

WERKSTATTBÜCHER

HEFT 43

E. KLOSSE

**LICHTBOGEN-
SCHWEISSEN**



SPRINGER-VERLAG BERLIN HEIDELBERG GMBH

Zur Einführung.

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

Die Werkstattbücher stehen wissenschaftlich und betriebstechnisch auf der Höhe, sind dabei aber im besten Sinne gemeinverständlich, so daß alle im Betrieb und auch im Büro Tätigen, vom vorwärtsstrebenden Facharbeiter bis zum leitenden Ingenieur, Nutzen aus ihnen ziehen können.

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:

- | | |
|---|--|
| <p>Heft 1: Gewindeschneiden. 2. Aufl.
Von Oberingenieur O. M. Müller.</p> <p>Heft 2: Meßtechnik. 3. Aufl. (15.—21. Tausd.)
Von Professor Dr. techn. M. Kurrein.</p> <p>Heft 3: Das Anreißen in Maschinenbauwerkstätten. 2. Aufl. (13.—18. Tausend.)
Von Ing. Fr. Klautke.</p> <p>Heft 4: Wechselräderberechnung für Drehbänke. 3. Aufl. (13.—18. Tausend.)
Von Betriebsdirektor G. Knappe.</p> <p>Heft 5: Das Schleifen der Metalle. 3. Aufl. (14.—20. Tausd.)
Von Dr.-Ing. B. Buxbaum.</p> <p>Heft 6: Teilkopfarbeiten. 2. Aufl. (13. bis 18. Tausend.)
Von Dr.-Ing. W. Pockrandt.</p> <p>Heft 7: Härten und Vergüten.
1. Teil: Stahl und sein Verhalten. 3. Aufl. (18.—24. Tausend.)
Von Dr.-Ing. Eugen Simon.</p> <p>Heft 8: Härten und Vergüten.
2. Teil: Praxis der Warmbehandlung. 3. Aufl. (18.—24. Tausend.)
Von Dr.-Ing. Eugen Simon.</p> <p>Heft 9: Rezepte für die Werkstatt. 3. Aufl. (17.—22. Tausend.)
Von Dr. Fritz Spitzer.</p> <p>Heft 10: Kupolofenbetrieb. 2. Aufl.
Von Gießereidirektor C. Irresberger.</p> <p>Heft 11: Freiformschmiede. 1. Teil: Grundlagen, Werkstoff der Schmiede. — Technologie des Schmiedens. 2. Aufl. (7. bis 12. Tausend.)
Von F. W. Duesing und A. Stodt.</p> <p>Heft 12: Freiformschmiede. 2. Teil: Schmiedebispiele. 2. Aufl. (7.—11. Tausend.)
Von B. Preuß und A. Stodt.</p> <p>Heft 13: Die neueren Schweißverfahren. 3. Aufl. (13.—18. Tausend.)
Von Prof. Dr.-Ing. P. Schimpke.</p> <p>Heft 14: Modelltischlerei. 1. Teil: Allgemeines. Einfachere Modelle. 2. Aufl. (7. bis 12. Tausend.)
Von R. Löwer.</p> <p>Heft 15: Bohren. 2. Aufl. (8.—14. Tausend.)
Von Ing. J. Dinnebieer und Dr.-Ing. H. J. Stoewer.</p> | <p>Heft 16: Senken und Reiben. 2. Aufl. (8.—13. Tausend.)
Von Ing. J. Dinnebieer.</p> <p>Heft 17: Modelltischlerei.
2. Teil: Beispiele von Modellen und Schablonen zum Formen. Von R. Löwer.</p> <p>Heft 18: Technische Winkelmessungen.
Von Prof. Dr. G. Berndt. 2. Aufl. (5.—9. Tausend.)</p> <p>Heft 19: Das Guß Eisen. 2. Aufl.
Von Obering. Chr. Gilles.</p> <p>Heft 20: Festigkeit und Formänderung.
1. Teil: Die einfachen Fälle der Festigkeit.
Von Dr.-Ing. Kurt Lachmann.</p> <p>Heft 21: Einrichten von Automaten.
1. Teil: Die Systeme Spencer und Brown & Sharpe. Von Ing. Karl Sachse.</p> <p>Heft 22: Die Fräser. 2. Aufl. (8.—14. Tausd.)
Von Dr.-Ing. Ernst Brödner und Ing. Paul Zieting.</p> <p>Heft 23: Einrichten von Automaten.
2. Teil: Die Automaten System Gridley (Einspindel) und Cleveland und die Offenbacher Automaten.
Von Ph. Kelle, E. Gothe, A. Kreil.</p> <p>Heft 24: Stahl- und Temperguß.
Von Prof. Dr. techn. Erdmann Kothny.</p> <p>Heft 25: Die Ziehtechnik in der Blechbearbeitung. 2. Aufl. (8.—13. Tausend.)
Von Dr.-Ing. Walter Sellin.</p> <p>Heft 26: Räumen.
Von Ing. Leonhard Knoll.</p> <p>Heft 27: Einrichten von Automaten.
3. Teil: Die Mehrspindel-Automaten.
Von E. Gothe, Ph. Kelle, A. Kreil.</p> <p>Heft 28: Das Lüten.
Von Dr. W. Burstyn.</p> <p>Heft 29: Kugel- und Rollenlager. (Wälzlager.) Von Hans Behr.</p> <p>Heft 30: Gesunder Guß.
Von Prof. Dr. techn. Erdmann Kothny.</p> <p>Heft 31: Gesenkschmiede. 1. Teil: Arbeitsweise und Konstruktion der Gesenke.
Von Ph. Schweißguth.</p> |
|---|--|

Fortsetzung des Verzeichnisses der bisher erschienenen sowie Aufstellung der in Vorbereitung befindlichen Hefte siehe 3. Umschlagseite.

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

Preis: RM 2.— oder, wenn vor dem 1. Juli 1931 erschienen, RM 1.80 (10% Notnachlaß)

Bei Bezug von wenigstens 25 beliebigen Heften je RM 1.50.

WERKSTATTBÜCHER
FÜR BETRIEBSBEAMTE, KONSTRUKTEURE
UND FACHARBEITER

HEFT 43

Das Lichtbogenschweißen

Eine Einführung in die Technik des
Lichtbogenschweißens

von

Dr.-Ing. Ernst Klose VDI

Vorstand des Schweißtechnischen Instituts
der Staatlichen Hochschule für angewandte Technik
Köthen (Anh.)

Zweite,
völlig neubearbeitete Auflage
(7.–12. Tausend)

Mit 141 Abbildungen im Text



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH
1937

ISBN 978-3-662-41697-6 ISBN 978-3-662-41834-5 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-41834-5

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Vorwort	3
I. Allgemeines	3
A. Das Eisen	3
B. Grundbegriffe der Elektrotechnik	4
C. Die elektrischen Schweißverfahren	5
1. Allgemeines S. 5. — 2. Die Schmelzschweißverfahren S. 5. — 3. Die Preßschweißverfahren S. 7.	
D. Lichtbogen	8
II. Schweißzubehör	10
A. Stromquelle	10
1. Allgemeines S. 10. — 2. Schweißmaschinen S. 12. — 3. Antrieb der Schweißmaschinen S. 14. — 4. Beurteilung der Stromquelle S. 15. — 5. Behandlung der Schweißmaschinen S. 16. — 6. Anschluß der Schweißmaschinen S. 16.	
B. Elektroden	17
1. Allgemeines S. 17. — 2. Einteilung der Elektroden nach dem Äußeren S. 18. — 3. Einteilung der Elektroden nach der Arbeit S. 19. — 4. Einteilung der Elektroden nach dem Werkstoff. S. 19. — 5. Einteilung nach DIN 1913 S. 20.	
C. Verschiedenes	20
1. Elektrodenhalter S. 20. — 2. Schweißkabel S. 20. — 3. Verschiedenes Werkzeug S. 20. — 4. Schutz des Schweißers S. 20. — 5. Schweißwerkstatt S. 21.	
III. Der geschweißte Bauteil	22
A. Die Schweißnaht	22
1. Allgemeines S. 22. — 2. Einflüsse auf die Schweißnaht S. 23. — 3. Mechanische Eigenschaften der Schweißnaht. S. 24.	
B. Entwurf des Schweißwerkzeuges	25
1. Arten der Schweißnähte S. 25. — 2. Beurteilung der Nahtarten. S. 26. — 3. Zeichen der Schweißnähte S. 27. — 4. Abmessungen der Schweißnähte S. 28. — 5. Regeln für den Schweißkonstrukteur S. 28.	
C. Festigkeitsberechnung der Naht	33
1. Allgemeines S. 33. — 2. Grundlagen S. 34.	
D. Kostenberechnung der Naht	37
1. Allgemeines S. 37. — 2. Vereinfachte Verfahren S. 38.	
IV. Schweißarbeit	39
A. Erlernen des Schweißens	39
1. Vorbemerkung S. 39. — 2. Allgemeines S. 40. — 3. Zündversuche S. 40. — 4. Gradlinige Bewegung der Elektrode S. 40. — 5. Schweißen einer Raupe S. 40. — 6. Auftragsschweißung S. 40. — 7. Verbindungsschweißungen S. 40. — 8. Schweißen an senkrechter Fläche S. 41. — 9. Überkopfschweißen S. 41. — 10. Löcher zuschweißen S. 41. — 11. Elektroschneiden S. 41.	
B. Vorbereitung der Schweißarbeit	42
1. Die Schweißnaht S. 42. — 2. Die Konstruktion S. 42.	
C. Durchführung der Schweißarbeit	43
1. Allgemeines S. 43. — 2. Stahlverbindungsschweißungen S. 46. — 3. Stahlauftragsschweißungen S. 49. — 4. Gußeisenschweißungen S. 51. — 5. Stahlguß S. 52. — 6. Temperguß S. 52. — 7. Kupfer und Bronze S. 52. — 8. Leichtmetalle und ihre Legierungen S. 53.	
D. Überwachung der Arbeit	55
E. Unfallverhütung	55
1. Elektrischer Strom S. 55. — 2. Strahlung S. 56. — 3. Wärme S. 57. — 4. Mechanische Gefahren S. 57. — 5. Vergiftung S. 57.	
V. Prüfungen von Schweißverbindungen	57
A. Prüfungen mit Zerstörung der Naht	57
1. Zugfestigkeit S. 57. — 2. Dehnung S. 58. — 3. Biegeprobe S. 59. — 4. Die anderen Prüfungen S. 59. — 5. Werkstattmäßige Prüfungen S. 59. — 6. Verschiedenes S. 59.	
B. Prüfung mit Verschwächung der Naht	59
C. Zerstörungsfreie Prüfverfahren	59
1. Aussehen der Naht S. 59. — 2. Akustische Verfahren S. 60. — 3. Magnetische Verfahren S. 60. — 4. Elektromagnetisch-akustische Verfahren S. 60. — 5. Röntgenprüfungen S. 60.	
VI. Amtliche Bestimmungen	60
A. DIN-Blätter	60
B. Sonstige Vorschriften	61

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

Vorwort.

Durch die überaus rasche Entwicklung der Lichtbogenschweißung ergab sich die Notwendigkeit, das Heft „Lichtbogenschweißen“ neu zu bearbeiten. Es soll wiederum, getreu der Überlieferung der „Werkstattbücher“, ein Helfer für den Betrieb sein. Bei den Kapiteln, die sich hauptsächlich an den Schweißer wenden, sind die Verhältnisse möglichst einfach und anschaulich dargestellt worden; bei den Kapiteln, die sich inhaltlich mehr an den Schweißingenieur richten, wurden auch ingenieurmäßige Kenntnisse vorausgesetzt (siehe z. B. Kapitel II A 6 oder auch III C). Durch Zahlenbeispiele wurde stets versucht, die praktische Anwendung zu erleichtern. Ebenso werden in größtem Maße schematische Skizzen gebracht, da man bei der schematischen Darstellung durch leichte Übertreibung das Wesentliche deutlicher darstellen kann als bei einer photographischen Abbildung. Auch auf die Wiedergabe photographischer Abbildungen von Maschinen und Anwendungen der Schweißtechnik wird verzichtet; solche sieht man heutzutage überall; es kann nicht Aufgabe eines solchen Heftchens sein, eine Bildersammlung zu beherbergen.

Dank spreche ich zunächst dem Verlage aus für sein verständnisvolles Entgegenkommen zu dieser Neuherausgabe; ferner allen denen, die mir wertvolle Anregungen auf Grund der ersten Auflage gegeben haben, vor allem auch der Deutschen Gesellschaft für Elektroschweißung. Dann habe ich noch meinem Assistenten, Herrn Ing. Leisering, zu danken für die Anfertigung der Skizzen und Erledigung von Korrekturarbeiten.

Die erste Auflage entstand in schwerer Notzeit, möge die zweite Auflage — in so viel glücklicherer Zeit entstanden — ihr kleines Teilchen zum weiteren Aufstieg deutscher Technik beitragen.

I. Allgemeines.

A. Das Eisen.

Das technische Eisen wird aus dem Eisenerz, das in Gruben gefunden wird, gewonnen. Eisenerz ist im wesentlichen eine chemische Verbindung von Eisen und Sauerstoff (ähnlich wie Rost oder Hammerschlag). Da Sauerstoff ein größeres Bestreben zeigt, sich mit Kohlenstoff als mit Eisen zu verbinden, so entfernt man den Sauerstoff des Erzes dadurch, daß man das Eisenerz mit Kohlenstoff (Koks) hoch erhitzt, wobei das Eisen auch Kohlenstoff aufnimmt. Das Erzeugnis dieses Verhüttungsprozesses (Hochofenprozeß) ist das Roheisen, das wegen seines hohen Kohlenstoffgehaltes (3 ... 4%) und der dadurch bedingten Sprödigkeit entweder nur in der Eisengießerei verwendet oder im Stahlwerk durch Verbrennen des größeren Teils des Kohlenstoffes in schmiedbares Eisen verwandelt wird (Bessemer-, Thomas- oder Siemens-Martin-Verfahren). Das Erzeugnis wird in Blöcke gegossen, die die Ausgangsform für das Walzen oder Schmieden darstellen. Das so hergestellte schmiedbare Eisen heißt „Stahl“ (siehe DIN 1600). Früher nannte man die Sorten mit geringerem Kohlenstoffgehalt „Eisen“ (Schmiedeeisen).

Der Kohlenstoffgehalt spielt für die Verwendung und Unterscheidung des technischen Eisens die Hauptrolle: Eisen mit mehr als 1,7% Kohlenstoff ist nicht schmiedbar, dagegen gut vergießbar. Es kommt in der verarbeitenden Industrie

nur als Gußeisen¹ (Grauguß, Hartguß) vor, mit etwa 3% Kohlenstoff. Eisen mit weniger als 1,7% Kohlenstoff ist schmiedbar und um so weicher und zäher, je weniger Kohlenstoff es enthält. Es kommt in der verarbeitenden Industrie als Stahlguß² (Stahlformguß) vor mit Kohlenstoffgehalten von etwa 0,1...1% und als Stahl (Schmiede- und Walzstahl) mit Kohlenstoffgehalten von etwa 0,1...1,4%. Dabei haben die Maschinen- und Baustähle den geringeren Kohlenstoffgehalt bis etwa 0,6%, die Werkzeugstähle den höheren über 0,6%. Während alle Stahlsorten in der Glut teigig und deshalb gut verformbar (schmiedbar) und die weicheren Sorten auch im Feuer schweißbar sind, muß eine Verformung bei etwa 300° unterbleiben, da der Stahl dabei spröde (blaubrüchig) ist. Durch Zulegieren von gewissen Metallen (Silizium, Mangan, Nickel, Chrom, Wolfram usw.) können die Eigenschaften von Stahl im weitesten Maße — in geringerem auch die von Stahl- und Grauguß — verändert werden³.

Eisen und Stahl sind kristallinisch. Je kleiner die einzelnen Kristallkörner sind, desto fester und widerstandsfähiger ist der Baustoff. Kornverfeinerung erzielt man bei den Stahlblöcken durch das Hämmern oder Walzen in Rotglut, bei geschmiedetem oder gewalztem Stahl durch rasches Abkühlen, bei Stahlguß durch Glühen. Längeres, stärkeres Erhitzen oder gar Schmelzen ergibt grobe Kristalle.

B. Grundbegriffe der Elektrotechnik.

Unterscheide die Begriffe: Strom, Spannung, Widerstand. Bei Strom denke an Strommenge; bei Spannung an Spannungszustand, an Druck oder Gefälle; bei Widerstand an Hindernisse. Vergleich mit einem Wasserlauf: Wassermenge = Stromstärke, Wassergefälle = Spannung. Je größer das Wassergefälle, der Wasserdruk, je geringer die Hindernisse, desto schneller fließt das Wasser, desto größer die Wassermenge. Also auch: je höher die Spannung des elektrischen Stromes desto größer die Stromstärke. Noch ein anderes Beispiel: Wasserleitung. Der Wasserdruk ist an einer Entnahmestelle stets annähernd gleich. Durch mehr oder weniger Aufdrehen des Hahnes fließt mehr oder weniger Wasser. Bei einer normalen Stromquelle (z. B. Lichtnetz) ist immer die Spannung die gleiche. Durch Einschalten einer stärkeren oder schwächeren Lampe kann an der gleichen Entnahmestelle ein mehr oder minder starker Strom entnommen werden. Daher darf man auch nicht sagen: ein Netz steht unter Strom, sondern es muß richtig heißen: unter Spannung. Je mehr Hindernisse das Wasser zu überwinden hat, desto kleiner die Wassermenge. Hindernisse für das Wasser können sein: enger Kanalquerschnitt und rauhes unebenes Bett. Also auch: Je größer der Widerstand für den elektrischen Strom desto kleiner der Strom. Widerstand für den elektrischen Strom können sein: enger Leiterquerschnitt und schlecht leitender Werkstoff. Man unterscheidet hierbei Leiter und Nichtleiter. Zu den Leitern gehören vor allem die Metalle (am besten Silber, Kupfer, auch Kohle); zu den Nichtleitern gehören z. B. Porzellan, Gummi usw. Unter besonderen Umständen ist auch die Luft ein Leiter, und zwar wenn sie Feuchtigkeit oder bestimmte Gase enthält oder — was für das Schweißen besonders wichtig ist — besondere Teilchen: Ionen. Diese Ionisation findet z. B. durch Wärme statt (s. auch S. 8).

Die Stromstärke wird gemessen in Ampere (A), die Spannung in Volt (V), der Widerstand in Ohm (Ω).

Jeder Leiter, der vom elektrischen Strom durchflossen wird, erwärmt sich. Die Erwärmung steigt mit der Größe der Widerstände (Stelle des größten Wider-

¹ Siehe Heft 19: Chr. Gilles, Das Gußeisen, und Heft 30: E. Kothny, Gesunder Guß.

² Siehe Heft 24: E. Kothny, Stahl- und Temperguß.

³ Siehe Heft 7 und 8: Eugen Simon, Härten und Vergüten.

standes = Stelle der größten Erwärmung) und mit dem Quadrat der Stromstärke (bei doppeltem Strom ergibt sich also eine vierfache Erwärmung). Fließt der Strom dauernd in einer Richtung, nämlich vom positiven (+) zum negativen (—) Pole, so nennt man ihn Gleichstrom; wechselt er dauernd seine Richtung Wechselstrom; man kann dann hier nicht mehr einen +- und —-Pol unterscheiden. Beim Gleichstrom kann man die beiden Pole auf verschiedene Weise auseinanderhalten. Im allgemeinen macht sich der negative Pol besonders bemerkbar: Polreagenzpapier färbt er rot, im Wasser entwickelt er stark Blasen. Schließlich: Erkennen der Pole beim Lichtbogen gemäß Abb. 1. Die Zahl der Wechsel in der Sekunde (Perioden) beim Wechselstrom könnte in gewissen Grenzen beliebig gewählt werden. Man hat sich aber in Deutschland auf 50 Perioden geeinigt (auch hier Ausnahmen!).

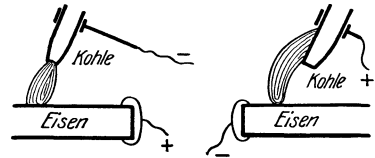


Abb. 1. Erkennen der Pole am Kohle-Eisen-Lichtbogen.

Elektrische Energie = elektrische Arbeit. Sie wird gemessen in Kilowattstunden (kWh) und dient zur Kostenberechnung, da man meistens einen Arbeitstarif hat. Man kann die verbrauchte Arbeit ablesen am Zähler; für genaue Messungen zählt man die Umdrehungen der in dem Zähler sichtbaren Zählerscheibe.

Beispiel 1. Zähler: 128 Umdrehungen der Zählerscheibe = 1 kWh. Es sind für Ausführung einer Arbeit gezählt worden 34 Umdrehungen, das sind $\frac{34}{128} = 0,266$ kWh.

Leistung ist Arbeit in der Zeiteinheit. Sie wird gemessen in Kilowatt (kW) oder in Pferdestärken (PS). 1 kW = 1,36 PS. Die Leistungen können mit der Zählerscheibe auch leicht ermittelt werden, wenn die Leistung gleichbleibt, z. B. Messung der Leerlaufleistungen von Schweißumformern.

Beispiel 2. Mit dem Zähler des Beispiels 1 sind für 20 Umläufe der Zählerscheibe 232 Sekunden gemessen worden. Wie groß ist die dem Zähler entnommene durchschnittliche Leistung?

In 232 s fand ein Verbrauch an elektrischer Arbeit statt von $\frac{20}{128}$ kWh

„ 1 s „ „ „ „ „ „ „ „ „ $\frac{20}{128 \cdot 232}$ kWh

In 3600 s = 1 h fand ein Verbrauch an elektrischer Arbeit statt von $\frac{20 \cdot 3600}{128 \cdot 232} = 2,42$ kWh.

Also durchschnittliche Leistung = 2,42 kW.

C. Die elektrischen Schweißverfahren.

1. **Allgemeines.** Laut DIN 1910 versteht man unter Schweißen folgenden Vorgang: „Schweißen ist das Vereinigen von an der Verbindungsstelle in teigigen oder flüssigen Zustand versetzten Metallen und Legierungen.“ Das Verhältnis der einzelnen Schweißverfahren untereinander zeigt Abb. 2¹. Hier sollen entsprechend dem Titel des vorliegenden Heftes die elektrischen Schweißverfahren nur gestreift, die übrigen gar nicht, das Lichtbogenschweißen ausführlich behandelt werden.

2. **Die Schmelzschweißverfahren.** Die beiden zu verbindenden Stücke werden an der Verbindungsstelle durch Erwärmung flüssig gemacht und fließen so, gegebenenfalls unter Zusatz eines möglichst gleichen flüssigen Metalls, zusammen.

a) Verfahren von Benardos (Abb. 3). Der eine Pol (stets der + -Pol) der Stromquelle wird mit dem Werkstück, der andere mit einem Kohlestab verbunden. Berührt man mit dem Kohlestab das Werkstück, so entsteht ein Lichtbogen, in

¹ Näheres siehe Heft 13: Schimpke, Die neueren Schweißverfahren.

dessen Hitze die Berührungsstelle und ein Zusatzdraht schmelzen. Der Kohlestab verbrennt langsam.

Vorteil: Leichtes Halten des Lichtbogens, schnelles Schweißen. Die zunächst zu beobachtende Sprödigkeit der Schweißung soll nicht von einer Kohlenstoffaufnahme herrühren, sondern von einer Sauerstoffaufnahme aus der Luft; daher haben heute Versuche mit selbsttätigen Maschinen, die dem Lichtbogen noch

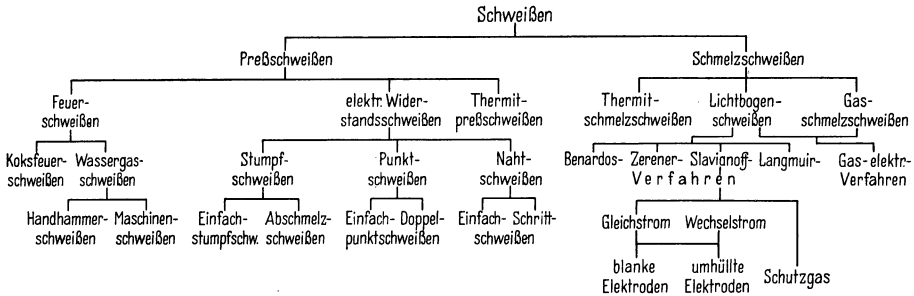


Abb. 2. Die wichtigsten Schweißverfahren.

ein besonderes sauerstoffbindendes Mittel beigegeben, gute Ergebnisse erzielt. Man benutzt dieses Verfahren zum Schweißen mit Automaten, dann auch zum Aufschweißen von Löchern in Stahlgußstücken, auch für die Schweißung von dünnen Blechen (unter Anwendung von Flußmitteln, z. B. Wasserglas).

b) Verfahren von Zerener (Abb. 4). Der Lichtbogen wird hier zwischen 2 Kohlestäben gezogen. Durch einen Elektromagneten wird der Lichtbogen stich-

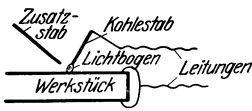


Abb. 3. Verfahren von Benardos.



Abb. 4. Verfahren von Zerener.



Abb. 5. Verfahren von Slavianoff.

flammenartig weggeblasen. In der Stichflamme wird das Werkstück an der Schweißstelle flüssig gemacht und der Zusatzstab eingeschmolzen. Angewendet für Dünnblechschweißung und bei Automaten.

c) Verfahren von Slavianoff (Abb. 5). Der eine Pol der Stromquelle liegt an dem Werkstück, der andere an einem Metallstab („Elektrode“). Durch Berührung von Stab und Werkstück entsteht der Lichtbogen, in dessen Hitze das Werkstück an der Schweißstelle flüssig wird und die Elektrode abschmilzt. Dies ist das übliche Verfahren, das in den späteren Kapiteln dann ausführlich behandelt werden soll.

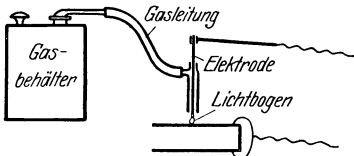


Abb. 6. Verfahren von Alexander.

d) Verfahren von Alexander (Schweißen im Schutzgas, Methanschweißung, Abb. 6). Ähnlich wie vorher. Die Elektrode ist aber umgeben von einem Rohr, durch das ein besonderes Gas (Methanol) geblasen wird. Dieses Gas soll den Lichtbogen vor den Einwirkungen der Luft schützen. Dieses Verfahren wird heute nicht mehr angewendet.

e) Verfahren von Langmuir (atomare Wasserstoffschweißung, Fabrikname: Arcatom-Verfahren, Abb. 7). Der Lichtbogen wird zwischen 2 Wolfram-Elektroden gezogen, die nur unwesentlich abbrennen. Wasserstoffgas (aus einer

Stahlflasche) wird durch den Lichtbogen hindurchgeblasen. Durch die große Hitze zerlegt sich der Wasserstoff in seine Atome, die sich hinter dem Lichtbogen sofort wieder vereinigen und dabei die gesamte Wärme an das Schweißstück wieder abgeben. Das Verfahren wird heute (von 1 mm bis etwa 80 mm Blechdicke) dort angewendet, wo eine hohe mechanische Güte der Naht erforderlich ist. Die Nahtoberfläche ist außerordentlich glatt, es fehlen die Einbrandkerben an der Seite. Das Verfahren scheint berufen zu sein, die Wassergashammerschweißung zu verdrängen. Außerdem wird es in die Gebiete der Schweißung von hochlegierten Stählen und von Leichtmetallen eindringen.

f) Gas-elektrisches Verfahren (Fabrikname: Arcogen). Vereinigung des Gasschmelzschweißens mit dem Verfahren von Slavianoff. Es wird mit einem gewöhnlichen Azetylen-Sauerstoffbrenner geschweißt. Zur Erhöhung der Arbeitsgeschwindigkeit sind der Zusatzstab und das Werkstück an die 2 Pole einer Wechselstromquelle gelegt. Das Verfahren ist heute auch aufgegeben.

Andere Verfahren gibt es nicht. Wenn man gelegentlich von andersbenannten Verfahren liest, so sind das meist nur Fabriknamen für das Verfahren von Slavianoff.

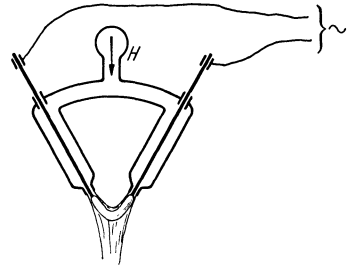


Abb. 7. Verfahren von Langmuir.

3. Die Preßschweißverfahren. Die Stücke werden durch Erwärmung (Durchfließen des elektrischen Stromes) an der Schweißstelle in teigigen oder leicht flüssigen Zustand versetzt und dann zusammengepreßt. Alle diese Verfahren werden auch unter dem Namen Widerstandsschweißverfahren zusammengefaßt, da die Erwärmung der Schweißstelle auf dem großen elektrischen Widerstande an der Schweißstelle beruht.

a) Stumpfschweißen (Abb. 8). Die Teile werden zusammengepreßt, ein sehr großer Strom von niedriger Spannung wird durchgeschickt (meist Wechselstrom). Ist Schweißhitze erreicht, wird der Strom ausgeschaltet, die Teile bleiben bis zum Erkalten zusammengepreßt. Mit diesem Verfahren kann man im allgemeinen nur niedriggekohlten Stahl verschweißen.

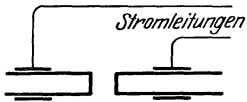


Abb. 8. Stumpfschweißung.

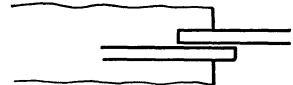


Abb. 9. Punktschweißung.

b) Abschmelzschweißen.

Vor dem Berühren der beiden Stücke wird der Strom eingeschaltet. Beim Berühren brennen die vorstehenden Teile ab, die Oberfläche wird wenigstens zum Teil flüssig, der Strom wird (mitunter) ausgeschaltet, und die beiden Stücke werden schlagartig zusammengefügt. Da dieses Verfahren also letzten Endes auf der Vereinigung der Werkstücke in flüssigem Zustande beruht, ist es nicht an bestimmte Werkstoffe gebunden. Fast alle Werkstoffe können miteinander verschweißt werden. Auch eine Verschweißung verschiedener Metalle untereinander ist zum Teil möglich. Die Ergebnisse sind gut. Die Güte hängt ab: von dem richtigen Verhältnis von Werkstoff, Größe der Schweißstelle, Stauchdruck, Schweißzeit und Schweißstrom. Man versucht weitgehendst, auf selbsttätigen Maschinen zu schweißen, die nach entsprechender Einstellung der oben angegebenen Größen stets gleich gute Ergebnisse liefern. Man versucht auch mit recht großem Erfolge, sich von der ursprünglichen Bedingung, nur stangenartige Körper zu verschweißen, freizumachen: Rohre, Bleche, Ringe werden so verschweißt.

c) Punktschweißen (Abb. 9). Zwei zu verbindende Bleche werden durch zwei wassergekühlte Kupferbolzen zusammengepreßt. Der Strom wird durch diese Bolzen zugeführt. Da der Widerstand zwischen den beiden Blechen am größten ist, ist dort auch die Erwärmung am größten, die Stelle wird schweißwarm, die beiden Bleche werden dort zusammengepreßt, die Schweißung ist beendet. Es entsteht ein Schweißpunkt. Diese Punktschweißung wird heute weitgehendst angewendet, vor allem nachdem es gelungen ist, sich wieder vom Werkstoff unabhängig zu machen. Es können heute beinahe alle Metalle punktgeschweißt werden. Es sind hier Werkstoff der Elektroden und des Stückes, sowie Anpreßdruck, Schweißzeit und Stromstärke in Übereinstimmung zu bringen.

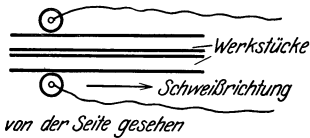


Abb. 10. Nahtschweißung.

Automaten überwachen die eingestellten Werte. Verbesserungen in neuerer Zeit sind dadurch gegeben, daß man mehrere Punkte gleichzeitig herstellt (Doppelpunkt-, Mehrfachpunktschweißung), und daß man auch diese Punkte mit einem leicht beweglichen Handwerkzeug herstellen kann.

d) Nahtschweißen (Abb. 10). Ähnlich wie vorher. Es wird dauernd Strom zugeführt. Man kann auf diese Weise nur niedriggekohlten Stahl mit ganz sauberer Oberfläche verschweißen. Unterbricht man aber den Strom, setzt man also einen Punkt neben den anderen, so hören diese Beschränkungen auf (Schrittschweißen). Man kann auf diese Weise dann auch beinahe alle Metalle verschweißen. Die größten Schwierigkeiten bereiten Kupfer und Aluminium.

