WERKSTATTBÜCHER

HERAUSGEBER H. HAAKE

HEFT 74

R. HESSE

PRAKTISCHE REGELN FÜR DEN ELEKTROSCHWEISSER

ZWEITE AUFLAGE

Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

WERKSTATTBÜCHER

FÜR BETRIEBSBEAMTE, KONSTRUKTEURE U. FACHARBEITER
HERAUSGEGEBEN VON DR.-ING. H. HAAKE VDI

Jedes Heft 50—70 Seiten stark, mit zahlreichen Textabbildungen
Preis: RM 2.— oder, wenn vor dem 1. Juli 1931 erschienen, RM 1.80 (10% Notnachlaß)
Bei Bezug von wenigstens 25 beliebigen Heften je RM 1.50

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

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

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

Einteilung der bisher erschienenen Hefte nach Fachgebieten

I. Werkstoffe, Hilfsstoffe, Hilfsverfahren

	Heft
Das Gußeisen. 2. Aufl. Von Chr. Gilles	19
Einwandfreier Formguß. 2. Aufl. Von E. Kothny	30
Stahl- und Temperguß. 2. Aufl. Von E. Kothny	24
Die Baustähle für den Maschinen- und Fahrzeugbau. Von K. Krekeler	75
Die Werkzeugstähle. Von H. Herbers	50
Nichteisenmetalle I (Kupfer, Messing, Bronze, Rotguß). 2. Aufl. Von R. Hinzmann	45
Nichteisenmetalle II (Leichtmetalle). 2. Aufl. Von R. Hinzmann	53
Härten und Vergüten des Stahles. 5. Aufl. Von H. Herbers. (Im Druck)	7
Die Praxis der Warmbehandlung des Stahles. 5. Aufl. Von P. Klostermann	8
Elektrowärme in der Eisen- und Metallindustrie. Von O. Wundram	69
Brennhärten. 2. Aufl. Von H. W. Grönegreß. (Im Druck)	89
Die Brennstoffe. Von E. Kothny	32
Öl im Betrieb. 2. Aufl. Von K. Krekeler	48
Farbspritzen. Von R. Klose	49
Rezepte für die Werkstatt. 4. Aufl. Von F. Spitzer	9
Furniere—Sperrholz—Schichtholz I. Von J. Bittner	76
Furniere—Sperrholz—Schichtholz II. Von L. Klotz	77
Fördermittel für Bearbeitungs- und Zusammenbauwerkstätten. (Im Druck)	93

II. Spangebende Formung

Die Zerspanbarkeit der Werkstoffe. 2. Aufl. Von K. Krekeler	61
Hartmetalle in der Werkstatt. Von F. W. Leier	62
Gewindeschneiden. 4. Aufl. Von O. M. Müller	1
Wechselräderberechnung für Drehbänke. 5. Aufl. Von E. Mayer	4
Bohren. 3. Aufl. Von J. Dinnebier	15
Senken und Reiben. 3. Aufl. Von J. Dinnebier	16
Innenräumen. 2. Aufl. Von L. Knoll	26

(Fortsetzung 3. Umschlagseite)

WERKSTATTBÜCHER
FÜR BETRIEBSBEAMTE, KONSTRUKTEURE UND FACHARBEITER. HERAUSGEBER DR.-ING. H. HAAKE VDI
HEFT 74

Praktische Regeln für den Elektroschweißer

Anleitungen und Winke aus der Praxis für die Praxis

Von

Ing. **Rudolf Hesse** VDI
Tetschen-Bodenbach / Sudetenland

Zweite, verbesserte Auflage
(7. bis 12. Tausend)

Mit 120 Abbildungen und 7 Tabellen
im Text

Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH
1943

Inhaltsverzeichnis.

Seite

Vorwort 3
1. Die elektrischen Schweißverfahren 3
2. Schweißanlage — Schweißplatz 4
3. Schutzvorrichtungen für den Schweißer 7
4. Strom — Spannung — Kurzschluß 8
5. Bestimmung der Polarität 8
6. Zündspannung — Schweißspannung — Lichtbogen 9
7. Stromstärke — Einbrand 9
8. Dehnung — Schrumpfung — Spannungen 12
9. Blaswirkung des Lichtbogens 15
10. Schweißelektroden 16
11. Schweißverbindungen 17
12. Zündung, Haltung und Führung der Elektrode 19
13. Flußstahlschweißung 27
14. Stahlgußschweißung 33
15. Auftragsschweißung 33
16. Gußeisenkaltschweißung 34
17. Gußeisenhalbwarmschweißung 38
18. Schweißen mit Schweißkohle und Blasmagnet 39
19. Schweißen der Nichteisenmetalle 41
20. Das elektrische Schneiden 45
21. Einige Angaben über die wichtigeren Metalle 45
22. Erklärungen einiger oft vorkommender Begriffe 47
23. Ausbildung und Eigenschaften des Schweißers 48
24. Fehler, die der Schweißer vermeiden soll 49
25. Die Kennzeichnung der Schmelzschweißnähte in Zeichnungen 56

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

ISBN 978-3-662-41751-5 ISBN 978-3-662-41896-3 (eBook)
DOI 10.1007/978-3-662-41896-3

Vorwort.

Das vorliegende Werkstattbuch wendet sich an alle jene, die das Elektroschweißen erlernen wollen. Es ist daher in erster Linie dazu bestimmt, dem angehenden Schweißer die wichtigsten Grundbegriffe der Elektroschweißung in allgemeinverständlicher Form zu vermitteln. Vor allem sollen ihm die kurzgefaßten Erläuterungen, Anleitungen und praktischen Winke dazu dienen, möglichst rasch einen Überblick über die wesentlichsten Maßnahmen bei der Durchführung von Schweißungen zu gewinnen, ohne sich hierbei auf ein langes Studium der zahlreichen Bücher und theoretischen Abhandlungen stützen zu müssen.

Das Büchlein kann selbstverständlich einen Anspruch auf Vollständigkeit nicht erheben, da die Elektroschweißung mit ihren vielseitigen Anwendungsgebieten sich noch in lebhafter Entwicklung befindet. Sollten die Anregungen aber dem angehenden Elektroschweißer zur weiteren handwerksmäßigen Ausbildung in seinem Berufe nützlich sein, dann ist der Zweck dieses Heftes erfüllt.

Der fortgeschrittene Elektroschweißer, der in das heute bereits sehr umfangreich gewordene Gebiet der Elektroschweißung tiefer eindringen will, muß allerdings das einschlägige Schrifttum zu Hilfe nehmen, da ihn die kurzen Angaben, zumeist ohne fachtechnische Begründung, wohl kaum befriedigen dürften.

Die vorliegende zweite Auflage[1] des zuerst in Prag erschienenen Buches wurde in den einzelnen Abschnitten wesentlich erweitert; ferner wurde ein neuer Abschnitt über die Technik des Schweißens eingefügt, um die Brauchbarkeit des Buches für den angehenden Schweißer weiter zu erhöhen. Ebenso wurde die Anzahl der Abbildungen ganz bedeutend vermehrt und die Kennzeichnung der Schweißnähte in Zeichnungen gemäß den Normen DIN 4100 dargestellt.

Aus der Praxis geschaffen, der Praxis zu dienen, will auch diese zweite Auflage des Werkstattbuches nichts anderes als ein nützlicher Behelf für den werktätigen Schweißer in allen jenen Fragen sein, die sich bei der Arbeit ergeben.

1. Die elektrischen Schweißverfahren.

Die elektrischen Schweißverfahren teilt man in zwei große Gruppen ein, die Widerstandsschweißung und die Lichtbogenschweißung.

a) Die elektrische Widerstandsschweißung[2] gliedert sich in drei Untergruppen, und zwar:

1. Stumpfschweißung, 2. Punktschweißung, 3. Nahtschweißung.

Das Arbeitsgebiet der elektrischen Widerstandsschweißung unter Benutzung von Schweißmaschinen verschiedenster Bauart ist in erster Linie nur die Erzeugung von Massenartikeln, jedoch findet die Punktschweißung, und besonders die Stumpfschweißung, in wachsendem Maße auch für andere Zwecke Verwendung.

b) Bei der elektrischen Lichtbogenschweißung[3], die man mit Hilfe der Kohle- oder Metallelektrode ausführt, wird die Eigenschaft des Lichtbogens, elektrische Energie in Wärme umzuwandeln, ausgenutzt; man unterscheidet folgende Lichtbogenschweißverfahren:

[1] Die erste Auflage erschien 1939.
[2] Werkstattbuch Heft 13 und 73.
[3] Werkstattbuch Heft 43.

1. Das ZERENER-Verfahren (Abb. 1), geschützt im Jahre 1889, bei dem der elektrische Lichtbogen zwischen zwei schräg zueinander stehenden Kohleelektroden gezogen und mittels eines Blasmagneten auf die Schweißstelle geblasen wird. Dieses Verfahren wird mit Rücksicht auf die Oxydbildung in der Schweiße, die verhältnismäßig verwickelte und schwere Konstruktion der Elektrodenhalter sowie die Schwierigkeiten beim Nachschub der Kohleelektroden heute nur noch selten angewendet.

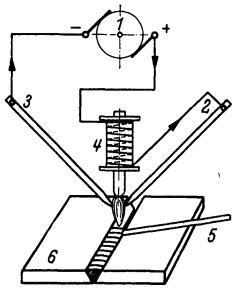


Abb. 1. ZERENER-Verfahren.
1 = Schweißdynamo;
2 und *3* = Kohleelektroden;
4 = Elektroblasmagnet;
5 = Zusatzstab;
6 = Werkstück.

2. Das BENARDOS-Verfahren (Abb. 2), geschützt im Jahre 1885, bei dem der elektrische Lichtbogen zwischen dem Werkstück und einer Kohleelektrode gezogen wird, unter gleichzeitiger Verwendung eines Metallstabes als Zusatzwerkstoff. Es wird angewendet:

zum Schneiden,
zum Faßschweißen,
zum Schweißen von Nichteisenmetallen,
zum Dünnblechschweißen.

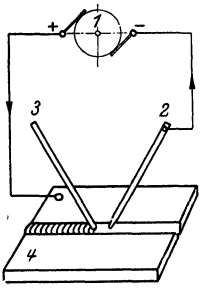


Abb. 2.
BENARDOS-Verfahren.
1 = Schweißdynamo;
2 = Kohleelektrode;
3 = Zusatzstab;
4 = Werkstück.

3. Das SLAVIANOFF-Verfahren (Abb. 3), geschützt im Jahre 1891, bei dem der elektrische Lichtbogen zwischen Werkstück und einer Metallelektrode gezogen wird; es steht infolge seiner allgemeinen Anwendbarkeit unter allen elektrischen Schweißverfahren heute an erster Stelle. Die nachstehenden Ausführungen beziehen sich auf dieses Verfahren.

4. Es wurden auch Lichtbogenschweißverfahren entwickelt, bei welchen der Lichtbogen von einer Schutzgasflamme umgeben ist. Durch das Schweißen im Schutzgas wird der schädliche Einfluß der Sauerstoff- und Stickstoffaufnahme aus der Luft im Schmelzflusse verhindert und dadurch eine hohe Festigkeit und Dehnung der Schweißnaht erreicht. Heute findet das Arcatomverfahren praktische Verwendung. Es arbeitet mit Wechselstromtransformatoren besonderer Bauart und ist aufgebaut auf den Forschungen des Amerikaners LANGMUIR. Der Lichtbogen wird zwischen zwei unter einem spitzen Winkel zueinander stehenden Wolframelektroden in einem Schutzmantel aus Wasserstoffgas gezogen und hierbei nach dem Verfahren von ZERENER, jedoch ohne Blasmagnet, unabhängig vom Werkstück gebildet. Die Wolframelektroden, deren Schmelzpunkt bei 3300° liegt, sind einem sehr geringen Abbrand unterworfen. Geschweißt wird entweder mit oder ohne Zusatzdraht.

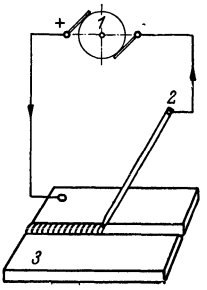


Abb. 3.
SLAVIANOFF-Verfahren.
1 = Schweißdynamo;
2 = Metallelektrode;
3 = Werkstück.

2. Schweißanlage — Schweißplatz.

Die elektrische Lichtbogenschweißung wird sowohl mit Gleichstrom als auch mit Wechselstrom ausgeführt, und man unterscheidet demnach folgende Schweißanlagen:

a) Gleichstromanlagen, wie:

Motorgeneratoren, bei welchen ein Elektromotor mit einer Schweißdynamo direkt gekuppelt ist;

Eingehäuseumformer, bei welchen der Elektromotor und die Schweißdynamo derart zusammengebaut sind, daß sie nur einen umlaufenden Teil besitzen;

Schweißdynamos, die entweder mittels Riemen oder Benzinmotor usw. angetrieben werden;

Schweißgleichrichter, die aus einem Drehstromschweißtransformator und einem Gleichrichter bestehen.

b) Wechselstromanlagen, wie:

Schweißtransformatoren verschiedenster Bauart, die nur zwischen zwei Phasen, also einphasig, angeschlossen werden;

Drehstrom-Wechselstrom-Schweißmaschinen, das sind umlaufende Umformer, die an das Drehstromnetz dreiphasig angeschlossen werden und dieses somit gleichmäßig belasten. Der Umformer liefert auf der Schweißstromseite Wechselstrom, bei welchem die Periodenzahl des Drehstromes von 50 auf zumeist 150 je Sekunde erhöht wird.

