

**WERKSTATTBÜCHER**

**HERAUSGEBER EVGEN SIMON**

**HEFT 13**

**PAVL SCHIMPKE**

**DIE NEUEREN  
SCHWEISSVERFAHREN**



**SPRINGER-VERLAG BERLIN HEIDELBERG GMBH**

## Zur Einführung.

Die Werkstattbücher werden das Gesamtgebiet der Werkstattstechnik in kurzen selbständigen Einzeldarstellungen behandeln; anerkannte Fachleute und tüchtige Praktiker bieten hier das Beste aus ihrem Arbeitsfeld, um ihre Fachgenossen schnell und gründlich in die Betriebspraxis einzuführen.

So unentbehrlich für den Betrieb eine gute Organisation ist, so können die höchsten Leistungen doch nur erzielt werden, wenn möglichst viele im Betrieb auch geistig mitarbeiten und die Begabten ihre schöpferische Kraft nutzen. Um ein solches Zusammenarbeiten zu fördern, wendet diese Sammlung sich an alle in der Werkstatt Tätigen, vom vorwärtsstrebenden Arbeiter bis zum Ingenieur.

Die „Werkstattbücher“ werden wissenschaftlich und betriebstechnisch auf der Höhe stehen, dabei aber im besten Sinne gemeinverständlich sein und keine andere technische Schulung voraussetzen als die des praktischen Betriebes.

Indem die Sammlung so den einzelnen zu fördern sucht, wird sie dem Betrieb als Ganzem nutzen und damit auch der deutschen technischen Arbeit im Wettbewerb der Völker.

### Bisher sind erschienen:

Heft 1: Gewindeschneiden. (7.—12. Tausd.)

Von Obering. O. Müller.

Heft 2: Meßtechnik. Zweite, verbesserte Auflage. (7.—14. Tausend.)

Von Professor Dr. techn. M. Kurrein.

Heft 3: Das Anreißen in Maschinenbauwerkstätten. (7.—12. Tausend.)

Von Ing. H. Frangenheim.

Heft 4: Wechselräderberechnung für Drehbänke. (7.—12. Tausend.)

Von Betriebsdirektor G. Knappe.

Heft 5: Das Schleifen der Metalle. Zweite, verbesserte Auflage. (7.—13. Tausend.)

Von Dr.-Ing. B. Buxbaum.

Heft 6: Teilkopfarbeiten. (7.—12. Tausd.)

Von Dr.-Ing. W. Pockrandt.

Heft 7: Härten und Vergüten.

1. Teil: Stahl und sein Verhalten.

Zweite, verbess. Auflage. (7.—14. Tausd.)

Von Dipl.-Ing. Eugen Simon.

Heft 8: Härten und Vergüten.

2. Teil: Praxis der Warmbehandlung.

Zweite, verbess. Auflage. (7.—14. Tausd.)

Von Dipl.-Ing. Eugen Simon.

Heft 9: Rezepte für die Werkstatt. (7.—10. Tausend.)

Von Ing.-Chemiker Hugo Krause.

Heft 10: Kuppelofenbetrieb. Zweite, verbesserte Auflage. (5.—10. Tausend.)

Von Gießereidir. C. Irresberger.

Heft 11: Freiformschmiede.

1. Teil: Technologie des Schmiedens. — Rohstoffe der Schmiede.

Von Direktor P. H. Schweißguth.

Heft 12: Freiformschmiede.

2. Teil: Einrichtungen und Werkzeuge der Schmiede.

Von Direktor P. H. Schweißguth.

Heft 13: Die neueren Schweißverfahren.

Zweite, verbesserte u. vermehrte Auflage.

Von Prof. Dr.-Ing. P. Schimpke.

Heft 14: Modelltischlerei.

1. Teil: Allgemeines. Einfachere Modelle.

Von R. Löwer.

Heft 15: Bohren.

Von Ing. J. Dinnebier.

Heft 16: Reiben und Senken.

Von Ing. J. Dinnebier.

Heft 17: Modelltischlerei.

2. Teil: Beispiele von Modellen und Schablonen zum Formen.

Von R. Löwer.

Heft 18: Technische Winkelmessungen.

Von Prof. Dr. G. Berndt.

Heft 19: Das Gußeisen.

Von Ing. Johann Mehrrens.

Heft 20: Festigkeit und Formänderung.

Von Studienrat Dipl.-Ing. K. Winkel.

Heft 21: Einrichten von Automaten.

1. Teil: Die Automaten System Spencer und Brown & Sharpe.

Von Ing. Karl Sachse.

Heft 22: Die Fräser.

Von Ing. Paul Zieting.

Heft 23: Einrichten von Automaten.

2. Teil: Die Automaten System Gridley (Einspindel) u. Cleveland und die Offenbacher Automaten.

Von Ph. Kelle, E. Gothe, A. Kreil.

Heft 24: Der Stahl- und Temperguß.

Von Prof. Dr. Erdmann Kothny.

Heft 25: Die Ziehtchnik in der Blechbearbeitung.

Von Dr.-Ing. W. Sellin.

Aufstellung der in Vorbereitung befindlichen Hefte s. 3. Umschlagseite.

Jedes Heft 48—64 Seiten stark, mit zahlreichen Textfiguren.

**WERKSTATTBÜCHER**  
**FÜR BETRIEBSBEAMTE, VOR- UND FACHARBEITER**  
**HERAUSGEGEBEN VON EUGEN SIMON, BERLIN**

HEFT 13

# Die neueren Schweißverfahren

von

**Dr.-Ing. Paul Schimpke**

Professor an der Staatl. Gewerbeakademie, Chemnitz

Zweite, verbesserte und vermehrte Auflage

Mit 71 Figuren und  
4 Zahlentafeln im Text



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

1926

# Inhaltsverzeichnis.

Seite

I.	Einleitung . . . . .	3
II.	Die neueren Schweißverfahren und ihre Schweißeinrichtungen . . . . .	5
	A. Die Wassergasschweißung . . . . .	5
	B. Die Thermiterschweißung . . . . .	7
	C. Die elektrischen Schweißverfahren . . . . .	8
	1. Die Lichtbogenschweißverfahren . . . . .	8
	2. Die Widerstandsschweißverfahren . . . . .	16
	D. Die Gasschmelzschweißung (autogene Schweißung) . . . . .	22
	1. Das Wasserstoff-Sauerstoff-Schweißverfahren . . . . .	23
	2. Das Azetylen-Sauerstoff-Schweißverfahren . . . . .	26
	3. Das Benzol-Schweißverfahren . . . . .	32
	4. Das Leuchtgas- und das Blaugas-Schweißverfahren . . . . .	33
	5. Das Schweißzubehör . . . . .	33
	6. Behandlung und Handhabung der Autogenapparate und Werkzeuge . . . . .	34
III.	Die Technik der neueren Schweißverfahren . . . . .	35
	A. Blech- und Hohlkörperschweißungen . . . . .	36
	B. Eisenkonstruktionsschweißungen . . . . .	40
	C. Stumpfschweißungen . . . . .	41
	D. Schienenschweißungen . . . . .	45
	E. Reparaturschweißungen . . . . .	46
	Schweißung von Schmiedeeisen usw. S. 46. — Gußeisenschweißung S. 47.	
	F. Schweißen der Nichtisenmetalle (Kupfer, Messing, Aluminium, Nickel usw.) . . . . .	53
IV.	Güte der Schweißnaht . . . . .	54
	A. Festigkeitsuntersuchungen . . . . .	54
	B. Metallographische Untersuchungen . . . . .	57
	C. Chemische Untersuchungen . . . . .	58
V.	Leistungen und Kosten der neueren Schweißverfahren . . . . .	58
	A. Blechschweißungen . . . . .	58
	B. Eisenkonstruktionsschweißungen . . . . .	61
	C. Stumpfschweißungen . . . . .	62
	D. Schienenschweißungen . . . . .	63
	E. Reparaturschweißungen . . . . .	63
VI.	Vergleich der Schweißverfahren . . . . .	64
VII.	Das autogene Schneiden . . . . .	64
	Schneidbrenner S. 65. — Schneidmaschinen S. 66. — Anwendungsgebiete und Technik des Schneidens S. 68. — Schnittleistungen S. 69 u. 70.	

## Zeichen und Abkürzungen.

Fig. = Figur	÷ = bis	mm = Millimeter	t = Tonne
z. B. = zum Beispiel	° = Grad Celsius	m = Meter	V = Volt
usw. = und so weiter	WE = Wärmeeinheit	m <sup>3</sup> = Kubikmeter	A = Ampere
d. h. = das heißt	at = Atmosphäre	l = Liter	KW = Kilowatt
bzw. = beziehungsweise	s = Sekunde	kg = Kilogramm	KWst = Kilowattstund
s. = siehe	min = Minute	kg/mm <sup>2</sup> = Kilogramm auf 1 Quadrat-	% = Prozent (vom Hundert)
D.R.P. = Deutsches Reichspatent	st = Stunde	millimeter	

C = Kohlenstoff, Si = Silizium, Mn = Mangan, P = Phosphor, S = Schwefel, H = Wasserstoff, CO = Kohlenoxyd, CO<sub>2</sub> = Kohlensäure, N = Stickstoff.

---

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

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1926  
Ursprünglich erschienen bei Julius Springer, Berlin 1926

ISBN 978-3-662-31414-2      ISBN 978-3-662-31621-4 (eBook)  
DOI 10.1007/978-3-662-31621-4

## I. Einleitung.

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

**Arten der Schweißverfahren.** Unter Benutzung vorstehender Begriffsbestimmung kann man die Schweißverfahren einteilen in:

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

**Schweißbarkeit der Metalle.** Preßschweißbar sind: Schmiedeeisen und Stahl (je geringer der Kohlenstoffgehalt, desto besser schweißbar), ferner Kupfer, Messing (in beschränktem Maße) und Nickel. Flußeisenbleche für hochwertige Schweißkörper sollen nach Diegel folgende chemische Zusammensetzung haben:  $0,06 \div 0,12\%$  C, unter  $0,1\%$  Si,  $0,45 \div 0,8\%$  Mn, unter  $0,05\%$  P und unter  $0,05\%$  S. Jedoch hebt Mn die schädliche Wirkung von Si auf, so daß bei Anwesenheit von  $0,5\%$  Mn noch bis zu  $0,15\%$  Si zulässig sind. Die Zerreißeigenschaft soll  $34 \div 45 \text{ kg/mm}^2$  betragen. Dieses Flußeisen, im Siemens-Martinofen hergestellt, ist dem Schweißisen mindestens gleichwertig.

Schmelzschweißbar sind: Schmiedeeisen und Stahl, Gußeisen, Kupfer, Rotguß, Messing, Bronze, Aluminium und seine Legierungen, Nickel, Blei, Silber, Gold und Platin.

**Schweißpulver** (Schweißmittel, Flußmittel). Die zusammenzuschweißenden Metalloberflächen müssen rein sein, ihre Oxydation (d. h. ihre Verbindung mit dem Sauerstoff der Luft) muß verhindert oder unschädlich gemacht werden. Letzteres erreicht man durch Benutzung von Schweißpulvern, die sich mit dem gebildeten Metalloxyd (d. h. der Metall-Sauerstoff-Verbindung) verbinden und eine flüssige, ausquetschbare Schlacke bilden. Die einfachsten Schweißpulver sind Sand, Borax, gelbes und rotes Blutlaugensalz, Kolophonium. Sie werden oft mit Eisenteilspänen oder Draht gemischt. Die Eisenteilchen haben nur dann Zweck, wenn sie fein verteilt in der Schweißhitze schmelzen und so zur Verbindung der Schweißfläche beitragen. Um dies und eine gleichmäßige Verteilung des Schweißmittels

zu erreichen, verwendet man auch Schweißblätter. Für Kupfer, Aluminium usw. benutzt man Schweißpulver von bestimmter Zusammensetzung, die im Abschnitt „Schweißen der Nichteisenmetalle“ angegeben sind. Schweißeisen braucht wenig oder gar kein Schweißpulver, da sein Schlackengehalt bereits dieselbe Wirkung ausübt.

Ganz verhindern kann man die Oxydation der Metalloberflächen durch Anwendung einer reduzierenden (d. h. Sauerstoff entziehenden) Flamme beim Erhitzen der Schweißstücke. Wenn man z. B. bei der Wassergasschweißung oder bei der Gasschmelzschweißung dem brennbaren Gas (Wasserstoff, Azetylen usw.) weniger Sauerstoff zuführt, als zur vollkommenen Verbrennung notwendig ist, so hat das Brenngas das Bestreben, den Sauerstoff der Luft, der sonst die Oxydbildung herbeiführen würde, an sich zu ziehen. In diesem Fall ist ein Schweißpulver überflüssig und wird höchstens noch als Vorsichtsmaßregel benutzt.

**Koksfeuerschweißung.** Sie findet noch immer ausgedehnte Anwendung bei Schmiedearbeiten <sup>1)</sup>, im besonderen dann noch bei der Herstellung stumpf und überlappt geschweißter Röhren, an deren Stelle heute aber wohl mehr und mehr nahtlos hergestellte treten. Bei Röhren von mehr als 300 mm lichter Weite, bei Kesseln und Behältern ist der Feuerschweißung ein scharfer Wettbewerb in der Wassergasschweißung erwachsen. Die Bleischweißung, auf die ein Hauptteil aller Feuerschweißarbeiten entfällt, wird entweder stumpf oder überlappt oder als Keilschweißung vorgenommen, wie Fig. 1 zeigt. Dabei ist darauf



Fig. 1. Bleischweißung.

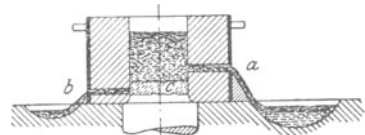


Fig. 2. Anschweißen eines Walzenzapfens.

hinzuweisen, daß die Stumpfschweißung nur für niedrigen Druck zulässig, die Überlapptschweißung andererseits nur bis höchstens 40 mm Blechstärke möglich ist. Für größere Blechstärken, oft aber schon von 20 mm ab, wendet man die Keilschweißung an. Kleine Schmiedestücke werden im Schmiedefeuer, größere in Schweißöfen auf Schweißhitze gebracht. Das Zusammenschweißen erfolgt mit dem Handhammer, dem Dampfhammer oder der Wasserdruck-Presse. Für die Herstellung von Röhren benutzt man Schleppzangenziehbänke und Walzwerke.

**Gußeisenschweißung nach dem Gießverfahren.** In Graugießereien, in denen man ja selbst heißes, flüssiges Eisen zur Verfügung hat, wird das Anschweißen bei Gußstücken durch Angießen meistens noch als das zweckmäßigste Reparaturverfahren betrachtet. An Hand des bekannten Beispiels: Anschweißen eines Walzenzapfens (Fig. 2), sei das Wichtigste zusammengefaßt. Das Gußstück ist an der Bruchstelle von Rost und Verunreinigungen zu befreien und mit Koks oder besser mit Holzkohle anzuwärmen. Nach dem Aufsetzen der Form wird hochoverhitztes Eisen aufgegossen, welches zunächst bei a abfließt. Das Weich- und Flüssigwerden der Bruchfläche kann man bei kleinen Gußstücken mit Hilfe eines sauberen Eisenstabes feststellen. Bei großen Walzen dürfte aber ein zweiter Ablaufkanal b, der großen Hitze wegen, zweckmäßiger und sicherer sein. Durch b wird Eisen abfließen, sobald die obere Schicht c des Zapfenbruchstücks flüssig geworden ist. Nunmehr kann man die Löcher a und b zustopfen und die Form

<sup>1)</sup> Näheres s. die Hefte 11 und 12: Die Freiformschmiede.

vollgießen. Das geschweißte Stück soll schließlich ganz allmählich erkalten. Große Stücke bedeckt man daher mit Sand, kleinere legt man ins Holzkohlenfeuer zurück, das man allmählich ausgehen läßt.

Soll das gebrochene Stück außerhalb der Gießerei angeflickt werden, oder handelt es sich um das Flicken von Rissen oder um die Beseitigung von Schönheitsfehlern an Stahlgußstücken und dergleichen mehr, so finden heute allgemein die neueren Schweißverfahren Verwendung, wie später ausgeführt wird.

## II. Die neueren Schweißverfahren und ihre Schweißeinrichtungen.

### A. Die Wassergasschweißung.

**Erzeugung von Wassergas.** Wenn man durch einen schachtartigen, mit glühenden Kohlen gefüllten Gaserzeuger (Generator) Wasserdampf hindurchbläst, so wird der Wasserdampf zerlegt, und es entsteht Wassergas von der Zusammensetzung:  $49 \div 50\%$  H,  $39 \div 44\%$  CO,  $3 \div 6\%$  CO<sub>2</sub>,  $3 \div 6\%$  N; der Heizwert des Gases, d. h. die bei seiner vollständigen Verbrennung erzeugte Wärmemenge, beträgt etwa 2600 WE auf 1 m<sup>3</sup>. Infolge des Wärmeverbrauchs beim Zersetzen

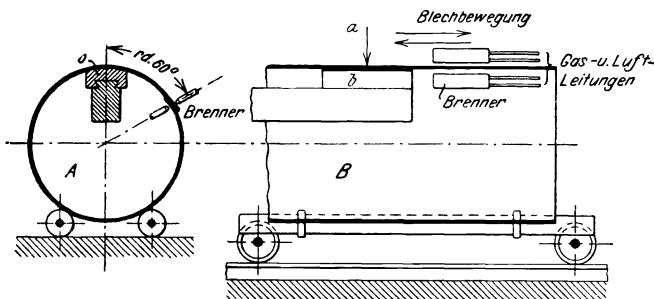


Fig. 3. Wassergas-Schweißstraße.

des Wasserdampfs muß man nach 5–7 min mit der Wassergaserzeugung aufhören und 1–2 min lang durch Luftzuführung die Kohlen wieder auf Weißglut erhitzen. Das hierbei erzeugte, weniger wertvolle Luftgas läßt man bei dem jetzt allgemein gebräuchlichen Dellwik-Fleischer-Verfahren entweichen und erhält somit sehr reines Wassergas.

**Schweißeinrichtungen.** Die Wassergasschweißung hat sich seit Ende der 90er Jahre für die Schweißung größerer Röhren und Blechkörper eingeführt. Sie hat dabei gleichzeitig zur Ausbildung von Schweißmaschinen beigetragen und ist auf dem genannten Sondergebiet wohl allen anderen Verfahren überlegen. Fig. 3 zeigt schematisch eine Wassergas-Schweißstraße. Zwei Brenner, einer außen und einer innen am Blech, erwärmen eine Blechlänge von  $100 \div 300$  mm. Wassergas und etwa die  $2\frac{1}{2}$ -fache Luftmenge werden unter Druck getrennt den Brennern zugeführt, in diesen gemischt, wobei die stärker verdichtete Luft das Gas mitreißt, und verbrennen dann beim Austritt aus einem Düsen-schlitz unter Bildung einer Stichflamme von über  $1800^\circ$ , die reduzierend wirkt. Das erwärmte Blech wird alsdann bei a auf dem Amboß b durch Hand- oder Maschinenhämmer geschweißt. Das Rohr wird jedesmal auf Rollen um  $60^\circ$  gedreht (gegenüber  $180^\circ$  bei der Koksschweißung!), wenn die Brenner in Höhe der Schweißstelle seitlich sitzen (Fig. 3, A), oder auf einem Wagen verschoben, wenn

die Brenner rechts vom Amboß angebracht sind (Fig. 3, B). Schweißmittel brauchen infolge der reduzierenden Flamme nicht benutzt zu werden, doch ist beim Abhämmern der Schweißstelle auf Entfernung des sich dann bildenden Hammerschlages zu achten. Die Vorteile gegenüber der Koksschweißung sind: Schnelleres Arbeiten, günstigeres Erwärmen des Blechs (von zwei Seiten), reduzierende Flamme. Außerdem ist man in der Lage, mit Keilschweißung und Krafthammer bis zu 100 mm starke Bleche zusammenzuschweißen.

Der maschinelle Teil der Schweißstraßen hat mehrfache Verbesserungen erfahren. An die Stelle des Handhammers trat zunächst meistens der Krafthammerbetrieb mit Dampf oder Preßluft als Kraftmittel. Der Hammer wird seitlich verschiebbar eingerichtet, um die ganze angewärmte Schweißnaht ihrer Länge nach abhämmern zu können. Dies erfolgt z. B. durch Anbringen eines fahrbaren Hammerwagens, in dem der Hammer hängt. Der Hammer kann aber auch feststehend gebaut und das Rohr während des Schweißens verschoben werden.

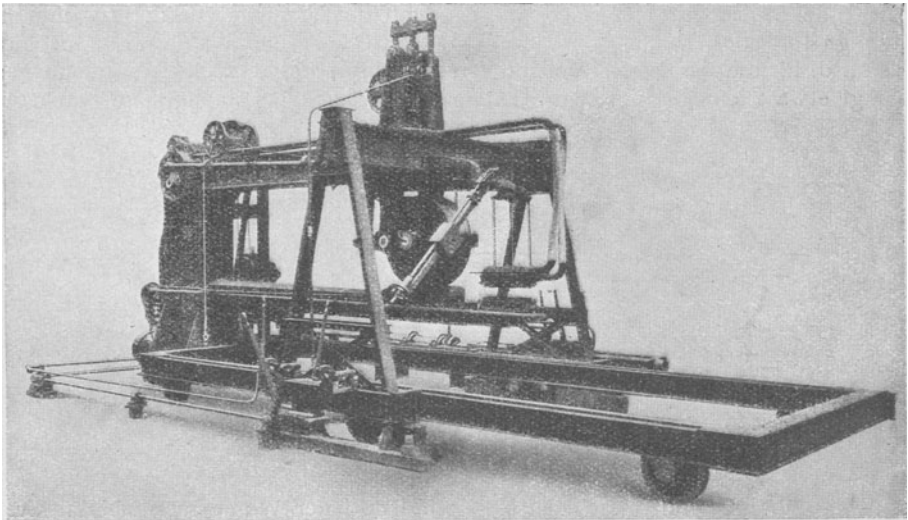


Fig. 4. Wassergas-Rollenschweißmaschine.

An Stelle des Hammers führte Spranger eine hydraulisch (also durch Wasserdruck) angedrückte Schweißrolle ein. Die Rolle erhält einen besonderen wagerechten Antrieb und wird gleichzeitig durch den Kolben einer Wasserdruckpresse auf die Schweißstelle gedrückt. Der Nachteil dieser Einrichtung bestand darin, daß bei geringer Rollengröße das schweißwarme Eisen weggequetscht wurde; er wurde behoben durch Anordnung eines Segments mit großem Radius oder einer besonders großen Schweißrolle. Fig. 4 zeigt eine Rollenschweißmaschine in fertiger Ausführung. Rechts sind die Schweißbrenner zu sehen, dann die Schweißrolle mit dem Preßwasserzylinder oben auf dem Gestell; links oben erkennt man den wagerechten Antrieb der Schweißrolle. Das Handrad mit dem zum oberen Brenner führenden Gestänge soll ein Ausbalanzieren und Verstellen dieses Brenners ermöglichen. Die Rollen- und Segmentschweißung kommt infolge der bei großen Blechstärken zu schwer und zu teuer werdenden Einrichtungen in der Hauptsache für Bleche bis etwa 20 mm Dicke in Frage und ist daher vor allem sehr geeignet für die Röhrenschweißung.



## B. Die Thermitschweißung.

**Thermit.** Auf ein ganz anderes Gebiet führt uns die 1899 aufgekommene Goldschmidtsche Thermitschweißung. Thermit ist ein Gemisch von Eisenoxyd und Aluminium, beides in Pulverform, das sich erst bei  $1200^{\circ}$  (infolgedessen im allgemeinen nur mit Hilfe eines Entzündungsgemisches, Bariumsperoxyd und Aluminiumpulver) zur Zerlegung bringen läßt. Unter großer Wärmeentwicklung bildet sich bei einer Temperatur von etwa  $3000^{\circ}$  flüssiges schiedbares Eisen (von der durchschnittlichen Zusammensetzung:  $0,1\%$  C,  $0,09\%$  Si,  $0,08\%$  Mn,  $0,04\%$  P,  $0,03\%$  S, also weiches Material von  $32\text{--}38\text{ kg/mm}^2$  Zerreißfestigkeit) und flüssige Schlacke (künstlicher Korund), die unter dem Namen „Korubin“ als Schleifmaterial benutzt wird. 1 kg Thermit ergibt  $\frac{1}{2}$  kg Eisen und  $\frac{1}{2}$  kg Schlacke. Bei Verwendung größerer Thermitmengen kann man durch Zusatz von Schmiedeeisenschrott (seltener Stahl), und zwar bis  $50\%$ , die Gesamtmenge des flüssigen Eisens wesentlich erhöhen. Um einer Entmischung vorzubeugen, wird Thermit in kleinen Säckchen von 5 und 10 kg Gewicht geliefert, und zwar als „Thermit schwarz“ (für Ausbesserungen und Schienenschweißung), „Thermit weiß“ (nur zur Erwärmung eines Stücks) und „Thermit rot“ (zur Stumpfschweißung von Röhren). Diese Bezeichnungen haben mit dem Aussehen des Thermits nichts zu tun, die einzelnen Sorten unterscheiden sich vielmehr nach dem Verwendungszweck, und zwar dadurch, daß die Schlacke mehr oder weniger dickflüssig und das Thermit-eisen mehr oder weniger rein ist. Thermit kann von der Th. Goldschmidt A. G.-Essen bezogen werden. Mit dem Schweißen befaßt sich jetzt die von Goldschmidt und der Akkumulatorenfabrik Hagen gegründete Elektro-Thermit G. m. b. H. in Berlin.

**Gießtiegel.** Thermit wird in Spezial- oder in Spitztiegeln zur Entzündung gebracht. Spezialtiegel sind einfache Blechtiegel (in fünf Größen für  $1,5\text{--}20\text{ kg}$  Füllung), mit Magnesit ausgekleidet. Den später eingeführten Spitztiegel, auch Abstichtiegel genannt (zwölf Größen für  $2,5\text{--}350\text{ kg}$  Thermit), fertig zum Gebrauch, zeigt Fig. 5. Im Boden sitzt ein fest in die Auskleidung eingestampfter Magnesiastein a, in diesem wieder ein auswechselbarer Stopfen b, der ein Loch zum Einsetzen des Abstichtifts c enthält. Ein Eisenplättchen d mit untergelegter Asbestscheibe e ergibt den notwendigen dichten Abschluß.

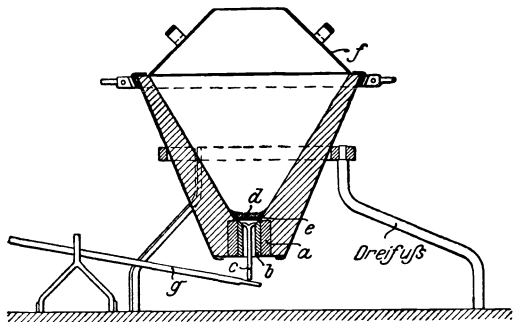


Fig. 5. Spitztiegel für Thermitschweißung.

Gewöhnlich wird noch 10 mm stark Magnesiasand aufgestreut und festgedrückt, auf den nun das Thermit und oben darauf eine Messerspitze voll von der Entzündungsmasse geschüttet werden kann. Nach Anzünden der Entzündungsmasse setzt man eine Blechkappe f auf. Die Zersetzung dauert nur  $10\text{--}20\text{ s}$ , dann kann mit der Abstichtange g der Stift hochgestoßen und so die Bodenöffnung freigemacht werden. Zuerst fließt Thermit-eisen, dann Schlacke aus (beim Spezialtiegel zuerst die Schlacke!). Nach etwa 20 Güssen muß die Tiegelauskleidung erneuert werden. Deshalb sucht Goldschmidt neuerdings bei kleinen Thermitmengen mit einem gußeisernen Tiegel auszukommen (anstatt der mit Teermagnesit ausgestampften Blechhülle), der nur im unteren Teil eine dünne Auskleidung von Teermagnesit erhält.

Das Thermitverfahren wird hauptsächlich für die Straßenbahnschienen-schweißung und für Reparaturschweißungen benutzt; es ist entweder eine Preß- oder eine Gießschweißung. Einzelheiten des Arbeitsvorgangs und weitere Anwendungsmöglichkeiten werden später, im Abschnitt III, erörtert.

### C. Die elektrischen Schweißverfahren<sup>1)</sup>.

Man unterscheidet zwei große Gruppen von elektrischen Schweißverfahren: die Lichtbogen- und die Widerstandsschweißverfahren. Bei den Lichtbogenverfahren wird der zwischen zwei, etwas voneinander entfernt stehenden Elektroden (z. B. Kohlestiften) beim Hindurchschicken eines elektrischen Stroms entstehende Lichtbogen zur Erzeugung der Schweißhitze benutzt. Da der Lichtbogen eine Temperatur von etwa  $3500^{\circ}$  hat, so wird der zu schweißende Werkstoff sofort dünnflüssig. Es handelt sich also bei allen Lichtbogenschweißungen um ein Zusammenschmelzen zweier Körper, wobei der Werkstoff an der Schweißstelle die vorher durch Schmieden, Walzen usw. erzielte Verbesserung seiner Festigkeitseigenschaften verliert und sie höchstens durch Hämmern der Schweißnaht teilweise wiedererlangen kann. Bei den Widerstandsverfahren wird die Eigenschaft des elektrischen Stroms ausgenutzt, daß er den stromleitenden Körper an Stellen, die größeren Widerstand bieten (den Schweißstellen), stark erwärmt. Die erzeugte Wärmemenge ist nach dem Gesetz von Joule:  $Q = J^2 \cdot R \cdot t$  ( $J =$  Stromstärke,  $R =$  Widerstand,  $t =$  Zeit). Hieraus folgt, daß man zur Erzeugung großer Wärmemengen zweckmäßig mit Strom von hoher Stromstärke arbeitet, und diesen kann man wiederum sehr einfach aus dem Wechselstrom eines Hauptstromnetzes mittels eines Umformers (Transformators) erhalten. Beim Widerstandsverfahren werden die Schweißstellen nur teigig; alsdann erfolgt ein Zusammenpressen und teilweise auch Abhämmern. Infolgedessen ist die Schweißnaht meistens fester und dabei doch dehnbarer als die der Lichtbogenschweißung.

Alle Lichtbogenschweißverfahren und das bei den Widerstandsschweißverfahren erwähnte Abschmelzverfahren rechnet man heute zur „Schmelzschweißung“, während das reine Widerstandsschweißverfahren zur „Preßschweißung“ (Druckschweißung) gehört.

#### 1. Die Lichtbogenschweißverfahren.

Die Lichtbogenschweißung erfolgt mit Hilfe von Kohlen- oder Metallelektroden bei einer Schweißspannung von 16 ÷ 65 V. Man verwendet aus technischen und wirtschaftlichen Gründen besondere Schweißumformer und schweißt heute sowohl mit Gleichstrom wie mit Wechselstrom.

**Hauptarten der Lichtbogenschweißung.** Den ersten brauchbaren, auch heute noch benutzten Lichtbogenschweißapparat bauten N. v. Bernardos und St. Olszewski in Petersburg (D.R.P. Nr. 38011) 1885. Fig. 6 zeigt schematisch, daß von einer Dynamomaschine D Strom zunächst bis zum Umschalter U (unter Messung durch das Voltmeter V und das Amperemeter A) geliefert und dann zum Griff G geführt wird, den der Schweißer hinter einem Schutzkorb S faßt. Der Strom geht von G weiter zur Kohlenelektrode K (15 ÷ 25 mm Durchmesser, je nach der Stromstärke) und von dieser durch das Arbeitsstück B zum Umschalter zurück. Durch Hochheben der Kohlenelektrode um etwa 20 mm wird dann zwischen ihr und dem Arbeitsstück der Lichtbogen gezogen. Dabei wird ein besonderer Schweißdraht, aus möglichst demselben Werkstoff wie das Schweiß-

<sup>1)</sup> Näheres s. Schimpke-Horn: Praktisches Handbuch der neueren Schweißverfahren, Bd. II, Elektrische Schweißtechnik. Berlin: Julius Springer. 1926.

stück, miteingeschmolzen. — Bei dem zweiten Verfahren, von Slavianoff (1891), tritt nur an die Stelle der Kohlenelektrode eine Metallelektrode (von demselben Stoff wie das Werkstück). Der Durchmesser der Elektrode beträgt  $2 \div 6$  mm bei Eisenblech- und  $10 \div 20$  mm bei Gußschweißungen. Alle sonstigen Einrichtungen der Fig. 6 bleiben bestehen. — Der Umschalter U kommt nur bei der Verwendung von Gleichstrom in Betracht, um, wie nachher ausgeführt wird, je nach Bedarf den positiven oder negativen Pol der Stromquelle an das Werkstück oder an die Elektrode legen zu können. — Das dritte Lichtbogenschweißverfahren, Dr. Zerener, Berlin, 1891 patentiert) D.R.P. Nr. 68 938) und etwa 1893 eingeführt, zeigt Fig. 7. Der Strom geht zuerst zu einem Magneten M, der mit seinen zwei Polen um die Kohlenelektroden  $K_1$  und  $K_2$  herumgreift (s. Seitenansicht Fig. 7 links), dann zur Kohlenelektrode  $K_1$  und von dieser über  $K_2$  zurück. Der zwischen  $K_1$  und  $K_2$  entstehende Lichtbogen wird durch die Wirkung des Elektromagneten senkrecht nach unten abgelenkt und ergibt eine das Arbeitsstück erhitzende, kräftige Stichflamme.

Die Kohlenelektroden, von denen die positive, wie bei Gleichstrom-Bogenlampen, größer sein muß als die negative (üblicher Durchmesser  $6 \div 30$  mm), sind durch eine besondere, im Schema nicht gezeichnete Einrichtung von Hand oder selbsttätig verstellbar. Als Stromart ist Gleichstrom üblich, obwohl auch Wechselstrom verwendbar ist. Das Zerenerische Verfahren hat den Vorteil, daß seine Stichflamme als selbständige, vom Arbeitsstück unabhängige Wärmequelle beliebige Temperaturen am Werkstück erzielen kann. Es wird aber wegen der schwerfälligen Handhabung nur wenig benutzt. Weit aus am verbreitetsten von den drei genannten Verfahren ist das von Slavianoff infolge der Handlichkeit der Apparatur und der Möglichkeit, große Schweißgeschwindigkeiten zu erzielen.