D. Lichtbogen¹.

Die Entstehung des Lichtbogens kann man sich vereinfacht etwa folgendermaßen vorstellen. Durch Berührung des Werkstückes mit der Elektrode ist der Stromkreis geschlossen. Die Berührungsstelle ist die Stelle des größten elektrischen Widerstandes; infolgedessen wird sie glühend. Dadurch werden kleinste Teilchen des Stoffes — Atome, Atomgruppen, Moleküle — elektrisch geladen und frei, sog. Ionen, und wenn jetzt die Elektrode von dem Werkstück entfernt wird, sind an dieser Stelle Ionen vorhanden, die Luft ist leitend, der Strom geht in Form des Lichtbogens durch die Luft. Es entstehen dabei sehr hohe Temperaturen, die beim $+$ -Pol auf 4000° , beim $-$ -Pol auf 3400° geschätzt werden. Die Luft wird außer durch die Ionen auch noch durch die verdampfenden, feinerstäubten Teile der Elektrodenspitze leitfähig. Der Werkstoffübergang im Lichtbogen ist bis heute eindeutig noch nicht geklärt. Die Probleme sind sehr schwierig; andererseits sind sie für den Praktiker nicht so wichtig und sollen daher hier nicht weiter berührt werden.

Wichtiger sind für den Schweißer die Kenntnisse von der Blaswirkung des Lichtbogens. Die Blaswirkung wird verursacht durch die magnetische Rückwirkung des Schweißstromes und auch durch die Strömung der heißen Gase; der letzte Einfluß ist jedoch in der Regel so gering, daß man ihn ohne weiteres vernachlässigen kann. Zum Verständnis der magnetischen Vorgänge sei erwähnt, daß sich jeder elektrische Leiter, durch den Strom fließt, mit Kraftlinien umgibt, die man leicht mit Eisenfeilspänen oder auch mit dem Kompaß feststellen kann (Abb. 11). Zunächst werden die Verhältnisse am klarsten, wenn man die Abb. 12

¹ Die in diesem Abschnitt und in späteren Abschnitten vorkommenden schwierigen Grundbegriffe können aus Raummangel hier nicht eingehend erklärt werden. Es muß erwartet werden, daß diejenigen Ingenieure, denen diese Begriffe nicht geläufig sind, sich aus dem Schrifttum der betreffenden Fachgebiete unterrichten.

betrachtet. Um klare Verhältnisse zu schaffen, wird der Schweißstrom von der Mitte aus der Schiene zugeführt. Zündet man den Lichtbogen (am besten Kohlelichtbogen) an einem Ende und hält dabei die Kohle senkrecht, so wird der Lichtbogen in den einzelnen Stellungen nach Skizze der Schiene abgelenkt. Grund hierfür zeigt schematisches Bild Abb. 13: Auf der Innenseite der Strombahn liegen die Kraftlinien gedrängter als auf der Außenseite. Die Folge hiervon ist, daß der Bogen nach außen gedrückt wird. Der gleiche Grund ist vorhanden, wenn man in der Mitte der Schiene die Kohle schräg stellt; dann erkennt man, daß der Lichtbogen

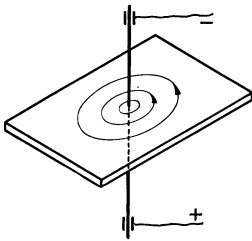


Abb. 11. Kraftlinien um einen stromdurchflossenen Leiter.

in die Verlängerung der Kohlenachse gedrängt wird (Abb. 14). Man hat also zwei voneinander unabhängige Punkte: die Richtung der Elektrode und die Richtung des Stromes im Werkstück. Treten beide Faktoren in der gleichen Richtung auf, so wird die Blaswirkung verstärkt: der Lichtbogen bläst sehr stark, er ist beinahe überhaupt nicht mehr zu halten.

Wirken beide Faktoren entgegengesetzt, so tritt eine Abschwächung ein. Versuch: Halte z. B. an dem linken Ende der Schiene die Kohlenspitze nach links, dann entsteht eine Verstärkung des Blasens; nach rechts eine Verminderung. Es sind dann noch zwei Punkte wichtig: Jede Eisenmasse, durch die der elektrische Strom fließt, wird zu einem Magneten, der dann wieder Rückwirkungen auf den Lichtbogen ausübt, in der Weise, daß der Lichtbogen stets zu der stärksten Eisenmasse hingezogen wird. Der andere Punkt betrifft die Tatsache, daß Eisen über etwa 750° unmagnetisch wird, d. h. über diese Temperatur hinaus ist das Eisen in bezug auf die Blaswirkung für den Lichtbogen nicht vorhanden. Das erklärt die Tatsache, daß meistens der Lichtbogen auf die zugeschweißte Raupe bläst, da sie ja sozusagen das einzige Eisen (der einzige Magnet) in der Nähe ist.

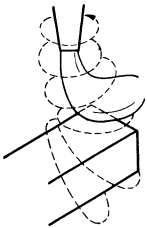


Abb. 13. Blaswirkung am Ende der Stromschiene, Kohle steht senkrecht.

Praktische Regeln zur Vermeidung der zu starken Blaswirkung können in den seltensten Fällen gegeben werden, da selten der Stromweg im Werkstück so klar sein wird wie in dem obigen Beispiele der Schiene. Der Schweißer merke sich vor allem, daß bei zu starker Blaswirkung entweder der Anschluß an das Werkstück oder die Richtung der Elektrode zu verändern ist. Die Blaswirkung macht

sich am stärksten bemerkbar bei blanken oder schwach umhüllten Elektroden. Weiter wird sie dort auftreten, wo an Kanten zu schweißen ist, wo der Stromweg im Werkstück eine besonders ausgeprägte Richtung hat, und wo in der Nähe von starken Eisenmassen zu schweißen ist. In dieser Richtung machen sich auch Aufspannplatten, an denen mehrere Schweißer gleichzeitig arbeiten, unangenehm bemerkbar. Besondere Hilfsmaßnahmen sind möglich in Gestalt von Blasspulen — das sind Spulen, deren Windungen vom Schweißstrom durchflossen werden — wodurch dann eine Festigung des Lichtbogens eintritt. Man macht von dieser Maß-

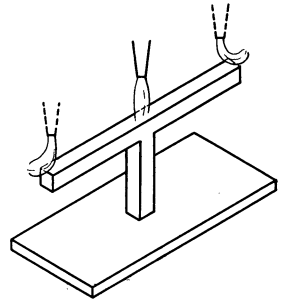


Abb. 12. Blaswirkung, hervorgerufen durch verschiedenen Ort der Schweißstelle, Einwirkung des Stromweges im Werkstück.

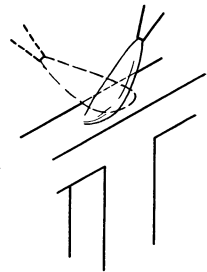


Abb. 14. Blaswirkung in der Mitte der Schiene, Kohle steht schräg, Einwirkung der Richtung der Elektrode.

nahme nur bei der Dünoblechschweißung (meist mit dem Kohlelichtbogen) und bei selbsttätigen Schweißmaschinen Gebrauch. Beim Eisenlichtbogen sind solche Blasspulen nicht am Platze, da an und für sich hier ihre Wirkung geringer ist und dann auch die Elektrode besonders stark spritzen würde. Eine bessere Maßnahme für den Eisenlichtbogen ist es, hinter dem Werkstück, gerade an der Stelle, an der man schweißt, durch einen Kupferbügel oder eine Kupferrolle den Strom zuzuführen. Freilich ist die Anwendung recht umständlich, so daß sich auch diese Maßnahme nur selten empfehlen wird.

II. Schweißzubehör.

A. Stromquelle.

1. Allgemeines. Zunächst sollen hier verschiedene Ausdrücke geklärt werden, deren Verständnis auch für den praktischen Schweißer unbedingt notwendig ist.

Unter Leerlauf versteht man den Zustand der Stromquelle, in dem sie sich befindet, wenn sie eingeschaltet ist, man jederzeit schweißen kann, aber der Lichtbogen nicht brennt. Hierbei ist es gleichgültig, ob es sich um eine drehende Maschine, Umformer (Motorgenerator, Schweißdynamo) oder einen ruhenden Umspanner (Transformator) handelt. Leerlaufspannung ist die Spannung, die die Stromquelle im Zustand des Leerlaufes hat. Sie sollte wegen der Gefährlichkeit für den Schweißer nicht über 42 V betragen, sie ist aber bei vielen Maschinen bis zu 80 V. Der Leerlaufstrom ist natürlich Null, da ja eben im Zustand des Leerlaufes kein Strom fließen soll. Zündspannung ist die Spannung, die zum Zünden des Lichtbogens zur Verfügung steht; sie ist häufig gleich der Leerlaufspannung. Je höher die Zündspannung ist, um so leichter das Zünden des Lichtbogens; man geht wohl aber nie über 100 V. Ist die Zündspannung kleiner als etwa 35 V, so ist ein Zünden und damit ein praktisches Schweißen kaum möglich. Lichtbogenspannung, auch Schweißspannung oder Arbeitspannung genannt, ist die Spannung, unter der der Lichtbogen brennt; sie liegt in den meisten Fällen bei 20 ... 35 V. Schweißstrom, auch Arbeitsstrom genannt, ist der Strom, der zum Schweißen benutzt wird. Seine Größe hängt von der Arbeit, von der Elektrode ab (siehe Kapitel IV C). Unter Kurzschluß versteht man ein Verbinden der beiden Klemmen der Stromquelle. Das kommt beim Schweißen sehr häufig vor beim Zünden, beim Festkleben der Elektrode. Kurzschlußspannung ist nahezu Null, Kurzschlußstrom ist recht verschieden. Bei manchen Maschinen ist er annähernd gleich dem Arbeitsstrom, bei anderen größer, bei anderen kleiner. Dies hängt von der Art der Stromquelle ab.

Alle Stromerzeugermaschinen beruhen auf der Wechselwirkung zwischen Magnetismus und Elektrizität. In jeder solchen Maschine sind Magnete drin. Natürliche Magnete kommen ihrer Schwäche wegen nicht in Frage, sondern nur Elektromagnete; das sind Eisenkerne mit einer Umwicklung, durch die ein elektrischer Strom geschickt wird. Kommt dieser Strom von einer fremden Stromquelle (z. B. Akkumulatoren, Gleichstromnetz oder auch gleichgerichteter Strom aus dem Drehstromnetz), nennt man solche Maschinen fremderregte Maschinen. Oder man kann den Strom für die Magnete aus einer eigenen Erregermaschine entnehmen, die mit dem sich drehenden Teil des Schweißstromerzeugers fest verbunden ist. Solche Maschinen bezeichnet man als eigenerregte Maschinen. Schließlich kann man den Strom, den die Schweißmaschine selbst erzeugt, auch benutzen, um die Magnete zu erregen. Solche Maschinen heißen

selbsterregte Maschinen. Der im sich drehenden Teil der Maschine fließende Strom hat magnetische Rückwirkungen auf das Magnetfeld der Maschine. Werden diese Rückwirkungen in geeigneter Weise ausgenützt, so entsteht eine besondere Maschinengattung, die Quersfeldmaschine.

Das Verhalten einer Stromquelle beim Schweißen, d. h. die Abhängigkeit der Spannung von dem Strom zeigt die Kennlinie (Charakteristik) der Stromquelle. Je nachdem, ob man den Strom langsam (im Laboratorium) oder schnell (beim praktischen Schweißen) ändert, erhält man die statische oder die dynamische Kennlinie. Beide sind zur Beurteilung der Stromquelle sehr wichtig (Abb. 15). Die obigen Erläuterungen erklären auch das Bild: es ist angenommen, daß Zündspannung = Leerlaufspannung ist. Der wichtigste Punkt ist der Arbeitspunkt (P) (siehe Arbeitsspannung und Arbeitsstrom). Es ist nun klar, daß wenn der Strom verkleinert wird (weil vielleicht der Lichtbogen verlängert und dadurch der elektrische Widerstand erhöht wurde), bei der Kennlinie a eine höhere Spannung (u_1) zur Verfügung steht als bei der Kennlinie b (u_2). Infolge der höheren Spannung wird der Lichtbogen bei a noch bestehen bleiben können, wenn er bei b schon abgerissen ist. Äußerlich beobachtet dann der Schweißer,

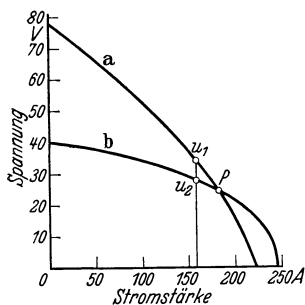


Abb. 15. Statische Kennlinien zweier verschiedener Schweißstromerzeuger.

daß man im Falle a den Lichtbogen weich ausziehen kann, während im Falle b der Lichtbogen hart abreißt. Daher und von dem Kurvenverlauf beim Arbeitspunkte P kommt auch die Ausdrucksweise: Steile Kennlinie = weicher Lichtbogen, flache Kennlinie = harter Lichtbogen. Man spricht dann noch von hart- oder weicharbeitender Maschine. Bei einer hartarbeitenden Ma-

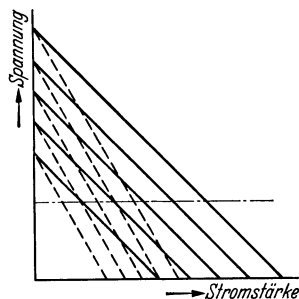


Abb. 16. Regelung einer Schweißmaschine, die gestattet, mit 2 Kennliniengruppen zu arbeiten (10 Regelungsstufen).

schine muß der Schweißer kurzen Lichtbogen halten (er kann also entweder gar nicht oder nur gut schweißen); mit einem weichen Lichtbogen kann beinahe jeder schweißen; auch schwer zu verschweißende Elektroden lassen sich da verschweißen. Die dynamischen Kennlinien, die mit besonderen, sehr empfindlichen Meßinstrumenten (Oszillographen) aufgenommen werden, geben das Verhalten von Strom und Spannung im zeitlichen Verlauf an. Bei einer guten Schweißmaschine zeigen sie keine sehr großen Strom- und Spannungsschwankungen, vor allem zeigen sie, daß Strom und Spannung möglichst schnell ihren normalen Wert wieder erreichen. Maschinen, bei denen die Kennlinien stark verzerrt sind, nennt man träge Maschinen.

Der Arbeitsstrom wird je nach Art der Stromquelle sehr verschieden geregelt. Man muß hier fordern, daß durch das Einstellen auf die verschiedenen Stromstärken nicht die Schwierigkeit des Zündens erhöht wird. Dieser Forderung entsprechen aber die meisten Maschinen nicht; in der Regel wird bei niedriger Schweißstromstärke die zugehörige Zündspannung verkleinert. Damit das bei der heute viel verbreiteten Dünnschweißung zu keinen Schwierigkeiten führt, sind häufig durch entsprechende Schaltungen zwei oder mehr Kennliniengruppen in einer Maschine durch entsprechendes Umschalten zu verwirklichen. Man muß dann die Maschine stets so einstellen, daß man eine bestimmte Schweißstromstärke bei

einer möglichst hohen Zündspannung erreicht (siehe Bedienungsvorschriften der Maschinen und Abb. 16).

Eine feinstufige Regelung der Stromstärke ist erwünscht, doch genügt in den meisten Fällen eine Regelung in 8 oder 12 Stufen; feinere Unterschiede werden in der Praxis kaum gebraucht.

Dagegen ist bei der Regelung der Schweißmaschinen als wichtiger Punkt die Fernregelung zu erwähnen. Man versteht hierunter die Möglichkeit, die Schweißstromstärke vom Schweißplatz aus mit Hilfe eines kleinen Reglerwiderstandes zu beeinflussen. Das ist wichtig bei allen solchen Arbeiten, bei denen der Schweißplatz schwer zugänglich und von der Maschine räumlich weit entfernt ist (Behälterbau, Stahlhochbau) und dadurch die Gefahr besteht, daß der Schweißer aus Bequemlichkeit oder Zeitersparnis eine notwendige Änderung der Stromstärke unterläßt, wodurch schlechte Arbeit geliefert wird. Eine Fernregelung ist nicht bei allen Schweißmaschinen möglich.

Die Leistungsschilder sind vorläufig nur bei Schweißumformern genormt. Sie enthalten als für den Schweißer wichtigste Angaben: die größte Stromstärke, die er aus der Maschine entnehmen kann, und die Einschaltdauer. Dabei werden verschiedene Abkürzungen gebraucht, deren Kenntnis wichtig ist: DB heißt Dauerbetrieb. Mit der Stromstärke (oder einer kleineren), die hierzu gehört, kann geschweißt werden ohne jede Rücksicht auf die Zeit. Man könnte innerhalb dieser Grenze die Maschine sogar dauernd kurzschließen, ohne daß sie dabei überlastet wäre. Anders, wenn z. B. die Angabe lautet: „DAB — 75 % ED — 250 A“. DAB = Dauernd aussetzender Betrieb. ED = Einschaltdauer. Die Angabe bedeutet folgendes: Wenn eine elektrische Maschine belastet wird, so erwärmt sie sich durch den die Wicklungen durchfließenden Strom. Diese Erwärmung schadet nicht, solange mit Rücksicht auf die Isolation eine gewisse Temperatur, etwa 80°, nicht überschritten wird. Wird infolge übermäßiger Stromentnahme die Temperatur zu hoch, so muß die Maschine solange ausgeschaltet sein, bis die ursprüngliche Temperatur wieder erreicht ist. Also für das obengenannte Beispiel würde sich folgendes ergeben: Die Maschine kommt etwa nach 3stündigem ununterbrochenen Arbeiten auf eine Temperatur höher als 80°; schaltet man dann die Maschine ab und läßt sie 1 h ruhig stehen, so kann man sie danach von neuem wieder einschalten; die Einschaltdauer von 75 % wurde gewahrt. Nun hat man beim Handschweißen doch immer gewisse Zwangspausen (Elektrodenwechseln usw.), so daß hier nie Dauerbelastung vorliegt. Man rechnet dann so, daß wenn 70 % oder höhere ED gegeben ist, man für Handschweißung sich bei dieser Stromstärke (also hier nach oben z. B. 250 A) auch überhaupt nicht um die Zeit zu kümmern braucht. Dagegen ist die Berücksichtigung der ED in allen solchen Fällen, wo sie kleiner als 70 % ist, nach obigem Beispiel unerläßlich (vor allem bei sog. „Kleinschweißmaschinen“). Berücksichtigt man diese Zeiten nicht, so wird die Maschine zu heiß, die Isolation verbrennt, und die Maschine wird vorzeitig unbrauchbar. (Nebenbei: eine Kleinschweißmaschine hat die Bezeichnung „Klein“, weil man aus ihr nur kleine Schweißströme entnehmen, also nur mit dünnen Elektroden schweißen kann.)

2. Schweißmaschinen. Man unterscheidet die Schweißmaschinen zunächst danach, ob sie Gleich- oder Wechselstrom zum Schweißen liefern.

a) Schweißen mit Gleichstrom. Das äußerlich Einfachste ist das Schweißen von einem Gleichstromnetz (Abb. 17). Um die Kennlinie verwirklichen zu können (hohe Zünd-, niedrige Lichtbogenspannung), muß man Widerstände einschalten. Dadurch wird die Schweißung sehr unwirtschaftlich. Außerdem geht es überhaupt nur dort, wo das Netz auf solch starke Ströme eingerichtet ist. Dies ist in den

seltensten Fällen gegeben; daher wird dieses Verfahren nur in Ausnahmefällen angewendet. Das wichtigere Verfahren ist die besondere Herstellung des Schweißstromes in sich drehenden Erzeugermaschinen (Schweißumformer, Schweißgeneratoren, Schweißdynamo). Auf die heute meist sehr verwickelten verschiedenen Schaltungsarten soll hier nicht näher eingegangen werden, weil das den Rahmen des Buches überschreiten würde. Die Kennlinie einer eigen- und einer selbsterregten und einer Quersfeldmaschine zeigt Abb. 18.

Dann gehören in diese Gruppe alle die Apparate, die zunächst einen Schweißwechselstrom liefern, der durch besondere Gleichrichter in Gleichstrom verwandelt wird.

Wie aus dem Abschnitt über die Kennlinien ersichtlich ist, kann eine Schweißmaschine üblicher Bauweise nur eine Schweißstelle bedienen. (Ein zweiter Schweißer würde den ersten durch Bildung des Kurzschlusses im Augenblick des Zündens stören.) Es gibt aber Maschinen mit fester Spannung von etwa 50 V, an die unter Zwischenschaltung von entsprechenden Widerständen mehrere Schweißplätze angeschlossen werden können. Solche Anlagen nennt man Mehrstellenschweißanlagen.

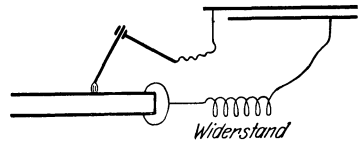


Abb. 17. Schweißen vom Netz.

Die Schweißmaschinen können auch nach ihrem äußeren Aufbau eingeteilt werden: in ortsfeste und ortsbewegliche Maschinen; dann danach, ob der Antriebsmotor mit der Schweißmaschine in einem Gehäuse untergebracht ist (Eingehäuseumformer) oder ob die beiden Einheiten getrennt aufgebaut sind. Ist schließlich der drehende Teil beim Motor und der Maschine eins, so spricht man von Einankerumformern.

b) Schweißen mit Wechselstrom. Hierbei kommt das Schweißen vom Netz mit Widerständen wohl niemals in Frage. Am gebräuchlichsten sind hier

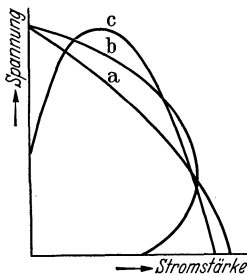


Abb. 18. Kennlinien einer eigen- (a), einer selbsterregten (b), einer Quersfeldmaschine (c).

Umspanner (Transformatoren). Man kann die Umspanner unterscheiden nach der Art der Kühlung in luft- oder (wenn der ganze Apparat in einem Ölbehälter untergebracht ist) in ölgekühlte Umspanner. Die ölgekühlten Umspanner verwendet man nur für große Stromstärken; das übliche sind die luftgekühlten Umspanner. Eine weitere Unterscheidungsmöglichkeit ist die Art der Schaltung, auf die aber auch wieder nicht eingegangen werden soll. Abb. 19 zeigt

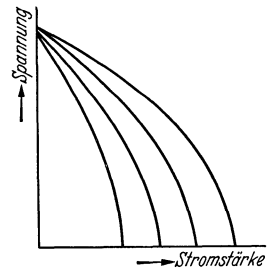


Abb. 19. Kennlinien eines Schweißumspanners mit 4 Regelungsstufen.

die Kennlinien eines Umspanners; bemerkenswert ist, daß hier (wie bei fast allen Umspannern) die Zündspannung ziemlich unabhängig von der Schweißstromstärke ist. Schließlich ist zu unterscheiden nach dem Anschluß. Die meisten Umspanner sind an 2 Außenleiter eines Drehstromnetzes angeschlossen. Es gibt auch Bauarten, die alle 3 Leiter des Drehstromnetzes erfassen; sie sollen eine gleichmäßigere Belastung des Drehstromnetzes ergeben. Die Umspanner können leicht für den Anschluß an verschiedene Netzspannungen gebaut werden.

Als besondere Gattung sind zu erwähnen die Phasewandler, die den 50periodigen, 3phasigen Wechselstrom drehend umformen in einen 150periodigen Schweißwechselstrom.

c) Selbsttätige Schweißmaschinen. Es gibt solche für den Metalllichtbogen und für den Kohlelichtbogen. Weiter unterteilt man sie danach, ob sie ganz oder teilweise selbsttätig arbeiten. Die ersten zünden den Lichtbogen selbsttätig, halten den Lichtbogen in der richtigen Länge, führen den Draht (meist blanken Draht) zu und besorgen die Vorwärtsbewegung, indem sich bei manchen Ausführungen der Schweißkopf bewegt, bei anderen, indem sich das Werkstück bewegt. Bei den teilweise selbsttätigen Maschinen fällt diese Vorwärtsbewegung weg; man muß dann von Hand führen.

3. Antrieb der Schweißmaschinen. Ein Antrieb kommt nur für solche Apparate in Frage, die einen sich drehenden Teil haben, also für die Gleichstromerzeuger.

Der Antrieb hängt von den jeweiligen Betriebsverhältnissen ab. Ist im Betrieb nur Gleichstrom vorhanden, so ist ein Gleichstrommotor zu wählen; ist Drehstrom vorhanden, ein Drehstrommotor. Kommen Arbeiten außerhalb der Werkstatt in Frage, so ist ein Drehstrommotor, umschaltbar für verschiedene Netzspannungen, zu wählen. Sind beide Stromarten im Betrieb vorhanden, so ist nach Möglichkeit ein Drehstrommotor zu wählen, da er einfacher in der Bedienung, billiger und durch seine gleichmäßige Drehzahl geeigneter für den Schweißantrieb ist; außerdem

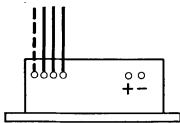


Abb. 20.
Drehstrommotor mit
Schweißmaschine in
einem Gehäuse.

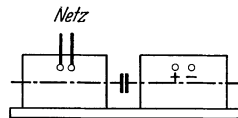


Abb. 21.
Gleichstrommotor gekuppelt
mit Schweißmaschine.

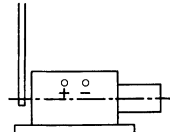


Abb. 22. Riemenantrieb
einer Schweißmaschine
mit angekuppelter Er-
regermaschine.

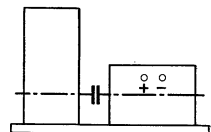


Abb. 23.
Benzin- oder Dieselmotor gekuppelt mit
Schweißmaschine.

kann er leicht umschaltbar für verschiedene Netzspannungen gebaut werden. Ein Motor kann auch zum Antrieb mehrerer Schweißmaschinen dienen; man erhält dann die Mehrfachschweißumformer.

Ein Riemenantrieb von einer Transmission her ist möglich, jedoch nicht zu empfehlen; immerhin ist es zweckmäßig, daß man sich einen Umformer mit herausragendem Wellenstummel anschafft, da man zur Not, wenn bei Arbeiten außerhalb der Werkstatt die für den Motor richtige Stromart oder Spannung nicht zur Verfügung steht, die Schweißmaschine durch eine auf den Stummel aufgesetzte Riemenscheibe von irgendeiner Kraftmaschine her antreiben kann. Außerdem kann umgekehrt diese Riemenscheibe zur Not auch gute Dienste leisten, wenn man durch den Umformer eine Hilfsmaschine (z. B. Schleifscheibe) antreiben will. Der Mehrpreis für den Wellenstummel ist meist unbedeutend.

Will man ganz unabhängig sein, so wählt man als Antriebsmotor einen Benzin- oder Dieselmotor. Die Anschaffungskosten sind natürlich erheblich größer als bei den vorgenannten Antriebsarten; als besonderer Vorteil ist aber — vor allem beim Dieselmotor — der billige Betrieb zu nennen. Von einer Kupplung eines beliebigen Verbrennungsmotors mit der Schweißmaschine ist abzuraten. Meistens stimmen die Drehzahlen der beiden Maschinen nicht überein; dann vor allem aber wird die Regulereinrichtung für den Verbrennungsmotor nicht feinfühlig genug sein, so daß durch die starken Leistungsstöße beim Schweißen die Drehzahl unregelmäßig wird. Unregelmäßige Drehzahl macht sich aber beim Schweißen bemerkbar durch starke Spannungsschwankungen, durch die der Lichtbogen sehr unregelmäßig brennt, so daß nicht gut geschweißt werden kann. Man kann zwar diesem Übelstand abhelfen durch ein sehr großes, schweres Schwungrad oder auch durch

eine Einrichtung, bei der durch den Schweißstrom (Magnet) der Gashebel beeinflusst wird. Immerhin ist das im Regelfalle nur ein Notbehelf. Schematische Darstellungen einiger Umformersätze siehe Abb. 20 ... 23.

4. Beurteilung der Stromquelle. Zunächst wird bei diesem Abschnitt die Frage zu beantworten sein: Wählt man Gleich- oder Wechselstrom für das Schweißen. Die Meinung über diesen Punkt ist nicht einheitlich. Während manche Forscher eine unbedingte Überlegenheit des Gleichstromes festgestellt haben wollen, behaupten andere das Gegenteil. Auch die Praxis beantwortet diese Frage nicht einheitlich. Es gibt Werke, die ausschließlich mit Gleichstrom arbeiten; andere wieder, die nur mit Wechselstrom arbeiten. Was die Güte der Schweißergebnisse anbelangt, sei festgestellt, daß die Güte einer Schweißung mehr von der Elektrode und vom Können des Schweißers beeinflusst wird als von der Stromart. Daraus ergibt sich, daß die Auswahl Gleich- oder Wechselstrom nach anderen Gesichtspunkten zu entscheiden ist.

Wechselstrom kommt naturgemäß überhaupt nur dort in Frage, wo ein genügend starker Wechsel- oder Drehstromanschluß vorhanden ist. Plant man, auch die Nichteisenmetallschweißung aufzunehmen, scheidet der Wechselstrom aus; nach dem gegenwärtigen Stande der Technik ist es schwer oder gar nicht möglich, solche Arbeiten mit Wechselstrom zu erledigen. Hat man Kesselschweißungen auszuführen und befürchtet man Gefährdung der Schweißer durch die hohe Leerlaufspannung, so wählt man wieder nur Gleichstrom und von den verschiedenen Typen die Querfeldmaschine mit ihrer Leerlaufspannung unter 42 V. (Es gibt auch neuerdings Umspanner mit Zusatzeinrichtung, so daß auch hier nur eine niedrige Leerlaufspannung vorhanden ist.) Hat man hohe Stromtarife zu bezahlen, so kauft man zweckmäßig einen Umspanner. (Die Leerlaufleistung beim Umspanner ist etwa 0,1 kW, während sie beim Umformer bis zu 3 kW anwachsen kann; weiterhin ist der Wirkungsgrad beim Umspanner bald doppelt so gut wie beim Umformer.) Man kann also überschlägig rechnen, daß man beim Umformer beinahe doppelt soviel elektrische Arbeit verbraucht wie beim Umspanner. Die Fragen der Schweißgeschwindigkeit und der Spritzverluste sind noch ungeklärt. Meines Erachtens spielen hier auch wieder die Elektroden eine größere Rolle als die Stromart. Als besonders nachteilig für den Wechselstrom gilt die ungleiche Phasenbelastung des Drehstromnetzes (das Stromlieferwerk kann in besonders ungünstig gelagerten Fällen den Anschluß verbieten) und dann der schlechte „ $\cos \varphi$ “¹. Der schlechte $\cos \varphi$ hat praktisch zur Folge, daß die Anschlüsse (Leitungen und Sicherungen) beinahe dreimal so stark gewählt werden müssen wie bei einem gleichstarken Umformersatz; außerdem wird noch „Blindstrom“¹-Leistung verbraucht, was den Strombezug dort, wo der Blindstrom gezählt wird, um etwa 10% verteuert. Der $\cos \varphi$ kann allerdings verbessert werden durch Schweißkondensatoren, wodurch aber wiederum der Anschaffungspreis des Satzes um etwa 20% erhöht wird. Am meisten fällt beim Vergleich Gleichstrom — Wechselstrom der Preisunterschied auf. Ein Umspanner kostet nur etwa 53% eines gleichstarken Umformers. Dafür hat man dann aber Mehrkosten an Elektroden. Denn, obgleich es zwar möglich ist, manchen blanken Draht mit Wechselstrom zu verschweißen, kommt es praktisch wegen der Schwierigkeit nicht in Frage, so daß, hat man sich zu einem Umspanner entschlossen, man stets teurere umhüllte Elektroden verwenden muß.

Hat man sich für die Stromart entschieden, so sind weitere Punkte zu beurteilen: Man wird sich durch einen praktischen Schweißversuch von der Güte der Schweißmaschine zu überzeugen versuchen. Man wird die Leerlaufleistungen

¹ Näheres siehe Heft 54: Der Elektromotor für die Werkzeugmaschine.

bei den verschiedenen Einstellungen der Maschine (am einfachsten mit dem Zähler, siehe Beispiel 2 S. 5) messen. Bei Umformern wird auch die Drehzahl eine gewisse Rolle spielen. Die meisten Umformer haben etwa 1500 U/min, manche aber auch 3000. Die schnell laufenden Maschinen haben den Vorteil des geringen Gewichtes und der geringeren elektrischen Trägheit, dagegen den Nachteil der schnelleren Abnutzung der Bürsten. Will man die Stromschwankungen der verschiedenen Maschinen vergleichen, darf man das nur mit ein und demselben äußerlich angeschlossenen Strommesser tun und nicht die Angaben der verschiedenen eingebauten Strommesser vergleichen; denn die Schwankungen hängen ja auch sehr von der verschiedenen Dämpfung des Anzeigers ab.

