

WERKSTATTBÜCHER

HERAUSGEBER H. HAAKE

HEFT 43

E. KLOSSE

**LICHTBOGEN-
SCHWEISSEN**

DRITTE AUFLAGE



SPRINGER-VERLAG BERLIN HEIDELBERG GMBH

WERKSTATTBÜCHER
FÜR BETRIEBSBEAMTE, KONSTRUKTEURE UND FACH-
ARBEITER. HERAUSGEBER DR.-ING. H. HAAKE VDI

HEFT 43

Das Lichtbogenschweißen

Von

Dr.-Ing. Ernst Klosse VDI

Professor, Köthen (Anh.)

Dritte, neubearbeitete Auflage
(13.—18. Tausend)

Mit 178 Abbildungen im Text



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH 1942

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Vorwort	3
I. Grundlagen und Grundbegriffe	3
A. Die mit dem Lichtbogen zu schweißenden Werkstoffe	3
1. Der Begriff des Schweißens S. 3. — 2. Das technische Eisen S. 3. — 3. Die Nichteisenmetalle S. 5.	
B. Stahlsorten und ihre Schweißbarkeit	5
4. Allgemeine Begriffe S. 5. — 5. Einflüsse der Eisenbegleiter S. 6. — 6. Stahlsorten S. 7.	
C. Elektrotechnische Grundlagen	7
7. Grundbegriffe S. 7. — 8. Die elektrischen Schmelzschweißverfahren S. 8. — 9. Die Preßschweißverfahren S. 11. — 10. Der elektrische Lichtbogen S. 12. — 11. Werkstoffübergang im Lichtbogen S. 13. — 12. Blaswirkung S. 13.	
II. Schweißzubehör	14
A. Stromquelle	14
13. Allgemeines S. 14. — 14. Schweißmaschinen S. 17. — 15. Antrieb der Schweißmaschinen S. 18. — 16. Beurteilung der Stromquelle S. 19. — 17. Behandlung der Schweißmaschinen S. 20. — 18. Anschluß der Schweißmaschinen S. 21.	
B. Elektroden	21
19. Allgemeines S. 21. — 20. Einteilung der Elektroden nach dem Äußeren S. 22. — 21. Einteilung der Elektroden nach der Arbeit S. 23. — 22. Einteilung der Elektroden nach dem Werkstoff S. 23. — 23. Schweißdrahtlieferbedingungen S. 24. — 24. Beurteilung der Elektroden S. 24.	
C. Verschiedenes	25
25. Elektrodenhalter S. 25. — 26. Schweißkabel S. 25. — 27. Verschiedenes Werkzeug S. 25. — 28. Schutz des Schweißers S. 25. — 29. Schweißwerkstatt S. 26.	
III. Der geschweißte Bauteil	27
A. Die Schweißnaht	27
30. Das Gefüge von Schweißungen S. 27. — 31. Einflüsse auf die Schweißnaht S. 29. — 32. Mechanische Eigenschaften der Schweißnaht S. 30.	
B. Entwurf des Schweißwerkteiles	31
33. Arten der Schweißnähte S. 31. — 34. Beurteilung der Nahtarten S. 32. — 35. Zeichen der Schweißnähte S. 33. — 36. Abmessungen der Schweißnähte S. 33. — 37. Eintragung der Schweißzeichen S. 33 — 38. Regeln für den Schweißkonstrukteur S. 34.	
C. Festigkeitsberechnung der Naht	39
39. Allgemeines S. 39. — 40. Grundlagen der statischen Festigkeitsberechnung von Schweißnähten S. 39. — 41. Grundlagen der dynamischen Festigkeitsberechnung von Schweißnähten S. 40.	
D. Kostenberechnung der Naht	42
42. Allgemeine Grundlagen S. 42.	
IV. Schweißarbeit	43
A. Vorbereitung der Schweißarbeit	43
43. Die Schweißnaht S. 43. — 44. Die Konstruktion S. 44.	
B. Durchführung der Schweißarbeit	44
45. Allgemeines S. 44. — 46. Stahlverbindungsschweißungen S. 48. — 47. Stahlauftragsschweißungen S. 52. — 48. Legierte Stähle S. 54. — 49. Plattierte Bleche S. 54. — 50. Unterwasserschweißen S. 54. — 51. Schweißen von Kupfer und seinen Legierungen S. 55. — 52. Gußeisenschweißung S. 56. — 53. Stahlguß S. 57. — 54. Temperguß S. 58. — 55. Leichtmetalle und ihre Legierungen S. 58. — 56. Überwachung der Arbeit S. 60.	
C. Unfallverhütung	61
57. Elektrischer Strom S. 61. — 58. Strahlung S. 62. — 59. Wärme S. 62. — 60. Mechanische Gefahren S. 62. — 61. Vergiftung S. 62.	
V. Prüfungen von Schweißverbindungen	62
A. Prüfungen mit Zerstörung der Naht	63
62. Zugfestigkeit S. 63. — 63. Dehnung S. 64. — 64. Prüfung der Verformungsfähigkeit S. 64. — 65. Härteprüfungen S. 64. — 66. Prüfungen der Kerbzähigkeit S. 64. — 67. Prüfungen der Dauerfestigkeit S. 64. — 68. Werkstattmäßige Prüfungen S. 65. — 69. Verschiedenes S. 65.	
B. Prüfung mit Verschwächung der Naht	65
C. Zerstörungsfreie Prüfverfahren	65
70. Aussehen der Naht S. 65. — 71. Röntgenprüfungen S. 65. — 72. Magnetische Prüfungen S. 65.	
VI. Amtliche Bestimmungen	66
73. DIN-Blätter S. 66. — 74. Sonstige Vorschriften S. 66.	

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

Vorwort.

Die dritte Auflage¹ lehnt sich im wesentlichen an die vorhergehende an. Es waren nur verschiedene Erweiterungen notwendig, die dem Fortschreiten der Technik entsprechen oder für die ein Bedürfnis bestand, weil diese Abschnitte vorher zu kurz behandelt waren. Da aber der äußere Umfang des Buches gegeben ist, konnten die Erweiterungen nur durch Kleindruck der Abschnitte, die sich vornehmlich an einen bestimmten Leserkreis — den Schweißingenieur — wenden, untergebracht werden. So wurde zugleich die Übersichtlichkeit der ganzen Anordnung erhöht.

Die in der zweiten Auflage eingestreuten Rechenbeispiele haben wesentliche Beachtung gefunden; es wurden Wünsche geäußert, sie zu erweitern, was aber wegen Platzmangel nicht möglich ist. Deshalb wird geplant, solche Rechenbeispiele demnächst in einem gesonderten Heft „Schweißtechnische Berechnungen“ herauszubringen, das dann Berechnungen umfaßt, die mit dem gesamten Gebiet der Schweißtechnik (Gas- und Lichtbogenschweißen) zusammenhängen².

Die dritte Auflage erscheint während des Schicksalskampfes des deutschen Volkes. Möge dies als ein Zeichen des ungebrochenen deutschen Lebenswillens und der deutschen Siegeszuversicht aufgefaßt werden.

I. Grundlagen und Grundbegriffe.

A. Die mit dem Lichtbogen zu schweißenden Werkstoffe.

1. Der Begriff des Schweißens. 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. 1. Im vorliegenden Heft sollen die elektrischen Preßschweißverfahren nur gestreift, die übrigen gar nicht, das Lichtbogenschweißen ausführlich behandelt werden.

2. 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 Teiles des Kohlenstoffes in schmiebares Eisen verwandelt wird (Bessemer-, Thomas- oder Siemens-Martin-Verfahren). Das Erzeugnis wird in Blöcke ge-

¹ Die 1. Auflage ist 1931 erschienen, die zweite 1936.

² Mit den verschiedenen Gebieten der Schweißtechnik befassen sich noch folgende Werkstattbücher:

Heft 13: Die neueren Schweißverfahren mit besonderer Berücksichtigung der Gasschweißtechnik.

„ 73: Das Widerstandsschweißen.

„ 74: Praktische Regeln für den Elektroschweißer.

„ 85: Das Schweißen der Leichtmetalle.

gossen, 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 Gußeisen (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 Stahlguß (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

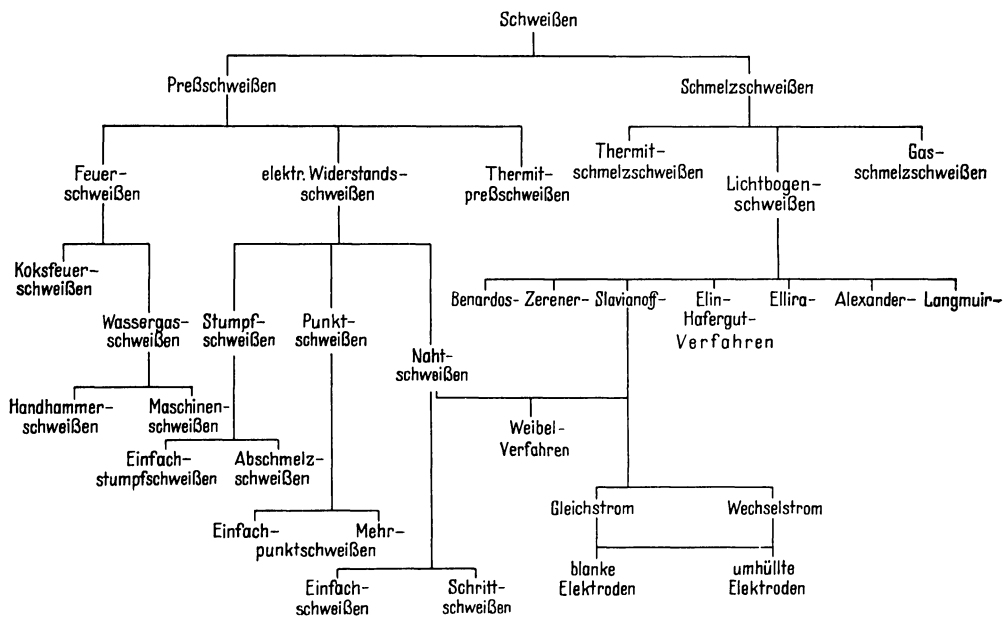


Abb. 1. Die wichtigsten Schweißverfahren.

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 (blaubruchig) 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 werden.

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. Da Stahl nach dem heutigen Stande der Technik der für das Lichtbogenschweißen wichtigste Werkstoff ist, wird in diesem Heft das „Stahlschweißen“ vorzugsweise behandelt.

3. Nichteisenmetalle. Fast alle Metalle und ihre üblichen Legierungen sind mit dem Lichtbogen schweißbar. Jedoch entstehen gegenüber dem Schweißen von Stahl gewisse Zusatzschwierigkeiten. So erschwert z. B. die große Wärmeleitfähigkeit von Kupfer und seinen Legierungen sowie der Leichtmetalle und ihrer Legierungen das Lichtbogenschweißen. Auch die große Neigung dieser Metalle, in flüssigem Zustande Gase aufzunehmen und sie dann wieder abzugeben, bedeutet eine erhebliche Erschwerung. Vor allem aber stört die große Neigung aller dieser Metalle, sich mit dem Sauerstoff der Luft zu verbinden, den Schweißvorgang erheblich, wobei hinzukommt, daß der Schmelzpunkt solcher Oxyde (Schlacken) oft viel höher ist als der Schmelzpunkt der Metalle.

B. Stahlsorten¹ und ihre Schweißbarkeit.

4. Allgemeine Begriffe. Zunächst müssen einige Begriffe erläutert werden, die insbesondere bei der Stahlschweißung eine große Rolle spielen.

a) Schweißbarkeit. Unter der Angabe, daß ein Stahl schweißbar ist, versteht man, daß diese Stahlsorte dem Schweißen keine Schwierigkeiten entgegenstellt. Früher dachte man dabei im wesentlichen nur an das Preßschweißen (vor allem an das Feuerschweißen); hierfür kommen nur verhältnismäßig wenige Stahlsorten in Frage (niedriggekohlter Stahl), es konnte daher der Begriff der Schweißbarkeit einigermaßen eindeutig festgelegt werden. Durch die Lichtbogenschweißung und durch die Entwicklung neuer Stahlsorten ist jedoch dieses Gebiet außerordentlich erweitert worden. Hinzu kommt noch, daß die „Schweißbarkeit“ nicht nur eine Werkstofffrage ist, sondern daß sie auch durch die Form des Stückes und der Nähte wesentlich beeinflußt wird. Das Zusammenschweißen von zwei kleinen Blechproben beweist also z. B. noch nicht die „Schweißbarkeit“ einer bestimmten Stahlsorte, wenn vielleicht aus dieser Sorte ein verwickelter Behälter mit Rohranschlüssen u. dgl. geschweißt werden soll. Natürlich gilt aber die Probe umgekehrt, d. h.: wenn durch noch so geschickte Maßnahmen (z. B. Anwärmen u. dgl.) die beiden kleinen Blechproben nicht rißfrei zu schweißen sind, so ist sicher der Behälter auch nicht zu schweißen. Außerdem ist noch zu bemerken, daß infolge örtlich begrenzter Werkstofffehler (z. B. örtliche Anreicherung an Phosphor oder Schwefel) ein an und für sich gut schweißbarer Stahl an diesen Stellen seine Schweißbarkeit verliert. Zusammenzufassen ist also, daß es eine strenge Einteilung in schweißbare und nicht-schweißbare Stähle nicht geben kann. Es ist daher richtiger, von der besseren oder schlechteren Schweißbarkeit eines Stahles zu sprechen.

b) Härtezunahme beim Schweißen. Dieser Punkt hängt mit dem vorbehandelten Kapitel eng zusammen; denn letzten Endes ist stets eine ungewöhnlich hohe Härtezunahme (Versprödung) der Grund, weshalb der Werkstoff schlechter schweißbar wird. Die Härtezunahme kann zunächst dadurch erklärt werden, daß bestimmte Gefügebestandteile des Eisens oder der Eisenbegleiter auftreten, die von Natur aus sehr große Härte besitzen. Es sind das stets Kohlenstoffverbindungen, also z. B. Verbindung des Eisens mit Kohlenstoff (Zementit) oder andere „Karbide“.

Doch ist das nicht der einzige Grund von Härtezunahme. „Härte“ bedeutet ja Widerstand gegenüber äußerlicher Verformung (s. z. B. Härteprüfung mit der Kugeldruckprobe). Nun wird die Verformung um so leichter vor sich gehen, je gleichmäßiger die Kristalle, aus denen ja das Eisen besteht, aufgebaut sind. Umgekehrt wird der Widerstand größer werden, wenn Unregelmäßigkeiten im Gefüge auftreten, wenn die einzelnen Kristalle wirt durcheinanderliegen und sich dadurch gegenseitig am Verformen hindern; z. B. beruht die Härtezunahme nach Kaltverformung eines Werkstoffes (nicht nur bei Stahl!) auf solchen Unregelmäßigkeiten, „Blockierungen“, der einzelnen Kristalle. Beim Schweißen treten natürlich solche Unregelmäßigkeiten als Folge der raschen Abkühlung (Erstarrung aus dem Schmelzfluß) besonders leicht auf.

Als dritter Grund für Härtezunahme können noch innere Spannungen genannt werden. Wenn ein Teil verformt werden soll, so muß dem Werkstoff gestattet werden, in einer anderen Richtung auszuweichen. Wenn z. B. ein Stab gestauch wird, er also kürzer wird, so wird er im Querschnitt dicker. Verhindert man nun auf irgendeine Weise dieses „Dickerwerden“ („Fließbehinderung“), so zeigt sich plötzlich eine Zunahme des Widerstandes gegenüber der ursprünglich geplanten Verformung, also eine „Härtezunahme“. Diese Fließbehinderung kommt sehr häufig vor, denn beinahe immer sind irgendwelche benachbarten Teile vorhanden, die das erste Teil an dem Ausweichen, dem Fließen, behindern. Besonders kraß tritt dieser

¹ Vgl. W.-B. Heft 75: Die Baustähle für den Maschinen- und Fahrzeugbau.

Punkt bei allen Unregelmäßigkeiten der Form auf, z. B. bei Kerben, nichtdurchgeschweißten Nähten u. ähnl.; die Folge davon sind dann örtlich beschränkte Härtezunahmen (Versprödungserscheinungen), die also zunächst nur durch die Form bedingt sind. Zusammenzufassen ist also, daß eine Härtezunahme erfolgen kann durch Auftreten von bestimmten Gefügebestandteilen, durch Auftreten von Unregelmäßigkeiten im Gefüge und in der Form. Theoretisch kann jede Erscheinung gesondert auftreten; praktisch treten sie häufig genug gleichzeitig auf.

c) Schweißempfindlichkeit. Ist ein Werkstoff „schweißempfindlich“, so treten leicht Risse, von den Härtungszonen ausgehend, auf. Man muß also bei solchen Werkstoffen besonders darauf achten, daß Härtezunahmen möglichst vermieden werden, was allerdings nicht immer durchführbar ist.

d) Schweißnahttrissigkeit. Hierbei treten Risse in der Schweißnaht selbst auf. Die Risse entstehen entweder gleich beim Schweißen, also bei hohen Temperaturen, oder wenn die Naht in der Temperatur gerade den gefährlichen Blaubruchbereich von etwa 300° durchläuft. Die Schweißnahttrissigkeit ist im wesentlichen eine Werkstofffrage, sie kann daher von der Werkstoffseite (Wahl besonders behandelter oder besonders legierter Stähle) und von der Seite der Schweißzusatzstoffe („rißfreie Elektroden“) gelöst werden.

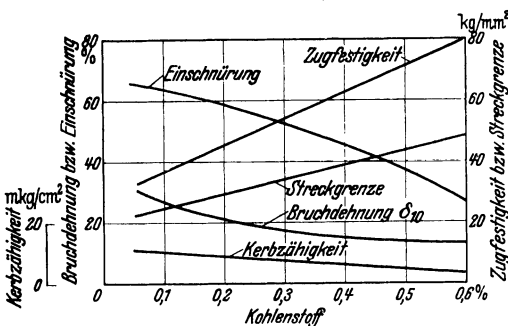


Abb. 2. Einfluß des Kohlenstoffs auf die Stahleigenschaften.

Abb. 2. Einfluß des Kohlenstoffs auf die Stahleigenschaften. Bis zu einem Gehalt von 0,35 % gilt der Kohlenstoffstahl (d. i. Stahl, der im wesentlichen nur mit Kohlenstoff legiert ist) als schweißbar. Ab 0,40 % kann man mit der Härte des Stahles rechnen.

b) Silizium wirkt ähnlich wie Kohlenstoff. Es erhöht die Neigung des Werkstoffes zur Härtezunahme. Bei größeren Siliziumgehalten (z. B. bei Gußeisen) besteht durch Verbrennung des Siliziums die Gefahr der „Verschlackung“ oder „Versandung“ der Schweißstelle.

c) Mangan verbessert die Eigenschaften des Stahles, indem es Sauerstoff und Schwefel bindet und sie dadurch unschädlich macht. Bei höheren Gehalten wird die Härte bei großer Zähigkeit erhöht, außerdem auch der Verschleißwiderstand.

d) Nickel, vor allem zusammen mit anderen Elementen, verbessert noch weitgehender die mechanischen Eigenschaften der Stähle. Am bekanntesten sind in dieser Hinsicht die rostfreien Stähle, wenn auch nicht alle rostfreien Stähle Nickelstähle sind.

e) Chrom schützt den Stahl vor Angriffen chemischer Natur. Also findet sich in rostfreien Stählen und in verzunderungsfesten Stählen stets Chrom.

f) Wolfram steigert die Härte des Stahles.

g) Molybdän steigert insbesondere die Festigkeit des Stahles bei höheren Temperaturen (Erhöhung der Dauerstandfestigkeit).

h) Vanadium wirkt in ähnlicher Weise wie Molybdän.

i) Kupfer erhöht schon in geringen Mengen die Rostsicherheit der Stähle („gekupferte Baustähle“).

k) Phosphor macht Gußeisen dünnflüssig, aber kaltbrüchig.

l) Schwefel macht den Stahl rotbrüchig und ist daher für Schweißzwecke sehr schädlich. Er ist häufig nicht gleichmäßig im Stahl verteilt. Treten an bestimmten Stellen des Stahles Schweißschwierigkeiten auf, so sind häufig Schwefelanreicherungen die Ursache dafür.

m) Sauerstoff kommt in Form von Schlacke im Stahl vor, schädlicher ist er aber in gelöster Form, in der er Ausscheidungen, „Alterung“, hervorruft; daher sind alterungsfeste Stähle von Sauerstoff besonders befreit.

n) Stickstoff ruft Härte und Sprödigkeit hervor.

o) Wasserstoff wirkt ähnlich wie Sauerstoff.

e) Unter Schweißrissigkeit versteht man das Auftreten von besonderen Rissen neben der Naht bei dünnen Blechen mit höherem Kohlenstoffgehalt oder mit besonderen Legierungsbestandteilen.

f) Als schweißfest bezeichnet man solche Stähle, die durch besondere Behandlung oder durch besondere Legierungsbestandteile vom Schweißen, vor allem hinsichtlich ihres Widerstandes gegen Korrosionsangriffe, nicht schädlich beeinflusst werden.

