigkeit des Schweißgutes. So kommen auch

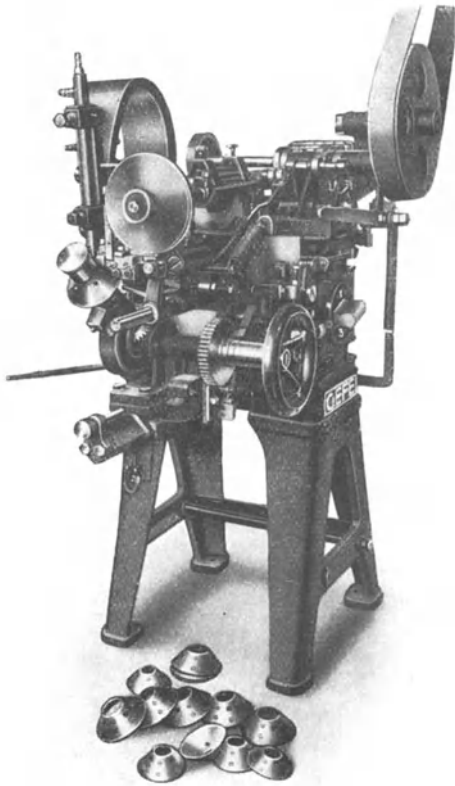


Abb. 53. Sonder-Punktschweißmaschine für Blechtrichter.

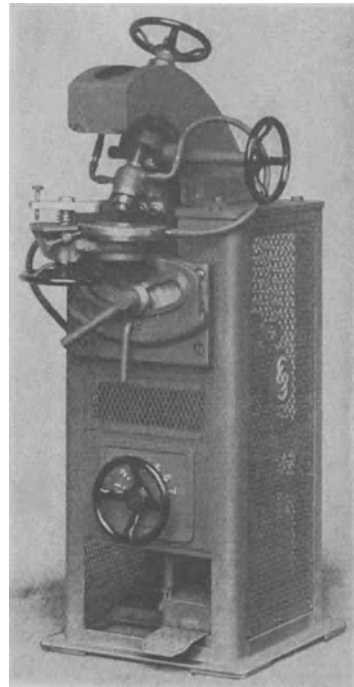


Abb. 54. Edelstahlaufschweißmaschine.

gekröpfte, winklige oder sonstwie gebogene Arme vor, und 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 mittels Handrad betriebenes, auf dem Segment laufenden Ritzel.

Sondermaschinen. Naturgemäß sind auch Anstrengungen gemacht worden, Punktschweißmaschinen für Sonderzwecke selbsttätig arbeitend einzurichten. Man hat hierbei schon wesentliche Fortschritte gemacht, und es ist eine Anzahl von vollkommenen Konstruktionen auf den Markt gelangt, welche die Großzügigkeit dieses Maschinenbauzweigs und dessen Ausbaufähigkeit vor Augen führen. Als Beispiel für viele soll eine Maschine (Abb. 53) gezeigt werden, die kürzlich herausgebracht

wurde und die dazu dient, sehr dünne Distanzplättchen auf für Zentrifugen bestimmte Blechtrichter (Scheidetrichter) aufzuschweißen. Im Vordergrund des Bildes sind einige dieser Blechtrichter mit aufgeschweißten Plättchen zu erkennen. Die Maschine arbeitet ganz automatisch. Die Arbeitsgänge sind kurz folgende: Transport des Plättchens auf die richtige Stelle des Trichters, Festspannen des Plättchens, Erhitzung, Schweißdruck, Freigabe des Trichters, dessen Drehung um eine gewünschte Anzahl Grade, wieder Transport des Plättchens usw. Die mit dieser Maschine erzielte Ersparnis und Arbeitsgenauigkeit wiegt den Anschaffungspreis sehr bald auf.

Eine große Rolle spielt auch das Schweißen hochwertiger Stähle, wobei es zwei verschiedene Möglichkeiten der Arbeitsdurchführung gibt. Es handelt sich

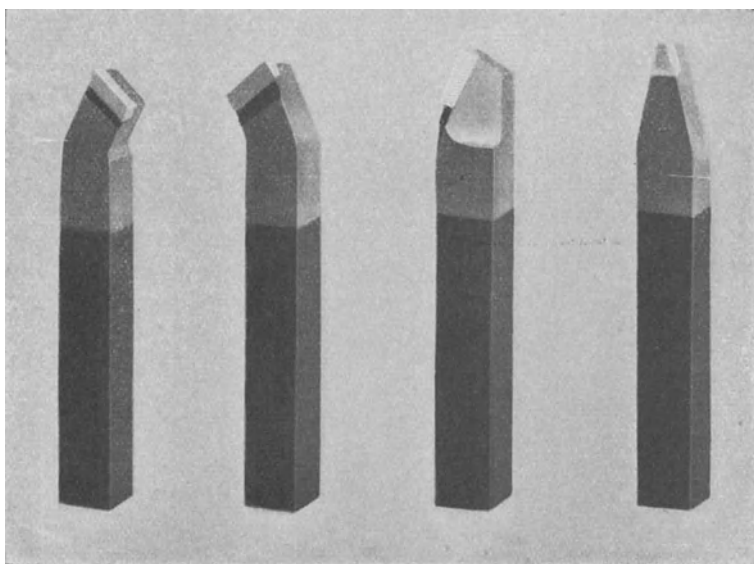


Abb. 55. Stähle mit aufgeschweißten Plättchen.

dabei um das Aufschweißen von Edelstahl- oder Schnelldrehstahlplättchen auf Werkzeugstähle geringerer Güte. Die Aufschweißung geschieht entweder nach dem Stumpfschweiß- oder Abschmelzverfahren (S. 50) oder nach dem Punktierverfahren. Das letztere hat sich neuerdings hervorragend eingeführt, und es sind hierfür sinnreiche Sondermaschinen, sog. Edelstahlaufschweißmaschinen, gebaut worden, die ein Aufschweißen von Stahlplättchen auf Dreh- und Hobelstähle in jedem beliebigen Winkel gestatten. Abb. 54 zeigt eine solche Maschine, bei der die obere Elektrode in einer Bogenführung gelagert ist und sich in dem Führungsbock nach vorn und hinten neigen und durch ein Handrad festklemmen läßt. Unabhängig davon läßt sich der Elektrodendruck durch ein seitliches Handrad getrennt einstellen. Die untere Elektrode ist zur Aufnahme des Stahlschafte als schwenkbarer Aufspannbock ausgebildet und sitzt auf einer Aufspannplatte, die sich in einer Bogenführung verstellen läßt. Der Stahl wird durch eine links sichtbare Zwinke eingespannt. Auf diese Weise können die verschiedenartigsten Formen von Stahlschäften befestigt werden. Abb. 55 zeigt einige auf diese Weise geschweißte Schnelldrehstähle. — Man wird künftighin dem Bestreben, sich von

der Geschicklichkeit und Gewissenhaftigkeit des Arbeiters durch zweckentsprechenden Ausbau der Maschinen unabhängig zu machen, zweifellos auch in der Schweißmaschinenindustrie gebührende Beachtung schenken müssen, um gerade dem Punktschweißen weitgehendste Anwendung zu ermöglichen.

3. Die Technik der Punktschweißung.

Anwendungsgebiete. Die Punktschweißung läßt sich außerordentlich vielseitig anwenden. Ihr Arbeitsgebiet ist unübersehbar. Um nur einige Beispiele heraus-

zugreifen, 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 vor allem auch in der Emailierwarenindustrie zur

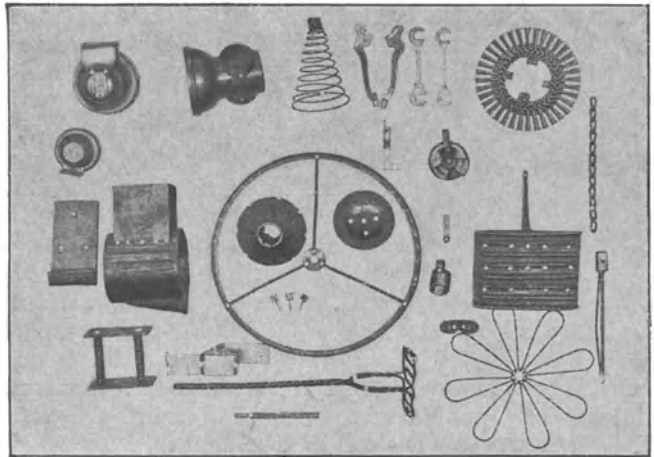


Abb. 56. Elektrische Punktschweißungen.



Abb. 57.
Nietloser
Gittermast.

Befestigung von Henkeln, Griffen und Zotten an Geschirr aller Art. Ferner bildet einen wichtigen Anwendungszweig die Verschweißung leichter Eisenkonstruktionsteile (Abb. 57). Einige einfache Anwendungsbeispiele sind in den Abb. 56÷58 zusammengestellt; die einzelnen Schweißpunkte sind deutlich sichtbar gemacht. Interessant ist insbesondere der nietlose Gittermast (Abb. 57). Abb. 58 zeigt ein nach dem Punktschweißverfahren vereinigtes Stück Winkel- und Flacheisen in etwas größerem Maßstabe. Einige andere Anwendungsfälle kommen noch bei der Besprechung der Elektroden zur Sprache.

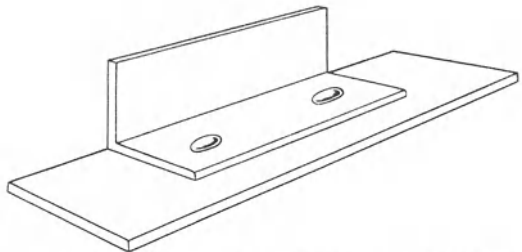


Abb. 58. Punktschweißung von Winkel- und Flacheisen.

Schweißbare Werkstoffstärken. Dank der ausreichenden Regulierbarkeit besteht eine Begrenzung nach unten kaum, und es können noch die dünnsten Bleche 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 30 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 Einzelstärke, 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 Gesamtstärke nur selten hinausgehen, um so weniger als die Druckfestigkeit des als Elektrodenmaterials verwendeten Kupfers nicht ausreicht, um den immerhin bedeutenden Schweißdruck ohne Schäden auszuhalten. Zudem treten durch die starke Erhitzung der unter Umständen in der Mitte großflächiger Bleche gelegenen Schweißpunkte erhebliche Spannungserscheinungen auf, die zu einer Verziehung der Bleche führen können und deshalb als wichtiges Moment für die obere Grenze der Anwendbarkeit der Punktschweißung mitbestimmend sind.

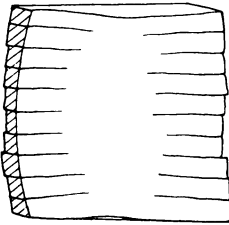


Abb. 59. Punktieren eines Blechbündels.

Man könnte nun glauben, die Punktschweißung erstreckte sich nur auf die Verbindung zweier Metalle gleicher Stärke. Das trifft jedoch nicht zu, wie einige Abbildungen noch zeigen werden. Es können sowohl zwei verschieden starke, wie ein ganzes Bündel Bleche punktiert werden, wenn nur die Wahl der Elektroden richtig getroffen wird. Darum können auch ohne Schwierigkeit dünne Bleche auf Winkel-, Flach-, Quadrat- oder anderes Eisen aufpunktiert werden. Ein besonderer Fall des Punktierens eines Blechbündels ist in Abb. 59 skizziert. Es handelt sich um den Schnitt durch einen punktgeschweißten Rotorzahn, der aus zehn je 3,2 mm starken Lamellen zusammengesetzt ist.

Schweißdauer. Durchschnittswerte für Schweißdauer, Leistungsaufnahme der Maschinen für verschiedene Blechstärken, sowie der Bedarf an Kühlwasser für die Elektroden sind in Zahlentafel 6 zusammengestellt. Die angegebene

Zahlentafel 6.

Höchste Leistungsaufnahme kVA	Schweißbare Gesamtblechstärke (Eisen) mm	Zeitdauer für einen Schweißpunkt s	Mittlerer Kühlwasserverbrauch l·h	Höchste Leistungsaufnahme kVA	Schweißbare Gesamtblechstärke (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

Schweißdauer dürfte die praktisch erreichbaren Mittelwerte darstellen. Das geringste Zeitmaß für die Herstellung eines Schweißpunkts (bei Blechen unter 1 mm) kann mit $\frac{3}{10}$ s bewertet werden. Roh gerechnet kann man annehmen, daß — normale Stromstärke vorausgesetzt — je 1 mm Gesamtblechstärke höchstens 1 s Schweißzeit erfordert, d. h. 2 Bleche von je 4 mm Stärke benötigen ~8 s. Im übrigen hängt die Schweißdauer von der Beschaffenheit des Blechmaterials ab; dekapierete (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.

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 wurden. Dagegen ist die Form des Schweißgegenstands für die Schweißdauer ausschlaggebend. Die in Zahlentafel 6 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% höheren Zeitaufwand (s. Abb. 40 und zugehörigen Text).

Als Höchstzahl der in achtstündiger Arbeitsschicht an dünnen Blechen ausführbaren Schweißpunkte können 15000 angenommen werden, ein Beweis für die Billigkeit des Punktierens im Verhältnis zur Nietung.

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 feste 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 zu punktierende Blech aus schlechtem schweißbaren 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, einen Weg zu finden, auf welchem menschliche Schwächen ausgeschaltet und maschinelle Mittel zur Schweißdauerbestimmung benutzt werden. 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 Apparate, selbsttätige Schalter, 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 Blechstärke stets dasselbe (konstant) sein muß, und man hat heute brauchbare Automatschalter auf dem Markte, die dieser Forderung genügen. Jedenfalls hat man auch hier den richtigen Weg beschritten, der die Punktschweißung bald ihrer Vervollkommenung ein großes Stück näherbringen wird.

Leistungsaufnahme. Sie richtet sich selbstverständlich nach der Leistung der Maschine und beträgt, wie aus Zahlentafel 6 ersichtlich ist, normalerweise zwischen 2 und 50 kVA. Die tabellarischen Werte 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%) erforderlich wird, anderseits 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 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.

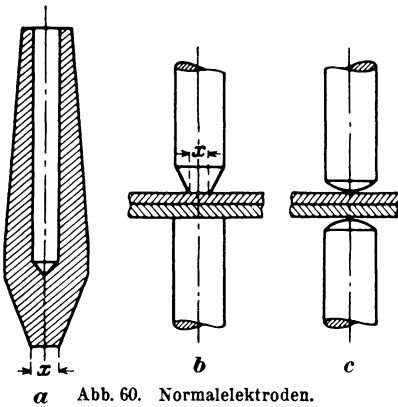


Abb. 60. Normalelektroden.

Welche Leistungen sind mit einer Kilowattstunde (1 kWh) Stromverbrauch erreichbar? Man kann annehmen, daß 750 Schweißpunkte an einer Gesamtblechdicke von 2 mm (2·1 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 (2·4 mm Blech) sind mit gleichem Stromverbrauch noch etwa 80 Punkte ausführbar.

Elektrodenformen. Nach der Art des Schweißguts und nach der Lage der Schweißpunkte ist die Wahl der Elektrodenform zu treffen. Diese Formen sind außerordentlich mannigfaltig und Fall zu Fall zu bestimmen. Eine Anzahl Skizzen sollen die Formenverschiedenheit der Elektroden und ihre Verwendbarkeit vor Augen führen. Zunächst sei noch vorausgeschickt, daß nach unseren früheren

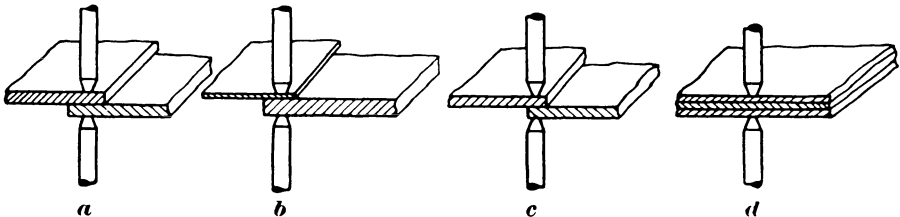


Abb. 61. Anwendung stiftförmiger Elektroden.

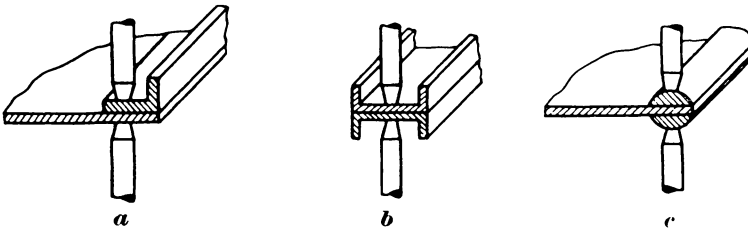


Abb. 62. Punktschweißung bei Profileisen.

Erwägungen die Elektroden, soweit ihre Abmessungen, vor allem ihr Durchmesser, es zuläßt, von Kühlwasser durchflossene Hohlkörper sind. Kleine Elektroden, die eine Ausbohrung nicht gestatten und daher massiv belassen werden müssen (Abb. 67a), kühlt man mittelbar dadurch, daß die sie aufnehmenden Arme ausreichend von Wasser durchflossen werden. Gründliche Kühlung der Elektroden ist für deren Lebensdauer ausschlaggebend.

Die Normalelektrode hat die Beschaffenheit der Abb. 60a. Sie ist am unteren Ende kegelstumpfförmig verjüngt und trägt oben den Morsekonus, der

zwecks rascher Auswechslung lediglich in den Elektrodenhalter der Maschine hineingesteckt wird. Bei Ausführung des ersten Schweißpunkts zieht sich der Konus von selbst fest an. Der Durchmesser der Kegelfläche ist abhängig von der Art des Werkstoffs und dessen Stärke. So kann man für Abb. 60*b* den Durchmesser $x = 3$ mm setzen für Eisen- oder Stahlblech von $0,3 \div 0,8$ mm Stärke, $x = 4,5$ mm bei $0,8 \div 1,3$ mm Blech und $x = 6$ mm bei $1,6 \div 2$ mm Blech. Über diese Stärken hinausgehend empfiehlt sich die Anwendung zweier zugespitzter Elektroden nach Art der Abb. 61. 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. 61*a* bis zu 61*d* und 62*a*–*c* hervor, und zwar ist die Schweißung zweier gleich starker, üblich überlappter Bleche in Abb. 61*a*, die zweier ungleich starker Bleche in Abb. 61*b* skizziert, während *c* die Punktierung bei geringer Überlappung zweier Bleche darstellt. Das Punktieren eines Blechpakets (mehr als zwei Bleche aufeinander) ist in Abb. 61*d* angedeutet. Einige praktisch wichtige, häufig wiederkehrende Fälle des Punktierens von Profileisen auf Blech oder Stabeisen unter sich sind in Abb. 62*a*–*c* veranschaulicht.

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. 63 und 64 dargestellt. In Abb. 63*a*

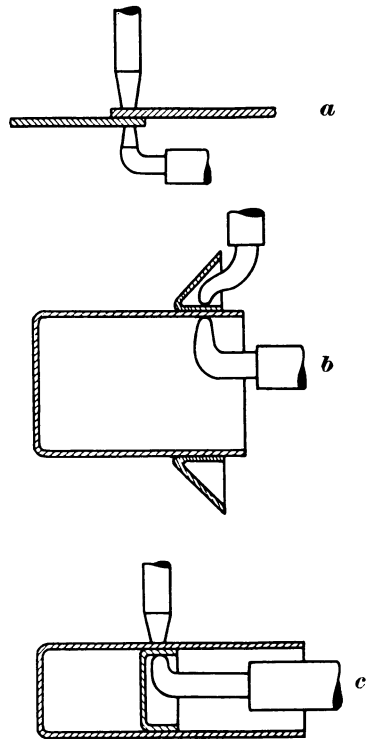


Abb. 63. Gekröpfte Elektroden.



Abb. 65. Elektroden für Rundstäbe.

und *c* sind nur die unteren, in Abb. 63*b* und 64*a* beide Elektroden gekröpft. In Abb. 64*b* ist nur die obere Elektrode winklig, während die untere gerade angeordnet ist. Einen Sonderfall zeigt Abb. 65, wobei es sich um das Punktieren von Rundeisenstäben oder Ringen handelt und beide Elektroden mit einer diese Profile aufnehmenden Hohlkehle ausgestattet sind. Das Anschweißen zylindrischer oder ähnlicher Stifte oder Bolzen an Bleche erfordert eine besondere Ausbildung der unteren Elektrode, wie dies in Abb. 66

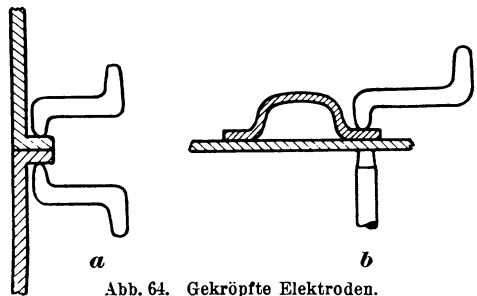


Abb. 64. Gekröpfte Elektroden.

skizziert ist. Die Kegelstumpffläche der oberen Elektrode entspricht etwa dem Stiftdurchmesser, während die untere Elektrode hohl gehalten ist und den Stift

aufzunehmen hat. Das Maß a , um welches die obere Fläche des Stifts die Elektrode überragt, beträgt 1–2 mm. Auf ähnliche Weise werden zur Verstärkung dienende Butzen an Blechkonstruktionen angeschweißt.

Schließlich ist in Abb. 67 noch ein Sonderfall der Verlängerung des unteren Auslegerarmes wiedergegeben. Die eigentliche, auswechselbare Elektrode a wird in das Verlängerungsstück c , das bei d den Nippel für

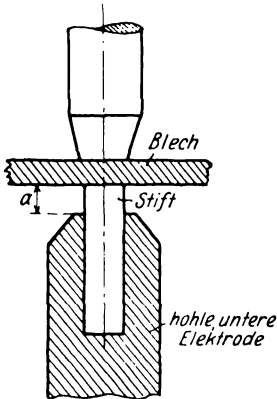


Abb. 66. Elektroden für Stiftanschweißung.

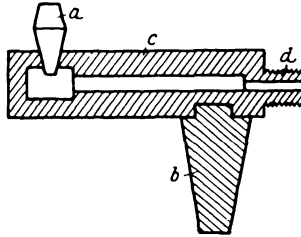


Abb. 67. Unterarmverlängerung mit auswechselbaren Elektroden.

die Kühlwasserzuführung trägt, hineingesteckt. 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. Da nach jeder Vollendung eines Schweißpunkts die Stromausschaltvorrichtung der Maschine in Tätigkeit tritt, ist, trotz geringster Lichtbogenwirkung, eine Kraterbildung an der Berührungsstelle der beiden Pole nicht dauernd zu verhüten und das um so weniger, als Zunderteilchen die Elektroden spitzen verunreinigen und an diesen fest anhaften. Außerdem werden in der Abnutzung weit fortgeschrittene Elektroden rau, rissig, verschmort und von Kupferoxydul umgeben, was sich an der schwarzen Färbung des Kupfermaterials 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. Es ist überdies ein vielfach und immer wieder anzutreffender Fehler, die Elektrodenflächen, die durch den fortwährenden Stauchdruck naturgemäß vergrößert werden, zu groß zu belassen. Nach unseren bisherigen Betrachtungen und erfahrungsgemäß soll bei normalen Arbeiten die obere Elektrodenfläche zwischen 3 und 6 mm Durchmesser haben, während man die Gegenelektrode etwas größer wählt.

Der Schweißdruck. Er richtet sich außer nach der Stärke 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 einen höheren Druck als reine. Im Gegensatz hierzu kann beim Schweißen gut leitender Metalle, wie Kupfer, Messing, Aluminium, 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 Schweißdrucks ist besonderes Augenmerk zuzuwenden. Eine Erhöhung des Druckes über das tatsächlich benötigte Maß hinaus ist nicht allein zwecklos, sondern auch schädlich. 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 Strom 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.

Auch bei richtig geregelter Schweißdruck hinterläßt jede Punktierung auf beiden Seiten des Schweißguts eine Vertiefung (Eindruck), deren Tiefe von der Blechstärke, 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. 68a) und die Gegenelektrodenfläche verkleinert (Abb. 68b, s. auch Abb. 11 links).

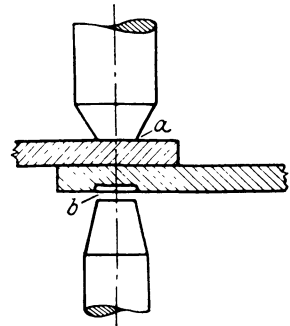


Abb. 68. Elektroden für einseitige Schweißindrücke.

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) Materials führt sehr häufig zu Störungen, da gerade Zunder und Rost als Isolationsschicht wirken und dem Stromdurchgang an der Materialoberfläche Widerstand entgegensetzen. Man wird aus diesem Grunde guttun, derartige Bleche vor dem Punktieren mittels Säure zu beizen; andernfalls werden infolge der an den Punkten auftretenden Kraterbildung nicht selten ganze Materialteilchen herausgebrannt und völlig unsaubere, minderwertige Verbindungen hergestellt. Zur Entzunderung kann auch ein Sandstrahlgebläse dienen.

Es ist 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 verharran 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 Fußhebeldruck), beziehentlich zwischen diesem und der Stromunterbrechung, selbsttätig eine Pause einsetzt.

Beim Aufbringen des Schweißguts 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. 60b). 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 Materials, wie dies beim Nieten (Nietlöcher) zutrifft, stattfindet. 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 Schweißstelle 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 in Frage und eignet sich, wie alle übrigen Widerstandsschweißverfahren, hauptsächlich für Eisen. Nach dem neueren Rollenschrittverfahren (einer Sonderart der Nahtschweißung) lassen sich außer dekapierten und nicht hochwertigen Stahlblechen auch leicht verzundertes und gewöhnliches Schwarzblech sowie Weißblech (verzinntes Eisenblech) vereinigen. Das Verfahren ermöglicht auch die Schweißung von Messingblechen in besonders zufriedenstellender Weise. Die übrigen Metalle sind nicht nahtschweißbar. Versuche, Kupferblechnähte zu schweißen, sind bisher von geringem Erfolge gewesen.

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 geschlossene Naht herstellen, wie dies in Abb. 69 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. Eine solche Naht hat den Nachteil, nie ausreichend dicht zu sein; sie wird außerdem recht teuer. Da

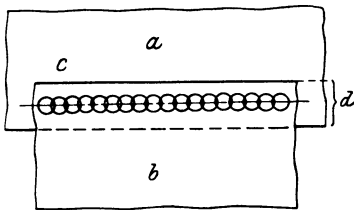


Abb. 69. Dichtes Aneinanderreihen von Schweißpunkten.

lag nun der Gedanke nahe, die Stiftelektroden der Punktiermaschine gegen scheibenförmige oder Rollenelektroden auszutauschen und zwischen diesen die zu vereinigenden Bleche hindurchzuziehen, womit die Schweißgeschwindigkeit bedeutend erhöht wird.

Schaltung und Stromzuführung. Tatsächlich handelt es sich denn auch bei der Nahtschweißung um eine Rollenelektrodenschweißung, deren Schema aus Abb. 70 zu ersehen ist. An die Stelle der beiden Stiftelektroden der Abb. 50 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 Beschreibung der bisherigen Maschinenarten eine Teilung in elektrische und mechanische Einrichtungen verhält-

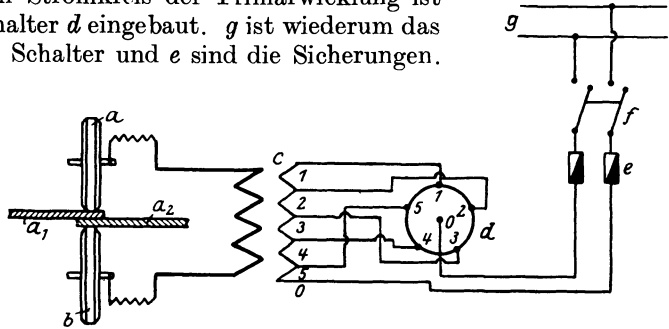


Abb. 70. Schaltung und Stromzuführung bei Nahtschweißmaschinen.

nismäßig einfach erreichen ließ, trifft dies allerdings für die Nahtschweißung nicht zu. 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 heute allgemein bevorzugte Art zu nennen, bei welcher sowohl die Bewegung der Rollen als auch deren Stromführung zeitweise unterbrochen wird.

Die älteste Art der Nahtschweißung (Nr. 1) hat sich nicht gut bewährt. Ihr haften mancherlei Mängel an, auf die kurz eingegangen werden soll. Sie macht vorerst eine fast vollkommen gleichbleibende Spannung notwendig, Spannungsunterschiede von etwa 5 % 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 verzündete Bleche geschweißt werden. Geläufige Bezeichnungen dieser Nahtschweißungsart sind: Maschennaht- oder Pilgerschrittschweißung. Die in bestimmten Grenzen

und Zeitzwischenräumen regelbare Stromunterbrechung wird durch einen Automatschalter besorgt.

Aus diesen beiden Arten hat sich die dritte, heute gebräuchlichste, entwickelt: die Rollenschrittschweißung. Dieses Verfahren stellt keine unterbrochene Bandnaht her wie Verfahren 1 (Abb. 71, Mitte), sondern eine dem zweiten Verfahren ähnliche, deren Aussehen Abb. 71 (oben und unten) zu entnehmen ist. Es reiht die in Abb. 69 verketteten Punkte noch enger zusammen, so daß eine schuppenartige Naht entsteht, ähnlich der oberen und unteren Naht

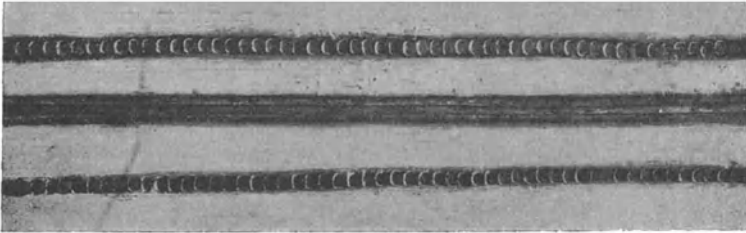


Abb. 71. Aussehen von mit Rollenelektroden geschweißten Nähten.

in Abb. 71. Der Vorteil der Schrittschweißung liegt darin, daß leicht verzünderte und gewöhnliche Bleche bis zu 10 mm Gesamtdicke betriebsmäßig geschweißt werden können, ohne daß sich die Schweißnaht durch hohe Materialspannungen auszeichnet. Das Wesen der Schrittschweißung ist: die Rollenelektroden während der eigentlichen Schweißung unter Druck ruhen zu lassen und ihre Bewegung

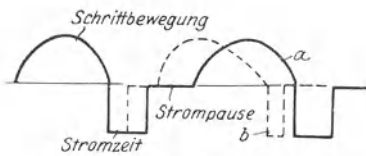


Abb. 72. Arbeitsweise der Rollenschrittschweißung.

bis zum nächsten Schweißpunkt erst fortzusetzen, nachdem der vorausgegangene vollendet ist. Während der Bewegung der Rollen bleibt der Strom ausgeschaltet. Diese Arbeitsweise geht aus der Abb. 72 hervor, und zwar zeigt die Kurve *a* ein Arbeiten mit langer, die punktierte Kurve *b* ein Arbeiten mit kurzer Stromschlußzeit. Die wagerechten 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 Regulierung 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-, Spezial- und Universalnahtschweißmaschinen. Eine Sondergruppe 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 meist parallel zur Stirnnutenplatte der Maschine, d. h. rechtwinklig zum Elektrodenarm. Umgekehrt ist es bei Längsnahtmaschinen, wo die Elektroden meist 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

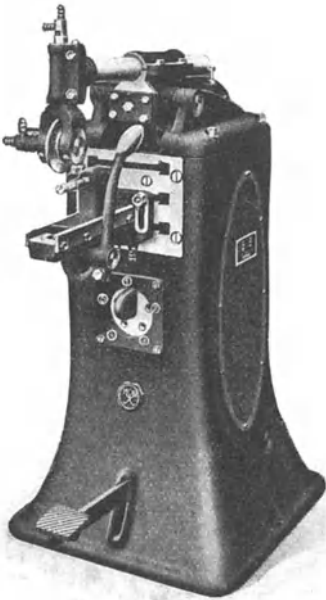


Abb. 73. Längsnahtmaschine
für Blechzylinderschweißung.



Abb. 74. Längsnahtmaschine
mit rechtwinkliger Elektrodenstellung.

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 wagerechten Kopfplatte der Maschine mit dieser parallel läuft.

Verschiedene Nahtschweißmaschinen. Abb. 73 gibt eine einfache Längsnahtmaschine für Sonderzwecke wieder. Sie dient zur Schweißung von Blechzylindern gleicher Länge und gleichen Durchmessers. Die obere, als Rolle ausgebildete Elektrode läuft leer; der Blechkörper wird in die untere Dornelektrode eingespannt und auf einem durch Handhebel gesteuerten Schlitten unter der Rolle vorbeigeführt. Der Dorn hat den Durchmesser der lichten Weite des jeweiligen Schweißstücks. Der Fußhebel besorgt die Auf- und Abbewegung der Rolle, d. h. des oberen Armes.

Die in Abb. 74 veranschaulichte Längsnahtmaschine unterscheidet sich von der vorhergehenden vor allem durch die rechtwinklige Stellung der Elektroden. Auch hier ist die untere Elektrode als Schlitten ausgebildet. Die

Maschine eignet sich zur Herstellung röhrenförmiger Gegenstände bis zu 500 mm Länge und bis zu 60 mm Durchmesser. Das Werkstück wird mittels Klemmbacken eingespannt und durch Handradbetätigung unter der Rolle vorbeigeführt. Um

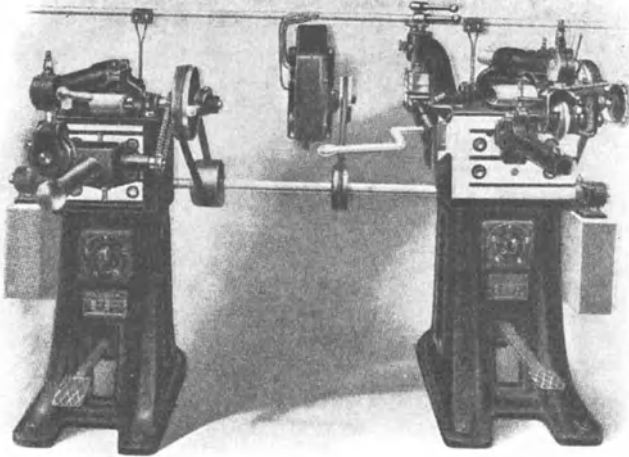


Abb. 75. Längsnahtmaschine mit Motorantrieb und Stromunterbrechung.

eine stoßfreie, gleichförmige Bewegung zu erreichen, erfolgt der Antrieb über ein Schneckenradgetriebe.

Wir hatten es bisher bei den beiden Längsnahtmaschinen mit von Hand betätigten einfachen Nahtschweißmaschinen zu tun, also mit Maschinen, die mit



Abb. 76. Rollenschritt-Nahtschweißmaschine.

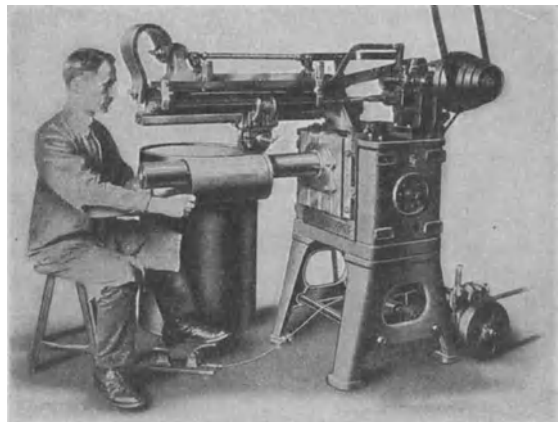


Abb. 77. Rollenschritt-Nahtschweißmaschine mit Wanderrolle.

gleichmäßig bewegter Rolle und stets eingeschaltetem Strom arbeiten. Das nächste Bild (Abb. 75) stellt ein Paar motorisch betriebener Maschinen dar, die nach der zweiten Gruppe unserer Unterteilung arbeiten, d. h. mit dauernd laufender

Rolle und unterbrochenem Strom. Die linke Maschine in Abb. 75 ist eine Rund- oder Bodennaht-, die rechte eine Längsnahtmaschine. Die Einrichtung eignet sich insonderheit für die Schweißung von Konservendosen, wovon ~ 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 Bildes ist ein ebenfalls von der gleichen Welle angetriebener Automatschalter angeordnet, dem die Aufgabe der zeitweiligen Stromunterbrechung zufällt.

Das nächste Bild (Abb. 76) führt uns eine Rollenschrittmachine für Längsnähte, also eine solche der Gruppe 3 unserer Unterteilung vor Augen. Die zeitlich gegeneinander verschobenen Stromfluß- und Rollenbewegungsunterbrechungen bedingen motorischen Antrieb der oberen Elektrode, deren Weiterbewegung von Schweißstelle zu Schweißstelle unter Ausschaltung des Stromes vor sich geht. Ist Schweißhitze erreicht, so verweilt die Rolle einen Augenblick ruhend auf der Schweißstelle und läuft dann um ein verstellbares Stück weiter zum nächsten Schweißpunkt. Die unterbrochene Bewegung der Rolle wird durch auf der Antriebswelle sitzende Nocken oder durch ein Exzenter bewerkstelligt, dessen Gestänge in unserer Abbildung im Vordergrund des oberen Elektrodenarms erkennbar ist. Auf derselben Welle sitzt versetzt auch der Stromunterbrecher, ein einfacher Automatschalter. Die Maschine wird für eine Leistungsaufnahme von $8\div 30$ kVA gebaut und dient hauptsächlich der Schweißung von Längsnähten an Eimern, Kannen u. dgl.

Die zur Schweißung geradliniger Nähte bestimmte automatische Rollenschrittmachine (Abb. 77) unterscheidet sich von den übrigen dadurch, daß der zylindrische, schienenförmige Unterarm, welcher auf seine ganze Länge als Elektrode dient, feststeht. Das auf ihn aufgebrachte Werkstück ändert seine Lage auch während der Schweißung

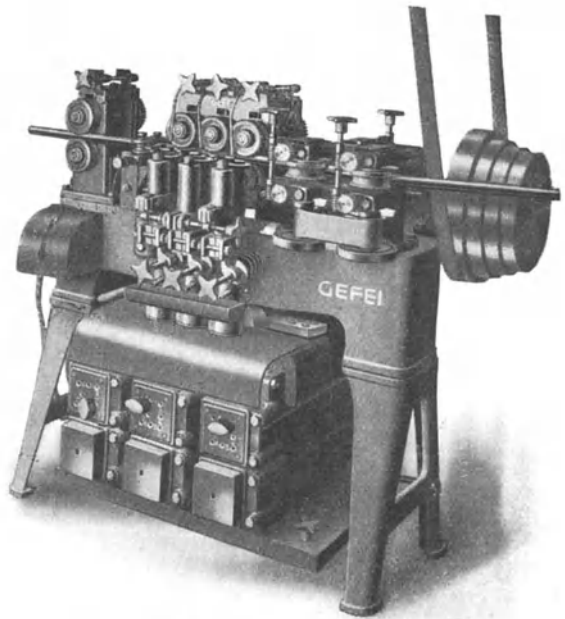


Abb. 78. Rohrnahtschweißmaschine.



Abb. 79. Hohlkörperschweißmaschine.

nicht, vielmehr läuft das obere Rollenlager, in einem Schlitten geführt an einer Spindel schrittweise entlang der Naht (Wanderrollenarmatur). Nach Zurücklegung des jeweilig einstellbaren Schweißwegs kehrt die Rolle ohne Schweißwirkung selbsttätig in ihre Ausgangsstellung mit beschleunigter Geschwindigkeit zurück.

In der folgenden Abb. 78 wird eine Rohrschweißmaschine vor Augen geführt; sie dient zur Schweißung von Längsnähten an Rohren von 10 bis 45 mm Durchmesser nach dem Rollenschrittverfahren und leistet 500–1000 m in achtstündiger Schicht.

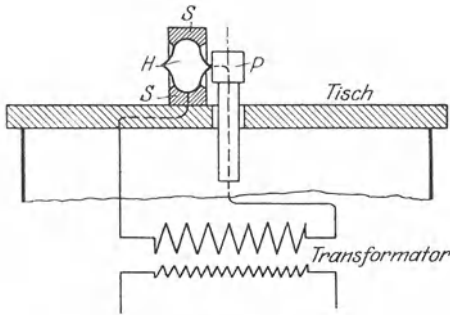


Abb. 80. Schema der Hohlkörperschweißung.

Endlich wird als letzter Maschinentyp in Abb. 79 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. 80 gibt noch das Schema der Maschine wieder. Die zu schweißenden Hälften (H) werden in besondere Klemmvorrichtungen (S) einge-

spannt und freihändig an der sich drehenden Rollenelektrode (P), die oben in der Mitte des Maschinentisches sitzt und auch in Abb. 79 sichtbar ist, entlang geführt. Die Verschweißung der Ränder erfolgt entweder durch Hinzufügung eines Drahtes oder, was meist der Fall ist, durch die Ränder des Preß- oder Stanzgrats selbst.

3. Die Technik der Nahtschweißung.

Anwendungsgebiete. Die Nahtschweißung findet ausschließlich für die Vereinigung von Blechen Anwendung; sie ersetzt in einer Anzahl von Fällen das

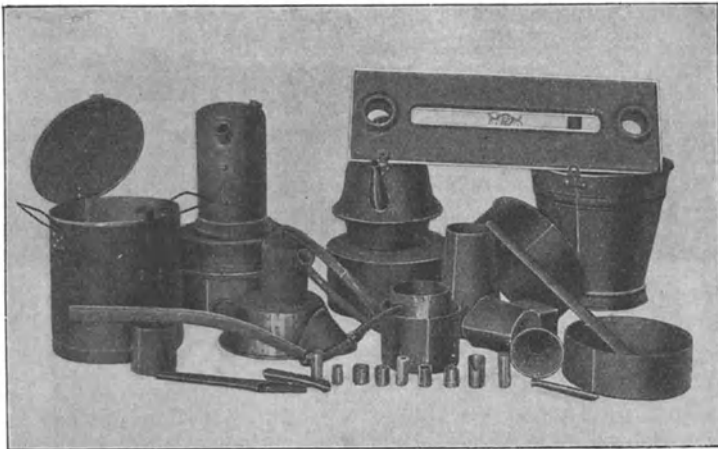


Abb. 81. Beispiele von Nahtschweißungen.

Falzen, Nieten, Hart- und Weichlöten sowie das Autogenschweißen. Sie dient hauptsächlich zur Herstellung von Blechemballagen, Konservendosen aus Weißblech, Emaillewaren, Benzin-, Öl- und sonstigen Flüssigkeitsbehältern; zur

Anfertigung von Eisenfässern, Eimern, Kannen, Rohren, Radiatoren, Transformatorkästen, Eiszellen, Kotflügeln sowie Blecharmaturen aller Art. Einen kleinen Überblick über die Verschiedenartigkeit nahtschweißbarer Gegenstände gewährt die in Abb. 81 zusammengestellte Gruppe.

Schweißbare Werkstoffstärken. 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 Gesamtstärke (zwei Bleche von je 2,5 mm). Über 5 mm Gesamtstärke geht man seltener, obwohl nach dem Rollenschrittverfahren noch eine Gesamtdicke von 10 mm betriebsmäßig schweißbar ist, während für die gewöhnliche Nahtmaschine (Gruppe 1) die Vereinigung zweier Bleche von je 1,5 mm Stärke schon eine besondere Leistung darstellt. Für die Nahtschweißung kommen fast ausschließlich gleich starke Bleche in Frage, doch lassen sich auch verschieden starke Bleche schweißen, wenn der Stärkenunterschied nicht mehr als 50% ausmacht.

Schweißdauer. Diese schwankt bei den verschiedenen Maschinenarten um bis zu 50% und erreicht theoretisch bei den Maschinen der Gruppe 1 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 Dichtheit 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 Blechstärken ist aus Zahlentafel 7 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 15 mm in der Sekunde, was der bedeutenden stündlichen Leistung von etwa 50 m entspricht. Die Werte beziehen sich auf ununterbrochenes Schweißen ohne Berücksichtigung der durch das Einspannen, Heften usw. notwendigen Arbeitspausen, wodurch die in der Zahlentafel 7 aufgeführten Leistungen (Arbeitsgeschwindigkeiten) um im Mittel 30% verringert werden.

Zahlentafel 7.

Höchste Leistungsaufnahme kVA	Schweißbare Gesamtblechstärke (Eisenblech) mm	Normale Schweißdauer für 1 m Naht s	Höchste Leistungsaufnahme kVA	Schweißbare Gesamtblechstärke (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 Zahlentafel 7 ergibt, zwischen 6 und 30 kVA, je nach Maschinengröße, wobei Elektrodenarme von normaler Länge vorausgesetzt sind. Aus Zahlentafel 7 läßt sich ferner die Leistung in Meter Naht für 1 kWh ermitteln. Mit 1 kWh lassen sich rund 25 m (20÷30 m) Schweißnaht an 1 mm Gesamtblechstärke oder 4 m (3÷5 m) Naht an 3 mm Gesamtblechstärke 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. 75 und 76), oder die untere Elektrode ist von zylindrischer (Abb. 77), dornförmiger

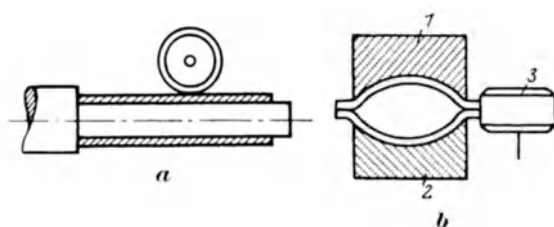


Abb. 82. Elektrodenformen.

elektrode von kleinem Durchmesser zur Anwendung (Abb. 82b und 80), während die Gegenelektrode durch ein geteiltes Elektrodenfutter (Abb. 82b, 1 und 2) gebil-

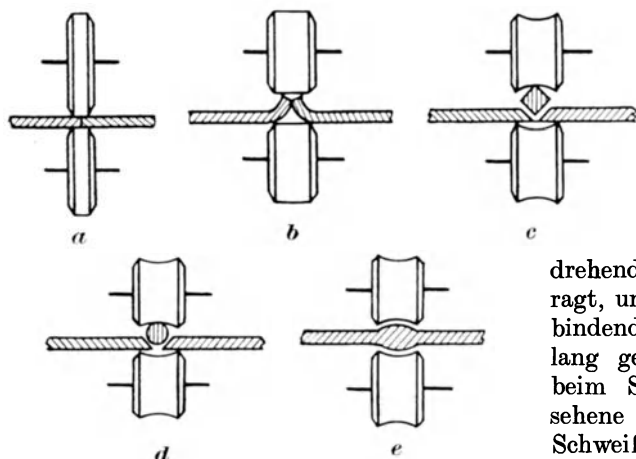


Abb. 83. Elektrodenform und Nahtausbildung.

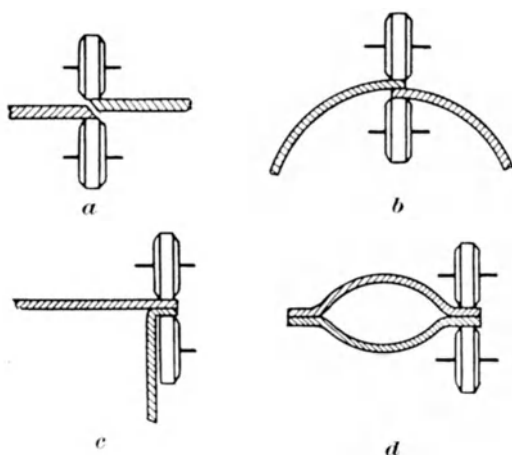


Abb. 84. Elektrodenform und Nahtausbildung.

troden gleicher Form sind bei überlappter Schweißung in Abb. 84c und d dargestellt, wobei in c die untere Rolle einseitig gelagert ist. Um die Naht zu ver-

(Abb. 73) oder prismatischer Gestalt (Abb. 74), je nach dem Gegenstand, der die eine oder andere Einrichtung vorteilhafter erscheinen läßt. Abb. 82 zeigt das Schema der Anordnung der Rollenelektrode zur zylindrischen Gegenelektrode.

Beim Schweißen von Hohlkörpern kommt nur eine Rollen-

elektrode von kleinem Durchmesser zur Anwendung (Abb. 82b und 80), während die Gegenelektrode durch ein geteiltes Elektrodenfutter (Abb. 82b, 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. 80), 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 erhoben werden.

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. 84b sehen wir die normale Nahtschweißung überlappter Bleche. Die Rollen sind ähnlich beiderseits konisch abgeschrägten Scheiben mit schmaler zylindrischer Lauffläche. Elek-

stärken 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. 83e. Dieses Arbeitsverfahren, das nur für Bleche über 3 mm anwendbar ist, hat verschiedene Nachteile und ergibt technische Schwierigkeiten. Die Arbeitsweise Abb. 84a, die Bleche schräg versetzt aneinander zu stoßen, ist ebenfalls weniger gebräuchlich. Dagegen ist die Arbeitsweise Abb. 83b mehr in Anwendung und die der Abb. 83a, die eigentliche Stumpfschweißung, wird angestrebt. Letztere ist nach dem Rollenschrittverfahren bei dünnen Blechen schon jetzt durchführbar, doch ist die Festigkeit der Naht im Verhältnis zur Überlappung zu gering. Aus diesem Grunde wird doch die überlappte Naht, von der noch später die Rede ist, zu bevorzugen sein.

Ausführung von Nahtschweißungen. Eine gute Nahtschweißung muß jede Nachbearbeitung, wie Drücken, Poltern, Ziehen, Querkantung usw., aushalten, ohne sich auch nur kurze Strecken lang aus ihrem Verbande 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.

Ein weiteres wichtiges Moment ist die Beschaffenheit der Blechoberfläche, ein Umstand, durch den anfänglich der Erfolg der Nahtschweißung in Frage gestellt wurde. Die Bleche müssen sehr rein, insbesondere aber zunderfrei sein, und es genügt nicht immer, wie beim Punktieren, 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 zweiten Schweißen 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 Rollenschrittschweißung, 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 ganze Stücke aus der Schweißstelle strichweise herausgehoben werden.

Zusammenfassend kann man sagen: Das bestgeeignetste Nahtschweißverfahren ist das Rollenschrittverfahren. Es erreicht die höchste Grenze der Anwendbarkeit bei geringster Rollenabnutzung, sauberstem Nahtaussehen und hoher Festigkeit. Es ist unter allen Verfahren dasjenige, welches von der Oberflächenbeschaffenheit des Bleches, von Stromschwankungen, Blechverschiedenheiten und ähnlichen Faktoren am wenigsten beeinflusst wird, ein Grund, weshalb nach diesem Verfahren auch stärkere 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. Günstiger liegen die Verhältnisse bei den nach Gruppe 2 unserer Unterteilung betriebenen Maschinen, und schließlich genügt beim Rollenschrittverfahren eine der Blechdicke gleiche Überlappung, die durch den Rollendruck fast restlos entfernt und auf Blechdicke vermindert werden kann. Der Nachteil breit überlappter Nähte macht sich vor-

wiegend bei späterer Nachbearbeitung geltend. Die Naht reißt leichter auf und ist insbesondere beim Emaillieren ein nicht zu unterschätzendes Hindernis (Bläschenbildung).

Wie beim Punktieren ist auch beim Nahtschweißen für das richtige Einbringen des Schweißguts in die Maschine zu sorgen, damit an keiner als der gewünschten Stelle Kontakt und nirgends eine Anschmelzung 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, wie dies meistens zutrifft, es wird das Schweißgut durch die auf einer feststehenden Achse sich drehenden Rollen zwischen diesen und von diesen selbst vorgeschoben.

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

E. Vereinigte Maschinen.

Manchmal ist die Vereinigung verschiedener Widerstandsschweißmaschinen in einem Apparat erwünscht, sei es, um die Anschaffungskosten für eine zweite Maschine zu sparen, sei es, um zusammenhängende Arbeitsgänge auf ein und derselben Maschine durchführen zu können. Aus den mannigfachen Bedürfnissen heraus haben sich hier die verschiedensten Vereinigungen ergeben, die sowohl be-

stimmten Sonderzwecken als auch allgemeinen Zwecken angepaßt sind. Die Arbeitsweise dieser oft mit Universalmaschinen bezeichneten Einrichtungen ist im großen und ganzen die gleiche wie jene der Einzelmaschinen, doch lassen sich besondere Spann- und selbsttätige Schweißvorrichtungen in solchen Fällen nur recht umständlich erreichen.

Am häufigsten begegnet man einer Vereinigung zwischen Punkt- und Stumpfschweißmaschine, weniger oft einer solchen zwischen



Abb. 85. Universalschweißmaschine.

Naht- und Stumpfschweißmaschine. Üblich ist außerdem eine Zusammenfassung zwischen Punkt- und Nahtschweißung. In allen Fällen arbeiten beide Einrichtungen mit demselben Transformator. Eine Vereinigung zwischen Naht- und Stumpfschweißung läßt Abb. 75 erkennen. An der rechten Nahtschweißmaschine ist links seitlich eine kleine Stumpfschweißmaschine angeordnet.

Man ist jedoch noch weiter gegangen und hat Zusammenstellungen zwischen Stumpf-, Punkt- und Wechselstromlichtbogen-Schweißung auf den Markt gebracht, die infolge geringer Anschaffungskosten auch dem kleineren Handwerker die Ausübung verschiedener Schweißverfahren gestatten. So zeigt Abb. 85 eine dreifache Schweißeinrichtung, deren Transformator in geeigneter Weise regelbar und für Lichtbogenschweißung anwendbar ist, ohne daß eine Änderung der Einrichtung notwendig ist. Unser Bild bringt eine solche im Betriebe stehende Universalmaschine als Lichtbogenschweißmaschine.

III. Die Lichtbogenschweißung.

A. Der Lichtbogen und seine Eigenschaften.

Je nach dem Werkstoff der Elektroden ist zunächst zwischen dem Kohlenlichtbogen (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 Kohlengleichstrom- und der Kohlenwechselstromlichtbogen, bzw. der Metallgleichstrom- und der Metallwechselstromlichtbogen.

1. Der Kohlengleichstromlichtbogen.

Der Lichtbogen zwischen Kohlenstiften. Um über die teilweise recht verwickelten Vorgänge und Erscheinungen im Lichtbogen Klarheit zu verschaffen, ist es zweckmäßig, zunächst auf den Lichtbogen einzugehen, wie er zwischen den beiden Kohlenstiften einer gewöhnlichen Bogenlampe hergestellt wird. Werden zwei Kohlenstäbe im Schließungskreis eines elektrischen Stromes miteinander in Verbindung gebracht, so tritt an den Berührungsenden 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. Nach älteren Anschauungen ist das Entstehen des Lichtbogens zwischen zwei Kohlenstäben daraus erklärt worden, daß die Luft bei normaler Temperatur zwar ein guter Isolator ist, im erwärmten Zustande jedoch den Strom verhältnismäßig gut leitet, so daß bei ausreichender Spannung der Widerstand der warmen Luftschicht überwunden werden kann. Seit Bekanntwerden der Elektronentheorie, von der nachher noch die Rede sein wird, läßt sich diese Anschauung noch weitgehend ergänzen.

In der Beleuchtungstechnik ist die ausschließlich erwünschte Leuchtwirkung des Lichtbogens von einer Wärmebildung als unangenehmer Beigabe begleitet. Für die Schweißtechnik liegen die Verhältnisse gerade umgekehrt, d. h. hier wird die Wärme allein benötigt und die ungewöhnliche Helligkeit des Lichtbogens als lästige und stark störende Erscheinung empfunden. Licht und Wärme stehen indessen in so enger Beziehung, daß sie praktisch nie allein auftreten.

Abb. 86 zeigt skizzenhaft das Aussehen des Lichtbogens zwischen zwei Kohlenelektroden, wobei, um einem etwaigen Irrtume vorzubeugen, nochmals betont wird, daß es sich vorderhand immer um Gleichstrombogen handelt. Der Strom fließt immer vom Pluspol (+) zum Minuspol (—). Die Quelle der größten Lichtentwicklung liegt in der weißglühenden, kraterartigen Spitze *a* der positiven (+) Kohle. Ihr allein fallen etwa 85 % der Gesamtlichtfülle zu, während nur 10 % von der ebenfalls weißglühenden Spitze *b* der negativen (—) Kohle und die restlichen 5 % vom Lichtbogen selbst herrühren. Daraus ist zu erkennen, daß der weitaus größte Teil der Lichtentwicklung nicht etwa im Lichtbogen, sondern in der Anode (+ Elektrode) sitzt, was um so eigentümlicher ist, als die Entstehung des Lichtbogens in erster Linie von der scheinbar weniger wichtigen Kathode (— Elektrode) abhängt. Man glaubt durch umfangreiche Versuche einwandfrei festgestellt zu haben, daß zur Zündung und Unterhaltung des Lichtbogens Weißglut der Kathodenspitze unbedingt erforderlich ist; Weißglut der positiven Elektrode allein genügt niemals zur Lichtbogenbildung.

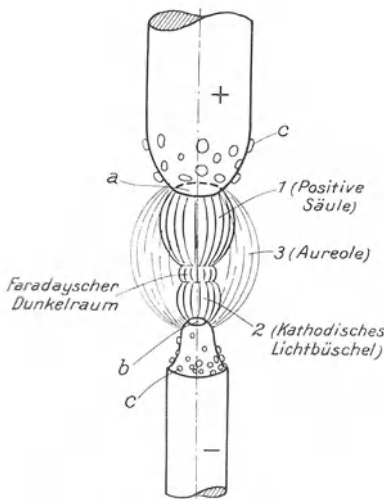


Abb. 86. Gleichstromlichtbogen zwischen zwei Kohlenelektroden.

Das an sich verschiedene Aussehen des Lichtbogens wird unter anderem durch die Art der Gase bedingt, in welchen er verbrennt; 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 Kohlenspitzen vulkanartig entsteigenden und sich vereinigenden Gaskegel 1 und 2 an den Austrittsstellen kraterförmige Vertiefungen hinterlassen. Der Teil 3 in Abb. 86 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 Elektrodenmaterial, 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 folgerichtig 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 Materialverbrauch ist nicht allein ein Maßstab für die aufgewendete Stromstärke, sondern auch für die Umgebung, in welcher die sekundäre Verbrennung des Lichtbogens (woher die Aureole stammt) stattfindet. Der Abbrand des Kohlenmaterials kann wesentlich (bis auf etwa $\frac{1}{20}$) herabgedrückt werden, wenn man den Zutritt des Luftsaauerstoffs zum Lichtbogen verhütet, eine Tatsache, die allerdings für Schweißzwecke keine praktische Verwertung finden kann. Infolge der hohen Temperatur findet neben einer Verdampfung der Kohle ein mechanisches Losreißen von

Kohlenteilchen statt, die zum Teil in der Luft verbrennen, zum Teil im glühenden Zustande geschoßartig auf die gegenpolige Kohlenspitze geschleudert werden, woselbst sie sich allmählich in warzenähnlichen Gebilden (c in Abb. 86) niederlassen. Der Abbrand der positiven Kohle ist etwa doppelt so groß wie jener 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, wie dies in Abb. 86 auch zum Ausdruck kommt. Abb. 87 zeigt die photographische Aufnahme eines zwischen zwei Kohlenelektroden gezogenen Lichtbogens.

Entstehung des Lichtbogens. Um auf die Entstehung des Lichtbogens an sich zurückzukommen, müssen wir uns kurz mit der Elektronentheorie befassen, einer Annahme, deren Einzelheiten alle elektrischen Vorgänge wissenschaftlich erklären. Unter Elektronen (elektrischen Urteilchen) versteht man winzig kleine, unter sich gleich große Atome der Elektrizität, die, wie man annimmt, den Gesamtraum des Äthers, des Trägers physikalischer Erscheinungen, ausfüllen. Die Elektronen haben die Neigung sich mit materiellen 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 Isolationsmaterialien, am schwächsten in Leitern, weshalb in ihnen die Wanderung der Elektrizität leicht von statten geht; bildlich gesprochen: Ein elektrischer Strom ist eine große Schaar 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 infolge selbständiger Strömung (wie man sich auszudrücken pflegt) 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 (elektrisch geladene Teilchen) unterworfen sind. Die ionisierten Gase sind deshalb die eigentlichen Straßen, auf denen sich die Wanderung der Elektrizität vollzieht. Im Innern

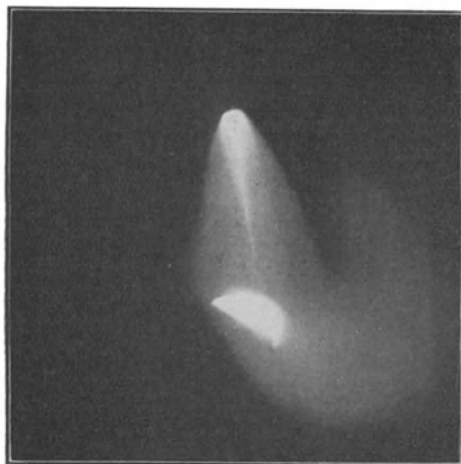


Abb. 87. Lichtbogen zwischen Kohle und Kohle gezogen.

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 Elektrizitäts-transport 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 Materialoberfläche 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, das ist 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. 88 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. 88 mit *a* bezeichnet. Ist der Stromfluß eingeleitet, dann nimmt der zwischen den Elektroden gemessene Spannungsunterschied rasch ab, wobei die Stromstärke entsprechend ansteigt.

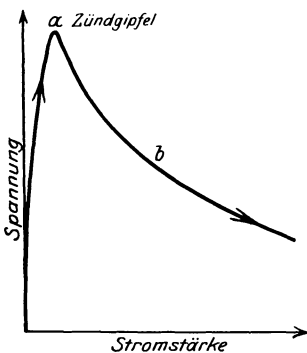


Abb. 88. Charakteristik des Lichtbogens.

Aus diesem Grunde sagt man, der Lichtbogen habe eine fallende Charakteristik (Kurve *b* in Abb. 88), was, nebenbei bemerkt, einer der wichtigsten Um-

stände ist, die den Anschluß mehrerer Lichtbogenschweißstellen an nur einen Generator (Schweißdynamo) verbieten.

