

WERKSTATTBÜCHER
HERAUSGEBER EVGEN SIMON

HEFT 43

E. KLOSSE
LICHTBOGEN-
SCHWEISSEN



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

WERKSTATTBÜCHER
FÜR BETRIEBSBEAMTE, VOR- UND FACHARBEITER
HERAUSGEGEBEN VON DR.-ING. EUGEN SIMON, BERLIN

HEFT 48

Das Lichtbogenschweißen

**Eine Einführung in die Technik des
Lichtbogenschweißens**

von

Dipl.-Ing. Ernst Klosse

Fachlehrer an den Technischen Lehranstalten der Stadt Dessau
Leiter der Elektroschweißkurse der Ortsgruppe Dessau
des Verbandes für autogene Metallbearbeitung
(Deutscher Verband für Schweißtechnik)

Mit 65 Abbildungen im Text



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

1931

ISBN 978-3-662-41698-3
DOI 10.1007/978-3-662-41835-2

ISBN 978-3-662-41835-2 (eBook)

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
Vorwort	3
I. Grundlagen des Lichtbogenschweißens.	3
A. Das Eisen	3
B. Grundbegriffe der Elektrotechnik	4
C. Die elektrischen Schweißverfahren	5
1. Schmelzverfahren S. 5. — 2. Die Preßverfahren S. 6.	
D. Werkstoffübergang im Lichtbogen.	7
E. Die Schweißanlagen	7
1. Gleichstromanlagen S. 7. — 2. Wechselstromanlagen S. 8.	
F. Eigenart und Behandlung der Schweißmaschinen	9
G. Schweißzubehör, Hilfsmittel, Schweißwerkstatt	10
H. Elektroden	11
1. Blanke Elektroden. S. 12. — 2. Umwickelte Elektroden. S. 12. — 3. Umwickelte Elektroden S. 12. — 4. Besondere Elektroden S. 13.	
I. Vorbereitung der Schweißarbeit	13
K. Durchführung der Schweißarbeit	14
L. Entwurf von Schweißkonstruktionen	14
M. Berechnung von Schweißverbindungen	16
1. Festigkeitsberechnungen S. 16.—2. Beispiele für Festigkeitsberechnungen von Schweißkonstruktionen S. 20. — 3. Preisberechnung von Schweißverbindungen S. 24. — 4. Bestimmung der Schrumpfung des Werkstückes S. 27.	
N. Anwendbarkeit und Wirtschaftlichkeit der Schweißung	28
O. Schweißen von Stahlguß, Gußeisen und Metallen	30
P. Gefüge der Schweißnaht	31
1. Grundmaterial S. 31. — 2. Übergangsmaterial S. 32. — 3. Schweißmaterial S. 33.	
Q. Prüfung von Schweißnähten	34
R. Unfallverhütung	35
S. Verschiedenes	35
II. Das Erlernen des Lichtbogenschweißens	36
A. Vorbemerkung	36
B. Allgemeines	36
1. Richtige Länge des Lichtbogens. S. 37. — 2. Stärke des Schweißstromes S. 37. — 3. Geschwindigkeit der Fortbewegung S. 38.	
C. Zündversuche	38
D. Schweißen eines Laufes	38
E. Schweißen einer Raupe	39
F. Auftragsschweißung	39
G. Auftragen auf eine Welle	40
H. Ausfüllen eines Winkels	40
I. Verbinden zweier Bleche	41
K. Kehlschweißung	42
L. Schweißen an senkrechter Fläche	42
M. Überkopfschweißung	43
N. Elektroschneiden	43
O. Löcher zuschweißen	43
P. Gußeisenschweißen	44
III. Amtliche Bestimmungen über das Lichtbogenschweißen.	44
A. Vorbemerkung	44
B. Vorschriften über die Ausführung geschweißter Stahlhochbauten in Preußen	44
1. Allgemeines S. 44. — 2. Berechnung und zulässige Spannungen S. 45. — 3. Prüfungen und Abnahme S. 46.	
C. Entwurf der Richtlinien für die Ausführung geschweißter Stahlbauten	47
D. Ortsgesetz der Stadt Leipzig über die Ausführung geschweißter Stahlhochbauten	48
E. Vorschriften über geschweißte Gittermaste	49
F. Richtlinien für die Herstellung von Schweißverbindungen bei Gasrohrleitungen	49
G. Richtlinien für das Schweißen von Flußstahl und Stahlguß (Reichsbahn).	49
H. Entwurf der Regeln für die Bewertung und Prüfung von Gleichstrom-Lichtbogenschweißmaschinen	51
I. Vorschriften über das Schweißen von Dampfkesseln	52
K. Schweißzeichennormung	54

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

Vorwort.

Das vorliegende Büchlein soll dem angehenden Schweißer, dem Ingenieur, der das Schweißen in seinem Betriebe einführen will und überwachen soll, in dem neuen Gebiete einen Leitfaden darbieten. Auch soll es dazu dienen, dem Leiter von Schweißkursen seine Arbeit zu erleichtern und zu vertiefen.

Zunächst wendet sich das Buch an den werdenden Schweißer, der keine besonderen technischen Vorkenntnisse besitzt; daher sind Sprache und Darstellung recht elementar gehalten. Begriffe, die für das Schweißen selbst unwesentlich, aber für die Betriebsleitung doch recht wichtig sind, sind benutzt aber nicht näher erklärt worden (z. B. „Phasenverschiebung“ S. 9). Weiter sind bei den Kapiteln, die sich dem Inhalt nach im wesentlichen nur an den Ingenieur wenden, auch die theoretischen Vorkenntnisse höher angenommen (siehe Teil I, Kapitel L, M.). Die Reparaturschweißungen bei Gußstücken sind nur insoweit behandelt, als sie zum Verständnis des Ganzen notwendig sind.

Mit dem Teil III soll der Versuch unternommen werden, die in Deutschland gültigen Bestimmungen über das Elektroschweißen zu sammeln und so der Betriebsleitung zugänglich zu machen.

Knapper Stil wurde mit Rücksicht auf den Umfang des Buches gewählt.

Möge das Buch dazu beitragen, die Einführung der Elektroschweißung in viele Gebiete der Technik zu erleichtern. Für Anregungen und Verbesserungsvorschläge ist der Verfasser jederzeit dankbar.

Für Überlassung von Abbildungen hat der Verfasser folgenden Herren und Firmen zu danken: Prof. Dr. Schimpke, Chemnitz (Abb. 37, 38, 40, 41), Dr. Zimm, Hamburg (Abb. 39, 42), Oberingenieur Fromme i. Fa. Elarc, Hannover (Abb. 43), A. E. G., Berlin (Abb. 5, 7, 8, 26, 45, 48, 52), Arcos, Aachen (Abb. 17, 20), Brown, Boveri & Cie., Mannheim (Abb. 15), Hansa-Werk, Hamburg (Abb. 18), Kjellberg-Werke, Finsterwalde (Abb. 13, 14, 16, 36).

I. Grundlagen des Lichtbogenschweißens.

A. Das Eisen.

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

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

Eisen und Stahl sind kristallinisch. Je kleiner die einzelnen Kristalle 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 Abkühlen³, bei Stahlguß durch Glühen. Längeres, stärkeres Erhitzen oder gar Schmelzen ergibt grobe Kristalle.

B. Grundbegriffe der Elektrotechnik.

Unterscheide die Begriffe Strom, Spannung, Widerstand. Bei „Strom“ denke an Strommenge; bei „Spannung“ an Druck oder Gefälle; bei „Widerstand“ an Hindernisse. Vergleich mit einem Wasserlauf: Wassermenge = Strom, Wassergefälle = Spannung. Je größer das Wassergefälle, der Wasserdruck, desto schneller fließt das Wasser, desto größer die Wassermenge. Also auch: je höher die Spannung des elektrischen Stromes, desto größer der Strom.

Je mehr Hindernisse das Wasser zu überwinden hat, desto kleiner die Wassermenge. Hindernisse für das Wasser können sein: enger Kanalquerschnitt und rauhes, unebenes Kanalbett. 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 auf kurze Strecken ein Leiter, und zwar bei Erwärmung, bei Anreicherung mit Metallteilchen, mit besonderen Gasen und besonderen Teilchen (Ionisierung).

Der Strom (Strommenge) wird gemessen in Ampere (A), die Spannung (Druck, Gefälle) in Volt (V), der Widerstand in Ohm (Ω).

Jeder Leiter, der vom elektrischen Strome durchflossen wird, erwärmt sich. Die Erwärmung steigt mit der Größe der Widerstände und mit dem Quadrat der Stromstärke (bei doppeltem Strome ergibt sich also eine zweimal zweifache = vierfache Erwärmung!). Fließt der Strom dauernd in einer Richtung (nämlich vom positiven zum negativen Pole), so nennt man ihn „Gleichstrom“; wechselt

¹ Siehe Heft 19: Joh. Mehrrens, Das Gußeisen, und Heft 30: E. Kothny, Gesunder Guß.

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

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

er dauernd seine Richtung: „Wechselstrom“. Man kann dann hier nicht mehr einen positiven und negativen Pol unterscheiden. Beim Gleichstrom kann man die beiden Pole auf verschiedene Weise auseinanderhalten; z. B. zeichnet sich der negative Pol auf besonderem Papier (Polreagenzpapier) rot ab (Erkennung der Pole beim Schweißen siehe S. 36). Die Zahl der Wechsel in der Sekunde (Perioden) beim Wechselstrom könnte an und für sich in gewissen Grenzen beliebig gewählt werden. Man hat sich aber in Deutschland auf 50 Wechsel in der Sekunde geeinigt (auch hier Ausnahmen!).

C. Die elektrischen Schweißverfahren.

1. Die Schmelzverfahren. 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. 1): Der eine Pol der Stromquelle wird mit dem Werkstück, der andere mit einem Kohlestab verbunden. Berührt man mit dem Kohlestab das Werkstück, so entsteht ein Lichtbogen, in dessen Hitze ein Zusatzstab eingeschmolzen wird. Werkstück und Stab sind an dieser Stelle flüssig, der Kohlestab verbrennt langsam. Nachteil: Durch den verbrennenden Kohlestab wird die Schweißstelle in ihrer Zusammensetzung verändert; sie nimmt Kohlenstoff auf, wird daher sehr hart und spröde. Angewendet: für das Ausfüllen von Lunkern an Fehlgußstücken (hinterher noch ausglühen!) und bei automatischen Schweißmaschinen.

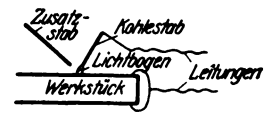


Abb. 1.
Verfahren von Benardos.

b) Verfahren von Zerener (Abb. 2): Der Lichtbogen wird hier zwischen zwei Kohlestäben gezogen; durch einen Elektromagneten wird der Lichtbogen stichflammenartig weggeblasen (siehe später). In der Stichflamme wird das Werkstück an der Schweißstelle flüssig gemacht und der Zusatzstab eingeschmolzen. Nachteil wie oben. Angewendet für automatische Schweißmaschinen sowie für das Schweißen dünner Bleche.

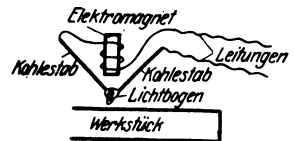


Abb. 2.
Verfahren von Zerener.

c) Verfahren von Slavianoff (Abb. 3): Der eine Pol der Stromquelle liegt an dem Werkstück, der andere an einem Metallstab („Elektrode“). Durch Berührung von Stab und Werkstück entsteht der Lichtbogen, in dessen Hitze das Werkstück an der Schweißstelle flüssig wird und die Elektrode abschmilzt. Dies ist das übliche Verfahren, das in den späteren Kapiteln dann ausführlich behandelt werden soll.

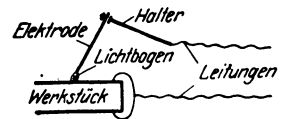


Abb. 3.
Verfahren von Slavianoff.

d) Schweißen im Schutzgas (Methanolschweißung. Abb. 4 und 5): Ähnlich wie vorher. Die Elektrode ist aber umgeben von einem Rohr, durch das ein besonderes Gas (Methanol) geblasen wird. Dieses Gas soll den Lichtbogen vor den Einwirkungen der Luft schützen. Dieses Verfahren befindet sich noch im Versuchsstadium.

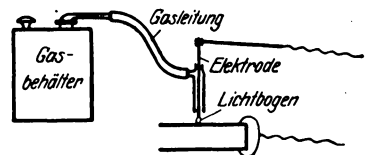


Abb. 4. Schweißen im Schutzgas.

e) Verfahren von Langmuir (atomare Wasserstoffschweißung. Abb. 6, 7, 8): Der Lichtbogen wird zwischen zwei Wolfram-Elektroden gezogen, die nur unwesentlich abbrennen. Wasserstoffgas (aus einer Stahlflasche) wird durch den Lichtbogen hindurch-

geblasen. Durch die große Hitze zerlegt sich der Wasserstoff in seine Atome, die sich hinter dem Lichtbogen sofort wieder vereinigen und dabei die gesamte Wärme wieder abgeben. Angewendet für Dünoblechschweißung und dort, wo man ganz glatte Nähte haben will.



Abb. 5. Schweißen im Schutzgas.

f) Gas-elektrisches Verfahren: Vereinigung des Gasschmelzschweißens mit dem Verfahren von Slavjanoff. Es wird mit einem gewöhnlichen Azetylen-Sauerstoffbrenner gearbeitet. Zur Erhöhung der Schweißgeschwindigkeit sind der Zusatzstab und das Werkstück an die zwei Pole einer Wechselstromquelle gelegt. In der rechten Hand hält man den Brenner, in der linken die Elektrodenzange mit der Elektrode. Damit man einen recht langen Lichtbogen ziehen kann, erhält die Elektrode eine besondere Umhüllung.

2. Die Preßverfahren¹. Die Stücke werden durch Erwärmung (Durchfließen des elektrischen Stromes) an der Schweißstelle in teigigen oder nur leicht flüssigen Zustand versetzt und dann zusammengepreßt. — Nur Stahl mit geringem Kohlenstoffgehalt läßt

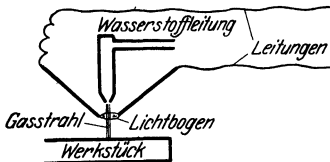


Abb. 6. Verfahren von Langmuir.

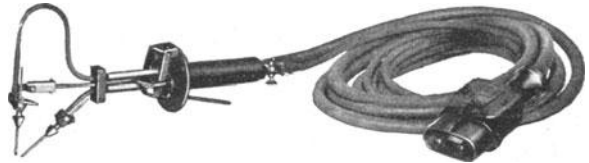


Abb. 7. Gerät für das Schweißen nach Langmuir.

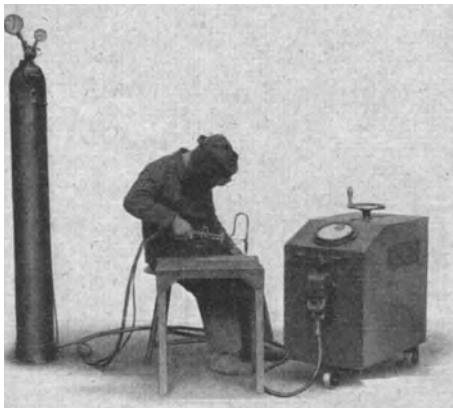


Abb. 8. Schweißanlage nach Langmuir.

sich auf diese Weise (ebenso wie bei der alten Feuerschweißung) verschweißen. Alle diese Verfahren werden auch unter dem Namen „Widerstandsschweißung“ zusammengefaßt, da die Erwärmung der Schweißstelle auf dem großen elektrischen Widerstand an der Schweißstelle beruht.

a) Stumpfschweißung (Abb. 9): Die Teile werden zusammengepreßt, ein sehr großer Strom von geringer Spannung wird durchgeschickt (meist Wechselstrom). Ist Schweißhitze erreicht, wird der Strom ausgeschaltet, die Teile bleiben bis zum Erkalten zusammengepreßt.

¹ Näheres über diese Verfahren wie auch über das „autogene“ Schweißen siehe Heft 13: Schimpke, Die neueren Schweißverfahren. Über elektrische Widerstandsschweißung siehe: Neumann, Elektrische Widerstandsschweißung u. -Erwärmung. Berlin: Julius Springer 1927.

b) Abschmelzverfahren: Vor dem Berühren der beiden Stücke wird der Strom eingeschaltet. Beim Berühren brennen die vorstehenden Teile der Schweißstelle ab, die Oberfläche wird wenigstens zum Teil flüssig, der Strom wird (mitunter) ausgeschaltet, und die beiden Stücke werden schlagartig zusammengefügt.

c) Punktschweißverfahren (Abb. 10): Zwei zu verbindende Bleche werden durch zwei (gegebenenfalls wassergekühlte) Kupferbolzen zusammengepreßt. Der Strom wird durch diese Bolzen zugeführt, der Werkstoff wird an dieser Stelle schweißwarm, der Strom wird abgeschaltet, die beiden Bleche werden durch den Druck an dieser Stelle (Schweißpunkt) zusammengefügt.

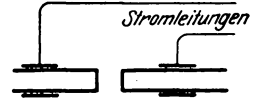


Abb. 9. Stumpfschweißung.

d) Nahtschweißverfahren (Abb. 11): Ähnlich wie vorher; durch dichtes Nebeneinandersetzen der einzelnen Punkte entsteht eine Naht. Häufig sind dabei die Kupferbolzen durch Kupferrädchen ersetzt.

Die Widerstands-Schweißverfahren eignen sich nur für ganz bestimmte Arbeiten, sind aber heute von außerordentlicher wirtschaftlicher und technischer Bedeutung.

D. Werkstoffübergang im Lichtbogen.

Stoffbeförderung im Lichtbogen noch recht ungeklärt.

Der übergehende Stoff unterliegt der Einwirkung folgender Kräfte: 1. Schwerkraft der einzelnen Tropfen (Gewicht). 2. Oberflächenspannung (jeder Tropfen versucht Kugelform zu erreichen). 3. Kohäsion (der Zusammenhang der Teilchen im Stoff) und Adhäsion (das Anhaften) des flüssigen Eisens. 4. Luftwiderstand. 5. Elektrische Kräfte (jedes Teilchen ist elektrisch geladen, Abstoßung gleichgeladener Teilchen). 6. Magnetische Einwirkung (durch die üblichen hohen Schweißströme wird ein starkes magnetisches Kraftfeld erzeugt, das die Eisenteilchen beeinflusst). 7. Ausdehnung der einzelnen Eisenteilchen durch Erwärmung. 8. Ausdehnung der Gase durch Erwärmung (in jedem Stoff befinden sich auch Gase. Durch die plötzliche starke Erwärmung dehnen die Gase sich explosionsartig aus, und die Teilchen werden fortgeschleudert).

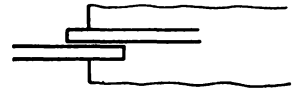


Abb. 10. Punktschweißung.

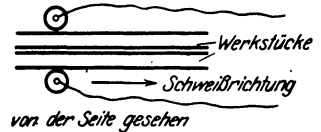


Abb. 11. Nahtschweißung.

Inwieweit nun alle diese Kräfte einen Einfluß auf den übergehenden Stoff ausüben, soll hier nicht untersucht werden.

E. Die Schweißanlagen.

1. Gleichstromanlagen. a) Schweißen vom Netz (Abb. 12): Der vorhandene Strom für Kraft- oder Beleuchtungsanlagen ist meist so hoch gespannt, daß beim Schweißen, beim Berühren des Werkstückes durch die Elektrode, ein zu hoher Strom fließen würde, der den Werkstoff verbrennen würde. Um den Strom zu verringern, muß man also in diesem Falle Widerstände vorschalten. Dadurch wird der Stromverbrauch sehr hoch, die Schweißung unwirtschaftlich. Anschluß an Ortsnetz wohl nie gestattet, nur in Ausnahmefällen angewendet: bei billigen Strompreisen, beim Schweißen an Straßenbahnschienen oder auch bei seltener Anwendung der Schweißtechnik.

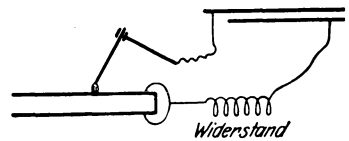


Abb. 12. Schweißen vom Netz.

b) **Motorgenerator (Abb.13 und 14):** Durch einen Elektromotor wird eine elektrische Erzeugermaschine von besonderer Bauart (Schweißdynamo) angetrieben.

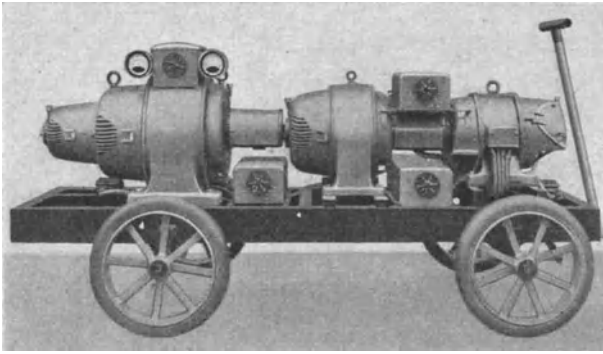


Abb. 13.
Motorgenerator. Als Antrieb Gleich- und Drehstrommotor vorgesehen.

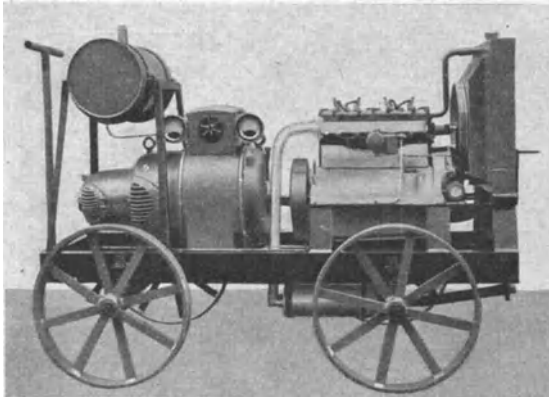


Abb. 14. Motorgenerator. Als Antrieb Benzinmotor vorgesehen.

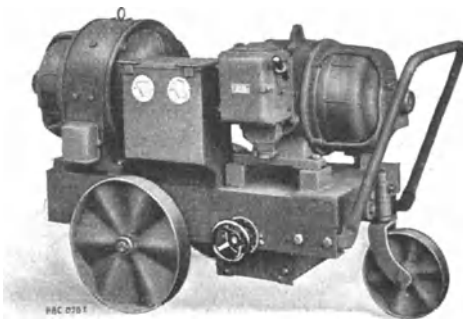


Abb. 15. Mehrfachschweißmaschine.

Will man unabhängig von irgendwelcher zugeführten Elektrizität sein, so verwendet man statt des Elektromotors einen Diesel- oder Benzinmotor, was neuerdings wegen des billigen Betriebes manchmal jedem anderen Antrieb vorgezogen wird.

c) **Einanker-Umformer:** Hierbei sind Motor und Dynamo ganz zusammengebaut, so daß nur ein umlaufender Teil vorhanden ist. Seltener angewendet.

d) **Mehrfachschweißmaschinen (Abb. 15):** Eine Dynamo (irgendwie angetrieben) speist mehrere Schweißstellen unabhängig voneinander.

e) **Mehrfachschweißanlagen (Abb. 16):** Ein Motor treibt verschiedene Schweißdynamos; jede Dynamo speist aber nur eine Schweißstelle. Sehr gute wirtschaftliche Anlage wegen verhältnismäßig kleinen Motors; für große Schweißbetriebe, bei denen die Schweißstellen räumlich nicht zu weit entfernt voneinander liegen.

2. Wechselstromanlagen.

a) Schweißen vom Netz siehe oben „Gleichstrom“.

b) **Transformator (Abb. 17):** Wechselstrom kann leicht nur durch einen Eisenkern mit Drahtwicklungen von hoher Spannung in niedere Spannung bei gleichzeitiger entsprechender Erhöhung der Stromstärke umgeformt werden. Wenn im Betrieb kein Wechselstrom vorhanden ist, können diese Apparate nicht angewendet werden.

An Drehstromnetze (Drei-Phasen-Netze) kann verschieden angeschlossen werden: entweder an eine Phase und Erde (selten angewendet) oder an zwei Phasen oder auch an die drei Phasen, wobei dann die eine Phase doppelt so stark belastet wird wie die beiden anderen. Es gibt auch

dreiphasig angeschlossene Apparate, die alle drei Phasen gleichmäßig belasten. Man kann mit solchen Apparaten an zwei Stellen eines Werkstückes schweißen oder an einer Stelle, indem man zwei Sekundärphasen in einer besonderen Schweißzange mit zwei Elektroden zu einem Lichtbogen zusammenfaßt und das Werkstück an die dritte Phase legt.

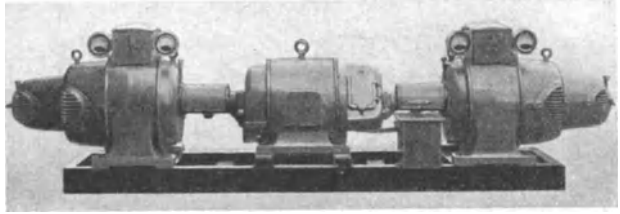


Abb. 16. Mehrfachschweißanlage.

Beachte beim Schweißtransformator, daß der Netzanschluß und auch die Sicherungen stärker gewählt werden als beim Gleichstromsatz gleicher Leistung wegen der großen „Phasenverschiebung“ solcher Transformatoren.

c) Rotierende Umformer (Abb. 18): Hierbei meist eine Erhöhung der Periodenzahl auf 150. Dreiphasig gleichmäßig angeschlossen, keine große Phasenverschiebung. Solche Apparate sind erst seit ungefähr einem Jahre auf dem Markte.

Preise von Schweißanlagen ungefähr: Anlage zum Schweißen vom Netz 150 RM., üblicher Gleichstromsatz 3000 RM., üblicher Wechselstromsatz 1000 RM. Beurteilung von Gleichstrom und Wechselstrom: Gleichstromvorteile: Die beiden Pole

haben verschiedene Temperatur, einwandfreie Blaswirkung (siehe später), leichte Verschweißbarkeit von blanken Elektroden, Überkopfschweißen mit blanken Elektroden. Nachteile: Hoher Anschaffungspreis, umlaufende Maschine mit Gefahr des Schadhafwerdens, schlechter Wirkungsgrad, großes Gewicht, große Leerlaufverluste. Wechselstromvorteile: Billige Anschaffung, keine bewegten Teile (siehe Ausnahme oben), geringes Gewicht, hoher Wirkungsgrad, geringe Leerlaufverluste, geringer Raumbedarf, Anschluß an verschiedene Netzspannungen. Nachteile: Gleiche Temperatur der beiden Pole, große Phasenverschiebung, daher hoher Blindstromverbrauch (Sondertarife der Elektrizitätswerke, Verbesserung der Phasenverschiebung durch Schweißkondensatoren möglich), starke Anschlußleitungen, Stromstöße in dem Netz, schwere Verschweißbarkeit von blankem Draht.



Abb. 17. Schweißtransformator.

Gefahr des Schadhafwerdens, schlechter Wirkungsgrad, großes Gewicht, große Leerlaufverluste. Wechselstromvorteile: Billige Anschaffung, keine bewegten Teile (siehe Ausnahme oben), geringes Gewicht, hoher Wirkungsgrad, geringe Leerlaufverluste, geringer Raumbedarf, Anschluß an verschiedene Netzspannungen. Nachteile: Gleiche Temperatur der beiden Pole, große Phasenverschiebung, daher hoher Blindstromverbrauch (Sondertarife der Elektrizitätswerke, Verbesserung der Phasenverschiebung durch Schweißkondensatoren möglich), starke Anschlußleitungen, Stromstöße in dem Netz, schwere Verschweißbarkeit von blankem Draht.



Abb. 18. Rotierender Wechselstromumformer.