Zu a) und b). Eine Schweißanlage gewöhnlicher Bauart kann nur eine Schweißstelle mit Strom versorgen, weil die eingestellte Spannung beim Ziehen des Lichtbogens, also bei Kurzschluß, praktisch auf Null herabsinkt.

Ein Schweißumformer kann auch mehrere Schweißstellen mit Strom versorgen, jedoch ist in diesem Falle die Anwendung eines allerdings unwirtschaftlichen Widerstandes notwendig.

Die vom Lieferanten der Schweißanlage beigegebene Bedienungsvorschrift ist genau zu beachten.

Beim Anschluß des Schweißumformers ist auf die richtige Drehrichtung, die zumeist durch einen roten Pfeil angegeben ist, zu achten; die Drehrichtung des Schweißumformers bei Drehstrommotoren kann durch einfaches Vertauschen zweier beliebiger Leitungsanschlüsse an der Maschine geändert werden.

Jede Schweißanlage muß mittels eines Hebelschalters unter Zwischenschaltung richtig bemessener Sicherungen vom Leitungsnetz abschaltbar sein.

Jede Schweißanlage muß geerdet sein, um bei Isolations- und anderen Fehlern die meist gefährlich hohe Netzspannung zur Erde abzuleiten.

Das Anschließen fahrbarer Schweißanlagen an das Leitungsnetz oder an die Schalttafel darf niemals „unter Strom" vorgenommen werden.

Fahrbare Schweißumformer sind stets in nächster Nähe des zu schweißenden Werkstückes aufzustellen, da die Verwendung eines langen Schweißkabels — auch wenn es einen größeren Querschnitt als 35 qmm besitzt — Verluste an elektrischer Energie zur Folge hat.

Auf einen guten metallischen Kontakt sämtlicher Schweißkabelverbindungen ist zu achten, und außerdem ist darauf zu sehen, daß auch die Muttern bei den Kabelanschlüssen fest angezogen sind.

Alle Anschlüsse der Kabel müssen mit eingelöteten Kabelschuhen versehen sein.

Das Schweißkabel mit Elektrodenhalter und das Werkstückanschlußkabel müssen immer in einwandfreiem Isolationszustande sein, da sonst sehr leicht ein Kurzschluß eintreten kann.

Alle Lagerstellen des Schweißumformers müssen mit Vaseline oder Öl gefüllt sein.

Vor Anlauf des Schweißumformers ist der Regler stets auszuschalten. Außerdem ist darauf zu achten, daß nicht etwa der Elektrodenhalter auf den Schweißtisch oder auf das zu schweißende und an das Schweißaggregat bereits angeschlossene Werkstück gelegt wird.

Die Berührung des Elektrodenhalters bei neuzeitlichen Schweißmaschinen mit niedriger Leerlaufspannung ist ungefährlich.

Mit Rücksicht auf die höhere Leerlaufspannung bei Schweißtransformatoren muß jede Berührung der blanken Teile des Elektrodenhalters vermieden werden, da zwischen Werkstück und Elektrodenhalter die Leerlaufspannung herrscht; demnach darf das Auswechseln der Elektroden beim Schweißen mit Wechselstromtransformatoren niemals mit der nackten Hand, sondern immer nur mit Handschuhen vorgenommen werden.

c) Zur Schweißplatzausrüstung gehören:

1 in unmittelbarer Nähe der Schweißanlage aufzustellender eiserner Schweißtisch, der an den einen Pol der Schweißanlage angeschlossen wird. Der Schweißtisch soll nicht zu hoch sein, damit der Schweißer auch sitzend arbeiten kann.

1 Schweißkabel, 5 m bis 10 m lang und meist 35 qmm Kupferquerschnitt, biegsam, mit Elektrodenhalter und angelötetem Kabelschuh. Zum Schutze gegen mechanische Beschädigungen ist das Kabel entweder mit einem Gummi- oder Lederüberzug zu versehen.

Abb. 4. Schweißhaube mit aufklappbarem Schutzglas.

Abb. 5. Atmungsschutz mit auswechselbarer Einlage.

1 Werkstückanschlußkabel, 3 m bis 5 m lang und ebenfalls 35 qmm Kupferquerschnitt, mit zwei angelöteten Kabelschuhen.

1 Anschlußzwinge.

1 Schutzspiegel mit farbigem Schutz- und weißem Deckglas.

2 Reserveschutzgläser.

1 Schweißhaube mit aufklappbarem Schutzglas. Abb. 4 zeigt die Verwendung der Schweißhaube beim Schweißen eines Dünnblechrohres mit Schweißkohle — Blasmagnet und Zusatzdraht.

1 Atmungsschutz — Respirator — mit auswechselbarer Einlage für Bronze-Messing-Schweißung. Abb. 5 zeigt die Benutzung des Respirators und des Schutzspiegels bei einer Bronzeschweißung.

1 gewöhnliche Schutzbrille mit weißen Gläsern, seitlich geschlossen.

1 Paar Lederhandschuhe mit Stulpen.

1 Lederschürze.

1 Blech- oder Holzkasten zur Aufbewahrung der Schweißelektroden.

1 gewöhnlicher Hammer.

1 leichter Spitzhammer zur Entfernung der Schlacke.

1 Stahldrahtbürste, einige Meißel und eine Feuerzange.

1 Kasten für die Elektrodenabfälle.

Der Schweißplatz soll durch Schutzwände in dunkler Farbe von dem übrigen Arbeitsraum abgegrenzt werden.

Zweckmäßig ist es, beim Schweißplatz eine Warnungstafel mit der Aufschrift anzubringen:

„Nicht mit ungeschützten Augen in den Lichtbogen sehen!"

3. Schutzvorrichtungen für den Schweißer.

Der Elektroschweißer muß sich gegen die vom Lichtbogen ausgehenden Strahlen, gegen glühende Metallspritzer, gegen strahlende Wärme und gegen Dämpfe und Gase in zweckmäßiger Weise schützen, will er sich nicht der Gefahr aussetzen, Verletzungen zu erleiden.

Die vom Lichtbogen ausgehenden Strahlen werden eingeteilt in:

a) ultraviolette Strahlen,
b) ultrarote Strahlen,
c) Lichtstrahlen.

Sowohl die ultravioletten als auch die ultraroten Strahlen können an ungeschützten Körperteilen, wie Augen und Händen, Schäden hervorrufen.

Die Lichtstrahlen blenden das Auge außerordentlich stark, wenn sie dieses aus nächster Nähe auch nur einen Augenblick unmittelbar treffen.

Der Elektroschweißer darf für Schutzspiegel nur solche farbige Schutzgläser verwenden, die

a) die schädlichen ultravioletten und ultraroten Strahlen absorbieren (aufsaugen) und

b) die Lichtstrahlen jedoch nur so weit abschwächen, daß eine gute Beobachtung und Unterscheidung der abschmelzenden Elektrode von der flüssigen Schlacke möglich ist.

Vor dem Schutzglas ist ein nach Bedarf jederzeit auszuwechselndes Deckglas aus gewöhnlichem Fensterglas einzusetzen, um das Schutzglas gegen die ätzende Wirkung der glühenden Metallspritzer zu schützen.

Die Augen werden gegen seitlich eindringende Strahlen am zweckmäßigsten durch eine mit gewöhnlichem Fensterglas versehene, jedoch seitlich geschlossene Brille, wie sie auch vom Autogenschweißer verwendet wird, geschützt.

Fast alle Anfänger reißen die am Werkstück festklebende Elektrode ab, ohne den Schutzspiegel vorzuhalten, so daß die Augen durch den im Augenblick des Abreißens entstehenden Lichtbogen unnötigerweise „verblitzt" werden.

Der Schweißer soll aber auch auf seine Mitarbeiter Rücksicht nehmen und sie durch Aufstellen von Schutzwänden vor der unmittelbaren Einwirkung der Lichtstrahlen schützen.

„Verblitzte" Augen oder eine durch seitlich eingedrungene Strahlen hervorgerufene Augenentzündung werden durch Einträufeln von Tropfen einer Lösung, bestehend aus:

Zinc. sulfur. . . . 0,01
Aqua destil. . . . 10,00 } Bezeichnung: Augentropfen,

und Aufstreichen einer 2proz. Borsalbe auf die Ränder der Augenlider behandelt.

Die Hände sind gegen die Einwirkung der schädlichen Strahlen und gegen glühende Metallspritzer sowie Schlackenteilchen durch Lederhandschuhe zu schützen. Die Füße schützt man am besten durch hohe Schuhe. Schadhafte oder Halbschuhe sind ungeeignet, da herabfallende glühende Tropfen sehr leicht Verbrennungen verursachen, die oftmals in Eiterungen übergehen.

Ein Schutz gegen die strahlende Wärme ist eigentlich nur bei der Gußeisenwarmschweißung — am besten durch Asbestschürzen — nötig.

Beim Schweißen von Kupfer, Bronze und Messing, deren Dämpfe nachteilig sind, muß ein Atmungsschutz getragen werden. Die auswechselbare Einlage des Atmungsschutzes wird in einer Mischung, bestehend aus Essig und Wasser, ungefähr je zur Hälfte, angefeuchtet.

Für eine sehr gute Lüftung des Schweißraumes — wenn möglich mittels eines Ventilators — ist Vorsorge zu treffen.

Beim Auskreuzen der Schweißfugen bei Gußeisen, bei Schmirgelarbeiten und beim Abklopfen der Schlacke ist eine Schutzbrille zu benutzen.

Die alte ärztliche Weisheit:

„Verhüten ist leichter als Heilen!"

gilt insbesondere für den Elektroschweißer.

4. Strom — Spannung — Kurzschluß.

Die Begriffe „Strom und Spannung" kann man am einfachsten mit einer Wasserleitung vergleichen; „Strom" entspricht der aus einer Wasserleitung ausfließenden „Menge" Wasser und „Spannung" dem in einer Wasserleitung herrschenden „Druck".

Je größer der Wasserdruck, desto größer ist die ausfließende Wassermenge; also: je höher die Spannung, desto größer ist demnach auch die Stromstärke.

Man bezeichnet den nur in einer Richtung — nämlich vom positiven zum negativen Pol — fließenden Strom als Gleichstrom; den dauernd seine Richtung wechselnden Strom bezeichnet man als Wechselstrom, zumeist 50 Perioden in der Sekunde.

Bei Wechselstrom kann man einen positiven und einen negativen Pol nicht mehr unterscheiden, da die Polarität der Anschlußstellen ständig wechselt.

Ein Kurzschluß tritt auf, sobald die Elektrode das Werkstück berührt, wobei die Spannung stark sinkt und die Stromstärke den höchsten Wert erreicht.

Der Schweißvorgang besteht aus einer unendlich schnellen Folge von betriebsmäßig auftretenden Kurzschlüssen. Bei jedem Kurzschluß geht flüssiges Metall von der Elektrode auf das Werkstück über.

5. Bestimmung der Polarität.

Vor Beginn des Schweißens muß geprüft werden, ob das Schweißkabel auch richtig an jenen Pol angeschlossen ist, der für die betreffende Schweißung in Betracht kommt. Für den Fall, daß die Anschlußklemmen am Schweißumformer nicht mit + und — bezeichnet sein sollten, ist die Polarität festzustellen.

Der Minuspol hinterläßt auf angefeuchtetem Polreagenzpapier — in jeder Apotheke oder Drogerie erhältlich — einen roten Punkt; der Pluspol färbt das Reagenzpapier nicht.

In Ermangelung eines Polreagenzpapiers dient als leichteste und billigste Erkennungsart der Kohlelichtbogen, und zwar in folgender Weise:

Wenn die Kohleelektrode an den Minuspol und das Blech an den Pluspol angeschlossen ist, brennt der Lichtbogen ruhig und reißt auch bei sehr rascher seitlicher Handbewegung nicht ab. Es hat den Anschein, als ob der Strom wie Wasser aus der Kohle sprühen würde; die Kohle brennt gleichmäßig ab.

Wenn dagegen die Kohleelektrode an den Pluspol angeschlossen ist, brennt der schwieriger zu ziehende Lichtbogen unruhig und reißt schon bei geringer seitlicher Handbewegung sehr leicht ab, weil der Strom nicht aus der Kohle zum Werkstück, sondern vom Werkstück zur Kohle sprüht. Die Kohle brennt außerdem sehr ungleichmäßig ab.