Die Kohlenelektroden, von denen die positive, wie bei Gleichstrom-Bogenlampen, größer sein muß als die negative (üblicher Durchmesser  $6 \div 30$  mm), sind durch eine besondere, im Schema nicht gezeichnete Einrichtung von Hand oder selbsttätig verstellbar. Als Stromart ist Gleichstrom üblich, obwohl auch Wechselstrom verwendbar ist. Das Zerenerische Verfahren hat den Vorteil, daß seine Stichflamme als selbständige, vom Arbeitsstück unabhängige Wärmequelle beliebige Temperaturen am Werkstück erzielen kann. Es wird aber wegen der schwerfälligen Handhabung nur wenig benutzt. Weit aus am verbreitetsten von den drei genannten Verfahren ist das von Slavianoff infolge der Handlichkeit der Apparatur und der Möglichkeit, große Schweißgeschwindigkeiten zu erzielen.

Die Kohlenelektroden, von denen die positive, wie bei Gleichstrom-Bogenlampen, größer sein muß als die negative (üblicher Durchmesser  $6 \div 30$  mm), sind durch eine besondere, im Schema nicht gezeichnete Einrichtung von Hand oder selbsttätig verstellbar. Als Stromart ist Gleichstrom üblich, obwohl auch Wechselstrom verwendbar ist. Das Zerenerische Verfahren hat den Vorteil, daß seine Stichflamme als selbständige, vom Arbeitsstück unabhängige Wärmequelle beliebige Temperaturen am Werkstück erzielen kann. Es wird aber wegen der schwerfälligen Handhabung nur wenig benutzt. Weit aus am verbreitetsten von den drei genannten Verfahren ist das von Slavianoff infolge der Handlichkeit der Apparatur und der Möglichkeit, große Schweißgeschwindigkeiten zu erzielen.

**Eigenschaften des Lichtbogens.** Der Gleichstromlichtbogen zwischen Kohlenelektroden hat an der positiven Elektrode (der sog. Anode) eine Temperatur von etwa  $4000^\circ$ , dagegen an der negativen Elektrode (der Kathode) nur eine Temperatur von etwa  $3000 \div 3300^\circ$ , letztere verschieden je nach der Stromstärke (auch gibt es innerhalb der genannten Grenzen abweichende Angaben). Für Metallelektroden liegen keine genaueren Messungen vor; der Temperaturunterschied zwischen beiden Elektroden ist aber wahrscheinlich etwas geringer. Entsprechend diesem Temperaturunterschied legt man beim Schweißen, wobei der Lichtbogen nach Benardos oder Slavianoff zwischen einer Stabelektrode und dem Werkstück gezogen wird, den positiven Pol bei schwerer schmelzbaren

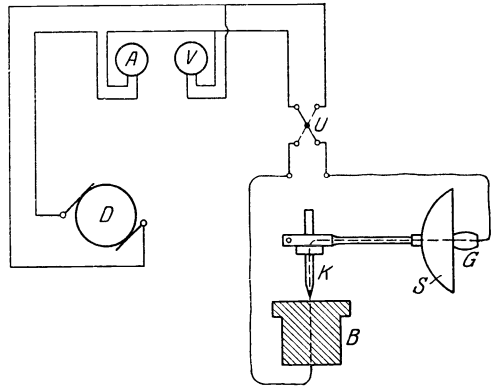


Fig. 6. Schema einer Lichtbogenschweißanlage (nach Benardos oder Slavianoff).

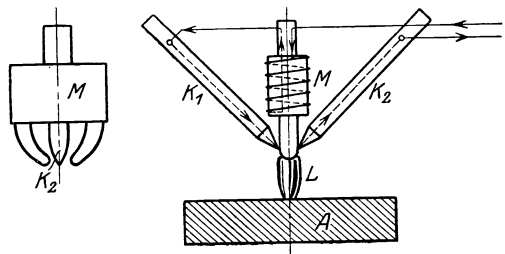


Fig. 7. Schema der Lichtbogenschweißung nach Zerener.

Metallen (Schmiedeeisen, Stahlguß, Nickel) an das Werkstück, bei leichter schmelzbaren (Gußeisen, Kupfer) an die Kohlen- bzw. Metallelektrode. Nur bei der Gußeisenwarmschweißung legt man auch den positiven Pol an das Werkstück, da man dann eine weitgehend flüssige Schweißstelle haben und überhaupt möglichst viel Hitze in das Werkstück überführen will. Der sonst noch bedeutungsvolle Sonderfall der Überkopfschweißung mit positivem Pol an der Elektrode wird im Abschnitt „Technik des Schweißens“ näher behandelt.

Beim Wechselstromlichtbogen zwischen Kohlenelektroden sind die Temperaturen an beiden Polen des Lichtbogens gleich hoch. Beim Wechselstromlichtbogen zwischen Metallelektrode und Werkstück dagegen zeigt sich am Werkstück eine höhere Temperatur als an der Elektrode.

Jeder Lichtbogen kann nur bei bestimmten Spannungen aufrecht erhalten werden, und zwar fällt diese Spannung mit wachsender Stromstärke. Die Beziehung zwischen Spannung und Stromstärke läßt sich am besten an Hand der in Fig. 8 eingetragenen sog. Charakteristik des Lichtbogens übersehen. Um den Lichtbogen zu ziehen, berührt man zunächst mit der Elektrode für einen Augenblick das Werkstück. Die Stromquelle hat eine genügende Spannung (Zündspannung  $a$  in Fig. 8); der Widerstand im kurz geschlossenen Stromkreise ist sehr gering, die Elektrode wird glühend. Zieht man nun die Elektrode schnell etwas fort vom Werkstück, so entsteht der Lichtbogen. Die Kurve  $abc$  ist nun die Charakteristik des Lichtbogens. Sie zeigt, daß z. B. schon unter den Verhältnissen, wie sie für Punkt  $a$  und ihm naheliegende Punkte der Kurve  $ab$  gelten, ein Lichtbogen bestehen kann (also bei verhältnismäßig hoher Spannung und niedriger Stromstärke), daß aber der Lichtbogen auch ent-

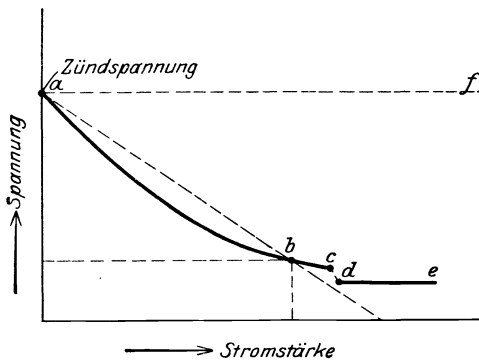


Fig. 8. Charakteristik des Lichtbogens.

sprechend z. B. Punkt  $b$  eine wesentlich niedrigere Spannung und höhere Stromstärke haben kann. In der Gegend von  $b$  ist der Lichtbogen viel stabiler (beständiger), er reißt nicht so leicht ab, als wie etwa in der Gegend von  $a$ . Man schweißt daher zweckmäßig mit einer ungefähr dem Punkt  $b$  entsprechenden Spannung und Stromstärke, wobei die Stromstärke von dem Elektrodendurchmesser abhängt. Vergrößert man die Stromstärke noch wesentlich über die zum Punkt  $b$  gehörende hinaus, so wird der Lichtbogen, bei  $cd$ , unruhig und fängt über  $d$  nach  $e$  hin an zu zischen, ein Zeichen für den Schweißer, daß er die Stromstärke herunterregulieren muß. Die günstigste Spannung liegt beim Kohlenlichtbogen bei  $40 \div 60$  V, beim Metalllichtbogen dagegen viel niedriger (für Elektroden von  $2 \div 6$  mm Durchmesser bei etwa  $15 \div 25$  V). Um den Lichtbogen zu bilden, braucht man aber nach Fig. 8 eine höhere, die Zündspannung, bzw. eine entsprechende Leerlaufspannung der Stromquelle. Da der Schweißer die Elektrode nie genau in der gleichen Entfernung halten kann, muß außerdem die Stromquelle zu der mit der Länge des Lichtbogens wechselnden Spannung auch die entsprechende Stromstärke hergeben (und zwar immer bei steigender Spannung geringere Stromstärke, bei fallender Spannung größere Stromstärke). Die Stromquelle muß also auch selbst eine fallende Charakteristik haben, entsprechend etwa der Geraden  $ab$  in Fig. 8 oder entsprechend den Kurven in Fig. 10. Eine normale Dynamomaschine, die, wie es die Linie  $af$  in Fig. 8 wiedergibt, stets

annähernd gleiche Spannung bei den verschiedensten Stromstärken hat, ist demnach ungeeignet zur Lichtbogenschweißung. Die günstigsten Spannungs- und Stromverhältnisse für Schmiedeeisen- und Gußeisenschweißungen zeigt Zahlentafel 1 für die verschiedenen Wandstärken bzw. Elektrodendurchmesser bei Gleichstromschweißungen. Der Wechselstromlichtbogen ist unruhiger als der Gleichstromlichtbogen; er erfordert eine höhere Leerlaufspannung. Mit Sicherheit kann man ihn nur mit den später besprochenen ummantelten Elektroden ziehen. Je kürzer im übrigen der Lichtbogen gehalten werden kann, desto weniger nimmt, wie im Abschnitt „Güte der Schweißnaht“ näher besprochen, das Elektrodenmaterial auf seinem Wege durch die Luft Sauerstoff und Stickstoff auf, desto besser wird also die Schweißnaht.

Zahlentafel 1 (für Gleichstromschweißung).

Wandstärke mm	Elektroden- Durchmesser mm	Leerlauf- Spannung V	Lichtbogen- Spannung V	Schweißstrom- stärke A
Schmiedeeisen	Schmiedeeisen			
3	3	50	18	60
5	3	50	18	100
8	4	65	22	140
10	4	80	25	180
12	5	90	25	200
und mehr				
Gußeisen (Kaltschweißung)	Schmiedeeisen			
3	2	55	20	80
5	3	60	22	120
10	3	70	24	140
20	4	90	30	180
über 20	5	105	35	200
Gußeisen (Warmerschweißung)	Gußeisen 10÷15	85÷110	45÷55	400÷500

**Gleichstromschweißumformer.** In der Entwicklungszeit der Lichtbogenschweißung nahm man den Strom zum Schweißen zuerst aus Akkumulatoren-batterien, 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. Das Schweißen vom Netz mit Hilfe von Vorschaltwiderständen ist sehr unwirtschaftlich. Wenn man z. B. die Spannung von 110 V auf 20 V herabzudrosseln muß, so macht man nur  $\frac{20}{110} \cdot 100 = 18,2\%$  nutzbar; man hat also nur einen Wirkungsgrad von 18,2% (bei höherer Netzspannung einen noch geringeren, z. B. bei 220 V nur 9,1%). Demgegenüber erreicht man mit Gleichstrom- und Wechselstrom-Schweißumformern Wirkungsgrade von 30÷80%. Das Schweißen vom Netz mit Vorschaltwiderständen ist also zu vermeiden. Wenn man es aber ausnahmsweise anwendet, so soll man einen Stromstoßautomaten benutzen. Dieser wirkt in der Weise, daß beim Unterbrechen des Stroms ein Magnetschalter sofort einen Ersatzwiderstand einschaltet; infolgedessen erhält das Netz keine wesentlichen Stromstöße.

Eine Schweißdynamo muß in der Hauptsache folgenden Bedingungen genügen: 1. Den Kurzschlußstrom bei Berührung der Elektrode auf ein zulässiges Maß begrenzen; 2. Spannung und Stromstärke den Veränderungen, die sich durch die schwankende Lichtbogenlänge ergeben, anpassen; 3. Spannung und Stromstärke je nach den Betriebsverhältnissen innerhalb gewisser Grenzen einregulieren. Um insbesondere die beiden ersten wichtigsten Bedingungen zu erfüllen, bedient man sich bestimmter Dynamokonstruktionen und bestimmter Schaltungen dieser Dynamos, die hier nur kurz gestreift werden können.

Durch Drehung eines Ankers (Eisenmasse mit stromführenden Wicklungen) zwischen ruhenden Elektromagneten oder auch der Elektromagneten zwischen dem Ankerkörper wird ein magnetisches Feld zur Stromerzeugung ausgenutzt. Der in den Drähten des Ankers erzeugte Strom wird an Kontakten abgenommen. Im Anker bildet sich nun, sobald durch ihn Strom hindurchfließt, ein zweites magnetisches Feld, das das ersterwähnte Feld mehr oder weniger schwächt. Durch entsprechende Bemessung der Ankerwicklung usw. kann man diese Ankerrückwirkung bei Schweißdynamos so ausnützen, daß beim Überschreiten einer gewissen Stromstärke das zweite magnetische Feld gewissermaßen als Drosselvorrichtung wirksam wird; die Spannung sinkt schließlich bis Null herab und

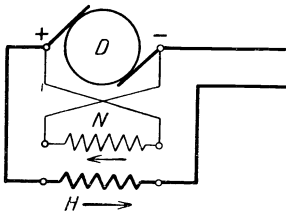


Fig. 9. Schaltung einer Schweißdynamo mit Gegenverbundwicklung.

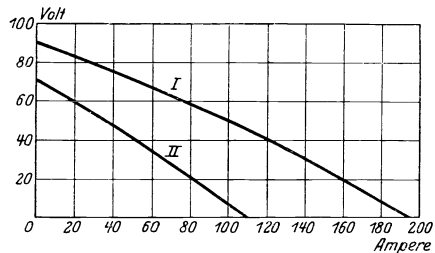


Fig. 10. Charakteristik einer Schweißdynamo.

die dann auftretende Stromstärke wird eine begrenzte. Das zweite Mittel, mit steigender Stromstärke die Spannung sinken zu lassen, besteht in der Art der Wicklung der Magnetpole. Zunächst ist hervorzuheben, daß diese Wicklungen vom Anker der Dynamo selbst mit Strom versorgt werden können (Selbsterregung), oder daß sie von einer fremden Stromquelle gespeist werden (Fremderregung). Beides ist bei Schweißdynamos zur Ausführung gekommen. Bei Selbsterregung hat man gewöhnlich eine Nebenschlußwicklung, wie sie Fig. 9 im Schema bei N wiedergibt, d. h. die Magnetpolwicklungen liegen in einem Nebenschlußstromkreis und sind fast unabhängig vom Hauptstromkreis. Legt man nun eine zweite Wicklung H mit entgegengesetztem Stromdurchgang über die erste Wicklung und schaltet man diese Wicklung, wie es Fig. 9 zeigt, in den äußeren Stromkreis ein (also Hauptstromwicklung), so wird mit wachsender Stromstärke im äußeren Stromkreis (dem Schweißstromkreis) das Magnetfeld der Wicklung H das Magnetfeld der Wicklung N schwächen und so die Spannung herabdrücken. Man spricht bei dieser Schaltung von einer Gegenhauptstromwicklung oder Gegenverbundwicklung. Ist die Nebenschlußwicklung nicht selbsterregt, sondern fremderregt, so hat das den Vorteil, daß die Dynamo bei Kurzschlußstrom (Spannung gleich Null) schnellstens wieder Spannung erhält; bei Selbsterregung arbeitet die Maschine träger, die Spannung kommt nach Kurzschluß erst in einer gewissen Zeit wieder hoch. Fig. 10 zeigt sodann die Charakteristik einer Schweißdynamo, die mit Fremderregung und Gegenver-

bundwicklung arbeitet, und zwar bei zwei Regelstellungen (meist sind eine ganze Anzahl Regelstellungen möglich). Bei Regelstellung I hat die Dynamo 90 V Leerlaufspannung (bei Stellung II: 70 V) und gibt bei z. B. 20 V Schweißspannung eine Stromstärke von 160 A (bei Stellung II: 80 A). Bei allen Schweißdynamokonstruktionen werden in der Hauptsache die besprochenen Konstruktions- bzw. Schaltungsformen benutzt (manchmal mehrere zusammen).

Das äußere Bild eines Gleichstrom-Schweißumformers sehen wir in Fig. 11. In diesem Fall sitzt links eingekapselt der Drehstrommotor, rechts der Generator (die Dynamo), über dem rechten Rad des fahrbaren Umformers eine Entlüftungsvorrichtung, rechts außen eine kleine Dynamo für die Fremderregung der Magnetpole. Die einfachste Form ist die Schweißdynamo mit Riemenantrieb. Am gebräuchlichsten ist aber der Schweißumformer (Motor und Dynamo), und zwar feststehend oder fahrbar. Als Antriebsmittel kann bei Fehlen des elektrischen Stroms der Benzinmotor in Frage kommen. Sollen mehrere Schweißstellen bedient werden, so kann ein Motor mehrere Schweißdynamos auf einer Welle treiben. Jede Schweißstelle erfordert je eine Dynamo für sich allein.

**Wechselstromschweißtransformatoren.** Die Bedingungen, die an den Schweißtransformator zu stellen sind, sind dieselben wie beim Gleichstromumformer.

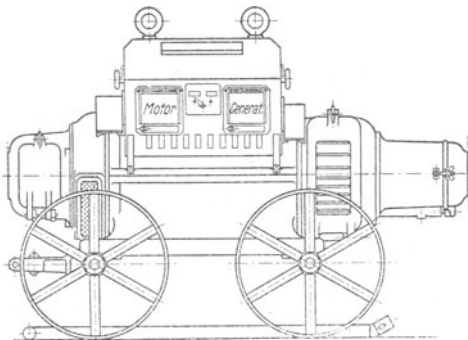


Fig. 11. Äußeres Bild eines Gleichstrom-Schweißumformers.

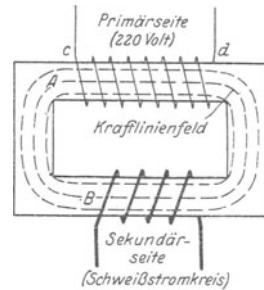


Fig. 12. Schema des Wechselstromtransformators.

Der normale Transformator hält, wie die normale Dynamo, bei jeder Strombelastung die Spannung möglichst gleichmäßig, muß also für Schweißzwecke verändert werden. Das Schema des Wechselstromtransformators zeigt Fig. 12. Die Primärwicklung erzeugt im Eisenkern bei A ein Kraftlinienfeld, das die Sekundärwicklung bei B trifft und in ihr einen Strom ergibt, dessen Spannung abhängig ist von der Windungszahl der Wicklung (je weniger Windungen, desto niedriger die Spannung). Je größer die Streuung des Transformators, d. h. je größer der Teil der Kraftlinien, der nicht nutzbar die Sekundärwindungen schneidet, um so größer wird der Spannungsabfall, um so geeigneter ist der Transformator zum Schweißen. Die Veränderung der Streuung erreicht man meistens entweder dadurch, daß Primär- und Sekundärspule gegeneinander beweglich (von außen durch ein Handrad verstellbar) nebeneinander sitzen (z. B. Spulen A und B auf dem Stück cd nebeneinander) oder dadurch, daß sekundäre Windungen zu- und abgeschaltet werden, die in verschiedenen starken Magnetfeldern liegen, wobei dann der Transformator z. B. noch ein Zwischenjoch besitzt, das die Streuung vergrößert. Die Leerlaufspannung soll zwecks besserer Zündung beim Wechselstrom höher sein als beim Gleichstrom. Eine

Leerlaufspannung bei Wechselstrom von mehr als 70 V kann aber schon lebensgefährlich sein (bei Gleichstrom nicht); hier liegt noch eine Schwierigkeit für die allgemeine Anwendung der Wechselstromschweißung. Der Wirkungsgrad eines Wechselstromschweißtransformators beträgt 60÷80%, der eines Gleichstromumformers nur 30÷50%; hier haben wir also einen bedeutenden wirtschaftlichen Vorteil zugunsten des Wechselstromschweißens. Andererseits ist infolge der benötigten starken Streuung der Leistungsfaktor ( $\cos \varphi$ ) nur 0,25÷0,45, d. h. um eine Leistung  $N = E \cdot J \cdot \cos \varphi = 0,35 \cdot E \cdot J$  im Mittel ( $E =$  Spannung,  $J =$  Stromstärke) zu erzielen, muß das Elektrizitätswerk eine Spannung  $E$  und eine Stromstärke  $J$  zur Verfügung stellen, woraus sich bei Gleichstrom eine Leistung  $N = E \cdot J$  ergäbe. Bei gleichen Leistungen von Gleichstrom- und Wechselstrom-Schweißumformern muß also dem Wechselstromtransformator trotz seines günstigeren Wirkungsgrads vom Netz her eine größere Stromstärke zugeführt werden (etwa die 1,5fache); infolgedessen müssen die Zuleitungskabel entsprechend stärker gewählt werden. Schließlich sieht das Elektrizitätswerk Abnehmer mit einem schlechten  $\cos \varphi$  nicht gern, da ihm der sog. Blindstromverbrauch nicht bezahlt wird, und da ferner im allgemeinen der Wechselstromtransformator an eine Phase des (dreiphasigen) Drehstromnetzes angeschlossen, das Netz demnach ungleichmäßig belastet wird.

**Elektroden.** Die Kohlenelektrode für das Schweißen nach Benardos besteht aus Retortenkohle oder Graphit, Koks usw., hat meistens 15÷25 mm Durchmesser und 300÷800 mm Länge. Die Kohlenelektroden für die Schweißung nach Zerener sind meistens nur 300 mm lang. Die Metallelektroden sind entweder aus weichem Flußeisen (2÷6 mm Durchmesser, 300÷400 mm Länge) oder aus Gußeisen (10÷20 mm Durchmesser, 400÷800 mm lang); bei Gußeisenstäben gilt als gute Zusammensetzung: 3÷3,5% C, 3÷3,5% Si, 0,5÷0,7% Mn, bis 0,8% P, bis 0,06% S, also ein siliziumreiches Material, weil Silizium teilweise beim Schweißvorgang verbrennt. Kupfer und Aluminium, teilweise auch ihre Legierungen, werden nicht als Elektroden, nur als Zusatzstäbe bei dem noch wenig entwickelten Kupferschweißen usw. nach Benardos verwendet. Die weitaus wichtigste Flußeisenelektrode soll ein weicher Draht aus Siemens-Martin-Flußeisen sein von der Zusammensetzung: unter 0,1% C, etwa 0,5% Mn, Spuren von Si, unter 0,04% P und S. Einen Holzkohlenschweißdraht, etwa aus schwedischem Holzkohlenroheisen hergestellt, vorzuschreiben, ist höchst überflüssig. Wichtiger noch als die chemische Zusammensetzung ist das Verhalten des Drahts beim Schweißen. Er darf vor allem nicht spritzen, muß vielmehr ruhig auf die Schweißstelle übergehen und sich in einer glatten Lage auflegen lassen, ohne zusammenzurollen. Er soll sich gut mit der Schweißstelle verbinden und 1,5÷3 mm tief „einbrennen“ (schlechter Draht schmilzt nur 0,5 mm und weniger ein). Kohlenstoffreicher Draht gibt leicht Blasenbildung, weil sich der Kohlenstoff mit dem Luftsauerstoff zu CO- oder CO<sub>2</sub>-Blasen verbindet. Deshalb ist auch das Schweißen kohlenstoffreicheren Stahls schwierig.

Bei der Gleichstromschweißung kann man in der großen Mehrzahl der Fälle mit nackten (d. h. nicht umhüllten) Elektroden schweißen; bei der Wechselstromschweißung sind bis jetzt unbedingt umhüllte (ummantelte) Elektroden angebracht. Die Umhüllung besteht meistens in einer in Pastenform auf die Elektrode gestrichenen Masse aus Alkalisilikaten oder Ferrosilizium, denen Borverbindungen usw. zugesetzt sind; die Hauptpatente sind in Händen der Kjellberg Elektroden G. m. b. H. Die Umhüllungsmasse soll das abtropfende Metall beim Durchgang durch den Lichtbogen mit einer schützenden Gashülle umgeben bzw. den Lichtbogen überhaupt schützen (beständig machen, stabilisieren) und die Schweißung mit einer Deckschicht von Schlacke überziehen bzw.



entstehende Eisen-Sauerstoffverbindungen (Oxyde) in die Schlacke überführen. Nach den bisherigen Erfahrungen macht die Umhüllung in der Hauptsache nur den Lichtbogen stabiler, er läßt sich leichter halten. Eine Verbesserung der Schweißnaht ließ sich mit Sicherheit noch nicht feststellen. Zu erwähnen sind hier noch die Elektroden der englischen Quasi-Arc Company, die eine Asbestschnur mit untergelegtem Aluminiumfaden als Umhüllung haben, und die Elektroden der englischen Alloy Welding Processes Ltd., die noch Legierungszusätze in der Asbestumhüllung haben. Die schmelzende Asbestschnur gibt zwar einen sehr leicht zu haltenden Lichtbogen, aber auch eine dicke, hinderliche Schlackenschicht. Der Aluminiumfaden dient als Desoxydationsmittel (d. h. zur Überführung des Sauerstoffs in die Schlacke), die Legierungszusätze aber sollen in die Schweißübergänge und dieser erhöhte Festigkeit und Dehnung geben, was nach Versuchen auch der Fall ist. Die einfach umhüllten (mit Paste bestrichenen) Elektroden sind zur Zeit etwa doppelt so teuer wie die nackten, die letzterwähnten englischen Elektroden sind noch wesentlich teurer.

**Schweißzubehör und Schweißwerkplatz.** Die Einrichtungen zum Regulieren der Spannung und Meßapparate für Spannung und Stromstärke werden zweckmäßig mit dem Schweißumformer zusammengebaut.

Die Zuführung des Stroms zur Elektrode und zum Werkstück erfolgt durch Kabel. Für die meistens vorkommenden Stromstärken von 150÷200 A genügen Kupferquerschnitte von 25÷50 mm<sup>2</sup>. Die Elektroden werden in Haltern (Schweißkolben) geführt, die möglichst einfach und leicht sein sollen; vor allem soll auch die Elektrode (durch Federkraft) schnell und leicht eingeklemmt werden können (s. Fig. 13). Sehr wichtig sind Schutzmittel gegen Hitze und Metallspritzer, besonders aber gegen die schädlichen Wirkungen der ultravioletten Strahlen des Lichtbogens. Stets müssen die Augen geschützt werden, bei längerem Arbeiten auch die Hände.

Am einfachsten ist ein Holzschild mit eingesetzten dunkelfarbigen Gläsern (rot, grün) und einfachem Fensterglas darüber zum Schutz gegen die ätzende Wirkung der Metallspritzer. Bei langdauernden Arbeiten ist, besonders wenn man beide Hände frei haben will, eine Schutzkappe zu empfehlen (Fig. 13). Die Hände erhalten dann Leder- oder Asbesthandschuhe. Bei Gußeisenwärmenschweißungen ist auch ein Leder- oder Asbestschurz vorteilhaft. Zur Ableitung der entstehenden Dämpfe ist bei großen Schweißungen eine künstliche Entlüftung durch Rohrleitungen und Ventilator angebracht. Fig. 13 zeigt den Schweißer beim Schienenaufschweißen. Neben den rechts liegenden Elektroden sieht man als weiteres Zubehör den Hammer zum Abklopfen und die Drahtbürste zum Abbürsten der Schweißnaht (Freimachen von Schlacke und Eisenspritzern).

Für kleinere Blech- und Gußkaltschweißungen sieht man einfache Schweißtische und Trennwände aus Holz oder Blech zwischen den einzelnen Schweißständen vor. Für Gußwärmenschweißungen sind Wärmeöfen und Wärmegruben erforderlich, worauf später noch näher eingegangen wird. Der Anschluß vom



Fig. 13. Schweißer mit Schweißgerät (beim Schienenaufschweißen).

Netz ist zu bemessen bei Blech- und Gußkaltschweißungen (entsprechend höchstens 25 V und 200 A im Schweißstromkreis) auf etwa 10–15 KW und bei Gußwärmeschweißungen, je nach der verwendeten Stromstärke, auf etwa 30–60 KW. Beim Wechselstromtransformator ist die bereits erwähnte einseitige Belastung einer Phase des Drehstromnetzes zu beachten.

## 2. Die Widerstandsschweißverfahren.

**Grundlegendes und Entwicklung.** Praktisch erprobt sind nur zwei Widerstandsverfahren, das von Lagrange und Hoho und das von Thomson.

Das Lagrange-Hohosche Verfahren, etwa 1893 eingeführt, ist eine Unterwasserschweißung. Gleichstrom von 110–150 V Spannung wird mit dem positiven Pol an ein Eisengeäß geführt, das mit 10 bis 20% iger, gutleitender Pottaschelösung gefüllt ist. Den negativen Pol bildet das in die Lösung hineinragende Arbeitsstück. Der elektrische Strom zerlegt die in der Hauptsache aus Wasser bestehende Lösung in Wasserstoff und Sauerstoff. Der Wasserstoff umhüllt das Arbeitsstück, bietet als schlechter Stromleiter großen Widerstand und führt so zu einer kräftigen Erhitzung des Arbeitsstücks. Zum Schweißen wird das Verfahren seiner Unwirtschaftlichkeit wegen kaum noch gebraucht, eher dagegen zur Erwärmung und Härtung von guten Stählen.

Von ausschlaggebender Bedeutung sind demgegenüber die schon 1877 einsetzenden Versuche Thomsons für die Ausbildung der Widerstandsschweißung gewesen.

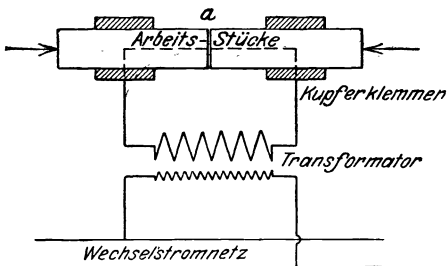


Fig. 14. Schema der elektrischen Stumpfschweißung.

Elihu Thomson aus Lynn (Massachusetts) erhielt 1886 ein deutsches Patent (D.R.P. Nr. 39765) auf seine Stumpf- oder Stoßschweißung, die Fig. 14 zunächst schematisch darstellt. Der aus dem Hauptnetz entnommene Strom wird auf niedrige Spannung umgeformt und dann durch zwei Kupferklemmen den bei a stumpf aneinander stoßenden Arbeitsstücken zugeführt. Er findet an der Übergangsstelle größeren Widerstand vor und bringt in kürzester Zeit eine starke Erwärmung zustande.

Der Widerstand metallener Leiter wächst mit zunehmender Temperatur. Der Strom wird also, nachdem er eine Querschnittsstelle erwärmt hat, mehr und mehr durch andere noch nicht erhitze Teile fließen. So müßte sich selbsttätig eine gleichmäßige Schweißhitze über den ganzen Querschnitt ergeben, wenn die Wärmeableitung eine gleichmäßige wäre. Drückt man außerdem beide Arbeitsstücke gegeneinander, so wird nun in kurzer Zeit ein Zusammenschweißen eintreten, wobei sich an der Berührungsstelle a eine Wulst bildet.

Aus Fig. 14 geht schon hervor, daß man am zweckmäßigsten Wechselstrom benutzt, und zwar wird Einphasen-Wechselstrom von 110–550 V Primärspannung (Spannung im Hauptnetz) genommen. Bei Drehstrom wird die Schweißeinrichtung bis zu einer Größe von 10 KW in eine Phase geschaltet. Bei größeren Schweißmaschinen soll man, der auftretenden Stromstöße wegen, nicht mehr unmittelbar aus dem Drehstromnetz Strom entnehmen, sondern besondere Drehstrom- oder Einphasen-Wechselstromdynamos aufstellen. Gleichstrom ist nicht anwendbar, weil er sich nicht in wirtschaftlicher Weise auf die notwendigen niedrigen Spannungen umformen läßt. Man wird also bei Vorhandensein von Gleichstrom diesen im Primärnetz mit Hilfe von sich drehenden Umformern in Wechselstrom umwandeln.

Die Spannung des Nutzstroms (Sekundärstroms) an dem Schweißapparat beträgt  $1 \div 10$  V. Man erhält also in kleinen Maschinen von z. B.  $3 \div 6$  KW Kraftbedarf Stromstärken von  $1500 \div 3000$  A, bei großen von  $100 \div 400$  KW Leistung Stromstärken von  $50\,000 \div 100\,000$  A. Die Schweißmaschinen werden für eine größte Leistung, die einem größten Schweißquerschnitt entspricht, gebaut. Sie lassen sich aber, z. B. mit Hilfe eines Stufenreglers, durch den die Wicklungen des Schweißtransformators unterteilt werden, auf geringere Leistungen, bis zu einem Fünftel der Höchstleistung herab, einstellen. Die größten Schweißquerschnitte sind heute etwa  $20\,000$  mm<sup>2</sup> für Eisen und  $3000$  mm<sup>2</sup> für Kupfer. Sämtliche zum Schweißen erforderlichen Teile einschließlich des Umformers (Transformators) werden in der „Schweißmaschine“ zusammengebaut. Die gründliche Durchbildung dieser Schweißmaschinen hat dem Widerstandsverfahren zur umfangreichsten Anwendung auf dem Gebiet der Massenfabrikation von Blechteilen, Geschirren usw. verholfen. Aus der zuerst gebauten Stumpfschweißmaschine entwickelte sich die Punktschweißmaschine, Nahtschweißmaschine und Hohlkörperschweißmaschine. Diese Maschinen, die mit ihnen durchführbaren Abarten der Widerstandsschweißung und ihre Verbesserungen in der neueren Zeit werden im folgenden in ihren Grundlagen betrachtet.

#### Stumpfschweißmaschinen.

Das Schema dieser Schweißmaschinen zeigt Fig. 15, wobei gleichzeitig eine Maschine für die Massenfabrikation wiedergegeben ist; es wird nur noch ein Fußhebel betätigt, ohne daß dabei eine der Bewegungen maschinell zu bewirken ist. Beim Herunterdrücken des Fußhebels a werden die Hebel b nach links bzw. rechts und damit zunächst die oberen Klemmbacken c heruntergedrückt, die Schweißstücke sind eingespannt. Bei weiterem Herunterdrücken des Fußhebels drücken die Hebel b gegen die wagerecht verschiebbaren Stücke d und pressen so die Arbeitsstücke zusammen. Gleichzeitig wird der Strom eingeschaltet. Die Ausschaltung erfolgt selbsttätig dadurch, daß ein sich mit den Klemmbacken bewegendes Stift e an f anstößt, einen Hilfsstromkreis einschaltet und dadurch den Ausschalter betätigt. Derartige Maschinen werden für Querschnitte bis zu  $500$  mm<sup>2</sup> gebaut. Die an der Schweißstelle entstehende Wulst kann auf einer angebauten Wulstpresse noch in der Schweißhitze weggepreßt werden. Auf Grund neuerer Versuche ist man jedoch von diesem Wegpressen abgekommen, da sich dabei im Inneren der Schweißstelle Risse ergeben. Die Fig. 15 zeigt gleichzeitig den Transformator T, den man in das Innere des Maschinenunterteils einbaut, und den Weg des elektrischen Stroms im Sekundärstromkreis vom Transformator zum linken Klemmbacken c, durch das Arbeitsstück hindurch, dann vom rechten Klemmbacken c zurück zum Transformator.