5. Einflüsse der Eisenbegleiter.

a) Kohlenstoff. Durch den Kohlenstoff wird die Schweißbarkeit des Stahles weitgehend beeinflusst. Der übliche Bau-

stahl hat einen Kohlenstoffgehalt von etwa 0,1 %. Den Einfluß des Kohlenstoffs auf die Eigenschaften des Stahles zeigt Abb. 2. Bis zu einem Gehalt von 0,35 % gilt der Kohlenstoffstahl (d. i. Stahl, der im wesentlichen nur mit Kohlenstoff legiert ist) als schweißbar. Ab 0,40 % kann man mit der Härte des Stahles rechnen.

b) Silizium wirkt ähnlich wie Kohlenstoff. Es erhöht die Neigung des Werkstoffes zur Härtezunahme. Bei größeren Siliziumgehalten (z. B. bei Gußeisen) besteht durch Verbrennung des Siliziums die Gefahr der „Verschlackung“ oder „Versandung“ der Schweißstelle.

c) Mangan verbessert die Eigenschaften des Stahles, indem es Sauerstoff und Schwefel bindet und sie dadurch unschädlich macht. Bei höheren Gehalten wird die Härte bei großer Zähigkeit erhöht, außerdem auch der Verschleißwiderstand.

d) Nickel, vor allem zusammen mit anderen Elementen, verbessert noch weitgehender die mechanischen Eigenschaften der Stähle. Am bekanntesten sind in dieser Hinsicht die rostfreien Stähle, wenn auch nicht alle rostfreien Stähle Nickelstähle sind.

e) Chrom schützt den Stahl vor Angriffen chemischer Natur. Also findet sich in rostfreien Stählen und in verzunderungsfesten Stählen stets Chrom.

f) Wolfram steigert die Härte des Stahles.

g) Molybdän steigert insbesondere die Festigkeit des Stahles bei höheren Temperaturen (Erhöhung der Dauerstandfestigkeit).

h) Vanadium wirkt in ähnlicher Weise wie Molybdän.

i) Kupfer erhöht schon in geringen Mengen die Rostsicherheit der Stähle („gekupferte Baustähle“).

k) Phosphor macht Gußeisen dünnflüssig, aber kaltbrüchig.

l) Schwefel macht den Stahl rotbrüchig und ist daher für Schweißzwecke sehr schädlich. Er ist häufig nicht gleichmäßig im Stahl verteilt. Treten an bestimmten Stellen des Stahles Schweißschwierigkeiten auf, so sind häufig Schwefelanreicherungen die Ursache dafür.

m) Sauerstoff kommt in Form von Schlacke im Stahl vor, schädlicher ist er aber in gelöster Form, in der er Ausscheidungen, „Alterung“, hervorruft; daher sind alterungsfeste Stähle von Sauerstoff besonders befreit.

n) Stickstoff ruft Härte und Sprödigkeit hervor.

o) Wasserstoff wirkt ähnlich wie Sauerstoff.

6. Stahlsorten. Es gibt heute sehr viele verschiedene Sorten, so daß es schwierig ist, sie in einer kurzen Aufzählung zu nennen. Es soll versucht werden, trotzdem einen gewissen Überblick zu vermitteln. Man kann die Stähle einteilen nach

a) der Zusammensetzung: unlegierte (Kohlenstoff-) Stähle, legierte Stähle. Je nach der Art und Menge der verschiedenen Legierungsbestandteile erhält man die gewünschten Eigenschaften.

b) dem Verwendungszweck: z. B. Federstähle oder Werkzeugstähle; sie können legiert oder unlegiert sein.

c) besonderen Eigenschaften: Hierzu gehören die rostsicheren Stähle oder auch die verzunderungsfesten Stähle. Alle diese Stahlsorten sind stets legiert. Es sind aber auch unlegierte Stähle z. B. die Automatenstähle hierzu zu rechnen, die Anreicherungen an Schlackenteilchen haben und daher auf Werkzeugautomaten besonders leicht bearbeitet werden können, da sie beim Drehen kurze Späne ergeben.

d) Art des Oberflächenschutzes: Plattierte Bleche, die eine Schicht von Werkstoff haben, die den besonderen Erfordernissen angepaßt ist. Die Plattierungsschicht kann aus einem Nichteisenmetall bestehen (z. B. Kupfer) oder aus einem legierten Stahl (z. B. nicht-rostendem Stahl). Hierzu gehören auch Stähle, deren Oberfläche besonders behandelt ist oder besonders behandelt werden soll, z. B. Nitrierstähle, die durch Aufnahme von Stickstoff eine sehr harte Oberfläche erhalten.

C. Elektrotechnische Grundlagen.

7. Grundbegriffe. 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 Wasserdruck, 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 Wasserdruck 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. 12).

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 Widerstandes = 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 unter-

scheiden. 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. 3. 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!).

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 am Zähler ablesen; für genaue Messungen zählt man die Umdrehungen der in dem Zähler sichtbaren Zählerscheibe.

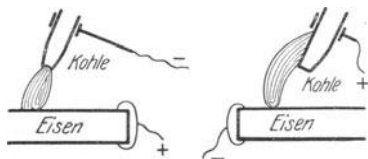


Abb. 3. Erkennen der Pole am Kohle-Eisen-Lichtbogen.

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

8. Die elektrischen 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. 4). Der positive (+) Pol der Stromquelle wird mit dem Werkstück, der negative (-) mit einem Kohlestab verbunden.

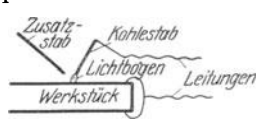


Abb. 4. Verfahren von BENARDOS.

Berührt man mit dem Kohlestab das Werkstück, so entsteht ein Lichtbogen, in dessen Hitze die Berührungsstelle und evtl. ein Zusatzstab schmelzen. Der Kohlestab verbrennt langsam. Da die Luft zur Schweißstelle ungehindert Zutritt hat, entstehen zunächst harte, spröde Schweißungen. Man kann diese Sprödigkeit durch Anwendung eines geeigneten Flußmittels (im einfachsten

Falle verdünntes Wasserglas) vermindern. Eine Aufkohlung der Schweißstelle ist bei der oben angegebenen Polung nicht zu befürchten, da der Kohlenstoff nur vom positiven zum negativen Pol wandern kann. Der Lichtbogen flattert leicht, d. h. er richtet sich nicht immer dahin, wohin ihn der Schweißer haben will. Um das zu verhindern, kann man mit besonderen Kohlen (Dochtkohlen) arbeiten, oder besser noch wendet man eine „Blasspule“ an, die im wesentlichen aus Drahtwindungen besteht, durch die der Schweißstrom fließen muß, bevor er zur Schweißkohle gelangen kann; es wird hierdurch eine wesentliche Beruhigung, „Stabilisierung“, des Lichtbogens erreicht.

Das Verfahren wird heute für Dünnschweißung in gewissen Fällen verwendet, wenn man möglichst schnell arbeiten will und auf große Verformungsfähigkeit der Schweißstelle verzichten kann. Allerdings ist dieses Schweißen nicht ganz einfach, der Anfänger brennt viele Löcher, die Naht hat eine sehr ungleichmäßige Oberfläche. Die älteste Anwendung des Verfahrens ist das Vollschweißen von Löchern („Lunkern“) in Stahlgußstücken. Man kann auch dicke Bleche unter Zuführung von Zusatzdraht verschweißen; die Schweißung geht außerordentlich rasch vor sich, doch ist die Anwendung selten. Eher wird das Verfahren noch in Verbindung mit automatischen Schweißeinrichtungen benutzt; hier wird im Lichtbogen noch ein sauerstoffbindendes Mittel verbrannt, wodurch man wirksam die

Sprödigkeit der Naht bekämpft. In neuerer Zeit wird das Verfahren in beschränktem Umfange für die Nichteisenmetallschweißung angewendet. Für die Schweißung von Leichtmetallguß, insbesondere aus Magnesiumlegierungen, scheint ihm noch eine besonders aussichtsreiche Zukunft zu erwachsen. In allen diesen Fällen muß man die Schweißstelle und auch den Zusatzstab mit einem Flußmittel schützen. Im allgemeinen nimmt man die Flußmittel, die für das Gasschweißen (autogene Schweißen) angewendet werden. Man unterscheidet bei diesen Verfahren das Warm- und Kaltschweißen. Bei dem Kaltschweißen bleibt das Teil so kalt, daß man die Schweißung an bearbeiteten Teilen evtl. ohne Ausbau vornehmen kann (s. auch S. 60).



Abb. 5. Verfahren von ZERENER.

b) Verfahren von ZERENER (Abb. 5). Der Lichtbogen wird hier zwischen zwei Kohlestäben gezogen. Durch einen Elektromagneten wird der Lichtbogen stichflammenartig weggeblasen. In dieser Stichflamme wird das Werkstück an der Schweißstelle flüssig gemacht und der Zusatzstab eingeschmolzen. Das Verfahren wird nur bei automatischen Schweißeinrichtungen und dort auch selten angewendet.



Abb. 6. Verfahren von SLAVIANOFF.

c) Verfahren von SLAVIANOFF (Abb. 6). 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 nächsten Kapiteln ausführlich behandelt werden soll. Es wird so allgemein angewendet, daß man an dieses Verfahren denkt, wenn man von „Lichtbogenschweißen“ schlechthin spricht.

d) Verfahren von ELIN-HAFERGUT (Abb. 7 u. 8). Das Verfahren stellt den Versuch einer gewissen Automatisierung des vorgenannten Verfahrens dar. Die stark umhüllte Elektrode wird in die Schweißfuge gelegt, sie wird mit einem Papierstreifen und mit einer Kupferschiene abgedeckt. Der eine Pol der Stromquelle wird wieder mit der Elektrode, der andere mit dem Werkstück verbunden. Der Papierstreifen hat den Sinn, den Stromübertritt auf die Kupferschiene zu verhindern. Die Zündung an der Spitze der Elektrode wird durch einen Kohlestab eingeleitet. Es ist nahelegend, daß man Elektroden von größerer Länge, wie sie für das Handschweißen gebräuchlich sind, verwendet. Das Verfahren liefert in bezug auf die Festigkeit ausgezeichnete Ergebnisse, der Hauptvorteil soll jedoch in Zeitersparnis liegen. Allerdings ist es nur für bestimmte Anwendungsformen geeignet; es scheint aber dazu berufen zu sein, für manche Arbeiten der Reihenfertigung den guten Handschweißer durch den angelernten Mann zu ersetzen.

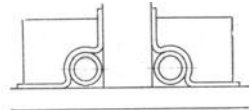
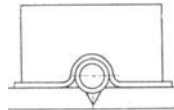


Abb. 7. Abb. 7 u. 8. Verfahren von ELIN-HAFERGUT.

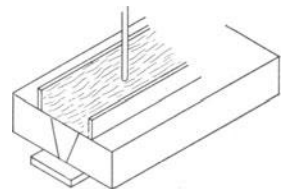


Abb. 9. Verfahren von ELLIRA.

e) Verfahren von ELLIRA (Unionmelt-Verfahren, Abb. 9). Dieses Verfahren stellt einen anderen Versuch dar, das Verfahren von SLAVIANOFF zu automatisieren. Die Vorbereitung der Arbeit besteht hierbei darin, daß man die meistens V-förmig

ausgearbeitete Nahtfuge mit einer Kupferschiene unterlegt. Dann werden seitlich von der Naht Schienen gelegt. Diese so entstehende Mulde wird mit einem bestimmten Flußmittelpulver ausgefüllt. Als Elektrode verwendet man einen blanken verkupferten Draht, der von einem Schweißautomaten zugeführt wird. Der Lichtbogen wird an etwas Stahlwolle, die man am Anfang der Naht untergebracht hat, gezündet. Die entstehende Hitze schmilzt das Flußmittel und die Ränder der Schweißnaht. Es wird viel mehr Grundwerkstoff aufgeschmolzen, als es bei der Handschweißung üblich ist; etwa zwei Drittel der Schweißnaht besteht aus geschmolzenem Grundwerkstoff, etwa ein Drittel aus dem Elektrodenwerkstoff. Dementsprechend braucht man aber viel höhere Stromstärken als bei der Handschweißung; da aber der Schweißvorgang selbst in wesentlich kürzerer Zeit als bei der Handschweißung durchgeführt wird, ist der gesamte Verbrauch an elektrischer Arbeit doch wesentlich niedriger. Während des Schweißvorganges, der selbst unsichtbar verläuft, wird das Flußmittel schon vor dem Lichtbogen flüssig und schmilzt schon vorher die Werkstückränder an. Dementsprechend bleibt auch das Schweißgut wesentlich länger flüssig als bei der Handschweißung (je nach den Umständen bis zu 1 min). Das Ergebnis ist eine Schweißnaht mit sehr glatter Oberfläche, aber sehr grobem Korn, allerdings von großer Reinheit. Trotz des groben Kornes hat die Schweißnaht ausgezeichnete Eigenschaften in mechanischer Hinsicht, auch die Verformungsfähigkeit der Schweißung ist beachtenswert. Das Verfahren scheint sich für die Schweißung von Längsnähten an Kesselschüssen bei Blechdicken über 12 mm zu bewähren. Die Vorbereitungszeit einer Naht ist erheblich, sie soll aber durch die außerordentlich kurze Schweißzeit gegenüber der Handschweißung mehr als ausgeglichen werden.

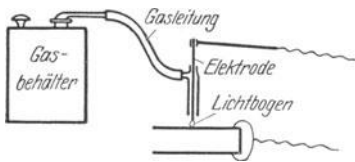


Abb. 10. Verfahren von ALEXANDER.

f) Verfahren von ALEXANDER (Schweißen im Schutzgas, Methanolschweißung (Abb. 10). Aufbau wie bei dem SLAVIANOFF-Verfahren. Die Elektrode ist von einem Rohr umgeben, durch das ein besonderes Gas (Methanol) geblasen wird.

Dieses Gas soll den Lichtbogen vor den Einwirkungen der Luft schützen. Das Verfahren ist heute aufgegeben.

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

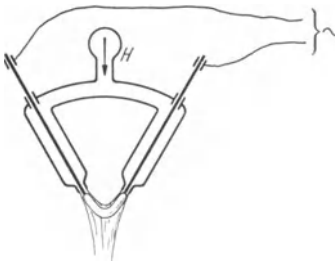


Abb. 11. Verfahren von LANGMUIR.

h) Verfahren von LANGMUIR (atomare Wasserstoffschweißung, Fabrikname Arcatom-Verfahren) (Abb. 11). Der Lichtbogen wird zwischen zwei Wolframelektroden gezogen, die nur unwesentlich abbrennen. Wasserstoff (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 Wärme wieder abgeben. Diese Wärme und die Hitze des Lichtbogens bilden die Energiezufuhr für das Schweißen. Der Wasserstoff verbrennt. Der Verbrennungsvorgang ist für den Energiebedarf des Schweißens ohne Bedeutung, nicht aber für den technologischen Vorgang,

indem durch den Wasserstoff die Schweiße und der Zusatzdraht vor den Einwirkungen der Luft geschützt werden. Die Schweißungen zeichnen sich durch hohe mechanische Gütewerte aus. Das Verfahren bewährt sich bei dünnen legierten Stahlblechen bis etwa 12 mm. Für Messing, Bronze, Aluminium und Aluminiumlegierungen ist es gut anwendbar. Nicht zu empfehlen ist es für Kupfer, für Magnesium und solche Legierungen, die auf Magnesiumgrundlage beruhen. Bei dickeren Teilen ist das Verfahren umstritten. Es kann aber sehr empfohlen werden, wenn hochlegierter Stahl in dickeren Querschnitten zu schweißen ist (z. B. Rund- oder Quadratquerschnitt). Überhaupt ist es auch gut für das Aufschiessen auf dicke massive Werkstücke zu verwenden, da durch die große Hitzeentwicklung und Konzentration die Schweißstelle sehr schnell angeschmolzen wird. Nachteilig ist bei dem Verfahren der sperrige Brenner, mit welchem man in Ecken schlecht herankommt. Mit Sonderbrennern versucht man diesen Übelstand auszugleichen. Für normale Stahlschweißung wird das Verfahren kaum angewendet. Für die automatische Schweißung sind Einrichtungen („Schweißköpfe“) entwickelt worden.

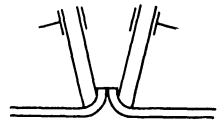


Abb. 12. Verfahren von WEIBEL.

i) Verfahren von WEIBEL (Fesa-Schweißverfahren) (Abb. 12). Das Verfahren stellt einen gewissen Übergang von den elektrischen Schmelz- zu den Preßverfahren dar. Man führt einen Wechselstrom (80 bis 250 A bei 3 bis 8 V) zwei Kohlestäben zu, die durch einen entsprechenden Halter die Aufbördelung der zu schweißenden Bleche zangenartig fassen. Durch den Übergangswiderstand werden die Bleche an dieser Stelle auf Schmelztemperatur gebracht und unter dem Druck der Zange verschweißt. Die Bördelkanten werden gesäubert und von der Oxydhaut befreit; die untere Seite wird mit einem Flußmittel bestrichen, das etwa die gleiche Zusammensetzung hat wie das Flußmittel, welches man für das Gas-schweißen dieser Blechsorte gebraucht. Das Verfahren wird angewendet für dünne Leichtmetallbleche der Aluminiumknetlegierungen. Vor allem fällt die hohe Korrosionsfestigkeit auf. Es können auch Blei- und Zinkbleche bis 1,5 mm Dicke und Kupferbleche bis 0,8 mm Dicke geschweißt werden.

k) KABELL-Verfahren: Man legt zwei Phasen eines Drehstromes an zwei Drahtkerne, die durch eine Umhüllung voneinander isoliert sind, die dritte Phase legt man an das Werkstück. Die Elektroden haben eine Länge von 700 mm bei einem Drahtdurchmesser von 6·10 mm. Die Verschweißung geschieht auf automatischen Schweißmaschinen (s. S. 18). Das Verfahren soll sich durch besonders hohe Leistung auszeichnen.

9. 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. 13). 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 nur niedriggeköhlten Stahl verschweißen.

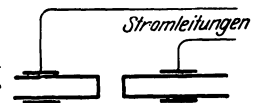


Abb. 13. Stumpfschweißen.

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, frei zu machen: Rohre, Bleche, Ringe werden so verschweißt.

c) Punktschweißen (Abb. 14). Zwei zu verbindende Bleche werden durch zwei wassergekühlte Kupferbolzen zusammengepreßt. Der Strom wird durch

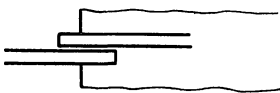


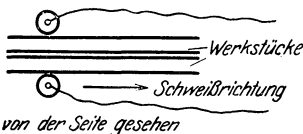
Abb. 14. Punktschweißen.

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 weit-

gehendst 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. 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.

Da es bei diesen Verfahren — wie auch bei den dann behandelten Nahtschweißverfahren — sehr auf die genaue Einhaltung der Schweißzeit ankommt, hat man besondere Steuereinrichtungen geschaffen, die je nach Einstellung die Schweißzeit genau und unabhängig von der Bedienung der Maschine begrenzen.

d) Nahtschweißen (Abb. 15). Ähnlich wie vorher. Es wird dauernd Strom zugeführt. Man kann auf diese Weise nur niedriggekohten 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.



von der Seite gesehen

Abb. 15. Nahtschweißen.

10. Der elektrische Lichtbogen. 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 Teilchen, aus deren Bewegung man sich die Erscheinung der Elektrizität erklärt, die „Elektronen“, frei, welche sich mit ungeheurer Geschwindigkeit vom negativen Pol (der „Kathode“) zum positiven Pol (der „Anode“) hinbewegen. Durch den Aufprall auf Luft oder Gasteilchen werden weitere Elektronen frei, die dann natürlich auch wieder zu dem positiven Pol hinstreben. Die Restteilchen, die „Ionen“, wandern zum negativen Pol. Die Masse der Ionen ist größer als die der Elektronen, dafür ist aber die Geschwindigkeit der Elektronen viel größer als die der Ionen, woraus sich erklärt, daß durch den Aufprall der Elektronen der positive Pol höher erhitzt wird als der negative. Aus diesen Darlegungen ergibt sich, daß zu diesem Aufspalten in Elektronen und Ionen stets Wärme gehört. Beim Zünden wird diese Wärme durch den Übergangswiderstand an der Berührungsstelle hervorgebracht, beim Schweißen durch den Aufprall der Ionen.

Da also zuerst stets dieser Austritt der Elektronen aus einem Punkt des negativen Pols („Elektronenemission“) stattfindet, so ist dieser Punkt („Kathodenfleck“) von besonderer Bedeutung. Hat man die Elektrode am Minuspol, so ist das die „natürliche Polung“, da die Elektrodenspitze zwanglos den Kathodenfleck darstellt. Legt man aber den Pluspol an die Elektrode, so besteht zunächst für den jetzt auf dem Werkstück befindlichen Kathodenfleck keine Veranlassung zu wandern, wenn die Elektrode von der Hand des Schweißers bewegt wird, d. h. der Lichtbogen reißt ab. Daher ist der Lichtbogen bei der Blankdrahtschweißung mit dieser Polung schwieriger aufrechtzuerhalten. Bei umhüllten Elektroden ändern sich die Verhältnisse, da hier die Lichtbogenstrecke durch die vielen aus der Umhüllung herrührenden Teilchen in viel stärkerer Weise „ionisiert“ ist als beim blanken Draht.

11. Werkstoffübergang im Lichtbogen. Durch die Hitze wird die Spitze der Elektrode flüssig. Sie leitet den elektrischen Strom in annähernd parallelen Bahnen. Diese ziehen sich an und schnüren daher an einer Stelle den Werkstoff, die Elektrodenspitze, ein. Das ist die erste Phase des Überganges (Abb. 16). Die zweite besteht darin, daß nun die Spitze in die Nähe des massiven Werkstücks kommt; der in der Bildung befindliche Tropfen wird von dem Schmelzbad auf dem Werkstück, welches ja immer größer als der Tropfen der Elektrodenspitze ist, angezogen (Abb. 17). Die dritte Phase (Abb. 18) bildet nunmehr ein Kurzschluß zwischen Elektrode und Werkstück. Dieser Kurzschluß bedingt eine erhebliche Stromvergrößerung, durch welche die eingeschnürte Brücke zwischen Elektrode und Werkstück durchbrennt. Die vierte Phase (Abb. 19) ist durch ein völliges Aufsaugen des Tropfens durch das Schmelzbad des Werkstückes infolge „Oberflächenspannung“ des Schmelzbades gekennzeichnet. In Wirklichkeit spielt sich dieser Vorgang sehr rasch ab; bei einer normalen Schweißung kann man mit 7 bis 40 Tropfen je Sekunde rechnen. Wie gezeigt hängt also der Werkstoffübergang weder von der Stromrichtung noch von der Lage des Lichtbogens (z. B. senkrecht nach oben oder nach unten) ab, sondern nur von dem Einschnürungseffekt und dem Aufsaugvorgang. Daher ist ja auch ein Überkopfschweißen, wie in Abb. 16...19 gezeigt, mit verschidener Polung möglich.

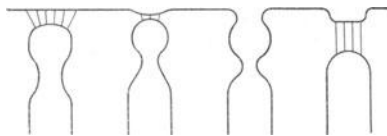


Abb. 16. Abb. 17. Abb. 18. Abb. 19.
Abb. 16...19. Schematische Darstellung des Werkstoffüberganges im Lichtbogen beim Überkopfschweißen.