F. Eigenart und Behandlung der Schweißmaschinen.

Die praktisch verwendeten Schweißmaschinen sind so eingerichtet, daß Strom und Spannung während des Schweißens nicht gleichmäßig sind. Zum Zünden des Lichtbogens will man eine möglichst hohe Spannung haben (Zünd- oder Leerlaufspannung). Aus Gründen der Gefährlichkeit für den Schweißer geht man nicht über 100 V. Der Leerlaufstrom ist natürlich 0. Ist der Lichtbogen entstanden, fließt also ein Strom im Schweißkreise, so ermäßigt sich die Spannung auf 20 bis 30 V bei einer Stromstärke von 60—200 A. Je höher die Leerlaufspannung,

desto größer der dann fließende Strom. Will man also mit mehr Strom schweißen, stellt man vor dem Schweißen eine höhere Zündspannung ein. Berührt die Elektrode das Werkstück, tritt also Kurzschluß ein, so steigt der Strom nicht beliebig

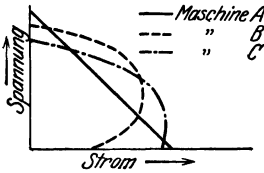


Abb. 19. Charakteristiken von Schweißmaschinen.

an (wie er es bei gewöhnlichen Anlagen machen würde), sondern höchstens auf den doppelten Wert. Bei manchen Maschinen bleibt er gleich, bei anderen geht er sogar zurück, wird kleiner. Graphische Darstellungen, die die Abhängigkeit von Strom und Spannung bei einer bestimmten Maschine zeigen, nennt man die Charakteristik der Maschine (Abb. 19). Über die Beurteilung der verschiedenen Charakteristiken der Schweißmaschinen ist man sich noch nicht einig.

Ähnliches ergibt sich bei Wechselstrom, nur sind da die Verhältnisse wesentlich verwickelter. Was die Behandlung der Schweißmaschinen anbetrifft, so richte man sich nach den jeweiligen Bedienungsvorschriften, die von den Erzeugerfirmen den Maschinen beigeliefert werden. Man schütze die Maschinen nach Möglichkeit vor Staub, Regen, Hitze und achte stets darauf, daß der Maschinenkörper (das Eisen der Maschine) guten Erdungsschluß durch den Nulleiter hat und daß bei umlaufenden Maschinen, die auf der Maschine angegebene Drehrichtung eingehalten wird.

G. Schweißzubehör, Hilfsmittel, Schweißwerkstatt.

Elektrodenhalter, Schweißzange (Abb. 20) soll leicht und dabei stark genug sein, um ohne wesentliche Erwärmung den Schweißstrom führen zu können; sie soll die Elektrode fest fassen, am besten durch Handdruck festkneifen, nicht durch



Abb. 20. Schweißzange.

Federkraft festklemmen. Das Kabel soll leicht und biegsam sein, gut isoliert und stark genug für den Schweißstrom. Vor allem achte man auf die einwandfreie Befestigung der Kabelenden. Schutz der Hände gegen Strahlung, gegen Wärme und den elektrischen Strom durch Leder- oder Asbest-Handschuhe. Zum Schutze des Gesichts dient der „Spiegel“ aus Holz, Preßspan, Leder; er soll groß genug sein, um das ganze Gesicht zu be-

decken, auch soll er einen gewissen seitlichen Schutz gegen Strahlung geben. Das Farbglas soll aus besonderem Glas bestehen; keinesfalls nehme man gewöhnliches Buntglas, wodurch sehr schwere Augenstörungen entstehen können. Da solche Sondergläser sehr teuer sind, bedeckt man sie zum Schutze gegen Eisenspritzer vorn und hinten mit Gläsern aus gewöhnlichem weißem Fensterglas, die ja leicht ausgewechselt werden können. Zerbrochene Scheiben sowie Scheiben mit Lochspuren von Metallspritzern sind wegen Strahldurchlässigkeit unbrauchbar. Kopfschutz durch Mütze oder Hut ist unbedingt notwendig. Als besondere Kleidung empfiehlt sich eine lange Leder-schürze. Asbestkleidung wird nur bei Gußeisenwärmeschweißung sowie im Behälter- und Schiffbau bei längerem Überkopfschweißen notwendig. An Werkzeug wird gebraucht: Ein gewöhnlicher Hammer, ein recht leichter kleiner, spitzer Schlackenhämmer (die üblichen Hämmer sind meist viel zu schwer dazu), ein Flachmeißel, ein Kreuzmeißel, eine recht scharfe Drahtbürste; dann je nach der Arbeit eine größere Anzahl von Feilkloben oder noch besser Schraubzwingen. In der Werkstatt ordnet man einen eisernen Tisch ohne feuerfeste Unterlage an oder auch einen Rost aus stärkeren Profilen für schwerere Arbeiten. Dieser Rost bleibt

dann immer an dem einen Pol der Maschine. Man braucht dann nicht eine besondere Verbindung von Werkstück und Schweißmaschine herzustellen. Über dem Rost soll ein kleiner Schwenkkran sein zum leichten Wenden der Stücke. Die Werkstatt soll möglichst hoch und luftig sein (gegebenenfalls Ventilator), da beim Schweißen, besonders mit umhüllten Elektroden, viel Staub entsteht. Die Wände und Decken werden möglichst dunkel gehalten; ein mattes Graublau oder ein mattes Schwarz hat sich gut bewährt. Fenster gut verwahren, damit keine Strahlung nach außen dringt, damit die Strahlen nicht reflektiert werden und so den Schweißer nochmal von hinten treffen können. Zum Abgrenzen der einzelnen Schweißstände benutzt man tragbare, schwarz gestrichene Holzwände. Dort, wo man aus Rummangel solche Wände nicht anbringen kann, empfehlen sich Asbestgardinen oder Stoffbahnen (Rupfen, dichte Sackleinwand), die wegen Feuersgefahr mit Wasserglas getränkt werden müssen (jede Berufsfeuerwehr übernimmt dieses Tränken).

H. Elektroden.

Die Güte der Schweißung hängt im wesentlichen von der Güte der Elektrode ab. Allgemein gültige Richtlinien für den Einkauf von Elektroden können nicht gegeben werden. Auch allgemein gültige Bestimmungen über das Prüfen von Elektroden können nicht aufgestellt werden (siehe auch S. 50). Eine gute Elektrode soll bei befriedigender Dehnung genügende Festigkeit des niedergeschmolzenen Metalls ergeben (Dehnung ist zu messen an Probestäben, die völlig aus niedergeschmolzenem Material bestehen). Der Einbrand soll genügend sein (also Schweiße nicht bloß auf das Grundmaterial aufgetropft); die Elektrode soll beim Schweißen ruhig fließen, ohne zu spritzen (beachte dabei richtige Wahl der Stromstärke), sie soll sich leicht verschweißen lassen (die leichte Verschweißbarkeit auch gekennzeichnet durch die Möglichkeit, einen langen Bogen zu ziehen, ist nicht immer ein Kennzeichen einer guten Elektrode und ist auch abhängig von der Schweißmaschine); das niedergeschmolzene Material soll frei sein von schädlichen Beimengungen, Schlacken und Blasen; die Schlacke auf der Naht soll leicht zu entfernen sein; die Elektrode soll bis zu einem gewissen Grade in der Lage sein, Verunreinigungen des Eisens (Rost, Walzhaut) aufzulösen und unschädlich zu machen.

Am besten prüft man die Elektroden durch einen Schweißversuch, eine Auftragschweißung mit verschiedenen Stromstärken, wobei man das Spritzen, den leichten Fluß, den richtigen Einbrand beobachten kann; dann aber auch durch einen Biegeversuch zweier stumpfzusammenstoßender Bleche. Messung des Biege winkels und nach Bruch Beobachtung des Gefüges, der Blasen- und Schlackeneinschlüsse. Eine chemische Analyse des Schweißstabes vor dem Verschweißen hat wenig Sinn, da sich die Zusammensetzung seines Stoffes beim Schweißen wesentlich verändert; nachher ist sie wertvoller. Auch die Untersuchung mit Hilfe von Schlibbildern ist sehr lehrreich. Die Ummantelung der Elektroden soll bewirken, daß das übergehende Eisen vor den Einwirkungen der Luft geschützt ist, daß der Lichtbogen leichter zu halten ist und weniger oft abreißt, daß die Schweißgeschwindigkeit höher wird, die Stromstärke geringer gewählt werden kann, so daß damit dann auch die Erwärmung und das Verziehen der Gegenstände vermindert wird. Weiter soll die Umhüllung bewirken, daß durch besondere Zusatzstoffe die Güte der Schweiße verbessert wird, daß die Wärme auf der Naht länger zurückgehalten wird (dies vor allem bei stark ummantelten Elektroden). Vorteil der blanken Elektroden: Geringer Preis, geringe Schlackenentwicklung. Nachteil: Hoher Schweißstrom, schwereres Schweißen, schwieriges Erzielen einer glatten

Schweißnaht. Vorteil der ummantelten Elektrode: Hohe Schweißgeschwindigkeit, leichtes Schweißen in beliebigen Lagen auch für Schweißanfänger, glattes Aussehen der Naht, hohe Schweißqualität. Nachteil: Hoher Preis, große Schlackenentwicklung.

Für den praktischen Betrieb wird sich empfehlen, verschiedene Sorten auf Lager zu halten, denn eine Universal-Elektrode für alle Anwendungen gibt es nicht. Dem Betriebe, der das Schweißen neu einrichtet, kann zum mindesten für den Anfang nur geraten werden, nur eine Elektrode einer bekannten Herstellerfirma zu benutzen, selbst wenn diese Elektrode etwas teurer sein sollte, und dann erst später gegebenenfalls auch andere Elektroden zu versuchen. Das richtige Auswählen und Beurteilen von Elektroden ist sehr schwierig. Beachte beim Preisvergleich von Elektroden die verschiedenen Längen (330—450 mm). Bei einer langen Elektrode hat man auf Einheitsgewicht berechnet natürlich weniger Abfallenden. Eine kürzere Elektrode, vor allem bei kleinerem Durchmesser, verschweißt sich leichter als eine längere. Selbsterstellung von Elektroden, auch der Umhüllmasse, oder das Selbstbestreichen der Elektroden mit einer gekauften Umhüllmasse ist grundsätzlich für wichtige Zwecke nicht zu empfehlen. Die Umhüllmasse muß in bestimmtem Verhältnis zum Drahtwerkstoff stehen, sie muß in bestimmter Stärke und auf dem ganzen Umfang und der ganzen Länge der Elektrode ganz gleichmäßig aufgetragen sein; Forderungen, die man im eigenen Betriebe nur schwer erfüllen kann. Elektroden-Durchmesser 2—7 mm; meist gebrauchte Durchmesser sind 3 und 4 mm; gegebenenfalls Zwischengrößen ausländischer Elektroden auf Zollrechnung fußend. Preise der Elektroden sind sehr verschieden. Als Anhaltswerte für ein Stück 4 mm \varnothing mögen gelten: Umhüllte Elektroden für normale Arbeiten 2—3 Rpf., für Gußeisenschweißung bearbeitbar bis 60 Rpf., nicht rostende Elektroden bis zu 1 R.M. Asbestumwickelte Elektroden für normale Arbeiten 25 Rpf. Blanker Draht wird häufig nach Gewicht verkauft, auch in ganzen Ringen. Alle Elektroden (umhüllte und nicht umhüllte) müssen sorgfältig vor Nässe und Schmutz geschützt werden, da sonst die Umhüllungen leiden, abbröckeln, und ein rostiger, schmutziger Draht nur sehr schwer verschweißt werden kann und nur schlechte Ergebnisse liefert. Man unterscheidet:

1. Blanke Elektroden: Angeliefert in einzelnen Stäben, aber auch in ganzen Ringen. Im allgemeinen harter Stahl mit höherem Kohlenstoffgehalt (im Gegensatz zu autogenem Schweißdraht, der immer weich ist), unverkupfert.

2. Umhüllte Elektroden: Getauchte oder gestrichene genannt, je nach der Herstellung; unterschieden wieder nach schwach und stark umhüllten Elektroden. Die Umhüllmasse (Fabrikgeheimnis der Herstellerfirmen, siehe auch Angaben der Reichsbahn S. 49) soll fest und überall gleichmäßig dick den Stab umgeben, ohne abzubröckeln.

3. Umwickelte Elektroden (auch nach dem Ursprungsland „englische“ Elektroden genannt): Die Elektrode ist mit einer Asbestschnur umwickelt. Diese Schnur hat bei dem einen Fabrikat ihrer natürlichen Zusammensetzung wegen („blauer Asbest“) die unmittelbare Aufgabe, die Schweißung zu verbessern; bei dem anderen Fabrikat dagegen die Aufgabe, der Träger für verschiedene Flußmittel und Legierungsbestandteile zu sein. Bei diesen Elektroden ist auch noch häufig ein besonderer Metallfaden eingewickelt, der weiter die Schweißung verbessern soll. Das Schweißen mit diesen Elektroden muß wegen der großen Schlackenentwicklung besonders geübt sein, will man zu brauchbaren Ergebnissen gelangen. Der Preis ist sehr hoch.

Zusammenfassend kann gesagt werden: Blanke Elektroden für Schweißung mit Gleichstrom, für einfache waagerechte Arbeiten. Umhüllte Elektroden für

Gleich- und Wechselstrom-Schweißung in beliebiger Lage und bei besonders hochwertigen Verbindungen (nichtrostende Schweißungen sind z. B. nur mit umhülltem Draht möglich!). Umwickelte Elektroden für langdurchlaufende Nähte im Blech- und Behälterbau, für längeres Überkopf(-Verbindungs)schweißen durch wenig vorgebildete Schweißer.

4. Besondere Elektroden: Elektroden, die eine ganz besonders feste Naht liefern. Die Naht hat, ehe sie bricht, gleichzeitig eine hohe Dehnung (gegenwärtiger Spitzenwert 66 kg/mm² Bruchfestigkeit bei gleichzeitiger Dehnung von 20%). Solche Schweißungen sind dann schmiedbar. Andere Elektroden geben besonders hohe Härte und Verschleißfestigkeit für Auftragsschweißungen; mit anderen wieder erzielt man Antragsschweißung für Drehstähle, also härtbare Schweißungen. Ferner Elektroden, die eine säurefeste, nicht rostende Schweißung ergeben (sehr hoher Preis). Elektroden für das Schweißen von Metallen, auch Auftragsschweißung von Metall (Kupfer) auf Eisen (Grauguß). Elektroden für das Schweißen von Gußeisen (siehe S. 30); hierbei ist zu unterscheiden zwischen Elektroden, die „kalt“ verschweißt werden und eine bearbeitbare Schweißung ergeben und solchen, deren Schweißung sehr hart ist. Diese sind in der Regel fester; die bearbeitbaren zeichnen sich infolge ihres hohen Nickelgehaltes durch hohen Preis aus. Dann gibt es Elektroden, mit denen man leicht überkopf und lotrecht schweißen kann; weiterhin Elektroden, die eine ganz besonders glatte Naht liefern; Elektroden für Schneidzwecke, mit denen man sowohl Stahl als auch Gußeisen zertrennen kann, vor allem für Gußeisen bei Abwrackarbeiten sehr beliebt, da hier bekanntlich die autogene Schneidmethode versagt. Für sonstige Schneidzwecke sind diese Elektroden mit gewissen Ausnahmen zu teuer, zu unwirtschaftlich, sie ergeben auch nie so

glatte Schneidränder wie beim autogenen Schneiden, die Ränder nehmen aber auch keinen Sauerstoff auf. Beachte stets die Schweißvorschriften, die die Herstellerfirmen ihren Elektroden begeben.

I. Vorbereitung der Schweißarbeit.

Entfernung von Verunreinigungen der Naht (Rost, Schlacke, Walzender). Hat man vorher an der

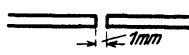
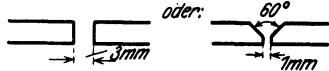
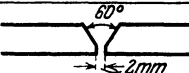

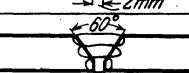


Blechstärke in mm	Bild	Elektroden-durchmesser in mm	Anzahl der Läufe
3		2	1
5		3 oder 4	1
8		4	1
10		unten 3 oben 4	2
13		unten 3 Mitte 4 oben 4 oder 5	3
16		unten 3 Mitte 4 oben 5	4
20		unten 3 Mitte 4 oben 5	5

Abb. 21. Vorbereitung der Schweißnaht.

Schweißstelle autogen geschnitten, so sind zum mindesten die verbrannten Eisen- teilchen zu entfernen, nach Möglichkeit wegen der Sauerstoffaufnahme der Ränder die Ränder metallisch blank zu machen (vgl. Vorschriften S. 45). Durch die

Erwärmung beim Schneiden verzieht sich das Stück leicht, vor dem Schweißen also sorgfältig richten. Im Eisenhochbau ist ein Entfernen von Rost und Walz-zunder aus wirtschaftlichen Gründen nicht üblich. Für besonders wichtige Nähte darf man es aber nicht unterlassen. Bei Gußschweißung besonders sorgfältige Entfernung des Formsandes. Von etwa 4 mm ab Abschrägen der Kanten V- oder X-förmig, siehe Tabelle Abb. 21.

Im Eisenhochbau verzichtet man auf das Abschrägen, legt dafür die Teile mit Zwischenraum aneinander. Ein bestimmter Zwischenraum kann sehr leicht erzwungen werden durch Einklemmen von Nägeln in der gewünschten Stärke.

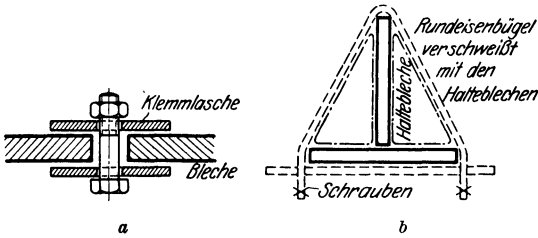


Abb. 22. Schweißvorrichtungen.
a) Schweißen zweier Bleche. b) Schweißen eines T-Profils.

Zur Vorbereitung gehört ein ganz sorgfältiges Anpassen der einzelnen Teile. Bleche und Profile sind vorher genau zu richten, genau abzulängen. Gerade dieser Punkt wird häufig unterschätzt, es hängt jedoch hiervon wesentlich die spätere Spannungsfreiheit der Konstruktion ab (siehe Vorschriften S. 45.) Mitunter wird die Schaffung von Hilfskonstruktionen

notwendig, die die Schweißstücke in der gewünschten Form mit dem richtigen Abstand spannungsfrei zum Schweißen halten. Der richtige Entwurf solcher Hilfsvorrichtungen ist sehr schwierig, aber auch sehr wichtig, hängt doch häufig hiervon die Wirtschaftlichkeit der geschweißten Konstruktion ab (Abb. 22).

K. Durchführen der Schweißarbeit.

Vor dem eigentlichen Schweißen sind die Teile zu heften. Bei größeren Stücken Heftstellen etwa 40 mm lang. Beobachtung der Spannungen sehr wichtig. Die Spannungen kommen durch die Erwärmung des Stückes, daher wird auch kleine Erwärmung (geringer Strom) kleine Spannungen ergeben. Weiter können, wie schon erwähnt, durch die Güte des Zusammenbaues die Spannungen wesentlich vermindert werden. Aber auch durch die Art des Schweißens können die

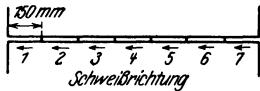


Abb. 23. Schweißen von langen Nähten.

Spannungen herabgesetzt werden. Langdurchlaufende Nähte sind unterbrochen zu schweißen (Abb. 23). Auch der Entwurf kann manches zur Verminderung der Spannungen beitragen. So sind Häufungen von Schweißnähten (z. B. Kreuznähte, Abb. 24) grundsätzlich zu vermeiden. Ein schnelles Abführen der Wärme an der Schweißstelle kann man erreichen durch Unterlegen der Stelle mit einer Kupferschiene (Diebstahlsgefahr!) oder einer Eisenschiene, die eine Kupferauflage (Kupferband aufgenietet oder Kupfer aufgeschweißt) trägt. Allgemein gültige Richtlinien für das Nichtverziehen der Konstruktionen lassen sich nicht aufstellen.

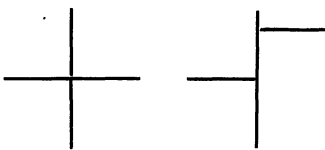


Abb. 24. Kreuznähte.

L. Entwurf von Schweißkonstruktionen.

Der Konstrukteur muß versuchen, sich von den gewohnten Konstruktionsbedingungen des Eisen-Stahlbaues freizumachen. Bei Verwendung von Profilen ist darauf zu achten, daß unbedingt die Systemlinien durch die Schwerlinien der

Profile (Schlitz- und Schachtelkonstruktionen) gedeckt werden (Abb. 25); dadurch häufig Wegfall aller Knotenbleche. In der heutigen Zeit, in der man noch mit den auf das Nieten hin konstruierten Eisenprofilen rechnen muß, wird man noch nicht die äußersten Vorteile der Schweißung ausnützen können. Trotzdem lassen sich schon auf Grund der jetzigen Profile recht brauchbare Konstruktionen entwickeln¹. Bei Druckstäben kann man durch Vereinigung von Profilen Stäbe mit gleicher Knicksicherheit nach den beiden Hauptachsen erzielen. Hier wird man nur in seltenen Fällen die ganze Länge durchlaufend schweißen müssen, vielmehr wendet man unterbrochene Schweißung an (größere Billigkeit, geringeres Verziehen der Konstruktion), am besten die „Zickzacknaht“, wobei die Schweißstellen auf den beiden Seiten gegenseitig versetzt angebracht sind.

Die Verwendung von nahtlosen Rohren ist an und für sich sehr zu empfehlen. Die Anschlüsse lassen sich mit Hilfe der Schweißtechnik leicht durchführen (Abb. 26).

Der allgemeinen Verwendung solcher Rohre steht aber ihr hoher Preis entgegen. Man wird sie nur dort verwenden dürfen, wo auf ganz besondere Gewichtersparnis Wert gelegt wird.

Der Träger gleicher Festigkeit wird durch das Schweißen leichter zu verwirklichen sein als durch das Nieten. Durch autogenes Ausschneiden können die Enden der Träger geschwächt werden. Die Schnittfugen werden dann wieder zugeschweißt. In der Mitte kann der Träger leicht verstärkt werden. Da man auf die Anbringung

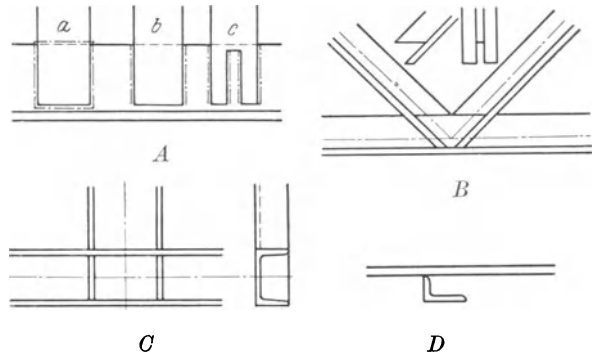


Abb. 25. Schweißkonstruktionen. — · — · — Schweißnaht. A Flacheisenanschlüsse: a ringsherum geschweißt, b reine Flankennaht, c verstärkte Flankennaht. B T-Eisenanschluß, die beiden hochgehenden Eisen sind geschlitzt. C Eisenanschluß mit eingesetzten Blechen. D Verstärkung von Blechwänden.

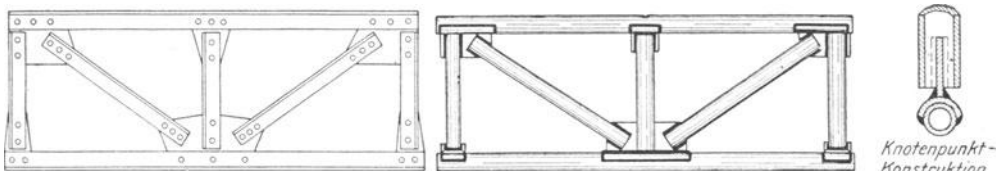


Abb. 26. Genietete Winkeleisenkonstruktion ersetzt durch geschweißte Rohrkonstruktion.

von Winkeln zwecks Befestigung der Ober- oder Untergurte verzichten kann (man schweißt die Bleche stumpf gegen das Stehblech), so fällt auch das schwierige Biegen und das Anpassen solcher Winkel an den Träger weg. Biegearbeiten an Profilen sind ja stets sehr teuer; vor allem, wenn es sich um Formleisten handelt, deren Querschnitt streng erhalten werden soll. Gedacht ist da z. B. an manche Profile im Schiffbau. Durch Schweißen wird man sehr häufig auf solche teuren Profile verzichten können: durch Zusammenschweißen von Bandeisen wird man den Zweck ebenso gut erfüllen können. Man spart dann außerdem noch das Biegen der Profile. Bei Verbindungsschweißung kann man häufig wählen zwischen Stumpfstoß und überlapptem Stoß. Der Stumpfstoß ist für das Schweißen die

¹ Siehe Bondy: Ausgewählte Schweißkonstruktionen. VDI-Verlag.

natürlichere Verbindung und bringt dadurch wesentliche Vorteile mit sich: geringster Werkstoffaufwand, geringste Schweißarbeit, dadurch billig und geringe Verziehungsfahr der Konstruktion. Die Nachteile sind aber auch nicht zu übersehen: vor allem ganz genaues Ablängen, schwieriges Einschweißen, Empfindlichkeit gegen zusätzliche, unvorhergesehene Beanspruchungen, wie sie z. B. bei der Montage leicht auftreten können. Daher wird in der Praxis meist der überlappte Stoß vorgezogen (ein Ringsherumfestschweißen nur notwendig bei besonders hohen Kräften, bei schlechtem Schweißpersonal, bei besonderer Rostgefahr). Bei Massenfertigung, wo sich der Bau einer Schweißvorrichtung empfiehlt, wird mehr der Stumpfstoß anzuwenden sein. Eine geschweißte Konstruktion hat bei gleicher Festigkeit stets ein kleineres Gewicht als eine genietete Konstruktion, da die Profile wegen Wegfall der Nietlöcher besser ausgenützt werden können, auch der Wegfall der Knotenbleche macht sich bemerkbar. Ob eine geschweißte Konstruktion billiger wird, hängt im wesentlichen von dem Geschick des Konstrukteurs und von dem Geschick der betreffenden Betriebsleitung ab. Es soll hier wieder einmal festgestellt werden, daß nur der eine richtige Schweißkonstruktion entwickeln kann, der selbst etwas schweißen kann; daß nur der richtige Betriebsanweisungen wird geben können, der selbst eine Schweißung liefern kann.

Man denke beim Konstruieren einer Schweißkonstruktion mehr an das Entwerfen einer Gußkonstruktion als an das Entwerfen einer genieteten Eisenkonstruktion¹.

M. Berechnung von Schweißverbindungen.

1. Festigkeitsberechnungen. a) Allgemeines: Die genaue Ermittlung der Spannungen in Schweißnähten infolge von äußeren Kräften ist sehr schwierig und zum größten Teil heute noch ungeklärt; hauptsächlich deswegen, weil ja eine Herstellung einer Schweißnaht ohne Schrumpfspannungen ganz unmöglich ist; inwieweit dann die Schrumpfspannungen die anderen Spannungen (hervorgerufen durch die äußeren Kräfte) vermindern oder vergrößern, kann von vornherein schwer festgestellt werden. Sieht man jedoch von Ausnahmefällen ab, so wird es sich stets darum handeln, längere Einzelstücke durch Schweißung zu verbinden. Infolge Dehnung der langen Werkstücke können sich die Schrumpfspannungen ausgleichen, so daß dann im wesentlichen nur noch die äußeren Kräfte zu übertragen sind. (Über Schrumpfspannungen siehe auch S. 28.)

Es wird hier darauf verzichtet, die Theorie der Berechnung von Schweißverbindungen niederzulegen; es sollen lediglich gewisse Anhaltspunkte gegeben werden, auf welche Weise in der Praxis die Abmessungen von Schweißnähten bestimmt werden können. In der Behandlung des Stoffes wird vorausgesetzt, daß die üblichen Begriffe und Anschauungen der Festigkeitslehre bekannt sind.

Angenommen wird grundsätzlich: Die Stäbe werden durch das Schweißen nicht „starr“ verbunden, sondern bleiben gelenkig (vor allem wichtig bei Druckstäben, überhaupt bei Ermittlung der Stabspannungen mit Hilfe von Kräfteplänen). Die Schweißverbindung ist in unbelastetem Zustande spannungslos (Vernachlässigung der Wärme- und Schrumpfspannungen). Die Schweißung und die anschließenden Werkstücke haben den gleichen Elastizitätsmodul wie das ungeschweißte Material.



Abb. 27.
Stumpfnahtheit.