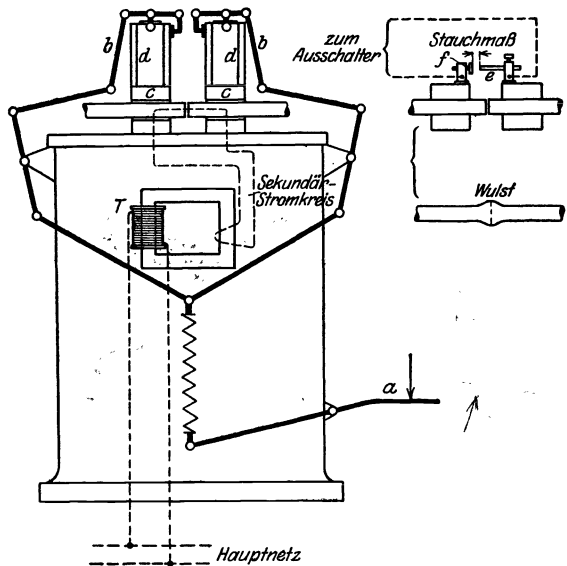


Fig. 15. Schema einer Stumpfschweißmaschine.

Die Klemmbacken sind aus Kupfer und in ihrer Form den zu schweißenden Stücken angepaßt. Die Stromzuführung zu den Klemmbacken erfolgt durch starke Kupferschienen bzw. Kupferdrahtbündel, und zwar hat man zunächst nur den unteren Backen, wie in Fig. 15, Strom zugeführt. Bei größeren Querschnitten, ferner bei Rohren usw. wird dann die Erwärmung nicht genügend gleichmäßig. Man muß dann entweder auch den oberen Backen Strom zuführen oder eine Diagonalführung des Stroms von links unten nach rechts oben anwenden (Patent der AEG). Bei dem nachher besprochenen Abschmelzverfahren kann es bei der Stromzuführung von unten bleiben. Alle der starken Erwärmung ausgesetzten Teile, hier vor allem die Klemmbacken (bei der Punktschweißmaschine die Punktelektroden, bei der Nahtschweißmaschine die Rollen) sind mit Wasser zu kühlen, wozu je nach der Maschinengröße 5÷3000 l in der Stunde erforderlich sind.

Die kleinsten Stumpfschweißmaschinen, die in Drahtziehereien und Montagewerkstätten zum Zusammenschweißen von Drahtenden benützt werden, sind

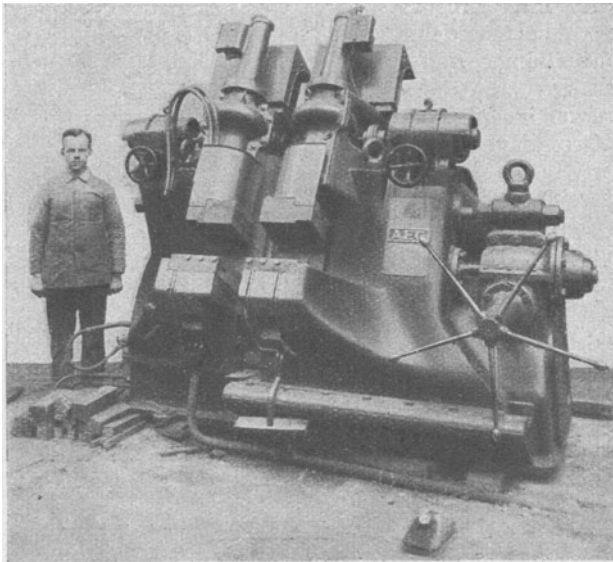


Fig. 16. Große Stumpfschweißmaschine.

tragbar. Je größer die Maschinen werden und je mehr sie für die Massenfabrikation in Frage kommen, um so mehr muß man zu maschinell bewegten Klemmbacken und Zusammenpreßvorrichtungen übergehen. Fig. 16 zeigt eine der großen Maschinentypen für 10 000 cm<sup>2</sup> größten Schweißquerschnitt (bei Eisen) mit besonderen Elektromotoren für die Bewegung der oberen Klemmbacken und für das Zusammenpressen. Die elektrische Leistung der Maschine beträgt 140 KVA dauernd und 200 KVA eine Stunde lang.

**Abschmelzverfahren.** In neuerer Zeit hat man in der Stumpfschweißung schwieriger Querschnitte, z. B. der Fassoneisen, Automobilfelgen, Rohrstücke, Werkzeuge usw., einen Fortschritt gemacht. Die gewöhnliche Stumpfschweißung versagte bei diesen Schweißstücken, weil die dünneren Stellen verbrannten und die stärkeren nicht genügend Hitze erhielten. Dem hilft das sog. „Abschmelzverfahren“, zuerst von der AEG Berlin eingeführt, ab. Die eingespannten Schweiß-

stücke werden bei diesem Verfahren durch eine Schlittenführung, unter gleichzeitiger Einschaltung des Stroms, einander so weit genähert, bis der elektrische Strom in Form von Funken überspringt. Dann werden die Stoßflächen unter starkem Funkensprühen abgeschmolzen, und gleichzeitig entsteht Schweißglut in den Arbeitsstücken. Nunmehr preßt man die Stücke, unter Ausschaltung des Stroms, aneinander und erzielt so die endgültige Schweißung. Die Schweißstücke können an den Stoßflächen ganz ungleich abgeschnitten sein, sie werden ja glatt geschmolzen und dann gerichtet. Die Stauchwulst fällt, infolge des Herausschleuderns geschmolzenen Materials, sehr klein aus gegenüber der Wulst beim gewöhnlichen Stumpfschweißen und wird am besten in rotwarmem Zustand mit dem Meißel entfernt. Der Funkenregen ist durch eine Schutzvorrichtung an der Schweißmaschine abzufangen. Die Spannung ist beim Abschmelzverfahren etwas höher, Stromstärke und Kraftverbrauch sind etwas geringer, die Schweißzeit bleibt ungefähr dieselbe wie beim gewöhnlichen Stumpfschweißverfahren.

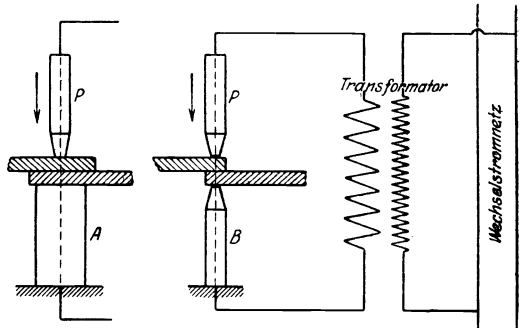


Fig. 17. Schema der Punktschweißung.



Fig. 18. Elektrische Punktschweißmaschine mit Doppel­elektroden.

**Punktschweißmaschinen.** Die Punktschweißung wird durch Fig. 17 gekennzeichnet. Die Zuführung des niedrig gespannten Schweißstroms bleibt dieselbe. Der Strom geht durch Aufdrücken der oberen Punktelektrode P von dieser durch die überlappten Bleche, die also nicht besonders eingespannt und zusammen­gedrückt zu werden brauchen, zur unteren Punktelektrode B und schweiß­

beiden Bleche in einem Schweißpunkt zusammen. Durch Verschieben der Bleche erhält man weitere Schweißpunkte und eine der Nietnaht ähnliche Verbindung. Der leichte Eindruck auf beiden Außenblechseiten läßt sich auf einer Seite durch Anwendung der Flächenelektrode A (Fig. 17 links) vermeiden. Die Elektroden sind innen hohl und durch Wasser gekühlt. Die obere Elektrode ist gewöhnlich beweglich und wird durch einen Fußhebel auf das Arbeitsstück niedergedrückt. Durch dieselbe Bewegung wird auch der Strom eingeschaltet. Ausführung und Einzelheiten der Punktschweißmaschinen sind aus Fig. 18 zu ersehen; diese Figur stellt gleichzeitig eine Sonderausführung mit Doppelektroden dar, die gekrümmte Spitzen zur Herstellung der Schnauzenanschweißung haben. Die Elektroden können die verschiedensten, der Schweißnaht angepaßten Formen erhalten und leicht gegen andersgeformte ausgewechselt werden. Durch Fußhebelbewegung werden die Doppelektroden der unteren festen Elektrode genähert, was bei anderen Konstruktionen auch selbsttätig mit Hilfe eines kleinen Elektromotors erfolgen kann. Durch dieselbe Bewegung kann auch der elektrische Strom eingeschaltet werden.

**Nahtschweißmaschinen.** Beim Herstellen wasserdichter Nähte lag es nahe, anstatt der Punktelektroden solche in Rollenform anzuwenden, um auf diese

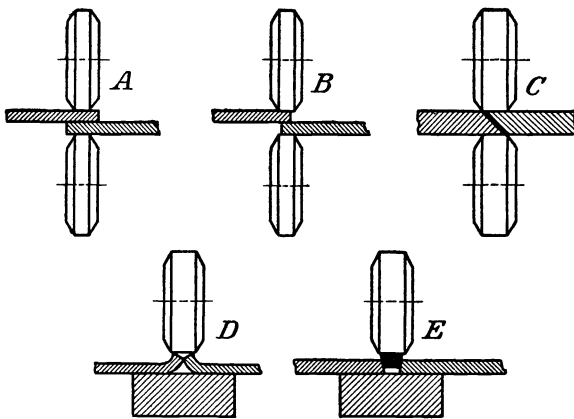


Fig. 19. Schema der Nahtschweißung.

Weise eine fortlaufende Naht zu erhalten. Wir kommen damit zur Nahtschweißung, deren Ausführungsformen Fig. 19 veranschaulicht. Von den beiden Kupferrollen läßt sich die obere meist auf und ab bewegen und erhält außerdem einen Handhebel oder maschinellen Antrieb zur Drehbewegung um ihre Achse; die untere ist dagegen nur lose in ihren Lagern drehbar. Fig. 19 A zeigt die Überlappschweißung, während bei B die Überlappung so gering gewählt ist, daß sie auf einfache Blechdicke zusammen-

gequetscht wird. Im Fall C erzielt man dieselbe Wirkung durch Abschrägen der Blechkanten und bei D ebenfalls, aber auf andere Weise, indem nämlich die Kanten aufgebogen und dann gegen die feste untere Fläche gedrückt werden. Bei E sehen wir schließlich das Einschweißen eines Drahtkeils zwischen die etwas abgeschrägten Kanten. In den Fällen B bis E erhält man also ein wulstloses Blech, dessen Schweißnaht dem Auge kaum noch sichtbar wird.

Manchmal kann es auch von Vorteil sein, Punkt- und Nahtschweißmaschine zu vereinigen. Z. B. wird man Bleche, deren Längsnaht zu schweißen ist, zuerst auf der Punktschweißmaschine an den Enden durch Schweißpunkte zusammenheften und dann auf der Nahtschweißmaschine fertigschweißen. Auch wird sich die Schweißung eines Stücks oft aus Punkten und Nähten zusammensetzen lassen. Punkt- und Nahtschweißungen gelingen schnell und sicher nur bei zunderfreiem Blech. Gezundertes Blech unter 1 mm Stärke läßt sich sehr schwer schweißen; bei dickeren gezunderten Blechen ist eher eine Schweißung möglich. Die obere Grenze der Blechdicke liegt bei der Nahtschweißung bei etwa 3 mm einfacher

Blechdicke. Darüber hinaus wird der Stromverbrauch unverhältnismäßig hoch (s. auch Fig. 59).

**Schrittschweißung.** Während man durch enges Aneinanderreihen der Schweißpunkte beim Punktschweißverfahren schon eine Schweißung erzielt hat, die sogar beim Einbringen von Flüssigkeiten in Gefäße gut dicht hält, ist es beim Nahtschweißverfahren schwieriger, dichte Nähte zu erhalten. Einmal liegt dies daran, daß die Schweißnaht oft Spannungen während des Schweißens ausgesetzt ist; außerdem wird aber manchmal auch das in der Schweißhitze teigig gewordene Material durch die Schweißrollen furchenartig aus der Naht herausgerissen. Diesen Mängeln hilft ein Arbeitsverfahren ab, das zuerst von der Gesellschaft für elektrotechnische Industrie, Berlin, als sogenanntes „Schrittschweißverfahren“ angewandt wurde. Zunächst erfolgt die Schweißung eines kurzen Nahtstücks unter ruhendem Druck der Rollenelektroden. Darauf wird der Strom ausgeschaltet, die Schweißrolle ruht eine kurze Zeit auf der geschweißten Stelle und läßt so das geschweißte Nahtstück unter Abkühlung durch ihre Wasserkühlung und unter Druck erkalten. Hierauf folgt eine Fortbewegung der Schweißrollen ohne Stromzuführung, und der eben beschriebene Vorgang wiederholt sich bei dem anschließenden Nahtstück. Die Schweißnaht wird einwandfrei dicht, und es tritt eine geringere Verzunderung des Blechs als bei dem gewöhnlichen Nahtschweißen ein. Außerdem lassen sich auf diese Weise auch verzunderete Bleche besser schweißen.

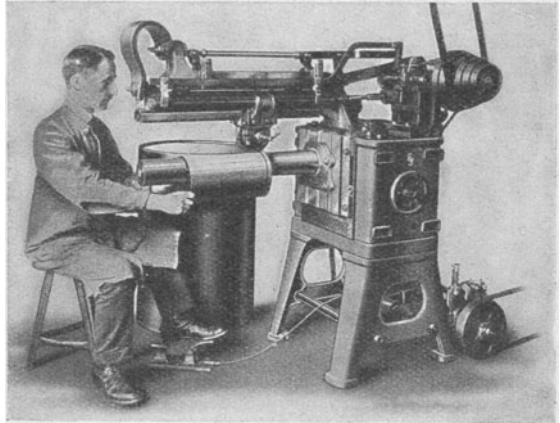


Fig. 20. Rollenschrittschweißmaschine.

Fig. 20 zeigt eine dementsprechend gebaute Rollenschrittschweißmaschine für Längsnähte, die bei einer Leistungsaufnahme von 15 KVA Bleche von 3 mm Einzelblechstärke verschweißen kann; die Unterarmlänge beträgt 650 mm. Mit Maschinen von 30 KVA Leistungsaufnahme sind Bleche von 7 mm Einzelblechstärke verschweißbar. Allerdings erfordern alle diese Maschinen einen besonderen Antrieb der Rolle durch Transmission oder eigenen Elektromotor.

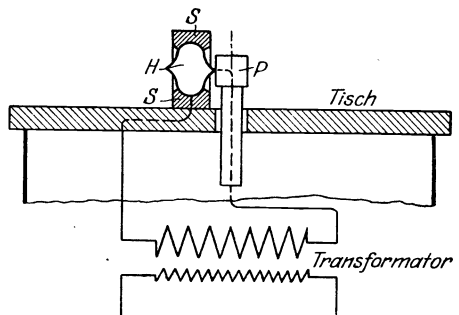


Fig. 21. Schema der Hohlkörper-Nahtschweißung.

**Hohlkörperschweißung.** In welcher Weise sich die Nahtschweißung noch weiter ausbilden läßt, sei an dem in Fig. 21 dargestellten Schema der Hohlkörperschweißung erläutert. Der aus zwei gestanzten Teilen zusammengesetzte Hohlkörper H wird in einen Schlitten S eingespannt und dann mit der Naht an der Elektrode P vorbeigeführt. Der Strom geht von P durch die Naht und den unteren Schlittenteil in den Tisch, der die zweite Elektrode bildet. Die Stiftelek-

trode bildet. Die Stiftelek-

trode P erhält durch einen Elektromotor eine langsame Drehung. Der Stanzgrat wird beim Schweißen etwas nach innen gedrückt, so daß eine glatte Naht entsteht. Dieses Schweißverfahren läßt sich mit bedeutendem Vorteil an Stelle der sonst üblichen Falzung verwenden.

**Universalmaschinen.** Die bekannteste Ausführungsform zeigt Fig. 22 in der ESPA-Maschine. Nur durch Drehung des Hauptmaschinenkörpers wird die



Fig. 22. Universalmaschine.

Punktschweißmaschine zur Stumpfschweißmaschine (wie in Fig. 22 in Betrieb). Durch Verschiebung der Spannbacken erhält man die Erhitzungsmaschine (Elektroesse) und durch Einstecken zweier Kabel und Feststellen des Fußhebels den Wechselstromschweißtransformator, da der in der Widerstandsschweißmaschine sitzende Transformator auch der Lichtbogenschweißung angepaßt werden kann. Die Maschine kommt hauptsächlich für kleine Anlagen in Frage, um die hohen Anschaffungskosten mehrerer Schweißmaschinen zu ersparen.

**Elektrische Erwärmungsmaschinen.** Entsprechend der Verwendung vorgenannter Universalmaschine als Elektroesse sind Sonderkonstruktionen entwickelt worden, und zwar insbesondere als elektrische Schmiedessen und als Nietwärmer, die heute in scharfen Wettbewerb mit dem durch Kohle usw. erhitzten Schmiedefeuer treten. —

Allgemein liegt der Wert der Widerstandsschweißung in der guten Eignung für die Stumpfschweißung und dann für die Massenfabrikation dünnwandiger Blechteile. Als besondere Vorteile des Schweißverfahrens sind dabei noch zu nennen: Die leichte Regelung der Temperatur durch Regelung des elektrischen Stroms, die Ungefährlichkeit in der Bedienung (wegen der niedrigen Spannung des Stroms) und die geringe Belästigung des Schweißers durch Hitze.

#### D. Die Gasschmelzschweißung (autogene Schweißung)<sup>1)</sup>.

Die Gasschmelzschweißung beruht auf dem Erhitzen des Arbeitsstücks durch eine Stichflamme, die an der Austrittsöffnung eines Schweißbrenners entsteht. Man könnte also auch die Wassergasschweißung hierher rechnen mit dem Unterschied allerdings, daß durch den Wassergasbrenner die Arbeitsstücke nur auf Schweißhitze gebracht und dann durch Hämmern verschweißt werden sollen, während hier, infolge der zum Teil wesentlich höheren Flammentemperatur, ein Flüssigwerden und Zusammenschmelzen der Schweißränder eintritt, ähnlich wie beim elektrischen Lichtbogen-Schweißverfahren. Die Stichflamme wird durch Mischen von Sauerstoff mit einem brennbaren Gas erzeugt. Praktisch kommen heute als Brenngase in Betracht: Wasserstoff, Azetylen, Benzol, Leuchtgas und Blaugas. Man spricht daher im einzelnen von einem Wasserstoff-Sauerstoff-Schweißverfahren, von einem Azetylen-Sauerstoff-Schweißverfahren usw.

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



## 1. Das Wasserstoff-Sauerstoff-Schweißverfahren.

**Gewinnung von Sauerstoff und Wasserstoff.** Sauerstoff wird im großen in chemischen Fabriken aus flüssiger Luft nach den drei, nur wenig voneinander verschiedenen Verfahren von Linde, Linde-Claude und Hildebrandt gewonnen. Nach dem am meisten in Deutschland gebräuchlichen Verfahren von Linde wird zunächst Luft verflüssigt, indem man sie auf etwa 200 at verdichtet und dann plötzlich auf etwa 1 at entspannt. Hierdurch wird nämlich Kälte entwickelt, die wieder dazu benutzt wird, neu zuströmende Mengen verdichteter Luft in Gegenstromschlangen vorzukühlen, so daß diese stark abgekühlte Luft, wieder entspannt, noch tiefere Temperaturen erzeugt, bis schließlich die Luft bei  $-141^{\circ}$  flüssig wird. Im Lufttrennungsapparat wird die flüssige Luft dann in Sauerstoff und Stickstoff getrennt, da der Stickstoff einen um  $13^{\circ}$  niedriger liegenden Siedepunkt als der Sauerstoff hat und zuerst gasförmig entweicht; das schließlich auf  $98 \div 99\%$  angereicherte Sauerstoffgas wird in Stahlflaschen auf 150 at verdichtet, in den Handel gebracht. Wenig in Anwendung ist demgegenüber die Zersetzung des Wassers mit Hilfe des elektrischen Stroms (sogenannte „Elektrolyseure“ von Schmidt, Schuckert, Schoop, Garuti). Sie eignet sich nur für größere, ortsfeste Anlagen, liefert zwar gleichzeitig Wasserstoff und Sauerstoff, aber im Verhältnis 2 : 1, während man beim Schweißen, wie später erklärt wird, ein Verhältnis 4 : 1 bis 5 : 1 braucht. Außerdem erfordert der elektrolytisch hergestellte Sauerstoff etwa 15 KWst für  $1 \text{ m}^3$ , der aus flüssiger Luft hergestellte dagegen nur etwa 3 KWst für  $1 \text{ m}^3$ .

Wasserstoff erhält man durch die schon erwähnte elektrolytische Zersetzung des Wassers, im großen aber hauptsächlich bei der Chlor-Alkali-Elektrolyse, d. h. bei der elektrolytischen Zersetzung von Chlorkalium (Steinsalz), die von der Chemischen Fabrik Griesheim-Elektron durchgeführt wird. Nach einem anderen Verfahren, von Linde-Frank-Caro und von Griesheim-Elektron, wird dem Wassergas der Wasserstoff entzogen, indem es stark abgekühlt wird. Hierbei werden alle Bestandteile des Wassergases flüssig mit Ausnahme des Wasserstoffs, der dann abgesaugt wird. Zu erwähnen ist dann noch das Messerschmitt-Verfahren, bei dem Wasserdampf über rotglühendes Eisen geleitet wird. Zunächst verwandelt man Eisenerz durch Einwirkung von Wassergas in Eisen; der dann über das Eisen geleitete Wasserdampf zersetzt sich in Wasserstoff und Sauerstoff. Der Wasserstoff wird, ebenso wie der Sauerstoff, bei allen genannten Verfahren in Stahlflaschen, auf 150 at verdichtet, in den Handel gebracht.

**Stahlflaschen und Ventile.** Stahlflaschen kommen für die komprimiert (d. h. verdichtet) verwendeten Gase: Sauerstoff, Wasserstoff, Blaugas, gelöstes Azetylen in Frage. Die Größenabmessungen sind sehr verschieden. Eine normale Type hat z. B. bei 40 l Wasserinhalt 1,70 m Höhe, 0,20 m Durchmesser, gefüllt 79 kg Gewicht und enthält z. B.  $150 \text{ at} \times 40 \text{ l} = 6000 \text{ l} = 6 \text{ m}^3$  Gas von normalem Druck (1 at). Der Rauminhalt der Flasche ist durch Füllen mit Wasser genau festgestellt worden, daher auch die Bezeichnung „Wasserinhalt“, und ist außen an der Flasche eingeschlagen. Die beim Schweißen jeweils noch in der Flasche vorhandene Gasmenge kann man leicht durch Ablesung des Manometers F (Fig. 23) bestimmen. Zeigt dies Manometer z. B. noch 65 at an, so enthält die Stahlflasche von 40 l Wasserinhalt noch  $65 \times 40 = 2600 \text{ l} = 2,6 \text{ m}^3$  Gas von normalem Druck (1 at). Die Stahlflaschen sind aus Flußstahl nahtlos gezogen, haben oben am Kopf ein Verschlußventil, das während der Beförderung auf der Bahn usw. durch eine Verschlußkappe geschützt ist, und unten einen Vierkantfuß, damit sie nicht gerollt werden können. Bei Sauerstoff- und Wasserstoffflaschen beträgt der Probedruck 225 at, der Füllungsdruck 150 at; letzterer ist mit Stempel eingeschlagen

Alle Wasserstoff-Verschlußventile haben am Seitenzapfen Linksgewinde, alle Sauerstoffventile haben Rechtsgewinde, um Verwechslungen und Explosionsgefahren zu vermeiden. Aus demselben Grunde ist auch ab 1. 7. 1922 eine Veränderung des Anschlußgewindes der Sauerstoffflaschen von  $\frac{1}{2}$ " auf  $\frac{3}{4}$ " Gasgewinde vorgesehen, das vom genannten Termin ab in 5 Jahren an allen Sauerstoffflaschen angebracht sein muß. Der hohe Druck von z. B. 150 at wird durch ein an das Verschlußventil angeschraubtes Druckminderventil (Reduzierventil) auf den Schweißdruck von  $\frac{1}{3}$ — $2\frac{1}{2}$  at (je nach Größe der Brenner) vermindert. Den Kopf einer Sauerstoffflasche, nach Abnahme der Schutzkappe, mit Verschluß- und Reduzierventil in der Ausführungsform des Drägerwerks Lübeck zeigt Fig. 23. Die Hartgummidichtung D des Verschlußventils C wird mit dem Handrad E hoch-

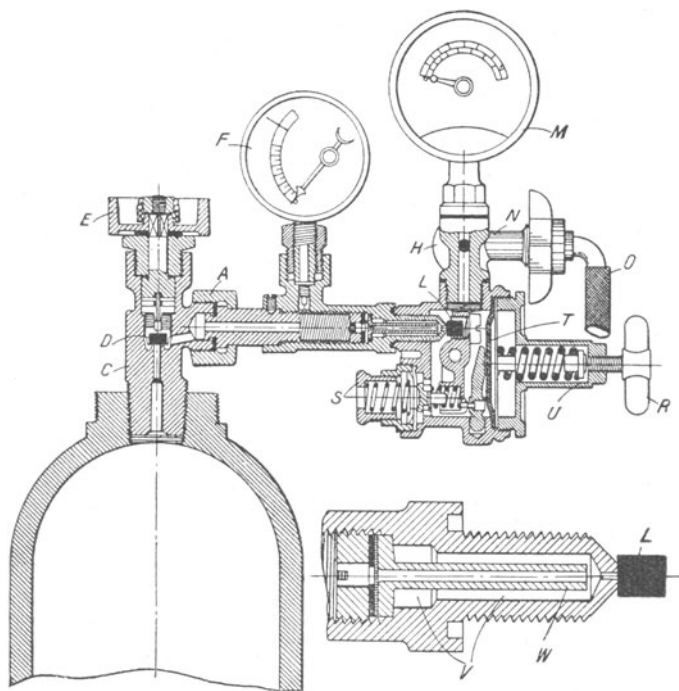


Fig. 23. Stahlflaschenkopf mit Verschluß- und Druckminderventil.

geschraubt. Das Gas kann nunmehr in das bei A angeschlossene Druckminderventil, und zwar bis an das Hartgummistück L, gelangen. Beim Drehen des Handrads R wird L durch doppelte Hebelübersetzung abgehoben, das Gas kann nach N und O austreten und bewirkt dabei eine selbsttätige Einstellung von L, indem es gegen die Gummi-Membran T und Feder U drückt und damit das Hebelwerk beeinflusst. Bei zu hohem Druck bläst das Sicherheitsventil S ab. Manometer F zeigt den Hochdruck, M den Niederdruck an. Bemerkenswert ist an dieser Einrichtung noch die Beseitigung der Gefahr des Ausbrennens bei Sauerstoff-Druckminderventilen. Man hat durch Versuche festgestellt, daß bei schnellem Öffnen des Verschlußventils der herauschießende Sauerstoff den im Stück D bis L noch vorhandenen Sauerstoff stark verdichtet und durch diese Verdichtungswärme ein Entflammen der Hartgummidichtung, ein Brennen der Metallteile und schließlich eine Explosionsgefahr herbeiführt. In Fig. 23, rechts unten größer gezeichnet,

ist deshalb ein Rohr W an der gefährlichen Stelle eingebaut. Nunmehr wird die Verdichtung und Erhitzung nach dem Ringraum V und damit an große Metalloberflächen abgeleitet und unschädlich gemacht. Eine Metaldichtung bei L würde auch dem Übelstand abhelfen, dichtet aber nicht sicher genug ab. Gegen den Rückschlag der Schweißflamme bis zum Druckminderventil kann man eine Rückschlagpatrone am Ventil vor die Schlauchleitung schalten. Diese Schutzpatrone enthält ein Rückschlagventil, das sich sofort bei einem Gasrücktritt schließt, und einen porösen Einsatz, der etwaige vom Brenner herkommende Explosionswellen unschädlich macht. Alle Druckminderventile sind sowohl für hoch- wie für niedriger gespannte Gase in ähnlicher Form wie in Fig. 23 brauchbar. Der Werkstoff ist Druckmessing. Nur das Druckminderventil für das später besprochene gelöste Azetylen besteht aus Schmiedeeisen. Es ist nämlich verboten, für Azetylen unter Druck Kupfer- oder Kupfer enthaltende Ventile zu verwenden, da sich explosives Azetylenkupfer bilden kann. Die Flaschenventile für gelöstes Azetylen haben übrigens auch keinen Gewindeanschluß, sondern einen Zapfenanschluß.

**Schweißbrenner und Schweißflamme.** Nach Öffnung der Absperrventile an den Stahlflaschen und Einstellen der Druckreduzierventile auf den Arbeitsdruck, der zur Stärke des zu schweißenden Stücks paßt, werden Wasserstoff

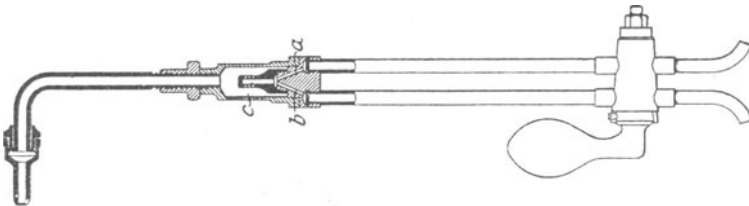


Fig. 24. Wasserstoff-Sauerstoff-Schweißbrenner.

und Sauerstoff durch die Schlauchleitungen dem Schweißbrenner zugeführt. Fig. 24 zeigt den einfachen, auch heute noch allgemein gebräuchlichen Dräger'schen Sicherheitsbrenner. Der Hahn rechts dient zum Absperrn. Beide Gase treten unter spitzem Winkel bei a und b durch feine Öffnungen in den Mischraum c, gehen gut gemischt weiter bis in die Düsen Spitze, werden beim Austritt aus dem Mundstück angezündet und bilden eine Stichflamme. Das Mundstück (die Spitze) ist auswechselbar, so daß ein Brenner mit 4–8 Mundstücken von verschiedenem Innendurchmesser auch, innerhalb enger Grenzen, für verschiedene Blechstärken verwendbar ist. Um ein Zurückschlagen der Flamme in den Brenner hinein zu verhüten, ist es zweckmäßig, die Zündgeschwindigkeit (d. h. die Geschwindigkeit, mit der sich die Entzündung in einem ruhenden Gasgemisch fortpflanzt) herabzusetzen. Man erreicht dies und zugleich auch die Bildung einer reduzierenden Flamme (s. Einleitung!) dadurch, daß man das Mischungsverhältnis Wasserstoff zu Sauerstoff nicht 2:1 nimmt, wie es der vollkommenen Verbrennung entsprechen würde, sondern etwa 4:1 bis 5:1; man arbeitet also mit reichlichem Wasserstoffüberschuß. Praktisch macht man dies durch Einregulieren der Flamme, die einen scharf umrissenen, gelblich leuchtenden Kegel zeigen soll. Dieses Einregulieren ist aber schwierig; ein auf der Schweißfläche erscheinender dunkler Punkt ist das Merkmal dafür, daß der Flammenkegel zu nahe an das Material gekommen ist. Die erzielbare Flammentemperatur beträgt etwa  $1900 \div 2000^\circ$ .

## 2. Das Azetylen-Sauerstoff-Schweißverfahren.

**Allgemeines über Azetylenherzeugung.** Azetylen ( $C_2H_2$ ) wird meistens direkt an der Verwendungsstelle aus Kalziumkarbid und Wasser erzeugt. Außer Azetylen bildet sich gelöschter Kalk, der von Zeit zu Zeit aus dem Entwickler entfernt werden muß. Kalziumkarbid erhält man in verlöteten Blechbüchsen von 100 kg Inhalt, und zwar in Korngrößen von 1÷3, 4÷7, 8÷15, 15÷25, 25÷50 und 50÷80 mm. Die Verunreinigungen, teils unverbundene Rohstoffe, teils Phosphor-, Schwefel-, Silizium- und Stickstoff-Verbindungen, die ins Azetylen übergehen, machen beim Handelskarbid 10÷14% aus. Da feinkörniges Karbid seiner großen Oberfläche halber am meisten der Verwitterung ausgesetzt ist, erhält man die größere Gasausbeute aus Stückkarbid. 1 kg Reinkarbid ergibt 348,7 l Azetylen bei 0° und 760 mm Druck, praktisch kommt man durchschnittlich nur auf 300 l bei gewöhnlicher Temperatur. Für den Verkauf von Karbid sind die vom Deutschen Azetylenverein erlassenen „Normen für den Karbidhandel“ allgemein anerkannt. Danach muß Karbid von 15÷80 mm Korngröße mindestens 300 l, solches von 4÷15 mm mindestens 270 l Roh-Azetylen bei 15° und 760 mm Druck ergeben. Karbid mit weniger als 250 l Ausbeute braucht nicht abgenommen zu werden. Jede Einwirkung von Feuchtigkeit auf Karbid führt zu einer Entwicklung von Azetylen gas, das wiederum bei mehr als 2 at Druck explosiv wird. Deshalb sind für die Lagerung größerer Karbidmengen besondere gesetzliche Vorschriften erlassen (s. die später erwähnte „Azetylenverordnung“).

Für die Erzeugung von Azetylen und die Einrichtung der Entwickler sind die Vorgänge beim Entstehen des Gases von besonderer Wichtigkeit. Azetylen nimmt den 300fachen Raum des Karbids ein. Jedes Gramm Karbid entwickelt bei der Zersetzung etwa 400 WE. Außerdem ist die Azetylenentwicklung mehr oder weniger ungleichförmig, teils wegen der Schwerlöslichkeit des das Karbid umgebenden Kalks, teils wegen des zu einer Nachentwicklung führenden Wasserdampfes, der nach Beendigung der eigentlichen Entwicklung stets noch vorhanden ist. Man hilft sich zunächst durch entsprechend große Gassammelräume und reichlichen Wasserüberschuß. Ein Mittel gegen die Unregelmäßigkeit bei der Zersetzung fand man in neuerer Zeit in der Behandlung des Karbids mit wasserunlöslichen Stoffen, z. B. Öl (Schutz gegen Wasserdampf), und in der Präparierung mit Zucker (Lösung des Kalks). Diese sogenannten „Beagid“- oder „Karbidid“- Patronen sind aber der höheren Kosten wegen nur bei kleinen Apparaten in Gebrauch.