Trägt man den Spannungsunterschied zwischen Anode und Kathode in Abhängigkeit von der Stromstärke in ein Koordinatensystem ein, dann ergeben sich die in Abb. 89 dargestellten Kurvenzüge für 1, 4 und 7 mm Lichtbogenlänge. Im einzelnen sieht man, daß z. B., um einen Lichtbogen von 4 mm Länge bei 2 A zu ziehen, 80 V notwendig sind. Bei 16 A erfordert derselbe Lichtbogen etwa 52 V.

Mit zunehmender Bogenlänge wächst die Spannung, die zum Aufrechterhalten des Lichtbogens erforderlich ist. Das Aussehen der Kurven läßt drei verschiedene Stadien physikalischer Erscheinungen vermuten, die auch tatsächlich optisch (also durch Lichterscheinungen) und akustisch (also durch das Gehör) voneinander unterscheidbar sind. Auf der mit „ruhige Zone“ bezeichneten Kurvenstrecke findet ein gleichmäßiges Abbrennen der Elektroden statt. Darauf folgt ziemlich plötzlich der optische Zeitabschnitt, in dem der Lichtbogen infolge geringer Mehrbelastung unsicher und unruhig wird, in Abb. 89 erkennbar an dem mit „unruhige Zone“ bezeichneten Kurvenstück.

Endlich wird noch ein dritter, nämlich der akustische Zeitabschnitt, unterschieden („Zischen“, Abb. 89), bei welchem zwar die Spannung keinen wesentlichen Schwankungen mehr unterworfen ist, doch fängt der Bogen zu zischen an; unter gewissen Voraussetzungen kreischt und singt er sogar (elektrische Schwingungen); er ist überlastet. Der geübte Elektro-schweißer erkennt diesen Zustand des Lichtbogens sofort und wird das Zischen abstellen, und zwar durch Stromregulierung, weil ja die Stromstärke in diesem Fall zu hoch ist.

Die Verhältnisse des Lichtbogens sind zuerst von Frau Ayrton untersucht worden. Sie stellte auf Grund ihrer Versuche eine Gleichung auf, mit Hilfe deren die zum Aufrechterhalten eines Lichtbogens erforderliche Spannung (genauer: der zwischen den Elektroden erforderliche Spannungsunterschied) bei verschiedenen Stromstärken und Lichtbogenlängen berechnet werden kann. Wird die Stromstärke mit J (in Ampere gemessen), die Lichtbogenlänge mit l (in Millimetern) bezeichnet, so ist für den Gleichstromlichtbogen beim Brennen von Reinkohlen in Luft die

$$\text{Lichtbogenspannung } E = 38,9 + 2,1 \cdot l + \frac{11,6 + 10,5 \cdot l}{J}.$$

Die Mindestspannung für einen solchen Lichtbogen beträgt also ~ 39 V.

Wie später noch gezeigt werden soll, ist aus schweißtechnischen Gründen ein möglichst langer Kohlenlichtbogen erwünscht. Um diesen zustande zu bringen, wird man aber nicht hohe Spannungen anwenden, die für den Schweißer gefährlich sind, sondern den Zündgipfel (Abb. 88) insofern erniedrigen, als man die Entladungsstrecke zwischen den Elektroden auf das geringste Maß verkürzt. Das geschieht, wenn man die Elektroden vorübergehend kurzschließt, d. h. für

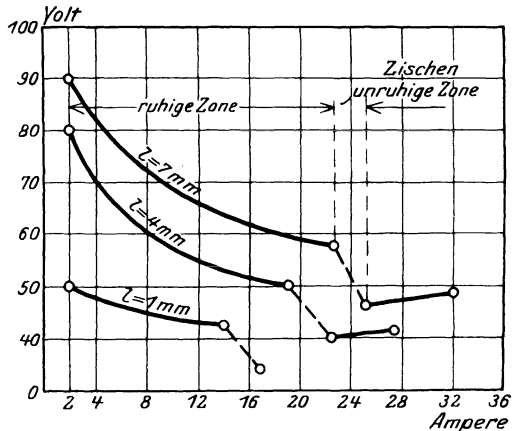


Abb. 89. Charakteristik des Kohlenlichtbogens bei verschiedenen Bogenlängen.

einen Augenblick miteinander in Berührung bringt. Beim Entfernen 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 solange, 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 Kohlenelektroden selbst deutlich wahrnehmbar, und zwar haben wir an der Anode (+ Pol) die höchste Temperatur zu erwarten, die nach neueren Messungen etwa 4000° beträgt.

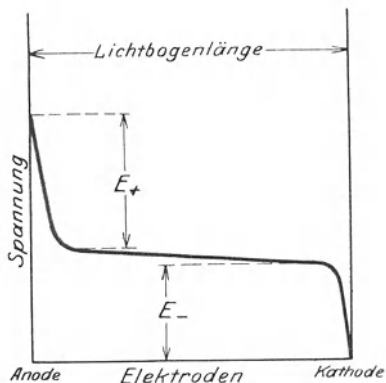
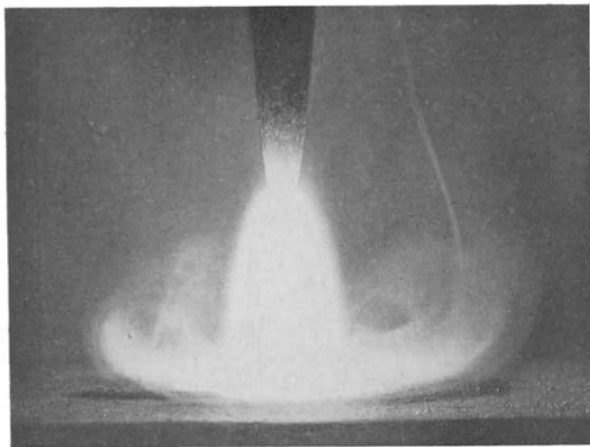


Abb. 90. Spannungsabfall im Lichtbogen.

Die Kratertemperatur der Anode kann durch Brennen des Lichtbogens unter erhöhtem Druck auf etwa 6000° getrieben werden, das ist die höchste, künstlich herstellbare Temperatur überhaupt. 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° statt, so daß die Temperatur des negativen Pols nur etwa 3400° 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. Die Temperatur der Kathode ist von der Stromstärke abhängig und steigt mit dieser, während die Temperatur der Anode von der Stromstärke unabhängig zu sein scheint; doch wird diese Annahme von anderer Seite bestritten.



Auf jeden Fall ist die innerhalb des elektrischen Lichtbogens einschließlich der Elektroden erzeugte Wärme gemäß 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. 90 erklären. Hiernach sind ungefähr 43 % der Gesamtwärme

an die Anode und 36% 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 vor einiger Zeit 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.

In Abb. 91 ist ein zwischen Kohle und Eisen gezogener Bogen bei etwa 400 A Stromstärke und $\frac{1}{500}$ s Belichtungszeit wiedergegeben. Trotz der im wesentlichen bestehenden Übereinstimmung dieses Lichtbogens mit dem zwischen zwei Kohlenstäben ist naturgemäß zwischen Spitze der Elektrode und Fläche des Eisens eine andere Form der Gassäule zu erwarten. Der Gesamtflammenumfang, vor allem aber die Aureole, ist denn auch erheblich größer.

Die Struktur des Lichtbogens ist nicht zu sehen, da er von der Aureole völlig verdeckt ist und die bestehenden photographischen Hilfsmittel zur Sichtbarmachung dieser Erscheinungen nicht ausreichen. Um den Lichtbogen selbst besser erkennen

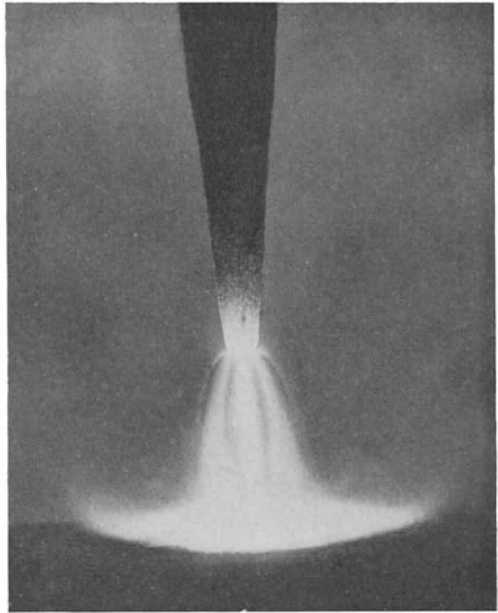


Abb. 92. Die Struktur des Lichtbogens zwischen Kohle und Metall.



Abb. 93. Die richtungsweisende Kraft der Kohlelektrode.

zu können, mußten besondere Tricks (Lichtfilter, Ratenbeleuchtung u. a.) angewandt werden, wie dies bei Abb. 92 geschehen ist. In der mittleren Zone des Bogens (Abb. 92) sieht man deutlich einen durch hellere Färbung ausgezeichneten Stromkern, das ist die Straße der von der Kathode ausgestoßenen Elektronen. Diesen Kern umgibt ein lichtschwächerer Mantel, der seinerseits wieder von der Aureole, die ja als sekundäre Verbrennungserscheinung bewertet werden

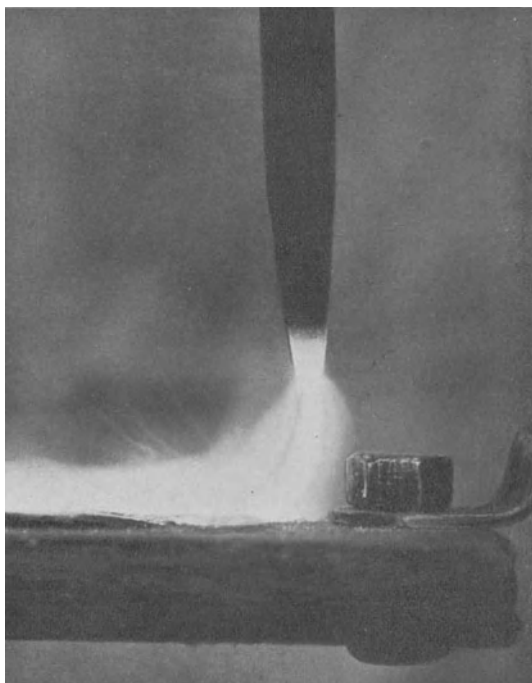


Abb. 94. Die Flucht des Lichtbogens vor der Eintrittsstelle des Stroms.

kann, ummantelt wird. Auffällig ist der elektromagnetische Einfluß auf die Richtung des Lichtbogens. So nimmt bei zum Metall schräg gehaltener Kohle (Abb. 93) 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 Kohlenbogen 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 ist auf den Verlauf magnetischer Kraftlinien zurückzuführen. Diese Wahrneh-

mung ist in Abb. 94 photographisch festgehalten (Stromeintritt durch den an der Mutter befestigten Kabelschuh). Starkes Zusammendrängen von Stromlinien kann unter Umständen zum magnetischen Ausblasen des Bogens führen.

Brenndauer, Spannung. Die Brenndauer der Kohlenelektrode richtet sich nach deren Länge und Durchmesser, sowie nach der aufgewandten Stromstärke; sie beträgt 7–18 h bei 2–20 A Stromstärke, 9–22 mm Kohlendurchmesser und 200–325 mm Länge. Bei dem Lichtbogen zwischen Kohle und Metall ist eine Spannung von 45–70 V üblich. Aus später hervorzuhebenden Gründen bedingt der zu Schweißzwecken benutzte Lichtbogen Längen bis zu 35 mm. Das erfordert anderseits den Aufwand erheblich größerer Energiemengen und führt zu einem viel schnelleren Abbrand der Kohle, so daß selbst bei starken Kohlendurchmessern (15–40 mm) und 500 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. 91–94 zu erkennen ist, sind die Kohlenelektroden an den Kraterenden auf Längen von 50–150 mm konisch abgebrannt.

2. Der Kohlenwechselstromlichtbogen.

Allgemeines. Die Vorgänge in dem durch Wechselstrom gespeisten Lichtbogen sind bedeutend verwickelter als im Gleichstrombogen. Da beim Wechselstrom ein bestimmter Pol nicht besteht, vielmehr die Elektroden ihre Rolle etwa hundertmal in der Sekunde (je nach der Periodenzahl) vertauschen, d. h. abwechselnd $+$ und $-$ Pol sind, tritt bei dieser Stromart eine gleichmäßige Aufzehrung beider Kohlenstäbe ein, weshalb beide gleiche Abmessungen erhalten können. Daß der Lichtbogen trotz der bei jeder Umkehr in der Stromrichtung eintretenden Unterbrechung des Stromflusses nicht abreißt, ist lediglich eine Folge des kurzen Zeitraumes, während dessen sich die Polwechsel vollziehen; der Gassäule ist keine Gelegenheit gelassen, sich auf Temperaturen abzukühlen, die zum Erlöschen des Lichtbogens notwendig sind. Die zur Aufrechterhaltung des Bogens nötige Spannung und auch der Abbrand des Kohlenkraters ist geringer als beim Gleichstrom.

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 im Abschnitt „Kohlengleichstromlichtbogen“ erwähnte Charakteristik (Abb. 89) 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 z. B. des Wechselstromlichtbogens auf eine weiße, sich drehende Rolle zu werfen, wo sie photographisch festgehalten werden können. Die Aufnahme, das Oszillogramm, 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

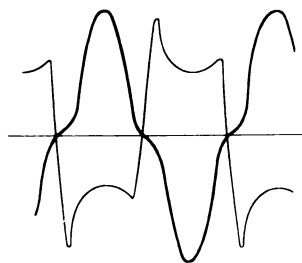


Abb. 95. Oszillogramm eines Wechselstromlichtbogens.

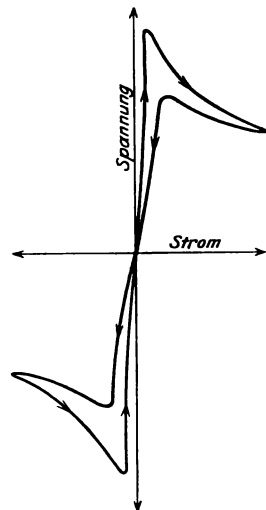


Abb. 96. Dynamische Charakteristik des Wechselstromlichtbogens (für eine Periode).

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 nicht mehr mit der statischen Charakteristik der Stromquelle allein rechnen kann, sondern die dynamische Charakteristik mit zur Beurteilung der Vorgänge heranziehen muß.

Hochfrequenzströme. Mit zunehmender Schwingungszahl (Frequenz) sinkt der Zündgipfel allmählich und bei einer gewissen Schwingungszahl fällt er gar nicht mehr ins Gewicht, so daß dann selbst eine niedrige Wechselspannung den Bogen dauernd zu unterhalten vermag. An Stelle der in Abb. 96 gezeigten Schleife entsteht nunmehr ein Kurvenzug entsprechend der Abb. 97. Der Lichtbogen wird nicht mehr so leicht abreißen können. Diese Tatsache hat man sich auch für den Gleichstrombogen nutzbar gemacht. Es unterliegt keinem Zweifel, daß das häufige Abreißen und Wiederzünden auch des Gleichstrombogens, was eine jedesmalige Arbeitsunterbrechung bedingt, auch auf das Schweißgut von schädlichem Einflusse sein muß. Man hat daher dem Schweißgleichstrom einen hochfrequenten

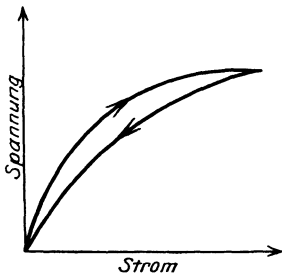


Abb. 97. Besondere Form der dynamischen Charakteristik des Wechselstromlichtbogens.

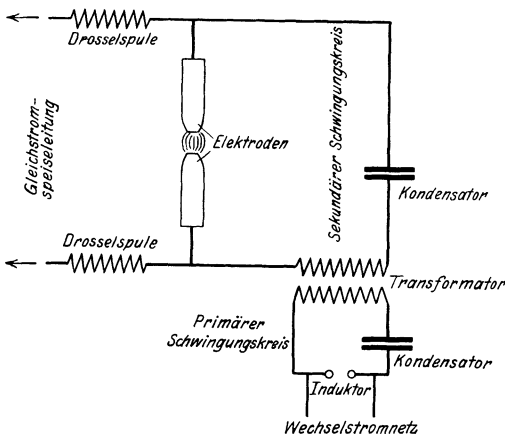


Abb. 98. Hochfrequenter Wechselstrom, dem Gleichstrom überlagert.

Wechselstrom überlagert, der ohne den sonst erforderlichen Kurzschluß (Berührung der beiden Elektroden) bei Annäherung der Elektrode an das Schweißgut selbsttätig eine Lichtbogenzündung auslöst. Das Schema der Schaltung zur Erzeugung von Schwingungen, die sog. Duddellsche Schaltung, zeigt Abb. 98. Um eine zuverlässige Zündung des Bogens herbeizuführen, ist hochgespannter Wechselstrom (etwa 3000–5000 V) von außergewöhnlich hoher Schwingungszahl (sekundlich viel millionenmal) erforderlich, der als hochfrequenter Wechselstrom im primären Schwingungskreis erzeugt, dann in einem Transformator um-

geformt und den beiden Elektroden zugeführt wird. Damit der hochgespannte und hochfrequente Wechselstrom des sekundären Schwingungskreises nicht in die Gleichstromspeisung übertritt, sind in diese Drosselspulen eingebaut. Der

Lichtbogen des hochfrequenten Wechselstroms bildet die Brücke und Zündstelle für den Gleichstrombogen. Wir haben es demnach mit einem von Wechselstrom überlagerten Gleichstrom zu tun. Leider ist die erforderliche Einrichtung so verwickelt und umfangreich, daß sie im augenblicklichen Zustand über Laboratoriumsversuche noch nicht hinausgekommen ist und eine praktische Anwendung noch ausschließt.

3. Der Metallgleichstromlichtbogen.

Benutzte Metalle. Unter den Metalllichtbogen sind eigentlich nur jene eingehender untersucht worden, die sich auf die elementaren Metalle Quecksilber und Kupfer beziehen. Das ist auch natürlich, da bis zur Geburt der Elektroschmelzschweißung gerade Quecksilber als metallisches Lichtbogen-elektrodenmaterial die wichtigste Rolle spielte. Der nicht selten auch als Reklamedampf in Schaufenstern gelb, grün und violett leuchtende Vakuumquecksilberdampf ist allgemein bekannt, kommt aber für Schweißzwecke nicht in Frage, ebensowenig der Kupferlichtbogen, der ein Licht von hübschem Grün zeigt und im Spektralapparat das Spektrum des Kupferdampfes erkennen läßt. Kupfer wird fast nur mit dem Kohlenlichtbogen geschweißt. Zum Elektroschmelzschweißen findet vor allem die Eiselektrode ausgedehnte Verwendung. Da das Eisen reich an Legierungsbestandteilen (Kohlenstoff, Mangan, Silizium, Phosphor, Schwefel usw.) ist, so ist die Untersuchung seines Verhaltens als Elektrodenmaterial sehr schwierig.

Unterschied zwischen Kohlen- und Metallelektrode. Während die Kohlenelektrode nicht flüssig wird, vielmehr nur in dampfförmig feinerstäubtem Zustande in Form von Graphit auf der Gegenelektrode und deren unmittelbarer Umgebung niedergeschlagen wird, wird das Schweißende der Metallelektrode tropfbar flüssig. Hierzu kommt, daß die Wärmeableitung metallischer Elektroden viel größer ist als die der Kohlenelektroden. Die Krater des Metalllichtbogens leuchten viel weniger hell, und der Lichtbogen als solcher brennt viel unruhiger als der Kohlenbogen, was von den anhaltenden Schwankungen in der Bogenlänge, verursacht durch rasches Abschmelzen des Elektrodenmaterials, herrührt. Obwohl bei der Elektroschmelzschweißung kaum zwei metallische Elektroden (Stäbe) in Betracht kommen, sondern die Gegenelektrode fast stets unmittelbar durch das Schweißgut gebildet wird, ergeben sich hieraus keine Unterschiede in der Gestaltung des Lichtbogens.

Die Verwendung des Schweißstabes selbst als Elektrode (Verfahren von Slavianoff) ist zweifellos vorteilhaft, wenngleich damit die Notwendigkeit verknüpft ist, im Augenblick des beginnenden Stromflusses auch Werkstoff einzuschmelzen. Ein Anwärmen des Werkstücks mit der elektrischen Schweißflamme ohne Abschmelzung der Elektrode ist ausgeschlossen. Etwa zwanzig- bis dreißigmal sekundlich wandert ein Tropfen flüssigen Elektrodenbaustoffs zur Schweißstelle ab, wo er verhältnismäßig rasch erstarrt. Größe und Anzahl der Tropfen sind vom Stabdurchmesser, der Bogenlänge und der Stromstärke abhängig.

Bogenlänge und Spannung. Während beim Kohlenlichtbogen Bogenlängen unter etwa 20 mm von schädlichem Einfluß auf das Schweißgut sind, muß der Metalllichtbogen so kurz als praktisch durchführbar gehalten werden, und zwar aus ganz ähnlichen Gründen. Das (praktisch erzielbare) kürzeste Maß beträgt etwa 1,5 mm, das längste soll nicht über 5 mm liegen. Die Bogenlänge wächst mit der Spannung. Nach Frau Ayrton ist für den Gleichstromlichtbogen beim Brennen von Eisen in Luft die

$$\text{Lichtbogen-spannung } E = 15,5 + 2,5 \cdot l + \frac{9,4 + 15 \cdot l}{J}.$$

Die Mindestspannung für einen solchen Lichtbogen müßte also (selbst bei $l = 0$) 15,5 V betragen, bei einem Lichtbogen von 1,5 mm Länge aber schon etwa 19,5–20 V. Praktisch ergeben sich beim Schweißen Spannungswerte, die um 10–20 % niedriger liegen. Es ist z. B. schon möglich, mit 15 V einen Lichtbogen sicher zu ziehen. Die Charakteristik des Eisenlichtbogens zeigt Abb. 99 für $l = 0$ und $l = 5$ mm. Man sieht, daß die Kurven schon von etwa 20 A ab ganz flach

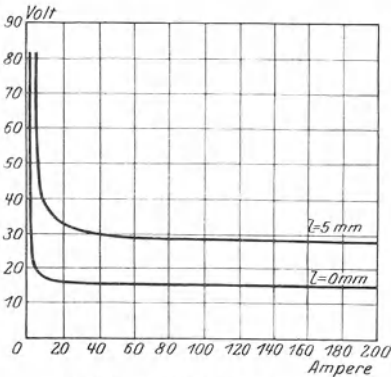


Abb. 99. Charakteristik des Eisenlichtbogens.

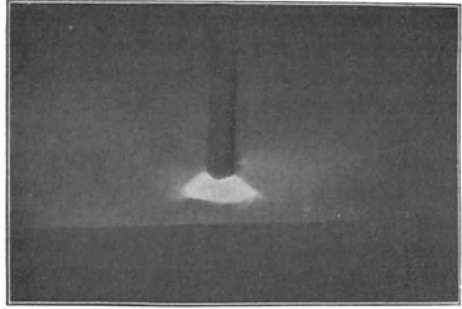


Abb. 100. Lichtbogen zwischen Eisen und Eisen gezogen.

verlaufen; die Betriebsspannungen für den normalen Schmiedeeisenlichtbogen betragen demnach nur 15–25 V. Das Aussehen des zwischen Eisen und Eisen gebildeten Lichtbogens gibt die photographische Aufnahme in Abb. 100 wieder.

4. Der Metallwechselstromlichtbogen.

Im Aussehen unterscheidet sich die Flamme des Wechselstrombogens von jener des Gleichstrombogens so gut wie gar nicht; in wärmetechnischer Hinsicht ist jedoch auf den Kohlenwechselstrombogen zu verweisen. Durch den sekundlich normal hundertmaligen Wechsel in der Stromrichtung, 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 Pluspol (mit höherer Temperatur) an das metallisch größere 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 oder wenigstens doch vorbereiteter Schweißstäbe, worüber im Abschnitt „Schweißelektroden“ eingehender gesprochen wird.

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 Licht-

bogens mit wachsender Stromstärke fällt. Der Lichtbogen hat eine fallende statische Charakteristik, wie wir sagen. Diese Charakteristik (Kennlinie) ist noch einmal in Abb. 101 in der Kurve *abcde* wiedergegeben. Vergrößert man die Stromstärke noch wesentlich über die zum Punkt *c* gehörende hinaus, so wird der Lichtbogen bei *cd* unruhig und fängt über *d* nach *e* hin an zu zischen. Praktisch in Betracht kommt also nur das Kurvenstück *abc*. Zunächst muß die Spannung bei *a*, die sog. Zündspannung, vorhanden sein, damit beim gegenseitigen Berühren der Elektroden (bzw. Antippen der Elektrode an das Schweißstück) überhaupt ein Lichtbogen entsteht. Bei niedrigeren Spannungen, etwa in der Gegend von *b*, ist der Lichtbogen aber viel stabiler (beständiger); er reißt nicht so leicht ab, als etwa in der Gegend von *a*. Man wird daher zweckmäßig mit einer ungefähr dem Punkt *b* entsprechenden Stromstärke und Spannung schweißen. Nun kann aber der Schweißer die Elektrode nie genau in der gleichen Entfernung vom Werkstück halten. Deshalb ist eine weitere Forderung die, daß die Stromquelle zu der mit der Länge des Lichtbogens wechselnden Spannung auch die entsprechende Stromstärke hergibt, und zwar ist immer bei steigender Spannung eine geringere Stromstärke und bei fallender Spannung eine größere Stromstärke zu liefern. Anders ausgedrückt: Die Stromquelle muß, ähnlich dem Lichtbogen, eine fallende statische Charakteristik haben, z. B. etwa nach Art der Geraden *ab*. Ein normaler Generator (eine Dynamo) mit stets annähernd gleicher Spannung bei den verschiedensten Stromstärken (s. Linie *af* in Abb. 101) ist demnach ungeeignet zur Lichtbogenschweißung. Außerdem ist noch zu beachten, daß, wenn die Stabelektrode das Werkstück berührt, dann infolge des geringen Widerstands im Stromkreis (nach dem Ohmschen Gesetz) bei gleichbleibender Spannung ein Strom von sehr hoher Stromstärke (ein Kurzschlußstrom) entsteht, der der Stromquelle gefährlich wird und auch zum Zusammenschmoren von Elektrode und Werkstück führt. Ein zu hoher Kurzschlußstrom muß also verhütet werden. Aus alledem ergeben sich die folgenden wesentlichsten Bedingungen für eine gute Schweißstromquelle:

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

2. Der Kurzschlußstrom bei Berührung von Elektrode und Werkstück ist auf ein zulässiges Maß zu begrenzen.

3. Der Lichtbogen soll sich leicht ziehen lassen.

4. Spannung und Stromstärke sollen sich je nach den Betriebsverhältnissen innerhalb gewisser Grenzen einregulieren lassen.

Diese Bedingungen gelten sowohl für Kohlen- wie für Metallelektroden und ebenso für Gleichstrom- wie für Wechselstromquellen. Die Bedingungen unter 1 und 3 sind am besten erfüllt, wenn neben der fallenden statischen Charakteristik auch eine günstige dynamische Charakteristik vorhanden ist (s. S. 83).

Spannungen und Stromstärken. Die erforderliche Betriebsspannung (Schweißspannung) ergibt sich nach dem vorigen Hauptabschnitt zu 15–70 V.

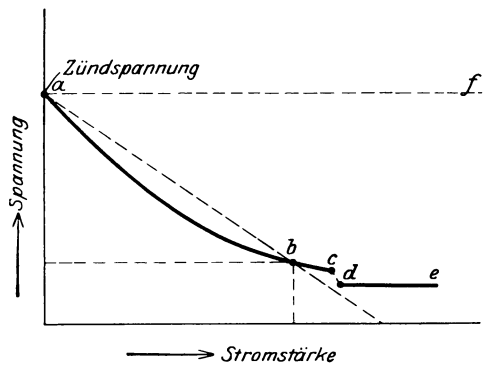


Abb. 101. Statische Charakteristik des Lichtbogens.

Im einzelnen braucht man bei der Schmiedeeisenschweißung und bei der Gußeisenkalterschweißung mit Metallelektroden nur 15–35 V, bei der Gußeisenwärmeschweißung mit Metallelektroden und bei der Schweißung mit Kohlenelektroden 40–70 V. Die der Zündspannung entsprechende Leerlaufspannung der Stromquelle muß einerseits möglichst hoch sein, um ein leichtes Zünden des Lichtbogens zu erzielen, anderseits 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. Der Wechselstromlichtbogen erfordert im allgemeinen zur sicheren Zündung eine höhere Leerlaufspannung als der Gleichstromlichtbogen. 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 (Schweißstromstärken) schwanken, allgemein betrachtet, zwischen etwa 40 und 1000 A. Die meist üblichen Stromstärken sind 100–200 A für die Schmiedeeisenschweißung und für die Gußeisenkalterschweißung und 400–600 A für die Gußeisenwärmeschweißung.

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 die Spannung von z. B. 110 oder 220 V auf das im vorigen besprochene, richtige Maß herabzudrosseln. Der Vorschaltwiderstand, der zur Erzielung verschiedener Stromstärken regelbar (regulierbar) eingerichtet sein muß, ist entweder ein Drahtwiderstand (aus Eisen; Sonder-

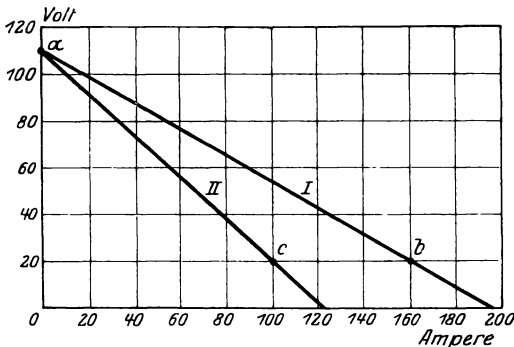


Abb. 102. Statische Charakteristik des Lichtbogens bei Verwendung von Netzstrom.

legierungen wie z. B. Nickel usw. sind zu teuer) oder ein Wasserwiderstand. Im letzteren Falle werden zwei Eisenplatten in einen Holzbottich mit angesäuertem Wasser gehängt (Abb. 103). Die Charakteristik der Netzstromschweißeinrichtung ist bereits aus Abb. 101 zu erkennen; sie entspricht dort der Geraden *ab*. Für ein praktisches Beispiel, einer Netzspannung von 110 V und 2 Regelleistungen I und II, ist diese Charakteristik nochmals in Abb. 102 wiedergegeben. Wir sehen zunächst

die erwünschte fallende Charakteristik. Bei der Zündspannung *a* (110 V) läßt sich der Lichtbogen mit Sicherheit zünden. Regelleistung I gibt sodann bei Punkt *b* mit 20 V Schweißspannung eine Schweißstromstärke von 160 A und Regelleistung 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 bei z. B. 110 V Netzspannung,

20 V Schweißspannung und 160 A Schweißstrom (entsprechend Punkt *b*), bzw. bei 100 A Schweißstrom (entsprechend Punkt *c*):

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

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 nichtbehebbaaren Nachteil geringer Wirtschaftlichkeit noch einen 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. 103) wirkt nach dieser Richtung hin ausgleichend. Abb. 103 zeigt uns zunächst, daß bei Einlegen des Schalters der Strom, unter Messung durch

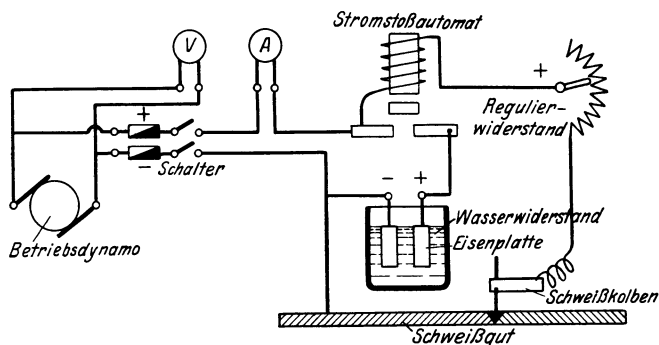


Abb. 103. Schweißen vom Gleichstromnetz mit Stromstoßautomat.

Voltmeter *V* und Amperemeter *A*, von der Stromquelle (Betriebsdynamo oder Netz) durch den Stromstoßautomaten, Regulierwiderstand, 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.

Wirtschaftlichkeit. Das Schweißen vom Netz mit Hilfe von Vorschaltwiderständen ist stets sehr unwirtschaftlich. Wenn man z. B. die Spannung von

110 V durch den Widerstand auf 20 V herabdrosselt, so macht man nur $\frac{20}{110} \cdot 100 = 18,2\%$ der in den Schweißstromkreis hineingegebenen elektrischen Leistung nutzbar, d. h. man erreicht nur einen Wirkungsgrad von 18,2 %. Je höher die Netzspannung, desto geringer sogar der Wirkungsgrad. Bei 220 V Netzspannung beträgt er z. B. nur noch 9,1 %. Demgegenüber erreicht man mit Gleichstrom- und Wechselstromschweißumformer Wirkungsgrade von 30–80 %. Das Schweißen vom Netz oder von einer normalen Dynamomaschine aus ist also aus rein wirtschaftlichen Gründen zu vermeiden und wird auch nur noch selten angewendet.

also gar nicht zur Geltung kommen. Vielmehr wird, ähnlich wie beim Schweißen vom Netz mit Vorschaltwiderstand, die Änderung von Stromstärke und Spannung mit Hilfe des Vorschaltwiderstands sehr schnell vor sich gehen; alles in allem: eine günstige statische und eine günstige dynamische Charakteristik der Anlage.

Nicht zu verkennen sind demgegenüber zunächst zwei Nachteile. Wird auf wesentlich niedrigere Leerlaufspannungen als 65 V einreguliert, so läßt sich der Lichtbogen schwer zünden. Diesem Nachteil kann man durch einen Zündkontakt am Schweißkolben (Schweißzange) abhelfen (s. die spätere Abb. 135). Durch Drücken auf den Zündkontakt kann der Schweißer die Spannung plötzlich auf 65 V erhöhen und dann den Lichtbogen gut zünden. Läßt der Schweißer dann den Zündkontakt los, so sinkt die Spannung entsprechend der vorher eingestellten niedrigeren Leerlaufspannung auf den möglichst geringen, zum Schweißen aber noch ausreichenden Wert. Der zweite Nachteil liegt darin, daß, wie beim Schweißen vom Netz, wenn auch nicht in demselben Maße, durch die Herabdrosselung der Spannung mit Hilfe des Vorschaltwiderstands der Wirkungsgrad der Anlage herabgedrückt wird. Diesem Nachteil kann man nur zum Teil begegnen, und zwar durch möglichste Herabsetzung der Generatorleerlaufspannung. Beträgt diese z. B. im Mittel nur 40 V, so ist immerhin im Schweißstromkreis (also ohne Berücksichtigung des Wirkungsgrads des Generators) bei 20 V Schweißspannung ein Wirkungsgrad von $\frac{20}{40} \cdot 100 = 50\%$ erreichbar. Eine niedrige Generatorspannung hat übrigens grundsätzlich den Vorteil, daß der Schweißer mit kurzem Lichtbogen arbeiten muß.

Generatoren mit Gegenverbundwicklung und Fremderregung. Ein Hauptmittel, um eine fallende statische Charakteristik für den Schweißgenerator selbst zu erhalten, ist die Anordnung einer sog. Gegenverbundwicklung auf den Magnetpolen des Generators. Der Generator ist in diesen und den folgenden Fällen im allgemeinen eine Nebenschlußmaschine (s. Abschnitt I C 3). Im zunächst vorliegenden Fall (Abb. 106) wird die Erregerwicklung N von einer besonderen kleinen, mit dem Schweißgenerator D_1 auf derselben Welle sitzenden Erregerdynamo D_2 gespeist (Fremderregung). Die Leerlaufspannung wird durch einen Regler R_1 im Nebenschlußkreis eingestellt. Eine weitere Regulierung 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 , wie es Abb. 106 zeigt, 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 Fremderregung der Nebenschlußwicklung hat

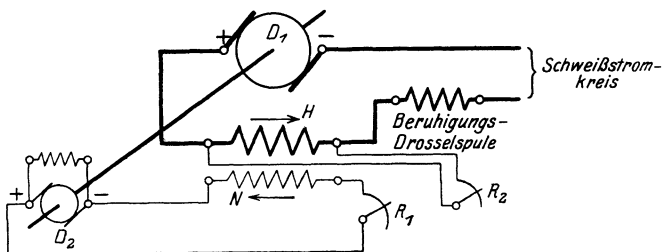


Abb. 106. Schaltung eines Schweißgenerators mit Gegenverbundwicklung und Fremderregung.

den Vorteil, daß der Schweißgenerator bei Kurzschlußstrom (Spannung gleich Null) sehr schnell wieder Spannung erhält. Bei Selbsterregung arbeitet die Maschine träger. Die Spannung kommt nach Kurzschluß erst in einer gewissen Zeit wieder hoch. Die Schweißgeneratoren der beschriebenen Art und auch mehrere der folgenden Schweißgeneratoren haben meistens noch eine sog. Beruhigungsdrosselspule (auch Selbstinduktion oder Stabilisator genannt) im Schweißstromkreis, wie sie auch in Abb. 106 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 anderseits den Nachteil, daß sie, wie jede Drosselspule, Stromverluste mit sich bringt. Maschinen ohne Beruhigungsdrosselspulen haben also einen besseren Wirkungsgrad.

Abb. 107 zeigt die statische Charakteristik des beschriebenen Schweißgenerators bei 2 Regelstellungen. Bei Stellung I hat der Generator 90 V Leer-

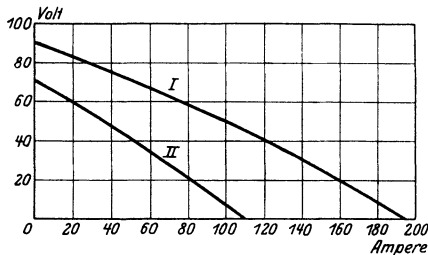


Abb. 107. Statische Charakteristik eines Schweißgenerators mit Gegenverbundwicklung und Fremderregung.

laufspannung (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 die Gegenverbundwicklung das Magnetfeld mehr oder weniger stark schwächt und deshalb keine besonders schnelle Änderung von Spannung und Stromstärke zuläßt. Vorteilhaft ist zwar, wie schon erwähnt, die Fremderregung. Sie kommt aber infolge der gegensätzlichen Wirkung der Gegenverbundwicklung nicht so

voll zur Auswirkung wie bei den später beschriebenen Maschinen mit Ankerrückwirkung und Fremderregung.

Generatoren mit Gegenverbundwicklung, Eigen- und Fremderregung.

Diese Ausführung und Schaltung ist nach dem Namen des Erfinders als Krämer-

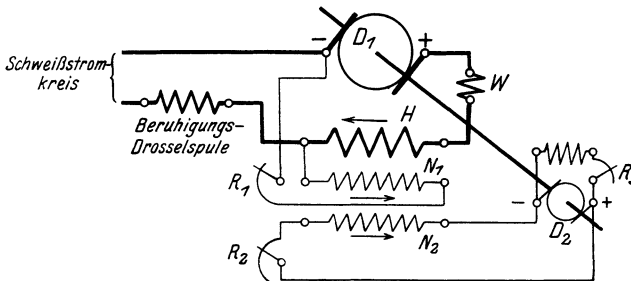
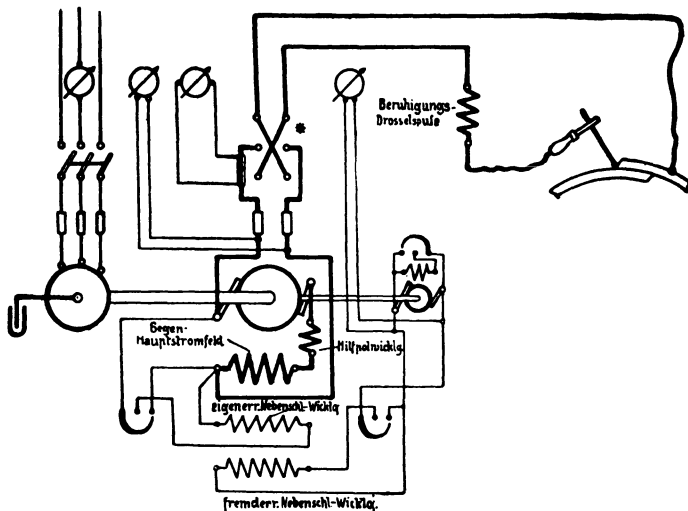


Abb. 108. Schaltung eines Schweißgenerators mit Gegenverbundwicklung, Eigen- und Fremderregung.

schaltung bezeichnet werden. Zur Gegenverbundwicklung H und Fremderregung N_2 (Abb. 108) tritt noch eine eigen erregte Nebenschlußwicklung N_1 . 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 Schweiß-

generator hat 3 Reguliermöglichkeiten, und zwar bei R_1 im selbsterregten Nebenschlußkreis, bei R_2 im fremderregten Nebenschlußkreis und bei R_3 , wo die Erregerwicklung der kleinen Dynamo D_2 (für die Fremderregung) reguliert werden kann. Die Schaltung sieht ferner, wie in Abb. 106, eine Beruhigungs-drosselspule im Schweißstromkreis vor und schließlich noch eine Wendepol- (oder Hilfspol-) wicklung



• bei reiner Blechschweißung
nur zweipoliger Schalter.

Abb. 109. Schaltung eines Schweißgenerators mit Gegenverbundwicklung, Eigen- und Fremderregung.

Wicklung W im Hauptstromkreis. Letztere findet bei mehreren Arten von Schweißgeneratoren Anwendung; sie ist zunächst kein Mittel zur Verbesserung der statischen oder dynamischen Charakteristik der Maschine (anders ausgedrückt: kein Mittel zur Verbesserung der schweißtechnischen Eigenschaften der Maschine); sie dient vielmehr an und für sich dazu, einen möglichst funkenfreien Gang des Schweißgenerators zu erzielen. Auf die Ursache der Funkenbildung und die Wirkung der Wendepol-

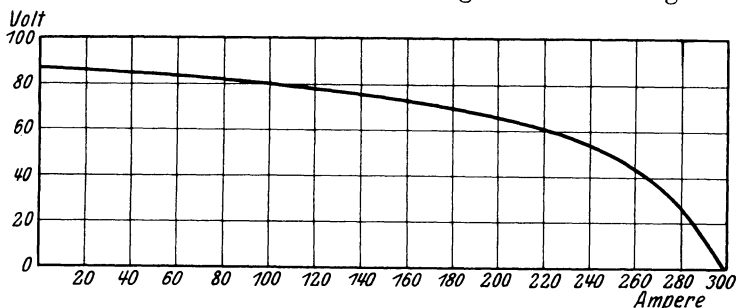


Abb. 110. Statische Charakteristik eines Schweißgenerators mit Gegenverbundwicklung, Eigen- und Fremderregung.

wicklung wird kurz bei den Maschinen mit Ankerrückwirkung (s. den nächsten Absatz) eingegangen, weil das dort näher erklärte Ankerfeld bei der Betrachtung von Bedeutung ist. Abb. 109 zeigt nochmals das Schema der Krämerschaltung in ausführlicherer Form, so wie es z. B. beim Kauf des Generators mitgegeben wird.

Wir sehen beim Vergleich mit Abb. 108, daß unser einfacheres Schema schon alles Wesentliche wiedergegeben hat. Nur ist links oben in Abb. 109 noch der Anschluß des Drehstromantriebsmotors an das Netz dargestellt. Weiter bedeuten die Kreise mit schräg hindurchgehenden Pfeilen einige Meßapparate (Voltmeter und Amperemeter), und schließlich ist rechts oben die eigentliche Schweißstelle zu erkennen.

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. Die statische Charakteristik in Abb. 110 zeigt übrigens bei der normalen Schweißspannung eine Stromstärke von 270–285 A. Kleinere Stromstärken ergeben sich teils durch Regulierung, teils durch Wahl anderer Maschinengrößen.

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

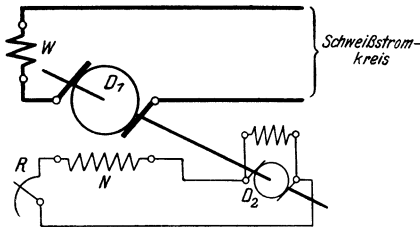


Abb. 111. Schaltung eines Schweißgenerators mit Ankerrückwirkung und Fremderregung.

Überlegung: Nach Abschnitt I C 3 wird durch Drehung des Ankers zwischen Elektromagneten ein magnetisches Feld zur Stromerzeugung ausgenutzt. Im Anker bildet sich nun, sobald durch seine Drähte Strom hindurchfließt, ein zweites magnetisches Feld, das das magnetische Hauptfeld mehr oder weniger schwächt und verzerrt. Die Schwächung des Hauptfeldes erfolgt durch ein ihm entgegengesetzt gerichtetes Feld, die Verzerrung durch ein quer zum Haupt-

feld gerichtetes Feld (das Querfeld); beide Felder zusammen bilden das Ankerfeld. Durch entsprechende Bemessung der Ankerwicklung u. a. m. kann man

die Ankerrückwirkung bei Schweißgeneratoren so ausnützen, daß beim Überschreiten einer gewissen Stromstärke das Ankerfeld als Drosselvorrichtung wirksam wird und die Spannung schließlich bis auf Null herabsinken läßt. Der

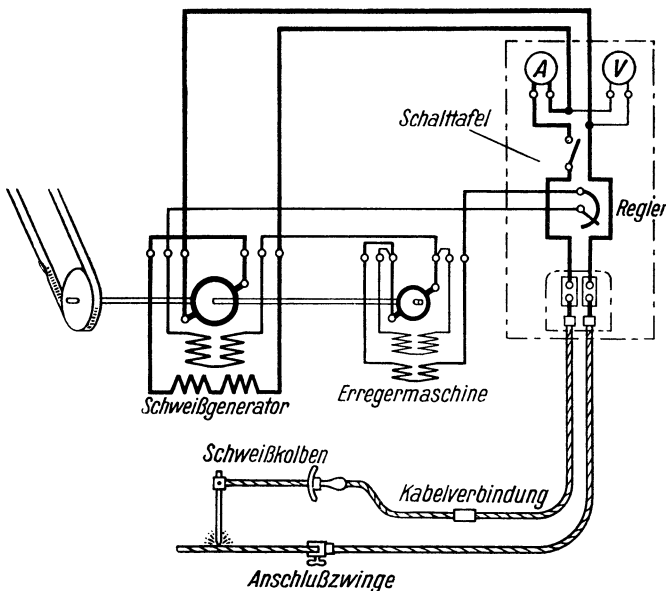


Abb. 112. Schaltung eines Schweißgenerators mit Ankerrückwirkung und Fremderregung.

Schweißgenerator (Abb. 111) zeigt weiter eine Wendepolwicklung W , genauer gesagt: Wendepole, deren Wicklung im Hauptstromfeld liegt. Wie schon im vorigen Absatz erwähnt, sollen diese Wendepole zunächst die Funkenbildung am Kollektor der Maschine beheben, die

letzten Endes von einem Teil des vorhin erwähnten Ankerfeldes, vom Querfeld, herrührt. Die Wendepole, die bei einer zweipoligen Maschine senkrecht zu den Hauptpolen angeordnet werden, ergeben nämlich ein dem Ankerquerfeld entgegengesetzt gerichtetes Feld, wodurch das Querfeld geschwächt bzw. aufgehoben wird. Im vorliegenden Fall (Abb. 111) dienen allerdings die Wendepole nicht diesem Zweck. Sie sind vielmehr so geschaltet, daß sie das Querfeld und damit die Ankerrückwirkung verstärken. Die Regulierung der Maschine erfolgt im Nebenschlußkreis bei R . Die Nebenschlußwicklung N ist fremderregt durch die besondere, mit dem Schweißgenerator D_1 auf einer Welle sitzende Erregermaschine D_2 . Abb. 112 zeigt sodann nochmals dieselbe Schaltung in der ausführlicheren Darstellung, wie sie von der liefernden Firma mitgegeben wird. Beim Schweißgenerator bedeutet die obere, dünner gezeichnete Wicklung die Nebenschlußwicklung; die untere, stärker gezeichnete soll die Wendepolwicklungen darstellen. Die Erregermaschine hat zwei Wicklungen, eine Nebenschluß- und eine Hauptstromwicklung; sie ist also eine Verbund- (Compound-) Maschine. A und V rechts oben an der Schalttafel sind das Amperemeter und das Voltmeter. Der Schweißgenerator wird in diesem Fall durch Riemen angetrieben. Die statische Charakteristik eines solchen Schweißgenerators sehen wir in Abb. 113 für 2 Reglerstellungen. Bei Stellung I hat der Generator 100 V Leerlaufspannung, 140–170 A Schweißstromstärke bei 15–25 V und eine Höchststromstärke von 200 A, bei Stellung II ist die Leerlaufspannung 70 V, die Schweißstromstärke etwa 90–120 A bei 15–25 V und die höchste Stromstärke (bei Kurzschluß) 150 A.

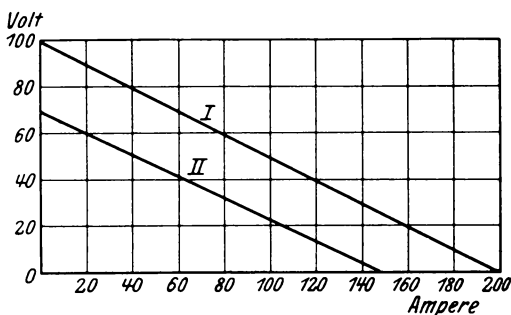


Abb. 113. Statische Charakteristik eines Schweißgenerators mit Ankerrückwirkung und Fremderregung.

Schweißgeneratoren dieser Art zeigen eine genügend steile statische Charakteristik bei gleichzeitig guter dynamischer Charakteristik; außerdem sind sie einfach in der Bauart und in der Schaltung. Die dynamische Charakteristik ist günstig infolge der Fremderregung, der bei Kurzschluß kein gegensätzliches Feld entgegenwirkt (Hauptmagnetfeld infolge Ankerrückwirkung dann gleich Null).

Eine Abart dieser Generatoren sind wieder diejenigen mit Ankerrückwirkung, Eigenerrregung und Fremderregung. Sie haben infolge der Eigenerrregung eine etwas steilere, also günstigere statische Charakteristik, aber (auch infolge der Eigenerrregung) eine schlechtere dynamische. Die Maschinen sind also träger und erhalten wieder eine Beruhigungsdrösselspule im Hauptstromnetz, um die Trägheit zu beheben.

Generatoren mit Eigenerrregung. Die Schaltung dieser Schweißgeneratoren ist naturgemäß sehr einfach. Abb. 114 zeigt eine Dynamo D mit Selbsterregung im Nebenschlußkreis N , die bei R reguliert wird. Es wurde schon erwähnt, daß die Spannung einer selbsterregten Maschine nach Kurzschluß erst in einer gewissen Zeit wieder hoch kommt. Die eigenerrregte Maschine ist also ohne ein besonderes Hilfsmittel nicht als Schweißgenerator zu gebrauchen. Dieses Hilfsmittel ist bei der in

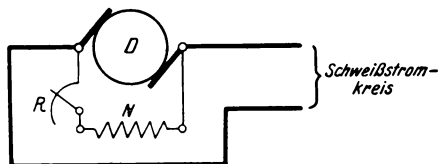


Abb. 114. Schaltung eines Schweißgenerators mit Eigenerrregung.

Deutschland in neuerer Zeit herausgekommenen Ausführungsform in der Hauptsache eine sog. 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,

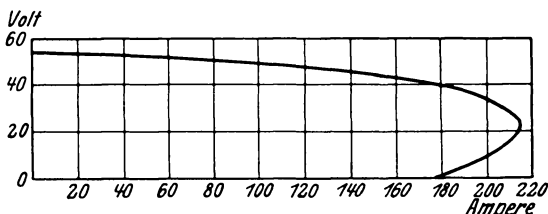


Abb. 115. Statische Charakteristik eines Schweißgenerators mit Eigenerrregung.

zeigt bei höheren Stromstärken eine eigentümliche, etwas rückläufige Form. Die Kurzschlußstromstärke ist niedriger als die eigentliche Schweißstromstärke. Diese kommt daher, daß ein Abfall der Spannung auch das Hauptmagnetfeld schwächt, das ja durch die selbsterregte Nebenschlußwicklung erzeugt wird, und die

Schwächung des Hauptmagnetfeldes einen verstärkten Abfall der Spannung bewirkt.

Die selbsterregten Maschinen haben den Vorteil großer Einfachheit; sie sind billiger als die fremderregten 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.

Quecksilberdampfgleichrichter. Dieser Apparat hat im allgemeinen die Form eines luftleer gepumpten Glaskolbens mit seitlichen Armen zum Anschluß des Wechselstroms (Drehstroms). Außer den an diesen Armen befindlichen positiven Elektroden aus Graphit ist eine negative Elektrode aus Quecksilber im unteren Teil des Glasgefäßes vorhanden. Nach Einschaltung des Stromes wird der Glaskolben gekippt, so daß das Quecksilber zum positiven Pol fließt, dann zurückgekippt. Es entsteht ein Lichtbogen und durch ihn Quecksilberdampf, der nun die Stromleitung übernimmt. Der Quecksilberdampflichtbogen zeigt eine „Ventilwirkung“, d. h. er läßt nur Strom in einer Richtung durch, und wandelt so den Wechselstrom in Gleichstrom um. Der Wirkungsgrad eines solchen Gleichrichters ist in bestimmten Fällen wesentlich höher als der der bisher geschilderten Gleichstromschweißumformer und beträgt z. B. von Drehstrom auf 110 V Gleichstrom etwa 84 %, von Drehstrom auf 500 V Gleichstrom sogar 96 %.

Die Anwendungsmöglichkeit des Quecksilberdampfgleichrichters für Schweißzwecke wurde bis vor kurzem noch verneint, weil die vorgenannten günstigen Wirkungsgrade nur für Spannungen galten, die für den Schweißbetrieb noch viel zu hoch sind, weil ferner der Glasapparat sehr zerbrechlich und außerdem verwickelt und ziemlich teuer ist. In neuester Zeit hat man aber Quecksilberdampfgleichrichter entwickelt, die für Schweißzwecke schon geeigneter erscheinen. Der Wechselstrom von normaler Spannung muß allerdings durch einen Transformator erst auf niedrige Spannung gebracht werden; dann wandelt man ihn im Gleichrichter in Gleichstrom von 40–60 V um. Der Wirkungsgrad dieser Gleichrichter wird zu 70–80 % angegeben, wobei gegenüber dem sich drehenden Gleichstromschweißumformer allerdings noch der Wirkungsgrad des erwähnten Transformators zu berücksichtigen ist. Die Empfindlichkeit des Glasgleichrichters beschränkt sein Anwendungsgebiet vorerst auf ortsfesten und geschützten Einbau, wo er nach vorigem vielleicht in absehbarer Zeit eine Rolle spielen wird.

d) Wechselstromtransformatoren.

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 verändert werden. Das Schema eines Wechselstromtransformators wurde bereits in Abb. 8 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 Drosselspulen (Abb. 106 und zugehöriger Text) im Schweißstromkreis erreicht, zweitens und in der Hauptsache aber durch die Anwendung der Streuung. Je größer die Streuung des Transformators, d. h. je größer derjenige Teil der Kraftlinien ist, der aus dem Eisenkern heraus tritt und die Sekundärwicklung nicht schneidet, um so größer wird der Spannungsabfall, um so geeigneter ist der Transformator zum Schweißen. Allerdings bringt die große Streuung den Nachteil einer schlechten Phasenverschiebung (s. Abschnitt I C 3) in einem $\cos \varphi = 0,25 \div 0,45$. Man bedient sich heute bei Wechselstromtransformatoren allgemein dieses Hilfsmittels der Streuung und erreicht die Regulierung der Stromstärke meistens entweder dadurch, daß man Sekundärwindungen zu- oder abschaltet (Anzapfregulierung), oder dadurch, daß man die Streuung durch Verschiebung der Primär- oder Sekundärspule oder auf andere Weise verändert (Streuungsregulierung).

Schweißtransformatoren mit Anzapfregulierung. Den einfachsten Fall eines derartigen Transformators stellt Abb. 116 dar. Auf dem oberen Kern (Schenkel) sitzt die Primärwicklung *P*. Die Streuung dieses Transformators ist an und für sich ziemlich groß, da nur ein Teil der Kraftlinien die Sekundärwicklung *S*, die über den unteren Kern gewickelt ist, trifft. Einzelne Windungen der Sekundärwicklung können sodann mit Hilfe des Reglers *R* zu- oder abgeschaltet werden, wodurch Spannung und Stromstärke des Schweißstromkreises

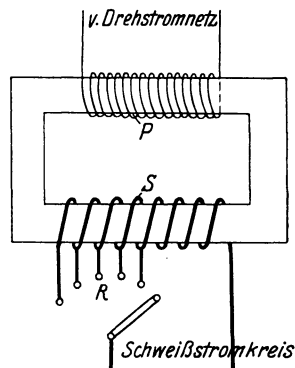


Abb. 116. Wechselstromschweißtransformator mit Anzapfregulierung.

in gewissen Grenzen regulierbar sind. Ein Nachteil dabei ist der, daß durch Veränderung der Windungszahl der Sekundärwicklung auch die Leerlaufspannung des Transformators im Sekundärstromkreis (dem Schweißstromkreis) verändert wird. Schweißtransformatoren dieser Art sind weniger im Gebrauch.

Schweißtransformatoren mit Streuungsregulierung. Der Transformator wird gewöhnlich einphasig angeschlossen, genauer gesagt: zwischen zwei Phasen des Drehstromnetzes gelegt, wie dies auch Abb. 117 zeigt. Der Strom von der üblichen Netzspannung

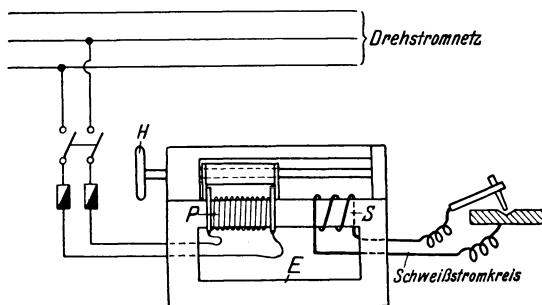


Abb. 117. Wechselstromschweißtransformator mit Streuungsregulierung (verschiebbare Spule).

durchfließt dann die auf dem oberen Teil des Eisenkerns *E* sitzende, verschieb-

bare Primärspule P und erzeugt in der seitlich neben ihr sitzenden Sekundärspule S den Schweißstrom. Die Regulierung der Spannung erfolgt mit Hilfe eines Handrads H , das eine Mutter auf einer Spindel (mit flachgängigem Gewinde) und mit Hilfe der Mutter die Spule P verschiebt. Je weiter P nach rechts

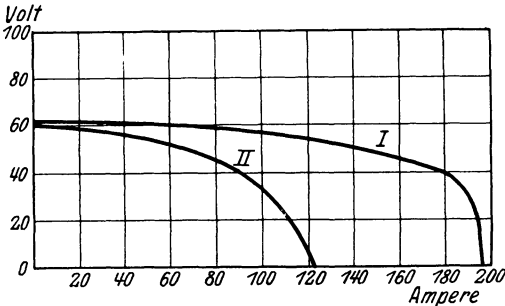


Abb. 118. Statische Charakteristik des Wechselstromschweißtransformators der Abb. 117.

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 15–25 V angenommen kann man also mit einem

Transformator nach Abb. 117 und 118 auf Stromstärken von etwa 110–195 A einregulieren; die Leerlaufspannung beträgt dabei etwa 60 V. Transformatoren dieser Art sind einfach und leicht und dementsprechend auch billig.

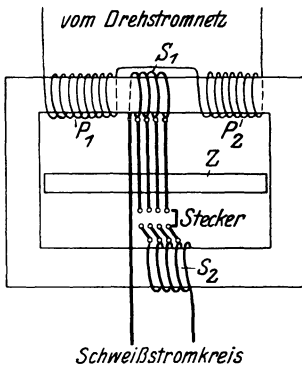


Abb. 119. Wechselstromschweißtransformator mit Streuungsregulierung (Streupaketen).

Eine andere Ausführungsform der Streuungsregulierung zeigt Abb. 119 in dem Transformator mit sog. Streupaketen. Die Primärspule 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, wie aus dem Folgenden hervorgeht, durch die in ihnen verschieden starke Streuung eine besondere Rolle bei der Regulierung 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 Regulierung erfolgt zwar durch Zu- oder Abschalten von Sekundärwindungen, aber in ganz anderem Sinne als bei Abb. 116, 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. Dies ist ein Vorteil gegenüber der einfacheren Bauart der Abb. 116, ein Vorteil, der natürlich auch Transformatoren nach Abb. 117 eigen ist. Die statische Charak-

teristik eines nach Abb. 119 gebauten Transformators zeigt Abb. 120 in den äußersten Regulierstellungen, 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 auf eine Anzahl Zwischenkurven einstellen. Der Aufbau dieser Transformatoren ist etwas schwerer als der der Transformatoren mit beweglicher Spule.

Daß die statische Charakteristik der gebräuchlichen Schweißtransformatoren eine zufriedenstellende ist, geht schon aus den Abb. 118 und 120 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.

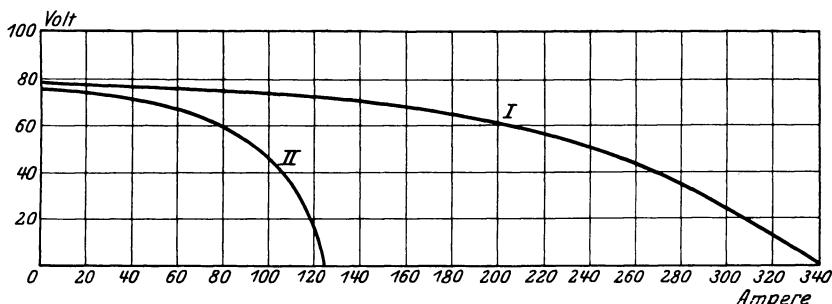


Abb. 120. Statische Charakteristik des Wechselstromtransformators der Abb. 119.