Man unterscheidet nach der Form der Naht in Stumpf- und Kehlnaht. Eine Stumpfnahtheit (Abb. 27) kommt zustande durch Zusammenschweißen zweier

¹ Siehe S. 54: Schweißzeichen DIN 1912, Blatt 1—3.

in einer Ebene liegenden Bleche; die Schweißnaht hat die gleiche Stärke wie die Bleche, gegebenenfalls ist sie etwas stärker; die Nahtstärke ist in recht weiten Grenzen nach oben unbeschränkt. Die Kehlnaht (Abb. 28) erhält man durch mehr oder minder starkes Vollschiessen zweier im Winkel zusammenstoßender Bleche; sie ist die Naht der überlappten Verbindung. Hierbei ist man in der Nahtstärke nicht unbeschränkt. Man nimmt als Idealfall an, daß der Querschnitt der Kehle ein gleichschenkeliges Dreieck bildet. Die Kehle soll eher voll als hohl sein. Beide Nahtarten können sowohl normalen als auch tangentialen Spannungen unterworfen sein.



Abb. 28. Kehlnähte.

Man unterscheidet nach der Lage und Beanspruchung der Naht in Stirn- und Flankennaht. Die Stirnnaht (Abb. 29) ist an der Schmalseite des Trägers angebracht, die Flankennaht (Abb. 30) an der Längsseite. Die Stirnnaht ist meist Normalbeanspruchungen ausgesetzt, die Flankennaht dagegen meist Schubbeanspruchungen. Beide Arten können sowohl stumpf- als auch Kehlnähte sein. Als besonderer Abschnitt sei hier noch behandelt die zusammengesetzte Verbindung, bei der eine Stirnnaht mit Normalbeanspruchung mit einer Flankennaht mit Schubbeanspruchung zusammentrifft. Die schrägen Beanspruchungen brauchen nicht behandelt zu werden, da sie selten auftreten und außerdem durch entsprechende Kraftzerlegung auf die behandelten Belastungsfälle zurückgeführt werden können.

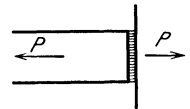


Abb. 29. Stirnnaht.

b) Berechnung einer Stirnnaht: Zunächst soll die Stumpfnah in der üblichsten Form mit V-Querschnitt behandelt werden. Dabei ergibt sich folgendes: Unter Berücksichtigung der oben getroffenen Annahmen ist die Normalspannung von der Größe $\sigma = P/F$ über den gesamten Querschnitt gleichmäßig verteilt. P ist die Stabkraft, F der Schweißquerschnitt. Bei Festsetzung des Schweißquerschnittes sind der meist ungenügende Einbrand am Anfang der Naht und der Schlußkrater zu berücksichtigen, und zwar dadurch, daß man von der Nennlänge der Naht etwa 10—20 mm abzieht (siehe auch S. 20, 45). Die Stärke der Naht nehme man rechnermäßig auch nur höchstens gleich der Blechstärke; sind zwei verschieden starke Bleche verschweißt, so nimmt man als Schweißstärke die Stärke des schwächeren Bleches (Abb. 31). Die Naht fällt ja in Wirklichkeit meist etwas stärker aus, das gleicht aber den im Grunde der V-Auskreuzung meist ungenügenden Einbrand aus. Spannt man zwei Probestäbe, die durch eine Schweißung stumpf verbunden sind, auf eine Zerreißmaschine, so wird man stets beobachten können, daß der Einriß, sofern er überhaupt in der Naht stattfindet, an der offenen Seite der V-Auskreuzung beginnt. Das liegt an dem verschiedenen Elastizitätsmodul von Schweiß und Grundmaterial, spielt aber hier, wo nur die Beanspruchungen innerhalb der Elastizitätsgrenze untersucht werden sollen, kaum eine Rolle. Eine solche stumpfe Stirnverbindung kann ohne Schwierigkeiten fester als die Anschlußstäbe gemacht werden (siehe jedoch Rechenbeispiel S. 21 und Vorschriften S. 45); denn der Schweißquerschnitt kann größer als der Stabquerschnitt gewählt werden, und meist besitzt das abgesetzte Schweißmaterial eine höhere Festigkeit als das Grundmaterial. Da aber das Schweißmaterial eine geringere Dehnung als das Grundmaterial hat, weiterhin infolge der Form die Verformungsmöglichkeit dieser Verbindung gering ist, wird das gesamte Arbeitsvermögen dieser Verbindungsart verhältnismäßig gering sein. Aus allen diesen

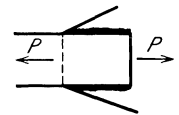


Abb. 30. Flankennaht.

Abb. 31.
Nahtstärke.

Gründen wird diese Verbindung (der stumpfe Stirnstoß) dort empfehlenswert sein, wo große ruhende Kräfte (statische Belastung) zu übertragen sind: dort dagegen, wo Stoßkräfte in Frage kommen, wird sie nicht zu empfehlen sein.

Nun die Stirnnaht als Kehlnaht ausgebildet: die Ermittlung der Spannungen ist schwieriger. Die Kehlnaht wird stets ungünstiger beansprucht als die Stumpfnaht. Zunächst sei angenommen, daß die Verbindung zweiseitig ist, so daß jegliche Biegebungsbeanspruchungen fortfallen. Man legt hier das gleichschenklige Dreieck,

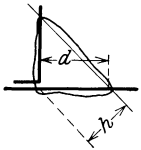


Abb. 32. Nahtstärke bei Kehlschweißung.

das der Idealschweißquerschnitt zeigt, zugrunde (Abb. 32). Die Höhe h dieses Dreiecks bildet die eine Seite des Rechtecks, das auf Zug beansprucht wird; die andere Seite des Rechtecks ist die Schweißnahtlänge. Da der Inhalt dieses gleichschenkligen Dreiecks mit dem Quadrat der Höhe, die zur Berechnung zugrunde gelegt wird, wächst, der Inhalt aber andererseits dargestellt wird durch das niedergeschmolzene Material, so ergibt sich, daß einer Verdoppelung der Höhe eine Vervierfachung der Schweißmenge, des

Schweißstromes, der Schweißzeit gegenübersteht. Die Folgerung, die man daraus zieht, ist die Angabe, daß man solche Kehlnähte möglichst dünn, dafür aber möglichst lang ziehen soll. Weiter soll man auf Grund dieser Rechnungsbasis die Werkstatt stets darauf hinweisen, daß bei Festigkeitsnähten nie Hohlkehlen geschweißt werden dürfen.

Hat man dies und außerdem wiederum die Verschwächung der Naht durch den Anfang und das Ende berücksichtigt, so kann man die gleichen Festigkeitswerte zugrundelegen wie bei der einfachen Stumpfnaht. Immerhin erscheint bemerkenswert, daß alle Forschungsarbeiten zu dem übereinstimmenden Ergebnis gekommen sind, daß die Hauptbeanspruchung einer solchen Kehlschweißung an der Spitze des gleichschenkligen Dreiecks liegt.

Hat man den nach Möglichkeit wenigstens bei Festigkeitsverbindungen zu vermeidenden Fall der einseitigen Kehlstirnnaht vorliegen, so muß man den oben angegebenen Querschnitt auf zusammengesetzte Festigkeit nachprüfen. Der Querschnitt muß die Zug- bzw. Druckbeanspruchung aushalten, außerdem noch die Biegungsspannungen infolge des exzentrischen Angriffens der Kräfte. Als Biegemoment ergibt sich das Produkt von Stabkraft mal Entfernung der Mittellinien der beiden Stäbe. Die ideelle Spannung ist die Summe dieser beiden Normalspannungen (siehe Beispiel S. 21). Man beachte hierbei den wesentlichen Unterschied der zulässigen Druck- und Zugspannung bei Schweißverbindungen (vgl. S. 45). Aus diesen Überlegungen ergibt sich die notwendig ungünstige Anwendung solcher einseitigen Stirnverbindung.

Alle Kehlverbindungen haben infolge ihrer großen Verformungsmöglichkeit den Vorzug, daß sie ein größeres Arbeitsvermögen haben. Man wird solche Nähte daher vorzugsweise dort anwenden, wo eine dynamische Beanspruchung, Stoßbeanspruchung, zu erwarten ist.

c) Berechnung der Flankennähte: Es tritt hier Schubbeanspruchung auf, sonst gilt Ähnliches wie vorher behandelt. Der selten angewendete Fall der Stumpf-flankennaht wird berechnet, indem man als Schubquerschnitt das Rechteck zugrunde legt, Nahtstärke mal Schweißlänge minus 10 bzw. 20 mm für Anfang und Ende der Naht. Bei der Flankenkehlschweißung nimmt man ebenso wie vorher als Schubquerschnitt das Rechteck aus Höhe des gleichschenkligen Dreiecks mal Schweißlänge minus der bekannten Abzüge an. Man rechnet wiederum, daß die Spannungen in der ganzen Naht gleich sind. Eingehende Versuche haben jedoch den Beweis erbracht, daß die Spannungen am Anfang und am Ende der Naht am größten sind, in der Mitte der Naht entsprechend geringer. In der

Literatur findet man Angaben, daß diese Spannungserhöhungen bzw. -verminderungen bis zu 20% der Durchschnittswerte betragen. In der Praxis berücksichtigt man aber diese Zahlen meist nicht, rechnet also mit gleichmäßiger Verteilung. Der Grund mag vielleicht darin zu suchen sein, daß die zulässigen Festigkeitswerte (siehe S. 45) an und für sich schon recht niedrig eingesetzt, dadurch also diese Spannungserhöhungen mit einbegriffen sind. Die Arbeitsaufnahme solcher Flankennähte, vor allem der Kehlflankennähte, ist sehr hoch. Man kann auf der Zerreißmaschine erst ein sehr starkes Fließen des Schweißmaterials beobachten, ehe der Querschnitt zerreißt. Daher eignet sich diese Nahtform ganz besonders für Verbindungen, die stark auf Stoß beansprucht sind.

Sind unsymmetrische Profile, bei denen die Entfernungen von Schwerlinie bis Flanke nach beiden Seiten verschieden groß sind (z. B. das Winkeleisen), durch Flankenkehlschweißung auf eine Unterlage zu befestigen, so soll man nach Möglichkeit die Befestigung „zentrieren“; das Produkt von Schweißquerschnitt mal Abstand Schweißnaht bis Schwerachse soll auf beiden Seiten wenigstens annähernd gleich sein. Es kommt also auf die Seite, die näher an der Schwerachse liegt, die längere bzw. größere Schweißnaht zu liegen. Diese Regel wird sich nicht immer verwirklichen lassen; es sei jedoch darauf hingewiesen, daß eine Verbindung nach obiger Regel die natürlichste und damit auch sicherste ist (Abb. 33).

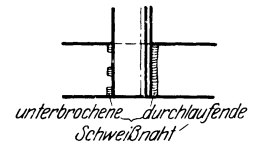


Abb. 33. Anschluß unsymmetrischer Profile.

d) Berechnung der zusammengesetzten Nähte: An der Verbindungsstelle treffen Stirnnähte, die Normalspannungen ausgesetzt sind, mit Flankennähten, die Schubbeanspruchungen aufnehmen sollen, zusammen. Solche Stellen kommen bei überlapptem Stoß vor, wenn man wegen Rostgefahr die Verbindung durch eine ringsherum geschweißte Kehlnaht wasserdicht gemacht hat. Stumpfgeschweißte zusammengesetzte Nähte kommen vor bei eingesetzten Knotenblechen, die in der gleichen Ebene wie die zugehörigen Schenkel liegen.

So empfehlenswert solche Nähte auch vom Standpunkt der Rostsicherheit sind, so unsicher sind sie vom Standpunkt der Festigkeit der Verbindung. Da die Flankennaht stets eine viel größere Dehnung als die Stirnnaht hat, so wird der Hauptteil der Kräfte allein von den Stirnnähten zu übertragen sein. Versuche haben gezeigt, daß man überschlägig annehmen kann, daß die Spannungen in der Stirnnaht stets doppelt so groß sind wie die Spannungen in der Flankennaht. Bei Berechnung einer solchen zusammengesetzten Verbindung muß man diese Tatsache berücksichtigen, und zwar wie folgt: Angenommen, die Verbindung ist entworfen und es wird die Kraft gesucht, die diese Verbindung zulässig übertragen kann. Man bestimmt nach obigen Darlegungen den Querschnitt der Stirn- und Flankennaht, multipliziert nun den Stirnquerschnitt mit der zulässigen Spannung und den Flankenquerschnitt mit der halben zulässigen Spannung der Stirnnähte. Die Summe dieser beiden Kräfte ist dann die zulässige Belastung der gesamten Verbindung. Ist die zu übertragende Kraft gegeben und sucht man den zugehörigen Schweißquerschnitt, so dividiert man die Belastung durch die zulässige Spannung der Stirnnähte. Man erhält damit den Gesamtquerschnitt. Der Stirnquerschnitt wird sich meist aus der Konstruktion ergeben; die Differenz Gesamtquerschnitt minus Stirnquerschnitt ergibt den rechnermäßigen Flankenquerschnitt. Der tatsächliche Flankenquerschnitt ist doppelt so groß zu wählen wie die Rechnung ergeben hat. Zur Erläuterung aller dieser Regeln sollen hier einige durchgerechnete Beispiele aus dem Eisenhochbau folgen:

2. Beispiele für Festigkeitsberechnungen von Schweißkonstruktionen.

Vorbemerkung: Die zulässigen Festigkeitswerte sind den preußischen „Vorschriften für die Ausführung geschweißter Stahlhochbauten“ entnommen (s. S. 45).

Erstes Beispiel: Berechnung der Anschlußverbindungen folgender Stäbe:

Stab Nr.	Belastung in kg	Profil mm	Länge cm
1	— 9000	\perp 140 · 70	200
2	— 18000	\perp 140 · 70	150
3	+ 10000	\perp 80 · 120 · 10	—
4	+ 10000	\perp 80 · 120 · 10	—

Nachprüfung der Abmessungen von Stab „1“:

$$\lambda = \frac{l}{i} = \frac{200}{1,74} = 115$$

Da $\lambda > 105$ wird die Nachprüfung nach „Euler“ vorgenommen:

$$P_B = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot J}{l^2}$$

$$= \pi^2 \cdot \frac{2100000 \cdot 68,9}{200^2} = 35700 \text{ kg}$$

$$l = \text{Stablänge} = 200 \text{ cm}$$

$$i_{\min} = \text{Trägheitsradius} = 1,74 \text{ cm}$$

$$E = \text{Elastizitätsmodul} = 2100000 \text{ kg/cm}^2$$

$$P_B = \text{Bruchlast kg}$$

$$J_x = \text{Flächenträgheitsmoment} = 68,9 \text{ cm}$$

$$P = \text{Belastung} = 9000 \text{ kg}$$

Sicherheit $S = \frac{P_B}{P} = \frac{35700}{9000} \approx 4$ genügt für „Streben“.

Berechnung der Schweißverbindung.

Angenommen ist, daß das T-Eisen mit dem Rücken flach durch 2 Flanken Kehlnähte angeschweißt ist.

$$\text{Schweißquerschnitt } F = \frac{P}{\tau_{zul}} = \frac{9000}{600} = 15 \text{ cm}^2$$

$$P = 9000 \text{ kg}$$

$$\tau_{zul} = 600 \text{ kg/cm}^2$$

Da 2 Flankennähte angenommen sind, so ergibt sich für 1 Naht $F_1 = \frac{1}{2} \cdot F = \frac{1}{2} \cdot 15 = 7,5 \text{ cm}^2$

Flanschstärke des Eisens $d = 1,15 \text{ cm}$ (siehe auch Abb. 32 S. 18)

Schweißnahtstärke $h = \frac{1}{2} \cdot 2 \cdot d = 0,71 \cdot 1,15 \approx 0,8 \text{ cm}$

Nahtlänge rechnermäßig $l_r = \frac{F_1}{h} = \frac{7,5}{0,8} = 9,4 \text{ cm}$

Wirkliche Nahtlänge $= l_w = l_r + 2 = 9,4 + 2 \approx 11,5 \text{ cm}$.

Nachprüfung der Abmessungen von Stab „2“:

$$\lambda = \frac{l}{i} = \frac{150}{1,74} = 86.$$

Da $\lambda < 105$ wird die Nachprüfung nach „Tetmajer“ vorgenommen

$$P_B = F \cdot (3,1 - 0,0114 \lambda) = 22,8 \cdot (3,1 - 0,0114 \cdot 86) = 48,5 \text{ t}$$

$$F = \text{Stabquerschnitt} = 22,8 \text{ cm}^2$$

$$P_B = \text{Bruchlast in t}$$

Sicherheit $S = \frac{P_B}{P} = \frac{48500}{18000} \approx 2,7$ genügt für „Streben“.

Berechnung der Schweißverbindung.

Angenommen ist, daß das T-Eisen durch 1 Stirn-Stumpfnah und durch 2 Flanken-Kehlnähte angeschweißt ist.

$$\text{Schweißquerschnitt } F = \frac{P}{\sigma_{zul}} \quad F = \frac{18000}{900} = 20 \text{ cm}^2$$

$$P = 18000 \text{ kg}$$

$$\sigma_{zul} = 900 \text{ kg}$$

Stirnahtlänge wirklich $l_r = \text{Schenkelbreite} = 14 \text{ cm}$

Stirnahtlänge rechnermäßig $l_{rs} = 14 - 2 = 12 \text{ cm}$

Stirnahtstärke $h_s = \text{Eisenstärke} = 1,1 \text{ cm}$

Stirnquerschnitt $F_s = l_s \cdot h_s = 12 \cdot 1,1 = 13,2 \text{ cm}^2$

Flankenschweißquerschnitt $F_F = F - F_s = 20 - 13,2 = 6,8 \text{ cm}^2$

Da 2 Nähte vorgesehen $F_{F1} = \frac{1}{2} F_F = \frac{1}{2} \cdot 6,8 = 3,4 \text{ cm}^2$

Wegen zusammengesetzter Nähte: $F_{F\text{tats.}} = 2 F_{F1} = 2 \cdot 3,4 = 6,8 \text{ cm}^2$

Flankenschweißstärke (wie bei Stab „1“) $h = 0,8 \text{ cm}$

Flankennahtlänge rechnermäßig $l_{rF} = F_{F\text{tats.}} : h = \frac{6,8}{0,8} \approx 8,5 \text{ cm}$

Flankennahtlänge wirklich $l_{vF} = l_{rF} + 2 = 8,5 + 2 = 10,5 \text{ cm}$.

Nachprüfung der Abmessungen von Stab „3“:

$$\sigma = \frac{P}{F} = \frac{10000}{19,1} = 525 \text{ kg/cm}^2.$$

Verwendetes Material St 37. 11. $\sigma_B = 3700 \text{ kg/cm}^2$

$$\sigma_{\text{zul}} = \frac{1}{4} \cdot \sigma_B = \frac{3700}{4} = 925 \text{ kg/cm}^2$$

$\sigma < \sigma_{\text{zul}}$; Querschnitt genügt.

$$\left. \begin{array}{l} P = 10000 \text{ kg} \\ F = \text{Stabquerschnitt} = 19,1 \text{ cm}^2 \end{array} \right\}$$

Berechnung der Schweißverbindung.

Angenommen ist, daß das L-Eisen mit beiden Schenkeln durch eine Stirn-Stumpfnahht angeschweißt ist.

Nahtlänge wirklich $l_w = \text{Summe der beiden Schenkellängen des Eisens minus Schenkelstärke}$

$$= 12 + 8 - 1 = 19 \text{ cm}$$

Nahtlänge rechnermäßig $l_r = l_w - 2 = 19 - 2 = 17 \text{ cm}$

Nahtstärke $h = 1 \text{ cm}$

Schweißquerschnitt $F = l_r \cdot h = 17 \cdot 1 = 17 \text{ cm}^2$ $\sigma = \frac{P}{F} = \frac{10000}{17} = 590 \text{ kg/cm}^2$

$$\sigma_{\text{zul}} = 720 \text{ kg/cm}^2 \quad \sigma < \sigma_{\text{zul}}; \text{Verbindung genügt.}$$

Berechnung der Schweißverbindung 4.

Angenommen ist, daß das L-Eisen mit dem langen Schenkel anliegend durch 2 Stirnkehlnähte angeschweißt ist.

Da 2 Nähte vorgesehen sind, ergibt sich für die eine Naht $P_1 = \frac{1}{2} P = \frac{1}{2} \cdot 10000 = 5000 \text{ kg}$.

Angenommen: Nahtlänge wirklich $l_w = 12 \text{ cm}$

Nahtlänge rechnermäßig $l_r = l_w - 2 = 12 - 2 = 10 \text{ cm}$

Nahtstärke $h = 0,71 \cdot d = 0,71 \cdot 1 = 0,71 \text{ cm}$

$d = \text{Schenkelstärke} = 1 \text{ cm}$

Nahtquerschnitt $F_1 = h \cdot l_r = 0,71 \cdot 10 = 7,1 \text{ cm}^2$

$$\sigma_{\text{zug}} = \frac{P_1}{F_1} = \frac{5000}{7,1} = 705 \text{ kg/cm}^2$$

Da die Nähte einseitig angebracht sind, ist Biegung nachzuprüfen.

$$M_b = P_1 \cdot 2 \cdot \frac{d}{2} = 5000 \cdot 2 \cdot \frac{1}{2} = 5000 \text{ cmkg} \quad W_b = \frac{l_r h^2}{6} = \frac{10 \cdot 0,71^2}{6} = 8,4 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{\text{Bieg}} = \frac{M_b}{W_b} = \frac{5000}{8,4} = 595 \text{ kg/cm}^2 \quad \sigma_{\text{res}} = \sigma_{\text{zug}} + \sigma_{\text{Bieg}} = 705 + 595 = 1300 \text{ kg/cm}^2.$$

Da $\sigma_{\text{res}} > \sigma_{\text{zul}}$, genügt die Verbindung nicht, zur Verstärkung sollen an den Seiten zwei Flanken-Kehlnähte angebracht werden.

Angenommen: Flanken-Nahtlänge wirklich $l_w = 12 \text{ cm}$

Nahtlänge rechnermäßig $l_r = l_w - 2 = 12 - 2 = 10 \text{ cm}$

Nahtstärke $h = 0,71 \text{ cm}$ (wie oben)

Querschnitt $F_2 = l_r \cdot h = 10 \cdot 0,71 = 7,1 \text{ cm}^2$

Da 2 Flankennahte vorhanden $F_3 = 2 \cdot F_2 = 2 \cdot 7,1 = 14,2 \text{ cm}^2$

σ_{zul} für die Stirnnahte = 720 kg/cm^2

$$\tau_{zul} \text{ bei zusammengesetzter Verbindung für die Flankennähte } \tau_{zul} = \frac{1}{2} \cdot \sigma_{zul} = \frac{1}{2} \cdot 720 = 360 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Kraft der Flankennähte } P_F = F_3 \cdot \tau_{zul} = 14,2 \cdot 360 = 5100 \text{ kg}$$

$$\text{Kraft der Stirnnähte } P_S = P - P_F = 10000 - 5100 = 4900 \text{ kg}$$

$$\text{Da 2 Stirnnähte vorhanden } P_{S1} = \frac{1}{2} P_S = 2450 \text{ kg}$$

$$\sigma_{zug I} = \frac{P_{S1}}{F_1} = \frac{2450}{7,1} = 345 \text{ kg/cm}^2$$

$$M_b = P_{S1} \cdot 2 \cdot \frac{d}{2} = 2450 \cdot 2 \cdot \frac{1}{2} = 2450 \text{ cmkg}$$

$$W_b = \frac{l \cdot h^2}{6} = \frac{10 \cdot 0,71^2}{6} = 8,4 \text{ cm}^3$$

$$\sigma_{Bieg} = \frac{M_b}{W_b} = \frac{2450}{8,4} = 292 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{Res} = \sigma_{zug} + \sigma_{Bieg} = 345 + 292 = 637 \text{ kg/cm}^2$$

$$\sigma_{zul.} = 720 \text{ kg/cm}^2. \quad \text{Da } \sigma_{Res.} < \sigma_{zul} \text{ genügt die Verbindung.}$$

Zweites Beispiel: Berechnung einer geschweißten gegliederten Stütze. (Abb. 34.)

Gegeben: Belastung 14 t; Höhe der Stütze $l = 400$ cm. Gewählt: 2 \square -Eisen. Rücken gegeneinander, Flansche nach außen. Zahl der Bindebleche auf jeder Seite $n = 7$ (also Gesamtzahl der Bindebleche $= 2n = 14$). \square NP10; Abstand der beiden Eisen $a_1 = 4,2$ cm; Bindeblechbreite $h_1 = 15$ cm; Blechstärke $d = 0,8$ cm; Durchrechnung erfolgt auf Grund der Formeln von Prof. Krohn, Danzig.

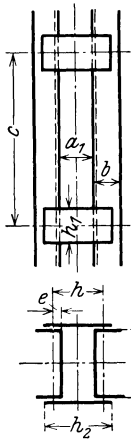


Abb. 34. Geschweißte Stütze.

Lösung: Länge der Bindebleche $h_2 = a_1 + 2(b - 0,8)$
 $h_2 = 4,2 + 2 \cdot (5,0 - 0,8) = 12,6$ cm.

Last für 1 Stab: $P_1 = \frac{P \cdot 68 h}{136 h - 4}$

$$P_1 = \frac{14 \cdot 68 \cdot 7,3}{136 \cdot 7,3 - 400} = 11,7 \text{ t}$$

$$P = 14 \text{ t}$$

Für den Einzelstab gilt:

$$\lambda_1 = \frac{c}{i_1}$$

$$\lambda_1 = \frac{50}{1,47} = 34$$

$$c = \frac{l}{n + 1}$$

$$= \frac{400}{7 + 1}$$

$$= 50 \text{ cm}$$

$$i_1 = 1,47 \text{ cm}$$

$$h = a_1 + 2e$$

$$= 4,2 + 2 \cdot 1,55$$

$$= 7,3 \text{ cm}$$

$$l = 400 \text{ cm}$$

Da $\lambda_1 < 105$, erfolgt die Nachprüfung der Einzelstäbe nach „Tetmajer“
 $P_B = F_1 \cdot (3,1 - 0,0114 \cdot \lambda_1) = 13,5 \cdot (3,1 - 0,0114 \cdot 34) = 36,5 \text{ t}$

$$\text{Sicherheit } S = \frac{P_B}{P_1} = \frac{36,5}{11,7} \approx 3,1.$$

$$\left. \begin{aligned} F_1 &= 13,5 \text{ cm}^2 \\ \lambda_1 &= 34 \end{aligned} \right\}$$

Da $S > 3$ genügt das Profil (Stützen nach „Tetmajer“).

Berechnung der Bindebleche.

Scherkraft in der Mitte der Bleche II zur Längsachse der

$$\text{Stütze } T = \frac{F_1 \cdot c}{14 \cdot h} = \frac{13,5 \cdot 50}{14 \cdot 7,3} = 6,6 \text{ t.}$$

$$\left. \begin{aligned} F_1 &= 13,5 \text{ cm}^2 \\ c &= 50 \text{ cm} \\ h &= 7,3 \text{ cm} \\ d &= 0,8 \text{ cm} \\ h_1 &= 15 \text{ cm} \\ h_2 &= 12,6 \text{ cm} \end{aligned} \right\}$$

Da 2 Bindebleche paarweise vorhanden: $T_1 = \frac{1}{2} T = \frac{1}{2} \cdot 6,6 = 3,3 \text{ t}$

$$\text{Scherfläche } F_2 = d \cdot h_1 = 0,8 \cdot 15 = 12 \text{ cm}^2$$

$$\tau_{Blech} = \frac{T_1}{F_2} = \frac{3300}{12} = 275 \text{ kg/cm}^2.$$

An der Schweißstelle tritt für das Blech ein M_b auf. $M_b = \frac{T_1 \cdot h_2}{4} = \frac{3300 \cdot 12,6}{4} = 10\,400$ cmkg

$$W_b \text{ Blech} = \frac{d \cdot h_1^2}{6} = \frac{0,8 \cdot 15^2}{6} = 30 \text{ cm}^3 \quad \sigma_{\text{Blech}} = \frac{M_b}{W_b} = \frac{10\,400}{30} = 350 \text{ kg/cm}^2.$$

Beide Beanspruchungen sind sehr niedrig. Blechquerschnitt genügt.

Berechnung der Schweißung.

Angenommen ist ein Verschweißen der Bindeblechränder parallel zur Längsachse der Stütze.