**Azetylenentwickler.** Die Zulassung und Bescheinigung neuer Azetylenentwickler erfolgt auf Grund der am 1. 1. 1924 in Kraft getretenen neuen Azetylenverordnung durch den deutschen Azetylenausschuß in Berlin. Alle Apparate bis 10 kg Karbidfüllung und bis zu einer Stundenleistung von 6000 l Azetylen unterliegen einer Bauart-(Typen-)Prüfung und können in Arbeitsräumen benützt werden. Entwickler mit mehr als 10 kg Karbidfüllung können (freiwillig) geprüft werden; solche ohne ausdehnungsfähigen Gassammler sind in jeder Größe der Bauartprüfung unterworfen. Apparate, denen die Stempelzeichen (Adler) auf den Kupfernieten oder Zinntropfen der Firmenschilder fehlen, sind nicht genehmigt! Die Inbetriebsetzung eines Apparats ist der zuständigen Polizeibehörde anzuzeigen.

Man unterscheidet zwei Hauptgruppen: System „Karbid ins Wasser“ (Einwurfapparate und Tauchapparate) und System „Wasser zum Karbid“ (Tropfapparate und Wasserverdrängungs- und Überschwemmungsapparate).

Die Hauptgrundform der Einwurfsapparate gibt Fig. 25 wieder<sup>1)</sup>. Die sinkende Gaslocke (hier nicht gezeichnet) öffnet mittels Hebelvorrichtung das Ventil D. Karbid fällt aus dem domförmigen Vorratsbehälter B in das Wasser des Entwicklerraums A. Das Azetylen entweicht bei C. Für große ortsfeste Entwickler, wie sie bei größeren Anlagen in Frage kommen, ist das Einwurfsystem infolge Vermeidung der schädlichen Erwärmung am zweckmäßigsten. Fig. 26 zeigt einen ortsfesten Apparat, der in Normaltypen von 7 ÷ 60 kg Karbidfüllung (2,1 ÷ 18 m<sup>3</sup> Gas für jede Füllung) gebaut wird. Das bei A auf eine fünfteilige Trommel fallende Karbid wird auf dem drehbaren Rost B vergast. Der Kalkschlamm kann bei C abgelassen werden. HD ist eine Sicherheitswasservorlage. Das Azetylen gelangt zunächst in den Kondensator M zur Absehung der mitgeführten Feuchtigkeit, dann in den bis zum Hahn E gefüllten Wäscher N zur Befreiung von Ammoniak und Schwefelwasserstoff und weiter in den Gasammelbehälter, dessen Glocke mittels einer Kette die selbsttätige Beschickungsvorrichtung des Entwicklers bewirkt. Ein Sicherheitsrohr G kann das etwa zu viel erzeugte Gas übers Dach abführen. Das Azetylen soll dann noch im Reiniger O von Phosphorwasserstoff und im Filtrierapparat P von etwa mitgerissenem Staub befreit werden.

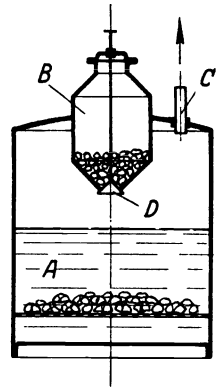


Fig. 25. Grundform des Einwurfsapparats.

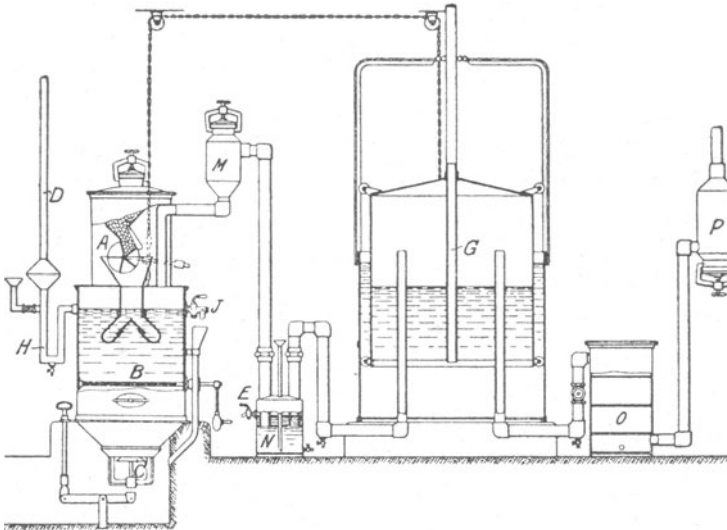


Fig. 26. Ortsfester Azetylenentwickler.

Tauchapparate sind von ganz untergeordneter Bedeutung; ihre sicherheitstechnischen Mängel sind auch so mannigfach, daß von der Beschaffung derartiger Apparate entschieden abgeraten werden muß.

<sup>1)</sup> Fig. 25, 27 ÷ 30, 32, 33, 44, 45, 53, 57, 65 u. 70 sind dem Praktischen Handbuch der gesamten Schweißtechnik von Schimpke-Horn, Bd. I, Autogene Schweiß- und Schneidtechnik, Berlin: Julius Springer 1924, entnommen.

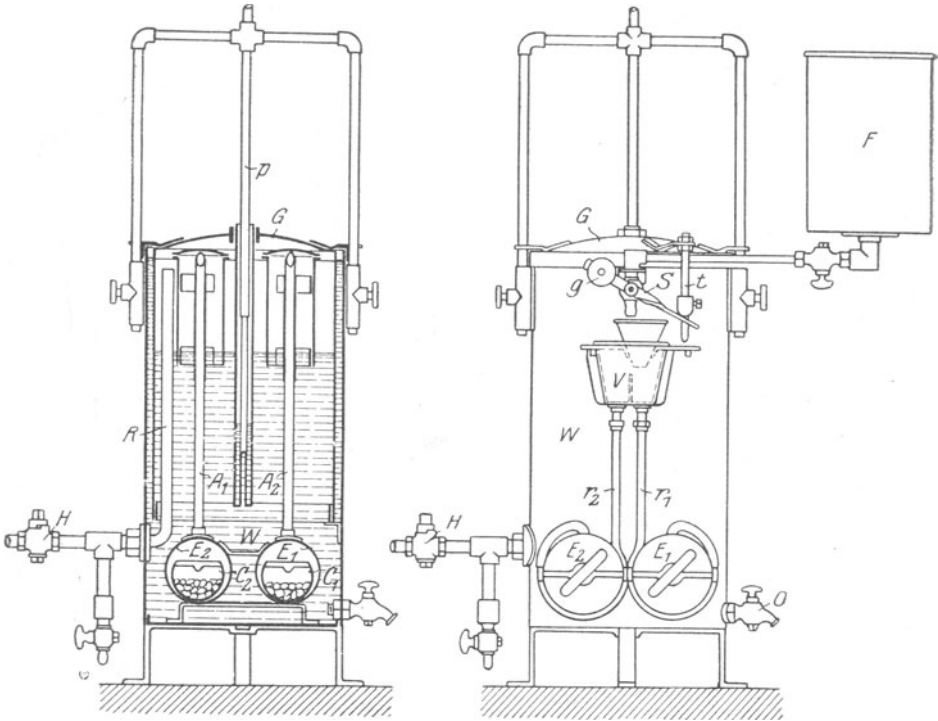


Fig. 27. Retortenapparat.

Tropfapparate werden fast immer als sog. Schubladen- oder Retortenapparate gebaut, wie Fig. 27 zeigt. Die Kammern eines Schubladengefäßes  $C_1C_2$  werden halb (nicht mehr!) mit Karbid gefüllt und in Retorten  $E_1E_2$  hineingeschoben. Die bei Gasentnahme sinkende Glocke  $G$  öffnet durch Hebelwerk  $tg$  den Hahn  $S$ , so daß aus dem Gefäß  $F$  Wasser in den Verteilerbecher  $V$  und von dort durch die Rohre  $r_1$  und  $r_2$  in die Retortenkammern  $C_1C_2$  gelangen kann. Das Gas geht aus den Retorten durch die Rohre  $A_1A_2$  in die Glocke  $G$ , die Gasentnahme erfolgt durch Rohr  $R$  bei  $H$ .

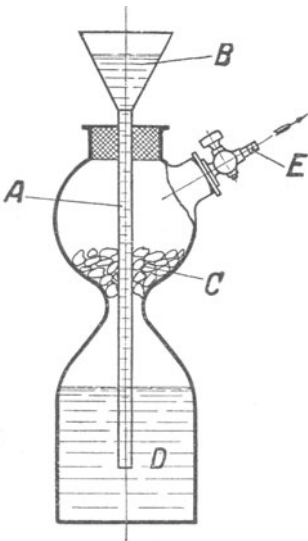


Fig. 28. Grundform des Wasserverdrängungssystems

Als Grundform der Wasserverdrängungs- und Überschwemmungsapparate kann die in Fig. 28 wiedergegebene Kippsche Flasche angesehen werden. Ist der Vorrat an bei  $E$  austretendem Azetylen erschöpft, so wird das im Trichter  $B$  befindliche Wasser durch Rohr  $A$  im Raum  $D$  hochsteigen und mit dem bei  $C$  liegenden Karbid in Berührung kommen. Das sich nun bildende Azetylen verdrängt wieder das Wasser in das Rohr  $A$  hinein. Diese einfache Grundform ist besonders geeignet für tragbare Entwickler, die aber früher alle den behördlich vorgeschriebenen Gassammler mit beweglicher Glocke hatten. Bei dem Apparat

der Fig. 29 wurde zum ersten Male die feststehende Glocke eingeführt, die sowohl eine Reihe beweglicher, zu Betriebsstörungen Veranlassung gebender Teile in Wegfall bringt, wie auch einen viel höheren Gasdruck,  $700 \div 1000$  mm Wassersäule (anstatt  $100 \div 200$  mm Wassersäule bei den Niederdruckapparaten) gestattet; daher auch die Bezeichnung „Mitteldruckapparat“. Es gibt übrigens auch schon Hochdruckapparate mit  $1000 \div 10\,000$  mm Wassersäule =  $0,1 \div 1,0$  at Gasdruck. In Fig. 29 bespült das im Einsatz D hochsteigende Wasser das in einem Korb (links bei G herausgezeichnet) gelagerte Karbid und entwickelt

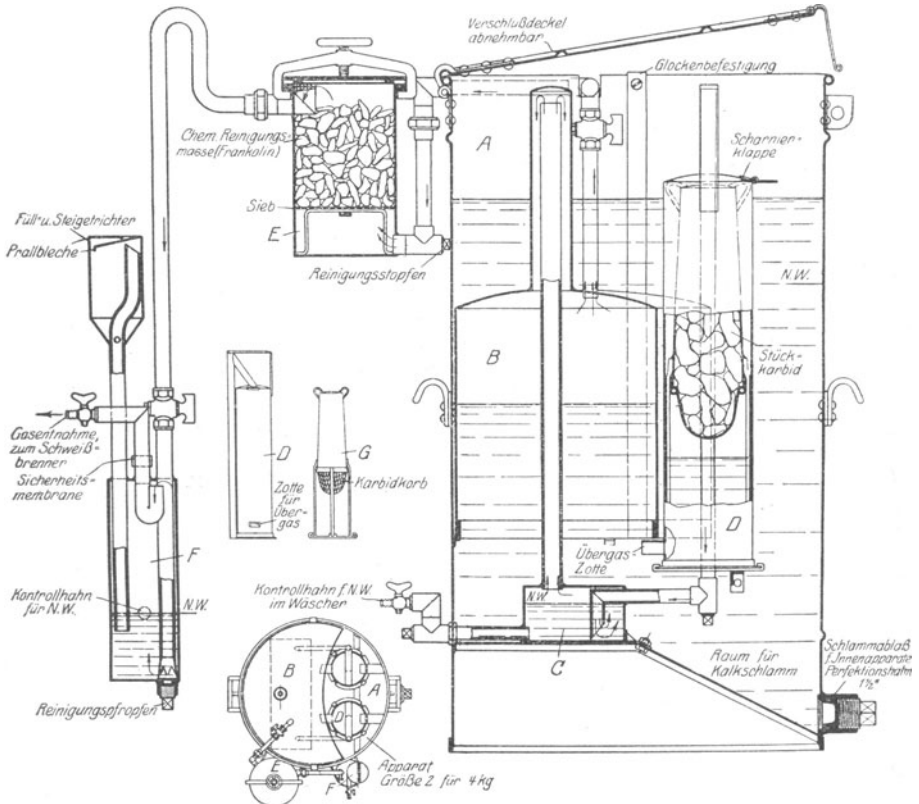


Fig. 29. Mitteldruckapparat mit feststehender Glocke.

Azetylen, welches durch ein Winkelrohr in einen Wäscher und Wasserverschluß C geleitet wird. Von hier aus gelangt das Gas durch ein Steigerrohr unter die feststehende Glocke B, indem es aus ihr Wasser in den Entwicklerraum A verdrängt, und geht dann durch Reiner E zur Wasservorlage F. Letztere soll vor allem den Rücktritt von Sauerstoff in die Azetylenleitung verhüten, ferner bei Gasmangel das Einsaugen von Luft in den Azetylenentwickler. Sodann soll sie dem Fortschreiten einer vom Schweißbrenner zurückschlagenden Explosionswelle Halt gebieten. Sauerstoff und Explosionswellen gehen durch das links oben mit einem Fülltrichter versehene Rohr ins Freie. Die Wasservorlage muß jedem Schweißbrenner vorgeschaltet werden!

Im allgemeinen liefert ein Azetylenentwickler im Dauerbetrieb bei

2 kg	Karbidfüllung	höchstens	1200 l	Azetylen	stündlich.
4	„	„	2400	„	„
6	„	„	3600	„	„
10	„	„	6000	„	„

Für kurze Zeit lassen sich auch höhere Gasmengen erzielen.

Als Nebenapparate der Azetylanlage sind noch zu erwähnen: Gasglocke, Wäscher, Reiniger, Trockner, Sicherheitstöpfe, Druckregler usw. Hervorzuheben ist einmal der Wäscher, der das erzeugte Gas kühlen und durch Waschen von Schwefelwasserstoff befreien soll; er soll auch den Rücktritt von Gas aus der Glocke zum Entwickler verhüten. Der chemische Reiniger sodann hat vor allem den Zweck, den Phosphorwasserstoff des Gases an chemische Präparate zu binden. Bewährt haben sich als Reinigungsmasse: Puratylen, Frankolin, Heratol und Klingerit.

**Gelöstes Azetylen in Flaschen.** Das Arbeiten mit gelöstem Azetylen (Acétylène dissous, Dissousgas, auch Autogas genannt) findet seit längerer Zeit schon in der Haus- und Wagenbeleuchtung, neuerdings aber erst in der Schweißtechnik größere Anwendung. Unter einem Druck von mehr als 2 at nimmt Azetylen explosive Eigenschaften an. Um es verdichtet in Flaschen verwenden zu können, ging man zunächst dazu über, Azetylen in Azeton (einer aus Holzkalk gewonnenen Flüssigkeit) aufzulösen. 1 l Azeton löst praktisch 24 l Azetylen. Die Lösungsfähigkeit wächst entsprechend dem Druck, so daß bei 15 at (höchster in Deutschland zugelassener Druck) 1 l Azeton 360 l Azetylen aufnehmen kann. Wenn nun auch diese Lösung wesentlich weniger explosiv ist, so wird die genügende Sicherheit gegen Explosion doch erst dadurch geschaffen, daß man die Flaschen mit einer porösen, das Azeton aufsaugenden Masse anfüllt, die die Fortpflanzung einer Explosion verhindert.

Gelöstes Azetylen wird im großen in Fabriken zunächst ebenso wie das Niederdruck-Azetylen hergestellt und dann mit Hilfe von Kompressoren in Flaschen gedrückt. Nach der Füllung läßt man die Flaschen liegen, weil der Druck infolge des langsamen Lösens von Azetylen in Azeton zurückgeht, und füllt dann noch ein- oder zweimal nach. Die Flaschen sind in derselben Fabrik vorher mit einer porösen Masse gefüllt, die Fabrikgeheimnis ist, vielfach aber aus Holzkohle, vermischt mit zementbildenden Stoffen (Kieselgur) und Wasser, besteht. Sie wird zu einem Brei angerührt, dann in die Flasche gebracht und getrocknet. Darauf wird flüssiges Azeton eingefüllt. In Amerika hat die Herstellung gelösten Azetylens schon einen viel größeren Umfang angenommen als in Deutschland. Man verwendet dort als porösen Stoff eine Asbestmasse. Eine betriebsfertige Stahlflasche von z. B. 40 l Wasserinhalt nimmt bei 15 at und 17,5° Temperatur 6000 l Azetylen von atmosphärischem Druck auf, also ebensoviel wie die mit verdichtetem Wasserstoff oder Sauerstoff gefüllten Flaschen. Sie enthält dann 40% Azeton und 22,5% Azetylen dem Raume nach. Der Flascheninhalt und Verbrauch bei gelöstem Azetylen läßt sich nicht ohne weiteres durch dieselbe Rechnung, wie sie bei der Sauerstoffflasche angegeben wurde, finden. Auf 40 l Wasserinhalt der Flasche bei 1 at Druck kommen hier nicht  $40 \cdot 1 = 40$  l, sondern  $\frac{40}{100} \cdot 40 \cdot 24 = 384$  l Azetylen (weil die Flasche 40% Azeton enthält und 1 l Azeton 24 l Azetylen auflöst). Man erhält also den Flascheninhalt bei gelöstem Azetylen annähernd durch Multiplikation von: Wasserinhalt  $\times$  Flaschendruck  $\times$  10.

Die Flasche mit gelöstem Azetylen kann nun an beliebiger Stelle mit der Sauerstoffflasche zusammen zum Schweißen Verwendung finden. Ein Druckminderventil vermindert wieder den Druck des aus dem Azeton aufsteigenden Azetylens auf  $0,2 \div 2$  at, je nach der Brennergröße, eine Wasservorlage ist überflüssig.



Azetylen und Sauerstoff werden dann einem Brenner zugeführt, der dem Wasserstoff-Sauerstoffbrenner ähnlich ist. Bisher wurde die Mischung der Gase bei Verwendung gelösten Azetylen als besser hingestellt, weil man einen geringeren Azetylen- und Sauerstoffverbrauch als beim Niederdruck-Azetylen fand. Es kann dies aber auch an der größeren Reinheit und dem gleichmäßigeren und höheren Heizwert des Dissousgases liegen.

Der Vorteil des gelösten Azetylen gegenüber dem Niederdruck-Azetylen besteht vor allem in der größeren Reinheit des im großen hergestellten Gases, in der größeren Beweglichkeit der Apparatur und in der vollen Verwendungsfreiheit in Wohn- und Arbeitsräumen, ein Nachteil wohl nur in dem höheren Preis.

**Schweißbrenner und Schweißflamme.** Der erste brauchbare Azetylen-Sauerstoff-Brenner wurde von Fouché ausgebildet. Das Azetylen trat durch eine Anzahl enger Röhren ein, um ein Zurückschlagen der Flamme zu verhüten. Da zum Schutz gegen Explosion in der Azetylenleitung stets eine Wasservorlage vorzusehen ist, sind bei dem in Fig. 30 dargestellten Brenner diese engen Röhren fortgelassen. Zur vollständigen Verbrennung von  $1 \text{ m}^3$  Azetylen sind  $2,5 \text{ m}^3$  Sauerstoff erforderlich oder 0,4 Teile Azetylen auf 1 Teil Sauerstoff. Da man aber, aus denselben Gründen wie bei der Wasserstoff-Sauerstoffschweißung, hier mit Azetylenüberschuß arbeiten muß, nimmt man praktisch 0,7-:1,0 Teile Aze-

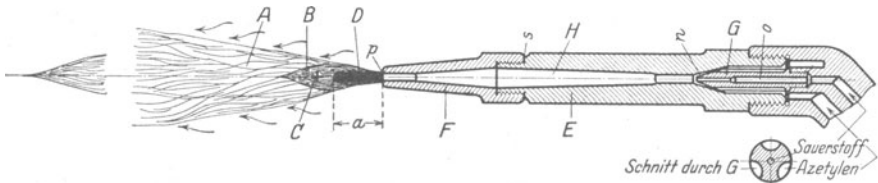


Fig. 30. Vorderteil des Azetylenbrenners und Schweißflamme.

tylen auf 1 Teil Sauerstoff. Die erzielte Flammentemperatur beträgt  $3500 \div 4000^\circ$ . Während die Brenner für alle unter höherem Druck zuströmenden Brenngase dem Wasserstoffbrenner (Fig. 24) ähnlich sind, müssen die Brenner für Niederdruckazetylen (und Leuchtgas) einmal eine injektorartige Einrichtung zum Ansaugen des Brenngases durch den höher gespannten Sauerstoff haben, und zweitens muß für die Schweißung stark verschiedener Blechstärken eine Auswechslung des Vorderstücks bis zum Injektor (in Fig. 30 bis bei G) möglich sein. Man baut daher entweder Einzelbrenner (ohne Auswechslungsstück) mit geringem Blechstärkenbereich oder Wechselbrenner (mit Auswechslung der Schweißdüse, d. h. der Düsen Spitze und des Injektors) mit  $6 \div 8$  Schweißdüsen für einen großen Blechstärkenbereich. In Fig. 30 saugt der bei o eintretende Sauerstoff bei n das Azetylen aus dem Ringraum an, mischt sich mit ihm im Mischkanal H und bildet am Ende der Düsen Spitze F bei p angezündet, die Stichflamme.

Die Azetylen-Sauerstoffflamme hat ein sehr kennzeichnendes Aussehen (Fig. 30). Bei D entsteht ein helleuchtender Kern von der Länge a. Diesem Kern lagert sich eine zweite Flammenzone B vor, an die der Luftsauerstoff (s. die Pfeile in Fig. 30) herantritt und mit dem in B enthaltenen Kohlenoxyd und Wasserstoff (vom Zerfall des Azetylen bei D herrührend) die äußere Streuflamme A bildet. Die wirksamste Stelle der Flamme liegt bei C; sie soll gerade das Schweißgut berühren. Wird zuviel Azetylen zugeführt, so geht der stäbchenartige Kern verloren und macht einem flackernden, helleuchtenden und größeren

Mantel Platz. Besteht ein Überschuß an Sauerstoff, so wird der Kern kleiner, etwas violett gefärbt und auch die Gesamtgröße der Flamme wird verringert.

Bisher tragen die Schweißbrenner Nummern (000÷8). Neuerdings werden nach den Vorschlägen des Normenausschusses der deutschen Industrie Stufungen in die Brennerspitze eingeprägt derart, daß z. B. die Angabe 4÷6 bedeutet, man kann mit dem betreffenden Brenner bzw. der Schweißdüse Bleche von 4÷6 mm Stärke schweißen. Im übrigen beschränkt sich die Normalisierung bei Schweißbrennern auf die Anschlüsse an die Schläuche (Schlauchhüllen). Die Schweißbrennergrößen sind auf der Grundlage festgelegt, daß der stündliche Azetylenverbrauch für jeden Millimeter Blechstärke etwa 75÷90 l beträgt.

### 3. Das Benzol-Schweißverfahren.

Den jetzt im Handel befindlichen Benzolschweißapparat — auch nach dem Erfinder Fernholz-Apparat genannt — gibt schematisch Fig. 31 wieder.

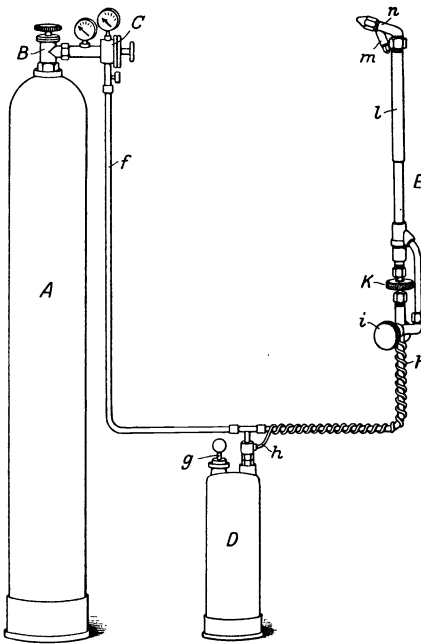


Fig. 31. Benzol-Schweißeinrichtung.

Der zum Schweißen erforderliche Sauerstoff wird aus der Sauerstoffflasche A nach Öffnen des Verschlussventils B und Einstellen des Druckminderventils C auf etwa 3 at Druck (bei allen Schweißungen gleich) durch den Gummischlauch f dem Schweißbrenner E zugeführt. Der flüssige Brennstoff, Handelsbenzol mit etwa 90% Benzolgehalt, befindet sich in einem Behälter D, der zu  $\frac{2}{3}$  gefüllt ist, und wird durch einige Stöße einer Handluftpumpe g unter Druck gebracht. Vom Behälter D führt dann eine als Metallschlauch um den Gummischlauch (für Sauerstoff) gewickelte Leitung h das Benzol zum Brenner E. An diesem dient das Handrad i zur Absperrung und Regelung des Sauerstoffs und das Rad k zur Regulierung des Benzols. Die Vergasung des Benzols geht im vorderen Teil l des Brenners vor sich unter Einwirkung einer Hilfsflamme, die bei m entzündet wird. Sauerstoff und gasförmiges Benzol mischen sich dann in der Brennerspitze n. Bei Inbetriebsetzung muß der Brenner auf ein Anheizgestell gelegt und etwa 5 min mit

Hilfe einer kleinen Spirituslampe an der Vergaserstelle l erhitzt werden. Dann öffnet man zuerst das Handrad i (für den Sauerstoff), darauf Handrad k (für Benzol), zündet die kleine Hilfsflamme bei m an und dann erst die Schweißflamme. Nach Beendigung der Arbeit wird zuerst der Brennstoff (Handrad k) und dann der Sauerstoff (Handrad i) abgestellt. Soll der Brenner bald wieder gebraucht werden, so legt man ihn auf das Anheizgestell, wo eine kleine Spirituslampe ihn warm und betriebsbereit hält.

Als Brennstoffe kommen neben Benzol auch Benzin und Petroleum in Frage; letzteres ist schlechter zu gebrauchen, da sich die Mundstücke leicht verstopfen. Das Verfahren ist sowohl zum Schweißen wie zum Hartlöten und zum Schneiden zu gebrauchen. Da die Temperatur der Benzolflamme 2600÷2800° beträgt,

ist die Azetylschweißanlage aber leistungsfähiger. Auch ist das Inbetriebsetzen des Benzolbrenners umständlicher und das Arbeiten mit ihm schwieriger als mit dem Azetylenbrenner. Bei Temperaturen unter  $4^{\circ}$  erstarrt das Benzol. Man muß sich dann durch Benzinzusatz helfen oder kann in solchen Fällen das Verfahren nicht anwenden.

#### 4. Das Leuchtgas- und das Blaugas-Schweißverfahren.

Ein Gemisch von Leuchtgas und Sauerstoff ergibt eine Stichflamme von etwa  $1800^{\circ}$  Temperatur. Es ist daher nur möglich, Blechstärken bis etwa 6 mm autogen mit Leuchtgas zu schweißen. Ferner enthält aber auch das gereinigte Leuchtgas noch Schwefelverbindungen, die auf die Güte der Schweißnaht ungünstig einwirken. Die Leuchtgasschweißung wird daher nur selten benutzt, ist überdies auch wirtschaftlich den meisten übrigen Verfahren unterlegen.

Blaugas (nach seinem Erfinder, dem Chemiker Blau, benannt) ist ein durch Destillation (d. h. Erhitzen unter Luftabschluß) von Rohölen gewonnenes Gas, ähnlich dem Leuchtgas, aber frei von Kohlenoxyd. Es wird in Stahlflaschen, auf 100 at verdichtet, verschickt, wobei es sich auf  $\frac{1}{400}$  seines Rauminhaltes verringert hat und seine Bestandteile an schweren Kohlenwasserstoffen flüssig geworden sind. Neben der Stahlflasche braucht man noch einen Gaskessel, in dem man das Gas unter Schweißdruck auffängt, bzw. überhaupt erst vollkommen verdampfen läßt. Die Flammentemperatur beträgt etwa  $2300^{\circ}$ ; es ist möglich, Blechstärken bis zu etwa 10 mm zu schweißen. Ähnlich dem Blaugas ist das nach dem Patent von Wolf hergestellte Flüssiggas. Beide Gasarten kommen, abgesehen von der gegenüber Azetylen wesentlich niedrigeren Flammentemperatur, auch deshalb wenig in Frage, weil Blaugas nur in Augsburg und Flüssiggas nur in Zürich hergestellt wird.

#### 5. Das Schweißzubehör.

**Schläuche.** Sie müssen aus bestem Gummi mit Hanfeinlage hergestellt sein. Die Industrienormen sehen als Mindestwandstärke 2,5 mm, als lichte Schlauchweite für Sauerstoff 6, für Brenngase 9 und 11 mm (letzteren Wert bei hohem Verbrauch) vor. Um Verwechslungen vorzubeugen, ist es zweckmäßig, Schläuche mit bestimmten Farben (Brenngas rot, Sauerstoff grau) zu wählen. Die Befestigung der Schläuche an den Anschlußstücken des Druckminderventils und des Brenners hat durch geeignete Schlauchklemmen zu erfolgen.

**Brillen.** Notwendig ist eine mit dunklen Gläsern versehene Schutzbrille, die als feste Muschelbrille oder auch hochklappbar, und zwar mit grünen oder grauen Gläsern ausgeführt wird. Seitenschutz an der Brille ist vorteilhaft.

**Sonstiges Zubehör.** Zum Reinigen der Düsenbohrungen an Schweißbrennern soll man Reinigungsnadeln aus Messing nehmen. Schraubt man die Spitze ab, so kann man auch konische Reibahlen verwenden, wenn man sie von innen nach außen durchführt. Für die Schweißung von Massenartikeln bedient man sich eines Schweißtisches aus Winkeleisen oder dergleichen, der mit Schamottesteinen ausgelegt wird. Für Zink-, Blei-, Messing- und Bronzeschweißungen ist wegen der zum Teil giftigen Dämpfe ein Respirator (Atmungsmaske) erforderlich. Gegen große Hitze nimmt man Asbesthandschuhe und Asbestschürzen. Zum Anwärmen von Gußkörpern sind Muffelöfen oder andere Glühöfen vorzusehen.

**Schweißdraht.** Die Schweißstäbe haben meistens 500–1000 mm Länge und einen Durchmesser von 1–6 mm bei Schmiedeeisen, Stahl usw. und von 3–20 mm bei Gußeisen. Für die Schweißung von Schmiedeeisen, Stahl und Stahlguß

nimmt man weiches Siemens-Martin-Flußeisen mit höchstens 0,15% C, 0,3 ÷ 0,6% Mn, unter 0,1% Si, unter 0,04% P und unter 0,04% S. Bei Gußeisenschweißungen verwendet man Gußeisenstäbe mit hohem Kohlenstoff- und Siliziumgehalt, weil diese Bestandteile teilweise verdampfen. Für die übrigen Metalle und Legierungen nimmt man Drähte aus demselben Material wie das Schweißstück. Bei Kupfer hat sich für stärkere Stücke (z. B. Lokomotivfeuertüchsen) der „Canzlerdraht“ (D.R.P. 284 840, Kupfer mit Phosphor- und Silberzusatz) gut bewährt.

**Schweißpulver.** Ohne Schweißpulver sind autogen schweißbar: Schmiedeeisen, (Stahl), Stahlguß, (Weichkupfer), Blei, Nickel, Silber, Gold, Platin. Mit Schweißpulver schweißt man: Gußeisen, Temperguß, Qualitätsstahl, Kupfer, Messing, Bronze, Aluminium. Im allgemeinen ist man auf den Bezug der meist pulverförmigen Schweißmittel von den Patentinhabern bzw. von den mit der Herstellung betrauten Firmen angewiesen.

## 6. Behandlung und Handhabung der Autogenapparate und Werkzeuge.

**Stahlflaschen.** Schutzkappe abnehmen. — Nachsehen, ob Handrad am Flaschenventil gut geschlossen ist. — Seitlich von der Flasche, nie vor dem Ventilauslaß Stellung nehmen. — Verschlussmutter lösen und Gas kurz abblasen lassen. — Druckminderventil aufschrauben. — Flaschenventil langsam um eine volle Drehung am Handrad öffnen und Dichtheit des Ventils prüfen. — Nach Arbeitsende Flaschenventil schließen. — Fett und ölhaltige Stoffe und Dichtungen den Ventilen fernhalten. — Flaschen nicht werfen und vor Umfallen und vor Wärme schützen.

**Druckminderventile.** Schraube für die Einstellung des Arbeitsdrucks zurückschrauben, bis die Feder entlastet ist. — Flaschenventil langsam öffnen. — Drosselventil öffnen und Arbeitsdruck durch Rechtsdrehen der Regulierschraube einstellen. — Bei kürzerer Pause Drosselventil schließen, bei längerer Pause Flaschenventil schließen und Regulierschraube zurückdrehen. — Öl und fett-haltige Stoffe vom Ventil fernhalten. — Eingefrorene Ventile durch warmes Wasser auftauen. — Am Sicherheitsventil nichts verstellen.

**Azetylenentwickler.** Offenes Feuer und Licht muß mindestens 3 m vom Apparat entfernt sein. — Ortsfeste Anlagen mit mehr als 10 kg Karbidfüllung müssen in besonderen, den gesetzlichen Bestimmungen entsprechenden Räumen untergebracht sein. — Apparate gut in Wage stellen. — Bei Inbetriebsetzung zuerst alle hierzu vorgesehenen Gefäße mit Wasser füllen, dann Füllung mit Karbid. — Erstes Gasluftgemisch vorsichtig ins Freie lassen. — Apparate zeitweise entschlammen und Schlamm nicht in Kanäle ablassen. — Beschwerung der Gasglocken zur Erhöhung des Drucks ist untersagt. — Reparaturen nur von Fachleuten ausführen lassen. — Eingefrorene Apparate nur mit heißem Wasser auftauen. — Prüfung der einzelnen Teile und Rohrleitungen auf Dichtheit nur durch Einpinseln mit Seifenwasser, keinesfalls durch Ableuchten.

**Wasservorlage.** Vorlage vor Arbeitsbeginn und täglich mehrmals auf den vorgeschriebenen Wasserstand am Kontrollhahn prüfen. — Vorlage ist richtig mit Wasser gefüllt, wenn bei geschlossenem Gaszutritts- und geöffnetem Gasaustrittshahn Wasser aus dem Kontrollhahn abläuft. — Wenn zuviel Wasser, dies stets am Kontrollhahn ablaufen lassen. — Monatlich ganze Vorlage inwendig reinigen und prüfen. — Reparaturen an der Vorlage nur außer Betrieb vornehmen.