Die für den Minuspol bestimmten Elektroden ergeben am Pluspol eine bedeutend höhere Schweißraupe und schmelzen ziemlich rasch ab, während der Grundwerkstoff nicht so stark flüssig wird, was dem erfahrenen Schweißer sofort auffällt.

6. Zündspannung — Schweißspannung — Lichtbogen.

Unter Zündspannung versteht man jene Spannung, die zum Zünden des Lichtbogens bei einer bestimmten Elektrodenstärke nötig ist. Als Schweißspannung bezeichnet man jene Spannung, die während des Schweißens zwischen Elektrode und Werkstück am Lichtbogen herrscht.

Im Gleichstromlichtbogen beträgt die Temperatur an der positiven Elektrode über 3500^0, während die Wärmeentwicklung an der negativen Elektrode um einige hundert Grade niedriger ist.

Bei Wechselstrom, der sekundlich viele Male seine Pole wechselt, herrscht an beiden Elektroden eine durchschnittlich gleichmäßige Temperatur.

Dünnumhüllte und Seelenelektroden sollen mit möglichst kurzem Lichtbogen geschweißt werden. Die Schweißspannung im Lichtbogen bewegt sich in den Grenzen von 12···25 Volt und ist von der Länge des Lichtbogens abhängig; je länger der Lichtbogen, desto höher die Schweißspannung.

Die richtige Länge des Lichtbogens soll höchstens gleich der verwendeten Elektrodenstärke sein, weil dadurch die Aufnahme von Sauerstoff und Stickstoff der Luft in die Schweiße verringert werden kann.

Die Sauerstoffaufnahme hat zur Folge, daß sich im flüssigen Werkstoff Eisenoxyd bildet, welches teilweise in die Schweiße übergeht und die Festigkeit derselben wesentlich herabsetzt.

Die Stickstoffaufnahme hat zwar keine Verminderung der Festigkeit zur Folge, wohl aber eine Herabsetzung der Dehnung und Zähigkeit der Schweiße.

Es kann dem angehenden Schweißer nicht oft genug nahegelegt werden, gleich von allem Anfang an bei dünnumhüllten und Seelenelektroden den Lichtbogen möglichst kurz zu halten, um nicht nur die nachteiligen Veränderungen in der Schweiße, die durch den ungehinderten Zutritt der Luft entstehen, auf ein Mindestmaß zu verringern, sondern auch eine gute Verschmelzung mit dem Grundmaterial zu erzielen, worauf in Abschn. 7 noch besonders hingewiesen wird.

Starkumhüllte Elektroden können sowohl mit kürzerem als auch mit längerem Lichtbogen geschweißt werden. Selbst wenn der Lichtbogen etwas länger gehalten wird, erfahren dadurch die mechanischen Gütewerte der Schweiße keine Verschlechterung. Die Spannung im Lichtbogen ist gewöhnlich höher als bei dünnumhüllten Elektroden.

7. Stromstärke — Einbrand.

Das Schweißen mit der richtigen Stromstärke ist ebenso wichtig wie das Halten eines möglichst kurzen Lichtbogens. Der Schweißer soll gleich von Anfang an das Einstellen der richtigen Stromstärke durch aufmerksame Beobachtung der Schweiße lernen und die für die einzelnen Elektrodendurchmesser nachstehend angegebenen Stromstärken nur als Anhaltswerte betrachten.

Bei Flußstahlelektroden und einer Schweißspannung von 12 bis höchstens 25 Volt gelten die in der Tabelle 1 angegebenen Stromstärken als Anhaltswerte.

Tabelle 1. Richtwerte für Elektrodendurchmesser und Stromstärken.

Blechstärke in mm	Elektrodendurchmesser in mm	Stromstärke in Amp.
2··· 3	2	30··· 70
3··· 5	3	65···120
6···12	4	110···180
12···20	5	160···250
über 20	6	180···300

Folgende Schweißversuche mit dünnumhüllten Elektroden, die jeder angehende Schweißer einmal machen soll, sind zur Beurteilung der richtigen Stromstärke sehr anschaulich:

a) Man schweißt zunächst mit zu niedriger Stromstärke und beobachtet hierbei, daß

1. dem Blech (Werkstück) zu wenig Wärme zugeführt und mithin die Schweißstelle auch zu wenig flüssig wird;

2. der Lichtbogen sehr schwierig zu halten ist und demnach sehr oft abreißt;

3. die Schweißraupe sehr ungleichmäßig wird und ein unschönes Aussehen zeigt, und

4. schließlich der Einbrand derart schlecht ist, daß solche Schweißraupen nicht aufgeschweißt sind, sondern auf dem Bleche nur „kleben" und mühelos entfernt werden können.

Eine solche Schweiße ist selbstredend wertlos. Die Schweißraupe Abb. 6 trägt alle Kennzeichen einer mit zu geringer Stromstärke ausgeführten Schweißung, und aus

Abb. 6. Schweißraupe, mit zu niedriger Stromstärke hergestellt.

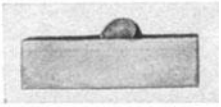


Abb. 7. Schliffbild zu Abb. 6.

dem Schliffbild Abb. 7 ist zu ersehen, daß überhaupt kein Einbrand erzielt wurde. Es wurde mit einer Elektrode von 4 mm Durchmesser bei 70 Ampere geschweißt.

b) Daran anschließend schweißt man mit zu hoher Stromstärke und beachtet hierbei, daß

1. das Blech viel zu stark erwärmt wird;

2. die Schweißraupe viel zu flach wird, also zu stark auseinanderfließt;

3. nicht nur die Oberfläche der Raupe, sondern auch der Endkrater zahlreiche Poren aufweist;

4. der Einbrand eine zu große Tiefe erreicht;

5. die Elektrode außerordentlich stark spritzt, zu rasch abschmilzt und auf die ganze Länge zum Glühen kommt;

6. die Schweißnaht überhitzt oder, wie man sagt, verbrannt wird.

Eine solche Schweißraupe ist ebenfalls unbrauchbar. Die Abb. 8 zeigt das Aussehen einer mit zu hoher Stromstärke ausgeführten Schweißung, und aus dem Schliffbild Abb. 9 ist die zu große Einbrandtiefe zu ersehen. Es wurde mit einer Elektrode von 4 mm Durchmesser bei 200 Ampere geschweißt.

c) Zuletzt schweißt man mit der richtigen Stromstärke und beobachtet hierbei, daß

1. der Lichtbogen bei richtiger Haltung der Elektrode nicht abreißt;

2. die Elektrode ruhig und gleichmäßig abschmilzt;

3. die Schweißraupe eine glatte, porenfreie Oberfläche und ein gutes Aussehen zeigt;

4. die Einbrandtiefe gut ist und der Endkrater eine etwas längliche und nicht zu tiefe Form aufweist (man vergleiche den Endkrater der Abb. 10 mit jenem der Abb. 6 und 8).

Eine mit richtig eingestellter Stromstärke ausgeführte Schweißung ist aus der Abb. 10 und der genügende Einbrand aus dem Schliffbild Abb. 11 ersichtlich. Es wurde mit einer Elektrode von 4 mm Durchmesser bei 140 Ampere geschweißt.

Wie aus vorstehenden drei Schweißversuchen mit dünnumhüllten Elektroden hervorgeht, hängt die gute Verschmelzung mit dem Werkstoff und damit auch die Güte der Schweiße von der Einstellung der richtigen Stromstärke ab. Aber auch der Lichtbogen muß möglichst kurz gehalten werden. Wird der Lichtbogen zu lang gehalten, so wird das Grundmaterial nicht aufgeschmolzen, sondern nur erwärmt. Die Elektrode schmilzt tropfenweise ab, ohne daß eine innige Verbin-

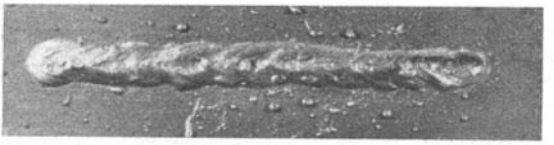


Abb. 8. Schweißraupe, mit zu hoher Stromstärke hergestellt.

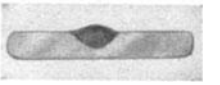


Abb. 9.
Schliffbild zu Abb. 8.

dung mit dem Werkstück stattfindet. Außerdem brennt ein zu langer Lichtbogen sehr unruhig und reißt leicht ab. Bei Schweißungen jedweder Art muß stets ein guter, einwandfreier Einbrand erzielt werden. Starkumhüllte Elektroden ergeben auch bei einem längeren Lichtbogen gegenüber dünnumhüllten meist einen tieferen Einbrand.

Ob eine Elektrode bei richtiger Einstellung der Stromstärke und Halten eines kurzen Lichtbogens genügende Einbrandtiefe ergibt, prüft man nicht durch eine

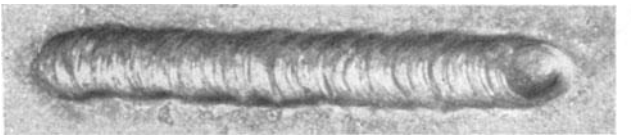


Abb. 10. Schweißraupe, mit richtiger Stromstärke hergestellt.

Abb. 11.
Schliffbild zu Abb. 10.

Auftragsschweißung, sondern am zuverlässigsten durch Schweißung der Kehlnaht eines T-Stoßes, bei welchem das eine Blech waagerecht liegen muß. Bei dieser Schweißung muß auch in der Spitze der Kehle ein gleichmäßiger Einbrand vorhanden sein.

Verbindliche Angaben über die Wahl der richtigen Stromstärke können nicht gemacht werden. Diese ist hauptsächlich von der Art und Größe des Werkstückes, der Materialstärke, der Lage der Schweißnaht, der verwendeten Elektrodensorte und des Elektrodendurchmessers abhängig.

Im allgemeinen gelten folgende Regeln, die der Schweißer beachten soll:

1. Da der größte Teil der durch den Lichtbogen zugeführten Wärme durch das Werkstück wieder abgeleitet wird, erfordern starkwandige große Werkstücke höhere Stromstärken als dünnwandige kleine Arbeitsstücke.

2. Die Elektrode darf bei Schweißungen starkwandiger Werkstücke nicht zu rasch geführt werden, insbesondere nicht zu Beginn der Schweißung, wenn das Werkstück noch kalt ist.

3. Beim T-Stoß (Abb. 24) und beim überlappten Stoß (Abb. 20) ist die Wärmeaufnahme wesentlich größer als bei der Stoßnaht (Abb. 19) und beim Winkelstoß (Abb. 28), weshalb bei Verwendung von Elektroden gleichen Durchmessers in den ersten beiden Fällen die Stromstärke höher eingestellt werden muß als bei der Schweißung einer Stoßnaht oder eines Winkelstoßes. Da das untere Blech beim T-Stoß und beim überlappten Stoß wesentlich mehr Wärme aufnimmt als das obere Blech, so ist der Lichtbogen mehr auf das untere Blech zu richten.

4. Bei der Schweißung der Grundraupe in einer V-Fuge ist trotz der hierfür zu verwendenden dünneren Elektrode stets eine höhere Stromstärke einzustellen, damit eine einwandfreie Wurzellage erzielt wird.

5. Bei der Schweißung senkrechter Nähte von unten nach oben stellt man die Stromstärke niedriger ein als bei der waagerechten Schweißung.

6. Wird jedoch die Schweißung von oben nach unten ausgeführt, dann muß die Stromstärke höher gewählt werden.

7. Da bei der Überkopfschweißung die Elektrode meist ziemlich rasch geführt werden muß, ist es nötig, die Stromstärke höher als bei der Schweißung in waagerechter Lage einzustellen.

Abschließend sei der Anfänger wiederholt daran erinnert, daß die richtige Einstellung der Stromstärke nur dann einen genügenden Einbrand ergibt, wenn auch der Lichtbogen so kurz wie möglich gehalten wird.

8. Dehnung — Schrumpfung — Spannungen.

Beim Schweißen wird durch die Wärmezufuhr zunächst eine Dehnung und durch das Erkalten der Schweißnaht dann eine Schrumpfung am Werkstück hervorgerufen. Von der Kenntnis und Beachtung der hierbei entstehenden und als Spannungen bezeichneten Erscheinungen hängt das Gelingen mancher Schweißung ab, weshalb jeder angehende Schweißer durch nachstehende Schweißversuche sich selbst ein Bild über die Spannungen, die in der Quer- und Längsrichtung der Schweißnaht entstehen, machen soll.

Die quer zur Schweißnaht auftretenden Schrumpfspannungen sind jene, die unter Umständen sehr groß werden und besonders bei fest eingespannten kurzen Werkstücken, z. B. beim Einschweißen von Flicken, ein Aufreißen der Naht zur Folge haben können.

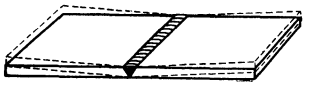


Abb. 12. Verformung quer zur Schweißnaht.

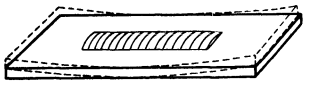


Abb. 13. Verformung in Richtung der Schweißnaht.