5. Behandlung der Schweißmaschinen. Wenn auch eine gute Schweißmaschine so gebaut ist, daß sie den rauhen Schweißbetrieb aushält, so ist natürlich nach Möglichkeit doch auf Schutz der Maschinen zu achten: die Maschinen sind vor Staub und unnötiger Erwärmung zu schützen. Arbeiten die Maschinen viel im Freien, so ist ein Schutzdach zu empfehlen. Die Bedienungsvorschriften, vor allem in bezug auf Schmierung der Lager, sind streng zu beachten. Bei vielen Umformern sieht der Anschlußkasten des Motors äußerlich genau so aus wie der Anschlußkasten der Schweißkabel. Zur Unfallverhütung empfiehlt es sich, den Motoranschlußkasten zu plombieren. Eine Schrägstellung der Maschine ist zu vermeiden. Der Maschinenkörper ist sorgfältig zu erden.

Ein besonderer Punkt ist das Parallel- und das Hintereinanderschalten von Schweißmaschinen. Zunächst sei festgestellt, daß es ohne jede Schwierigkeiten möglich ist, an einem Stück gleichzeitig mit verschiedenen Schweißern, mit verschiedenen Stromquellen zu schweißen. Eine Störung der einzelnen Schweißstellen ist nicht zu befürchten. (Wenn aber durch die Wahl des Anschlusses alle Schweißströme gezwungen werden, durch eine enge Stelle des Schweißstückes zu fließen — Heftstelle —, so kann sich unter Umständen diese Stelle unzulässig hoch erhitzen!) Will man zur Erzielung höherer Stromstärken mehrere Maschinen parallel schalten (bei Gleichstrom + - Pol am + - Pol, — Pol am — Pol), so darf man das nur dann tun, wenn die Schaltungen der Maschinen es zulassen. Da man das nicht ohne weiteres feststellen kann, empfiehlt es sich, stets erst bei den Lieferwerken unter Nennung des Baujahres und der Type der Maschine anzufragen, ob hierbei keine Schädigungen zu erwarten sind. Schäden können sein: Umpolen der einen Maschine oder gar Verbrennen von Wicklungsteilen. Ebenso verhält es sich mit der Hintereinanderschaltung (+ - Pol der einen Maschine an den — Pol der anderen) zwecks Erzielung höherer Lichtbogenspannung.

6. Anschluß der Schweißmaschinen. Die Stärke der Zuleitungen und der Sicherungen zu den einzelnen Schweißmaschinen richtet sich nach den Angaben der Leistungsschilder. Es ist hier zu beachten: die Motorleistung (Anschlußleistung), die Angabe DAB, die Spannung, die Art des Anschlusses. Statt langer Erklärungen ist es hier vielleicht richtiger, einige Zahlenbeispiele durchzurechnen:

Beispiel 3. Gegeben: Drehstrom-Motorleistung $N = 12 \text{ kW}$; $U = 380 \text{ V}$; $\cos \varphi = 0,85$.
Gesucht: Querschnitt der Kupfer-Zuleitungen (F) und Sicherungsstromstärke (J_n).

$$\text{Lösung: Scheinleistung } N_s = \frac{N}{\cos \varphi} = \frac{12}{0,85} = 14,1 \text{ kVA,}$$

$$J = \frac{N}{U \cdot \sqrt{3}} = \frac{14,1 \cdot 1000}{380 \cdot 1,73} = 21,4 \text{ A.}$$

Laut VDE.-Vorschriften: $F = 4 \text{ mm}^2$; $J_n = 20 \text{ A}$.

Beispiel 4. Gegeben: Angaben des Beispiels 3, jedoch DAB = 50% ED. Gesucht: $F = ?$; $J_n = ?$

Lösung: Laut Beispiel 3 ergibt sich $J = 21,4$ A. Wegen $DAB = 50\%$ kann die Maschine schätzungsweise kurzzeitig einen um etwa 25% höheren Strom aufnehmen als bei dem Beispiel 3. Daraus ergibt sich $J' = 21,4 \cdot 1,25 = 26,7$ A. Gewählt (nach oben aufgerundet) $F = 6$ mm²; $J_n = 25$ A.

Beispiel 5. Gegeben: Einphasig angeschlossener Umspanner $N_s = 15$ kVA; $U = 380$ V. Gesucht: $F = ?$; $J_n = ?$

Lösung: $J = \frac{15 \cdot 1000}{380} = 39,5$ A. Gewählt: $F = 10$ mm²; $J_n = 35$ A.

Beispiel 6. Gegeben: Umformer, Schweißstrom $J = 200$ A, Lichtbogenspannung $U = 28$ V. Gesucht: Anschlußleistung (N_a).

Lösung: $N_L = \frac{J \cdot U}{1000} = \frac{200 \cdot 28}{1000} = 5,6$ kW.

Gesamtwirkungsgrad geschätzt 45% $N_a = \frac{5,6}{0,45} = 12,4$ kW.

Beispiel 7. Gegeben: Einphasig-angeschlossener Umspanner, Schweißstrom $J = 200$ A, Lichtbogenspannung $U_L = 28$ V, Leerlaufspannung $U_o = 78$ V. Gesucht: Anschlußleistung (N_a in kVA).

Lösung: $\cos \varphi = \frac{U_L}{U_o} = \frac{28}{78} = 0,36$. Wirkungsgrad geschätzt 85%.

$N_L = \frac{J \cdot U_L}{1000} = \frac{200 \cdot 28}{1000} = 5,6$ kW, $N_a = \frac{5,6}{0,85 \cdot 0,36} = 18,3$ kVA.

Beispiel 8. Gegeben: 2 einphasig-angeschlossene Schweißumspanner an einem Drehstromnetz. Größte Stromaufnahme des einen $J_1 = 50$ A, des anderen $J_2 = 30$ A; $\cos \varphi_1 = \cos \varphi_2$. Gesucht: $F = ?$; $J_n = ?$

Lösung: In der stärksten belasteten Phase, die von den beiden Umspannern belastet wird, fließen

$$J = \sqrt{J_1^2 + J_2^2 - 2 \cdot J_1 \cdot J_2 \cdot \cos 120^\circ} = \sqrt{50^2 + 30^2 + 2 \cdot 50 \cdot 30 \cdot 0,5} = 70 \text{ A,}$$

$$F = 16 \text{ mm}^2; J_n = 60 \text{ A.}$$

Beispiel 9. Gegeben: Angaben des Beispiels 8, jedoch $\cos \varphi_1 = 0,35$; $\cos \varphi_2 = 0,25$. Gesucht: $J = ?$

Lösung: $\cos \varphi_1 = 0,35$; $\varphi_1 = 69^\circ 30'$; $\cos \varphi_2 = 0,25$; $\varphi_2 = 75^\circ 30'$.
 $\gamma = 120^\circ - 69,5 + 75,5 = 126^\circ$.

$$J = \sqrt{J_1^2 + J_2^2 - 2 \cdot J_1 \cdot J_2 \cdot \cos \gamma} = \sqrt{50^2 + 30^2 + 2 \cdot 50 \cdot 30 \cdot 0,588} = 71,7 \text{ A.}$$

Der Unterschied gegenüber Beispiel 8 ist nicht erheblich. Daher wird man im Regelfall stets nach Beispiel 8 rechnen.

Hingewiesen sei noch darauf, daß die Anschlußspannung möglichst unverändert sein soll. Wird eine Schweißmaschine von einem Gleichstrommotor angetrieben, so macht sich unter Umständen erniedrigte Spannung, hervorgerufen durch zu starke Inanspruchnahme des Netzes, durch Absinken der Drehzahl bemerkbar. Eine Schweißmaschine arbeitet aber nur richtig mit der ihr zustehenden Drehzahl. Mitunter macht sich ein Absinken der Spannung bemerkbar durch Ansteigen des Stromes: die Sicherungen brennen durch, der Motor wird zu heiß.

Drehstrommotore sind meist weniger empfindlich.

Schweißumspanner liefern bei absinkender Netzspannung bei bestimmter Einstellung weniger Schweißstrom. Man kann hier einen Ausgleich durch Einstellen auf höheren Strom schaffen.

B. Elektroden.

1. Allgemeines. Die Elektroden haben zwei getrennte Aufgaben zu erfüllen: erstens den Lichtbogen zu bilden, zweitens — ausgenommen die Kohle-Elektroden — die Schweißnaht zu bilden. Aus dieser Überlegung ergibt sich schon, daß die Anforderungen an eine gute Elektrode sehr zahlreich sind, daß überhaupt der Einfluß der Elektrode auf die Güte der Schweißung sehr groß ist. Zur Erledigung

der ersten Aufgabe stellt man die Forderung, daß der Lichtbogen leicht hergestellt und aufrechterhalten werden kann. Zur zweiten Aufgabe wird verlangt, daß im Idealfalle das abgesetzte Schweißgut die gleichen Eigenschaften hat wie der Grundwerkstoff. Dann wird noch gefordert, daß die Elektrode schnell schweißt, daß sie wenig elektrische Arbeit verbraucht, daß sie billig ist. Dann weiter, daß sie wenig Nacharbeit erfordert zum Beseitigen der Schlacke, und daß sie geringe Spritzverluste hat.

Die Verwirklichung des leichten Schweißens kann man in jedem Falle durch eine Umhüllung von nichtmetallischen Stoffen erzielen. Die Wirkung der verschiedenen Stoffe ist sehr unterschiedlich.

Die Verwirklichung der Forderung, daß das abgesetzte Schweißgut annähernd die gleichen Eigenschaften hat wie der Grundwerkstoff, erreicht man auf verschiedenen Wegen: Entweder werden dem Elektrodenwerkstoff bestimmte Legierungsbestandteile zugemischt, oder man legt die Stoffe, die eine gewisse Veredlung bewirken sollen, in die Umhüllung.

Durch die Umhüllung erreicht man in jedem Falle einen Schutz des hocherhitzten Schweißgutes vor den Einwirkungen der Luft beim Durchgange durch den Lichtbogen und eine langsamere Abkühlung der Schweißnaht, was einerseits zwar eine gewisse Verbesserung, andererseits jedoch einen Wärmestau bedeutet. Kommt man in diesem Zusammenhange zu der Frage, ob es zweckmäßig ist, mit umhüllten oder nichtumhüllten Elektroden zu arbeiten, so wird auch hier die Antwort nicht eindeutig sein können. Es ist ohne Frage, daß die blanke Elektrode billiger ist, und daß man andererseits durch die umhüllte Elektrode — allerdings nicht jede beliebige — zu einer besseren Schweißung kommen kann. Es hängt also dieser Punkt eng mit der Wahl der Stromart und dann vor allem auch mit der Übung und der Gewöhnung der Schweißer zusammen. Der Schweißer muß mit einer Elektrode eingearbeitet sein. Es gibt wenige Schweißer, die abwechselnd mit umhüllten — vor allem stark umhüllten — Elektroden gleich gute Ergebnisse erzielen wie mit blankem Draht. Die häufig verbreitete Meinung, daß mit allen stark umhüllten Elektroden ein Überkopfschweißen unmöglich sei, ist falsch.

2. Einteilung der Elektroden nach dem Äußeren. a) **Blanke Elektroden.** Sie kommen in den Handel in Stäben oder Ringen. Sie können unterschieden werden nach der Herstellungsart: in gegossene, gewalzte oder gezogene Drähte. Hierzu rechnet man alle Drähte ohne Rücksicht auf ihre Oberfläche. Die gezogenen Drähte sind zunächst ziemlich hart. Sie werden weich gemacht durch Glühen. Findet das Glühen unter Zutritt von Luft statt, so entsteht schwarzgeglühter Draht; manchmal wird diese Zunderschicht durch Beizen entfernt. Wird bei dem Glühen der Zutritt der Luft verhindert, so entsteht blankgeglühter Draht. Wird in Holzkohle geblüht, so bezeichnet man ihn wohl als Holzkohledraht. Manche Drähte werden nach dem Glühen nochmals gezogen, wobei ein das Ziehen begünstigendes Schmiermittel verwendet wird, das dann auf dem Draht verbleibt und so als Umhüllung wirkt.

b) **Seelendraht.** Streng genommen gehört auch dieser Draht zu den blanken Elektroden. Da er jedoch auch im Preise eine Gruppe für sich bildet, soll er hier besonders aufgeführt werden. Dieser Draht hat einen Kern von nichtmetallischen Stoffen. Er ist im allgemeinen der beste blanke Draht; man erreicht mit ihm meistens die höchsten Güterwerte. Mitunter sind diese Stoffe im Drahtquerschnitt verstreut: „schlackenversetzte Drähte“.

c) **Dünn umhüllte (getauchte) Elektroden.** Das Durchmesser Verhältnis D/d ist meist kleiner als 1,2. Die Arten der Umhüllung sind sehr verschieden. Ein Selbstumhüllen mit selbsthergestellter oder gekaufter Masse ist nicht zu

empfehlen, da nur eine gewisse Übereinstimmung von Drahtkern und Umhüllungsmasse eine wirkliche Verbesserung ergibt. Die Zusammensetzung der verschiedenen Umhüllmassen gilt als streng gehütetes Geheimnis der Elektrodenfabrikanten.

d) Dick umhüllte Elektroden. Durchmesser Verhältnis D/d ist größer als 1,2. Andere Namen für diese Elektroden sind auch ummantelte oder Schmelzmantelelektroden. Mit ihnen kann man die Spitzenwerte der mechanischen Eigenschaften der Schweißnaht erreichen; freilich sind sie auch am teuersten. Man erreicht bei diesen Elektroden eine äußerst glatte Naht.

e) Umwickelte Elektroden. Diese Elektroden haben einen Drahtkern mit einer Umspinnung aus Asbest oder auch aus einem besonderen Papier. Meistens sind dann noch bestimmte Flußmittel, auch ein Aluminiumfaden, beigegeben, um der Schweißnaht den Sauerstoff besser zu entziehen.

3. Einteilung der Elektroden nach der Arbeit. a) Elektroden für Verbindungsarbeiten.

b) Elektroden für Auftragsarbeiten: je nach dem Werkstoff und Zweck verschieden.

c) Elektroden für Schneidarbeiten. Diese Elektroden zeichnen sich durch besonders starken Einbrand aus, so daß man mit hoher Stromstärke das Stück durchschmelzen kann.

4. Einteilung der Elektroden nach dem Werkstoff.

a) Kohle-Elektroden. Sie dienen zum Schweißen nach dem Verfahren von Benardos. Man kennt Vollkohle (Homogenkohle), Dochkohle (der Kern besteht aus bestimmten Füllstoffen, die den Lichtbogen ruhiger brennen lassen) und Graphitkohle, die geringeren Abbrand hat und hohe Stromstärken verträgt. Die Kohlen haben meist runden Querschnitt (siehe auch S. 47).

b) Elektroden für Stahl. Die Zusammensetzung ist dem Grundwerkstoff angepaßt. Im allgemeinen teilt man diese Elektroden nach der durch die Schweißnaht erreichten Festigkeit ein. Die höhere Festigkeit wird erreicht durch einen höheren Kohlenstoffgehalt. Der Kohlenstoff neigt infolge seiner Verbrennung zum Spritzen und zur Blasenbildung; daher läßt sich solcher Draht schwieriger verschweißen. Geglühte Drähte haben geringere Neigung zum Spritzen; dagegen wird durch das Beizen infolge Wasserstoffaufnahme des Drahtes das Spritzen erhöht. Die schmelzbaren Sorten haben meist einen gewissen Mangangehalt. Besondere Schwierigkeiten verursacht stets das Silizium, weshalb Stähle mit hohem Siliziumgehalt schwer schweißbar sind. Bei der Schweißung des heute sehr beliebten St 52 ist zu bedenken, daß es verschiedene Sorten dieses Werkstoffes auf dem Marke gibt; daher ist die Eignung einer bestimmten Elektrode für den gewählten Baustoff erst besonders zu untersuchen. Eine besondere Gruppe sind die Elektroden für die heute recht zahlreichen legierten Stähle. Hier ist auch jedesmal die gewählte Elektrode mit dem Baustoff in Übereinstimmung zu bringen.

c) Elektroden für Gußeisen. Die Elektroden sind je nach dem Verfahren verschieden. Für die Warmschweißung benutzt man Gußeisenstäbe mit hohem Kohlenstoff- und Siliziumgehalt. Für die Kaltschweißung benutzt man einfache Stahlelektroden, wobei infolge Bildung von weißem Roheisen die Schweißung sehr hart wird. Will man eine bearbeitbare Schweißung haben, muß man eine Elektrode aus Monelmetall (Legierung von Nickel, Kupfer, Mangan, Eisen) nehmen. Da hierbei die Schweißnaht aus einem ganz anderen Stoff besteht als der Grundwerkstoff, könnte man dieses Verfahren schon zu den Lötungen rechnen.

d) Elektroden für Nichteisenmetalle. Diese sind meist umhüllt. Die Umhüllmassen sind hier zum Teil, vor allem bei den Leichtmetallen, sehr wasseranziehend. Daher müssen diese Elektroden gut trocken aufbewahrt werden.

Kupfer-Elektroden haben einen gewissen Mangan-, Silizium-, mitunter auch Silbergehalt. Bronze-Elektroden sind wegen der verschiedenen Legierungsmöglichkeit auch in den Eigenschaften sehr verschieden. Aluminium und seine Legierungen werden mit Elektroden verschweißt, die mit dem Grundwerkstoff möglichst nahe verwandt sind.

5. Einteilung nach DIN 1913.

C. Verschiedenes.

1. Elektrodenhalter. Er soll leicht und dabei stark genug sein, um ohne wesentliche Erwärmung den Schweißstrom führen zu können. Ob der Schweißer eine Zange benutzt, die durch Federkraft die Elektrode festhält oder durch den Druck der Hand, ist Sache der Gewöhnung. Ist die Zange kurz, so hat man zwar eine gute Führung der Elektrode, dafür wird aber gegen Ende der Elektrode die Hitzestrahlung sehr stark. Für grobe, starke Arbeiten ist also eine längere Zange besser als für feine Arbeiten. Die Einspannstelle soll der natürlichen Neigung der Elektrode angepaßt sein. Daher haben manche Zangen mehrere Einschnitte für die verschiedenen Arbeiten. Einspannbacken aus Kupfer haben den Vorteil, daß das Elektrodenende leicht zu entfernen geht (Abb. 24).



Abb. 24.
Schweißzange (Elektrodenhalter).

2. Schweißkabel. Es soll leicht und biegsam sein, gut isoliert und stark genug für den Schweißstrom. Die Normlänge des Kabels beträgt 5 m. Man soll also stets mit der Schweißmaschine möglichst nahe an das Stück herankommen. Längere Kabel bringen Verluste an elektrischer Arbeit mit sich (siehe Abb. 25 und Beispiele Nr. 10 und 11). Man muß in diesen Fällen die Maschinen stets für etwas höheren Strom einstellen. Die Kabelenden müssen sehr sorgfältig befestigt werden.

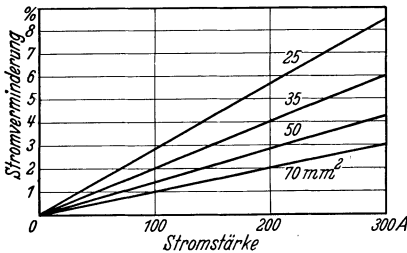


Abb. 25. Ungefähre Stromverminderung in % bei 10 m Länge der kupfernen Hin- und Rückleitung bei verschiedenen Querschnitten in Abhängigkeit von der Schweißstromstärke, gegenüber dem Idealfall, daß die Leitungen keinen Widerstand hätten. Spannung der Stromquelle konstant angenommen.

Beispiel 10. Es soll mit 200 A geschweißt werden. Länge der kupfernen Hin- und Rückleitung (35 mm^2) 50 m. Wie groß ist der Strom, der wirklich fließt, bei einer Einstellung der Maschine auf 200 A bei Kabellänge von 10 m? Aus Abb. 25 ergibt sich eine Stromverminderung um 4%.

$$\text{Also } J' = \frac{50}{10} \cdot 200 \cdot 0,04 = 40 \text{ A,}$$

$$J = 200 - 40 = 160 \text{ A.}$$

Beispiel 11. Gegeben: Gesamtlänge der Schweißleitungen 60 m. Stromverminderung zugelassen 12%. $J = 200 \text{ A}$. Gesucht: Querschnitt der Leitungen.

$$\text{Lösung: Auf 10 m bezogen: } \frac{10 \cdot 12}{60} = 2\%. \text{ Nach}$$

Abb. 25 ergibt sich aus 2% und 200 A 70 mm^2 .

3. Verschiedenes Werkzeug. Hämmer, leichte Schlackenhämmer, Zangen, Feilkloben und Schraubzwingen zum Spannen.

4. Schutz des Schweißers. Dazu dient zunächst der Spiegel. Er soll groß genug sein, das ganze Gesicht zu bedecken. Es ist Sache der Gewohnheit, ob der Schweißer mit dem Spiegel in der Hand (also nur mit einer Hand schweißend) oder mit einer Haube (mit beiden Händen schweißend) bessere Arbeit liefert. Beide Verfahren haben ihre Vorzüge und ihre Mängel.

Bezüglich Auswahl der Schutzgläser bedenke man folgendes. Der Lichtbogen sendet Lichtstrahlen aus mit einer Wellenlänge der Strahlen von 4000 Angström

(violett) (1 Angström = ein zehnmillionstel Millimeter) bis zu 8000 Angström (rot); dann noch ultraviolette Strahlen unter 4000 Angström und ultrarote Strahlen über 8000 Angström. Treffen Lichtstrahlen im Übermaß das Auge, so wird es geblendet; bei einem Übermaß an ultravioletten Strahlen entzündet sich sofort die Bindehaut, bei den ultraroten Strahlen wird nach längerer Einwirkung die Linse gestört. Gewöhnliches Buntglas hält die ultravioletten Strahlen und die ultraroten Strahlen nur in geringem Maße auf, daher ist es für diese Zwecke ungeeignet. Die Lichtstrahlen des Lichtbogens bestehen zumeist aus grünen, dann auch aus gelben Strahlen. DIN 4647 behandelt den Strahlungsschutz. Entsprechend den obigen Ausführungen erhalten die Schutzgläser drei hintereinander geschriebene Kennziffern. Die erste Kennziffer bezieht sich auf den Schutz gegen ultraviolette Strahlen, die zweite auf die sichtbaren Strahlen, die dritte auf die ultraroten Strahlen. Jede Kennziffer kann die Werte 0 ... 9 annehmen; je größer die Zahl, desto stärker die Schutzwirkung. Es ist nicht notwendig, stets die höchste Kennziffer (z. B. 999) zu wählen. Richtet man sich nach DIN 4647, so sind auch bei Wahl der dort zugelassenen kleinsten Kennziffern gesundheitliche Störungen ausgeschlossen. Da die Stärke der Strahlung von der Art der Lichtquelle, von ihrer Größe und von der Entfernung des Auges bis zur Lichtquelle abhängt, sind in dem Beiblatt der DIN 4647 nähere Angaben gemacht. Für das Lichtbogenschweißen nimmt man für Arbeiten mit einer Elektrode schwächer als 2 mm Durchmesser meistens die Kennziffer 777; für Arbeiten mit Elektroden bis zu 6 mm meistens 788; für noch stärkere Elektroden mindestens 898.

Die Farbe des Glases ist Sache der Gewohnheit. Allgemein Gültiges kann hier nicht gesagt werden. Zerbrochene Gläser oder solche mit Lochspuren sind unbrauchbar. Da die Gläser ziemlich teuer sind, sind zu ihrem Schutze vorn und hinten Scheiben aus einfachem Fensterglas anzuordnen.

Handschuhe sind notwendig wegen der starken Strahlung des Lichtbogens und auch als Schutz vor dem elektrischen Strom. Aus Gründen der leichten Übertragung von Hautkrankheiten sollte jeder Schweißer seine eigenen Handschuhe haben. Als Dank hierfür soll er aber die Handschuhe gut behandeln; vor allem ist das zwar sehr bequeme aber für die Handschuhe sehr schädliche Anfassen von heißen Stücken mit den Handschuhen unbedingt zu unterlassen.

Kopfbedeckung ist wegen der starken Staubbelästigung, vor allem beim Schweißen mit stark umhüllten Elektroden, notwendig.

Als Schutz für die Kleidung dient eine Schürze aus Leder oder besonderen dichtgewebten Stoffen. Asbestkleidung wird nur bei der Gußeisenwärmeschweißung, dann auch vielleicht im Behälterbau, notwendig sein. Völlig ungeeignet sind Gummikleidungsstücke jeder Art.

5. Schweißwerkstatt. Sie soll möglichst luftig und hoch sein. Eine Absaugvorrichtung mit Saugtrichtern über jedem Schweißplatz ist sehr zweckmäßig. Wände und Decke sind im Anstrich dunkel zu halten. Hingewiesen sei auf eine Sonderfarbe, die die schädlichen Strahlen des Lichtbogens zurückhalten soll. Fenster sind gut zu verwahren, damit einerseits die Strahlen nicht nach außen dringen, andererseits die Strahlen durch die spiegelnden Flächen nicht zurückgeworfen werden können und dadurch den Schweißer stören. Das Abgrenzen der einzelnen Schweißstände ist dort leicht durchzuführen, wo es sich um kleine Werkstücke handelt, die an die einzelnen Schweißstände (Kabinen) herangebracht werden können. Schwierig ist es dort, wo an großen Stücken gearbeitet wird. Je nach der Art der Stücke und Art der Verhältnisse sind entweder einzelne kleine Blechschirme vorzusehen oder Stangen in den Boden zu stecken, an denen dann Schutzvorhänge befestigt werden. Für solche Vorhänge eignet sich jeder glatte

Stoff, den man zweckmäßig zum Feuerschutz mit Wasserglas tränkt (jedes größere Theater übernimmt solches Tränken).

Zum Werkstückanschluß dient meist eine Schraubzwinde. Ist man wegen der Blaswirkung des Lichtbogens gezwungen, öfters die Anschlußstelle zu wechseln, so dient dazu ein Haken aus Kupfer, den man überall leicht anhängen kann. Für kleinere Teile gebraucht man einen Rost, der dann immer an den einen Pol der Schweißmaschinen angeschlossen bleibt. Ist der Rost sehr groß, so daß sich die Schweißer darauf aufhalten müssen, so sind ihnen als Schutz vor Erkältung und Rheumatismus besondere Unterlagen zu geben (Holzbänke, Sitzkissen u. dgl.).

III. Der geschweißte Bauteil.

A. Die Schweißnaht.

1. Allgemeines. Die Gefügeuntersuchung ist zur Beurteilung einer Schweißung sehr wichtig, deshalb soll sie hier in großen Zügen behandelt werden. Die zu untersuchende Stelle wird sorgfältig geschliffen und möglichst fein poliert. Dann ätzt man diese Stelle mit Säure¹; es bilden sich nun die verschiedenen Zonen ab.

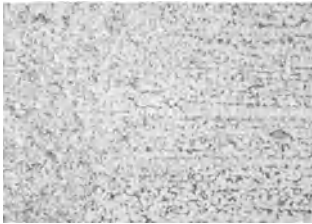


Abb. 26. Querschnitt einer Lichtbogenschweißung, links Schweißung, rechts ungeschweißter Walzwerkstoff, Zeilenstruktur.

a) Grundwerkstoff. Da es sich meist um Walzwerkstoff handelt, kann man hier etwaige Zeilenstruktur feststellen (Abb. 26). Auch machen sich hier zum Teil Walzfehler, Einschlüsse in schlechtem Werkstoff bemerkbar.

b) Übergangswerkstoff. Der Übergangswerkstoff umfaßt 2 Zonen, die Zone des Wärmeeinflusses auf den Grundwerkstoff und die Mischzone, die gekennzeichnet ist durch ein Vermischen des flüssigen Schweißgutes mit dem aufgeschmolzenen Grundwerkstoff. Dem Übergang kommt die wichtige Aufgabe zu, zwischen dem Grundwerkstoff und der Schweißung zu vermitteln. Daher soll dieser Übergang auch nicht zu schroff sein. Bei Verwendung bestimmter hochwertiger Elektroden (austenitische Elektroden) ist der Übergang sehr schroff, ohne daß die Güte der Schweißung darunter leidet. Die Größe der Wärmeeinflußzone ist abhängig von verschiedenen Umständen: Verringerung der Schweißgeschwindigkeit, Verstärken des Schweißstromes wirken auf Vergrößerung dieser Zone. Die

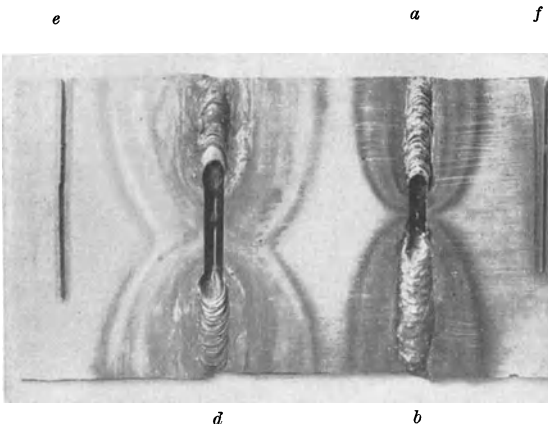


Abb. 27. Anlaufarben beim Schweißen und Schneiden. *a* u. *b* beim Lichtbogenschweißen (*a* mit blanker, *b* mit umhüllter Elektrode), *c* und *d* beim Gasschweißen (*c* Linksschweißen, *d* Rechtsschweißen), *e* beim Handschnitt, *f* beim Maschinenschnitt.

aufgelöst. Ätzdauer 1 ... 3 min. Der entstehende Kupferniederschlag ist unter fließendem Wasser abzuwaschen. *b*) Nach Adler-Matting (Rezept: Es wird 3 g krist. Kupferammoniumchlorid in 25 cm³ destilliertem Wasser aufgelöst, dann sind 50 cm³ Salzsäure mit dem spez. Gewicht 1,19 zuzusetzen und 15 g krist. Eisenchlorid).

¹ Ätzmittel: a) 10 g festes Kupferammoniumchlorid werden in 120 cm³ destilliertem Wasser

Zone ist aber in jedem Falle viel kleiner als beim Gasschweißen wegen der insgesamt geringeren Wärmezufuhr beim Lichtbogenschweißen. Die verschiedene Größe der Wärmezone beim Schweißen und Schneiden läßt sich leicht mit den „Anlauffarben“ nachweisen, die ja eine Folge der Temperatur der einzelnen Zonen des Werkstückes sind. Man kann dabei deutlich zeigen, daß das Schweißen mit blanken Elektroden die kleinste Wärmezone ergibt (Abb. 27).

c) Schweiße. Schweißwerkstoff hat zunächst Gußstruktur, grobes Gefüge (Abb. 28). Feingefüge kann erzielt werden durch Vergüten (siehe folgenden Abschnitt d) oder auch durch andere Maßnahmen, wie Legierungszusätze, Zusätze aus der Umhüllung der Elektrode. Die vielbesprochenen Eisennitridnadeln (siehe auch S. 24) findet man in der Schweiße von blanken, in schwächerem Maße auch von dünn umhüllten Elektroden; bei stark umhüllten Elektroden gar nicht. Man kann sie im Gefügebild sichtbar machen durch längeres Glühen der Probe mit nachfolgendem Abschrecken (Abb. 29). Weiter sind gegebenenfalls noch Blasen und Schlackeneinschlüsse im Bild zu erkennen.

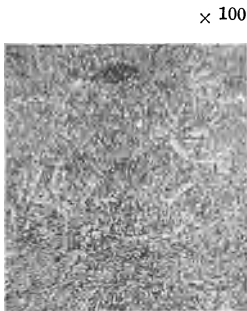


Abb. 28. Grobes Gußgefüge einer Lichtbogenschweißung.

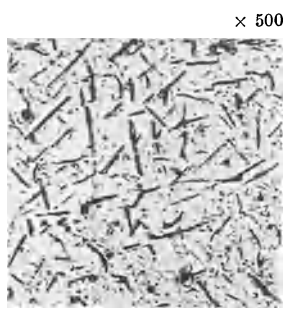


Abb. 29. Stickstoffnadeln (Nitridnadeln) einer Lichtbogenschweißung.