**Schweißbrenner.** Brenner niemals stoßen oder werfen. — Bei Brennern für Wasserstoff, Leuchtgas und flüssige Brennstoffe zuerst Brenngas allein ent-

zünden und dann Sauerstoff zugeben. — Beim Absperren dieser Brenner umgekehrt erst den Sauerstoff und dann das Brenngas abstellen (bei Doppelhähnen werden beide Gase gleichzeitig abgestellt). — Dagegen wird die Azetylenflamme gleich mit Sauerstoffzufuhr entzündet. — Hat der Azetylenbrenner keinen Doppelhahn, so ist zuerst der Azetylenhahn und dann der Sauerstoffhahn zu schließen. — Bei Flammenrückschlag ins Brennerinnere oder Knattern ist die Gaszufuhr sofort abzusperren und der Brenner durch Eintauchen in Wasser zu kühlen. — Mit der Schweißflamme vorsichtig hantieren, niemals mit dem Brenner herumfucheln. — Undichtigkeiten am Brenner sofort beseitigen, undichte Hähne nachschleifen und mit Hahnfett versehen. — Verstopfte Düsenbohrungen entweder von außen durch ein konisches Rundholz oder Messingnadeln oder von innen (nach Abschrauben der Spitze) durch eiserne Nadeln reinigen. — Aufgeriebene Düsenbohrungen durch vorsichtiges Stauchen und nachheriges, sorgfältiges Aufreiben reparieren, stark ausgeweitete Spitzen durch neue ersetzen. — Metallspritzer an der Spitze durch Schlichtfeile oder Schmirgelleinen entfernen.

**Brennerhaltung:** Die Brennerspitze bildet normalerweise mit der Oberfläche des Schweißstücks einen Winkel von  $45^\circ$  (Anstellungswinkel); dabei wird der Brennerschaft wagrecht bzw. parallel zur Schweißfläche geführt. Bei Blechen von weniger als 1 mm Stärke wird aber der Anstellungswinkel zweckmäßig kleiner als  $45^\circ$ , bei Blechstärken von mehr als 4 mm größer als  $45^\circ$  genommen. Bei Stärken von über 8 mm geht man auf etwa  $90^\circ$  Anstellungswinkel zur besseren Durchschweißung.

**Brennerbewegung:** Die Vorwärtsbewegung des Brenners erfolgt, vom Brennerschaft nach der Spitze hin gesehen, in Richtung der Spitze, wobei das Ende des weißen Flammenkegels etwa 3–6 mm von der Oberfläche des Schweißstücks entfernt zu halten ist. Der Brenner wird selten geradlinig oder leicht wellenförmig (Fig. 32a) geführt, meist vielmehr pendelnd wie bei b. Bei starken Blechen ist eine spiralförmige Kreisbewegung entsprechend Kurve c vorteilhaft, während die Bewegung nach Kurve e und ähnliche Brennerbewegungen falsch sind. Die Darstellung d schließlich soll eine Brennerbewegung versinnbildlichen, bei der man unter Vorwärtsbewegung des Brenners Zusatzmaterial einschmilzt und dann die Flamme um eine kurze Strecke (bei l) in der Wagerechten zurückzieht, bis das Material ganz planiert ist. Die Flamme streicht also nur vor- und rückwärts, nicht etwa seitwärts, was in der Figur nicht ganz zum Ausdruck kommt. Diese Bewegungsart ist bis zu 5 mm Blechstärke vorteilhaft.

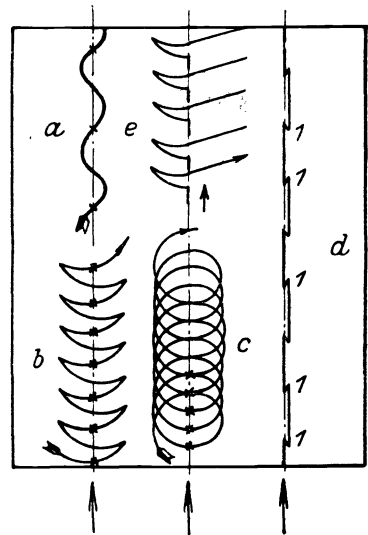


Fig. 32. Brennerbewegung.

### III. Die Technik der neueren Schweißverfahren.

Während die alten Schweißverfahren sich auf die einfacheren Fälle der Blech- und Stumpfschweißung und auf das Anschweißen gebrochener Gußstücke beschränkten, haben die neueren Schweißverfahren dem Schweißen wesentlich größere Anwendungsgebiete erobert. Unter diesen sind besonders

hervorzuheben: Blech- und Hohlkörperschweißungen auch schwierigster Stücke, Verbesserungen der Stumpfschweißung, Schienenschweißungen, ausgedehnte Reparaturschweißungen aller Art und die Schweißung der Nichteisenmetalle. Die Technik des Schweißens auf diesen Anwendungsgebieten soll im folgenden an Hand von Beispielen näher betrachtet werden.

### A. Blech- und Hohlkörperschweißungen.

**Wassergasschweißung.** Sie beherrscht nur das eng begrenzte Gebiet der Herstellung großer Röhren von mehr als etwa 400 mm lichter Weite und der Blechhohlkörper für hohen Druck. Die Ausführung der Schweißungen ist bereits im Abschnitt II A behandelt (s. insbesondere Fig. 3). Die Vorbereitung der Schweißnähte erfolgt wie bei der Koksfeuerschweißung (Fig. 1) als Stumpf-, Überlappt- oder Keilschweißung. Sie kann auch entsprechend Fig. 33 D und E ausgeführt werden, worüber Näheres im nächsten Abschnitt gesagt ist.

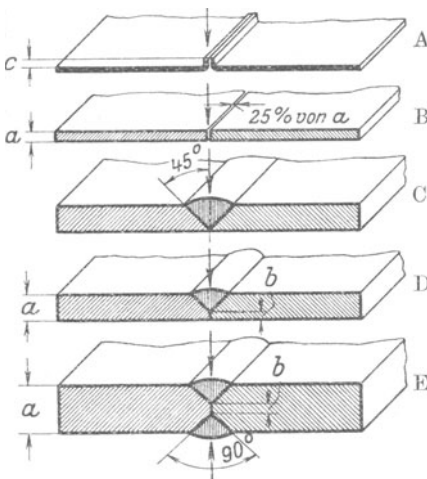


Fig. 33. Vorbereitungsarbeiten bei Blechschweißungen.

unteren scharfen Blechkanten überhitzt oder verbrannt werden; man soll nach Fig. 33 D nur auf  $\frac{3}{4}$  der Blechdicke abschrägen. Bei Blechstärken über 15 mm (mindestens aber von 20 mm ab) muß man die Bleche doppelseitig abschrägen (Fig. 33 E); bei senkrecht stehenden Blechen kann man dann von beiden Seiten (mit 2 Brennern) gleichzeitig schweißen.

Bei ungleich starken Blechen muß man sich dadurch helfen, daß man beim Schweißen der stumpf aneinander gestoßenen Bleche die Flamme auf die stärkere Materialkante hält; sonst würde das dünnere Blech wegschmelzen, ehe das stärkere genügend erhitzt ist. Eine überlappte Schweißung gibt es beim autogenen Schweißen nicht, weil das Blech sich beim Erhitzen in der Überlappung zu sehr verziehen würde.

**Schweißbeispiele.** Fig. 34 I und II sind durch die ausführlichere Darstellung in Fig. 33 erledigt; es ist nach Fig. 33 D richtiger, nicht bis zum Boden des Blechts abzuschrägen. Fig. 34 III zeigt eine Winkelschweißung, IV das Herstellen einer Längsnaht, die bei  $b$  geheftet und bei  $b_1$  mit scherenähnlich gehaltenen Stäben auseinandergehalten wird, da die Blechränder infolge der

**Autogene Schweißung.** Vorbereitungsarbeiten. Bleche von weniger als 1 mm Stärke sind zweckmäßig an den zu schweißenden Enden abzubördeln (Fig. 33 A); der Bord wird dann ohne Zusatzmaterial niedergeschmolzen; das Blech wölbt sich viel weniger als bei der Stumpfschweißung so dünner Bleche. Bleche von etwa 1 ÷ 3 mm Stärke werden stumpf geschweißt (Fig. 33 B), am besten mit einem Abstand von  $\frac{1}{4}$  der Blechdicke zwecks gründlicheren Durchschweißens. Bei Blechen von etwa 4 bis 15 mm Stärke schrägt man die Kanten durch Ausmeißeln oder Abhobeln um je  $45^\circ$  ab (Fig. 33 D). Die entstandene Schweißmulde wird mit Schweißdraht ausgefüllt, was man meist auch schon bei nach Fig. 33 B vorbereiteten Blechen macht. Die Ausführungsform Fig. 33 C ist als falsch zu bezeichnen, weil die

Erwärmung das Bestreben haben, sich übereinander zu schieben. Man kann aber auch so schweißen, daß man zunächst an mehreren Punkten auf die ganze Länge heftet. Unter V ist links bei c das falsche, rechts bei d das richtige Einschweißen eines Bodens in ein Blechgefäß dargestellt. Bei c wird die Schweißnaht unnötige und unzulässige Spannungen erhalten. Das Anschweißen eines Stutzens an ein Rohr kann bei VIe, besser aber bei  $f_1$  oder  $f_2$  vorgenommen werden. VII und VIII zeigen das Anbringen eines Winkeleisens an einem Blechrand (Schweißstelle bei g oder h), IX das Anschweißen eines Flansches und X das Einschweißen eines Rohrs in eine Blechwand (Schweißstellen bei i und k).

Bei der Anfertigung von Massenartikeln, z. B. Röhren, kann durch Anwendung von Schweißmaschinen die Leistung einer Schweißanlage unter gleichzeitiger

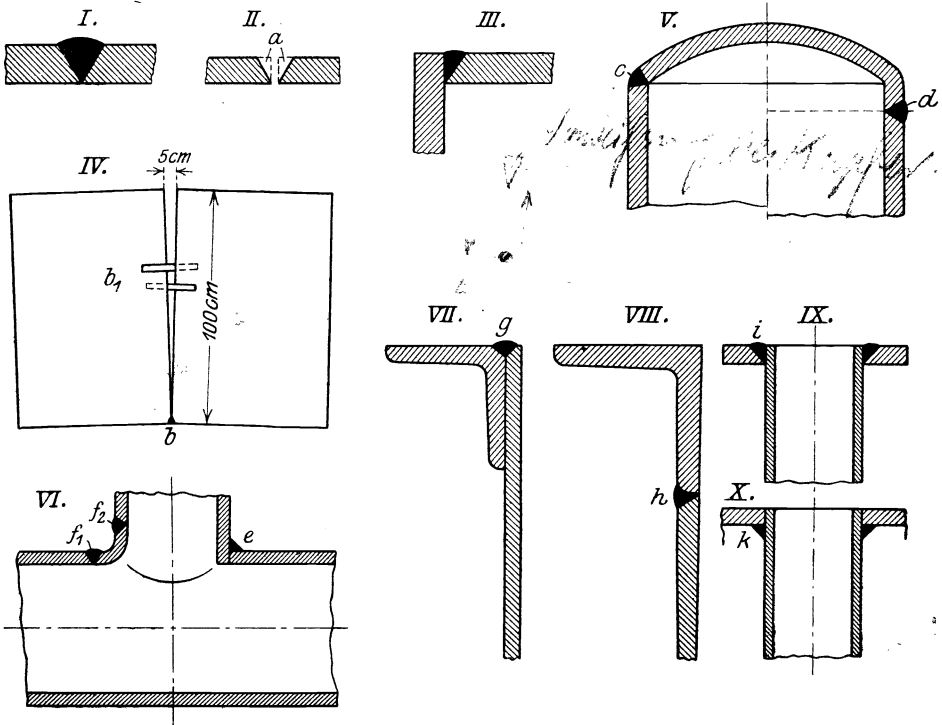


Fig. 34. Beispiele autogener Schweißungen.

Verringerung des Gasverbrauchs gesteigert werden. Die Maschine führt entweder nur einen gewöhnlichen Brenner an der Schweißnaht oder das Rohr an dem feststehenden Brenner vorbei. Nach dem letzteren Grundsatz arbeitet die in Fig. 35 wiedergegebene Rohrschweißmaschine. Die Röhren von 8–54 mm Durchmesser und 0,5–2 mm Wandstärke werden auf einer Ziehbank vorgebogen oder auf Rohrwalzmaschinen allmählich eingerollt. Dann führt man sie in der Schweißmaschine zwischen wagerecht gelagerten Fortbewegungswalzen und senkrechten Druck- und Führungswalzen an den mit Wasser gekühlten Schweißbrennern vorbei. Die abgebildete Maschine arbeitet mit zwei Straßen nebeneinander und erreicht bei 2 mm Rohrwandstärke 30 m Schweißnaht in der Stunde auf jeder Straße. Elektrische Isolierrohre, Fahrradrohre, Gasrohre usw. werden heute vielfach auf solchen Maschinen hergestellt. Nach dem Schweißen

werden die Röhren geglüht, gebeizt und auf Ziehbanken nachgezogen, so daß sie kaum von nahtlos hergestellten Röhren zu unterscheiden sind.

Einwirkung der Schweißflamme auf die Naht. Bei falsch eingestellter Schweißflamme gibt ein Überschuß an Azetylen freien Kohlenstoff in der Flamme, den die Schweißnaht aufnimmt und wodurch sie bei schneller Abkühlung hart und spröde wird. Bei einem Sauerstoffüberschuß dagegen bilden sich, ebenso wie bei viel zu hoher Erhitzung des Schweißstücks, Eisensauerstoffverbindungen; die Schweißnaht ist verbrannt durch Schlackenbildung und kann nicht wieder brauchbar gemacht werden. Ist das Material aber nur etwas zu hoch erhitzt (überhitzt), so ist nur ein Aufquellen der Kristalle, keine

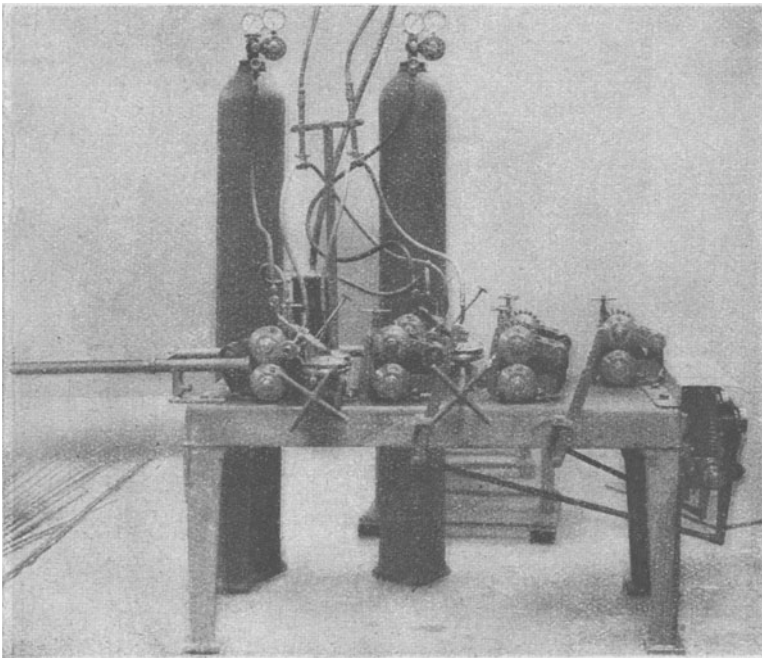


Fig. 35. Autogene Rohr-Schweißmaschine.

chemische Veränderung eingetreten; die Überhitzung läßt sich durch Ausglühen wieder beseitigen.

Eine Bearbeitung der Schweißnaht in kaltem Zustande wird im allgemeinen nicht vorgenommen. Ein Hämmern in Rotglut ist zu empfehlen, weil das durch das Schweißen zunächst Gußstruktur besitzende Gefüge dadurch verdichtet und also verbessert und auch eine Austreibung gelöster Gase (Kohlenoxyd, Sauerstoff, Wasserstoff) erreicht wird.

**Elektrische Lichtbogenschweißung.** Vorbereitungsarbeiten. Die Lichtbogenschweißung von Blechen mit weniger als 3 mm Stärke gelingt vorläufig nur sehr geübten Schweißern und kann daher — auch aus Gründen geringerer Wirtschaftlichkeit gegenüber dem autogenen Schweißen — im allgemeinen noch nicht empfohlen werden. Wenn solche dünnen Bleche elektrisch geschweißt werden, sind sie stumpf zu schweißen. Bleche von 3 mm an aufwärts bis 15 oder 20 mm Stärke werden wie bei der autogenen Schweißung abgeschrägt (s. Fig. 33



bei D und Fig. 36 bei e), stärkere Bleche sind doppelseitig abzuschrägen (s. Fig. 33 bei E und Fig. 36 bei f). Der Winkel  $\alpha$  in Fig. 36e wird bei 3 ÷ 6 mm Blechen zu etwa  $90^\circ$  genommen, bei stärkeren Blechen allmählich kleiner, bei 15 ÷ 20 mm Blechen zu etwa  $60^\circ$ . Zur besseren Durchschweißung des Grundes läßt man die Bleche um  $z = 2 \div 4$  mm (je nach Blechstärke) auseinanderstehen. Der Winkel  $\alpha$  in Fig. 36f ist normalerweise =  $90^\circ$ .

Bei der Lichtbogenschweißung ist im Gegensatz zur autogenen eine überlappte Schweißung möglich, ja sogar vorteilhaft, wenn stärkere Beanspruchungen der Schweißnaht vorkommen. Fig. 36a zeigt die einfache überlappte (einfache Kehlschweißung), Fig. 36b die in bezug auf Festigkeit wesentlich bessere, doppelt überlappte Schweißung (doppelte Kehlschweißung). Des weiteren wird, besonders im Schiffbau, noch die Laschenschweißung ausgeführt. In Fig. 36c sehen wir oben die einfach verlaschte, an 2 Kehlstellen geschweißte, unten die einfach verlaschte, dreifach geschweißte Naht, in Fig. 36d die doppelt verlaschte, an 4 Kehlstellen verschweißte Naht.

Schweißvorgang. Das Schweißstück (Blech) ist bei Gleichstrom mit dem positiven Pol (+ Pol), die Elektrode mit dem negativen Pol (— Pol) des Schweißumformers verbunden; bei Wechselstromschweißung ist die Art des Anschlusses gleichgültig. Das Schweißen beginnt nach Einregulieren des Umformers auf die in Zahlentafel 1 angegebene Leerlaufspannung dadurch, daß der Schweißer mit der Elektrode leicht das Werkstück berührt und sie dann um einige Millimeter zurückzieht. Der Lichtbogen ist stets möglichst kurz zu halten. Die Bewegung der Elektrode beim Schweißen erfolgt zweckmäßig in ähnlicher Weise (zickzackartig) wie in Fig. 32b für das autogene Schweißen angegeben. Das Schweißstück ist vor Beginn des Schweißens noch in der Schweißmulde sorgfältig von Rost zu befreien. Bleche bis etwa 5 mm Stärke kann man in einer Lage schweißen; bei 5 ÷ 10 mm Blechstärke soll man mindestens in 2 Lagen, bei noch stärkeren Blechen in 3, 4 oder noch mehr Lagen schweißen. Man verwendet dann für die erste Lage vorteilhaft eine etwas dünnere Elektrode und schweißt diese Lage mit um 20% geringerer Stromstärke. Vor dem Auftragen der nächsten Lage ist die vorhergehende gründlich mit Stahldrahtbürsten (oder Hammer und Meißel) zu reinigen, sonst erhält man durch das Sitzenbleiben von Zunder und Schlacke schlechte Schweißstellen. Der Vorteil mehrerer Schweißlagen besteht darin, daß beim Aufbringen einer neuen Lage die darunterliegende auf Rotglut erhitzt, also ausgeglüht und in der Struktur verfeinert wird. Es ist hiernach zu empfehlen, eine längere Naht in Stücken von 10 ÷ 15 cm vollkommen (mit allen Schweißlagen) fertigzustellen. Ebenso wie der Lichtbogen nicht zu lang gehalten werden darf, soll er auch nicht zu schnell fortbewegt werden, damit der Elektrodendraht genügend in das Schweißstück einbrennt und eine haltbare Schweißung ergibt.

Hinsichtlich weiterer Schweißbeispiele sei zunächst auf Fig. 34 verwiesen. Die dort angegebenen Schweißungen lassen sich sowohl autogen wie mit dem Lichtbogen ausführen.

**Elektrische Widerstandsschweißung.** Die elektrische Widerstandsschweißung kommt für Bleche und Hohlkörper als Punkt-, Naht- und Hohlkörperschweißung

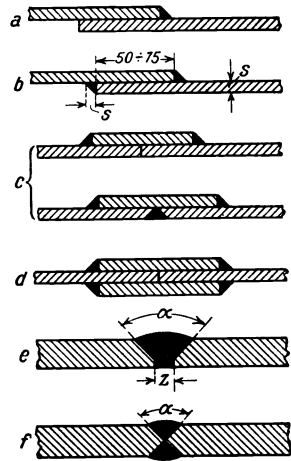


Fig. 36. Vorbereitung elektrischer Lichtbogen-Blechschweißungen.

unter Benutzung der im Abschnitt II C 2 wiedergegebenen und beschriebenen Maschinen in Frage, jedoch nur für Massenfabrikation. Punktschweißungen finden Anwendung für Einfachblechstärken bis ausnahmsweise 50 mm, meist jedoch nur bis 10 mm. Sie treten vielfach an die Stelle des Nietens. Der Elektrodendurchmesser wird gleich dem entsprechenden Nietdurchmesser oder gleich der Gesamtblechstärke gewählt. Die Teilung, d. h. die Entfernung von Schweißpunkt zu Schweißpunkt, macht man etwa gleich der sonst üblichen Nietteilung. Nahtschweißungen kommen nur für Einfachblechstärken bis 3 mm, meistens sogar nur 2 mm, in Frage. Nur die Rollenschrittschweißung erlaubt etwas größere Blechstärken (bis 7 mm). Meistens wird überlappt geschweißt, wobei die Breite der Überlappung mindestens gleich der doppelten Blechstärke sein soll. Die Bleche müssen entzundert (dekapiert) sein. Man spricht auch schon von einer Nahtschweißung, wenn man die Punktschweißmaschine verwendet und die Schweißpunkte so dicht aneinander reiht, daß eine zusammenhängende Naht entsteht (Reihenpunktverfahren). Das Verschweißen verschieden starker Bleche, auch das Aufschiessen dünner Bleche auf Winkel- oder Quadrateisen bietet keine Schwierigkeiten.

### B. Eisenkonstruktionsschweißungen.

Diese Schweißungen werden entweder autogen oder mit Hilfe des elektrischen Lichtbogens ausgeführt. Aus Fig. 37 sehen wir in der Gegenüber-

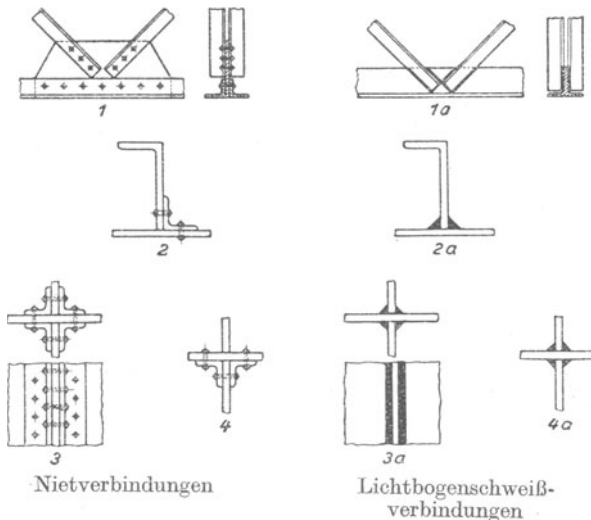


Fig. 37. Elektrische Lichtbogenschweißung als Ersatz für Nietung.

stellung Nietverbindungen (1, 2, 3 und 4) gegen Lichtbogenschweißverbindungen (1a, 2a, 3a und 4a), welche Arten von Nietverbindungen sich vorteilhaft durch Schweißen ersetzen lassen. Wesentliche Vorteile des Schweißens liegen in der Vereinfachung der Konstruktion, im Fortfall von Winkeleisen, Laschen und Nieten. Die Lichtbogenschweißung dürfte dabei im allgemeinen der autogenen Schweißung insofern überlegen sein, als bei ersterer die Schweißarbeit sofort mit Bildung des Lichtbogens einsetzt, während die Gasflamme bei der meistens stückweise vor sich gehenden Schweißung längere Zeit braucht, ehe die

Schweißstelle die nötige Hitze erreicht hat. Eine allgemeine Anwendung des Schweißens an Stelle des Nietens kommt zur Zeit im Eisenkonstruktionsbau noch nicht in Frage, wohl aber eine bereits weitgehende Verwendung bei leichteren Konstruktionen, an die nicht allzu hohe Festigkeitsanforderungen gestellt werden.

### C. Stumpfschweißungen.

Bei der Stumpfschweißung hat sich, abgesehen von der besonders zu besprechenden Schienenschweißung, die alte Feuerschweißung noch an vielen Stellen bis heute behauptet. Die Thermit-, die elektrische Lichtbogen- und die autogene Schweißung werden hier seltener benutzt, da sie für das Stumpfschweißen weniger geeignet sind. Häufig und mit Vorteil wird dagegen bei kleineren Querschnitten das elektrische Widerstandsschweißverfahren verwendet.

**Elektrische Stumpfschweißungen.** Obwohl man Eisenquerschnitte von 20 000 mm<sup>2</sup> mit elektrischen Stumpfschweißmaschinen schweißen kann, geht man praktisch selten über 5000 mm<sup>2</sup> hinaus wegen des bei größeren Querschnitten schnell ansteigenden Stromverbrauchs. Aus den Ausführungen im Abschnitt II C 2 und den dort wiedergegebenen Fig. 15 und 16 geht bereits die Ausführung der gewöhnlichen Stumpfschweißung hervor. Sehr zu achten ist bei größeren Querschnitten darauf, daß das Material gleichmäßig durchwärmt wird. Durch Vergrößerung des Abstands der Klemmbacken von der Berührungsstelle der zusammenschweißenden Stücke und durch vorsichtige, stufenweise Erhitzung gelingt es am besten die Hitze gleichmäßig zu verteilen, so daß nicht der Kern etwa verbrannt ist, ehe außen die Schweißhitze erreicht wird. Dieses Hilfsmittel ist auch beim Stumpfschweißen verschiedener Querschnitte und Materialsorten von Bedeutung. Bei schrägen oder nicht glatt aufeinanderpassenden Köpfflächen der Schweißstücke und bei schwieriger zu schweißenden Querschnitten, insbesondere auch bei Röhren, hat man mit Erfolg das im Abschnitt II bereits geschilderte Abschmelzverfahren angewandt.

Die Einspannlänge, d. h. die freie Länge des Schweißstücks zwischen den Klemmbacken, ist entsprechend dem Schweißquerschnitt und dem Material verschieden groß zu bemessen. Im allgemeinen wählt man nach Fig. 38 I und II:

für Schmiedeeisen und Schmiedeeisen:		$l = 1,4 d$
„ Stahl	„ Stahl	: $l = 1,2 d$
„ Messing	„ Messing	: $l = 3,0 d$
„ Kupfer	„ Kupfer	: $l = 4,0 d$
„ Schmiedeeisen	„ Stahl	: $a = 0,6 d$ (Schmiedeeisenseite)
		$b = 1,5 d$ (Stahlseite).

Man spannt also Schweißstücke mit hohem elektrischen Widerstand kurz, solche mit niedrigem elektrischen Widerstand lang ein und muß bei verschiedenartigen Werkstoffen (z. B. Schmiedeeisen und Stahl) die Einspannlängen verschieden groß wählen.

Der Querschnitt der Schweißstücke an der Stoßstelle muß gleich groß sein, um gleichmäßige Erwärmung zu erzielen. Daher muß man z. B. beim Verschweißen zweier Rundeisen oder Wellen von ungleichem Durchmesser die stärkere nach Fig. 38 III um ein Stück  $l$  auf den schwächeren Durchmesser  $d$  absetzen. Es genügt schon eine Länge  $l = 10 \div 20 mm$ ; besser ist es aber,  $l = 0,7 d$  für Schmiedeeisen zu nehmen. Beim Verschweißen eines Rohrs mit einem vollen Körper oder beim Verschließen eines Rohrendes ist der volle Körper (bzw. das Verschlußstück) nach Fig. 38 IV vorher an der Stoßstelle auf gleichen Querschnitt mit dem Rohr auszubohren. Bei der Eckenverbindung

von Flacheisen ist nach Fig. 38 V ein kleiner Sägeneinschnitt von  $\frac{1}{2} \div 1$  mm bei a angebracht, um gleiche Schweißquerschnitte zu erzielen. Bei geschlossenen Schweißstücken, z. B. bei Ringen, Reifen, Rahmen, entsteht im Schweißstück selbst ein Nebenstromkreis, der der Schweißstelle unter Umständen beträchtliche Strommengen entzieht. Durch Überschieben von Eisenblechpaketen über den Ring (Reifen usw.) an dem den Schweißbacken gegenüberliegenden Teil läßt sich diese Nebenstromwirkung verringern.

Besonders zu erwähnen ist hier das „Verbundverfahren“, das in der Schneidwerkzeugindustrie mit großem Erfolg durchgeführt worden ist.

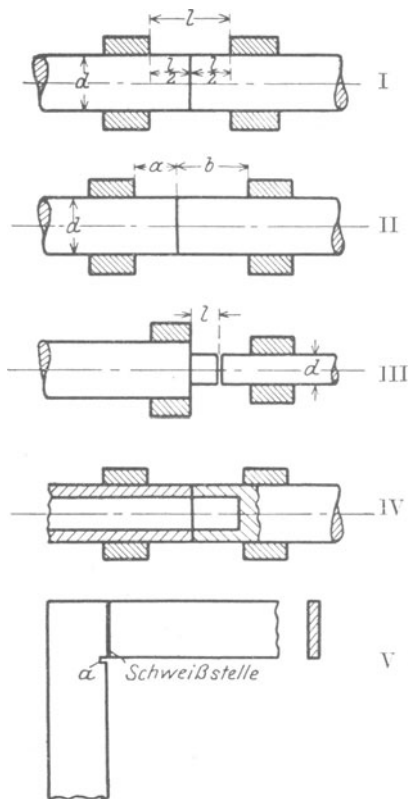


Fig. 38. Einspannlängen und Schweißquerschnitte beim Stumpfschweißen.

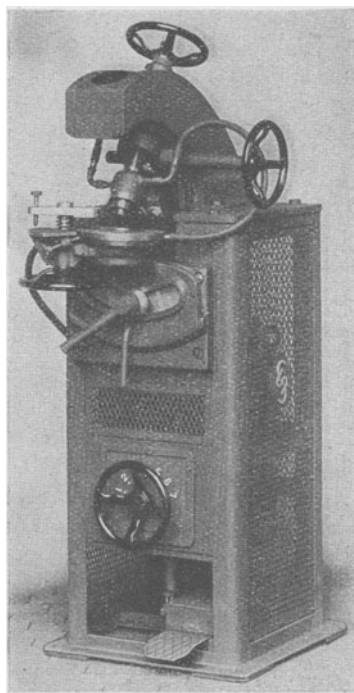


Fig. 39. Elektrische Edelstahlaufschweißmaschine.

Drehstähle, Bohrer, Fräser usw. werden heute vielfach so hergestellt, daß der Schneidteil der Werkzeuge, aus hochwertigem Material (Edelstahl), an das aus gewöhnlichem Stahl bestehende Reststück mit Hilfe des Abschmelzverfahrens angeschweißt wird. Ein Nachteil dabei ist es, daß 10 mm Länge und mehr durch das Abschmelzen verloren gehen.

Bei Dreh- und Hobelstählen werden schon seit mehr als 12 Jahren Plättchen aus Schnellstahl oder Schneidmetall (Stellit) auf den Schaft aus Flußstahl aufgeschweißt. Man kann dabei mit der Feuerschweißung, aber auch mit dem normalen elektrischen Widerstandsschweißverfahren arbeiten und benutzt entweder eine besondere Einspannvorrichtung an der Stumpfschweiß-

maschine oder nimmt eine besondere, aus der Punktschweißmaschine heraus entwickelte Schweißmaschine, wie sie Fig. 39 wiedergibt. Die obere Elektrode ist in einer Bogenführung gelagert, läßt sich in dem Führungsbock nach vorn und hinten neigen und durch ein Handrad in einer bestimmten Lage festklemmen. Der Elektrodendruck wird durch das rechte seitliche Handrad eingestellt. Die untere Elektrode nimmt den Stahlschaft auf; sie ist als schwenkbarer Aufspannbock ausgebildet. Der Stahl wird mit Hilfe der links sichtbaren Zwinde befestigt. Die Maschine ermöglicht es so, Stähle und Plättchen von beliebiger Form leicht einzuspannen und schnell zu verschweißen, ohne Abschmelzen. Die verschieden schnelle Erwärmung von Plättchen und Schaft wird dadurch ausgeglichen, daß man einige Male kurz den Strom ausschaltet.