12. Blaswirkung. Jeder stromdurchflossene Leiter umgibt sich mit Kraftlinien nach Abb. 20. Da der Lichtbogen ein leichtbeweglicher Leiter ist, so wird er in seiner Richtung von diesen Kraftlinien beeinflusst, er wird „weggeblasen“. Man kann sich das an einem Versuch nach Abb. 21 klarmachen. Brennt ein Kohlelichtbogen in der Mitte der Schiene, also an der Stelle der Stromzuführung, so brennt der Lichtbogen gerade. An den Enden der Schiene wird der Lichtbogen

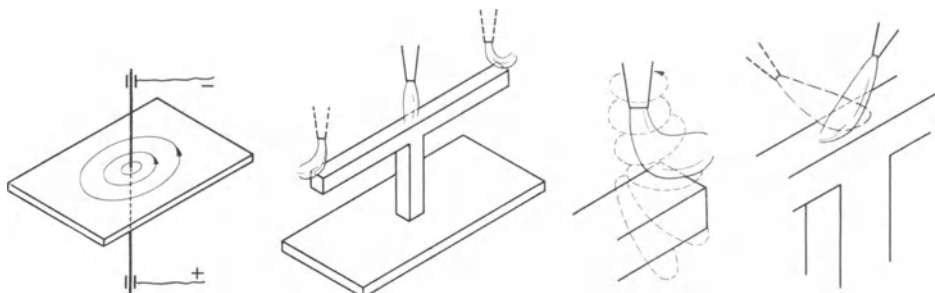


Abb. 20. Kraftlinien um einen stromdurchflossenen Leiter.

Abb. 21. Blaswirkung, hervorgerufen durch verschiedenen Ort der Schweißstelle, Einwirkung des Stromweges im Werkstück.

Abb. 22. Blaswirkung am Ende der Stromschiene, Kohle steht senkrecht.

Abb. 23. Blaswirkung in der Mitte der Schiene, Kohle steht schräg.

nach außen gedrückt, da sich an der Innenseite der gekrümmten Strombahn die Kraftlinien verdichten und daher einen Druck nach außen ausüben (Abb. 22). Bei Abb. 23 ergibt sich ähnliches. Je stärker die Krümmung der Strombahn ist, desto stärker die Blaswirkung. Die Richtung des Lichtbogens wird also von der Richtung (Neigung) der Elektrode und von der Stromrichtung im Werkstück beeinflusst.

In den seltensten Fällen ist die Stromrichtung beim praktischen Arbeiten so ausgeprägt klar wie bei dem Versuch nach Abb. 21. Es ist jedoch zu vermerken, daß der Schweißer in gewissem Grade die Blaswirkung dadurch beeinflussen kann, daß er die Richtung der Elektrode verändert, da die Stromrichtung im Werkstück im allgemeinen schwerer verändert werden kann. Nackte Elektroden werden in der Regel so verschweißt, daß die Blaswirkung nach vorn, also in Schweißrichtung, gerichtet ist. Umhüllte Elektroden verlangen eine umgekehrte Blasrichtung, um die Schlacke auf die fertige Naht zu treiben. Wechselstrom ergibt eine schwächere Blaswirkung als Gleichstrom. Durch viele Anschlußpunkte (Heftstellen) wird die Blaswirkung auch abgeschwächt. Man kann die Blaswirkung auch dadurch abschwächen (besser gesagt: nicht in Erscheinung treten lassen), daß man den Werkstückanschluß nicht fest mit dem Werkstück verbindet, sondern ihn gegenüber der Schweißstelle entlangführt; allerdings ist diese Maßnahme nur in seltenen Fällen möglich.

Außer dieser Ursache der Blaswirkung machen sich — allerdings in wesentlich schwächerer Weise — noch gewisse Aufladungserscheinungen und auch magnetische Rückwirkungen auf den Lichtbogen bemerkbar.

Beim Kohlelichtbogen nutzt man die Blaswirkung durch die Zuleitung des elektrischen Stromes zur Schweißkohle in den „Blaspulen“ dazu aus, den Lichtbogen zu „stabilisieren“. Eine ebensolche Anwendung kommt für die Stahlschweißung nicht in Frage, da die Wirkung an und für sich schwächer ist, und die Elektrode stark spritzen würde.

II. Schweißzubehör.

A. Stromquelle.

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

a) Begriffe. 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 (s. Kapitel IV C, S. 49). 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.

b) **Stromerzeuger.** Alle Stromerzeugermaschinen beruhen auf der Wechselwirkung zwischen Magnetismus und Elektrizität. In jeder solchen Maschine sind Magnete angeordnet. 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 fremd-erregte 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 umlaufenden Teil der Maschine fließende Strom hat magnetische Rückwirkungen auf das Magnetfeld der Maschine. Werden diese Rückwirkungen in geeigneter Weise ausgenutzt, so entsteht eine besondere Maschinengattung, die Quersfeldmaschine.

c) **Kennlinie.** 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. 24 u. 25). Die obigen Erläuterungen erklären auch die Bilder: es ist angenommen, daß Zündspannung = Leerlaufspannung ist. Der wichtigste Punkt ist der Arbeitspunkt P (Abb. 24) (s. 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, daß man im Falle a den Lichtbogen weich ausziehen kann, während im Falle b der Lichtbogen hart abreißt. Daher und von dem Kurvenverlauf beim

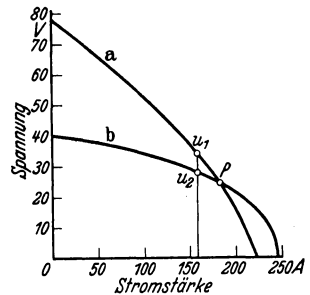


Abb. 24. Statische Kennlinien zweier verschiedener Stromerzeuger.

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 Maschine muß der Schweißer den Lichtbogen kurz halten (er kann also entweder gar nicht oder nur gut schweißen); mit einem weichen Lichtbogen kann beinahe jeder schweißen; auch

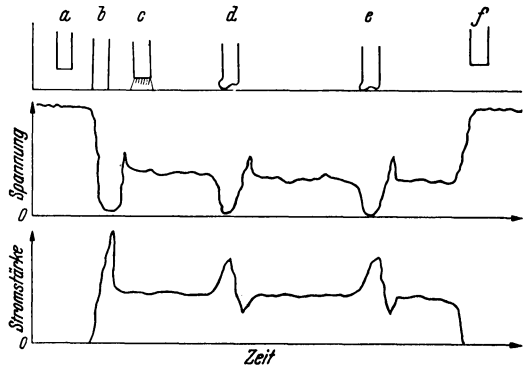


Abb. 25. Schematische Darstellung des Zustandekommens einer dynamischen Kennlinie. Elektrodenstellung a Leerlauf; b Kurzschluß zum Zünden; c Lichtbogen brennt; d und e Tropfenübergänge; f Schluß des Schweißens, Leerlauf.

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 (Abb. 25). Bei einer guten Schweißmaschine zeigen sie keine sehr großen Strom- und Spannungsschwankungen, vor allem sollen sie zeigen, daß Strom und Spannung möglichst schnell ihren normalen Wert wieder erreichen. Maschinen, bei denen die Kennlinien stark verzerrt sind, nennt man träge Maschinen.

d) Regelung. 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 Dünnblechschweißung 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 (s. Bedienungsvorschriften der Maschinen und Abb. 26).

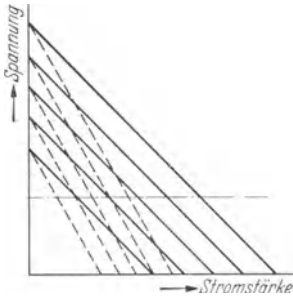


Abb. 26. Regelung einer Schweißmaschine, die gestattet, mit zwei Kennliniengruppen zu arbeiten (10 Regelungsstufen).

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 Regelwiderstandes 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 so lange ausgeschaltet sein, bis die ursprüngliche Temperatur wieder erreicht ist. Also für das obengenannte Beispiel würde sich folgendes ergeben: Die Maschine kommt etwa nach 3stündigem ununterbrochenem 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.)

14. 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. 27). 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 umlaufenden 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 Kennlinien einer eigen- und einer selbsterregten und einer Querfeldmaschine zeigt Abb. 28.

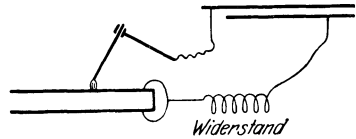


Abb. 27. Schweißen vom Netz.

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.

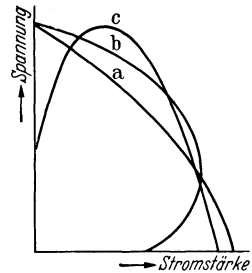


Abb. 28. Kennlinie einer eigen- (a), einer selbsterregten (b), einer Querfeldmaschine (c).

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 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. 29 zeigt 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 zwei Außenleiter eines Drehstromnetzes angeschlossen. Es gibt auch Bauarten, die alle drei Leiter des Drehstromnetzes erfassen; sie sollen eine gleichmäßigere Belastung des Drehstromnetzes ergeben. Die Umspanner können leicht für den Anschluß an verschiedene Netzspannungen gebaut werden.

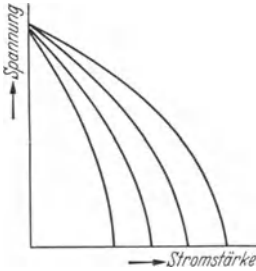


Abb. 29. Kennlinien eines Schweißumspanners mit vier Regelungsstufen.

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

c) Selbsttätige Schweißmaschinen gibt es 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, bei anderen das Werkstück bewegt. Bei den teilweise selbsttätigen Maschinen fällt diese Vorwärtsbewegung weg; man muß dann von Hand führen.

In neuerer Zeit ist ein Automat entwickelt worden, der neben den vorerwähnten Aufgaben auch das Verschweißen von umhüllten Elektroden, wie sie für das Handschweißen üblich sind, ausführt: Während eine Elektrode niedergeschweißt wird, legt der Bedienungsmann eine zweite in die Maschine ein. Sobald die erste Elektrode abgeschmolzen ist, zündet die zweite, so daß kein Schlußkrater entsteht. Man kann mit solchen Maschinen sowohl Längs- als auch Rundnähte schweißen. Der besondere Vorteil dieses Automaten besteht in der gleichmäßig hohen Güte der Naht und in der hohen Schweißgeschwindigkeit. Besondere Vorteile ergeben sich bei der Leichtmetallschweißung, bei der nun die langen Krater der Handschweißung wegfallen.

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

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 Reglereinrichtung 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

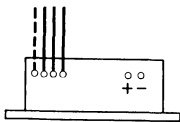


Abb. 30. Drehstrommotor mit Schweißmaschine in einem Gehäuse.

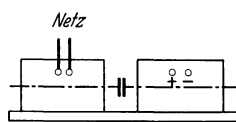


Abb. 31. Gleichstrommotor gekuppelt mit Schweißmaschine.

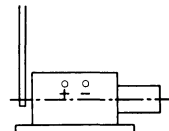


Abb. 32. Riemenantrieb einer Schweißmaschine mit angekuppelter Erregermaschine.

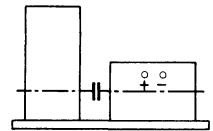


Abb. 33. Benzin- oder Dieselmotor gekuppelt mit Schweißmaschine.

Einrichtung, bei der durch den Schweißstrom (Magnet) der Gashebel beeinflusst wird. Immerhin ist das im Regelfalle nur ein Notbehelf. Schematische Darstellungen einiger Umformersätze s. Abb. 30...33.

16. Beurteilung der Stromquelle. Zunächst wird in 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 „ $\cos \varphi$ “. Der schlechte $\cos \varphi$ hat praktisch zur Folge, daß die Anschlüsse (Leitungen und Sicherungen) beinahe dreimal so stark gewählt werden müssen wie bei einem gleich starken Umformersatz; außerdem wird noch „Blindstrom“-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.

Bei Auswahl des Kondensators nehme man einen solchen, durch den der $\cos \varphi$ auf nicht über 0,8 gebracht wird. Will man den $\cos \varphi$ durch einen Kondensator auf 1 bringen, so ist dazu eine unverhältnismäßig hohe Kondensatorleistung notwendig, der Kondensator wird sehr umfangreich und entsprechend teuer. Ein Nebenvorteil des Umspannerbetriebes mit Kondensator sei erwähnt: der Kondensator wirkt dämpfend auf Spannungstöße, welche durch das Schweißen hervorgerufen werden; daher werden heute Schweißumspanner, die an das Niederspannungsnetz der öffentlichen Stromversorgung angeschlossen sind, meist mit Kondensatoren ausgerüstet.

Am meisten fällt beim Vergleich Gleichstrom — Wechselstrom der Preisunterschied auf. Ein Umspanner kostet nur etwa 53% eines gleich starken Umformers. Dafür hat man dann aber Mehrkosten an Elektroden. Denn, obgleich es zwar möglich ist, manchen blanken Draht mit Wechselstrom zu verschweißen, es kommt 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 bei den verschiedenen Einstellungen der Maschine (am einfachsten mit dem Zähler) 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.

17. Behandlung der Schweißmaschinen. Wenn auch eine gute Schweißmaschine so gebaut ist, daß sie den rauen 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 Schwierigkeit 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. Ähnlich verhält es sich mit der Hintereinanderschaltung ($+$ -Pol der einen Maschine an den $-$ -Pol der anderen) zwecks Erzielung höherer Lichtbogenspannung.

18. 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 (s. S. 16), die Spannung, die Art des Anschlusses.

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 (s. auch S. 50).

Drehstrommotoren 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.

19. 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 gebildet 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 ver-

schiedenen Wegen: Entweder werden dem Elektrodenwerkstoff bestimmte Legierungsbestandteile zugemischt, oder man legt die Stoffe, die eine gewisse Veredlung bewirken sollen, in die Umhüllung.

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.

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.

20. 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 geglüht, 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.** Strenggenommen 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) **Umhüllte (ummantelte) Elektroden.** Je nach der Dicke der Umhüllung und wie sie auf den Drahtkern aufgebracht wurde, unterscheidet man in dünn oder leicht umhüllte Elektroden, in mitteldick umhüllte Elektroden, bei denen die Umhüllung durch mehrmaliges Tauchen oder durch Umpressen aufgebracht ist; schließlich in dick umhüllte (Schmelzmantel-) Elektroden. Diese dicke Umhüllung kann auch wieder durch mehrmaliges Tauchen erzeugt sein, oder durch Umpressen (Preßmantelelektroden). Sie läßt sich aber auch durch Umwickeln mit Asbest, Gewebe oder Papier herstellen, wobei dann diese Umwickelungen unter Umständen noch einmal getaucht werden.

21. 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.

22. 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.

b) Elektroden für Stahl. Die Zusammensetzung ist dem Grundwerkstoff angepaßt. Im allgemeinen teilt man diese Elektroden nach der durch die Schweiße 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 schiedbaren 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 Markte 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 Schweiße aus einem ganz anderen Stoff besteht als der Grundwerkstoff, könnte man dieses Verfahren schon zu den Lötungen rechnen.

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

Für Kupferschweißung sind besondere Elektroden entwickelt worden: „Schlauchelektroden“, die neben einer Umhüllung, die dem Schutz des Metalls dient, eine Masse haben, die bei Erwärmung gasförmig wird. Der äußere Mantel besteht aus besonders schwer schmelzbaren Stoffen. Beim Schweißen bildet sich ein Schlauch, in dem gleichsam das flüssige Metall in unterbrochenem Fluß auf die Schweißstelle gespritzt wird (s. Abb. 34). Man braucht hierzu besondere Stromerzeuger, kann aber auch zwei hintereinandergeschaltete gewöhnliche Schweißumformer benutzen, um so die erforderliche hohe Lichtbogen Spannung von etwa 40 Volt erreichen zu können (s. auch S. 55).

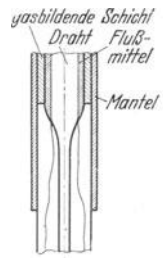


Abb. 34. Aufbau einer Schlauchelektrode.

23. Schweißdrahtlieferbedingungen s. DIN 1913 und Lieferbedingungen der Deutschen Reichsbahn.

24. Beurteilung der Elektroden. a) Auswahl der Elektrodengattung. Hat man nur Wechselstrom zur Verfügung, so scheidet nackte Drähte praktisch aus. Es kommen dann nur Seelen- oder umhüllte Elektroden in Frage. Nackte Drähte verwendet man für einfache Schweißungen, an die man insbesondere hinsichtlich der Verformungsfähigkeit, auch an die Glätte der Nahtoberfläche keine hohen Ansprüche stellt, wo dagegen die Billigkeit ausschlaggebend ist. Wichtig ist auch noch, daß Schweißungen mit nackten Elektroden in geringstem Maße Wärme zurückhalten und daher bei spannungsempfindlichen Teilen, also dort, wo an einem Teil viel geschweißt werden muß, besonders empfohlen werden. Auch für einfache Auftragsarbeiten wird schon aus Billigkeitsgründen die nackte Elektrode bevorzugt. Der Seelendraht wird zweckmäßig dort angewendet, wo man die Vorteile des Blankdrahtes ausnutzen will, wo man aber gleichzeitig höhere Ansprüche an die Festigkeit und vor allem an die Zähigkeit der Naht stellt. Dünn umhüllte Elektroden werden dort angewendet, wo man ein möglichst schnelles Schweißen haben will, wo die Schweißer mit der blanken Elektrode nicht so recht fertig werden, wo man glattere Nähte wünscht, wo man auf Wechselstrom angewiesen ist. Dick umhüllte Elektroden wird man dort gebrauchen, wo man ganz besonders glatte Nähte (insbesondere Kehlnähte) haben will, wo man besonders hohe Ansprüche an die Verformungsfähigkeit der Schweiße stellt. Es sei aber darauf hingewiesen, daß man Schweißnaht-rissigkeit nur bei dickumhüllten Elektroden (natürlich nicht bei allen) beobachtet hat. Für Sonderzwecke, z. B. Elektroden für hochlegierten Stahl, gibt es meistens nur dickumhüllte Elektroden.

Durch die Wahl der Elektroden wird gleichzeitig die Form der Naht festgelegt; so kann man bei blankem Draht nur volle, bei dickumhüllten Elektroden zunächst nur hohle Kehlnähte erzeugen. Konstruktionsbüro und Betrieb müssen sich also auch in diesem Punkte verständigen.

Durch die Elektrode werden nicht nur die mechanischen Eigenschaften der Schweißungen beeinflusst, sondern auch die Wirtschaftlichkeit der ganzen Schweißarbeit. Die Elektroden haben verschiedene Abbrand- und Spritzverluste, sie können mit verschiedenen Stromstärken verschweißt werden und haben auch verschiedene Schweißzeiten. Der Arbeitsaufwand für die Säuberung der Naht nach dem Schweißen ist bei Verwendung verschiedener Elektroden auch recht stark verschieden. Es ist nicht immer so, daß die dickumhüllte Elektrode, die ja an sich die größte Schlackenmenge liefert, auch die meisten Reinigungskosten verursacht. Es gibt heutzutage dickumhüllte Elektroden, bei denen nach dem Schweißen infolge der Wärmespannungen sich die Schlacke von selbst ablöst, und bei denen daher auch geringere Reinigungskosten entstehen als bei anderen Elektroden. Wenn daher nun eine kleine Aufstellung über Elektrodenpreise gegeben wird, so soll damit nur ein gewisser Überblick geschaffen werden, und es soll nicht ausgedrückt werden, daß diese oder jene Elektrode im Betrieb teurer ist als eine andere. Zu dem Preisvergleich diene eine Elektrode 4 mm Durchmesser 450 mm Länge: Nackter Draht 1,5 Rpf.; Seelendraht 4 Rpf.; dünnumhüllter Draht 3,3 Rpf.; dickumhüllter Draht 6 Rpf. Für Sonderzwecke, z. B. für hochlegierten Stahl, für Nicht-eisenmetallschweißungen, für bearbeitbare Gußeisenschweißungen, für bestimmte Auftragsarbeiten sind die Elektrodenpreise wesentlich höher.

b) Prüfung der Schweißereigenschaften am besten durch einen Schweißversuch in verschiedener Lage der Schweißraupe. Da diese Prüfung eine subjektive Prüfung ist, so ist eine gewisse Erfahrung dafür unerlässlich. Denn da jede Elektrode ihre gewissen Schweißereigenschaften hat, wird der Schweißer zunächst die „neue“

Elektrode stets ablehnen und behaupten, daß die „alte“ besser ist. Das erklärt auch die Tatsache, daß es so viele verschiedene Sorten auf dem Markte und in verschiedenen Betrieben so verschiedene Urteile über die gleiche Sorte gibt. Man muß also, wenn man selbst keine Erfahrung hat, dem Schweißer erst eine gewisse Zeit zum Einarbeiten lassen, ehe man ihn um ein Urteil fragt.

c) Prüfung der Wirtschaftlichkeit. Hier müssen genau die Schweißzeiten, der Verbrauch an elektrischer Arbeit, sowie die Spritz- und Abbrandverluste gemessen werden. Bei Vergleichsversuchen soll man die gleiche Arbeit vorsehen, da z. B. eine Schweißung an senkrechter Fläche andere Werte ergibt als eine waagerechte Schweißung.

d) Prüfung der mechanischen Eigenschaften s. S. 62.

C. Verschiedenes.

25. Der Elektrodenhalter 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 ist (Abb. 35).



Abb. 35. Schweißzange (Elektrodenhalter).

26. Das Schweißkabel 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 (s. Abb. 36). Man muß in diesen Fällen die Maschinen stets für etwas höheren Strom einstellen. Die Kabelenden müssen sehr sorgfältig befestigt werden.

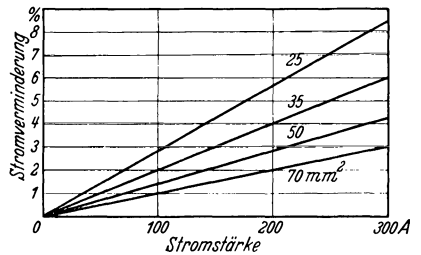


Abb. 36. Ungefähre Stromverminderung in Prozent bei 10 m Länge der kupfernen Hin- und Rückleitungen bei verschiedenen Querschnitten in Abhängigkeit von der Schweißstromstärke, gegenüber dem Idealfall, daß die Leitungen keinen Widerstand hätten. Spannung der Stromquelle konstant angenommen.