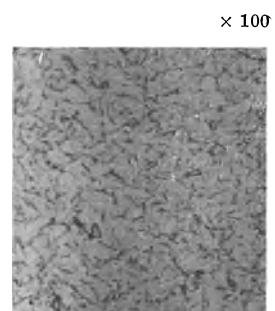


Abb. 30. Feinkörniges Gefüge durch Vergüten der Schweißung.

d) Vergütung der Schweiße. Sie bezweckt eine Kornverfeinerung. Je feiner das Korn ist, desto fester ist das Gefüge, da ein Kristall eher in sich zerbricht, als daß die einzelnen Kristalle in der Berührungsfläche voneinander lassen. Man kann bei einer gegebenen Schweiße die Kornverfeinerung durch Hämmern und Glühen erzielen. Daraus ergibt sich, daß eine Verfeinerungsmöglichkeit nur dort gegeben ist, wo es sich um schmiedbare Schweißungen handelt. Beim Hämmern ist zu beachten, daß die richtige Temperatur während des Hämmerns eingehalten wird, daß eine gute Unterlage unter der Naht vorhanden ist, damit nicht etwa Risse entstehen, und daß die Hammergröße dem Werkstück angepaßt ist. Bezüglich des Glühens ist zu beachten, daß bei Temperaturen um 700° nur spannungsfrei gegläht wird, daß bei erstrebter Gefügeumwandlung Temperaturen je nach dem Kohlenstoffgehalt von etwa 900° eingehalten werden müssen. Dieses Glühen bezeichnet man auch als Normalglühen oder auch als Normalisieren (Abb. 30). Da die richtige Einhaltung der geschilderten Bedingungen in der Praxis — vor allem bei großen Stücken — sehr schwierig, wenn nicht ganz unmöglich ist, trifft man in der Praxis so stark verschiedene Meinungen über den Wert des Glühens und Hämmerns an. Deshalb wird man nur in Notfällen von diesen Mitteln Gebrauch machen.

2. Einflüsse auf die Schweißnaht. Es kommen gewollt oder ungewollt Stoffe in die Schweißung, deren Einfluß betrachtet werden muß.

a) Sauerstoff kommt dadurch in die Schweiße, daß das hochoverhitzte Schweiß-

gut von der Elektrodenspitze durch die Luft in die Schweißung übergeht. Man findet ihn in der Schweißung entweder als Schlackenhaut, die die einzelnen Tröpfchen umgibt, oder gelöst. Im ersten Falle hat die Schweißung geringe Festigkeit (verbrannte Schweißung), im anderen Falle ist die Schmiedbarkeit herabgesetzt. Da beides unerwünscht ist, werden Gegenmaßnahmen ergriffen. Solche sind: kurzer Lichtbogen, damit möglichst wenig Sauerstoff heran kann; Legierungsbestandteile des Drahtes, die den Zweck haben, den Sauerstoff aufzunehmen; schließlich die Umhüllung, die sowohl sauerstoffentziehend als auch einfach luftverdrängend wirken kann.

b) Stickstoff geht wahrscheinlich durch die hohe Temperatur des Lichtbogens unmittelbar Verbindungen mit dem Eisen ein. Er kann aber auch gelöst im Eisen sein. Er erhöht die Härte, die Zugfestigkeit und die Streckgrenze der Schweißung; dagegen wird die Dehnbarkeit und Kerbzähigkeit der Schweißung herabgesetzt. Er ist also nur dort unerwünscht, wo eine große Dehnung der Schweißung angestrebt wird. Gegenmittel gegen Stickstoffaufnahme sind auch wieder: kurzer Lichtbogen, legierte Drähte und Umhüllungen.

c) Kohlenstoff geht zum großen Teil auf dem Wege vom Draht zur Schweißung durch Abbrand verloren, was sich durch beliebig hohen Gehalt an Kohlenstoff im Schweißdraht nur in gewissen Grenzen ausgleichen läßt, da sonst der Draht zu stark spritzt.

d) Mangan ist in der Schweißung sehr erwünscht, da es die Schmiedbarkeit der Schweißung erhöht und den Sauerstoff bindet. Allerdings wird auch durch Mangan das Spritzen stark gefördert (Polwechsel — beim Gleichstrom — vermindert zum Teil das Spritzen).

e) Silizium wirkt beim Schweißen ähnlich wie Mangan, nur neigen Stähle mit bestimmtem Siliziumgehalt zu Lufthärtungserscheinungen, d. h. in gewissem Abstand von der Schweißung wird der Grundwerkstoff hart und spröde.

f) Nickel erhöht die guten Eigenschaften der Schweißung. Draht mit starkem Nickelgehalt wird meist umhüllt verschweißt.

g) Andere Stoffe. Schwefel, Phosphor verändern sich beim Schweißen in den Grenzen, in denen diese Stoffe im üblichen Stahl vorhanden sind, nicht. Wegen der schlechten Eigenschaften, die Stahl mit diesen Stoffen hat, ist der Gehalt an ihnen möglichst niedrig zu wählen.

3. Mechanische Eigenschaften der Schweißnaht. Dieses Kapitel lehnt sich zum Teil eng an die Prüfung von Schweißverbindungen an (siehe S. 57).

a) Zugfestigkeit. Sie kann heute durch entsprechende Wahl der Elektroden beinahe beliebig (für ruhende Belastung) gesteigert werden. Es ist aber zwecklos, so besonders hohe Festigkeiten erreichen zu wollen, denn es ist in solchen Fällen die Festigkeit der Übergangszone maßgebend. Meist geht eine schrankenlose Erhöhung der Festigkeit mit Verschlechterung der Schweißung in anderer Beziehung Hand in Hand.

b) Dehnung. Über Messung der Dehnung siehe S. 58. Über die Bedeutung der Dehnung sind heute noch die Meinungen geteilt. Immerhin kann man auch hier als Ideal aufstellen, daß die Dehnung der Schweißung gleich der Dehnung im Grundwerkstoff sein soll. Eine hohe Dehnung hat den Vorteil, daß man den geschweißten Bauteil leichter nachrichten kann. Meist muß aber hohe Dehnung mit einem hohen Einkaufspreis der Elektroden erkauft werden.

c) Brinellhärte. Die Härte von Schweißungen ist an der Oberfläche stets größer als im Grunde. Auch über die Natoberfläche ist die Härte nicht gleich. Je nach dem Grundwerkstoff wird die Übergangszone im allgemeinen die härteste Stelle sein. Daraus ergibt sich auch, daß eine Umrechnungszahl zwischen der

Brinellhärte und der Zugfestigkeit, wie es sonst bei normalem Stahl üblich ist, hier kaum genannt werden kann. Mitunter liest man die Beziehung $\sigma_B = 0,31 H$; allgemeine Gültigkeit hat sie nicht.

d) Kerbzähigkeit. Sie ist zunächst sehr stark abhängig von der Versuchsdurchführung. Daher können stets nur Werte miteinander verglichen werden, bei denen die Anordnung gleich war. Zufällige Poren, Schlackeneinschlüsse verkleinern je nach ihrer Form und Lage die Kerbzähigkeit stark. Mitunter werden aber auch durch solche Einschlüsse die Werte vergrößert; man kann sich das etwa so erklären, daß in solchen Fällen die Wucht des Schlaghammers von dem porösen Gefüge wie von einem Polster aufgefangen wird, so daß ein Teil der vorhandenen Schlagarbeit erst dazu verwendet werden muß, das Gefüge zu verdichten. Ob das tatsächlich zutrifft, ist noch nicht ganz geklärt. Durch Glühen und Hämmern kann die Kerbzähigkeit von Schweißungen erhöht werden, wenn die Schweiße frei von Stickstoff ist. Die höchsten Kerbzähigkeitswerte werden von stark umhüllten Elektroden erzielt. Ob ein Zusammenhang mit der Dehnung besteht, ist noch unsicher.

e) Dauerfestigkeit. Überall dort, wo nicht ruhende Belastung vorliegt, wird die Auswahl der Nahtart unter Berücksichtigung ihrer Dauerfestigkeit im Vordergrund stehen. Faßt man die Ergebnisse der umfangreichen Forschungsarbeiten auf diesem Gebiete zusammen, so ergibt sich folgendes¹: Es ist hier nicht so sehr die besonders hohe Festigkeit oder die hohe Dehnung oder die große Kerbzähigkeit einer Elektrode ausschlaggebend, sondern vielmehr die Gestaltung der geschweißten Verbindung und ihre Ausführung. Poren, Schlackeneinschlüsse, Einbrandkerben setzen die Dauerfestigkeit der Verbindung stark herab. Bezüglich der Gestaltung merke man sich, daß die Kräfte möglichst einfach gradlinig übertragen werden sollen, nach Möglichkeit ohne jede Umlenkung. Die schräge Stumpfnah mit sorgfältiger Wurzelnachschweißung ist daher die beste Verbindung. Es kommt dann die normale Stumpfstirnaht. Der Kreuzstoß kann verbessert werden durch Abschrägen der Bleche und völliges Durchschweißen. Laschenverbindungen geben stets eine Verschlechterung der Naht. Rechteckform der Lasche ist schlechter als die abgeschrägte Form, bei der die Kraft durch schräge Kehlnähte übertragen wird.

B. Entwurf des Schweißwerkteiles.

1. Arten der Schweißnähte. Man unterscheidet grundlegend die Nähte je nach der Lage in Stumpfnah und Kehlnah. Die Stumpfnähte (Abb. 31 ... 35) unterteilt man wiederum nach der Art der Vorbereitung der beiden Werkteilkanten, die verschweißt werden sollen, in Bördel-, glatte, V-, X-, U- oder Kelchnähte. Die Kehlnähte (Abb. 36 ... 38) unterteilt man weiter nach der Form der Kehle in Voll-, Glatt-, Hohlkehlnähte. Als ein Mittelding zwischen der Stumpfnah und Kehlnah kann die Winkelnaht aufgefaßt werden (Abb. 39).

Nach der Krafrichtung zur Naht unterteilt man in Stirn- und Flankenah. Als Mittelding zwischen der Stirn- und Flankenah kann die Schrägnah aufgefaßt werden (Abb. 40).

Erläuterungen zu den Nahtarten sind überflüssig, wenn man die Abbildungen betrachtet.

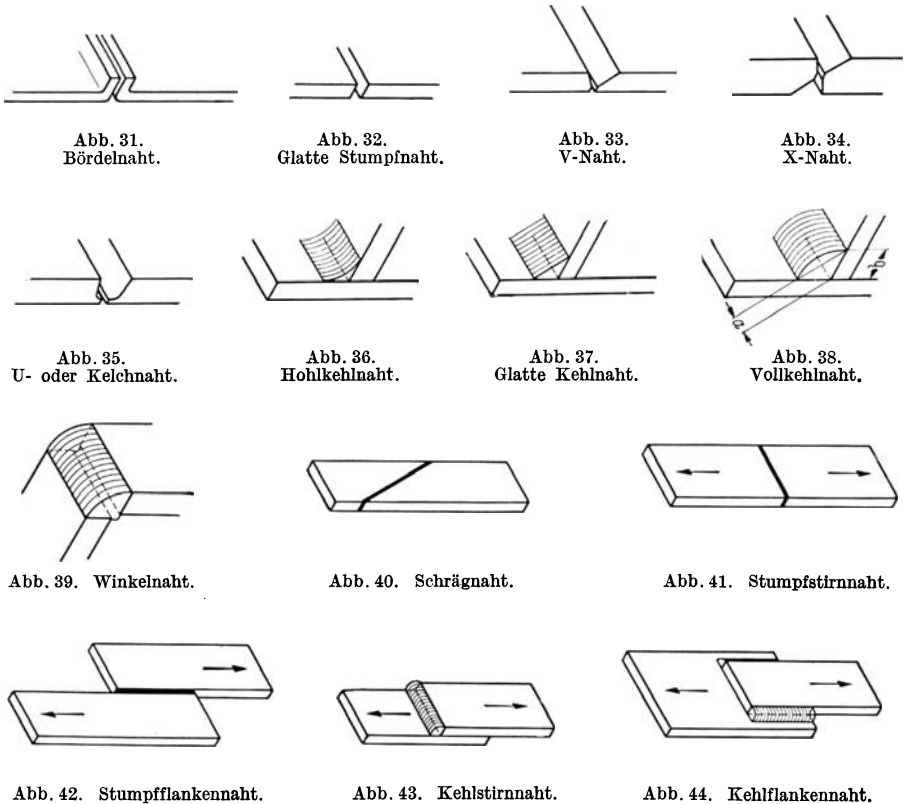
Da nun die Einteilung nach der Lage und nach der Krafrichtung zwei verschiedene Gesichtspunkte sind, ergibt sich, daß es — abgesehen von den Mittelarten — 4 Grundarten von Schweißnähten gibt; siehe Abb. 41 ... 44.

Neben diesen grundlegenden Arten gibt es noch eine Reihe von Nahtarten,

¹ Siehe auch Anleitungsblätter für das Schweißen im Maschinenbau. VDI-Verlag.

deren Bezeichnung sich im Laufe der Zeit als üblich eingebürgert hat. Unter Strichnaht versteht man eine unterbrochene, meist dünne Kehlnaht; eine Zickzacknaht (Abb. 45) ist eine Kehlnaht (eigentlich 2 Kehlnähte), deren Abschnitte versetzt an 2 Seiten eines Stückes angebracht sind; ob sich dabei die einzelnen Abschnitte wechselseitig überdecken, ist hierbei belanglos. Der Gegensatz zur Zickzacknaht ist die Kettennaht, bei der die Abschnitte gleichmäßig angebracht sind (Abb. 46).

Eine Schlitz- oder Lochnaht kommt bei einer überlappenden Blechverbindung



zustande, wenn das Oberblech gelocht und durch eine Kehlnaht im Loch mit dem Unterblech verbunden ist. Das Loch kann rund, rechteckig oder oval sein (Abb. 47).

2. Beurteilung der Nahtarten. Sie ist nach verschiedenen Gesichtspunkten möglich.

Hinsichtlich der mechanischen Güte der Naht wird diejenige allen anderen überlegen sein, bei der der Kraftfluß möglichst einfach, natürlich, vor sich geht. Das ist die Stumpfnaht mit X-Abschrägung der Kanten oder auch die Stumpf-V-Naht mit Wurzelnachschweißung.

In bezug auf die Wirtschaftlichkeit wird diejenige Naht am besten abschneiden, die den geringsten Aufwand an Schweißwerkstoff hat; das ist die Stumpfnaht. So scheint die Stumpfnaht immer überlegen zu sein; sie hat aber doch gewisse Übelstände: die Vorbereitung und den Zusammenbau.

Nach diesen Gesichtspunkten hin sind alle überlappten Verbindungen besser, also die Kehlnähte. Das ist auch der Grund, weshalb man beim Stahlhochbau soviel die Kehlnaht anwendet.

In bezug auf die Beschaffenheit des abgesetzten Schweißgutes nimmt die Schräгнаht eine Sonderstellung ein. Man sollte sie nur dort anwenden, wo man die Gewähr hat, daß die Schweißnaht eine besondere Zähigkeit und ein hohes Verformungsvermögen besitzt, sonst könnten hier leicht Querrisse auftreten, da bei Überbeanspruchung die Spannungen bei zusammengesetzten Teilen für den Teil

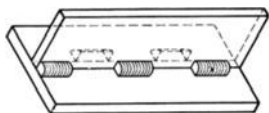


Abb. 45. Zickzacknaht.

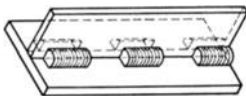


Abb. 46. Kettennaht.

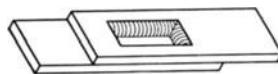


Abb. 47. Lochnaht.

mit dem niedrigsten Verformungsvermögen am größten sind. (Vgl. Gummiband mit daraufgelegtem Zwirnsfaden: Zuerst reißt bei Überbeanspruchung der Faden, dann fängt erst allmählich das Band an, Kräfte zu übertragen.) Andererseits ist die gut geschweißte Schräгнаht die Naht, die die höchste Dauerfestigkeit besitzt. In amtlichen Vorschriften findet man eine gewisse Bevorzugung der einzelnen Nahtarten je nach dem Verwendungszweck. So wird in der DIN 4100 für den Stahlbau mehr an die Kehlnaht, in den Vorschriften für die Schiffsschweißung mehr an die Stumpfnahnt gedacht.

3. Zeichen der Schweißnähte. Die Zeichen sollen übersichtlich, klar, eindeutig, leichtverständlich und leicht zu zeichnen sein. In Deutschland sind hierfür maßgebend DIN 1912 und als Auszug der Anhang DIN 4100. Man arbeitet gegenwärtig an einer internationalen Norm der Schweißzeichen.

Da leider die Schweißzeichen und ihre richtige Anwendung in der Praxis noch wenig Eingang gefunden haben, so seien kurz die Grundgedankengänge der Schweißzeichen dargelegt: Man zeigt als Sinnzeichen den Querschnitt der Naht, der begrenzt wird von den zwei Blechkanten und der Oberfläche der Naht. Daraus ergibt sich, daß das Zeichen aus 2 Teilen besteht: Andeutung der Blechkanten und Andeutung der Nahtoberfläche (Abb. 48), Schweißzeichen siehe DIN 1912 (Schmelzschweißung).

Bezeichnung	S. auch Abb.Nr.	Kanten	Oberfläche	Sinnbild nach DIN 1912
Bördelnaht	31	∩	—	∩
I Naht	32	∥	—	∥
∇ Naht	33	∇	—	∇
X Naht	34	X	—	X
volle Kehlnaht	38	L	∪	L
leichte Kehlnaht	36	L	∪	L

Abb. 48. Zeichen für Schweißnähte.

Neben diesen genormten Zeichen wird es häufig notwendig sein, besondere Zeichen für den jeweiligen Betrieb einzuführen. Beschriftungen in der Zeichnung sollen möglichst unterbleiben; sie stellen in jedem Falle eine Art von Fremdkörper (Fremdwort) in der Ingenieursprache der Zeichnung dar. Die Zusatzzeichen können sich auf all das beziehen, was an Besonderem in einer bestimmten Werkstatt häufig vorkommt. So wird es mitunter auch zweckmäßig sein, ähnlich wie die Teilstücke, auch die Schweißnähte zu beziffern. Eine solche Bezifferung ist für verschiedene Zwecke wichtig. Es kann die Schweißreihenfolge vor dem Schweißen festgelegt werden; es kann in einem Bericht festgelegt werden, welcher Schweißer

die Nähte geschweißt hat; es können leicht besondere Betriebsanweisungen, die sich auf eine bestimmte Naht beziehen, schriftlich vom Büro aus gegeben werden; es kann die einzelne Naht zu Zwecken der Kostenermittlung leicht erfaßt und bestimmt werden. Einen Vorschlag für dieses Zeichen zeigt Abb. 49. Verwendung dieses Zeichens siehe Abb. 106 u. 107.

Am größten ist aber die Unklarheit bezüglich Eintragung der Schweißzeichen und ihrer Bemaßung. Man wird sich hier nach den üblichen Regeln des Maschinenzeichnens richten. Man kann dann folgende Anweisung aufstellen: Das Schweißzeichen ist in jeder Ansicht der Naht einmal einzutragen. Verdeckt liegende, unsichtbare Nähte werden nicht eingetragen; es sei denn, daß die zugehörige Werkteilkante gestrichelt in der Zeichnung angegeben ist. Auf der ganzen Zeichnung ist jede Naht nur einmal zu bemaßen, und zwar dort, wo die Naht gerade am deutlichsten zu sehen ist.

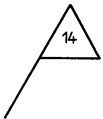


Abb. 49.
Zeichen für
Bezifferung
von Schweiß-
nähten.

4. Abmessungen der Schweißnähte. Für die Abmessung der Schweißnaht ist zunächst ihre Länge l wichtig. Nach DIN 4100 ist zur Ermittlung der rechnerischen Nahtlänge das Maß a von der tatsächlichen Schweißlänge zweimal abzuziehen. Dies geschieht zur Berücksichtigung des am Anfang der Naht schlechten Einbrandes und des Kraters am Schweißende; das Maß a ist die Nahtdicke. Nach DIN 4100 ist a bei der Stumpfnahht = der Dicke des schwächsten Bleches; bei der Kehlnahht = der Höhe des in die Kehle eingeschriebenen rechtwinkligen Dreiecks (siehe dort auch in § 7 die genauen Anweisungen über die Größe von a). Die Schenkellänge des zugehörigen Dreiecks bezeichnet man mit b (siehe Abb. 38). Die Entfernung der Nahtabschnittsmitten bei unterbrochenen Nähten bezeichnet man mit e , die Blechdicke mit t .

Stumpfnähte und durchlaufende Kehlnähte erhalten neben dem Nahtzeichen die Bezeichnung $a \cdot l$, unterbrochene Nähte die Bezeichnung $\frac{a \cdot l}{e}$.

5. Regeln für den Schweißkonstrukteur. a) Entwurf. Ein Bauwerk muß unter Berücksichtigung des Zweckes, des gewählten Herstellungsverfahrens und Baustoffes entworfen werden. Also ist es grundsätzlich verkehrt, Schweißkonstruktionen nach den Regeln einer genieteten oder gegossenen Bauart zu entwickeln.

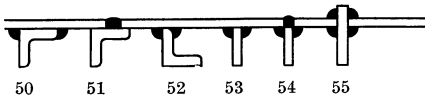


Abb. 50...55. Aussteifungen.

b) Zeichnung für Entwurf: wie üblich. (Das richtige Anfertigen einer Zeichnung für einen geschweißten Bauteil ist wesentlich schwieriger und erfordert wesentlich mehr Gedankenarbeit als für eine genietete oder gegossene Bauweise: was man bei der Schweißtechnik an Stoff spart, muß man an Ingenieurdenkarbeit mehr aufwenden). Für die Werkstatt empfiehlt es sich, dort wo viele Einzelbleche vorkommen, diese Bleche gesondert, unmaßstäblich, meist freihändig, aber mit genauer Bemaßung aufzuzeichnen. Da man hierbei nicht an einen Maßstab gebunden ist, kann man bestimmte Teile des Bleches (z. B. Schlitz bei Schachtelkonstruktionen) in der Zeichnung übertrieben darstellen und dadurch die Deutlichkeit erhöhen. Für verwickelte Teile und Knoten kann ein Schweißplan erforderlich sein, der auch wieder in schematischer, übertriebener Darstellung die Schweißnähte und ihre Reihenfolge zeigt.

c) Schweißelemente zeigen, wie in schweißgerechtem Entwurf immer wiederkehrende Aufgaben erledigt werden.

Aussteifungen Abb. 50...55. Abb. 50 ist der genieteten Bauweise nachgebildet und ergibt bei zu dünnen Blechen (unter 3 mm) leicht an der Seite Ein-

beulungen des Bleches. Abb. 51 kommt für dünne Bleche in Frage. Verbindung durch Lochnaht. Abb. 52 ist eine Verbesserung von 50: das Trägheitsmoment ist größer, außerdem erlangt man eine glatte Auflage. Abb. 53 wird im allgemeinen

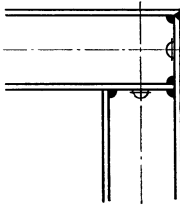


Abb. 56.

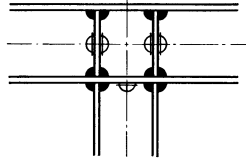


Abb. 57.

Abb. 56...58. Ecken.

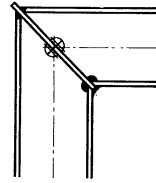


Abb. 58.

ausreichen. Abb. 54 zeigt einen Dreiblechstoß, der bei guter Ausführung sehr zu empfehlen ist. Abb. 55 stellt gegen Abb. 54 eine Verstärkung dar.

Ecken (Abb. 56 ... 60). Für gute Unterbringung der Naht links oben bei

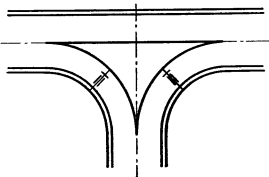


Abb. 59. Vierendeelknoten.

Abb. 56 und 58 ist durch Abschrägen zu sorgen. Abb. 59 zeigt einen Vierendeelknoten, der durch Herausschneiden aus einem I-Profil entstanden ist; er ist durch die Biegearbeit ziemlich teuer, aber zur Übertragung von Momenten gut geeignet; man kann ihn noch durch 2 Deckbleche mit Versteifungsrippen verstärken. Abb. 60 zeigt eine Ecke aus gleichschenkligen Winkelprofilen. Die Schweißnaht liegt in den drei Richtungen des Raumes, stellt also eine sehr starre Verbindung dar.

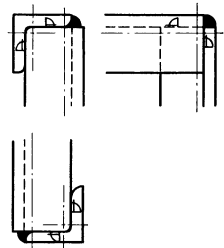


Abb. 60. Ecke aus Winkelprofilen.

Längsanschlüsse (Abb. 61 ... 65). Diese Anschlüsse können Zugkräfte übertragen. Abb. 61 ist entstanden durch Ausklinken des unteren Schenkels; Abb. 62

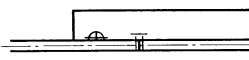


Abb. 61.

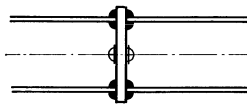


Abb. 63.

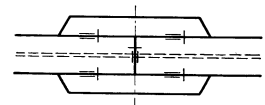


Abb. 64.



Abb. 62.

Abb. 61...64. Längsanschlüsse.

durch Einschneiden des Steges mit dem besonderen Zwecke, die Schwerlinien ineinander übergehen zu lassen. (Vgl. auch Beispiel Nr. 13 S. 34 und Abb. 101...103).

Abb. 63 zeigt eine Verbindung durch Stoßblech; Abb. 64 durch Längslaschen. Hier hat man den Vorteil, daß die obere Trägerebene glatt bleibt. Abb. 65 zeigt die Verbindung eines Winkelprofils mit einem Blech in der Richtung der einen Hauptachse.



Abb. 65. Anschluß eines Winkelprofils.

Queranschlüsse (Abb. 66 ... 71). Abb. 66 zeigt das Bestreben, die wesentlichen Teile des U-Profiles, die Flanschen, zum Tragen heranzuziehen. In Abb. 67 ist der Steg des Hauptprofils von dem Übertragen der Kräfte der Anschlußprofile durch die Lasche fast völlig entlastet.

Abb. 68, Anschluß eines Rechteckprofils an ein U-Profil, zeigt wieder die völlige Durchdringung der beiden Profile und damit die beste Kraftübertragung; ein Grundsatz, der in Abb. 69, Anschluß zweier T-Profile durch Ausklinken und Einschneiden des einen Profils, möglichst befolgt wurde. Die Kehlnaht rechts unten

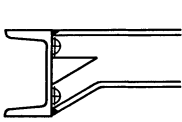


Abb. 66.

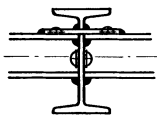


Abb. 67.

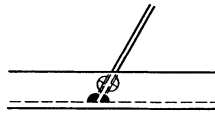


Abb. 68.

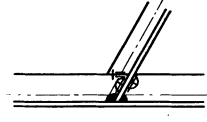


Abb. 69.

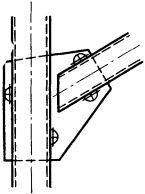


Abb. 70.

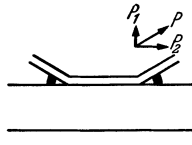


Abb. 71.

Abb. 66...71. Queranschlüsse.

darf vorgesehen werden, wenn der Winkel der beiden zusammenlaufenden Stäbe gleich oder größer als 60° ist. Abb. 70 zeigt den Anschluß von Rohren und damit den Grundsatz des Anschlusses von Hohlprofilen überhaupt. Man muß hierbei beachten, daß stets alle wesentlichen Teile der Profile zum gegenseitigen Tragen kommen. (Beachte auch unter diesem Gesichtspunkt die Abb. 56 [hier wäre noch ein eingesetztes Blech als Fortsetzung

des unteren Flansches besser], 57, 66, 68, 69.) Abb. 71 zeigt eine falsche Bauweise. Abgesehen davon, daß der Winkel zu klein ist, so daß die Schweißung nicht richtig angebracht werden kann, wird gerade die erste Faser der Schweißung durch die Kraftzerlegung von P in P_1 und P_2 übermäßig beansprucht, so daß dort die Naht meist sofort reißt (Gegenbeispiel hierzu Abb. 68).



Abb. 72.



Abb. 73.



Abb. 74.



Abb. 75.

Abb. 72...75. Hohlprofile.

Hohlprofile (Abb. 72... 75). Abb. 73 und 75 sind unsymmetrisch, daher verziehen sich solche Träger und sind entsprechend vorzubiegen.

Stützprofile (Abb. 76... 78). Außer den bekannten Bauweisen von 2 U- oder I-Profilen mit Bindeblechen, wie sie vom Nieten her bekannt sind, sind hier Stützprofile aus Winkeln gezeigt. Abb. 77 mit kreuzweise versetzten Bindeblechen. Abb. 78 völlig symmetrisch, aber durch die teure Vorbereitung des Abschrägens selten angewendet.

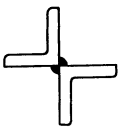


Abb. 76.

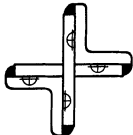


Abb. 77.

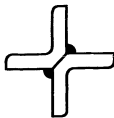


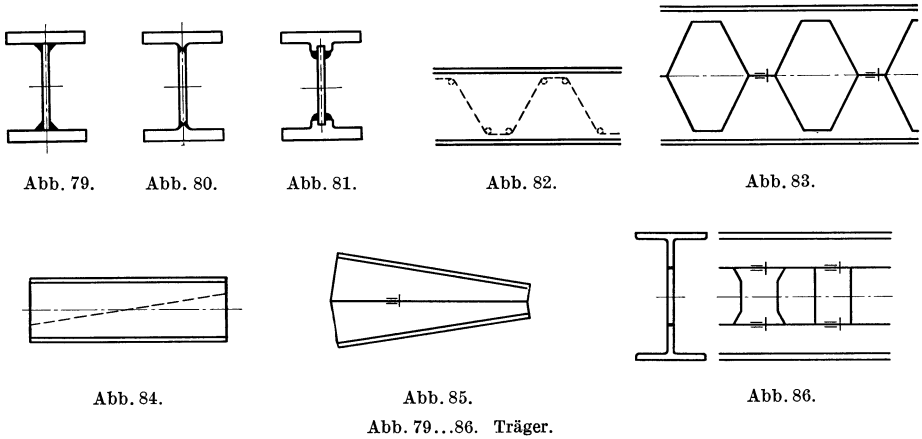
Abb. 78

Abb. 76...78. Stützprofile.

Träger (Abb. 79... 86). Abb. 79: die übliche Bauweise mit 3 Rechteckprofilen; Abb. 80 und 81 mit Sonderprofilen. Schneidet man ein I-Profil nach der gestrichelten Linie in Abb. 82, zieht dann die Hälften auseinander und setzt

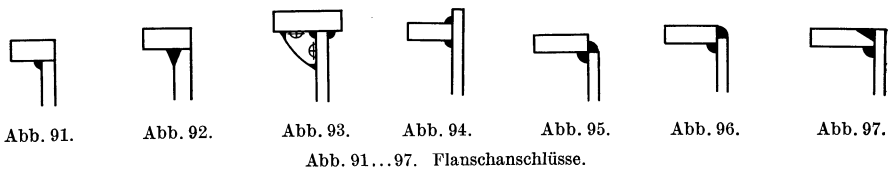
sie, wie Abb. 83 zeigt, zusammen, so erhält man ein Profil mit sehr hohem Trägheitsmoment; natürlich müßte es noch durch senkrechte Versteifungsbleche gegen Ausbeulen gesichert werden. Wie Abb. 84 zeigt, erhält man nach Zerschneiden nach der gestrichelten Linie ein I-Profil mit veränderlicher Trägerhöhe (Abb. 85). Man kann dann hier leicht den Träger gleicher Festigkeit verwirklichen. Ein ähnliches Profil wie Abb. 83 erhält man durch Zwischensetzen von Stegblechen zwischen 2 T-Profile. Abb. 86 zeigt zwei verschiedene Möglichkeiten.

Bodenanschlüsse (Abb. 87 ... 90). Abgesehen von dem einfachen Anschluß durch Stumpfnahht zeigt Abb. 87 die übliche Bauweise. Nur setze man die Naht nicht zu nahe der durch die vorhergehende Herstellung geschwächten Kumpelung. Bei Abb. 88 bleibe man weit vom Rande, damit die Schweißung noch bequem



untergebracht werden kann. Abb. 89 ist durch die gleichzeitige Übertragung von Zug- und Biegungsspannungen bedenklich und daher nur für kleine Kräfte zu empfehlen. Abb. 90 zeigt eine verfehlte Bauweise: Die obere Naht kann wegen zu kleinem Winkel nicht richtig eingebracht werden, sie sitzt außerdem unmittelbar an der Kumpelung; die untere Naht liegt an der äußersten Faser, der Werkstoff brennt dort zu leicht weg; daher ist sie auch nicht sicher. (Eine gute Naht ist immer besser als zwei fragwürdige Nähte!)