Beispiel: Zwei Flacheisen von etwa 40 × 6 mm sind stumpf in einer Lage zusammenzuschweißen (Abb. 12). Durch die Schrumpfung in der Naht tritt eine Verformung des Flacheisens — durch gestrichelte Linien angedeutet — ein, die bei stärkeren Blechen und Mehrlagenschweißung geringer, bei schwächeren, schmalen Blechen und Einlagenschweißung größer ist.

Die in der Längsrichtung auftretenden Schrumpfspannungen sind nicht geringer als die Querschrumpfungen. Da sie aber einen größeren Widerstand finden, erzeugen sie auch kleinere Verformungen.

Beispiel: Auf ein Flacheisen von etwa 40 × 6 mm ist eine Schweißraupe mit einer 4 mm starken Elektrode in Zickzackführung aufzutragen (Abb. 13). Da sich die Schweißraupe beim Abkühlen in der Längsrichtung der Auftragung zusammenzieht, wird das ursprünglich gerade Flacheisen die gestrichelte Form

annehmen. Bei schwächeren Blechen ist die Krümmung viel größer als bei stärkeren Blechen.

In welcher Weise die Schrumpfspannungen bei der einseitigen Kehlnaht in Erscheinung treten, soll nachstehender Schweißversuch zeigen: Das Blech *A* (Abb. 14) wurde senkrecht gut aufliegend auf das Blech *B* gestellt. Da es weder durch eine Spannvorrichtung, noch durch kurze Heftnähte am Anfang und am Ende der Naht in dieser Lage festgehalten war, konnte es sich frei bewegen. Nun wurde die einseitige Kehlnaht mit einer dünnumhüllten Elektrode geschweißt. Wie aus der Abb. 15 ersichtlich ist, vollzog sich infolge Schrumpfung der Kehlschweißnaht das lose aufgestellte Blech *A* sehr stark nach der Seite der Kehlnaht hin. Die Abweichung von der Senkrechten betrug im vorliegenden Falle 9 mm bei einer Höhe von 100 mm des 12 mm starken Bleches. Die Abbildung zeigt weiter deutlich den keilförmigen Spalt, um welchen das Blech *A*, das vor dem Schweißen auf dem Blech *B* satt aufstand, sich abgehoben hat. Verziehungen dieser Art können durch folgende Maßnahmen vermieden werden:

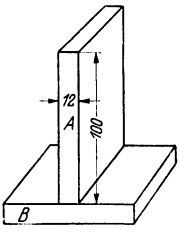


Abb. 14.
Blech *A* senkrecht auf Blech *B* gestellt.

a) Man hält das Blech *A* durch auf beiden Seiten zweckmäßig verteilte kurze Heftnähte in der richtigen, in diesem Falle in der senkrechten Lage. Diese Maßnahme wird in der Praxis wohl am häufigsten angewendet.

b) Man verwendet eine Spannvorrichtung, um das Blech *A* in der Lage, die es nach dem Schweißen haben muß, zu halten.

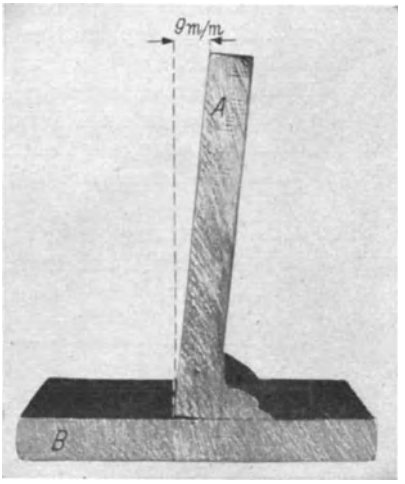


Abb. 15. Schrumpfung bei einseitiger Kehlnaht.

Wie aus vorstehenden Ausführungen ersichtlich ist, können Spannungen keinesfalls vermieden werden. Je mehr Wärme einem Werkstück zugeführt wird, desto größer werden die Spannungen. Es muß daher das Bestreben eines jeden Schweißers sein, durch Beachtung nachstehender Maßnahmen die Spannungen möglichst niedrig zu halten.

1. Die Schweißfugen und der Spalt an der Nahtwurzel bei Stoßnähten dürfen in keinem Falle breiter sein, als eben zur guten, möglichst abschnittsweisen Durchschweißung des Schweißquerschnittes unbedingt erforderlich ist. Nähere Angaben über die Herrichtung der Schweißfugen siehe in Abschnitt 13.

2. Der Schweißer muß unbedingt darauf sehen, daß er den Querschnitt der Nähte nicht größer als vorgeschrieben macht.

3. Da bei Verwendung einer starken Elektrode und Schweißung in nur einer Lage infolge erhöhter Wärmezufuhr größere Schrumpfungen und damit auch Verziehungen auftreten, soll — wenn irgend tunlich — die Mehrlagenschweißung mit einer dünnen Elektrode ausgeführt werden.

4. Die zu schweißenden Werkstücke müssen möglichst genau zusammengepaßt werden, wobei durch zweckmäßig verteilte kurze Heftnähte oder unter Verwendung von Vorrichtungen die einzelnen Stücke in der richtigen Lage zueinander zu halten sind.

5. Bei Eisenkonstruktionen sollen die Kehlnähte — entweder durchlaufend oder unterbrochen — nicht in einem Zuge geschweißt werden, sondern derart, daß die einzelnen Schweißabschnitte möglichst weit voneinander entfernt liegen, weil dadurch die Gefahr des Verziehens sehr gering wird.

6. Nach der Art des Werkstückes soll tunlichst von „innen nach außen" geschweißt werden, damit das Ende der Schweißfuge möglichst lange offen bleibt und sich frei dehnen kann.

Zur Erläuterung des Punktes 4: „zweckmäßig verteilte kurze Heftnähte", und des Punktes 5: „abschnittsweise Schweißung an möglichst weit voneinander liegenden Stellen", sei beispielsweise der Schweißvorgang bei der doppelseitigen Kehlnaht eines längeren T-Stoßes (Abb. 16) angeführt:

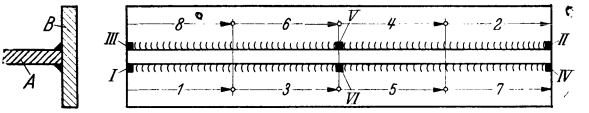


Abb. 16. Doppelseitige Kehlnaht an einem längeren T-Stoß.

Die Arbeitsweise beim T-Stoß ist ähnlich jener, die in Abschn. 24 für die abschnittsweise Schweißung langer Stumpfnähte (Abb. 116) angegeben ist. Zunächst wird der Steg A mit dem Blech B durch kurze Heftnähte in der durch die Ziffern I···VI angeführten Reihenfolge verbunden. Bei kürzeren Werkstücken heftet man nur an den beiden Stirnseiten. Nach dem Heften soll man prüfen, ob die beiden Bleche sich in der richtigen Lage zueinander befinden. Die Reihenfolge der einzelnen Schweißabschnitte ist durch die Zahlen 1 bis 8 angegeben und die Pfeile deuten die Richtung an, in welcher zu schweißen ist. Die Länge der Schweißabschnitte, die weder zu lang noch zu kurz sein sollen, hängt von der Blechstärke ab. — Im allgemeinen wird man die einzelnen Abschnitte 150···250 mm lang wählen.

Um der Verformung quer zur Schweißnaht (Abb. 12) zu begegnen, gibt es ein sehr einfaches und vielfach angewendetes Hilfsmittel. Man heftet zunächst die

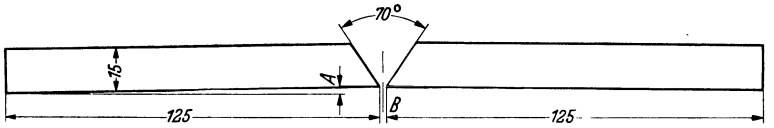


Abb. 17. Stoßnahtschweißung zweier Bleche.

beiden Bleche an zwei oder mehreren Stellen je nach der Länge derselben und biegt sie dann um jenes Maß nach außen, um welches die Bleche nach dem Schweißen nach innen schrumpfen. Die beiden Blechhälften liegen dann nach der Schweißung in einer Ebene und bedürfen keinerlei Nachrichtarbeit. Das Maß, um welches die Bleche nach außen gebogen werden müssen, ermittelt man durch Versuche. Beispielsweise beträgt bei zwei 15 mm starken Blechen (Abb. 17) deren V-Fuge in 5 Lagen (Grundraupe 3,25 mm Durchmesser, Mittel- und Deckraupe je 4 mm Durchmesser starkumhüllte Elektroden) bei waagerechter Schweißung ausgefüllt wird, das Maß $A = 2 \cdots 3$ mm. — Der Spalt B an der Nahtwurzel wird mit ungefähr 2 mm angenommen.

Bei senkrechter oder Überkopfschweißung wird in obigem Beispiel das Maß $A = 2 \cdots 3$ mm beibehalten. — Zur Mehrlagenschweißung in senkrechter oder

Überkopflage verwendet man für die Wurzelnaht 2,5 Durchmesser und für die übrigen Lagen ebenfalls 2,5 Durchmesser oder 3,25 Durchmesser starkumhüllte Elektroden.

9. Blaswirkung des Lichtbogens.

Als „Blaswirkung" wird die Beeinflussung der Richtung des Lichtbogens durch die beim Durchfließen des Stromes vom Werkstück zur Elektrode entstehenden elektromagnetischen Kraftlinien bezeichnet. Die Blaswirkung, oder wie man auch sagt: das Blasen des Lichtbogens, tritt am deutlichsten beim Schweißen mit der Schweißkohle in Erscheinung, da der Kohlelichtbogen länger gezogen werden kann und auch ruhiger als der Metallichtbogen brennt.

Die Blaswirkung des Lichtbogens kann man durch folgenden Versuch, den jeder Schweißer einmal machen sollte, einwandfrei beobachten:

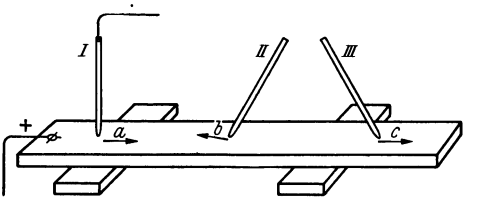


Abb. 18. Blaswirkung des Lichtbogens.

Zwecks Vermeidung störender anderer Einflüsse lege man ein Flacheisen von etwa 50 × 6 mm auf eine isolierende Unterlage, z. B. Mauerziegel, und schließe den Pluspol an das Flacheisen an (Abb. 18). Nun ziehe man den Kohlelichtbogen, Stellung I, wobei die Elektrode senkrecht zum Flacheisen zu halten ist. Hierbei wird man beobachten, daß der Lichtbogen in der Richtung *a*, also vom Stromanschluß weg, geblasen wird.

Ändert man die Haltung der Elektrode mit der Spitze schräg gegen den Stromanschluß, Stellung II, so wird der Lichtbogen in der Richtung *b* geblasen.

Wird die Elektrode schließlich mit der Spitze schräg gegen das Ende des Flacheisens gehalten, Stellung III, so wird der Lichtbogen in der Richtung *c*, also ebenfalls von der Stromanschlußstelle weg, geblasen.

Aus diesem Schweißversuch folgt mithin, daß man durch verschiedene Haltung der Elektrode gegen das Flacheisen bei unverändertem Stromanschluß und gleicher Schweißrichtung in der Lage ist, die Blaswirkung des Lichtbogens zu ändern.

Die Blaswirkung kann man sowohl bei dünnumhüllten als auch starkumhüllten Elektroden beobachten. Sie zeigt sich oftmals störend, wodurch das Legen einer einwandfreien Schweißraupe sehr erschwert wird, wie dies beispielsweise beim Schweißen senkrecht zueinander stehender Blechkanten oder beim Legen der Wurzelraupe in eine V-Fuge vorkommt. Jedenfalls hat man die Schweißung sofort zu unterbrechen, wenn durch starkes Blasen der Lichtbogen von jener Stelle, an der ein einwandfreier Einbrand erzielt werden muß, weggedrückt wird.

Das Abschwächen der störenden Blaswirkung, also das Ablenken des Lichtbogens in die gewünschte Richtung, erfordert einige Erfahrung und kann zumeist nur durch Schweißversuche festgestellt werden, wie folgt:

Zunächst ist die Elektrodenhaltung — die Neigung der Elektrode gegen das Werkstück — zu ändern, da sie in den meisten Fällen zu dem gewünschten Erfolge führt. — Weiter kann durch Heftnähte am Anfang, in der Mitte und am Ende der Naht oftmals die störende Blaswirkung abgeschwächt werden, und schließlich kommt das Verlegen des Stromanschlusses am Werkstück in Betracht. Sollten diese Maßnahmen versagen, dann versuche man, statt von „innen nach außen" in umgekehrter Richtung zu schweißen, denn manchmal beseitigt die Änderung der Schweißrichtung das störende Blasen.