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

28. 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 zerstört. 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. Allgemeingültiges 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 Staubbelastigung, 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.

29. Die Schweißwerkstatt 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.

30. Das Gefüge von Schweißungen. a) Begriffe. Unter Gefüge¹ versteht man den inneren Aufbau der Metalle. Nachweis des „Gefüges“ durch „Schliffuntersuchung“. Die zu untersuchende Stelle wird sorgfältig geschliffen und möglichst fein poliert. Je nachdem man mit starker über 50facher Vergrößerung (Mikrountersuchung) oder mit schwacher Vergrößerung (Makrountersuchung) arbeiten will, wird die Stelle mit verschiedener Säure² geätzt.

Fast alle festen Metalle sind aus dem flüssigen Zustand entstanden. Aus der Schmelze bilden sich regelmäßig geformte Körner, „Kristalle“. Durch „Wachstumsbehinderung“ beim Erstarrungsvorgang ist allerdings die äußere Form dieser Kristalle häufig verzerrt, der innere Aufbau bleibt aber regelmäßig. Jeder Kristall bildet sich aus gewissen Keimen. Je mehr Keime in der Schmelze vorhanden sind, desto mehr Kristalle bilden sich, desto „feinkörniger“ ist das Gefüge. Da bei Überbeanspruchung ein Kristall eher in sich bricht, als daß er von den anderen läßt, so wird in der Regel das feinkörnige Gefüge das wünschenswerte sein. Jeder Kristall hat das Bestreben, oberhalb gewisser Temperaturen auf Kosten seiner schwächeren kleineren benachbarten Kristalle zu wachsen. Auf Grund dieser Überlegungen kann man also feines Korn durch Abschrecken aus dem flüssigen Zustande erzeugen, grobes Korn — „überhitztes Gefüge“ — durch zu langes Glühen oberhalb der „Umwandlungstemperaturen“. Allerdings spielen sich beim Abschrecken bzw. beim Glühen von Stahl noch andere Vorgänge ab. Es entstehen z. T. unerwünschte Gefügebildungen, so daß man von diesem oben angegebenen vereinfachten Rezept nicht immer Gebrauch machen kann.

Wird ein Metallstück (z. B. ein Flachstahl) kalt gebogen, so geben die Kristalle nicht etwa scharnierartig in den Korngrenzen nach, sondern die von der Verformung betroffenen Kristalle verformen sich, indem sie sich nach bestimmten Richtungen (den „Gleitebenen“) innerlich abschieben. Solche Kristalle zeigen eigenartige neue Eigenschaften; sie werden härter, spröder (Härtezunahme durch „Kaltverformung“). Glüht man solche Teile bei bestimmten Temperaturen, so zeigt sich, daß diese verformten Kristalle nicht weiter wachsen können. Dafür entstehen an den Korngrenzen dieser Kristalle, von dort befindlichen Kristallisationskeimen ausgehend, neue Kristalle, welche die alten verformten kranken Kristalle aufzehren. Man beobachtet also ein Neuentstehen von Kristallen und nennt diesen Vorgang Rekristallisation. Glüht man nun länger, so werden die neuen Kristalle weiter wachsen, es entsteht ein neues aber grobes Gefüge. Es gelten also hier wieder die gleichen Regeln wie vorher, nur ist dabei stets der Grad der Verformung in Betracht zu ziehen, so daß man also etwa folgendes feststellen kann: Je stärker die Kaltverformung, desto tiefer die Temperatur, bei welcher die Rekristallisation beginnt, desto größer die Rekristallisationsgeschwindigkeit. Es wird ein um so gröberes Korn entstehen, je geringer die Kaltverformung ist, je langsamer die „Rekristallisationsschwelle“ überschritten wird, je höher die Glühtemperatur und je länger die Glühzeit ist. Rekristallisationsschwelle ist der Temperaturbereich, bei welchem eine Rekristallisation beginnen kann. Sie liegt

bei Blei, Zinn, Zink etwa zwischen 20 und 100°	
bei Kupfer	„ „ 200 „ 250°
bei Aluminium	„ „ 250 „ 300°
bei Stahl	„ „ 600 „ 700°

(wird stark von der Zusammensetzung beeinflusst).

¹ Werkstattbuch Heft 64, MIES, Metallographie.

² Ätzmittel für Makrountersuchung: a) 10 g festes Kupferammoniumchlorid werden in 120 cm³ destilliertem Wasser aufgelöst. Ätzdauer 1···3 min. Der entstehende Kupferniederschlag ist unter fließendem Wasser abzuwaschen. b) Nach ADLER-MATTING (Rezept: Es werden 3 g krist. Kupferammoniumchlorid in 25 cm³ destilliertem Wasser aufgelöst, dann sind 50 cm³ Salzsäure mit dem spez. Gewicht 1,19 und 15 g krist. Eisenchlorid zuzusetzen).

Bemerkenswert ist noch, daß Werkstücke, welche nach der Rekristallisation einer erneuten (u. U. schon sehr kleinen) Kaltverformung unterzogen werden, zur Ausbildung eines sehr groben Kornes neigen. Daher sollen z. B. „mittelharte Bleche“ keiner nachträglichen Wärmebehandlung unterzogen werden. Es ist also nochmals zu unterstreichen, daß Rekristallisation je nach den oben beschriebenen Umständen feines oder grobes Korn liefern kann.



Abb. 37. Querschnitt einer Lichtbogenschweißung, links Schweißung, rechts ungeschweißter Walzwerkstoff, Zeilenstruktur. 60 ×.

b d

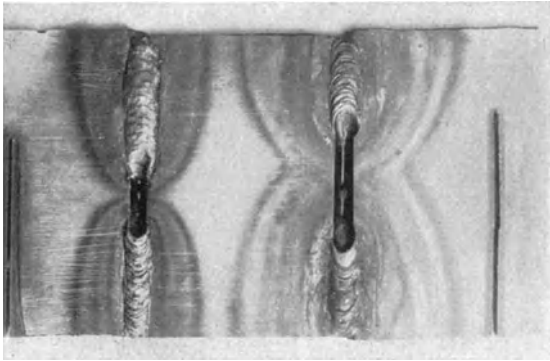


Abb. 38. Anlauffarben beim Schweißen und Schneiden zum Nachweis der Wärmeeinflußzonen. *a* mit blanker Elektrode, *b* mit umhüllter Elektrode geschweißt; *c* beim Gasschweißen (Linksschweißen), *d* beim Rechtsschweißen; *e* beim autogenen Handschnitt, *f* beim Maschinenschnitt.



Abb. 39. Gußgefüge einer Lichtbogenschweißung. 100 ×.

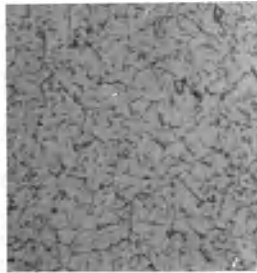


Abb. 40. Feinkörniges Gefüge durch Vergüten der Schweißung. 100 ×.

b) Gefüge einer Schweißverbindung.

Man geht bei der Erklärung am besten vom Grundwerkstoff aus (Abb. 37). Je nachdem, ob es sich um Guß- oder Walz- (Knet-) Teile handelt, kann man Guß- oder Walzgefüge feststellen. Bei gewalztem Werkstoffe sieht man die „Zeilengefüge“ als Folge des Walzvorganges. Es schließt sich die Wärmeeinflußzone an (s. auch Abb. 38). Durch die Hitze des Schweißvorganges wird der Grundwerkstoff entsprechend der oben angegebenen Regel verändert; also entsteht in weiterer Entfernung von der Schmelzzone ein aufgelockertes Gefüge, die Zeilen verlieren sich. Das Korn wird

um so größer, je näher man der Schweißung kommt. Es schließt sich die Mischzone an, welche durch die Vermischung des Grundwerkstoffes mit dem Schweißwerkstoff zustande kommt, und welche zur eigentlichen Schweißzone überleitet. Diese hat zunächst Gußgefüge (Abb. 39), d. h. es bilden sich lange stengelige Kristalle aus, die in Richtung des Wärmeflusses, also senkrecht zu den Schweißkanten, stehen. Bei der Lichtbogenschweißung mit blanken Elektroden ist in der Regel die Wärmeeinflußzone sehr klein. Durch bestimmte Zusätze zu den Elektroden tritt unter Umständen ein sehr feines gleichmäßiges Korn auf.

c) Veränderung des Gefüges nach dem Schweißen: Das grobe Gußgefüge mancher Schweißungen kann man durch schnelle Erhitzung oberhalb der „Umwandlungstemperaturen“ (bei Stahl etwa 900°) mit anschließender Abkühlung in feines Korn ver-

wandeln, „normalisieren“ (Abb. 40). Dabei richtet sich die Glühdauer nach der Werkstückdicke. Im allgemeinen wählt man je 1 mm Blechdicke 1 Minute, mindestens 20 Minuten. Glüht man bei zu hoher Temperatur oder zu lange, so

erhält man wieder grobes Korn. Es ist aber hierbei noch darauf zu achten, daß das Glühen dort unzweckmäßig ist, wo sich durch das Glühen schädliche Gefügebestandteile auszubilden pflegen. So sollte man Blankdrahtschweißungen in der Regel nicht glühen, da sich bei solchen Schweißungen durch das Glühen infolge des hohen Stickstoffgehaltes „Stickstoffnadeln“ bilden, welche stets unerwünscht sind. Im übrigen kann man die Feinkornbildung erheblich durch Hämmern bei Temperaturen oberhalb der Umwandlungszone unterstützen. Allerdings kann dieses Hämmern in der Praxis schlecht durchgeführt werden, da eine genaue Temperaturüberwachung unerläßlich und eine Gleichmäßigkeit des Hämmervorganges schlecht gewährleistet ist; denn ist die Temperatur zu niedrig, so tritt ein „Zerschlagen“ des Gefüges ein (Rißgefahr); wird ungleichmäßig gehämmert, so liegen neben „vergüteten“ Stellen „unvergütete“. Von diesem „Normalglühen“ ist das Spannungsfreiglühen zu unterscheiden. Hier werden nur solche Temperaturen angestrebt (etwa 650°), bei welchen infolge Erweichung des Werkteiles innere Spannungen ausgeglichen werden können; eine Gefügewandlung tritt dabei nicht ein (s. auch Abb. 41).

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

a) Sauerstoff kommt dadurch in die Schweiße, daß das hocheerhitzte Schweißgut von der Elektrodenspitze durch die Luft in die Schweiße übergeht. Man findet ihn in der Schweiße entweder als Schlackenhaut, die die einzelnen Tröpfchen umgibt, oder gelöst. Im ersten Falle hat die Schweißung geringe Festigkeit (verbrannte Schweiße), im anderen Falle ist die Schmiebarkeit herabgesetzt. Die Beurteilung des Einflusses von Sauerstoff ist deshalb so schwierig, weil Sauerstoff in verschiedener Bindungsart auftreten kann (z. B. FeO ; MnO ; SiO_2 ; Al_2O_3). So wird z. B. die Kerbzähigkeit der Schweißnaht durch die Bindung des Sauerstoffs an Silizium erhöht, dagegen verursacht die Bindung des Sauerstoffs an Eisen leicht Schrumpfrisse und Alterungserscheinungen. Gegenmaßnahmen gegen Sauerstoffaufnahme 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 im Eisen gelöst sein. In dieser Form verursacht er Alterungserscheinungen und ist daher für die Schweißung gefährlicher als der mit Eisen chemisch gebundene Stickstoff (die „Stickstoffnadeln“) (Abb. 42). Hoher Stickstoffgehalt kommt stets gleichzeitig mit hohem Sauerstoffgehalt vor; daher überlagern sich diese beiden Einflüsse.

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

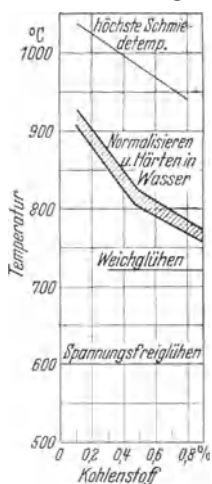


Abb. 41. Abhängigkeit der Glüh- und Schmiedetemperatur vom Kohlenstoffgehalt.



Abb. 42. Stickstoffnadeln (Nitridnadeln) einer Lichtbogenschweißung. 500 ×.

Bei höheren Mangangehalten tritt vor allem bei höheren Gehalten an Kohlenstoff Härtung des Gefüges ein.

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) Wasserstoff kommt durch Feuchtigkeit der Elektrode, vor allem der Umhüllung, in die Schweißung. Im Bruchgefüge erkennt man ihn an eigenartigen hellen Flecken („Fischaugen“). Die Sprödigkeit der Schweißung wird durch ihn erhöht; auch vergrößert er die Gefahr der Ribbildung in der Schweißung. Durch Hämmern der Schweißung soll der schlechte Einfluß vermindert werden können. Besser ist es, wenn man Feuchtigkeit von der Elektrode grundsätzlich fernhält.

h) 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, soll der Gehalt an ihnen möglichst niedrig sein.

32. Mechanische Eigenschaften der Schweißnaht. Dieses Kapitel lehnt sich zum Teil eng an die Prüfung von Schweißverbindungen an (s. S. 63).

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 in solchen Fällen ist 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 s. S. 64. 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 erkaufte werden.

c) Die Härte von Schweißungen ist an der Oberfläche stets größer als im Grunde. Auch über die Nahtoberfläche 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 Härte und der Zugfestigkeit, wie sie sonst bei Stahl gültig ist, hier kaum genannt werden kann. Mitunter liest man die Beziehung $\sigma_B = 0,31 H$; allgemeine Gültigkeit hat sie nicht (s. auch Abb. 43).

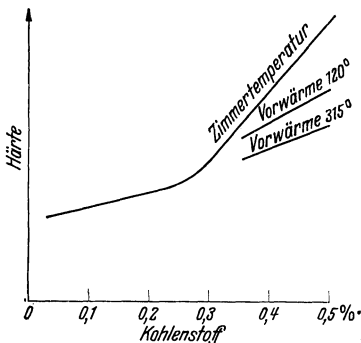


Abb. 43. Abhängigkeit der Naht Härte vom Kohlenstoffgehalt bei verschiedenen Anfangstemperaturen des Stückes.

Nicht durchgeschweißte Nähte zeigen infolge Fließbehinderung (s. auch S. 6) einen starken Härteanstieg (Versprödung). Daher kommt es, daß nicht durchgeschweißte Längsnähte eines Kessels bei der Druckprüfung vollkommen dicht halten, daß sie dann aber bei wiederholten Beanspruchungen im Betriebe u. U. schlagartig aufreißen.

d) Die Kerbzähigkeit 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 vor-

handenen 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.

Hinzuweisen ist noch darauf, daß die Kerbzähigkeit stark von der Temperatur abhängig ist. Gewöhnlicher Stahl hat bei -80°C nur noch etwa 12% der Kerbzähigkeit bei Zimmertemperatur. Geschweißte Stähle haben einen ähnlichen Abfall, wobei jedoch durch Vergüten annähernd die Werte des ungeschweißten Werkstoffes erreicht werden.

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 Stumpfstirtnah. 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.

33. Arten der Schweißnähte. Man unterscheidet grundlegend die Nähte je nach der Lage in Stoßnaht und Kehlnaht. Die Stoßnähte (Abb. 44...48) unterteilt man wiederum

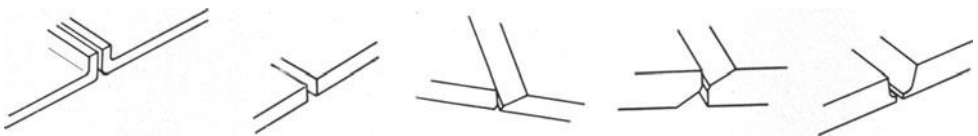


Abb. 44. Bördelnaht.

Abb. 45. I-Naht.

Abb. 46. V-Naht.

Abb. 47. X-Naht.

Abb. 48. U- oder Kelchnaht.

nach der Art der Vorbereitung der beiden Werkteilkanten, die verschweißt werden sollen, in Bördel-, I-, V-, X-, U- oder Kelchnähte. Die Kehlnähte (Abb. 49...51) unterteilt man weiter nach der Form der Kehle in Voll-, Glatt-, Hohlkehlnähte. Als ein Mittelding zwischen der Stumpf- und Kehlnaht kann die Ecknaht aufgefaßt werden (Abb. 52). Die $1/2$ V-Naht zeigt Abb. 53, die K-Naht Abb. 54.

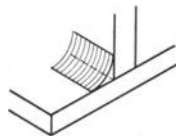


Abb. 49. Hohlkehlnaht.

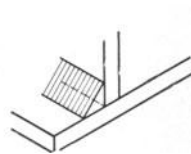


Abb. 50. Glatte Kehlnaht.

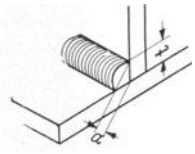


Abb. 51. Vollkehlnaht.

Nach der Krafrichtung zur Naht unterteilt man in Stirn- und Flankennaht. Als Mittelding zwischen der Stirn- und Flankennaht kann die Schrägnaht aufgefaßt werden (Abb. 55).

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

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; s. Abb. 56...59.

Neben diesen grundlegenden Arten gibt es noch eine Reihe von Nahtarten, deren Bezeichnung sich im Laufe der Zeit als üblich eingebürgert hat. Unter Strichnaht versteht



Abb. 52. Ecknaht.

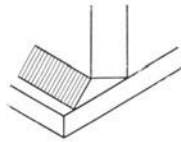


Abb. 53. 1/2 V-Naht.

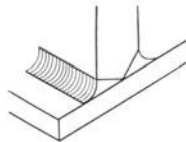


Abb. 54. K-Naht.

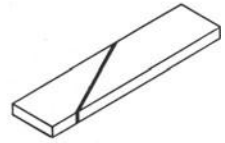


Abb. 55. Schrägnaht.

man eine unterbrochene, meist dünne Kehlnaht; eine Zickzacknaht (Abb. 60) ist eine Kehlnaht (eigentlich zwei Kehlnähte), deren Abschnitte versetzt an zwei 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. 61).

Eine Schlitz- oder Lochnaht kommt bei einer überlappten 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. 62).

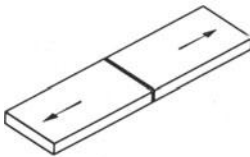


Abb. 56. Stoßstirnaht.

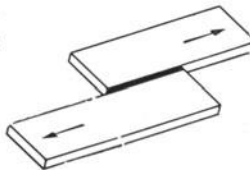


Abb. 57. Stoßflanken-naht.

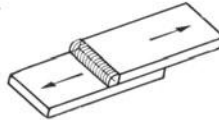


Abb. 58. Kehlstirnaht.

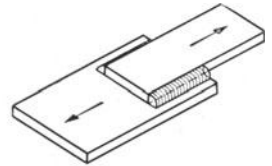


Abb. 59. Kehlfanken-naht.

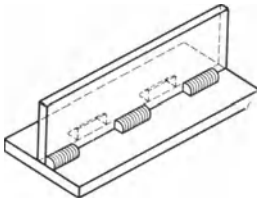


Abb. 60. Zickzacknaht.

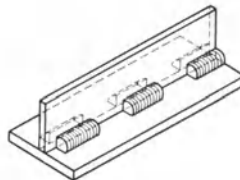


Abb. 61. Kettennaht.

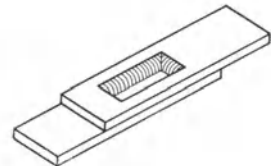


Abb. 62. Lochnaht.

34. Die Beurteilung der Nahtarten 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 Stoßnaht mit X-Absträgung der Kanten oder auch die Stoß-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 Stoßnaht. So scheint die Stoßnaht immer überlegen zu sein; sie hat aber doch gewisse Übelstände: die Vorbereitung und den Zusammenbau. Nach diesen Gesichtspunkten 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 Schrägnaht 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 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 Schrägnaht die Naht, die die höchste Dauertfestigkeit 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 Stoßnaht gedacht.

35. Zeichen der Schweißnähte s. Aufstellung nach DIN 1912 (Abb. 63).

36. Abmessungen der Schweißnähte.

a) Stoß- und Kehlnähte. a = Nahtdicke; s = Blechdicke; b = Abstand zwischen Kante und Anfang der Schweißstelle; l = Nahtlänge ohne Krater = rechnermäßige Länge für Festigkeitsnachprüfungen; L = Nahtlänge mit Krater, dient zur Kalkulationsgrundlage von Schweißungen; e = Mittenentfernung der Schweißstellen bei unterbrochenen Nähten; n = Anzahl der Schweißstellen; t = im Kehlnahtquerschnitt Schenkellänge des eingeschriebenen Dreiecks; h = Schenkellänge der Hohlnaht.

b) Lochnähte. d = Durchmesser des Loches; e = Abstand der Löcher; n = Anzahl der Schweißstellen, der Löcher.

c) Schlitznähte. b = Schlitzbreite; l = Schlitzlänge; e = Mittenabstand der Schlitzte; n = Anzahl der Schlitzte.

d) Kurzzeichen. G = Gasschweißen; E = Lichtbogenschweißen; R = Widerstandsschweißen. Montageschweißzeichen s. Abb. 64, 65.

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. 66.

37. Eintragung der Schweißzeichen. Man richtet sich nach den üblichen Regeln des Maschinenbaus, als ob die Schweißnaht ein Teil (wie z. B. ein Niet) für sich wäre, d. h. das Schweißzeichen (das Symbol) ist in jeder Ansicht der Naht ein mal einzutragen. Verdeckt liegende Nähte werden nur eingetragen, wenn die zugehörige Kante gestrichelt (also als „unsichtbare“ Kante) gezeichnet ist. Auf der ganzen Zeichnung ist jede Naht nur ein mal zu bemaßen, und zwar dort, wo gerade die Naht am deutlichsten zu sehen ist. Liegen zwei Nähte hintereinander, so werden die Angaben für die vordere Naht über dem Bezugsstrich, für die hintere Naht unter dem Bezugsstrich eingetragen. Bezüglich der Reihenfolge gilt, daß zunächst das Sinnbild, dann die Ziffernwerte, schließlich das Kurzzeichen für das

Benennung	Grundzeichen	Sinnbilder			
		überwölbt	flach	hoch	wurzelseitig nachgeschweißt
Bördelnaht					
I-Naht					
V-Naht					
U-Naht					
X-Naht					
Doppel-U-Naht					
Kehlnaht					
Ecknaht					
Dreiblechtnaht					
1/2-V-Naht					
K-Naht					
Loch-u. Schlitznaht	\pm				\pm

Abb. 63. Zeichen für Schweißnähte.

b) Lochnähte. d = Durchmesser des Loches; e = Abstand der Löcher; n = Anzahl der Schweißstellen, der Löcher.

c) Schlitznähte. b = Schlitzbreite; l = Schlitzlänge; e = Mittenabstand der Schlitzte; n = Anzahl der Schlitzte.

d) Kurzzeichen. G = Gasschweißen; E = Lichtbogenschweißen; R = Widerstandsschweißen. Montageschweißzeichen s. Abb. 64, 65.