Flanschanschlüsse (Abb. 91 ... 97). Abb. 91 für kleine Kräfte, Abb. 92 für größere, Abb. 93 für noch größere. Hier ist eine sehr wirksame und einfache Versteifung durch Eckbleche angewendet, die in den anderen Entwürfen auch angewendet werden kann.



d) Schwerlinie des Systems muß = Schwerlinie der Stäbe und = Schwerlinie der Verbindung sein.

e) Schweißverbindung muß genau berechnet sein: Ist die Naht zu schwach, so ist das Bauwerk gefährdet; ist die Naht zu stark, so entstehen unnötige Kosten und Wärmespannungen.

f) Kehlnähte, die, wie z. B. bei Stehblechträgern, zunächst die Schubkräfte übertragen müssen, können meistens sehr schwach sein. Es ist aber zu unter-

suchen, ob gegebenenfalls diese Nähte auch Druckkräfte zu übertragen haben. In solchen Fällen ist für ganz besonders gutes Anliegen der Blechteile zu sorgen (besondere Bearbeitung der Kanten), oder es ist rechnungsmäßig nachzuprüfen, ob die Nähte diese Kräfte übertragen können (Abb. 98).

g) Besondere Aufmerksamkeit ist dem Blechverschnitt zuzuwenden. Zunächst ist auszuprobieren, wie die vorhandenen Blechtafeln am besten ausgenutzt werden können; wohin Nähte zu legen sind, damit möglichst wenig Abfall entsteht; dann ist auch vor allem bei dickeren Blechen der Abfall nicht ohne weiteres als Schrott wegzuwerfen, sondern es ist zu versuchen, die einzelnen Abfälle weiter zu verwerten. Ganz besondere Bedeutung kommt diesem Umstande in der Massenfertigung zu; in der Einzelherstellung ist die Einhaltung dieser Richtlinie schwieriger durchzuführen.

h) Schon bei der Konstruktion an den Zusammenbau denken. Bei größeren Stücken werden unter Umständen besondere Hilfsplatten, Winkel, Löcher zweckmäßig sein; bei kleinen Teilen wird man solche Hilfen auf anderem Wege erreichen müssen.

i) Beachte die durch Patente geschützten Bauweisen. Es gibt heute schon eine größere Anzahl solcher Patente. Eine Aufzählung wäre hier zwecklos, weil diese Angabe ja bald veralten würde. Diese Patente sind nicht in einer besonderen Gruppe zu finden, sondern meist als Anwendung in verschiedenen Gruppen der Patenteinteilung. Daher ist es ziemlich schwierig, sich einen vollständigen Überblick über diese Patente zu verschaffen.

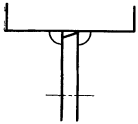


Abb. 98.
Stegblechnähte
bei schlechter
Vorbereitung
der Schweißung.

k) Beachte die zum Teil bis ins einzelne gehenden Anweisungen der amtlichen Vorschriften (siehe S. 61).

l) Beachte den Anschluß von Hohlprofilen. Hier werden die meisten Fehler gemacht. Man muß sich immer klarmachen, wie der Kraftfluß ist und muß für möglichst geradlinigen Kraftfluß sorgen. Abb. 57, 69, 70 zeigen verschiedene Ausführungen.

m) Zu vermeiden sind eine ganze Reihe von bestimmten Punkten:

aa) Häufung von Schweißnähten. Hierzu gehören auch die Kreuzstöße von Platten. Sie werden höchstens nur angewendet, wenn man die 2 Nähte zuerst anfertigt, dann nach einer gewissen Zeit die anderen. Dann kann man die vorher geschweißten Bleche als ein Stück auffassen.

bb) Unsymmetrische Nähte. Hier kommen dann bei der Ausführung auch unsymmetrische Spannungen herein, die das Teil sehr stark verziehen.

cc) Schweißungen überkopf. Solche Schweißungen werden meist schlechter als die in anderer Lage, zum mindesten werden sie teurer.

dd) Nähte an unzugänglicher Stelle. Hierzu gehören auch Nähte in Ecken, die kleiner als 60° sind. Man kann hier nicht mehr mit einem richtigen, guten Schweißen rechnen; daher haben solche Nähte zu unterbleiben.

ee) Naht an der äußersten Faser eines Bauteiles, das auf Biegung beansprucht ist. Man weiß, daß diese Fasern den höchsten Beanspruchungen unterworfen sind, unter Umständen können sie durch zu starken Einbrand leiden.

ff) An beiden Seiten eines Bleches an der gleichen Stelle zu schweißen. Es ist wohl im allgemeinen unbedenklich, wenn das Blech dicker als 12 mm ist, oder wenn es mindestens doppelt so dick wie die Naht ist.

gg) Stoßbleche aus St 52, die auf Zug beansprucht sind. Bleche aus St 52 zeigen leicht Doppelungen, die man vorher kaum feststellen kann. Selbst ein geprüftes Blech kann doch an einer dann gerade verwendeten Stelle solche Doppelungen haben, das Blech reißt dann bei Beanspruchung auf (Abb. 99).

hh) Unnötige Nähte. Es ist im allgemeinen besser, größere Stücke (Blech, Träger) zu verwenden als kleinere, die dann zusammengeschweißt werden müssen. Solche Nähte sind in der Regel teurer als der Mehrpreis für Überlängen. Ebenso gehört hierher, daß es häufig billiger ist, Teile aus dem Vollen zu schmieden oder durch spanabhebende Verformung herzustellen, als die Teile aus vielen einzelnen Teilen zusammenzuschweißen. Natürlich können hier nicht feste Regeln gegeben werden, immerhin ist eine diesbezügliche Untersuchung wohl am Platze.

ii) Zu dicke Nähte. Diese haben sehr starke Verwerfungen zur Folge. Man muß durch zweckentsprechende Bauweise solche dicke Nähte zu vermeiden suchen, indem man die Naht in Zonen legt, die geringere Beanspruchungen zeigen.

C. Festigkeitsberechnung der Naht.

1. Allgemeines. Nach dem Kapitel III B 4 wird als Querschnitt der Naht $a \cdot l$ genommen. Bei Kehlnähten denkt man sich den Querschnitt $a \cdot l$ in die Anschlußebene hineingeklappt. Da $a = 0,7 \cdot b$ ist und man bei vielen Rechnungen von dem Maß b ausgeht, erscheint in den Rechnungen bei dieser Gelegenheit der Faktor 0,7 (siehe auch S. 35 u. Abb. 38). Zunächst

erscheint es nach der Feststellung des für eine Verbindung notwendigen Schweißquerschnittes gleichgültig, wie das Verhältnis von a zu l ist. Dem ist jedoch nicht so. Meistens bestimmt sich a aus der Blechdicke: es soll das zugehörige b kleiner als diese Dicke sein. Dann ist daran zu erinnern, daß eine dicke kurze Naht wesentlich teurer ist als eine lange dünne, da ja der Schweißquerschnitt im Quadrat der zugehörigen Höhe (also des Maßes a) wächst. Schließlich wird man nach Möglichkeit versuchen, mit einer Schweißnaht, die in einer Lage hergestellt werden kann (also etwa $a = 6$ mm) auszukommen, da Einlagenschweißungen viel billiger sind als Mehrlagenschweißungen.

Die Spannungen von Schweißnähten werden bezeichnet mit ρ . Die zulässigen Spannungen werden nach DIN 4100 als abhängige Größen von der zulässigen Spannung des Werkstoffes angegeben (vgl. nebenstehende Tabelle).

Obleich jede Schweißverbindung wesentlich starrer ist als die entsprechende Nietverbindung und im allgemeinen erhebliche Biegemomente übertragen kann, rechnet man meist jedoch mit einer gelenkigen Auflagerung der einzelnen Stäbe. Dieses Verfahren, das nicht der Wirklichkeit entspricht, wird wegen der leichteren Berechnung der Konstruktion gewählt. Man muß sich aber bewußt sein, daß man damit eine gewisse Stoffverschwendung betreibt; denn mit Be-

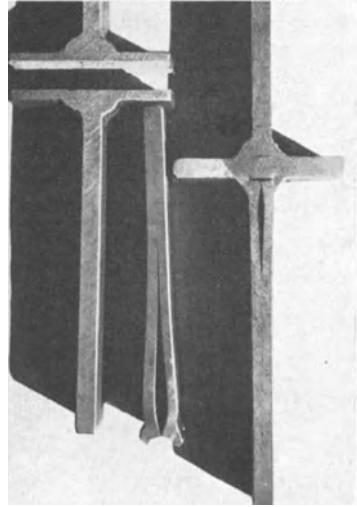


Abb. 99. Aufspalten eines Bleches infolge Walzfehlers (Doppelung des Bleches).

Zulässige Spannungen von Schweißnähten nach DIN 4100.

Nahtart	Art der Beanspruchung	ρ_{zul}
Stumpfnähte	Zug	$0,75 \cdot \sigma_{zul}$
	Druck	$0,85 \cdot \sigma_{zul}$
	Biegung	$0,80 \cdot \sigma_{zul}$
	Schub	$0,65 \cdot \sigma_{zul}$
Kehlnaht	jede Beanspruchung	$0,65 \cdot \sigma_{zul}$

rücksichtigung der Einspannungsmomente würden die angeschlossenen Stäbe wesentlich schwächer. Freilich ist die Berechnung solcher statisch unbestimmten Bauteile wesentlich schwieriger.

Es gibt verschiedene Arten der Festigkeitsberechnung von Schweißnähten, die auf verschiedenen Voraussetzungen beruhen. Es empfiehlt sich stets, auch dort, wo es nicht verlangt ist, die Vorschriften von DIN 4100 und ihre amtlichen Erläuterungen zu benützen. Andere Berechnungsarten beruhen auf ganz bestimmten Voraussetzungen (z. B. Verwendung bestimmter Elektroden), so daß sie nicht allgemein gültig sind.

Es soll nun versucht werden, die allgemein anerkannten Grundgedanken der Berechnung von Schweißverbindungen darzulegen und mit einigen Beispielen zu

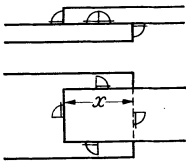


Abb. 100. Skizze zu Beispiel Nr. 12.

erläutern. Die zugehörigen Skizzen sind meist streng nach den Regeln der Bemaßung von Schweißnähten gezeichnet; nur dort, wo die Berechnung der Trägheitsmomente von Schweißnähten notwendig ist, ist wegen leichter Erfassung der Rechnung von dieser Regel abge-

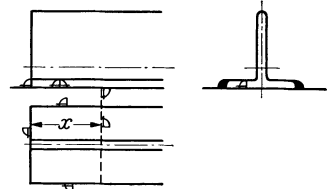


Abb. 101. Skizze zu Beispiel Nr. 13.

wichen. Die Schweißnähte sind dann hier als Rechtecke gezeichnet.

2. Grundlagen. a) Alle Nähte tragen gleichmäßig.

Beispiel 12. Flachstahl 80 × 10 mm ist durch Überlappung voll anzuschließen (Abb. 100).

$$\sigma_{zul} = 1400 \text{ kg/cm}^2$$

$$P = F \cdot \sigma_{zul} = 1,0 \cdot 8,0 \cdot 1400 = 11200 \text{ kg}$$

$$\text{Notwendige Schweißfläche: } F_s = \frac{P}{\sigma_{zul}} = \frac{11200}{910} = 12,3 \text{ cm}^2$$

$$\text{Stirnnähte: } F_{st} = 2 \cdot a \cdot (l - 2a) = 2 \cdot 0,7 \cdot (8 - 2 \cdot 0,7) = 9,3 \text{ cm}^2$$

$$\text{Flankennähte: } F_{fl} = 2 \cdot a \cdot (x - 2a) = F_s - F_{st}$$

$$2 \cdot 0,7 \cdot (x - 2 \cdot 0,7) = 12,3 - 9,3$$

$$x = 3,5 \text{ cm.}$$

Nach DIN 4100 ist für Kehl­nähte $\sigma_{zul} = 0,65 \cdot \sigma_{zul} = 0,65 \cdot 1400$
 $\sigma_{zul} = 910 \text{ kg/cm}^2$
 $a = 0,7 \cdot t = 0,7 \cdot 1 = 0,7 \text{ cm}$

Da die geringste Länge von Flankennähten 4 cm sein soll, so ergibt sich für $x = 4 \text{ cm}$;

$a = 0,66 \text{ cm}$; oder bei Einlagenschweißung

$a = 0,6 \text{ cm}$; $x = 4,7 \text{ cm}$.

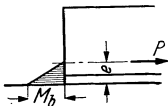


Abb. 102. Schaubild des Biegemomentes bei biegesteifer Unterlage.

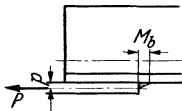


Abb. 103. Schaubild des Biegemomentes bei nichtbiegesteifer Unterlage.

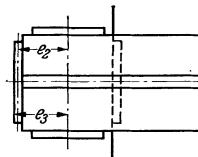


Abb. 104. Skizze zu Beispiel Nr. 13.

b) Das durch ausmittigen Anschluß bedingte Biegemoment ist unter Umständen zu berücksichtigen.

Beispiel 13. Welche Kraft überträgt 1 6, Anschluß nach Abb. 101;

wenn die Unterlage biegesteif ist? ($\sigma_{zul} = 1400 \text{ kg/cm}^2$) (Anschluß nach Abb. 102)
 Verlauf der Biegemomente nach Abb. 102)

$$\sigma = \frac{P}{F} + \frac{M \cdot e}{J} = \frac{P}{F} + \frac{P \cdot e^2}{J} = P \cdot \left(\frac{1}{F} + \frac{e^2}{J} \right); \quad 1400 = P \cdot \left(\frac{1}{7,94} + \frac{1,66^2}{23,8} \right); \quad P = 5800 \text{ kg.}$$

Ist die Unterlage nicht biegesteif, so ist der Verlauf des Biegemomentes zu denken nach Abb. 103. $M = P \cdot p$. Da aber $p < e$ ist, so würde bei dieser Annahme P größer werden. Es sei der Vollständigkeit halber festgestellt, daß diese beiden hier beschriebenen Fälle Arten von Grenzfällen darstellen, die in Wirklichkeit in so ausgeprägter Form kaum vorkommen dürften. Der Anschluß ist in Wirklichkeit statisch mehrfach unbestimmt, das gegenseitige Verhältnis der Verformungsvermögen der beiden Teile ist hier ausschlaggebend. Die erste Rechnung ist am vorichtigsten; daher wird sie im allgemeinen angewendet.

Berechnung des Anschlusses ohne Berücksichtigung der Biegung nach Beispiel 12. Bei $a = 0,4$ ergäbe sich $x = 3,56$ cm.

Berechnung des Anschlusses mit Berücksichtigung der Biegung (Abb. 104) $\left. \begin{array}{l} a = 0,7 \cdot t \\ a = 0,7 \cdot 0,7 \\ \approx 0,4 \text{ cm} \end{array} \right\}$
 Hier ist die Annahme von x zweckmäßig
 Gewählt $x = 6,2$ cm

$$F_s = 2 \cdot F_{St} + 2 \cdot F_{Fl} = 2 \cdot 0,4 \cdot (6,0 - 2 \cdot 0,4) + 2 \cdot 0,4 \cdot (6,2 - 2 \cdot 0,4) = 8,5 \text{ cm}^2$$

$$J = \frac{2 \cdot 0,4 \cdot (6,2 - 2 \cdot 0,4)^3}{12} + 2 \cdot 0,4 \cdot (6,0 - 2 \cdot 0,4) \cdot 3,3^2 = 55,9 \text{ cm}^4$$

$$W = \frac{J}{e_3} = \frac{55,9}{3,5} = 16 \text{ cm}^3$$

$$\varrho_1 = \frac{P}{F_s} = \frac{5800}{8,5} = 683 \text{ kg/cm}^2,$$

$$\varrho_2 = \frac{M}{W} = \frac{5800 \cdot 1,66}{16} = 602 \text{ kg/cm}^2$$

$$\varrho = \sqrt{\varrho_1^2 + \varrho_2^2} = \sqrt{683^2 + 602^2} = 910 \text{ kg/cm}^2.$$

$$\left. \begin{array}{l} e_2 = 3,3 \text{ cm} \\ e_3 = 3,5 \text{ cm} \end{array} \right\}$$

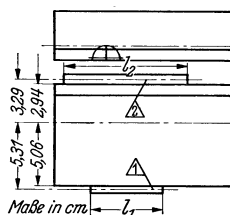


Abb. 105. Skizze zu Beispiel Nr. 14.

c) Schwerpunkt des Anschlusses soll in Schwerachse Stab liegen.

Beispiel 14. Ein Zugstab $\text{L } 40 \cdot 80 \cdot 8$ soll durch 2 Flanken-nahte angeschlossen werden $\sigma_{zul} = 1400 \text{ kg/cm}^2$ (Abb. 105).

(Die zusätzliche Biegung soll nicht berücksichtigt werden, sonst siehe Beispiel 13.)

$$P = F \cdot \sigma_{zul} = 9,01 \cdot 1400 = 12600 \text{ kg}$$

Die Summe der statischen Momente der Nahtflächen bezogen auf die Stabachse soll = 0 sein; d. h. die Kraftanteile der beiden Nähte verhalten sich umgekehrt wie die zugehörigen Abstände. $\left. \begin{array}{l} a_1 = 0,7 \cdot d = 0,7 \cdot 0,8 \\ a_1 \approx 0,5 \text{ cm} \\ a_2 = 0,7 \cdot 1,2 \cdot d = 0,7 \cdot 1,2 \cdot 0,8 \\ a_2 \approx 0,7 \text{ cm} \end{array} \right\}$

$$P_1 = \frac{12600 \cdot 32,9}{53,1 + 32,9} = 4820 \text{ kg}; \quad P_2 = \frac{12600 \cdot 53,1}{53,1 + 32,9} = 7780 \text{ kg},$$

$$\text{Naht 1: } 0,5 \cdot (l_1 - 2 \cdot 0,5) \cdot 910 = 4820 \quad l_1 = 11,6 \text{ cm},$$

$$\text{Naht 2: } 0,7 \cdot (l_2 - 2 \cdot 0,7) \cdot 910 = 7780 \quad l_2 = 13,6 \text{ cm}.$$

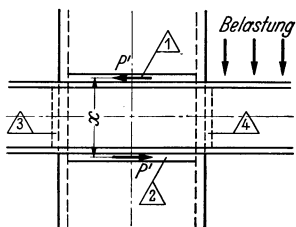


Abb. 106. Skizze zu Beispiel Nr. 15.

Beispiel 15. 2 Profile $\text{C } 20$ und $\text{C } 10$ sind nach Skizze (Abb. 106) verbunden. Es sind zu übertragen $M = 57500 \text{ cmkg}$ $P = 6500 \text{ kg}$

Bestimmung der Nahtstärken:

Nach dem $\text{C } 10$ ergibt sich $a_1 = a_2 = 0,7 \cdot 0,6 \approx 0,5 \text{ cm}$ (nach oben aufgerundet wegen $a_3 = a_4 = 0,7 \cdot 0,6 \approx 0,4 \text{ cm}$ des Flanschansatzes)

Nach dem $\text{C } 20$ ergibt sich $a_1' = a_2' = 0,7 \cdot 0,85 = 0,595 \text{ cm}$

Da $a_1' > a_1$ wird $a_1 = a_2 = 0,5 \text{ cm}$ gewählt

$$l_1 = l_2 = 20 - 2 \cdot 0,5 = 19,0 \text{ cm}; \quad l_3 = l_4 = 10 - 2 \cdot 0,4 = 9,2 \text{ cm}$$

M wird nach Abb. 106 aufgelöst in ein Kräftepaar.

$$M = P' \cdot x \quad 57500 = P' \cdot 10,5 \quad P' = 5480 \text{ kg}$$

$$\varrho_1 = \frac{P'}{a_1 \cdot l_1} = \frac{5480}{19,0 \cdot 0,5} = 578 \text{ kg/cm}^2, \quad \varrho_2 = \frac{P}{2 \cdot a_3 \cdot l_3} = \frac{6500}{2 \cdot 0,4 \cdot 9,2} = 885 \text{ kg/cm}^2.$$

e). Statt des vorstehenden Rechnungsganges kann man wieder ein gleichmäßiges Tragen der Nähte annehmen. Dann faßt man die Verbindung nach

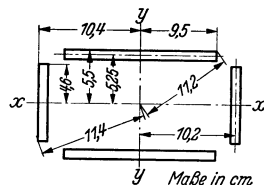


Abb. 107. Skizze zu Beispiel Nr. 16.

d) Sind Momente und Kräfte durch eine Verbindung gleichzeitig zu übertragen, so teilt man die Nähte ein in solche, die ihrer Lage nach besser das Moment (aufgelöst in ein Kräftepaar) und solche, die die Kraft übertragen.

Abb. 107 auf und berechnet sie auf gleichzeitiges Auftreten von Verdrehungs- und Schubspannungen.

Beispiel 16. Aufgabe wie Beispiel 15.

$$J_x = 2 \cdot \left[19,0 \cdot 0,5 \cdot 5,25^2 + \frac{0,4 \cdot 9,2^3}{12} \right] = 576 \text{ cm}^4,$$

$$J_y = 2 \cdot \left[0,4 \cdot 9,2 \cdot 10,2^2 + \frac{0,5 \cdot 19,0^3}{12} \right] = 1340 \text{ cm}^4,$$

$$J_p = J_x + J_y = 1916 \text{ cm}^4.$$

$$\varrho_1 = \frac{57\,500 \cdot 11,4}{1916} = 342 \text{ kg/cm}^2,$$

$$\varrho_2 = \frac{6500}{2 \cdot [0,5 \cdot 19,0 + 0,4 \cdot 9,2]} = 246 \text{ kg/cm}^2$$

Da jetzt ϱ_1 und ϱ_2 als Tangentialspannungen aufgefaßt werden müssen, ist:

$$\varrho = \varrho_1 + \varrho_2 = 342 + 246 = 588 \text{ kg/cm}^2.$$

f) In vielen Fällen wird es möglich sein, von der bekannten Berechnungsweise genieteteter Verbindungen auf die Berechnung geschweißter Verbindungen zu kommen. Ein Beispiel hierfür ist die Berechnung von geschweißten Stehblechträgern. Aus der Schubspannungstheorie erhält man die bekannte Beziehung für genietete Stehblechträger.

$$t = \frac{\varrho_{zul} \cdot J \cdot 2 \cdot F_1}{Q \cdot S}.$$

- t = Nietteilung in cm
- τ_{zul} = zulässige Schubspannung für den Niet (kg/cm²)
- J = Trägheitsmoment des ganzen Querschnitts (cm⁴)
- „2“ da der Niet zweiseitig ist
- F_1 = Nietquerschnitt (cm²)
- Q = Querkraft an der untersuchten Stelle (kg)
- S = Statisches Moment des Gurtes, bezogen auf die gemeinsame Schwerachse (cm³).

Für die unterbrochene Naht wird nun $t = e$; $\tau_{zul} = \varrho_{zul}$; $F_1 = a \cdot e$. „2“ bleibt erhalten, wenn, wie meist der Fall auf beiden Seiten des Stehbleches geschweißt wird; damit ergibt sich für die unterbrochene Naht $e = \frac{\varrho_{zul} \cdot J \cdot 2 \cdot a \cdot e}{Q \cdot S}$.

Für die durchlaufende Naht ist $e = l$ $1 = \frac{\varrho_{zul} \cdot J \cdot 2 \cdot a}{Q \cdot S}$; $a = \frac{Q \cdot S}{\varrho_{zul} \cdot 2 \cdot J}$.

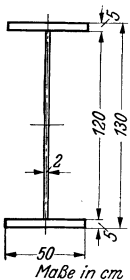


Abb. 108. Skizze zu Beispiel Nr. 17.

Mit dieser Beziehung kann a sofort bestimmt werden. In den meisten Fällen handelt es sich bei geschweißten Trägern um große Längen, bei denen dann die Schubspannungen im Verhältnis zu den Biegungsspannungen sehr klein sind, d. h. man erhält häufig für die durchlaufende Naht einen solchen kleinen Wert für a , der nicht zu verwirklichen ist. Dann nimmt man eine unterbrochene Naht, wählt a unter dem Gesichtspunkt der leichten Ausführung — z. B. $a = 0,7 t$ häufig nicht über 6 mm als etwa oberste Grenze für die Dicke von Nähten, die in einer Lage geschweißt werden — l wird so gewählt, daß der Schweißer mit einer Elektrode gerade ein oder zwei Abschnitte ohne Auswechseln der Elektrode schweißen kann. Daraus bestimmt man dann e . Ein zu großer Wert für e ist wegen Verbeulungsgefahr des Stegbleches nicht gestattet.

Bei dieser Berechnung sind nur die Schubspannungen berücksichtigt. Bei ungenauer Ausführung nach Abb. 98 müssen die Nähte gegebenenfalls noch Druckkräfte übertragen. Dafür sind sie dann häufig (vor allem bei harten, spröden Schweißungen) zu schwach, es treten Risse auf. (Etwas Ähnliches liegt vor beim seitlichen Anschweißen von leichten Leisten als Kranbahnschienen. Solche Leisten werden durch das Fahren — Walzen! — gestreckt, die Nähte reißen ab.) Beachte

auch die Festigkeit der Schweißnähte beim Unterflansch eines Stegblechträgers, wenn auf den Unterflansch eine Laufkatze aufgesetzt ist.

Beispiel 17. Gegeben: Profil Abb. 108 und $Q = 161 \text{ t}$.

$$J = \frac{1}{12} \cdot [50 \cdot 130^3 - 48 \cdot 120^3] = 2\,250\,000 \text{ cm}^4$$

$$s = 5 \cdot 50 \cdot 62,5 = 15\,600 \text{ cm}^3$$

$$a = \frac{Q \cdot s}{\rho_{\text{zul}} \cdot 2 \cdot J} = \frac{161\,000 \cdot 15\,600}{910 \cdot 2 \cdot 2\,250\,000} = 0,62 \text{ cm}.$$

D. Kostenberechnung der Naht.

1. Allgemeines. Abb. 109 zeigt die Zusammenhänge der einzelnen Kosten einer Schweißnaht. Es sollen die einzelnen Punkte erklärt werden.

Wie man sieht, hängen alle Kosten ab von der Beanspruchung der Naht. Es ist also auch aus diesem Grunde wichtig, daß man sich über die Beanspruchung der Naht klar wird und die daraus sich ergebende Forderung der richtigen Nahtabmessungen erfüllt. Die gesamte Kalkulation hängt in der Luft, wenn es dem Schweißer überlassen bleibt, die Naht einmal dick, ein andermal dünn auszuführen.

Die bezogene (spezifische) Festigkeit des Schweißgutes spielt natürlich hier auch eine Rolle. Sogar in den amtlichen Vorschriften von DIN 4100 ist grundsätzlich die Möglichkeit gegeben, daß Schweißnähte mit besonders guten Eigenschaften höher beansprucht werden können. Ähnlich liegen die Verhältnisse im Dampfkesselbau. Doch muß man sich — abgesehen von Sonderfällen — klar sein, daß man in dieser Richtung kaum wirtschaftliche Ersparnisse erzielen kann; d. h. wenn man nur die Wirtschaftlichkeit der Schweißung ins Auge faßt, so wird man stets Elektroden verwenden, die zwar die geforderten Mindestwerte an Festigkeit usw. erfüllen, die aber möglichst billig sind.

Die Häufigkeit der Schweißung beeinflusst infolge der verschiedenen Höhe der Verzinsungs- und Abschreibungskosten das Gesamtergebnis stark. Bei der Wahl des Schweißgerätes ist auf die richtige Größe großer Wert zu legen. Wählt man ein zu kleines Gerät, kann man nur Schweißungen bis zu bestimmter Blechdicke erledigen, manche Arbeiten können gar nicht ausgeführt werden; ist das Gerät zu groß, so wird es nicht richtig ausgenutzt, der Stromverbrauch ist unverhältnismäßig hoch.

Bei den Unterhaltungskosten, Zinsen und Abschreibungen sind die Kosten für die Maschinen und die Anlagen in Betracht zu ziehen. Hieraus ergeben sich dann die Gerätekosten.

Die Energiekosten umfassen die Kosten für elektrische Arbeit für die Schweißarbeit und Leerlaufarbeit. Will man die Kosten für verbrauchte BkWh bei Um-

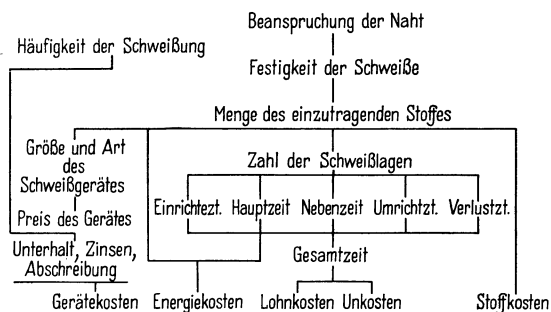


Abb. 109.
Schematische Darstellung der Kosten beim Schweißen.

¹ Klosse Ernst: Beiträge für die Untersuchung von Elektroden für das Lichtbogenschweißen von Stahlbauten unter besonderer Berücksichtigung der Eignung in wirtschaftlicher Hinsicht. Selbstverlag des Verfassers.

spannern berücksichtigen, so genügt in der Regel ein 10%iger Zuschlag zu den Energiekosten.

Die Zahl der Schweißlagen ist auch von Bedeutung. Vom wirtschaftlichen Standpunkt aus soll man daher stets versuchen, möglichst mit einer Lage auszukommen.

Die Bedeutung der einzelnen Zeiten ist folgende:

Einrichtezeit: Maschine anlassen, einstellen, Elektroden besorgen.

Hauptzeit im engeren eigentlichen Sinne: die Schmelzzeit; im weiteren die reine Schweißzeit. Schweißzeit = Schmelzzeit + Zeit der Kurzschlüsse während des Schweißens.

Nebenzeit: Einspannen der Elektrode, Umpolen, Umklemmen (wegen der Blaswirkung).

Umrichtezeit: Wenden des Werkstückes, Platzwechsel des Schweißers.

Verlustzeit: Lesen der Zeichnung, Gespräche mit Vorgesetzten, Austreten, Löhnung.

Zu den Unkosten, die üblicherweise Steuern, soziale Lasten, Versicherungen, Werbung, Bürokosten umfassen, tritt noch ein besonderer Posten hinzu: die mittelbaren Unkosten. Hierunter sollen die Unkosten verstanden werden, die mittelbar durch das Schweißen entstehen, und zwar dadurch, daß andere Einrichtungen der Werkstatt, die noch nicht abgeschrieben sind und die jetzt ganz oder zum Teil überflüssig werden, noch Unterhaltungs- und Verzinsungskosten verursachen. Wie weit man hier zu gehen hat, hängt sehr stark vom einzelnen Falle ab. Aus diesen Gründen wird sich jedenfalls empfehlen, nicht schlagartig die gesamte Werkstatt auf Schweißen umzustellen.

Vorbereitungskosten umfassen die Aufwendungen für Abschrägen der Blechkanten, Heften, Anbringen von Kühl- oder Spannschienen.

Nachbearbeitungskosten werden verursacht durch: Schlackeabklopfen, Nachrichten, Abschleifen.

Bei den Stoffkosten sind die Spritz- und Abbrandverluste, die ja sehr verschieden sein können, zu berücksichtigen. Weiter ist zu beachten, daß in bezug auf das Gewicht dünne Elektroden teurer sind als dicke. Daher auch wieder von diesem Standpunkt aus der Hinweis, daß man möglichst in einer Lage schweißen soll.

Ob es sich nun immer empfiehlt, dieses allgemeine Kalkulationsschema anzuwenden, mag bezweifelt werden, zum inneren Verständnis der Kalkulation ist es jedoch unbedingt erforderlich. Es soll nun im nächsten Abschnitt versucht werden, dieses allgemeine Schema einer vereinfachten Kalkulation zugrunde zu legen.

2. Vereinfachte Verfahren. a) Wie schon oben gesagt, hängt die Kostenberechnung ab von dem Nahtquerschnitt. Dieser muß nun in einem Betriebe hinsichtlich der Größe und der Form genau festgelegt werden. Damit sich der Betrieb darauf einrichten kann, wird es sich empfehlen, bestimmte Nahtformen, die im allgemeinen für die vorliegenden Arbeiten besonders häufig gebraucht werden, festzulegen. Der Konstrukteur ist anzuhalten, nur diese Nähte zu verwenden.

b) Dann werden sich Betriebsanweisungen empfehlen, in wieviel Lagen geschweißt werden soll. Diese beiden Angaben können in einer Liste vereinigt werden.

c) Sodann sind die Elektrodenmarke sowie die zugehörigen Stromwerte festzulegen. Es ist in mehrfacher Hinsicht ungünstig, wenn der Betrieb die Elektrodenmarke unnötig wechselt. Jeder Schweißer muß sich erst auf eine bestimmte Marke, die ja ihre besonderen Eigenschaften hat, einrichten. Ferner aber hat jede Elektrodenmarke die ihr zugehörigen Spritz- und Abbrandverluste. Die zugehörigen

obachtung, Zuverlässigkeit und der Wille, etwas zu lernen — das sind die wichtigsten Eigenschaften eines Lernschweißers.