Alle Wechselstrom-Schweißtransformatoren sind wesentlich leichter und billiger als die Gleichstromschweißumformer. Ein wirtschaftlicher Vergleich beider Einrichtungen und beider Verfahren folgt später im Abschnitt „Leistungen und Kosten der elektrischen Schweißverfahren“.

Schweißtransformatoren für dreiphasigen Anschluß. Wir betrachten zunächst kurz den Normalfall, den einphasigen Anschluß. Das Schweißstromnetz erfordert, wenn mit Wechselstrom geschweißt werden soll, Einphasenwechselstrom (s. Abschnitt I C 3). Infolgedessen ist es im allgemeinen üblich, die Transformatoren zwischen zwei Phasen des Drehstromnetzes oder, wie man sagt, einphasig anzuschließen (s. Abb. 117). Zum besseren Verständnis des Folgenden sei nun 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 Anfange der ersten verbunden wird, so sind nur drei Leitungen erforderlich. Diese in Abb. 121 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 Schweißtrans-

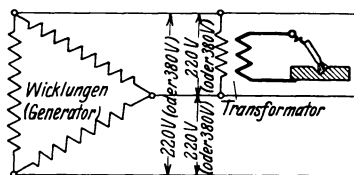


Abb. 121. Dreihstromsystem in Dreieckschaltung mit Schweißtransformator zwischen zwei Phasen.

formator angeschlossen. Man kann nun auch die drei Wicklungen des Generators so miteinander verketteten, daß sie mit je einem Ende untereinander verbunden sind (Sternschaltung). Dann kommt man mit vier Leitungen aus (Abb. 122), 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

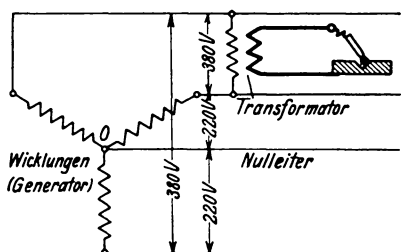


Abb. 122. Drehstromsystem in Sternschaltung mit Schweißtransformator zwischen zwei Phasen.

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. 122 der Schweißtransformator angeschlossen.

Der einphasige Anschluß der Schweißtransformatoren ergibt nun eine ungleichmäßige Belastung des Drehstromnetzes, die als ein Nachteil gegenüber dem das Netz gleichmäßig belastenden Drehstromantriebsmotor des Gleichstromschweißumformers angesehen werden muß. Abhilfe kann man einmal schaffen, indem man — was natürlich nur bei gleichzeitigem Arbeiten mehrerer Transformatoren in Frage kommt — die Schweißtransformatoren möglichst gleichmäßig

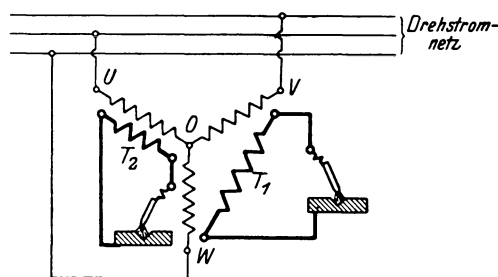


Abb. 123. Scottsche Schaltung für Schweißtransformatoren.

auf die Phasen verteilt. Eine andere Art der Abhilfe schafft die Scottsche Schaltung für Schweißtransformatoren, wie sie Abb. 123 wiedergibt. Der Transformator zeigt zunächst in seinem Anschluß an das Drehstromnetz, also auf der Primärseite, die Sternschaltung wie in Abb. 122. 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. Des weiteren zeigt Abb. 124 die Schaltung eines neuerdings ausgeführten großen Schweißtransformators für dreiphasigen Anschluß und eine Leistung von 75 kVA. Primärseitig wird dem Transformator Drehstrom vom Hauptnetz aus zugeführt; sekundärseitig wird verketteter Zweiphasenstrom entnommen, an den die Schweißstellen angeschlossen sind. Das Schaltungsschema zeigt links die Einrichtung für vier Schweißstellen, an denen unabhängig voneinander mit je 250 A Höchstleistung geschweißt werden kann, wie es bei der

Kaltschweißung von Blechen usw. üblich ist. Rechts ist die Einrichtung für die Gußeisenwarmschweißung bei zweimal je 500 A Schweißstrom und einem Schmelzbad dargestellt. Es ist natürlich auch möglich, mit je 500 A Schweißstrom auf zwei voneinander getrennte Gußeisenschmelzbäder zu arbeiten. Das Drehstromnetz ist bei dieser Ausführung gleichmäßig belastet, wenn das sekundäre Zweiphasennetz gleichmäßig belastet ist. Dies wird bei Gußeisenwarm-

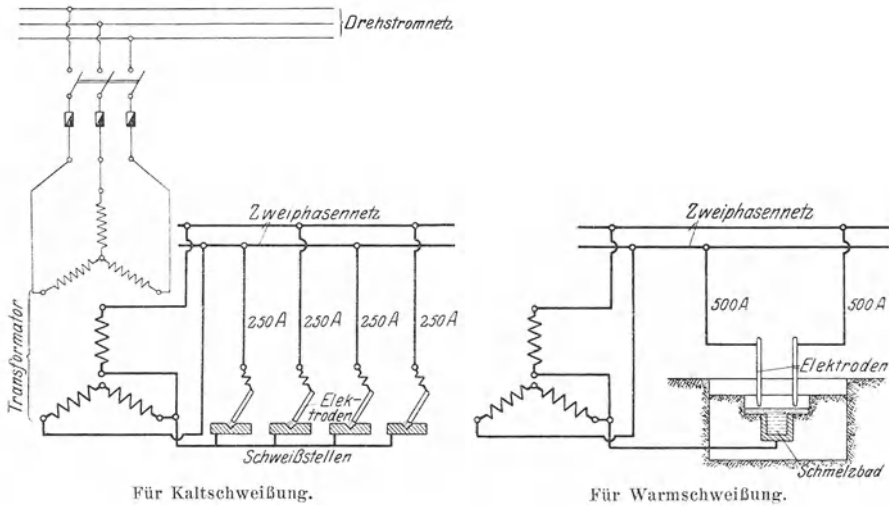


Abb. 124. Schweißtransformator mit dreiphasigem Anschluß.

schweißungen und beim Abschmelzen von zwei Elektroden auf ein Schmelzbad stets der Fall sein; sonst wird die gleichmäßige Belastung allerdings nicht vollkommen erreicht, da selten alle Schweißstellen gleichzeitig in Betrieb sein werden.

e) Äußeres und mechanische Ausführung der Umformer.

Gleichstromschweißumformer. Die einfachste Ausführungsform ist der Umformer mit Riemenantrieb, wie er bereits in dem Schaltungsschema der Abb. 112

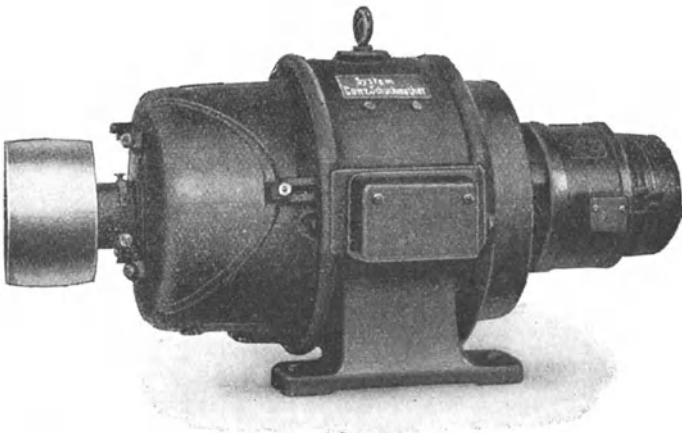


Abb. 125. Gleichstromschweißumformer mit Riemenantrieb.

angedeutet wurde und in Abb. 125 nochmals für eine andere Bauart wiedergegeben ist. Die Maschinenanlage besteht dann nur aus einem Schweißgenerator

(je nach Konstruktion mit angebauter Erregermaschine oder ohne solche), der auf der verlängerten Welle die Antriebsriemenscheibe trägt. Weitaus am gebräuchlichsten ist der eigentliche Schweißumformer, ein Schweißgenerator direkt gekuppelt mit dem Antriebsmotor. Letzterer ist je nach dem

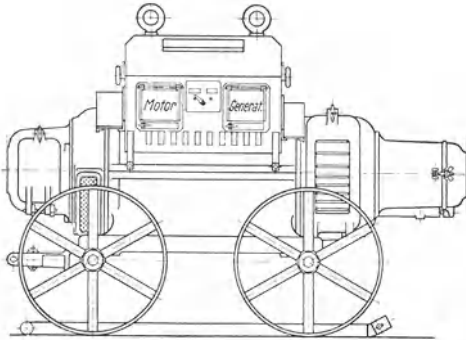


Abb. 126. Fahrbarer Gleichstromschweißumformer.

vorhandenen Netzstrom ein normaler Gleichstrommotor oder ein normaler Wechselstrommotor mit einer Drehzahl von 1500 oder 3000 in der Minute. Die höhere Drehzahl ergibt leichtere und billigere Maschinen und bietet heute auch vollständige Betriebssicherheit. Größere Schweißumformer werden feststehend gebaut, kleinere gern fahrbar angeordnet, um sie an verschiedene Stellen der Fabrik, auf Montage oder bei Reparaturarbeiten leicht an einen anderen Ort bringen zu können. Eine feststehende Ausführung zeigt Abb. 128; fahrbare Schweiß-

umformer sind in den Abb. 126, 127, 129 und 130 und in den später aufgeführten Abb. 173 und 198 zu sehen.

Im einzelnen führt uns zunächst Abb. 126 den kleineren fahrbaren Schweißumformer vor. Er ist federnd auf dem Fahrgestell aufgebaut und „ventiliert gekapselt“, d. h. alle Einzelteile sind zum Schutz gegen atmosphärische Einflüsse mit einer Blechhülle umgeben, und ein Ventilator (auf der Maschinenwelle) besorgt die Entlüftung; Entlüftungsjalousien sehen wir über dem rechten Rad. Unter

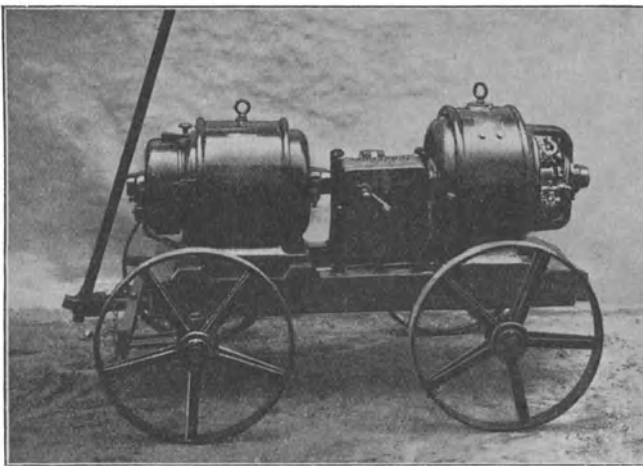


Abb. 127. Fahrbarer Gleichstromschweißumformer.

der Bezeichnung „Motor“ sitzt in der Kapselung der Drehstrommotor und unter der Bezeichnung „Generator“ die Schweißdynamo, außerdem rechts außen auf derselben Welle noch, ebenfalls eingekapselt, eine kleine Dynamo für Fremderregung. Oben zwischen den Tragösen, die zum Transportieren des ganzen Umformers durch den Kran dienen, befinden sich in der Kapselung die Meßinstru-

mente (Amperemeter und Voltmeter). Abb. 127 zeigt eine andere Bauart eines fahrbaren Umformers (mit Selbsterregung). Abb. 128 bringt einmal die feststehende

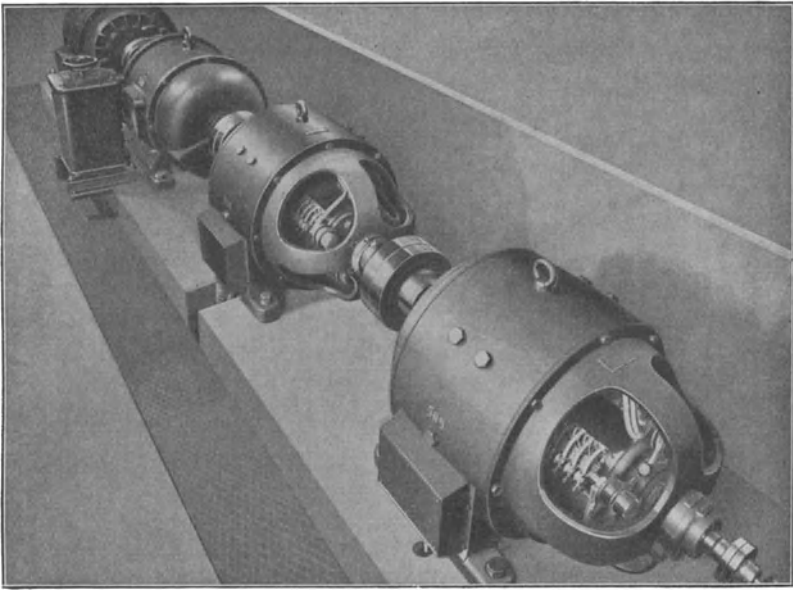


Abb. 128. Mehrfachschweißumformer für Gleichstrom.

Ausführung und gleichzeitig den sog. „Mehrfachschweißumformer“. Letztere kommen nur für einen größeren Betrieb in Frage, in dem man einerseits mehrere Schweißstellen gleichzeitig bedienen und auch die große Stromstärken erfordernde

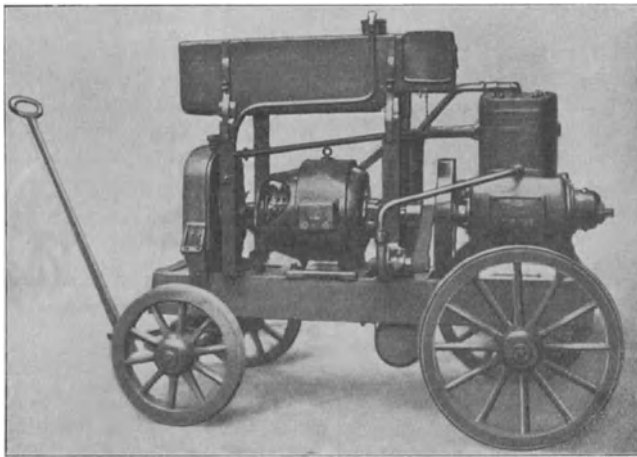


Abb. 129. Fahrbarer Gleichstromschweißumformer mit Benzolmotorantrieb.

Warmschweißung von Gußeisen ausführen will. Ein Schweißumformer kann nur eine Schweißstelle speisen, weil die Spannung bei Kurzschluß (Lichtbogenziehen)

jedesmal auf Null herabsinkt. Man kuppelt im vorliegenden Fall also mehrere Schweißdynamos auf einer Welle und treibt sie durch einen gemeinsamen Motor an,

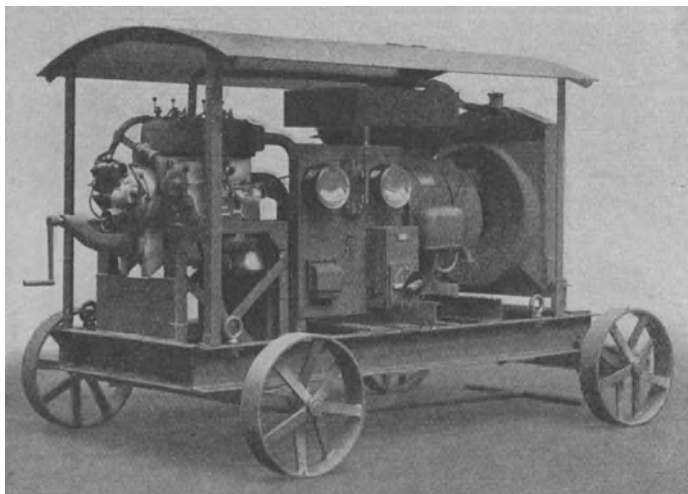


Abb. 130. Fahrbarer Gleichstromschweißumformer mit Benzinmotorantrieb.

wie es Abb. 128 wiedergibt. Im Fall der Warmschweißung schaltet man mehrere Schweißdynamos parallel und erreicht so die gewünschten höheren Stromstärken von $500 \div 1000$ A. Man kann den gemeinsamen Antriebsmotor mit kleinerer Leistung als der Summe der Leistungen bei Einzelantrieb ausführen, da bei Bedienung der einzelnen Schweißstellen nicht alle Schweißdynamos gleichzeitig oder doch zum mindesten nicht alle gleichzeitig mit voller Belastung laufen werden. Diesem Vorteil steht aber der Nachteil gegenüber, daß man dann bei Parallelschaltung nicht die höchsten Stromstärken für die Gußeisenwarmschweißung erreichen kann. Wenn weder eine Transmission noch ein Stromnetz für den Antrieb der Schweißdynamo zur Verfügung steht, muß man einen Verbrennungsmotor nehmen. Es handelt sich dann fast immer um kleinere, fahrbare Typen, wie sie z. B. Abb. 129 darstellt. In diesem Fall erfolgt der Antrieb durch einen Benzolmotor. Die Schweißdynamo (links) zeigt eine leichte, gefällige Form (mit Selbsterregung.). In Abb. 130 ist sodann noch eine andere Bauart, mit Benzinmotorantrieb, wiedergegeben.



Abb. 131. Wechselstromschweißtransformator.

Wechselstromtransformatoren. Sie werden entsprechend den normalen Transformatoren mit den besprochenen Abänderungen ausgeführt, und zwar entweder ortsfest oder fahrbar. Der Transformator der Abb. 131 läßt sich leicht

in die fahrbare Ausführungsform (die noch die spätere Abb. 184 zeigt) durch Anbringen kleiner Laufrollen umwandeln. Üblich ist die gekapselte Ausführungsform mit Luftkühlung (s. die Schlitze in Abb. 131 rechts oben); neuerdings gibt es auch einen Transformator mit Ölkühlung. Zweckmäßig ist wieder das Anbringen von Meßinstrumenten. Abb. 131 zeigt vorn ein Amperemeter und darüber das Handrad zum Einregulieren, und zwar mit sieben Stellungen der Schaltwalze.

2. Das Schweißzubehör.

a) Meß- und Reguliereinrichtungen.

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 Meßapparate ist sehr einfach. Weitere Meßinstrumente kommen nur für besondere Versuche in Betracht, wenn man z. B. den Wirkungsgrad des Schweißumformers u. a. m. feststellen will. Das Voltmeter und das Amperemeter sind in den Schweißstromkreis einzuschalten, der Kilowattstundenzähler dagegen 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 genügt das Amperemeter) am Umformer selbst angebracht werden (s. z. B. Abb. 126 und 131 und zugehörigen Text). Bei feststehenden Anlagen baut man im allgemeinen die Meßinstrumente zusammen mit den Anlassern und Reguliereinrichtungen in eine Schalttafel ein (Abb. 132).

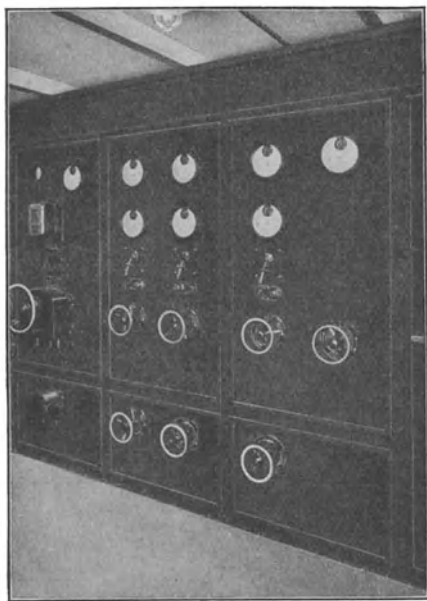


Abb. 132. Schalttafel für einen Mehrfachschweißumformer.

Reguliereinrichtungen. Der Antriebsmotor erfordert einen Anlasser, der keine besondere Regulierung zu haben braucht. Die Schweißdynamo wird in der Weise reguliert, wie es bereits die Abb. 104 u. f. im Schaltungsschema angeben. Es handelt sich bei Gleichstrom im allgemeinen darum, die Erregerströme der Magnetfelder zu regulieren, was durch einfache regelbare Vorschaltwiderstände im Nebenschlußkreis der Schweißdynamo erfolgt. Die Gegenverbundwicklung kann entweder durch einen parallel gelegten Widerstand (Abb. 106 bei R_2) oder durch Abschalten von Windungen reguliert werden. Über die Anzapf- und Streuungsregulierung der Schweißtransformatoren wurde schon im Abschnitt 1d dieses Kapitels gesprochen. In allen Fällen handelt es sich darum, die

Spannung im Schweißstromkreis zu beeinflussen, zu regeln. Damit reguliert man dann auch von selbst (nach dem Ohmschen Gesetz) die Stromstärke. Ob man also hier von einer Regulierung der Spannung oder der Stromstärke spricht, ist letzten Endes gleichgültig.

Den elektrotechnischen und mechanischen Aufbau der Reguliereinrichtungen zu beschreiben, liegt nicht im Rahmen dieses Buches. Abb. 132 zeigt unter den Meßinstrumenten die Handräder für Anlasser und Regulierwiderstände an der Schalttafel eines Mehrfachschweißumformers. Bei kleinen fahrbaren Schweißumformern werden die Reguliereinrichtungen wieder zweckmäßig am Umformer selbst untergebracht (Handräder in Abb. 131 und 184). Es gibt auch sog. Fernregler, die vom Schweißer an seinem Arbeitsplatz betätigt werden können.

b) Schweißkabel.

Kabelauführung und -querschnitte. Die Klemmen des Schweißumformers werden zur Stromleitung mit dem vom Schweißer gehaltenen Schweißkolben durch Kupferleitungen verbunden. Diese müssen im allgemeinen beweglich sein und an beliebiger Stelle, meist am Boden der Werkstatt liegend, 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 isoliert und geschützt sind.

Wenn die Kabel nicht zu lang sind, also kein größerer Spannungsverlust in ihnen 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 Zahlentafel 8 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 Zahlentafel 8 angegebenen Werte hinausgehen, sofern dadurch keine größere Erwärmung der Kabel als bei der Dauerbelastung eintritt. Praktisch darf man die Stromstärkenwerte der Zahlentafel 8 um etwa 25 % überschreiten. Ein Kabel von z. B. 50 mm² Querschnitt kann also anstatt mit 160 A noch mit 200 A, ein Kabel von 240 mm² anstatt mit 450 A noch mit 560 A belastet werden.

Zahlentafel 8.

Kabelquer- schnitt mm ²	Höchste dauernd zulässige Stromstärke A	Kabelquer- schnitt mm ²	Höchste dauernd zulässige Stromstärke A	Kabelquer- schnitt mm ²	Höchste dauernd zulässige Stromstärke A	Kabelquer- schnitt mm ²	Höchste dauernd zulässige Stromstärke 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):

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

worin R der Leitungswiderstand, E den Spannungsverlust in der Leitung in Volt, J die Stromstärke in Ampere, ϱ den spezifischen Leitungswiderstand, k die

elektrische Leitfähigkeit, l die einfache Länge des Kabels in Metern 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 z. B. bei der am häufigsten vorkommenden höchsten Stromstärke von 200 A uns noch mit einem Kabel von 50 mm² 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 Zahlentafel 1 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 $\frac{2,84}{25} \cdot 100 = 11,3 \%$; dagegen beträgt der Spannungsverlust bei 100 m einfacher Kabellänge 56,5 % 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 %, halten müssen. Nur bei kürzeren Kabeln (bis etwa 30 m einfacher Länge) genügt demnach die Festlegung des Kabelquerschnitts nach Zahlentafel 8; bei langen Kabeln müssen größere Querschnitte gewählt werden, als sie sich nach Zahlentafel 8 ergeben. Zum Beispiel muß unser vorhin angeführtes Kabel von 100 m Länge mit Rücksicht auf einen Spannungsverlust von weniger als 20 % den sehr hohen Querschnitt von 150 mm² erhalten; dann erst ergibt sich nämlich der zulässige Spannungsverlust:

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

c) Schweißkolben und Klemmen.

Schweißkolben (Schweißzange, Elektrodenhalter). Der Schweißkolben muß betriebsicher und möglichst leicht sein, sowie ein schnelles Auswechseln der Elektroden (Schweißstäbe) gestatten. Man unterscheidet zwischen Schweißkolben für Kaltschweißung, die nur dünne Elektroden zu halten haben und deshalb besonders handlich ausgeführt werden können, und Schweißkolben für Wärmeschweißung, die wegen der starken Elektroden etwas schwerer gebaut sein müssen. Den einfachsten Schweißkolben für Kaltschweißung zeigt Abb. 133 I in einer einfachen Klemmvorrichtung, die durch zwei Kupfer- oder 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. Als Nachteil der Vorrichtung ist das Nachlassen der Klemmvorrichtung nach längerem Gebrauch anzusprechen. Nach dieser Richtung besser und dabei doch auch leicht

genug ist die Schweißzange in Abb. 133 II. Durch einen Druck mit dem Daumen auf den Zangenhebel bei a wird die Feder b zusammengedrückt und das Maul der Schweißzange geöffnet. Der Rest des verbrauchten Schweißstabes fällt heraus;

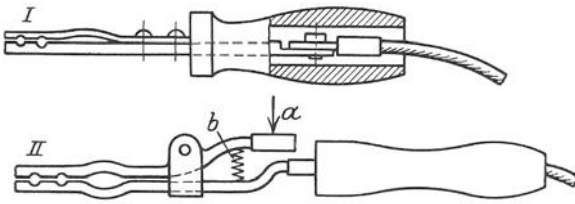


Abb. 133. Schweißkolben für Kaltschweißungen.

der neue Stab wird eingelegt und durch Nachlassen des Daumendrucks eingeklemmt. Derartige Schweißkolben können sehr wohl leicht und handlich ausgeführt werden, wie es auch Abb. 134 zeigt. Ein kleines Schild soll die Hand des Schweißers gegen Metallspritzer und Wärme schützen.

Diese Schweißzangen werden allerdings manchmal unnötig schwer gemacht und sind dann mit Recht beim Schweißer unbeliebt. Eine andere Ausführungsform ist noch in Abb. 135 wiedergegeben. Der

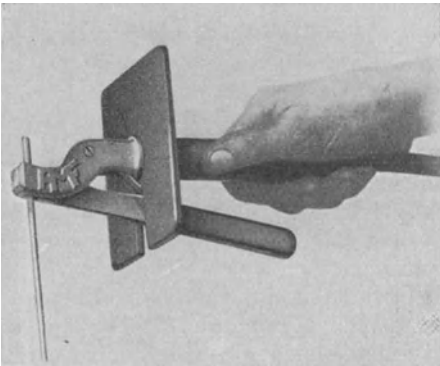


Abb. 134. Schweißkolben für Kaltschweißungen.

seitliche Hebel dient zum Festklemmen des Schweißstabs; die Auswechslung dürfte hier aber nicht so schnell vor sich gehen wie bei dem in Abb. 133 II und 134 dargestellten Schweißkolben. Den oberen Hebel in Abb. 135 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. 136 und auch die spätere Abb. 204 veranschaulichen, hat gewöhnlich links eine Flügelschraube zum sichereren Festklemmen der schweren Gußeisenelektroden.

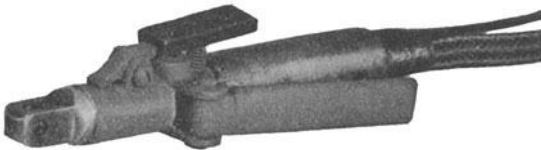


Abb. 135. Schweißkolben mit Zündkontakt.

Auch der Griff ist etwas größer und schwerer gehalten, da er oft mit beiden Händen angefaßt wird.

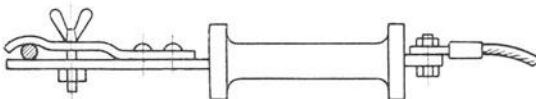


Abb. 136. Schweißkolben für Warmschweißungen.

Das an den Schweißkolben angeschlossene Kabel ist meistens nur etwa 3 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 Schweißkolbenkabel durch eine Schraube verbunden ist. Die Verbindungsstelle wird gegen Kurzschluß durch einen aufklappbaren Holzkasten geschützt.

Selbsttätige Lichtbogenführung. Sie hat den Zweck, das häufige Auswechseln der schnell abschmelzenden Elektrodenstäbe und die unruhige Bewegung der von Hand geführten Elektrode zu vermeiden. Die Siemens-Schuckert-Werke haben einen Tafelschweißapparat konstruiert, der aber, wie schon der Name sagt, nur für das Schweißen wagerechter Längsnähte an Blechtafeln in Frage kommt. Im Inneren eines kleinen, durch einen Motor angetriebenen Wagens wird der Elektrodraht von einer Vorratsrolle abgewickelt. Die Regulierung ist dieselbe wie bei der Differentialbogenlampe. Da diese Apparate sich erst im Anfang der Entwicklung befinden, kann hier von einer eingehenderen Erläuterung Abstand genommen werden.

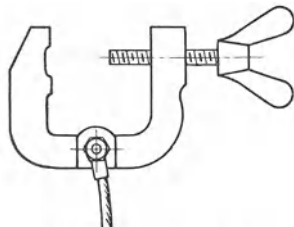


Abb. 137. Anschlußklemme für das Werkstück.

Klemmen. Im allgemeinen endigt das Schweißkabel, das mit dem Werkstück verbunden wird, in einer Klemme (Schraubzwinge), die an das Werkstück angeschraubt wird (Abb. 137). Bei kleineren Arbeiten, die auf einem Schweißtisch ausgeführt werden, genügt es auch in den meisten Fällen, daß die Klemme am Schweißtisch befestigt wird. Übrigens wird auch der Schweißkolben manchmal als Schweißklemme bezeichnet.

d) Lichtschutz und Bekleidung.

Lichtstrahlen. Die Strahlen, welche 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 autogenen Schweißen, 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. unterhalb des Rot liegenden) Strahlen werden auch Wärmestrahlen genannt, weil sie beim Auftreffen auf für sie undurchlässiges Material 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 mächtiger Stärke, klarer oder bernsteinfarbiger Glimmer und weißes oder farbiges Zelluloid. Dabei ist allerdings zu beachten, daß bei einer gewöhnlichen Glasbrille seitliche Lichtreflexe (Lichtzurückstrahlungen) das Auge hinter den Brillengläsern treffen, eine einfache Brille also nicht verwendbar ist. Man

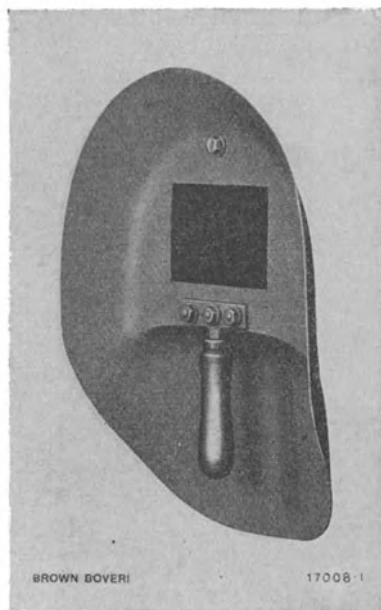


Abb. 138. Aluminiumschutzschild.

sucht sich im allgemeinen gegen alle drei Arten von Strahlen durch ein farbiges (am besten wohl grünes) Spezialglas zu schützen, das inmitten eines größeren Schirmes oder einer Kappe sitzt. Zwei verschiedenfarbige Gläser sind nicht erforderlich. Die Schutzgläser sollten durch Sachverständige ausgewählt werden.

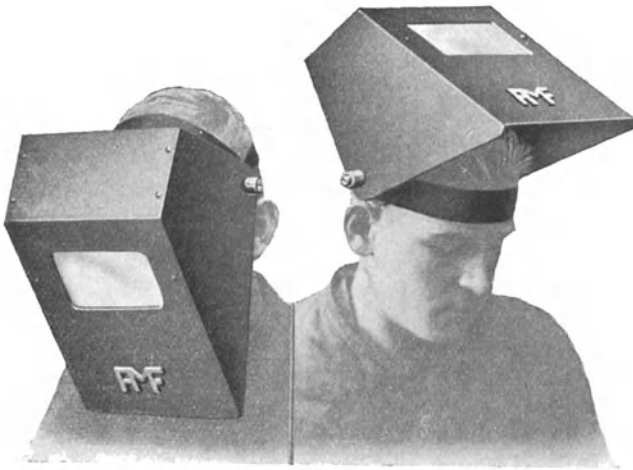


Abb. 139. Lichtschutzmaske.

Schutzglas in der Mitte. Besser ist ein Eisenblech- oder Aluminiumschild (Abb. 138) mit verdecktem Handgriff. Das Schutzglas ist leicht herausnehmbar. Vorteilhaft ist es, vor das dunkle Schutzglas noch ein gewöhnliches Fensterglas einzusetzen, das das wertvollere Schutzglas gegen die ätzende Wirkung der Metallspritzer schützt und von Zeit zu Zeit ausgewechselt wird. Bei länger dauernden



Abb. 140. Schweißer mit Schweißgerät
(beim Schienenaufschweißen).

Die Farbtonung des Glases muß der Schweißer selbst bestimmen, da der eine durch ein gefärbtes Glas bestimmter Tönung gut sieht, das für einen anderen zu dunkel ist.

Gebräuchliche Lichtschutzeinrichtungen. Für leichtere Arbeiten bedient man sich eines Schutzschildes, das in der linken Hand gehalten wird, während die rechte den Schweißkolben führt. In einfachster Ausführung besteht dieses Schild aus einem kastenartig geformten Holzrahmen mit dem

und schwereren Arbeiten, bei denen man auch beide Hände frei haben möchte, ist eine Schutzkappe zu empfehlen, wie sie z. B. auch Abb. 140 zeigt. Der Kappenrahmen besteht aus Eisen- oder Aluminiumblech, das übrige aus leichtem Leder. Das runde Schutzglas ist aufklappbar eingerichtet. Allzu beliebt sind solche Kappen wegen der stickigen Luft natürlich nicht. Nach dieser Richtung vorteilhafter erscheint die leichtere und offenere Schutzmaske der Abb. 139. Sie wird mit einem verstellbaren Gummiband am Kopf befestigt und kann auch leicht vom Schweißer hochgestellt werden, wie es in der Abbildung rechts zu sehen ist. Die Maske ist mit einer Farbe über-

zogen, welche die infraroten und ultravioletten Strahlen absorbieren (aufsaugen) soll, damit der Schweißer nicht durch Lichtreflexe gestört wird.

Bekleidung. Zum Schutz gegen die ultravioletten Strahlen, insbesondere aber zum Wärmeschutz bei großen Schweißarbeiten, nimmt man Handschuhe aus Leder oder besser noch aus Asbest. Bei großen Gußeisenwarmschweißungen

empfiehlt sich auch eine Schürze aus Leder oder Asbest, wie es die spätere Abb. 204 vor Augen führt. Der ganze Anzug des Schweißers soll derb und fest-anliegend sein, wie es z. B. Abb. 140 und die spätere Abb. 161 zeigen.

Die Abb. 140 veranschaulicht übrigens den Schweißer mit sämtlichem Zubehör für einfache Schweißungen (hier Schienenaufschweißen). Noch nicht erwähnt sind die Elektroden, Hammer und Meißel sowie Drahtbürste zum Abbürsten der Schweißnaht und Abschlagen von Schlacke und Eisenspritzern. Über die Elektroden berichtet noch eingehender der folgende Abschnitt.

3. Die Schweißelektroden.

a) Kohlenelektroden.

Werkstoff. Die älteste Art der Elektroden ist die Kohlenelektrode. Ähnlich der Bogenlampenkohle wird sie in Form von runden Stäben verwendet. Als Werkstoff für solche Kohlenelektroden dient in der Hauptsache Retortenkohle (Destillationsrückstand in den Retorten der Gasanstalten), neben dieser auch Graphit, Koks, Anthrazit und Ruß. Diese Materialien 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 Kohlenstäbe bezeichnet man als Homogenkohlen, zum Unterschied von sog. Dochkohle, deren Kern aus einem Fremdstoff (Wasserglas, Kohle und Borsäure) besteht und ein gleichmäßiges und ruhiges Brennen des Lichtbogens bewirken soll.

Abmessungen. Beim Benardosschen Verfahren, nach welchem ja nur ein Kohlenstab zur Anwendung gelangt, da die Gegenelektrode durch das metallische Schweißgut selbst gebildet wird, haben die Elektroden eine Länge von 300–800 mm bei einem Durchmesser von 5–25 mm. Zur leichteren Handhabung des an und für sich schwerfälligeren Schweißapparats werden die für das wenig angewandte Zerenersche Verfahren notwendigen beiden Kohlenstäbe selten über 300 mm lang gewählt.

Anwendung. Das Zerenersche Verfahren vermochte sich nur einige Sondergebiete der Nahtschweißung, vor allem die Eisenfaßschweißung, zu sichern, während das Verfahren von Benardos vorwiegend bei der Schweißung von Kupfer, Bronze, Zink, Zinn, Blei und Aluminium, weniger bei Gußeisen und selten bei der Schweißung von Schmiedeeisen und Stahl zur Anwendung gelangt.

b) Metallelektroden.

Allgemeines. Weitaus vorherrschend auf dem Gebiet der Elektroschmelzschweißung ist die Metallelektrode des Slavianoff-Verfahrens, welches sich von den beiden anderen Verfahren vor allem dadurch unterscheidet, daß bei ihm die metallische Elektrode selbst als Schweißzusatz- und Füllmaterial dient, während bei Benardos und Zerener, ebenso wie bei der Gasschmelzschweißung, besondere Zulegestäbe in dem zwischen Kohlenstab und Schweißgut, beziehentlich zwischen zwei Kohlenstäben gebildeten Lichtbogen niedergeschmolzen werden. Das Material dieser Zulegestäbe soll dieselbe Zusammensetzung haben wie die nachher angegebenen Werkstoffe für nackte Elektroden. Es ist grundlegend zu unterscheiden zwischen nackten (oder blanken) und ummantelten Schweißelektroden. Die Stäbe sind entweder aus schmiedbarem Eisen, aus Gußeisen, oder aus einem Nichteisenmetall hergestellt.

Werkstoff der nackten Elektroden. Elektrodendraht aus Schmiedeeisen muß möglichst frei sein von Rost, Schlacken, Oxyden und Lunkern, von Öl, Gasblasen und sonstigen Verunreinigungen; er darf sich, wie der Fachmann

sagt, nicht aufrollen und darf nicht spritzen. Das Material muß weich (kohlenstoffarm) und metallisch blank sein. Die chemische Zusammensetzung schmiedeeiserner Elektroden sollte etwa folgende sein: Unter 0,1 % Kohlenstoff etwa 0,5 % Mangan; Phosphor, Schwefel und Silizium so gering wie möglich; Phosphor und Schwefel nicht über je 0,04 %, Silizium nur Spuren. Eisenstäbe dieser Zusammensetzung geben einen gleichmäßigen und sauberen Fluß. Starkes Spritzen des Drahtes während des Schmelzens scheint auf zu hohen Kohlenstoffgehalt oder auf Einschluß von Gasen irgendeiner Art zurückzuführen sein, jedoch ist dies noch nicht einwandfrei festgestellt. Jedenfalls gibt kohlenstoffreicher Draht leicht zu Blasenbildung Anlaß, weil sich der Kohlenstoff mit dem Luft-sauerstoff zu Kohlenoxyd- oder Kohlensäureblasen verbindet. Deswegen ist übrigens auch das Schweißen kohlenstoffreichen Stahls verhältnismäßig schwierig. Für die Verwendung kohlenstoffarmen Elektrodendrahtes spricht auch noch der Umstand, daß die Schmelzung an der Spitze des Elektrodendrahtes nicht zu früh vor sich gehen darf; möglichst gleichzeitig mit dem Draht muß auch das Werkstück flüssig werden, damit der Schweißdraht sich gut mit dem Werkstück verbindet, gut „einbrennt“. Die Schmelzung an der Spitze der Elektroden tritt aber um so später ein, je kohlenstoffärmer die Elektrode ist, weil mit fallendem Kohlenstoffgehalt des Eisens dessen Schmelztemperatur steigt. Die Einbrenntiefe guten Drahtes soll 1,5÷3 mm betragen, während schlechter Draht nur 0,5 mm und weniger einbrennt. Einen Holzkohlenschweißdraht vorzuschreiben ist überflüssig, und zwar um so mehr, als man darunter im allgemeinen nicht einen aus schwedischem Holzkohlenroheisen hergestellten, sondern einen Draht versteht, der nur durchschnittliche Güte hat und in Holzkohle geglüht ist. Das Glühen ist aber vollständig zwecklos, da der Draht dadurch nur eine Gefügeveränderung erfährt, die nachher beim Abschmelzen wieder aufgehoben wird. Geglühter und nichtgeglühter Draht sind also nachher in der Schweißung vollkommen gleichwertig, wenn sie dieselbe chemische Zusammensetzung haben. Nackte Schmiedeeisenelektroden finden für alle Kaltschweißungen von Schmiedeeisen, Stahl und Gußeisen Verwendung, wenn mit Gleichstrom geschweißt wird.

Elektroden aus Gußeisen werden stets bei der Gußeisenwarmschweißung benutzt. Als gute Zusammensetzung gilt: 3÷3,5 % Kohlenstoff, 3÷3,5 % Silizium, 0,5÷0,7 % Mangan, bis 0,8 % Phosphor, bis 0,06 % Schwefel, also ein siliziumreiches Material, weil ein Teil des Siliziums beim Schweißvorgang verbrennt.

Kupfer kann außer mit der Kohlenelektrode ebenfalls mit Kupferelektroden geschweißt werden, wobei Kupferstäbe mit hohem Siliziumgehalt (2,5 %) und etwa 1,2÷1,8 % Mangan benutzt werden. Des weiteren hat sich der für Autogenschweißzwecke gut eingeführte Canzler-Kupferdraht, eine Legierung mit hohem Phosphorgehalt (0,5 %) und etwa 5 % Silber, auch für die Elektroschmelzschweißung als brauchbar erwiesen.

Abmessungen. Die üblichen Abmessungen für Drahtelektroden (ob aus Eisen oder aus Nichteisenmetallen), ob blank oder umhüllt, sind 300÷400 mm Länge bei 1,5÷6 mm Durchmesser; Gußeisenstäbe (mit und ohne Überzug) haben 400÷800 mm Länge bei 10÷25 mm Durchmesser.

Umhüllung (Ummantelung) der Elektroden. Die mit einem Schweißmittel pastenförmig überzogenen, sog. umhüllten Schweißstäbe sollen vor allem das Halten des Lichtbogens erleichtern. Deshalb sind insbesondere ungeübten Schweißern und Anfängern ummantelte oder, wie man auch sagt, umkleidete, überzogene Elektroden zu empfehlen. Vorteilhaft sind sie allgemein beim Schweißen mit Wechselstrom. Außerdem ist ein Schweißmittelüberzug für die Gußeisenkaltschweißung mehr erforderlich als für Schmiedeeisen. Schließlich

erleichtert diese Umkleidung das seitliche und Überkopfschweißen in hohem Maße. Der umkleidete Schweißstab läßt das Material langsamer abschmelzen. Ganz allgemein sind Größe und Flüssigkeitsgrad des flüssigen Metalltropfens wesentlich für eine gute Schweißung, da ein möglichst gleichmäßiges Gefüge des Schweißguts angestrebt werden muß.

Die Anforderungen an die Umhüllung sind in der Hauptsache folgende: Zunächst soll die Leitfähigkeit der Gase, der Träger des Lichtbogens, erhöht werden. Außerdem soll der Lichtbogen dadurch ruhiger brennen. Zu dieser hauptsächlichen Wirkung soll in zweiter Linie leichter und gleichmäßiger Fluß des Schweißguts kommen. Ferner soll eine zeitliche Übereinstimmung der Flüssigkeitspunkte erzielt werden, d. h. Schweißgut und Elektrode sollen möglichst gleichzeitig flüssig werden. Sodann soll die Umhüllung einen Gasmantel um den Lichtbogen bilden, wodurch der Zutritt des Luftsauerstoffs zum Elektrodenmaterial verhindert wird. Des weiteren sollen die beim Abtropfen der Elektroden verursachten Stromspannungsschwankungen vermindert werden. Und endlich soll durch den Überzug des Schweißstabes eine Verbesserung der chemischen Eigenschaften des Schweißguts erzielt werden. Inwieweit diese vielseitigen Anforderungen von der Elektrodenummantelung erfüllt werden können, wird später im Abschnitt „Einwirkungen des Lichtbogens auf das Schweißgut“ besprochen, doch sei schon jetzt darauf hingewiesen, daß die tatsächliche Wirkung der Umhüllung überwiegend mechanischer Natur ist und seinem chemischen Einfluß auf das Schweißgut, abgesehen von den nachher besprochenen Elektroden der Alloy Welding Processes Ltd., nur eine untergeordnete Rolle zukommt.

Die Zusammensetzung der Umhüllung, die nach vorigem eine Art Schweißmittel darstellt, bilden im wesentlichen Mischungen aus Oxyden, Hydroxyden, Karbonaten und Silikaten der Metalle Magnesium, Zirkonium, Aluminium, Kalzium, Kalium, Natrium u. a. Einfachere Stoffe zur Präparation der Elektroden sind Graphitpulver, Glas- und Kalkpulver, Borsäure, Kolophonium usw. Nach den diesbezüglichen Patentschriften besteht die Paste vorwiegend aus Alkali- bzw. Erdalkalisilikaten oder Ferrosilizium, denen borhaltige Stoffe u. dgl. zugesetzt werden. Die Erzeuger umhüllter Schweißstäbe betrachten ihr Schweißmittel durchwegs als Fabrikationsgeheimnis, obwohl wesentliche Unterschiede in den Zusammensetzungen kaum bestehen. Die Kjellberg-Elektroden G. m. b. H., die gegenwärtige Inhaberin diesbezüglicher Hauptpatente, in deren Anspruch das chemische Präparat als elektrischer Leiter zweiter Klasse angesprochen wird, unterhält ein Sortiment von etwa 20 verschiedenen umkleideten Eisenelektrodenarten, die bestimmten Zwecken und der Schweißung bestimmter Eisensorten dienen sollen. Ob eine Unzahl von Abarten dieser Schweißmittel notwendig ist und schweißtechnische Vorteile verspricht, möge dahingestellt sein.

Das eine, obere, in den Schweißkolben einzuklemmende Ende der Schweißstäbe bleibt in allen Fällen auf $15 \div 25$ mm Länge frei von der Schweißpaste, um genügenden Kontakt für den Stromfluß zwischen Schweißkolben und Elektrode herbeizuführen. Die Dicke der ausschließlich durch Tauchen aufgetragenen Umhüllung schwankt zwischen $\frac{3}{10}$ und $\frac{6}{10}$ mm, doch kommen auch Spezialstäbe mit bis zu 1,5 mm dickem Überzuge in den Handel. Die starke Umhüllung scheint jedoch weniger günstig zu sein, da sie den leichten und guten Fluß der Schmelze erheblich einschränkt und zu schlackenhaltigen Schweißstellen Veranlassung gibt. Die Färbung des Schweißmittelüberzugs ist meist weiß, gelblichweiß oder hellgrau, seltener grünlich.

Als eine besondere Art der umhüllten Elektroden sind noch anzuführen die Elektroden der englischen Quasi-Arc Company, die eine Asbestschnur von

etwa 2 mm Stärke mit untergelegtem Aluminiumfaden als Umhüllung haben, und die Elektroden der englischen Alloy Welding Processes Ltd., die noch Legierungszusätze in der Asbestumhüllung besitzen. Die schmelzende Asbestschnur gibt zwar einen sehr leicht zu haltenden Lichtbogen, aber auch eine dicke Schlackenschicht, die immerhin hinderlich ist. Der Aluminiumfaden dient als Desoxydationsmittel (d. h. zur Überführung des Luftsauerstoffs in die Schlacke). Die Legierungszusätze der an zweiter Stelle genannten Elektroden sollen in die Schweiße übergehen und dieser erhöhte Festigkeit und Dehnung geben, was nach Versuchen auch der Fall ist. Ein wesentlicher Nachteil dieser beiden Elektrodenarten ist ihr außerordentlich hoher Preis (etwa das Achtfache der blanken Elektroden). Auch die einfach umhüllten (mit Paste bestrichenen) Elektroden sind zur Zeit noch etwa doppelt so teuer als die nackten.

Man neigt jetzt der Ansicht zu, daß bei der Gleichstromschweißung ummantelte Elektroden in fast allen Fällen entbehrlich sind und ein geübter Schweißer mit blanken Schweißstäben technisch und wirtschaftlich bessere Ergebnisse erreicht. Selbst der Wechselstromlichtbogen ermöglicht durchaus gute Schweißleistungen mit nackten Elektroden, allerdings nur bei außerordentlicher Übung des Elektroschweißers. Flackernde und ungleichmäßig fließende blanke Elektroden kann man vor dem Schweißen durch Eintauchen in Kalkmilch oder Wasserglas verbessern. Der wirtschaftliche Nutzen liegt in diesem Fall in der Ersparnis der teuren ummantelten Elektroden.

Über die Querschnittsbelastung der Elektroden durch den elektrischen Strom, d. h. also die zulässige Stromstärke für die einzelnen Elektrodendurchmesser, wird im späteren Abschnitt „Die Technik der Lichtbogenschweißung“ das Erforderliche angegeben.

4. 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 grün angestrichene Wände. Abb. 141 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 Schutz der Schweißer durch Blechwände voneinander getrennt sind. Über den Schweißtischen 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 sehr großen Schweißumformern 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 Gußreparaturstücke einformen zu können. Für Gußwarmschweißungen sind auch Wärmeöfen, Wärmegruben u. a. m. erforderlich, worauf im Abschnitt „Warmschweißung des Gußeisens“ genauer eingegangen wird. Zu Vor- und Nacharbeiten sind notwendig eine Drehbank, eine oder mehrere elektrische Handbohrmaschinen (zum Abbohren der Schweißrisse) und eine elektrische Handschleifmaschine. Selbstverständlich muß das übliche Schlosser- und Schmiedehandwerkzeug vorhanden sein, insbesondere Hämmer, Meißel, Feilen und Drahtbürsten.

Die Größe der Maschinenanlage. Für die Schweißung von Schmiedeeisen und Stahl und für die Gußeisenkaltschweißung genügen nach früherem im Schweißstromkreis 200 A Stromstärke bei höchstens 25 V Spannung. Ein Gleichstrom-

schweißumformer hat dementsprechend bis zu etwa 10 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 Anderthalbfache der bei Gleichstromumformung erforderlichen Stromstärke zugeführt werden muß. Dementsprechend sind auch beim Transformator die Anschlußleitungen vom Netz her stärker zu bemessen. Sind mehrere Maschinen der genannten Größe vorhanden, so können sie, wenn sie die gleiche Charakteristik haben, parallel geschaltet und dann also zusammen zur Gußeisenwarmschweißung benutzt werden. Für die letztere braucht man im Schweißstromkreis $400 \div 1000$ A Stromstärke bei im Mittel 55 V Spannung. Nimmt man einen Gleichstromschweißumformer von 500 A Schweißstromstärke, so erfordert dieser eine Leistung des

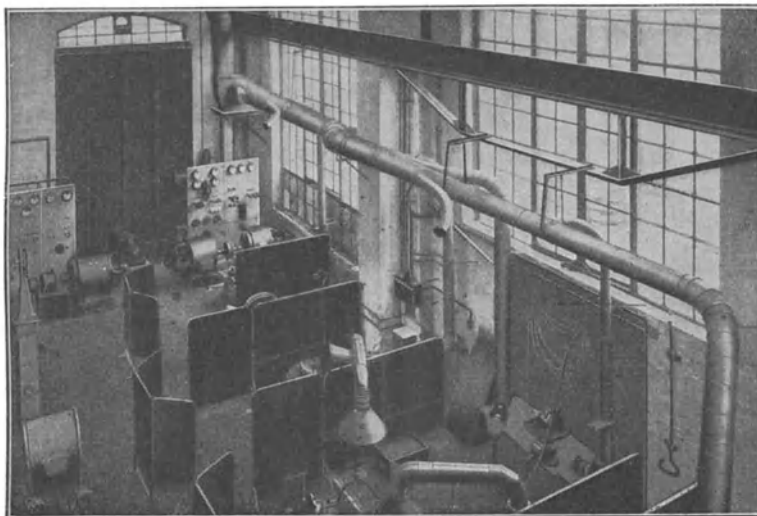


Abb. 141. Schweißwerkstatt.

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 wesentlich größere Leistung als beim Kaltschweißen hergeben können, da sie bei Warmschweißung mit $50 \div 60$ V Schweißspannung arbeiten. Hinzuweisen ist hier auch nochmals auf den dreiphasigen Anschluß für Wechselstromtransformatoren in Abb. 124.

C. Die Technik der Lichtbogenschweißung.

1. Einwirkungen des Lichtbogens auf das Schweißgut.

a) Kohlenlichtbogen.

Im Abschnitt III A war schon ausführlich auf die Eigenschaften des Kohlenlichtbogens eingegangen worden. Da überdies der Kohlenbogen in der Praxis stark gegen den Slavjanoffschen Metallbogen zurücktritt, kann er hier mit wenigen Worten abgetan werden.

Ein besonderer Nachteil des Kohlenbogens ist die Gefahr der Kohlenstoffanreicherung der Schweißstelle, und zwar insbesondere bei Eisen. Der aus der Elektrode ausgestoßene Kohlendampf wird von der im hochoverhitzten, noch mehr von der im flüssigen Zustande befindlichen Schmelzstelle begierig aufgenommen, wodurch die physikalischen Eigenschaften der Schweiße ungewollt verschlechtert werden. Aus Schmiedeeisen kann Stahl, aus diesem ein gußeisenähnlicher Werkstoff werden. Im übrigen ist einwandfrei festgestellt, daß alle Schweißungen mit Wechselstromkohlenelektroden sehr mangelhaft ausfallen.

Ein hinreichend wirksames Mittel zur Verhütung starker Anreicherung der Schweiße an Kohlenstoff ist die Verlängerung der Gassäulenstrecke des Lichtbogens. Die chemische Vereinigung des Luftsauerstoffs mit dem vom Elektrodenmaterial abgewanderten Kohlendampf erfolgt im Mantel des Lichtbogens, in der bereits bekannten Aureole. Darum soll der Kohlenbogen nicht unter 20 mm Länge haben, damit sich der Luftsauerstoff mit den an das Schweißgut übergehenden Kohlentheilchen verbinden und diese auf einem längeren Wege aufzehren, d. h. in Kohlenoxyd und Kohlensäure umwandeln kann. Allerdings darf auch hier ein von der Stromdichte abhängiges Höchstmaß nicht überschritten werden, wenn eine Verbrennung des Eisens verhütet werden soll. Die Schweißung mit der Kohlenelektrode erfordert einen Aufwand von meist 250–400 A Stromstärke bei 45–70 V Spannung.

Wenngleich beim Zerenerschen Verfahren die Gefahr einer Eisenkohlung geringer ist, da hierbei der Lichtbogen unbeeinflusst vom Werkstück gebildet wird, so kann sich dieses Verfahren kaum weitgehend einbürgern. Die zur Schweißung notwendige Hitze bedingt große Stromstärken und damit verbunden raschen Abbrand der Kohlenstäbe, so daß eine häufige Auswechslung der Kohlen notwendig ist. Zwar ist es ohne weiteres möglich, bei normalen Bogenlampenverhältnissen den Zerenerschen Lichtbogen mit 30–50 A zu unterhalten, doch sind die entstehenden Wärmegrade nur für Weichlötzwecke ausreichend. Für Schweißzwecke muß die Stromstärke 100–300 A betragen. Außerdem ist der Stromverbrauch bei diesem Verfahren größer als bei den Verfahren von Benardos und Slavianoff, weil nur ein Teil des Lichtbogens ausgenutzt werden kann. Nachteilig ist auch die unbequeme Handhabung des ziemlich verwickelten und schweren Schweißapparats. Ein Vorteil des Kohlenbogens ist der, daß er fast alle Metallsauerstoffverbindungen (Oxyde) kräftig reduziert (entfernt), was beim Elektroschmelzschweißen sehr wohl ins Gewicht fällt.

b) Metalllichtbogen.

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

Allgemeine physikalische Einwirkungen. Sobald die Elektroschweißflamme zwischen Werkstück (Werkstückelektrode) und Stabelektrode (Schweißstab) hergestellt ist, beginnt ein starkes örtliches Erhitzen der meist größeren Masse des Schweißguts, ein Erweichen des Stabendes und dessen Übergang zur Schweißstelle in Kugelform. Die Bildung der flüssigen Eisenkügelchen ist die Folge einer stofflichen Verdichtung, verursacht durch Oberflächenspannungen. Letztere sind allen flüssigen Stoffen eigen und rein äußerlich durch Bildung eines winzig feinen Häutchens an der meist kugelförmigen Oberfläche des Stoffes erkennbar. Diese Oberflächenspannungen müssen beim Schweißen überwunden werden. Sie sind um so größer, je mehr freier Sauerstoff zugegen ist, wie dies beim Schweißen zutrifft. Gleichzeitig dehnen sich die das Eisen begleitenden Gase bei den hohen

Wärmegraden rasch aus und schleudern, unterstützt durch die Schwerkraft des Eisentropfens, die von Gasen durchsetzten flüssigen Eisenteilchen gegen das zunächst hochoverhitzte, nach kurzer Zeit jedoch örtlich fließende Schweißgut. Diese Wirkung wird verstärkt durch alle diejenigen in der Elektrode vorhandenen Legierungsbestandteile, die in den flüssigen und gasförmigen Zustand übergehen, vornehmlich durch den Kohlenstoff. Das feinverteilte, geschoßartig zum Werkstück übergehende Eisen vor dem Einflusse der atmosphärischen Luft zu schützen und das metallische Strahlenbündel besser zusammenzuhalten, ist eine der Aufgaben des Elektrodenüberzugs.

Da alle diese Wandlungen sich in winzigen Bruchteilen einer Sekunde und bei starker Lichtwirkung des Bogens vollziehen, ist ihre genaue Feststellung außerordentlich schwierig. Man kann daher nicht einmal mit Sicherheit sagen, ob der größere Teil des Elektrodenbaustoffs einer Verflüssigung unterworfen ist und nur geringere Mengen gasförmig werden und nachher auf der Schweißstelle wieder feste Form annehmen. Untersuchungen über die Überführung des Elektrodenmetalls zum Schweißstück sind wenig angestellt worden. Versuche mit kinematographischen Aufnahmen waren nur von geringem Wert, obwohl man von normal 16 auf 32 Aufnahmen in der Sekunde hinaufgegangen war.

Nach früheren Betrachtungen ist es einleuchtend, daß die Wärmewirkung an der Stabelektrode größer sein muß als am Werkstück, weil die Wärmeableitung in dem massigen Werkstück wesentlich größer ist. Das ist ausschlaggebend dafür, bei der Gleichstromschweißung den um 600° heißeren Pluspol (die Anode) an das Werkstück zu legen. Gleichzeitig wird hierdurch die Gefahr einer starken Überhitzung des an den Minuspol (die Kathode) angeklebten Elektrodenbaustoffs verringert. Als Abweichung von dieser sonst allgemeingültigen Regel ist zu erwähnen, daß schwer schmelzbare Elektroden mitunter an den positiven Pol gelegt, dagegen dünne, leicht überhitzbare Bleche (unter 3 mm) an den negativen Pol anzuschließen sind. Beim Wechselstrom ist diese vorteilhafte Verteilung der Polwärme natürlich nicht möglich. Infolge des raschen Polwechsels besteht praktisch kein Temperaturunterschied zwischen den beiden Elektroden, womit eine Überhitzungsgefahr nur durch richtige Wahl der Stromstärke abgewendet werden kann.

Überkopfschweißung. Das Meisterstück des Elektroschweißers ist die noch heute vielfach angezeifelte „Überkopfschweißung“, zumal bei Anwendung von Wechselstrom, wo nur ein außergewöhnlich hohes Maß von Geschicklichkeit den Erfolg der Arbeit gewährleistet. An Hand der Abb. 142 läßt sich der Vorgang des üblichen Überkopfschweißens mit Gleichstrom verständlich machen. Man sieht sofort, daß die Elektrode am Pluspol liegt, weil ja überwiegend von diesem Pol stoffliche

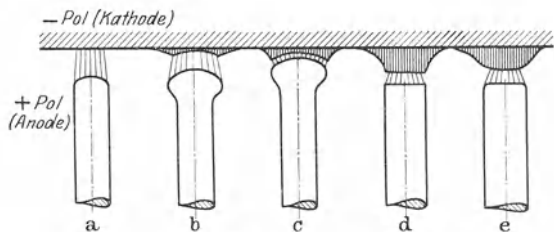


Abb. 142. Überkopfschweißung.

Teilchen der Elektrode ausgestoßen und am Gegenpol angehäuft werden. Ferner erkennt man in der Abbildung zunächst das Überspringen des Lichtbogens bei a, darauf Erweichen und Fließen beider Elektroden bei b. Die Kathode bildet einen Krater, die Anode eine kugelförmige Verdichtung des Stabendes. Bei c sehen wir eine weitere Vergrößerung des Tropfens und Kraters und gegenseitige Berührung. Der flüssige, kugelförmige Materialtropfen wandert nun

an das Werkstück ab (*d*), unterstützt durch die Schleuderwirkung der explodierenden Gase im flüssigen Elektrodenmaterial. Gesteigert durch die Adhäsionskraft (Anhaftekraft) an der Berührungsstelle breitet sich Material (bei *e*) am Blech aus. Es folgt eine Verstärkung der Anziehung der Elektrodenmasse und ein beschleunigtes Überfließen von Werkstoff zum Minuspol, bis die Verdichtung verschwunden und der Lichtbogen wiederhergestellt ist. Das Öffnen und Schließen des Lichtbogens geschieht etwa 10–15 mal sekundlich; ebensoviel Tropfen wandern ab, mithin weniger als beim normalen Schweißen (nach unten), wo sekundlich 20–30 Tropfen an das Werkstück übergehen. Dementsprechend und infolge schneller eintretender Ermüdung ist die Leistung beim Überkopfschweißen wesentlich geringer als beim normalen Schweißen.