Beanspruchungen: Schub: $T_1 = 3300$ kg Biegung: $M_b = 10\,400$ cmkg

Schweißlänge wirklich $l_w = h_1 = 15$ cm

Schweißlänge rechnermäßig $l_r = l_w - 2 = 15 - 2 = 13$ cm

Schweißstärke $s = 0,71 \cdot d = 0,71 \cdot 0,8 = 0,57$ cm

Schweißquerschnitt $F_3 = s \cdot l_r = 13 \cdot 0,57 = 7,4$ cm²

$$\tau_{\text{Schweiße}} = \frac{T_1}{F_3} = \frac{3300}{7,4} = 446 \text{ kg/cm}^2 \quad W_b \text{ Schweiße} = \frac{s \cdot l_r^2}{6} = \frac{0,57 \cdot 13^2}{6} = 15,8 \text{ cm}^3.$$

$$\sigma_{\text{Schweiße}} = \frac{M_b}{W_b} = \frac{10\,400}{15,8} = 660 \text{ kg/cm}^2.$$

$\tau_{\text{Schweiße}} < \tau_{\text{zul}}; \sigma_{\text{Schweiße}} < \sigma_{\text{zul}}$

Schweißquerschnitt genügt.

Es würden auch größere Ziffernwerte für die Spannungen zulässig sein, da sie ja nur beim Knicken auftreten. Man würde jedoch meistens die Bindebleche auf den Flanschen der \square -Eisen auch an der Seite festschweißen, so daß dadurch die Sicherheit noch weiter gesteigert wird.

Drittes Beispiel: Berechnung eines geschweißten Stehblechträgers. I-Form (Abb. 35).

Gegeben: Belastung gleichmäßig verteilt $p = 3$ t/m; Länge $l = 4$ m.

Lösung: Gesamtbelastung $P = p \cdot l = 3 \cdot 4 = 12$ t

Gewählt: Stehblechhöhe $h_1 = 40$ cm, Stehblechstärke $\delta_x =$ Gurtblechstärke $= \delta_y = 0,8$ cm

Breite der Gurtbleche $b = 16$ cm

$$J_{\text{Gurtplatten}} = 10\,700 \text{ cm}^4$$

$$J_{\text{Steg}} = 4\,267 \text{ cm}^4$$

$$J_{\text{Gesamt}} = J_{\text{Gurtplatten}} + J_{\text{Steg}} = 10\,700 + 4\,267 = 14\,967 \approx 15\,000 \text{ cm}^4$$

$$W_b = \frac{J}{e} = \frac{15\,000}{20,8} = 720 \text{ cm}^3$$

$$M_{b\text{max}} = \frac{P \cdot l}{8} = \frac{12\,000 \cdot 400}{8} = 600\,000 \text{ cmkg}$$

$$\sigma_b = \frac{M_b}{W_b} = \frac{600\,000}{720} = 830 \text{ kg/cm}^2.$$

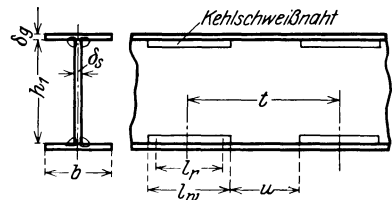


Abb. 35. Stehblechträger.

Berechnung der Schweißung.

(Es wurde folgender Rechnungsgang gewählt, um zu zeigen, wie man an Hand der Berechnung von Nietverbindungen, Schweißverbindungen berechnet.)

Für geringere Trägerhöhen gilt bei genieteten Blechträgern

$$t = \frac{N \cdot h_1}{Q}, \text{ wobei bedeutet } t = \text{Nietteilung}; N = \text{Tragfähigkeit eines Nietes in kg}; h_1 =$$

senkrechter Abstand der Nietreihen; $Q =$ Querkraft in kg. Überträgt man diese Formel auf die Berechnung geschweißter Konstruktionen, so muß man die Tragfähigkeit eines Nietes ersetzen durch die Festigkeit eines Schweißnahtabschnittes.

$$t = \frac{N \cdot h_1}{Q}$$

Festigkeit eines Nahtabschnittes ist $N = F \cdot \tau$

$F =$ Schweißquerschnitt $=$ Stärke mal Länge

$$F = h \cdot l_r = \frac{h \cdot t}{2}.$$

Eingesetzt ergibt sich

$$t = \frac{h \cdot t \cdot \tau \cdot h_1}{2 \cdot Q}.$$

Umgeformt ergibt sich

$$h = \frac{2Q}{\tau \cdot h_1}.$$

Für vorliegenden Belastungsfall ergibt sich:

$$h = \frac{2Q}{\tau \cdot h_1} = \frac{2 \cdot 6000}{600 \cdot 40} = 0,5 \text{ cm}$$

Schenkellänge des Schweißquerschnittes

$$s = \frac{h}{0,71} = \frac{0,5}{0,71} = 0,7 \text{ cm}$$

l_r angenommen = 10 cm; $l_w = l_r + 2 = 10 + 2 = 12 \text{ cm}$.

Teilung $t = 2 \cdot l_r = 2 \cdot 10 = 20 \text{ cm}$. Ungeschw. Stück = u .

$u = t - 2 \frac{l_w}{2} = 20 - \frac{2 \cdot 12}{2} = 8 \text{ cm}$. Nach der Mitte des Trä-

gers zu wird Q kleiner, dort kann auch der Schweißquerschnitt kleiner werden.

Schweißstärke = $h \text{ cm}$

Länge eines Schweißabschnittes angenommen = $l_r = \frac{1}{2} t \text{ cm}$.

Will man nicht, wie hier gewählt, eine unterbrochene, sondern eine längs durchlaufende Naht, so muß man setzen $l_r = t$.

Q_{\max} = Auflagerdruck

$$= \frac{P}{2}$$

$$Q = \frac{12000}{2} = 6000 \text{ kg}$$

$$\tau = 600 \text{ kg/cm}^2$$

$$h_1 = 40 \text{ cm}$$

3. Preisberechnung von Schweißverbindungen. Es soll hier der Versuch unternommen werden, die Unkosten, die einem Betriebe durch das Schweißen entstehen, aufzuzeigen. Es sollen nur allein Neukonstruktionen berücksichtigt werden, denn Reparaturarbeiten schwanken in dem Kostenaufwand so stark, daß einigermaßen allgemeingültige Werte nicht gegeben werden können. Auch die Zahlenangaben, die nun folgen, können niemals irgendwie bindend sein. Nebenumstände, die man in einer solchen allgemeinen Aufstellung nie berücksichtigen kann, beeinflussen mitunter die Preisgestaltung sehr stark. Es wird aber bei den einzelnen Punkten darauf hingewiesen werden, durch welche Größen eine Veränderung der eingesetzten Werte leicht möglich ist.

Die Unkosten der Schweißung setzen sich zusammen aus den Kosten für Elektroden, für Strom, für Lohn, für Abschreibung und sonstiges.

a) **Kosten für Elektroden:** Die Elektrodenkosten ermittelt man aus der Menge des niedergeschmolzenen Materials und dem Preise der Elektroden. Würden beim Schweißen keine Spritzer entstehen, würde kein Stoff verdampfen und verbrennen, und könnte man die Elektrode ganz aufbrauchen wie den Zusatzstab beim Gasschmelzschweißen, so würde das Schweißvolumen gleich dem Volumen der verbrauchten Elektroden sein. Durch die oben angedeuteten Verluste ist aber in Wirklichkeit das Volumen der Elektroden stets größer als das Schweißvolumen. Das Verhältnis beträgt ungefähr 1,25, gleich einer Ausnutzung der Elektroden von rund 80%. Diese Zahl soll natürlich nur einen gewissen Anhalt darstellen; sie schwankt sehr stark. Die Ausnutzungsziffer ist geringer bei kurzen Elektroden, bei Elektroden, die sehr stark spritzen, auch meist bei blanken Elektroden; die Ausnutzungsziffer wird weiterhin verringert durch Verschweißen der Elektroden mit größerer Stromstärke und bei Überkopf- und Senkrechтарbeiten. Ist im Betriebe nicht genügende Kontrolle vorhanden, werfen mitunter die Schweißer längere Elektrodenenden fort, wodurch natürlich die Ausnutzungsziffer weiter stark herabgedrückt wird. (Will man dieses vorzeitige Wegwerfen der Elektrodenenden wirksam verhindern, empfiehlt es sich, dem Schweißer ein Blechkästchen mitzugeben, in das er alle Elektrodenreste sammeln soll. Nicht nur der Elektroden-

ersparnis wegen empfiehlt sich diese Maßnahme, sondern auch schon wegen Verhütung von Feuer, zur Sauberhaltung der Werkstatt usw.). Aus diesen Darlegungen ergibt sich, daß die obengenannten Ziffern einen gewissen Höchstwert darstellen, der in der Werkstatt erreicht werden kann.

Will man nun die erforderliche Elektrodenzahl ermitteln, so muß man zunächst den Nahtquerschnitt errechnen, dann wird dieses Ergebnis mit 1,25 multipliziert und man hat das benötigte Elektrodenvolumen. Dadurch bestimmt sich nach Wahl der Elektrodenstärke die Elektrodenzahl. Multipliziert man nun die Zahl mit dem Preis der gewählten Elektrode, so erhält man den Kostenaufwand der Schweißarbeit an Elektrodenmaterial.

b) Kosten für Strom: Die Stromkosten hängen sehr von den vorhandenen Maschinen ab. Als allgemeinen Überschlagswert rechnet man einen Stromverbrauch von 3—6 kWh je Schweißer und Schweißstunde. Die niederen Ziffern gelten für Wechselstrom, die höheren für Gleichstrom. Die verbrauchte elektrische Arbeit hängt natürlich zunächst von dem Elektrodendurchmesser ab und von der danach eingestellten Stromstärke. Daher sei folgende Zahlentafel angegeben:

Ungefäher Stromverbrauch für das Abschmelzen von einer Elektrode 450 mm lang.

	2	3	4	5	6	mm Elektrodendurchmesser
Wechselstrom	0,05	0,1	0,15	0,2	0,25	kWh/Elektrode
Gleichstrom	0,065	0,13	0,20	0,26	0,35	kWh/Elektrode

ohne Berücksichtigung
der Leerlaufverluste

Aber auch diese Werte sind nicht etwa als Festwerte zu betrachten. Umhüllte Elektroden verbrauchen in der Regel einen geringeren Strom als blanke. Und auch da wieder gibt es beträchtliche Unterschiede. Hat man sehr lange Schweißzuleitungskabel, wie es im Eisenhoehbau häufig anzutreffen ist, so wird der Stromverbrauch höher sein. Überkopf- und Senkrechtweißungen verbrauchen mehr Strom. Hat man lange dünne Nähte zu ziehen, wird der Stromverbrauch verhältnismäßig auch höher als bei dicken kurzen Nähten. Weiter hängt der Stromverbrauch ab von der Stromart und, wie schon gesagt, von der verwendeten Maschine. Bei Gleichstrom hat man in der Regel einen höheren Verbrauch als bei Wechselstrom, weil der Wirkungsgrad von Gleichstromumformern geringer ist als der von Wechselstromtransformatoren. Die obige Zahlentafel stellt niedrige Durchschnittswerte für durchgehenden Betrieb der Maschine dar. Manche Maschinen haben infolge ihrer Bauart einen wesentlichen höheren Stromverbrauch.

Der Gesamtstromverbrauch hängt weiter ab von den Leerlaufverlusten. Bei manchen Maschinen ist der Leerlaufverlust sehr beträchtlich; dadurch wird auch der Stromverbrauch bezogen auf eine Elektrode größer. Schließlich liegt die Höhe des Stromverbrauches aber auch am Betriebe. Wenn die Schweißer von Anfang an angehalten werden, sofort nach dem Schweißen die Maschine auszuschalten, kann man die Leerlaufverluste und damit den gesamten Stromverbrauch wesentlich herabdrücken. Besonders zu beachten sind hierbei die Wechselstromsätze. Diese Apparate besitzen meist keinen handlichen Schalter; bei flüchtiger Beobachtung kann man nicht feststellen, ob der Schweißsatz angeschlossen ist oder nicht. Zwar ist der Leerlaufverlust bei Schweißtransformatoren meist gering, aber lange Leerlaufzeiten machen sich natürlich doch am Stromverbrauch bemerkbar.

Hat man nun auf die eine oder andere Weise den Stromverbrauch berechnet, so kann man daraus die Stromkosten für die vorliegende Schweißarbeit bestimmen, wenn der Preis der kWh bekannt ist. Bei den Wechselstromsätzen muß man den schlechten Leistungsfaktor ($\cos \varphi$), den hohen Blindstromverbrauch berücksich-

tigen. Die stromliefernden Werke haben meist für Stromabnehmer mit hohem Blindstromverbrauch einen Sondertarif, der dann entsprechend in Rechnung zu stellen ist. Allgemeine Regeln haben sich hierfür noch nicht eingebürgern können.

c) Kosten für Lohn: Sie hängen vom Tarif und von der Schweißzeit ab. Da die Lohntarife für Schweißer noch sehr verschieden, den Firmen aber ohne

weiteres bekannt sind, genügt es, hier nur etwas über die Schweißzeit anzugeben. Als Überschlagswerte mögen die Werte der Tabellen Abb. 36 von den Kjellberg-Werken dienen, die natürlich zunächst nur Gültigkeit für die Elektroden dieser Firma haben.

Diese Werte stellen reine Schweißzeiten für normale lange Nähte mit gewöhnlichen umhüllten Elektroden dar, ausschließlich notwendiger Pausen, aber einschließlich des Auswechsels von Elektroden. Es sind auch wieder Höchstwerte, die aber in der Werkstatt im Blech- und Behälterbau bei langdurchlaufenden Nähten bequem erreicht werden können. Für häufig abgesetzte Nähte, wie sie im Eisenhochbau vorkommen, müssen Zuschläge zu diesen Zeiten gemacht werden. Ebenso natürlich für Heftstellen. In den Tabellen ist angenommen, daß die Bleche schon geheftet und eingerichtet sind. Für das Einrichten und Heften können kaum Zeitangaben gemacht werden, da diese Werte zu stark schwanken.

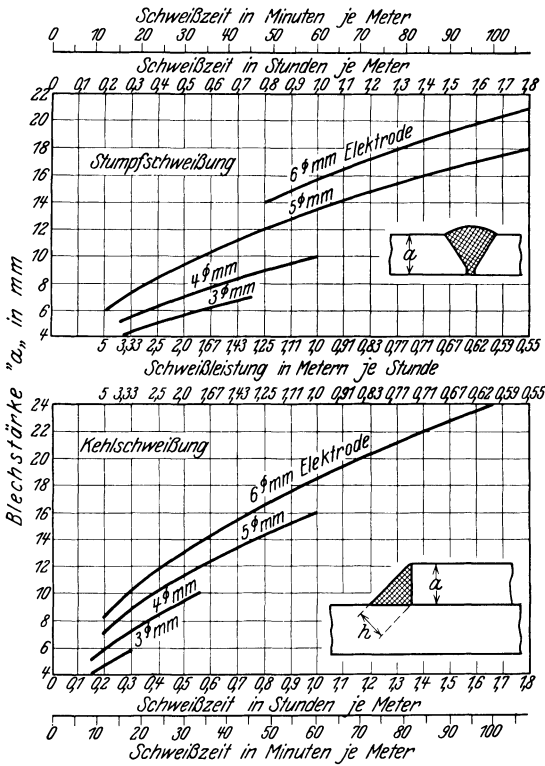


Abb. 36. Schweißzeitentabellen. Schweißzeit für Stumpf- und Kehlnähte (Kjellberg). Für normale waagerechte Nähte einschl. Auswechseln der Elektroden. Bleche sind geheftet.

Bei schwierigen Arbeiten, z. B. bei solchen, wo der Schweißer schlecht zur Naht hingelangen kann, wo er in einer unbequemen Haltung schweißen muß, sind weiterhin Zuschläge zu machen. Dasselbe gilt für Senkrecht- und Überkopfarbeiten. Die Schweißzeit ist ferner von den verwendeten Elektroden abhängig. Mit unwickelten Elektroden werden sich kürzere Zeiten einstellen, mit blankem Draht dagegen meist längere.

d) Allgemeine Unkosten: Nimmt man bei Gleichstrom einen Kostenaufwand von 3000 RM für eine Schweißstelle an und eine Laufzeit von fünf Jahren, so erhält man eine notwendige Verzinsung des Kapitals von 20% gleich 600 RM das Jahr. In diesem Betrage dürften auch die Unterhaltungskosten sowie etwaige Reparaturen eingeschlossen sein. Rechnet man mit 48stündiger Arbeitszeit in der Woche, so erhält man im Jahre 2500 Arbeitsstunden. Selbst wenn man eine Vollbeschäftigung des Werkes annimmt, so werden sich an Schweißzeiten doch nur 50% der Arbeitszeit ergeben. Die übrige Zeit wird ausgefüllt werden durch das Zurichten und Heften der Werkstücke, durch Auswechseln der Elektroden

und die notwendigen Pausen. Höchstens bei Reihenfertigung wird man in seltenen Fällen mit höherer tatsächlicher Schweißzeit rechnen. Daraus ergibt sich, bezogen auf die tatsächliche Schweißstunde, ein Kostenaufwand von rund 0,50 RM für Abschreibung. Bei Wechselstromsätzen wird man infolge des nur ein Drittel so hohen Anschaffungspreises nur mit einem Kostenaufwand von 0,20 RM die Stunde zu rechnen brauchen unter Beibehaltung der übrigen oben gemachten Annahmen. Auch diese Ziffern sind nicht Festwerte. Wie man aus der Durchrechnung sieht, hängt diese Ziffer zunächst ab von dem Anschaffungswerte der Schweißmaschine; dann spielt die Lebensdauer der Maschine eine Rolle, die wiederum abhängt von der Bauart und der Güte der Maschine und ihrer Behandlung im Betriebe. (Wenn auch die meisten Schweißmaschinen so gebaut sind, daß sie ohne weiteres im Freien verwendet werden dürfen, so empfiehlt es sich doch stets, für längere Arbeiten im Freien als Regenschutz einen Kasten um die Maschine herumzubauen.)

4. Bestimmung der Schrumpfung des Werkstückes. Die Schrumpfung entsteht durch die Erwärmung des Werkstückes und durch das Einbringen des flüssigen Elektrodenmaterials. Selbst wenn man die Erwärmung des Werkstückes vernachlässigt und nur die Zusammenziehung der Schweiße durch das Erkalten berücksichtigt, könnte man doch immer noch nicht das Maß der Schrumpfung angeben. Das Zusammenziehen des Schweißmaterials allein ist bekannt. Ein homogener Stab von Schweißmaterial von 1 m Länge zieht sich beim Erkalten um etwa 12 mm zusammen. Nun tritt aber dieses Zusammenziehen in Wirklichkeit nur insoweit auf, als es die betreffenden verbundenen Werkstücke erlauben.

Nimmt man weiter an, daß die beiden zusammengeschweißten Stücke ohne weiteres den Schrumpfungen der Naht folgen können, so erkennt man, daß die Größe der Zusammenziehung abhängig ist von der Menge des eingebrachten Schweißgutes und der Höhe der Erwärmung. Die Zusammenziehung des Schweißgutes wird sich zu äußern versuchen nach den drei Richtungen des Raumes: längs der Schweißnaht, quer dazu und senkrecht zur Schweißebene. Umfangreiche Forschungen haben gezeigt, daß man im Normalfalle am ehesten die Verziehung senkrecht zur Schweißebene vernachlässigen kann. Weiter ist gezeigt worden, daß die Schrumpfung längs der Schweißraupe auch verhältnismäßig gering ist. Die größte und daher auch am leichtesten zu beobachtende Schrumpfung ist festgestellt worden quer zur Schweißnaht. Man spricht daher auch häufig nur von „Schrumpfung“ und meint damit im engeren Sinne die Querschrumpfung. Diese Querschrumpfung wächst mit wachsendem Schweißquerschnitt und zunehmender Nahtlänge. Was die Erwärmung anbetrifft, so liegen hier die Verhältnisse nicht ganz so einfach. Wählt man einen höheren Schweißstrom, so steigt die Erwärmung; damit wächst aber auch die Schweißgeschwindigkeit, Wärmestauungen werden also vermieden. Wählt man dagegen die Stromstärke niedriger, so kommt an und für sich weniger Wärme in und an das Stück, jedoch können Wärmestauungen auftreten.

Die Elektrodenart spielt auch eine gewisse Rolle. Eine dicke Schlackenschicht auf der Raupe wird die Hitze zurückhalten.

Auch die Elektrodenführung hat Einfluß auf die Erwärmung; ferner die Hilfsmittel, die man anwendet, um die Erwärmung gering zu halten (siehe „Durchführung der Schweißarbeit“).

Betrachtet man alle diese Einflüsse, so sieht man, daß der wichtigste Punkt zum Niedrighalten der Schrumpfung die sorgsame Einhaltung des Schweißquerschnittes ist. Es wurde in dem Kapitel „Vorbereitung der Schweißarbeit“ schon darauf hingewiesen, daß die Spannungsfreiheit der geschweißten Konstruktion zu einem wesentlichen Grade abhängt von der Sorgfalt, mit der die einzelnen

Teile vor dem Schweißen zusammengesaßt sind (siehe auch „Durchführung der Schweißarbeit“). Zahlen lassen sich hier schwer bringen¹.

Den Schrumpfungen entsprechen am fertigen Stück die Schrumpfspannungen. Die Spannungen werden um so größer ausfallen, je starrer, unnachgiebiger die beiden zu verbindenden Stücke gelagert sind und je kürzer sie sind. Daher auch die Schwierigkeit des Einschweißens irgendwelcher Flicken in große starke Blechwände (starre Umrahmung, kurzes Werkstück). Die Spannungen können dann so groß werden, daß sie die Schweißnaht zerstören.

Will man die Spannungen niedrig halten, muß man zunächst für Niedrighalten der Schrumpfung sorgen; weiterhin muß man nach Möglichkeit darauf sehen, daß sich die Werkstücke ohne Schaden für die ganze Konstruktion verziehen können, bevor sie fest eingeschweißt werden. Man muß beim Schweißen also so vorgehen, daß das betreffende Werkstück möglichst lange eine parallel zur Schweißrichtung verlaufende Seite (wegen der größeren Querschrumpfung) zum „Arbeiten“ frei hat; der Werkstattausdruck hierfür lautet „man schweiße von innen nach außen“. Man fange also in der Mitte der Konstruktion an, lasse die Enden möglichst lange offen, so daß sich die Stücke noch dehnen können, und schweiße dann hier am Schluß erst zusammen. Selbstverständlich wird es auch hierfür Ausnahmen geben; in solchen Fällen hefte man die Stücke sorgfältig und schweiße dann.

N. Anwendbarkeit und Wirtschaftlichkeit der Schweißung.

Der Anwendbarkeit der elektrischen Lichtbogenschweißung können heute sehr weite Grenzen gesetzt werden. Von 3 mm Blechstärke an aufwärts können alle Stärken ohne Schwierigkeiten bewältigt werden. Sogar die Dünnblechschweißung unter 3 mm Blech beginnt sich einzuführen. Auf einer der letzten Leipziger Messen wurde von einer Firma die Schweißung von 1 mm Blech mit Wechselstrom und Sonderelektroden vorgeführt und das sogar mit freiliegendem Blech ohne Kupferunterlage oder ähnlichem; die Schweißergebnisse waren auch durchaus einwandfrei. Ob sich aber in der Praxis die Schweißung von solch dünnen Blechstärken empfehlen wird, ist wohl sehr fraglich. Bei freiliegenden Blechen soll man doch die 3 mm-Grenze nicht unterschreiten. Es sei aber festgestellt, daß schwächere Bleche mit Vorrichtungen oder auf Schweißmaschinen sehr gut und auch mit wirtschaftlichem Erfolge verschweißt werden können. Allerdings setzt dies voraus, daß die vorliegende Arbeit öfters wiederholt werden muß, so daß sich die Anschaffung bzw. Herstellung von Vorrichtungen lohnt.

Wie überall in der Technik, so auch hier beim Schweißen, darf die Fragestellung nicht lauten: Was ist schweißbar, sondern die Frage muß lauten: Was ist wirtschaftlich schweißbar, d. h., wo kann ich durch Anwendung der Lichtbogenschweißung bedeutende Vorteile in wirtschaftlicher Hinsicht erzielen. Die bei der Lichtbogenschweißung sofort ins Auge springenden Vorteile sind: die Gewichtsersparnisse an der Konstruktion durch Wegfall der verschwächenden Nietlöcher, die größere Starrheit, die Schnelligkeit der Herstellung. Es werden sich also sofort dort Vorteile einstellen, wo man auf einen dieser Punkte oder gar auf alle bedeutendes Gewicht legen muß.

Bei ortsbeweglichen Konstruktionen wird die Gewichtsersparnis ganz besonders zu begrüßen sein, da ja eine Verringerung der beweglichen toten Lasten sich in einer

¹ Es sei jedoch besonders auf den Vortrag von Obermarinebaurat Lottmann hingewiesen, gehalten bei der Fachsitzung „Schweißtechnik“ VDI in Wien am 20. 9. 30, veröffentlicht in der Z. V. d. I. Bd 74 Nr. 38, vom 20. 9. 30, S. 1340 und ausführlicher in der Zeitschr. „Elektroschweißung“, H. 11, Nov. 30, S. 205, Braunschweig: Vieweg & Sohn.

kleineren Antriebsleistung bemerkbar machen wird. Oder bei gleicher Leistung kann man bei gleichem Bruttogewicht durch das kleinere Taragewicht das Nettogewicht vergrößern (Beispiel: Krananlagen, Waggonbau, Schiffsbau). Aber auch bei feststehender Konstruktion wird sich ein kleineres Eigengewicht günstig auswirken, da ja die Konstruktionen häufig durch das Eigengewicht am stärksten belastet sind (Beispiel: Hallenkonstruktionen, leichte Brücken).

Die größere Starrheit wird beim Bau von Bearbeitungsmaschinen (Bearbeitungsmaschinen hier in recht weitem Sinne gebraucht) erstrebenswert sein, die Schnelligkeit der Herstellung wieder beim Bau abnormer Teile und Maschinen. Die letzten beiden Punkte lassen sich zahlenmäßig schwer fassen, bieten aber für bestimmte Fälle unbestreitbar große Vorteile. Beim Vergleich des Schweißens mit irgendeinem anderen Herstellungsverfahren muß man also diese Punkte berücksichtigen, will man gerecht urteilen.

Will man wirtschaftlich schweißen, so beschränke man sich zunächst auf die Anwendungsgebiete, bei denen die oben angedeuteten Vorteile für den vorliegenden Fall besonders erstrebenswert sind. Auch bedenke man stets, daß man auf die in der Werkstatt schon vorhandenen Einrichtungen Rücksicht nehmen muß. Überlegt man sich von diesem Standpunkt aus z. B. den Ersatz normaler gußeiserner Drehbankbetten durch geschweißte Konstruktionen, so wird man sagen müssen, daß im Normalfalle die Lichtbogenschweißung nicht wirtschaftlich sein kann; denn Gewichtersparnis spielt hier kaum eine Rolle, ist vielleicht sogar nicht einmal wünschenswert; die Starrheit der Konstruktion ist durch ein gegossenes Bett wohl ebenso gut zu erreichen als durch ein geschweißtes; die Schnelligkeit der Herstellung wird durch das Gießen auch zur Genüge verwirklicht; außerdem sind die Gießerei mit ihren teuren Einrichtungen und die Modelle vorhanden. Dieses extreme Beispiel soll zeigen, daß man vor Einführung der Schweißung in den Betrieb genau überlegen soll, welche Stücke von nun an geschweißt werden. Durch unüberlegtes, überstürztes Einführen der Elektroschweißtechnik kann dem ganzen Betriebe und auch dadurch der gesamten Schweißtechnik sehr geschadet werden. Allgemeine Richtlinien lassen sich hier nicht aufstellen, da, wie schon gesagt, durch die verschiedene Ausrüstung jeder Werkstatt jeder Fall verschieden beurteilt werden muß. In den meisten Werkstätten wird sich aber irgendeine wirtschaftliche Anwendung der Schweißtechnik ergeben; schaffen sich doch heute schon viele Zuckerfabriken und ähnliche Werke Schweißsätze an, nur um mit ihnen leicht Schäden reparieren und um schnell Neu- und Umbauten vornehmen zu können.