2. Allgemeines. Über Polung der Schweißmaschine, Wahl der Stromstärke und der Elektrodendicke siehe S. 46. Nach früheren Darlegungen hängt die Güte der Schweißung von Beobachtung folgender Punkte ab: Länge des Lichtbogens, Geschwindigkeit der Fortbewegung. Wird der Schweißstab zu schnell bewegt, so reißt der Lichtbogen ab, oder das Schweißgut tropft auf das noch kalte Werkstück, es entstehen die berüchtigten „Schweißperlen“. Über die Größe der Geschwindigkeit können keine festen Angaben gegeben werden, sie hängt sehr von den Umständen ab. Ist das Stück noch kalt, muß das Vorgehen langsamer sein als wenn es schon heiß ist (hieraus auch Schwierigkeiten beim Bau von Schweißvorrichtungen mit selbsttätigem Vorschub der Naht!).

3. Zündversuche. Von Anfang an recht bequeme Haltung einnehmen: Schweiße im Sitzen; stütze den Arm, der den Spiegel trägt, an das Werkstück; ziehe das Schweißkabel über die Schulter, damit die Hand, die die Zange faßt, möglichst vom Zug durch das schwere Kabel entlastet ist. Je bequemer die Haltung, desto besser das Ergebnis. Das Zünden besteht aus einem ganz leichten



Abb. 111.
Bewegung der
Elektrodenspitze
bei blanken Elek-
troden.



Abb. 112.
Bewegung der
Elektrodenspitze
bei dünnumhüll-
ten Elektroden.



Abb. 113.
Bewegung der
Elektrodenspitze
bei dickumhüll-
ten Elektroden.

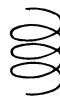


Abb. 114.
Bewegung der
Elektrodenspitze
bei Überkopfschweißen.



Abb. 115.
Schweißraupe.

Tippen oder Schlagen oder Streichen (die Spitze der Elektrode muß frei von Umhüllmassen sein). Beobachte den Lichtbogen, versuche mit dem Lichtbogen über das Blech zu wandern. Klebt die Elektrode am Werkstück fest, so kannst du sie leicht durch eine Bewegung nach der Seite befreien.

4. Geradlinige Bewegung der Elektrode. Am einfachsten ist die Bewegung auf sich zu. Zünde den Lichtbogen wie vorher, halte ihn zur Erzielung eines guten Einbrandes am Anfang auf der Zündstelle und bewege die Elektrodenspitze auf dich zu (später natürlich auch nach den anderen Richtungen). Es sind hier gleichzeitig zwei verschiedene Bewegungen auszuführen: Herunterbewegen der Elektrodenspitze zum Ausgleich des Abbrandes und die Vorwärtsbewegung. Die einzelnen Gebilde, die jetzt entstehen, müssen gerade und gleichmäßig sein. Ist der Bogen abgerissen, wird ein Stückchen vor dem Schlußkrater, der dann sorgfältig auszufüllen ist, neu gezündet.

5. Schweißen einer Raupe. Zünden wie vorher, gib aber der Elektrodenspitze eine seitliche Bewegung nach Abb. 111... 113 (nicht nach 114). Breite der Raupe etwa 15 mm. An den Umkehrstellen etwas anhalten zum guten Einbrennen. Fasse die schematischen Abb. 111... 113 nicht zu wörtlich auf, die einzelnen Gänge müssen dicht aufeinanderfolgen: Abb. 115. Diese Übung ist der Kern zu allen weiteren Übungen.

6. Auftragsschweißungen. Übe deine Fertigkeiten zunächst am Auftragen auf ein Blech, dann auch auf eine Rundstahlstange. Beachte dabei die Regel S. 49.

7. Verbindungsschweißungen. Stelle 2 Bleche auf nach Abb. 116. Schweiße die Fuge voll, zerschlage gleich anschließend das Stück; eine gute Naht zerbricht in Richtung *a...a* Abb. 117. Abb. 118 zeigt eine schlechte Naht, die auf der einen

keinen Einbrand hatte. Beobachte die Schweiße auf Schlackengehalt. Ist das Stück beim Zerschlagen noch heiß, so „läuft“ das Gefüge dunkel an. Dunkles Gefüge ist also nur Zeichen für die Temperatur, nicht ein Zeichen besonderer Güte.

Schweiße dann eine Kehlnaht, aber immer nur auf einer Seite, und zerschlage das Stück. Eine gute Naht bricht nach Richtung $a-a$ (Abb. 119) oder reißt auch aus dem Blech aus (häufig bei Verwendung von schlechtem Stahl); bei einer schlechten Schweißung fehlt jeglicher Einbrand.

Jetzt muß man auch auf die Richtung der Elektrode achten. Sie wird bestimmt durch die Blaswirkung (siehe S. 8) und durch den Wärmebedarf der zu verbindenden Teile. Berücksichtigt man jetzt nur diesen, so ergibt sich, daß, wenn der Wärmebedarf beider Teile gleich groß ist (z. B. bei einer normalen Stumpfnah, V-Naht), die Elektrodenrichtung die Winkelhalbierende des Einschweißwinkels ist.

Bei Arbeiten nach Abb. 43 ist, da das untere Blech nach beiden Seiten weitergeht, der Wärmebedarf dieses Bleches größer. Die Folge hiervon ist, daß die Elektrode steiler zu halten ist, mehr auf das Blech gerichtet ist, das den erhöhten Wärmebedarf hat.

Wieviel die Elektrode von der 45° -Lage abzuweichen hat, hängt aber auch von der Elektrode selbst ab. Manche Elektroden geben bei zu steiler Haltung zu starkes Abbrennen des senkrechten Bleches (Einbrandkerben!). Sinngemäß verfährt man beim Schweißen von ungleichen Blechdicken. Es liegt eben ein nicht zu unterschätzender Vorteil der Lichtbogenschweißung darin, daß man die Richtung des Wärmeflusses ziemlich genau bestimmen kann.

8. Schweißen an senkrechter Fläche. Hier kommt es auf ganz besonders ruhige Handhaltung an. Erleichterungen für den Anfang sind: Anlegen der Raupe an eine schon vorhandene, Auftragen an der senkrechten Fläche in waagerechter

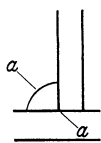


Abb. 119.
Kehlnaht.

Richtung. Dann versuche die Arbeiten der Gruppe 7, aber in senkrechter Richtung der Naht. Das Schweißen von oben nach unten ergibt meist keinen so starken Einbrand wie umgekehrt. Daher gilt die Regel, daß man dicke Bleche von unten nach oben schweißt, dünne Bleche von oben nach unten; wo allerdings hier die Grenze liegt, läßt sich nicht sagen — das hängt in erster Linie von der Übung des Schweißers ab. Eine sehr gute Übung ist das Schweißen einer Kreisnaht in senkrechter Lage des Bleches.

9. Überkopfschweißen. Hierzu gehören zunächst geeignete Elektroden und dann natürlich sehr viel Geduld und Übung. Bewegung der Elektrodenspitze etwa nach Abb. 114 oder 120. Versuche dich nach den Auftragsübungen an den Verbindungsschweißungen der Gruppe 7. Raupen durchweg dünn halten, lieber mehrmals übereinander schweißen; nicht versuchen, gleich bei der ersten Lage eine dicke Naht zu erzielen.

10. Löcher zuschweißen. Schmilz zunächst den Rand des Loches ab; beobachte dabei, daß auf diese Weise immer ein tiefer Krater entsteht, der angefüllt ist mit verbranntem Schweißgut. Zum Abdichten dieses Restloches ziehe eine breite Raupe über das Loch.

11. Elektroschneiden. Es beruht auf einem Durchschmelzen. Also stets mit

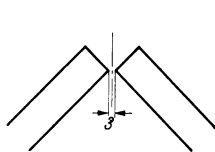


Abb. 116.

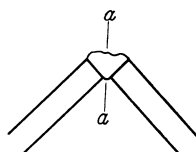


Abb. 117

Abb. 116...118. Winkelnaht.



Abb. 118.



Abb. 120.
Bewegung
der Elektro-
denspitze
beim Über-
kopfschwei-
ßen.

möglichst hoher Stromstärke und mit mindestens 4 mm, besser mit 5 mm dicken Schneidelektroden arbeiten. Elektroden können vorher in Wasser getaucht werden, damit sie nicht glühend werden. Stets von oben nach unten schneiden, damit der flüssige Werkstoff leicht ablaufen kann.

B. Vorbereitung der Schweißarbeit.

Wegen der Wichtigkeit dieses Punktes soll die Vorbereitung der Schweißarbeit in einem besonderen Kapitel behandelt werden. Sie erstreckt sich auf 2 Punkte: auf die Schweißnaht selbst und auf die ganze Schweißkonstruktion.

1. Die Schweißnaht. Die Schweißstelle ist gründlich zu säubern. Für wichtige Arbeiten ist unbedingt Rost, Schlacke (auch die vom Schneiden mit dem Gasbrenner her), Farbe, Staub zu entfernen. Nur für untergeordnete Arbeiten, wo es nicht auf hohe Festigkeit und Dichtheit der Naht ankommt, kann dieses Säubern unterlassen werden, wenn man den Schweißstrom etwas höher als gewöhnlich nimmt. (Die besondere Vorbereitung an Stücken aus Gußeisen und aus Nichteisenmetallen siehe unter den entsprechenden Kapiteln IV C). Einer besonderen Vorbereitung bedarf die Stumpfnaht. Für ganz dünne Bleche bis zu 2 mm empfiehlt sich die Aufbördelung der Ränder, wenn man mit dem Kohlelichtbogen schweißen will. Sonst tut es die glatte Stumpfnaht. Für hochwertige Zwecke wird man schon mit 4 mm Blechdicke mit einer Abschrägung nach Abb. 121

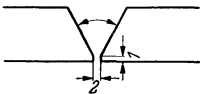


Abb. 121. Vorbereitung einer V-Naht.

beginnen können. Ganz allgemein gilt bezüglich des Abschrägungswinkels folgendes: Je größer man den Winkel wählt, desto bessere Ergebnisse in bezug auf Festigkeit zeigt die Schweißung. Freilich werden die Kosten von Schweißungen durch Wahl von großen Winkeln infolge des großen Aufwandes an Schweißgut erhöht, und was beinahe noch schlimmer ist: die Wärmespannungen und Verwerfungen

werden auch erhöht. Daher wählt man im allgemeinen kleinere Winkel (meistens 70° , allerunterste Grenze 60°) und nur zu ganz besonders wertvollen Nähten größere Winkel. In bezug auf den Abstand gilt, daß man zwar durch einen größeren Abstand sich gegebenenfalls die Kosten des Abschrägens ersparen kann, daß man aber dafür erhöhte Kosten für Schweißgut aufzuwenden hat mit dem zusätzlichen Nachteil der erhöhten Wärmespannungen. Das Abschrägen führt man mit spanabhebenden Werkzeugen oder mit dem Gasschneidbrenner durch. Da es heute schon für verhältnismäßig wenig Geld gute Gasschneidbrenner mit selbsttätigem Vorschub gibt, so sollte man solche Vorbereitungsschnitte stets nur mit solchen Brennern durchführen. Schnitte mit Schneidbrennern ohne maschinellen Vorschub sind meist sehr uneben und bilden dann eine besondere Schwierigkeit für den Schweißer.

Die x-förmige Abschrägung von Werkstückkanten hat den Vorteil des geringsten Schweißgutaufwandes und der niedrigsten Wärmespannungen, dafür als Nachteil die meist teurere Vorbereitung und, wenn das Stück nicht zu wenden geht, das Schweißen in unbequemer Lage (gegebenenfalls überkopf). Aus diesen Gründen findet man die x-förmige Vorbereitung seltener, meist nur in den Blechdicken über 12 mm. Die u-förmige Vorbereitung wird sich in ihrem Vorteil (geringer Schweißgutaufwand, geringe Wärmespannungen) erst über 25 mm zeigen; darunter überwiegen die Nachteile (teurere Vorbereitung).

2. Die Konstruktion. Für die Vorbereitung der ganzen Konstruktion sind auch verschiedene wichtige Gesichtspunkte zu beachten: Die Bleche und Profile sind sorgfältig zuzuschneiden und auszurichten. Man wird nie erwarten können, daß ein krummes, buckliges Blech nach dem Schweißen gerade wie ein

Trommelfell ist. Das gleiche gilt übrigens auch in dem gleichen Maße für das Zusammenschweißen von geschweißten Teilen zu einem Ganzen. Auch hier müssen vor dem Schweißen die Teile sorgfältig gerichtet und angepaßt werden. Dieses Anpassen ist besonders bei Einzelfertigung unter Umständen sehr teuer und umständlich. Sorgfältige Überlegung vor Beginn der Arbeit wird helfen können. Zum Zusammenbau gehören meist gute Schlosser, man gibt dann solchen Leuten einen Schweißanfänger zum Heften bei, damit die Kosten für das Warten bei dem Zusammenbau nicht zu hoch sind. Die Heftstellen können dann beim Schweißen wieder aufgeschmolzen oder gar ganz mit dem Meißel entfernt werden, wenn es das zusammengebaute Teil gestattet. Hilfsmittel zum Zusammenbau sind im einfachsten Falle: Feilkloben und Schraubzwingen und besondergestaltete Haken. Kommen bestimmte Teile öfters vor, fertigt man sich Hilfsvorrichtungen an, mit denen man die Teile leicht zusammenspannen kann, und bei denen auch gleich die richtige Lage gewährleistet ist. Häufig sind dann die Vorrichtungen so, daß man das Schweißteil wenden kann, so daß man Schweißen in unbequemer Lage vermeidet. Bei dünnen Blechen weist man der Schweißvorrichtung dann noch die Aufgabe zu, das Durchbrennen zu verhüten und die Wärme abzuleiten. In solchen Fällen bestehen Teile solcher Vorrichtungen aus Kupfer, da das flüssige Schweißgut von dem Kupfer abgeschreckt wird und nicht mit ihm bindet (siehe auch Kapitel IV C). Eine weitere Vorbereitungsarbeit ist gegebenenfalls ein Vorbiegen des Teiles zum Ausgleich des Verbiegens durch die Wärmespannungen (hierüber siehe Näheres Kapitel IV C).

Schließlich ist noch darauf hinzuweisen, daß Profile, Bleche wegen der Schrumpfspannungen größer geschnitten werden müssen, als die Maße für das fertige Stück betragen. Der Konstrukteur schreibt grundsätzlich Fertigmaße vor. Bei Stücken, wo diese Schrumpfung zu beachten ist, wird er vielleicht einen entsprechenden Vermerk anzubringen haben. Wieviel nun dieses Übermaß ausmacht, läßt sich allgemein nicht sagen. Es hängt sehr von der Form des Teiles ab, von der Dicke und Länge der Naht, dann schließlich davon, wie viele Nähte mit ihren Quer- oder Längsschrumpfungen an der Gesamtschrumpfung beteiligt sind (s. auch Kapitel IV C 1c).

Nur in Ausnahmefällen wird man auf die sorgfältige Vorbereitung verzichten; sei es, daß das Teil ganz untergeordneten Zwecken dienen soll, oder daß auf das Aussehen der Arbeit kein Wert gelegt wird. Im übrigen soll man sich stets den Satz vor Augen halten: Gute Vorbereitung sichert guten Erfolg.

C. Durchführung der Schweißarbeit.

1. Allgemeines. Was bei fast jeder Schweißarbeit am störendsten auftritt, sind die Schweißspannungen.

a) Schweißspannungen. Spannungen, die durch das Schweißen in das Werkstück hineinkommen können oder sich durch das Schweißen äußern, haben verschiedene Herkunft. Zuerst ist zu nennen: die ungleichmäßige Erwärmung und Abkühlung des Stückes, die durch die Art des Schweißens bedingt ist. Man mache sich unter diesem Gesichtspunkte den Schweißvorgang klar. Da ist folgendes zu beobachten: Zwischen zwei kalte Werkstückränder wird flüssiger Stahl gegossen. Durch die Erwärmung der Ränder wollen sich diese ausdehnen, durch die Abkühlung des Schweißgutes wollen sie sich zusammenziehen. Nun findet dieses Gießen nicht auf einmal auf der ganzen Nahtlänge statt, sondern in fortschreitendem Zeitmaß. Man sieht hieraus schon, daß die wirkliche Verfolgung der auftretenden Spannungen sehr schwierig ist; denn man muß ja bedenken, daß oberhalb 600° der Werkstoff keine genügende Festigkeit hat, so daß er oberhalb dieser

Grenze beinahe ungehindert schrumpfen oder sich ausdehnen kann. Will man sich den Vorgang etwas vereinfachen, kann man das Ausdehnen der Werkstückränder vernachlässigen; man sagt sich: Das Erwärmen der Ränder fällt in die gleiche Zeit, in der das Schweißgut wegen der hohen Temperatur noch keinen genügenden Widerstand hat; dann bleibt also nur noch das Schrumpfen der Naht übrig. Hier drängt sich ein Vergleich auf, mit dem man sich die Wirkung der Schweißspannungen vergrößert vorstellen kann: Man denke sich ein Tuch, durch das man einen gespannten Gummifaden zieht; läßt man nun den an den Enden befestigten Faden los, so verwirft sich der Stoff. Ähnliches tritt beim Schweißen auf; ob allerdings die gleiche Faltenbildung entsteht, das hängt von den jeweiligen Verhältnissen ab.

Dann spielt hier noch der unsymmetrische Wärmeverlauf eine gewisse Rolle. Die Wärme gelangt auf eine andere Art in den Körper hinein als sie durch Abkühlung wieder herauskommt.

Ein sehr wichtiger Punkt sind aber dann noch die Rest-(Eigen-)Spannungen. Man versteht hierunter folgendes: Durch die vorhergehende Herstellung (Walzen, Gießen) stecken infolge der auch hier meist ungleichmäßigen Abkühlung aus dem heißen Zustande erhebliche Spannungen im Werkteil drin. Man stelle sich nur als einfachstes Beispiel die Herstellung einer Blechtafel vor. Die Tafel erkaltet an den Rändern zeitiger als in der Mitte. Da dann aber die Ränder schon starr sind, können sie dem Bestreben der Mitte, sich zusammenzuziehen, nicht nachgeben; die Folgen sind die Spannungen. Ein Profilende hat andere Spannungen als ein Mittelstück. Ja, einzelne Stellen außen am Profil haben andere Spannungen als Stellen in der Mitte. Wird nun an einem solchen Teil geschweißt, so wird die Schweißstelle, da sie ja durch die Hitze des Lichtbogens in einen weichen, leicht verformbaren Zustand versetzt wird, den Spannungen, die schon vorher drin waren, nachgeben; die Folgen sind Verwerfungen. Diese Verwerfungen sind also die mittelbare, nicht die unmittelbare Folge des Schweißens. Sie sind in der Praxis des Schweißens deswegen so unangenehm, weil sie nicht in ihrer Wirkung voraussehen sind. Es kann vorkommen, daß man beim Schweißen von mehreren gleichen Stücken einer Reihe hinsichtlich der Verwerfungen keine Schwierigkeiten hat, während beim Schweißen des letzten Stückes, das unter denselben Bedingungen wie die vorhergehenden geschweißt wurde, plötzlich unüberwindbare Schwierigkeiten auftauchen. Der Grund würde dann wohl hier eben in besonders starken Restspannungen zu suchen sein. Auch bei Gußstücken muß man sich über diese Restspannungen im klaren sein; man hat hier häufig einen Riß auszubessern; dann kann man schon sagen, daß wahrscheinlich die Restspannungen an dem Riß nicht ganz unbeteiligt gewesen sind. Und daraus ergibt sich hier die besondere Schwierigkeit: man muß so schweißen, daß diese Spannungen, die ja zum Bruch geführt haben, vermindert werden. Nun ist es allerdings nicht so, daß diese Wärmespannungen sich ohne weiteres mit den betriebsmäßig auftretenden Spannungen addieren. Wird die Fließgrenze erreicht, so tritt ja ein Fließen ein und dadurch ein Abbau der Spannungen. Ein ähnlicher Vorgang liegt vor beim Kaltbiegen eines Werkteiles. An der Biegestelle wurde auch die Fließgrenze überschritten, trotzdem kann diese Stelle immer noch Kräfte aufnehmen.

b) Maßnahmen zur Überwindung dieser Schwierigkeiten. Es ist hier zunächst eine Grundforderung zu erheben: dem Werkstück möglichst wenig Wärme zuführen. Jede Wärmezufuhr ist unlösbar verknüpft mit Spannungszufuhr. Will man also wenig Spannungen haben, so muß man wenig Wärme zuführen (siehe jedoch später „Ausglühen“). Man kann hier verschiedene Maßnahmen

treffen, deren Anwendung je nach dem Zwecke verschieden vorteilhaft sein wird. Zunächst gehört hierher: richtige Schweißkonstruktion. Weiter: daß man die notwendigen Nähte möglichst dünn und kurz macht. Dann kann man für besondere Wärmeabfuhr sorgen. Als einfachstes gilt: neben und unter die Schweißstelle Schienen (am besten aus Kupfer) zu legen; sie müssen natürlich sofort nach dem Schweißen entfernt werden, um eben die Wärme wegzunehmen. Schärfere Mittel sind: das Abblasen der Schweißstelle mit Preßluft, das Abwischen mit nassen Tüchern, das Schweißen in feuchtem Sande; und als schärfste Maßnahme: das Schweißen unter Wasser. Hier kann die Schweißstelle unmittelbar mit dem Wasserspiegel abschließen, dann kann man beliebige Elektroden verwenden; oder die Schweißstelle kann einige Zentimeter unter Wasser liegen, dann braucht man stark umhüllte Elektroden und etwas höheren Strom. Nach diesem Verfahren sind die Spannungen derart gering, daß man z. B. sogar gehärtete Messer an Blechkörper anschweißen kann, ohne Ribbildung befürchten zu müssen; man wird aber dieses letzte Verfahren natürlich nur in Sonderfällen anwenden können.

Eine andere Maßnahme ist das absatzweise Schweißen, das man bei Gußeisen häufig anwendet. Man schweißt immer nur kleine Stücke und läßt jedesmal nach dem Schweißen die Stelle kalt werden. Auf jeden Fall soll man sich hüten, am rotwarmen Stück zu schweißen — wozu Anlaß ist, wenn bei einem schlechten Entwurf viele Nähte dicht beieinanderliegen. Schließlich ist die richtige Schweißreihenfolge wichtig, da sich durch schlechte Reihenfolge die Spannungen vermehren, durch eine gute Reihenfolge aber vermindern können. Will man hierzu allgemeine Sätze aufstellen, so müßte man folgendes festsetzen: Man schweißt stets von innen nach außen, um „die Spannungen auszutreiben“, wie der Schweißer sagt. Man schweißt die Nähte, durch die die Konstruktion starr wird, zuletzt. Überhaupt geht man gerade entgegengesetzt vor wie beim Nieten. Man schweißt Einzelteile mit Einzelteilen zusammen zu größeren Teilen und immer so fort, bis die ganze Konstruktion fertig ist. Also nicht Einzelteile an die fertige Konstruktion anschweißen, sondern vorher schon an Einzelteile anschweißen (z. B. Flansche an Behälter werden schon an die Einzelbleche angeschweißt, bevor diese zu einem Behälter zusammengeschweißt werden). Daß man nach diesen Teilschweißungen jedesmal nachrichten muß, das ist schon unter IV B erwähnt worden.

Eine andere Maßnahme ist die des Vorbiegens bzw. Vorstreckens. Wenn man durch praktische Erfahrung festgestellt hat, daß sich ein Teil geschweißt in bestimmter Weise verbiegt, so kann man ein gerades Stück erhalten, wenn man das Teil um dieses Maß entgegengesetzt vorbiegt. Dies ist in der Praxis sehr beliebt, es eignet sich hauptsächlich für die Herstellung mehrerer gleicher Stücke. Natürlich werden durch dieses Verfahren die Restspannungen nicht erfaßt, also sind Überraschungen trotz sorgfältiger Vorbereitungen nicht ausgeschlossen.

Eine Maßnahme aber, die alle Spannungen erfaßt, ist die des Ausglühens (auch „Spannungsfrei-Glühen“ genannt). Sie besteht darin, daß das geschweißte Teil geglüht und in glühendem Zustande nachgerichtet wird; dann läßt man es langsam erkalten. Eine gewisse Abänderung besteht darin, daß man das Stück in glühendem Zustande schweißt. Nach obigen Darlegungen können sich dann zunächst alle Spannungen frei auswirken; sorgt man dann nur eben durch langsame Abkühlung dafür, daß keine oder möglichst geringe Spannungen hineinkommen, so ist die Arbeit gut erledigt. Natürlich ist das Ausglühen meist recht schwierig und teuer und in vielen Fällen überhaupt nicht anwendbar. (Über den Einfluß des Glühens auf die Schweißung siehe S. 23.) Es wird angewendet in der Gußeisen-Warmschweißung und in einigen Sonderfällen.

c) Zahlenangaben. Aus Vorstehendem ist klar, daß einwandfreie Zahlen,

die das Zusammenschrumpfen und Verwerfen der Naht festlegen, nicht gegeben werden können. Das sind ja alles Verhältnisse, die von Fall zu Fall viel zu verschieden sind. Trotzdem wird es gut sein, einige Zahlen, die dieses Schrumpfen näher beleuchten, anzuführen:

Die Ausdehnungsziffer für Eisen beträgt etwa 1,1 mm für einen Stab von 1 m Länge bei einer Temperaturdifferenz von 100°. Würde man einen Stahlstab von 1000 mm Länge bei einer Temperatur von 100° fest einspannen und würde er dann auf 0° abgekühlt werden, so würde in ihm bei dem üblichen Elastizitätsmaß von Stahl von 21.000 kg/mm² eine Spannung entstehen von $= \frac{1,1 \cdot 21000}{1000} = 23 \text{ kg/mm}^2$;

d. h. eine Spannung, die etwa der Streckgrenze der üblichen Stahlsorten entspräche; es würde also schon eine bleibende Verformung entstehen. Wenn bei der Spannung von 23 kg/mm² 100° Temperaturdifferenz notwendig sind, dann sind bei der Spannung von 1 kg/mm² $100/23 = 4,3^\circ$ notwendig.

Elektrodenstärke, Stromstärke in Abhängigkeit von Nahtstärke beim Stahlschweißen (vor Benutzung siehe Ausführungen S. 47).

Nahtdicke mm	Elektroden- durchmesser mm	Strom- stärke A
2	2	60
—	2,5	80
3	3	100
4	3,25	120
4	4	150
6	5	180
	6	230
	8	350
	10	480
	12	600

Stärkere Nähte werden meist in mehreren Lagen unter Verwendung der Durchmesser 4 u. 5 mm ausgeführt.

Man unterscheidet bei jeder Naht Längsschrumpfungen und Querschrumpfungen. Obgleich man annehmen könnte, daß wegen der großen Länge die Längsschrumpfungen unangenehmer sind, so ist das doch nicht der Fall, da ja hier auch mehr Schweißgut zu verformen ist. Durch die Versuche von Lottmann ist ziffernmäßig folgendes bestimmt: Bleche sollen wegen der Querschrumpfung der Naht 1,8 mm/m vor dem Schweißen größer gewählt werden; zur Berücksichtigung der Längsschrumpfungen genügen 0,35 mm/m; alles bei einer Blechdicke von 5 ... 12 mm. Beim Schweißen von Längsträgern mit durchlaufender Naht kann man an Schrumpfung etwa 1 mm/m rechnen; für jede dabei auftretende Quernaht etwa 0,2 mm/m.

2. Stahlverbindungsschweißungen. a) Eignung des Bleches. Vor dem Schweißen überzeuge man sich, ob das zu schweißende Blech auch zum Schweißen geeignet ist. Durch Doppelungen im Blech, durch sehniges, streifiges Gefüge wird die Schweißbarkeit sehr vermindert. In ganz besonders hohem Maße setzt ein Schwefel- oder Phosphorgehalt die Schweißbarkeit herab. Der Phosphorgehalt ist vor allem deswegen so unangenehm, weil er häufig, ohne daß er durchschnittlich den erlaubten Mittelwert überschreitet, an einzelnen Stellen des Bleches in verstärktem Maße vorkommt. Die Folge ist eine erhöhte Brüchigkeit des Bleches, die durch irgendwelche Wärmebehandlung, also auch z. B. durch Schweißen, sogar noch erhöht wird. Wenn bei Biegeproben Risse neben der Schweißung auftreten, so ist meist der an diesen Stellen zu hohe Phosphorgehalt des Bleches daran schuld. Deswegen sollte man zum Prüfen der Schweißer nur ausgesucht gute Bleche verwenden und nicht irgendwelche Abfallstücke.

b) Elektrodendurchmesser. Als Anhalt diene etwa die obenstehende Zahlen-tafel. Man hüte sich aber davor, diese Angaben unbedingt einhalten zu wollen. Wichtiger ist es, sich die Abweichungen von diesen Angaben zu merken: Zunächst ist der Drahtdurchmesser abhängig von der Blechdicke. Bezüglich der

Wirtschaftlichkeit wird man immer bestrebt sein, mit möglichst dicken Elektroden zu arbeiten und eine gewisse Nahtdicke durch die Geschwindigkeit, mit der der Lichtbogen fortschreitet, zu erreichen. Die Grenzen der Elektrodendurchmesser sind durch folgende Überlegungen festgelegt: Nimmt man einen zu kleinen Durchmesser, so kann man zwar sehr tief in die Nahtwurzel eindringen (siehe Abb. 122), man läuft aber Gefahr, wegen der notwendigen niedrigen Stromstärke nicht genügend einzubrennen. Hat man also Elektroden, die zu einem starken Einbrand neigen, so kann man deshalb schwächere Durchmesser verwenden. Wählt man sehr dicke Elektroden, so erzielt man als besonderen Vorteil durch die höhere Stromstärke einen sofortigen Einbrand am Anfang der Naht (das ist dort zweckmäßig, wo man auch am Nahtanfang gleich eine dichte Naht erzielen will). Wird die Elektrode aber zu dick gewählt, so bestehen mehrere Fehlermöglichkeiten: Entweder man faßt die Wurzel der Naht nicht mehr, da der Strom hauptsächlich den kürzesten Weg bei a (Abb. 122) geht, oder man erzielt zu starken Einbrand, durch den die gefürchteten seitlichen Einbrandkerben entstehen. Schließlich kann durch die große Erwärmung das Schweißgefüge oder das Übergangsgefüge leiden (Tatsache ist, daß häufig eine Einlagenschweißung bessere mechanische Eigenschaften zeigt als eine Einlagenschweißung, siehe aber auch S. 23.) Zuletzt können durch die große Erwärmung sehr starke Schrumpfspannungen entstehen. Man muß also unter Berücksichtigung aller dieser Punkte die Grenzen für die vorliegenden Verhältnisse festlegen. Bei der Kohlelichtbogenschweißung kann man bei gewöhnlicher Kohle mit $0,5 \frac{A}{F}$, bei Graphitkohle mit $1,3 \frac{A}{F}$ bezüglich der Strombelastung rechnen.

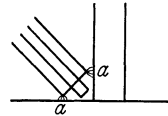


Abb. 122. Elektrodenstärke bei Kehlnähten.

Beispiel 18. Welcher Durchmesser (Graphitkohle) wird gewählt, wenn mit 220 A geschweißt werden soll? $F = \frac{220}{1,3} = 169 \text{ mm}^2$; Durchmesser $d \approx 15 \text{ mm}$.

c) Stromstärke. Hinsichtlich der Stromstärke können auch nicht allgemein gültige Zahlen gegeben werden (siehe auch die Tabelle auf S. 46). Zunächst ist zu bemerken, daß die verschiedenen Elektroden recht verschieden hohen Strom vertragen (mit einer glühenden Elektrode darf auf keinen Fall geschweißt werden!) Manche Elektroden sind in dieser Hinsicht sehr empfindlich und ergeben bei zu hohem Strom ein sehr poriges Gefüge; andere haben bei zu niedriger Stromstärke Schlackeneinschlüsse. Weiter ist zu bemerken, daß die Schweißzeit sich ungefähr umgekehrt, die Spritzverluste sich ziemlich genau verhältnismäßig der Stromstärke verändern. Weiter ist hier das Können des Schweißers zu berücksichtigen (ein Anfänger, der dauernd mit der Elektrode festklebt, wird nur mit niedriger Stromstärke schweißen können als ein Köhner, der eine Elektrode flott hintereinander abschmilzt) und auch die Schweißmaschine (mit einer Maschine, die bei Kurzschluß einen sehr hohen Strom liefert, wird mit niedriger Stromstärke zu schweißen sein als mit einer anderen, bei der der Kurzschlußstrom nicht übermäßig hoch ist).

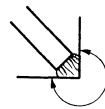


Abb. 123. Wärmeableitungswinkel bei Kehlnähten.

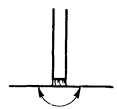


Abb. 124. Wärmeableitungswinkel bei Stumpfnähten.

Dann spielt die Art der Arbeit eine Rolle: Bei einem großen Stück kann man die Stromstärke höher wählen als bei einem kleinen. Liegen mehrere Nähte dicht beieinander, so ist die erste Naht mit geringerer Stromstärke zu schweißen als die letzte. Überhaupt, ist die Naht schon etwas warm, so kann die Stromstärke kleiner sein als im umgekehrten Falle. Im Winter wird die Stromstärke höher

sein als im Sommer, wenn die Sonne auf die Stücke brennt. Auch bei den Nahtarten ist ein Unterschied festzustellen. Infolge des größeren Wärmeableitungswinkels muß bei Kehlnähten die Stromstärke höher sein als bei Stumpfnähten (siehe Abb. 123, 124).