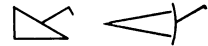


Abb. 64 u. 65. Montageschweißzeichen.

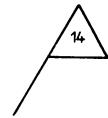


Abb. 66. Zeichen für Bezifferung von Schweißnähten.

Schweißverfahren anzugeben sind. Dabei ist zu merken, daß bei Kettennähten zwischen l und e ein $/$, bei Zickzacknähten ein Z zu setzen ist. Bei durchlaufenden Nähten ist vor l stets ein $-$ zu setzen, desgleichen vor n bei unterbrochenen Nähten. Bei solchen Nähten steht zwischen n und l ein \times . Bei Lochnähten ist zwischen d und n ein $-$, zwischen n und e ein \times , bei Schlitznähten zwischen l und n ein $-$, zwischen b und l und zwischen n und e ein \times anzubringen.

38. 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.

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. Schlitze bei Schachtelkonstruktionen) in der Zeichnung übertrieben darstellen und dadurch die Deutlichkeit erhöhen. Für



Abb. 67...72. Aussteifungen.

plan erforderlich sein, der auch wieder die Schweißnähte und ihre Reihenfolge zeigt.

verwickelte Teile und Knoten kann ein Schweiß in schematischer, übertriebener Darstellung die

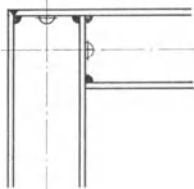


Abb. 73.

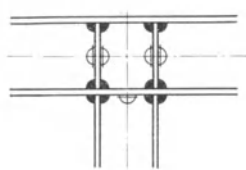


Abb. 74. Ecken.

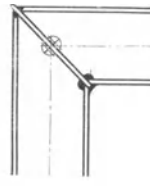


Abb. 75.

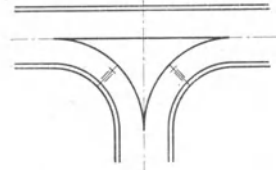


Abb. 76. Vierendeelknoten.

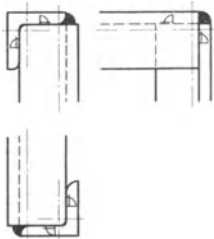


Abb. 77. Ecke aus Winkelprofilen.

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

Aussteifungen Abb. 67...72. Abb. 67 ist der genieteten Bauweise nachgebildet und ergibt bei zu dünnen Blechen (unter 3 mm) leicht an der Seite Einbeulungen des Bleches. Abb. 68 kommt für dünne Bleche in Frage. Verbindung durch Lochnaht. Abb. 69 ist eine Verbesserung von 67: das Trägheitsmoment ist größer, außerdem erlangt man eine glatte Auflage. Abb. 70 wird im allgemeinen ausreichen. Abb. 71 zeigt einen Dreiblechstoß, der bei guter Ausführung sehr zu empfehlen ist. Abb. 72 stellt gegen Abb. 71 eine Verstärkung dar.

Ecken (Abb. 73...77). Für gute Unterbringung der Naht links oben bei Abb. 73 und 74 ist durch Abschrägen zu sorgen. Abb. 76 zeigt einen Vierendeelknoten, der durch Heraus schneiden 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 zwei Deckbleche mit Versteifungs-

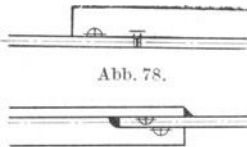


Abb. 78.



Abb. 79.

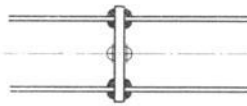


Abb. 80.



Abb. 81.

Abb. 78...81. Längsanschlüsse.

rippen verstärken. Abb. 77 zeigt eine Ecke aus gleichschenkligen Winkelprofilen. Die Schweißnaht liegt in den drei Richtungen des Raumes, stellt also eine sehr starre Verbindung dar.

Längsanschlüsse (Abb. 78...82). Diese Anschlüsse können Zugkräfte übertragen. Abb. 78 ist entstanden durch Ausklinken des unteren Schenkels; Abb. 79 durch Einschneiden des Steges mit dem besonderen Zwecke, die Schwerlinien ineinander übergehen zu lassen. Abb. 80 zeigt eine Verbindung durch Stoßblech, Abb. 81 durch Längslaschen. Hier hat man den Vorteil, daß die obere Trägerebene glatt bleibt. Abb. 82 zeigt die Verbindung eines Winkelprofils mit einem Blech in der Richtung der einen Hauptachse.

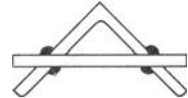


Abb. 82. Anschluß eines Winkelprofils.

Queranschlüsse (Abb. 83...88). Abb. 83 zeigt das Bestreben, die wesentlichen Teile des U-Profils, die Flanschen, zum Tragen heranzuziehen. In Abb. 84 ist der Steg des Hauptprofils von dem Übertragen der Kräfte der Anschlußprofile durch die Lasche fast völlig entlastet. Abb. 85, Anschluß eines Rechteckprofils an ein U-Profil, zeigt wieder

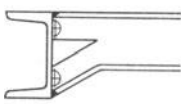


Abb. 83.

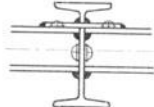


Abb. 84.



Abb. 85.

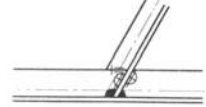


Abb. 86.

die völlige Durchdringung der beiden Profile und damit die beste Kraftübertragung; ein Grundsatz, der in Abb. 86, Anschluß zweier T-Profile durch Ausklinken und Einschneiden des einen Profils, möglichst befolgt wurde. Die Kehlnaht rechts unten darf vorgesehen werden, wenn der Winkel der beiden zusammenlaufenden Stäbe gleich oder größer als 60° ist. Abb. 87 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. 73 [hier wäre noch ein eingesetztes Blech als Fortsetzung des unteren Flansches besser], 74, 83, 85, 86.)

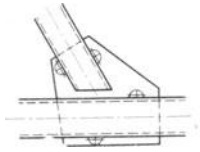


Abb. 87.

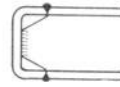


Abb. 88.

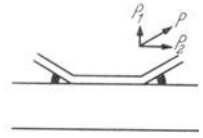


Abb. 89.

Abb. 83...89. Queranschlüsse.

Ähnliches zeigt der Anschluß zweier abgekanteter Profile (Abb. 88). Abb. 89 zeigt eine falsche Bauweise. Abgesehen davon, daß der Winkel zu klein ist, so daß die Schweißung nicht



Abb. 90.



Abb. 91.



Abb. 92.



Abb. 93.



Abb. 94.

Abb. 90...94. Hohlprofile.

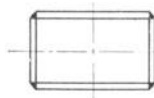


Abb. 95.

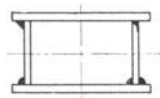


Abb. 96.

Abb. 95 u. 96. Kastenprofile.

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. 85).

Hohlprofile (Abb. 90...94). Abb. 91 und 93 sind unsymmetrisch, daher verziehen sich solche Träger und sind entsprechend vorzubiegen.

Kastenprofile (Abb. 95 u. 96). Bei Abb. 96 sind verschiedene Ausbildungsmöglichkeiten der Ecken gezeigt.

Stützprofile (Abb. 97...99). Außer den bekannten Bauweisen von zwei U- oder I-Profilen mit Bindeblechen, wie sie vom Nieten her bekannt sind, sind hier Stützprofile aus Winkeln gezeigt. Abb. 98 mit kreuzweise versetzten Bindeblechen. Abb. 99 völlig symmetrisch, aber durch die teure Vorbereitung des Abschrägens selten angewendet.



Abb. 97.

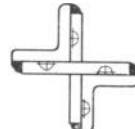


Abb. 98.



Abb. 99.

Abb. 97...99. Stützprofile.

Träger (Abb. 100...107). Abb. 100: die übliche Bauweise mit drei Rechteckprofilen; Abb. 101 und 102 mit Sonderprofilen. Schneidet man ein I-Profil nach der gestrichelten Linie in Abb. 103, zieht dann die Hälften auseinander und setzt sie, wie Abb. 104 zeigt, zusammen,

so erhält man ein Profil mit sehr hohem Trägheitsmoment; natürlich müßte es noch durch senkrechte Versteifungsbleche gegen Ausbeulen gesichert werden. Wie Abb. 105 zeigt, erhält man nach Zerschneiden nach der gestrichelten Linie ein I-Profil mit veränderlicher Trägerhöhe

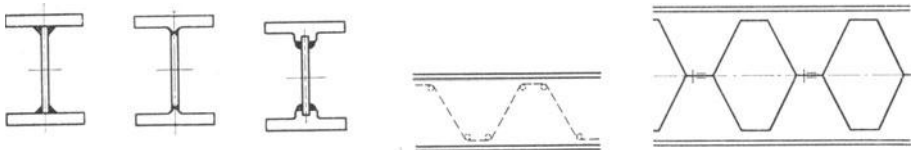


Abb. 100. Abb. 101. Abb. 102. Abb. 103. Abb. 104.

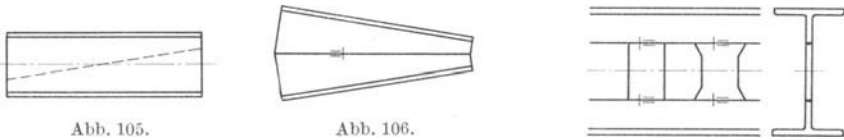


Abb. 105. Abb. 106. Abb. 107.

Abb. 100...107. Träger.

(Abb. 106). Man kann dann hier leicht den Träger gleicher Festigkeit verwirklichen. Ein ähnliches Profil wie Abb. 104 erhält man durch Zwischensetzen von Stegblechen zwischen zwei T-Profile. Abb. 107 zeigt zwei verschiedene Möglichkeiten.

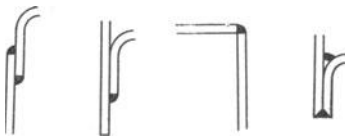


Abb. 108. Abb. 109. Abb. 110. Abb. 111.

Abb. 108...111. Bodenanschlüsse.

Bodenanschlüsse (Abb. 108...111). Abgesehen von dem einfachen Anschluß durch Stoßnaht zeigt Abb. 108 die übliche Bauweise. Nur setze man die Naht nicht zu nahe der durch die vorhergehende Herstellung geschwächten Kumpelung. Bei Abb. 109 bleibe man weit vom Rande, damit die Schweißung noch bequem untergebracht werden kann. Abb. 110 ist durch die gleichzeitige Übertragung von Zug- und Biegungsspannungen bedenklich und daher nur für kleine Kräfte zu empfehlen. Abb. 111 zeigt eine verfehlte Bauweise:

Die obere Naht kann wegen zu kleinen Winkels nicht richtig eingebracht werden, sie sitzt außerdem unmittelbar an der Kumpelung; die untere Naht liegt an der äußersten Faser, daher ist sie auch nicht sicher. (Eine gute Naht ist immer besser als zwei fragwürdige Nähte!)

Flanschanschlüsse (Abb. 112...123). Abb. 112 für kleine Kräfte, Abb. 113 und 114 für größere, Abb. 115 für noch größere. Hier ist eine sehr wirksame und einfache Versteifung durch Eckbleche angewendet, die in den anderen Entwürfen auch angewendet werden kann.

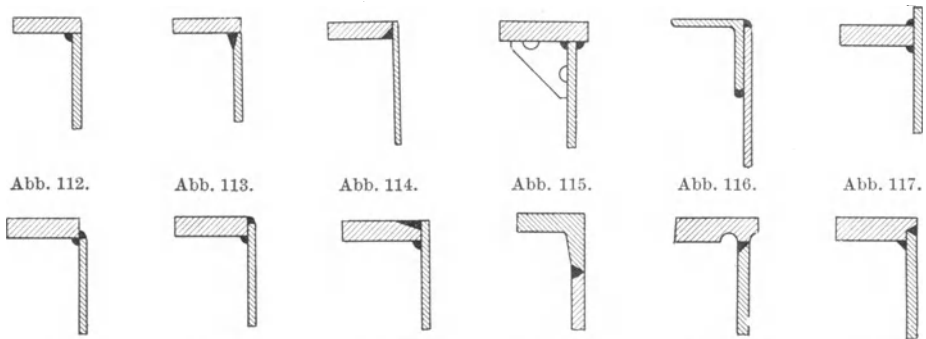


Abb. 112. Abb. 113. Abb. 114. Abb. 115. Abb. 116. Abb. 117.

Abb. 118. Abb. 119. Abb. 120. Abb. 121. Abb. 122. Abb. 123.

Abb. 112...123. Flanschanschlüsse.

Abb. 116 zeigt die Verwendung eines Winkelprofils. Die vorstehende Kante der Abb. 117 eignet sich als Bearbeitungsleiste. Abb. 118 ist in der Vorbereitung teuer. Abb. 120 und 123 sind für schwere Verbindungen. Abb. 121 und 122 eignen sich mehr für Gasschweißung.

Verdrehungssteife Profile müssen immer geschlossen sein (also haben z. B. Rohr- oder Kastenquerschnitt). Offene Profile (z. B. U-Profile) werden durch Einschweißen von Stegen (s. Abb. 124...126) verdrehungssteif gemacht.

Hingewiesen sei auf die großen Vorteile der Raumverbindungen. Solche Verbindungen kommen dadurch zustande, daß ein Blech nicht in die Anschlußebene der Profile gelegt wird, sondern räumlich gestellt wird. Man erreicht durch solche Maßnahmen, die nur durch Schweißen, nie durch Nieten zu verwirklichen sind, eine große Starrheit der Konstruktion. Abb. 127 und 128 zeigen einige solcher Möglichkeiten.

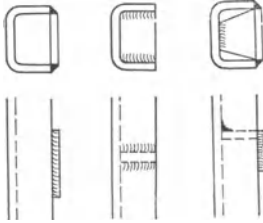


Abb. 124. Abb. 125. Abb. 126.

Abb. 124...126. Einschweißte Stege in abgekanteten U-Profilen.

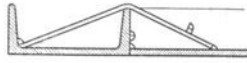


Abb. 127.

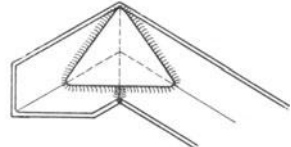


Abb. 128.

Abb. 127 u. 128. Raumverbindungen.

Stangenköpfe zeigen Abb. 129 und 130, Ansätze Abb. 131 und 132. Räder: äußere Bandage gebogenes Flachprofil mit Stoßnaht. Speichen einzeln eingeschweißt oder ganze Scheibe; Nabe entweder aus dem Vollen bohren oder aus Stahlguß.

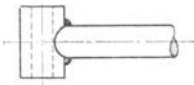


Abb. 129.

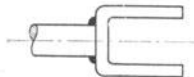


Abb. 130.

Abb. 129 u. 130. Stangenköpfe.

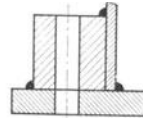


Abb. 131.

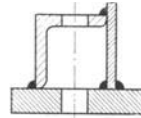


Abb. 132.

Abb. 131 u. 132. Ansätze.

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 untersuchen, 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 rechnermäßig nachzuprüfen, ob die Nähte diese Kräfte übertragen können (Abb. 133).

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 Angaben ja bald veralten würden. 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.

k) Beachte die zum Teil bis ins einzelne gehenden Anweisungen der amtlichen Vorschriften (s. S. 66).

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. 74, 86, 87 zeigen verschiedene Ausführungen.

m) Nach Möglichkeit sind bestimmte Punkte zu vermeiden:

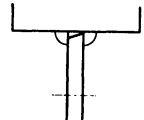


Abb. 133. Stegblechnähte bei schlechter Vorbereitung des Stegbleches.

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

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

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

4. 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.

5. 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.

6. 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.

7. Gedoppelte Stoßbleche, die auf Zug beansprucht sind. Bleche zeigen mitunter Doppelungen, die man vorher kaum feststellen kann. Selbst ein geprüftes Blech kann an einer anderen Stelle solche Doppelungen haben, das Blech reißt dann bei Beanspruchung auf (Abb. 134).

8. 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 zusammenschweißen. Natürlich können hier nicht feste Regeln gegeben werden, immerhin ist eine diesbezügliche Untersuchung wohl am Platze.

9. Zu dicke Nähte 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.

n) Leichtbauweise. Die Lichtbogenschweißung hat eine besondere Anwendung beim Leichtbau gefunden. Man versteht darunter nicht nur Konstruktionen, die sich das niedrige spezifische Gewicht eines bestimmten Werkstoffes (z. B. der Leichtmetalle) zunutze machen, um Gewicht zu sparen, sondern die mit besonderen Konstruktionsgrundsätzen es erreichen, auch mit dem Werkstoff Stahl (u. U. unter Anwendung eines Stahles mit höherer Festigkeit) eine erhebliche Gewichtersparnis durchzusetzen. Es kann hier nicht die Aufgabe sein, die umfangreichen Probleme des „Leichtbaues“ darzulegen. Doch soll versucht werden, an einem einfachen Beispiel einer Wand das Grundsätzliche dieser Bauweise zu erörtern. Abb. 135 zeigt die Wand in Plattenbauweise, der ältesten Ausführungsart. Daraus entwickelte sich die Zellenbauweise (Abb. 136), die dadurch gekennzeichnet ist, daß jetzt die Wand in einzelne Zellen unterteilt wird. Da man dadurch den Werkstoff mehr auf die äußeren Zonen zusammendrängt, erreicht man ein größeres Trägheitsmoment und dadurch eine größere Starrheit. In Abb. 137 ist dann noch die Wand in Schalenbauweise gekennzeichnet. Die Wand ist gewölbt und kreuz und quer versteift, so daß sie vor allem jetzt für Nebenbeanspruchungen z. B. Verdrehungsbeanspruchung sehr steif wird, vor allem dann, wenn die „Schale“ geschlossen ist, also eine Art Rohrquerschnitt entstanden ist.



Abb. 135.
Plattenbauweise.

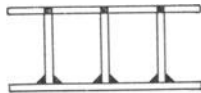


Abb. 136.
Zellenbauweise.

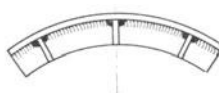


Abb. 137.
Schalenbauweise.

Schließlich sei noch auf die Möglichkeit hingewiesen, verwickelte kleinere Anschlußstücke, die sich durch Schweißen schlecht herstellen lassen, dadurch anzubringen, daß man sie aus

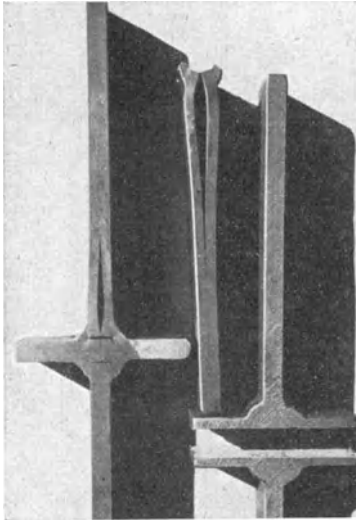


Abb. 134. Aufspalten eines Bleches infolge Walzfehlers (Doppelung eines Bleches).

Temperguß oder Stahlguß herstellt und sie an das Teil anschweißt. Auch das Anschweißen von Drehteilen aus Automatenstahl gehört hierzu.

C. Festigkeitsberechnung der Naht.

39. Allgemeines. Man legt bei der Festigkeitsberechnung der Naht den Querschnitt $a \cdot l$ zugrunde. Für Stoßnähte wird darin die Nahtdicke a gleich der kleinsten angeschlossenen Blechdicke gesetzt. Bei Kehlnähten denkt man sich der einfacheren Rechnung halber den Querschnitt $a \cdot l$ in die Anschlußebene hineingeklappert. Da $a = 0,7 \cdot s$ ist und man bei vielen Rechnungen von dem Maß s ausgeht, erscheint in den Rechnungen bei dieser Gelegenheit der Faktor 0,7. 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 s 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.

Abweichend von den normengemäßen Vorschriften der Darstellung von Schweißnähten stellt man bei Festigkeitsrechnungen die Nähte gern als eingezeichnete Rechtecke ($a \cdot l$) dar, da man sich dadurch besonders leicht verständlich machen kann. Auch die in Abschn. 36 angegebene Bezifferung der Schweißnähte leistet hier gute Dienste, da man die Aufteilung der Kräfte auf die einzelnen Nähte besonders deutlich durchführen kann.

40. Grundlagen der statischen Festigkeitsberechnung von Schweißnähten (Beanspruchung durch ruhende Kräfte). Die Spannung der Schweißnaht infolge von ruhenden Kräften wird mit ρ bezeichnet. Die zulässigen Beanspruchungen richten sich nach den zulässigen Spannungen des Grundwerkstoffes (Tabelle 1).

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

Es wird angenommen, daß alle Nähte gleichmäßig tragen, so daß sich als Grundbeziehung ergibt $\rho = P/F$. Dabei ist F die Summe aller am Tragen beteiligten Nahtquerschnitte. Für das

Übertragen von Biegemomenten ergibt sich aus ähnlicher Überlegung $\rho = M/W$; $\rho = \frac{M \cdot e}{J}$

wobei M das zu übertragende Biegemoment, W das Widerstandsmoment bezogen auf die Biegeachse bzw. I das Trägheitsmoment und e der Abstand von der Schwerachse bis zur äußersten Faser ist. Da ja meistens Querkräfte gleichzeitig mit Momenten zu übertragen sind, so wird in solchen Fällen elementar die resultierende Spannung errechnet aus $\rho = \sqrt{\rho_1^2 + \rho_2^2}$, wobei dann wieder $\rho_1 = P/F$ und $\rho_2 = M/W$ ist. Mitunter geht man aber auch so vor, daß man bei einer Verbindung mit verschiedenen Nähten diese in solche aufteilt, die das Moment, aufgelöst in ein Kräftepaar, und in solche, welche die Querkraft übertragen. Die Entscheidung hierüber läßt sich nicht allgemein treffen, es muß hier das statische Gefühl des Konstrukteurs entscheiden.