Die Wirtschaftlichkeit des Schweißens hängt dann noch von einigen anderen Faktoren ab, die angedeutet werden sollen. Zunächst ist ein guter flotter Schweißer im Betriebe notwendig, der recht viel von seinem Fache versteht. Die Schweißelöhne sind gegenwärtig recht hoch, schließlich auch mit Recht in Anbetracht der Verantwortung des Arbeiters. Soll sich nun solch eine hochbezahlte Kraft voll auswirken, so muß man dafür sorgen, daß stets genügend Schweißarbeit für den Mann vorhanden ist. Dann wird einem gegebenenfalls zwei Schweißern zusammen eine Hilfskraft beigegeben, die alle untergeordneten Arbeiten abnimmt (Abputzen und Richten der Naht usw.). Gerade diese Nebenarbeiten verbrauchen ohne Hilfskraft eine Unmenge Zeit und belasten daher die ganze Schweißarbeit außerordentlich. Akkordschweißung wird sich vor allem für Neukonstruktionen empfehlen (siehe auch S. 26). Die richtige Konstruktion, die richtige Montage spielen eine hervorragende Rolle. Die Wahl der richtigen Elektrode ist wichtig; eine zu teure oder eine schlechte, mit der man nur sehr langsam schweißen kann, verursacht große Ausgaben, macht die Schweißung unwirtschaftlich. Man halte sich stets vor

Augen, daß man sehr wohl recht bedeutende Ersparnisse mit dem Schweißen machen kann, daß aber diese Ersparnisse erkauft werden müssen durch eine sehr sorgfältige Arbeitsvorbereitung. Das Weniger an körperlicher Arbeit muß ersetzt werden durch ein entsprechendes Mehr an Geist.

Zum Schluß noch Beantwortung der Frage: Wann wird die Elektroschweißung in wirtschaftlicher Hinsicht gar nicht zu empfehlen sein? Abgesehen von oben angedeuteten Fällen wird sie dort ungünstig werden, wo bei geringer Größe der einzelnen Schweißstelle viele Schweißstellen örtlich sehr weit auseinander liegen. Ein treffendes Beispiel in dieser Hinsicht scheint mir das Schweißen von Ferngasleitungen zu sein, das heute wohl durchweg mit Azetylgas durchgeführt wird. Die in Deutschland verlegten Rohre haben einen verhältnismäßig kleinen Durchmesser, so daß die einzelne Schweißstelle recht klein wird; die Schweißstellen liegen durch die bedeutende Länge der einzelnen Rohre weit auseinander. Wollte man solche Leitungen elektrisch schweißen, so brauchte jede Schweißstelle ein besonderes Aggregat, das durch einen Verbrennungsmotor angetrieben wird; der Kostenaufwand für die Apparatur zum Arbeiten an einer Stelle würde hierbei rund 4000 RM betragen, während beim Gasschmelzschweißen eine Summe von 150 RM einzusetzen wäre. Der Zinsen- und Tilgungsaufwand beim elektrischen Verfahren wäre damit so groß, daß in wirtschaftlicher Hinsicht ein elektrisches Schweißen wohl kaum am Platze ist. Doch sind in Amerika schon längere Leitungen elektrisch geschweißt worden; Ausnahmen bestätigen auch hier die Regel.

O. Schweißen von Stahlguß, Gußeisen und Metallen.

Beim Schweißen von Stahlguß ergeben sich keine besonderen Schwierigkeiten. Man schweißt mit gewöhnlichen Stahlelektroden; manche Firmen bringen Sonderelektroden für Stahlguß heraus. Bei manchem Stahlguß ergibt sich eine schwer zu bearbeitende Übergangszone zwischen Grundmaterial und Schweißmaterial; das liegt aber häufig am Stahlguß oder an einer ungeeigneten Elektrode.

Das Schweißen von Gußeisen ist schwierig. Manches Gußeisen, das längere Zeit starker Erwärmung ausgesetzt war, das Wasser, Öl oder Säure angenommen hat, läßt sich überhaupt nicht schweißen. Solche Stücke versuche man ohne Gewähr für Gelingen zu schweißen. Die weiteren Schwierigkeiten der Gußeisen-schweißung liegen darin, daß Gußeisen Zugkräfte nur schlecht übertragen kann, daß es sehr starr ist und schließlich, daß die Übergangszone zwischen Grundmaterial und Schweißmaterial außerordentlich hart ist.

1. Warmschweißung. Das Stück wird in einem besonderen Ofen sehr langsam rotwarm gemacht. Die reichlich ausgekreuzte Schweißstelle ist durch kleine Kohleplättchen eingefast. In diesem Zustand trägt man nun mit Gußeisenstäben unter Anwendung sehr hoher Stromstärke das Material auf, achtet dabei aber stets darauf, daß das Schweißmaterial flüssig bleibt. Nach dem Schweißen Stelle abdecken und langsam abkühlen lassen. Da das Verfahren sehr lange dauert (8—14 Tage), ist es sehr teuer, liefert aber, richtig durchgeführt, ausgezeichnete Ergebnisse.

2. Kaltschweißung mit Sonderelektroden. Achte darauf, daß das Stück nicht zu warm wird. Man muß unmittelbar neben der Stelle die Hand halten können. Also nie eine ganze Elektrode herunterschmelzen, sondern häufig unterbrechen. Je langsamer geschweißt wird, je kälter das Stück bleibt, desto besser das Ergebnis. Während des Schweißens das Stück vor Zugluft hüten. In der Regel wird von innen nach außen geschweißt. Gußeisen mit gewöhnlichen Stahlelektroden verschweißt, ergibt häufig eine recht feste Verbindung, allerdings so hart, daß sie sich nicht bearbeiten läßt. Ein Verbinden von Gußeisen mit gewöhnlichem

Stahlblech ist ohne weiteres möglich, mitunter sogar empfehlenswert. Die Übergangszone ist natürlich auch hier nicht zu bearbeiten. Das Dichtschweißen ist möglich. Hilfsmittel wie nachträgliches Verzinnen oder Behandeln mit Säure, damit die Poren dicht rosten, sollten nur in äußersten Notfällen angewendet werden und erübrigen sich auch heutzutage durch die auf dem Markt befindlichen guten Elektroden. Gußeisen, an dem vorher schon durch autogene Verfahren oder Löten Versuche angestellt wurden, ist meist auch nicht mehr durch elektrisches Schweißen zu retten; es sei denn durch sehr weites Ausstemmen und Einsetzen von Blechflicken. Ein besonderes Verfahren bei der Gußeisen-Kaltschweißung besteht noch darin, daß man auf den Haftflächen Stiftschrauben einschraubt (Abstand der Schrauben untereinander etwa viermal Schraubendurchmesser) und diese dann untereinander verschweißt. Bei Reparaturen von schweren Maschinenteilen hat man damit schon recht gute Erfolge erzielt.

3. Halbwarmschweißung: Ähnlich wie die Kaltschweißung, nur wird das Stück in Sand gepackt und durch Feuer oder Lötlampe etwas angewärmt. Nach dem Schweißen zudecken und langsam abkühlen lassen (siehe auch „Gußeisenschmelzschweißung“ von Horn, Hanseatische Verlagsanstalt).

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

5. Metallschweißung befindet sich im wesentlichen noch im Versuchsstadium. Sonderelektroden verwenden. Beim Schweißen richte man sich nach den Regeln, die von den betreffenden Herstellerfirmen der Elektroden herausgegeben werden.

P. Gefüge der Schweißnaht.

Die Gefügeuntersuchung ist in der heutigen Werkstoffprüfung ein nicht mehr zu entbehrendes Hilfsmittel. Sie wird so durchgeführt, daß man die zu untersuchende Stelle sorgfältig schleift und poliert und die polierte Stelle mit einer Säure ätzt. Man kann dann mit dem bloßen Auge oder mit schwacher Vergrößerung durch eine Lupe die Schweißung erkennen. Teilstellen werden gegebenenfalls noch genauer mit dem Mikroskop untersucht. Bei der Betrachtung des Gefüges einer Schweißung sieht man drei mehr oder minder scharf hervortretende Zonen: Das Gefüge des Grundmaterials, die Übergangszone und das Schweißmaterial (Abb. 37)¹.

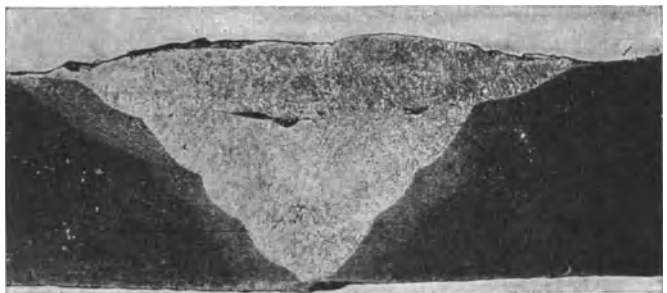


Abb. 37. Querschnitt einer Lichtbogenschweißung.

1. **Grundmaterial.** Da es sich hier hauptsächlich um Walzeisen handelt, fallen zunächst die Walzfaseren („Zeilenstruktur“) auf (Abb. 38). Die untersuchte Stelle liegt weit genug von der Erwärmszone entfernt, es sind daher keine Be-

¹ Hier wie in den folgenden Gefügebildern gibt die Zahl oben rechts die Vergrößerung an.

sonderheiten im Werkstoff bemerkbar. Man wird aber durch eine solche Untersuchung gewisse Rückschlüsse auf die Güte des verwendeten Materials machen können.

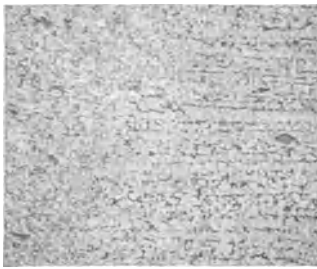


Abb. 38. Querschnitt einer Lichtbogenschweißung. Links Schweiße, rechts ungeschweißter Walzwerkstoff, Zeilenstruktur.

auch die Schweißgeschwindigkeit, die Stromstärke, ja sogar die Schweißbogenspannung sind maßgebend für die Größe des Einbrandes, und zwar derart, daß

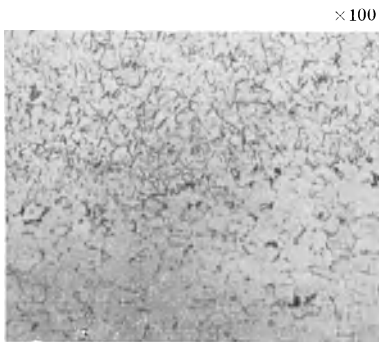


Abb. 39. Übergangsgefüge einer Lichtbogenschweißung. Oben Schweißung, unten Werkstoff.

2. Übergangsmaterial. Die Untersuchung des Übergangsgefüges ist von sehr großer Bedeutung. Das Übergangsgefüge kommt vor allem zustande durch eine Vermischung des flüssigen Schweißmaterials mit dem flüssigen Grundmaterial, weiter aber auch durch die Einwirkung der Erwärmung auf das daneben liegende Grundmaterial. Die Mischzone ist ja auch das, was man in etwas anderem Sinne mit „Einbrand“ bezeichnet. Die Tiefe dieser Zone (Einbrandtiefe) hängt zunächst ab von der Beschaffenheit des Schweißdrahtes, vielleicht mehr noch von dem Verhältnis des Materials der Elektrode zu dem des Werkstücks. Aber

durch Verringerung der Schweißgeschwindigkeit, durch Verstärken des Schweißstromes, durch Erhöhen der Lichtbogenspannung der Einbrand vergrößert wird. Weiterhin spielen die Charakteristik der Schweißmaschine, die Temperatur, Größe und Wärmeableitung des Werkstückes eine große Rolle. Die Übergangszone soll nun eine gewisse Ausdehnung haben (Abb. 39).

Schweißungen, die gar keine oder nur eine geringe Übergangszone besitzen, sind nicht günstig. Diese Erscheinung ist anzutreffen vor allem bei Gußeisenschweißungen, die mit Flußeisen-Elektroden durchgeführt wurden. Bei Flußeisenschweißungen kommt dieser Fall seltener vor.

Das Übergangsgefüge soll eine allmähliche Überleitung zu dem Schweißgefüge darstellen. Denn man wird es wohl nie erreichen, daß das Schweißgefüge die gleiche Struktur hat wie das Grundmaterial. Infolge der Erwärmung wird das Übergangsgefüge in den meisten Fällen ein Wachsen der Kristalle, eine Kornvergrößerung ergeben. Doch kann es mitunter vorkommen, daß das Übergangsgefüge ein kleineres Korn aufweist als der Mutterwerkstoff. Man hat dann den seltenen Fall des „Feinglühens“ des Werkstoffes vor sich. Ein feines Korn ist stets erstrebenswert wegen der Festigkeit der Verbindung, da bekanntlich ein Kristall eher in sich zerbricht, als daß die einzelnen Kristalle in der Berührungsfläche voneinander lassen. Man kann auf feines Korn dadurch hinarbeiten, daß man möglichst schnell schweißt, um auf jeden Fall Überhitzung zu vermeiden. Auch durch Kleinhalten der Schweißfuge kann man Feinkorn erzielen. Aus diesen Gründen ist das gerade Führen der Elektrode ohne seitliche Bewegung mit geringer Stromstärke vorteilhaft. Schlackeneinschlüsse, Gasblasen sind in dieser Zone seltener anzutreffen; es sei denn, die Schweißbränder waren durch Schlacken (autogenes Schneiden) stark verunreinigt.

Bemerkenswert ist noch, daß die Übergangszone bei der Lichtbogenschweißung grundsätzlich eine geringere Ausdehnung hat als bei der autogenen Schweißung.

Das hängt natürlich mit der zeitlich längeren Erhitzung der Schweißzone beim autogenen Schweißen zusammen.

3. Schweißmaterial. Obgleich das Schweißmaterial in flüssigem Zustande in die Naht hereingebracht wurde, hat das Schweißgefüge doch nicht immer die sogenannte Gußstruktur (Abb. 40). Erstrebenswert ist auch hier zunächst wieder ein möglichst feines Korn. Die Korngröße hängt zu einem gewissen Grade ab von der verwendeten Elektrode, wobei die Umhüllung der Elektrode eine Rolle spielt. Vor allem aber ist Kornvergrößerung ein Ausdruck für Überhitzung der Schweiße. Also zu hohe Stromstärke, zu langsames Vorgehen der Elektrode, ungeeignete Elektrodenbewegung führen zu grobem Korn. Es gilt hier Ähnliches wie vorher bei dem Übergangsgefüge besprochen wurde (Abb. 41, 42). Eine Gefügeuntersuchung der Schweiße gibt noch andere wesentliche Merkmale für die Güte der Schweißung. Bei einer Schweißung, die mit gewöhnlichem blanken Draht durchgeführt wurde, entdeckt man im Gefüge verstreut eigenartige Nadelformen; das sind die sogenannten Nitritnadeln (Abb. 43). Man vermutet, daß diese Eisen-Stickstoff-Verbindung dadurch auftritt, daß durch den elektrischen Lichtbogen die Luft

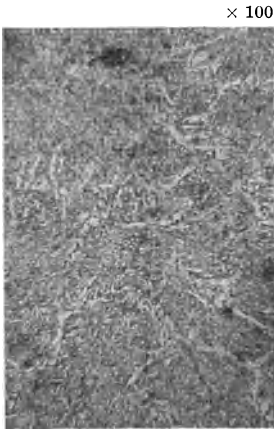


Abb. 40. Grobe Gußstruktur einer Lichtbogenschweißung.

zerlegt wird und dann der Stickstoff eine Verbindung mit dem Eisen eingeht; oder daß das hoch erhitzte Eisen eine große Neigung hat, sich mit dem Stickstoff der Luft zu verbinden. Wie dem auch sei, das eine ist erwiesen, daß diese Nitritnadeln das Gefüge der Schweißung stark unterbrechen und daher wohl haupt-

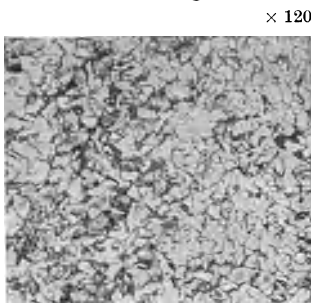


Abb. 41. Feinkörnige, gute Struktur einer Lichtbogenschweißung.

sächlich an der zwar großen Festigkeit und Härte, aber auch an der geringen Dehnung solcher Schweißungen schuld sind. Man muß also bemüht sein, diese Nitritnadelbildung zu vermeiden. In geringem Maße läßt

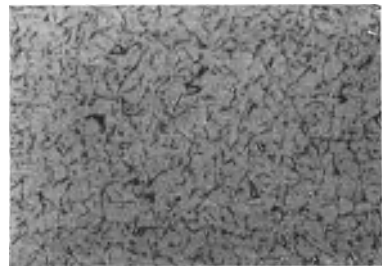


Abb. 42. Feinkörnige, gute Struktur einer Lichtbogenschweißung.

sich dies dadurch erreichen, daß man den Lichtbogen möglichst kurz hält; in höherem Maße durch bestimmte Legierungszusätze zu der Elektrode (z. B. Nickel) oder durch die Umhüllung der Elektrode und dadurch Fernhaltung der Luft. Erwähnenswert ist noch, daß diese Nitritnadeln unter Umständen im untersuchten Gefüge zunächst nicht sichtbar sind, sie werden häufig erst nach dem Ausglühen der Probe erkennbar.

Der Sauerstoff der Luft verursacht auch starke Verunreinigungen der Schweiße, und zwar entweder durch das Entstehen von Gasblasen oder durch Verbindung mit dem Eisen; diese Verbindungen sind in der Gefügeuntersuchung als Schlackeneinschlüsse sichtbar. Auch die Schlackeneinschlüsse setzen ganz besonders die Dehnbarkeit der Schweiße herab, während sie auf die Festigkeit der Verbindung keinen großen Einfluß haben. Die Gasblasen, die man in der Schweiße beobachten

kann, kommen zum Teil, wie eben gesagt, von dem Sauerstoff und Stickstoff der Luft, dann aber auch von Bestandteilen der Elektroden bzw. von Verbindungen von Elektrodenbestandteilen mit der Luft. Gedacht ist hier vor allem an den Kohlenstoff, der zum Teil aus der Elektrode herausbrennt und dann mitunter in der Schweiße als Gasblasen von Kohlenoxyd (CO) und Kohlendioxyd (CO₂) wiedergefunden wird. Auch diese Gasblasen, die man übrigens meist schon mit bloßem Auge nach dem Bruch der Schweiße sehen kann, haben nur einen verhältnismäßig geringen Einfluß auf die Festigkeit der ganzen Verbindung; sogar die Dehnbarkeit der Schweiße wird

× 500



Abb. 43.
Stickstoffnadeln (Nitritnadeln)
in einer Lichtbogenschweißung.

durch solche Gaseinschlüsse nicht allzusehr herabgesetzt, wenn die Blasen nicht gerade in zu großer Anzahl auftreten. Dagegen sind sie sehr schädlich dort, wo man völlige Dichtheit der Schweiße verlangen muß. Vor allem machen sie sich übel bemerkbar beim Schweißen von dünnwandigen Behältern für Öl. Solche Nähte bekommen infolge der Wärmedehnung leicht Haarrisse; durch die Gasblasen im Inneren der Schweiße werden dann diese zunächst nur oberflächlichen Risse miteinander in Verbindung gebracht, und das Öl tritt an einer ganz anderen Stelle aus, als es in die Schweiße eingedrungen ist. Schließlich wird man durch eine Gefügeuntersuchung der Schweißnaht auch die großen Schlackennester feststellen können, die in der Regel auf Unaufmerksamkeit und mangelndes Können des Schweißers zurückzuführen sind. Auch Unreinlichkeiten der Schweißbränder und Fremdkörper in der Schweiß-

naht führen solche Einschlüsse herbei. Da hierdurch das gesamte Gefüge völlig unterbrochen, der Schweißquerschnitt, der an der Kraftübertragung teilnimmt, um dieses Maß geschwächt wird, so haben solche Einschlüsse eine starke Verminderung der Festigkeit der gesamten Naht zur Folge. Gegenmaßnahmen sind zunächst einmal Sauberhalten der Schweißbränder und Sorgfalt beim Schweißen, weiterhin aber auch eine geeignete Schweißmaschine und eine gute Elektrode, die ein leichtes Halten des Lichtbogens und damit ein leichtes Herausbringen etwa eingeschlossener Schlacke ermöglicht. Durch höhere (aber nicht zu hohe!) Schweißstromstärke wird das Flüssighalten erleichtert und damit auch dazu beigetragen, die Schweiße sauber zu halten.

Q. Prüfung von Schweißnähten.

Ein allgemein gültiges, für die Praxis brauchbares Prüfverfahren ohne Zerstörung der Naht gibt es heute noch nicht. Gegenwärtig laufen verschiedene Preisausschreiben über dieses Kapitel. Möglichkeit solcher Prüfung besteht durch Röntgenuntersuchung (Anlage und Untersuchung sehr teuer; Fehlergebnisse, sobald durch irgendwelche Umstände Blei in oder an die untersuchte Stelle gelangt), weiter durch die Untersuchung der Leitfähigkeit der Verbindungsstelle für starke elektrische Ströme von niedriger Spannung oder auch für magnetische Kraftlinien; schließlich auch durch Abklopfen und damit Untersuchen der Schallleitfähigkeit der Verbindungsstelle. In der Praxis hat sich als ausreichend erwiesen, daß stets eine gute Schweißmaschine verwendet wird, daß gute Elektroden gebraucht werden, daß der Schweißer von Zeit zu Zeit durch Anfertigung besonderer Prüfungsstücke, die dann auf der Prüfmaschine untersucht werden, beobachtet wird.

R. Unfallverhütung.

Unfälle beim Schweißen können verursacht werden durch

1. Elektrischen Strom. Schon Ströme von 50 Volt Spannung können unter besonderen Umständen tödlich wirken. Daher Elektroden nur mit Handschuhen auswechseln. Besondere Gefahr: Übertritt der Netzspannung in den Schweißkreis. Sie wird vermieden durch gute Erdung der Schweißmaschine. Maschine mit richtigen Sicherungen versehen, nie Sicherungen flicken! Wechselstrom aus besonderen Gründen gefährlicher als Gleichstrom. Bei Unglück sofort künstliche Atmung anwenden, erst dann Arzt oder sonstige Hilfe rufen und Apparate für künstliche Atmung herbeibringen.

2. Strahlung: Besonders gefährlich für das Auge, aber auch für den übrigen Körper; daher nie mit nacktem Oberkörper schweißen! Bei Augenschädigungen sofort ärztliche Hilfe gebrauchen. Eine bestimmte, nur vom Arzt anzuwendende Kokainsalbe hat sich am besten bewährt. Besonders gefährlich die Strahlung im engen dunklen Raum; weniger gefährlich im Freien.

3. Wärme: Verbrennung der Glieder durch Eisenspritzer. Leichte Entzündungsmöglichkeit von Zelluloidgegenständen (Kragen, Manschetten, Schnallen, Knöpfe)!

4. Mechanische Gefahren: Splitterverletzungen am Körper, besonders aber wieder an den Augen (beim Abklopfen der Schlacke stets Schutzbrillen benutzen!). Sofort ärztliche Hilfe, da diese Splitter oder Tropfen wegen ihrer Hitze meist eingebraunt und schwer zu entfernen sind.

5. Vergiftung. Beim Schweißen an Teilen, die schon wegen Rostgefahr mit Bleimennige gestrichen sind, entstehen Bleidämpfe, die außerordentlich gefährlich sind. Daher Schweißstellen stets freihalten von Mennige! Auch die Dämpfe, die durch das Verbrennen der Umhüllmassen entstehen, können in engen geschlossenen Räumen schädlich werden. Daher Schweißraum gut lüften! Beim Schweißen von Metallen entstehen Zinkdämpfe, die Fieber verursachen können. Eine Maske, die das Gesicht gut bedeckt hält, so daß wenigstens die Hauptdämpfe nicht an die Atmungsorgane kommen können, ist für die meisten Fälle schon ein recht wirksamer Schutz.

S. Verschiedenes.

Vorteile der Lichtbogenschweißung gegenüber anderen Verfahren: Billige rasche Durchführung, leichte Anwendbarkeit, große Wärmekonzentration bei insgesamt geringer Wärmeentwicklung, daher auch geringes Verziehen der Werkstücke. Von etwa 3 oder 4 mm an aufwärts ist die Lichtbogenschweißung auch in wirtschaftlicher Hinsicht dem Gasschmelzschweißen überlegen (s. S. 29).

Die Schweißmaschine ist so gebaut, daß sie ohne Überlastung der Anlage längere Zeit einen starken elektrischen Strom liefern kann. Diese Tatsache kann man mitunter für manche Sonderfälle benutzen, z. B. gebraucht man die dabei entwickelte Wärme zum Auftauen eingefrorener Wasserleitungen. Man schließt die Schweißklemmen der Maschine an das betreffende Stück der Wasserleitung, achtet dabei aber auf einen ganz besonders guten Anschluß des Wasserrohres an die Schweißklemmen und reguliert die Maschine langsam höher, bis infolge der Erwärmung der Rohre das Eis geschmolzen ist und das Wasser zum geöffneten Hahne wieder herausläuft. Auch zum wasserdichten Vergießen von unzugänglichen Leitungen mit Teer oder Pech kann die Schweißmaschine benutzt werden: Ein Draht wird durch die Leitung gezogen und an die Maschine angeschlossen; der Draht erwärmt sich und hält das eingegossene Dichtungsmittel flüssig. Oder auch zum Nachemaillieren von abgesplitterten Stellen an großen Emaillebehältern:

der Behälter wird angeschlossen, auf die Rückseite dieser Stelle wird ein Kupferbolzen gedrückt, der mit der anderen Klemme der Maschine in Verbindung steht. Durch die starke örtliche Erwärmung wird die Emaillpaste richtig eingebrannt, der übrige Behälter wird nicht in Mitleidenschaft gezogen. Ähnliche Verwendung wird man öfters feststellen können. Die Schweißmaschine wird für solche Fälle stets ein brauchbarer Helfer sein.

II. Das Erlernen des Lichtbogenschweißens.

A. Vorbemerkung.

Es soll nun ein Lehrgang entwickelt werden, wie man im allgemeinen das Elektroschweißen erlernen kann. Das Schweißen ist eine Übungssache, die jedem mehr oder weniger Schwierigkeiten bereitet. Dementsprechend wird auch die Dauer der Übungen, bis jemand einigermaßen elektroschweißen kann, verschieden bemessen werden müssen. Das einfache waagerechte Schweißen kann schon in einigen Übungsstunden erlernt werden. So können auch in der von dem Fachausschuß für Schweißtechnik angegebenen Zeit für Einführungsschweißkurse recht gute Erfolge erzielt werden. Wenn ein Teilnehmer dann bald Gelegenheit findet, im praktischen Betriebe seine Schweißfertigkeit zu erweitern, wird er sicherlich außerordentlich viel von solch einem Kursus haben. Nun sind aber die Begabungen für das Erlernen des Schweißens recht verschieden. Während einige schon nach ganz wenigen Übungsstunden recht brauchbare Nähte ziehen, gelingt es manchen überhaupt nie.

Solange man keine besondere Ausbildung für Schweißer besitzt, wird auch nicht die Frage nach dem Beruf verstummen, dessen Angehörige am leichtesten schweißen lernen. Während manche sehr gute Erfahrungen mit autogenen Schweißern gemacht haben wollen, hat man an anderer Stelle die entgegengesetzte Beobachtung gemacht. Schlosser und Schmiede trifft man heute am meisten als Schweißer an. Daneben gibt es aber auch gute Schweißer, die aus ganz anderen Handwerksbetrieben kommen. Leichte Hand, gute Beobachtung, Zuverlässigkeit und der Wille, etwas zu lernen — das sind die wichtigsten Eigenschaften eines Lernschweißers.