Bei der Wechselstromschweißung wird der Lichtbogen viel weniger abgelenkt als bei Gleichstrom, wovon man sich durch einen einfachen Versuch unter Verwendung einer Metallelektrode überzeugen kann, während das Halten eines langen Lichtbogens mit der Kohleelektrode nicht möglich ist.

10. Schweißelektroden.

Für die Lichtbogenschweißung werden zwei Arten von Elektroden verwendet, die Kohleelektroden und die Metallelektroden.

a) Als Kohleelektroden werden sowohl Homogen- als auch Graphitkohlen verwendet. Graphitkohlen haben gegenüber Homogenkohlen den Vorteil, daß sie mit einer wesentlich höheren Stromstärke belastet werden können.

Kohleelektroden werden bei Gleichstrom an den Minuspol gelegt.

b) Metallelektroden werden hergestellt aus:

1. Flußstahl,
2. legiertem Stahl,
3. Nichteisenmetallen,
4. Gußeisen.

Hinsichtlich der Herstellungsart der Metallelektroden unterscheidet man weiter:

a) nackte Elektroden, zumeist blankhart gezogen,

b) Seelenelektroden, ebenfalls blankhart gezogen, die einen nichtmetallischen Kern besitzen, der äußerlich nicht zu erkennen ist,

c) dünnumhüllte Elektroden,

d) mittelstarkumhüllte Elektroden,

e) starkumhüllte Elektroden.

Schließlich seien noch die umwickelten Elektroden (z. B. mit Asbestschnur) erwähnt, die aber bei uns weniger Anwendung finden.

Nackte Elektroden werden für Verbindungsschweißungen nur dann verwendet, wenn keine besonderen Ansprüche hinsichtlich Dehnung und Zähigkeit gestellt werden, sowie für Auftragsschweißungen einfacher Art.

Dünnumhüllte und Seelenelektroden benutzt man für Eisenkonstruktionen, Behälter, Maschinen usw., weiter für Überkopfschweißungen und schließlich für Schweißungen mit Wechselstrom, da sie ein leichteres Halten des hier besonders unruhigen Lichtbogens ermöglichen.

Mittelstark- und starkumhüllte Elektroden kommen in Betracht für Schweißungen, bei welchen höchste Anforderungen in bezug auf Festigkeit, Dehnung und Kerbschlagzähigkeit gestellt werden, demnach für schwere Eisenkonstruktionen, Kessel- und Apparatebau, weiter für Schweißungen, die nachträglich geschmiedet und gebördelt werden, Dichtschweißungen an Behältern sowie Schweißungen dünner Bleche.

Die Elektroden aus nichtrostenden und säurefesten Stählen, sowie aus hitzebeständigen (warmfesten) Stählen, weiter die Elektroden aus Nichteisenmetallen wie:

Reinaluminium,
Aluminiumlegierungen und
Monelmetall,

sind nur als umhüllte Elektroden zu schweißen.

Elektroden aus Gußeisen werden nur für die elektrische Warmschweißung und Halbwarmschweißung verwendet.

Es soll stets nur mit trockenen und rostfreien Elektroden geschweißt werden, weshalb sowohl nackte als auch umhüllte Elektroden unbedingt trocken gelagert werden müssen.

Für die Ausführung verschiedener Schweißarbeiten sind verschiedene Elektrodensorten erforderlich, d. h. man muß je nach der Art der Schweißung und den Anforderungen, die an diese gestellt werden, die hierfür geeignete Elektrode wählen. Die richtige Wahl der Elektrode ist von ganz besonderer Wichtigkeit für die Güte einer Schweißung. Beispielsweise darf eine für verschleißfeste Auftragsschweißung bestimmte Elektrode nicht etwa für Verbindungsschweißungen genommen werden. Infolge unrichtiger Wahl der Elektroden können Fehlschläge vorkommen, die aber zu vermeiden sind, wenn der Schweißer die Anwendungsgebiete und Eigenschaften der von ihm verwendeten Elektrodenmarken laut Angaben der Elektrodenlieferfirmen kennt.

Flußstahlelektroden werden bei Gleichstrom in der Regel an den Minuspol angeschlossen. Hingegen sind die mit dem Pluspol zu schweißenden Elektroden auch richtig an den Pluspol anzuschließen, worüber die Anleitungen der Elektrodenfirmen Aufschluß geben.

11. Schweißverbindungen.

a) Man unterscheidet folgende Arten von Schweißverbindungen:

1. Die Stoßnaht (Abb. 19), bei welcher die zu verbindenden zwei Teile in einer Ebene liegen, und die Blechkanten von rund 6 mm Blechstärke aufwärts entweder in V- oder in X-Form abgeschrägt sind. Nähere Angaben hierüber siehe im Abschn. 13. Die Stoßnaht wird stets als durchlaufende Naht ausgeführt.

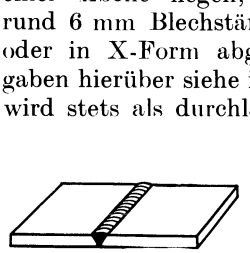


Abb. 19. Stoßnaht.

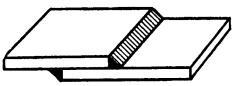


Abb. 20. Kehlnaht.

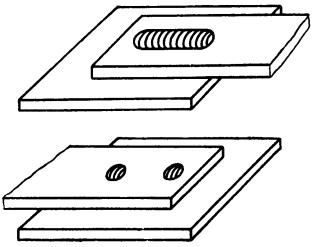


Abb. 21. Schlitznaht oder Lochnaht.

2. Die Kehlnaht (Abb. 20), die das Grundelement jeder anderen Schweißverbindung darstellt und bei welcher keine besonderen Vorarbeiten an den zu verbindenden Teilen erforderlich sind.

3. Die Schlitznaht oder Lochnaht (Abb. 21), bei der die Verbindung mit der Unterlage durch das Einschweißen von Schlitzen oder Löchern erzielt wird und wobei die Schlitze oder Löcher entweder senkrecht oder abgeschrägt zu der Unterlage hergerichtet sein können. Die Lang- oder Rundlöcher sind so groß vorzuarbeiten, daß die Kehlnahtschweißung oder die ganze Ausfüllung der Schlitze einwandfrei durchgeführt werden kann.

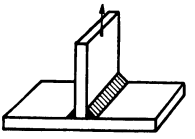


Abb. 22. Stirnnaht.

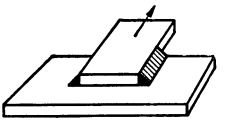


Abb. 23. Flankennaht.

b) In bezug auf die Beanspruchung der Kehlnaht unterscheidet man:

1. Die Stirnnaht (Abb. 22), bei welcher die Beanspruchung quer zur Kehlnaht erfolgt.

2. Die Flankennaht (Abb. 23), bei welcher die Beanspruchung in der Längsrichtung der Kehlnaht erfolgt.

c) Je nach der Ausführung der Schweißnaht unterscheidet man:
1. Durchlaufende Kehlnaht (Abb. 24).
2. Unterbrochene Kehlnaht (Abb. 25).

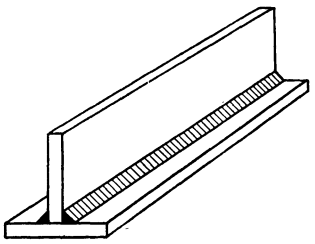


Abb. 24. Durchlaufende Kehlnaht.

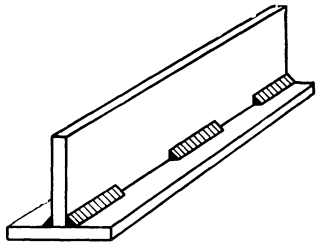


Abb. 25. Unterbrochene Kehlnaht.

Aus den Abb. 26···36 sind einige in der Praxis öfters vorkommende Schweißverbindungen zu ersehen.

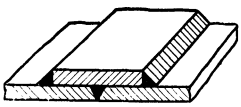


Abb. 26. Verstärkung einer Stoßnaht durch eine einseitig aufgeschweißte Lasche.

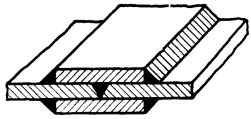


Abb. 27. Verstärkung einer Stoßnaht durch beidseitig aufgeschweißte Laschen.

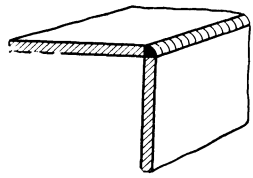


Abb. 28. Winkelstoßschweißung zweier Bleche mit außen liegender Kehlnaht.

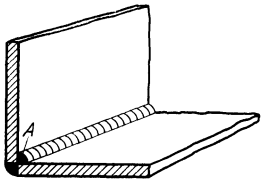


Abb. 29. Der Winkelstoß ist durch eine innen liegende Kehlnaht *A* verstärkt. Bei allen Winkelstoßschweißungen müssen die Bleche genau hergerichtet werden.

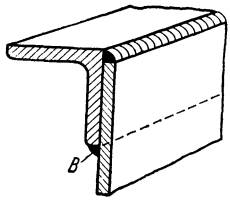


Abb. 30. Anschweißen eines Versteifungswinkeleisens an ein Blech. Die außen liegende Kehlnaht *B* kann entweder durchlaufend oder unterbrochen geschweißt werden.

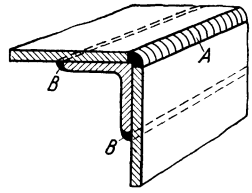


Abb. 31. Die Winkelstoßschweißung ist durch ein innen liegendes Winkeleisen verstärkt. Die beiden Kehlnähte *B* werden je nach der Art der Konstruktion entweder durchlaufend oder unterbrochen geschweißt.

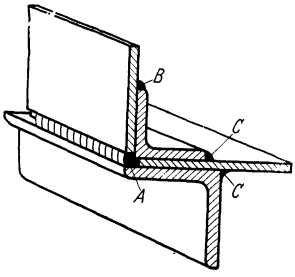


Abb. 32. Eckverbindung zweier Winkeleisen mit einer Seitenwand und einer Stirnwand durch eine Schweißnaht *A*. Die Kehlnaht *B* zwischen Winkeleisen und Stirnwand wird durchlaufend geschweißt, während die beiden Kehlnähte *C* unterbrochen sind.

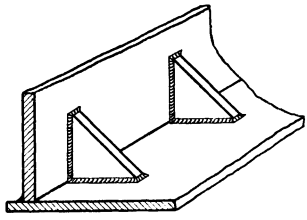


Abb. 33. Verstärkung einer Kehlnahtschweißung durch Einschweißen von Versteifungsblechen.

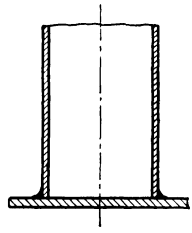


Abb. 34. Aufschweißen eines Blindflansches auf ein Rohr.

Die Abb. 37 zeigt einige Ausführungsbeispiele, bei welchen die bisherigen Verbindungen mittels Schrauben und Nieten bei Eisenkonstruktionen durch Schweißung ersetzt wurden.

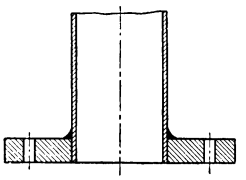


Abb. 35. Anschweißen eines Rohres an einen Flansch.

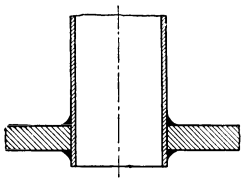
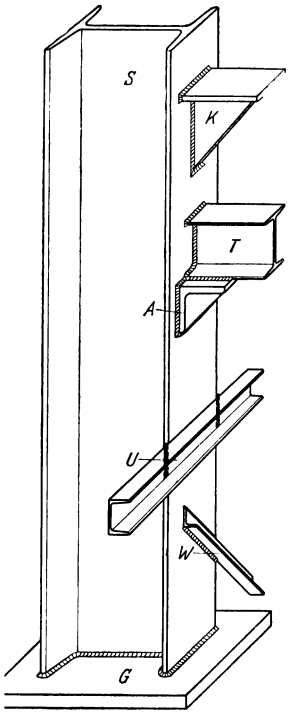


Abb. 36. Einschweißen eines Rohres in den Boden oder Mantel eines Gefäßes.



Konsole *K* für einfache Belastung am Stützträger *S*. Die Konsole wird entweder, wie nebenstehende Abbildung zeigt, aus einem Kopfblech und einem dreieckigen Stützblech geschweißt oder aus einem I-Träger herausgeschnitten. Die Kehlnaht an der Konsole ist rundherum durchlaufend zu schweißen.

I-Träger *T* am Stützträger *S* unter Verwendung des Auflagewinkels *A*. Der Auflagewinkel wird zunächst in der richtigen Lage an den beiden senkrechten und der unteren waagerechten Kante mit dem Stützträger durchlaufend verschweißt. Nach Aufsetzen des Trägers *T* werden die beiden Flanschen desselben durchlaufend und der Steg unterbrochen geschweißt.