Bei außermittigem Anschluß eines Stabes ist das Biegemoment zu berücksichtigen. Es wird verschieden groß sein, je nachdem ob man die Unterlage oder den Stab als absolut starr betrachtet (Abb. 138 u. 139). In Wirklichkeit wird weder das eine noch das andere voll zutreffen, es wird sich wahrscheinlich ein Moment einstellen, das zwischen diesen Größt- und Kleinstwerten liegt. Man geht aber sicher, wenn man das größtmögliche Moment, Abb. 138, berücksichtigt. Liegt der Schwerpunkt eines Anschlusses nicht auf der Schwerachse des Stabes, so muß das dadurch entstehende Biegemoment auch berücksichtigt werden.

Tabelle 1. Zulässige Spannungen von Schweißnähten nach DIN 4100.

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

In vielen Fällen wird es möglich sein, von den bekannten Berechnungsweisen genieteteter Bauteile auf die Berechnung geschweißter Verbindungen zu kommen. Man rechnet zunächst mit unterbrochener Schweißnaht, indem man den einzelnen Schweißnahtquerschnitt ähnlich dem Nietquerschnitt aufbaut. Bei Stegblechträgern müssen die Kehlnähte zwischen den Gurten und dem Steg Schubkräfte übertragen, die bekannterweise in der Mitte häufig den Kleinstwert, an den Auflagern in der Regel den Größt- wert haben. Bei langen Trägern sind diese Schubspannungen verhältnismäßig klein, die Nähte werden der Rechnung entsprechend sehr dünn ausfallen. Es ist dann zu prüfen, ob neben diesen Spannungen noch andere Spannungen auftreten; z. B. können bei ungenauer Fertigung nach Abb. 133 Druckspannungen in die Nähte kommen. Sie sind dann zu schwach

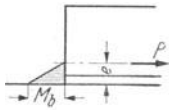


Abb. 138. Verlauf des Biegemomentes bei biegesteifer Unterlage.

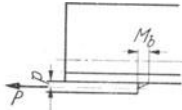


Abb. 139. Verlauf des Biegemomentes bei biegesteifem Stabe.

und reißen. Ein ähnlicher Fall liegt vor, wenn auf dem Unterflansch eines solchen Trägers eine Laufkatze aufgesetzt ist; dann werden die Nähte auf „Abreißen“ beansprucht, also ist dort besonders sorgfältige Nachprüfung unbedingt notwendig.

41. Grundlagen der dynamischen Festigkeitsberechnung von Schweißnähten (Beanspruchung durch wechselnde Kräfte) (s. a. W.-B. Nr. 34).

a) Rechnungsgang für den Maschinenbau. Durch Versuche stellte man die höchsten Spannungswerte fest, die das Teil in denkbar bester Schweißausführung bei verschiedenen Belastungsarten aushält. Die größte Spannung jedes Spannungswechsels bezeichnet man als „obere Grenzspannung“ σ_o , die kleinste als „untere Grenzspannung“ σ_u . Also vollzieht sich z. B. die Belastung eines Versuchstückes so, daß ein K-Stoß nach Abb. 54 gleichmäßig hin- und hergebogen wird. Hält er ein bestimmtes Maß des Hin- und Herbiegens mindestens etwa 3millionenmal aus („Grenzwechselzahl“), so erhält man die Dauerfestigkeit dieses Teiles für diese Belastungsart; man kann dann z. B. Abb. 140a schematisch zeichnen. Biegt man bei einer nächsten Versuchsgruppe ein solches Teil z. B. etwas mehr nach rechts als nach links und gerade auch wieder so weit, daß es 3 Millionen Lastwechsel aushält, so erhält man das schematische Schaubild 140b. Hier ist dann noch die „Mittelspannung“ σ_m und der „Spannungsaus- schlag“ σ_A eingezeichnet. Biegt man bei einer weiteren Versuchsgruppe den Anschluß nur nach rechts und läßt ihn nach jedem Biegen in die Anfangslage zurückgehen, wo also $\sigma_u = 0$ ist, so erhält man Diagramm 140c. Biegt man schließlich solche Teile ziemlich weit nach rechts, läßt sie aber nicht ganz in die Nullage zurückgehen, so erhält man in ein Diagramm, bei dem die jeweilige mittlere Spannung auf der x-Achse aufgetragen ist, so erhält man, wie in Abb. 141 gezeigt ist, das Schleifendiagramm.

Das Teil in denkbar bester Schweißausführung bei verschiedenen Belastungsarten aushält. Die größte Spannung jedes Spannungswechsels bezeichnet man als „obere Grenzspannung“ σ_o , die kleinste als „untere Grenzspannung“ σ_u . Also vollzieht sich z. B. die Belastung eines Versuchstückes so, daß ein K-Stoß nach Abb. 54 gleichmäßig hin- und hergebogen wird. Hält er ein bestimmtes Maß des Hin- und Herbiegens mindestens etwa 3millionenmal aus („Grenzwechselzahl“), so erhält man die Dauerfestigkeit dieses Teiles für diese Belastungsart; man kann dann z. B. Abb. 140a schematisch zeichnen. Biegt man bei einer nächsten Versuchsgruppe ein solches Teil z. B. etwas mehr nach rechts als nach links und gerade auch wieder so weit, daß es 3 Millionen Lastwechsel aushält, so erhält man das schematische Schaubild 140b. Hier ist dann noch die „Mittelspannung“ σ_m und der „Spannungsaus- schlag“ σ_A eingezeichnet. Biegt man bei einer weiteren Versuchsgruppe den Anschluß nur nach rechts und läßt ihn nach jedem Biegen in die Anfangslage zurückgehen, wo also $\sigma_u = 0$ ist, so erhält man Diagramm 140c. Biegt man schließlich solche Teile ziemlich weit nach rechts, läßt sie aber nicht ganz in die Nullage zurückgehen, so erhält man in ein Diagramm, bei dem die jeweilige mittlere Spannung auf der x-Achse aufgetragen ist, so erhält man, wie in Abb. 141 gezeigt ist, das Schleifendiagramm.

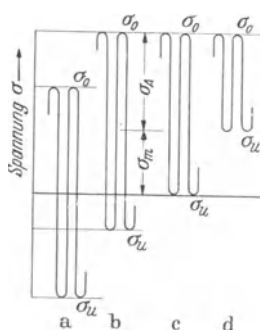


Abb. 140. Schematische Darstellung der Spannungsveränderungen bei wechselnder Belastung.

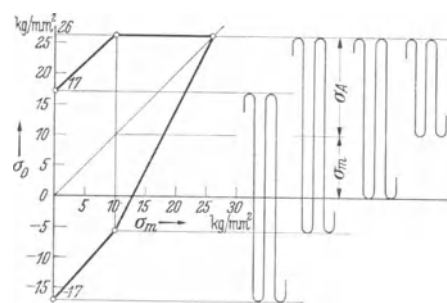


Abb. 141. Schematische Darstellung eines Schleifendiagramms nach SMITH.

Zum Nachprüfen einer geschweißten Verbindung braucht man das Schleifendiagramm nicht unbedingt; der Rechnungsgang stellt sich wie folgt dar. Man ermittelt zunächst aus den gegebenen Kräften die obere und untere Nenn- Grenzspannung, wie es im vorigen Kapitel bei ruhenden Lasten gezeigt ist. Aus diesen beiden Werten ermittelt man die „Mittelspannung“ $\sigma_{nm} = \frac{\sigma_{no} + \sigma_{nu}}{2}$ und den „Spannungsaus- schlag“ $\sigma_{na} = \frac{\sigma_{no} - \sigma_{nu}}{2}$. Nun kann das Schleifendiagramm durch einen Zug einzelner gerader Linien ersetzt werden (s. Abb. 140), der dann also die obere Grenzspannung σ_A für die bestmögliche Verbindung (die wurzelnachgeschweißte V-Naht) darstellt. Statt das Diagramm zu benutzen, kann man diese Werte folgendermaßen leicht errechnen:











$$\sigma_A = 17 - 0,1 \sigma_{nm} \text{ (für } \sigma_{nm} \leq 10)$$

$$\sigma_A = 26 - \sigma_{nm} \text{ (für } \sigma_{nm} \geq 10)$$

Nun kann das Schleifendiagramm durch einen Zug einzelner gerader Linien ersetzt werden (s. Abb. 140), der dann also die obere Grenzspannung σ_A für die bestmögliche Verbindung (die wurzelnachgeschweißte V-Naht) darstellt. Statt das Diagramm zu benutzen, kann man diese Werte folgendermaßen leicht errechnen:

Da nunmehr die tatsächliche Naht selten dem bestmöglichen Wert entspricht, muß man Beiwerte einführen, wodurch alle Faktoren, die auf die Dauerfestigkeit einer Schweißverbindung Einfluß haben, berücksichtigt werden. Der Beiwert c_0 soll sich auf den Werkstoff beziehen. Es wird vorgeschlagen: für St 37 $c_0 = 1$; für St 45 $c_0 = 1,05$; für St 52 $c_0 = 1,07$. Auf die Schweißgüte bezieht sich der Beiwert c_1 . Die denkbar beste, sorgfältigste Schweißausführung erhält den Wert $c_1 = 1$; während für die übliche Werkstattarbeit ein c_1 -Wert von 0,5 der richtige sein dürfte. Die Nahtform wird durch den Beiwert c_2 berücksichtigt, der aus Tabelle 2 ersichtlich ist. Die formbedingte Kerbwirkung wird durch den Beiwert c_3 erfaßt. So können zusammengesetzte Nähte vielleicht den Beiwert $c_3 = 0,6$ erhalten, Nähte, die auf Aufreißen beansprucht sind, den Wert 0,3. Der Einfluß der Stückgröße soll sich durch den Beiwert c_4 ausdrücken. Kleine handliche Teile erhalten $c_4 = 0,9$, ganz große 0,75.

Tabelle 2. Beiwerte c_2 zur Berücksichtigung des Einflusses der Nahtform auf die Dauerfestigkeit einer Verbindung.

Nahtformen	Zug Druck	Biegung	Schub
 Einseitige gerade Kehlnaht	0,4	0,2	0,4
 Doppelseitige gerade Kehlnaht	0,6	0,8	0,6
 Doppelseitige Hohlkehlnaht	0,7	0,9	0,7
 1/2 V-Naht	0,7	0,8	0,7
 2 1/2 V-Naht	0,7	0,8	0,7
 K-Naht	0,9	0,9	0,9
 Schrägnaht durchgeschweißt	0,95	0,9	0,9
 Geradnaht durchgeschweißt	0,9	0,9	0,7
 Schrägnaht; Wurzel nicht nachgeschweißt	0,7	0,7	0,7
 Geradnaht; Wurzel nicht nachgeschweißt	0,6	0,7	0,55

Der gesamte Beiwert c ergibt sich aus dem Produkt der einzelnen Beiwerte, also $c = c_0 \cdot c_1 \cdot c_2 \cdot c_3 \cdot c_4$. Den für die vorliegende Mittelspannung „zugelassenen“ Spannungsausschlag erhält man zu $\sigma_A' = c \cdot \sigma_A$. Man kann hieraus die Sicherheit errechnen durch:

$$S = \frac{\sigma_A'}{\sigma_{na}}. \text{ Diese ist üblicherweise } = 2, \text{ mindestens jedoch } 1,25.$$

Das Verfahren, das sich also an die im Maschinenbau üblichen anlehnt, hat den Vorteil, daß man durch die Beiwerte einen guten Überblick über den Einfluß der verschiedenen für das Schweißen wichtigen Faktoren erhält. Es hat den Nachteil, daß man mit diesem Verfahren nicht vorausrechnen, sondern nur die Sicherheit des bereits vorliegenden Entwurfes nachprüfen kann.

b) Rechnungsgang für den Brückenbau. Hier geht man von der Grundlage des Dauerfestigkeitsschaubildes nach WEYRAUCH-KOMMERELL aus (s. Abb. 142). Aus den eingezeichneten Beispielen (gestrichelte Linie) ist das Diagramm wohl sofort verständlich. Bei a ist die untere Grenzspannung gleich der oberen; b ist ein allgemeiner Fall; c ist der Sonderfall mit $\sigma_u = \text{Null}$ (Ursprungsfestigkeit); d ein allgemeiner Fall; e ruhende Belastung. Um auch hier das Abgreifen aus dem Diagramm zu vermeiden, hat man es auch wieder geradlinig begrenzt, so daß man die einzelnen Werte leicht berechnen kann. Da man also hier nicht mehr mit der Mittelspannung zu rechnen braucht, so kann man hier wieder ähnlich wie bei der Berechnung für ruhende Lasten mit „zulässigen“ Festigkeiten arbeiten.

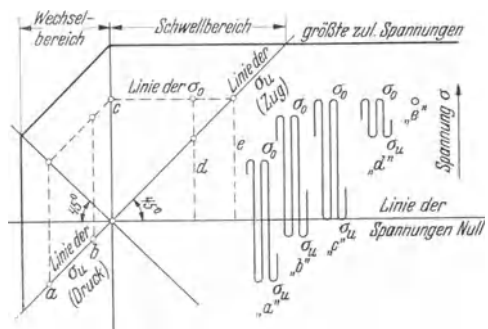


Abb. 142. Schematische Darstellung eines Dauerfestigkeitsschaubildes nach WEYRAUCH-KOMMERELL.

Diese zulässige Festigkeit ergibt sich aus $\sigma_{Dzul} = \frac{\sigma_{zul}}{\gamma}$, wobei γ stets größer als 1 ist und von dem Verhältnis der größten und kleinsten Kräfte bzw. Momente abhängt. Die Nahtform wird durch einen α -Wert berücksichtigt, der aus Tafeln der entsprechenden Vorschriften zu ersehen ist. Der Vorteil dieses Verfahrens ist der, daß man einen Entwurf „berechnen“ kann, da man zulässige Festigkeiten erhält, der Nachteil der, daß man die vielfältigen Möglichkeiten des Maschinenbaues schlechter berücksichtigen kann.

D. Kostenberechnung der Naht.

42. Allgemeine Grundlagen. Abb. 143 zeigt die Zusammenhänge der einzelnen Kosten einer Schweißnaht. Es sollen die einzelnen Punkte erklärt werden.

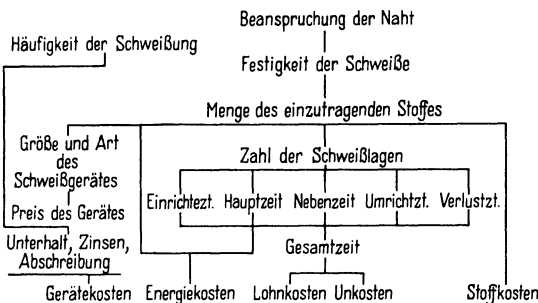


Abb. 143. Schematische Darstellung der Kosten beim Schweißen.

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 besonderer Festigkeit ausgeführt 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 Umspannern berücksichtigen, so genügt in der Regel ein 10proz. 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:

Einrichtzeit: 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). **Umrichtzeit:** Wenden des Werkstückes; Platzwechsel des Schweißers.

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

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 von einzelnen Fällen 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. Für den praktischen Betrieb werden vereinfachte Verfahren notwendig sein.

IV. Schweißarbeit.

A. Vorbereitung der Schweißarbeit.

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

43. 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, bei denen 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 s. unter den entsprechenden Kapiteln IV C). Einer besonderen Vorbereitung bedarf die Stoßnaht. 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 Stoßnaht. Für hochwertige Zwecke wird man schon bei 4 mm Blechdicke mit einer Abschrägung nach Abb. 144 beginnen können. Ganz allgemein gilt bezüglich des Abschrägungswinkels folgendes: Je größer man den

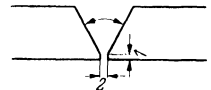


Abb. 144. Vorbereitung einer V-Naht.

Winkel wählt, desto bessere Ergebnisse in bezug auf Festigkeit der 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 Blech-

dicken 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).

44. 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 besonders gestaltete 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 B). Eine weitere Vorbereitungsarbeit ist gegebenenfalls ein Vorbiegen des Teiles zum Ausgleich des Verbiegens durch die Wärmespannungen (hierüber s. Näheres Abschn. 45 b).

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 ihrem Quer- oder Längsschrumpfungen an der Gesamtschrumpfung beteiligt sind (s. auch Abschn. 45 b und c).

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.

B. Durchführung der Schweißarbeit.

45. Allgemeines. a) Einteilung der Arbeiten. Man teilt die Arbeiten ein entweder nach der Art in Verbindungs- oder Auftragsarbeiten oder nach der Lage (s. Abb. 145).

b) Schweißspannungen. Spannungen, die durch das Schweißen in das Werkstück hineinkommen können oder sich durch das Schweißen äußern, haben verschiedene Herkunft.

Es sind hier zunächst die Zwängsschrumpfspannungen zu nennen. Man kann ihr Zustandekommen am besten folgendermaßen erklären: Erhitzt man eine Blechplatte in der Mitte, so versuchen diese erhitzten Teilchen sich auszudehnen. Da sie durch den umliegenden kalten Werkstoff daran gehindert werden, sie selbst aber durch die Wärme weich geworden sind, so tritt ein Stauchen ein. Kühlt man diese Stelle wieder ab, so zieht sie sich zusammen und versucht, auch den rahmenartigen Teil der übrigen Platte zusammenzuziehen. Gelingt ihr das, weil dieser rahmenartige Teil verhältnismäßig nachgiebig ist, so tritt eine Verformung der ganzen Blechplatte ein; gelingt ihr die Verformung nicht, weil der äußere Teil der Platte zu starr ist, so entstehen erhebliche Spannungen in der Platte. Erhitzt man eine Platte am Rande, ergeben sich ähnliche Verhältnisse; da aber jetzt eine gewisse Nachgiebigkeit der umliegenden Zonen in der Regel gewährleistet ist, so werden hier weniger Spannungen als Verformungen zurückbleiben. Faßt man die zwei Folgerungen zusammen, so ergibt sich: Erwärmung liefert in der Endwirkung Schrumpfung (Zusammenziehung); macht sich diese nicht äußerlich bemerkbar, so bleiben innere Spannungen zurück.

Von den Zwängsschrumpfspannungen unabhängig sind die Schwindschrumpfspannungen des Schweißgutes. Da ja jede Schweißnaht ein räumliches Gebilde ist und das Schweißgut in heißem Zustande aufgebracht wird, so zieht sich die Naht nach den drei Richtungen des Raumes zusammen, es ergeben sich damit die Längsschrumpfspannungen, die Querschrumpfspannungen und die Schrumpfung in der Tiefe. Diese letzten machen sich nur in Sonderfällen unangenehm bemerkbar; die beiden ersten sind die wichtigeren. Eine Naht wird also durch die Längsschrumpfspannungen kürzer. Da die Naht in der Regel oben breiter als unten ist, so machen sich die Querschrumpfspannungen häufig in einem starken Verziehen des ganzen Teiles bemerkbar.

Ein sehr wichtiger Punkt sind dann aber 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 darin 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 Schwierig-

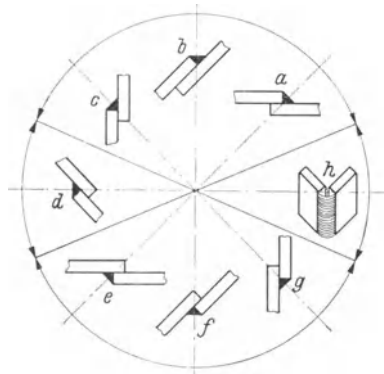


Abb. 145. Lage des Arbeitsstückes bei verschiedenen Schweißarbeiten. *a, b, c* Waagrechtsschweißungen; *d* Senkrechtsschweißung; *e, f, g* Überkopfschweißungen; *h* stehende Senkrechtsschweißung.

keiten 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.

e) Maßnahmen zur Überwindung der Spannungen. 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 (s. 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 Rißbildung befürchten zu müssen; man muß sich aber stets darüber klar sein, daß alle diese „künstlichen“ Maßnahmen auch ihre mehr oder minder schwerwiegenden Nachteile haben. Durch die schroffe Abschreckung können sich sehr unerwünschte Härtezunahmen, Versprödungen einstellen. Drückt man die Verziehungen „künstlich“ herab, so entstehen erhebliche innere Spannungen, die auch nicht wünschenswert sind. Man benützt daher lieber „natürliche“ Maßnahmen, z. B. 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 Nietten. 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 A 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 gegläht 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 Schweiße s. S. 28.) Es wird angewendet in der Gußeisen-Warmschweißung und in einigen Sonderfällen.

Es sei dann noch darauf hingewiesen, daß man die oben genannten Zwängsschrumpfspannungen benutzen kann, um Verwerfungen zu überwinden. Wenn man z. B. an ein Rohr nach Abb. 146 einen Anschluß zu schweißen hat, so wärmt man zweckmäßig die Gegenseite der Schweißstelle am Rohre etwas an. Es ziehen sich dann infolge der Zwängsschrumpfspannungen beide Seiten gleichzeitig zusammen, das Rohr bleibt gerade. Oder wenn ein Blech durch das Schweißen eine Beule bekommen hat, so kann man es dadurch eben machen, daß man die Mitte der Beule mit einem Schweißbrenner auf etwa 600° erhitzt. Durch die Zwängsschrumpfspannungen, welche durch diese Erhitzung eintreten, wird das Blech glattgezogen („Punktieren“). Oder wenn man auf ein Rohr als Nabe eine Scheibe aufgeschweißt hat, und die Scheibe sich windschief verzogen hat, so erhitzt man sie streifenartig von der Mitte nach dem Rande zu und kühlt gleich hinter der Erwärmungszone durch nasse Lappen oder einen darüberlaufenden Wasserstrahl scharf ab. Die Scheibe wird durch die Zwängsschrumpfspannungen glattgezogen.