**Elektrische Kettenschweißungen.** Handelsketten, landwirtschaftliche und kalibrierte Ketten werden heute zweckmäßig bis 15 mm Stärke und mehr elektrisch

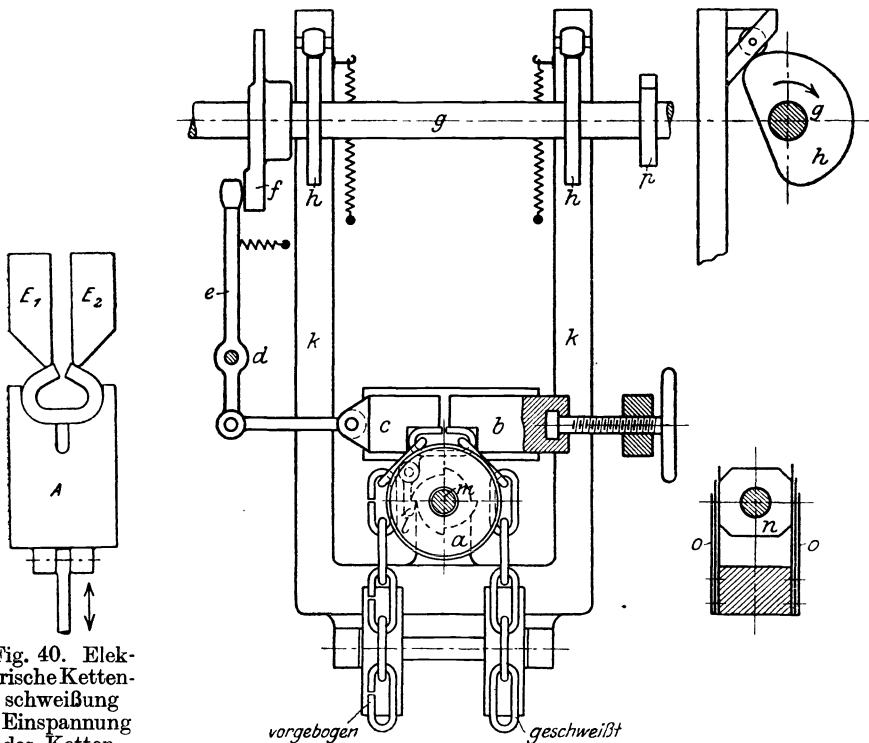


Fig. 41. Schema einer selbsttätigen elektrischen Kettenschweißmaschine.

stumpfgeschweißt. Eine Biegemaschine verarbeitet den Draht bis zur fertig verhängten Kette, so daß die zusammenzuschweißenden Enden schon annähernd zusammenstoßen. Biege- und Schweißmaschinen zu vereinigen hat keinen Zweck, da die Biegemaschine viel schneller arbeitet als die Schweißmaschine. Handels- und Viehkettens werden meist auf leichten Maschinen, mit Handbetrieb oder halb-selbsttätig arbeitend, derart geschweißt, daß das vorgebogene Kettenglied durch den beweglichen Stauchstempel A (Fig. 40) gegen die feststehenden Elektroden  $E_1$  und  $E_2$  gedrückt wird oder dadurch, daß, umgekehrt, die beweglichen Elektroden gegen ein festes Widerlager A drücken. Die offenen Schenkel werden dadurch nach

innen gebogen und berühren sich. Der Strom geht von  $E_1$  durch das Kettenglied nach  $E_2$  und bewirkt die Erhitzung und Schweißung bei weiterem Vordrücken von A. Bei kalibrierten Ketten benutzt man meist ganz selbsttätig arbeitende Maschinen, deren Wirkungsweise Fig. 41 schematisch zeigt. Die vorgebogene Kette wird um ein drehbares Rad a gelegt und zwischen die Stahlbacken b und c geführt, die entsprechende Aussparungen haben. Backen b ist fest gelagert, dabei aber verstellbar. Backen c erhält in einer Schlittenführung eine Bewegung nach rechts, sobald der um d drehbare Hebel e durch die dickeren Flächen des Nockenrades f nach links gedrückt wird. Die Dicke des Nockenrades nimmt stufenweise zu. Zunächst erfolgt also ein Zusammenpressen der offenen Kettenenden, dann nach inzwischen erfolgtem Stromschluß das Stauchen. Die Welle g, durch einen Elektromotor angetrieben, treibt einmal das Nockenrad f, dann ein zum Stromein- und -ausschalten dienendes Nasenrad p und weiter exzentrische Räder h. Die Federn i pressen den beweglichen Rahmen k ständig mit Hilfe kleiner Rollen gegen diese Räder h. Dreht sich die Welle g aus der gezeichneten Stellung nach rechts, so kommt der kleine Radius der Exzentrerräder an die Rollen, der Rahmen k bewegt sich vorwärts und entfernt sich mit Kettenrad und Kette von den Backen. Nun greift aber eine am Maschinengestell festsitzende Sperrklinke l in das unter a sitzende Sperrrad m ein und dreht m und a nach rechts um  $90^\circ$ . Unter a sitzt nämlich weiter noch ein Vierkantrad n, das durch Blattfedern o in seiner Lage gehalten wird und bei dieser zwangsweisen Rechtsdrehung nach  $90^\circ$  wieder in die Lage zwischen den Federn einschnappt. Inzwischen hat sich aber der größere Radius der Exzentrerräder h den Rollen genähert, der Rahmen k wird rückwärts bewegt, und ein neues, und zwar das zweitfolgende Kettenglied, kommt zum Schweißen zwischen die Elektrodenbacken. Da nur jedes zweite Glied in der beschriebenen Weise selbsttätig geschweißt werden kann, muß die Kette zweimal durch die Maschine gehen.

#### D. Schienenschweißungen.

**Thermitschweißung.** Fig. 42 gibt ein schematisches Bild der jetzt üblichen Schweißung nach dem sog. „kombinierten Verfahren“. Man gießt mit dem

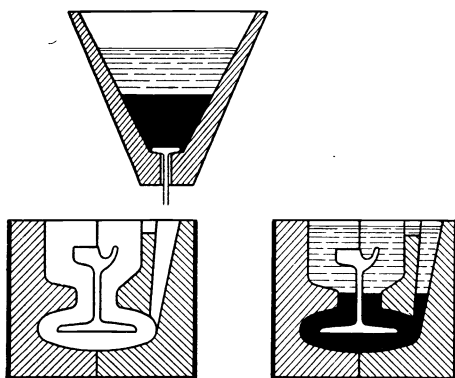


Fig. 42. Schienenschweißung mit Thermit.

Spitztiegel (s. auch Fig. 5). Das zuerst einfließende Thermitisen umhüllt und verschweißt die Schienenfüße und die untere Steghälfte. Die nachfließende Schlacke erwärmt die Schienenköpfe, die auf diese Weise schweißwarm und dann durch Zusammenpressen mittels einer Klemmvorrichtung geschweißt werden. Die Schlacke wird nachher abgeschlagen. Das Weglassen des Klemmapparats (also nur Umgießen des Schienenfußes) hat sich nicht bewährt, d. h. beim Gleisneubau, um den es sich aber auch meistens handelt. Als vorteilhaft erwiesen hat sich das Einlegen und Festschweißen eines Blechs

in die Stoßflücke des Schienenkopfs. Ferner hat man neuerdings eine Vorwärmung der Schweißstelle in der Weise eingeführt, daß Benzin aus einem kleinen Kessel mittels Handpumpe in einen durch Holzkohle erhitzten Vergaser

gedrückt wird und dann durch eine Düse unter Mitreißen der nötigen Verbrennungsluft in die Form strömt, wo das Gemisch entzündet wird. Die Vorwärmung gestattet eine Verkleinerung der Schweißportion an Thermit auf  $60 \div 65\%$  der bisherigen und erhöht die Güte der Schweißung. Eine Schweißkolonne stellt in 8 st etwa 10 Thermitstöße her.

**Elektrische Lichtbogenschweißung.** Es wird entweder mit dem Kohlenlichtbogen und Zusatzmaterial oder mit Metallelektroden geschweißt; das letztere wird in neuerer Zeit bevorzugt. Man unterscheidet Kopf- und Fußschweißung oder Laschenschweißung. Bei ersterer (Fig. 43, I) wird zunächst mit dem Lichtbogen eine Rinne ausgeschmolzen. Das flüssige Material läßt man ablaufen. Darauf werden Formstücke A angesetzt, die durch einen viereckigen Ring B und Gewichte C an die Schienen gepreßt werden. Nun fährt man mit dem Ausschmelzen der Rinne fort, wobei das Material jetzt in den unteren Teil der Form a fließt, und schmilzt schließlich das ganze Forminnere unter Zuschmelzen fremden Materials voll. Die Schienenrinne schützt man gegen Zuschmelzen durch Einlegen eines Kohlenstabs. Im übrigen erhält man die bei d sichtbare Wulst. Bei der Fußschweißung wird eine Eisenplatte D an den Stellen b mit angeschweißt. Demgegenüber beruht die Laschenschweißung (Fig. 43, II) auf dem Anschweißen

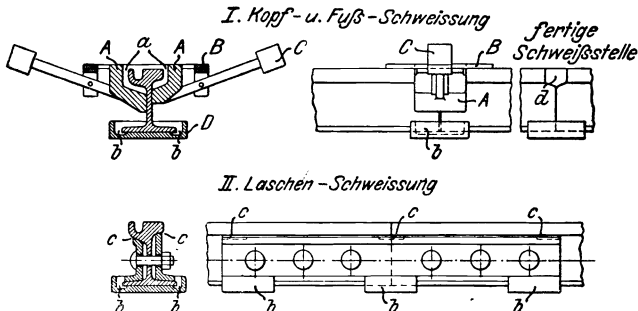


Fig. 43. Elektrische Schienenschweißung.

der beiden normal verschraubten Laschen an den Stellen b und c, wobei sich im ganzen zwölf Schweißstellen ergeben. Teilweise werden auch die Laschen unterteilt, um eine kräftige Spannung im Schienenkopf zu erzielen. Die Laschenschweißung wird heute der Kopf- und Fußschweißung vorgezogen.

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 auftragen, wie es schon Fig. 13 für eine Straßenbahnkurve zeigt. Man muß dann besondere Elektroden verwenden, die eine harte Schweißmasse ergeben. Die Schweißstelle ist nachträglich zu glätten. —

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 Zug- oder Druckspannungen, die sich aber in erträglichen Grenzen halten. Versuchsweise sind auch schon seit Jahren Schweißungen an Eisenbahngleisen vorgenommen worden. Es steht heute fest, daß man zum mindesten Geleislängen von  $100 \div 200$  m verschweißen kann,

ohne Schwierigkeiten befürchten zu müssen. Als wesentliche Vorteile sind die geringeren Geleisunterhaltungskosten und die geringere Abnutzung der Lokomotiv- und Wagenräder anzuspochen.

Die Thermitschweißung hat sich bei Schienenstößen besser bewährt als die Lichtbogenschweißung. Bei letzterer zeigten sich nach 3-4 Jahren Risse in der Schweißnaht, vom Schienenstoß aus anfangend.

### E. Reparaturschweißungen.

**Schweißung von Schmiedeeisen, Stahl, Stahlguß, Temperguß.** Als Schweißverfahren kommen hauptsächlich in Frage die autogene Schweißung und die elektrische Lichtbogenschweißung, selten die Thermitschweißung. Die Lichtbogenschweißung hat gegenüber der autogenen den schon früher erwähnten Vorteil, daß die Umgebung der Schweißstelle nicht mit erwärmt wird und infolgedessen Spannungen leichter vermieden werden; sie ist daher der autogenen Schweißung bei manchen Reparaturarbeiten vorzuziehen.

**Einfache Risse.** Sie sind auszukreuzen, auszuhobeln oder auszufräsen, und zwar so weit, als sich der Riß noch deutlich durch doppelten Span erkennen läßt, und dann mit Zusatzmaterial auszufüllen unter zeitweise sorgfältigem Hämmern in Rotglut.

**Senkrechte Flächen und Überkopfschweißung.** Das Schweißen an senkrechten Flächen und über Kopf kommt fast nur bei Reparaturarbeiten in Betracht, weil dort die Schweißstelle oft schlecht zugänglich ist oder weil das Schweißstück nicht in die wagerechte Lage gebracht werden kann. Solche Schweißungen sind aber besonders schwierig; sie können nur von einem ganz geübten Schweißer ausgeführt werden.

Beim autogenen Schweißen ist alsdann die richtige Haltung des Brenners bzw. der Flamme von ausschlaggebender Bedeutung. Durch richtige Bewegung der Flamme und Ausnutzung ihrer Ausströmkraft wird das Eisen angepreßt und vor dem Abfließen geschützt. Fig. 44 zeigt uns z. B. oben, wie es beim Überkopfschweißen leicht zum Abtropfen geschmolzenen Eisens kommen kann (Pfeil=

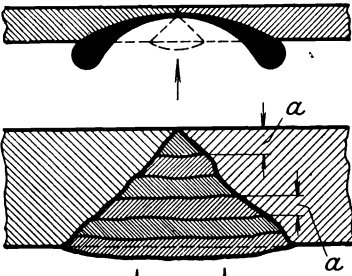


Fig. 44. Autogene Überkopfschweißung.

Brennerichtung). In derselben Figur unten sehen wir die richtige Auftragung des Materials in nicht allzu dicken Schichten a. Dazu gehört sorgfältiges Vorhämmern jeder Schicht in Rotglut. Beim Lichtbogenschweißen wird zweckmäßig mit Gleichstrom und nur mit ummantelten Elektroden gearbeitet, weil durch die Ummantelung ein Abtropfen des Elektrodendrahts verhindert wird. In diesem Fall wird auch — im Gegensatz zur sonstigen Bleischweißung — der + Pol an die Elektrode gelegt, weil dieser positive Pol die Eisentropfen besser abstößt und zum Anhaften bringt.

**Dampfkesselschweißungen.** An Schweißarbeiten kommen vor: Risse an Nietlöchern und an Flammrohren, an Böden und am Außenmantel, Anfrassungen einzelner Kesselteile, abgezehrte Stemmkannten, Ausbeulungen der Flammrohre usw. Ausfrassungen sind gründlich zu reinigen; das Schweißen ist einfach. Risse werden wie bereits erwähnt behandelt. Zur Verhütung von Spannungsrissen treibt man zweckmäßig einen Keil in die Rißmitte, schweißt nach dem Keil hin von beiden Rißenden aus und verschweißt zuletzt das Keil-



loch. Flicken werden dort eingesetzt, wo sich großflächige und tiefe Anfrassungen zeigen und wo das Material durch Einwirkung von Feuergasen oder Kesselstein rissig geworden ist. Sie erhalten am besten die Form der Fig. 45 II; bei rechteckiger Form sind zum mindesten aber die Ecken abzurunden (Fig. 45 I). Zur Vermeidung von Spannungsrissen wölbt man den Flicken (s. Stelle *f* in Fig. 45 I) und setzt ihn scharf passend in die Öffnung ein. Man schweißt nicht in ununterbrochenem Zug, sondern in Fig. 45 I in Reihenfolge *b*, *c*, *d*, *e* und in Fig. 45 II in Reihenfolge *a*, *b*, *c*, *d*, andernfalls erhält man leicht Spannungsrisse.

Schweißung von Sonderstahl, Stahlguß, Temperguß. Schon Stahl mit mehr als 1% C ist schwer schweißbar, ebenso jeder Sonderstahl, d. h. Stahl mit Zusatz von Nickel, Chrom, Wolfram, Vanadium usw. Stahlguß dagegen ist im allgemeinen wie Schmiedeeisen zu behandeln, also gut schweißbar. Obwohl wir es hier mit einer Gußart zu tun haben, sind die beim Schweißen auftretenden Spannungen weniger gefährlich als beim Gußeisen. Temperguß ist geglühter Guß mit meistens geringem Kohlenstoffgehalt und daher schmiedbar. Ist das

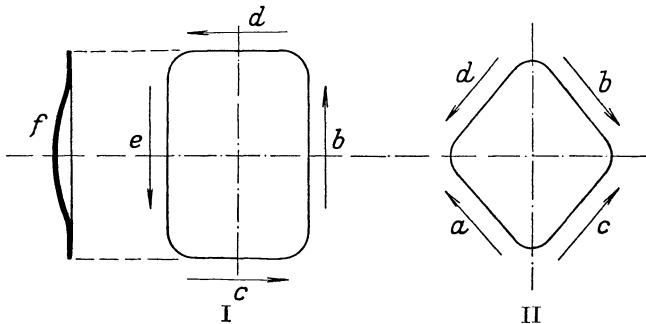


Fig. 45. Einschweißen von Flicken.

Tempergußstück lange geglüht (getempert), so ist es wie Schmiedeeisen zu behandeln; ist es nur kurze Zeit geglüht — was man beim Schweißen am Leichterflüssigwerden merkt —, so ist es mehr als eine Art Gußeisen aufzufassen.

**Gußeisenschweißung.** Allgemeines. Das Schweißen von Gußeisen normaler Zusammensetzung ist heute sowohl aluminothermisch wie autogen oder mit dem elektrischen Lichtbogen gut durchführbar. Schlecht schweißbar ist Hartguß (Guß in eiserne Formen gegossen, an der Oberfläche abgeschreckt, hart) und vor allem verbrannter Guß (Roststäbe, gußeiserne Kochkessel, Herdplatten usw.). Gußeisen wird, wenn es genügend erhitzt ist, plötzlich flüssig. Es kann daher (abgesehen von der elektrischen Kaltschweißung) nur in wagerechter Lage geschweißt werden. Die Schweiße neigt leicht dazu, blasig und porös zu werden; außerdem bildet sich an der Oberfläche eine Oxydhaut, da der Schmelzpunkt des Gußeisens niedriger ist als der des Eisenoxyds. Man soll daher ständig mit dem Zusatzstab im Schweißbad herumrühren und außerdem ein Schweißpulver verwenden in der Weise, daß man das erhitzte Ende des Schweißstabs in das Schweißpulver eintaucht. Durch zu schnelles Erkalten und durch Verdampfen von Kohlenstoff und Silizium neigt die Schweiße zum Hartwerden. Als Hilfsmittel dient nachträgliches Ausglühen (besser von vornherein langsame Abkühlung); ferner soll das Zusatzmaterial genügend Kohlenstoff und Silizium enthalten. Infolge der Schwindung (Zusammenziehung) und mehr oder weniger ungleichmäßigen Abkühlung nach dem Gießen hat fast jedes Gußstück Spannungen, zu denen noch neue Span-

nungen beim Schweißen, hervorgerufen durch ungleichmäßige Erhitzung und Abkühlung, hinzutreten. Als wesentlichstes Hilfsmittel kommt hier in Betracht ein Vorwärmen des ganzen Stücks auf Rotglut und langsames Abkühlen im erlöschenden Feuer. Dementsprechend unterscheidet man bei Gußeisen eine Kaltschweißung (ohne Vorwärmen) und eine Warmschweißung (mit Vorwärmen). Die Warmschweißung ist die bei weitem bessere, aber auch teurere. Die beim Lichtbogenschweißen in besonderer Weise ausgeführte Kaltschweißung wird in einem der nächsten Unterabschnitte behandelt.

**Thermitschweißungen.** Nach Fig. 46, I wird die Ausbesserung von kleinen Fehlern an Gußstücken ausgeführt, nachdem das Stück vorher erwärmt worden ist. Die Schlacke muß aus dem Tiegel sorgfältig abgossen werden. Alsdann

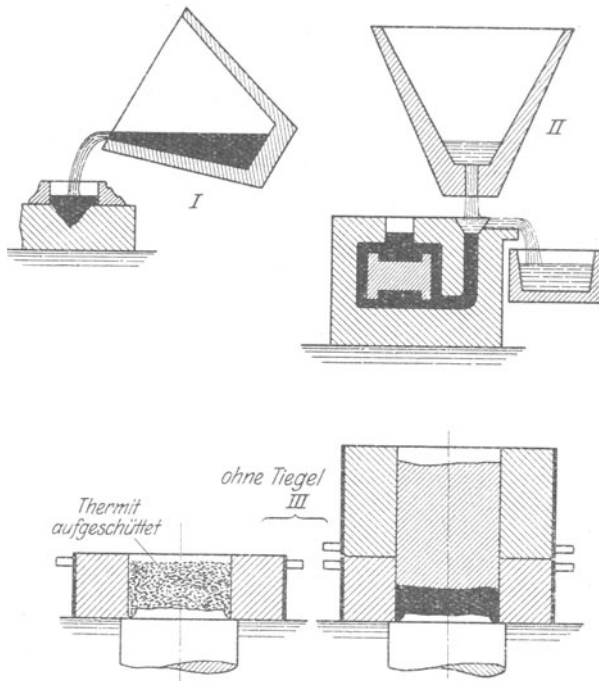


Fig. 46. Ausführungsarten der Thermitschweißung.

kann man das saubere Thermit Eisen einfach auf die fehlerhafte Stelle aufgießen, die so weich wird, daß das Thermit Eisen gut anschweißt. Bei größeren Ausbesserungen wird man nach Fig. 46, II mit dem Spitztiegel arbeiten und die Bruchstelle durch einen Umguß von etwa 15–50 mm Dicke und 50–300 mm Breite flicken. Die Form besteht aus feuerfestem Sand und ist sorgfältig auszutrocknen. Bekannt ist dies Umgießverfahren vor allem auch bei Schiffsreparaturen. Fig. 47 zeigt die fertige Schweißung eines Schiffsstevens, und zwar wurde die Aufnahme ein Jahr nach der Schweißung gemacht. Die Schweißstelle hatte vorzüglich gehalten. Hervorzuheben ist beim Schweißen von Gußeisen das unbedingt erforderliche Anwärmen des Stücks. Trotzdem werden oft infolge der örtlichen starken Erhitzung Spannungen entstehen, die beim Erkalten zum Reißen führen. Außerdem werden die Übergangsstellen von Gußeisen und Thermit Eisen sehr hart, hauptsächlich wohl infolge der verhältnismäßig schnellen Abkühlung nach dem Gießen.

Geringer Siliziumgehalt des Gußeisens und größerer Mangangehalt des Thermit-eisens verstärken diese Wirkung. Fig. 46, III zeigt das Anschweißen eines Walzenzapfens, wobei Thermit einfach aufgeschüttet und angezündet werden kann. Es dient in diesem Fall nur zum Aufweichen der Bruchfläche, die aufgesetzte Form wird nach Abziehen der Schlacke mit Gußeisen vollgegossen.

Die Thermit-Reparaturschweißung wird bedeutend weniger benutzt als die autogene und elektrische Schweißung, ist aber diesen Schweißverfahren bei sehr großen Reparaturarbeiten überlegen, da die dann benötigten großen Eisenmassen am leichtesten nach dem Thermitverfahren eingeschmolzen werden können.

Elektrische Lichtbogenschweißungen. Man unterscheidet hier in besonderer Weise zwischen Kalt- und Warmschweißung. Die Kaltschweißung ist die wesentlich billigere, aber nur da am Platze, wo weder Dichtigkeit noch hohe Festigkeit des Schweißstücks verlangt

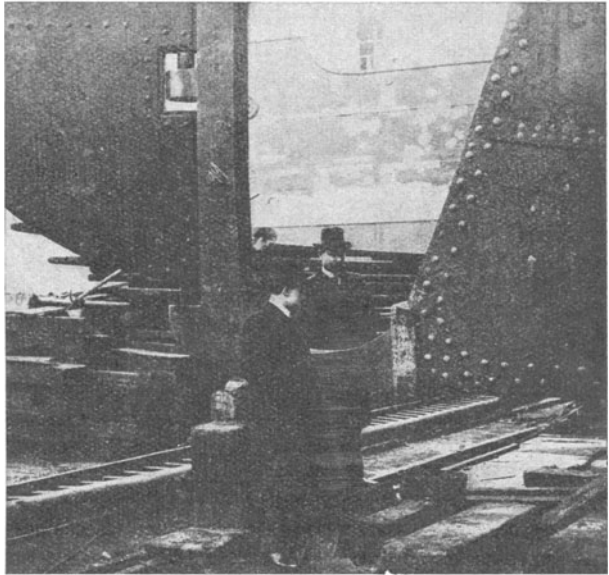


Fig. 47. Schiffssteven, geschweißt mit Thermit.

wird, z. B. also bei Rissen und Brüchen an Platten, Hebeln, Seilscheiben, Zahnrädern, Fundamentrahmen usw. Es wird nicht (wie bei der autogenen Schweißung und elektrischen Warmschweißung) Gußeisen, sondern Schmiedeeisen eingeschmolzen unter Verwendung ummantelter Elektroden. Versuche mit Gußelektroden sind gescheitert, weil der Gußstab in großen Tropfen abfließt, ohne sich mit dem noch zu kalten Schweißstück zu verbinden. Die Kaltschweißnaht ist meistens nicht oder doch nur schlecht bearbeitbar. 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 Werkstücks plötzlich abgeleitet wird); dann folgt eine Schicht harten Stahls, indem sich flüssiges Roheisen mit dem weichen Elektrodendraht mischt. Man muß also in dünnen Lagen schweißen, um diese Zone und die weiteraufliegenden immer wieder auszuglühen. In den erwähnten harten Zonen treten natürlich leicht Spannungen und Haarrisse auf. Zur Vorbereitung des Schweißens gehört zunächst das Auskreuzen der Risse. Bei wichtigeren Schweißungen wird man aber die entstandenen Schweißmulden nicht einfach, wie beim Blechschweißen, mit abgeschmolzenem Material auffüllen, sondern vorher noch

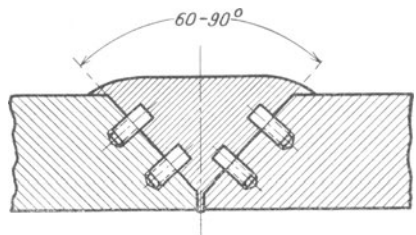


Fig. 48. Elektrisches Kaltschweißen (Einsetzen von Gewindestiften).

Gewindestifte einsetzen (Fig. 48). Die Stifte werden auf beiden Rändern gegeneinander versetzt und sind gewissermaßen die Grundpfeiler einer Brücke, die durch das Elektrodeneisen gebildet wird, während die Verbindung zwischen Elektrodeneisen und Gußstück ja nach vorigem keine besonders feste sein kann. Bei dünneren Werkstücken (unter 30 mm) genügt eine Stiftreihe. Der Stiftdurchmesser beträgt meistens  $\frac{1}{3} \div \frac{1}{2}$  der Wandstärke, die Stiftdistanz in der Längsrichtung der Naht das  $4 \div 8$ fache des Stiftdurchmessers. Beim



Fig. 49. Elektrische Warmschweißung eines Maschinenständers.

— im Gegensatz zur Blechschweißung — mit dem negativen Pol (— Pol), die Elektrode mit dem positiven Pol (+ Pol) des Schweißumformers verbunden. Geschweißt wird mit Elektroden von  $3 \div 5$  mm Durchmesser bei einer Spannung von 20 bis 35 V und einer Stromstärke von  $80 \div 200$  A (die kleineren Wertegelten für die kleineren Wandstärken; s. auch Zahlentafel 1).

Bei der Warmschweißung liegt der positive Pol (+ Pol) der Stromquelle am Werkstück. Geschweißt wird im allgemeinen mit  $45 \div 55$  V Spannung und  $400 \div 500$  A Stromstärke (ausnahmsweise bis 1000 A). Die Elektroden sind Gußstäbe von meistens  $10 \div 15$  mm Durchmesser, und zwar entweder nackt (dann wird dem eingeschmolzenen Material Schweißpulver zugesetzt) oder mit Schweißpaste überzogen (dann ist kein Schweißpulver erforderlich). Die Warmschweißung ist eine Art Kleingießschweißung; die Schweiße bleibt weich und ist gut bearbeitbar, sie wird dicht und ergibt hohe Festigkeit. Fig. 49 zeigt den Arbeitsvorgang; ein Maschinenständer ist auf der Werksole in einem Eisenkasten eingeformt. Die beiden Schweißer tragen Asbestschürzen und Asbesthandschuhe, sowie klappbare Schutzhelme; sie wechseln sich von Zeit zu Zeit ab; Arbeitsunterbrechungen dürfen nicht eintreten. Die sich bildenden Gase

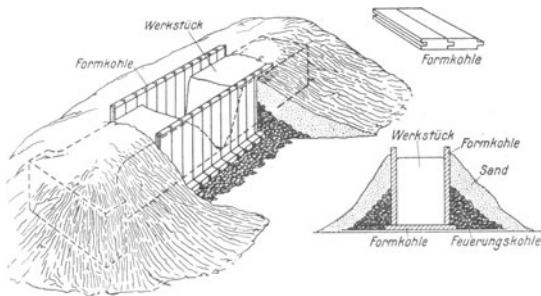


Fig. 50. Vorbereitung der elektrischen Warmschweißung.

werden durch ein Abzugrohr abgesaugt. Zur Vorbereitung der Schweißung werden die Bruchränder ausgearbeitet. Dann ist vor allem eine Einförmigkeit des Schweißstücks erforderlich, wie sie Fig. 50 im Schema zeigt. Die Schweißstelle selbst wird mit Formkohlen (Platten aus Retortenkoks, meist mit Nut und Feder) eingefasst zur Begrenzung des Schmelzbads. Zur Vorwärmung wird das Stück dann mit Feuerungskohle (am besten Holzkohle) umgeben und weitgehend mit Sand abgedeckt. Die Erwärmung auf Rotglut dauert etwa  $2 \div 10$  st je nach Größe des Stücks. Dann wird die Schweißstelle freigelegt, sauber ausgeblasen und das in Fig. 49 wiedergegebene Schweißen beginnt. Nach Beendigung des Schweißvorgangs erfolgt

langsamstes Abkühlen, 1 bis 5 Tage lang, im Holzkohlenfeuer. Hierdurch werden vor allem Spannungen vermieden, und die Schweißstelle bleibt weich. Zu erwähnen ist hier noch die sog. Halbwarm-schweißung, die sich von der Warm-schweißung nur dadurch unterscheidet, daß man die Vorwärmung des Guß-

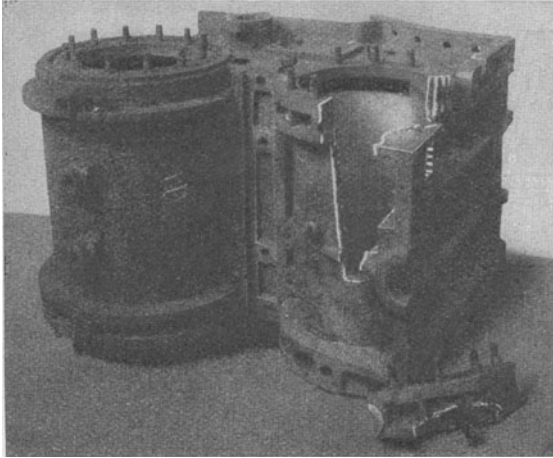


Fig. 51. Gerissener Lokomotivzylinder vor der Schweißung.

stücks nur auf  $200\text{--}250^{\circ}$  hinauftreibt. Diese Schweißung kann Anwendung finden, wenn die Spannungsgefahr gering ist, aber größere Eisenmassen eingeschmolzen werden müssen. Fig. 51 und 52 zeigen schließlich noch ein Beispiel

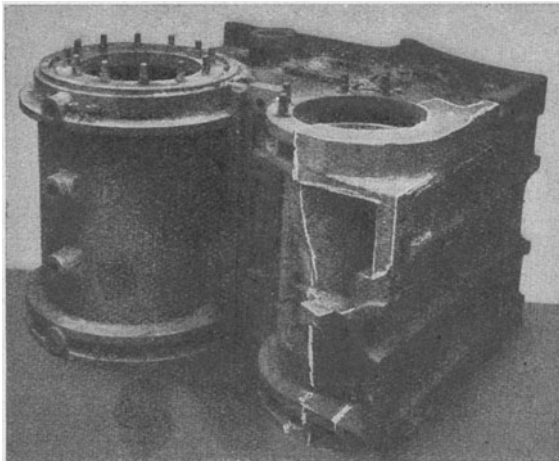


Fig. 52. Obiger Lokomotivzylinder elektrisch geschweißt.

einer größeren Gußwärm-schweißung aus einer Abhandlung von Bardtke in „Glaser's Annalen“ 1917. Es handelt sich um einen stark gesprungenen und verletzten Lokomotivzylinder, der in der Eisenbahnhauptwerkstatt in Wittenberge wiederhergestellt wurde.

Autogene Schweißungen. Fast alle im vorigen berührten Schweißungen lassen sich auch mit Hilfe der Gasschmelzschweißung ausführen. Bei der autogenen Kaltschweißung wird, ebenso wie bei der Warmschweißung, mit gußeisernen Zusatzstäben gearbeitet. Fig. 53 möge noch, in Ergänzung der vorhergehenden Figuren, das Schweißbeispiel eines Lagerbocks bringen. Die Brüche bei a und c sind verhältnismäßig leicht ohne Vorwärmung schweißbar. Liegt der Bruch aber bei b oder d, so ist der Teil bei e mit dem Brenner vorzuwärmen bzw. mit einem zweiten Brenner warm zu halten, um ein Verziehen oder Reißen zu vermeiden. Eine bleibende, geringe Zunahme der Länge x ist bei den letztangedeuteten Schweißarbeiten wahrscheinlich und muß dann durch Abarbeiten der Fußplatte ausgeglichen werden. Wenn der Bruch in der Fußplatte bei f

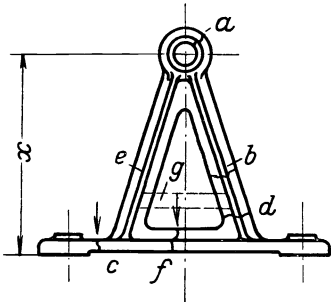


Fig. 53. Autogene Schweißungen an einem Lagerbock.

liegt, so ist das behutsame Eintreiben eines Keiles g empfehlenswert, damit der Riß etwas klafft. Sobald die Schweißung beendet ist, muß man den Keil herausnehmen. Das gibt dann eine (günstige) Materialstauchung in der Schweißstelle.

## F. Schweißen der Nichteisenmetalle.

In Betracht kommen in der Hauptsache: Kupfer und seine Legierungen, Aluminium und seine Legierungen, Nickel, Blei, seltener Gold, Silber, Platin. Sehr hinderlich sind bei Kupfer und Aluminium ihre große Verwandtschaft zu Sauerstoff (Oxydbildung) und ihre große Wärmeleitfähigkeit, wodurch die Schweißhitze schnell abgeleitet wird. Alle genannten Nichteisenmetalle und ihre Legierungen sind heute unter Beobachtung gewisser, nachher erwähnter Vorsichtsmaßregeln gut autogen schweißbar. Die elektrische Lichtbogenschweißung ist bisher mit Erfolg nur für Kupfer unter Verwendung von Kohlenelektroden durchgeführt worden, die elektrische Widerstandsschweißung kommt als Stumpfschweißung für Kupfer, Messing und Bronze, als Punkt- und Nahtschweißung in der Hauptsache für dünnes Messingblech in Frage.

**Kupfer und Kupferlegierungen.** Infolge der starken Wärmeleitfähigkeit des Kupfers tritt das zum Autogenschweißen erforderliche örtliche Schmelzen erst ein, nachdem der größte Teil des Werkstücks viel Wärme aufgenommen hat; daher ist insbesondere bei größeren Stücken ein Vorwärmen im Holzkohlenfeuer und ein Warmhalten während des Schweißvorgangs sehr zu empfehlen. Auch benutzt man einen zweiten Brenner zum Vorwärmen und schweißt senkrechte Nähte an starken Blechen mit zwei Brennern von beiden Seiten gleichzeitig. Die Flamme darf, wegen der Gefahr der Überhitzung und Rißbildung, nicht auf die bereits geschweißte Naht zurückgezogen werden; sie ist auch möglichst scharf einzustellen und darf der Schweißnaht nicht zu nahe kommen, andernfalls wird die Gefahr blasiger, poröser Nähte erhöht. Kupferbleche über 3 mm werden immer mit Schweißpulver geschweißt; schwächere Bleche können von geübten Schweißern ohne Schweißpulver geschweißt werden, wenn das Kupfer sehr rein ist. Als Schweißdraht genügt bei Durchschnitsarbeiten Hüttenkupfer, bei schwachen Blechen Elektrolytkupfer. Für starke Bleche ist der Canzlerdraht (D.R.P. 284 840) zu empfehlen, der Spuren von Phosphor und bis zu 5% Silber enthält. Kupfer ist bei Temperaturen dicht unter seinem Schmelzpunkt von 1083° sehr brüchig, was beim Hämmern und Ausrichten zu beachten

ist. Die durch Schweißen und Hämmern grobkristallinisch gewordene Struktur des Kupfers verbessert man durch Abschrecken der Schweißstelle in kaltem Wasser; das Material wird dann wesentlich weicher und dehnbarer.