U-Eisen-Querträger *U* am Stützträger *S*. Die beiden senkrechten Kehlnähte — gestrichelt gezeichnet — werden durchlaufend geschweißt.

Winkeleisenstrebe *W* am Stützträger *S*. Die beiden Kehlnähte am Winkeleisen werden ebenfalls durchlaufend geschweißt.

Stützträger *S* an einer Grundplatte *G* für leichte Konstruktionen. Die Kehlnaht ist sowohl an den beiden Flanschen als auch am Steg des Stützträgers durchlaufend zu schweißen.

Abb. 37. Schweißen von Eisenkonstruktionen.

12. Zündung, Haltung und Führung der Elektrode.

Die richtige Haltung und Führung der Elektrode beeinflußt die Güte und das Gelingen einer Schweißung ebenso, wie die richtige Einstellung der Stromstärke.

Die Haltung und Führung der Elektrode nach schriftlichen Anleitungen allein zu lernen, kann nicht empfohlen werden, da hierfür nur allgemeine Regeln angegeben werden können, die in der Praxis öfters Änderungen erfahren. Es sei daher an dieser Stelle ausdrücklich darauf hingewiesen, daß der Anfänger die ersten, grundlegenden Kenntnisse, die er zur Ausübung des Schweißerhandwerkes braucht, entweder durch den Besuch eines Schweißkurses oder durch Anlernen bei einem Lehrschweißer sich erwerben soll.

Aus nachstehenden Ausführungen unter a bis e sind einige der wichtigsten grundsätzlichen Richtlinien zu ersehen, die sich auf das Schweißen mit blanken oder dünnumhüllten Elektroden beziehen.

a) Auftragsschweißung. Die Auftragsschweißung in waagerechter Lage ist jene, mit der jeder angehende Schweißer seine ersten Übungen am Schweißtisch beginnt. Der Schweißer soll hierbei sitzen, möglichst den rechten Ellenbogen leicht aufstützen und Elektroden 4 mm Durchmesser verwenden, da mit dünneren Elektroden das Zünden und Halten des Lichtbogens etwas schwieriger ist.

Bei Gleichstrom erfolgt die Zündung oder, wie man auch sagt, das Ziehen des Lichtbogens in der Regel durch „Tupfen". Hierbei berührt man mit der Elektrode stoßartig das Werkstück an der zu schweißenden Stelle und zieht im nächsten Augenblick die Elektrode wieder etwas zurück, wodurch der Lichtbogen entsteht. Der Lichtbogen soll möglichst kurz gehalten werden.

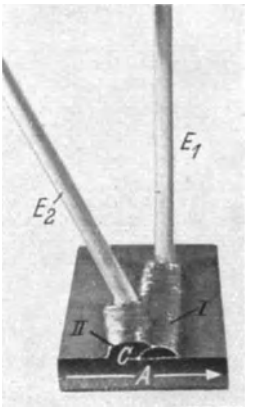


Abb. 38. Haltung der Elektrode quer zur Schweißrichtung.

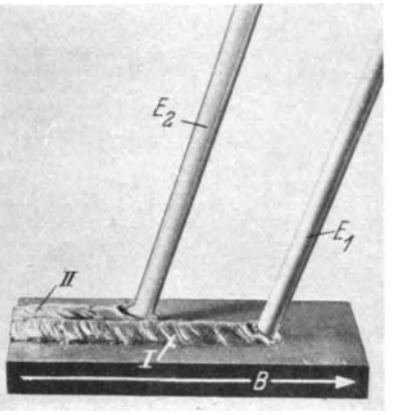


Abb. 39. Haltung der Elektrode längs der Schweißrichtung.

Bei Wechselstrom geschieht die Zündung zumeist durch „Streichen". Die Bewegung der Elektrode am Werkstück ist ähnlich jener, die man beim Anzünden eines Streichholzes ausführt.

Die Zündungsübungen sind so lange fortzusetzen, bis der Schweißer in der Lage ist, den Lichtbogen rasch und sicher an der gewünschten Stelle zu ziehen, worauf zur eigentlichen Auftragsschweißung übergegangen wird.

Die Haltung der Elektrode bei der Auftragsschweißung muß in zwei Richtungen erfolgen:

1. quer zur Schweißrichtung und
2. längs der Schweißrichtung.

Betrachten wir zunächst die Haltung der Elektrode beim Legen der ersten Raupe (*I* in Abb. 38 u. 39).

Quer zur Schweißrichtung — durch den Pfeil *A* bezeichnet — wird die Elektrode E_1 senkrecht gehalten, wie dies aus Abb. 38 ersichtlich ist. Von vorne gesehen steht die Elektrode E_1 in diesem Falle also senkrecht zum Blech. Diese Haltung der Elektrode E_1 quer zur Schweißrichtung darf während der Schweißung nicht geändert werden, damit ein genügender Einbrand erreicht wird.

Längs der Schweißrichtung — durch den Pfeil *B* bezeichnet — wird die Elektrode E_1 gegen das Blech geneigt (Abb. 39). Die Neigung soll so stark sein, daß der Lichtbogen immer auf jene Seite gerichtet ist, an der eine innige Ver-

bindung der abschmelzenden Elektrode mit dem Werkstück stattfinden muß. Wenn aber bei dieser Haltung der Elektrode der Lichtbogen dennoch stark auf die Raupe zurückbläst, dann ist die Elektrode E_1 in die entgegengesetzte Richtung zu neigen, also gegen den Anfang der Raupe zu, oder mit anderen Worten: die Neigung der Elektrode E_1 in der Schweißrichtung muß der jeweils auftretenden Blaswirkung des Lichtbogens entsprechend geändert werden.

Der angehende Schweißer soll bei den Anfangsübungen die Neigung der Elektrode entweder nach der einen oder der anderen Richtung ab und zu ändern. Auf diese Weise lernt er sehr bald nicht nur das Blasen des Lichtbogens kennen, sondern gleichzeitig auch die richtige Haltung der Elektrode in der Schweißrichtung.

Die Elektrode E_1 ist bei den ersten Schweißübungen nur geradlinig, also ohne seitliche Bewegung, zu führen. Die Raupe wird dabei ziemlich schmal ausfallen. Im Anfang soll stets von links nach rechts geschweißt werden.

Ist der Schweißer einmal so weit, daß er eine Raupe, ohne kleben zu bleiben, geradlinig legen kann, dann versucht er die erste Raupe in Zickzackführung zu schweißen. Die Abb. 40 zeigt die erste Lage einer Schweißraupe und die Zickzacklinien geben die Führung der Elektrode an, die bei dieser Schweißung angewendet wurde. Die Zickzackbewegung darf zwecks Erzielung eines gleichmäßig guten Einbrandes nicht zu rasch erfolgen.

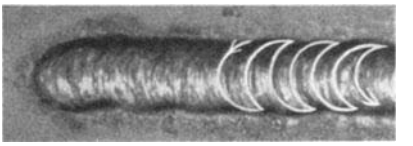


Abb. 40. Schweißraupe mit Zickzackführung.

Verfügt der Schweißer über genügende Sicherheit im Halten und Führen der Elektrode beim Schweißen der ersten Raupe, so beginnt er mit dem Schweißen der Raupe *II* (Abb. 38 u. 39). Die Haltung der Elektrode E_2 quer zur Schweißrichtung erfährt gegenüber jener der Elektrode E_1 eine Änderung insofern, als sie schräg gegen die erste Raupe gestellt wird. Die Schrägstellung hängt von der Höhe der ersten Auftragsraupe ab. Je höher die erste Raupe aufgetragen wurde, desto schräger muß die Haltung der Elektrode E_2 sein, damit auch an der Stelle C ein genügender Einbrand erreicht wird. — Im übrigen ist die schräge Haltung der Elektrode E_2 auch aus den im Abschn. 24 angegebenen Gründen erforderlich.

Hinsichtlich der Haltung der Elektrode E_2 in der Längsrichtung der Schweißraupe gelten die bereits für die Legung der ersten Raupe angegebenen Maßnahmen zur Ablenkung der Blasrichtung. — Die Führung der Elektrode E_2 erfolgt in der bereits für die Schweißung der ersten Raupe ausführlich beschriebenen Weise, also entweder geradlinig oder zickzackartig.

Bezüglich Schweißung der weiteren, anschließenden Raupen sind vorstehende Angaben sinngemäß zu beachten.

Hat der Anfänger die entsprechende Sicherheit und Fertigkeit in der Raupenlegung von links nach rechts erlangt, so sind die Übungen auf das Schweißen von rechts nach links, vom Körper weg und schließlich auf den Körper zu auszudehnen. Zur Vervollständigung der ersten Schweißversuche muß der Anfänger außerdem noch das richtige Unterbrechen und wieder Fortsetzen der Schweißung lernen. Wird die Elektrode senkrecht abgezogen, so entsteht im Endkrater — wie man diese Stelle der Raupe nennt — eine größere Vertiefung, die aber vermieden werden soll. Dies wird dadurch erreicht, daß man die Elektrode in der Schweißrichtung leicht abzieht, ungefähr so, als ob man von der Elektrodenspitze etwas abstreifen wollte. Im Anschluß an diese Übung versucht man die Elektrode nicht in der Schweißrichtung, sondern quer zu dieser in derselben

Weise, wie vor angegeben, abzuziehen. Beide Arten der Unterbrechung des Lichtbogens sind richtig. Beim Weiterschweißen zündet man den Lichtbogen kurz vor dem Endkrater auf der Schweißnaht, wodurch ein einwandfreies Verschmelzen mit der bereits gezogenen Raupe ohne sichtbare Anschlußstelle erreicht wird.

Bei diesen Schweißübungen soll der Anfänger außerdem gleich lernen, nur mit möglichst kurzem Lichtbogen zu schweißen und den Einbrand, Schmelz- und Schlackenfluß stets aufmerksam zu beobachten. Durch eine gute Beobachtung prüft sich der Schweißer selbst und kann somit, wenn etwa die eingestellte Stromstärke nicht die richtige sein sollte, sofort die Reglerstellung an der Schweißmaschine ändern, wodurch er einer fehlerhaften Arbeit vorbeugt.

Alle diese Arbeiten muß der angehende Schweißer einwandfrei ausführen können, da die Schweißverbindungen, wie Stoßnaht und Kehlnaht, sich auf den Grundregeln für die Auftragsschweißung aufbauen.

b) Stoßnaht. 1. Stoßnaht in nur einer Lage. Die Haltung der Elektrode ist die gleiche wie bei der ersten Raupe der Auftragsschweißung (Abb. 41). Die Führung der Elektrode ist geradlinig, mithin ohne seitliche Bewegung. Hierbei ist besonders darauf zu achten, daß der ganze Querschnitt der Schweißfuge gut durchgeschweißt wird, um schädliche Kerbwirkungen zu vermeiden.

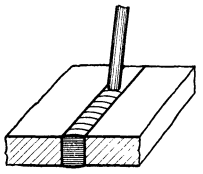


Abb. 41. Stoßnaht in nur einer Lage.

2. Stoßnaht in mehreren Lagen, z. B. Dreilagenschweißung. Das einwandfreie Legen der Grundraupe in eine V-Fuge bereitet den meisten Anfängern die größten Schwierigkeiten, die nur durch wiederholte Übungen überwunden werden können. — Beim Legen der Grundraupe (Abb. 42) ist die Haltung und geradlinige Führung dieselbe wie bei der Stoßnaht in nur einer Lage. Wichtig ist hierbei, daß die Nahtwurzel sorgfältig durchgeschweißt wird, da sonst entlang der Schweißnaht Kerben entstehen, die, wie schon wiederholt betont, die Festigkeit der Naht bedeutend verringern. Da der Abstand der Bleche in der Wurzel meist 2···3 mm beträgt (vgl. Abb. 57), so schweißt man — wenn für die zweite und dritte Lage Elektroden 4 mm Durchmesser verwendet werden — die Grundraupe mit einer Elektrode 3,25 mm Durchmesser, ohne aber die Stromstärke wesentlich herabzusetzen. Die Grundraupe wird im Vergleich zu den folgenden Schweißlagen etwas rascher gezogen. Bei der höheren Strombelastung

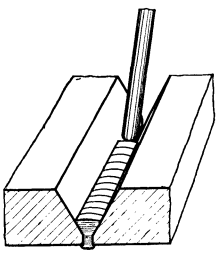


Abb. 42. Grundraupe.

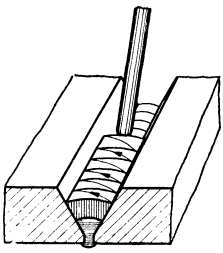


Abb. 43. Zweite Lage.

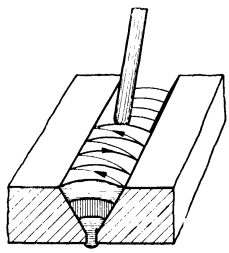


Abb. 44. Deckraupe.

wird eine dünnere Elektrode sehr bald glühend, weshalb man mit halben Elektroden schweißt. Man darf eben nicht vergessen, daß eine glühend gewordene Elektrode immer eine poröse, mithin unbrauchbare Schweiße ergibt.