Man kann sich leicht vorstellen, daß in der Zeit zwischen Bildung der metallischen Verdichtung am oberen Elektrodenende und der Wirksamkeit der An-

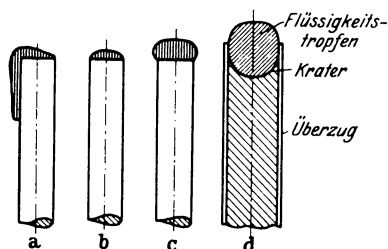


Abb. 143. Einfluß der Umhüllung beim Überkopfschweißen.

ziehung des negativen Pols der flüssige Metalltropfen das Bestreben hat, nach dem Gesetz der Schwere abzufließen und an der Stabelektrode herunterzulaufen, wie dies bei *a* in Abb. 143 dargestellt ist. Denkt man sich einen Glasstab (Abb. 143b) und benetzt die Fläche des oberen Endes mit Wasser, so wird nur ein kleiner Tropfen gehalten werden können, da die Kraft des Anhaftens (Adhäsion) gering ist. Fettet man aber den Mantel des oberen Stabendes etwas ein, so können viel größere Flüssigkeitstropfen anhaften (*c* in Abb. 143),

ohne daß ihr Abfließen am Stab entlang zu befürchten ist (ruhiges Halten des Stabes vorausgesetzt). Der gleiche Grundgedanke tritt uns beim umhüllten Schweißstab entgegen, weshalb Überkopfschweißungen fast nur mit umhüllten Elektroden ausgeführt werden. Abb. 143d zeigt, wie durch den Überzug des Schweißstabes rings um den Krater eine manschettenartige, von chemischen Stoffen des Überzugs herrührende Hülse gebildet wird, die bis zur Überführung des Flüssigkeitstropfens zum Werkstück sein Abfließen verhindert.

Flammenführung. Die Führung des Lichtbogens geschieht — von einigen später zu erörternden Ausnahmen abgesehen — zweckmäßig nach Art der Abb. 144

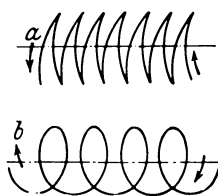


Abb. 144. Flammenführung.

und 145. Während beim Auftragen sog. Raupen, d. h. schuppenartiger, wulstiger Streifen, die Elektrode einfach gleichmäßig und ohne seitliche Abweichung vorgeschoben wird, ist beim Verschweißen größerer Flächen die zickzackförmige, hin und her pendelnde Bewegung des Schweißstabs, wie sie in Abb. 144a gezeigt ist, die meist gebräuchliche. Die strichpunktierte Mittellinie hat man sich als Mitte der Schweißnaht zu denken. Bei der Bearbeitung schwerer Werkstücke kann verschiedentlich auch die wellenförmige Bewegung (Abb. 144b) zweckmäßig sein. Ruhiges und gleichmäßiges Tempo, bei möglichst gleichbleibendem Abstand

der Elektrode vom Werkstück, d. h. stets gleiche Lichtbogenlänge, ist bei allen Arten der Bewegung die Grundbedingung.

Wichtig ist ferner die Verhinderung von Schlackeneinschlüssen, die vor allem von der Umhüllung des Schweißstabs, von Zunderschichten des Schweißguts und der Elektrode und von den im Lichtbogen oxydierten Legierungsbestandteilen der Elektrode herrühren. Einmal kann der aufmerksame Schweißer die

Schlackenteilchen durch richtiges Bewegen des Lichtbogens aus dem Schmelzbad austreiben. Sodann ist die peinliche Säuberung des Schweißguts von Zunder und Rost (mit einer Drahtbürste) vor Schweißbeginn sehr anzuraten, da sie isolierend wirken und in der Schweiße unverschweißte Stellen hinterlassen. Das beim Schweißen fortspritzende Eisen ist stark oxydiert und schlägt sich auf der Oberfläche des der Schweiße benachbarten Materials als ein rostbrauner Belag von winzig kleinen Perlen nieder (s. auch die späteren Abb. 146–149). Um den Einfluß dieser Oxyde auf die Schmelze abzuwenden, soll die Bewegungsrichtung der Elektrode entgegengesetzt sein der Richtung der Flamme, was durch Abbiegen der Elektrode, wie dies in Abb. 145 dargestellt ist, auf einfachste Weise erreicht wird. Diese Maßnahme gewährleistet zudem einen zuverlässig guten Schmelzkrater im Metall und einwandfreie Bindung. Wichtig ist natürlich auch die Verwendung eines guten, möglichst wenig spritzenden Schweißdrahts, um von vornherein das Spritzen zu beschränken.

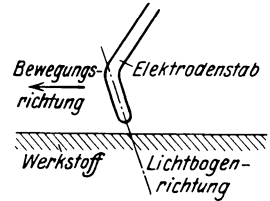


Abb. 145. Abbiegen der Elektrode.

Oxydationswirkungen. Unter Oxydation versteht man die Verbindung eines Stoffes mit Sauerstoff. Der Sauerstoff braucht nicht chemisch rein vorhanden zu sein; es genügt die Gegenwart atmosphärischer Luft, die ja zu etwa $\frac{1}{5}$ aus Sauerstoff besteht. Von den Bestandteilen der Eisenelektrode oxydieren (verbrennen) Kohlenstoff, Mangan und Silizium zum größten Teil bei der außerordentlich großen Wärme des Lichtbogens unter Mitwirkung der den Lichtbogen umgebenden Luft. Die Schweißstelle wird also kohlenstoff-, mangan- und siliziumarm, wodurch die Festigkeitseigenschaften der Schweißstelle ungünstig beeinflusst werden. Phosphor- und Schwefelgehalt bleiben nahezu unverändert.

Stickstoff- und Sauerstoffaufnahme der Schweiße. Der hohe Gehalt der Schweiße an Stickstoff ist ein hervorragendes Kennzeichen lichtbogengeschweißten Eisens und ist der stickstoffbindenden Kraft des elektrischen Lichtbogens zu verdanken. Ein Gemisch von Stickstoff (zu $\frac{4}{5}$ in der Luft enthalten) und Luft verbrennt im Lichtbogen zu Stickoxyden. Beim Schweißen findet eine chemische Verbindung des zertrümmerten Stickstoffmoleküls mit dem flüssigen und gasförmigen Elektroden Eisen statt. Diese Eisenstickstoffverbindungen (Nitride) gehen in die Schweiße über. Nitriertes (d. h. also stickstoffhaltiges) Eisen ist stets hart und mehr oder weniger spröde. Nach chemischen Untersuchungen hat z. B. lichtbogengeschweißtes Flußeisen bei normal 0,005–0,010 % Stickstoffgehalt des Schweißstabs in der Schweiße 0,1–0,15 % Stickstoff. Wenngleich durch gesteigerte Härte auch eine höhere Festigkeit erzielt wird (von Interessentenkreisen häufig widerrechtlich als eine günstige Wirkung des Lichtbogens hingestellt), so erfolgt dies jedoch immer auf Kosten der Dehnung des Eisens. So setzt ein Stickstoffgehalt von etwa 0,1 % die Dehnung eines Eisens um 80 % herab, womit dann allerdings eine Festigkeitszunahme von etwa 20 % Hand in Hand geht. Die hier und da vertretene Ansicht, auch die autogen geschweißte Naht enthalte Stickstoffmengen in größerem Maße, ist unzutreffend, da hier die grundlegenden Voraussetzungen für die Zertrümmerung der Luftstickstoffmoleküle weitaus weniger gegeben sind. Auf Grund chemischer Untersuchungen ist bei der autogenen Schweißung im allgemeinen nur mit einer geringen Zunahme des Stickstoffs (z. B. von 0,005 % des Schweißstabs auf 0,017 % der Schweiße) zu rechnen. Im elektrisch schmelzgeschweißten Eisen läßt sich übrigens der Stickstoff am besten durch die metallographische Prüfung nachweisen; er erscheint im Schliff in Form sog. „Nitridnadeln“ (Näheres s. im Abschnitt „Güte der Schweißnaht“).

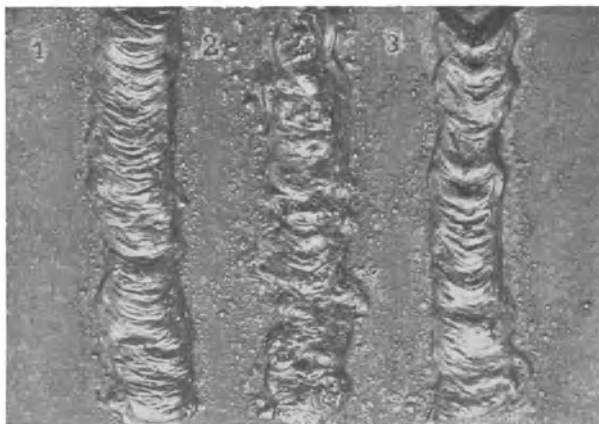
Außer hohem Stickstoffgehalt ist auch stets ein hoher Sauerstoffgehalt der Elektroschmelzschweiße festzustellen (von etwa $0,05 \div 0,1$ % des Schweißstabs auf $0,15 \div 0,30$ % der Schweiße anwachsend), während wiederum bei der autogenen Schweißung die Sauerstoffzunahme geringfügig ist. Der Sauerstoff tritt in der Schweiße meist in Form feinverteilter Eisen- und Manganoxyde auf, die durch Verbindung des Eisens und Mangans mit dem Sauerstoff der Luft entstanden sind und bei der schnellen Erstarrung des vom Lichtbogen geschmolzenen Materials nur unvollkommen ausgeschieden werden können. Er ergibt, ebenso wie der Stickstoff, vor allem eine mangelhafte Dehnung der Schweiße.

Zur Verhütung oder wenigstens Verringerung der Stickstoff- und Sauerstoffaufnahme der Schweiße ist zunächst, wie schon früher erwähnt, zu empfehlen, den Lichtbogen so kurz als möglich zu halten. Dementsprechend ist auch jenen Schweißdynamos und Schweißtransformatoren der Vorzug zu geben, die — bei guter Erfüllung aller sonstigen Forderungen — mit geringer Leerlaufspannung arbeiten und dadurch den Schweißer zwingen, den Lichtbogen kurz zu halten (weil er sonst abreißt). Neuerdings soll erfolgreich versucht worden sein, durch Anwendung von Desoxydationsmitteln den Sauerstoff- und Stickstoffgehalt herabzudrücken. 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 dem Sauerstoff der Luft verbindet als z. B. Eisen und Mangan; außerdem muß die dann gebildete Sauerstoffverbindung von dem Inneren der Schweiße ferngehalten werden (z. B. als leichtflüssige Schlacke). Versuche von Hoffmann haben gezeigt, daß mit Nickel legierte, bzw. vernickelte Schweißstäbe die Stickstoffaufnahme auf ein Mindestmaß herabsetzen. Zum Beispiel ergab sich bei Verwendung von Stäben mit 1,7 % Nickel und einem Stickstoffgehalt von 0,011 % in der Schweiße ein Stickstoffgehalt von 0,012 %, also praktisch keine Zunahme. Die Nitridnadeln fehlten im Schliff vollständig.

Einfluß des Elektrodenüberzugs. Infolge der Ummantelung der Elektrodenstäbe mit Schweißpaste soll man stärker bemessene Stäbe und höhere Stromstärken verwenden können, was gleichbedeutend ist mit gesteigerter Schweißgeschwindigkeit. Der größere Teil des Schweißmittels umhüllter Stäbe vergast aber und wird mit in den Lichtbogen gerissen, woselbst es die Rolle des Lichtbogenträgers mit übernimmt und zur Stabilisierung des Lichtbogens beiträgt; doch erleidet die Wirksamkeit der chemischen Bestandteile beim Durchgang durch die Flamme eine starke Einbuße. Überdies dürfte die Zeit, die dem Einflusse wirksamer Desoxydationsmittel der Paste zur Verfügung steht, zu kurz sein, um eine praktisch ausreichende Zerstörung der im flüssigen Eisen vorhandenen und fortwährend gebildeten Oxyde durch Lösung oder Schlackenbildung herbeizuführen. Im Gegenteil tritt nicht selten an Stelle der Oxydlösung eine Einlagerung von Schlackenteilchen der Paste ins Schweißgut ein, die in ihrer Menge schädlicher sein können als die vielleicht weniger großen Oxydeinschlüsse. Doch ist nicht von der Hand zu weisen, daß vom Chemiker wahrscheinlich Wege gefunden werden, die Leistungen des Schweißmittels nennenswert zu verbessern. Als erwiesen kann man ansehen, daß tatsächlich die Stabhülle, sofern ihr Schmelzpunkt oberhalb des Eisenschmelzpunkts gelegen ist, den Zutritt von Sauerstoff und Stickstoff erschwert. Auch das Halten des Eisentropfens beim bereits behandelten Überkopfschweißen bedingt einen Schmelzpunkt des Überzugs, der höher liegen muß als der des Eisens.

Einfluß der Stromstärke. Je größer die Stromstärke ist, desto dünnflüssiger wird die Schweißstelle und desto leichter können die entstandenen Oxyde und

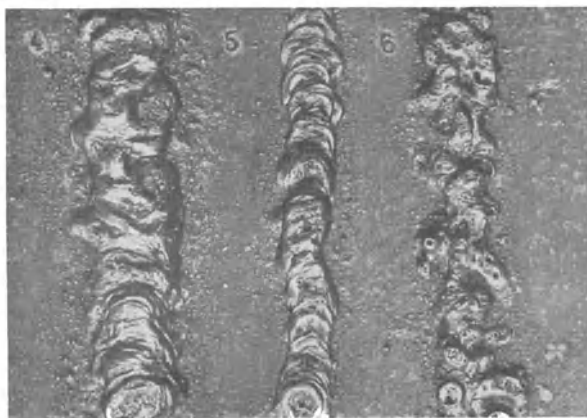
andere Verunreinigungen aus der Schweiße nach oben steigen und somit ausgeschieden werden. Mit steigender Stromstärke ging auch nach Versuchen von Paterson der Sauerstoffgehalt der Schweiße stark und der Stickstoffgehalt etwas zurück. Der Sauerstoffgehalt fiel bei diesen Versuchen von 0,6 % bei 60 A auf 0,35 % bei 100 A und 0,25 % bei 140–160 A, um dann ganz langsam wieder etwas zu steigen. Der Stickstoffgehalt sank von 0,16 % bei 60 A auf 0,12 % bei 100 A und 0,10 % bei 140 A und stieg wieder auf 0,12 % bei 180 A. In Übereinstimmung mit diesen Ausführungen und Versuchen ergeben sich auch bei etwa 150–180 A Stromstärke die günstigsten Festigkeitsergebnisse für mittlere Blechstärken. Je größer die Blechstärke, desto höher muß nach vorigem auch die zweckmäßige Stromstärke sein.



a b c

Abb. 146. Aussehen guter und schlechter Schweißnähte.

Aussehen der Schweißnaht. Abb. 146 :–149 zeigen das Aussehen verschiedener Schweißnähte, die nach Angaben der Verfasser hergestellt sind. Es wurde mit Gleichstrom und nackten Elektroden geschweißt. In Abb. 146 und 147 sind die Schweißraupen auf das Blech aufgelegt. Die Naht in Abb. 146a ist mit kurzem richtigem Lichtbogen und mit der normalen Stromstärke geschweißt; nur wurde die genaue Schweißrichtung nicht ganz eingehalten. Bei Abb. 146b wurde mit derselben Stromstärke wie bei a, aber mit zu langem Lichtbogen geschweißt; man erkennt deutlich, daß die Naht wesentlich unsauberer ist und Oxydeinschlüsse enthält. Abb. 146c gibt eine Naht wieder, die mit richtiger Lichtbogenlänge, jedoch unzulässig hoher Stromstärke geschweißt wurde. Die Naht enthält verbranntes Material, was im Bild nicht so in Erscheinung tritt. In Abb. 147 ist bei a zwar mit richtiger Lichtbogenlänge, aber mit zu geringer Stromstärke geschweißt worden; außerdem wurden zu starke Elektroden verwendet. Die Naht ist sehr breit und unregelmäßig. Das Gegenstück mit Verwendung zu



a b c

Abb. 147. Aussehen schlechter Schweißnähte.

schwacher Elektroden bei sonst gleichen Verhältnissen wie in Abb. 147a zeigt Abb. 147b; die Naht ist auffallend schmal und auch ungleichmäßig. Die ausgesprochen schlechte Naht eines Anfängers ist in Abb. 147c veranschaulicht. Das Nahtgefüge ist ganz zusammenhangslos. Das aufgetragene Elektrodenmaterial ist entlang der Naht wahllos und ohne Bindung ungleichmäßig verteilt. In Abb. 148 ist die normale Schweißnaht eines 5 mm-Blechs, das V-förmig in der Naht vorbereitet war, wiedergegeben und in Abb. 149 die entsprechende V-förmige Schweißnaht eines 15 mm-Blechs, die naturgemäß viel breiter ausfällt. Hinzuweisen ist noch besonders auf die Spritzkugeln, die auf allen geschweißten Blechen zu sehen sind; sie werden, soweit sie der ungeschweißten Naht vorgelagert sind, während der Einwirkung des Licht-

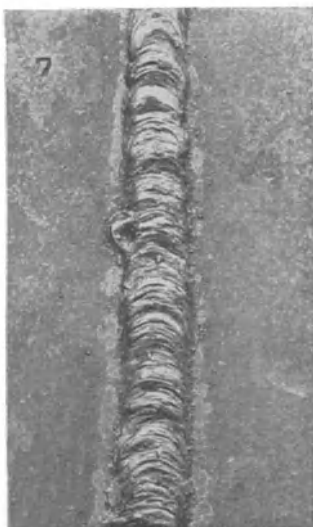


Abb. 148. Normale Schweißnaht eines 5 mm starken Blechs.

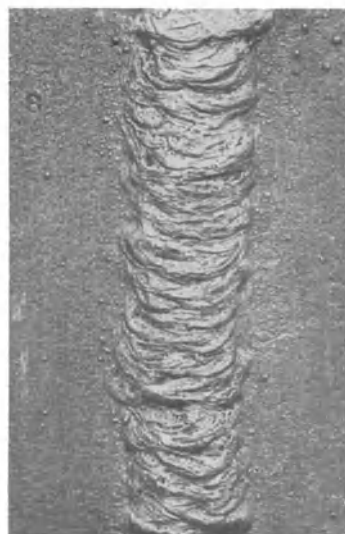


Abb. 149. Normale Schweißnaht eines 15 mm starken Blechs.

bogens von neuem verflüssigt und in die Schweiße mit eingeschmolzen, was nach früherem ein Nachteil ist. Bei vorsichtigem, gutem Schweißen ist die Spritzkugelbildung ganz geringfügig, wie z. B. in Abb. 148; dagegen ist sie besonders stark in Abb. 146b. Der lernende Schweißer muß zuerst in der Lage sein, ein längeres Stück einwandfrei aufzulegen, ehe er an die Verbindung zweier Bleche durch eine Schweißnaht gehen kann.

2. Die Schweißung von Schmiedeeisen, Stahl und Stahlformguß.

Das technisch wichtigste Metall, das Eisen, eignet sich in der Form von Schmiedeeisen, Stahl und Stahlformguß für die Elektroschmelzschweißung am besten. Ihre Wirtschaftlichkeit beginnt bei etwa 3 mm Blechstärke; schwächere Bleche werden besser autogen geschweißt. Nach oben sind dem Anwendungsbereich der Elektroschmelzschweißung keine Grenzen gesetzt, da alle praktisch vorkommenden schmiedbaren Eisenstücke elektrisch schweißbar sind. Mit Rücksicht darauf, daß die Lichtbogenschweißung mehr ein Auftrag- als ein Einschmelzverfahren darstellt, ist der Vorbereitung der Werkstücke viel mehr Sorgfalt zuzu-

wenden als bei der Gasschmelzschweißung. Dagegen gestattet die elektrische Schweißung eine überlappte Verbindung von Blechen und Konstruktionsteilen, was bei der Gasschmelzschweißung im allgemeinen ausgeschlossen ist.

a) Die Vorbereitung von Eisenblechen.

Stumpfschweißungen. Bedeutet in den folgenden Abbildungen s die Blechstärke, α den Abschrägungswinkel und a_1 und a_2 die Schweißfugenbreite, so erhält man nachstehende Übersicht über die Schweißhaltung (d. h. Entfernung der Bleche und Kantenabschrägung): Dünne Bleche, von $1 \div 3$ mm Stärke, werden an den Stoßkanten unabgeschrägt belassen, entsprechend Abb. 150 I und II. Bei $s = 1$ mm stößt man die Kanten stumpf zusammen, wie dies in Abb. 150 I gezeigt ist, während darüber hinaus eine Schweißfuge bestehen bleiben muß, die dem Füllmaterial ein Durchfließen in der ganzen Blechdicke sicher gestattet. So beträgt a bei $1 \div 1,5$ mm Blech = 0,5 mm, bei $1,5 \div 2$ mm Blech = $1 \div 2$ mm und bei $2 \div 3$ mm Blech = $2 \div 3$ mm. Blechstärken über 3 mm können in der Regel nicht mehr auf diese Weise durchgeschweißt werden und erfordern eine besondere Vorbereitung; sie werden entweder ausgevaut, d. h. V-förmig abgeschrägt oder, wie es bei Blechen von 20 mm Stärke und mehr zweckmäßig ist, ausgeixt, d. h. doppelseitig ausgevaut. Diese Abschrägung, die als Schweißmulde und zur Aufnahme des Füllmaterials dient, geht jedoch nie durch die ganze Blechdicke, sondern nur über etwa 80 %; der Rest von 20 % bleibt rechtwinklig. Beträgt $s = 4 \div 6$ mm, dann soll Winkel α (Abb. 150 III) etwa 80° ausmachen, womit auf jede Blechhälfte (Kante) ein Abschrägungswinkel von 40° entfällt; $a_1 = 2 \div 2,5$ mm.

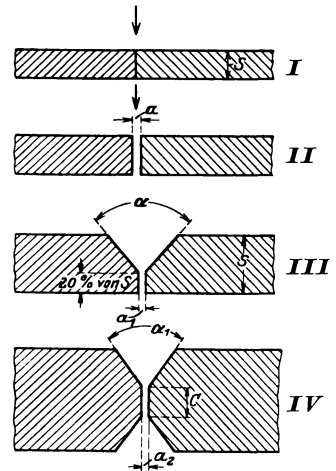


Abb. 150. Vorbereitung von Blechen zur Stumpfschweißung.

Ist $s = 6 \div 8$ mm,	dann wird $\alpha = 80^\circ$ und $a_1 = 3$ mm,
„ $s = 8 \div 10$ mm,	„ „ „ $\alpha = 70^\circ$ „ $a_1 = 3$ mm,
„ $s = 10 \div 15$ mm,	„ „ „ $\alpha = 60^\circ$ „ $a_1 = 3,5$ mm und
„ $s = 15 \div 20$ mm,	„ „ „ $\alpha = 50^\circ$ „ $a_1 = 4$ mm.

Die vorstehenden Zahlen sind Mittelwerte, die in besonderen Fällen je nach Erfordernis mäßige Abweichungen vertragen. Bei Blechstärken von $s = 20$ mm und mehr tritt die X-förmige Bearbeitung der Bleche in den Vordergrund. Doch ist dies keine dringende Notwendigkeit, vor allem dann nicht, wenn die örtlichen Verhältnisse in der Blechkonstruktion keine doppelseitige Schweißung zulassen. Normalerweise soll Winkel α_1 in Abb. 150 IV etwa 80° , a_2 $1,5 \div 2$ mm und $c = 20\%$ von s ausmachen. Einer sauberen Bearbeitung der Schweißmulden bedarf es nicht; es genügen z. B. auch autogen ausgeführte Schnitte.

Überlappte Schweißungen (Kehlschweißungen). Die überlappte Schweißung hat den Vorzug höherer Festigkeit und wird daher besonders dort angewandt, wo große Zug- oder ähnliche Festigkeitsbeanspruchungen in Frage kommen, sie erfordert keine Bearbeitung der Blechkanten. Solche einseitig überlappten Nähte sind in Abb. 151 und 152 in verschiedener Ausführung dargestellt. Abb. 151a zeigt die normale doppelnähtige Schweißung, d. h. beide Blechkanten sind mit dem darunter- bzw. darüberliegenden Blech verschweißt. Die entstehende Kantennaht wird Kehlschweißung genannt. Eine Kehlschweißung ist daher

immer eine überlappte Schweißung. In Abb. 151*b* ist die einnähtige Kehlschweißung im Schnitt veranschaulicht; sie kommt weniger zur Anwendung und auch nur dort, wo keine starken mechanischen Kräfte auf die Naht einwirken.

Unter sich sind Kehlnähte noch insofern verschieden, als das Elektrodenfüllmaterial verschieden dick aufgetragen werden kann. Einen Vergleich gewähren die Skizzen *a*, *c* und *d* der Abb. 151, welche verschiedene doppelnähtige Kehlschweißungen darstellen. *a* zeigt die schwache, *c* die volle und *d* die starke Kehlschweißung. Die größte

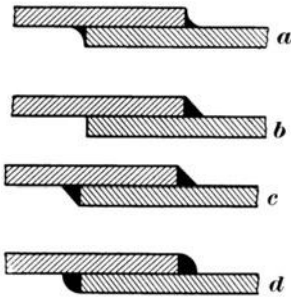


Abb. 151. Ausführung der überlappten Schweißung.

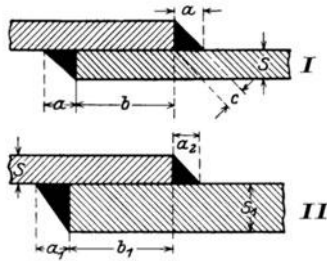


Abb. 152. Abmessungen bei überlappten Schweißungen.

Festigkeit werden natürlich die Nähte *c* und *d* ergeben, die außerdem am gebräuchlichsten sind.

Daß auch für die Überlappung bestimmte Abmessungen bestehen müssen, ist selbstverständlich. Diese sind für gleich dicke Bleche in Zahlentafel 9 zusammengestellt und in

Abb. 152*I* zeichnerisch veranschaulicht. Zahlentafel 9 gibt außerdem die zweckmäßige Schweißstromstärke, Spannung und den Elektrodendurchmesser für die einzelnen Blechdicken an. Sind die Blechstärken verschieden, wie dies in Abb. 152*II* gezeigt ist, so kommen für Stromstärke und Elektrode die Schweißverhältnisse $\frac{s + s_1}{2}$ in Frage. Das Maß a_1 beträgt dann $\frac{4}{5}$ von s_1 und $a_2 = s$, während für $b_1 = b + 20\%$ einzusetzen ist.

Zahlentafel 9.

Blechdicke <i>s</i> mm	Kehlfußbreite <i>a</i> mm	Überlappung <i>b</i> mm	Kehlhöhe <i>c</i> mm	Schweißstromstärke A	Schweißspannung V	Elektroden- durchmesser mm
6 + 6	6	40	4	150	20	4
10 + 10	10	50	7	170	22	4
15 + 15	15	60	10	180	22	5
20 + 20	20	70	12	190	23	5
25 + 25	25	75	14	200	25	6
30 + 30	30	80	16	200	25	6

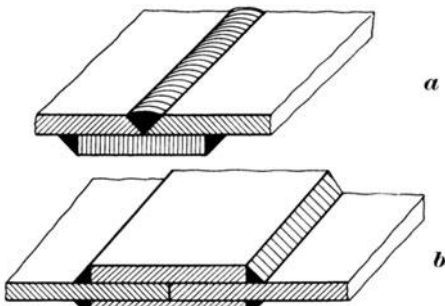


Abb. 153. Einfache und doppelte Laschenverbindung.

Konstruktionsschweißungen.

Die Möglichkeit der konstruktiven Anwendung der Lichtbogenschweißung ist so vielgestaltig, daß hier nur einige hauptsächlichste Verbindungsarten angeführt werden können. Bisher wurde nur von Längsnähten gesprochen. In den folgenden Skizzen, Abb. 153, 154 und 155, sind außer Längsverbindungen auch Eck-, Rund- und Zwischennähte schematisch dargestellt. Zunächst zeigt Abb. 153 bei *a* die einfach verlaschte und dreifach geschweißte Naht. Die

beiden Hauptbleche sind in bekannter Weise im Stoß stumpf geschweißt, und über diese Naht greift in beiderseits gleichem Abstände die ebenfalls an beiden Kanten verschweißte Lasche. Auch diese, wie die nächste in Abb. 153*b* gezeigte Verbindung, sind Festigkeitsnähte. In Abb. 153*b* ist eine doppelte Laschenverbindung ohne Schweißung des Blechstoßes dargestellt, eine im Schiffbau gern angewandte Schweißungsart.

Ecken- und Kantenschweißungen sind aus Abb. 154*a*, *b*, *d* und *e* ersichtlich, wobei hervorzuheben ist, daß Nähte wie *b* und *e* sowohl Festigkeitsnähte wie Dichtungsnähte sind. Weitere Erklärungen zu diesen Bildern erübrigen

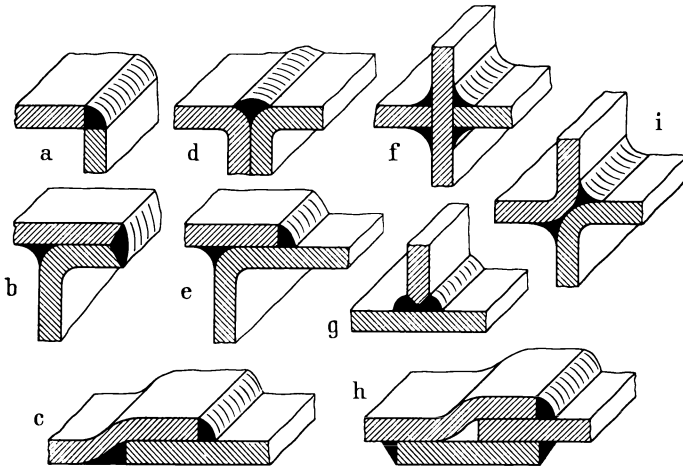


Abb. 154. Ecken-, Kanten- und gekröpfte Schweißungen.

sich angesichts der Einfachheit solcher Nähte. Das bei *f* gezeichnete Blechkreuz erfordert vier Nähte; die senkrechte Blechtafel geht durch, die wagerechte ist am Kreuzungspunkt geteilt. Die Möglichkeit, ein solches Kreuz mit nur zwei Nähten billiger herzustellen, besteht, wenn, im Sinne der Andeutung *i*, zwei Bleche recht-

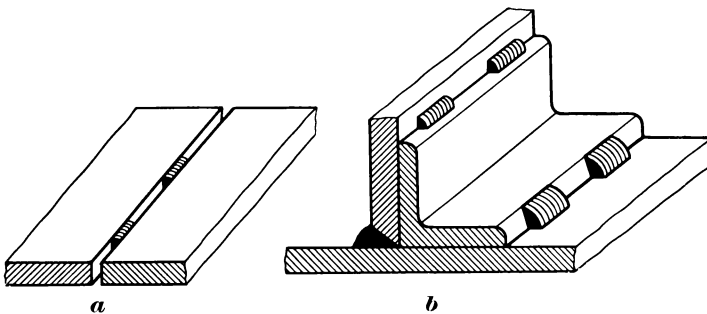


Abb. 155. Heftnähte.

winklig abgekantet werden. Festigkeits- und Dichtungsnähte sind ferner *c*, *g* und *h* der Abb. 154. Bei *g* ist eine Zwischenwand beiderseitig eingeschweißt. Abb. *c* zeigt eine gekröpfte und doppelseitig geschweißte, überlappte Naht, während *h* die Anordnung derselben Naht mit außerdem doppelseitig geschweißter Laschenverbindung wiedergibt. Wird weder Festigkeit noch Dichtheit verlangt, so genügen Verbindungen nach Art der Abb. 155*a*, Heftnähte oder stückweise durch-

geführte oder auch abgesetzte Schweißung genannt. Endlich ist in Abb. 155b ein Fall dargestellt, in dem eine gut geschweißte Zwischenwand durch ein stückweise angeschweißtes Winkleisen versteift ist.

Reparaturschweißungen. Alle bisher dargestellten Verbindungsarbeiten finden auch bei Reparaturschweißungen sinngemäße Anwendung. Dort, wo lediglich geschwächte, ausgelaufene oder angerostete Teile verstärkt werden sollen, sind Abschrägungs- und Auskreuzungsarbeiten nicht erforderlich; es genügt ein gründliches Reinigen der Schweißstellen von Verunreinigungen, worauf das Auftragen neuen Eisens erfolgen kann. Für Risse, Brüche und ähnliche Reparaturen sind indessen die vorher genannten Regeln einzuhalten.

b) Die Schweißung von Eisenblechen.

Der Schweißvorgang. Voraussetzung ist, daß die zur Verfügung stehende Schweißmaschine 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 angeklemmt, die Schweißzange (der Kolben) 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 (eisernen) 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, so kann die Feststellung des Pols durch angefeuchtetes Polreagenzpapier erfolgen. Der — Pol hinterläßt, an das Papier gehalten, einen violetten Punkt, der + Pol markiert sich nicht. Ist kein Polreagenzpapier zur Hand, dann taucht man beide Drahtenden (nicht zusammenkommen lassen!) in ein Gefäß mit Wasser. Auch bei dieser Probe zeigt der + Pol keine Wirkung, während am — Pol ein Kochen des Wassers eintritt infolge Wasserstoffentwicklung.

Nachdem man sich vom richtigen Anschluß der Maschine und der vorschriftsmäßigen Vorbereitung und Reinigung der Schweißstelle des Blechs von anhaftendem Rost und Schmutz überzeugt hat, kann die Maschine in Betrieb gesetzt werden. Hierbei ist darauf zu achten, daß die Schweißzange nicht mit dem Gegenpol in Berührung kommt. Am besten wird sie an einem Holzgestell oder an einer trockenen Wand aufgehängt. Nun erfolgt die Einregulierung des Schweißstroms nach der für die Maschine gelieferten Tabelle. Zu hohe Stromstärken führen zu einer Verbrennung des Werkstücks und bringen die Elektrode zum Glühen, zu schwache Stromstärken erzeugen zu geringe Schweißhitze und haben kaltes, haltloses Zusammenkleben an der Schweißstelle im Gefolge. In Zahlentafel 10 sind Durchschnittswerte für Schweißstromstärke und Schweißspannung für die verschiedenen Eisenblechstärken bei Verwendung von Gleichstromschweißumformern aufgeführt. Sie schwanken mit der Art der Maschine, und es sind auf die besonderen, von den Firmen angegebenen Werte bezogen, Unterschiede von $\pm 10\%$ zulässig. Bei den in Zahlentafel 10 angegebenen Spannungen ist zwischen Schweißspannungen und Leerlaufspannungen der Maschine zu unterscheiden; letztere liegen um annähernd 200 % höher. Die Leerlaufspannung kann zu Beginn der Schweißung geprüft und geregelt werden. In der letzten Spalte der Zahlentafel befinden sich Angaben über die Wahl des Elektrodendurchmessers. Nach diesem richtet sich

die Stromstärke in erster Linie, da die Elektrode den schwächsten Teil im Stromlauf ausmacht. Man rechnet auf 1 mm² Querschnitt etwa 7÷10 A als zulässig. Umgerechnet auf eine 5 mm-Elektrode ergibt sich ein Wert von $\frac{5^2 \cdot \pi}{4} \cdot 7 = 137$ A (bis hinauf auf 196 A bei 10 A/mm²).

Zahlentafel 10.

Blechstärke mm	Formgebung des Schweißstücks nach Abbildung:	Schweiß- stromstärke A	Schweiß- spannung V	Leerlauf- spannung etwa V	Elektroden- durchmesser mm
1	150 I	40	15	50	1,5÷2
1÷2	150 II $a = 2$ mm	50	16	50	2
3	150 II $a = 3$ mm	80	18	50	2÷3
4	150 III $\alpha = 80^\circ$	90	18	50	3÷4
4÷6	150 III $\alpha = 80^\circ$	110	20	55	3÷5
6÷8	150 III $\alpha = 80^\circ$	130	20	60	5
8÷10	150 III $\alpha = 70^\circ$	150	22	70	5
10÷15	150 III $\alpha = 60^\circ$	180	22	80	5
15÷20	150 IV $\alpha_1 = 50^\circ$	180÷190	23	85	5÷6
über 20	150 IV $\alpha_1 = 80^\circ$	200	25	90	5÷6

Ist der jeweils erforderliche Elektrodenstab in den Halter eingespannt und der Spiegel (Schutzschirm) zur Hand genommen, so kann die Schweißarbeit beginnen. Man tippt die Elektrode leicht und kurz an das Werkstück an und zieht sie rasch um einige Millimeter zurück, worauf der Lichtbogen entsteht. Trifft dies selbst bei stärkerer Berührung der Elektrode mit dem Werkstück (der Gegenelektrode) nicht zu, so ist der Stromfluß an irgendeiner Stelle unterbrochen (Schalter, Kabel, Klemmen nachsehen!), oder, falls umhüllte Stäbe verwendet werden, isoliert die starke Pastenschicht am Stabende. Dann genügt ein Entlangstreifen der Elektrode am Blech, um den Lichtbogen zu zünden. Im Augenblick, des Kurzschlusses (Berührung der Elektrode mit dem Werkstück) fällt das Voltmeter auf 0, während das Amperemeter plötzlich in die Höhe schnellte. Das beweist, daß in diesem Augenblick zwar keine Schweißspannung vorhanden ist, dafür aber die ganze verfügbare Stromstärke durch den Berührungspunkt geht. Sobald der Lichtbogen gezogen ist, regulieren sich Spannung und Stromstärke selbsttätig ein. Ungeübten Schweißern widerfährt oft die Unannehmlichkeit, daß der Schweißstab beim Kurzschließen festklebt. Alsdann bleiben Kurzschlußspannung und Kurzschlußstromstärke bestehen, und es ist nötig, die Elektrode vom Halter zu lösen oder den Stromfluß auszuschalten. Nach Loslösung der Elektrode selbst muß von neuem begonnen werden; die Berührung der Elektroden hat zu lange gedauert und war zu heftig.

Mit der Herstellung des Kurzschlusses muß man sich über den Verlauf der Arbeit im klaren sein, da mit der Lichtbogenbildung sofort die Eisenabwanderung vom Eisenstab beginnt. Auf der Gegenseite der Elektrode entsteht im Werkstück ein Schmelzkrater von 8÷12 mm Durchmesser, in welchen das Elektrodeneisen einzuschmelzen ist. Es ist Grundbedingung, daß das Werkstück örtlich gut warm und nach wenigen Sekunden genügend flüssig ist, damit eine gute Verbindung des aufgeschmolzenen Eisens mit dem Schweißgut hergestellt wird und kein Kleben eintritt, was eine Folge zu geringer Stromstärke wäre. Das läßt sich am Schweißergebnis rein äußerlich durch das Aussehen der aufgetragenen Raupe (Schweißkette) feststellen. In Abb. 156 sind die Querschnitte durch solche Raupen, die bei gleicher Elektrodenstärke und verschiedener Stromstärke entstanden sind, skizziert. Die Naht a ist falsch; der Strom war zu schwach,

so daß die Übergangsflächen (1) zum Werkstück ungenügend breit sind. Besser ist die Raupe *b*. Sie hat sich mit dem Grundstoff gründlicher verbunden. Wie die Schweißkette auszusehen hat, zeigt Raupe *c*. Die Verbindung mit dem Werkstoff ist auf breiter Fläche erfolgt. Endlich zeigt Abb. 156 *d* das Aussehen einer Stelle im Werkstück, die unter dem Einfluß viel zu hoher

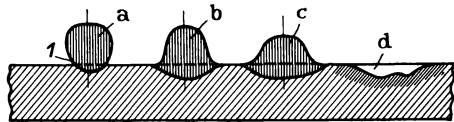


Abb. 156. Querschnitt der aufgetragenen Raupen.

Stromstärke einen übergroßen kraterförmigen Zustand angenommen hat. Die Schweißstelle muß allerdings stets flüssig werden; das Elektrodenmaterial soll nicht nur lose anhaften, sondern genügend tief „einbrennen“, wie der Fachausdruck lautet (s. Abb. 156 *b* und *c*). Die Bewegung der Flamme geschieht nach Art der Abb. 144 und der dort gemachten Ausführungen. Wichtig ist es — das muß immer wieder hervorgehoben werden — den Lichtbogen so kurz wie angängig zu halten. Selbstverständlich erfordert es einige Übung, bis man den Vorschub des Elektrodenstabs mit der jeweils abfließenden Eisenmenge in ein zusammengehöriges Verhältnis zu bringen vermag. Versäumt man dies, so muß naturgemäß der Lichtbogen länger werden, bis daß er endlich abreißt und durch Berührung der Elektrode mit dem Werkstück neuerdings gezogen werden muß. Das häufige Erlöschen des Bogens ist für die Güte der Schweißung sehr schädlich und kennzeichnet — eine gute Schweißmaschine vorausgesetzt — immer die Ungeschicklichkeit des Schweißers. Übrigens läßt sich die Fähigkeit, oder sagen wir die Übung des Schweißers, durch Beobachtung des Voltmeters prüfen. Starke Schwankungen der Voltmeternadel deuten

auf mangelhafte Bogenhaltung hin; Verlängerung und Verkürzung des Bogens treten in rascher Aufeinanderfolge ein. Dagegen vermag ein geübter Schweißer den Lichtbogen so gleichmäßig lang zu halten, daß sich kaum eine merkliche Bewegung des Spannungsanzeigers ergibt.

Um das An- und Abschmelzen des Schweißkolbens zu verhüten, darf die Elektrode nicht zu weit abgeschmolzen werden. Das obere Ende der Elektrode von etwa 30 ÷ 40 mm (je nach Zangenbreite) muß unverarbeitet bleiben. Durch knappes Einklemmen der im übrigen nach Abb. 145 abgebogenen Elektrode Abb. 157 *a* können die unvermeidlichen Abfälle verringert werden. Bei fortgeschrittener Schweißung wird der Halter der

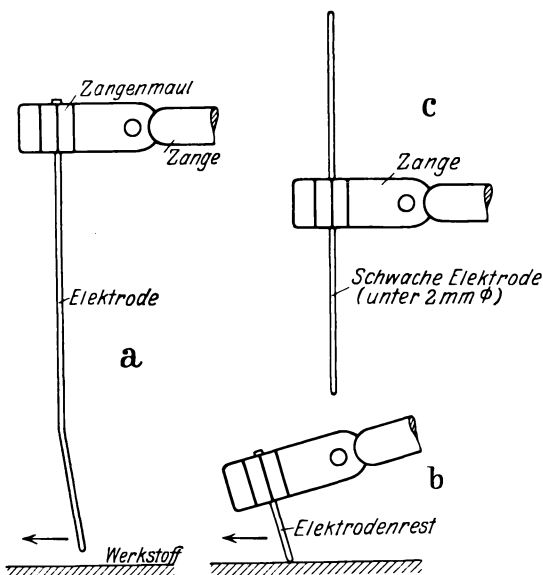


Abb. 157. Einklemmen der Elektroden.

Schweißzange etwas angehoben (Abb. 157 *b*), damit die bei Abb. 145 gestellten Bedingungen bis zum Rest der Stabniederschmelzung erfüllt werden. Dünne, leicht durchfedernde Stäbe spannt man, wie in Abb. 157 *c* angedeutet, in der Mitte ihrer Länge ein und wendet, wenn die eine Hälfte niedergeschmolzen ist, den Schweißkolben um, beziehentlich stößt man den Stab nach der unteren

Seite des Kolbens durch. Die Pfeile in Abb. 157 geben, wie üblich, die Schweißrichtung an.

Schweißung von Blechnähten. Die Ausführung der Naht richtet sich natürlich nach der Blechstärke und kann ein- oder mehrschichtig sein. Abb. 158 *I*–*IV* gibt einen Überblick über die Anordnung der Schweißschichten (Schweißlagen). Bis zu 5 mm Blechstärke ist nach Abb. 158 *I* nur eine Lage gebräuchlich, die zur Ausfüllung der ausgevauten Schweißmulde ausreicht. Bleche von 5–10 mm Stärke sollten mindestens in zwei Schichten und noch stärkere Bleche in drei, vier und mehr Schichten geschweißt werden. Ganz allgemein ist die Forderung zu stellen, möglichst viel dünne Schweißlagen übereinander aufzutragen, was durch rasches Vorwärtsschreiten der Elektrode erzielbar ist. So zeigt Abb. 158 *II* eine Blechnaht mit drei Schweißlagen, *III* eine doppelseitige Dreischichtenschweißung und *IV* ein in fünf Lagen geschweißtes, starkes Blech. Die Festigkeit der Naht erfordert ferner, daß die Blechdicke in der Schweißung niemals die Stärke des ungeschweißten Blechs unterschreitet, d. h. es muß ausreichend Eisen aufgetragen werden.

Zu Beginn der Arbeit, für die ganze erste Lage (1 in Abb. 158 *II*, *III* und *IV*) verwendet man vorteilhaft eine etwas schwächere Elektrode, um die Gewähr zu haben, daß die untere Stoßfuge gut durchgeschweißt wird. Ist z. B. für die normale Schweißung eine 5-mm-Elektrode vorgesehen, dann wird für die Lage 1 eine solche von 4 mm benutzt und beim Schweißen dieser Lage auf eine um etwa 20 % geringere Stromstärke eingestellt. Bei Ausführung der fünfschichtigen Schweißung (*IV*) kann sogar so vorgegangen werden, daß für Lage 1 eine 3 mm, für Lage 2 eine 4 mm, für Lage 3 eine 5 mm und für die beiden letzten Lagen 4 und 5 eine 6-mm-Elektrode eingeschmolzen wird, wobei die jeweils entsprechende Stromstärke einzustellen ist.

Auf gründliche Säuberung der Schichtoberfläche vor dem Auftragen der nächsten Lage ist sorgfältig zu achten. Die Säuberung der Oberfläche von Schlacken, Oxyden und sonstigen Verunreinigungen geschieht meistens unter Zuhilfenahme von Stahldrahtbürsten, die in jeder Elektroschweißerei vorhanden sein müssen. Erforderlichenfalls sind Hammer und Meißel heranzuziehen. Wird die Entfernung der Zunder- und Schlackenschicht des Blechs unterlassen, so wirkt diese isolierend; sie verhindert das örtliche Flüssigwerden der von der Flamme getroffenen Teile und führt zu unverschweißten, kalt verklebten Schweißstellen mit ihren bekannten schlechten Eigenschaften. Hiernach ist es also erforderlich, die Oberflächen jeder Lage von 1–4 (Abb. 158 *IV*) oder 1 und 2 (*III*) usw. gründlich von Fremdstoffen zu befreien und metallisch blank zu machen, bevor die nächsten Lagen aufgebracht werden.

Vergütung der Schweißung. Mehrschichtig geschweißte Nähte sind fester als einschichtig geschweißte. Dieser Vorzug ist auf die Vergütung des Schweißgefüges zurückzuführen. Beim Schmelzschweißen entsteht zunächst ein Eisen von grob-

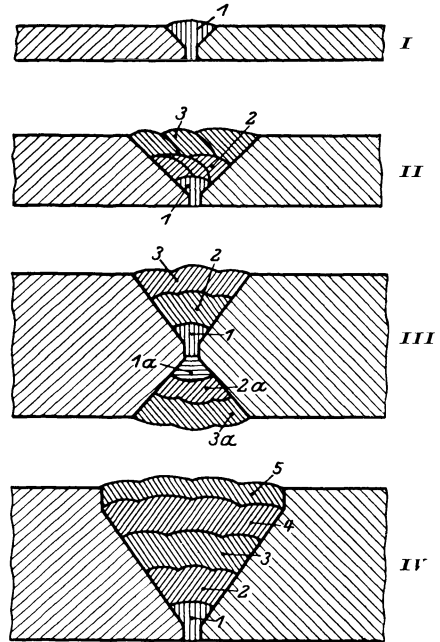


Abb. 158. Anordnung der Schweißlagen.

kristallinischer Struktur, wie sie einem Gußgefüge eigen ist. Grobkörniges Gefüge hat eine geringere Festigkeit als feinkörniges. Man wird deshalb darauf hinzuwirken suchen, die Korngröße der metallischen Kristalle in der Schweißung auf irgendeine Weise zu verringern, die Struktur zu verfeinern. Das einfachste Mittel hierzu ist das Ausglühen oder, was dasselbe ist, nochmaliges Erwärmen der

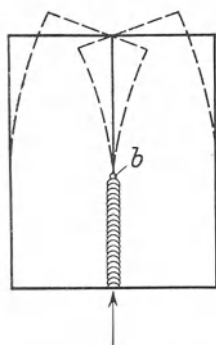


Abb. 159. Wirkung der Wärmedehnung bei Blechen.

Schweißung auf Rotglut. Dies wird beim schichtenweise erfolgenden Schweißen ja auch erreicht, denn durch das Aufbringen der neuen Lage wird die darunter gelegene jedesmal auf Rotglut erhitzt, womit die Bedingungen für die Umwandlung, d. h. die Verfeinerung der Struktur und die Vergütung des Gefüges erfüllt sind. Es ist hiernach empfehlenswert, eine längere Schweißnaht in kürzeren Stücken von z. B. nur 10÷15 cm Länge vollkommen (mit allen Schweißlagen) fertigzustellen; dann sind die unteren Lagen noch nicht erkaltet, wenn die oberen aufgetragen werden. Vorteilhaft für die Verdichtung des Gefüges ist auch das Behämmern der Naht im rotwarmen Zustande. Wo es sich durchführen läßt, sollte von ihm weitgehend Gebrauch gemacht werden. In Anbetracht der raschen Erkaltung der Schweißung und der sehr örtlichen Erhitzung beim Lichtbogenschweißen, läßt sich allerdings ein Verhämmern nur auf kurze Strecken ausführen.

Dehnungs- und Spannungserscheinungen. Alle bisherigen Vorkehrungen bezogen sich auf die Gewähr guter Durchschweißung und auf die Vergütung des

Werkstoffs. Sie reichen aber nicht dazu aus, die infolge Wärmeleitung auftretenden Dehnungs- und Spannungserscheinungen unschädlich zu machen. Würde man die Blechkanten auf ihre ganze Länge zusammenstoßen, wie dies in Abb. 159 geschehen ist, und ohne weiteres zur Schweißung übergehen, dann würden sich nach kurzer Zeit die beiden Bleche infolge Wärmedehnung übereinanderziehen (punktierte Lage in Abb. 159 von b ab) und nicht allein die Fortsetzung der Schweißarbeit ausschließen, sondern auch das Schweißstück gänzlich unbrauchbar machen, da sich die übereinandergezogenen Bleche mit keinem Mittel wieder in ihre alte Lage bringen lassen. Man steuert diesem Übelstand, indem man die Bleche entweder in bestimmten Abständen heftet oder nicht zusammenstößt, sondern an dem dem Ausgangspunkt der Schweißnaht gegenüberüberliegenden Ende um etwa 5 %



Abb. 160. Schweißung eines Ventilationschachtes.

der Nahtlänge klaffen läßt. Beträgt die Länge der Naht beispielsweise 1000 mm, dann müssen die Enden 50 mm (= 5 %) auseinanderstehen. Diese Maßnahme

erübrigt sich bei gebördelten Blechen, die hochkantig geschweißt werden und die man engabständig, etwa alle $80\div 150$ mm (je nach Blechdicke) heftet. Erst nach Durchführung der Heftarbeit über die ganze Länge der Naht, kann mit der eigentlichen Schweißung begonnen werden. Lange Nähte an starken Blechen (über 10 mm Blechstärke) werden vorteilhaft so geschweißt, daß man sie zusammenstößt und, in der Mitte der Länge beginnend, erst in der Richtung zum einen Ende schweißt und dann (nach Vollendung der einen Hälfte) wieder von der Längenmitte ausgehend in entgegengesetzter Richtung dem anderen Ende zu. Die Wirkung wird noch günstiger, wenn man die gesamte Nahtlänge in eine größere Anzahl Abschnitte von $300\div 400$ mm Länge unterteilt.

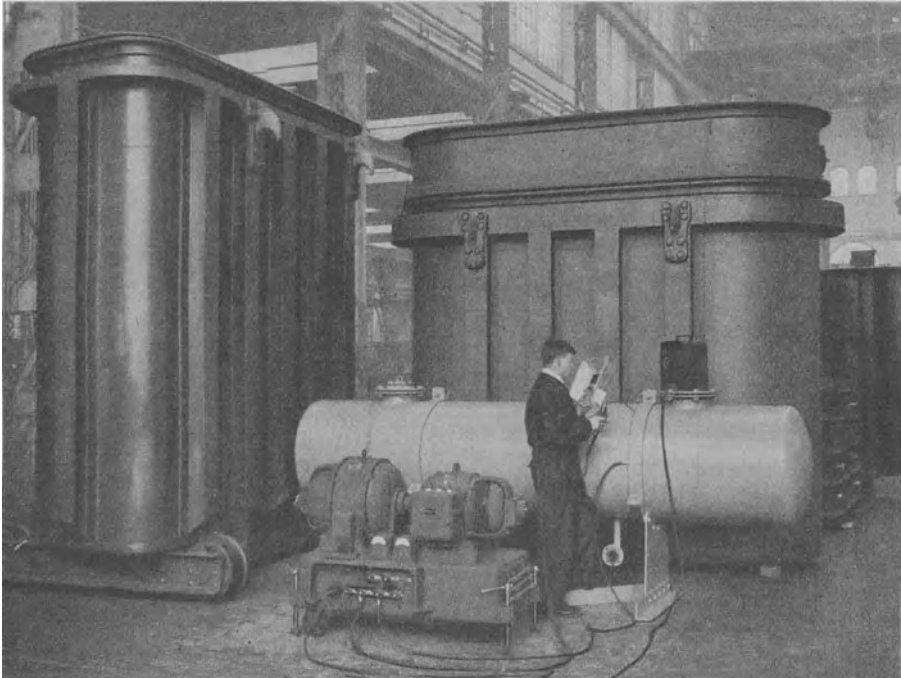


Abb. 161. Geschweißte Großtransformatorenkessel.

Man schweißt dann immer in einer Richtung und endet an dem Punkte, wo die Schweißung des vorherigen Abschnittes begann. Das keilförmige Sperrenlassen der Blechkanten, beziehentlich das Heften der Nahtkanten, ist auch beim Schweißen von Zylinderschüssen, großkalibrigen Rohren, Mänteln (Zargen) usw. von derselben Bedeutung wie bei glatten Blechen. Als Beispiel für viele seien in Abb. 160 noch die Ausführung der Schweißarbeit an einem rechteckigen Rohr (Längsnaht eines Ventilationsschachtes) gezeigt und in Abb. 161 geschweißte Großtransformatorenkessel im Hintergrund und vorn ein Schweißumformer und der Schweißer bei der Arbeit.

c) Die Schweißung von Profileisenkonstruktionen.

Wenngleich die Lichtbogenschweißung im Eisenkonstruktionswesen als Ersatz der Nietung scheinbar eher eine Rolle einzunehmen bestimmt ist als die Gasschmelzschweißung, so ist doch aus sicherheitstechnischen Rücksichten vor allem in der

Schwerprofilkonstruktion die Nietung allein zulässig, und es wird aller Voraussicht nach noch viel Zeit darüber vergehen, bis hierin ein grundlegender Wandel zu erwarten ist.

Aus der Gruppe der Leichtprofilkonstruktionen mögen einige Anwendungsbeispiele der Lichtbogenschweißung Erwähnung finden. Die Walz-

profile, ob L-, U-, T-, I-, Z- oder sonstiges Eisen werden je nach Konstruktionsart und nach Bedarf, unter Beobachtung des bezüglich der Abschrägung Gesagten, stumpf zusammengestoßen (Abb. 162a und 163a) oder auch in jedweder Überlappung (Abb. 166) geschweißt.

Auf Gehrung (winklig) geformte Winkelrahmen

schweißt man nach Art der Abb. 162b, indem man den senkrechten Schenkel stehenläßt und um einen gewünschten Winkel kalt oder warm — je nach Materialstärke — abbiegt, nachdem man vorher ein entsprechendes Stück aus dem wagerechten Schenkel (s. oben bei c) ausgeschnitten hat. Es braucht dann nur immer ein Schenkel geschweißt zu werden. Kommt das L-Profil nicht nach

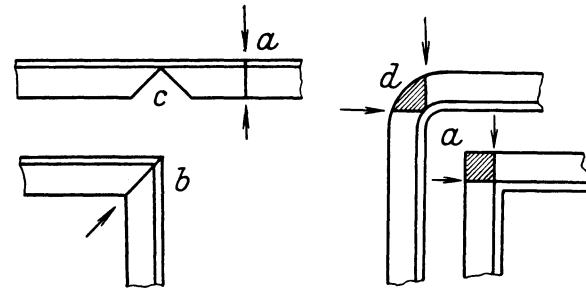


Abb. 162. Winkeleisenschweißungen.

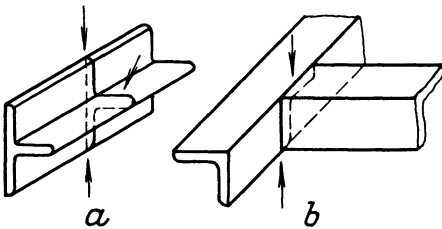


Abb. 163. Profileisenstoßverbindungen.

innen (Abb. 162b), sondern nach außen zu liegen, wie bei d, so ist nur ein rechtwinkliger Einschnitt im wagerechten Schenkel erforderlich, wodurch nach Abbiegen der Profilstange ein rechteckiges Stück Material fehlt. Dies wird durch

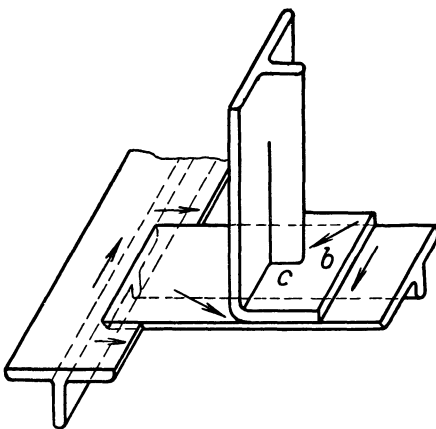


Abb. 164. Profileisenstoßverbindung.

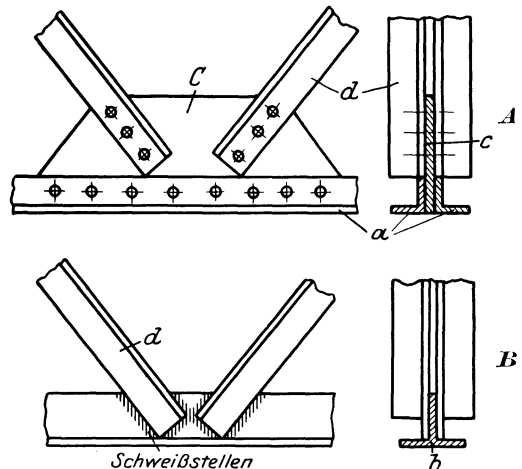


Abb. 165. Unterschied zwischen Nietung und Schweißung.

ein gleich großes, eingeschweißtes Eisenblech ergänzt (schraffierte Fläche Abb. 162d). Auf ähnliche Weise biegt man T-, C- und I-Eisen; beim T-Eisen

wird der Steg, beim $\sqsubset$ -Eisen werden die Schenkel und beim $\sqcap$ -Eisen die entsprechenden Flanschenseiten auf Gehrung geschnitten, während der Steg stehenbleibt. Abb. 163 *b* und 164 veranschaulichen einige Profilstoßverbindungen, die mitunter durch stellenweises Ausklinken und Aussparen verbessert werden. Bei *b* in Abb. 164 ist z. B. vom lotrecht aufsitzenden T-Eisen ein Stück Steg abgeschnitten und der dadurch frei liegende Teil des Flansches im rechten Winkel abgebogen worden. Dieser Flanschenwinkel dient sozusagen als Fußplatte, die ihrerseits ringsum auf dem Flansch des darunterliegenden Profileisens angeschweißt wird, nachdem auch der Steg bei *c* mit dem Flansch verschweißt wurde.

Einen Fall des Ersatzes von Knotenblechen bei Eisenkonstruktionen durch elektrische Schweißung deutet Abb. 165 *B* an. Zur Kennzeichnung des konstruktiven Unterschieds zwischen Nietung und Schweißung ist bei *A* eine solche Verbindung nach dem Nietverfahren schematisch dargestellt. Die beiden Winkeleisen *d* sind mit einem

Knotenblech vernietet, das seinerseits zwischen den beiden wagerecht liegenden Winkeleisen *a* eingenetet ist, wie man dies aus dem Querschnitt

ersieht. Bei der geschweißten, nietlosen Verbindung *B* sind die beiden Winkel *d* unter Fortfall des Knotenblechs *c* unmittelbar mit einem T-Eisen *b* zusammen-

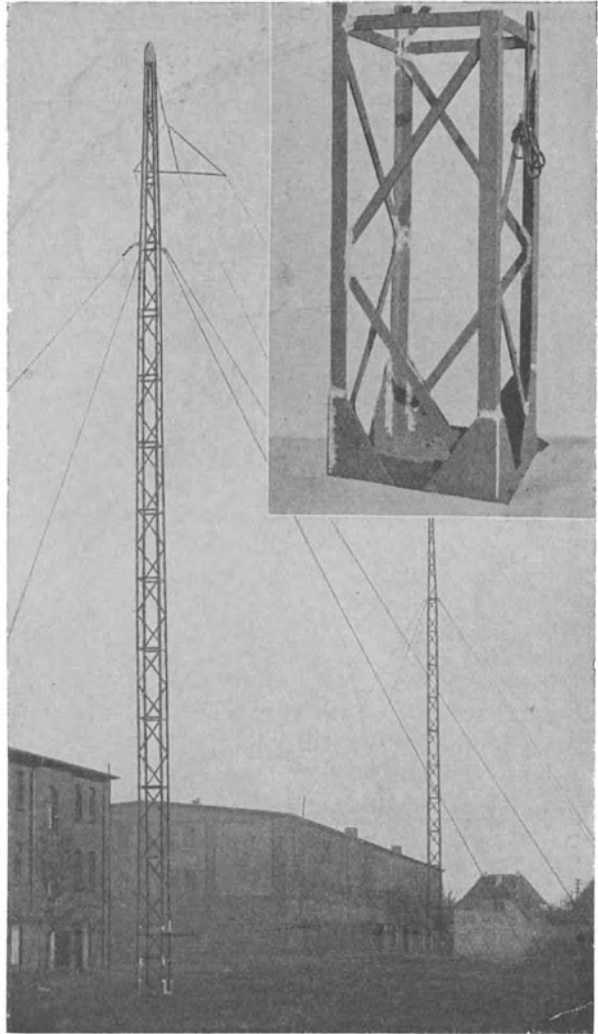


Abb. 166. Geschweißte Antennenmasten.