B. Allgemeines.

Der eine Pol der Schweißmaschine wird mit dem Werkstück verbunden. Bei Gleichstrom nimmt man den $+$ -Pol an das Werkstück, da er um etwa 500° heißer ist und das Werkstück in seiner massigen Ausdehnung auch mehr Wärme verträgt. Den $-$ -Pol nimmt man an die Elektrodenzange. Man erkennt diese richtige Polung daran, daß z. B. beim Schweißen mit einem Kohlestab auf Blech der Lichtbogen als Gasstrahl aus der Kohle herauszuschießen scheint, während bei verkehrter Polung der Lichtbogen aus dem Blech herauszuwachsen scheint (Abb. 44). Der Lichtbogen bildet sich dann auch nicht von der Spitze des Kohlestiftes, sondern etwas

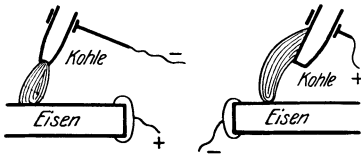


Abb. 44. Erkennen der Polarität am Kohle-Eisen-Lichtbogen.

seitlich davon. Der Lichtbogen ist bedeutend schwieriger zu halten, er reißt leicht ab. Beim Schweißen mit Eisenelektrode kann man bei falscher Polung deutlich wahrnehmen, daß die Elektrode rasch abschmilzt, während das Material nicht so stark flüssig wird; außerdem ist so der Lichtbogen schwer zu

halten. Stark umwickelte Elektroden verschweißt man häufig mit dem $+$ -Pol, auch für Dünnblechschweißung und andere Sonderfälle nimmt man diese Schaltung. Man achte im übrigen auf die Vorschriften, die die Hersteller von Elektroden zu den einzelnen Sorten abgeben. Beim Schweißen mit dem Kohlestab beobachte man auch (da hier besonders deutlich) die sogenannte Blaswirkung des Lichtbogens. Der Lichtbogen besteht aus dem Kern und dem Schweiß, der aus glühenden Metallteilchen besteht. Den Schweiß kann man durch verschiedene Haltung des Kohlestabes fast beliebig richten. Auch der Stromverlauf im Werkstück ist von besonderer Bedeutung hierbei. Man überzeuge sich von der Richtbarkeit, indem man ein schmales langes Stück Blech nimmt, an der Mitte die Werkstückklemme anlegt und nun mit dem Lichtbogen von einem Ende des Bleches bis zum anderen wandert. Die Beeinflussung der Lichtbogenrichtung ist durch die Tatsache zu erklären, daß der Lichtbogen durch seinen Gehalt an leitenden Stoffen selbst ein sehr leicht beweglicher Leiter ist, der durch die Kraftlinien, die beim Durchgange der Elektrizität durch einen Leiter entstehen, beeinflußt wird. Man benutzt diese Tatsache: Richtet man den Lichtbogen vor die Schweiß, so wird das Stück angewärmt; richtet man den Schweiß auf die Schweiß, so glüht die Naht nach, und bis zu einem gewissen Grade werden Verunreinigungen aus der Naht herausgeblasen. Mitunter macht sich diese Blaswirkung auch übel bemerkbar, z. B. beim Kantenschweißen oder beim Schweißen an der Stromzuführungsstelle; der Lichtbogen wird dort ausgeblasen. Man hilft sich in solchem Falle durch Verlegung der Stromzuführung.

Die Güte der Schweißarbeit hängt von der Beachtung folgender Punkte ab:

1. Richtige Länge des Lichtbogens. Ist der Bogen zu lang, so nimmt das Material auf seinem Wege durch die Luft zu viele Luftbestandteile (Sauerstoff, Stickstoff) in sich auf. Die Schweiß wird spröde und porös, das Material spritzt, der Lichtbogen reißt ab. Manche leicht verschweißbaren Elektroden erlauben, einen sehr langen Lichtbogen zu ziehen; der Lichtbogen reißt nicht so leicht ab und daher werden solche Elektroden von Anfängern bevorzugt. Man soll aber bald schwer verschweißbare Drähte, z. B. blanken Draht, vorziehen, da man sonst nie richtig schweißen lernt. Ist der Lichtbogen zu kurz, so bleibt die Elektrode am Werkstück kleben, die Schweißung ist unterbrochen. Die richtige Länge des Lichtbogens soll ungefähr gleich der verwendeten Elektrodenstärke sein, also 3—4 mm.

2. Stärke des Schweißstromes. Ist der Schweißstrom zu groß, so wird das Stück zu stark erwärmt, die Naht ist zu ausgelaufen und verbrannt, die Raupe ist zu niedrig, das Blech wird durchgeschmolzen, es entstehen Löcher, die Elektrode wird glühend. Ist die Stromstärke zu gering, so wird wegen des geringen Flüssigkeitsgrades die Schweiß unregelmäßig, das Werkstück zu wenig erwärmt, der Einbrand zu gering. Man findet bei den jeweiligen Elektroden genug Angaben über die Stromstärke. Solche Angaben sind grundsätzlich mit Vorsicht aufzunehmen, und zwar aus folgenden Gründen: Die an den Schweißmaschinen angebrachten Amperemeter sind oft nicht in Ordnung, sie zeigen infolge des rauen Schweißbetriebes gar nicht oder falsch an. Noch schlimmer ist es, wenn nur eine Regulierung nach Zahlen angegeben wird ohne Angabe der Ampere. Selbst wenn man die Maschine auf die entsprechende Zahl eingestellt hat, hängt ja nach früheren Darlegungen die Stromstärke von der Größe der Widerstände im ganzen Stromkreise ab. Da die Widerstände aber ganz verschieden hoch sein können (Länge der Leitungen, unsaubere Anschlußklemmen), ergibt sich damit auch eine verschiedene Höhe des Stromes. Ferner aber braucht man für einige Arbeiten bei dem gleichen Elektrodendurchmesser eine ganz verschiedene Stromstärke, z. B. braucht man beim Arbeiten im Freien, beim Arbeiten an einem sehr kalten Stück (zum Gegen-

satz zu einem sehr warmen Stück) höhere Stromstärke als normal. Am besten ist es also, der Schweißer lernt von Anfang an die richtige Stromstärke an der Schweißze zu beobachten und betrachtet die gegebenen Angaben nur als Anhaltswerte.

3. Geschwindigkeit der Fortbewegung. Elektrode stets auf das Ende der Raupe gerichtet! Wird der Schweißstab zu schnell bewegt, so reißt der Lichtbogen ab oder das Stabmaterial tropft auf das noch kalte Schweißstück, es entstehen die berüchtigten „Schweißperlen“, die Schweißung ist unbrauchbar. Wird die Elektrode zu langsam bewegt, so wird die Raupe zu dick, das Material verbrennt infolge der Wärmestauung, die Krateraushöhlung vor der Raupe wird zu groß, das Material wird durchgebrannt.

C. Zündversuche.

Schließe eine eiserne Unterlage an die ausgeschaltete Maschine, lege ein etwa 1 cm starkes Stück Kesselblech darauf (gegebenenfalls festklemmen), bezeichne mit Kreide einen Punkt, nimm die Elektrodenzange in die rechte Hand, klemme eine Elektrode 4 mm stark ein, ziele — Spiegel in der linken Hand — den Punkt an, nimm den Schild vor das Gesicht und tippe auf das Blech; prüfe, ob du den Punkt getroffen hast. Von Anfang an recht bequeme Haltung annehmen, nach Möglichkeit sitzen, den linken Arm aufstützen, den Oberkörper anlehnen, das Schweißkabel über die Schulter ziehen, so daß man mit dem rechten Arm nicht das Gewicht des ganzen Kabels zu halten hat. Je bequemer die Haltung, desto besser das Ergebnis. Schalte die Maschine laut besonderer Bedienungsvorschrift ein,

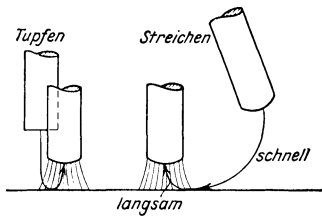


Abb. 45. Zünden des Lichtbogens.

und stelle sie entsprechend ein. Dann beginnt das Zünden, entweder durch leichtes Tippen oder Schlagen, oder auch durch Streichen, als ob du ein Zündholz anzünden wolltest (Abb. 45). Sobald der Lichtbogen steht, beobachte ihn, ohne die Elektrode irgendwie seitlich zu bewegen. Dabei mußt du die Elektrode entsprechend ihrem Abbrand immer tiefer drücken. Man hat also hier zunächst eine gewollte Bewegung der Elektrodenspitze in der einen Richtung nach unten. Beobachte dabei auch gleich die richtige Länge des Lichtbogens, gegebenenfalls korrigiere die Stromstärke der Maschine. Klebt die Elektrode auf dem Grundmaterial fest, so reiße sie mit einem kurzen drehenden Ruck ab. Bleibt sie längere Zeit kleben, so wird sie glühend, weich; man muß dann irgendwo (in der Zange) den Stromkreis unterbrechen oder die Maschine stillsetzen. Hüte dich aber davor, den Spiegel vor dem Abreißen vom Gesicht zu nehmen, da durch den entstehenden Lichtbogen deine Augen Schaden leiden würden; hiergegen wird fast von allen Anfängern gesündigt, also Achtung! Beobachte, daß es viel leichter ist, den Lichtbogen auf einem warmen Stück zu halten als auf einem kalten. Erklärung siehe über Leitfähigkeit der Luft S. 4. Hat man genügend Sicherheit im Zünden und Abreißen der festgeklebten Elektrode erlangt, kann man sich der nächsten Übung zuwenden.

D. Schweißen eines Laufes.

Zünden wie vorher. Beginne aber ganz oben am Blech; nachdem der Lichtbogen entstanden ist, halte ihn eine Weile auf der gleichen Stelle und bewege ihn dann langsam unter Beobachtung des Abflusses des Materials und der richtigen Bogenlänge auf dich zu. Jetzt sind also zwei Bewegungen gleichzeitig

auszuführen, nach unten und Richtung Naht. Diese ersten Lagen werden schief ausfallen, beobachte nun aber hier schon die drei Grundregeln, die am Anfang gegeben wurden, und zwar dadurch, daß du wissentlich immer abwechselnd einen Fehler machst. Hast du alle Fehler durchprobiert, so versuche nun, unter Vermeidung aller dieser Fehler eine richtige gerade Lage zu schweißen. Hilfsmittel hierfür ein Kreidestrich auf dem Blech. Ziehe die Lagen nicht zu lang (10—15 cm) und nicht zu eng, immer auf dich zu. Die gleiche Übung kann versucht werden durch Schweißen von links nach rechts. Die Lagen müssen in jedem Falle ganz glatt und gleichmäßig hoch ausfallen. Ist der Bogen abgerissen, so wird auf der Lage selbst, ein Stückchen vor dem Schlußkrater, wieder gezündet. Dann achte auf sorgfältiges glattes Ausfüllen des Schlußkraters. Vermeide zunächst streng jede seitliche Bewegung der Elektrodenspitze. Der Bogen reißt bei jeder hastigen Bewegung ab, also führe die Elektrode ruhig. Benutze auch schwer verschweißbaren Draht und beobachte dabei schon das verschiedene Verhalten der Elektroden.

E. Schweißen einer Raupe.

Zünden wie vorher, gib aber der Elektrodenspitze eine seitliche Bewegung nach Abb. 46, es entsteht eine „Raupe“ etwa 10—15 mm breit. Jetzt hat man also eine Bewegung der Elektrodenspitze in den drei Richtungen des Raumes: nach unten, Richtung Naht und seitlich dazu. Die seitliche Bewegung soll in gleichmäßigem Takte vor sich gehen; an den Seiten ist etwas anzuhalten, um dort einen ganz besonders tiefen Einbrand zu erzielen. — Diese Übung ist der Kern zu allen weiteren Übungen. Dem Anfänger fällt erfahrungsgemäß diese Übung am allerschwersten, daher kann sie nicht gründlich genug durchgeführt werden. Die Raupe soll auch wieder ganz glatt, gleichmäßig hoch und gleichmäßig breit und gerade sein. Klopfe die Schlacke ab und überzeuge dich, daß nur dann die Schlacke leicht zu entfernen ist, wenn die Raupe glatt ist; sonst entstehen Schlackennester, die nicht herauszubringen sind. Reißt der Bogen ab, so ist wie vorher wieder zu zünden; die Anschlußstelle ist zu reinigen. Für angewandte Arbeiten empfiehlt es sich, die Schweißnaht durch den Schlußkrater nicht verschwächen zu lassen; dann muß man am Schluß der Elektrode den Lichtbogen seitlich herausführen. Kannst du gerade Raupen ziehen, zeichne dir auf das Blech mit Kreide irgendwelche regelmäßigen Figuren auf (Kreise oder Vierecke) und versuche, sie regelmäßig nachzuschweißen.

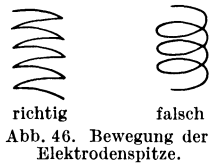


Abb. 46. Bewegung der Elektrodenspitze.

F. Auftragsschweißung.

Ziehe gerade parallele Raupen (etwa 15 cm lang) mit einem Abstand im Grunde von etwa Elektrodenstärke (Abb. 47). Entferne sorgfältig die Schlacke, auch in den Ecken, und fülle dann durch ebensolche Raupen den Zwischenraum aus,

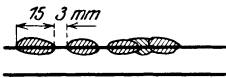


Abb. 47. Auftragsschweißung.



Abb. 48. Auftragen auf eine Gleitschiene.

so daß eine möglichst glatte Oberfläche entsteht. Achte dabei auf guten Einbrand in die Seiten der ersten Raupen. Glatt muß die Oberfläche sein wegen leichter Entfernung der Schlacke, dann aber auch wegen der gegebenenfalls nachfolgenden Bearbeitung durch Abhobeln. Mache selbst diesen Versuch; beobachte dabei,

wieviel Werkstoff du wegnehmen muß, bis du eine gesunde Schicht erhältst. Diese Arbeit hat schon praktische Bedeutung für das Auftragen von Material an abgenutzten Stellen; sie wird häufig gebraucht bei der Reparatur von Kesseln, Schienen und Gleitstücken (Abb. 48).

G. Auftragen auf eine Welle.

Nimm ein Stück Winkeleisen, schweiße es auf einer Blechplatte nach Abb. 49 fest. Jetzt kannst du bequem ein Stück Rundeisen (mindestens etwa 20 mm \varnothing) einlegen. Zünde den Lichtbogen ganz vorn am Rundeisen und ziehe eine Raupe. Achte darauf, daß du tatsächlich ganz vorn beginnst (das fertige Stück muß

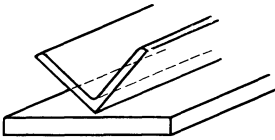


Abb. 49. Schweißvorrichtung.

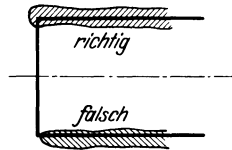


Abb. 50. Verstärken einer Welle.

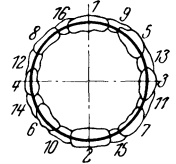


Abb. 51. Reihenfolge beim Schweißen auf eine Welle.

nach Abb. 50 aussehen, als ob die einzelnen Raupen herüberquellten), daß die Raupe ganz glatt und gleichmäßig hoch ist und daß sie auch gerade auf dem Scheitel des Rundeisens verläuft. Eine schlechte Raupe verdirbt das ganze Stück, also Achtung! Die Schweißreihenfolge



Abb. 52. Verstärken einer Welle.

richte nach Abb. 51 ein, da in diesem Falle das Verziehen am geringsten wird. An dem kleinen Stückchen Rundeisen macht sich das Verziehen natürlich nicht bemerkbar, wohl aber dann im Ernstfalle beim Verstärken einer längeren Welle. Sorgfältig Schlacke entfernen! Wenn du

einmal herum bist (Raupen nicht zu hoch, 5—10 mm), dann kann darauf eine zweite Lage gesetzt werden. Hierfür gilt das gleiche wie vorher. Das fertiggeschweißte Stück muß ganz rund sein und die Schweißlagen müssen sich ganz ringförmig um das ursprüngliche Rundeisen herumlegen (Abb. 52). Das Stück darf nicht zu warm werden. Nicht in Wasser abschrecken. Durch nachträgliches Abdrehen kann man sich von der Güte seiner Schweißung selbst überzeugen.

H. Ausfüllen eines Winkels.

Um stumpf aneinanderstoßende stärkere Bleche zu verbinden, müssen die Kanten abeschrägt werden (siehe S. 13). Da man selten Gelegenheit haben wird,

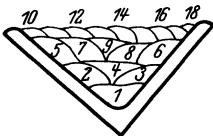


Abb. 53. Ausfüllen eines Winkels.

zum Üben Bleche abhobeln zu lassen, ein Abarbeiten mit der Feile aber zu umständlich und zeitraubend ist, kannst du dir wie folgt helfen: Nimm ein Stück Winkeleisen (etwa 30 x 30 x 6, 150 mm lang), lege dieses Eisen in die Vorrichtung der vorigen Übung, und fasse nun das Winkeleisen als die Kerbe zweier V-förmig ausgekreuzter Bleche auf (in Wirklichkeit ist ja die Auskreuzung nicht so groß). Fange auch wieder ganz vorn an, schweiße zunächst den Grund des

Eisens mit einer flachen Raupe voll. Dann sorgfältig Schlacke entfernen und weiter schweißen in Reihenfolge der Abb. 53. Jede Raupe muß ganz glatt sein wegen leichter Entfernung der Schlacke. Achte darauf, daß das Stück nicht zu

heiß wird, und daß etwaige Schlackennester, die beim Abklopfen nicht entfernt werden konnten, ausgebrannt werden, so daß die Schlacke, die ja stets an der helleren Färbung leicht von dem flüssigen Eisen unterschieden werden kann, oben schwimmt und dann leicht entfernt werden kann. Die letzten Raupen oben mache recht klein, so daß man eine ganz glatte Oberfläche erzielt. Lasse das Stück auskühlen (nicht im Wasser abschrecken) und schneide das Stück mit einer mechanischen Säge (nicht autogen) durch. Beobachte die etwaigen Schlackeneinschlüsse, gegebenenfalls schleife und poliere die Oberfläche und ätze sie mit einer Säure, dann wirst du deutlich auch schon ohne Mikroskop, gegebenenfalls mit einer Lupe, die Einbrandtiefe deiner Schweißse sehen können.

I. Verbinden zweier Bleche.

Nimm zwei Blechstreifen und lege sie stumpf aneinander, zuerst ganz dicht, daß sich die Kanten berühren, sodann mit dem richtigen Abstand. Im ersten Falle schweiße mit einem etwas höheren Strom als im zweiten. Nach dem Schweißen drehe die Bleche um, beobachte die verschiedene Einbrandtiefe, das Durchschweißen. Versuche dann, die beiden Bleche zu verbinden, wenn sie weit voneinander entfernt liegen. Zunächst führe den Versuch durch mit zwei aufliegenden Blechen, die Unterlage soll auch Eisen sein (Abb. 54); aber nicht so weit durchschweißen, daß die Unterlage mit angeschweißt wird. Sodann mache den Versuch mit einem untergelegten stärkeren glatten Kupferstück. Beobachte dabei, daß das flüssige Eisen auf der Kupferunterlage überhaupt nicht bindet, die Gefahr des

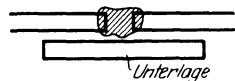


Abb. 54.
Verbinden zweier Bleche.

Anschweißens ist also hier nicht vorhanden; beobachte, daß das auf die Kupferplatte heruntergelaufene Schweißmaterial ganz glatt ist. Dieses Mittel (Kupferunterlage) wird in der Praxis oft gebraucht, wenn man auf der dem Schweißen entgegengesetzten Seite eine glatte Naht haben will. Dies Mittel ist aber nicht brauchbar, wenn dann noch auf der anderen Seite (u. U. überkopf) geschweißt werden soll. Das flüssige Eisen des ersten Schweißvorganges hat nämlich in gewissem Maße Kupfer in sich aufgenommen, es tritt also dann keine Bindung zwischen den beiden Schweißnähten auf. Für solche Fälle muß man auch lernen, zwei Bleche zu verbinden, die weit auseinander stehen, und bei denen die Naht sich nicht auf einer Unterlage abstützen kann. Nimm also zwei Blech-

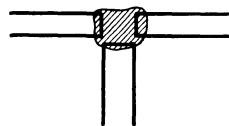


Abb. 55.
Verbinden dreier Bleche.

streifen und lege sie so stumpf nebeneinander (Zwischenraum 4—8 mm), daß die Naht frei schwebt. Hier mußst du erst auf beiden Rändern eine Auftragschweißung machen, solange bis der Spalt zwischen den beiden Blechen die normale Größe hat; dann erst findet das Verbinden statt. Versuche dann auch, drei Bleche nach Abb. 55) zu verbinden. Hier soll auch das senkrechte Blech verschweißt werden. Am Schluß dieser Übung nimm zwei Blechstreifen von etwa 80 mm Breite und 10 bis 12 mm Stärke, schräge die Kanten laut Angabe S. 13 ab, hefte die beiden Stücke



Abb. 56. Heften der Biegeprobe.

im Grunde in der Mitte und an den beiden Seiten mit einem kleinen Punkt; nimm das Stück und biege es etwas im Schraubstock nach Abb. 56; schweiße nun erst die Rückseite mit einer ganz besonders sorgfältigen kleinen Raupe (dünne Elektrode). Säubere das Stück wieder, schweiße nun im Grunde der Kehle mit dünner Elektrode, dann nach Säuberung der Naht mit normaler Elektrode mit kleinen schmalen Raupen die ganze Kehle voll. Richtig tief in die Flanken der

Kehle einbrennen. Oben kommen dann noch einige kleine Raupen, so daß die Naht gehörig verstärkt ist. Schweiße dann noch die hochkantstehenden Ränder des Stückes. Nun abkühlen lassen (nicht abschrecken) und überstehendes Schweißmaterial abschmirgeln. Das ist dann eine Kaltbiegeprobe. Über das Biegen, über den Biegewinkel, den die Probe ohne Anriß aushalten soll, siehe Vorschriften S. 46, 47. Die Warmbiegeprobe, Schmiedeprobe, wird ähnlich hergestellt, nur schweißt man mit schmiedbaren Sonderelektroden statt einzelner, kleiner, schmaler Raupen breite, nicht zu hohe Raupen in die Kehle ein. Wieder gut auf Einbrand in die Flanken achten! Das Stück wird nun im Feuer auf richtige Schmiedetemperatur gebracht. (Achtung, daß Probe nicht verbrennt!) Will man es sich leichter machen, dann schmiede man erst das Stück und vor allem die Naht tüchtig durch und biege dann erst. Höhere Ansprüche werden aber an die Schweiße gestellt, wenn man ohne Schmieden gleich biegt, so daß also nach dem Biegen noch deutlich die einzelnen Schweißfurchen zu sehen sind (während sie ja durch das Schmieden verschwinden). Beobachte den Biegewinkel. Eine gute Probe kann man völlig platt zusammenschlagen, ohne daß Anrisse entstehen. Einem Anfänger wird jedoch diese Probe kaum gelingen.

K. Kehlschweißungen.

Stelle zwei Bleche senkrecht aufeinander und schweiße eine Kehlnaht nach Abb. 57. Der größte Fehler, den du dabei machen kannst, ist der, daß nach dem Schweißen das eine Blech (meist das hochstehende) Anfrassungen zeigt (Abb. 57), wodurch der Blechquerschnitt stark geschwächt wird, vor allem, wenn auf der anderen Seite auch noch geschweißt wird und dort auch solche Anfrassungen entstehen. Es ist dies ein Zeichen dafür, daß du die Elektrode nicht richtig gehalten hast. Beobachte weiter, daß das stumpfstehende Blech weniger Wärme ableiten kann als das durchgehende Blech, daß daher auch das stumpfstehende leichter schmilzt als das durchgehende. Durch Zusammenlegen verschiedener Bleche in den verschiedensten Lagen kannst du jetzt verschiedene Nahtarten herstellen und dabei deine Schweiß-erfahrung erweitern.

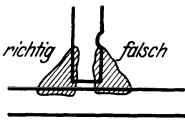


Abb. 57.
Kehlschweißung.

L. Schweißen an senkrechter Fläche.

Nimm ein Stück Blech, stelle es unter einem Winkel von etwa 80° (also nicht ganz senkrecht) auf und schweiße eine Raupe (Auftragsschweißung) von oben nach unten. Höhere Stromstärken erleichtern die Arbeit ebenso wie Sonderelektroden, die einen längeren Lichtbogen zu ziehen gestatten. Nimm das Blech nicht zu dünn, verweile mit der Elektrode nicht zu lange auf einer Stelle, versuche also nicht, eine starke Raupe zu ziehen. Lieber legt man zwei Raupen nach Reinigung übereinander. Wenn du solche Raupen einwandfrei schweißen kannst, so nimm dir nacheinander die gewährten Erleichterungen weg, also: das Blech wird genau senkrecht gestellt, der Strom wird wieder richtig einreguliert, es werden gewöhnliche Elektroden genommen. Hat man mit dieser Übung besondere Schwierigkeiten, kann man sie sich am Anfang dadurch erleichtern, daß man zunächst einen Winkel nimmt und den auszufüllen versucht, oder indem man sich auf das glatte Blech erst mal waagrecht eine Raupe zieht und dann seitwärts senkrecht nun eine Raupe anlehnt. Schließlich müssen aber solche Raupen ohne irgendwelche Erleichterungen geschweißt werden. Dann versucht man die gleiche Übung, jedoch von unten nach oben, was bedeutend schwieriger ist. Am Anfang auch wieder mit Erleichterungen, dann ohne sie. Dann versuche waagerechte

Schweißungen an senkrechter Fläche, versuche z. B. an einen Winkel, der senkrecht steht, eine waagerechte Scheibe zwischen den Schenkeln zu schweißen. Alle diese Arbeiten kommen bei Reparaturen oft genug vor (Zuschweißen von Anfrassungen bei Kesseln). Nun versuche, zwei Bleche durch Stumpfschweißung, durch Kehlschweißung zu verbinden, wobei jedoch die Nähte immer senkrecht verlaufen sollen. In der Regel wird man ja in der Praxis die Nähte von oben nach unten ziehen, mitunter muß man sie aber auch umgekehrt schweißen, also kann man das auch zur Übung manchmal tun. Biegeproben sollen auch hierbei angefertigt werden; sie stellen aber an das Können des Schweißers die höchsten Anforderungen, denen ein Anfänger kaum gewachsen sein wird.

M. Überkopfschweißung.

Neigt man das Blech immer stärker und schweißt jedesmal, so kommt man schließlich zu dem Auftragen an waagerechter Fläche von unten. Hier wird man auf die Sonderhilfen (höhere Stromstärke, Verwendung von Sonderelektroden) kaum verzichten können. Das Überkopfschweißen wird durch Gleichstrom erleichtert, in noch höherem Grade aber durch Sonderelektroden, z. B. durch die asbestumwickelten Elektroden. Mit solchen kann auch ein geschickter Anfänger ohne besondere Schwierigkeiten auch mit Wechselstrom recht brauchbare Ergebnisse erzielen. Freilich sind diese Elektroden so teuer, daß sie ein Anfänger zum Üben kaum erhalten wird, daß sich die Betriebsleitung nur schwer zur Anschaffung entschließen wird. Die Bewegung der Elektrodenspitze beim Überkopfschweißen geht aus Abb. 58 hervor. Das Überkopfschweißen mit gewöhnlichen Elektroden bei Gleichstrom gegebenenfalls mit blankem Draht ist so schwer, daß es mit außerordentlicher Ausdauer geübt werden muß, sollen einigermaßen brauchbare Ergebnisse herauskommen. Biegeproben überkopfgeschweißt stellen sehr hohe Anforderungen an das Können des Schweißers.



Abb. 58.
Bewegung der Elektroden-
spitze beim
Überkopfschweißen.

N. Elektroschneiden.

Die Beobachtung, daß du bei erhöhtem Strome Löcher in das Grundmaterial gebrannt hast, benutze zum Zertrennen eines Stückes. Das Zertrennen beruht also im wesentlichen auf einem gewissen Durchschmelzen des Materials. Nimm ein Blech, lege es waagrecht, so daß es an der Schneidstelle frei liegt, reguliere die Maschine auf höheren Strom, verwende Sonderelektroden (oder schließlich auch gewöhnliche) und mache von oben nach unten eine kratzende Bewegung, ohne das Werkstück zu berühren (Abb. 59); Sorge immer dafür, daß das geschmolzene Material gut ablaufen kann. Damit die Elektrode nicht glühend und damit für das weitere Arbeiten unbrauchbar wird, kühle sie von Zeit zu Zeit in einem bereitstehenden Behälter mit Wasser. Je nach Geschicklichkeit entstehen mehr oder minder glatte Ränder. Das gleiche geht auch sehr gut bei Gußeisen anzuwenden und wird auch in der Praxis öfters gebraucht beim Verschrotten von größeren Gußteilen. Merke dir aber: immer, auch bei größeren Stücken, von oben nach unten schneiden, das Material gut ablaufen lassen. Von diesen beiden Punkten hängt im wesentlichen die Wirtschaftlichkeit des Elektroschneidens ab.