Vor allem sind auch hier wieder die Grenzen wichtig. Bei einer zu geringen Stromstärke brennt die Elektrode nicht ein, bei zu hoher Stromstärke ist zuerst der Einbrand zu groß, dann wird die Elektrode glühend, damit hört der Einbrand beinahe ganz auf, die Schweißung wird porig und verbrannt.

d) Polarität. Man soll stets den Pol an der Elektrode haben, den der Elektrodenlieferant vorgeschrieben hat. In der Regel wird für blanken und dünn umhüllten Draht der — Pol genommen, bei dick umhüllten Elektroden der + Pol. Manche Maschinen polen sich mehr oder minder leicht um, d. h. also: dort, wo am Anschlußbrett der +- Pol angezeichnet ist, ist in Wirklichkeit der — Pol. Man muß also öfters kontrollieren, ob die Angaben noch stimmen (siehe Abb. 1).

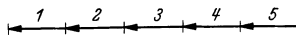


Abb. 125.

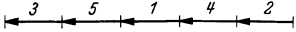


Abb. 126.

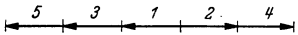


Abb. 127.

Abb. 125... 127. Schweißreihenfolge bei langen Nähten.

Falsche Polarität hat häufig einen geringeren Einbrand und hohe Spritzverluste, manchmal auch porige Schweißungen zur Folge.

e) Blaswirkung. Bei allen Bauwerken, wo bestimmte Stromwege vorliegen, macht sich die Blaswirkung sehr unangenehm bemerkbar. Wie auf S. 8 ausgeführt, kann man die Schärfe der Blaswirkung mildern durch eine andere Richtung der Elektrode oder einen anderen Anschlußpunkt. Zum leichten Umlegen des Anschlußpunktes bedient man sich statt einer Klemme eines Kupferhakens, den man überall leicht anbringen kann.

f) Lange Nähte. Ein besonders schwieriger Punkt ist das Herstellen von lang durchlaufenden Nähten. Hier machen sich die Schweißspannungen besonders unangenehm bemerkbar. Es kommen folgende Verfahren in Betracht:

Die beiden Bleche werden geheftet, die Schweißung wird ununterbrochen von einem Ende zum anderen durchgeführt. Dieses Verfahren ist das einfachste; in nicht zu schwierigen Fällen wird es genügen.

Die beiden Bleche werden schräg zueinander hingelegt. Man beginnt an einem Ende (manchmal auch etwa 10 cm vom Blechanfang entfernt); der Abstand am Ende beträgt etwa 2% der Länge, die Abstände werden durch eingeschobene Keilstücke sorgfältig eingehalten. Das Verfahren wird für schwierigere Verhältnisse angewendet.

Einfacher in der Durchführung und besser ist das „Pilgerschrittverfahren“, das Abb. 125 zeigt. Die überschriebenen Ziffern bedeuten die Schweißreihenfolge, die Pfeile die Schweißrichtung.

Für ganz schwierige Verhältnisse ist die „sprungweise Schweißung“ zu nennen. Hier ist das Ziel, die Temperatur der Naht annähernd gleich zu halten. Abb. 126, 127 zeigen verschiedene Formen des Verfahrens.

g) Rundnähte. Die schwierigste Schweißung sind die Rundnähte bei Kesselchüssen. Hier gibt es auch wieder verschiedene Verfahren: Entweder man verwendet die sprungweise Schweißung oder, was auch empfohlen wird, es wird von 2 oder 3 Schweißern an gegenüberliegenden Stellen geschweißt; oder man schweißt ununterbrochen, hält aber den Anfang der Naht durch einen Gasbrenner warm.

h) Dünnblechschweißung. An Dicken unter 2 mm nimmt man sie gern mit dem Kohlelichtbogen (Verfahren von Benardos) vor. Man bördelt die Kanten hoch, bestreicht sie mit einem geeigneten Flußmittel und schmilzt sie als

Zusatzwerkstoff ein. Als Flußmittel dient im einfachsten Falle mit Wasser verdünntes Wasserglas. Der Lichtbogen wird durch eine Blasspule gefestigt.

i) Zu vermeidende Fehler. Es soll hingewiesen werden auf Fehler, die beim Schweißen unbedingt zu vermeiden sind. Abgesehen von den Punkten, die schon vorher besprochen wurden (Elektrodendicke, Stromstärke, seitliche Kerben, Schweißgeschwindigkeit, Fassung der Wurzel, Polung), sei hier erwähnt das Hineinlegen von Elektrodenresten in die vielleicht zu groß geratene Schweißlücke zu dem Zwecke, die Arbeit zu beschleunigen. Solche Reste verschweißen niemals mit dem Grundwerkstoff, bestenfalls sieht dann ein Schliff einer solchen Schweißung nach Abb.128 aus: man erkennt die sehr gefährlichen Kerben am Grunde. Das Übel wird verschlimmert dadurch, daß man es nach dem Schweißen, wenn die Rückseite der Naht nicht zugänglich ist, kaum sehen kann. Der Schweißer soll sich stets darüber im klaren sein, daß er eine große Verantwortung trägt, und daß er unter Umständen durch solche Fehler trotz scharfer Überwachung das ganze Bauwerk gefährdet.

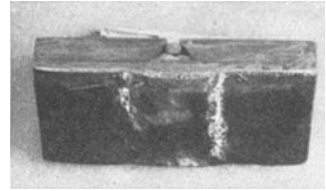


Abb. 128. V-Naht mit eingeworfenen Elektrodenresten.

Ein ähnlich schlimmer Fehler ist das Abschmelzen der Blechkanten bei Kehlnähten. Abb.129 zeigt gestrichelt wie die Naht liegen soll mit dem eingezeichneten Maß der Sollnahtdicke a' . Ausgezogen zeigt diese Abbildung die fehlerhafte Ausführung mit der viel zu kleinen Istnahtdicke a . Auch dieser Fehler läßt sich unter Umständen nach dem Schweißen schwer erkennen.

3. Stahlauftragsschweißungen. Zunächst den Fall, daß irgendwelche Abnutzung von Wellen u dgl. auszugleichen ist, wobei der Schweißwerkstoff keine besondere Härte haben soll. Hier kommt man mit Elektroden aus, die man auch für das Verbindungsschweißen benützt. Auch hier ist wieder auf die Wärmespannungen zu achten. Man trägt auf eine Welle am besten nach Abb. 130 und 131

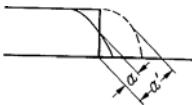


Abb. 129. (Schlechtes) Abschmelzen von Blechkanten.

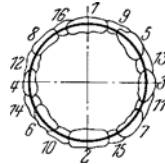


Abb. 130. Reihenfolge beim Schweißen auf eine Welle.

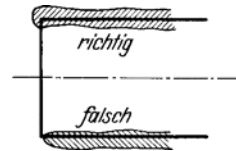


Abb. 131. Verstärken einer Welle.

auf. Das Auftragen von einzelnen Ringen ist gefährlich wegen der starken Schrumpfspannungen. Es kommt dann öfters vor, daß an dieser Stelle die Welle glatt durchbricht. Manchmal wird auch empfohlen, auf die Welle spiralförmig aufzutragen, was nur den Nachteil der schwierigen Herstellung hat. Eine Steigerung der Härte kann man erzielen durch scharfe Abschreckung der Schweiße (Schweißen im Wasserbade), in viel größerem Maße aber durch Verwendung von Sonderelektroden. Diese Elektroden neigen unter Umständen zur Bildung von feinen Haarrissen, manchmal auch zur Bildung von Poren. Das schadet meistens nichts, ist in manchen Fällen sogar erwünscht, weil sich dann diese Risse voll Schmiermittel setzen und dadurch die Abnutzung weiter verringert wird. Wichtiger ist, daß diese Elektroden einen genügend festen Einbrand haben (siehe Meißelprobe). Für Sonderzwecke gebraucht man auch hier umhüllte Elektroden; in der Regel aber werden für Auftragsarbeiten blanke Drähte bevor-

zugt, hauptsächlich wegen des Preisunterschiedes. Die schon oben angedeutete Rißbildung wird durch schroffe Abkühlung gefördert; will man, vor allem bei Mehrlagenschweißungen, Rißbildung unterdrücken, so ist unbedingt langsame Abkühlung erforderlich. Die Schweißung ist vor Zugluft zu hüten; am wirkungsvollsten ist die Abkühlung in trockenem Sand.

Man muß sich stets darüber klar sein, daß die oberste Zone die härteste ist. Will man also eine möglichst große Härte erreichen, so hat man nur soviel wie eben unbedingt notwendig ist zu schweißen. Durch nachheriges Abschleifen geht die wertvollste Schicht verloren. Daher muß man dem Schweißer Schablonen geben, damit er sich stets von dem Stande der Arbeit überzeugen kann. Sehr brauchbar sind auch Formen aus Kupfer. Da das Schweißgut an dem Kupfer nicht bindet, kann man mit Hilfe solcher Formen so genaue Oberflächen erhalten, daß ein Abschleifen hinterher kaum noch notwendig ist. Die doppelte Ersparnis liegt auf der Hand.

Hat man auf schon bearbeiteten Flächen aufzutragen oder dort kleine Fehler auszubessern, und darf von der gesamten Fläche gar nichts oder nur möglichst wenig weggenommen werden, so stören häufig am Rande der Schweißung kleine



Abb. 132.

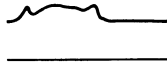


Abb. 133.

Abb. 132...133. Auftragen auf bearbeitete Flächen.

Einbrandriefen (Abb. 132). Man hilft sich, wie Abb. 133 schematisch zeigt, dadurch, daß man vor dem Schweißen die Ränder der Schweißstelle etwas hochtreibt. Die schwer vermeidlichen Einbrandriefen (Abb. 133) liegen jetzt erhöht; beim Abarbeiten der ganzen Stelle verschwinden sie dann.

Für Sonderzwecke kommt dann noch das Aufschweißen von Hartmetallen in Frage. Die erste Gruppe dieser Metalle sind Legierungen aus Chrom, Mangan, Eisen, Wolfram (Diaweld, Stoodit, Hascrome). Die gegossenen Stäbe kommen als umhüllte Elektroden in den Handel. Bei langsamer Abkühlung werden diese Aufschweißungen härter als bei rascher. Aufschweißungen auf Gußeisen sind möglich.

Die zweite Gruppe sind Legierungen aus Kobalt, Chrom, Wolfram, Vanadium, Molybdän (Stellit, Percit, Celsit, Akrit). Die gegossenen Stäbe kommen auch als umhüllte Elektroden in den Handel. Die Aufschweißungen haben bedeutende Härte, Rostsicherheit und sind auch beständig gegen Verzunderung. Die Aufschweißungen haben aber geringere Zähigkeit. Diese Elektroden werden benutzt zum Aufschweißen auf Ventile, mitunter auch zum Auftragen auf abgenutzte Gesenkkanten.

Die dritte Gruppe sind Legierungen aus Eisen-Wolframkarbiden (Verdur, Borod). Diese Stäbe sind Stahlröhrchen, in die die Wolframkarbide eingefüllt sind. Die Stäbe sind umhüllt, sie werden am Pluspol verschweißt. Die Aufschweißungen haben neben großer Härte eine recht bedeutende Zähigkeit und sind deshalb für stoßweisen Betrieb besonders geeignet. Die Handhabung dieser Elektrode muß besonders geübt sein, bis gute Ergebnisse erzielt werden.

Eine Abart dieser Schweißung ist die Aufschweißung von Wolframkarbid in Pulver- oder Körnerform mit dem Kohlelichtbogen. Die erreichte Härte gleicht der Härte von Diamanten, die Aufschweißungen sind aber sehr spröde.

Eine Vereinigung der letztgenannten Gruppe mit der ersten ist möglich, indem einzelne Wolframkarbidkörner in einen Schweißstab aus Chrom, Mangan, Eisen eingeschmolzen werden. Beim Schweißen bleiben diese Körner ziemlich unverändert eingebettet in der Grundmasse.

Bei allen diesen Sonderlegierungen richte man sich beim Verschweißen nach den Regeln der Elektrodenhersteller.

4. Gußeisenschweißung. Hier kennt man mehrere Verfahren.

a) Gußeisenwarmschweißung. Der Riß wird sorgfältig ausgekreuzt. Abgebrochene Teile können ergänzt werden, indem man die Stelle mit Formkohleplatten einfaßt. Dann wird glühende Holzkohle zuunterst gelegt, andere darüber, und dadurch kommt allmählich das ganze Stück ins Glühen. In diesem Zustande werden nun gußeiserne Stäbe mit hoher Stromstärke eingeschweißt. Ziel muß hierbei sein, daß die ganze Stelle bis zum Ende der Schweißung flüssig bleibt. Sodann bringt man noch Kohle darauf und läßt dann langsam die Kohle völlig abbrennen und das Stück erkalten. Die Ergebnisse sind in der Regel sehr gut: Die Schweißung ist dicht und fest und läßt sich leicht bearbeiten. Die Nachteile sind das umständliche und teure Einformen und die Schwierigkeit gleichmäßiger Erwärmung und Abkühlung. Wenn auch diese Schwierigkeiten in ihrer Bedeutung nicht verkannt werden, so ist doch der Hinweis berechtigt, daß das Verfahren in Wirklichkeit nicht allzu umständlich ist, so daß die Praxis mehr Gebrauch davon machen könnte.

b) Gußeisenhalbwarmschweißung. Je nach der Form des Stückes wird das ganze Stück oder der Teil, der wiederhergestellt werden soll, schwach rotwarm gemacht, dann geschweißt. Man läßt dann das Stück in trockenem Sande langsam abkühlen.

c) Gußeisenkaltschweißung. Das Wichtigste hierbei ist, daß das Stück möglichst kalt bleiben muß. Daher wird nicht in einem Zuge geschweißt, sondern abschnittweise. Man muß stets handbreit neben der Schweißung die Hand halten können. Es hat dabei natürlich jede Abschreckung durch Wasser oder kalte Luft zu unterbleiben. Je schwieriger das Stück und die Schweißung ist, desto vorsichtiger muß man zu Werke gehen. Dann muß die Schweißstelle gut gesäubert werden; sie muß unbedingt metallisch blank sein. Schlacken, Sandnester u. dgl. stören dabei außerordentlich; es kann dabei vorkommen, daß die Schweiße überhaupt nicht mit dem Grundwerkstoff bindet: die Schweißtropfen perlen auf dem Werkstoff wie Wassertropfen auf staubiger Straße. Es muß darauf geachtet werden, daß Reste von vorherigen Löt- oder Schweißversuchen völlig entfernt werden; auch darf das Stück an der Schweißstelle nicht ölhaltig sein: Das Öl verdampft und reißt die Schweiße immer wieder auf. Daher ist es gut, wenn solche Teile durch Auskochen von den letzten Ölresten befreit werden.

Der Auskreuzungswinkel ist möglichst groß zu wählen. Risse sind an den Enden abzubohren, damit sie nicht weitergetrieben werden. Hat man dünnwandige Maschinenteile wiederherzustellen, bei denen man größten Wert auf Maßhaltigkeit legt, so sind statt einer Auskreuzung einzelne Bohrungen in den Riß anzubringen. Durch die stehenbleibenden Stege wird die Maßhaltigkeit gewahrt, und durch die Bohrungen wird wenigstens an einzelnen Stellen ein genügend tiefer Einbrand gewährleistet.

Man schweißt mit Stahlelektroden, umhüllten oder nicht umhüllten. Die Schweißung ist hart und nicht zu bearbeiten. Selbst Schleifen bereitet Schwierigkeiten, Bohren ist unmöglich. Die Bruchfläche ist weiß; die Festigkeit im allgemeinen gut, Dichtheit befriedigend. Eine gute Schweißung reißt bei Überbeanspruchung aus dem Grundwerkstoff heraus. Um die Festigkeit zu erhöhen, wendet man das Stiftverfahren an. Man bohrt in die abgeschrägten Flächen Löcher, schneidet Gewinde und schraubt Stiftschrauben hinein. Als Anhalt diene: Die Entfernung von Schraube zu Schraube wähle man $\approx 3 d$; die Schraube setze man etwa $1,5 d$ tief in das Stück ein, der herausragende Teil betrage etwa $0,5 d$. (d = Schraubendurchmesser). Man wähle ihn möglichst klein, jedoch nicht unter 5 mm. Je kleiner der Durchmesser und je mehr Schrauben gesetzt sind, desto

besser die Verbindung. Dann schweißt man mit Stahlelektroden um jede Stiftschraube einen Ring, so daß allmählich die ganze Abschrägungsfläche mit Schweißgut bedeckt ist. Dann erst schweißt man die Lücke voll. Dieses Verfahren ist vor allem brauchbar bei dickwandigen Stücken, wo dann die Schweißung große Kräfte übertragen soll. Auf diese Weise sind Hämmergestelle, Böcke u. dgl. wiederhergestellt mit völlig befriedigendem Ergebnis auch in bezug auf die Dauerbeanspruchung dieser Teile.

Will man eine bearbeitbare Kaltschweißung haben, so verwende man Sonderlektroden. Diese bestehen fast ausnahmslos aus Monelmetall. Dieses Schweißen ist also streng genommen ein Löten. Die Bindung wird in vielen Fällen nicht befriedigend: es zeigen sich oft Blasen; die Festigkeit ist nicht sehr hoch. Dafür kann man aber eine solche Naht leicht bearbeiten. Die Bruchfläche ist grau. Man verwendet solche Elektroden dort, wo unbedingt Wert auf Bearbeitbarkeit gelegt wird (Aufschweißen von Dichtungsflächen u. dgl.).

d) Verschiedenes. Die Güte der Gußeisenschweißung hängt viel vom Grundwerkstoff ab. Verbrannter Guß, dann solcher, bei dem in weitem Maß durch längere Erwärmung Kohlenstoff ausgeschieden ist, läßt sich nicht schweißen. Nach Möglichkeit vor dem Schweißen an der Naht, an dem Stück, untersuchen, ob es sich schweißen läßt.

Es ist stets nur waagrecht zu schweißen.

Häufig zeigt die Schweißung Haarrisse, durch die sie undicht wird. Nachweis von Haarrissen: Fläche mit Öl bestreichen, Öl abwischen, dann ein Gemisch von Alkohol und Kreide dünn auftragen; es sind dann die Haarrisse durch die Ölflecken deutlich zu sehen. Das Dichthalten der Naht kann man erzielen durch ein vorsichtiges Verstemmen (Hämmern) der Naht mit einem ganz leichten, spitzen Hammer. Inwieweit man andere Dichtungsmittel anwendet — Verzinnen der Naht, Dichtrosten durch Einpinseln mit Ammoniakwasser, Verkitten mit Eisenkitt — das hängt von dem Verwendungszweck ab.

Wird gleiche Farbe der Schweißstelle mit dem Grundwerkstoff verlangt, so kommt entweder die Warmschweißung oder die Kaltschweißung mit den Sonderlektroden in Frage. Eine Gewähr für ganz genaues Treffen der Farbe läßt sich nicht geben.

Eine Verbindung von Gußeisen mit Stahl ist ohne große Schwierigkeiten mit den Stahlelektroden möglich. Natürlich ist die Schweißstelle wieder hart. Man gebraucht das Verfahren, um fehlende Teile zu ergänzen (z. B. den fehlenden Fuß eines Elektromotors) oder auch, um Teile am Gußstück, die von Säure zerfressen sind oder nicht zu schweißen gehen, zu ersetzen. Man formt sich dann aus Blech den Teil, gegebenenfalls mit den Befestigungslöchern, und schweißt ihn an. Man wird versuchen, durch eine schöne glatte Hohlkehle den Schaden wieder gut zu machen. Die Festigkeit ist meist völlig befriedigend.

5. Stahlguß. Lunker werden häufig mit dem Kohlelichtbogen vollgeschweißt. Größere Auftragungen werden mit einfachen Stahlelektroden erledigt. Mitunter treten an der Übergangszone harte Stellen auf, die aber meist nicht übler sind als die Gußhaut beim Gußeisen. Es besteht auch wieder die äußerst vorteilhafte Möglichkeit, Stahlguß mit Stahl durch Schweißen mit den üblichen Stahlelektroden zu verbinden.

6. Temperguß. Schwierig wegen Unkenntnis der Tiefe der Temperzone (bei europäischem Temperguß). Entweder mit gewöhnlichen Stahlelektroden verschweißen oder, wenn man nachträglich bearbeiten will, bearbeitbare Gußeisenlektroden verwenden.

7. Kupfer und Bronze. Elektroden meist (nicht immer) umhüllt. Schwierig-

keiten bereitet der Anfang am kalten Stück. Daher, wenn es möglich ist, das Teil vorher anwärmen. Anwärmen mit dem Kohlelichtbogen bringt leicht Brandflecke. Schweißen mit dem Kohlelichtbogen auch möglich; dann ist es gut, wenn man den Draht mit Borax oder einem anderen geeigneten Flußmittel bestreicht. Auftragen auf Stahl oder Gußeisen möglich. Man kann diese Schweißen benutzen zum Dichten von Rissen, dann aber auch, um Merkzeichen anzubringen. Hin- gewiesen sei auch auf die neue „Schlauchelektrode“, durch die die Kupfer- schweißung besonders hochwertig sein soll.

8. Leichtmetalle und ihre Legierungen. a) Allgemeines. Die Schwierigkeiten der Lichtbogenschweißung von Leichtmetallen sind wesentlich größer als die der Stahlschweißung. Die besonderen Schwierigkeiten liegen in dem großen Bestreben der Leichtmetalle, sich mit dem Sauerstoff der Luft zu verbinden, in ihrer großen Wärmeleitfähigkeit, in ihrem niederen Schmelzpunkt, in dem hohen Schmelzpunkt der Oxyde, weiter bei man- chen dieser Metalle in der geringen Festig- keit bei bestimmten Temperaturen. Dann sind manche dieser Metalle in flüssigem Zustande sehr stark bereit, andere Stoffe zu zersetzen. So wird z. B. Wasser in seine Bestandteile zerlegt. Der Sauerstoff ver- bindet sich mit dem Metall, der Wasser- stoff bleibt in Form von Poren in der Schweißung. Schließlich ist zu erwähnen, daß Flußmittelreste mitunter zu Anfressungen und Ausblühungen Anlaß geben. Trotz aller dieser Schwierigkeiten hat sich die Lichtbogenschweißung von Leichtmetallen wegen ihrer besonderen Vorteile für manche Fälle gut durchgesetzt. Die Vorteile gegen die der Eigenart der Leichtmetalle eigent- lich besser angepaßten Gasschmelzschwei- ßung liegen vornehmlich in der geringen Wärmezone, wodurch Verziehungen weitgehendst unterbunden werden. Dieser Vor- teil macht sich vor allem bei der Wiederherstellung gebrochener Gußteile aus Leicht- metall-Legierungen bemerkbar. Die anderen Vorteile, die außerordentlich hohe Arbeitsgeschwindigkeit und gutes Verhalten gegen Anfressungen, weisen auf die Anwendung im Behälterbau hin.

b) Reinaluminium. Hier wird meist das Verfahren von Slavianoff (Metall- elektrode) angewendet. Die Elektroden sind stark umhüllt; es wird grundsätzlich nur mit Gleichstrom geschweißt, und zwar liegt die Elektrode immer am Pluspol. Da manche dieser Elektroden eine sehr stark wasseranziehende Umhüllung haben, müssen sie sorgfältig trocken gelagert werden. Elektrodendicke wähle man wesent- lich größer als bei der Stahlschweißung. Einen gewissen Anhalt liefert die oben- stehende Zahlentafel, jedoch ist hier auch wieder darauf hinzuweisen, daß die richtige Stromstärke nur durch Probieren gefunden werden kann. Die Leicht- metallschweißung ist in bezug auf die Wahl der Stromstärke viel empfindlicher als die Stahlschweißung. Es gehört eine ganz besondere Erfahrung dazu, um der Wandstärke und der Stückgröße entsprechend die richtige Elektrodendicke und Stromstärke zu bestimmen. Man bemühe sich, grundsätzlich mit Einlagenschweißung auszukommen. Spritzt die Elektrode beim Schweißen sehr stark, so ist sie ent- weder feucht (also unbrauchbar) oder sie liegt am Minuspol, ist also umzu-

Elektrodenstärke, Stromstärke in Abhängigkeit von Nahtstärke beim Aluminiumschweißen (vor Be- nutzung siehe untenstehende Aus- führungen).

Werkstoff- dicke mm	Elektroden- durchmesser mm	Strom- stärke A
2	3	80
3	4	120
4	5	160
5	6	210
6	7	260
7	8	310
8	10	360
10	10	380

klemmen. Bilden sich an der Elektrodenspitze große einzelne Tropfen, so ist wahrscheinlich die Stromstärke zu gering. Weiter achte man auf kurzen Lichtbogen; dann auch darauf, daß die Schweißstellen sauber sind, vor allem ist hier unbedingt Fett und Öl fernzuhalten. Bei ganz kurzen Nahtabschnitten ist ein

× 60

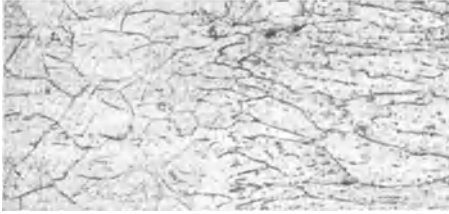


Abb. 134. Aluminiumschweißung; links Schweißbe, rechts Grundwerkstoff.

auch möglichst sauber sein. Arbeitet man ohne Schiene, so ist es schwierig, ein Durchsacken des Nachbarwerkstoffes zu vermeiden. Ein Senkrechtschweißen

× 60

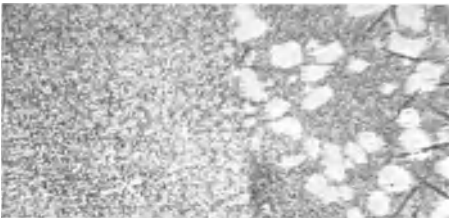


Abb. 135. Siluminschweißung; links Schweißbe, rechts Grundwerkstoff.

und sollen daher vermieden werden. Abb. 134 zeigt das Gefüge einer Lichtbogen-Aluminiumschweißung.

Verfahren von Bernardos (Kohlelichtbogen) ist möglich, bietet aber hier keine Vorteile und wird daher nicht angewendet.

× 50

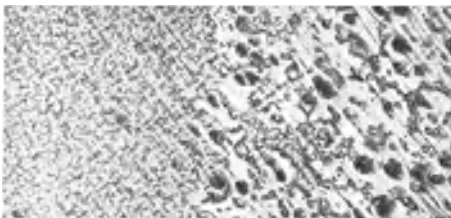


Abb. 136. Elektronschweißung; links Schweißbe, rechts Grundwerkstoff.

Elektrode wird wieder an den Pluspol gelegt. Die Teile sind schwach vorzuwärmen ($80 \dots 100^\circ$) (es genügt meist schon ein längeres Eintauchen in kochendes Wasser); dann ist möglichst schnell die Schweißung durchzuführen. Über Elektrodendicke und Stromstärke siehe oben bei Aluminiumschweißung. Auch die dort angegebene Tabelle (s. S. 53) kann hier ungefähr Anhalt bieten. Sauberkeit der Schweißstelle, sorgfältige Vorbereitung, großes Auskreuzen sind hier auch wieder

Vorwärmen der Naht zweckmäßig ($100 \dots 200^\circ$), wie überhaupt die Schweißung um so besser wird, je wärmer das Stück wird. Man darf das aber auch nicht übertreiben, sonst geht der Hauptvorteil, geringe Verwerfung, wieder verloren. Lange Nähte schweiße man nach sorgfältiger Heftung hintereinander möglichst schnell. Es ist zweckmäßig und erleichtert die Arbeit außerordentlich, wenn man der Naht eine Schiene unterlegt, doch muß diese Schiene

Nach dem Schweißen ist die Naht möglichst bald zu säubern. Im einfachsten Falle genügt Abwaschen, möglichst mit warmem oder heißem Wasser; für besonders wichtige Zwecke ist ein Abbeizen mit besonderer Flußmittelentfernungsbeize notwendig. Häufige Fehler bei der Aluminiumschweißung sind: seitliche Kerben oder auch nicht vollständiges Ausfüllen der V-Naht. Kehlnähte lassen sich schwieriger herstellen

c) Aluminiumlegierungen. Es kommen hauptsächlich Gußlegierungen zu Ausbesserungszwecken in Frage. Das Verfahren von Slavianoff (Metallelektrode) wird auch hier bevorzugt. Die Elektroden sind dem Grundwerkstoff angepaßt. Reinaluminiumelektroden lassen sich zwar auch verwenden, liefern aber schlechtere Ergebnisse. Die Umhüllungen sind ähnlich den Umhüllungen der Aluminiumelektrode.

notwendig; ebenso das Abwaschen nach Beendigung der Schweißung. Verfahren von Benardos (Kohlelichtbogen) ist auch wieder möglich, doch ergeben sich im Regelfalle keine Vorteile; es sei, daß eine besondere Legierung zu schweißen ist, für die keine Metallelektrode vorhanden ist. Hier wird dann die Kohle an den Minuspol angeschlossen, die Schweißstelle und der Zusatzstab aus dem gleichen Werkstoff werden mit einem geeigneten Flußmittel bestrichen. Welches Flußmittel hierfür geeignet ist, läßt sich allgemein nicht sagen. Man versuche zunächst dasjenige, mit dem man beim Gasschweißen die besten Erfahrungen gemacht hat. Abb.135 zeigt das Gefüge einer Siluminschweißung mit dem Metall-Lichtbogen. Man vergleiche das feine Gefüge (entstanden durch die scharfe Abschreckung des flüssigen Metalls) mit dem groben Gefüge des Grundwerkstoffes. Es ist schwer möglich, daß die Schweißstelle die gleiche Farbe hat wie der Grundwerkstoff.

d) Magnesiumlegierungen. Das Lichtbogenschweißen von solchen Legierungen befindet sich noch im Versuchsstadium, es kann daher nichts Näheres darüber mitgeteilt werden. Abb.136 zeigt das Gefüge einer Schweißung an Elektronfluß.

D. Überwachung der Arbeit.

Die Überwachung der Arbeit erstreckt sich darauf, daß alle Richtlinien, die gegeben sind, eingehalten werden. Es ist darauf zu sehen, daß die Abschrägungen und die Abstände eingehalten werden, daß die Naht entsprechend gesäubert wird, daß die vorgeschriebenen Elektrodensorten verwendet werden mit der der Stückerart angepaßten Stromstärke, daß gut durchgeschweißt wird. Von Zeit zu Zeit werden Stichproben genommen, wie sie z. B. in DIN 4100 § 9 vorgeschrieben sind. Dann erstreckt sich die Aufmerksamkeit darauf, daß an der richtigen Stelle in der vorgeschriebenen Dicke und Länge geschweißt ist. Zum Abmessen der Dicke von Kehlnähten gibt es heute verschiedene Meßwerkzeuge; am einfachsten sind Blechsablonen, die aus einzelnen Blechtäfelchen herausgearbeitet werden. Dann ist einzutragen, welcher Schweißer die betreffende Stelle geschweißt hat, oder ob der Schweißer seine Nummer eingeschlagen hat. Schließlich ist auch auf die Wirtschaftlichkeit zu achten, vor allem auf die zum Teil bedeutenden Verluste der Elektrodenenden. Es empfiehlt sich, jedem Schweißer hierfür Blechkästchen zu geben, in denen er seine Elektrodenreste zu sammeln hat. Man hat dadurch eine zwanglose Kontrolle, ob ein Schweißer etwa zu lange Elektrodenreste wegwirft; zugleich auch einen Feuerschutz. Denn wie leicht kann ein glühender Elektrodenrest in einen Haufen Putzwohle fallen und einen Brand entfachen! Schließlich sprechen hierfür noch ästhetische Gründe: die Arbeitsstelle gewinnt durch zahlreich herumliegende Elektrodenreste nicht an Schönheit, ganz abgesehen davon, daß sich der Schweißer durch Darauftreten das Schuhwerk zerstört.

E. Unfallverhütung¹.

1. Elektrischer Strom. Die Gefährlichkeit des elektrischen Stromes beruht darauf, daß schon sehr geringe Stromstärken, die am Herzen vorbeikommen, dort einen Krampf hervorrufen (Herzflimmern), wodurch zunächst der Scheintod, schließlich der Tod durch Ersticken eintritt. Wenn man an die Zusammenhänge zwischen Strom, Spannung, Widerstand denkt, kommt man zu der Frage, welche niedrigste Spannung bei dem zufälligen Zustand des kleinsten Widerstandes des menschlichen

¹ Das Reichs- und Preußische Arbeitsministerium läßt durch eine Kommission die mit Elektroschweißen zusammenhängenden Fragen prüfen. Für gesundheitliche Schädigungen ist *Regierungs- und Gewerbemedizinalrat* Dr. Holstein, Frankfurt (Oder), zuständig. Siehe auch: Das elektrische Lichtbogenschweißen, seine Gesundheitsgefahren und ihre Verhütung. Zbl. Gewerbehyg. Bd. 7 (1930) Heft 10.