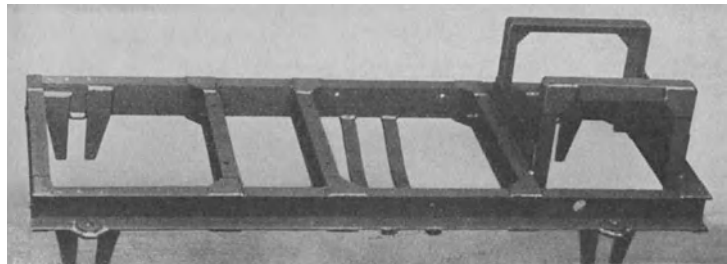


Abb. 167. Geschweißtes Fahrgestell.

geschweißt, welch letzteres die beiden L-Eisen *a* in Abb. *A* vertritt. Eine vollkommen nietlose, lichtbogengeschweißte Gittermastkonstruktion (2 Antennen) ist Abb. 166 zu entnehmen, in welcher rechts oben der Fuß eines dieser Maste vergrößert zur Ansicht gelangt. Endlich zeigt Abb. 167 die ebenfalls nietlose, ganz geschweißte Konstruktion eines Fahrgestells.

Die Überlegenheit der Lichtbogenschweißung bei solchen Arbeiten gegenüber der Gasschmelzschweißung liegt darin begründet, daß die Schweißarbeit mit dem jedesmaligen Entstehen des Lichtbogens sofort einsetzt, während die Gasflamme bei jeder stückweise erfolgenden Schweißung längere Zeit benötigt, bis die Schweißstelle die zur guten Verbindung notwendige Schmelzung erfährt.

d) Rohrschweißungen.

Für die Schweißung von Rohren, Rohrformstücken, Rohrkonstruktionen, wie für die Verlegung von Dampf-, Gas- und Wasserleitungen, kommt die elektrische Schweißung weniger in Frage; hier muß sie der Gasschmelzschweißung das Feld überlassen¹⁾. Gemäß ihrer Eigenart liegt der Anwendungsbereich der Lichtbogenschweißung oberhalb 3 mm Eisenblechstärke, so daß die nun folgenden Angaben nur für Rohre dieser oder größerer Wandstärke gelten.

Rundnähte und Rohrstutzen. In Abb. 168*b* ist dargestellt, wie Rohre von 3–5 mm Wandstärke geschweißt werden, doch ist es meist ratsam, wie dies

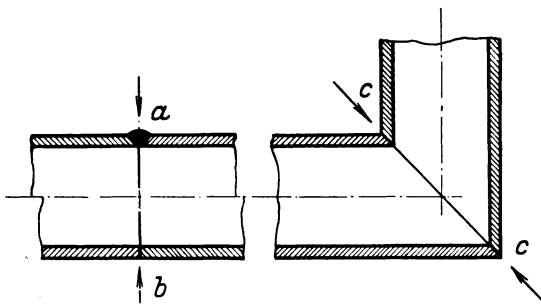


Abb. 168. Nahtschweißungen an Gasrohren.

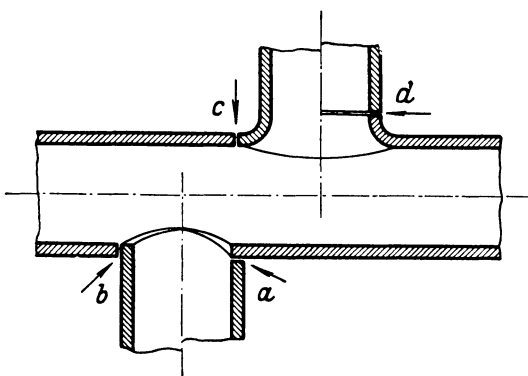


Abb. 169. Rohrstutzenschweißungen.

Abb. 169*c* zeigt, den Rohrstoß etwas klaffen zu lassen, damit sicher durchgeschweißt wird. Entsprechend der allgemein üblichen Vorbereitung wird bei über 5 mm Rohrwandstärken nach Art der Abb. 168*a* (V-förmige Mulde) verfahren. Bezüglich der Gehrungsschnitte (Abb. 168*c*) mag erwähnt sein, daß es hierbei für den Schweißvorgang ziemlich belanglos ist, unter welchem Winkel die Rohrstücke zur Verbindung kommen. Das T- und + - Stück sind im Grunde genommen nur Erweiterungen des L-Stücks; die Schweißung dieser Rohrverbindungen kommt mit am häufigsten vor. In Abb. 169 sind vier verschiedene Möglichkeiten des Einschweißens von Rohrstutzen veranschaulicht. Bei *a* haben lichte Weite des Stutzens und das ihn aufnehmende Loch im Rohr denselben Durchmesser. Bei *b* ist gezeigt, wie der Außendurchmesser des Stutzens in ein größer gehaltenes (am schnellsten mit dem

Schweißbrenner ausgebranntes) Loch hineinpaßt. Die Ausführungsform des Beispiels *b* ist im allgemeinen vorzuziehen. Es bedarf wohl keines besonderen Hinweises, daß das einzuschweißende Rohrende des Stutzens bogenförmig aus-

¹⁾ S. Band I, S. 82–85.

gearbeitet sein muß, damit es nicht im Innern des Hauptrohrs vorsteht und den Durchfluß der Flüssigkeiten, Gase oder Dämpfe hindert. Aus demselben Grunde sind derartige Schweißarbeiten immer mit besonderer Sorgfalt durchzuführen, damit nicht größere Eisentropfen den Durchgangsquerschnitt des Rohres verringern, was Reibungsverluste und Wirbelbildung, daher auch eine Abnahme der Durchflußgeschwindigkeit des betreffenden Gases oder der Flüssigkeit zur Folge haben müßte. Wird das Rohrinne nicht benutzt, so ist diese Vorsicht nicht erforderlich.

Im übrigen kann die Abzweigung an jeder beliebigen Stelle und unter jedem beliebigen Winkel angeschweißt werden. Wenngleich die in *a* und *b*, Abb. 169, gezeigten Rohrverbindungen meist ausreichend sind, ist dort, wo es auf möglichst reibungs- und stoßfreien Durchgang ankommt, eine zwar kostspieligere, aber in jeder Hinsicht bessere Verbindungsart *c* und *d*, Abb. 169, zu bevorzugen. Diese hat außerdem den Vorzug, daß die Schweißnaht außerhalb der stark auf Biegung beanspruchten Stoßkante (*a* und *b*, Pfeilrichtung) zu liegen kommt. Bei Ausführungsart *c* ist das Anschlußloch im Hauptrohr größer gehalten als der Durchmesser des Abzweigstutzens, das Schweißende des letzteren herumgeholt (ausgeweitet) und die Umbiegung in das Rohrloch eingesetzt. Die Mehrarbeit liegt hier, wie beim Beispiel *d*, im sauberen Einpassen und der Formgebung des Rohrendes bzw. Rohrlochs. Umgekehrt zeigt Skizze *d* ein im Verhältnis zum Stützendurchmesser kleiner gehaltenes Anschlußloch, dessen Kante eingezogen und dem Durchmesser der Abzweigung angepaßt wird.

Im engsten Zusammenhang mit der Herstellung von Abzweigungen aller Art stehen die sog. Rohrformstücke. Hier hat vornehmlich die Schmelzschweißung vollkommen neue Wege gezeigt und der Rohrindustrie in bezug auf Formgebung nahezu unbeschränkte Vielgestaltigkeit ermöglicht. Selbst die schwierigsten Rohrformstücke, die aus technischen oder fabrikatorischen Rücksichten mit gießereitechnischen Mitteln nicht erzeugbar sind, werden durch Zusammenschweißen zweckmäßig geformter Einzelteile (Normalstücke) völlig einwandfrei hergestellt. Im großen und ganzen wächst dabei der Vorteil des Schweißens mit der Größe des Formstücks.

Siederohrschweißung. Wie in anderen Ländern ist man auch in Deutschland während der Kriegszeit von der kupfernen zur Stahlfeuerbüchse übergegangen.

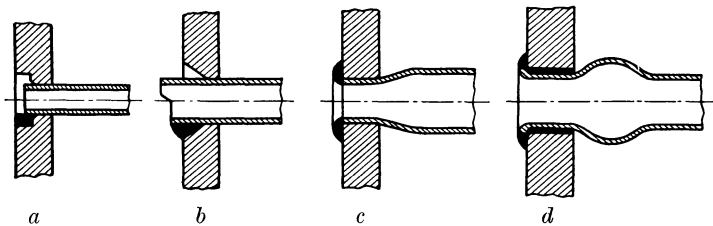


Abb. 170. Siederohreinschweißungen.

Beim Zusammenbau solcher eiserner Feuerbüchsen hat sich die elektrische Schweißung vorzüglich bewährt und besonders, was das Einschweißen von Siederohren anbelangt, die Gasschmelzschweißung übertroffen. Mit der Einschweißung von Siederohren in die hintere Rohrwand der Feuerkisten sind recht gute Ergebnisse erzielt worden, und es wurde fast überall an Stelle des Einwalzens der Rohrenden deren Verschweißung durchgeführt. Aus Abb. 170 sind verschiedene Ausführungsarten von Siederohreinschweißungen mit den erforderlichen Vorarbeiten ersichtlich.

Flanschenverbindungen. Um lösbare Verbindungen zu erhalten, verwendet man Flanschen, die früher mit Gewinde aufgeschraubt oder als Losflanschen auf gebördelten Rohrenden angeordnet wurden. Mit der zeitgemäßen

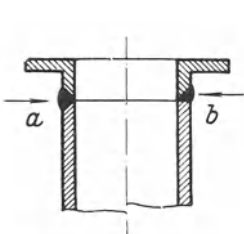


Abb. 171. Flanschenverbindungen.

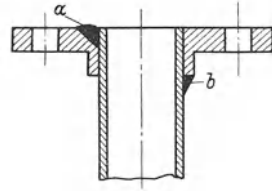
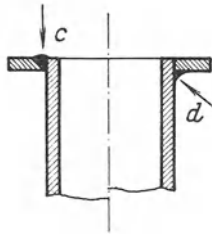


Abb. 172. Ansatzflanschen.

Schweißverbindung erreicht man dies einfacher und dauerhafter, indem man entweder Ansatzflanschen (Abb. 171a und b, Abb. 172a und b) oder Scheibenflanschen (Abb. 171c und d) an das Rohrende anschweißt. Besonders bei starkwandigen, d. h. großkalibrigen Rohren fällt die saure Arbeit des Gewindeschneidens

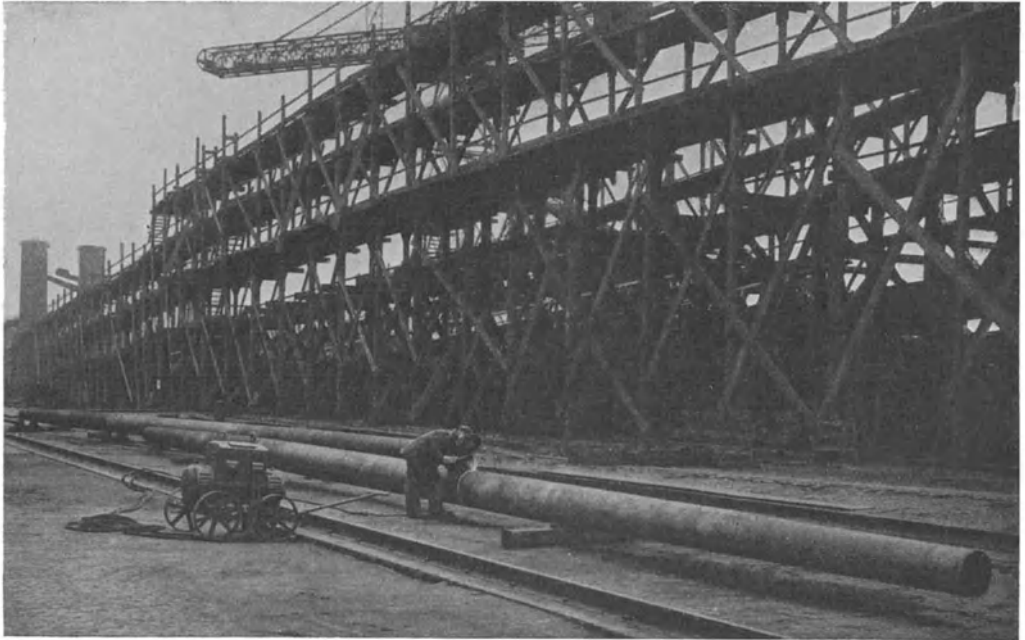


Abb. 173. Schweißung eines Schiffsmastes.

weg, und die Flanschen sind dauerhaft dicht. Auf diesem Gebiet zeigt noch Abb. 173 die Schweißung eines großkalibrigen Rohres (Schiffsmast).

e) Schienenschweißungen.

Neben der Thermitschweißung wird nur noch die elektrische Lichtbogenschweißung zur Verbindung von Schienenstößen herangezogen. Beide Verfahren ergänzen sich und haben sich auf diesem Gebiete ein dankbares Arbeitsfeld geschaffen.

Stoßverbindungen. Der Hauptvorzug des geschweißten Schienenstoßes gegenüber dem mechanisch befestigten (Verschraubung) liegt im Fortfall des unter Umständen gefährlichen Lockerns des Stoßes. Es tritt demnach unter der Einwirkung der Verkehrslasten weder ein Schlagen der Stoßverbindungen



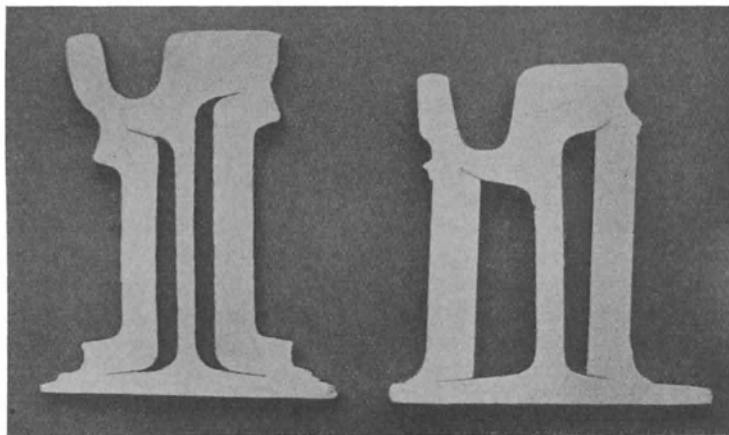
Abb. 174. Geschweißter Laschenstoß.

ein, noch werden sie anders abgenutzt als der übrige Schienenstrang. Damit verbinden sich die wirtschaftlichen Vorteile des Fortfalls der hohen Unterhaltungs-



Abb. 175. Geschweißter Übergangsstoß zweier Rillenprofile.

kosten für die Stoßverbindungen, deren längerer Lebensdauer, geringerer Abnutzung des rollenden Materials usw. Einige Abbildungen mögen derartige



a

b

Abb. 176. Querschnitt von Laschenschweißstößen.

Arbeiten, wie sie von der Elektro-Thermit-G. m. b. H., Berlin, ausgeführt werden. vor Augen führen. Es wird fast nur noch der Laschenstoß angewandt. Abb. 174 veranschaulicht einen geschweißten Laschenstoß mit Flachlaschen, wobei die Mitte der Kopflängsnaht verstärkt wurde. Man hat sich die am Kopf und Fuß

des Profils längsgeschweißten Flachlaschen auf beiden Seiten der Schiene vorzustellen, wie das aus Abb. 176 hervorgeht. Die Laschenverbindung eines Übergangsstoßes zweier Rillenprofile zeigt Abb. 175, und in Abb. 176 sind Querschnitte durch einen Laschenschweißstoß dargestellt. Bei *a* sind alte Profillaschen verwendet worden; die Kopfnah liegt unter dem Schienenkopf. Bei *b* sind Flachlaschen angeschweißt worden, und die Außenlasche (rechts) ragt über den Schienenkopf hinaus, um die Längsnaht leichter anbringen zu können. Die Ausführung einer Schweißnaht am Schienenkopf unter Verwendung einer die Lenkung und Stabilisierung des Lichtbogens erleichternden Führung (D.R.P.) zeigt Abb. 177.

Nach den bisherigen Erfahrungen ist der Thermitstoß als der haltbarste und bei neuen Geleisen auch als der billigste Stoß zu betrachten. Nicht anwendbar

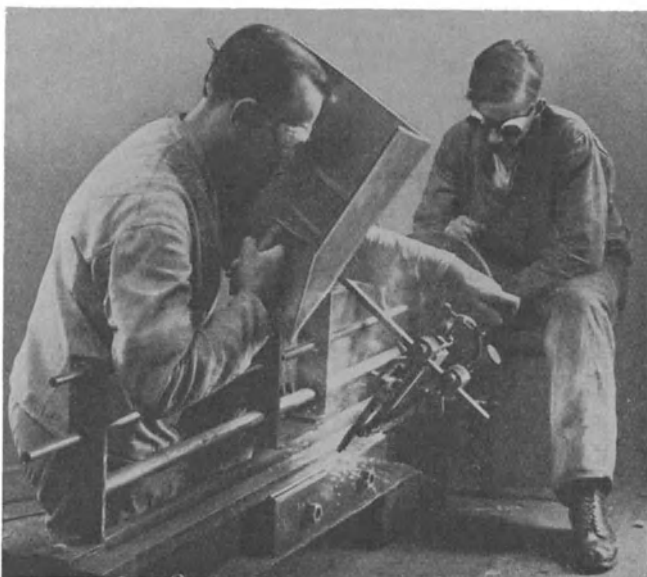


Abb. 177. Ausführung einer Schweißnaht am Schienenkopf unter Benutzung einer Führung.

ist er bei Geleisen, die in Beton eingebettet sind; dort ist allein die elektrische Schweißung am Platze. Beim Herausschneiden von Stößen und Einsetzen eines Schienenstücks wird der elektrische Stoß etwas billiger als der Thermitstoß, wenn das Einsatzstück kürzer als 250 mm ist und die alten Laschen verwendbar sind.

Gleiskreuzungen. Schienenreparaturen. Abb. 178 zeigt ein rechtwinkliges Schienenkreuz, bei dem die von links nach rechts laufende Schiene ununterbrochen durchgeht, während die von vorn nach hinten gehende Schiene geteilt ist. Unter das Kreuz ist eine starke Unterlagsplatte geschweißt; dann kommen die Winkellaschen mit oberen und unteren Schweißnähten und in Höhe der Fahrbahn noch gerippte Platten in den vier Ecken der Kreuzung. So entsteht eine außerordentlich feste und vollkommen starre Verbindung. In ähnlicher Weise werden Herzstücke, Weichen, Gablungen usw. hergestellt.

Die elektrische Lichtbogenschweißung eignet sich auch besonders für Schienenreparaturen. Sind die Schienen an den Stößen stark abgefahren, so kann man die schlechten Enden abschneiden und ein neues Stück einschweißen.

In vielen Fällen wird man aber in einfacherer Weise das abgefahrene Material neu aufschweißen (auftragen), wie es schon die frühere Abb. 140 für eine Straßenbahnkurve zeigt. Man muß dann besondere Elektroden verwenden, die eine harte Schweiße ergeben. Die Schweißstelle ist nachträglich zu glätten.

Schweißen von Eisenbahngleisen. Infolge der Temperaturschwankungen in den verschiedenen Tages- und Jahreszeiten und ihrer Ausdehnungs- bzw. Zusammenziehungswirkung glaubte man früher das Schweißen nur für die eingebetteten Straßenbahnschienen verwenden zu können, denen man vorsichtshalber auf größere Entfernungen noch sog. Temperaturstöße (nicht geschweißte Stöße) gab. Letztere läßt man heute fort. Es entstehen in den Schienen wohl Zug- oder Druckspannungen; sie halten sich aber in erträglichen Grenzen. Versuchsweise sind auch schon seit Jahren Schweißungen an frei liegenden Eisenbahngleisen

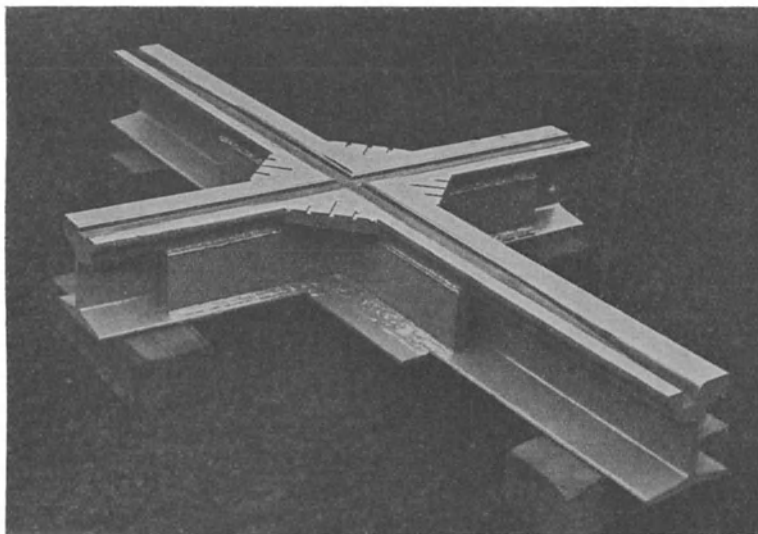


Abb. 178. Elektrisch geschweißtes Schienenkreuz.

vorgenommen worden, und es steht heute fest, daß man zum mindesten Geleislängen von 100–200 m verschweißen kann, ohne Schwierigkeiten befürchten zu müssen.

f) Dampfkesselschweißungen.

Auf diesem Gebiete ist die Elektroschmelzschweißung der Gasschmelzschweißung zum Teil überlegen, und zwar infolge der wesentlich geringeren Wärmeableitung von der Schweißstelle zu den benachbarten Kesselblechteilen. Außerdem kann man durch häufigeres Pausieren die Erwärmung des Kesselblechs auf ein Mindestmaß herabdrücken.

Die überaus vielfältigen Reparaturschweißungen an Kesseln hier zu behandeln und eine vergleichende Gegenüberstellung, wo autogen und wo elektrisch geschweißt werden muß, zu bringen, verbietet sich von selbst, weil dies den Stoff zu einem recht umfangreichen Sonderbuche geben würde. Nur außerordentlich fortgeschrittene und tüchtige Schweißer (Spezialkesselschweißer) können zu solch verantwortungsvollen Arbeiten herangezogen werden. Als Schweißarbeiten an Dampfkesseln sind anzuführen: Risse und Brüche an Nietlöchern und im gesamten Blechmaterial der Flammrohre, Böden und der Außenhaut

(Mäntel), Stegrisse in Rohrwänden, Korrosionen (Ausfressungen, innere und äußere) an allen Kesselteilen, abgezehrte Stemmkannten und Niete usw. Von der Schweißung altersschwachen Materials ist im allgemeinen abzusehen. Das im folgenden Gesagte bezieht sich nicht allein auf stationäre Landkessel aller Bauarten, ob stehend oder liegend, sondern auch auf Schiffs-, Lokomobil- und Lokomotivkessel, die, abgesehen von der Raumfrage, alle ziemlich gut schweißbar sind. Fachmännische Umsicht, vereint mit gewissenhafter Sorgfalt, hat über Art und Ausführung der Schweißung zu entscheiden. Man bedenke die nicht zu unterschätzende Beanspruchung eines nebenbei noch häufigen Temperaturschwankungen unterworfenen Kesselblechmaterials.



Abb. 179. Lokomotivkessel, halbfertig geschweißt.

Zu den verhältnismäßig leichten Schweißarbeiten an Dampfkesseln zählt die Ausbesserung von Korrosionen, das sind muldenförmige, bisweilen sehr große und tiefe An- und Ausfressungen, ähnlich umfangreichen Rostnarben, die sich entweder auf der Wasserseite des Kesselblechs befinden und von chemischen Bestandteilen verunreinigten Wassers herrühren, oder, wenn auch weniger, an der Feuerseite der Flammrohre anzutreffen sind, wo sie ihren Ursprung dem großen Schwefelgehalt der abziehenden Rauchgase verdanken. Die Anfressungen sind vor dem Schweißen gründlich von Rost, Kesselstein und Farbe zu reinigen und während der Schweißung behutsam zu hämmern.

Beim Schweißen von in der Nähe von Nieten und Nietnähten gelegenen Korrosionen, Rissen u. dgl. ist das Leckwerden der Nietstellen und Stemmkannten infolge Wärmewirkung zu berücksichtigen, weshalb in derartigen Fällen vorher oft Nieten entfernt und nach Fertigstellung der Arbeit neu eingezogen werden müssen.

Beachtung verdient des weiteren das Einschweißen von Flicken in Kessel-

und Blechgefäßwände. Solche Stücke werden einerseits eingesetzt (nicht aufgesetzt) an Stellen, wo sich eine direkte Verschweißung großflächiger und tiefer Korrosionen nicht mehr lohnt, andererseits dort, wo Risse oder Anbrüche, durch Einwirkung von Gasen oder Kesselstein entstanden, schlechten Werkstoff kennzeichnen. Den Flicken ist am besten runde oder elliptische Flächenform zu geben. Eine elektrische Schweißarbeit an einem Lokomotivkessel ist in Abb. 179 photographisch festgehalten. Die Arbeit ist im halbfertigen Zustand aufgenommen, um den Umfang der Reparatur besser erkennen zu können. Ferner zeigt Abb. 180 große ausgekreuzte Risse an den Flammrohren eines Dampfkessels und Abb. 181 diese Flammrohre nach der fertigen Schweißung.

g) Reparaturschweißungen.

Allgemeines. In Betrieben, in denen die Schweißung lediglich als Arbeitsverfahren für Neufabrikation herangezogen wird, wird dem größtenteils nur auf

eine bestimmte Arbeit, wenn nicht gar auf einen bestimmten Massenartikel eingestellten Schweißer die Ausübung des Schweißens verhältnismäßig leicht gemacht. Demgegenüber stellt die Arbeit der vielseitigen Reparaturschweißungen ungleich größere Anforderungen an Geschick und Erfahrung eines schon geübten Schweißers. Der Wert einer Reparaturschweißung wird in erster Linie durch billige, saubere, rasche und vor allem zweckentsprechende Arbeit gesteigert. Der Schweißer muß sich vor Inangriffnahme der Arbeit klar darüber sein, welches die Ursache des entstandenen Risses oder Bruches ist, wie er die Schweißung am besten auszuführen und ihren Erfolg durch Verhütung von Spannungs- und Verbiegungserscheinungen sicherzustellen hat. Er hat in allen Fällen daran zu denken, daß die aus Gründen zu schwach bemessenen Baustoffs hervorgerufenen Brüche und Risse zwar geschweißt werden können, nicht aber eine Haltbarkeit der Schweißung verbürgen, da das eingeschmolzene Material im allgemeinen nicht die Widerstandsfähigkeit des Grundmaterials erreicht. Anders ist es allerdings, wenn die Bruchstelle durch Aufschweißen größerer Materialmengen genügend Verstärkung erhält. Geradezu unübersehbar groß ist die Mannigfaltigkeit der Anwendung des Schweißens auf dem Gesamtgebiete der Reparaturverfahren, weshalb hier nur die grundlegendsten, praktisch wichtigsten Winke und Anleitungen gegeben werden können.

Verstärkung geschwächter Konstruktionsteile. Das Aufschweißen von Eisen auf infolge starker Abnutzung geschwächte, ausgelaufene oder im Gesenk unvollkommen geschmiedete Eisenteile ist einfach und möge hier nur im Zusammenhang erwähnt sein.

Als anschauliches Beispiel kann die in Abb. 182 gezeigte Kurbelwelle dienen, die stark abgelaufen und einseitig abgenutzt war. Die drei Wellenstücke wurden durch



Abb. 180. Risse an Flammrohren.

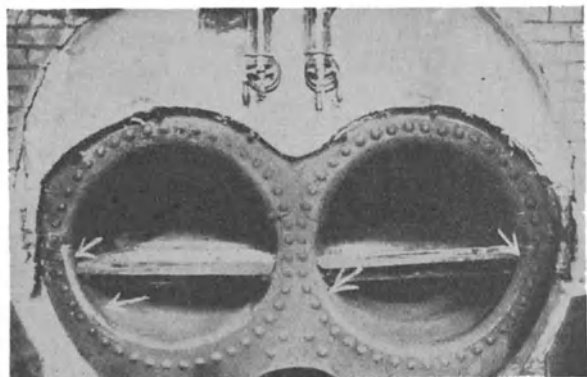


Abb. 181. Risse an Flammrohren, mit dem Lichtbogen geschweißt.

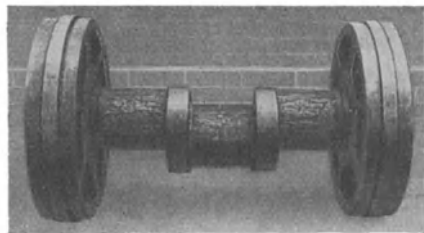


Abb. 182. Abgelaufene, durch Aufschweißen reparierte Kurbelwelle.

Die drei Wellenstücke wurden durch

elektrisches Auftragen von Eisen verstärkt. Im Bilde sind die unbearbeiteten Schweißflächen an den wie Baumrinde aussehenden, rauen Schweißraupen gut zu erkennen. Nach Abdrehen der in der axialen Richtung der Welle aufgetragenen Raupen auf den erforderlichen Durchmesser, ergeben sich vollkommen glatte, vom Grundmaterial nicht zu unterscheidende Flächen. Hervorzuheben wäre hier auch

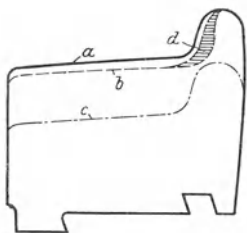


Abb. 183. Aufschweißen abgelaufener Spurkranze.

noch das neuerdings öfter ausgeführte Aufschweißen an Spurkranzen von Wagen- und Lokomotivrädern, wie es Abb. 183 zeigt. Der Kranz, dessen ursprüngliche Form die Linie *a* wiedergibt, ist entsprechend Linie *b* abgelaufen. Um ihn durch Abdrehen wieder brauchbar zu machen, mußte Material bis zur Linie *c* weggedreht werden. Schweißt man dagegen die bei *d* schraffierte Partie auf, so ist nur ein ganz geringes Abdrehen erforderlich.

Einfache Risse. Alle bisher genannten Regeln über Vorbereitungsarbeiten und Behandlung des Werkstücks haben selbstverständlich auch bei Reparaturschweißungen sachgemäße Anwendung zu finden. Risse und Anrisse an schmiedeeisernen Werkstücken untersucht man vor dem Schweißen vorteilhaft auf ihren Umfang und ihre Tiefe, derart, daß man den Riß auskreuzt, aus-hobelt oder ausdreht, meistens aber ausfräst, und zwar so lange, als sich der Riß noch deutlich durch doppelten Span erkennbar macht. Bereitet die Feststellung von Rißende und Rißtiefe Schwierigkeiten, so hilft man sich zweckmäßig

damit, daß man den Riß mit Petroleum oder dünnflüssigem Öl gut einpinselt und die angefeuchtete Stelle mit feinstem Schmirgelstaub bestreut. Dieses Gemisch dringt in den Riß ein und läßt dessen Grenzen deutlich erkennen. Vorzüglich eignet sich dieses Hilfsmittel bei Feststellung von Anrissen an Gesenkschmiede- und Preßstücken, z. B. an Lasthaken, Wagen- und Autoachsen, Waggonpuffern, an Pleuel-, Kuppel- und Kurbelstangen usw., alles Gegenstände, deren Neuanfertigung ganz erhebliche Kosten bedingt. Die ausgearbeiteten, muldenförmigen, als Schweißfuge dienenden Stellen werden nach der Vorbereitung unter zeitweise sorgfältigem Hämmern (in Rotglut) sauber mit Zusatzmaterial ausgefüllt. Die Haltbarkeit und Gleichmäßigkeit (Homogenität) der Schweiße wird hiervon unmittelbar und einschneidend beeinflusst. Wirken beim Auftreten von Brüchen starke Zersplitterungen oder nennenswerte Formabweichungen störend auf die Schweißarbeit, so



Abb. 184. Schweißen von Rissen an Glühköpfen.

kann man solche Partien aus dem Werkstück ganz herausarbeiten, gegen neue, in diese Form gebrachte Ersatzstücke austauschen und letztere einschweißen.

Das Beispiel einer bedeutungsvollen Rißschweißung, zugleich von legiertem Stahlguß, zeigt Abb. 184: Die Schweißung von Rissen an Glühköpfen mit Hilfe eines fahrbaren Wechselstromtransformators. Diese Glühköpfe von 1400 kg Gewicht werden 8–12 Stunden lang (mit Drähten, Band Eisen usw. angefüllt) einer Temperatur von 800–900° ausgesetzt und durch das Abkühlen an der Luft im Laufe der Zeit rissig. Mit Hilfe besonders legierter

Elektroden gelangen die Schweißungen, die man zunächst autogen und elektrisch ohne den gewünschten Erfolg versucht hatte, gut; die Töpfe hielten eine größere Anzahl weiterer Glühungen aus.

3. Die Schweißung des Gußeisens.

Wie bei der Gasschmelzschweißung haben sich auch bei der Lichtbogenschweißung zwei Ausführungsarten entwickelt: die Kaltschweißung, die ohne Vorwärmung, d. h. bei dem jeweiligen Wärmezustand des Gußkörpers ausgeführt wird, und die Warmschweißung, welche ein Einformen und Vorwärmen des zu schweißenden Werkstücks erforderlich macht. Als Sonderart der letzteren kann noch die Halbwarmschweißung genannt werden. Kalt- und Warmschweißung ergänzen sich gegenseitig bestens; beiden ist ein ziemlich umgrenztes Arbeitsgebiet zugewiesen. Wo die Kaltschweißung genügt, wird man aus Gründen der Preisfrage auf die viel teurere Warmschweißung verzichten, obwohl, das sei vorweg gesagt, letztere in allen Fällen wesentlich besser ist. Mitunter sind beide Verfahren nicht anwendbar, und es muß die Gasschmelzschweißung (autogene Schweißung) an ihre Stelle treten. Im Laufe der folgenden Ausführungen wird sich bald ein Überblick gewinnen lassen, welche Arbeitsweise für die eine oder andere Schweißung zu bevorzugen ist.

a) Die Kaltschweißung.

Allgemeines. Bei der Kaltschweißung handelt es sich vorwiegend um die Reparatur an Werkstücken, die weder dicht sein müssen, noch hohe 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 Gußstück in jeder beliebigen Lage, sofern die Reparaturstelle nur für die Schweißzange zugänglich ist, geschweißt werden kann, also auch senkrecht oder über Kopf; denn es wird nicht, wie bei der autogenen und elektrischen Warmschweißung, Gußeisen, sondern Schmiedeeisen eingeschmolzen. Bei sämtlichen Kaltschweißungen werden nur ummantelte schmiedeeiserne Elektroden verwendet. Versuche, für die Kaltschweißung auch Gußelektroden zu benutzen, sind gescheitert, weil der Gußstab in großen Tropfen abfließt, ohne sich mit dem noch zu kalten Werkstoff zu verbinden. Da eine innige Verbindung zwischen Schmiedeeisen und Gußeisen nicht erzielbar ist, ist die Kaltschweißung leider nicht als vollkommen anzusehen. Es sind Hilfsmittel erforderlich, die eine einigermaßen ausreichende Festigkeit der geschweißten Bruchstelle ergeben. Die mangelhafte Bindung der abgeschmolzenen Eisenelektrode mit dem Gußmaterial ergibt stets Undichtheiten der Schweißstelle, und zwar liegen diese auf beiden Seiten längs der Schweißnaht, dort, wo das eingeschmolzene Eisen in das Gußeisen übergeht, während die Schweißnaht an sich dicht ist. Aus diesem Grunde können Gußkörper, von denen im Betriebe Dichtheit verlangt wird, z. B. Pumpen-, Dampfmaschinen- und Explosionsmotorzylinder, Behälter, Kühlrohre u. dgl. nicht kalt geschweißt werden. Alsdann kommt nur die elektrische Warmschweißung, beziehentlich die autogene Schweißung in Frage. Die Kaltschweißung ist an den Übergangsstellen zum Schweißgut meist derart hart, daß eine Bearbeitung nur durch Schleifen möglich ist. Dies kommt daher, daß in der Schweißfuge zunächst eine Schicht abgeschreckten weißen Roheisens entsteht (weil die Schweißhitze von dem im Verhältnis zur Elektrode großen Querschnitt des Schweißguts plötzlich ab-

geleitet wird). Darüber bildet sich eine Schicht harten Stahls, indem sich flüssiges Roheisen mit dem weichen Elektrodendraht mischt. Man soll infolgedessen in dünnen Lagen schweißen, um diese Zone und die weiter aufliegenden immer wieder auszuglühen. In den erwähnten harten Zonen treten natürlich leicht Spannungen und Haarrisse auf und als deren Folge wieder Undichtheiten.

Zur Kaltschweißung werden Stromstärken in den Grenzen zwischen etwa 80 und 200 A angewandt, während sich die Schweißspannung zwischen 20 und 35 V bewegt. Höhere Stromstärken gefährden den Erfolg der Schweißung, da das Werkstück zu warm wird und infolge der Werkstoffspannungen zu Bruche gehen kann.

Vorbereitung der Arbeitsstücke. Die Vorbereitungen der Arbeitsstücke zur Schweißung, wie wir sie beim Schmiedeeisenschweißen kennengelernt haben, sind

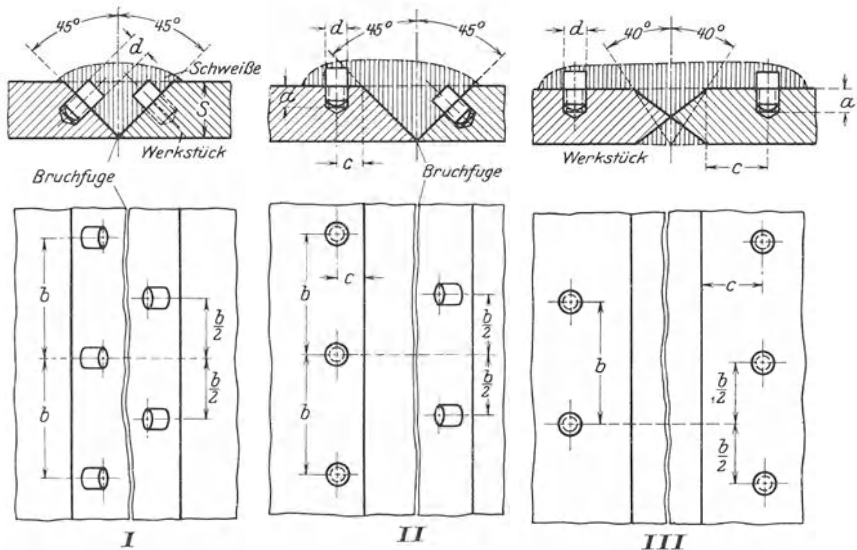


Abb. 185. Anordnung von Stiften bei Gußeisenkaltschweißungen.

für Gußschweißungen unzulänglich. Würde man die V-förmige Mulde einfach mit im Lichtbogen niedergeschmolzenen Eisenstäben auffüllen, dann würde in mindestens 90 % 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 das aufgetragene, von der Schweißelektrode abgeschmolzene Eisen gebildet wird. Letzteres stellt also in der Hauptsache eine Verbindung mit den Stahlstiften her, während zwischen ihm und den Rändern des Gußmaterials 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 Materialquerschnitt nicht unnütz weitere Schwächungen

erfährt. Abb. 185 *I–III* veranschaulicht die Anbringung und Verteilung der Stifte bei Schweißungen an Werkstücken bis zu 30 mm Wandstärke. In die Bruchfuge wird eine V- bzw. X-förmige Schweißmulde eingearbeitet (am 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. 185) 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. 185 *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, Bolzenstärke und Mittenentfernung von Bolzen zu Bolzen bestehen, unter Zugrundelegung der in Abb. 185 enthaltenen Zeichen, folgende Beziehungen:

Abb. 185 <i>I</i> und <i>II</i>	$d = 0,3 \div 0,4 s$, höchstens $\frac{1}{2}''$ (13 mm Durchmesser),
Abb. 185 <i>III</i>	$d = 0,5 s$, „ $\frac{3}{4}''$ (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. 186 *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.

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. 187. Doch ist dieser Vorschlag kein zwingendes Erfordernis; er wird wegen der Form der Werkstoffkanten häufig auch nicht ausführbar sein. Im übrigen kann die Bruchfläche auch x-förmig ausgearbeitet und doppelseitig geschweißt werden. Sehr zu empfehlen ist es, beiderseits der Schweißfuge die Gußhaut auf 10–20 mm Breite und 2–3 mm Tiefe aus-

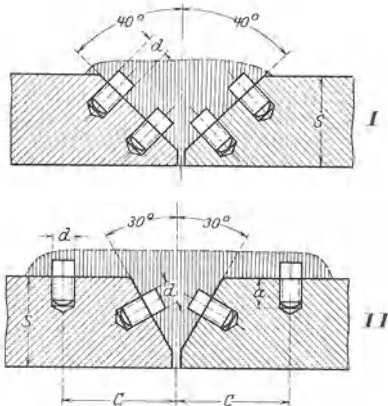


Abb. 186. Zweireihige Stiftsetzung.

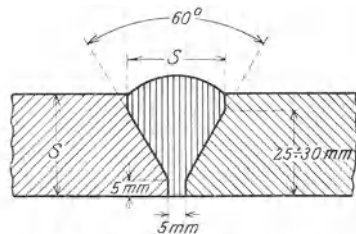


Abb. 187. Bearbeitung der Schweißmulde ohne Stiftsetzung.

zumeißeln (bei *c* in Abb. 188). Wenn die Gußhaut bleibt, läßt sich das eingeschweißte Eisen um so leichter herausheben.

Der Schweißvorgang. Wie bereits angeführt, finden bei der Kaltschweißung ausschließlich dieselben Elektroden wie bei der Schmiedeeisenschweißung Verwendung, doch müssen sie in allen Fällen überzogen sein. Das Werkstück wird im Gegensatz zur Schmiedeeisenschweißung an den — Pol angeschlossen, demnach die Elektrode an den + Pol. Um Gußspannungen fernzuhalten, darf keine größere Wärmezufuhr zum Gußkörper stattfinden, und deshalb sind bestimmte Stromhöchstgrenzen einzuhalten, wie sie in Zahlentafel 11 für Gleichstromschweißung festgelegt sind. Abweichungen von der angegebenen Schweißstromstärke sind bis zu 15 % zulässig.

Zahlentafel 11.

Wandstärke mm	Schweißspannung V	Leerlaufspannung etwa V	Schweißstromstärke A	Elektroden- durchmesser mm
3	20	55	80 ÷ 90	3
5	22	60	120	3 ÷ 4
10	24	70	150	4
15	26	75	160	4
20	30	90	180 ÷ 190	4 ÷ 5
über 20	35	105	190 ÷ 200	5

Die Schweißarbeit als solche weicht von jener der Eisenschweißung eigentlich in nichts ab. Das eingeschmolzene Eisen wird schichtenförmig, d. h. lagenweise aufgetragen, und die Oberflächen der einzelnen Lagen werden vor dem Auftragen der nächstfolgenden mit der Drahtbürste von anhaftenden Perlchen, Schlacken- und Schmutzteilen gründlich gereinigt. Der über die Materialoberfläche hervorragende Teil der Stiftschrauben wird einerseits mit dem Elektroden-eisen, andererseits mit dem Grundstoff möglichst gut zusammengeschmolzen.

Es ist bedauerlich, daß dichte Nähte bei der Kaltschweißung im allgemeinen nicht erzielbar sind, wenngleich man schon die größten Anstrengungen gemacht

hat, dieses wertvolle Ziel auf irgendeine praktisch brauchbare Weise zu erreichen. Ein Mittel, die Undichtigkeit einigermaßen einzuschränken, besteht darin, die einzelnen Schweißlagen nicht wie bisher (Abb. 158), sondern nach Abb. 188 anzuordnen. Die erste Schicht beginnt an der oberen Kante der Schweißmulde

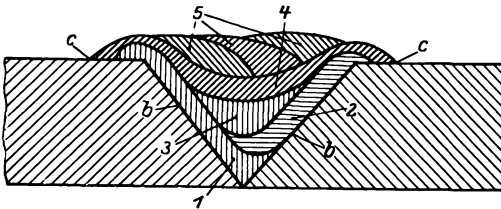


Abb. 188. Anordnung der Schweißlagen bei Gußeisenkaltschweißungen.

und geht ein kurzes Stück über den Scheitel der Ausvauung hinaus zur gegenüberliegenden Werkstofffläche über. In entgegengesetzter Richtung greift die zweite Lage über den Scheitel der ersten Lage. Erst jetzt werden die dritte, vierte und fünfte Lage auf das eingeschmolzene Eisen der beiden ersten Lagen aufgetragen. Aber auch diese Verteilung der Schweißlagen kann eine vollkommene Dichtheit der Naht nicht gewährleisten, besonders dann nicht, wenn das Gas oder die Flüssigkeit im Innern des Gußkörpers unter Druck stehen. Entlang den Übergangskanten *b* bestehen unzählige kleine Porositäten, die bei Innendruck das Gas oder die Flüssigkeit entlang der Linie *c* austreten lassen.

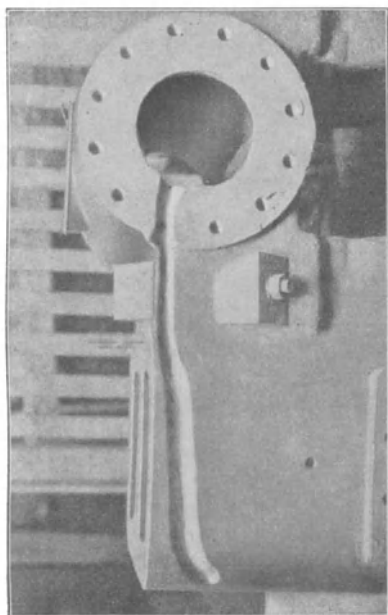


Abb. 190. Gußzylinder, zum Schweißen ausgevaut.

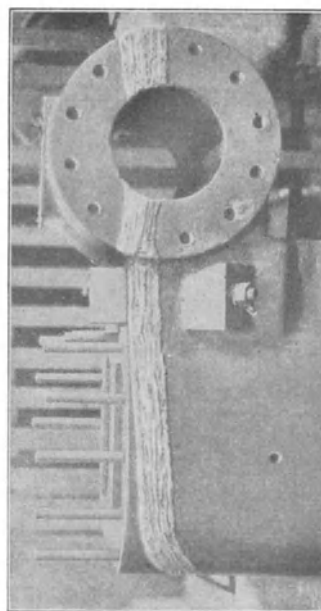


Abb. 192. Gußzylinder, fertig geschweißt.

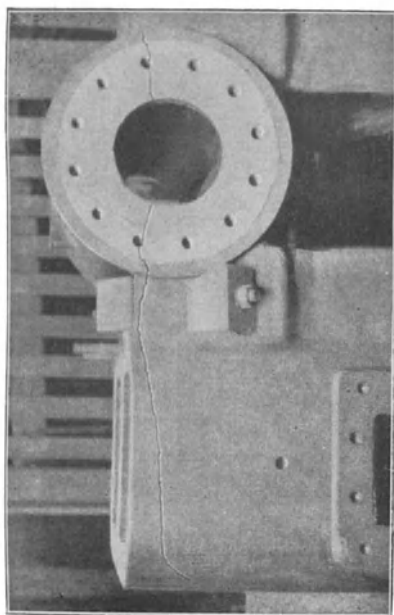


Abb. 189. Gesprungener Gußzylinder.

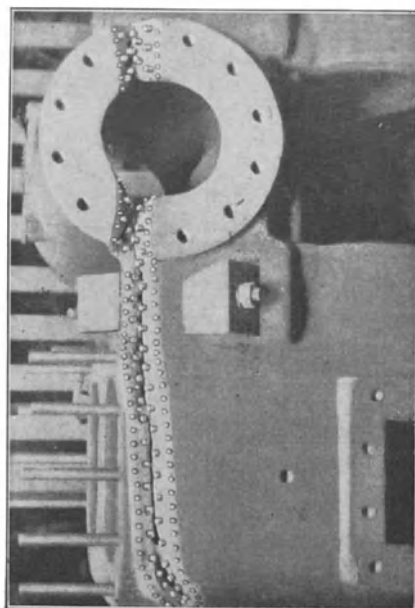


Abb. 191. Gußzylinder mit Stiften in der Naht versehen.

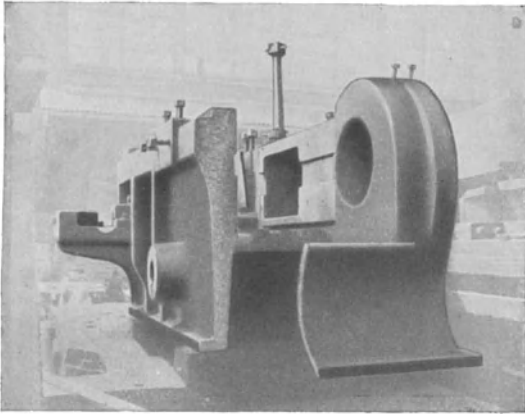


Abb. 193. Gerissener Rahmen einer Schmiedepresse.

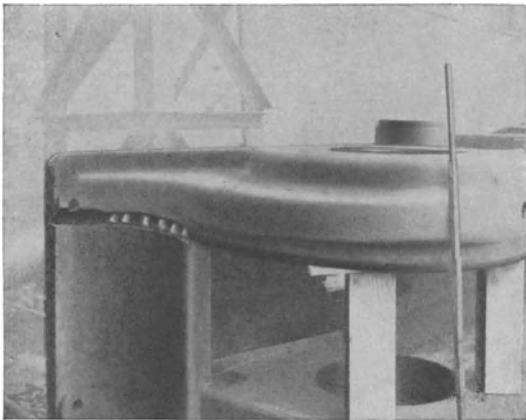


Abb. 194. Schmiedepressenrahmen zur Schweißung vorbereitet.

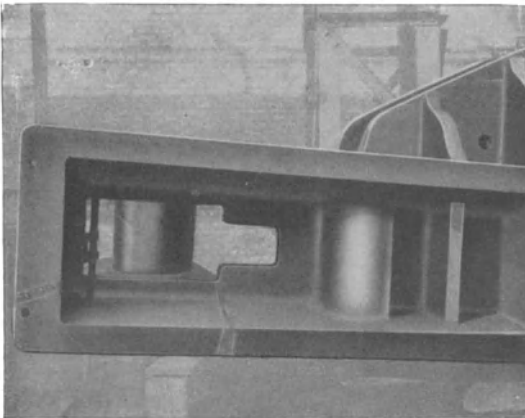


Abb. 195. Schmiedepressenrahmen, fertig geschweißt, Innenansicht.

Die Kaltschweißung hat aber auch ihre Vorzüge. Zunächst fällt die mit erheblichen Kosten verknüpfte Einformung und Vorwärmung des Schweißgutes fort, und dann, was das Wichtigste ist, der Gußkörper kann fast immer in jeder Lage geschweißt werden, ohne daß er demontiert oder gewendet werden muß. Das eingeschweißte Eisen läßt sich in jeder Richtung halten, ohne abzufließen, während beim elektrischen Warmschweißen und autogenen Schweißen die wage-rechte 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. Weiter ermöglicht die Kaltschweißung eine Unterbrechung der Arbeit, sooft dies der Wärmezustand des Schweißguts erheischt. Sobald das Werkstück zu heiß wird und die Entstehung unliebsamer Spannungen den Erfolg der Arbeit gefährdet, wird die Arbeit unterbrochen und die notwendige Abkühlung des Schweißkörpers abgewartet. Deshalb versetzt uns die elektrische Kaltschweißung in die angenehme Lage, Gegenstände, die nicht ausgebaut und nicht transportiert werden können, an Ort und Stelle zu schweißen, was weder die Warmschweißung noch die autogene Schweißung immer gestatten.

Ausgeführte Schweißungen. Der Werdegang einer Kaltschweißung, von der Vorbereitung des Werkstücks bis zur fertiggestellten Schweißung, ist aus der Bilderreihe Abb. 189÷192 zu erkennen. Zuerst sieht man in Abb. 189 den gerissenen Gußzylinder, wie er zur Schweißung eingeliefert wurde. Nach

dem Ausvauen der Bruchstelle hatte derselbe Teil das Aussehen der Abb. 190. Die Flächen der Schweißmulden wurden darauf beiderseits doppelreihig verstiftet, wie dies Abb. 191 zeigt, um schließlich kalt verschweißt zu werden. Das Schweißergebnis ist in Abb. 192 in unbearbeitetem Zustande photographisch festgehalten worden.

Das Bett (Rahmen) einer Schmiedepresse war infolge Überlastung so gebrochen, wie es Abb. 193 zeigt, und wurde nach Abb. 194 vorbereitet. Es wurde mit 200 A und 30 V geschweißt und 27 kg Füllmaterial (Elektroden) eingeschmolzen. Die Arbeit nahm sechs Tage in Anspruch. Das fertiggeschweißte Stück ist, von Innern des Rahmens aus gesehen, in Abb. 195 wiedergegeben.

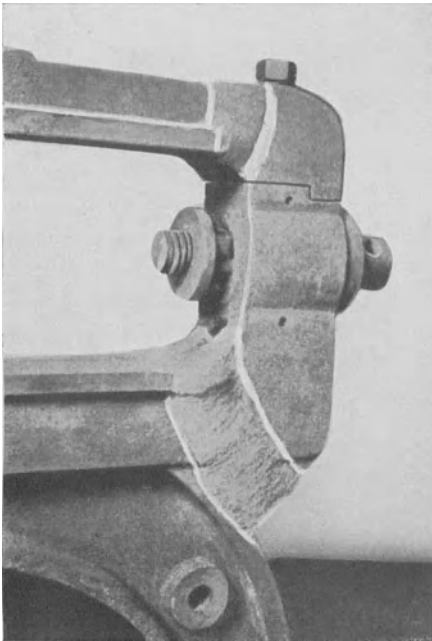


Abb. 196. Schweißung am Ständer einer Gummiwalze.



Abb. 197. Schweißung des Balanziers einer Schiffbaustanze.

Abb. 196 zeigt die fertige Schweißung am massiven Ständer einer Gummiwalze und Abb. 197 die Schweißung des Balanziers einer schweren Schiffbaustanze. Beide Reparaturen wurden an Ort und Stelle ohne Ausbau und ohne Umlegen der sehr schweren Gußkörper durchgeführt.

Eine ähnliche, recht dankbare Schweißarbeit ist in den Abb. 198 und 199 veranschaulicht. Es handelte sich um die Reparatur an einer großen Exzenterpresse für 170 t Druck, an welcher die Preßstempelführung gebrochen war. Die etwa 600 mm lange Bruchstelle wurde zur Erzielung einer guten Schweißverbindung nach Abb. 198, welche die Arbeitsausführung zeigt, erweitert. Abb. 199 stellt die geschweißte Bruchstelle in unbearbeitetem Zustande dar. Geschweißt wurde mit 180 A und 25 V. Die Schweißzeit als solche dauerte 120 h, die Vorbereitungsarbeiten beanspruchten 40 h. Das Gewicht der eingeschmolzenen Schweißstäbe belief sich auf 45 kg.

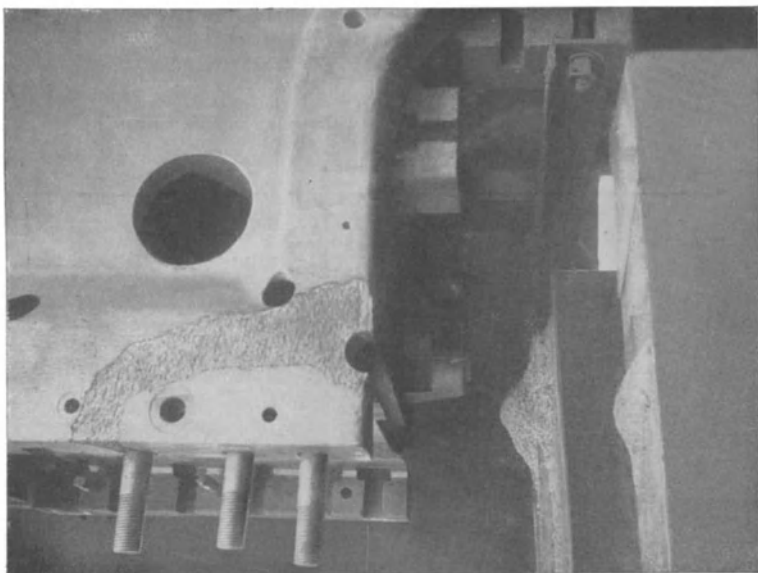


Abb. 199. Exzenterpresse, fertig geschweißt.

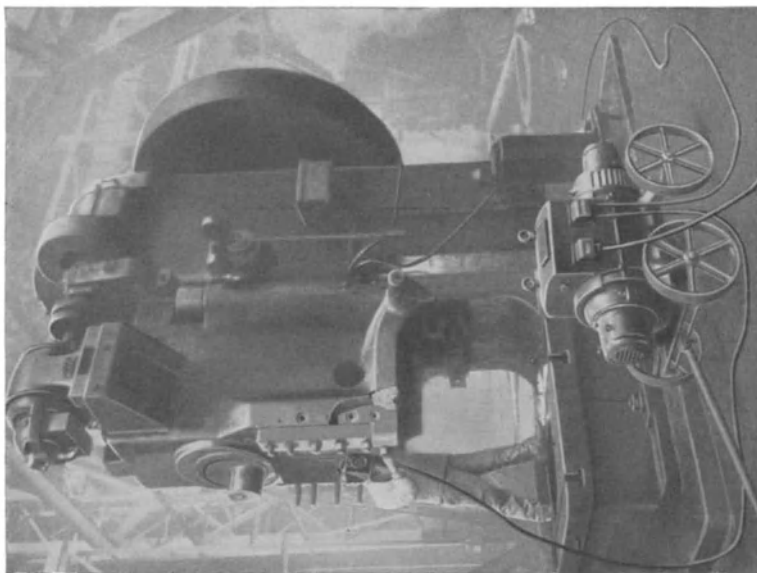


Abb. 198. Exzenterpresse während der Schweißung.

Zwei weitere interessante Fälle, deren Ausführung nur mittels elektrischer Kaltschweißung möglich war, zeigen die Abb. 200, 201 und 202, und zwar bezieht sich Abb. 200 auf die Reparatur des Kurbelwellenlagers einer Dampfmaschine, während Abb. 201 und 202 die Bruchstelle des Fundamentrahmens einer 1000-P. S.-Hauptschacht-Dampffördermaschine vor und nach der Schweißung wiedergeben.

Endlich ist ein ebenfalls nur durch Kaltschweißung behebbarer Schaden in Abb. 203 gezeigt. Die Arbeit betraf die Reparatur eines fertiggewickelten Generatorgehäuses, dessen Fuß an einer Seite gesprungen war. Hier mußte natürlich ganz besonders für gute Ableitung der Schweißwärme gesorgt und mit genügenden Arbeitspausen vorgegangen werden, weil sonst eine Verbrennung der Wicklung eingetreten wäre.

Werden an die Schweißstelle hohe Festigkeitsanforderungen gestellt, so ist es häufig angebracht, die Schweißstelle nach ihrer Fertigstellung noch durch Zugschrauben, Laschen, Flanschen u. dgl. zu verstärken. Art und Umfang der Verstärkung muß sich nach der Form des Gußstücks und dem Zweck, dem es zu dienen hat, richten.

b) Die Warmschweißung.

Allgemeines. Die Warmschweißung ist, was die Güte der Schweißung angeht, der Kaltschweißung ganz bedeutend überlegen. Die Anwendung von Festigkeitsträgern (Stiften, Laschen usw.) fällt fort. Als Elektrodenmaterial dienen nicht mehr Schmiedeeisenstäbe mit ihrer ganz anderen physikalischen Beschaffenheit und ihrem vom Gußeisen stark

abweichenden Ausdehnungskoeffizienten, sondern Gußstäbe, meist überzogene, seltener nackte. Infolgedessen ergibt sich zwischen Werkstoff und Füllmaterial eine gute, gleichmäßige und, was das Wichtige ist, dichte Verbindung, die in der Schweißung sogar höhere Festigkeit erreicht, als sie das Grundmaterial besitzt. Die Schweißung bleibt weich und ist leicht mechanisch bearbeitbar, was bei der Kaltschweißung nicht zutrifft. Bei ihr bleibt zwar das eingeschmolzene Schmiedeeisen weich und von einer dem schmiedbaren Eisen eigenen, allerdings verminderten Dehnungsfähigkeit, doch sind die Übergangsstellen zum Schweißgut entlang der Schweißung hart und nur durch Schleifen bearbeitbar, wie bereits im Abschnitt „Kaltschweißung“ erwähnt wurde.