Abb. 59.
Bewegung der Elektroden-
spitze beim
Schneiden.

O. Löcher zuschweißen.

Eine Arbeit, die häufig genug vorkommt und die gewisse Schwierigkeiten bereitet. Schmilz zunächst den Rand des Loches ab; beobachte dabei, daß auf

diese Weise immer ein tiefer Krater entsteht, der verbranntes Material, Schlacke, enthält; die Mitte des Loches bleibt zunächst immer porös. Zum Abdichten ziehe eine Raupe breit genug über das ganze Loch.

P. Gußeisenschweißen.

Das eigentliche Schweißen von Gußeisen ist nicht schwierig, beobachte aber das Verhalten von verschiedenen Elektroden. Schweiße einzelne Raupen mit verschiedenen Elektroden, schweiße einmal auf metallisch blanke Fläche, dann auf die Gußhaut, auf ein großes massiges Stück, auf eine dünne Wandung. Beobachte dabei den verschiedenen Einbrand, die verschieden einzustellende Stromstärke; beobachte gegebenenfalls Rißbildung in der Raupe oder daneben oder sonstwo im ungeschweißten Material. Höre vor allem auch das Knacken, das immer irgendwo einen Riß bedeutet. Versuche, die geschweißten Raupen loszumeißeln, die Raupen und vor allem das Übergangsmaterial zwischen Raupe und Grund zu feilen. In der Regel wird man das Feilen nur beim Schweißen mit den teuren Sonderelektroden fertigbringen. Eine sehr gute Prüfung der Schweißung ist ein Durchbrechen des Stückes senkrecht zur Schweißraupe. Harte Stellen sehen weiß aus, weiche Stellen dunkelgrau. Die Einbrandtiefe beim Gußeisen hängt weniger vom Können des Schweißers ab als von der Stromstärke und vor allem von der Elektrode, auch von dem Grundmaterial. Das Schwierigste beim Graugußkaltschweißen ist die Beherrschung der Spannungen; schweiße langsam: Stück also recht kalt lassen; schweiße von der Mitte nach außen. Versuche auch, Blech durch Schweißung mit Gußeisen zu verbinden. Gußeisen muß immer ganz sauber sein; die schlimmsten Feinde einer Gußeisenschweißung sind Öl, Feuchtigkeit und Formsand, dann aber auch Hartlötmetall und ähnliches. Hierdurch kann eine Schweißung zur Unmöglichkeit gemacht werden. Beobachte, daß mitunter das flüssige Schweißmaterial gar keine Bindung mit dem Grundmaterial hat. Das flüssige Material bewegt sich in mehr oder minder kugelförmiger Tropfenform auf dem Grundstück, als ob es auf Sand liefe (Vergleich mit Wassertropfen auf einer fettigen Fläche). Eine solche Schweißung ist meist unbrauchbar, man kann dann die Raupe häufig nach dem Schweißen mit dem Taschenmesser abheben. Über Gußeisenwärmeschweißung und Halbwärmeschweißung siehe S. 30.

III. Amtliche Bestimmungen über das Lichtbogenschweißen.

A. Vorbemerkung.

Amtliche Bestimmungen sind bisher nur sehr wenige erlassen worden. Andererseits liegen aber genug Entwürfe solcher Vorschriften vor, die wohl in absehbarer Zeit mit unwesentlichen Änderungen in Kraft treten. Sie sind an den verschiedensten Stellen veröffentlicht. Die Bestimmungen sind in vorliegendem Heft wegen Raumbeschränkung häufig nur im Auszuge der wichtigsten Paragraphen, in der Regel wörtlich, wiedergegeben. Bei jeder Bestimmung ist aber angegeben, wo sie veröffentlicht bzw. wo sie zu erhalten oder einzusehen ist.

B. „Vorschriften für die Ausführung geschweißter Stahlhochbauten“ in Preußen.

1. Allgemeines. a) Für geschweißte Stahlhochbauten gelten im allgemeinen die „Bestimmungen über die bei Hochbauten anzunehmenden Belastungen“ vom 24. Dezember 1919, soweit sie noch Gültigkeit haben, und die „Bestimmungen über die zulässige Beanspruchung und Berechnung von Konstruktionen aus Flußstahl usw. vom 25. Februar 1925“, sofern nicht in nachfolgenden Abweichungen festgelegt sind.

b) Die Ausführung geschweißter Stahlbauten setzt in besonderem Maße gründliche Kenntnisse und praktische Erfahrungen in dieser Bauweise voraus. Sie darf daher nur zuverlässigen Unternehmern übertragen werden, die Durchführung der vorgeschriebenen Prüfungen und der Bauüberwachung muß durch einen für die Schweißtechnik geeigneten Ingenieur, dem nur fachkundige Hilfskräfte beigegeben werden dürfen, erfolgen. (Vgl. §§ 222, 230, 330 und 367, Ziff. 14 und 15, RStGB. sowie § 831 BGB.)

c) Werkstoffe: α) Als Baustoffe sind solche zugelassen, die den oben angeführten Vorschriften genügen, soweit ihre Eignung für die Schweißung feststeht, darüber hinaus auch die Baustoffe, die auf Grund von Versuchen sich für diese Bauweise eignen.

β) Die Schweißdrähte sind je nach räumlicher Lage der Schweißnaht (waagrecht, senkrecht, überkopf) so zu wählen, daß sie sich einwandfrei verschweißen lassen.

d) Schweißverfahren: α) Es können Lichtbogenschweißung (Gleich- oder Wechselstrom), elektrische Widerstands- und Gasschmelzschweißung angewendet werden.

β) Die Wahl des Schweißverfahrens und der Schweißgeräte bleibt dem Unternehmer überlassen, jedoch soll sie so getroffen werden, daß im gegebenen Falle ungünstige Nebenerscheinungen beim Schweißen vermieden werden.

e) Aufstellung: α) Die Lage der Schweißnähte, die auf der Baustelle hergestellt werden sollen, muß bereits in der Werkstatt an den einzelnen Bauteilen angezeichnet sein. Auch ihre Reihenfolge bei der Herstellung muß allgemein vorher durch den verantwortlichen Bauleiter der ausführenden Firma oder durch seinen Beauftragten so festgelegt sein, daß nach Fertigstellung keine schädlichen Nebenspannungen zurückbleiben. Als Richtlinien für das Schweißen auf der Baustelle sind zu beachten: Heftschweißen dürfen nur im spannungslosen Zustande gesetzt werden. Zusammenzwängen einzelner Teile ist unzulässig. Klammern und Schraubstöcke dienen nur dazu, die gegenseitige Verschiebung der Bauteile während der Schweißarbeiten zu hindern.

Oberflächen, die geschweißt werden sollen, müssen von Rost, Verunreinigungen usw. frei sein.

β) Bei Schweißarbeiten auf der Baustelle, die tunlichst zu beschränken sind, ist für geeignete Einrichtungen, z. B. Schutz des Schweißers gegen Witterungseinflüsse und so weiter, zur Gewährleistung einwandfreier Schweißung zu sorgen.

2. Berechnung und zulässige Spannungen. a) Hinsichtlich der statischen Berechnung, der Formgebung und der Ausführung gelten die gleichen Grundsätze wie bei genieteten Bauwerken, sofern nicht die Eigenart der Bauweise neue konstruktive Gesichtspunkte erfordert. So sind z. B. gegebenenfalls an den Knotenverbindungen usw. zum Schutz gegen Eindringen von Wasser Dichtungsnähte, die bei der Kraftübertragung unberücksichtigt bleiben, anzuordnen.

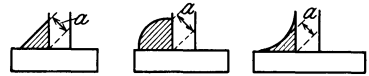


Abb. 60. Stärke der Kehlnähte.

In den Bauvorlagen ist die gewählte Schweißung und die Art der Schweißdrähte anzugeben, die Schweißverbindungen sind stets in prüfbarer und übersichtlicher Form nachzuweisen, und in den Zeichnungen sind die Schweißnähte unter Angabe der Positionsbezeichnung der statischen Berechnung eindeutig zu vermerken.

b) α) Für die Berechnung der Schweißnähte gilt bei Stäben, die Längskräfte übertragen, die Bezeichnung $P = F \cdot \sigma_{zul.}$, wobei $F = a \cdot l$ ist. Hierin bedeuten: P die durch die Schweißnaht zu übertragende Kraft (kg), F den Bruchquerschnitt der Schweißnaht (cm^2); a die Dicke der Schweißnaht (cm), bei Kehlnaht: die Höhe des eingeschriebenen gleichschenkligen Dreiecks der Kehlnaht, nicht einen Anlagenschenkel (Abb. 60), bei Stumpfnäht: die Dicke der zu verbindenden Querschnitte, bei verschiedenen Dicken die kleinere (Abb. 61);

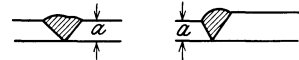


Abb. 61. Stärke der Stumpfnähte.

l die Länge der Schweißnaht abzüglich der Kraterenden, die mit je 2 a einzusetzen sind.

β) Bei Bauteilen, die auf Biegung beansprucht sind, können zur Aufnahme der Schubspannungen unterbrochene Schweißnähte angeordnet werden.

c) Bei Verwendung von Flußstahl St. 37 gelten als zulässige Spannungen in den Schweißnähten ohne Rücksicht auf die Beanspruchung des anzuschließenden Bauteiles folgende Werte:

- | | |
|----------------------------------|--------------------------------------|
| auf Zug 720 kg/cm ² , | auf Biegung wie auf Zug bzw. Druck, |
| „ Druck 900 kg/cm ² , | „ Abscheren 600 kg/cm ² . |

Bei zusammengesetzter Beanspruchung auf Zug bzw. Druck und Abscheren darf die Gesamtbeanspruchung die Grenzwerte für Druck und Zug nicht überschreiten. Für Bauteile, die Wechselbeanspruchungen oder Stoßwirkungen ausgesetzt sind, für Krane aller Art sowie allgemein bei überkopf geschweißten Nähten sind die obigen Grundspannungen um ein Sechstel zu ermäßigen.

Im allgemeinen können die vorstehenden Grundspannungen unter gleichen Voraussetzungen

erhöht werden, wie sie unter B, Ziff. 1, 2, 3 der Bestimmungen über die zulässige Beanspruchung pp. von Stahlkonstruktionen vom 25. Februar 1925, unter II. Abschnitt, Zusätze zu B. Ziff. 1 und 2 der „Grundsätze für

statische Berechnung der Fördergerüste“ und unter Ziff. 3 des Erlasses vom 13. Mai 1929 — II C 1540 — über „Standfestigkeit für fliegende Bauten“ angegeben sind.

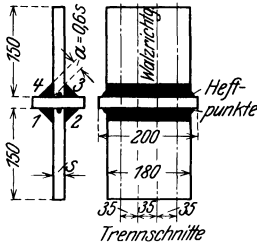


Abb. 62.

Prüfung einer Stirnkehlnaht.

3. Prüfungen und Abnahme. a) Prüfung der Schweißer. Die Prüfung soll die Fähigkeit der am Bauwerk beschäftigten Schweißer nachweisen. Die Probeschweißung soll mit demselben Schweißdraht und möglichst auch mit derselben Maschinen- bzw. Geräteart erfolgen, die der Hersteller bei der Ausführung der Bauteile verwendet. Es ist folgende Prüfung zu verlangen:

Kehlschweißung: Es werden zwei Längsbleche genau senkrecht übereinander an ein Querblech angeschweißt, wie Abb. 62 zeigt, so daß im Querschnitt eine Kreuzform entsteht. Die Schweißnähte sind quer zur Walzrichtung zu legen. Die Länge des Stabkreuzes beträgt etwa 300 mm plus Blechdicke s .

Die dem Schweißer vorgeschriebene Nahtdicke a soll 0,6 mal Blechdicke s sein. Die an das Querblech anzuschweißenden beiden Längsbleche sind in ihrer Breite etwa 20 mm geringer als das Querblech zu wählen, so daß an den beiden zurückstehenden Stirnenden die Heftung erfolgen kann. Anfang und Ende der Schweißnaht bleiben beim Herausschneiden der Streifenkreuze außer acht. Von den vier Kehlnähten sind zwei (1 und 2) in waagerechter Richtung, und zwar bei lotrechter und waagerechter Lage der Bleche, und zwei (3 und 4) in lotrechter Richtung zu verschweißen.

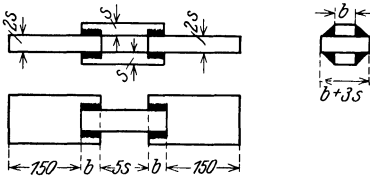


Abb. 63. Prüfung einer Flankenkehlnaht.

Aus diesem kreuzförmig verschweißten Blechgebilde werden drei Streifenkreuze von je etwa 35 mm Breite kalt herausgeschnitten und in der Prüfmaschine in Richtung $W-W$ zerrissen. Hierbei muß die Bruchlast, bezogen auf die Einheit des unter Ziffer 2a angegebenen Querschnittes F , mindestens 30 kg/mm² ergeben. Anderenfalls ist der Schweißer zurückzuweisen. Kommen an einem Bauwerk Überkopfschweißungen vor, so kann verlangt werden, daß zwei Nähte des Probestückes überkopf geschweißt werden.

b) Güteprüfung der Schweißungen. Unter Verwendung derselben Schweißart und gleicher Schweißdrähte wie bei der Herstellung des Bauwerkes sind folgende Prüfungen vorzunehmen:

α) Prüfung einer Stirnkehlschweißung wie unter Ziffer 1.

β) Prüfung einer Flankenkehlschweißung. Es werden vier Flacheisen oder Blechstreifen entsprechend der Profildicke der Bauteile nach Abb. 63 durch Flankenkehlnähte in waagerechter oder senkrechter Richtung zu einem Probestück zusammengeschweißt. Die Länge der Nähte ist ungefähr gleich der Breite der Laschen auszuführen. Hierbei muß der Bruchquerschnitt eine Scherfestigkeit von mindestens 24 kg/mm² ergeben.

γ) Prüfung einer Stumpfschweißung. Es werden zwei Bleche von je 6 oder 12 mm Dicke entsprechend der Profildicke der Bauteile durch V- oder X-Nähte nach Abb. 64 zu einem Probestück zusammengeschweißt. Die Kanten der Einschweißfurchen sollen einen Winkel von mindestens 60° bilden. Die Probestücke können einem Zug- oder Biegeversuch nach DIN 1605 unterworfen werden.

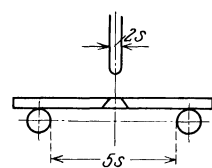


Abb. 64. Prüfung einer Stumpfnäht.

Bei dem Zugversuch muß eine Festigkeit von mindestens 30 kg/mm² erreicht werden.

In besonders gearteten Fällen kann ein Biegeversuch angestellt werden. Bei Blechen bis zu 20 mm Dicke ist ein Biegestempel von zweifacher Blechdicke mit einem Abrundungsradius von Blechstärke genau auf die Mitte der Naht aufzusetzen, und zwar bei V-Nähten auf die Scheitelseite der Naht; die Scheitelschweißnaht (Abb. 65) ist vorher zu ebenen. Der lichte Abstand der Auflagerrollen beträgt $5s$

(siehe Abb. 65). Die Versuche sollen sich im allgemeinen auf Bleche von 6 und 12 mm Dicke beschränken.

Abb. 65. Biegeprobe.

Die Probe soll sich bis zum ersten Anriß um mindestens 60° biegen lassen.

c) Abnahme. Für die Abnahme, die hauptsächlich in der Werkstatt von der örtlichen Baupolizeiverwaltung vorzunehmen ist, sind sämtliche Schweißverbindungen leicht zugänglich zu halten. Geschweißte Bauteile dürfen vor dem Verlassen der Werkstatt, soweit sie nicht abgenommen sind, nur einen durchsichtigen Anstrich erhalten. Auch sind die auf der Baustelle ausgeführten Arbeiten nach sorgfältiger Prüfung abzunehmen. Ob in besonderen Fällen Probebelastungen notwendig sind, darüber entscheidet der abnehmende Beamte.

Berlin, den 10. Juli 1930. II. 6200 h/24. 6.

Der Minister für Volkswohlfahrt.

C. Entwurf der Richtlinien für die Ausführung geschweißter Stahlbauten.

Herausgegeben vom Fachausschuß für Schweißtechnik im Verein Deutscher Ingenieure, Berlin NW 7, Ingenieurhaus.

Hochbauten. a) Allgemeines. α) Diese Richtlinien sind als Anhang zu den in den deutschen Ländern bestehenden amtlichen Bestimmungen für die Ausführung von Hochbauten gedacht.

β) Die Voraussetzung für die Anwendung dieser Richtlinien bildet die Ausführung der geschweißten Konstruktionen durch zuverlässige Firmen, die zur Durchführung der Prüfung und Bauüberwachung über Fachingenieure verfügen, welche auf den Gebieten der Statik, des Stahlbaues und der Schweißtechnik besondere Kenntnisse und Erfahrungen besitzen.

γ) Die Errichtung geschweißter Konstruktionen bedarf wie die der genieteten der vorherigen Genehmigung der zuständigen Behörde.

b) Werkstoffe. α) Als Baustoffe sind alle jene zugelassen, die zu genieteten Bauwerken gemäß den amtlichen Bestimmungen und Dinnormen verwendet werden, soweit ihre Eignung für die Schweißung feststeht; darüber hinaus solche, deren Eignung für die Schweißung nachgewiesen wird.

β) Die Schweißdrähte sind je nach räumlicher Lage der Schweißnaht (waagrecht, lotrecht, überkopf) so zu wählen, daß sie sich einwandfrei verschweißen lassen.

c) Schweißverfahren. Lichtbogenschweißen gilt als Regelverfahren, elektrische Widerstandschweißung und Gasschmelzschweißung können angewendet werden. Die Wahl des Schweißverfahrens und der Schweißgeräte ist dem Unternehmer überlassen.

d) Berechnung und zulässige Spannungen. α) Jede geschweißte Kraftverbindung ist in ihrer Festigkeit rechnerisch nachzuweisen. Die tatsächlich auszuführenden Maße der Schweißnaht und deren Anordnung sind in der Berechnung und den Zeichnungen anzugeben. Als Berechnungsgrundlage kann folgende Formel gelten:

$$P = F \cdot \sigma_{zul}, \text{ wobei } F = a \cdot l$$

Hierin bedeuten: P die durch die Schweißnaht zu übertragende Kraft,

F den Bruchquerschnitt,

a die Dicke der Schweißnaht, bei Kehlnaht: die Höhe des eingeschriebenen gleichschenkligen Dreiecks der Kehlnaht, nicht einen Anlageschenkel (Abb. 60); bei Stumpfnah: die Dicke der zu verbindenden Querschnitte, bei verschiedenen Dicken die kleinere (Abb. 61).

l die Länge der Schweißnaht abzüglich der Kraterenden,

σ_{zul} die unter c angegebenen zulässigen Spannungen.

β) Bei Bauteilen, die auf Biegung beansprucht sind, können zur Aufnahme der Schubspannungen unterbrochene Schweißnähte angeordnet werden.

γ) Als zulässige Spannungen sind in den Schweißverbindungen anzusetzen:

auf Zug 850 kg/cm^2 ,	auf Biegung 850 kg/cm^2 ,
„ Druck 1100 kg/cm^2 ,	„ Abscherung 750 kg/cm^2 .

δ) Die Zulassung höherer als der unter c angegebenen zulässigen Spannungen ist an den Nachweis durch Versuche gebunden.

e) Konstruktionen. Für Konstruktionen, die geschweißt werden sollen, gelten hinsichtlich des Entwurfs, der Formgebung und der Ausführung die gleichen Grundsätze wie bei genieteten Konstruktionen. Die Stabquerschnittsformen und Anschlüsse sind dagegen der Besonderheit der Schweißtechnik anzupassen.

f) Schweißerprüfung. Die Prüfung soll nicht die Güte des Werkstoffes, sondern die Fähigkeit der am Bau beschäftigten Schweißer nachweisen. Die Probeschweißung soll mit dem Schweißdraht und möglichst auch mit der Maschinenart erfolgen, die der Unternehmer bei der Herstellung des Baues verwendet. Es kann folgende Prüfung verlangt werden:

Kehlschweißung. Es werden zwei Längsbleche senkrecht an ein Querblech angeschweißt, wie Abb. 62 zeigt, so daß im Querschnitt eine Kreuzform entsteht. Die Schweißnähte sind

quer zur Walzrichtung zu legen. Die Länge des Stabkreuzes beträgt etwa 300 mm plus Blechdicke s .

Die dem Schweißer vorgeschriebene Nahtdicke a soll 0,6 mal Blechdicke s sein. Die an das Querblech anzuschweißenden beiden Längsbleche sind in ihrer Breite etwa 20 mm geringer als das Querblech zu wählen, so daß an den beiden zurückstehenden Stirnenden die Heftung erfolgen kann. Anfang und Ende der Schweißnaht bleiben beim Herausschneiden der Streifenkreuze außer acht. Von den vier Kehlnähten sind zwei (1 und 2) in waagerechter Richtung, und zwar bei lotrechter und waagerechter Lage der Bleche, und zwei (3 und 4) in lotrechter Richtung zu verschweißen.

Aus diesem kreuzförmig verschweißten Blechgebilde werden drei Streifenkreuze von je etwa 35 mm Breite kalt herausgeschnitten und in der Prüfmaschine in Richtung $W-W$ zerrissen. Hierbei muß die Bruchlast, bezogen auf die Einheit des unter Ziffer 4a angegebenen Querschnitts F , mindestens 30 kg/mm² ergeben. Anderenfalls ist der Schweißer zurückzuweisen.

Kommen an einem Bauwerk Überkopfschweißungen vor, so kann verlangt werden, daß zwei Nähte des Probestückes überkopf geschweißt werden.

g) Güteprüfung von Schweißungen. Es können folgende Prüfungen verlangt werden:

α) Prüfung einer Stirnkehlschweißung wie unter Ziffer 6.

β) Prüfung einer Flankenkehlschweißung. Es werden vier Flacheisen oder Blechstreifen entsprechend der Profildicke der Bauteile nach Abb. 63 durch Flankenkehlnähte in waagerechter oder senkrechter Richtung zu einem Probestück zusammengeschweißt. Die Länge der Nähte ist ungefähr gleich der Breite der Laschen auszuführen. Hierbei muß der Bruchquerschnitt eine Scherfestigkeit von mindestens 24 kg/mm² ergeben.

γ) Prüfung einer Stumpfschweißung. Es werden zwei Bleche von je 6 oder 12 mm Dicke entsprechend der Profildicke der Bauteile durch V- oder X-Nähte nach Abb. 64 zu einem Probestück zusammengeschweißt. Die Kanten der Einschweißfurchen sollen einen Winkel von mindestens 60° bilden.

Die Probestücke können einem Zug- oder Biegeversuch nach DIN 1605 unterworfen werden.

Bei dem Zugversuch muß eine Festigkeit von mindestens 30 kg/mm² erreicht werden.

Bei dem Biegeversuch an Blechen bis zu 20 mm Dicke ist ein Biegestempel von zweifacher Blechdicke mit einem Abrundungsradius von Blechstärke genau auf die Mitte der Naht aufzusetzen, und zwar bei V-Nähten auf die Scheitelseite der Naht; die Scheitelschweißnaht ist vorher zu ebenen. Der lichte Abstand der Auflagerrollen beträgt 5 s (Abb. 65). Die Versuche sollen sich im allgemeinen auf Bleche von 6 und 12 mm Dicke beschränken. Die Probe soll sich bis zum ersten Anriß um mindestens 60° biegen lassen.

h) Aufstellung. α) Die Lage der Schweißverbindungen, die auf der Baustelle herzustellen sind, muß schon in der Werkstatt an den einzelnen Bauteilen angezeichnet werden. Als Richtlinien für das Verschweißen auf der Baustelle haben zu gelten: Heftschweißen dürfen nur in spannungslosem Zustand gesetzt werden; Zusammenzwängen einzelner Teile ist unzulässig; Klammern und Schraubstöcke dienen nur dazu, gegenseitige Verschiebung der Bauteile zu hindern, solange die Schweißarbeit nicht beendet ist. Alle Oberflächen, die geschweißt werden sollen, müssen frei von Rost, Zunder, Öl, Farbe und Schmutz sein.

β) Bei Schweißarbeiten auf der Baustelle ist für geeignete Einrichtungen zur Gewährleistung guter Schweißungen zu sorgen. Außerdem sind die Schweißarbeiten durch Fachingenieure zu überwachen.

i) Abnahme. Zur Abnahme, die den zuständigen Behörden vorbehalten bleibt, sind sämtliche Schweißverbindungen gut zugänglich zu halten. Die in der Werkstatt ausgeführten Schweißverbindungen dürfen vor Verlassen der Werkstatt gestrichen werden.

Die Art der Prüfung der Schweißverbindungen am Bauwerk bleibt dem Ermessen der prüfenden Behörde vorbehalten.

D. Ortsgesetz der Stadt Leipzig über die Ausführung geschweißter Stahlhochbauten.

Ähnlich wie der Entwurf des Fachausschusses des VDI. Erschienen unter der Kennnummer Baupol.-Amt Leipzig O 26, Ges.-R. 3007. „Als zulässige Spannungen sind in den Schweißverbindungen anzusetzen:

Zug 600 kg/cm²
Biegung 600 kg/cm²

Druck 600 kg/cm²
Abscherung 500 kg/cm²“.

E. Vorschriften über geschweißte Gittermaste.

(Vorschriften des Verbandes Deutscher Elektrotechniker, Berlin W 57, Potsdamer Str. 68.)

„§ 23. Geschweißte Masten sind zulässig, wenn die Schweißung so ausgeführt wird, daß mindestens die gleiche Sicherheit des Anschlusses wie bei der Nietung gewährleistet ist. Für geschweißte Masten gelten die Bestimmungen wie für die genieteten Maste sinngemäß.“

F. Richtlinien für die Herstellung von Schweißverbindungen bei Gasrohrleitungen von mehr als 200 mm Durchmesser und von mehr als 1 atü Betriebsdruck.

(Herausgegeben vom Fachausschuß für Schweißtechnik im VDI, Berlin NW 7, Ingenieurhaus.)

Geräte zum elektrischen Schweißen. 1. Stromart. Mit Rücksicht darauf, daß die Lichtbogenschweißung mittels Gleichstrom zur Zeit sichere Ergebnisse zeitigt als die Wechselstrom-Lichtbogenschweißung, sollen zum Verschweißen von Rohrleitungen vorläufig nur Gleichstromgeneratoren verwendet werden.

2. Leistung. Die Lichtbogenumformer müssen den Vorschriften des VDE entsprechen. Sie sollen mindestens eine Schweißleistung von 200 A bei 25 V besitzen.

3. Schweißelektroden. Die Schweißelektroden sollen den Richtlinien des Fachausschusses für Schweißtechnik beim VDI entsprechen. Für Handschweißungen sollen die Elektrodendurchmesser 5 mm nicht überschreiten. Für erforderlich werdende Überkopfschweißungen empfiehlt sich die Verwendung von ummantelten Elektroden.

4. Schweißkabel. Der Querschnitt muß so bemessen sein, daß bei größter Schweißkabellänge der Spannungsabfall 20 vH. nicht übersteigt.

G. Richtlinien für das Schweißen von Flußstahl und Stahlguß.

(Herausgegeben vom Reichsbahn-Zentralamt Berlin, Berlin SW 11, Hallesches Ufer 35/36, Dezember 1927.)