Freilich gehört zur Durchführung solcher Verfahren etwas Geschick; vor allem hüte man sich vor Übertreibungen, weil man dann durch diese Spannungen auch Risse in den Werkstoff erhalten kann. Auch ist zu bedenken, daß bei Stählen, welche zu Alterungserscheinungen neigen, durch Spannungen in Verbindung mit Erwärmung schon nach kurzer Zeit (nach einigen Stunden) Alterung — also Versprödung — eintreten kann.

d) 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

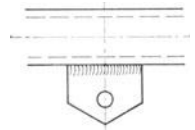


Abb. 146. Einseitiger Anschluß an ein Rohr.

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 21000 kg/mm² theoretisch 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 theoretisch 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.

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 ziffermäßig 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 bis 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.

46. 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 Schwefelgehalt 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

Tabelle 3. Elektrodenstärke, Stromstärke in Abhängigkeit von Nahtstärke beim Stahlschweißen (vor Benutzung s. untenstehende Ausführungen).

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
Stärkere Nähte werden meist in mehreren Lagen unter Verwendung der Durchmesser 4 u. 5 mm aus- geführt.	6	230
	8	350
	10	480
	12	600

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 Schwefelgehalt des Bleches daran schuld. Deswegen sollte man auch zum Prüfen der Schweißer nur ausgesucht gute Bleche verwenden und nicht irgendwelche Abfallstücke.

b) Elektrodendurchmesser. Als Anhalt diene etwa die Tabelle 3. 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 Ge-

schwindigkeit, 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 (s. Abb. 147), 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. 147) 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 Mehrlagenschweißung bessere mechanische Eigenschaften zeigt als eine Einlagenschweißung, s. aber auch S. 28.) 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.

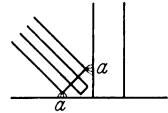


Abb. 147.
Elektrodenlänge bei
Kehlnähten.

c) Stromstärke. Hinsichtlich der Stromstärke können auch nicht allgemeingültige Zahlen gegeben werden (s. auch die Tabelle 3 auf S. 48). Bei der Kohlelichtbogenschweißung kann man bei gewöhnlicher Kohle mit $0,5 A/F$, bei Graphitkohle mit $1,3 A/F$ bezüglich der Strombelastung rechnen, wobei A die Stromstärke in Ampere, F den Querschnitt der Kohle in mm^2 bedeuten. Die verschiedenen Metall-Elektroden vertragen recht verschieden hohen Strom (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).

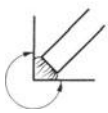


Abb. 148.
Wärmeableitungswinkel bei
Kehlnähten.

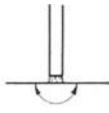


Abb. 149.
Wärmeableitungswinkel bei
Stoßnähten.

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 Stoßnähten (s. Abb. 148, 149).

Beachte die Stromverminderung infolge langer Schweißleitungen (s. Abb. 36).

Klosse, Lichtbogenschweißen. 3. Aufl.

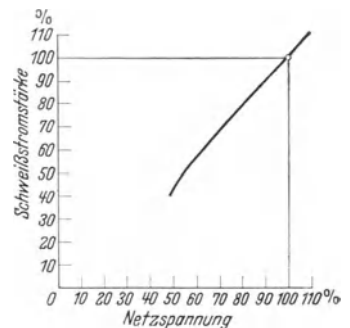


Abb. 150. Schweißstromstärke in
Abhängigkeit von der Netz-
spannung.

Es ist noch darauf hinzuweisen, daß bei Schweißumspannern die Stromstärke sich verhältnismäßig der Anschluß- (Netz-)Spannung verändert (s. Abb. 150). Die Netzspannung verändert sich in Fabrikbetrieben häufig als Folge der verschiedenen Belastungen des Fabriknetzes. Einfluß der verschiedenen Stromstärken auf die Naht s. Abb. 151...158.

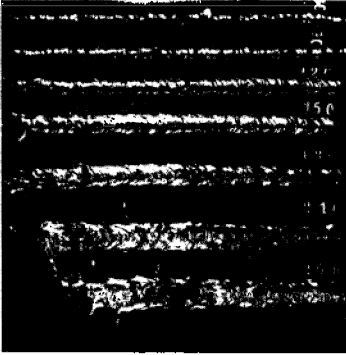


Abb. 151. Aussehen von Schweißräupen bei verschiedenen Stromstärken (60...240 A).



Abb. 152. Schnitt durch die Schweißraupe bei einer Stromstärke von 60 A.



Abb. 153. Schweißraupe bei 90 A.

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.



Abb. 154. Schweißraupe bei 120 A.



Abb. 155. Schweißraupe bei 150 A.



Abb. 156. Schweißraupe bei 180 A.



Abb. 157. Schweißraupe bei 210 A.

d) Polarität. Man soll stets den Pol an der Elektrode haben, den der Elektrodienlieferant 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 (s. Abb. 3). Falsche

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

e) Blaswirkung. Liegen bei Bauwerken bestimmte Stromwege vor, so macht sich die Blaswirkung sehr unangenehm bemerkbar. Wie auf S. 13 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.



Abb. 158. Schweißbraupe bei 240 A.

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. 159 zeigt. Die übergeschriebenen Ziffern bedeuten die Schweißreihenfolge, die Pfeile die Schweißrichtung.

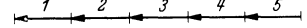


Abb. 159.

Für ganz schwierige Verhältnisse ist die „sprungweise Schweißung“ zu nennen. Hier ist das Ziel, die Temperatur der Naht annähernd gleich zu halten. Abb. 160 und 161 zeigen verschiedene Formen des Verfahrens.

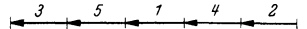


Abb. 160.

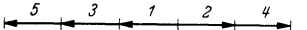


Abb. 161.

Abb. 159...161. Schweißreihenfolge bei langen Nähten.

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

h) Dünoblechschweißung. 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. Bei dem Metalllichtbogen schweißt man mit Unterlage, die Bleche sind seitlich eingespannt.

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 Schweißblücke zu dem Zwecke, die Arbeit zu beschleunigen. Solche Reste verschweißen niemals

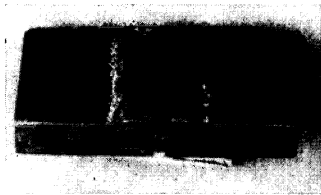


Abb. 162. V-Naht mit eingeworfenen Elektrodenresten.

mit dem Grundwerkstoff, bestenfalls sieht dann ein Schliff einer solchen Schweißung nach Abb. 162 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.

Ein ähnlich schlimmer Fehler ist das Abschmelzen der Blechkanten bei Kehlnähten. Abb. 163 zeigt gestrichelt mit dem eingezeichneten Maß der Sollnahtdicke a' , wie die Naht liegen soll. 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.

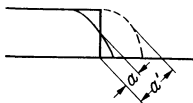


Abb. 163. Abschmelzen einer Blechkante.

Über nicht durchgeschweißte Nähte s. S. 6.

47. Stahlauftragschweißungen. 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. 164 und 165 auf. Das Auftragen von einzelnen Ringen ist gefährlich wegen der starken Schrumpfspannungen. Es kommt dann öfters vor, daß an dieser Stelle

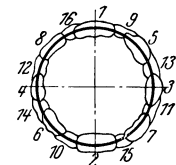


Abb. 164. Reihenfolge beim Schweißen auf einer Welle.

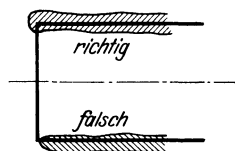


Abb. 165. Verstärken einer Welle.

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 Verwen-

dung 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 (s. Meißelprobe). Für Sonderzwecke gebraucht man auch hier umhüllte Elektroden; in der Regel aber werden für Auftragsarbeiten blanke Drähte bevorzugt, 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 so viel 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.

Bezüglich der zu erreichenden Härten sind folgende Überlegungen maßgebend: Schroffe Abschreckung erhöht die Härte, also wird eine Auftragsschweißung auf ein dünnes Teil weicher sein als auf ein dickes. Legierte Auftragsschweißdrähte liefern wegen des Abbrandes in blankem Zustand eine geringere Härte als umhüllte, sofern nicht dieser Einfluß durch die geringere Abkühlungsgeschwindigkeit infolge der dicken Schlackendecke wieder aufgehoben wird. Schweißt man legierte Elektroden auf unlegierten Stahl, so ist die erste Zone verhältnismäßig weich, da eine Mischung mit dem Grundwerkstoff eintritt.

Am besten schweißt man mit Gleichstrom mit dem Pluspol an der Elektrode, da sich so am sichersten dichte Schweißungen erzielen lassen. Neigt insbesondere der Grundwerkstoff zu Ribbildung, so ist Vorwärmung auf etwa 200° notwendig.

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 Einbrandriefen (Abb. 166). Man hilft sich, wie Abb. 167 schematisch zeigt, dadurch, daß man vor dem Schweißen die Ränder der Schweißstelle etwas hochtreibt. Die schwer vermeidlichen Einbrandriefen (Abb. 167) liegen jetzt erhöht; beim Abarbeiten der ganzen Stelle verschwinden sie dann.

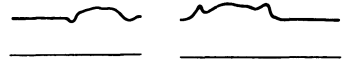


Abb. 166 u. 167. Auftragen auf bearbeitete Flächen.

Überhaupt ist bei dynamisch beanspruchten Teilen (z. B. Wellen) eine Auftragsschweißung besonders sorgfältig durchzuführen, damit sie keinen Anlaß zum Dauerbruch gibt.

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.

48. Legierte Stähle. Wichtig ist hier vor allem die große Wärmeausdehnungszahl der meisten dieser Stahlsorten. Man muß also hier die Regeln über die Beherrschung der Spannungen besonders sorgfältig beachten; insbesondere ist eine sehr sorgfältige Vorbereitung der Arbeit (sorgfältiges Richten, Anpassen) notwendig. Weiter ist die geringe Wärmeleitfähigkeit dieser Stähle zu berücksichtigen; sie sind daher grundsätzlich gegen Überhitzung viel empfindlicher als normale Stähle. Man wählt deshalb den Strom wesentlich niedriger als bei der normalen Stahlschweißung. Auch muß man bei dicken Blechen die Arbeit öfters unterbrechen, wenn Nachbarzonen der Schweißstelle glühend werden; die Schweißstelle darf aber andererseits nicht kalt werden, denn das Schweißen muß in ununterbrochener Erwärmung durchgeführt werden. Schließlich ist immer die Gefahr vorhanden, daß wesentliche Legierungsbestandteile herausbrennen, oder daß Sauerstoff oder Stickstoff in die Schweiße kommt. Gegenmaßnahmen sind auch hier wieder Beschränkung der Erwärmung (Stromstärke), ummantelte Elektroden, kurzer Lichtbogen. Der grundsätzliche Vorteil der Lichtbogenschweißung legierter Stähle gegenüber der Gasschweißung ist die schmale wärmebeeinflusste Zone des Grundwerkstoffes, der grundsätzliche Nachteil die stete Gefahr der Abschreckung des Gefüges; daher ist es u. U. zweckmäßig, das Teil vor Beginn der Arbeit auf etwa 200° vorzuwärmen. Heftstellen können Anlaß zu Rißbildung dadurch geben, daß sie infolge der Abschreckung ein sehr sprödes Gefüge besitzen, welches dann infolge der Wärmespannungen beim Schweißprozeß aufreißt. Diese Risse pflanzen sich dann in die Schweißung fort. Daher ist es u. U. notwendig, die Heftstelle, bevor sie durch die Schweißbraupe erreicht wird, wegzumeißeln. Grundsätzlich merke man sich, daß die Schweißung in einem Zuge bei möglichst geringer aber gleichmäßiger Wärme durchzuführen ist. Die Schweißgeschwindigkeit ist wegen des niederen Schmelzpunktes größer als die von normalen Stählen.

49. Plattierte Bleche. Die grundsätzlichen Schwierigkeiten sind die, daß man es hier mit einem uneinheitlichen Werkstoff zu tun hat. Es ist also unerwünscht, wenn die beiden Schichten aufeinander einwirken. Flüssiges Kupfer dringt z. B. u. U. in Stahl ein, wodurch die Dauerfestigkeit herabgemindert wird. Tritt umgekehrt Eisen durch die Kupfer-Plattierungsschicht, so wird der Widerstand gegenüber chemischen Angriffen wesentlich herabgesetzt. Der Grundwerkstoff wird wie üblich geschweißt, dann nachher erst die Plattierungsschicht. Die zugehörigen Elektroden muß man der Plattierungsschicht anpassen. Für Kupferschichten nimmt man die Schlauchelektrode (Näheres s. unter „Kupferschweißung“).

50. Unterwasserschweißen. Der Lichtbogen läßt sich unter Wasser aufrecht erhalten. Es sind hier einige Sondermaßnahmen notwendig. Man arbeitet immer mit dickummantelten Elektroden, deren Umhüllung durch Sonderlackierung gegen Wasser geschützt ist. Es kommen nur Gleichstromschweißmaschinen in Frage, die durch zusätzliche Induktionswicklungen besonders schnelle Spannungswiederkehr nach Kurzschlüssen haben. Alle stromführenden Teile, einschließlich der Elektrodenzange, müssen sorgfältig nach außen isoliert sein, um Stromverluste und elektrolytische Anfressungen zu vermeiden. Es werden hohe Festigkeitswerte

erzielt, auch starke Aufhärtungen. Das Verformungsvermögen der Schweißungen ist nicht groß. Stoßnähte sind schwierig herzustellen, man beschränkt sich daher auf Kehlnähte, welche in jeder Lage geschweißt werden können. Die Elektroden- spitze ist direkt an der Naht entlangzuführen, da der Lichtbogen kraterförmig in der Umhüllung brennt. Pendelnde Bewegung fällt fort. Man nimmt stets 5-mm-Elektroden von kürzerer Länge als üblich.

Das Unterwasserschneiden ist ein Durchschmelzen mit hoher Stromstärke. Man braucht entsprechend leistungsfähige Maschinen. Man nimmt die gleichen Elektroden wie beim Unterwasserschweißen, jedoch mit etwa doppelt so hoher Stromstärke.

Die Verfahren werden hauptsächlich zu Ausbesserungsarbeiten benutzt.

51. Schweißen von Kupfer und seinen Legierungen. Es wird hierbei weitgehend von der „Schlauelektrode“ Gebrauch gemacht. Da das Schweißen mit dieser Elektrode auf ganz anderen Grundgedanken beruht als das mit den üblichen Elektroden, so ist auch die zugehörige Technik eine ganz andere. Es werden entweder Sonderschweißumformer mit wesentlich höherer Lichtbogenspannung als üblich (bis 80 Volt) gebraucht, oder man schaltet zwei Schweißumformer hintereinander (+-Pol der einen Maschine an den —-Pol der anderen, so daß der —-Pol der ersten Maschine an das Werkstück, der +-Pol der zweiten Maschine an die Elektrode kommt). Die Maschinen sollen etwa gleichmäßig hoch einreguliert werden (Kontrolle mit den Voltmetern); Feinregulierungen werden dann an nur einer Maschine vorgenommen. Vorwärmung vor Beginn der Schweißarbeit ist nur bei Reinkupfer bei einer Blechdicke über 10 mm notwendig. Im allgemeinen werden Stoßnähte mit den üblichen Auskreuzungswinkeln angewendet. X-Nähte sind nur bei Blechdicken über 20 mm notwendig. Es soll grundsätzlich in einer Lage geschweißt werden; bei dicken Nähten wird abschnittsweise die Wurzel kurz vorgeschweißt und die V-Naht sofort ausgefüllt. Besonders einfach sind Kehlnähte zu schweißen. Bezüglich der anzuwendenden Elektrodendicken und Stromstärken richte man sich nur bedingt nach der Tabelle 4. Es gilt hier ähnliches, wie schon unter „Stahlschweißung“ gesagt wurde. Die Stückgröße spielt hier eine ausschlaggebende Rolle.

Hämmern der Naht ist normalerweise nicht notwendig; schädlich ist es für die erste Lage. Kurze Ringnähte beim Einschweißen von Bolzen erfordern ein Hämmern zwecks Streckens zum Ausgleich der Schrumpfung. Dann ist auch dort ein Hämmern nötig, wo die Oberfläche möglichst glatt sein soll. Wichtig ist noch für den Betrieb, darauf zu achten, daß die Anschlüsse möglichst sauber sind; denn Stromschwankungen infolge Änderung des Leitungswiderstandes machen sich beim Schweißen sehr schädlich bemerkbar.

Das Verfahren wird in erster Linie für Reparaturarbeiten angewendet, zum Einschweißen von Stehbolzen und Rohren in Feuerbüchsen, zum Ausbessern von Anfressungen und Rissen in kupfernen Kesseln. Diese Arbeiten können in jeder Lage des Werkstückes ausgeführt werden. Sodann wird dieses Verfahren angewendet beim Schweißen von Hochofen-Winddüsen, von Behältern mit Wanddicken über 2 mm, von plattierten Blechen, wenn die Plattierungsschicht dicker als 1 mm ist. Auch das Verbinden von Stahl mit Kupfer ist mit dieser Elektrode möglich, wofür man manchmal den Ausdruck „Schweißblötung“ findet. Mit einer Schlauelektrode können Kupfer und jegliche Kupfersorten und Kupferlegierungen

Tabelle 4. Elektrodendicke und Stromstärke bei Kupferschweißungen.

Blechdicke (mm)	Elektroden- durchmesser (mm)	Stromstärke (Ampere)
3	2,5	20...60
2...6	3	40...140
4...15	4	60...200
über 10	5	100...250

(also auch Messing jeglicher Zusammensetzung, Bronze, Aluminiumbronze mit Sonderelektrode) geschweißt werden. Der Vorteil dieses Verfahrens gegenüber dem autogenen Schweißen von Kupfer ist die große Wärmezusammenballung, so daß bei gutem Einbrand nur die Schweißzone erhitzt wird. Die günstigen Folgen hiervon sind insbesondere geringe Verwerfungen, wodurch erst Konstruktionen möglich geworden sind, welche auf andere Weise nicht zu verwirklichen waren.

52. 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 Schweißstelle 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 abschnittsweise. 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 nichtumhüllten. 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 Hammergestelle, Böcke u. dgl. wiederhergestellt worden mit völlig befriedigendem Ergebnis auch in bezug auf die Dauerbeanspruchung dieser Teile.

Will man eine bearbeitbare Kaltschweißung haben, so verwende man Sonderelektroden. Diese bestehen fast ausnahmslos aus Monelmetall. Dieses Schweißen ist also strenggenommen ein Löten. Die Bindung wird mitunter 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 Sonderelektroden 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 oder nicht zu schweißen sind, 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.

53. 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.

54. Temperguß. Schwierig wegen Unkenntnis der Tiefe der Temperzone (bei europäischem Temperguß). Entweder mit gewöhnlichen Stahlelektroden verschweißen oder, wenn man nachträglich bearbeiten will, bearbeitbare Gußeisen-elektroden verwenden. Verbindungen von Tempergußteilen mit Stahl sind möglich.

55. 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 manchen dieser Metalle in der geringen Festigkeit 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 verbindet sich mit dem Metall, der Wasserstoff 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 eigentlich besser angepaßten Gasschmelzschweißung liegen vornehmlich in der geringen Wärmezone, wodurch Verziehungen weitgehendst unterbunden werden. Dieser Vorteil macht sich vor allem bei der Wiederherstellung gebrochener Gußteile aus Leichtmetall-Legierungen bemerkbar. Die anderen Vorteile, die außerordentlich hohe Arbeitsgeschwindigkeit und gutes Verhalten gegen Anfressungen, weisen auf die Anwendung im Behälterbau hin. Siehe vor allem auch S. 10 Arcatomschweißung.

b) Reinaluminium. Hier wird meist das Verfahren von SLAVIANOFF (Metallelektrode) angewendet. Die Elektroden sind stark umhüllt; es wird grundsätzlich nur mit Gleichstrom geschweißt, und zwar liegt die Elektrode immer am Pluspol.

Tabelle 5. Elektrodendicke und Stromstärke in Abhängigkeit von Nahtstärke beim Aluminiumschweißen (vor Benutzung siehe untenstehende Ausführungen).

Werkstoff- dicke mm	Elektroden- durchmesser mm	Stromstärke 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

Da manche dieser Elektroden eine sehr stark wasseranziehende Umhüllung haben, müssen sie sorgfältig trocken gelagert werden. Elektrodendicke wähle man wesentlich größer als bei der Stahlschweißung. Einen gewissen Anhalt liefert die Tabelle 5, jedoch ist hier auch wieder darauf hinzuweisen, daß die richtige Stromstärke nur durch Probieren gefunden werden kann. Die Leichtmetallschweißung 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 entweder feucht (also unbrauchbar) oder sie liegt am Minuspol, ist also umzuklemmen. 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 Vorwärmen der Naht zweckmäßig (100···200°), 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 auch möglichst sauber und evtl. angewärmt sein. Arbeitet man ohne Schiene, so ist es schwierig, ein Durchsacken des Nachbarwerkstoffes zu vermeiden. Ein Senkrechtschweißen ist nach Möglichkeit zu vermeiden. 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. Kehnähte lassen sich schwieriger herstellen und sollen daher vermieden werden. Abb. 168 zeigt das Gefüge einer Lichtbogen-Aluminiumschweißung.

Das Verfahren von **BENARDOS** (Kohlelichtbogen) ist auch möglich, bietet aber hier keine Vorteile und wird daher nicht angewendet.

e) 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. Elektrode wird wieder an den Pluspol gelegt. Die Teile sind schwach vorzuwärmen (80...100°) (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 5 kann hier ungefähr Anhalt bieten. Sauberkeit der Schweißstelle, sorgfältige Vorbereitung, großes Auskreuzen sind hier auch wieder 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. 169 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.

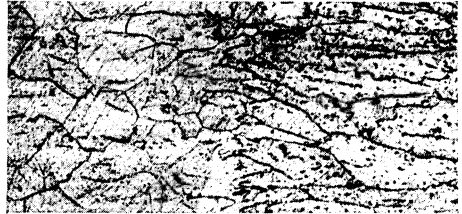


Abb. 168. Aluminiumschweißung; links Grundwerkstoff; rechts Schweißle. $\times 60$.

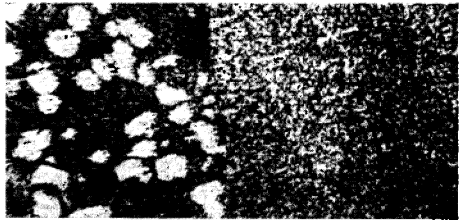


Abb. 169. Siluminschweißung; links Grundwerkstoff; rechts Schweißle. $\times 60$.