Das Wesen der Warmschweißung besteht darin, das zu schweißende Werkstück in Sand einzuformen, 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

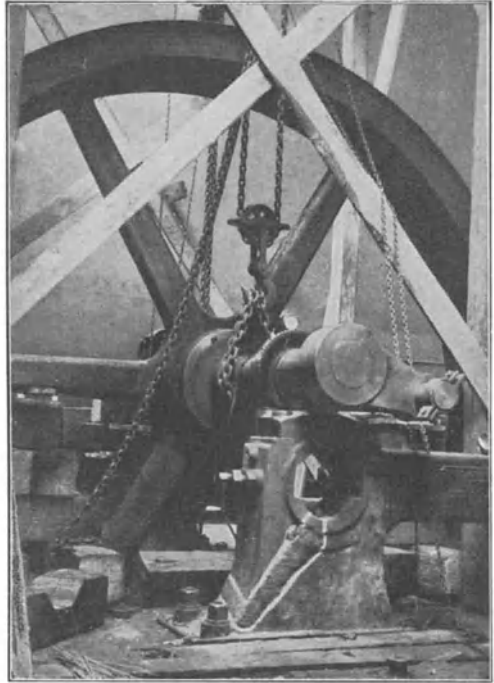


Abb. 200. Schweißung eines Kurbelwellenlagers.

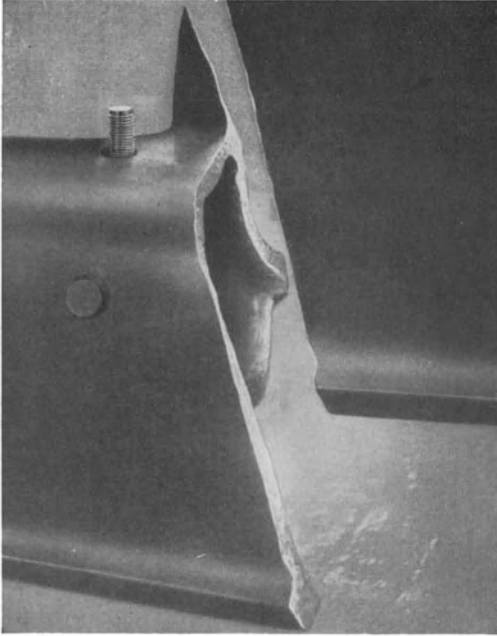


Abb. 201. Bruchstelle des Fundamentrahmens einer Fördermaschine.

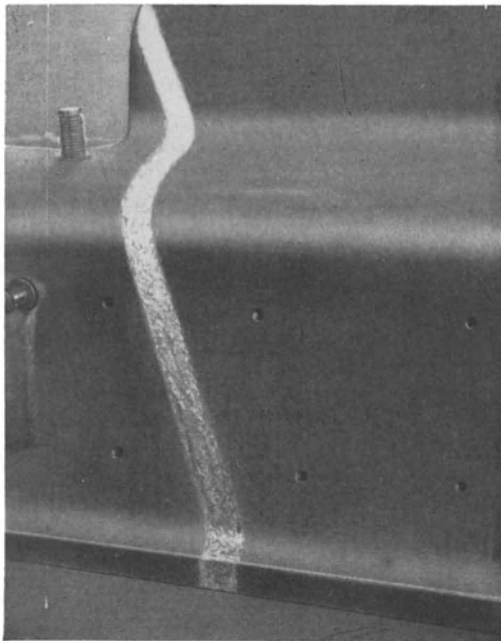


Abb. 202. Fördermaschinenrahmen, fertig geschweißt.

läßt sich die Anwendbarkeit der an sich vorzüglichen, wenn auch teuren und umständlichen Wärmeschweißung verhältnismäßig leicht bestimmen. Sie kommt dort in Frage, wo eine dichte Schweißung und hohe Festigkeit verlangt wird, wo die Schweiße im Betrieb dauernden Temperaturschwankungen ausgesetzt ist und gut bearbeitbar sein muß, und endlich dort, wo das betreffende Werkstück ausgebaut und eingeformt werden kann. Mittels der Wärmeschweißung werden daher vor allem geschweißt: Zylinder von Dampf-, Eis- und Gasmaschinen, von Kompressoren, Pumpen usw., überhaupt Innendruck ausgesetzte Hohlkörper. Doch gibt es eine untere Grenze bezüglich der Wandstärken. So sind beispielsweise Risse in Autozylindern nicht mehr nach dem Wärmeschweißverfahren schweißbar, noch weniger nach dem Kaltschweißverfahren, sondern allein autogen. In den weiteren Ausführungen werden wir noch Gelegenheit haben, uns mit den Grenzgebieten der Wärmeschweißung zu befassen.

Einrichtung der Wärmeschweißerei. Außer der vollständigen elektrischen Einrichtung (Maschine, Meß- und Schaltinstrumenten, Kabeln, Schweißkolben, Lichtschutz usw.) gehören zur Ausrüstung einer gut eingerichteten Wärmeschweißerei: Ein den eigentlichen Schweißraum überspannender Laufkran, eine, besser mehrere Schweißgruben ($4 \cdot 2$ m), die je nach Bedarf unterteilbar und unter Umständen mit Schamotteplatten ausgemauert sind, ferner eine gute Ventilationsvorrichtung, die eine Belästigung der aufs äußerste angespannten Schweißer durch die sich beim Schweißen entwickelnden Gase verhütet. Die Absaugeleitung muß der besseren Wirkung halber mit einem Exhaustor in Verbindung stehen und

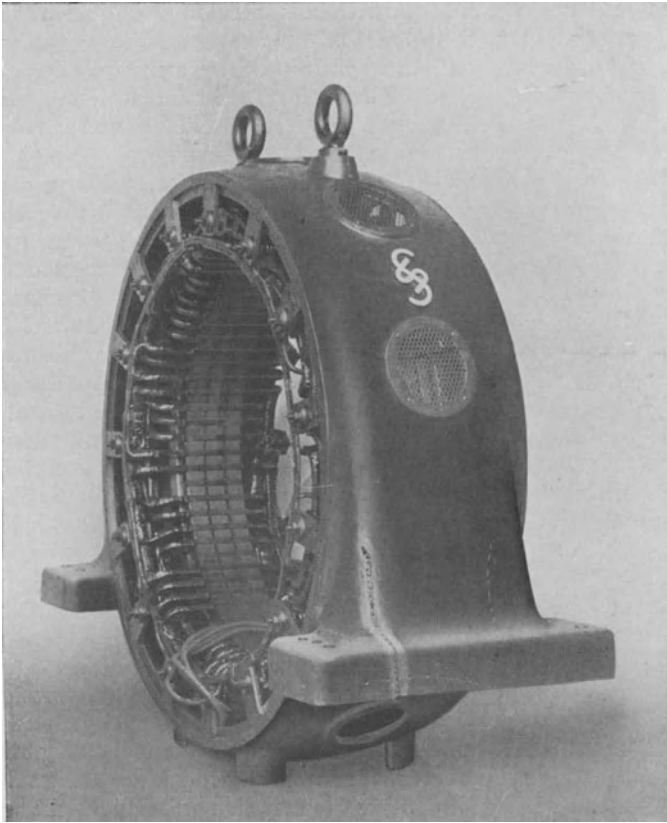


Abb. 203. Schweißung am Fuß eines Generatorgehäuses.

muß ein Stück über der Schweißgrube beweglich und in einem Winkel von etwa 90° verstellbar sein. Über jeder Schweißgrube ist mindestens eine Absaugleitung (Trichter) vorzusehen.

Abb. 204 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, den Schweißkolben mit der eingespannten



Abb. 204. Elektrische Warmschweißung eines Maschinenständers.

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 mittels Druckluftmeißel ausgearbeitet oder, wenn durchführbar, durch Abbohren künstlich erweitert. Zwar kann die Schweißfuge mitunter auch mit der Kohlenelektrode 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 Verstiften 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 Autogenschweißen, sondern größere Flächen des Werkstücks. Der Umfang des flüssig werdenden Stücks ist abhängig von der angewandten 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. Bestimmte Regeln hierfür lassen sich mit Rücksicht auf die Vieltätigkeit der in Frage kommenden Brüche und Werkstücke nicht aufstellen. Die Einformung muß vielmehr 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, dann genügt meist die Einbettung in den Einformeboden (die Sohle) der Schweißerei, wie dies in Abb. 205

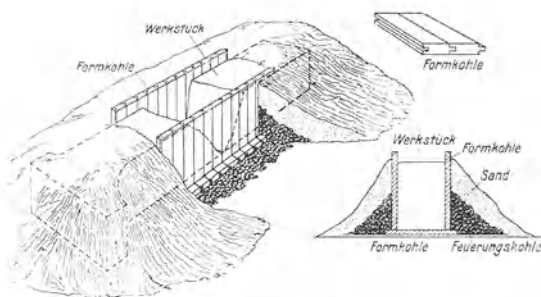


Abb. 205. Vorbereitung zur elektrischen Warmschweißung.

schematisch dargestellt ist. Die Gußstücke werden ganz in Sand eingefornt und nur die Schweißstelle, die immer nach oben und möglichst wagerecht zu liegen

hat, wird frei gelassen. Eine Gruppe auf diese Weise eingeformter und zur Schweißung vorbereiteter Gußstücke ist aus Abb. 206 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. Bei dieser Ausführung ist ein besonders sachgemäßes und zweckmäßiges Einformen nötig.



Abb. 206. Zur Warmschweißung vorbereitete Gußstücke.

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 allein Poren und Blasen, sondern von unten nach oben verlaufende (senkrechte) röhrenartige Kanäle, welche die ganze Schweißstelle 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.

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 beschriebener

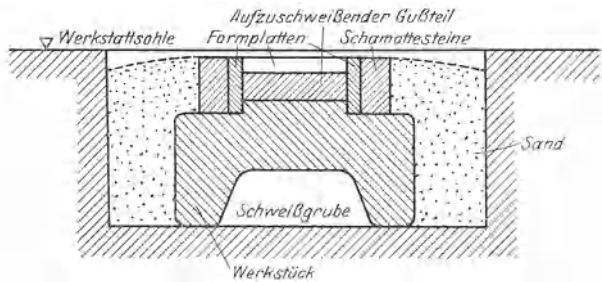


Abb. 207. Einformung eines Warmschweißstücks ohne Formkasten.

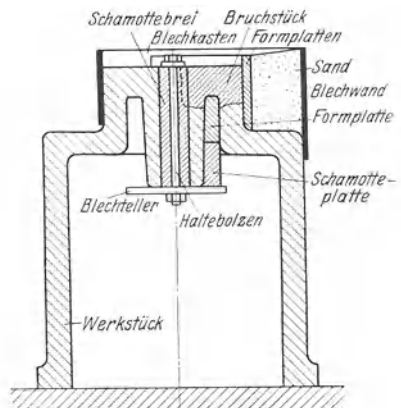


Abb. 208. Einformung eines Warmschweißstücks mit Formkasten.

Schweißgruben eingeformt, kleinere in der Werkstattsohle selbst oder über dieser in hohen Formkästen (Blechkästen), wie dies schon Abb. 204 zeigte. Die Sand-

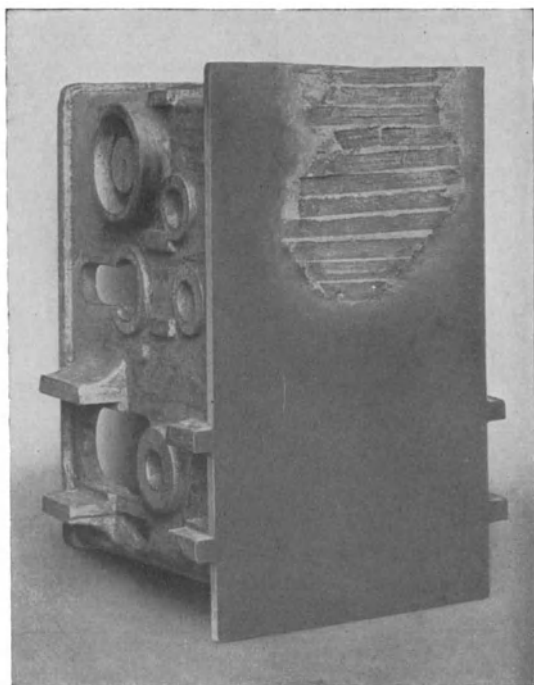


Abb. 209. Warmschweißung eines Pressentisches.

sprechende Form geben. Bei vorsichtigem Umgang mit den Koksplatten sind sie wiederholt benutzbar. Die Schweißstelle ist derart mit Formplatten ein-

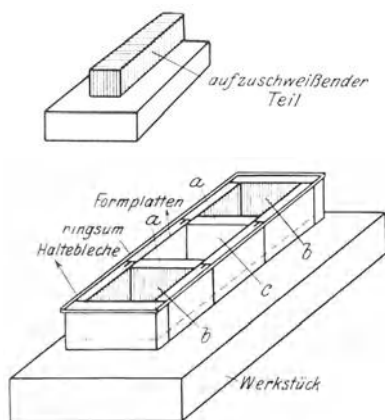


Abb. 210. Unterteilung der Schweißstelle in Kammern.

erkennen, die noch deutlich die zur Einförmung dienen.

haltebleche, wie man die Formkästen besser bezeichnen sollte, werden aus $2 \div 5$ 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. 205 und 207 ist die Einförmung des Schweißguts ohne, in Abb. 208 mit Formkästen schematisch dargestellt.

Die Schweißstelle selbst wird zunächst mit einem besonderen Formmaterial, sog. Retortenkoksplatten, umgeben. Die Formkohlen sind in verschiedenen Abmessungen und Dicken, auf Wunsch auch mit Nut und Feder erhältlich, wie dies schon Abb. 205 rechts oben zeigt. Sie lassen sich sehr gut feilen; man kann ihnen daher jede, dem Zwecke gerade am besten ent-

sprechende 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 $20 \div 50$ mm überragen (Abb. 205, 207 und 208), damit während des Schweißvorgangs kein flüssiges Eisen aus dem Schmelzbad abfließen kann und die Schweiße für die darauffolgende Bearbeitung genügend stark 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. 209 ist eine geschweißte, unbearbeitete Platte eines Pressentisches zu

Abdrücke der Kohlenplatten zeigt, welche

Wichtig ist es, die Einformung des Werkstücks so vorzunehmen, daß die gesamte Schweißfläche von einer Seite (von oben) aus zugänglich ist. Verbieten dies formtechnische oder sonstige Gründe, dann muß nach Fertigstellung der ersten Teilarbeit eine neuerliche Einformung und abermaliges Schweißen des nun restlichen Teiles stattfinden. Dadurch kann allerdings die Fertigstellung der Gesamtarbeit mehrere Wochen länger dauern, womit die Wichtigkeit wohlüberlegter Einformung besonders hervortritt.

Handelt es sich um breite Grundflächen der Schmelzformen und um große Mengen niederzuschmelzenden Gußeisens, so kann die Schweißung 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, was geschieht, indem man im Sinne der Abb. 210 verfährt. Eine, der erforderlichen Unterteilung entsprechende Anzahl Formplatten wird als Querwände *a* eingebaut und jedes zweite der hierdurch gebildeten Kästchen *b* mit Sand ausgefüllt; die übrigen (*c*) bleiben offen und werden zuerst mit dem Stabmaterial 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 eine 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 Füllmaterial 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 eingeformte 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 1000 A, die Betriebsspannung zwischen 40 und 70 V (Leerlaufspannung $90\div 110$ 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 Material ein schlackenbildendes Schweißpulver unmittelbar zugesetzt, während sich dies beim Schweißen mit ummantelten Elektroden erübrigt. Neuerdings werden die mit Schweißpaste überzogenen Gußelektroden fast allgemein bevorzugt. Im Gegensatz zum Kaltschweißen bildet bei der Wärmeschweißung das Werkstück den

Pluspol und der Schweißstab den Minuspol. Als Werkstoff, der sich gut zum Schweißen eignet, ist nach Neese ein Gußeisen zu bezeichnen mit 3–3,5 % Kohlenstoff, 0,5–0,7 % Mangan, 3–3,5 % Silizium, bis 0,8 % Phosphor und bis 0,06 % 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 ringsum abgedeckt, so daß nur die Schweißstelle frei liegt. Die Schweißung schwerer Werkstücke erfordert die wechselweise Ablösung zweier oder mehrerer

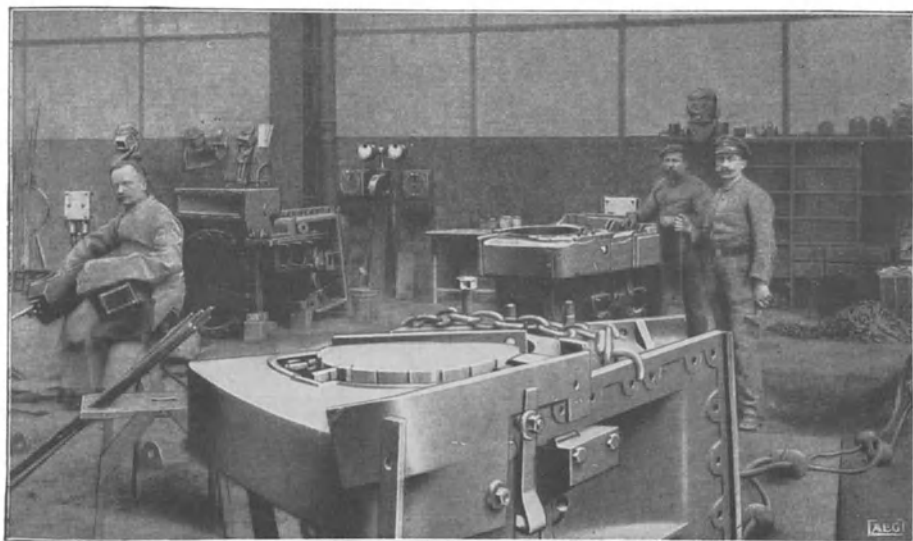


Abb. 211. Lokomotivzylinder, fertig zur Warmschweißung.

Schweißer; die Leute würden sonst zu sehr ermüden, was die Güte der Schweißung im ungünstigen Sinne stark beeinträchtigt. Deshalb werden an den — Pol zwei oder mehr Kabel mit Schweißkolben angeklemt, wovon nur immer einer im Betriebe steht, während sich die anderen in Bereitschaft befinden (Abb. 204).

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 Wärmezustand des Werkstücks zu überzeugen und, um Wärmeverluste des Werkstücks zu verhüten, die Schweißung so rasch durchzuführen, als 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 dem Stabmaterial 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 diesem 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. 210); der Lichtbogen ist dann in der Lage, die Schweißfläche gut flüssig zu erhalten und eine gleichmäßige Verbindung des niedergeschlagenen Stabmaterials mit dem Grundmaterial herzustellen. Nach Abschmelzung jeder Elektrode wird die Oberfläche des Schmelzbads gründlich von Schlacke (durch Kratzen u. ähnl.) gereinigt.

Nachwärmung. Ist die Form ausgefüllt und die Schweißung beendet, d. h. die Schmelze erstarrt, so wird die Schweiße mit Holzkohlenstaub, Asche oder Sand abgedeckt und die ganze Schweißgrube mit Sand verschüttet. Wenn das

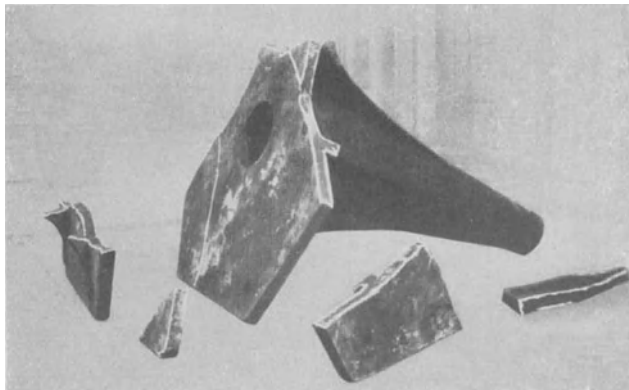


Abb. 212. Gebrochener Gußständer.

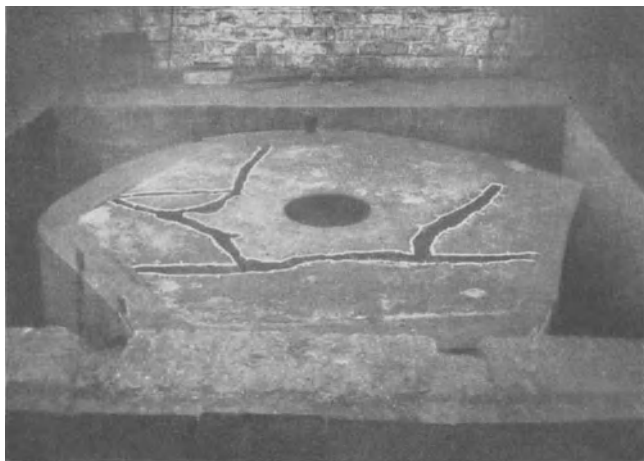


Abb. 213. Zur Warschweißung vorbereitete Ständerplatte.

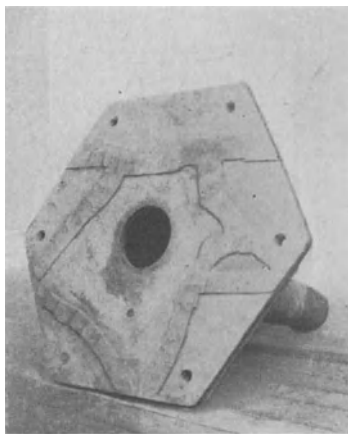


Abb. 214. Ständerplatte nach der Schweißung.

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 Erkalts in einfacher Weise durch das Nachwärmefeuern regeln läßt. Die Dauer der Abkühlung richtet

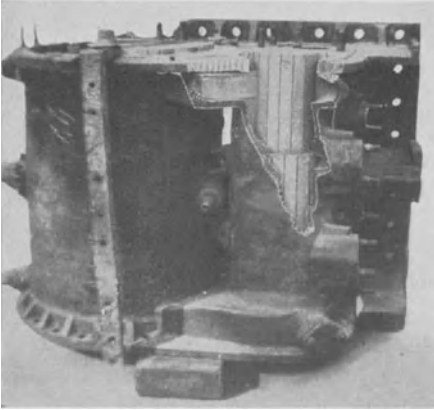


Abb. 215. Lokomotivzylinder
vor der Schweißung.

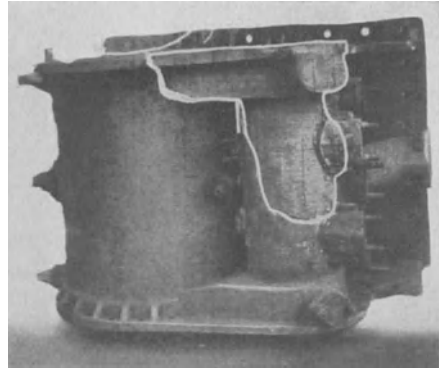


Abb. 216. Lokomotivzylinder (Abb. 215)
nach der Schweißung.

sich naturgemäß nach der Masse des Gußstücks und kann bis zu 14 Tage in Anspruch nehmen.

Beispiele ausgeführter Arbeiten. In Abb. 211 ist ein zum Versenken in die Schweißgrube und zur Vorwärmung fertiges, also bereits eingestampftes Werk-

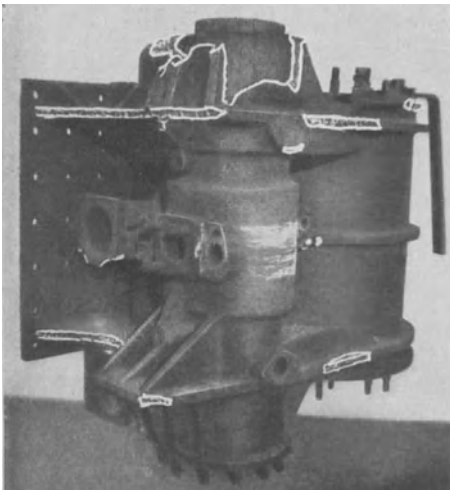


Abb. 217. Lokomotivzylinder
vor der Schweißung.

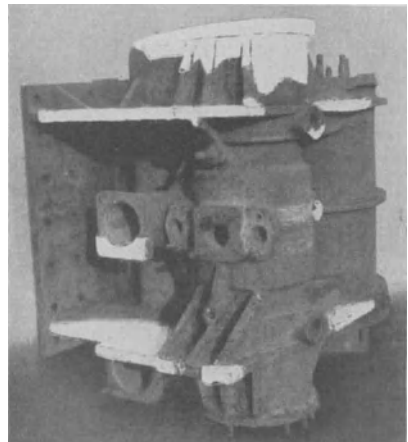


Abb. 218. Lokomotivzylinder (Abb. 217)
nach der Schweißung.

stück (ein Lokomotivzylinder) photographisch festgehalten. Man erkennt die mittels eiserner Laschen befestigte rohe Blechverkleidung und die zwischen ihr und der aus Ziegelsteinen bestehenden Form (außerhalb der Koksplattenform) eingestampfte Formsandmasse.

Um den Werdegang einer Warmschweißung verfolgen zu können, sind vorstehend einige Abbildungen (Abb. 212÷219) interessanter Werkstücke wiedergegeben, die in der Eisenbahnreparaturwerkstätte in Wittenberge (Leiter: Oberregierungsbaurat Bardtke) durch elektrische Warmschweißung ausgebessert wurden. Abb. 212 zeigt einen Ständer, dessen etwa 60 mm starke 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 wagerecht zu liegen kam, wie dies aus Abb. 213 ersichtlich ist. Dieses Bild führt das fertig eingeformte, an den Bruchrändern auf etwas über Werkstoffdicke ausgearbeitete Gußstück vor Augen. Die einzelnen Bruckstücke werden durch die im Bilde deutlich sichtbare Einförmung des Plattenkranzes und durch geeigneten Unterbau in ihrer Lage fixiert. Das Schweißergebnis ist in der nächsten Photographie (Abb. 214) festgehalten. Sie 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. 215 zeigt einen am Schieberkasten stark beschädigten Lokomotivzylinder im für die Schweißung teilweise vorbereiteten Zustande, äußerlich jedoch nicht eingeförm. Das Zylinderinnere ist in bekannter Weise mit einem Formplattenkern ausgelegt. Nach der Schweißung hatte der Zylinder das Aussehen der Abb. 216. Der eingeschweißte Teil ist durch Umränderung mit Kreide leichter sichtbar gemacht. Ein ebenfalls stark und an verschiedenen Stellen beschädigter Lokomotivzylinder, mit allerdings nicht so ungünstigen Bruchrändern, ist in Abb. 217 vor und in Abb. 218 nach der Schweißung abgebildet. Die durch

Schweißung ausgebesserten Schäden an den Verstärkungsrippen, Anschlußflanschen und an der Anschraubfläche sind durch weißen Anstrich der aufgeschmolzenen Flächen hervorgehoben. Endlich wird noch ein anderer, durch Warmschweißung ausgebesserter Zylinder in Abb. 219 vor der Schweißung veranschau-

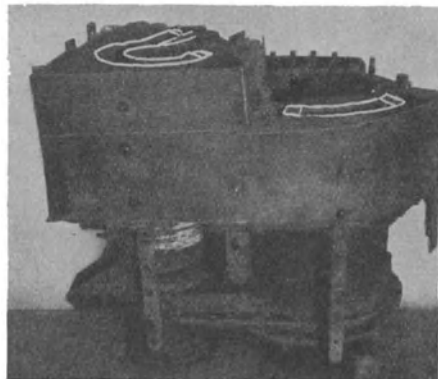


Abb. 219. Beschädigter Lokomotivzylinder.

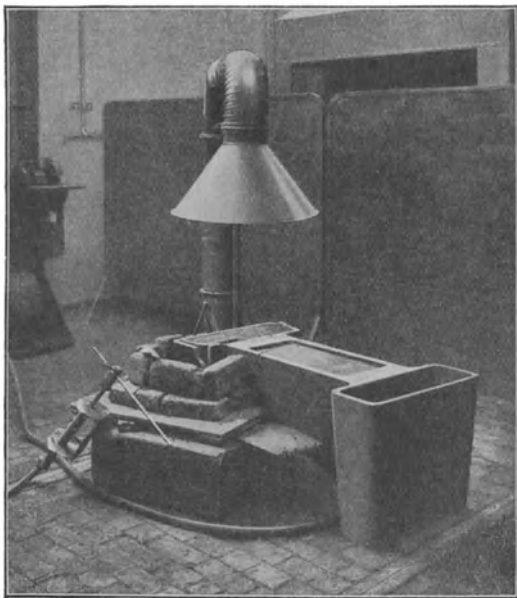


Abb. 220. Zur Halbwarmschweißung vorbereitetes Gußstück.

licht. Die schadhaften Stellen sind auch hier durch Kreidelinien deutlicher sichtbar gemacht.

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 Einförmung 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 Spannungs-

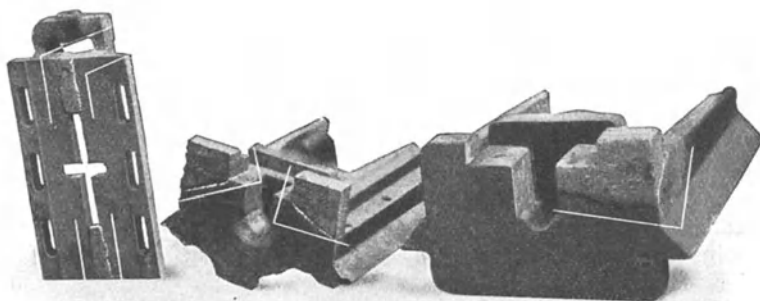


Abb. 221. Halbwarm geschweißte Gußstücke.

erscheinungen nicht zu gewärtigen sind. Die Reparaturen erstrecken sich daher meist auf frei liegende und vorstehende Ecken, Kanten oder sonstige Teile des Werkstücks, wie dies aus der Abb. 221, einer Gruppe halbwarm geschweißter Gegenstände, hervorgeht. In Abb. 220, sind dieselben Gußteile zum Anwärmen vorbereitet und eingeförm.

4. Die Schweißung der Nichteisenmetalle.

Allgemeines. Die Schmelzschweißung der Nichteisenmetalle wird bisher in der Hauptsache mit Hilfe des autogenen Schweißverfahrens durchgeführt. Bei der Lichtbogenschweißung ergeben sich verschiedene Schwierigkeiten, die zum Teil noch nicht überwunden sind. Immerhin ist doch schon festzustellen, daß Kupfer, Messing, Bronze, Aluminium und Blei heute unter Beobachtung bestimmter Vorsichtsmaßregeln mit dem Lichtbogen praktisch geschweißt werden können. Will man mit der Metallelektrode schweißen (Verfahren von Slaviannoff), so zeigt sich, daß bei den Nichteisenmetallen der Lichtbogen meist unruhig auf dem Metall hin und her tanzt und deshalb kaum eine einwandfreie Schweißung zu erzielen ist. Man nimmt daher für alle Nichteisenmetalle gewöhnlich die Kohlenelektrode mit Zusatzstab aus dem betreffenden Metall (Verfahren von Benardos), kann dann natürlich auch nach dem Verfahren von Zerener (zwei Kohlenelektroden mit Elektromagnet) schweißen. Meistens wird mit Gleichstrom gearbeitet, doch ist nach Versuchen der letzten Zeit auch das Schweißen

mit Wechselstrom bei Verwendung von Kohlenelektroden durchaus durchführbar und schon genügend erprobt. Über die Anwendbarkeit von Kupferelektroden bei der Kupferschweißung, was man neuerdings versucht, liegen noch keine genügenden Erfahrungen vor.

Sehr wichtig ist bei der Schweißung der Nichteisenmetalle die Kenntnis der besonderen Eigenschaften dieser Metalle. Hinsichtlich der einzelnen Eigenschaften wird auf Abschnitt I E verwiesen; hervorgehoben sei hier nochmals bei Kupfer, seinen Legierungen und Aluminium die große Verwandtschaft zu Sauerstoff (Bildung von Oxyden) und die starke Wärmeleitfähigkeit, bei Messing dann noch die leichte Verdampfbarkeit des in ihm enthaltenen Zinks und bei Blei die Giftigkeit der Bleidämpfe.

Die Vorbereitung der zu schweißenden Metalle erfolgt in der gleichen Weise wie bei der Eisenschweißung. Man wendet also insbesondere bei dünnen Blechen (bis etwa $6 \div 8$ mm Blechstärke) die Stumpfschweißung und bei stärkeren Blechen die V-Schweißung an; bei letzterer beträgt der Winkel zwischen den beiden abgeschrägten Flächen im Mittel 90° .

Kupfer-, Messing- und Bronzeschweißung. Die hohe Wärmeleitfähigkeit, insbesondere des Kupfers, erfordert ein Schweißen mit hohen Stromstärken, wobei die richtige Stromstärke genau beachtet werden muß, da bei allzu starker Wärmewirkung leicht ein Verbrennen des Kupfers (Rotbruch in der Schweißung) eintritt. Die Elektrode (Graphitkohle) ist öfters mit einer dünnen Kupferhaut überzogen. Im allgemeinen wird ein Schweißpulver verwendet und auf die Schweißstelle aufgestreut. Als Zusatzmaterial wird meistens der früher erwähnte Canzler-Kupferdraht benutzt. Vorteilhaft ist es, die zu schweißenden Stellen mit Graphitplatten zu unterlegen und zu umgeben. Eine Schwierigkeit bei allen Nichteisenmetallschweißungen besteht noch darin, daß die Lichterscheinung wesentlich schwächer ist als bei der Eisenschweißung und der Schweißer daher schlechter während des Schweißens erkennen kann, ob sich das eingeschmolzene Material gut mit den Schweißkanten verbunden hat. Eine Verbesserung der Schweißung kann dadurch erzielt werden, daß man die einzelnen Schweißlagen in warmem Zustand hämmert.

Bei der Messing- und Bronzeschweißung geht man in derselben Weise vor wie bei der Kupferschweißung. Bei Bronze ist noch besonders zu beachten, daß diese im erhitzten Zustand ihre Festigkeit fast ganz einbüßt. Der Bronzekörper muß also vor dem Schweißen gut unterbaut werden. Bei Messing empfiehlt sich für den Schweißer ein Respirator (Atmungsmaske) wegen der Zinkverdampfung. Als Zusatzmaterial wird Messing bzw. Bronze, aber auch Kupfer genommen. Schweißstromstärken, Schweißspannungen und Elektrodendurchmesser für Kupferschweißungen sind aus Zahlentafel 12 zu entnehmen; für Messing- und Bronzeschweißungen können dieselben Zahlen benutzt werden.

Aluminiumschweißung. Unbedingt erforderlich ist ein Schweißpulver, das am besten in Form einer Paste mit dem Pinsel auf die Schweißnaht aufgetragen wird. Gut bewährt haben sich bis jetzt die Schweißpulver Autogal (Chemische Fabrik Griesheim) und Firinit (Metallochemische Fabrik, Berlin). Das Aluminiumschweißpulver ist stark hygroskopisch, d. h. es saugt schnell die Luftfeuchtigkeit an und bildet dann eine unbrauchbare, dickflüssige oder teigige Masse von dunkelgelber Färbung. Man verwahrt es deshalb zweckmäßig in Glasflaschen mit eingeschliffenen Pfropfen. Erhitztes und besonders gegossenes Aluminium ist sehr bröcklig. Man muß also beim Bewegen hochoerhitzter Stücke sehr vorsichtig sein und auch ein Durchbrechen und Einfallen des Materials durch Unterhalten eines passenden Eisenblechs oder durch Unterstopfen mit Sand

verhüten. Schweißstromstärken, Schweißspannungen usw. sind in Zahlentafel 12 angegeben.

Bleischweißung. Auch das Blei hat eine große Verwandtschaft zum Sauerstoff und bildet dann Bleioxydul. Notwendig ist daher ein gründliches Abschaben der Verbindungsstellen und des Bleizusatzdrahts. Das Wärmeleitvermögen des Bleis ist dagegen gering. Bleibleche werden stumpf geschweißt, bei größeren Blechstärken mit reichlichem Zwischenraum zwischen den Blechkanten. Angaben über die in diesem Fall — wegen des niedrigen Schmelzpunkts des Bleis — geringen Schweißstromstärken und Schweißspannungen enthält Zahlentafel 12.

Zahlentafel 12.

Blech- stärke mm	Art der Schweißung	Elektroden- durch- messer mm	Schweißstromstärke in A			Schweißspannung in V		
			Kupfer	Aluminium	Blei	Kupfer	Aluminium	Blei
2 ÷ 4	stumpf	16	120 ÷ 160	120 ÷ 200	15 ÷ 26	18 ÷ 20	18 ÷ 21	22 ÷ 25
4 ÷ 7	„	16	160 ÷ 230	200 ÷ 280	26 ÷ 40	20 ÷ 22	21 ÷ 23	25 ÷ 30
7 ÷ 10	V-förmig	16	230 ÷ 290	280 ÷ 370	40 ÷ 50	22 ÷ 23	23 ÷ 25	30 ÷ 33
10 ÷ 15	(ausgenommen Blei) V-förmig	16	290 ÷ 370	370 ÷ 500	—	23 ÷ 24	25 ÷ 29	—
15 ÷ 20	„	16	370 ÷ 450	—	—	24 ÷ 26	—	—

IV. Die Schweißung mittels Elektrolyse.

Allgemeines. Wie bereits im einleitenden Abschnitt I D 3 kurz auseinandergesetzt wurde, beruht die Erhitzung und Schweißung mittels Elektrolyse darauf, daß beim Eintauchen des an den negativen Pol eines Gleichstromkreises angeschlossenen Schweißstücks A (Abb. 15) 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 stark in den Hintergrund getreten, in neuerer Zeit aber für einige Verwendungsgebiete wieder in beschränktem Umfang aufgekommen. Einige kennzeichnende Beispiele 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. 222 durchgeführt werden. Der mit Blei ausgekleidete Bottich, der mit dem positiven Pol der Stromquelle verbunden ist, ist nur mit Wasser gefüllt. S stellt einen Regulierwiderstand dar.

Will man dagegen die Elektrolyse zum Härten benutzen, so besteht zunächst der bereits erwähnte Übelstand, daß insbesondere die Kanten und Schneiden eingehängter Werkzeuge durch die kleinen Lichtbogen angegriffen und stumpf werden. Man hilft sich z. B. (nach Pfretzschnner, 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. 222). 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 cm² Querschnitt und die Spannung 100–200 V, je nach Größe des Stücks. Ein Gesteinsbohrer von 25 mm Schaftstärke kann auf 100 mm Länge in 2 min bis zur Weißglut erhitzt werden bei einer Leistungsaufnahme von 14 kW; er erfordert also einen Strom-

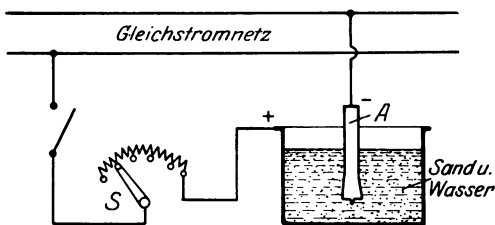


Abb. 222. Härten eines Bohrers durch Elektrolyse.

verbrauch von $14 \cdot \frac{2}{60} = 0,47$ kWh. Vorteilhaft ist auch noch, daß in dem elektrolitischen 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. 223 zeigt im Schema die Anwendung der Elektrolyse beim Schweißen von Rohren und Hohlkörpern. Das Rohr ist wieder 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

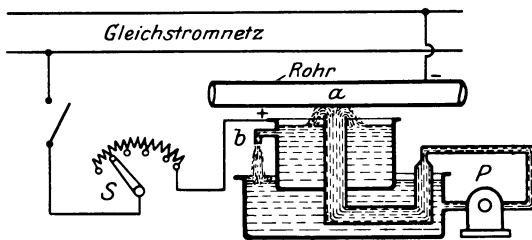


Abb. 223. Schweißen einer Rohrlängsnaht durch Elektrolyse.

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 der Werkstücks. Die verhängten Kettenglieder (Abb. 224) werden, mit der Schlitzstelle nach unten, über Rollen gezogen. Die Rollen *a*₁ und *a*₂ 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 Kettenstärke, regulierbar. Diese Ausführung sieht zunächst

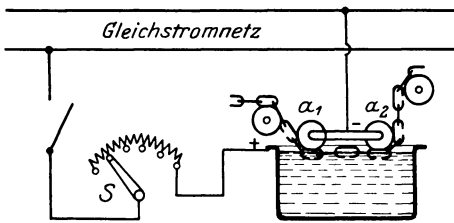


Abb. 224. Schweißen von Ketten durch Elektrolyse.

graden 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 Metalledraht 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.

V. Elektrisches Lötten.

Allgemeines. Beim Lötten wird die zu verbindende Stelle nicht auf Schweißtemperatur gebracht, sondern nur soweit 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 $820^{\circ} \div 875^{\circ}$). 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 $720^{\circ} \div 855^{\circ}$) in Gebrauch, für die Aluminiumhartlötung wieder besondere Hartlote, insbesondere das „Firinit“, dessen Schmelzpunkt genügend weit unter dem des Aluminiums liegt. Als Lötpulver (entsprechend dem Schweißpulver) genügt Borax. Der Hartlötung gegenüber steht die Weichlötung, bei der das zu verbindende Material 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 Zinnbleilegierungen mit 25 ÷ 90 Teilen Zinn, Rest Blei (Schmelzpunkt $180^{\circ} \div 240^{\circ}$). Als Schutz- und Beizmittel sind Kolophonium, Stearin, besser aber Lötwasser (Zinn in Salzsäure aufgelöst) oder Lötöl (Lötöl unter Zusatz von Salmiak) in Gebrauch. Das Lötten soll im folgenden nur noch hinsichtlich der Verwendung elektrischer Lötgeräte kurz besprochen werden. Der Lötvorgang selbst wird als bekannt vorausgesetzt.

Elektrische LötKolben. Für die Weichlötung wurden bisher LötKolben und Lötampen verwendet. Beim elektrischen Lötten 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 einen 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 Massenartikel 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, regulierbar in der Menge, aus einer feinen Düse, an die der zu lötfende 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 Massenartikel kann die Bandmaschine dienen. Die zu lötfenden 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.

VI. Die Güte der Schweißnaht und ihre Prüfung.

A. Allgemeiner Überblick.

Güte der Schweißnaht. Von der Güte der Schweißnaht hängen die Anwendung und der Anwendungsbereich der elektrischen Schweißverfahren in erster Linie ab. Daher ist eine möglichst hohe Güte der Naht nicht nur bei Probeschweißungen, sondern auch bei allen laufenden Betriebsarbeiten zu erstreben, und um diese Güte zu erreichen, sind wiederum Prüfungen der Schweißnaht unerlässlich. Es darf zunächst nicht übersehen werden, daß die Güte der elektrisch geschweißten Naht von einer ganzen Reihe von Größen abhängt, von denen die wesentlichsten folgende sind: Güte der Schweißmaschine bzw. Schweißeinrichtung, Kenntnisse und Handfertigkeit des Schweißers, chemische Zusammensetzung, Kristallaufbau und Bauart des Schweißstücks und Güte des Schweißstabmaterials. Da vor allem im normalen Betrieb bisher selten alle genannten Anforderungen zugleich erfüllt werden, ist es nicht verwunderlich, daß die Güte der Schweißungen sehr unterschiedlich und oft nur eine recht mäßige ist. Wichtig für die Güte der Naht ist es nach vorigem zunächst, im Betrieb für gute Schweißeinrichtungen, gutes Schweißstabmaterial und gute Schweißer zu sorgen und den Schweißbetrieb sorgfältig zu überwachen. Sodann ist es notwendig, die Schweißnähte in möglichst einfacher Weise auf ihre Güte hin prüfen zu können.

Werkstattprüfungen. Eine äußerliche Betrachtung der Schweißnaht läßt schon, wie es die früheren Abb. 146 ÷ 149 zeigen, gewisse Schlüsse auf die Güte der Naht zu. Insbesondere wird man ausgesprochen schlechte Schweißungen schon rein äußerlich als solche erkennen können. Ferner können geschweißte Hohlkörper durch Dampf-, Luft- oder Wasserdruk auf Dichtigkeit und Festigkeit geprüft werden, wobei ein leichtes Abhämmern der unter Druck stehenden Schweißstelle zu empfehlen ist. Die Verwendung von Röntgenstrahlen, um Gasblasen und Schlackeneinschlüsse in der Schweißung festzustellen, steckt noch in der Entwicklung und kommt zur Zeit für eine Werkstattprüfung noch nicht in Frage.

Während vorgenannte Prüfverfahren im Betrieb am fertigen Schweißstück Anwendung finden können, muß zur Vornahme von technologischen, Festigkeits-, metallographischen und chemischen Untersuchungen dem Werkstück eine Probe entnommen, das Stück also mehr oder weniger unbrauchbar gemacht werden, oder man muß besondere Schweißproben für die Untersuchung anfertigen. Für die Werkstatt sind überdies die meisten der vorgenannten Untersuchungen zu langwierig und zu kostspielig. Als einzige brauchbare Werkstattprüfung kommt vorläufig nur die Kaltbiegeprobe in Frage. Hierbei wird der Probestab um einen Dorn von bestimmtem, von der Probestabstärke abhängigem Durchmesser gebogen. Man mißt im allgemeinen den Biegewinkel. Richtiger ist es, aus Probestärke und Dorndurchmesser die Dehnung der Schweißnaht zu bestimmen. Ein Nachteil der Biegeprobe ist der, daß sich insbesondere bei stärkeren Proben der an die Schweißstelle angrenzende Werkstoff mehr biegt als die Schweißung selbst, bzw. daß sich der Probestab beim Biegen dann nicht dicht an den Dorn anlegt. Eine Biegeprobe mit Hin- und Herbiegen des Stabs bis zum Bruch eignet sich nur für dünne Querschnitte. Bei Probeschweißungen empfiehlt es sich, die Probe immer von demselben eingearbeiteten Schweißer ausführen zu lassen und ferner den Schweißer, besonders bei Betriebsproben, schweißen zu lassen, wie er es gewohnt ist, vorausgesetzt, daß er dabei nicht offensichtliche Fehler macht.

Laboratoriumsprüfungen. Genauere Prüfungen der Güte der Schweißnaht werden stets an besonderen Probestücken, die aus dem vollen Stück entnommen oder besonders angefertigt worden sind, im Laboratorium vorgenommen. Sie haben den Vorteil, daß sie zahlenmäßige Ergebnisse liefern, bei deren Vergleich man aber vorsichtig sein muß und alle Begleitumstände bei Herstellung der Schweißung berücksichtigen soll. Durchgeführt werden heute verschiedenartige Festigkeitsuntersuchungen, ferner metallographische und chemische Untersuchungen, von denen allen im folgenden näher die Rede sein soll. Allgemein sei hier noch bemerkt, daß die Anwendbarkeit und Ausbildung von Werkstatt- und Laboratoriumsprüfungen der Schweißnaht zur Zeit Gegenstand der Beratung in Fachvereinen und Ausschüssen (s. Abschnitt „Förderung des elektrischen Schweißens“) ist. Es ist zu hoffen, daß in absehbarer Zeit Richtlinien für zweckmäßige Prüfverfahren und ihre Anwendung herausgegeben werden können.

B. Festigkeitsuntersuchungen.

Zerreißversuche. Die Güte einer Schweißnaht wurde nach den bisherigen Anschauungen meistens dadurch festzustellen gesucht, daß man die Zerreißfestigkeit in kg/mm^2 und Dehnung in Prozenten der Schweißnaht mit den entsprechenden Werten des vollen, unverletzten Materials verglich, indem man Probestäbe mit Hilfe einer Zerreißmaschine zerriß. Bei den elektrisch geschweißten Nähten ist nach den Versuchen, soweit sie aus der Literatur und sonstigen Unter-

lagen bekannt sind, die Zerreißfestigkeit zu 50÷110 % (meistens 80÷100 %) derjenigen des vollen Blechs und die Dehnung zu 2÷96 % derjenigen des vollen Blechs festgestellt worden. Genauere Zahlenangaben über neuere Einzelversuche folgen in einem der nächsten Unterabschnitte. Die Zerreißfestigkeit der Naht ist nach den vorigen allgemeinen Angaben als gut zu bezeichnen, während die Dehnung noch oft sehr zu wünschen briglt. Im übrigen geht aus den großen Unterschieden der genannten Grenzwerte zur Genüge hervor, daß es bei den elektrischen, wie bei jedem anderen Schweißverfahren in erster Linie auf geübte Schweißer und sorgfältige Arbeit ankommt, wenn gute Ergebnisse erzielt werden sollen. Zu erwähnen ist noch, daß eine Anzahl der bisherigen Zerreißversuche insofern nicht einwandfrei ist, als nicht angegeben, bzw. nicht darauf Rücksicht genommen wurde, ob die Schweißnaht dicker oder dünner als das übrige Material oder etwa gleich stark war. Besonders ist sodann noch hervorzuheben, daß man bei diesen Versuchen immer die Dehnung des ganzen Probestabs, nicht aber die Dehnung der Schweißstelle allein mißt. Es kommt z. B. fters vor, daß der Zerreistab außerhalb der Schweißstelle reißt (s. Abb. 225), und zwar sowohl bei der rohen wie bei der abgedrehten Probe. Dann stellt man erstens ganz richtig eine Zerreißfestigkeit der Schweißnaht von mindestens 100 % derjenigen des vollen Blechs fest,

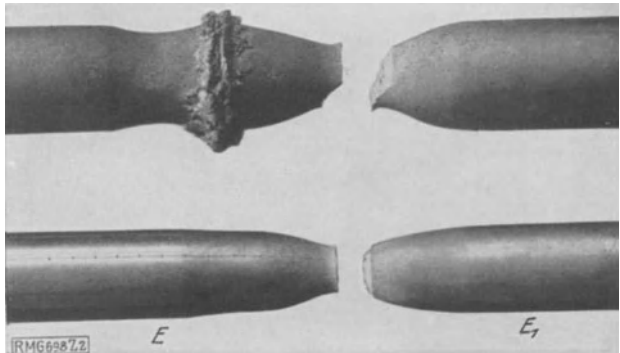


Abb. 225. Elektrisch, nach dem Abschmelzverfahren geschweißter Probestab, roh und abgedreht zerrissen.

zweitens aber auch eine sehr günstige Dehnung. Diese Dehnung rührt aber nur vom ungeschweißten Blech her, ist also als Dehnung der Schweißstelle ganz irreführend. Zur Beurteilung einer Schweißung, die höheren Temperaturen ausgesetzt ist (Dampfkessel, Lokomotivfeuerbuchsen), muß an die Stelle des bisher behandelten Kaltzerreiversuchs der Warmzerreiversuch treten, d. h. der Probestab wird in erwärmtem Zustande zerrissen.

Zusammenfassend ist zunächst festzustellen, daß der Zerreiversuch zur Feststellung der Zerreißfestigkeit der Schweißnaht wertvoll ist und daß mit ihm ein Anhaltspunkt für die Güte von solchen Schweißnähten gegeben ist, die nur ruhenden Belastungen, nicht stoßweise auftretenden, ausgesetzt sind. Die beim Zerreiversuch ermittelte Dehnung hat nur mittelbaren Wert; sie kann jedenfalls nicht ohne weiteres als Maßstab für die Zähigkeit der Schweißnaht dienen.

Sonstige Festigkeitsprüfungen. Neben der schon unter Werkstattprfungen erwähnten Kaltbiegeprobe, die natürlich auch als Laboratoriumsversuch ausgeführt werden kann, kommen in der Hauptsache noch der Schlagbiegeversuch, der Kerbschlagversuch, die Schlagzerreiprobe, Dauerversuche und Härteprüfungen in Frage. Beim Schlagbiegeversuch wird der Probestab bei freier Auflage mit einem Vorschlaghammer geschlagen, bis die Schenkel einen bestimmten Winkel einschließen (z. B. 150°). Dann wird der Stab gewendet und durch weitere Schläge in seine Anfangslage zurückgebogen. Beim Kerbschlagversuch wird ein

eingespannter, mit einer Kerbe versehener Probestab mit Hilfe eines Pendelhammers durchschlagen und die Kerbzähigkeit (spezifische Schlagarbeit) in mkg/cm^2 gemessen. Beim Schlagzerreiversuch wird auch der vorerwähnte Pendelhammer benutzt. Der Probestab ist mit dem einen Ende in das Pendelgewicht selbst, mit dem anderen Ende in einen am Pendelgewicht sitzenden Br eingeschraubt, der beim Durchgang des Pendels durch die tiefste Lage gegen Stoßflächen des Maschinengestells trifft und das eine Ende des Probestabs zurückhält, während das andere Ende mit dem Pendel weiterschwingen will; der Stab zerreißt infolge der ruckartigen Zugbeanspruchung, und es wird wieder die zum Zerreißen erforderliche spezifische Schlagarbeit in mkg/cm^2 festgestellt. Bei Dauerversuchen wird gewöhnlich der auf zwei Lagerstellen aufliegende Rundstab in der Schweiße durch einen kleinen Fallbr vielfach geschlagen und dabei nach jedem Schlag um einen bestimmten Winkel gedreht; außerdem ist die Schweißstelle eingekerbt. Die Anzahl der Schläge bis zum Bruch dient als Vergleichszahl. Härteprüfungen werden meist in Form des Kugeldruckversuchs nach Brinell ausgeführt, bei dem eine Kugel von $2,5\div 10$ mm Durchmesser aus gehärtetem Stahl mit bestimmter Belastung (z. B. 3000 kg für Eisensorten bei 10 mm Kugeldurchmesser) in die Oberfläche des Werkstücks hineingedrückt wird. Die Brinellhärte ist dann das Verhältnis: Belastung in kg zu eingedruckter Kalottenflche in mm^2 . Die Zerreißfestigkeit eines normalen Stahls ist $= 0,36 \cdot \text{Brinellhärte}$, so daß man mit der einfachen und ohne Entnahme eines Probestcks ausführbaren Brinellprobe gleichzeitig Härte und Zerreißfestigkeit ermitteln kann.

Für Schweißungen, die stoßweise wirkenden Beanspruchungen ausgesetzt sind, kommen der Schlagbiegeversuch, der Kerbschlagversuch, der Schlagzerreiversuch und der Dauerversuch in Betracht; der statische Zerreiversuch (d. h. der Versuch bei ruhender bzw. nur langsam gesteigerter Belastung) genügt nicht, da das Arbeitsvermögen der Schweißnaht festgestellt werden muß. Zur Erklärung des „Arbeitsvermögens“ sei darauf hingewiesen, daß die äußeren Kräfte, welche eine Schweißstelle zu zerstören versuchen, dabei eine gewisse Arbeit leisten, Formänderungsarbeit genannt. Die Schweißstelle hat nun entweder ein genügendes Aufnahmevermögen (Arbeitsvermögen) für diese Formänderungsarbeit, dann hält sie, oder sie hat es nicht, dann bricht sie. Das Arbeitsvermögen der Schweißstelle ist abhängig von ihrer Zerreißfestigkeit und Dehnung. Mit man also die Zerreißfestigkeit und die wirkliche Dehnung (s. vorigen Unterabschnitt „Zerreißversuche“) der Schweißstelle, so hat man Anhaltspunkte für ihr Verhalten gegen stoßweise auftretende Beanspruchungen. Mit Hilfe des Kerbschlagversuchs und des Schlagzerreiversuchs kann man das Arbeitsvermögen der Schweißnaht unmittelbar feststellen.

Neuere Festigkeitsergebnisse von Widerstandsschweißungen. Es sind hier, wie auch im folgenden, nur einige der wesentlichsten Versuche herausgegriffen. Versuche von Fchsel (im Jahre 1924 vorgenommen¹⁾) betreffen die elektrische Stumpf- und Abschmelzschweißung. Sie wurden mit Rundstäben von 10, 20 und 50 mm Durchmesser aus handelsüblichem Siemens-Martin-Flußeisen von $34\div 41 \text{ kg/mm}^2$ Zerreißfestigkeit ausgeführt. Die wesentlichsten Ergebnisse aus den umfangreichen Versuchsreihen enthält Zahlentafel 13. Die Zerreißversuche wurden mit abgedrehten Proben durchgeführt. Die Mehrzahl der Probestäbe (bei der Abschmelzschweißung von 31 Stück sogar 26) riß außerhalb der Schweißstelle. Man kann dies für die elektrische Widerstandsschweißung (ins-

¹⁾ S. Glasers Annalen 1924, Nr. 1124.

Zahlentafel 13.

Art der Schweißung	Art der Nachbehandlung	Zerreißversuche Prozentsatz der außerhalb der Naht gerissenen Proben	Kaltbiegeversuche				Schlagbiegeversuche
			Proben mit Randwulst oder Grat		Proben mit abgeschliffener Randwulst (Grat)		Prozentsatz der Proben, die den Versuch aushielten
			Mittlerer Biege- winkel bis zum Anbruch	Prozent- satz der um 180° gebo- genen Proben	Mittlerer Biege- winkel bis zum Anbruch	Prozent- satz der um 180° gebo- genen Proben	
Stumpf-Schweißung	ohne Nachbehandlung	54,1	152°	75	83°	17	75
	Nachglühen in der Maschine	62,5	152°	75	110°	34	58
	Hammerglätten in der Maschine	41,6	101°	17	81°	17	nicht ausgeführt
	Verschmieden der Wulst auf dem Amboß und Nachglühen	12,5	75°	8	nicht ausgeführt	nicht ausgeführt	nicht ausgeführt
Abschmelz-Schweißung	ohne Nachbehandlung	86,1	167°	90	158°	67	87,5

besondere für die Abschmelzschweißung) als normal annehmen, wenn nicht mehr oder weniger mangelhafte Schweißung vorliegt. Die Zerreißfestigkeit der Schweißnaht ist also meistens sogar höher als die des verschweißten Werkstoffs. Bei den Kaltbiegeversuchen wurde der geschweißte Stab um einen Dorn von der Stärke des Probestabs bis zum Anriß oder Bruch gebogen. Da bei Proben mit Randwulst bzw. Grat die verdickten Teile sich weniger biegen als die außerhalb der Schweißstelle liegenden Teile des Stabs, so wurden auch Kaltbiegeversuche mit abgeschliffener Randwulst (bzw. Grat) ausgeführt, die naturgemäß weniger günstige Ergebnisse zeigten, denn in diesem Fall ist die Biegebeanspruchung der Schweißstellen wesentlich größer. Bei den Schlagbiegeversuchen wurde mit einem 1,75 bzw. 3 kg schweren Vorschlaghammer geschlagen, bis die Schenkel einen Winkel von 152° einschlossen, dann gewendet und mit Schlägen zurückgebogen bis zur Anfangslage. Das Gesamtergebnis ist neben hoher Zerreißfestigkeit auch eine verhältnismäßig hohe Zähigkeit aller Schweißnähte. Besonders günstig schneidet die Abschmelzschweißung ab. Bei der Stumpfschweißung zeigt 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 Verschwindens der Wulst gibt noch besonders anschaulich Abb. 226 wieder, die den nachher besprochenen Versuchen von Bock entstammt. Es ist ein mit Kupferammoniumchlorid geätzter Schliff in 1,4facher Größe. Die dunklen Stellen sind Phosphorausseigerungen. Bedeutende Querrisse sind als Folge des Verhämmerns entstanden.

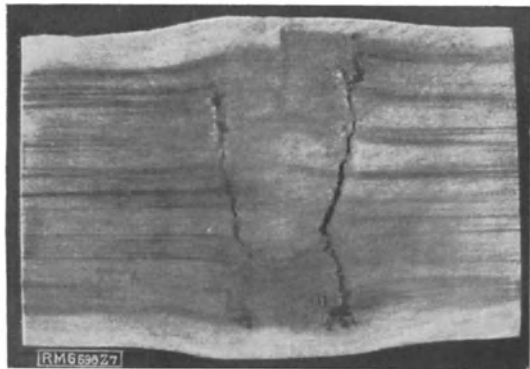


Abb. 226. Risse in einer gehämmerten Stumpfschweißung (V - 1,4).

Zahlentafel 14.

Material	Zustand, bzw. Stelle des Probestabs	Zerreißfestigkeit		Bruchdehnung	
		absolut kg/mm ²	in % der- jenigen des geglhten (bzw. vollen) Werkstoffs	absolut %	in % der- jenigen des geglhten (bzw. vollen) Werkstoffs
Flußeisen (Abschmelz- schweißung)	ungeglhter, voller Stab	49,0	134	15,3	70,6
	geglühter, voller Stab	36,6	100	21,7	100
	Schweißstelle roh	37,7	103	19,6	90,3
	Schweißstelle abgedreht	37,2	101,5	19,7	90,8
Flußstahl (Abschmelz- schweißung)	voller Stab	59,3	100	25,9	100
	Schweißstelle abgedreht	59,3	100	10,2	39,4

Versuche von Bock (1925 vorgenommen¹⁾) betreffen ebenfalls die elektrische Stumpf- und Abschmelzschweißung. Es wurden zunächst Proben aus Flußeisen und Flußstahl von 25 mm Durchmesser hergestellt und der Zerreiprfung, Härteprüfung und metallographischen Prüfung unterworfen. Die Durchschnittsergebnisse sind in Zahlentafel 14 für den Zerreiversuch der nach dem Abschmelzverfahren geschweißten Proben wiedergegeben. Sie zeigen bezüglich der Zerreißfestigkeit wiederum sehr günstige Werte, und zwar auch bei dem schwerer schweißbaren Flußstahl (mit etwa 0,3 % Kohlenstoff). Die Dehnungswerte sind bei Flußeisen auch sehr gut, bei Flußstahl dagegen ungünstiger, wenn auch gegenüber den bei anderen Schweißverfahren erzielten Werten noch hoch. Der Stahl ist gegen die hohen Temperaturen der Abschmelzschweißung empfindlicher als Flußeisen; auch hat wahrscheinlich im vorliegenden Fall der hohe Phosphorgehalt des Werkstoffs die Schweißung ungünstig beeinflt. Von Bedeutung ist ferner noch die Feststellung, daß das verwendete, blank gezogene Flußeisen infolge Kaltreckung eine hohe Zerreißfestigkeit und niedrige Dehnung zeigte. Deshalb wurde ein zweiter voller Probestab in der Schweißmaschine ausgeglüht, und dessen Festigkeitsergebnisse (niedrigere Zerreißfestigkeit und höhere Dehnung) wurden mit denen der geschweißten Stäbe verglichen, um ein klares und gerechtes Bild zu bekommen. Sämtliche Flußeisen-schweißstäbe rissen übrigens außerhalb der Schweißnaht, wie dies bereits die diesen Versuchen entnommene Abb. 225 zeigt. Bei der Härteprüfung ergab sich, daß die geglhten Schweißstellen etwas weicher geworden waren. Bei Flußeisen trat ferner sowohl beim Stumpf- wie beim Abschmelzverfahren eine Härtesteigerung auf, und zwar von etwa 100 auf 105 bzw. 113 kg/mm². Beim Flußstahl dagegen führt die in der Schweißstelle auftretende Entkohlung zu einer Verminderung der Härte, von etwa 175 auf 143 bzw. 160 kg/mm². Die Abschmelzschweißung hat trotz stärkerer Entkohlung die größere Härte (160), weil der stärkere Wärmeabfluß das Gefüge mehr in Spannungen versetzt.