Messing, Rotguß und Bronze sind ähnlich zu behandeln wie Kupfer. Bronze verliert in der Hitze ihre Festigkeit fast ganz, die Schweißstellen dürfen daher während des Schweißens keinen Zugbeanspruchungen ausgesetzt sein. Den Schweißstäben setzt man bei allen drei Legierungen Phosphor und Aluminium zu. Letzteres wirkt reduzierend, verlangt aber wieder die Anwendung eines Schweißmittels aus den nachher beim Aluminiumschweißen angegebenen Gründen.

**Aluminium und Aluminiumlegierungen.** Sie erfordern unbedingt die Anwendung eines geeigneten Schweißmittels, da das sich stets bildende Aluminiumoxyd den sehr hohen Schmelzpunkt von etwa 3000° hat und an der Schweißoberfläche ein widerspenstiges Häutchen bildet. Bewährt haben sich bisher die Schweißmittel Autogal (von Griesheim-Elektron) und Sudal (von der Wolfener Farbenfabrik), die in Pulverform oder als aufstreichbare Paste verwendet werden. Aluminiumschweißpulver saugen schnell die Feuchtigkeit der Luft an; sie sind daher zweckmäßig in Glasflaschen mit eingeschliffenen Stöpseln aufzubewahren. Der Zusatzstab ist reiner Aluminiumdraht oder ein Abfallstreifen. Eine Vorwärmung des Schweißstücks mit dem Brenner ist wie bei Kupfer zu empfehlen. Schwache Bleche werden vorteilhaft mit der nicht so heißen Wasserstoff-Sauerstoffflamme geschweißt. Das Durchbrechen des plötzlich flüssig werdenden Materials bei größeren Stücken verhütet man durch Unterlegen eines Eisenblechs. Erhitztes Aluminium verliert ähnlich der Bronze seine Festigkeit fast ganz, was beim Bewegen warmer Stücke sehr zu beachten ist. Ein Abschrecken nach dem Schweißen verbessert das Gefüge.

Als Aluminiumlegierungen kommen vor allem Duraluminium, Aludur, Lautal, Skleron und Silumin in Frage. Sie sind sämtlich unter Beobachtung der angegebenen Vorsichtsmaßregeln schweißbar. Jedoch verlieren die durch Wärmebehandlung vergüteten Legierungen wie Duraluminium usw. an der Schweißstelle einen wesentlichen Teil ihrer Festigkeit, da sie ja durch das Schweißen ausgeglüht werden. Von einigen Seiten wird angegeben, daß man die Schweißnaht nachträglich wieder vergüten kann.

**Nickel.** Nickelstumpfschweißungen sind nach einem den Vereinigten Schwyter Nickelwerken patentierten Verfahren zufriedenstellend durchzuführen. Man kann auch die zu verbindenden Stellen überlappen und nach Art der Feuerschweißung zusammenhämmern, indem man das Material durch die Schweißflamme nur so weit erhitzt, bis es plastisch wird.

**Blei.** Die längst bekannte Bleilötung ist eine Schmelzschweißung; es wird Blei in das Grundmetall Blei eingeschmolzen, und zwar vorteilhaft mit der Wasserstoff-Sauerstoffflamme ohne Verwendung eines Schweißpulvers. Bleidämpfe sind sehr giftig; daher müssen die Bleischweißer Respiratoren (Atmungsmasken) tragen.

**Gold, Silber, Platin.** Alle drei Edelmetalle sind ohne Schweißpulver mit der Azetylen-Sauerstoffflamme gut schweißbar.

#### IV. Güte der Schweißnaht.

In der Hauptsache hat man bisher Festigkeitsuntersuchungen<sup>1)</sup> des geschweißten Materials, in zweiter Linie metallographische (d. h. Metallschliffuntersuchungen) und seltener chemische Untersuchungen vorgenommen.

<sup>1)</sup> Näheres s. Heft 7: Simon: Härten und Vergüten. 1. Teil.

### A. Festigkeitsuntersuchungen.

**Zerreißversuche.** Die Güte einer Schweißnaht wurde nach den bisherigen Anschauungen am einfachsten dadurch festgestellt, daß man die Festigkeitseigenschaften der Schweißnaht mit denen des vollen Materials verglich. Zu dem Zweck sind bisher im allgemeinen Zerreißversuche an Blechmaterial durchgeführt worden, über deren Ergebnisse, soweit sie aus der Literatur und weiteren Unterlagen bekannt sind, Zahlentafel 2 einen allgemeinen kurzen Überblick gibt. Die Zahlen über die Feuerschweißung sind besonders günstig, weil sie nur von einigen wenigen Versuchen und gut ausgeführten Schweißungen herrühren. Im allgemeinen ist festzustellen, daß die Zerreißfestigkeit der Schweißnaht ziemlich hoch ist und heute, gute Schweißungen vorausgesetzt, bei allen Verfahren auf

Zahlentafel 2.

Schweißverfahren	Zerreißfestigkeit der Schweißnaht in % derjenigen des vollen Blechs	Dehnung der Schweißnaht in % derjenigen des vollen Blechs
Gewöhnliche Feuerschweißung. . .	92,2 ÷ 96	82 ÷ 86
Wassergasschweißung. . . . .	78 ÷ 100	44 ÷ 87,4
Elektrische Lichtbogenschweißung .	70 ÷ 100	5 ÷ 87,6
Elektrische Widerstandsschweißung	85,2 ÷ 100	9,3 ÷ 87,3
Azetylen-Sauerstoffschweiung. . .	76 ÷ 100	20 ÷ 86

80 ÷ 100% derjenigen des vollen Blechs eingeschätzt werden kann, daß dagegen die Dehnung noch sehr zu wünschen übrig läßt, insbesondere in den meisten Fllen bei elektrischen Lichtbogen- und autogenen Schweißungen. Im übrigen geht aus den gewaltigen Unterschieden in den Festigkeitszahlen der einzelnen Versuche schon zur Genüge hervor, daß es bei allen Schweißungen und bei allen Schweißverfahren in erster Linie auf sorgfältiges Arbeiten und geübte, mit dem betreffenden Verfahren genau vertraute Schweißer ankommt, wenn gute Ergebnisse erzielt werden sollen. Des weiteren ist aber auch eine große Anzahl der bisherigen Versuche insofern nicht einwandfrei, als nicht angegeben, bzw. nicht darauf Rücksicht genommen ist, ob die Schweißnaht dicker oder dünner als das übrige Material oder etwa gleichstark war. Besonders ist aber noch hervorzuheben, daß man bei diesen Versuchen immer die Dehnung des ganzen Probestabs, nicht aber die Dehnung der Schweißstelle allein mit. Es kommt z. B. fter vor, daß der Zerreistab außerhalb der Schweißstelle reißt. Dann stellt man ganz richtig eine Zerreißfestigkeit der Schweißnaht von mindestens 100% derjenigen des vollen Blechs fest, zweitens aber auch eine sehr günstige Dehnung. Diese Dehnung rhrt 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 übrigens an die Stelle des bisher erwähnten Kaltzerreiversuchs der Warmzerreiversuch treten. Zusammenfassend ist zunächst festzustellen, daß der Zerreiversuch zur Feststellung der Zerreißfestigkeit der Schweißnaht wertvoll ist und daß mit ihm ein genügender Anhaltspunkt für die Güte von Schweißnähten gegeben ist, die nur ruhenden Belastungen, nicht stoßweisen 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.** In Betracht kommt zunächst die Kaltbiegeprobe. Der Probestab wird um einen Dorn von bestimmtem, von der



Probestabstärke abhängigem Durchmesser gebogen. Man mißt den Biege-  
winkel. Richtiger ist es, aus Probenstärke und Dorndurchmesser die Dehnung  
der Schweißnaht zu bestimmen. Fig. 54 zeigt zwei kaltgebogene, autogen  
geschweißte Stäbe, von denen der linke eine sehr gute Schweißung ohne jeden  
Anriß aufweist. In Frage kommen weiter der Kerbschlagversuch und  
Dauerversuche, bei denen Rundstäbe bis zum Bruch unter bestimmter  
Belastung gedreht werden, schließlich auch die Schlagzerreiprobe. Alle diese  
Proben sind für Schweißnahtuntersuchungen in bezug auf stoßweise Belastung  
geeignet, aber noch nicht genügend ausprobiert. Jedenfalls ist es zur Prüfung der stoßweisen Be-  
lastung zweckmig, das Arbeitsvermgen der Schweißnaht festzustellen. Zur Erklrung sei darauf  
hingewiesen, daß die ueren Krfte, welche eine Schweißstelle zu zerstren versuchen, eine gewisse  
Arbeit leisten, Formnderungsarbeit genannt. Die Schweißstelle hat nun entweder ein gengendes Auf-  
nahmevermgen (Arbeitsvermgen) fr diese Form-  
nderungsarbeit, dann hlt sie, oder sie hat es nicht,  
dann bricht sie. Das Arbeitsvermgen ist aber ab-  
hngig von der Zerreißfestigkeit und der Dehnung  
der Schweißstelle. Mit man also die Zerreifestig-  
keit und die wirkliche Dehnung der Schweißstelle, so  
hat man Anhaltspunkte fr ihr Verhalten gegen stoß-  
artige Beanspruchungen. Im brigen kann man das  
Arbeitsvermgen auch mit Hilfe der im vorigen an-  
gegebenen Versuche genauer feststellen.

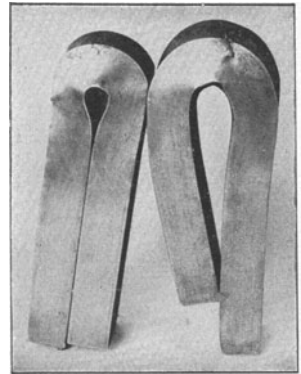


Fig. 54. Biegeprobe von Schweißstben.

Geschweißte Hohlkrper knnen durch Dampf-, Luft- oder Wasser-  
druck auf Dichtheit und Festigkeit geprft werden unter Abhmmern der  
Schweißstellen.

**Neuere Festigkeitsergebnisse.** Nach Versuchen von Diegel (1922) hatten  
mit dem elektrischen Lichtbogen geschweißte Bleche eine Zerreißfestigkeit von  
98% und eine Dehnung von 75,5% derjenigen des nichtgeschweißten Blechs;  
unter gleichen Verhltnissen autogen geschweißte Bleche zeigten 88,1÷93,2%  
Zerreißfestigkeit und 47,5÷62,5% Dehnung derjenigen des vollen Blechs. Bei  
der anschließenden Biegeprfung rissen aber die autogen geschweißten Probe-  
stbe beim Biegen um 180° und Zusammendrcken der Biegestelle gar nicht  
oder zeigten nur Anrisse, whrend fast alle elektrisch geschweißten Probestbe  
viel eher rissen. Das Gesamtergebnis spricht hiernach doch zugunsten der auto-  
genen Schweißung, die eine geringere Sprdigkeit der Schweißnaht zeigt. Die  
elektrisch geschweißte Naht ist sprder wahrscheinlich infolge ihres hheren  
Sauerstoff- und Stickstoffgehalts.

Nach Versuchen von Neese (1922, 1924) und der Forschungsgemein-  
schaft fr Schmelzschweißung in Hamburg (1925) ergibt die Gleichstrom-  
schweißung mit blanken Elektroden bei 180 A praktisch 100% der Zerreifestig-  
keit und 80% des Arbeitsvermgens, die Wechselstromschweißung mit um-  
hllten Elektroden bei 160 A etwa 90% der Zerreißfestigkeit und 35% des Arbeits-  
vermgens des ungeschweißten Materials. Bei Wechselstrom zeigten die Versuche  
der genannten Forschungsgemeinschaft fr umhllte Elektroden gnstigere  
Festigkeitsergebnisse als fr nackte, bei Gleichstrom war es eher umgekehrt (auch  
nach den Versuchen von Neese). Die Stromstrke hat einen bedeutenden Ein-  
fluß auf die Festigkeit; die gnstigsten Werte lagen fr Gleichstrom bei 180 A,  
fr Wechselstrom etwas niedriger (160 A). Auch die Lnge des Lichtbogens

ist von Bedeutung; Schweißungen mit kurzem Lichtbogen zeigten eine um 50% höhere Zerreißfestigkeit als solche mit langem Lichtbogen. Bei der einfachen Kehlschweißung (Fig. 36a) kommt man auf etwa 50%, bei der doppelten Kehlschweißung (Fig. 36b) auf 90÷100% der Zerreißfestigkeit des vollen Blechs.

Nach Versuchen von Hhn (1923) ist u. a. auch die Zusammensetzung der Elektroden von bedeutendem Einfluß auf die Zerreißfestigkeit elektrischer Lichtbogenschweißungen. Die Zerreißfestigkeit der Nähte mit X-Profil ist (auch nach den Ergebnissen der Hamburger Forschungsgemeinschaft) derjenigen von V-Nähten gleichzustellen. Bei wichtigen Schweißungen empfiehlt es sich, V-Schweißungen an der Wurzel auf der anderen Seite nachzuschweien zur Erhöhung der Zerreißfestigkeit. Hhn machte auch Versuche an elektrisch geschweißten Hohlkörpern und kommt zu dem Ergebnis, daß die elektrische Lichtbogenschweißung im Kessel- und Behälterbau unter Beobachtung gewisser Vorsichtsmaßregeln und bei Ausführung durch zuverlässige Schweißer zuzulassen sei.

Versuche von Fchsel (1924) betreffen die elektrische Widerstandsschweißung als Stumpf- und Abschmelzschweiung. Kaltbiegeversuche ergaben, daß sich bei der Abschmelzschweiung 90% der Proben, bei der normalen Stumpfschweißung nur 75% der Proben um 180° biegen ließen. Das Verschmieden der Wulst auf dem Amboß oder das Hammergltten in der Maschine zeigten bei der Stumpfschweißung ganz unbefriedigende Ergebnisse, sind also zu vermeiden. Auch ein Nachglühen erbringt keine Vorteile. Die Zerreißfestigkeit war im allgemeinen höher als die des Ausgangsmaterials, ergab also noch günstigere Werte als das Lichtbogen- und das autogene Schweißen.

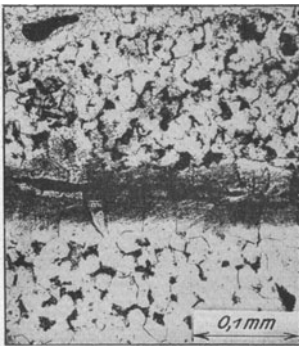


Fig. 55. Stark gekohlte (verbrannte) Schweißstelle.

Versuche von Bock (1925) bestätigen die Ergebnisse der vorerwähnten Versuche von Fchsel über die elektrischen Stumpf- und Abschmelzschweiung. Weitere Versuche von Bock (1925) befassen sich mit der Einführung des Schlagzerreiversuchs zur Prüfung der Schweißnähte, die Stößen und Schwingungen ausgesetzt sind. Die Ergebnisse der bisherigen Versuche zeigen eine

hohe Schlagfestigkeit bei den elektrischen Stumpf- und Abschmelzschweiungen, eine sehr niedrige bei der autogenen und noch mehr bei der elektrischen Lichtbogen-Schweißung. Ob vorzügliche Schweißer bei den letztgenannten Verfahren bessere Schlagfestigkeiten erzielen können, soll durch weitere Versuche festgestellt werden.

Bei der Gußeisenschweißung kann man nach Versuchen von Neese (1922) bei der elektrischen Kaltschweißung auf etwa 50% der Biegezugfestigkeit des ungeschweißten Materials rechnen. Bei der elektrischen und autogenen Warmschweißung ergibt sich eine Biegezugfestigkeit von 90÷100% derjenigen des Werkstücks.

## B. Metallographische Untersuchungen.

Untersuchungen mit Hilfe von Metallschliffen werden stets die Festigkeitsuntersuchungen in wirkungsvollster Weise unterstützen. Zur Kennzeichnung dessen, was man mit Hilfe dieser Untersuchungen feststellen kann, zeigt zunächst Fig. 55 in 150facher Vergrößerung eine starke Kohlung (Kohlenstoffaufnahme)

der Schweißstelle. Das Material ist in der Schweißstelle verbrannt. In Fig. 56 sehen wir in halber natürlicher Größe die gute Schweißnaht eines Flußeisen-



Fig. 56. Sehr gute Schweißung.

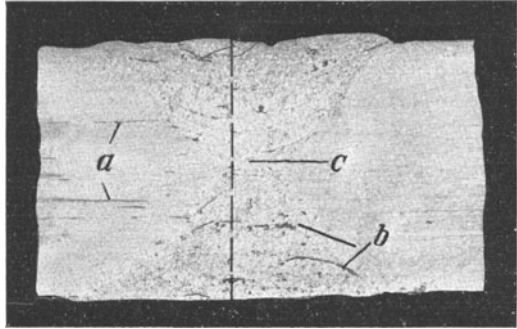


Fig. 57. Starkes, doppelseitig geschweißtes Flußeisenblech mit Schlackeneinschlüssen.

blechs, die zu etwa  $\frac{1}{5}$  von der einen und zu  $\frac{4}{5}$  von der anderen Seite ausgeführt wurde. Die Güte der Schweißung ist durch ein sehr gleichmäßiges, poren- und schlackenfreies Aussehen gekennzeichnet. Welchen Einfluß die Verwendung unreinen Zusatzmaterials hat, zeigt in Fig. 57 die Schlißfläche eines 30 mm starken, im übrigen doppelseitig und gut geschweißten Flußeisenblechs. Umfangreiche Schlackeneinschlüsse sind an verschiedenen Stellen der Naht, insbesondere bei b eingelagert und beeinträchtigen die Festigkeit der Nahtstelle erheblich. Bei a zeigen sich Schwefelausseigerungen im Blech; bei c treffen die beiderseitigen ersten Schweißlagen zusammen. In Fig. 58 ist schließlich in 500facher Vergrößerung das Gefüge einer elektrischen Lichtbogenschweißung wiedergegeben, während Fig. 56 und 57 von Autogenschweißungen stammen. Die feinen Nadeln in Fig. 58 sind Nitridnadeln, d. h. Stellen, die einen hohen Stickstoffgehalt haben. Sie treten insbesondere bei Lichtbogenschweißungen auf (s. auch den nächsten Abschnitt).

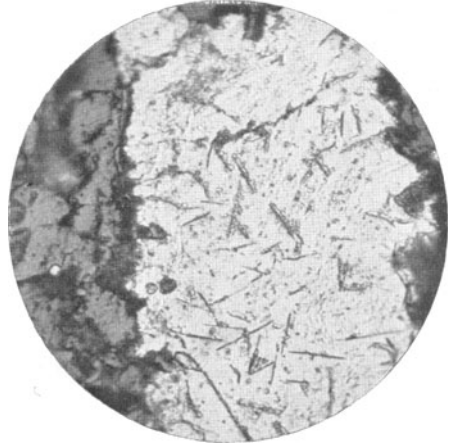


Fig. 58. Elektrische Lichtbogenschweißung mit Nitridnadeln. ( $v = 500$ ).

### C. Chemische Untersuchungen.

**Schweißdraht.** Nicht die chemische Analyse allein ist, wie schon früher erwähnt, maßgebend für die Güte des Drahts, sondern auch das Probeschweißen. So zeigte z. B. eine Schweißung mit einem Flußeisendraht von 0,01% P und 0,03% S schlechtere Festigkeitseigenschaften als eine andere mit einem Draht von 0,082% P und 0,054% S. Immerhin hat sich das Vorschreiben eines niedrigen

P- und S-Gehalts (unter 0,04%) bewährt. In Amerika wird ein Kupferzusatz von 0,2–0,3% als unerlässlich bezeichnet.

**Schweißdrahtumhüllung.** Verschiedene Analysen ergaben z. B. 1,76–54,70% CaO (gebrannter Kalk), 0,21–8,57%  $\text{Al}_2\text{O}_3$  (Tonerde), bis 7,18% MgO (Magnesia), bis 42,84% Mn (Mangan), bis 44,42%  $\text{SiO}_2$  (Kieselsäure) usw.

**Schweiße.** Die elektrische Lichtbogenschweißung zeigt eine starke Sauerstoff- und Stickstoffaufnahme aus der Luft; z. B. Sauerstoffgehalt des Schweißdrahts = 0,1%, der Schweiße = 0,3%; Stickstoffgehalt des Schweißdrahts = 0,004%, der Schweiße = 0,125%. Eine sachgemäß hergestellte Autogenschweißnaht zeigte nur eine geringfügige Zunahme des Sauerstoffgehalts und einen Stickstoffgehalt von 0,017%. Man versucht neuerdings, den Sauerstoff- und Stickstoffgehalt der elektrischen Schweiße durch Anwendung von Desoxydationsmitteln bei den Elektroden herabzudrücken. Auch ein Nickelzusatz zur Elektrode wird vorgeschlagen, da nickelhaltiges Material dem Eindringen des Stickstoffs starken Widerstand entgegensetzt. Ein Schweißdraht mit 1,7% Nickel und 0,011% Stickstoff ergab nach Hoffmann eine Schweiße mit 0,012% Stickstoff. Elektrische Warmschweißungen und autogene Schweißungen zeigen in Schweiße und Gußstück fast die gleiche Zusammensetzung, z. B. das Gußstück: 2,80% Graphit, 0,70% gebundener C, 2,10% Si, 0,43% Mn, 0,64% P, 0,068% S und die Schweiße: 2,86% Graphit, 0,40% gebundener C, 2,9% Si (Schweißstab mit höherem Si-Gehalt), 0,50% Mn, 0,48% P, 0,056% S.

## V. Leistungen und Kosten der neueren Schweißverfahren.

### A. Blechschweißungen.

**Elektrische Widerstandsschweißung.** Einen Überblick über Kraftbedarf, Zeit und Stromverbrauch bei elektrischen Punkt- und Nahtschweißmaschinen, die nach dem Widerstandsschweißverfahren arbeiten, geben die Fig. 59 und 60. Bei dünneren Blechen ist sowohl bei der Punkt- wie bei der Nahtschweißung der Stromverbrauch sehr gering; er steigt aber insbesondere bei der Nahtschweißung schnell an, daher wird diese nur für Bleche bis 3 mm Stärke benutzt. Die Punktschweißung wird in Deutschland im allgemeinen bis etwa 15 mm einfache Blechstärke ausgeführt, in Amerika bis etwa 25 mm einfache Blechstärke. Jedoch dürfte die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens bei großen Blechstärken fraglich sein. Die Punktschweißung wird besonders bei leichteren Blechen wesentlich billiger als das bisher übliche Nieten. Neuere Versuche in Eisenbahnwerkstätten ergaben z. B. beim Punktschweißen einen 2–7 mal geringeren Zeitaufwand als vorher beim Nieten, ganz abgesehen von der Ersparnis an Nietmaterial.

**Elektrische Lichtbogenschweißung.** Fig. 61 gibt die Werte für Blechschweißungen mit Gleichstrom nach Versuchen des Verfassers (1924) an. Dabei ist hervorzuheben, daß die angegebenen stündlichen Leistungen in m Schweißnaht Höchstleistungen sind, die nur von sehr geübten Schweißern kurze Zeit (bis etwa 1 st lang) erreicht werden können. Als Normalleistung muß man eine solche bezeichnen, bei der etwa 25% mehr an Zeit gebraucht werden, und für eine Tagesleistung von 8–10 st sind außerdem noch 40–70% Zuschläge (der Prozentsatz mit steigender Blechstärke steigend) zu den Zeiten zu geben. Der Elektrodenverbrauch beträgt für 1 m Schweißnaht und die üblichen Blechabschrägungen etwa: 150 g (bei 3 mm Blechstärke), 250 g (bei 5 mm Blechstärke), 700 g (10 mm Blech), 950 g (15 mm Blech), 1300 g (20 mm Blech). Mit der Wechselstromschweißung wird nach Versuchen von Neese (1924)

praktisch dasselbe geleistet wie mit Gleichstrom (die Lohnkosten sind also gleich). Den Stromverbrauch zum Abschmelzen von 1 kg Eisen fand Neese bei Gleich-

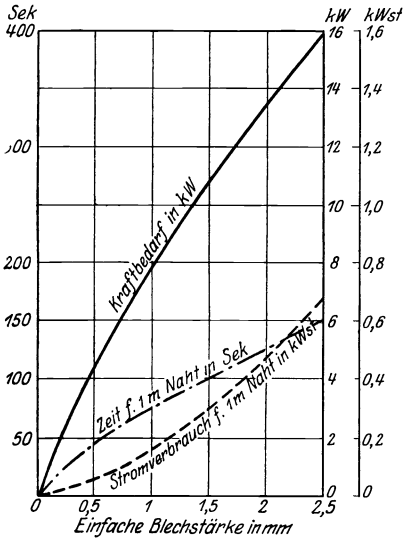


Fig. 59. Kraftbedarf, Stromverbrauch und Zeit bei Nahtschweißungen nach dem Widerstands-Schweißverfahren.

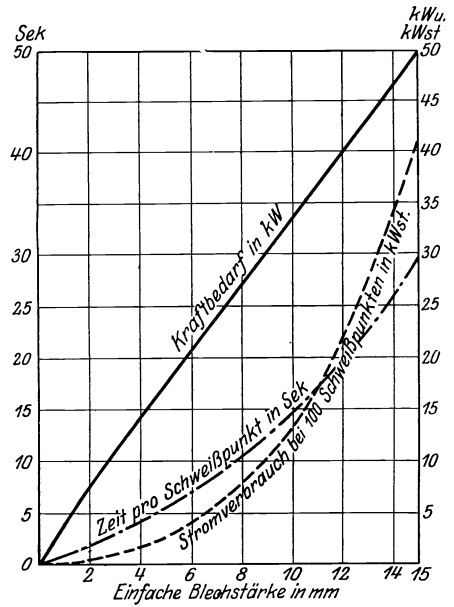


Fig. 60. Kraftbedarf, Stromverbrauch und Zeit bei Punktschweißungen.

strom zu 7 KWst, bei Wechselstrom zu 3,6 KWst, im letzteren Fall also wesentlich niedriger. Hierbei ist aber die hohe Stromaufnahme des Wechselstrom-

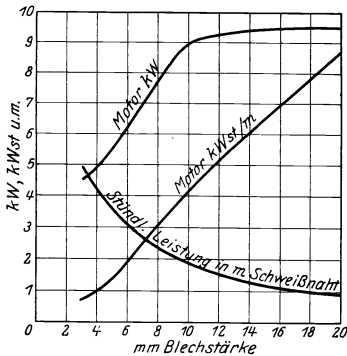


Fig. 61. Motorleistung, Motorstromverbrauch für 1 m Naht und stündliche Leistung in m Naht bei der elektrischen Lichtbogenschweißung.

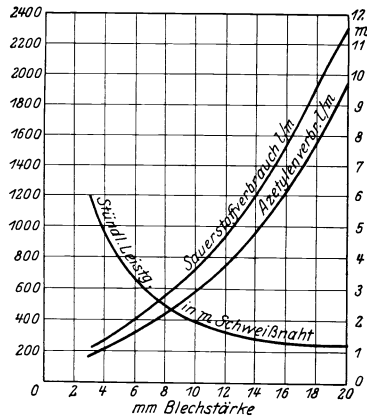


Fig. 62. Sauerstoff- und Acetylenverbrauch in 1/m Naht und stündlicher Leistung in m Naht beim autogenen Schweißen.

transformators auf der Primärseite (Netzseite) infolge schlechten Leistungsfaktors zu beachten, die bis zu 50% größer ist als die des gleichstarken Gleich-

stromumformers, aber nicht ohne weiteres zahlenmäßig im ungünstigen Sinne für die Wechselstromschweißung festgelegt werden kann. Die umhüllten Elektroden für Wechselstrom sind etwa doppelt so teuer wie die nackten für Gleichstrom. Der Wechselstromtransformator kostet in der Anschaffung höchstens die Hälfte des Gleichstromtransformators. Alles in allem stehen Gleichstrom- und Wechselstromschweißung wirtschaftlich fast gleich da.

**Autogene Schweißung.** Fig. 62 enthält zunächst die Werte für Blechschweißungen nach den Versuchen des Verfassers (1924). Auch hier sind die angegebenen Leistungen Höchstleistungen. Bei der Normalleistung werden wiederum etwa 25% mehr an Zeit gebraucht und bei Tagesleistungen darüber hinaus noch 50 ÷ 110% an Zeit. Man muß also die Zuschläge an Zeit für längere Arbeiten bei der Autogenschweißung höher nehmen als bei der Lichtbogenschweißung. Der Schweißdrahtverbrauch ist derselbe wie der Elektrodenverbrauch bei der Lichtbogenschweißung. In Fig. 63 sind sodann die autogenen Schweißverfahren (Azetylen-, Wasserstoff- und Benzolschweißung) der Wassergas- und Feuerschweißung nach den Preisen von 1914 gegenübergestellt. Berücksichtigt sind: Brennstoffkosten und Arbeitslöhne. Die fehlenden Verzinsungs-, Instandhaltungs- und Abschreibungskosten beeinträchtigen das Bild bei größeren Schweißleistungen nur unwesentlich. Die Wasserstoffschweißung kommt überhaupt nur bis höchstens 10 mm Blechstärke in Frage. Die Koksfeuerschweißung ist wesentlich teurer als insbesondere die Azetylen- und Wassergasschweißung.

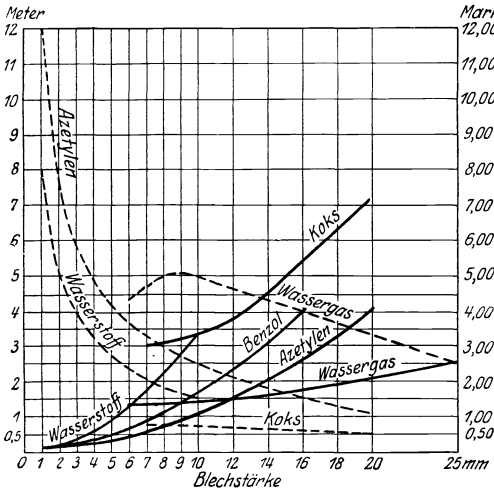


Fig. 63. Leistungen in m Naht/st und Kosten für 1 m Naht bei verschiedenen Schweißverfahren (für Blechschweißungen).

Leistungen. Bei der Normalleistung werden wiederum etwa 25% mehr an Zeit gebraucht und bei Tagesleistungen darüber hinaus noch 50 ÷ 110% an Zeit. Man muß also die Zuschläge an Zeit für längere Arbeiten bei der Autogenschweißung höher nehmen als bei der Lichtbogenschweißung. Der Schweißdrahtverbrauch ist derselbe wie der Elektrodenverbrauch bei der Lichtbogenschweißung. In Fig. 63 sind sodann die autogenen Schweißverfahren (Azetylen-, Wasserstoff- und Benzolschweißung) der Wassergas- und Feuerschweißung nach den Preisen von 1914 gegenübergestellt. Berücksichtigt sind: Brennstoffkosten und Arbeitslöhne. Die fehlenden Verzinsungs-, Instandhaltungs- und Abschreibungskosten beeinträchtigen das Bild bei größeren Schweißleistungen nur unwesentlich. Die Wasserstoffschweißung kommt überhaupt nur bis höchstens 10 mm Blechstärke in Frage. Die Koksfeuerschweißung ist wesentlich teurer als insbesondere die Azetylen- und Wassergasschweißung.

Die Wasserstoffschweißung kommt überhaupt nur bis höchstens 10 mm Blechstärke in Frage. Die Koksfeuerschweißung ist wesentlich teurer als insbesondere die Azetylen- und Wassergasschweißung.

**Vergleich zwischen elektrischer Lichtbogen- und autogener Schweißung.**

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/m<sup>3</sup> 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/m<sup>3</sup> (ohne die nachher verrechnete Verzinsung usw.). Azetylen in Flaschen (gelöstes Azetylen) scheidet für den Vergleich aus, da 1 m<sup>3</sup> noch etwa 2,75 M kostet. Der Preis des elektrischen Stroms sei zu 8 ÷ 20 Pf. für 1 KWst 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 auto-

genen Verfahren:  $400 \cdot \frac{30}{100} \cdot \frac{1}{500} = 0,24$  M und beim elektrischen Verfahren:

$3000 \cdot \frac{30}{100} \cdot \frac{1}{500} = 1,80 \text{ M.}$  Die Gas-, Strom-, Lohn- und Schweißdrahtkosten errechnet man aus den Fig. 61 und 62. Z. B. braucht man für 1 m Schweißnaht bei 3 mm Blechstärke etwa  $\frac{3}{4}$  KWst (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 3 sind die Gesamtkosten für 1 m Schweißnaht, autogen und elektrisch geschweißt, bei 3, 10 und 20 mm Blechstärke zusammengestellt. Führt man den Vergleich noch für 1000, 2000 und 4000 m Blechnaht durch, so zeigt sich, daß unter den gemachten Voraussetzungen die autogene Schweißung billiger ist als die elektrische: 1. Bei 500 m Blechnaht im Jahr für Blechstärken herauf bis zu 16 mm, 2. bei 1000 m Blechnaht im Jahre für Blechstärken bis 11 mm, 3. bei 2000 m Blechnaht im Jahr für Blechstärken bis 6 mm, 4. bei 4000 m Blechnaht im Jahr für Blechstärken herauf bis zu 3 mm. Andere Annahmen der Strompreise, Verzinsung usw. werden das Bild nicht wesentlich verändern.

Zahlentafel 3 (500 m Blechnaht im Jahr).