Es ist schwer zu erreichen, daß die Schweißstelle die gleiche Farbe hat wie der Grundwerkstoff.

d) Magnesiumlegierungen. Man unterscheidet hier auch wieder Kalt- und Warmschweißungen. Bei der Warmschweißung wird das Teil auf einem Rost oder in einem entsprechenden Ofen je nach der Legierung auf etwa 350° erwärmt. Häufig wird die Schweißstelle zusätzlich mit einer weichen großen Flamme erhitzt. Die vorher ausgekreuzte Stelle wird mit dem Kohlelichtbogen aufgeschmolzen und Draht, wie er für das autogene Schweißen dieser Legierungen üblich ist, zugesetzt. Vorher ist der Draht sorgfältig zu reinigen (abzubeizen) und dünn mit einem besonderen Flußmittel zu bestreichen. Diese Schweißungen zeichnen sich durch hohe Gütwerte aus. Da das verwendete Flußmittel frei von Chloriden ist, findet auch bei schärfster Prüfung kein Ausblühen statt. Das Verfahren wird nicht oft angewendet, da sich gleich gute Ergebnisse mit dem autogenen Schweißen erzielen lassen.

Bei der Kaltschweißung bleibt das Stück kalt. Auch hier arbeitet man mit dem Kohlelichtbogen, bestreut die Stelle mit dem Flußmittel, welches sonst für das autogene Schweißen dieser Legierungen verwendet wird und versieht auch den Draht mit diesem Flußmittel. Die Schweißung wird möglichst rasch durchgeführt,

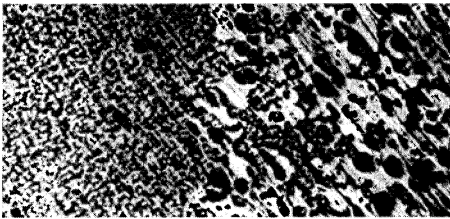


Abb. 170. Elektronenschweißung; links Schweißse, rechts Grundwerkstoff. $\times 50$.

so daß das Stück kalt bleibt. Das Verfahren eignet sich vor allem für Ausbesserungsarbeiten an schon bearbeiteten Teilen, welche nicht angewärmt werden können. Die Güte dieser Schweißung hängt in hohem Maße von der Güte des Grundwerkstoffes ab. Ist dieser z. B. mikrolunkerhaltig oder ölversetzt, so wird die Schweißse porig. Ein mehrmaliges Schweißen an der gleichen Stelle ist möglich. So wird man z. B. bei auftretenden Poren die

Stelle wegfräsen und von neuem schweißen. Das Stück muß aber immer kalt bleiben. Schwierig ist das Treffen der richtigen Stromstärke; allgemeine Angaben können hier kaum gegeben werden. Der Anschluß an das Werkstück muß unter Zwischenlage eines Stückes Leichtmetall angeschraubt werden, da sonst leicht Brandflecke auftreten. Flußmitteleinschlüsse und damit Ausblühungen sind nicht mit Sicherheit zu vermeiden.

Die mechanischen Eigenschaften dieser Schweißungen sind sehr gut; das Gefüge sehr feinkörnig (s. Abb. 170).

56. 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 ihrer Eigenart 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 Blechschablonen, die aus einzelnen Blechtäfelchen herausgearbeitet werden. Dann ist bei wichtigen Nähten einzutragen, welcher Schweißer die betreffende Stelle geschweißt hat, und nachzuprüfen, ob der Schweißer seine Nummer eingeschlagen hat. Schließlich ist auch auf die Wirtschaftlichkeit zu achten, vor allem auf die zum Teil

bedeutenden Verluste durch die 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 Putzwolle 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.

C. Unfallverhütung¹.

57. 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 Erstickten 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 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 keine schädliche Folgen haben. 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 Elektrodenzange 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

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.

oben erwähnt, eine besondere Aufklärung und Überwachung einsetzen. Grundsätzlich ist Wechselstrom gefährlicher als Gleichstrom.

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.

58. Strahlung (s. auch S. 25). Sie ist besonders gefährlich für das Auge, dann aber auch für alle unbedeckten Körperteile (Verbrennungserscheinungen 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.

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

60. 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.

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

Auch die Dämpfe, die durch das Verbrennen der Umhüllmassen entstehen, können in engen Räumen schädlich werden, desgleichen die durch das Schweißen entstehenden Stickoxyde. 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.

¹ S. auch Heft 34: Werkstoffprüfung (Metalle).

A. Prüfungen mit Zerstörung der Naht.

Tabelle 6. Abmessungen von Prüfstäben (Abb. 171).

Dicke a mm	10...25	25...35	35...40
Stablänge l mm	250	300	350
Versuchslänge l_v mm	$l_v = b_s + (5 \cdot \dots \cdot 10)$		
b_1 mm	30	35	40
b_2 mm	20	25	30
r mm	15	20	25

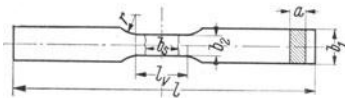


Abb. 171. Stabform zur Ermittlung der Festigkeit der Schweißverbindung.

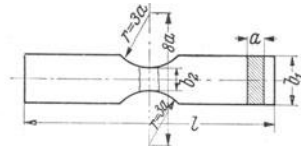


Abb. 172. Stabform zur Ermittlung der Festigkeit des Schweißgutes.

(Abb. 172.)

Dicke a mm	6	8	10	12	14	16	18	20
Stablänge l mm	250	250	250	250	250	250	250	250
b_1 mm	18	24	30	36	42	48	54	60
b_2 mm	12	16	20	24	28	32	36	40
r mm	18	24	30	36	42	48	54	60

62. Zugfestigkeit. Hier ist zu unterscheiden, ob die Festigkeit der ganzen Verbindung oder die Festigkeit des Schweißgutes ermittelt werden soll.

a) Prüfung der Schweißverbindung. Man schweißt zwei Blechplatten zusammen und schneidet rechtwinklig zur Naht Streifen heraus. Ein Prüfen dieser Streifen ohne jede weitere Abarbeitung gibt meistens nur die Festigkeit des Grundwerkstoffes wieder, da ja infolge der Raupe die Naht dicker als der Flachstab ist. Aber auch wenn man die Naht vollkommen abarbeitet, erzielt man meistens nur einen Bruch im Grundwerkstoff, da die Schweiße meist eine höhere Streckgrenze als der Grundwerkstoff hat, und daher dieser zuerst zu fließen beginnt; infolge der Einschnürung reißt der Stab im Grundwerkstoff und nicht in der Schweiße. Etwas anderes ist das aber bei solchen Grundwerkstoffen (z. B. Leichtmetalllegierungen), welche in der wärmebeeinflussten Zone einen Festigkeitsabfall haben. Bei solchen Schweißverbindungen tritt dann der Bruch im Grundwerkstoff eben wegen dieses Festigkeitsabfalles ein und nicht wegen der höheren Streckgrenze des Schweißgutes. Noch besser erkennt man diese Einflüsse, wenn der Stab nach Abb. 171 und Tabelle 6 seitlich abgearbeitet wird. Bei solchen Stabformen ermittelt man dann tatsächlich die schwächste Stelle der ganzen Verbindung; sei es, daß sie in der Schweiße, in der Übergangzone oder in der wärmebeeinflussten Zone des Grundwerkstoffes liegt.

b) Prüfung des Schweißgutes. Der Stab wird an der Naht noch stärker eingekerbt, so daß die schmalste Stelle jetzt in der Naht liegt (Abb. 172, Tabelle 6). Erfolgt dann dort der Bruch, so hat man die Festigkeit des Schweißgutes ermittelt; allerdings ist darauf hinzuweisen, daß infolge gewisser Fließbehinderung die Festigkeit bei dieser Probe in der Regel etwas höher ermittelt wird als bei der Probe, welche man z. B. als Rundstab aus einer entsprechend dicken Schweißnaht der Länge nach herausarbeitet.

c) Prüfung des Schweißers. Hier sind Proben aufgestellt worden, bei welchen der Schweißer sein Können beweisen kann. Die ermittelten Festigkeitswerte sind lediglich als Vergleichswerte aufzufassen. Hierzu gehört z. B. die Kreuzprobe. Beim Schweißen der Nähte muß man darauf achten, daß das Stück für die waagerechte Schweißung in der vorgeschriebenen Lage nach Abb. 173 liegt. Früher war die Lage nach Abb. 174 vorgeschrieben, die schwieriger ist und schlechtere Ergebnisse liefert. Man muß darauf achten, daß ungleichschenklige Schweißungen wie in Abb. 174 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 Abb. 175.

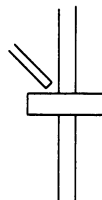


Abb. 173.

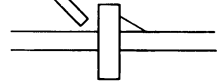


Abb. 174.

Abb. 173 u. 174. Schweißerprüfungen.

Will man den unregelmäßigen Nahtquerschnitt erfassen, so drückt man die vier 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.

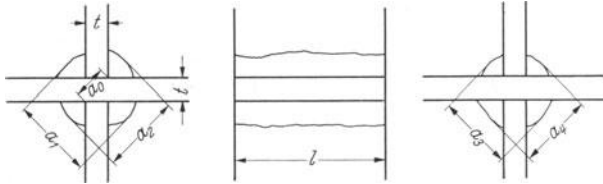


Abb. 175. Ausmessen von Kreuzprüfungsstücken. Von a_1, a_2, a_3, a_4 ist der Mittelwert festzustellen.

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. 99 eintreten, woran dann aber der Schweißer keine Schuld hat (s. auch S. 48).

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

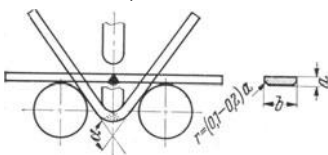


Abb. 176. Querbiegeprobe.

64. Prüfung der Verformungsfähigkeit. a) Querbiegeprobe (Abb. 176). Übliche Anordnung wie gezeichnet. Nahtwurzel innen. Man mißt den erreichten Biegewinkel beim ersten Anriß und beim Bruch.

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.

Legt man die Biegeprobe umgekehrt Abb. 176 ein, also Nahtwurzel nach außen, so prüft man vor allem die Bindung in der Wurzel. Die Prüfung ist schärfer, es werden kleinere Biegewinkel erreicht.

b) Längsschweißbiegeprobe. Ein Flachstahl mit einer längs aufgeschweißten Raupe wird gebogen. Bei einer anderen ähnlichen Probe wird eine vorher eingefräste Längsnut vollgeschweißt. Beim Biegen dieser Längsnähte zeigen evtl. auftretende Risse in der Raupe oder den Nachbarzonen Versprödungserscheinungen an.

c) Bei der Warmbiegeprobe werden die Schweißungen in rotwarmem Zustande gebogen. Bei der Abschreckbiegeprobe wird das Teil nach Erwärmen und Abschrecken gebogen. Beim Freibiegeversuch wird der Stab an der Schweißstelle durch ein reines Biegemoment belastet, der Biegewinkel ermittelt. Beim Reckversuch wird die Verformungsfähigkeit einer Schweißraupe geprüft, welche längs auf einen Zerreißstab von bestimmten Abmessungen aufgetragen ist.

65. Härteprüfungen. Die übliche Härteprüfung, „Brinellprobe“, kann auch bei Schweißungen angewendet werden. Will man die örtlichen Härteunterschiede genau festlegen, so benutzt man die Vickersprobe, bei welcher statt der Kugel bei der Brinellprobe eine kleine Diamantpyramide in den Werkstoff eingedrückt wird.

66. Prüfungen der Kerbzähigkeit. Hier kommt es auf die richtige Lage der Kerbe an. Die Kerbe kann entweder mitten im Schweißgut, in der Nahtwurzel oder in der Übergangszone liegen. Man beachte die entsprechenden amtlichen Vorschriften.

67. Prüfung der Dauerfestigkeit. Die Schweißverbindung oder das gesamte geschweißte Bauteil wird bestimmter wechselnder Beanspruchung unterzogen. Aus den Ergebnissen gewinnt man Rückschlüsse, ob die vorliegende Verbindung oder das geschweißte Bauteil für das Übertragen von wechselnden Beanspruchungen geeignet ist oder nicht.

68. Werkstattmäßige Prüfungen 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 Stumpfnah wird so weit 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.

69. 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 herausausschneidet 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 Dichtigkeitschweißungen aus und wird allenfalls für Stahlhochbau oder auch für Beurteilungen an Schülerarbeiten in Frage kommen.

C. Zerstörungsfreie Prüfverfahren.

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

71. Röntgenprüfungen. Röntgenstrahlen 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. 177, 178). 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 Stoßnähte vorkommen. Die Strahlen, die Radiumpräparate aussenden, können ebenfalls zur Prüfung in ähnlicher Weise benutzt werden. Nachteilig ist hier die längere Belichtungsdauer und die geringere Fehlererkennbarkeit.

72. Magnetische Prüfungen. Durch einen kräftigen Wechselstrom wird das Prüfungsstück mit magnetischen Kraftlinien durchsetzt. Jede Unregelmäßigkeit (Riß, Pore) bewirkt ein Austreten von Kraftlinien, die darübergebrachte Eisenfeilspäne anziehen und dadurch eben diese Unregelmäßigkeiten aufzeigen. Das Eisenpulver wird in Öl aufgeschlemmt (Metallöl) aufgebracht, damit es den Kraftlinien besonders leicht folgen kann.

Am besten eignet sich das Verfahren zum Nachweis von Rissen an der Oberfläche. Fehler im Innern werden schlechter angezeigt. Das Verfahren stellt daher eine wertvolle Ergänzung der Röntgenprüfung dar, da diese weniger gut Fehler an der Oberfläche, dafür besser Fehler im Innern aufzeigt.



Abb. 177. Röntgenbild (Positiv) einer guten Schweißung.

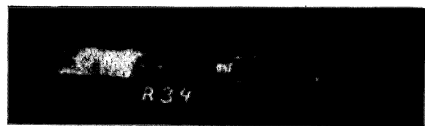


Abb. 178. Röntgenbild (Positiv) einer schlechten Schweißung.

VI. Amtliche Bestimmungen.

73. 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 DIN-Blätter, die unmittelbar oder mittelbar vom Schweißen handeln. Die Titel sind abgekürzt wiedergegeben.

- | | |
|--|--|
| 477 Gasflaschenventile. | 4653 Schutzschilde. |
| 1050 Berechnungsgrundlagen für Stahl im Hochbau. | 4664 Stahlflaschen für verdichtete Gase. |
| 1600 Stahl und Eisen. | 4666 Stahlflaschen für Azetylen. |
| 1602 Werkstoffprüfung. | 4667 Schutzkappen für Stahlflaschen. |
| 1605 Werkstoffprüfung. | 4668 Halsringe für Stahlflaschen. |
| 1628 Geschweißte Stahlrohre. | 4669 Füße für Stahlflaschen. |
| 1707 Weichlote. | 4671 Kennzeichnung der Stahlflaschen. |
| 1710 Silberlote. | 4672 Gasflaschenventile. |
| 1711 Messinglote. | 4801...4804 Geschweißte Warmwasserbereiter. |
| 1901 Schläuche für Schweißbrenner. | 4810 Druckkessel für Wasserversorgungsanlagen. |
| 1902 Feste Schlauchtüllen. | |
| 1903 Lösbare Schlauchtüllen. | |
| 1904 Schweißbrenner. | |
| 1905 Schneidbrenner. | |
| 1906 Gasdruckminderer. | |
| 1907 Manometer. | |
| 1908 Lösbare Schlauchtüllen. | |
| 1909 Anschlußbügel zwischen Druckminderer und Azetylenflasche. | |
| 1910 Begriffe und Arten des Schweißens. | |
| 1912 Schweißzeichen. | |
| 1913 Schweißdraht. | |
| 1914 Röntgenprüfung von Schweißverbindungen. | |
| 2403 Kennfarbe für Rohrleitungen. | |
| 2470 Geschweißte Gasrohrleitungen. | |
| 4100 Geschweißte Stahlhochbauten. | |
| 4101 Geschweißte Straßenbrücken. | |
| 4641 Schutzbrillen. | |
| 4642 Schutzbrillen. | |
| 4644 Schutzbrillen mit Seitenschutz. | |
| 4645 Schutzbrillen mit Scharnieren. | |
| 4646 Strahlungsschutz. | |
| 4647 Strahlungsschutz. | |
| 4652 Schutzbrillen. | |
| | DIN-Vornorm, DVM-Prüfverfahren: |
| | A 103 Härteprüfung mit Vorlast. |
| | A 112 Bestimmung der Streckgrenze bei höheren Temperaturen. |
| | A 113 Umlaufbiegeversuch. |
| | A 114 Zugversuch an dünnen Blechen. |
| | A 115 Kerbschlagversuch. |
| | A 117 Dauerstandfestigkeit von Stahl bei hohen Temperaturen. |
| | A 118 Dauerstandfestigkeit von Stahl bei hohen Temperaturen. |
| | A 120 Prüfung von Schweißverbindungen (Zugversuch). |
| | A 121 Prüfung von Schweißverbindungen (Faltversuch). |
| | A 122 Prüfung von Schweißverbindungen (Kerbschlagversuch). |
| | 4001 Dauerfestigkeitsprüfung. |
| | Rönt 5/1933 Hochspannungsschutz bei Röntgenanlagen. |
| | Rönt 6/1934 Strahlenschutz bei Röntgenanlagen. |
| | Rönt 35/1936 Zubehör für Röntgenprüfung von Schweißnähten. |

74. 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. Azetylenverordnung; Kommentar Prof. VOGEL und Ministerialrat RÜHL. Halle: Verlag Marhold.
6. Verband Deutscher Elektrotechniker: Vorschriften über geschweißte Gittermaste.
7. Verband Deutscher Elektrotechniker: Regeln für die Bewertung von Gleichstrom-Lichtbogen-Schweißmaschinen.
8. Werkstoff- und Bauvorschriften für Landdampfkessel.
9. Richtlinien für die Ausbildung und Prüfung von Kesselschweißern.
10. Richtlinien für Schweißlehgänge.

Praktisches Handbuch der gesamten Schweißtechnik. Von Direktor Professor Dr.-Ing. **P. Schimpke**, Chemnitz, und Obering. Direktor **Hans A. Horn**, Berlin. Erster Band: **Gasschweiß- und Schneidtechnik.** Dritte, neubearbeitete und vermehrte Auflage. Mit 347 Textabbildungen und 22 Tabellen. VIII, 300 Seiten. 1938. Halbleinen RM 17.70
Zweiter Band: **Elektrische Schweißtechnik.** z. Zt. vergriffen.

Grundzüge der Schweißtechnik. Kurzgefaßter Leitfaden. Von Studienrat Dipl.-Ing. **Theodor Rieken** VDI, Frankfurt a. M. Mit 97 Abbildungen im Text. 63 Seiten. 1938. RM 3.90

Elektrische Widerstand-Schweißung und -Erwärmung. Von Dipl.-Ing. **A. J. Neumann**, Oberingenieur. Mit einem Geleitwort von Professor Dr.-Ing. A. Hilpert, Berlin. Mit 250 Textabbildungen. VIII, 193 Seiten. 1927. Halbleinen RM 15.60

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

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

Schweißtechnik im Stahlbau. Bearbeitet von Fachgelehrten. Herausgegeben von Professor Dr.-Ing. **K. Klöppel**, Darmstadt, und Reichsbahnrat Dr.-Ing. **C. Stieler**, Wittenberge. Erster Band: **Allgemeines.** Mit 216 Textabbildungen. X, 191 Seiten. 1939. RM 15.—; Ganzleinen RM 16.50

Die Bearbeitung von Fragen der Schweißtechnik an den Deutschen Materialprüfungsämtern (Stand Ende 1938). Herausgegeben vom Präsidenten des Staatlichen Materialprüfungsamts Berlin-Dahlem. (Wissenschaftliche Abhandlungen der Deutschen Materialprüfungsanstalten, I. Folge, Heft 2.) Mit 243 Abbildungen. V, 95 Seiten. 1939. RM 19.60

Stock, Fräserhandbuch. Bearbeitet im Versuchsfeld der R. Stock & Co., Spiralbohrer-, Werkzeug- und Maschinenfabrik A.-G., Berlin - Marienfelde. Zweite, erweiterte Auflage. Mit 178 Abbildungen und Zahlentafeln. 204 Seiten. 1940. Ganzleinen RM 5.50

Handbuch der Fräselei. Kurzgefaßtes Lehr- und Nachschlagebuch für den allgemeinen Gebrauch. Gemeinverständlich bearbeitet von **Emil Jurthe** und **Otto Mietzschke**, Ingenieure. Sechste, durchgesehene und vermehrte Auflage. Mit 351 Abbildungen, 42 Tabellen und einem Anhang über Konstruktion der gebräuchlichsten Zahnformen an Stirn-, Spiralzahn-, Schnecken- und Kegelrädern. VIII, 334 Seiten. 1923. Halbleinen RM 9.90

Das Buch vom Spannen. Herausgegeben von der Paul Forkardt Kommanditgesellschaft, Düsseldorf. Mit 315 Abbildungen im Text und 8 Maßtafeln im Anhang. 219 Seiten. 1939. Ganzleinen RM 15.—

Schmieden im Gesenk und Herstellung der Schmiedegesenke. Von Dr.-Ing. **W. Pockrandt**. Zugleich zweite, völlig selbständig und neu bearbeitete Ausgabe des gleichnamigen Werkes von Joseph V. Woodworth. Mit 160 Abbildungen im Text. VIII, 215 Seiten. 1920. RM 5.40; Ganzleinen RM 8.10

Spanlose Formung. Schmieden, Stanzen, Pressen, Prägen, Ziehen. Bearbeitet von zahlreichen Fachgelehrten. Herausgegeben von Betriebsdirektor Dr.-Ing. **V. Litz**, Berlin. (Schriften der Arbeitsgemeinschaft Deutscher Betriebsingenieure, Band IV.) Mit 163 Textabbildungen und 4 Zahlentafeln. VI, 152 Seiten. 1926. Ganzleinen RM 11.34

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

Der Praktiker in der Werkstatt. Hinweise für die rationelle Ausnutzung von Werkstätten des Maschinenbaues. Von **Valentin Retterath**. Mit 107 Textabbildungen. III, 70 Seiten. 1927. RM 3.15