Weitere Versuche von Bock, die sich auf die Anwendung des Schlagzerreiversuchs bei der Prüfung von Schweißungen nach dem autogenen und dem elektrischen Lichtbogen- und Widerstandsschweißverfahren beziehen, ergaben beim Schlagzerreiversuch und stumpfgeschweißten Nähten 63 %, bei Nähten, die nach dem Abschmelzverfahren geschweißt waren, 76,1 % der spezifischen Schlagarbeit, die das volle Blech aushält, eine Bestätigung der günstigen Ergebnisse von Fchsel bei dessen Kaltbiege- und Schlagbiegeproben, die ja in anderer Form die Widerstandsfähigkeit gegenüber stoßweise wirkenden Beanspruchungen messen.

¹⁾ S. Maschinenbau 1925, Heft 20.

Neuere Versuche über Punkt- und Nahtschweißungen liegen nur in geringem Umfang vor. Erwähnt seien einige Versuche von Schmatz¹⁾ über Punktschweißung gegenüber Nietung. Bleche von je 3 mm Stärke und 50 mm Breite hielten punktgeschweißt (2 Schweißpunkte von je 10 mm Durchmesser) 4380 kg Bruchlast (29,2 kg/mm² Zerreißfestigkeit) aus; ein Schweißpunkt wurde abgesichert, einer riß aus. Die entsprechende Vernietung (2 Niete von je 6 mm Durchmesser) riß durch Abscheren der Niete bei 1860 kg Bruchlast. Bei einer Blechverbindung sehr ungleicher Blechstärken (1 und 11,5 mm) und wiederum 50 mm Blechbreite trat der Bruch bei der Punktschweißung im gesunden dünnen Blech bei 1665 kg Bruchlast (33 kg/mm² Zerreißfestigkeit), bei der Nietung dagegen durch Ausreißen der Niete im dünnen Blech bei 972 kg Bruchlast ein. Die Nietung hatte also durchschnittlich nur etwa 50 % der Festigkeit der Punktschweißung.

Zahlentafel 15.

Materialzustand	Zerreißfestigkeit		Bruchdehnung	
	absolut kg/mm ²	in % derjenigen des vollen Werkstoffs	absolut %	in % derjenigen des vollen Werkstoffs
Volles Blech	36,6	100	31,5	100
Autogene Schweißproben	33,43	91,4	17,04	54,2
Elektrische Lichtbogenschweißproben	35,86	98	23,76	75,5

Neuere Festigkeitsergebnisse von Lichtbogenschweißungen. Versuche von Diegel (1922 vorgenommen²⁾) betreffen den Vergleich von Lichtbogen- und autogenen Schweißungen. Es wurden Schweißproben aus weichem Flußeisen von 20 mm Breite und 18 mm Dicke hergestellt; die Autogenproben wurden mit blanken und umhüllten Stäben aus Kjellberg- bzw. Friländerdraht (Gothenburg-Schweden), die elektrischen Proben mit 5-mm-Elektroden aus umhüllten Kjellbergdraht bei 20÷25 V und 150 A mit Gleichstrom oder Wechselstrom (Genaueres nicht angegeben) von Kjellberg ausgeführt. Alle Proben sind nach dem Schweißen auf 15÷16 mm Dicke heruntergeschmiedet (zur Verdichtung der Nähte) und bei 900° eine Viertelstunde lang ausgeglüht worden. Die Mittelwerte der Zerreißversuche sind aus Zahlentafel 15 zu ersehen. Die günstigen Dehnungswerte sind wohl hauptsächlich auf die Nachbehandlung der Schweißproben zurückzuführen. Die Zerreißfähigkeit der Lichtbogenschweißung erreicht hier wie auch sogar bei einigen der nachher angeführten nicht bearbeiteten Proben fast diejenige des vollen Blechs. Im ganzen schneidet die Lichtbogenschweißung günstiger ab als die autogene Schweißung; bei den anschließend ausgeführten Biegeversuchen lagen die Verhältnisse aber umgekehrt. Entsprechend den Zerreißproben behandelte Kaltbiegeproben von 50 mm Breite wurden über einem Dorn von der Dicke des Probestabs gebogen mit dem Ergebnis, daß beim Biegen um 180° und nachherigem vollständigen Zusammendrücken der Biegestelle die autogen geschweißten Probestäbe entweder gar nicht rissen oder nur Anrisse zeigten, während fast alle elektrisch geschweißten Stäbe viel eher rissen. Die Lichtbogenschweißnaht ist hiernach, wie auch andere Versuche zeigen, im allgemeinen spröder als die autogen geschweißte Naht, wahrscheinlich infolge des höheren Sauerstoff- und Stickstoffgehalts. Wie schon früher erwähnt wurde, enthält die Lichtbogennaht fast immer wesentliche Mengen von Stickstoff. Nach Strauß hat aber weichstes Flußeisen

¹⁾ S. Maschinenbau 1925, Heft 20.²⁾ S. Stahl und Eisen 1922, Nr. 34.

- bei 0,004 % Stickstoff eine Zerreißfestigkeit von 35,4 kg/mm² und eine Dehnung von 31,8 %,
- bei 0,100 % Stickstoff eine Zerreißfestigkeit von 41,6 kg/mm² und eine Dehnung von 24,2 %.

Durch Stickstoffaufnahme wird das Material also zwar fester, härter, aber auch zugleich weniger dehnbar, spröder.

Versuche von Neese (1922÷1924¹⁾) beziehen sich auf eingehende Untersuchungen der Lichtbogenschweißung nach den verschiedensten Richtungen hin, wovon hier nur das Wesentlichste wiedergegeben werden kann. Es wurden zunächst Blechstreifen aus weichem Flußeisen von 34÷40 kg/mm² Zerreißfestigkeit und 6÷20 mm Stärke in verschiedenster Ausführung und bei verschiedenen Stromstärken mit Gleichstrom von 20÷25 V geschweißt. Dabei wurde mit Absicht angestrebt, nur Durchschnittswerte zu erzielen, damit die Versuche um so größere praktische Bedeutung haben sollten. Als günstigste Stromstärke wurden etwa 180 A bei im Mittel 4-mm-Elektroden festgestellt. Die günstigste Stromstärke lag um so höher, je dicker das Blech war. Bei dieser Stromstärke ergab die einfache Kehlschweißung (Abb. 151 b) mit Sicherheit eine Zerreißfestigkeit von 50 %, die doppelte Kehlschweißung eine Zerreißfestigkeit von 80÷100 % von derjenigen des vollen Blechs. Die Stumpfschweißung (als V- und X-Schweißung ausgeführt) kam auf 70÷80 % (bei guten Schweißungen aber auf 99 %) der Zerreißfestigkeit des vollen Blechs. Bei Beurteilung der Festigkeitswerte ist auch die Anordnung der Schweißlagen zur Krafrichtung zu beachten. Im vorliegenden Fall lagen die einzelnen Schweißlagen quer zur angreifenden Kraft (was in der Mehrzahl der Fälle zutrifft). Ordnet man aber die Schweißlagen parallel zur Krafrichtung an, so erhält man eine um 20÷30 % höhere Zerreißfestigkeit. Verschiedene Elektrodenarten zeigten bei der Kehlschweißung und ganz gleichen Schweiverhltnissen zwischen 11,5 und 19,5 kg/mm² Zerreißfestigkeit, also ganz bedeutende Unterschiede. Wesentliche Vorteile bei der Anwendung von umhüllten Elektroden waren insofern nicht zu erkennen, als mit blanken Elektroden durchschnittlich 23,8 kg/mm², mit umhüllten 16,4÷26,0 kg/mm² Zerreißfestigkeit der Schweißnaht erreicht wurden. Dehnungswerte wurden nicht aufgenommen, da sie zur Beurteilung der Schweiße nicht geeignet erschienen. Bei Proben, die ganz aus Schweiße hergestellt waren, wurden Dehnungen von 6,5÷18 % (absolute Zahlen) erzielt. Schweißungen mit kurzem Lichtbogen ergaben 35,8 kg/mm² und Schweißungen mit langem Lichtbogen 23,5 kg/mm² Zerreißfestigkeit, woraus man die Wichtigkeit der Vorschrift erkennt, den Lichtbogen kurz zu halten. Während bei Gleichstrom-V-Schweißungen an 10 mm starken Blechen bei abgeschliffener Wulst 32÷38 kg/mm² Zerreißfestigkeit im Mittel erzielt wurde, kam Neese bei Wechselstromschweißungen unter gleichen Verhältnissen nur auf 30,8 kg/mm² bei der günstigsten Stromstärke von 180 A. Auch leicht geschmiedete Proben eines Wechselstromschweimaschinen herstellenden Werks zeigten höchstens 29,9 kg/mm² Zerreißfestigkeit. Wrtmann gibt demgegenüber aus seinen Versuchen für 4-mm-Holzkohlelektroden bei Wechselstrom eine Zerreißfestigkeit von 28÷32 kg/mm² und bei 5-mm-Elektroden eine solche von 30÷33 kg/mm² an. In einer Gegenüberstellung von Niet- und Schweißproben beweist Neese auch die Überlegenheit der Lichtbogenschweißung über die Nietung in bezug auf Festigkeit. Bei der Gueischweiung erhielt er für den Fall der Kaltschweißung Biegefestigkeiten von im Mittel 50,5 % bei Quadratstäben

¹⁾ S. Stahl und Eisen 1922, Nr. 26 u. 31 und Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1924, Nr. 43.

(30 · 30 · 1000) und 66,2 % bei Rundstäben (30 mm Durchmesser, 600 mm lang), für den Fall der Warmschweißung im Mittel 97 % bei Quadratstäben, alles bezogen auf die Biegefestigkeit des ungeschweißten Stabs. Bei der Warmschweißung liegt der Bruch oft außerhalb der Schweißstelle (Festigkeit der Schweißstelle über 100 %). Der Einfluß der Eisenbegleiter auf die Härte der Gußeisenschweißstelle äußert sich so, daß die Härte mit steigendem Mangangehalt zunimmt und mit steigendem Siliziumgehalt fällt. Die Härte der Schweißstelle schwankt im allgemeinen zwischen 200 und 240 kg/mm². Mit steigender Stromstärke, bei sonst gleichen Verhältnissen, nimmt die Härte von Warmschweißungen ab von etwa 430 (bei 200 A) auf 200 kg/mm² (bei 500 A).

Versuche von Höhn (1923 vorgenommen¹⁾) betreffen die Gleichstromschweißung, und zwar zunächst von Flußeisen, das geglüht eine Zerreißfestigkeit von 35 kg/mm² und eine Dehnung von 33,3 % hatte. Bei der Zerreißprobe wurde insbesondere die Eignung der verschiedenen Elektrodenarten untersucht und bei abgehobelten Proben, die mit Quasi-Arc-Elektroden geschweißt waren, die sehr hohe mittlere Zerreißfestigkeit von 36,3 kg/mm², bei anderen guten Elektroden eine solche von 32 : 34,5 kg/mm² festgestellt. Nähte mit X-Profil und V-Profil erwiesen sich als gleichwertig. Es empfiehlt sich, zur Erhöhung der Festigkeit die V-Fugen an der Wurzel auf der anderen Seite nachzuschweißen. Zur Prüfung der Zähigkeit der Naht zog Höhn die Kaltbiege- und die Kerbschlagprobe heran. Er fand bei Verwendung eines Dorns von der Dicke des Probestabs und bei den besten Schweißungen:

Blechstärke	10 mm,	mittlerer Biegewinkel	73°,	größter Biegewinkel	180°,
„	17 mm,	„	34°,	„	75°,
„	25 mm,	„	25°,	„	49°,

im allgemeinen also geringe Biegewinkel. Die Kerbschlagprobe ergab bei 10-mm-Blechen eine spezifische Schlagarbeit von im Mittel 25,6 % derjenigen des vollen Blechs (Höchstwert 74 %), bei stärkeren Blechen noch geringere Werte; die Kerbzähigkeit auch der guten Proben ist also wenig befriedigend. Die Härte der ungeschweißten Proben betrug 109 kg/mm², die der Schweißstelle im Mittel 134 kg/mm² (einige Elektroden ergaben weichere Schweißstellen); die geglühte Schweißstelle hatte wieder 109 kg/mm². Höhn sagt auf Grund seiner Versuche, daß das nachträgliche Glühen der Schweißstelle nicht ratsam zu sein scheine, weil zwar nicht die Biegefestigkeit, wohl aber die Kerbzähigkeit erheblich sinke, eine Feststellung, die wohl noch der Nachprüfung bedarf. Er machte sodann auch noch Versuche mit elektrisch geschweißten Hohlkörpern, im wesentlichen mit kreisrunden Walzenkesseln von etwa 500 : 800 mm Durchmesser und 6 ÷ 8 mm Blechstärke. Die Nähte waren teils nur von außen verschweißt, teils von innen nachgeschweißt, teils durch Laschen verstärkt. Die Kessel hielten 60 ÷ 120 at Druck aus und rissen dann in den Nähten oder im vollen Blech. Höhn ist hier nach der Meinung, daß die Lichtbogenschweißung im Kessel- und Behälterbau mit Einschränkung zuzulassen sei. Er fordert insbesondere: Gute Schweißapparatur, gute Schweißer, gute Elektroden; alle Nähte sind doppelseitig zu schweißen und zu verdicken.

Versuche von Bock (1925 vorgenommen²⁾) beziehen sich auf die Gleichstrom- und Wechselstromschweißung von Flußeisenblech von Bördelblechgüte (Zerreißfestigkeit 37,4 und 37,7 kg/mm², Dehnung 37,8 und 31,8 %). Neben der statischen Zerreißprobe wurde die Schlagzerreißprobe benutzt. Die durch-

¹⁾ S. E. Höhn, Über die Festigkeit elektrisch geschweißter Hohlkörper, 1924.

²⁾ S. Maschinenbau 1925, Heft 20.

schnittlichen Ergebnisse sind in Zahlentafel 16 enthalten. Die Proben wurden von erfahrenen Schweißern hergestellt in Form von Blechstreifen, aus denen man die Probestäbe nachher herausdrehte. Die erzielten Zerreifestigkeiten sind zum Teil auffallend niedrig, noch mehr die Dehnungen und die Schlagarbeit, ein Zeichen dafür, wie stark unterschiedlich die Güte der Lichtbogenschweißnähte noch sein kann. Wahrscheinlich ist allerdings zum Teil auch nicht mit den günstigsten Stromstärken geschweißt worden u. a. m. Einige der besseren Wechselstromschweißungen sind mit englischen umhüllten Elektroden ausgeführt; sie zeigten aber noch mehr oder minder große Schlackeneinschlüsse. Bei einer fast schlackenfreien Probe betrug die spezifische Schlagarbeit 62 % derjenigen des vollen Blechs, war also schon sehr hoch. Nach Bock soll sich die Schlagzerreiprobe besonders gut zur Prüfung auf stoßweise auftretende Belastungen eignen.

Zahlentafel 16.

Art der Schweißung	Zerreißfestigkeit	Bruchdehnung	spezifische Schlagarbeit
	alles in % der Zahlenwerte des ungeschweißten Materials		
Gleichstrom, X-Profil	79,6	9,3	0,71
„ „	78,6	6,4	1,00
„ „	99,0	52,8	41,60
„ V-Profil	82,3	8,5	4,61
Wechselstrom, X-Profil	47,3	1,9	0,87
„ „	53,1	4,0	7,84
„ „	56,0	5,8	1,28
„ „	72,1	10,7	12,20
„ „	89,2	26,7	29,00
„ V-Profil	63,6	6,0	1,35
„ „	91,0	29,8	3,16

Versuche der Forschungsgemeinschaft für Schmelzschweißung in Hamburg (1925 durchgeführt¹⁾) befassen sich sehr eingehend mit der Gleichstrom- und Wechselstromschweißung von Schiffbaublechen von 42,7 kg/mm² Zerreißfestigkeit und 21 % Dehnung. Es wurde sowohl bei Gleichstrom wie bei Wechselstrom mit nackten und mit umhüllten Elektroden geschweißt, letztere von der englischen Alloy Welding Processes Ltd. Die 13,5–14 mm starken Bleche erhielten teils X-Profil, teils V-Profil; beide Profilarten zeigten sich, wie bei Höhn, als gleichwertig. Die Versuche bei verschiedenen Stromstärken ergaben, ähnlich wie bei Neese, bei Verwendung von 4-mm-Elektroden eine günstigste Stromstärke für Gleichstrom bei etwa 180 A, für Wechselstrom etwas niedriger bei etwa 160–170 A. Zwischen umhüllten und nackten Elektroden wurde hinsichtlich der günstigsten Stromstärke kein Unterschied gefunden. Neben der Dehnung des Probestabs wurde auch die Dehnung der Nahtstellen mit Hilfe eines Memikroskops annähernd bestimmt und ferner das Arbeitsvermögen, das der Stab bis zum Bruch aufgenommen hatte, und das Arbeitsvermögen der Schweiße aus dem Spannungs-Dehnungsschaubild ermittelt. Die günstigsten Ergebnisse der Zerreißversuche sind in Zahlentafel 17 enthalten; die ungünstigeren, weggelassenen Werte beziehen sich auf die ungünstigeren Stromstärken. Die Dehnung in der Naht ist bei den Schweißungen mit umhüllten Stäben verhältnismäßig gut, was auf einen vorteilhaften Einfluß der Umhüllung schließen läßt. Alles in allem zeigt aber bei Gleichstrom der nackte Draht die besseren und überhaupt die besten

¹⁾ S. Die Schmelzschweißung 1925, Heft 4 u. f.

Zahlentafel 17.

Schweißart	Strom- stärke A	Zerreiß- festigkeit	Bruchdehnung		Arbeitsvermögen	
			des Stabs	der Naht	des Stabs	der Naht
			alles in % der Zahlenwerte des ungeschweißten Materials			
Gleichstrom, nackt.	180	98,3	87,7	31,2	76	33
„ umhüllt	172	74,5	16,2	33,8	15	26
Wechselstrom, nackt.	170	80,0	18,1	11,4	14	9
„ umhüllt	163	91,8	42,8	46,2	34	39

Werte, bei der Wechselstromschweißung dagegen der umhüllte Draht. Bei den anschließenden Biegeversuchen wurden Proben von 30 mm Breite um einen Dorn von 20 mm Durchmesser gebogen und die mittlere Dehnung der Zugfaser bestimmt. Die Forschungsgemeinschaft lehnt den Biegewinkel als Gütemaßstab ab, weil die Beurteilung des ersten Auftretens der Anrisse sehr schwierig, ja fast unmöglich sei. Bei der Härteprüfung (Kugeldruckversuch) hatte das volle Blech eine Härte von 130 kg/mm², die Schweiße mit blanken Elektroden (sowohl bei Gleichstrom wie bei Wechselstrom) 154 ÷ 157 kg/mm², die Schweiße mit ummantelten Elektroden nur etwa 130 kg/mm², so daß also die Schweißen mit blanken Elektroden merklich härter waren als die mit umhüllten.

C. Metallographische Untersuchungen.

Allgemeines. Der Metallograph untersucht das Kleingefüge des Metalls und dessen Aufbau und zieht aus der Struktur des meist im Mikroskop stark vergrößerten Materials Schlüsse auf dessen Herstellung und Behandlung. Er entnimmt dem zu prüfenden Werkstück kleine Stückchen, feilt, schleift und poliert

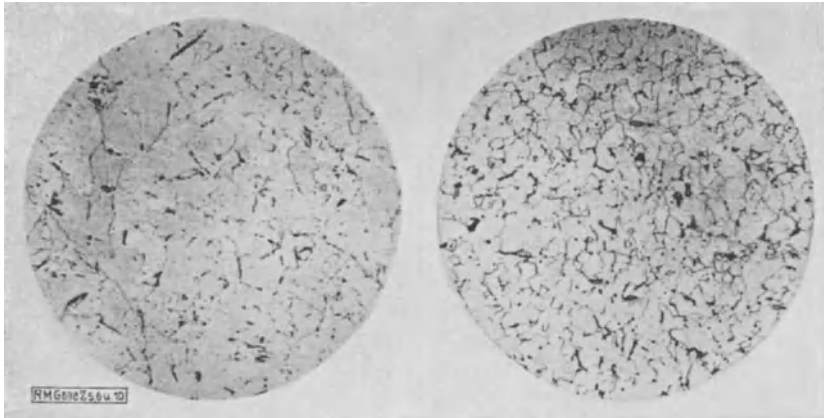


Abb. 227. Gefüge stumpfgeschweißten Flußeisens in und neben der Schweißstelle (V = 67).

eine Fläche und macht, da auf der glänzenden Fläche selten etwas zu erkennen ist, das Gefüge dadurch sichtbar, daß er die Schlißfläche entweder anläßt oder, was am häufigsten vorkommt, mit gewissen Säuren ätzt. Meist erfolgt ein Ätzen mit Kupferammoniumchlorid bei Prüfungen des Großgefüges (mit bloßem Auge, makroskopische Prüfung) oder mit alkoholischer Salzsäure bei Prüfungen des Kleingefüges (mikroskopische Prüfung). Durch das Anlassen oder Ätzen treten

die einzelnen kristallinen Bestandteile des Metalls in verschiedenen Farben oder erhaben hervor. Werden die Schliffätzungen unvergrößert photographiert, so entstehen Bilder wie in Abb. 226, 228, 232. Oft wird der Schliff unter dem Mikroskop betrachtet und dann gleich in vielfacher Vergrößerung photographiert, wie wir es in den Abb. 227, 229 : 233 und 235 : 241 sehen. Für einen Vergleich solcher Bilder des vergrößerten Gefüges ist es wichtig, daß jedesmal die Vergrößerung angegeben wird (z. B. Abb. 227: $V = 67$, d. h. 67fach vergrößert).

Untersuchungen von Widerstandsschweißungen. Zunächst sei nochmals auf Abb. 226 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 Bock¹⁾ an

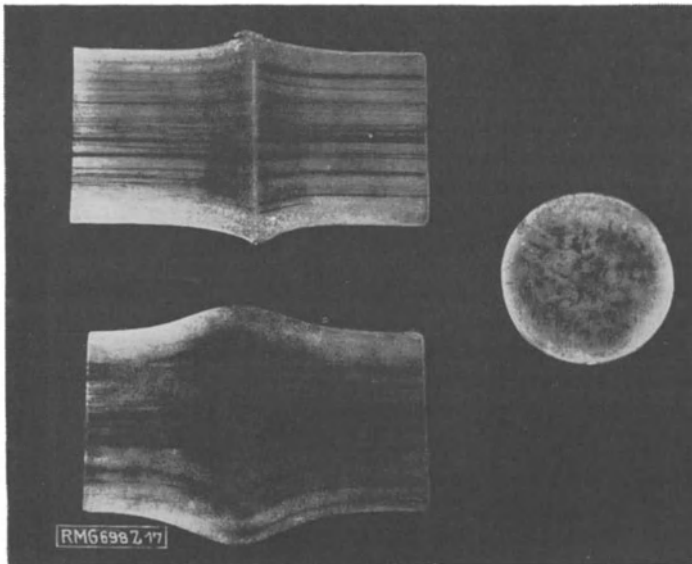


Abb. 228. Stahlproben nach dem Abschmelz- und dem Stumpfschweißverfahren geschweißt und mit Kupferammoniumchlorid geätzt ($V = 1$).

Stumpf- und Abschmelzschweißungen seien noch folgende interessanten Bilder zur Betrachtung herangezogen: Abb. 227 zeigt in 67facher Vergrößerung rechts das Gefüge eines Flußeisens in 17 mm Entfernung von der Stumpfschweißstelle und 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 (metallographisch „Perlit“ genannt). Die Größe der Eisenkristalle ist noch ungefähr dieselbe wie die des ungeschweißten Materials, während links, in der Schweißung, eine Vergrößerung des Kornes, herrührend von einer gewissen Überhitzung, festzustellen ist. In Abb. 228 sehen wir sodann Schweißproben von Flußstahl, und zwar links oben eine Abschmelzschweißung, links unten eine Stumpfschweißung (rechts den Querschnitt der ungeschweißten Probe) nach dem Ätzen mit Kupferammoniumchlorid. Die dunklen bandartigen Streifen in den Längsschnitten und die dunklen Tupfen im Querschnitt sind Phosphorseigerungen

¹⁾ S. Maschinenbau 1925, Heft 20.

(Phosphorausscheidungen). Der helle senkrechte Streifen in der Abschmelzschweißnaht weist darauf hin, daß an dieser Stelle kein Phosphor mehr vorhanden ist, im Gegensatz zur Stumpfschweißung. Dasselbe läßt sich auch mit Hilfe des Baumannschen Schwefelabdrucks für Schwefel nachweisen. In der Schmelzzone der Abschmelzschweißung hat also durch die besonders hohe Erhitzung eine Reinigung von den schlechten Bestandteilen Phosphor und Schwefel stattgefunden,

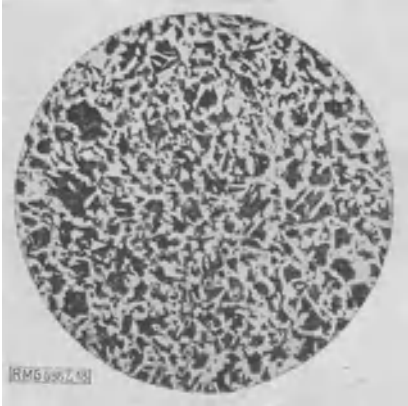


Abb. 229. Gefüge des ungeschweißten Stahls (V = 67).

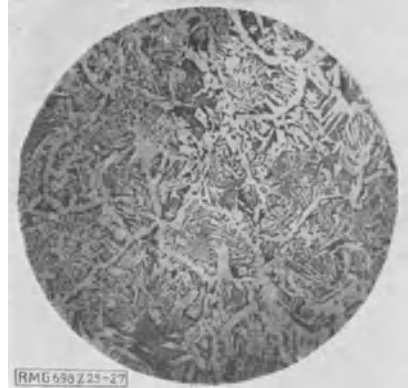


Abb. 230. Gefüge der Schweißstelle (Abschmelzschweißung) V = 67.

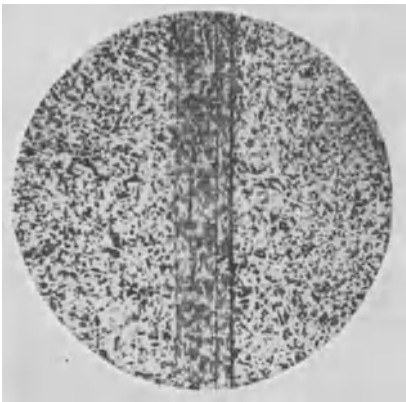


Abb. 231. Gefüge der Schweißstelle (Abschmelzschweißung nach dem Glühen) V = 67.

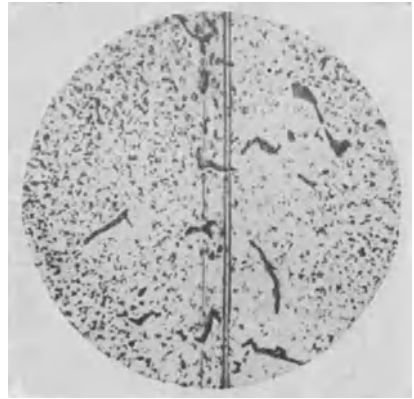


Abb. 232. Gefüge der Stumpfschweißung (V = 67).

was auch die besseren Eigenschaften der Abschmelzschweißung erklärt. Die folgenden Abbildungen 229 : 233 sind Vergrößerungen einzelner Stellen der eben besprochenen Stahlproben, und zwar alle 67fach vergrößert. Abb. 229 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 % (Kohlenstoffgehalt also etwa 0,3 %). In der Abschmelzschweißnaht (Abb. 230) 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. 231 nochmals, aber nach halbstündigem Glühen bei 850° , dargestellt. Wir sehen ein ganz anderes,

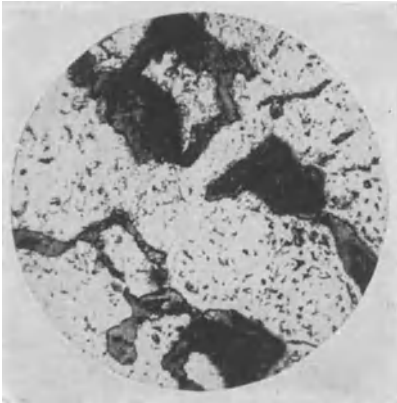


Abb. 233. Grat der Abschmelzschweißung mit starken Schlackeneinschlüssen ($V = 67$).

mehr ähnelndes Gefüge. Die Struktur ist feinkörnig, also durch den Glühvorgang verbessert. Das Gefüge — auch schon das der Abb. 230 — war an allen Stellen so gleichartig, daß man die Schweißstelle im Mikroskop nicht erkennen konnte. Deshalb gibt in Abb. 231 ein Bleistifttrifß senkrecht durch das Bild die Schweißstelle an. Bei der Stumpfschweißung wird infolge der nicht so hohen Temperatur die Schweiße nicht so grobkörnig wie bei der Abschmelzschweißung. Abb. 232 läßt dies erkennen, obwohl die Schweiße noch eine halbe Stunde lang bei 850° geglüht worden ist. Die Struktur ist ungefähr dieselbe wie vor dem Glühvorgang, also feinkörnig, aber links und rechts von der wieder durch einen Bleistiftstrich hervor-

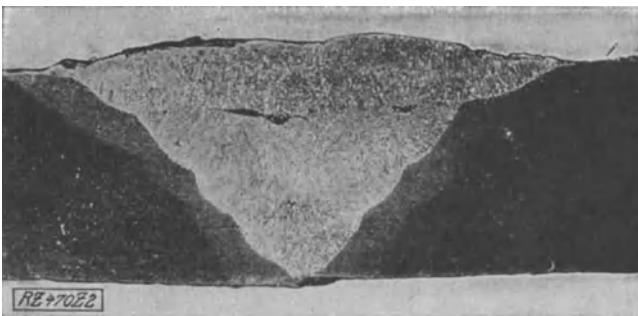


Abb. 234. Querschnitt einer Lichtbogenschweißung ($V = 1,6$).

gehobenen Schweißstelle zeigen sich nun zahlreiche, dunkle sulfidische (schwefelreiche) Einschlüsse. Diese Sulfide sind im Ursprungsmaterial 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. 233 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. 229–233 sind übrigens sämtlich mit alkoholischer Pikrinsäure geätzt.

Untersuchungen von Lichtbogenschweißungen. Verschiedene Schiffe von Neese¹⁾ geben einen allgemeinen Überblick über das Gefüge von Lichtbogenschweißungen, bei denen

Gleichstrom verwendet wurde. Abb. 234 zeigt den Querschnitt einer nur 1,6fach vergrößerten Schweiße. Zunächst sind die einzelnen Schweißlagen gut zu verfolgen infolge ihrer verschiedenartigen Helligkeit. Unter der obersten Lage erkennt man deutlich Schlackeneinschlüsse. Ferner sieht man besonders links die Einbrenn-

¹⁾ S. Zeitschrift des Vereins deutscher Ingenieure 1925, S. 1127.

wirkung des Lichtbogens in das Blech und auch schon Gefügeunterschiede zwischen den einzelnen Schweißlagen. 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. 235) 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 Unterschied in der Struktur verschiedener Schweißlagen erkennt man beim Vergleich von Abb. 235 und 236. 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. 237 insofern, als sie zweierlei Gefüge zeigt. Rechts erblickt man die sog. „Zeilenstruktur“, wie sie gewalztem Flußeisen infolge der Wirkung des Walzvorgangs auf die Kristallkörner eigentümlich ist. Links im Bild aber ist diese Zeilenstruktur vollständig verschwunden und ein sehr feines Korn entstanden. Dies läßt sich durch die

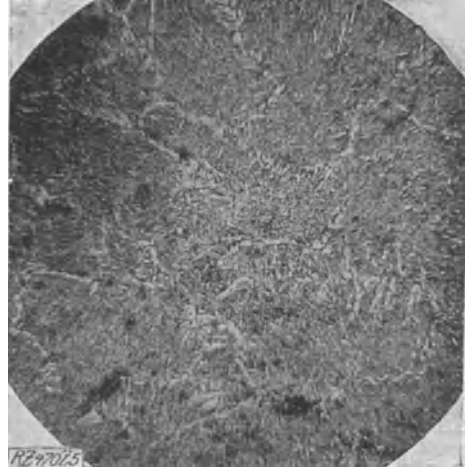


Abb. 235. Gußstruktur einer Lichtbogenschweißung (V = 100).



Abb. 236. Untere Schweißlage einer Lichtbogenschweißung, ausgeglüht durch Aufbringen mehrerer Schweißlagen (V = 120).

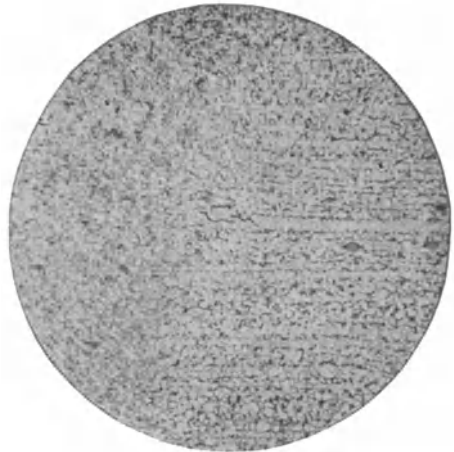


Abb. 237. Zeilenstruktur von Flußeisen (rechts) und Wärmewirkung des Lichtbogens (links) V = 60.

Glühwirkung des Lichtbogens auf die Materialstellen in der Nähe der Schweißfuge erklären. Bei Erhitzung solcher Stellen auf etwa 900° entsteht eine feinkörnige Struktur. Es handelt sich also rechts im Bild um eine Stelle des Flußeisenblechs,

die beim Schweißen noch keine starke Erhitzung erfahren hat, links um eine Stelle, die schon ziemlich nahe der Schweißfuge liegt.

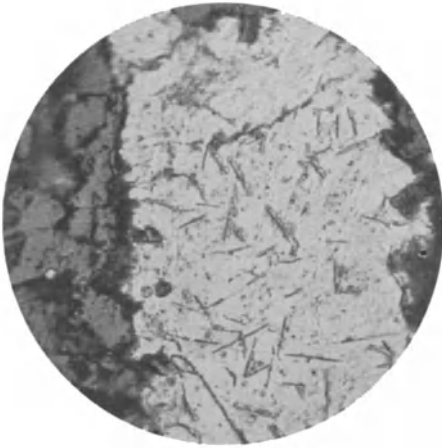


Abb. 238. Lichtbogenschweißung mit Nitridnadeln (V = 500).

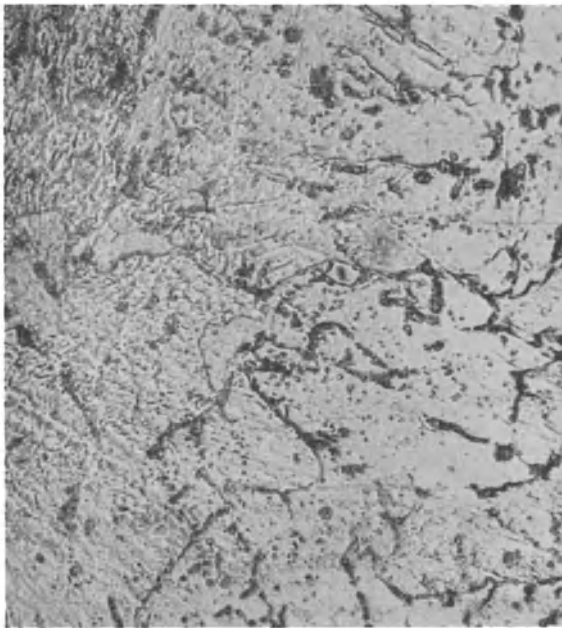


Abb. 239. Lichtbogenschweißung mit nickellegierten Elektroden, keine Nitridnadeln (V = 500).

Die Lichtbogenschweiße neigt zur Stickstoffaufnahme, was bereits mehrmals erwähnt wurde. Der Stickstoff erscheint bei genügend starker Vergrößerung in Form feiner Nitridnadeln (Eisennitrid, Fe_2N = eine Eisenstickstoffverbindung), die das ganze Feld des Metallschliffs durchsetzen, wie dies auch Abb. 238 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. Nickelhaltiger Stahl setzt dem Eindringen des Stickstoffs großen Widerstand entgegen. Hoffmann machte Versuche mit nickellegierten und vernickelten Elektroden und fand in der Schweiße praktisch keine Zunahme des Stickstoffgehalts. Abb. 239 gibt (ebenso wie Abb. 238 in 500facher Vergrößerung, der Schliff mit alkoholischer Pikrinsäure geätzt) das Kleingefüge einer nickellegierten Schweiße wieder; die benutzten Elektroden hatten 1,7 % Nickel. Die Nitridnadeln, wie sie Abb. 238 enthält, fehlen vollständig; das Gefüge ist gleichartig, ein Unterschied zwischen Schweiße und Schweißkörper ist nicht zu bemerken. Kaltbiegeproben mit derartigen Schweißen hatten sehr gute Ergebnisse.

Die Forschungsgemeinschaft für Schmelzschweißung in Hamburg¹⁾ untersuchte bei ihren bereits erwähnten Versuchen an Gleichstrom- und Wechselstromschweißungen auch das Gefüge und

¹⁾ S. Die Schmelzschweißung 1925, Heft 9.

stellte in der Hauptsache folgendes fest: Die Gleichstromschweißung mit nackten Elektroden (Abb. 240) zeigt wohl kleine oxydische Einschlüsse aber keine größeren Hohlräume. Das streifige Gefüge der Abb. 240 weist auf Überhitzung (grobes Korn) und auf die Aufnahme von Oxyden (Sauerstoffverbindungen) und Nitriden (Stickstoffverbindungen) des Eisens hin. Das tieferliegende Material ist durch Umkristallisation verbessert worden, was sich mit den früheren Ausführungen über das Ausglühen der unteren Schweißfugen deckt. Die Gleichstromschweißung mit umhüllten Elektroden (Alloy Welding) erschwert den dichten Aufbau der Naht und ergibt mehr Hohlräume, ist aber viel freier von Oxyden und Nitriden als die Gleichstromschweißung mit nackten Elektroden. Ob diese allerdings auf eine Reinigung der Schweiße mit Hilfe der Umhüllung oder mehr auf Zusätze der Elektrode an anderen Metallen (s. Nickelzusatz nach Hoffmann) zurückzuführen ist, erscheint nach An-

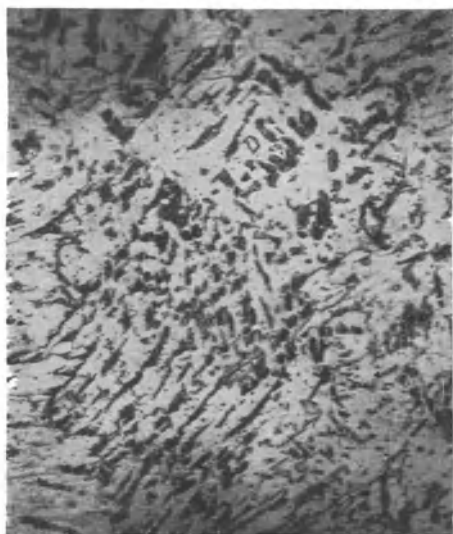


Abb. 240. Gleichstromlichtbogenschweißung mit nackten Elektroden ($V = 500$).

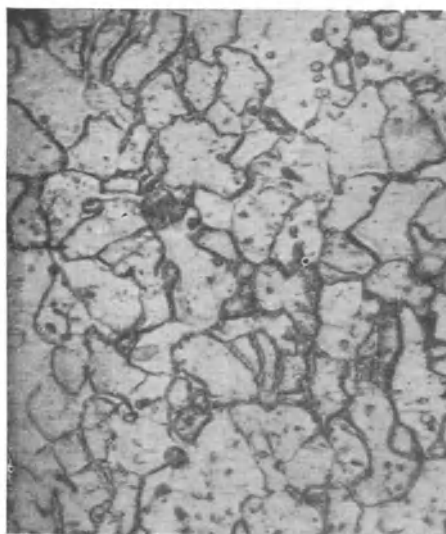


Abb. 241. Wechselstromlichtbogenschweißung mit umhüllten Elektroden ($V = 500$).

sicht der Verfasser noch zweifelhaft. Die Wechselstromschweißung mit nackten Elektroden ähnelt im Gefügebau der entsprechenden Gleichstromschweißung 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 Gleichstromschweiße, was auf die geringere Heizwirkung des Wechselstromlichtbogens zurückzuführen sein dürfte. Die Wechselstromschweißung mit umhüllten Elektroden (Abb. 241; wie Abb. 240 mit 500facher Vergrößerung) zeigt wieder große Ähnlichkeit mit der entsprechenden Gleichstromschweißung. Die Struktur ist feinkörnig; kleine Fremdkörper, die auch in Abb. 241 erkennbar sind, sind als Kristallisationskeime anzusehen, die vor allem zur Ausbildung der feinkörnigen Struktur beigetragen haben.

D. Chemische Untersuchungen.

Werkstück. Flußeisenblech für hochwertige Schweißkörper soll nach Diegel folgende chemische Zusammensetzung haben: 0,06 : 0,12 % Kohlenstoff (C), unter 0,1 % Silizium (Si), $0,45 \div 0,8$ % Mangan (Mn), unter 0,05 % Phosphor (P)

und unter 0,05 % Schwefel (S). Jedoch hebt Mangan die schädliche Wirkung des Siliziums auf, so daß bei Anwesenheit von 0,5 % Mn noch bis zu 0,15 % Si zulässig sind. Bei einer Zerreißfestigkeit von $34 \div 45 \text{ kg/mm}^2$ ist dieses zweckmäßig im Siemens-Martin-Ofen hergestellte Flußeisen dem Schweißisen mindestens gleichwertig. Als gutes Gußeisen für Schweißungen ist nach Neese zu bezeichnen ein Material mit folgender Zusammensetzung: $3 \div 3,5$ % C, $3 \div 3,5$ % Si, $0,5 \div 0,7$ % Mn, bis 0,8 % P, bis 0,06 % S.

Elektroden. Nicht die chemische Analyse allein ist, wie schon früher erwähnt, maßgebend für die Güte des Drahts, sondern auch sein Verhalten beim Probenschweißen. Neese stellte z. B. mit folgendem Flußeisen die schon früher erwähnten Zerreißproben an:

1. Normaler Schweißdraht: 0,04 % C, Spuren Si, 0,5 % Mn, 0,04 % P, 0,04 % S,
2. Sehr reiner Draht: 0,04 % C, Spuren Si, 0,1 % Mn, 0,01 % P, 0,03 % S,
3. Durchschnitts-Thomasdraht: 0,07 % C, Spuren Si, 0,47 % Mn, 0,082 % P, 0,054 % S.

Der nach der Analyse beste Draht 2 ergab die niedrigste Zerreißfestigkeit und der wesentlich schlechtere Draht 3 stand bezüglich der Zerreißfestigkeit an zweiter Stelle. Die Zusammensetzung der bei den Diegelschen Festigkeitsversuchen benutzten und als gut befundenen Schweißdrähte war:

Kjellberg-Draht: 0,09 % C, 0,004 % Si, 0,065 % Mn, 0,045 % P, 0,01 % S,

Friländer-Draht: 0,06 % C, 0,03 % Si, 0,04 % Mn, 0,07 % P, 0,0075 % S.

Im allgemeinen hat es sich bewährt, einen weichen Draht (unter 0,1 % C) mit niedrigem Silizium-, Phosphor- und Schwefelgehalt (jedes unter etwa 0,05 %) vorzuschreiben. Auch ein Kupferzusatz von etwa 0,30 % ergab gute Schweißen und wird in Nordamerika vorgeschrieben. Der nickellegierte Stab von Hoffmann hatte 0,10 % C, 0,15 % Si, 0,40 % Mn, 1,7 % Ni (Nickel). Bei der Gußeisenschweißung gelten für den Flußeisendraht, der bei der Kaltschweißung zugesetzt wird, die vorgenannten Angaben ebenfalls. Der Graugußstab bei der Warmschweißung soll aus normalem Gußeisen mit aber nicht weniger als 3 % Silizium bestehen (Siliziumabbrand im Lichtbogen); Zusammensetzung also etwa: $3 \div 3,5$ % C, mindestens 3 % Si, $0,5 \div 0,7$ % Mn, bis 0,8 % P, bis 0,06 % 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 % B_2O_3 (Borsäure), bis 40 % $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$ (Borax), bis 45 % Glas, bis 15 % Na_2CO_3 (Soda), bis 35 % CaO (gebrannter Kalk), bis 30 % NaCl (Kochsalz), bis 27 % $\text{FeK}_4(\text{CN})_6$ (Kali, gelbes Blutlaugensalz), bis 25 % SiO_2 (Kieselsäure), bis 25 % MgO (Magnesia), bis 30 % C (Kohlenstoff), bis 10 % Mg (Magnesium), bis 5 % Mn (Mangan), bis 5 % Al (Aluminium) usw. Nach Angaben von Meller enthielten Umhüllungen: $1,8 \div 54,7$ % CaO, $0,2 \div 8,6$ % Al_2O_3 (Tonerde), $0 \div 7,2$ % MgO, $0 \div 42,8$ % Mn, $0 \div 44,4$ % SiO_2 , $5,7 \div 15,7$ % CO_2 (Kohlensäure, diese aus den Kalk- und Magnesiaverbindungen) usw. Die bisherigen Angaben bezogen sich auf Umhüllungen für Schmiedeeisen- und Stahlschweißungen. In untersuchten Ummantelungen der Elektroden für Gußeisenkaltschweißungen waren nach Meller enthalten: $2,3 \div 46,3$ % CaO, $0,6 \div 13,3$ % Al_2O_3 , $0 \div 6,3$ % MgO, $0 \div 40,8$ % SiO_2 , $0 \div 21$ % CO_2 usw.; hier fehlte gegenüber den vorhergehenden Angaben der Manganzusatz.

Schweiße. Nach Versuchen von Neese und getrennten Versuchen von Hoffmann ergaben sich zwischen den chemischen Zusammensetzungen der Elektrode und der Schweiße bei Flußeisenschweißungen verschiedene kennzeichnende Unterschiede, wie sie auch aus den in Zahlentafel 18 auszugsweise wiedergegebenen Versuchsergebnissen zu erkennen sind. Der Kohlenstoff-, Silizium- und Mangangehalt der Elektrode nimmt beim Übergang in die Schweiße, infolge von Verbrennungsvorgängen, stark ab; der Phosphor- und Schwefelgehalt bleibt praktisch unverändert; der Sauerstoff- und Stickstoffgehalt der Schweiße nimmt, infolge Sauerstoff- und Stickstoffaufnahme aus der Luft, stark zu, im Gegensatz zur autogenen Schweißung, 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 % auf rund 0,05 % herabdrücken. Die üblichen Umhüllungen zeigten nach den Versuchen von Hoffmann, Zahlentafel 18, keine wesentliche Herabsetzung der Sauerstoff- oder Stickstoffaufnahme der Schweiße. Der Nickelzusatz zur Elektrode nach Hoffmann wurde bereits früher erwähnt; eine Elektrode mit 1,7 % Nickel und 0,011 % Stickstoff ergab eine Schweiße mit 0,012 % Stickstoff. 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 % Sauerstoff und 0,16 % Stickstoff. Beide Mengen fielen bei 140–160 A auf 0,25 % Sauerstoff und 0,10 % 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 % Graphit, 0,70 % gebundener Kohlenstoff, 2,10 % Silizium, 0,43 % Mangan, 0,64 % Phosphor, 0,068 % Schwefel und die Schweiße: 2,86 % Graphit, 0,40 % gebundener Kohlenstoff, 2,9 % Silizium (infolge der Verwendung eines Schweißstabs mit höherem Siliziumgehalt), 0,50 % Mangan, 0,48 % Phosphor, 0,056 % Schwefel.

Zahlentafel 18.

Gegenstand	Kohlenstoff C %	Silizium Si %	Mangan Mn %	Phosphor P %	Schwefel S %	Sauerstoff O %	Stickstoff N %
Versuche von Neese:							
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
Versuche von Hoffmann:							
Elektrode	0,100	0,100	0,440	0,012	0,020	0,053	0,007
Schweiße mit ummantelter Elektrode	0,020	0,013	0,120	0,014	0,030	0,216	0,140
Schweiße mit blanker 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 mit ummantelter Elektrode	0,070	0,020	0,220	0,027	0,036	0,149	0,089
Schweiße mit blanker Elektrode	0,220	0,040	0,420	0,022	0,033	0,148	0,091

VII. Leistungen und Kosten der elektrischen Schweißverfahren.

A. Widerstandsschweißungen.

Blechschweißungen. Einen Überblick über die Schweißzeit und den Stromverbrauch bei Punktschweißungen, entsprechend den Zahlen der Zahlentafel 6, gibt Abb. 242. Es wird bei Aufzeichnung dieser Kurven in derselben Weise verfahren, wie wir es schon bei der Aufzeichnung der Charakteristiken der Schweiß-

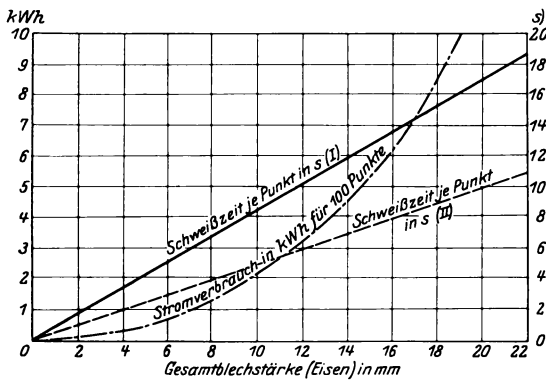


Abb. 242. Schweißzeit und Stromverbrauch bei Punktschweißungen.

maschine (z. B. Abb. 101 u. f.) gesehen haben, und man kann aus Abb. 242 z. B. für 8 mm Gesamtblechstärke 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 Ab-

schnitt IIC 3 (Technik der Punktschweißung) gemacht worden. Es wurde auch dort schon erwähnt, daß man im allgemeinen nicht über 15 mm einfache Blechstärke (30 mm Gesamtblechstärke) hinausgeht, da bei größeren Blechstärken, wie es auch die Stromverbrauchskurve in Abb. 242 zeigt, die Punktschweißung nicht mehr wirtschaftlich ist. Die Punktschweißung wird besonders bei leichteren 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 Niete, für das Nietmaterial 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.

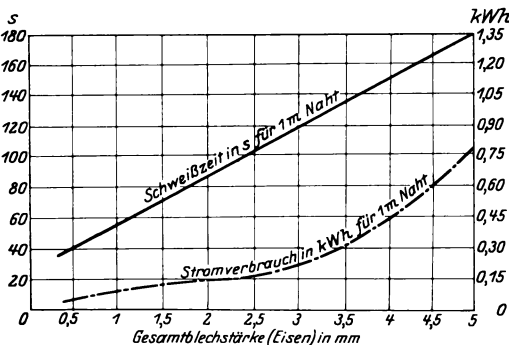


Abb. 243. Schweißzeit und Stromverbrauch bei Nahtschweißungen (Widerstandsschweißung).

Schweißzeit und Stromverbrauch für die Nahtschweißung sind aus Abb. 243 zu entnehmen (entsprechend Zahlentafel 7). Sowohl aus technischen wie aus wirtschaftlichen Gründen geht man selten über 5 mm Gesamtblechstärke (2,5 mm Einzelblechstärke) hinaus. Die Stromverbrauchskurve in Abb. 243 zeigt ja auch

von etwa 3 mm Gesamtblechstärke an einen steiler ansteigenden Verlauf, nimmt also bei größeren Blechstärken sehr schnell zu.

Gewöhnliche Stumpf- und Abschmelzschweißungen. Abb. 244 gibt Durchschnittswerte über Schweißzeit, Leistungsaufnahme und Stromverbrauch bei Stumpfschweißungen bis 80 mm Rundeisendurchmesser; die Werte entsprechen den Zahlentafeln 3 und 5. Der Abschnitt II A 3 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÷50 % mehr an Leistung und 20÷50 % mehr an Zeit aufzuwenden als bei Rundkupfer (stärkerer Wärmeabfluß infolge größerer Außenfläche). Alle Werte

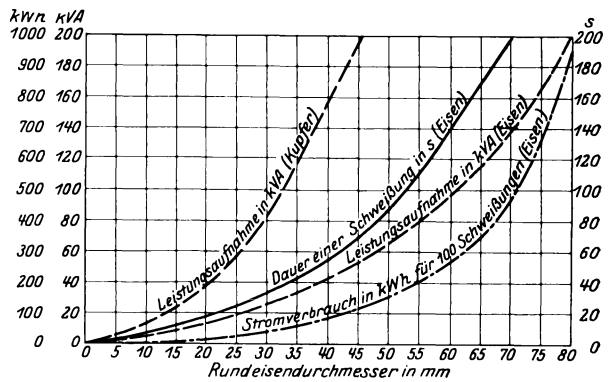


Abb. 244. Schweißzeit, Leistungsaufnahme und Stromverbrauch bei Stumpfschweißungen.

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 Stabstärke 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

Arbeiterzahl	1½
Arbeitszeit	1¾ h
Kohlenverbrauch	20 kg
Stromverbrauch für Gebläse usw.	1 kWh

für die Widerstandsschweißung

Arbeiterzahl	1
Arbeitszeit	10 min
Stromverbrauch	1 kWh
Kühlwasserverbrauch	30 l

an Kosten der reinen Schweißarbeit (im Jahre 1924)

für die Feuerschweißung

Arbeitslohn	1,25 M.
Kohlenverbrauch	0,68 „
Stromverbrauch	0,15 „

für die Widerstandsschweißung

Arbeitslohn	0,09 M.
Stromverbrauch	0,15 „
Kühlwasserverbrauch	0,01 „

Zusammen 2,08 M.

0,25 M.

Die Gegenüberstellung der Schweißarbeit an einem 75-mm-Rundeisen sieht nach Schmatz folgendermaßen aus:

Arbeitsaufwand usw.**für die Feuerschweißung**

Arbeiterzahl	3
Arbeitszeit	20 min
Kohlenverbrauch	10 kg
Stromverbrauch für Gebläse	1 kWh

für die Abschmelzschweißung

Arbeiterzahl	2
Arbeitszeit	4,15 min
Stromverbrauch	4,2 kWh

Gesamtkosten der Schweißarbeit (im Jahre 1925)**für die Feuerschweißung**

Arbeitslohn	0,65 M.
Unkosten	0,98 „
Kohlenverbrauch	0,25 „
Stromverbrauch	0,15 „

Zusammen 2,03 M.

für die Abschmelzschweißung

Arbeitslohn	0,09 M.
Unkosten	0,14 „
Stromverbrauch	0,63 „
Abschreibung	0,04 „

0,90 M.

Zum letzten Beispiel ist noch hinzuzufügen: Die allgemeinen Unkosten wurden mit 150 % der Löhne angesetzt. Die Schweißmaschine kostet 9400 M.; ihre Abschreibung ist mit 15 % 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 der letzten Jahre ließ sich feststellen, daß im Gesamtdurchschnitt die Kosten der Widerstandsschweißung nur 13 % der Kosten bei Schmiedefeuerarbeit ausmachten und der Zeitaufwand nur 11 % 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 Zahlentafel 19. 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.

Zahlentafel 19.

Drahtdurchmesser in mm	2÷6	5÷8	7÷12	10÷16	12÷20	20÷26
Zahl der Ketten- Schweißungen in der Minute	12÷10 20÷14	12÷10 15÷10	10÷6 12÷7	— 9÷5	— 7÷4	— 3÷2
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.

Blechschweißungen. Die Abb. 245 und 246 geben die wesentlichsten wirtschaftlichen Werte für Lichtbogenschweißungen mit Gleichstrom und (zur nachfolgenden Vergleichsrechnung) für autogene Blechschweißungen wieder; sie entstammen nebst den Werten der Abb. 247 und 248 den Versuchen der Verfasser, die 1924 an der Staatlichen Gewerbeakademie Chemnitz durchgeführt

wurden und allgemein als gut verwendbare Werte anerkannt worden sind. Bei Verwertung der Zahlen ist folgendes zu beachten: Die in Abb. 245 und 246 angegebenen stündlichen Leistungen in m Schweißnaht sind Höchstleistungen, die nur von geübten Schweißern kurze Zeit (etwa 1 h lang) erreicht werden können.

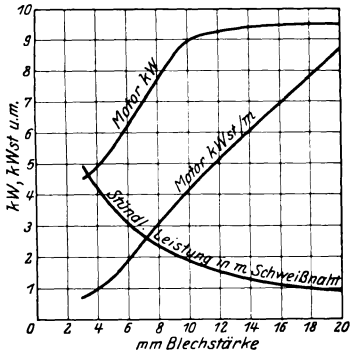


Abb. 245. Motorleistung, Motorstromverbrauch für 1 m Naht und stündliche Leistung in m Naht bei der Lichtbogenschweißung.

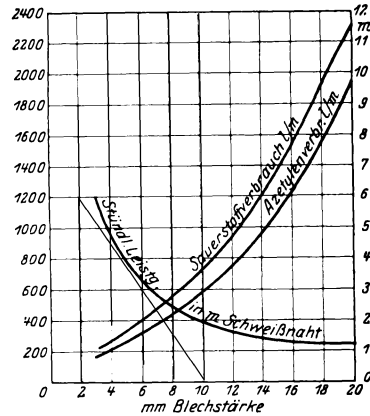


Abb. 246. Sauerstoff- und Azetylenverbrauch in 1 m Naht und stündliche Leistung in m Naht beim autogenen Schweißen.

Zur praktischen Verwertung der gefundenen Stundenhöchstleistungen sind in Abb. 247 vier Leistungskurven eingetragen. Die Kurve *a* zeigt die aus Abb. 245 entnommene, höchsterreichbare Stundenleistung in m Schweißnaht für die Lichtbogenschweißung. Gibt man zu der bei dieser Leistung gebrauchten Zeit etwa 25 % 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 etwaiger kleinerer Nebenarbeiten angesehen werden kann. Für eine Tagesleistung von 8 h sind auf Grund der vorliegenden Unterlagen aus der Praxis etwa 40 ÷ 70 % (der Prozentsatz mit steigender Blechstärke steigend) Zuschläge zu den für Kurve *a* gebrauchten Zeiten zu geben, um in Kurve *c* auf die höchsterreichbare Leistung bei achttündiger Schweißzeit zu kommen. Unter wiederum 25 % Zuschlag zu den Schweißzeiten, die der Kurve *c* entsprechen, erhalten wir in Kurve *d* schließlich die normale Betriebsleistung eines Schweißers bei achttündiger Arbeitszeit. Hervorgehoben sei noch, daß sich alle Leistungskurven auf einfache Blechschweißungen, ohne wesentliche Umweldarbeiten usw., beziehen. In entsprechender Weise erhält man die Normalleistung beim autogenen Schweißen aus der Höchstleistung in Abb. 246, indem

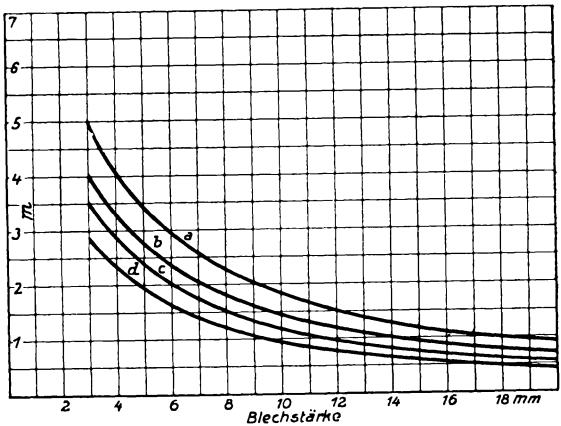


Abb. 247. Stündliche Höchst- und Normalleistungen in m Schweißnaht (Lichtbogenschweißung), bei kurzer und langer Arbeitszeit.

Hervorgehoben sei noch, daß sich alle Leistungskurven auf einfache Blechschweißungen, ohne wesentliche Umweldarbeiten usw., beziehen. In entsprechender Weise erhält man die Normalleistung beim autogenen Schweißen aus der Höchstleistung in Abb. 246, indem

man wieder etwa 25 % mehr an Zeit rechnet. Bei der Tagesleistung sind 50 ÷ 110 % an Schweißzeit zuzuschlagen, also mehr als bei der Lichtbogen-schweißung. Der Schweißdrahtverbrauch ist beim Lichtbogen- und autogenen Schweißen praktisch gleich, wie es die in Abb. 248 angegebenen Versuchszahlen zeigen; die geringfügigen Unterschiede rühren nur von nicht ganz gleichmäßiger Abschrägung der Bleche her. Man kann den Schweißdrahtverbrauch für 1 m Schweißnaht also durch eine gerade Linie von etwa 150 g beim 3-mm-Blech zu etwa 1300 g beim 20-mm-Blech darstellen.