Beim Schweißen der zweiten Lage (Abb. 43) ist die Haltung der Elektrode dieselbe wie bei der Grundraupe. Die Elektrode wird jedoch nicht geradlinig,

sondern zickzackartig geführt, um einen genügenden Einbrand auch an den Rändern zu erzielen, was besonders wichtig ist.

Beim Schweißen der Deckraupe (Abb. 44) ist die Haltung und Führung der Elektrode dieselbe wie bei der zweiten Lage, wobei durch die etwas langsamer auszuführende Zickzackbewegung ein guter Einbrand und ein allmählich verlaufender Übergang an den oberen Rändern der Schweißfuge erreicht werden muß. Die Naht soll nur mäßig überhöht sein.

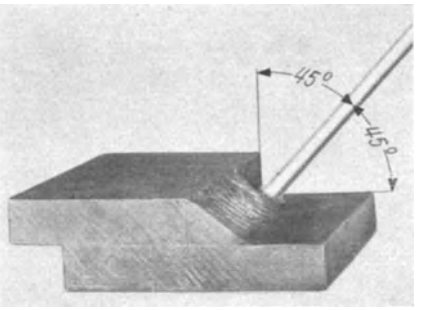
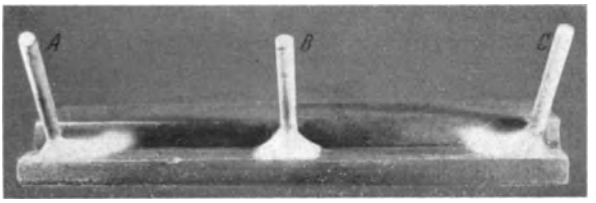


Abb. 45. Überlappter Stoß.

Wenn das Werkstück umgedreht werden kann, soll die Wurzellage nachgeschweißt werden. Ein bloßes Auflegen einer Lage auf die Wurzelseite ist falsch, weil dadurch die Güte der Naht nicht erhöht, sondern bei vorhandenen Schlackeneinschlüssen, wie sie bei Verwendung starkumhüllter Elektroden vorkommen können, vielmehr herabgesetzt wird. — Die Wurzel ist daher mit einem Meißel, wie er zum Auskreuzen von Schmiernuten an Lagerschalen Verwendung findet, auf einige Millimeter Tiefe auszukreuzen, und erst dann ist diese Mulde auszufüllen. Ein neuzeitliches Hilfsmittel zum Aus„brennen" der Nahtwurzel ist der nach Art eines Schneidbrenners gebaute „Fugenhobler".

Ist jedoch das Werkstück derart, daß das Nachschweißen auf der Wurzelseite nicht möglich ist, so ist die Wurzelraupe mit ganz besonderer Sorgfalt zu legen. — Um ganz sicher zu gehen, kann man — wenn es die Art des Werkstückes zuläßt — einen dünnen Streifen aus Eisenblech als Unterlage verwenden, der dann gleichzeitig mit dem Werkstück verschweißt wird. In einem solchen Falle wird der Abstand der Bleche an der Nahtwurzel etwas größer als sonst üblich gewählt.



A B C
Abb. 46. Blasrichtung des Lichtbogens.

c) Kehlnaht. Wie die Elektrode beim überlappten Stoß quer zur Schweißrichtung zu halten ist, zeigt die Abb. 45. Diese Haltung muß beibehalten werden, damit nicht nur an beiden Seiten der Kehlnaht, sondern auch in der Spitze der Naht ein gleichmäßig guter Einbrand erzielt wird.

In der Längsrichtung der Kehlnaht muß man die Elektrode jedoch anders halten, und zwar derart, daß durch ihre Neigung das störende Blasen des Lichtbogens abgeschwächt wird.

Zum leichteren Verständnis der richtigen Elektrodenhaltung soll der Anfänger nachstehenden Schweißversuch an einem überlappten Stoß, wie in der Abb. 46 dargestellt, machen.

Zwei Flacheisen, je etwa 50 × 10 mm und 200 mm lang, werden so auf den Schweißtisch gelegt, daß sie einen überlappten Stoß bilden. Nimmt man statt einer Metallelektrode eine Kohleelektrode (an den Minuspol anzuschließen), so ist die wechselnde Richtung des Lichtbogens am deutlichsten zu beobachten, weil

— wie schon früher erwähnt — der Kohlelichtbogen länger gezogen werden kann und auch ruhiger brennt.

Bei *A* tritt ein sehr starkes Blasen des Lichtbogens vom Ende des überlappten Stoßes gegen die Mitte zu auf. Je mehr man sich von *A* gegen *B* nähert, desto schwächer wird die Blaswirkung, die in der Mitte bei *B* sich nicht mehr zeigt. Von *B* aus gegen *C* tritt das Blasen wieder in verstärktem Maße auf, und zwar diesmal von *C* in der Richtung nach der Mitte *B*. Gegen das Ende der Kehlnaht zu wird der Lichtbogen immer unruhiger, er beginnt außerordentlich stark zu flackern.

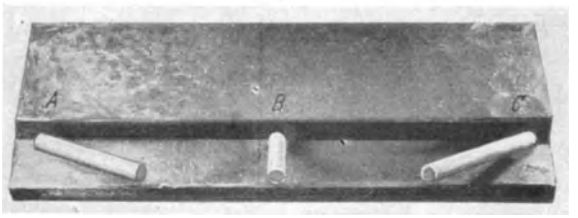


Abb. 47. Haltung der Elektrode zur Vermeidung des Blasens.

Wie aus vorstehendem Versuch ersichtlich, bläst der Lichtbogen von beiden Enden des Stoßes gegen die Mitte zu.

Damit der Lichtbogen stets auf jene Stelle gerichtet ist, an der eine gute Verschmelzung erzielt werden muß, ist der wechselnden Blaswirkung durch die in der Abb. 47 ersichtliche Haltung der Elektrode in der Schweißrichtung wie folgt Rechnung zu tragen:

1. Zur Erzielung eines genügenden Einbrandes gleich am Anfang der Kehlnaht bei *A* muß die Elektrode sehr stark in der Schweißrichtung — also gegen die Mitte zu — geneigt werden. Die Neigung soll so stark sein, daß der Lichtbogen beim Zünden um die Kante des Stoßes herumschlägt.
2. Die anfangs sehr starke Neigung der Elektrode geht dann allmählich in die senkrechte Haltung bei *B* über, da in der Mitte eine störende Blaswirkung sich nicht mehr bemerkbar macht.
3. Wird gegen das Ende der Naht *C* weitergeschweißt, dann muß die Elektrode wieder nach innen — mithin in der Richtung nach *B* — geneigt werden.

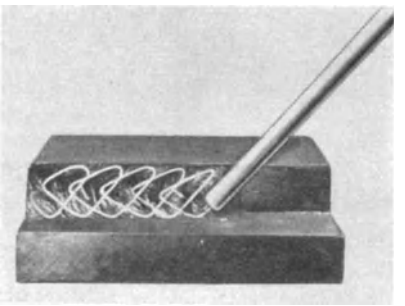


Abb. 48. Dreieckartige Führung der Elektrode.

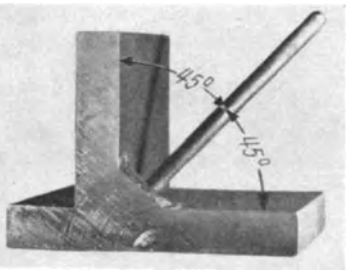


Abb. 49. T-Stoß.

Bei den verschiedenen Neigungen der Elektrode muß jedoch die Elektrodenhaltung quer zur Schweißrichtung — wie aus der umstehenden Abb. 45 ersichtlich — stets beibehalten werden.

Man führt die Elektrode bei leichten Kehlnähten geradlinig. Bei vollen Kehlnähten in nur einer Lage erfolgt die Führung zumeist dreieckartig, wie dies durch die Linien in Abb. 48 angedeutet ist.

Auf Grund vorstehender Regeln für das Schweißen des überlappten Stoßes wird der Anfänger den bei Eisenkonstruktionen so vielfach angewendeten T-Stoß

(Abb. 49) ohne weiteres schweißen können, da hierfür grundsätzlich die gleichen Richtlinien gelten. Dabei muß die richtige Haltung der Elektrode quer zur Schweißrichtung aus bereits bekannten Gründen beibehalten werden. In der Längsrichtung der Kehlnaht hingegen muß das von beiden Enden der Kehle auch beim T-Stoß auftretende starke Blasen des Lichtbogens gegen die Mitte zu durch entsprechende Neigung der Elektrode berücksichtigt werden, wie dies durch den Schweißversuch am überlappten Stoß ausführlich beschrieben wurde. Die Führung der Elektrode bei leichten Kehlnähten — geradlinig — oder bei vollen Kehlnähten in einer Lage — dreieckartig — ist ebenfalls dieselbe wie beim überlappten Stoß.

d) Senkrechtschweißung. Bei starken Blechen schweißt man Kehl- und Stoßnähte stets von unten nach oben. Schwächere Bleche werden jedoch von oben nach unten geschweißt. Bezüglich der Haltung der Elektrode, sowohl quer zur Schweißrichtung als auch längs der Schweißrichtung, gelten die für die Kehlnaht unter *c* angegebenen, allgemeinen Richtlinien, die für die Senkrechtschweißung sinngemäß anzuwenden sind.

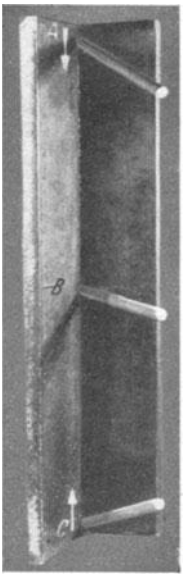


Abb. 50. Haltung der Elektrode bei Senkrechtschweißung.

Wie aus der Abb. 50 ersichtlich, muß man demnach durch entsprechende Neigung der Elektrode längs der Schweißrichtung das von *A* und *C* nach der Mitte *B* zu auftretende

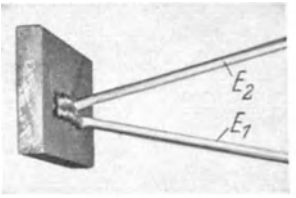


Abb. 51. Querhaltung.

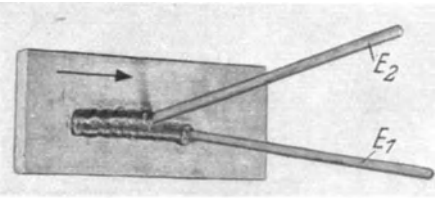


Abb. 52. Längshaltung.

Blasen des Lichtbogens abschwächen, um dadurch nicht nur am Anfang, sondern auch am Ende der Naht einen guten Einbrand zu erzielen.

Die Auftragsschweißung an senkrechter Wand ist aus den beiden Abb. 51 und 52 zu ersehen: Abb. 51 zeigt die Haltung der Elektrode E_1 — erste Raupe — und E_2 — zweite Raupe — quer zur Schweißrichtung, und Abb. 52 die Elektrodenhaltung längs der Schweißrichtung.

Abb. 53.
Querhaltung über Kopf.

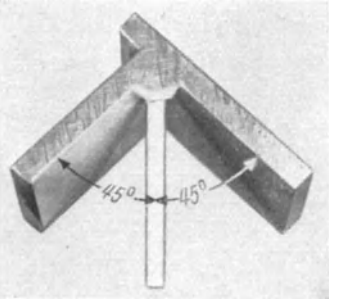


Abb. 54.
Querhaltung über Kopf.

e) Überkopfschweißung. Je nach der Lage des T-Stoßes ist die Elektrode quer zur Schweißrichtung entweder nach Abb. 53 oder nach Abb. 54 zu halten. Beim Schweißen von Stoßnähten kommt die Elektrodenhaltung nach Abb. 41 in Betracht.

Längs der Schweißrichtung ist die Elektrode stets so zu halten, daß durch ihre Neigung die nach der Mitte der Naht zu auftretende Blaswirkung abgeschwächt wird. Die für die Kehlnaht unter *c* gemachten ausführlichen Angaben hinsichtlich der Ablenkung des Lichtbogens in die gewünschte Richtung sind demnach auch bei der Überkopfschweißung zu beachten.

Bei der Überkopf-Auftragsschweißung ist die Haltung der Elektroden E_1 — erste Raupe — und E_2 — zweite Raupe — quer zur Schweißrichtung aus der Abb. 55 und längs der Schweißrichtung aus Abb. 56 ersichtlich.

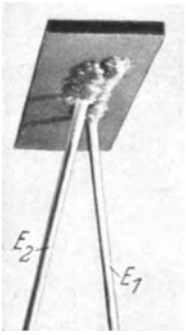


Abb. 55. Querhaltung über Kopf.