Körpers einen Strom durch den Körper schicken kann, der solches Herzflimmern hervorruft. Es ist das zunächst von dem Widerstande an der Oberfläche, dann aber auch von dem Widerstande im Innern des Körpers und schließlich von dem Stromweg abhängig. Der elektrische Widerstand des Körpers ist an verschiedenen Stellen (besondere Gefahr, wenn man die Schweißzange unter den Arm klemmt!) und bei verschiedenen Zuständen sehr verschieden. Wenn der Körper durchschwitzt ist, wenn man feuchte Hände hat, wird der Übergangswiderstand wesentlich herabgesetzt. Hinzu kommt noch die persönliche Veranlagung jedes einzelnen und sein jeweiliger zufälliger Gesundheitszustand. Faßt man alle Umstände zusammen, so gilt allgemein, daß Spannungen über 42 V unter bestimmten Umständen solche hohe Ströme durch den Körper schicken können, daß das Herzflimmern eintritt. Ist der elektrische Widerstand höher, so tritt dieser Unglücksfall nicht ein. Da aber dieser Punkt natürlich in jedem Falle unsicher ist, so muß man bei allen Spannungen über 42 V besonders vorsichtig sein. Die meisten Schweißmaschinen haben Leerlaufspannungen über 42 V (die Lichtbogenspannung ist immer darunter, also ist sie ungefährlich), daher ist in dem Zeitpunkt des Leerlaufes die Gefahr am größten. (Also Vorsicht beim Zurechtmachen zum Schweißen, beim Elektrodenwechsel.) Nun ist allerdings in den meisten Fällen der Widerstand so hoch, daß die üblichen Leerlaufspannungen bis zu 80 V meistens ohne schädliche Folgen sind. In besonders gelagerten Fällen, z. B. Schweißen in engen Blechbehältern, vor allem dann, wenn man durchschwitzt ist, ist jedoch unbedingt allergrößte Vorsicht am Platze: Gute Lederhandschuhe tragen, ein Brett als Unterlage benutzen, so daß man nicht auf dem Blech sitzt oder steht, niemals beim Elektrodenwechsel die Handschuhe ausziehen (auch die Hand, die den Spiegel trägt, muß geschützt sein), nicht beim Hinein- oder Hinausklettern die Elektrozange unter den Arm klemmen. Die eigentliche Schwierigkeit des Schutzes liegt darin, daß durch die Gewohnheit und durch die Tatsache, daß meistens nichts geschieht, der Schweißer gegen die Gefahr abstumpft und zu überlegen verlernt, worin die Gefährlichkeit beruht. Es muß also von seiten der Betriebsleitung in Fällen, wie oben erwähnt, eine besondere Aufklärung und Überwachung einsetzen.

Eine weitere Gefahr liegt darin, daß der von der Netzanschlußseite her hochgespannte Strom in den Maschinenkörper und in den Schweißkreis eintreten könnte. Dieser Gefahr begegnet man dadurch, daß man die Maschinen sorgfältig nullt und erdet. (Ein Anschluß muß an den Nulleiter des Netzes gehen und ein Leiter an eine Erdleitung [Wasserleitung, Blitzableiter u. ä.] .)

Dann können noch Gefahren entstehen, wenn der Schweißer den Netzanschluß mit dem Schweißanschluß verwechselt. Damit das nicht möglich ist, wird man am besten den Netzanschluß plombieren, so daß Unberufene nicht ohne weiteres hinzukönnen.

Auch auf die mittelbare Gefahr des „elektrischen Schlages“ sei hingewiesen. Arbeitet der Schweißer auf hohen Gerüsten, so erschrickt er und stürzt herab. Daher bei Arbeiten an gefährlicher Stelle stets anseilen.

Bei Unglück sofort künstliche Atmung (nach Abschalten der Stromquelle) anwenden, erst dann Arzt oder sonstige Hilfe rufen und Apparat für künstliche Atmung herbeibringen.

2. Strahlung (siehe auch S. 21). Sie ist besonders gefährlich für das Auge, dann aber auch für alle unbedeckten Körperteile (Verbrennungerscheinungen wie beim Sonnenbrand). Augenverblitzungen machen sich bemerkbar durch starkes Tränen, wenn das Auge zur Ruhe kommen will (meist beim Schlafen), bei stärkeren Schädigungen im Verschwellen der Augen. Der Arzt träufelt Kokaintropfen in die Augen, wodurch die Schmerzen sofort nachlassen; auch kühlende Umschläge

haben sich bewährt. Aber selbst wenn man nichts unternimmt, geht die Entzündung nach einiger Zeit im allgemeinen ohne nachteilige Folgen wieder zurück. Sonstige Schäden des menschlichen Körpers durch Strahlungen beim Schweißen sind bis heute trotz mancherlei gegenteiliger Gerüchte noch nicht nachgewiesen worden.

3. Wärme. Verbrennung der Glieder durch Eisenspritzer; leichte Entzündungsmöglichkeit von Zelluloidgegenständen (Kragen, Manschetten, Schnallen, Knöpfen, Brillenfassungen).

4. Mechanische Gefahren. Splitterverletzungen am Körper, besonders wieder an den Augen. Die Splitter treten besonders beim Abklopfen der Schlacke auf. Daher dabei nach Möglichkeit Schutzbrillen tragen. Sofort ärztliche Hilfe in Anspruch nehmen, da diese Splitter schwer zu entfernen sind. Versuche, sie von Arbeitskameraden oder auch vom Sanitätspersonal entfernen zu lassen, sind abzulehnen.

5. Vergiftung. Beim Schweißen an Teilen, die wegen Rostgefahr schon mit Bleimennige gestrichen sind, entstehen Bleidämpfe, die sehr giftig sind. Also Schweißstelle freihalten von Bleimennige. Treten Bleidämpfe auf, besondere Maske verwenden.

Auch die Dämpfe, die durch das Verbrennen der Umhüllmassen entstehen, können in engen Räumen schädlich werden. Daher Schweißraum gut lüften; am besten ist es, die entstehenden Dämpfe abzusaugen.

Beim Schweißen von Messing entstehen Zinkdämpfe, die Fieber verursachen können.

V. Prüfungen von Schweißverbindungen¹.

Man teilt die Prüfverfahren ein in solche, bei denen bei der Prüfung die Naht zerstört wird; in solche, bei denen die Naht geschwächt wird; in solche, bei denen jegliche Zerstörung oder Schwächung unterbleibt. Weiter kann man sie einteilen in Fehlersuchverfahren und Fehlerdeutverfahren.

A. Prüfungen mit Zerstörung der Naht.

1. Zugfestigkeit. Prüfung nach der Art des Stückes verschieden. Stumpfprobe: Man schweißt zwei Blechplatten zusammen und schneidet dann aus dem Blech rechtwinklig zur Naht Streifen heraus. Den Anfang der Naht und das Ende läßt man meist unberücksichtigt. Eine Prüfung ohne jede Bearbeitung der Naht hat den Vorteil, daß man die Naht so prüft, wie sie in Wirklichkeit beansprucht wird. Meist reißt aber dann der Stab außerhalb der Schweißung, man hat dann entweder die Festigkeit der Nahtübergangzone festgestellt oder die Festigkeit des Grundwerkstoffes. Aber auch wenn man die Naht allseitig bearbeitet, so daß sie mit bloßem Auge nicht mehr zu sehen ist, entstehen bei guten Schweißungen keine anderen Ergebnisse. Der Grund liegt in folgendem: Durch die Reckung des Werkstoffes wird der Stab dünner; er schnürt sich an der Stelle ein, wo er am weichsten ist; das ist aber nicht die Schweißstelle. Die Folge hiervon ist wieder, daß der Schweißquerschnitt stärker ist als der übrige, so daß der Bruch wieder außerhalb eintritt. Will man den Bruch in der Schweißung erzwingen, so muß man die Schweißstelle durch Bohrung oder Einfeilen in die Flanken verschwächen; jetzt erst erhält man die Festigkeit der Schweißung.

Die Kreuzprobe (siehe auch Abb. 137...139) ist ein beliebtes Mittel geworden, die *Tüchtigkeit* des Schweißers zu prüfen. Beim Schweißen der Nähte muß man

¹ Siehe auch Heft 34: Werkstoffprüfung (Metalle).

darauf achten, daß das Stück für die waagerechte Schweißung in der vorgeschriebenen Lage nach Abb. 137 liegt. Früher war die Lage nach Abb. 138 vorgeschrieben, die schwieriger ist und schlechtere Ergebnisse liefert. Man muß darauf achten, daß ungleichschenklige Schweißungen wie in Abb. 137 zurückgewiesen werden, da dadurch die Ergebnisse zahlenmäßig verbessert werden. Vorgeschrieben ist eine genau gleichschenklige Ausbildung der Naht. Ausgemessen wird am einfachsten mit einer Schublehre laut Beispiel Nr. 19 und Abb. 139.

Beispiel 19. Es ist gemessen worden: $a_1 = 28,9$ mm; $a_2 = 28,1$ mm; $a_3 = 29,2$ mm; $a_4 = 28,3$ mm. $l = 33$ mm; $t = 12$ mm; $P = 11,0 t$.

Gesucht ist die Bruchspannung ρ (kg/mm²),

$$a' = \frac{a_1 + a_2 + a_3 + a_4}{4} = \frac{28,9 + 28,1 + 29,2 + 28,3}{4} = 28,7 \text{ mm}$$

$$a_0 = 1,41 \cdot t = 12 \cdot 1,41 = 16,9 \text{ mm}$$

$$a = a' - a_0 = 28,7 - 16,9 = 11,8 \text{ mm}$$

$$\rho = \frac{P}{a \cdot l} = \frac{11\,000}{11,8 \cdot 33} = 28,4 \text{ kg/mm}^2.$$

Will man den unregelmäßigen Nahtquerschnitt erfassen, so drückt man die 4 Nähte in Plastilin ab, hebt dann vorsichtig die Abdrücke ab und zerteilt sie an der 45°-Linie mit einem Rasiermesser. Die Schnittfläche kann mit Farbe eingerieben und abgedrückt werden. Zieht man die Ergänzungsgerade, so kann der freibleibende Querschnitt genau ausplanimetriert werden.

Abgesehen davon, daß das Verfahren zu umständlich ist, ist es deshalb abzulehnen, weil zu günstige Ergebnisse herauskommen; der Schweißer hätte an einer glatten Raupe, die doch aber für das Schweißen wichtig ist, kein Interesse mehr. Prüft man an gedoppelten Blechen, so kann vorzeitiger Bruch nach

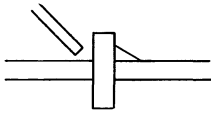


Abb. 137.

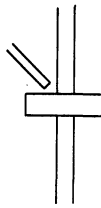


Abb. 138.

Abb. 137...138. Schweißerprüfung.

Abb. 99 eintreten, woran dann aber der Schweißer keine Schuld hat (siehe auch S. 46).

2. Dehnung. Man unterscheidet „elastische Dehnung“ und „Bruchdehnung.“ In dem hier vorliegenden Zusammenhang wird meist die Bruchdehnung gemeint. Die Bruchdehnungszahl hängt von der Länge, die dem Versuch zugrunde gelegen hat. Daher sagen Dehnungszahlen ohne Angabe der Bezugslänge nichts. Der einfache Versuch, wie er vorher für

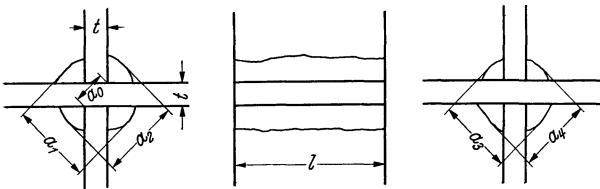


Abb. 139. Ausmessen von Kreuzprüfungsstücken.

den Zugversuch beschrieben

ist, ist zur Ermittlung der Dehnung ungeeignet, da Schweiße, Übergang und Grundwerkstoffe in ihren Dehnungszahlen bestimmt verschieden sind, man aber hier einen unkontrollierbaren Durchschnittswert erhält. Mißt man die Dehnung nur auf der Länge = Breite der Schweißung, so erhält man sehr kurze Versuchslängen und dadurch, abgesehen von der hierdurch bedingten Ungenauigkeit der Messung, verhältnismäßig hohe Dehnungszahlen.

Der theoretisch richtigste Weg ist der, daß man sich einen Stab aus reinem, niedergeschmolzenem Schweißgut herstellt und den nach den üblichen Regeln

prüft. Das hat aber den Nachteil, daß man wieder nicht die für das Schweißen wichtige Übergangszone miterfaßt.

3. Biegeprobe (Faltversuch). Die allgemeine Gültigkeit des Faltversuches ist stark umstritten. Fest steht aber, daß man Ergebnisse nur miteinander vergleichen kann, wenn man Werkstoff und Dicke, Rollendurchmesser und Stempelstärke und Entfernung der Rollen unverändert läßt. Als einfaches Prüfmittel ist das Verfahren nicht zu unterschätzen.

In diesem Zusammenhange spricht man auch von der Biegedehnung, die dadurch gemessen wird, daß man auf der Zugseite der Probe, von der Mitte der Schweißung ausgehend, sich Marken macht und daran die Dehnung mißt. Wegen schwieriger Messung schleichen sich hier bei nicht sehr sorgfältiger Ausführung des Versuches leicht Fehler ein.

4. Die anderen Prüfungen. Bei Ermittlung der Härte, der Kerbzähigkeit, der Dauerfestigkeit ergeben sich keine Besonderheiten, so daß auf die Behandlung dieser Punkte nicht eingegangen werden soll (siehe auch S. 25).

5. Werkstattmäßige Prüfungen. Diese zeichnen sich durch Einfachheit der Durchführung aus; haben allerdings den Nachteil, daß zahlenmäßige Bewertungen, die Vergleiche erlauben, kaum gegeben werden können. Für den Fachmann hat das aber nicht viel zu besagen, da er sich meist durch das Verhalten der Probe ein Bild über die Güte der Schweißung machen kann.

Hierzu gehören: Winkel- oder auch Kehlnahtschweißung, die — sofort durchgeschlagen — zeigt, ob genügender Einbrand, ob Poren vorhanden sind.

Schmiedeprobe: Eine Stumpfnahht wird soweit ausgeschmiedet, bis der neue Querschnitt nur etwa die Hälfte des alten ist. Dann schließt man eine Verdrehungsprüfung an. Meißelprobe: Man versucht, die aufgeschweißte Raupe vom Grundwerkstoff zu trennen.

6. Verschiedenes. Als letzte Gruppe seien alle die Verfahren genannt, bei denen ein Stück als Probestück bis zum Bruch belastet wird. Hierzu gehört die Anfertigung eines kleinen Modellkessels oder einer Modelleckverbindung für den Stahlhochbau. Bei Massenanfertigung wird man eine bestimmte Stückzahl einer Prüfung bis zum Bruch unterwerfen. Alle diese Verfahren haben zunächst den Nachteil des meist sehr hohen Kostenaufwandes und ferner vor allem den, daß sie eine Stichprobenprüfung darstellen. Die geprüften Stücke brauchen in ihrer Eigenschaft nicht ohne weiteres mit der Güte der anderen Stücke übereinzustimmen. Immerhin wird diese Prüfung ihre Gültigkeit für manche Fälle nie verlieren.

B. Prüfung mit Verschwächung der Naht.

Das Verfahren kann so durchgeführt werden, daß man Teile der Naht willkürlich oder in Verbindung mit einem später genannten Verfahren ausschneidet und diese dann prüft. Die Naht muß dann irgendwie wieder ergänzt werden. Ebenso kann man die Naht zum Teil anfräsen oder anbohren und kann gegebenenfalls durch Ätzmittel sich deutlich über den Zustand der Naht klar werden. Nachteilig ist vor allem die Unsicherheit, ob man gerade eine „interessante“ Stelle erwischt hat, und dann das Nachschweißen, bei dem man nie weiß, ob jetzt ein Fehler, der etwa vorher drin war, wirklich vermieden ist. Daher scheidet das Verfahren für Dichtigkeitsschweißungen aus und wird allenfalls für Stahlhochbau oder auch für Beurteilungen an Schülerarbeiten in Frage kommen.

C. Zerstörungsfreie Prüfverfahren.

1. Aussehen der Naht. Es wird nie ein völlig klares Bild über die Schweißung geben, immerhin sollte nie die Beurteilung nach dem Äußeren einer Naht fehlen.

2. Akustische Verfahren. Es soll beurteilt werden, ob die Schweißnaht die gleiche Schall-Leitfähigkeit hat wie der Grundwerkstoff. Schlacken, ungebundene Stellen setzen die Leitfähigkeit herab. Das Verfahren dürfte für die Praxis unzureichend sein.

3. Magnetische Verfahren. Über der Schweißnaht wird ein Papier angebracht, unter der Naht ein starker Elektromagnet. Das Papier wird möglichst dünn und gleichmäßig mit möglichst dünnen Feilspänen bestreut. Ungebundene Stellen machen sich dadurch bemerkbar, daß die magnetischen Kraftlinien in die Luft



Abb. 140. Röntgenbild (Positiv) einer guten Schweißung.

wieder Elektromagnete oder eine Durchflutung des Teiles mit elektrischem Strom. Die Ergebnisse sind sehr Erfolg versprechend (Magnetpulververfahren).

4. Elektromagnetisch-akustisches Verfahren. Die Unregelmäßigkeiten des Kraftflusses bei einer schlechten Schweißung können durch Zwischenschaltung elektrophysikalischer Verfahren hörbar gemacht werden. Die Geräte zeigen noch einzelne Fehler, können aber in Zukunft brauchbare Ergebnisse liefern.

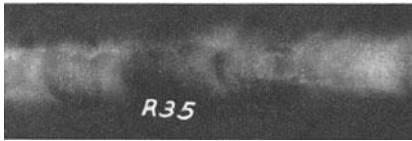


Abb. 141. Röntgenbild (Positiv) einer schlechten Schweißung.

5. Röntgenprüfungen. Sie gehen durch Schlacken leichter hindurch als durch Eisen, daher machen sich Schlackeneinschlüsse in einem untergelegten Film bemerkbar. Fehlstellen zeichnen sich im Negativ schwarz, im Positiv weiß ab (Abb. 140, 141). Die Röntgentechnik ist in letzter Zeit zu einem sehr brauchbaren Verfahren entwickelt worden. Nachteilig sind der hohe Anschaffungspreis der Geräte und gewisse Umständlichkeiten bei der Prüfung. Daß auch hier wieder besondere Erfahrung notwendig ist, wenn man die Fehler deuten will, sei erwähnt. Die beste Brauchbarkeit scheint gegeben zu sein im Kesselbau und auch im Brückenbau, wo viele Stumpfnähte vorkommen. Die Strahlen, die Radiumpräparate aussenden, können ebenfalls zur Prüfung in ähnlicher Weise benutzt werden. Nachteilig ist hier die längere Belichtungsdauer und die geringere Fehler-Erkennbarkeit.

VI. Amtliche Bestimmungen.

A. DIN-Blätter.

Es gibt heute schon so viele DIN-Blätter über Schweißen, daß es den Rahmen des vorliegenden Heftes überschreiten würde, wenn man alle Vorschriften abdrucken wollte. Daher soll nur ein Verzeichnis gegeben werden über alle DIN-Blätter, die unmittelbar oder mittelbar vom Schweißen handeln. Die Titel sind auch nur abgekürzt wiedergegeben.

477 Gasflaschenventile.
1050 Berechnungsgrundlagen für Stahl im Hochbau.
1628 Geschweißte Stahlrohre.

1707 Weichlote.
1710 Silberlote.
1711 Messinglote.
1901 Schläuche für Schweißbrenner.

1902 Feste Schlauchtüllen.	2470 Geschweißte Gasrohrleitungen.
1903 Lösbare Schlauchtüllen.	4100 Geschweißte Stahlhochbauten.
1904 Schweißbrenner.	4101 Geschweißte Brücken.
1905 Schneidbrenner.	4647 Strahlenschutz.
1906 Gas-Druckminderer.	4652 Schutzbrillen.
1907 Manometer.	4653 Schutzschilde.
1908 Lösbare Schlauchtüllen.	4664 Stahlflaschen für verdichtete Gase.
1909 Anschlußbügel zwischen Druckminderer und Azetylenflasche.	4666 Stahlflaschen für Azetylen.
1910 Begriffe Schweißen.	4667 Schutzkappen für Stahlflaschen.
1911 Zeichen für Preßschweißen.	4668 Halsringe für Stahlflaschen.
1912 Zeichen für Schmelzschweißen.	4669 Füße für Stahlflaschen.
1913 Schweißdraht.	4671 Kennzeichnung der Stahlflaschen.
1914 Röntgenprüfung von Schweißverbindungen.	4672 Gasflaschen-Ventile.
2403 Kennfarbe für Rohrleitungen.	4801 Geschweißte Warmwasserbereiter.
	4802 Geschweißte Warmwasserbereiter.
	4803 Geschweißte Warmwasserbereiter.

B. Sonstige Vorschriften.

1. Deutsche Reichsbahn-Gesellschaft: Vorschriften über das Schweißen von Brücken.
2. Deutsche Reichsbahn-Gesellschaft: Vorläufige Vorschriften für geschweißte Fahrzeuge.
3. Deutsche Reichsbahn-Gesellschaft: Lieferbedingungen für Schweißdraht.
4. Germanischer Lloyd: Elektrische Schweißung von Schiffen.
5. Verband Deutscher Elektrotechniker: Vorschriften über geschweißte Gittermaste.
6. Azetylenverordnung: Kommentar Prof. Vogel und Ministerialrat Rühl. Verlag Marhold, Halle.
7. Verschiedene Vorschriften der Dampfkessel-Überwachungs-Vereine, die verstreut in den allgemeinen Bauvorschriften enthalten sind. S. auch „Neue Vorschriften für geschweißte Dampfkessel“ Z. VDI. Bd. 80 Nr. 40 vom 3. 10. 36. S. 1215.
8. Verschiedene Vorschriften des DVL, die verstreut in den allgemeinen Bauvorschriften enthalten sind.
9. Vorschriften über geschweißte Stahlbauten in außerdeutschen Ländern (ähnlich der DIN 4100) in: Österreich, England, Australien, Ungarn, Polen, Tschechoslowakei, Belgien, Italien, Schweiz.
10. Ergänzungen des Lesers:

Praktisches Handbuch der gesamten Schweißtechnik. Von Prof. Dr.-Ing. P. Schimpke, Chemnitz, und Obering. Hans A. Horn, Berlin.

Erster Band: Gasschmelzschweiß- und Schneidtechnik. Zweite, verbesserte und vermehrte Auflage. Mit 229 Textabbildungen und 14 Zahlentafeln. VII, 222 Seiten. 1928. Gebunden RM 10.80

Darstellung der Gasschmelzschweißung, ihrer Geräte, deren Arbeitsweise und Behandlung. Die Technik des Schweißens mit grundlegenden Beispielen. Autogenes Schneiden.

Zweiter Band: Elektrische Schweißtechnik. Zweite, neubearbeitete und vermehrte Auflage. Mit 375 Textabbildungen und 27 Tabellen. VIII, 274 Seiten. 1935. Gebunden RM 15.—

Die Widerstandsschweißverfahren. Die Lichtbogenschweißung. Die gas-elektrischen Schweißverfahren. Die Schweißung durch Elektrolyse. Elektrisches Löten. Das elektrische Schneiden. Die Güte der Schweißnaht und ihre Prüfung. Leistungen und Kosten der elektrischen Schweißverfahren. Förderung des elektrischen Schweißens.

Elektrische Widerstand-Schweißung und -Erwärmung. Von Dipl. Ing. A. J. Neumann, Oberingenieur. Mit einem Geleitwort von Prof. Dr.-Ing. A. Hilpert, Berlin. Mit 250 Textabbildungen. VIII, 193 Seiten. 1927. Gebunden RM 15.75

Die Schweißung des Kupfers und seiner Legierungen Messing und Bronze. Von Oberingenieur Hans A. Horn, Berlin. Mit 102 Textabbildungen. IV, 102 Seiten. 1928. RM 4.32

Die Blechabwicklungen. Eine Sammlung praktischer Verfahren, zusammengestellt von Ing. Johann Juschke. Neunte, ergänzte und verbesserte Auflage. Mit 318 Abbildungen im Text und auf einer Tafel. IV, 98 Seiten. 1936. RM 3.20

Elektro-Werkzeuge, Kleinwerkzeugmaschinen mit Einbaumotor und biegsame Wellen. Von Dr.-Ing. Hans Fein, Stuttgart. Mit 164 Textabbildungen. V, 112 Seiten. 1929. RM 6.21

Das autogene Schweißen und Schneiden mit Sauerstoff. Handbuch zum Studium, zur Einrichtung und zum Betriebe von Sauerstoff-Metallbearbeitungsanlagen. Von Ingenieur Felix Kagerer. Dritte, verbesserte und erweiterte Auflage. (Technische Praxis, Bd. I.) Mit 127 Abbildungen und 15 Tabellen. 278 Seiten. 1923. Gebunden RM 3.—

Stock-Fräser-Handbuch. Bearbeitet im Versuchsfeld der R. Stock & Co. A.-G., Berlin-Marienfelde. Mit 181 Abbildungen und zahlreichen Normen- und Zahlentafeln im Text. 204 Seiten. 1933. Gebunden RM 4.50

Pfauter-Wälzfräsen. Des Ingenieurs Taschenbuch für die Wälzfräserei mit Pfauter-Fräserkatalog. Mit Normenblättern, Zahlentafeln und 257 Bildern. 288 Seiten. 1933. RM 4.50; gebunden RM 5.—

Handbuch der Ziehtechnik. Planung und Ausführung. Werkstoffe, Werkzeuge und Maschinen. Von Dr.-Ing. Walter Sellin. Mit 371 Textabbildungen. XII, 360 Seiten. 1931. Gebunden RM 28.80

Die moderne Stanzerei. Ein Buch für die Praxis mit Aufgaben und Lösungen. Von Ing. Eugen Kaczmarek. Dritte, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 186 Textabbildungen. VIII, 209 Seiten. 1929. RM 11.70; gebunden RM 12.96

Automaten. Die konstruktive Durchbildung, die Werkzeuge, die Arbeitsweise und der Betrieb der selbsttätigen Drehbänke. Ein Lehr- und Nachschlagebuch. Von Oberingenieur Ph. Kelle, Berlin. Zweite, umgearbeitete und vermehrte Auflage. Mit 823 Figuren im Text und auf 11 Tafeln, sowie 37 Arbeitsplänen und 8 Leistungstabellen. XI, 466 Seiten. 1927. Gebunden RM 23.40

Die Dreherei und ihre Werkzeuge. Handbuch für Werkstatt, Büro und Schule. Von Betr.-Direktor Willy Hippler. Dritte, umgearbeitete und erweiterte Auflage. Erster Teil: Wirtschaftliche Ausnutzung der Drehbank. Mit 136 Abbildungen im Text und auf zwei Tafeln. VII, 259 Seiten. 1923. Gebunden RM 12.15

Werkzeuge und Einrichtung der selbsttätigen Drehbänke. Von Oberingenieur Ph. Kelle, Berlin. Mit 348 Textabbildungen, 19 Arbeitsplänen und 8 Leistungstabellen. V, 154 Seiten. 1929. RM 13.50; gebunden RM 14.85

Grundzüge der Zerspanungslehre. Eine Einführung in die Theorie der spanabhebenden Formung und ihre Anwendung in der Praxis. Von Dr.-Ing. Max Kronenberg, Beratender Ingenieur. Berlin. Mit 170 Abbildungen im Text und einer Übersichtstafel. XIV, 264 Seiten. 1927. Gebunden RM 20.25

Z u b e z i e h e n d u r c h j e d e B u c h h a n d l u n g

WERKSTATTBÜCHER

FÜR BETRIEBSBEAMTE, KONSTRUKTEURE U. FACHARBEITER

Bisher sind erschienen (Fortsetzung):

- Heft 32: Die Brennstoffe.
Von Prof. Dr. techn. Erdmann Kothny.
- Heft 33: Der Vorrichtungsbau.
1. Teil: Einteilung, Einzelheiten und konstruktive Grundsätze. 2. Aufl. (8.—14. Tausend.)
Von Fritz Grünhagen.
- Heft 34: Werkstoffprüfung. (Metalle). 2. Aufl.
Von Prof. Dr.-Ing. P. Riebensahm.
- Heft 35: Der Vorrichtungsbau. 2. Teil: Typische Einzelvorrichtungen. Bearbeitungsbeispiele mit Reihen planmäßig konstruierter Vorrichtungen. Kritische Vergleiche. 2. Aufl. (8.—14. Tausend.)
Von Fritz Grünhagen.
- Heft 36: Das Einrichten von Halbautomaten.
Von J. van Himbergen, A. Bleckmann, A. Waßmuth.
- Heft 37: Modell- und Modellplattenherstellung für die Maschinenformerei.
Von Fr. und Fe. Brobeck.
- Heft 38: Das Vorzeichnen im Kessel- und Apparatebau.
Von Ing. Arno Dorl.
- Heft 39: Die Herstellung roher Schrauben.
1. Teil: Anstauchen der Köpfe.
Von Ing. Jos. Berger.
- Heft 40: Das Sägen der Metalle.
Von Dipl.-Ing. H. Hollaender.
- Heft 41: Das Pressen der Metalle (Nichteisenmetalle).
Von Dr.-Ing. A. Peter.
- Heft 42: Der Vorrichtungsbau. 3. Teil: Wirtschaftliche Herstellung und Ausnutzung der Vorrichtungen.
Von Fritz Grünhagen.
- Heft 43: Das Lichtbogenschweißen. 2. Aufl. (7.—12. Tausend.)
Von Dipl.-Ing. Ernst Kloss.
- Heft 44: Stanztechnik. 1. Teil: Schnitttechnik.
Von Dipl.-Ing. Erich Krabbe.
- Heft 45: Nichteisenmetalle. 1. Teil: Kupfer, Messing, Bronze, Rotguß.
Von Dr.-Ing. R. Hinzmann.
- Heft 46: Feilen.
Von Dr.-Ing. Bertold Buxbaum.
- Heft 47: Zahnräder.
1. Teil: Aufzeichnen und Berechnen.
Von Dr.-Ing. Georg Karrass.
- Heft 48: Öl im Betrieb.
Von Dr.-Ing. Karl Krekeler.
- Heft 49: Farbspritzen.
Von Obering. Rud. Klose.
- Heft 50: Die Werkzeugstähle.
Von Ing.-Chem. Hugo Herbers.
- Heft 51: Spannen im Maschinenbau.
Von Ing. A. Klautke.
- Heft 52: Technisches Rechnen.
Von Dr. phil. V. Happach.
- Heft 53: Nichteisenmetalle. 2. Teil: Leichtmetalle.
Von Dr.-Ing. R. Hinzmann.
- Heft 54: Der Elektromotor für die Werkzeugmaschine.
Von Dipl.-Ing. Otto Weidling.
- Heft 55: Die Getriebe der Werkzeugmaschinen. 1. Teil: Aufbau der Getriebe für Drehbewegungen.
Von Dipl.-Ing. Hans Rögnitz.
- Heft 56: Freiformschmiede.
3. Teil: Einrichtung und Werkzeuge der Schmiede. 2. Aufl. (7.—12. Tausend.)
Von H. Stodt.
- Heft 57: Stanztechnik.
2. Teil: Die Bauteile des Schnittes.
Von Dipl.-Ing. Erich Krabbe.
- Heft 58: Gesenkschmiede. 2. Teil: Einrichtung und Betrieb der Gesenkschmieden.
Von Ing. H. Kaessberg.
- Heft 59: Erscheint später.
- Heft 60: Stanztechnik. 4. Teil: Formstanzen.
Von Dr.-Ing. Walter Sellin.
- Heft 61: Die Zerspanbarkeit der Werkstoffe.
Von Dr.-Ing. habil. K. Krekeler VDI.

In Vorbereitung bzw. unter der Presse befinden sich:

- Hartmetalle in der Werkstatt. Von Ing. F. W. Leier.
- Messen und Tolerieren von Gewinden. Von Ing. Karl Kress.
- Stanztechnik III. Von Dipl.-Ing. E. Krabbe.
- Gesenkschmiede III. Von Ing. H. Kaessberg.
- Grundzüge der Metallographie. Von Dr.-Ing. O. Mies.
- Baustähle. Von Dr.-Ing. K. Krekeler.
- Elektromotoren für Werkzeugmaschinen II. Von Ing. K. Maecker.