Bei Versuchen der Forschungsgemeinschaft für Schmelzschweißung in Hamburg (1925) betrug der Stromverbrauch für 1 kg niedergeschmolzene Schweiße bei Gleichstrom 6,5 kWh, bei Wechselstrom 4,6 kWh, der Wirkungsgrad der Gleichstrom-

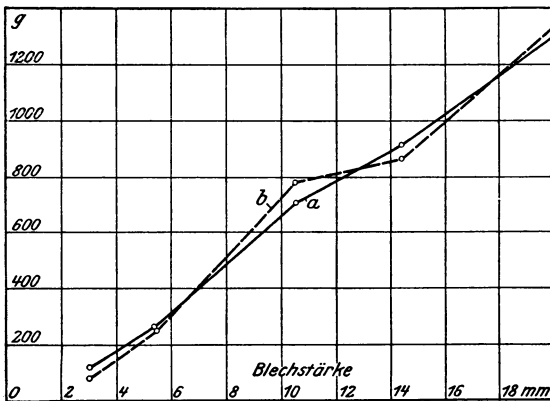


Abb. 248. Schweißdrahtverbrauch bei elektrischer und autogener Schweißung.

quelle im Mittel 52 % (schwankend zwischen 37 und 68 %), der der Wechselstromquelle 71 % (schwankend zwischen 57 und 90 %), die niedergeschmolzene Eisenmenge höchstens 700 g in der Stunde. Hier, wie bei Versuchen von Neese, wurde bei Wechselstrom keine größere Abschmelzmenge, bzw. niedergeschmolzene Menge gegenüber Gleichstrom festgestellt. Neese rechnet durchschnittlich bei Gleichstrom und Wechselstrom und 4-mm-Elektroden die verbrauchte Draht-

menge in der Stunde (also einschließlich Abbrand, Spritzer und nicht verbrauchten Reststücken) zu 1000 g; demgegenüber wird man die niedergeschmolzene Eisenmenge auf im Mittel 750 g ansetzen können. Neese hat ferner den Stromverbrauch für 1 kg verbrauchten Elektrodraht im Mittel bei Gleichstrom zu 7,04 kWh und bei Wechselstrom zu 3,6 kWh gefunden; das ergibt umgerechnet auf 1 kg niedergeschmolzene Eisenmenge für Gleichstrom 9,4 kWh und für Wechselstrom 4,8 kWh. Berücksichtigt man, daß Neeses Versuche sich auf längere Betriebszeiten erstrecken und also mehr Leerlaufverluste als die Hamburger Versuche enthalten, so stimmen die Wechselstromzahlen gut überein. Die stärkeren Unterschiede in den Gleichstromzahlen rühren wahrscheinlich außer von verschiedenen Leerlaufverlusten noch von der Verwendung verschiedenartiger Gleichstromquellen her. Neese erzielte bei einem der beiden benutzten Gleichstromumformer auch 6,3 kWh für 1 kg verbrauchten Draht, was nach Versuchen der Verfasser eher als ein Gesamtdurchschnittswert angesehen werden kann.

Vergleich zwischen Lichtbogen- und autogener Blechschweißung. Wir stellen eine elektrische Gleichstromanlage mit etwa 3000 M. Anlagekosten der Autogenanlage gegenüber, die mit Brennern und allem Zubehör 400 M. kostet. Für Verzinsung seien 10 %, für Abschreibung 15 %, für Instandhaltung 5 %, insgesamt also 30 % bei beiden Anlagen gerechnet. Der Sauerstoffpreis schwankt heute (je nach Transportkosten, Verwendung von Eigentumsflaschen oder zusätzlicher Leihgebühr) zwischen 0,65 und 0,95 M./m³ und der Karbidpreis zwischen 25 und 32 M./100 kg. Bei einer Ausbeute von 250 ÷ 300 l Azetylen auf 1 kg Karbid ergeben sich dann Azetylenpreise von 0,83 ÷ 1,28 M./m³ (ohne die nachher ver-

rechnete Verzinsung usw.). Azetylen in Flaschen (gelöstes Azetylen) scheidet für den Vergleich aus, da 1 m³ noch etwa 2,75 M. kostet. Der Preis des elektrischen Stroms sei zu 8 ÷ 20 Pf. für 1 kWh angenommen, der Lohn des Schweißers zu 0,70 M. für die Stunde und der Schweißdraht (Schweißelektroden) zu 0,50 M./kg. Wenn man als kleinste Jahresleistung 500 m Blechnaht zugrunde legt, kostet 1 m Schweißnaht an Verzinsung, Abschreibung und Instandhaltung beim autogenen Verfahren: $400 \cdot \frac{30}{100} \cdot \frac{1}{500} = 0,24$ M. und beim elektrischen Verfahren: $3000 \cdot \frac{30}{100} \cdot \frac{1}{500} = 1,80$ M. Die Gas-, Strom-, Lohn- und Schweißdrahtkosten

errechnet man aus den Abb. 245 und 246. Zum Beispiel braucht man für 1 m Schweißnaht bei 3 mm Blechstärke etwa $\frac{3}{4}$ kWh (Kosten also $\frac{3}{4} \cdot 8 = 6$ Pf. bis $\frac{3}{4} \cdot 20 = 15$ Pf.) und kann stündlich schweißen 5 m bzw. unter Berücksichtigung von 25 % mehr an Zeit durchschnittlich nur 4 m; demnach kostet 1 m Schweißnaht an Lohn $\frac{1}{4} \cdot 70 = 17,5$ Pf. Der Schweißdrahtverbrauch ist 150 g für 1 m Naht; das ergibt an Kosten: $0,15 \cdot 50 = 7,5$ Pf. In Zahlentafel 20 sind die Gesamtkosten für 1 m Schweißnaht, autogen und elektrisch geschweißt, bei 3, 10 und 20 mm Blechstärke zusammengestellt.

Unter Zugrundelegung mittlerer Gas- und Stromkosten ist nun die im vorigen für 500 m Blechnaht im Jahr durchgeführte Rechnung auch auf 1000, 2000 und 4000 m Naht ausgedehnt worden. Gegenüber den Werten in Zahlentafel 20 sind dann nur die Verzinsungskosten usw. entsprechend niedriger zu bemessen. Das Ergebnis ist in den Kurven der Abb. 249 zusammengestellt, aus denen wir bestimmte Schlüsse ziehen können, wenn wir die

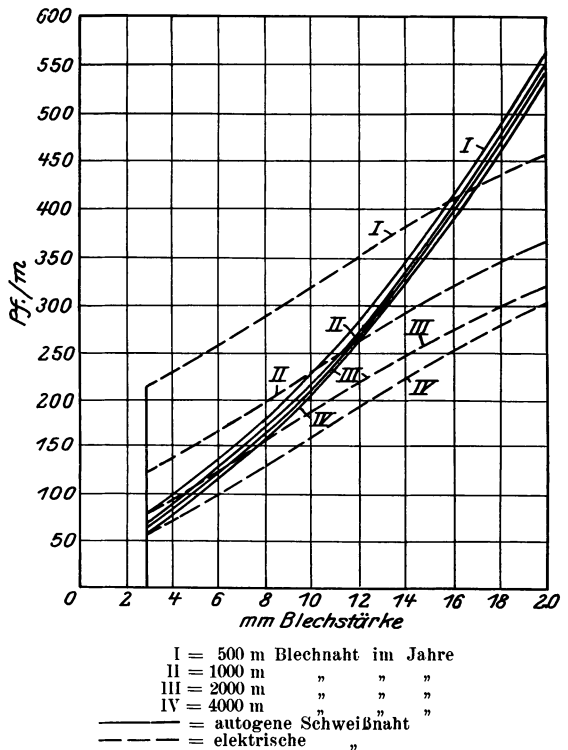


Abb. 249. Kosten von 1 m Blechnaht autogen oder elektrisch geschweißt.

Zahlentafel 20 (500 m Blechnaht im Jahr).

Blechstärke	3 mm		10 mm		20 mm	
Schweißverfahren	autogen	elektr.	autogen	elektr.	autogen	elektr.
Gas- bzw. Stromkosten	28 ÷ 44	6 ÷ 15	95 ÷ 143	33 ÷ 82	310 ÷ 465	69 ÷ 172
Verzinsung usw.	24	180	24	180	24	180
Lohnkosten	14	18	50	50	82	90
Schweißdrahtkosten	7	7	32	32	65	65
Gesamtkosten in Pf. für 1 m Schweißnaht . . .	73 ÷ 89	211 ÷ 220	201 ÷ 249	295 ÷ 344	481 ÷ 636	404 ÷ 507

Kurve I (autogen) mit der Kurve I (elektrisch) usw. verglichen. Nach Abb. 249 ist die autogene Blechschweißung billiger als die Lichtbogenschweißung

1. bei 500 m Blechnaht im Jahr (Kurven I) für Blechstärken herauf bis 16 mm,
2. „ 1000 m „ „ „ („ II) „ „ „ „ 11 mm,
3. „ 2000 m „ „ „ („ III) „ „ „ „ 6 mm,
4. „ 4000 m „ „ „ („ IV) „ „ „ „ 3 mm.

Wir sehen weiter, daß wir mit den angenommenen Blechnahtmengen im Jahr die wichtigsten Mengen getroffen haben. Von mehr als etwa 4000 m Blechnaht im Jahr an ist die Lichtbogenschweißung für alle praktisch für sie in Betracht kommenden Blechstärken der autogenen Schweißung überlegen; bei Blechstärken unter 3 mm schweißt man schon des Aussehens und der Güte der Naht wegen immer autogen. Anderen Annahmen der Strompreise, Verzinsung usw. werden das Ergebnis nur unwesentlich beeinflussen, so daß es allgemeine Gültigkeit hat.

Gleichstrom oder Wechselstrom. Es seien die Kosten einer Stunde Gleichstrom- bzw. Wechselstromschweißung einander gegenübergestellt. Elektrodenverbrauch und Lohn sind praktisch in beiden Fällen gleich; die umhüllten Elektroden für Wechselstrom kosten aber doppelt so viel als die nackten für Gleichstrom. Der Stromverbrauch sei für 1 kg verbrauchten Draht bei Gleichstrom 6,3 kWh, bei Wechselstrom 3,6 kWh, der Strompreis 10 Pf. Die Gleichstromanlage koste 3000 M., die Wechselstromanlage 1500 M.; die Verzinsung betrage 10 %, die Abschreibung 15 %, die Instandhaltung 5 % des Anlagekapitals. Dann erhält man:

	Gleichstrom	Wechselstrom
Stromkosten 6,3 kWh (bzw. 3,6 kWh) zu je 0,10 M.	0,63 M.	0,36 M.
Elektroden 1 kg zu 0,50 M. (bzw. 1 M.)	0,50 „	1,00 „
Lohn 0,70 für 1 Stunde	0,70 „	0,70 „
Verzinsung, Abschreibung, Instandhaltung bei 2400 Jahresbetriebsstunden	0,38 „	0,19 „
	<u>2,21 M.</u>	<u>2,25 M.</u>

Bei einem Strompreis von 20 Pf. für 1 kWh kostet die Stunde Gleichstromschweißung 2,84 M. und die Stunde Wechselstromschweißung 2,61 M. Nun ist aber noch die hohe Stromaufnahme des Wechselstromtransformators auf der Primärseite (Netzseite) zu beachten, die größere Zuleitungskabel bedingt, ferner auch noch der schlechte Leistungsfaktor des Wechselstromtransformators, der z. B. bei den Hamburger Versuchen im Mittel zu 0,35 gegenüber 0,72 beim Antriebsmotor der Schweißdynamo festgestellt wurde. Infolgedessen hat der Stromverbraucher z. B. in Hamburg ein Aufgeld von 25 % beim Leistungsfaktor 0,35, dagegen nur 5 % bei dem Leistungsfaktor 0,72 zu bezahlen. Unter Berücksichtigung dieses Aufgeldes kostet bei dem doch schon als hoch zu bezeichnenden Strompreis von 20 Pf. für 1 kWh die Stunde Gleichstromschweißung 2,90 M. und die Stunde Wechselstromschweißung 2,81 M. Wenn auch die vorstehenden Rechnungen keine allgemeine Gültigkeit haben, so sieht man doch, daß wesentliche Kostenunterschiede zwischen Gleichstrom- und Wechselstromschweißung zur Zeit nicht bestehen.

Eisenkonstruktionsschweißungen. Die Kostenfrage ist noch nicht allgemein gültig zu beantworten, da die Werkstättenverhältnisse dabei eine große Rolle spielen. Nach Neese (1924) kann man z. B. für die Nietung oder Schweißung von 10 m Blech von 8 mm Stärke annehmen:

Nieten		Schweißen	
Ankörnren, Bohren	1,12 M.	Schweißzeit	2,00 M.
Nieten	2,80 „	(200 min, 1 h = 0,60 M.)	
Niete	4,50 „	Schweißdraht	1,54 „
Verstemmen	1,50 „	Stromverbrauch	2,32 „
Stromverbrauch	1,95 „	(15,5 kWh, je 0,15 M.)	
(13 kWh, je 0,15 M.)			
Zusammen 11,87 M.		5,86 M.	

Reparaturschweißungen. In der Haupteisenbahnwerkstatt Wittenberge sind seit 1914 in großem Umfange Lokomotivzylinder mit Hilfe der Lichtbogenschweißverfahren repariert worden. Die Schweißungen kosteten 1914÷1916 im Mittel 100 M. für jeden Zylinder, neue Zylinder im Mittel 1100 M., die Schweißanlage 10000 M. Die Anlage war also bereits nach 10 Zylinderschweißungen als abgeschrieben zu betrachten. Ähnliche Zahlen werden aus amerikanischen Gießereien mitgeteilt. Dort betragen z. B. die Schweißkosten eines Automobilzylinders (1913÷1914) 15 M., die Kosten eines neuen Zylinders 240 M. Noch günstiger werden die Zahlenverhältnisse oft bei Dampfkessel- und Schiffsreparaturen sein. Außerdem ist hervorzuheben, daß der Wert der Schweißung bei diesen Reparaturen nicht nur in der Kostenersparnis am Arbeitsstück durch Vermeidung der Anschaffung eines neuen Stücks, sondern vor allem auch in derjenigen Zeitersparnis, bzw. Kostenersparnis liegt, die durch schnellere Wiederinbetriebsetzung der betreffenden Maschinen usw. erzielt wird.

Der Verbrauch an elektrischem Strom läßt sich bei Reparaturschweißungen schwer festlegen. Man rechnet zum Niederschmelzen von 1 kg Schweißmaterial etwa 2÷3 kWh, aber wohl zu beachten im Sekundärstromkreis (Schweißstromkreis). Im Primärstromkreis (Netzstromkreis) braucht man nach den vorhergehenden Angaben etwa 6,3 kWh bei Gleichstrom und 3,6 kWh bei Wechselstrom. Bei der Gußeisenwärmeschweißung kann man mit einer Stromstärke von 500 A (bei 65 V Spannung) etwa 12 kg Elektrodenmaterial in der Stunde abschmelzen.

VIII. Das elektrische Schneiden.

Ausführung. Das elektrische Schneiden kann mit Hilfe des Lichtbogens zum Durchschmelzen von Schmiedeeisen, Stahl, Gußeisen und Kupfer benutzt werden. Der Arbeitsvorgang ist aus Abb. 250 zu erkennen. Es ist allgemein üblich, mit Gleichstrom und Kohlenelektroden zu schneiden, obwohl das Wechselstromschneiden und das Arbeiten mit Metallelektroden auch möglich ist. Wechselstrom ergibt aber geringere Schnittleistungen; das Arbeiten mit Metallelektroden hat den Nachteil des Elektrodenverbrauchs. Das Werkstück, das zerschnitten werden soll, wird an den Minuspol, die Kohlenelektrode an den Pluspol der Stromquelle angeschlossen, bei schweren Arbeiten mit Hilfe langer, stets gut isolierter oder nichtleitender, von Hand geführter Stangen (s. Abb. 250). Der Stromverbrauch ist sehr bedeutend. So ist z. B. zum Durchschneiden der in Abb. 250 wiedergegebenen leichten Eisenkonstruktion eine Stromstärke von 1500 A bei einer Spannung von 65 V erforderlich gewesen. Abb. 251 zeigt eine Anzahl geschnittener Eisenbleche, Rund-, Vierkant- und Flacheisen. Es ist gut zu erkennen, daß die Schnittflächen stark gefurcht und zerrissen ausfallen, nicht entfernt so sauber wie beim autogenen Schweißen.

Anwendung. Vom wirtschaftlichen Standpunkt aus dürfte überhaupt nicht elektrisch geschnitten werden, da das autogene Schneidverfahren wesentlich vorteilhafter ist. Zum elektrischen Zerschneiden eines 50 mm starken Eisenblechs

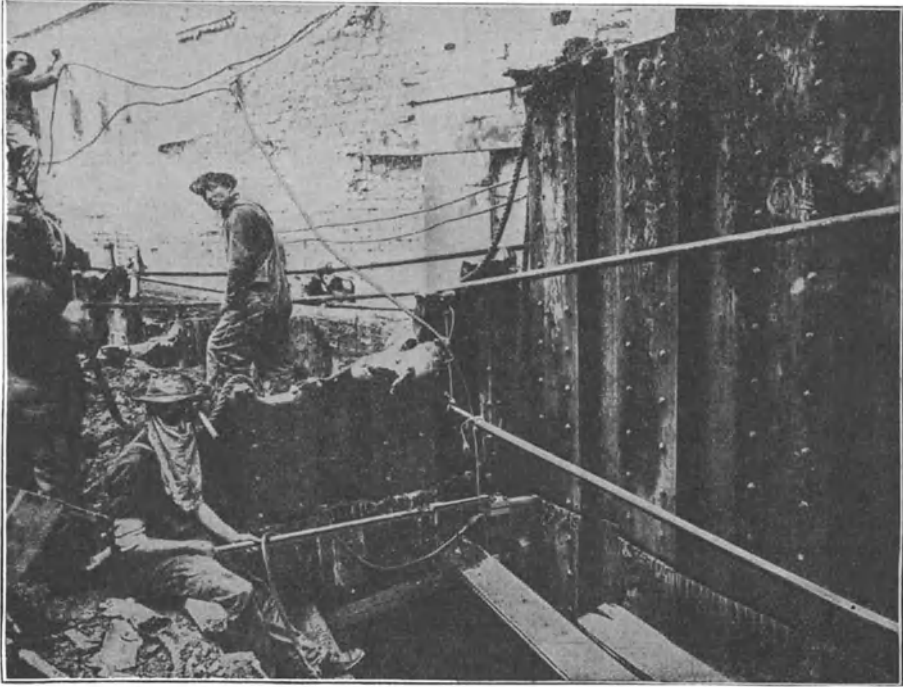


Abb. 250. Elektrisches Schneiden.

sind für 1 m etwa $50 \div 60$ min erforderlich. Zur Ausführung desselben, jedoch ganz wesentlich saubereren Autogenschnitts braucht man $6 \div 7$ min. Vom technischen Standpunkt aus kommt das elektrische Schneiden zunächst nur dort in Frage, wo es gar nicht auf saubere und genaue Schnittflächen ankommt. Außerdem liegt die obere Grenze für das Durchschneiden von Schmiedeeisen

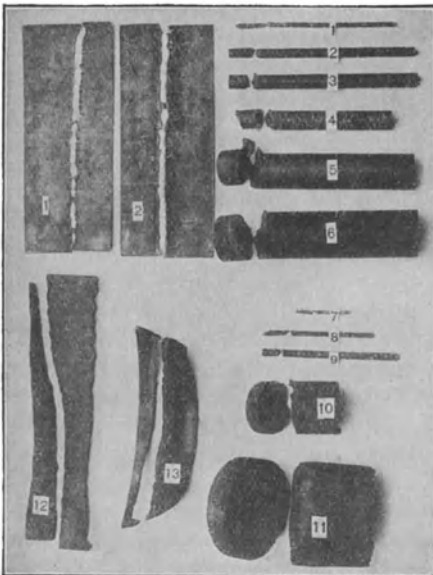


Abb. 251. Elektrisch geschnittene Eisenteile.

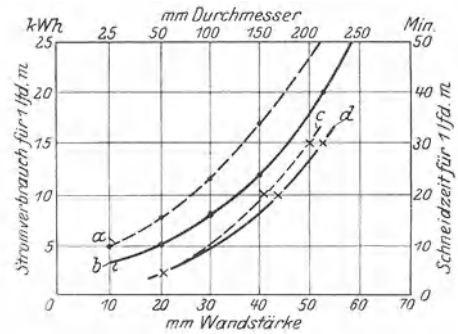


Abb. 252. Zeit- und Stromverbrauch beim elektrischen Schneiden.

$a = \text{kWh-Verbrauch für 1 m}$ } bei Schmiedeeisen.
 $b = \text{Schneiddauer „ 1 m}$ }
 $c = \text{kWh-Verbrauch „ 1 m}$ } bei Gußeisen
 $d = \text{Schneiddauer „ 1 m}$ }

und Stahl schon bei etwa 60 mm Werkstoffstärke. Man wird also praktisch das elektrische Schneiden nur zur Verschrottung schwachwandiger Eisenkonstruktionen und kleinerer Gußkörper verwenden und dann auch nur dort, wo eine autogene Schneidanlage fehlt, anderseits aber eine elektrische Lichtbogenschweißeinrichtung von ausreichender Leistung vorhanden ist. Auch das elektrische Schneiden unter Wasser ist möglich, und zwar wenn man der Schneidstelle Sauerstoff zuführt.

Leistungen. Dauer und Stromverbrauch von Schneidarbeiten an Schmiedeeisenstücken bis etwa 60 mm Wandstärke und an Gußkörpern bis etwa 220 mm Durchmesser sind nach Angaben der AEG in Abb. 252 zeichnerisch aufgetragen. In den meisten Fällen wird man praktisch noch um 20 : 30 % hinter diesen Leistungen zurückbleiben.

IX. Förderung des elektrischen Schweißens.

Hand in Hand mit der Weiterentwicklung der Schweißeinrichtungen durch die betreffende Industrie geht erfreulicherweise in Deutschland trotz der Ungunst der Verhältnisse eine Förderung, Weiterausgestaltung und Verbesserung der Schweißverfahren durch wissenschaftliche Arbeiten, Vorträge, Unterrichtsübungen in technischen Schulen, Einrichtung von Schweißkursen usw., worüber kurz das zur Zeit Wesentlichste mitgeteilt werden soll.

Wissenschaftliche Arbeiten. Vorträge. Auf dem Gebiet aller neueren, insbesondere der autogenen und elektrischen Schweißverfahren arbeiten: Die Laboratorien einiger Hoch- und Mittelschulen und größerer industrieller Werke, die Forschungsgemeinschaft für Schmelzschweißung des Verbands für autogene Metallbearbeitung, der Werkstoffausschuß des Vereins Deutscher Eisenhüttenleute und der Fachausschuß für Schweißtechnik im Verein Deutscher Ingenieure. Letzterer hat die Untergruppen Schweißgerät, Betriebsstoffe, Arbeitsverfahren, Personalangelegenheiten, Begriffe und Zeichensprache, körperlicher Schutz und Unfallverhütungsmaßnahmen, Fachzeitschriften und eine Förderergruppe gebildet. Weiter betätigt sich nach diesen Richtungen der Verband für autogene Metallbearbeitung mit seinen Ortsgruppen, und zwar sowohl in Sitzungen und Vorträgen wie in seiner Zeitschrift „Die Schmelzschweißung“. Die Mitteilungen des vorher genannten Fachausschusses und andere schweißtechnische Fachbeiträge erscheinen in der Zeitschrift des Vereins Deutscher Ingenieure, im „Maschinenbau“ usw. Vorträge über die neueren Schweißverfahren werden heute zahlreich von Wissenschaftlern, Fachspezialisten und Vertretern der Fachindustrie abgehalten.

Unterricht an technischen Schulen. Als Hauptschwierigkeiten, den auch in allgemein technischer Beziehung so wertvollen Unterricht über neuere Schweißverfahren an allen technischen Schulen einzuführen, haben sich ergeben: Ein Mangel an Anschauungsmaterial für den Vortragsunterricht, Schwierigkeiten in der Beschaffung der Schweißeinrichtungen, Bleche usw., ferner auch ein Mangel an geeigneten Lehrkräften. Durch Entgegenkommen der Schweißindustrie und der die Schweißverfahren benutzenden Industrie, durch Wirken der Fachverbände, ferner durch Veranstaltung von Kursen zur Ausbildung von Lehrkräften wird sich allmählich Abhilfe schaffen lassen. Besonders wichtig ist es jedenfalls, sowohl Vortragsunterricht wie praktische Übungen an den Schulen abzuhalten und die dafür notwendige Zeit im technologischen Unterricht zur Verfügung zu stellen. Mit am weitesten fortgeschritten in dieser Unterrichtserteilung sind wohl

Hamburg und Chemnitz, wo durch die weitgehende Ausgestaltung von Schweißkursen für Ingenieure, Meister und Schweißer sowohl die nötigen Einrichtungen wie geeignete Lehrkräfte zur Verfügung stehen. Neuerdings haben sich auch die technischen Hochschulen Berlin, Aachen und Braunschweig dieses Lehrgebiets angenommen.

Schweißkurse. In richtiger Erkenntnis der außerordentlichen Bedeutung, die die möglichst weitgehende Verbreitung der grundlegenden Kenntnisse über die neueren Schweißverfahren in allen in Betracht kommenden technischen Kreisen für gute Schweißungen sowohl, wie für die Verbesserung und Weiterausbildung dieser Verfahren hat, sind bereits vor dem Weltkriege an verschiedenen Stellen Vortragskurse und auch praktische Übungen eingerichtet worden. So hat sich z. B. Ingenieur Th. Kautny durch Abhaltung von Kursen an der Kölner Maschinenbauschule nach dieser Richtung hin betätigt, und auch in Hamburg fanden schon seit 1910 an den dortigen Technischen Staatslehranstalten Kurse für autogene Metallbearbeitung statt. Nach dem Krieg hat sich — es soll hier nur von deutschen Arbeiten auf diesem Gebiet die Rede sein — insbesondere der Verband für autogene Metallbearbeitung solcher Kurse wie auch der Weitervervollkommnung der neueren Schweißverfahren angenommen. Die Ortsgruppe Groß-Hamburg des Verbandes veranlaßte die Weiterausgestaltung der jetzt im Rahmen des technischen Vorlesungswesens zu Hamburg stattfindenden „Kurse für Schmelzschweißung“, in denen in getrennten Kursen sowohl das autogene wie das elektrische Schweißen behandelt werden. Im Dezember 1922 hat sodann die neugegründete Ortsgruppe Chemnitz desselben Verbandes in den Räumen der Staatlichen Gewerbeakademie den ersten Kursus für autogene Metallbearbeitung zu Ende geführt, dem wie in Hamburg in regelmäßigen Zeitabständen weitere Kurse, seit 1923 auch Kurse über elektrisches Schweißen, angeschlossen wurden. Ferner hat z. B. die Reichsbahnverwaltung auf der Hauptwerkstatt Magdeburg-Buckau eine Schweißschule für Kupferschweißung eingerichtet — in Erkenntnis der großen Vorteile der Ausbesserung kupferner Lokomotivfeuerbüchsen mit Hilfe des autogenen Schweißens — und hat weiter Ausbildungskurse für Schweißer bei mehreren anderen Werkstätten durchgeführt. Auch an anderen Stellen, z. B. Gleiwitz, Beuthen, Magdeburg, Erfurt, Köln, Aachen, Essen, Berlin, sind Einzelschweißkurse veranstaltet oder dauernde Kurse eingerichtet worden.

Das Interesse der Industrie und der Fachkreise für diese Schweißkurse ist ein außerordentlich großes. Teils werden Ingenieure, Meister und Schweißer auf Kosten der Werke von diesen zu den Kursen geschickt, teils kommen sie in großer Anzahl privatim und bestreiten selbst die Teilnehmergebühren. Vorläufig nehmen wohl an den meisten Stellen Ingenieure, Meister und Schweißer gemeinsam an ein und demselben Kursus teil. An verschiedenen Orten ist aber für später eine Trennung in Ingenieure und Meister einerseits und Schweißer andererseits geplant, um den doch verschieden gerichteten Bedürfnissen dieser Gruppen besser gerecht werden zu können. Bei Ingenieuren wird man wohl mehr den theoretischen und wirtschaftlichen Teil, bei Schweißern mehr die praktischen Übungen in den Vordergrund zu stellen haben, ohne etwa deshalb das andere zu vernachlässigen. Auch Sonderkurse, z. B. für Kupfer-, Messing- und Aluminiumschweißung allein, kommen an manchen Stellen in Frage.

Über die Durchführung der Kurse im einzelnen dürfte noch folgendes von Interesse sein, wobei insbesondere auf die Hamburger und Chemnitzer Verhältnisse Bezug genommen ist: Der Kursus wird eingeleitet mit Vorträgen über die

wichtigsten Metalle und ihre Legierungen, die Schweißverfahren im allgemeinen und die Einzelheiten der autogenen, bzw. elektrischen Schweißverfahren im besonderen. Bei den Elektrokursen werden die Grundbegriffe und Grundgesetze der Elektrotechnik, das Wesen der Widerstands- und Lichtbogenschweißung und die Schweißeinrichtungen im einzelnen behandelt. Es folgen, entweder gleich anschließend oder zwischen die praktischen Übungen eingestreut, Vorträge über die Anwendungsgebiete der Schweißverfahren, über die Untersuchung der Schweißnähte u. a. m. Während zu den Vorträgen je nach den örtlichen Verhältnissen eine verschieden große Zuhörerzahl zugelassen werden kann, müssen die praktischen Übungen unbedingt in kleineren Gruppen von je etwa 12 bis 16 Teilnehmern abgehalten werden (bei mehreren verfügbaren Schweißstellen), damit die einzelnen Teilnehmer auch mit der Handhabung der Geräte und dem Schweißen selbst genügend vertraut gemacht werden können. Praktisch geübt wird zunächst an Schmiedeeisen- und Stahlblechen und Stücken, und zwar dies, als das Wichtigste, besonders eingehend. Später folgt das Schweißen von Gußeisen, Temperguß, beim Autogenkursus auch das Schweißen von Kupfer, Messing, Aluminium usw. und auch eine kurze Einführung in das autogene Schneiden. Vorbedingung für das Gelingen der Kurse ist zunächst das Vorhandensein geeigneter Lehrkräfte, die den theoretischen und praktischen Teil voll beherrschen, sowie tüchtiger Schweißmeister zur Einzelanleitung der Teilnehmer bei den praktischen Übungen unter Aufsicht einer praktisch erfahrenen Lehrkraft. Eine weitere unter den heutigen Verhältnissen unerläßliche Vorbedingung ist die tatkräftige Unterstützung der Schweißkurse durch die Industrie, damit genügendes Anschauungsmaterial sowohl wie auch hinreichende praktische Lehrmittel in Gestalt von Schweißapparaten usw. zur Verfügung stehen. Dank einer solch weitgehenden Unterstützung, insbesondere durch die Fabriken für Azetylenapparate, Schweißbrenner, elektrische Schweißmaschinen, Karbid- und Sauerstofferzeugung ist es z. B. in Chemnitz gelungen, die Schweißkurse in einigen Monaten ins Leben zu rufen und lebensfähig zu gestalten, wobei der Beitrag der Teilnehmer verhältnismäßig niedrig gehalten werden konnte. Die Zeitdauer der Kurse ist an den einzelnen Orten verschieden. Manchmal finden Tageskurse, gleich mehrere Tage hintereinander, statt, um den ganzen Kursus zusammenhängend zu erledigen. In Hamburg und Chemnitz wird an einem oder mehreren Wochenabenden von etwa 6¹/₂ bis 9 Uhr vorgetragen bzw. geübt, und zwar sind etwa 6 bis 7 Vortragsabende und 6 bis 8 Übungsabende vorgesehen. Auf diese Weise dürfte es den Teilnehmern am leichtesten möglich sein, neben ihrer Werktagsarbeit an einem solchen Kursus teilzunehmen. Es soll noch besonders betont werden, daß natürlich die Teilnahme an diesen Kursen nicht genügt, um aus einem unerfahrenen Mann einen erfahrenen Schweißer zu machen; dazu gehört monatelange, ja, man kann sogar sagen, jahrelange Übung. Wohl aber ist es auf diese Weise möglich, dem angehenden Schweißer die Grundlagen der Verfahren einzuhämmern und ihn in der sicheren und richtigen Bedienung der Apparatur auszubilden und ferner dem schon geübteren Schweißer weitergehende Kenntnisse zur Ausführung schwierigerer Schweißungen zu vermitteln.

Schweißerhandwerk. Nach den Vereinbarungen der Gruppe Personalangelegenheiten des Fachausschusses für Schweißtechnik im Verein deutscher Ingenieure und des Ausschusses zur Hebung des Schweißerhandwerks im Verband für autogene Metallbearbeitung ist für die Ausbildung des Schweißerhandwerks im Wege freien Zusammenschlusses die Durchführung von Schweißerprüfungen anzubahnen; hierüber soll dann ein besonderes Zeugnis ausgefertigt werden, welches die in Betracht kommenden Verbände anerkennen. Zur Weiterbildung der Schweißer sind zunächst die vorhandenen Kurse zu benutzen

und unter Umständen zu erweitern. In Zukunft ist eine einheitliche Lehrlingsausbildung anzustreben, die durch eine Gesellenprüfung abzuschließen ist. Um für die Unterweisung der durch Kurse Auszubildenden wie der Lehrlinge genügend Lehrkräfte zu erhalten, muß auf die Ausbildung von Ingenieuren und Lehrmeistern besonders Wert gelegt und zu diesem Zweck wiederum der schweißtechnische Unterricht an technischen Lehranstalten unterstützt werden; hierbei ist auch zu verlangen, daß schon bei der praktischen Tätigkeit des angehenden Ingenieurs die neueren Schweißverfahren (insbesondere die Schmelzschweißung) nicht vernachlässigt werden.

Nachtrag

zum Abschnitt Wechselstrom-Schweißtransformatoren (S. 101).

Während der Drucklegung dieses Buches erscheint ein neuer Drehstromschweißapparat auf dem Markte, dessen hervorragenden Eigenschaften eine Umwälzung auf dem Gebiete der Wechselstromschweißung zur Folge haben dürften. Es handelt sich um das von der Firma Heemaf, Hengelo in Holland gebaute sog. Schweißrad. In einem starkwandigen, gußeisernen und tropfwasserdichten Gehäuse, das die Form eines großen Rades von etwa 700 mm Durchmesser hat und deshalb leicht transportiert werden kann, ist ein Drehstromtransformator untergebracht, dessen Anschluß durch einen dreipoligen Steckkontakt hergestellt wird. Der Apparat unterscheidet sich von dem in Abb. 124 gezeigten Transformator im wesentlichen dadurch, daß nicht Einphasenwechselstrom, sondern auch auf der Schweißseite (Sekundärstromkreis) dauernd Drehstrom entnommen wird. Es kommt demnach eine gleichmäßige Belastung aller drei Netzphasen und nicht nur zweier Phasen in Betracht. Das Schema der Schweiß-

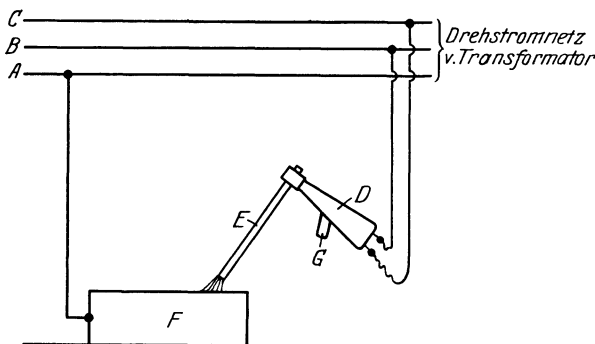


Abb. 253.

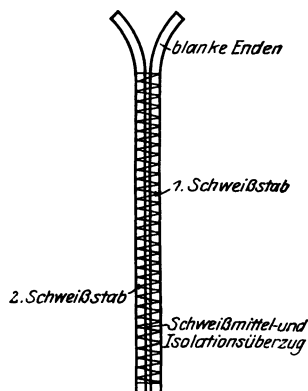


Abb. 254.

einrichtung zeigt Abb. 253. Die eine Netzphase (A) wird an das Werkstück F angeschlossen, während die beiden anderen Phasen B und C an die Doppel­elektrode E geführt werden. Ein in den Transformator eingebauter Umschalter, sowie verschiedene Anschlußmöglichkeiten der Schweißkabel gestatten eine Einstellung des Apparats auf 8 Stromstärken. Ein- und Ausschalten geschieht durch einen Hebelschalter.

Die beiden Schweißstäbe Abb. 254 sind zu einer Doppel­elektrode vereinigt (Patent), so daß nicht zwei besondere Einphasenlichtbögen, sondern nur ein Dreh-

strombogen gebildet wird. Die Enden der beiden Schweißstäbe sind, wie Abb. 254 zeigt, oben V-förmig abgebogen und werden an dieser Stelle in den Schweißkolben *D* (Abb. 253) eingespannt. Die Stromzuleitung geschieht natürlich gut isoliert. Die Isolation der beiden Parallelstäbe unter sich erfolgt durch einen gleichzeitig als Schweißmittel dienenden Überzug. Genaue Messungen an den drei Netzphasen während des Schweißens ergaben 20, 19,2 und 20,8 A bei 6240 W und 220 V Klemmenspannung. Demnach beträgt die Abweichung vom Mittelwert 4%; die drei Phasen sind praktisch gleichmäßig belastet. Dabei ergibt sich ein von keiner anderen Schweißmaschine erreichter Leistungsfaktor von 0,70–0,85 und ein Wirkungsgrad von 94 %. Ein großer Vorteil ist ferner die sehr geringe Leerlaufspannung von 35 V, die bei allen bisher bekannten Transformatoren wesentlich höher liegt.

Das Schweißen mit dem Drehstromlichtbogen ist wesentlich einfacher als mit dem Einphasenwechselstrombogen, da der Bogen selten abreißt und beim Abheben vom Werkstück meistens zwischen den beiden Stabenden der Doppelelektrode weiterbrennt (ähnlich dem Zerenerschen Lichtbogen). Bei Arbeitsunterbrechungen muß deshalb der Bogen jedesmal durch Ausschalten des Stromes verlöscht werden, was durch einen am Schweißkolben *D* angeordneten Druckschalter *G* (Abb. 253) geschieht. Durch das Vorhandensein zweier Schweißstäbe und eines größeren Flammenvolumens werden entsprechend größere Eisenmengen je Zeiteinheit niedergeschmolzen, als dies beim Wechselstromschweißen zutrifft. Die Schweißarbeit läßt sich demnach rascher durchführen. Doch wird in manchen Fällen die damit bedingte bedeutende Wärmezufuhr zum Werkstück nicht als günstig betrachtet werden können, da man auf den Hauptvorzug der Lichtbogenschweißung, auf geringe Wärmeableitung an den Werkstoff, verzichten muß.

Zum Abschnitt Elektrisches Schneiden (S. 193).

Eine weitere Neuerung, die eben die Öffentlichkeit beschäftigt, erstreckt sich auf das Schneiden von Metallen auf elektromechanischem Wege. Die als prak-

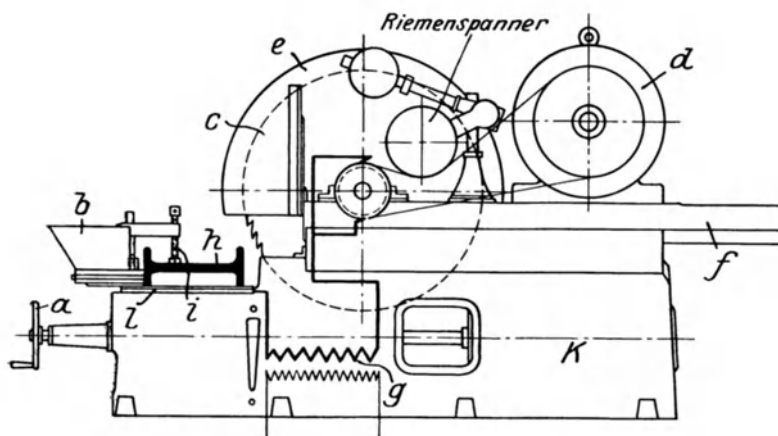


Abb. 255.

tische Maschine ausgebaute Konstruktion stammt von der Elektrotrennmaschinen-gesellschaft in Hamburg. Die Wirkungsweise der in Abb. 255 schematisch und roh skizzierten Trennmaschine ist kurz folgende: Eine 5–8 mm starke Stahl-

scheibe von 1100 mm Außendurchmesser trägt etwas größere Zähne, als sie im allgemeinen für Kalt- und Warmsägescheiben üblich sind. Die Maschine macht äußerlich und oberflächlich betrachtet den Eindruck einer Marssäge. Die Schneidscheibe *c* wird durch einen 30-PS-Elektromotor *d* mit Riemenübersetzung angetrieben und hat eine Umfangsgeschwindigkeit von etwa 120 m je Sekunde. Der Motor *d* ist auf dem Schlitten *f* angeordnet, der sich mittels des Handrades *a* leicht auf dem Maschinengestell *k* hin und herschieben und über das bei *i* eingespannte Werkstück *h* hinwegführen läßt. Der Schneidstrom wird zur Zeit durch einen Transformator *g* von 35 kW mittlerer Leistung, der unten im Maschinengestell untergebracht ist, als Wechselstrom zugeführt, und zwar einerseits zur gut isolierten Scheibenwelle (durch Schleifbürsten) und anderseits zum Werkstück durch Kabel und in den Werkstisch (Aufspannplatte) eingelassene Kupferschienen *l*. Die auf volle Drehzahl gebrachte Scheibe wird leicht an das Werkstück geschoben, wobei an der Berührungsstelle zwischen ihr und diesem eine starke Lichtbogenflamme entsteht und, trotz der geringen Spannung von höchstens 15 V, dauernd erhalten bleibt.

Der Schnitt ist sauber und scharf, und das benachbarte Material wird nur auf etwa 0,1 mm Tiefe leicht ausgeglüht. Neben Schmiedeeisen und Stahl lassen sich auch Bronze und Gußeisen schneiden; im letzteren Falle stört allerdings die Verschmutzung der Kreissägenscheibe durch Abbrände. Die Abnutzung der Scheibe ist im allgemeinen geringer als jene der Kalt- und Warmsägen, da die Scheibe während der Dauer der Schneidarbeit auch bei Vollbelastung kalt bleibt.

Versuche von Zimm ergaben eine Schnittzeit von 47 s je Meter Schnittlänge an einem 20-mm-Blech, gegenüber 300 s beim Autogenschneiden. Der Stromverbrauch betrug hierbei 0,9 kWh. Bei einem Preise von 10 Pf. für 1 kWh wären dies 9 Pf. Stromkosten gegenüber etwa 26 Pf. Gaskosten beim autogenen Schneiden. Auch unter Berücksichtigung der Kapitalkosten erscheint hiernach das Elektrotrennschneiden wirtschaftlich sehr günstig und dürfte berufen sein, verschiedene ortsfeste Schneideinrichtungen zu ersetzen.

Sachverzeichnis.

Abschmelzschweißung 15, 49.
 Äußeres der Schweißumformer 101.
 Aluminium 23.
 Aluminiumschweißung 46, 163.
 Ampere 8.
 Ankerrückwirkung 94.
 Anschlußfedern 29.
 Anzapfregulierung 97.
 Arten der Schweißverfahren 1, 2.
 Aussehen der Schweißnaht 121.
 Aureole des Lichtbogens 76, 80.
 Autogenes Schneiden 6.
 Autogenes Schweißen 4, 6.
 Ayrton'sche Gleichung 79, 85.
 Azetylschweißung 5, 6.
 Begriff des Schweißens 1.
 Benardosverfahren 16.
 Benzolschweißung 5, 6.
 Blanke Elektroden 111.
 Blechschweißung 126.
 Blei 23.
 Bleischweißung 164.
 Bronze 22.
 Bronzeschweißung 46, 163.
 Charakteristik des Lichtbogens 78.
 Chemische Untersuchungen der Schweißnaht 183.
 Dampfkesselschweißung 139.
 Dauerversuche 170.
 Drehstrom 11.
 Drehstromschweißapparat 199.
 Dreieckschaltung 99.
 Dreiphasiger Anschluß von Transformatoren 99.
 Duddell'sche Schaltung 84.
 Duraluminium 23.
 Dynamische Charakteristik 83.
 Dynamomaschine 11.

Edelstahlauflaufschweißmaschine 56.
 Eigenerrregung 12, 92, 95.
 Einheitsgewichte der Metalle 19.
 Einspannlängen 44.
 Einspannvorrichtungen 35.
 Eisen 18, 19.
 Eisenbahngeleiseschweißung 139.
 Eisenblechschweißung 126.
 Elektrische Grundlagen 8.
 Elektrische Maßeinheiten 8.
 Elektrisches Löten 166.
 Elektrisches Schneiden 193, 201.
 Elektroden 111.
 Elektrodenformen 60, 71.
 Elektroesse 50.
 Elektrolyse 17, 164.
 Elektrolytkupfer 22.
 Elektronen 77.
 Elektrotrennmaschine 200.
 Erwärmungsmaschine 50.
 Farbe der Metalle 18.
 Festigkeitsuntersuchungen der Schweißnaht 168.
 Feuerschweißung 2.
 Flammenführung 118.
 Flüssiggasschweißung 5, 6.
 Flußeisen, Flußstahl 20.
 Förderung des Schweißens 195.
 Formkohlen 156.
 Fremderregung 12, 91, 94.
 Frequenz 11.
 Gasschmelzschweißung 4.
 Gegenverbundwicklung 91.
 Generator 11.
 Geschlossene Längen 43.
 Gewicht der Metalle 18.
 Gießschweißung 2.
 Gleichrichter 96.
 Gleichstrom 11.
 Gleichstromschweißumformer 90.
 Graphit (im Gußeisen) 21.
 Güte der Schweißnaht 167.
 Gußeisen 21.

Gußeisenkaltschweißung 143.
 Gußeisenwarmschweißung 151.
 Gußspannungen 22.
 Härteprüfung 170.
 Halbwarmschweißung 162.
 Hammerschweißung 2.
 Handwerk des Schweißers 197.
 Hartguß 21.
 Hartlöten 166.
 Hauptstrommaschine 12.
 Hochfrequenzstrom 84.
 Hoho 17.
 Hüttenkupfer 22.
 Hysteresis 83.
 Ion 77.
 Joulesches Gesetz 10.
 Kabel 106.
 Kaltschweißung 143.
 Kehlschweißung 123.
 Kennlinie (des Lichtbogens) 78.
 Kerbschlagversuch 169.
 Kettenschweißmaschinen 32.
 Kilowattstunde 9.
 Klemmbacken 35.
 Klemmen 107.
 Kohlenelektroden 111.
 Kolben 107.
 Compoundmaschine 12.
 Konstruktionsschweißungen 124, 131.
 Kosten des elektrischen Schweißens 186.
 Krater des Lichtbogens 76.
 Kühlung (Stumpfschweißung) 36.
 Kupfer 22.
 Kupferschweißung 46, 163.
 Kurse 196.
 Längsnahtschweißmaschinen 68.
 Lagrange 17.

Leistung (elektrische) 13, 14.
 Leistungen der elektrischen Schweißverfahren 186.
 Leistungsfaktor 14.
 Leitfähigkeit 11.
 Leitungswiderstand 9.
 Leuchtgasschweißung 5, 6.
 Lichtbogen 75.
 Lichtbogenschweißverfahren 16, 75.
 Lichtschutz 109.
 Löten (elektrisch) 166.
 LötKolben 166.
 Lötmaschinen 167.

Mangan (im Eisen) 21.
 Maßeinheiten, elektrische 8.
 Mehrfachschweißumformer 103.
 Meßeinrichtungen, elektrische 105.
 Messingschweißung 46, 163.
 Metallelektroden 111.
 Metallographische Untersuchungen 177.

Nachwärmung 159.
 Nackte Elektroden 111.
 Nahtschweißung 15, 64.
 Nebenschlußmaschine 12.
 Netzstromschweißung 88.
 Nieterschweißmaschine 52.
 Nichteisenmetallschweißung 162.

Ohm 8.
 Oxydationswirkungen 119.

Parallelschweißverfahren 41.
 Phasenverschiebung 11.
 Phosphor (im Eisen) 21.
 Phosphorbronze 22.
 Preßschweißung 1.
 Prüfung der Schweißnähte 167.
 Punktschweißung 15, 52.

Quecksilberdampfgleichrichter 96.

Regulierung der Schweißumformer 105.
 — der Stumpfschweißmaschine 26.

Reparaturschweißungen 126, 140.

Rißschweißungen 142.
 Roheisen 18.
 Rohrschweißung 134.

Rollenschrittschweißung 66, 68.
 Rotguß 23.

Sauerstoff 5.
 Sauerstoffaufnahme beim Schweißen 119.
 Scheinleistung 14.
 Schienenschweißung 136.
 Schlagbiegeversuch 169.
 Schlagzerreißversuch 170.
 Schmelzpunkte der Metalle 19.

Schmelzschweißung 1.
 Schmiedbarer Guß 20.
 Schmiedeeisen 19.
 Schneiden, elektrisches 193, 200.
 Schrittschweißung 66.
 Schwarzherzguß 20.
 Schwefel (im Eisen) 21.
 Schutzkappe 110.
 Schutzschild 109.
 Schweißdraht 4, 111.
 Schweißdruck 62.
 Schweißelektroden 111.
 Schweißerhandwerk 197.
 Schweißkabel 106.
 Schweißklemme 109.
 Schweißkolben 107.
 Schweißkurse 196.
 Schweißlagen 129.
 Schweißpulver 4.
 Schweißrad 199.
 Schweißumformer 90.
 Schweißwerkstatt 114.
 Schweißzubehör 105.
 Scottsche Schaltung 100.
 Selbsterregung 12, 92, 95.
 Selbstinduktion 13.
 Siederohrschweißung 135.
 Silizium (im Eisen) 21.
 Slavjanoffverfahren 16.
 Spannungen 130.
 Spezifische Gewichte 19.
 Stahl 19.
 Stahlguß 20.
 Stahlstumpfschweißung 45.
 Statische Charakteristik 83.
 Stauchdruck 32.
 Sternschaltung 100.
 Stickstoffaufnahme beim Schweißen 119.

Streuung 97.
 Stromstoßautomat 89.
 Stumpfschweißung 14, 24, 123.

Technik der Gußschweißung 146.
 — der Lichtbogenschweißung 115.

Technik der Nahtschweißung 70.
 — der Punktschweißung 57.
 — der Stumpfschweißung 39.

Temperguß 20.
 Thermit 2.
 Thermiterschweißung 2.
 Tombak 22.
 Transformator 12, 97.
 Trennmaschine 200.

Überkopfschweißung 117.
 Überlappte Schweißung 123.
 Übersetzungsverhältnis (beim Transformator) 13.
 Umhüllte Elektroden 112.
 Ummantelte Elektroden 112.
 Universalmaschinen 34, 74.
 Unterricht 195.
 Untersuchung der Schweißnähte 167.

Verbrannter Guß 21.
 Verbundmaschine 12.
 Vereinigte Maschinen 74.
 Volt 8.
 Vorbereitungsarbeiten 39, 123, 144, 154.
 Vorträge 195.
 Vorwärmung 39, 157.

Wärmeleitvermögen 19.
 Warmerschweißung 151.
 Wassergas 2.
 Wassergasschweißung 2.
 Wasserstoffschweißung 5, 6.
 Watt 9.
 Wechselstrom 11.
 Wechselstromtransformatoren 97.
 Weichlöten 166.
 Werkstatt 114.
 Widerstandsschweißverfahren 14.
 Wirkleistung 14.
 Wirkungsgrad 14.
 Wissenschaftliche Arbeiten 195.

Zangen 107.
 Zenerverfahren 16.
 Zerreißversuche 168.
 Zink 23.
 Zubehör (Lichtbogenschweißung) 105.
 Zusammenfügungsarbeiten 1.

Verlag von Julius Springer in Berlin W 9

Praktisches Handbuch der gesamten Schweißtechnik

Von

Prof. Dr.-Ing. **P. Schimpke**, und Obergeringieur **Hans A. Horn**,
Chemnitz Oberfrohnau i. S.

Erster Band:

Autogene Schweiß- und Schneidtechnik

Mit 111 Abbildungen und 3 Zahlentafeln. (141 S.) 1924.

Gebunden RM 6.90

Inhaltsübersicht:

Einleitung. — Allgemeines über Schweißen und autogene Schweißverfahren. Die sonstigen neueren Schweißverfahren. Überblick über die vollständigen autogenen Schweißeinrichtungen. / Die Einzeleinrichtungen für das autogene Schweißen. — Die zur Erzeugung der Schweißflammen notwendigen Gase. Schweißapparate, Schweißgeräte und deren Behandlung. Das Schweißzubehör. / Die Technik des autogenen Schweißens. — Allgemeines über die Eigenschaften der schweißbaren Metalle. Allgemeines über die Technik des Schweißens. Die Schweißung von Schmiedeeisen und Stahl. Die Schweißung der übrigen Eisensorten. Die Schweißung der Nichteisen-Metalle. / Autogenes Löten. / Die Güte der Schweißnaht. / Leistungen und Kosten der autogenen Schweißverfahren. / Das autogene Schneiden. — Grundsätzliches über das autogene Schneiden. Die autogenen Schneideinrichtungen. Die Technik des autogenen Schneidens. Schnittleistungen. Förderung des autogenen Schweißens und Schneidens.

Die neueren Schweißverfahren. Von Prof. Dr.-Ing. **Paul Schimpke**, Chemnitz. Zweite, verbesserte Auflage. Mit 71 Figuren und 4 Zahlentafeln im Text. (Werkstattdbücher. Herausgegeben von **Eugen Simon**. Heft 13.) (70 S.) 1926. PM 1.50

Das Kupferschweißverfahren, insbesondere bei Lokomotiv-Feuerbüchsen. Eine Anleitung. Von Regierungsbaurat **Adolf Bothe**, Leiter der Betriebsabteilung für Lokomotiven beim Reichsbahn-Ausbesserungswerk Grunewald. Mit 22 Textabbildungen. (62 S.) 1923. RM 2.—

Ⓢ **Das autogene Schweißen und Schneiden mit Sauerstoff.** Handbuch zum Studium, zur Einrichtung und zum Betrieb von Sauerstoff-Metallbearbeitungs-Anlagen. Von Ing. **Felix Kagerer**. Dritte, verbesserte und erweiterte Auflage. Mit 127 Abbildungen und 15 Tabellen. (278 S.) 1923. (Technische Praxis Bd. I.) Pappband gebunden RM 3.—

Ging Ende 1924 von der Waldheim Eberle A.-G. (Wien) in meinen Verlag über.

Die mit Ⓢ bezeichneten Werke sind im Verlag von Julius Springer in Wien erschienen.

Lehrgang der Härtetechnik. Von Studienrat Dipl.-Ing. **Joh. Schiefer** und Fachlehrer **E. Grün**. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 192 Textfiguren. (226 S.) 1921. RM 5.—; gebunden RM 6.70

Härte-Praxis. Von **Carl Scholz**. (42 S.) 1920. RM 1.—

Härten und Vergüten. Von **Eugen Simon**. Erster Teil: Stahl und sein Verhalten. Zweite, verbesserte Auflage. (7.—15. Tausend.) Mit 63 Figuren und 6 Zahlentafeln. (64 S.) Zweiter Teil: Die Praxis der Warmbehandlung. Zweite, verbesserte Auflage. (7.—15. Tausend.) Mit 105 Figuren und 11 Zahlentafeln. (Bildet Heft 7 und 8 der Werkstattbücher. Herausgegeben von **Eugen Simon**.) (64 S.) 1923. Jedes Heft RM 1.50

Brearley-Schäfer, Die Einsatzhärtung von Eisen und Stahl. Berechtigte deutsche Bearbeitung der Schrift „The Case Hardening of Steel“ von **Harry Brearley**, Sheffield. Von Dr.-Ing. **Rudolf Schäfer**. Mit 124 Textabbildungen. (258 S.) 1926. Gebunden RM 19.50

Die Werkzeugstähle und ihre Wärmebehandlung. Berechtigte deutsche Bearbeitung der Schrift „The heat treatment of tool steel“ von **Harry Brearley**, Sheffield. Von Dr.-Ing. **Rudolf Schäfer**. Dritte, verbesserte Auflage. Mit 226 Textabbildungen. (334 S.) 1922. Gebunden RM 12.—

Über Dreharbeit und Werkzeugstähle. Autorisierte deutsche Ausgabe der Schrift: „On the art of cutting metals“ von **Fred. W. Taylor**, Philadelphia. Von Prof. **A. Wallihs**, Aachen. Viertes, unveränderter Abdruck. (5. und 6. Tausend.) Mit 119 Figuren und Tabellen. (243 S.) 1920. Gebunden RM 8.40

Die Konstruktionsstähle und ihre Wärmebehandlung. Von Dr.-Ing. **Rudolf Schäfer**. Mit 205 Textabbildungen und einer Tafel. (378 S.) 1923. Gebunden RM 15.—

Die Edelmstähle. Ihre metallurgischen Grundlagen. Von Dr.-Ing. **F. Rapatz**, Leiter der Versuchsanstalt im Stahlwerk Düsseldorf. Mit 93 Abbildungen. (225 S.) 1925. Gebunden RM 12.—

Die Werkzeuge und Arbeitsverfahren der Pressen. Mit Benutzung des Buches „Punches, dies and tools for manufacturing in presses“ von **Joseph V. Woodworth** von Prof. Dr. techn. **Max Kurrein**, Charlottenburg. Zweite, völlig neubearbeitete Auflage. Mit 1025 Textabbildungen, 49 Tabellen und einer Tafel. Erscheint im Mai 1926.

Schmiedehämmer. Ein Leitfaden für die Konstruktion und den Betrieb. Von Privatdoz. Dr. techn. **Otto Fuchs**, Brünn. Mit 253 Textabbildungen. (158 S.) 1922. RM 6.—

Schmieden und Pressen. Von **P. H. Schweißguth**, Direktor der Teplitzer Eisenwerke. Mit 236 Textabbildungen. (114 S.) 1923. RM 4.—

Spanlose Formung. Schmieden, Stanzen, Pressen, Prägen, Ziehen. Bearbeitet von Dipl.-Ing. **M. Evers**, Dipl.-Ing. **F. Großmann**, Dir. **M. Lebeis**, Dir. Dr.-Ing. **V. Litz**, Dr.-Ing. **A. Peter**. Herausgegeben von Dr.-Ing. **V. Litz**, Betriebsdirektor bei A. Borsig, G. m. b. H., Berlin-Tegel. Mit 163 Textabbildungen und 4 Zahlentafeln. (Schriften der Arbeitsgemeinschaft Deutscher Betriebsingenieure, Band IV.) Erscheint im Mai 1926.

Spanabhebende Werkzeuge für die Metallbearbeitung und ihre Hilfseinrichtungen. Bearbeitet von zahlreichen Fachleuten. Herausgegeben von Dr.-Ing. e. h. **J. Reindl**, Techn. Direktor der Schuchardt & Schütte A.-G. Mit 574 Textabbildungen und 7 Zahlentafeln. (Schriften der Arbeitsgemeinschaft Deutscher Betriebsingenieure, Band III.) (466 S.) 1925. Gebunden RM 28.50

Moderne Metallkunde in Theorie und Praxis. Von Oberingenieur **J. Czochralski**. Mit 298 Textabbildungen. (305 S.) 1924. Gebunden RM 12.—

Die Edelmetalle. Eine Übersicht über ihre Gewinnung, Rückgewinnung und Scheidung. Von **Wilhelm Laatsch**, Hütteningenieur. Mit 53 Textabbildungen und 10 Tafeln. (97 S.) 1925. RM 6.—; gebunden RM 7.50

Lagermetalle und ihre technologische Bewertung. Ein Hand- und Hilfsbuch für den Betriebs-, Konstruktions- und Materialprüfungsingenieur. Von Oberingenieur **J. Czochralski** und Dr.-Ing. **G. Welter**. Zweite, verbesserte Auflage. Mit 135 Textabbildungen. (123 S.) 1924. Gebunden RM 4.50

Die Verfestigung der Metalle durch mechanische Beanspruchung. Die bestehenden Hypothesen und ihre Diskussion. Von Prof. Dr. **H. W. Fraenkel**, Frankfurt a. M. Mit 9 Textfiguren und 2 Tafeln. (51 S.) 1920. RM 1.80

Handbuch der Eisen- und Stahlgießerei. Unter Mitarbeit von zahlreichen Fachleuten herausgegeben von Dr.-Ing. C. Geiger, Düsseldorf.

Erster Band: **Grundlagen.** Zweite, erweiterte Auflage. Mit 278 Abbildungen im Text und auf 11 Tafeln. (671 S.) 1925. Gebunden RM 49.50

Zweiter Band: **Die Formerei.** Von Gießereidirektor a. D. Carl Irresberger. Zweite, umgearbeitete und erweiterte Auflage. Mit etwa 800 Textabbildungen. Erscheint im Herbst 1926.

Das Gußeisen. Seine Herstellung, Zusammensetzung, Eigenschaften und Verwendung. Von Joh. Mehrrens. Mit 15 Textfiguren. (Werkstattbücher. Herausgegeben von Eugen Simon. Heft 19.) (66 S.) 1925. RM 1.50

Die Formstoffe der Eisen- und Stahlgießerei. Ihr Wesen, ihre Prüfung und Aufbereitung. Von Carl Irresberger. Mit 241 Textabbildungen. (250 S.) 1920. RM 10.—

Kupolofenbetrieb. Von Carl Irresberger. Zweite, verbesserte Auflage. (5. bis 10. Tausend.) Mit 63 Figuren und 5 Zahlentafeln. (Werkstattbücher. Herausgegeben von Eugen Simon. Heft 10.) (55 S.) 1923. RM 1.50

Die Herstellung des Tempergusses und die Theorie des Glühfrischens nebst Abriß über die Anlage von Tempergießereien. Handbuch für den Praktiker und Studierenden. Von Dr.-Ing. Engelbert Leber. Mit 213 Abbildungen im Text und auf 13 Tafeln. (320 S.) 1919. RM 16.—; gebunden RM 18.—

Leitfaden für Gießereilaboratorien. Von Geh. Bergrat Prof. Dr.-Ing. e. h. Bernhard Osann, Clausthal. Zweite, erweiterte Auflage. Mit 12 Abbildungen im Text. (66 S.) 1924. RM 2.70

Die Praxis des Eisenhüttenchemikers. Anleitung zur chemischen Untersuchung des Eisens und der Eisenerze. Von Prof. Dr. Carl Krug, Berlin. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 29 Textabbildungen. (208 S.) 1923. RM 6.—; gebunden RM 7.—

Die Theorie der Eisen-Kohlenstoff-Legierungen. Studien über das Erstarrungs- und Umwandlungsschaubild nebst einem Anhang: Kaltrecken und Glühen nach dem Kaltrecken. Von E. Heyn, weiland Direktor des Kaiser-Wilhelm-Instituts für Metallforschung. Herausgegeben von Prof. Dipl.-Ing. E. Wetzel. Mit 103 Textabbildungen und XVI Tafeln. (193 S.) 1924. Gebunden RM 12.—