Blechstärke Schweißverfahren	3 mm		10 mm		20 mm	
	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

## B. 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.
Ankörnen, Bohren . . . . . 1,12 M	Schweißzeit . . . . . 2,00 M
Nieten . . . . . 2,80 „	(200 min, 1 st = 0,60 M.)
Niete . . . . . 4,50 „	Schweißdraht . . . . . 1,54 „
Verstemmen . . . . . 1,50 „	Stromverbrauch . . . . . 2,32 „
Stromverbrauch . . . . . 1,95 „	(15,5 KWst, je 0,15 M.)
Zusammen 11,87 M	5,86 M

## C. Stumpfschweißungen.

**Normale Stumpfschweißungen.** Über Kraftbedarf, Zeit und Stromverbrauch für Stumpfschweißungen nach dem elektrischen Widerstandsschweißver-

fahren gibt Fig. 64 Durchschnittswerte an. Die Werte können stark schwanken, insbesondere je nach der Einspannlänge. Kurze Einspannlängen ergeben zwar

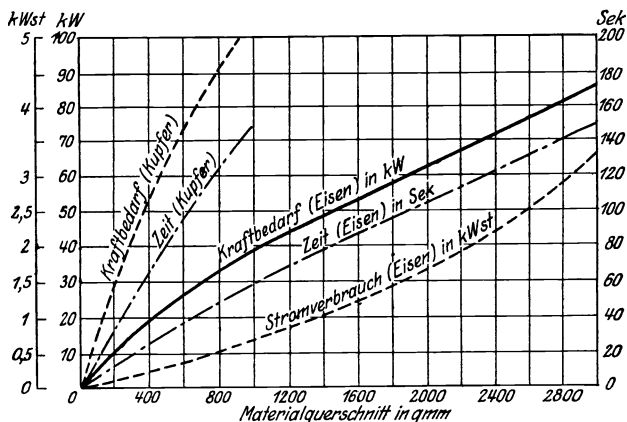


Fig. 64. Kraftbedarf, Stromverbrauch und Zeit bei elektrischen Stumpfschweißungen.

höheren Kraftverbrauch als längere, aber wesentlich kürzere Schweißzeit, sind also im allgemeinen vorzuziehen.

Zwischen der elektrischen Stumpfschweißung und der Feuerschweißung sind eine Reihe von Vergleichsversuchen durchgeführt worden. Die Herstellung einer Bremsdreieckswelle mit zwei Schweißstellen in den Schenkeln (bei 30 mm Durchmesser) ergab nach Füchsel z. B.:

#### an Arbeitsaufwand

für die Feuerschweißung.

Arbeiterzahl . . . . .	1½
Arbeitszeit . . . . .	1⅔ st
Kohlenverbrauch . . . . .	20 kg
Stromverbrauch für Gebläse usw. . . . .	1 KWst

für die Widerstandsschweißung.

Arbeiterzahl . . . . .	1
Arbeitszeit . . . . .	10 min
Stromverbrauch . . . . .	1 KWst
Kühlwasserverbrauch . . . . .	30 l

#### an Kosten der reinen Schweißarbeit (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

Auf Grund einer größeren Anzahl von Eisenbahnwerkstättenarbeiten der letzten Jahre ließ sich feststellen, daß die Kosten der Schweißung beim elektrischen Schweißen nur 13% der Kosten bei Schmiedefeuararbeit und der Zeitaufwand nur 11% der Zeit bei Schmiedefeuararbeit betrug. Nach Vergleichen (1921) wurde z. B. für eine größere Schweißmaschine eine tägliche Ersparnis von 400 M an Betriebskosten festgestellt, so daß die Maschine in etwa ½ Jahr durch diese Ersparnis allein voll abgeschrieben werden konnte. Außerdem ist noch zu berücksichtigen, daß das wesentlich schnellere Arbeiten der Schweißmaschine oft zu Beschleunigungen anderer Arbeiten, z. B. zum Schnellausbessern von Fahrzeugen in Eisenbahnwerkstätten, beitragen kann.

**Kettenschweißungen.** Die Leistung elektrischer Kettenschweißmaschinen ergibt sich aus Zahlentafel 4. 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 4.

Drahtdurchmesser in mm . . . . .	3÷6	5÷8	7÷12	12÷15	15÷18
Zahl der Schweißungen in der Minute . . . . .	12÷10	12÷10	10÷6	—	—
Kraftbedarf in KW . . . . .	Handmaschine	15÷10	10÷6	6÷3	5÷3
	Automat	5	8	12	—
Stromkosten für 100 Schweißungen in Pf. (1 KWst = 10 Pf. gerechnet)	Handmaschine	—	8	12	15
	Automat	2÷8	6÷13	10÷30	30÷48
					48÷60

### D. Schienenschweißungen.

Nach Wattmann (1924) kostet die Herstellung eines Thermitstoßes:

1 Schweißportion (Thermit) . . . . .	12,00 M
$\frac{3}{4}$ l Benzol und 1 kg Holzkohle . . . . .	0,40 „
Koks zum Trocknen der Form . . . . .	0,15 „
10 kg Formsand . . . . .	0,25 „
Erneuerung der Tiegelauskleidung (anteilig) . . . . .	0,70 „
Abnutzung der Geräte (anteilig) . . . . .	2,50 „
6 Arbeitsstunden, je 0,60 M . . . . .	3,60 „

Zusammen 19,60 M

Demgegenüber kostet ein Laschenstoß bei freiliegenden Geleisen 18,60 M. Dazu kommt bei elektrischen Bahnen der Fortfall der kupfernen Schienenverbinder und bei allen Geleisen der schon früher erwähnte weitere wirtschaftliche Vorteil geringerer Gleisunterhaltungskosten und der geringeren Abnutzung der Lokomotiv- und Wagenräder.

### E. 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, an Gas bei autogenem Schweißen usw. läßt sich bei Reparaturschweißungen schwer festlegen. Beim elektrischen Lichtbogenverfahren rechnet man zum Niederschmelzen von 1 kg Schweißmaterial etwa 2÷3 KWst, aber wohl zu beachten im Sekundärstromkreis (Schweißstromkreis). Im Primärstromkreis (Netzstromkreis) braucht man nach den Angaben im vorhergehenden Abschnitt A etwa 7 KWst bei Gleichstrom und 3,6 KWst bei Wechselstrom. Bei der Gußeisenwarmschweißung kann man mit einer Stromstärke von 500 A (bei 65 V Spannung) etwa 12 kg Elektrodenmaterial in der Stunde abschmelzen.

## VI. Vergleich der Schweißverfahren.

Es soll hier nicht versucht werden, alle Schweißverfahren ihrem Wert nach gegeneinander abzuwägen. Dies ist um so schwerer, als in vielen Fällen ein Vergleichsmaßstab völlig fehlt. Einzelne Verfahren haben sich ein ganz bestimmtes Anwendungsgebiet errungen oder kommen nur in bestimmten Fällen in Betracht. Auf Grund der Ausführungen in den Abschnitten III–V läßt sich jedoch folgendes Bild gewinnen: Die Feuerschweißung ist durch die neueren Schweißverfahren fast überall verdrängt worden, da diese wirtschaftlicher arbeiten. Die Wassergasschweißung wird voraussichtlich auf die Herstellung größerer Röhren und stärkerer Blechgefäße für hohen Druck beschränkt bleiben, die Thermitschweißung auf Reparaturschweißungen und auf die Straßenbahnschienenschweißung. Für Reparaturschweißungen sind vor allem gut verwendbar: Die elektrische Lichtbogen- und die autogene Schweißung. Die elektrische Widerstandsschweißung hat sich die Massenfabrikation dünnwandiger Blechkörper und leichter Ketten erobert und kommt auch für einfache Stumpfschweißungen in erster Linie in Betracht. Bei der Blechschweißung herrscht im übrigen, abgesehen von den für die Wassergasschweißung und für die elektrische Widerstandsschweißung in Frage kommenden Sondergebieten, bisher die autogene Schweißung vor, und hier wiederum war und ist die Azetylschweißung der Wasserstoff-, Benzol-, Leuchtgas- und Blaugasschweißung aus wirtschaftlichen Gründen vorzuziehen. In letzter Zeit ist aber der Azetylschweißung in der elektrischen Lichtbogen-schweißung ein Wettbewerber entstanden, der alle Aussicht hat, infolge größerer Wirtschaftlichkeit einen wesentlichen Teil der Blechschweißungen zugewiesen zu erhalten.

Erscheinen hiernach die verschiedenen Schweißverfahren hinsichtlich ihrer Anwendungsgebiete und Wirtschaftlichkeit nach dem augenblicklichen Stande der Schweißtechnik einigermaßen abgegrenzt, so muß für die Güte der Schweißnaht bei allen Schweißverfahren die Zuverlässigkeit und Erfahrungheit des Schweißers in erster Linie als maßgebend betrachtet werden.

## VII. Das autogene Schneiden.

**Entwicklung.** Den autogenen Schweißverfahren in mancher Beziehung verwandt ist das autogene Schneiden von Metallen. Bringt man durch die Stichflamme (Vorwärmeflamme) eines Brenners Eisen zum Weißglühen und leitet reinen Sauerstoff unter Druck auf die erhitzte Stelle, so verbrennt das Eisen lebhaft im Sauerstoffstrahl, die verbrannten Eisenteilchen werden zugleich durch den Druck des Sauerstoffs weggeblasen, und es entsteht eine Schnittstelle. Praktisch wurde dieser Vorgang in Deutschland zuerst zum Beseitigen von Ofenansätzen in Hochöfen, bzw. zum Aufschmelzen der Stichlöcher an diesen Öfen angewendet, und zwar nach dem Patent des Köln-Müsener Bergwerks-Aktienvereins zu Creuzthal (D.R.P. Nr. 137588) vom Jahre 1901. Patent und Verfahren wurden dann von der Chemischen Fabrik Griesheim-Elektron übernommen und weiter ausgebildet. Das eine bestimmte Schneidvorrichtung schützende Patent der Deutschen Oxhydric-Gesellschaft in Düsseldorf-Eller (D.R.P. Nr. 216963) führte später dazu, daß Griesheim und Oxhydric sich gegenseitig die Benutzung ihrer Patente gestatteten. Weitere Verbesserungen der Schneidvorrichtungen, insbesondere durch Griesheim-Elektron und das Drägerwerk in Lübeck, folgten und erschlossen dem autogenen Schneiden immer weitere Anwendungsgebiete.

**Schneidbrenner.** Die Vorwärmedüse V (Fig. 65) soll weiter als die Schneid-düse S vom Werkstück abstehen (s. die Strecken b und a). Vorteilhaft ist eine Erweiterung der Schneiddüse am unteren Ende (bei c, Fig. 65 I), damit der vom Sauerstoff angesaugten Luft ein bestimmter Weg, in Form eines Mantels um den Sauerstoffstrahl, gewiesen wird und der Sauerstoffstrahl nicht auseinander-

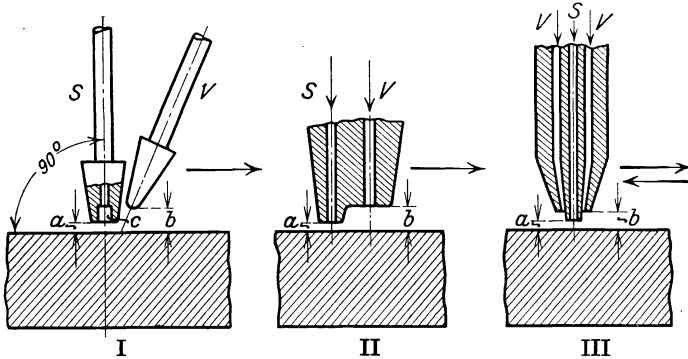


Fig. 65. Düsenslage und Düsenanordnung von Schneidbrennern.

flattert. Schneid- und Vorwärmedüse können getrennt hintereinander (Fig. 65 I) oder in einem Gehäusestück hintereinander (Fig. 65 II) oder konzentrisch, d. h. die Vorwärmedüse V als Ringdüse um die Schneiddüse S (Fig. 65 III), angeordnet sein. In den beiden ersteren Fällen spricht man von einem Zweistrahlbrenner, im letzteren Fall von einem Ringstrahlbrenner. Die Pfeilrichtungen in Fig. 65 geben die Bewegungsrichtungen der Brenner an. Eine der neueren Schneidbrennerkonstruktionen zeigt Fig. 66. Bei der Mehrzahl der Brenner wird die Wasserstoff-Sauerstoffflamme als Vorwärmeblamme benutzt, da beim Schneiden der Verbrauch an Brenngas gegenüber dem Sauerstoffverbrauch stark zurücktritt und infolgedessen von einer größeren wirtschaftlichen Überlegenheit des Azetylen-Schneidbrenners nicht die Rede sein kann. Die neuere Entwicklung drängt aber dahin, die Schneidbrenner für die verschiedensten Brenngase, insbesondere sowohl für Wasserstoff wie für Azetylen, verwendbar zu machen, wie auch Fig. 66 erkennen läßt. Der Brenner ist ein sogenannter Zweischlauchbrenner, d. h. die Gase werden nur in 2 Schläuchen zugeführt, während der Dreischlauchbrenner drei Schlauchleitungen, eine für das Brenngas und je eine für den Sauerstoff der Vorwärmeblamme und der Schneidblamme hat. Der aufrechte Griff des Brenners kann ausgewechselt und durch einen gestreckten Griff ersetzt werden. Die Regulierhähne für das Heizgas und für den Heiz- und Schneidsauerstoff

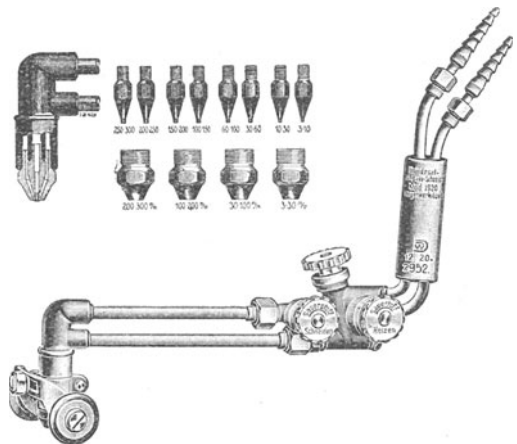


Fig. 66. Schneidbrenner für Sauerstoff-Wasserstoff und Sauerstoff-Azetylen.

sind deutlich erkennbar. Eine Mischung von Heizgas und Sauerstoff wird in den Ringraum der Düse geführt und ergibt die zunächst anzuzündende Vorwärmeflamme. Ist das Eisen weißglühend, so wird der Schneidsauerstoff an-

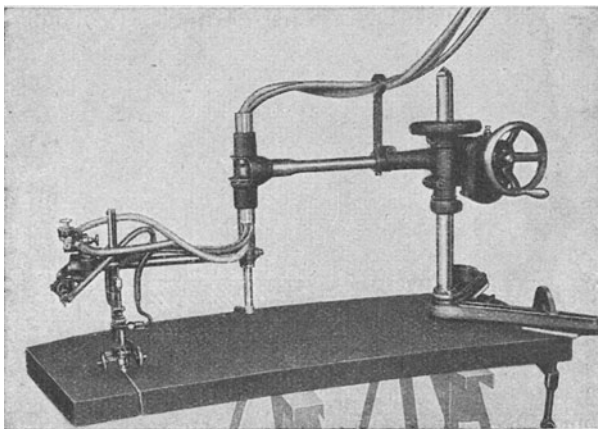


Fig. 67. Kreisschneidemaschine.

gestellt und tritt unter einem Druck von 1,3÷13 at (bei Blechstärken von 3÷300 mm) in dem mittleren Rohr aus. Ist der Verbrennungsvorgang eingeleitet, so kann die Vorwärmeflamme etwas schwächer gestellt werden. Die Rädchen an der Düse dienen zur sicheren Führung des Brenners. Derartige Handschneidapparate können Materialstärken bis zu 300 mm durchschneiden und ergeben bei einiger Übung schmale, saubere Schnitte von nur 2÷3 mm Breite. Für die

verschiedenen Schnittstärken sind bei dem Brenner in Fig. 66 verschiedene Heizmundstücke und Schneidmundstücke einzusetzen, die in Fig. 66 oben angegeben sind.

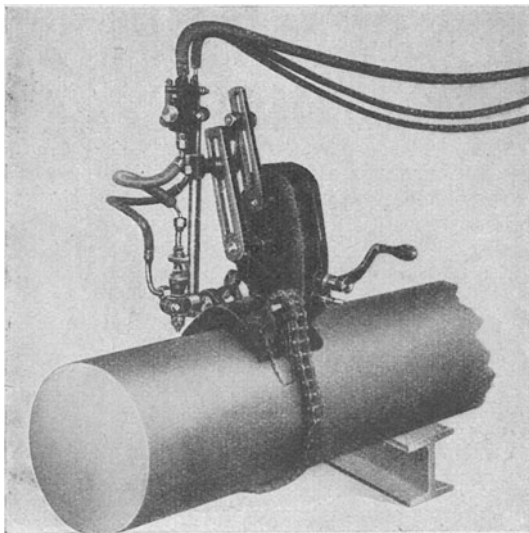


Fig. 68. Wellenschneidmaschine.

**Besondere Schneidbrennerkonstruktionen.** Für diejenigen Fälle, in denen man die verschiedenartigsten Anforderungen an ein Autogengerät stellt, sind in neuester Zeit Brenner konstruiert worden, mit denen man sowohl mit Wasserstoff-Sauerstoff, wie mit Azetylen-Sauerstoff schweißen und auch schneiden kann. Derartige Brenner haben auswechselbare Vorderstücke für das Schweißen, bzw. Schneiden und in diesen Vorderstücken besondere Einsätze für das Arbeiten mit Wasserstoff, bzw. mit Azetylen. Zum Schneiden wird außerdem die Rädchenführung angeschraubt. Die Apparate können Bleche von 0,5÷20 mm schweißen und Material von 2÷100 mm Stärke zerschneiden. Beim Zerschneiden

sehr starkwandiger Stücke kommt man mit Zwei- oder Dreischlauchbrennern nicht aus, weil es dann nicht gelingt, das verbrannte Material aus der tiefen Schneidrinne genügend zu entfernen. Abhilfe wurde geschaffen durch den Vierschlauchbrenner, der zwei Sauerstoff- und zwei Wasserstoffzuführungsschläuche besitzt.

Der zweite Wasserstoffschlauch führt nochmal besonders Wasserstoff in die Schneidrinne, der das verbrannte Material zum Schmelzen und Abfließen bringt. Für besondere Arbeiten sind den Schneidbrennern eigenartige Formen gegeben worden. Am bekanntesten sind nach dieser Richtung die Nietkopfabbbrenner und Nietschaftausbrenner.

**Schneidmaschinen.** Diese Maschinen sind eigentlich nur Schneidbrenner mit einer maschinell beweglichen, dem jeweiligen Verwendungszweck angepaßten Führung. Griesheim-Elektron hat z. B. ausgebildet: Maschinen zum Längsschneiden, zum Kreisschneiden, zum Lochen, zum Zerschneiden von Profileisen, Siederohren und Wellen. Fig. 67 zeigt die Kreisschneidmaschine dieser Firma. Der Brenner kann sowohl um die senkrechte Säule rechts mit dem dort angebrachten Handrad gedreht werden, wie auch (bei kleineren Kreisen) um den Endpunkt des Auslegers in der Mitte. Im letzteren Fall wird eine Kupplung eingerückt, und man dreht auch mit dem rechts angebrachten Handrad durch Kegelräderübersetzung und Welle im Auslegerarm. Der Brenner sitzt an einer verschiebbaren Stange, deren Rollenführung durch Federn auf das Arbeitsstück gedrückt wird. In Fig. 68 ist die Wellenschneidmaschine der Firma Griesheim-Elektron wiedergegeben. Der Handschneidapparat arbeitet zu ungenau; deshalb wird eine Schneidmaschine mittels Sattel und Gelenkkette auf die Welle gespannt.

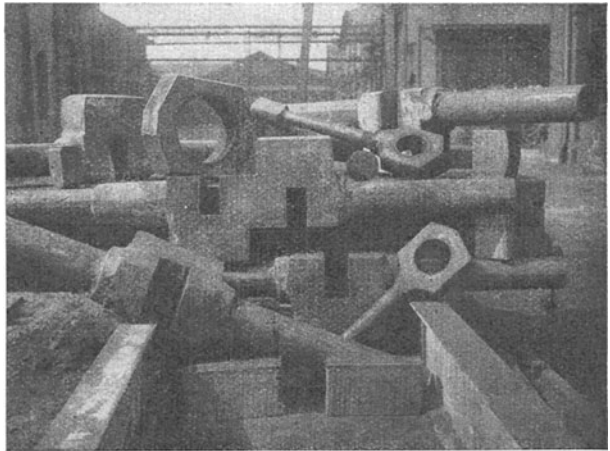


Fig. 69. Autogen geschnittene Pleuelstangen und Kurbelwellen.

Damit der Brenner stets senkrecht zur Wellenachse steht, bewegt man ihn von der Kurbel aus durch Schnecke und Schneckenrad (im Kasten eingekapselt) und weiter durch eine besondere Parallelogrammführung.

Eine Neuerung auf dem Gebiet der Schneidmaschinen bringt die Godfrey-Schneidmaschine, die mehrere der genannten Einzelmaschinen zusammenfaßt, infolge maschineller Führung des Schneidbrenners einen besonders sauberen und sparsamen Schnitt ergibt und erfolgreich mit dem Hobeln oder Stoßen in Wettbewerb tritt.

**Anwendungsgebiete und Technik des Schneidens.** Nachdem das Verfahren schon jahrelang zum Aufschmelzen der Stichlöcher und bei anderen Reparaturarbeiten auf Hüttenwerken gute Dienste geleistet hatte, wurde es auch an anderen Stellen mehr und mehr eingeführt. Allgemein bekannt sein dürfte das Zerschneiden alter Brückenteile und die Anwendung bei anderen Abbrucharbeiten. Demgegenüber zeigt Fig. 69 die Verwendung des Schneidverfahrens bei neu hergestellten Maschinenteilen: Pleuelstangen und gekröpften Kurbelwellen. Bei dünnen Blechen ist das Schneiden mit der Schere bzw. Säge wirtschaftlicher als das autogene Schneiden, bei starken ist es umgekehrt, da die Schneidzeit nur langsam mit vergrößerter Blechdicke wächst (s. auch Fig. 71). Bei einer Anwendung auf einem ganz anderen Arbeitsgebiet, dem Abschneiden der Guß-

trichter von Stahlgußstücken ist als Vorteil gegenüber dem sonst üblichen Absägen eine wesentliche (5- bis 10fache) Zeitersparnis, der Wegfall des Transports zur Säge und des Verschiebens an der Säge nach Absägen jedes einzelnen Trichters anzuführen. Auch unter Wasser ist in neuerer Zeit (seit 1909) mit Schneidbrennern nach Ausführungsformen der Dortmunder Union mit Erfolg in Tiefen

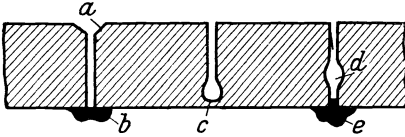


Fig. 70. Einfluß der Vorwärmeblamme und des Schneidmaterials.

bis zu 40 m geschnitten worden. Man verwendet Preßluft, die aus dem Schneidbrenner rings um die Flamme austritt und das Wasser zurückdrängt, oder preßluftlose Brenner, bei denen Brenngas und Sauerstoff so gemischt werden, daß die äußere Schicht des Gemisches aus möglichst reinem Sauerstoff besteht. Zum Anzünden unter Wasser dient ein elektrischer Zündapparat.

Die größten Materialstärken, die bisher autogen zerschnitten werden konnten, betragen etwa 800 mm, ausnahmsweise 1000 mm.

Der Schnitt ist möglichst an einer Kante einzuleiten. Soll aber ein Stück mitten aus dem vollen Blech herausgeschnitten werden, so ist zweckmäßig zunächst ein Loch von 5-10 mm Durchmesser zu bohren und an diesem das

Schneiden zu beginnen. Das Durchschneiden von unten ist nur bis etwa 50 mm Blechstärke durchführbar. Mehrere aufeinandergelegte Bleche können nicht mit einem Schnitt getrennt werden, da am unteren Rand des ersten Blechs wegen des Luftzwischenraums eine starke Wärmeableitung eintritt. Der Druck des Sauerstoffs soll nicht höher als notwendig sein. Je stärker das Blech, desto höher natürlich der günstigste Druck, so daß ein 10 mm-Blech etwa 2 at, ein 50 mm-Blech etwa 4,5 at, ein 100 mm-Blech etwa 7 at und ein 200 mm-Blech etwa 9-9,5 at Sauerstoffdruck erfordert. Die Reinheit des Sauerstoffs soll möglichst hoch sein (durchschnittlicher Reinheitsgrad 98%). Die

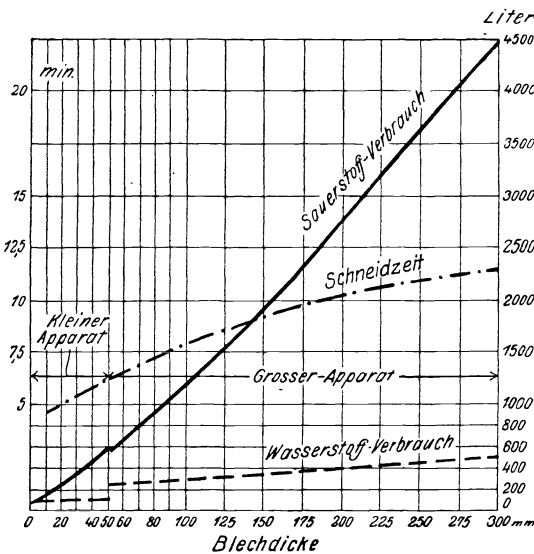


Fig. 71. Gasverbrauch und Zeit für 1 m Schnittlänge beim Wasserstoff-Sauerstoff-Schneidapparat.

Vorwärmeblammen sind im allgemeinen zu groß. Fig. 70 zeigt im Schema bei a die durch zu starke Vorwärmeblamme hervorgerufene Kantenabschmelzung, bei b das Anhaften flüssigen, nicht vollständig verbrannten Eisens (oder von Schlackenansätzen). Schlackeneinschlüsse im Werkstoff führen zu einer Schnitterweiterung (Fig. 70 bei c und d); sie können auch eine besonders starke Schlackenansammlung bewirken (Fig. 70e).

**Schneidbarkeit der Metalle.** Schmiedeeisen, Stahl und Stahlguß sind gut autogen schneidbar, dagegen lassen sich Gußeisen, Kupfer, Aluminium, Bronze, Weißmetall usw. nicht auf diese Weise zertrennen. Der Grund hierfür ist folgender: Die Schneidbarkeit eines Metalls hängt in erster Linie davon ab, daß die Ent-

zündungstemperatur des Metalls (bei der es im Sauerstoffstrahl verbrennt) und der Schmelzpunkt des gebildeten Metalloxyds unterhalb der Schmelztemperatur des Metalls liegen. Trifft dies nicht zu, so wird das Metall wegschmelzen, ehe es sich entzündet hat, oder das Metalloxyd wird nicht beseitigt werden können. Bei Gußeisen z. B. liegen nun Entzündungstemperatur und Schmelzpunkt des Metalloxyds bei etwa 1350°, der Schmelzpunkt des Metalls aber bei 1200–1250°. Man kann also Gußeisen nur autogen durchschmelzen, nicht zerschneiden und erhält eine breite, unsaubere Schmelzrinne. Zu diesem Durchschmelzen kann man aber auch schon den Schweißbrenner oder auch das elektrische Lichtbogenschweißverfahren (nach Benardos mit Kohlenelektrode) benutzen. Andererseits gelingt es, Gußeisen autogen zu schneiden, wenn man weiches Schmiedeeisen, z. B. in Form eines Rohrs, mit einschmilzt und verbrennt (D. R. P. Nr. 243 939 des Köln-Müsener-Bergwerksaktienvereins).

**Schnittleistungen.** Einen Überblick über den Verbrauch an Wasserstoff und Sauerstoff beim Schneiden mit Handapparaten nach den Angaben der Chemischen Fabrik Griesheim-Elektron gibt Fig. 71. Für Blechstärken bis etwa 50 mm nimmt man zweckmäßig einen kleinen, leichten Apparat, darüber hinaus einen größeren. Beim Azetylen-Sauerstoffbrenner steigt der Azetylenverbrauch von 50 l bei 50 mm Blechdicke auf 360 l bei 300 mm Blechdicke; Sauerstoffverbrauch und Schneidzeiten sind fast dieselben wie beim Schneiden mit Wasserstoff-Sauerstoff. Unter Wasser hat man bei klarem Wasser 1,6 m Schnittlänge in 1 st bei mittleren Materialstärken erreicht (aber nur 0,25 m bei trübem Wasser).

**Untersuchung der Schnittländer.** Man hat bei Untersuchungen der Schnittstellen teils eine Überhitzung des Schnittrandes, teils (bei Verwendung von Azetylenbrennern) eine geringe Kohlenstoffzunahme, teils auch, infolge des Abschreckens des Materials durch starke Erhitzung und nachherige schnelle Abkühlung durch die umgebende Luft bei sonst weichem Blechmaterial ein Hartwerden des Randes bis auf geringe Tiefen festgestellt. Eine wesentliche Beeinträchtigung der Güte des an die Schnittstelle angrenzenden Materials fand man jedoch nicht.

# Praktisches Handbuch der gesamten Schweißtechnik

Von

Prof. Dr.-Ing. P. Schimpke und Oberingenieur Hans A. Horn  
Chemnitz Oberfrohna i. S.

Erster Band:

## Autogene Schweiß- und Schneidtechnik

Mit 111 Abbildungen und 3 Zahlentafeln. (141 S.) 1924.  
Gebunden 6.90 Reichsmark.

### Inhaltsübersicht:

Einleitung. — Allgemeines über Schweißen und autogene Schweißverfahren. Die sonstigen neueren Schweißverfahren. Überblick über die vollständigen autogenen Schweiß-einrichtungen. / 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.

Zweiter Band:

## Elektrische Schweißtechnik

Mit etwa 250 Abbildungen.  
Erscheint im Frühjahr 1926.

---

**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. 2 Reichsmark

---

Ⓜ **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.) Pappbd. gebunden 3 Reichsmark  
Ging Ende 1924 von der Waldheim-Eberle A.G. (Wien) in meinen Verlag über.

---

**Das technische Eisen.** Konstitution und Eigenschaften. Von Prof. Dr.-Ing. **Paul Oberhoffer**, Aachen. Zweite, verbesserte und vermehrte Auflage. Mit 610 Abbildungen im Text und 20 Tabellen. (608 S.) 1925. Gebunden 31.50 Reichsmark



**Lehrgang der Härtetechnik.** Von Studienrat Dipl.-Ing. Joh. Schiefer und  
Fachlehrer E. Grün. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 192 Textfiguren.  
(226 S.) 1921. 5 Reichsmark; gebunden 6.70 Reichsmark

---

**Härte-Praxis.** Von Carl Scholz. (42 S.) 1920. 1 Reichsmark

---

**Härten und Vergüten. Erster Teil: Stahl und sein Ver-  
halten.** Von Eugen Simon. Zweite, verbesserte Auflage. (7.—15. Tausend.)  
Mit 63 Figuren und 6 Zahlentafeln. (Werkstattbücher, herausgegeben von Eugen Simon,  
Berlin, Heft 7.) (64 S.) 1923. 1.50 Reichsmark

---

**Härten und Vergüten. Zweiter Teil: Die Praxis der Warm-  
behandlung.** Von Eugen Simon. Zweite, verbesserte Auflage. (7.—15.  
Tausend.) Mit 105 Figuren und 11 Zahlentafeln. (Werkstattbücher, herausgegeben  
von Eugen Simon, Berlin, Heft 8.) (64 S.) 1923. 1.50 Reichsmark

---

**Die Einsatzhärtung von Eisen und Stahl.** Berechtigte deutsche  
Bearbeitung der Schrift „Case Hardening of Steel“ von Harry Brearley, Sheffield,  
von Dr.-Ing. Rudolf Schäfer. Mit 124 Textabbildungen.  
Erscheint im Februar 1926

---

**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 12 Reichsmark

---

**Die Konstruktionsstähle** und ihre Wärmebehandlung. Von Dr.-Ing.  
Rudolf Schäfer. Mit 205 Textabbildungen und einer Tafel. (378 S.) 1923.  
Gebunden 15 Reichsmark

---

**Die Edelmstähle.** Ihre metallurgischen Grundlagen. Von Dr.-Ing. F. Rapatz,  
Leiter der Versuchsanstalt im Stahlwerk Düsseldorf. Mit 93 Abbildungen. (225 S.)  
1925. Gebunden 12 Reichsmark

---

**Die Feile** und ihre Entwicklungsgeschichte. Von Ingenieur Otto Dick, Eßlingen.  
Mit 278 Textabbildungen. (254 S.) 1925. Gebunden 18 Reichsmark

# WERKSTATTBÜCHER

## FÜR BETRIEBSBEAMTE, VOR- UND FACHARBEITER

### HERAUSGEGEBEN VON EUGEN SIMON, BERLIN

In Vorbereitung bzw. unter der Presse sind:

Das Löten. Von Dr. Walter Burstyn.

Das Einrichten von Automaten. Dritter Teil: Die Mehrspindel-Automaten.  
System Gridley und Aeme. Von Ing. Ernst Ghote, Obering. Ph. Kelle und  
Ing. Albert Kreil.

Gesunder Guß. Von Prof. Dr. Erdmann Kothny.

Gesenkschmiede. Von P. H. Schweißguth.

Einbau und Behandlung der Kugellager. Von H. Behr.

Formmaschinen. Von Dipl.-Ing. Alfred Kaiser.

Herstellung der Lehren. Von A. Stich.

Beizen und Entrosteten. Von Otto Vogel.

Prüfen und Aufstellen von Werkzeugmaschinen. Von W. Mitan.

Spannen. Von J. Marretsch.

Brennstoffe. Von E. Kothny.

Ausnutzung der Drehbank. Von M. Kronenberg.

Räumen. Von L. Knoll.

---

**Leitfaden für Gießereilaboratorien.** Von Geh. Bergrat Professor Dr.-Ing.  
e. h. Bernhard Osann, Clausthal. Zweite, erweiterte Auflage. Mit 12 Abbildungen  
im Text. (66 S.) 1924. RM 2.70

---

**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 Ab-  
bildungen im Text und auf 13 Tafeln. (320 S.) 1919. RM 16.—

---

**Die Formstoffe der Eisen- und Stahlgießerei.** Ihr Wesen, ihre  
Prüfung und Aufbereitung. Von Carl Irresberger. Mit 241 Textabbildungen. (250 S.)  
1920. RM 10.—

---

**Handbuch der Eisen- und Stahlgießerei.** Unter Mitarbeit von zahl-  
reichen Fachleuten herausgegeben von Dr.-Ing. C. Geiger, Düsseldorf. Zweite, er-  
weiterte Auflage.  
I. Band: Grundlagen. Mit 278 Abbildungen im Text und auf 11 Tafeln. (671 S.)  
1925. Gebunden RM 49.50  
II. Band: 1. Teil: Formerei von Hand. 2. Teil: Formerei mit Maschinen. Von  
Carl Irresberger. In Vorbereitung