„A, II, 2, b. Lichtbogenschweißung. Sie wird ausgeführt mit dem zwischen Werkstück und Schweißstab gezogenen elektrischen Gleich- oder Wechselstrom-Lichtbogen. B, 1. Die elektrische Widerstandschweißung besitzt die höchsten mechanischen Gütewerte bei geringsten Gesteungskosten; sie ist anwendbar, wenn die zu verbindenden Teile gleiche Querschnitte in der Berührungsfläche (massiv oder röhrenförmig) besitzen oder entsprechend geformt werden können. B, 3, 4. Gleichstrom-Lichtbogenschweißung ist zu empfehlen bei Verbindungsschweißungen, wo besondere Biegsamkeit in der Schweißnaht nicht erforderlich ist. Bei allen Verbindungs- und Auftragsarbeiten hinterläßt sie Überhitzungszonen von kleinerem Umfang als Gasschmelzschweißung und damit geringere Spannungen im Werkstück. Sind beide Verfahren (Gasschmelzschweißung und Elektroschweißung) aus betriebstechnischen Gründen möglich, so ist die Gleichstromlichtbogenschweißung die wirtschaftlichere. Wechselstromlichtbogenschweißung: Nur für Auftragsarbeiten anwendbar und wirtschaftlich. Es müssen getauchte Schweißstäbe verwendet werden. Zu beachten ist, daß die Stabumhüllung nicht als Schlacke in die Schweißung kommt.“

F 2. Die Stromstärken für bestimmte Durchmesser der Schweißstäbe sind folgende:

Für 2 mm \varnothing =	60—80	Amp.	} Gilt für Schweißspannungen von 15—22 Volt und bei 10 m Kabellänge für Stromleitung vom Dynamo zur Arbeitsstelle.
3 „ =	100—120	„	
4 „ =	130—150	„	
5 „ =	150—180	„	
6 „ =	200—250	„	

Als gute Schweißleistung ist zu bezeichnen das Abschmelzen von 1200—1300 Gramm Schweißstabstoff bei 4—5 Kilowatt Energieverbrauch.

F 3. Schweißstäbe und Pasten. Im allgemeinen sind blanke Schweißdrähte mit Beschaffenheit nach Anlage 4 (S. 50) zu verwenden. Für das Überkopfschweißen und für alle Schweißarbeiten mit Wechselstrom sind die Stäbe mit einer Paste zu umhüllen. Sie kann hergestellt werden aus einer Mischung aus Soda (300 g), Kohleplattenstaub (200 g), Schlammkreide (500 g), Magnesia (50 g), Wasser (750 g); mit Zusatz von etwas Lehm zur Verdickung oder aus Karbid Schlamm. Diese sogenannten getauchten Stäbe erleichtern auch den Anfängern in der Gleichstromlichtbogenschweißung die Arbeit, weil der Lichtbogen ruhiger steht als bei der Verwendung blanker Stäbe.

G. Arbeitsprüfung. Zumeist kann die Güte der Schweißung nur auf mittelbarem Wege geprüft werden. Hierzu ist das Schweißpersonal zu Probearbeiten anzuhalten, die nach folgenden Gesichtspunkten auszuführen und zu prüfen sind. Es sollen Blechstücke von Kesselblechgüte etwa 600 mm lang und 200 mm breit nach gehöriger Vorbereitung unter Verwendung bedingungsgemäßen Schweißdrahtes und normalen Arbeitsverfahrens mit Gas oder elektrisch, je nachdem es die Betriebsausführung erfordert, zusammengeschweißt werden. Aus dem mittleren Teil der geschweißten Blechtafel werden senkrecht zur Schweißnaht Streifen von 30 mm Breite herausgeschnitten und für Biegeversuche nach DIN 1605 hergerichtet. Der Biegeversuch wird in einer einfachen Biegevorrichtung, nötigenfalls im Schraubstock durchgeführt. Die Biegevorrichtung besteht aus einem Rahmen, in dem 2 Auflagerollen mit einstellbarem Abstand und ein zwischen den Rollen zu bewegender Stempel eingebaut sind. Abstand der Rollen und Durchmesser des Stempelkopfes richten sich nach der Dicke des zu prüfenden Bleches. *Z. B.* ist für die Blechdicke = *d* der Stempel = $2d$ und der Rollenabstand an den Mantelflächen = $4d$. Die Biegeprobe ist über die Rollen so in die Biegevorrichtung oder den Schraubstock einzuspannen, daß die Schweißstelle in den Scheitel des Biegewinkels zu liegen kommt und die Wurzel der Schweißstelle auf der Seite des drückenden Stempels oder Hammers liegt. Durch Gasschmelz- oder elektrische Widerstandsschweißung geschweißte Proben müssen sich auf mindestens 120°, mit dem elektrischen Lichtbogen geschweißte Proben auf mindestens 60° biegen lassen, ohne Anrisse zu zeigen. Es ist zweckmäßig, den Biegeversuch bis zum Bruch fortzusetzen, um weitere Unterlagen für die Güte der Schweißung zu gewinnen. Diese Maßnahme ist notwendig, wenn der Versuch nicht genügt hat, um an Hand des Befundes des Bruchgefüges (Blasen, Schlackeneinschlüsse, Verbrennungen) dem Schweißer zu zeigen, woran das Mißlingen der Schweißung gelegen hat. Für Dampfkesselschweißungen sind höhere Anforderungen beim Biegeversuch zu stellen.

Auftragsschweißungen sind hinsichtlich ihrer Härte durch Kugeldruckversuche zu prüfen, hinsichtlich ihrer Bindung und Einbrenntiefe durch Aufmeißeln unmittelbar an besonderen Proben. Selbständige Ausführung hochwertiger Schweißungen ist nur solchen Schweißern, die die Arbeitsprüfung mit Erfolg bestehen, zu übertragen.

H 2. Schutzmaßnahmen. Für Lichtbogenschweißung sind die vom Verbands deutscher Elektrotechniker herausgegebenen Bestimmungen zu beachten . . . Der Schweißer muß gegen Erde gut isoliert stehen und darf mit leitenden Teilen nicht in Berührung kommen. Die Strahlen des elektrischen Lichtbogens sind in ihrer Wirkung den Röntgenstrahlen hinsichtlich Ursache von Berufskrankheiten nicht gleichzustellen . . . An feuchten Stellen, in Kesseln ist nur mit Gleichstrom zu schweißen.

I. Personalausbildung. Wiederholungsprüfungen nach vorgeschriebenem Prüfverfahren sind notwendig. Nur so ausgebildete und dauernd nachgeprüfte Schweißer sind mit selbständigen Schweißarbeiten zu betrauen.

Verzeichnis der Lokomotivteile, an denen Schweißarbeiten mit Rücksicht auf Betriebssicherheit nicht oder nur beschränkt zulässig sind: Bremsgestänge soweit auf Zug beansprucht (nur Widerstandsschweißung). Federspannschrauben (gar nicht). Langkessel, Stehkessel (Lichtbogenschweißung). Auftragsschweißung auf Trieb- und Kuppelstangen (Lichtbogenschweißung), ebenso Steuerungsgestänge, Achsen, Zapfen, Kolbenstangen. Kuppelungsteile, Federn, Radreifen, vergütete Teile gar nicht.

Bedingungen für die Lieferung von Schweißdraht für Flußstahl, Graugußkalt-schweißung. Die Drähte sollen je nach dem Verwendungszwecke aus weicherem oder härterem Flußstahl hergestellt sein. Sie sollen ein gleichmäßig dichtes Gefüge haben. Die Oberfläche muß frei von Zunder, Öl und Rost sein.

Chemische Zusammensetzung

für Verbindungsschweißung:		für Auftragsschweißung:	
Kohlenstoff	max. 0,1%		0,45%
Mangan	0,5%		0,45—0,80%
Silizium	Spuren		max. 0,15%
Phosphor	max. 0,04%		max. 0,04%
Schwefel	max. 0,03%		max. 0,03%

Güteprüfung: Es werden folgende Güteversuche ausgeführt. I. Schweißversuch. Stäbe bis zu 6 mm Durchmesser einschließlich werden mit elektrischem Lichtbogen (Gleichstrom) geprüft, indem auf Eisenblech oder sonstigem Walzstahl eine Schweißraupe gezogen wird. Der Draht soll dabei leicht und gleichmäßig fließen. Er darf nur schwach spritzen. II. Mechanische Güteprüfung der Schweißung. a) Schweißdraht für Verbindungsschweißung. Zwei Blechstücke von Lokomotivkesselblechgüte und etwa 100 mm Breite werden nach V-förmiger Vorbereitung der Schweißkanten zusammengeschweißt. Aus dem mittleren Teil wird dann der Probestab von etwa 40 mm Breite kalt herausgearbeitet und um einen Dorn mit einem

Durchmesser gleich der doppelten Blechstärke gebogen (vgl. DIN 1605). Der Probestab muß mit dem elektrischen Lichtbogen geschweißt mindestens 60° aushalten, ohne daß Anrisse in der Schweißzone eintreten. b) Schweißdraht für Auftragsschweißung. Auf ein Flußstahlstück von Kolbenstangengüte und $50 \times 100 \times 12$ mm Größe, das auf einen Mauerstein zur Isolierung gelegt wird, werden drei Schweißraupen nebeneinander und zwei übereinander gebildet. Löst man diese Schweißraupen durch einen scharfen Handmeißel, dessen Schneide auf etwa 2 mm Tiefe unter der Oberfläche des Probestückes anzusetzen ist, ab, so darf der entstehende Span nicht in der Schweißfuge zwischen Werkstoff und Schweißstoff teilen. Der aufgetragene Schweißstoff muß in sich vollkommen dicht sein. Die auf dem Flußstahlstück übereinander geschmolzenen beiden Schweißraupen sind durch Kugeldruckversuch nach Brinell zu prüfen. Die Schweißraupe soll über 150 Brinell-Einheiten hart sein (Prüfung mit 5 mm Kugel und 750 kg Belastung, DIN 1605). Lieferung: Der Schweißdraht für Elektroschweißung ist in Stäben von 350 mm Länge, wenn nicht Anlieferung in Ringen vereinbart wird, zu liefern. Die Schweißstäbe für Auftragsschweißung sind an einem Ende durch weißen Farbüberzug zu kennzeichnen.

H. Entwurf der Regeln für die Bewertung und Prüfung von Gleichstrom-Lichtbogenschweißmaschinen.

(R.E.S.M./1931 aufgestellt vom Fachausschuß des VDI, Berlin NW 7, Ingenieurhaus.)

Diese Regeln sind als Ergänzungsbestimmungen zu den Regeln für die Bewertung und Prüfung von elektrischen Maschinen REM. aufgestellt.

I. Gültigkeit.

§ 1. Geltungsbeginn. Diese Regeln gelten für Gleichstromlichtbogenschweißmaschinen, deren Herstellung nach dem 1. Januar 1931 begonnen wird.

§ 2. Geltungsbereich. Diese Regeln gelten für Gleichstrom-Lichtbogenschweißmaschinen, die nicht mit gleichbleibender Klemmenspannung über Vorschaltwiderstände arbeiten. Die von diesen Regeln ausgenommenen Schweißmaschinen unterliegen ebenso wie elektrische Antriebs- und etwaige Erregermaschinen nur den Bestimmungen der REM.; sofern nichts anderes angegeben ist, gilt im besonderen als ihre Betriebsart der Dauerbetrieb.

II. Begriffserklärungen.

§ 3. Spannung und Strom. Leerlaufspannung ist die im unbelasteten Zustande, d. h. bei offenem Schweißstromkreise auftretende Klemmenspannung. Arbeitsspannung ist die im belasteten Zustande, d. h. bei gezogenem Lichtbogen auftretende Spannung, gemessen an den Schweißkabel-Anschlußklemmen der Maschine. Lichtbogenspannung ist die bei gezogenem Lichtbogen an den Elektroden auftretende Spannung. Schweißstrom ist der Strom im Schweißstromkreis beim Arbeiten mit dem Lichtbogen.

§ 4. Gleichstrom-Lichtbogenschweißgenerator ist ein Sondergenerator für Gleichstrom, dessen Dauerkurzschlußstrom ohne besonderen Vorschaltwiderstand in der Größe so beschränkt ist, daß bei voller Erregung die Maschine nicht gefährdet ist. Gleichstrom-Lichtbogenschweißumformer ist ein Maschinensatz, bestehend aus einem Schweißgenerator und einem Antriebsmotor.

§ 5. Regelbereich. Der Regelbereich ist gekennzeichnet durch zwei Wertepaare von Schweißstrom und zugehöriger Arbeitsspannung, innerhalb derer ein stabiler Schweißbetrieb ohne Rücksicht auf die Betriebsart als solche möglich ist.

§ 6. Schweißbetriebsarten. Unterschieden werden 1. Dauerbetrieb (DB). Dauerbetrieb liegt vor bei Schweißmaschinen für automatische Lichtbogenschweißung und ähnliche Sonderfälle. 2. Dauerbetrieb mit aussetzender Belastung (DAB). Als Normalwerte der relativen Einschaltdauer gelten 25, 50, 70%.

III. Normalwerte.

§ 7. Spannungen. Genormte Nennspannungen in Volt sind 15, 20, 25, 30, 40, 50, 60.

IV. Bestimmungen.

§ 8. Probelauf. Während des Probelaufes ist der Erregerstrom, falls eine Nebenschlußwicklung vorhanden ist, konstant zu halten. Sonst darf an der Einstellung der Maschinen nichts geändert werden. Maschinen, die besonderer zusätzlicher Apparate, wie Drosselspulen, Beruhigungswiderstände und dergleichen bedürfen, sind mit diesen zu prüfen.

§ 9. Leistung des Antriebsmotors. Der Antriebsmotor ist so zu bemessen, daß er die im Dauerbetrieb erforderliche Antriebsleistung dauernd, die im Dauerbetrieb mit aussetzender

Belastung erforderliche Antriebsleistung entsprechend der relativen Einschaltdauer unter Einhaltung der Bedingungen der REM. abgeben kann.

§ 10. Kommutierung. Bei allen Belastungen bis zu den auf dem Leistungsschild angegebenen Stromhöchstwerten muß die Kommutierung praktisch funkenfrei sein.

§ 11. Lichtbogenbildung. Bei allen auf dem Leistungsschild angegebenen Stromstärken und zugehörnden Spannungen muß bei Verwendung von blanken Stahlelektroden das Ziehen und Halten des Lichtbogens in allen Richtungen — waagrecht, senkrecht und auch über Kopf — gut möglich sein.

§ 12. Leerlaufspannung. Bei Maschinen mit verschiedenen einstellbaren Grenzwerten der Leerlaufspannung muß bei dem niedrigsten Wert die Spannung noch stabil sein, beim höchsten Wert darf die Felderwärmung die zulässige Erwärmungsgrenze auch bei Leerlauf nicht überschreiten.

§ 13. Der Drehsinn ist durch einen Pfeil kenntlich zu machen.

§ 14. Die der Nennrehrichtung entsprechende Polarität der Schweißkabelanschlußklemmen der Maschinen ist deutlich mit + und — zu kennzeichnen.

§ 15. Jede Maschine muß ein Leistungsschild tragen; dieses soll so befestigt werden, daß es auch im Betriebe bequem gelesen werden kann. Auf dem Leistungsschild sind deutlich und haltbar folgende Angaben entsprechend dem Bestell- oder Listenwert anzubringen: 1. Modellbezeichnung oder Listenummer. 2. Fertigungsnummer. 3. Nennzahl. 4. Höchste Leerlaufspannung. 5. Betriebsart. 6. Nennspannung und zugehörnder Nennstrom. 7. Nennregerspannung (bei Eigen- und Fremderregung). 8. Regelbereich.

I. Vorschriften über das Schweißen an Dampfkesseln.

(Auszug aus Jaeger-Ulrichs „Bestimmungen über Anlegung und Betrieb der Dampfkessel“, Nachtrag zur 5. Auflage¹.)

Schweißung und Bearbeitung im Feuer.

III A. Allgemeines.

1. Schweißungen können als zuverlässig nur dann angesehen werden, wenn die Arbeit mit Sachkenntnis von zuverlässig arbeitenden Firmen und durch erfahrene Arbeiter ausgeführt wird, der Werkstoff gut schweißbar ist und die geschweißten Teile vor weiterer Verarbeitung ausgeglüht werden. Nur in Ausnahmefällen kann nach sorgfältiger Prüfung vom Glühprozeß abgesehen werden. (Ausbesserungsarbeiten an bestehenden Kesselanlagen; Kesselkörper, die teils geschweißt und teils genietet sind; Einschweißen kleiner Stücke.)

Eckschweißungen von Böden, soweit sie erheblich auf Biegung und Zug beansprucht sind, sind nicht zulässig.

2. Schmelzschweißung (Gas oder elektrisch) bei Herstellung oder Ausbesserung von Nähten ist nur zulässig, soweit sie auf Zug und nicht vorwiegend auf Biegung beansprucht werden; sie ist an die gleichen Bedingungen und an größte Vorsicht in der Ausführung gebunden und nur dann zulässig, wenn die Arbeit mit großer Sachkenntnis nach Anmeldung bei und im Einvernehmen mit dem zuständigen Sachverständigen ausgeführt wird.

3. Alle geschweißten Kesselmäntel sollen nach dem Ausglühen vor weiterer Verarbeitung einem ausreichenden Kaltwasserdruckversuch unterzogen werden.

4. Die Lage der Schweißnähte sollte nach Möglichkeit so gewählt werden, daß sie der unmittelbaren Berührung durch die Flamme nicht ausgesetzt sind.

5. Verschwächungen durch größere Bohrungen in der Schweißnaht sind zu vermeiden.

6. Durch Schmelzschweißung hergestellte, auf Zug beanspruchte Nähte sind stets durch Laschen zu verstärken, daß die auf die Verbindung wirkenden Kräfte von den Laschen getragen werden können. An Stelle der Laschen können andere die Verbindung sichernde Konstruktionsteile treten.

Bleche, welche wiederholt einer stellenweisen Erhitzung ausgesetzt worden sind, sollten ebenfalls nachträglich ausgeglüht werden. Die stellenweise Erhitzung ist stets in solchem Umfange vorzunehmen, daß die zu bearbeitende Stelle völlig rotwarm ist.

Erläuterungen zu III A. Im allgemeinen sind unter zuverlässig arbeitenden Firmen solche zu verstehen, die große Erfahrungen im Schweißen von Kesselblechen besitzen und über zweckentsprechend ausgerüstete Arbeitsstätten verfügen. Die Erfahrungen erstrecken sich dabei nicht nur auf den eigentlichen Arbeitsvorgang, sondern vor allem auf die zweckmäßige Auswahl des Werkstoffes, die Kenntnis der metallurgischen Vorgänge beim Schweißen und auf die Nachbehandlung der Schweißnaht.

„Schmelzschweißung“ besteht im Zusammenfügen der zu verschweißenden Werkstoffteile durch Einschmelzen eines fremden oder wesensgleichen, besonders hierzu geeigneten

¹ Berlin: Carl Heymanns Verlag. Pr. geb. 28,— RM.

Werkstoffes ähnlicher Zusammensetzung in Drahtform (Schweißdraht oder Elektrode) ohne Anwendung von Druck (das etwaige Hämmern des eingeschmolzenen Werkstoffes wird hierunter nicht verstanden) unter gleichzeitigem Erhitzen der Blechränder mittels einer Schmelzflamme (in der Regel Azetylen-Sauerstoff) oder des elektrischen Lichtbogens (in der Regel Gleichstrom niedriger Spannung bei hoher Stromstärke). Das Zusammenfügen erfolgt durch Zusammenstoßen der Ränder bei gleichzeitigem Abschragen derselben in V- oder X-Form. Eine Vergütung der Schmelzschweißnähte wird durch nachträgliches Durchschmieden des vorher entsprechend verstärkt aufgetragenen Schmelzstoffes erzielt.

„Elektrische Stumpfschweißung“ nach dem reinen Widerstandsverfahren und nach dem Abschmelzverfahren.

Die nach den einzelnen Verfahren hergestellten Schweißverbindungen sind in Bezug auf ihre Festigkeits- und Zähigkeitseigenschaften nicht als gleichwertig anzusehen; es muß daher diesem Umstand bei der Verwendung geschweißter Konstruktionsteile entsprechend Rechnung getragen werden.

Das Ausglühen der geschweißten Teile vor weiterer Verarbeitung ist, weil von ausschlaggebendem Einfluß auf die Eigenschaften der Schweißnaht, im allgemeinen zu fordern. Es gehören dazu einwandfreie Glüheinrichtungen und Vorrichtungen, die Gewähr dafür bieten, daß das auszuglühende Stück keine unzulässigen Formänderungen erfährt.

In Ausnahmefällen kann nach sorgfältiger Prüfung vom Glühprozeß abgesehen werden (Ausbesserungsarbeiten an bestehenden Kesselanlagen, die teils geschweißt und teils genietet sind, einzelne kleinere Stützen usw.). Die Schweißungen an Feuerlöchern und an Quersiedern bei stehenden kleinen Feuerbuchskesseln erscheinen bei guter Ausführung unbedenklich.

Nach den zur Zeit vorliegenden Erfahrungen bietet von den verschiedenen Schweißarten die überlappte Wassergasschweißung bei sachgemäßer Ausführung die höchste Gewähr für eine den zu stellenden Anforderungen entsprechende Verbindung zweier Konstruktionsteile. Die zusätzliche Anwendung von Sicherheitslaschen kommt hierbei nicht in Frage.

Im allgemeinen gilt für Flußstahl eine Festigkeit von 48 kg/mm² als Grenze guter Schweißbarkeit.

Das nachträgliche Ausglühen ist allgemein grundsätzlich und unabhängig von der Art der Beanspruchung empfehlenswert.

Der Wortlaut der Vorschrift in III A 2 soll die Anwendung der Schmelzschweißungen bei Auftreten von Druckbeanspruchungen nicht ausschließen.

Die Forderung in III A 6, wonach durch Schmelzschweißung hergestellte, auf Zug beanspruchte Nähte stets durch Laschen oder andere gleichwertige Konstruktionsteile so zu sichern sind, daß die auf die Verbindung wirkenden Kräfte von ihnen aufgenommen werden können, ist hauptsächlich für größere Mäntel und andere größere Kesselteile gedacht. Bei kleineren Kesseln, die mit ganz geringen Drücken arbeiten (z. B. Vulkanisierkessel, Kessel für Bügelmaschinen u. dgl.) und kleineren Kesselteilen, bei denen das Anbringen von Sicherheitslaschen zu Unzuträglichkeiten führt, sollte es dem zuständigen Sachverständigen überlassen bleiben, ob die Schweißung ohne Lasche zugelassen wird oder nicht.

Bei guter Ausführung und nachfolgendem Ausglühen bestehen gegen das Aufschweißen von Sicherheitslaschen keine grundsätzlichen Bedenken. Es ist aber im Einzelfall durch den Sachverständigen zu entscheiden, ob die Konstruktion zuverlässig und zweckmäßig erscheint. Bei zuverlässiger elektrischer Aufschweißung einzelner Längs- oder Querlaschen bestehen keine Bedenken, bis zu einer Wanddicke von 10 mm und einem Betriebsüberdruck von höchstens 12 kg/cm² auf besonderes Ausglühen zu verzichten.

III B. Bewertung von Schweißnähten.

1. Die nachstehenden, für die Bewertung von Schweißnähten angegebenen unteren Zahlenwerte stellen Erfahrungswerte dar, wie sie bei guter, sachgemäß durchgeführter Durchschnittsarbeit angenommen werden dürfen. Liegen Verhältnisse vor, welche die Anwendung höherer Werte rechtfertigen, so kann der Hersteller der Schweißung und des Kessels mit Einverständnis der für den Kesselhersteller und den Kesselbesteller zuständigen Sachverständigen im Grenzbereich bis zu den angegebenen Höchstwerten gehen.

4. Bei Schmelzschweißung darf die Festigkeit bis zu 0,5 der Festigkeit des Werkstoffes in Rechnung gestellt werden; in Ausnahmefällen darf wie bei Ziffer 3 Überschreitung stattfinden, die bei neuen Kesseln bis zu 0,55, bei Ausbesserungsarbeiten in Sonderfällen bis zu 1,0 betragen darf, sofern im letzteren Falle zu der Schweißung das Einverständnis des zuständigen Sachverständigen eingeholt wird. Bei der durch sachgemäßes Schmieden in erneuter Rotglut vergüteten Schmelzschweißnaht darf bis zu 0,65 der Festigkeit des Werkstoffes gerechnet werden, in Sonderfällen wie oben bis zu 1,0. Solche Nähte dürfen nicht auf Biegung beansprucht werden.

5. Die Bewertung von elektrischen Stumpfschweißungen ist bis auf weiteres den Sachverständigen zu überlassen.

Schmelzschweißen. Gasschmelzschweißung (G), Lichtbogenschweißung (L).		DIN 1912 Blatt 1
Schweißen		
Art	Sinnbild in Anwendung für Ansicht Querschnitt	
Bördelstoß		
<i>F_n = Flachnaht</i>	<i>W_n = Wulstnaht</i>	<i>F_n W_n F_n W_n</i>
Stirnstoß		
Stumpfstoß		
<i>I Stoß</i>		
<i>V Stoß</i>		
<i>X Stoß</i>		
Überlappter Stoß, durchlaufende Naht		
volle Kehlnaht einseitig		
volle Kehlnaht zweiseitig		
leichte Kehlnaht zweiseitig		
leichte Kehlnaht einseitig volle Kehlnaht anderseitig		

Außer vorstehenden Zeichen für Kenntlichmachung der Schweißung darf zur Verdeutlichung der Ausdehnung derselben noch Schraffur benutzt werden z. B. oder usw.

Fortsetzung

April 1927. Fachausschuß für Schweißtechnik im Verein deutscher Ingenieure. DIN 1912 Blatt 2

Wiedergabe erfolgt mit Genehmigung des Deutschen Normen-Ausschusses. Verbindlich ist die jeweils neueste Ausgabe des Normblattes im Dinformat A 4, das durch den Beuth-Verlag, G. m. b. H., Berlin S. 14, zu beziehen ist.

Art	Sinnbild in Anwendung für		
	Ansicht	Querschnitt	
Überlappter Stoß, unterbrochene Naht			
volle Kehlnaht einseitig			
volle Kehlnaht zweiseitig			
leichte Kehlnaht zweiseitig			
Überlappter Stoß, unterbrochene und durchlaufende Naht			
volle Kehlnaht unterbrochen			
volle Kehlnaht durchlaufend			
leichte Kehlnaht unterbrochen			
leichte Kehlnaht durchlaufend			
Lochschweißung			
c gibt den Lochdurchmesser, d den Abstand der Löcher voneinander an			
Laschenstoß, durchlaufende Naht			
volle Kehlnaht beiderseits durchlaufend			
leichte Kehlnaht beiderseits durchlaufend			
T-Stoß, durchlaufende Naht			
volle Kehlnaht einseitig			
volle Kehlnaht zweiseitig			
leichte Kehlnaht zweiseitig			
volle Kehlnaht einseitig, leichte Kehlnaht anderseitig			

a gibt die Länge der Schweißstelle, b die Länge der Unterbrechung an.

Außer vorstehenden Zeichen für Kenntlichmachung der Schweißung darf zur Verdeutlichung der Ausdehnung derselben noch Schraffur benutzt werden, z. B.

oder usw.

Schmelzschweißen. Gasschmelzschweißung (G), Lichtbogenschweißung (L). Schweißen	DIN 1912 Blatt 3
--	-------------------------------

Art	Sinnbild in Anwendung für		
	Ansicht	Querschnitt	
T-Stoß, unterbrochene Naht			
volle Kehlnaht einseitig			
volle Kehlnaht zweiseitig			
leichte Kehlnaht einseitig			
leichte Kehlnaht zweiseitig			
volle Kehlnaht zickzack			
leichte Kehlnaht zickzack			
T-Stoß, unterbrochene und durchlaufende Naht			
volle Kehlnaht unterbrochen			
volle Kehlnaht durchlaufend			
volle Kehlnaht unterbrochen			
leichte Kehlnaht durchlaufend			
Winkelstoß, durchlaufende Naht			
volle Kehlnaht außen			
volle Kehlnaht außen und innen			
volle Kehlnaht außen			
leichte Kehlnaht innen			
Winkelstoß, durchlaufende und unterbrochene Naht			
volle Kehlnaht außen durchlaufend			
leichte Kehlnaht innen unterbrochen			

a gibt die Länge der Schweißstelle, b die Länge der Unterbrechung an.
 Außer vorstehenden Zeichen für Kenntlichmachung der Schweißung darf zur Verdeutlichung der Ausdehnung derselben noch Schraffur benutzt werden, z. B. oder usw.

April 1927. Fachausschuß für Schweißtechnik im Verein deutscher Ingenieure.

Wiedergabe erfolgt mit Genehmigung des Deutschen Normen-Ausschusses. Verbindlich ist die jeweils neueste Ausgabe des Normblattes im Dinformat A 4, das durch den Beuth-Verlag, G. m. b. H., Berlin S. 14, zu beziehen ist.