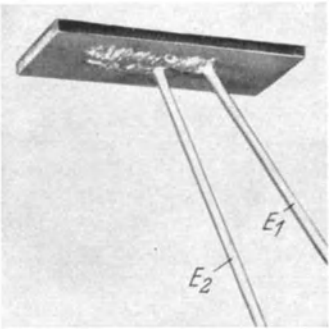


Abb. 56. Längshaltung über Kopf.

Erfordert schon die Senkrechtschweißung eine gewisse Fertigkeit, so ist diese bei der Überkopfschweißung in viel größerem Maße erforderlich.

Der Lichtbogen ist bei allen Überkopfschweißungen, gleichgültig, ob es sich um eine Kehlnaht-, Stoßnaht- oder Auftragsschweißung handelt, immer möglichst kurz zu halten.

Wichtig ist es auch, daß der Schweißer beim Überkopfschweißen nach Tunlichkeit eine bequeme Stellung einnimmt. Er soll — wo immer es angeht — hierbei sitzen und den Arm nicht frei halten, sondern aufstützen, da er sonst in kurzer Zeit ermüdet.

Es gibt verschiedene Arten der Elektrodenführung. Für die erste Raupe ist die geradlinige und für die folgenden Raupen die zickzackartige Führung, die aber sehr gleichmäßig sein muß, zu empfehlen. Diese Führungsarten sind einfach und haben sich in der Praxis bewährt.

Haltung und Führung starkumhüllter Elektroden.

f) Mehrlagenschweißung einer Stoßnaht in waagerechter Lage. Beim Legen der Grundraupe drückt man die Elektrode so weit in die V-Fuge (vgl. Abb. 42), daß die Umhüllung beide Schrägkanten fast berührt, wodurch bei sonst richtiger Haltung und Neigung der Elektrode in der Längsrichtung das Vorlaufen der Schlacke und somit die Bildung von Einschlüssen verhindert wird. Die Elektrode wird geradlinig geführt.

Der Anfänger soll fleißig Übungen — möglichst unter Anleitung — im Legen der Grundraupe an Blechabfällen durchführen und erst nach Erlangung genügender Sicherheit im einwandfreien Schweißen der Wurzellage an die Werkstücke herangehen.

Gegenüber dem Schweißen mit dünnumhüllten Elektroden werden die einzelnen Lagen mit starkumhüllten Elektroden stets dünner aufgetragen, so daß ihre Anzahl eine Erhöhung erfährt. Die Führung der Elektrode ist hierbei meist zickzackartig, wobei auf einen guten Einbrand an den Rändern der Schweißfuge zu achten ist.

Die Deckraupe soll nur wenig überhöht sein. Hinsichtlich Nachschweißung der Grundraupe von der Wurzelseite aus gelten die bereits unter b gemachten Angaben.

g) Kehlnahtschweißung eines T-Stoßes. Diese überaus häufig vorkommende Schweißung wird zumeist als Einlagenschweißung ausgeführt. Ganz besonders

wichtig ist, daß durch richtige Haltung und Neigung der Elektrode in der Längsrichtung der Naht (vgl. Abb. 49) das Vorlaufen der Schlacke verhindert und somit in der Spitze der Naht eine einwandfreie Verschmelzung erzielt wird. Bei Mehrlagenschweißung wird die Elektrode ebenfalls geradlinig geführt, also ohne seitliche Bewegung oder dreieckartige Führung.

h) Schweißung einer Stoß- und Kehlnaht in senkrechter Lage. Die Schweißung kann von oben nach unten oder von unten nach oben ausgeführt werden.

Die Haltung der Elektrode entspricht in beiden Fällen der Stellung *B* in Abb. 50, wobei der Lichtbogen so kurz wie möglich zu halten ist. Schweißt man von oben nach unten, so muß die Elektrode ziemlich rasch gezogen werden.

Die Schweißung von unten nach oben hat den Vorteil einer sehr guten Verschmelzung in der Nahtwurzel. Hinsichtlich der Führung gibt es verschiedene Arten. Die nachstehend angegebene Führung der Elektrode von unten nach oben ist einfach und gewährleistet einen einwandfreien Wurzeleinbrand.

Man führt die Elektrode bei der Grundraupe nur geradlinig ein kleines Stück ziemlich rasch nach aufwärts und dann wieder etwas langsamer nach abwärts, d. h. die Führung besteht in einer stetigen durch kurze Entfernungen begrenzten Auf- und Abwärtsbewegung der Elektrode. Die weiteren Lagen schweißt man bei Einhaltung eines möglichst kurzen Lichtbogens ebenfalls von unten nach oben. Die Führung der Elektrode ist hierbei zickzackartig, wobei an den beiden Schrägkanten die Bewegung zwecks Erreichung eines guten Einbrandes etwas verlangsamt wird. Die Haltung der Elektrode muß so sein, daß die leichtflüssige Schlacke sich auf das aufgetragene Material legt.

Der Aufbau der Naht in senkrechter Lage ist gar nicht so schwierig, vorausgesetzt, daß die Grundraupe einwandfrei geschweißt wurde.

Kann die Grundraupe bei einer Stoßnaht von der Wurzelseite aus nachgeschweißt werden, so sind die unter b angeführten Angaben zu beachten.

i) Überkopfschweißung einer Stoß- und Kehlnaht. Die Überkopfschweißung stellt an den Schweißer die höchsten Anforderungen hinsichtlich Fertigkeit insbesonders bei der Stoßnaht. Die Haltung der Elektrode ist aus den Abb. 53 u. 54 ersichtlich. Die Führung der Elektrode ist geradlinig, mithin ohne seitliche Bewegung. Zur Erzielung guter Ergebnisse muß der Lichtbogen möglichst kurz und gleichmäßig gehalten werden.

13. Flußstahlschweißung.

Die zu schweißenden Werkstücke müssen sehr sorgfältig vorbereitet werden. Diese Arbeiten umfassen das Herrichten der Schweißfugen, Zusammenpassen der einzelnen Teile und schließlich das Heften oder Einspannen in geeignete Vorrichtungen.

Rost- und Ölrückstände, Zunder, auch vom autogenen Schnitt herrührender, sowie sonstige Verunreinigungen — insbesondere Miniumanstriche — sind vor dem Schweißen gründlich zu entfernen, eine Vorbereitungsarbeit, die äußerst wichtig ist und von keinem Schweißer übersehen werden soll.

Bei Blechen bis rund 6 mm Stärke ist eine Abschrägung der Kanten nicht erforderlich. Die Stoßschweißung der Bleche wird bei einem Abstand von 1···3 mm voneinander durchgeführt.

Bei Blechen von rund 6 mm Stärke aufwärts bis 20 mm muß die Schweißfuge in V-Form und — wenn ein beiderseitiges Schweißen des Werkstückes möglich ist — in X-Form durch Abschrägen der Blechkanten vorbereitet werden, wie dies in Skizzen (Abb. 57) angegeben ist.

Die in Millimetern angegebene Breite der Schweißfuge, die entweder durch autogenen Schnitt, Auskreuzen oder Hobeln hergestellt wird, entspricht bei allen vorgenannten 6 Blechstärken einem Winkel von 70 Grad.

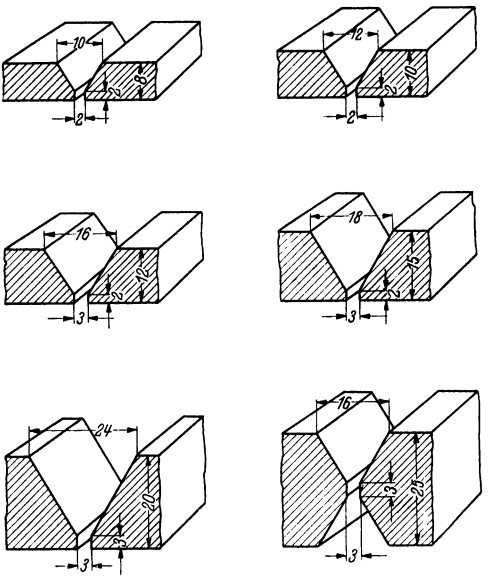


Abb. 57. Abschrägen der Blechkanten.

Dünne Bleche müssen ganz besonders gut passend zugerichtet sein. Unter die Schweißfuge legt man am besten einen Kupferstreifen, damit die Bleche nicht so leicht durchgebrannt werden.

Bleche von 6 mm Stärke aufwärts werden zweckmäßigerweise in zwei oder mehr Lagen geschweißt.

Die Reihenfolge der Schweißraupen bei Mehrlagenschweißung ist aus der Abb. 58 zu ersehen, wobei die erste Lage — also die Grundraupe — zwecks gründlicher Durchschweißung an der Nahtwurzel mit einer dünneren Elektrode und die folgenden Lagen mit einer stärkeren Elektrode geschweißt werden (siehe auch Abschn. 12b).

Bei Waagerechtschweißungen ist stets der „Nachrechtsschweißung", also von links nach rechts, der Vorzug zu geben.

Die Abb. 59 zeigt die Stoßschweißung zweier 12 mm starker Bleche in drei Lagen, die mit einer dünnumhüllten Elektrode ausgeführt wurde.

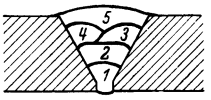


Abb. 58.
Lage der Raupen.

Bei Verwendung von starkumhüllten Elektroden (Mantelelektroden), bei welchen die Schweißraupe durch eine dicke Schlackenschicht vor allzu raschem Abkühlen geschützt wird, darf die Schlacke erst nach natürlichem Erkalten der Schweißnaht entfernt werden.

Aus der Abb. 60 ist eine Stoßnahtschweißung in waagerechter Lage zweier 12 mm starker Bleche in drei Lagen ersichtlich, die mit einer starkumhüllten Elektrode durchgeführt wurde. Die Deckraupe zeigt eine gleichmäßige Oberfläche und einen allmählich verlaufenden Übergang an den Kanten der Schweißfuge.

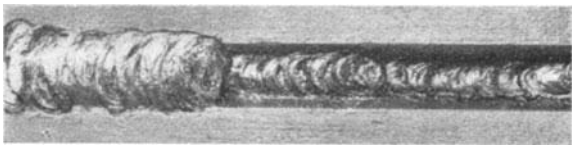


Abb. 59. Stoßschweißung, 12 mm, in drei Lagen mit dünnumhüllter Elektrode.

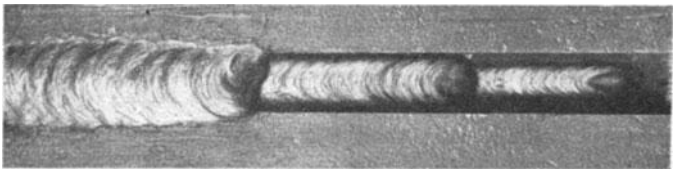


Abb. 60. Wie Abb. 59, aber mit starkumhüllter Elektrode.

Mit Rücksicht auf die größere Wärmezufuhr bei Verwendung starkumhüllter Elektroden ist darauf zu achten, daß man sofort eine Schweißpause eintreten läßt, sobald das Werkstück beginnt, dunkelrotwarm zu werden.

Der Schweißer darf nicht übersehen, jedesmal vor dem Auflegen der folgenden Schweißraupen die Schlacke mit Spitzhammer und Drahtbürste gründlich zu entfernen. Der Anfänger soll sich bemühen, Raupen mit möglichst glatter Oberfläche zu legen. Je mehr Unebenheiten die Oberfläche einer Raupe aufweist, desto schwieriger und zeitraubender ist die Schlacke zu entfernen. In Einbrandkerben haftet die Schlacke besonders fest. Die Entfernung der Metallspritzer an den Schrägkanten der Schweißfuge ist ebenfalls äußerst wichtig. Die Elektroden weisen mehr oder weniger Spritzverluste, die nicht zu vermeiden sind, auf. Kommen diese aus verbranntem Eisen bestehenden Metallspritzer in die Schweiße, verschlechtern sie das Gefüge. Deshalb sind die Spritzer restlos zu entfernen.

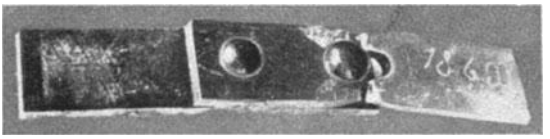


Abb. 61. Zugversuch mit einer Nietverbindung.

Die Mehrlagenschweißung hat gegenüber der Schweißung in nur einer Lage den Vorteil, daß durch die oberen Lagen ein Nachglühen der unteren Schweißraupen erfolgt, wobei eine Vergütung der Schweißnaht eintritt. Schrumpfspannungen treten bei der Mehrlagenschweißung in geringerem Maße auf als beim Schweißen einer Lage; ihre Bedeutung wurde bereits im Abschn. 8 behandelt.

Abb. 62. Zugversuch mit einer Schweißverbindung.

Eine fachgemäß ausgeführte Stoßnahtschweißung unter Verwendung zweckentsprechender Elektroden ist der Nietung sowohl hinsichtlich Festigkeit als auch durch wesentliche Ersparnisse an Werkstoff und Arbeitszeit weit überlegen. Die in Abb. 61 dargestellte Nietverbindung, Blechstärke 60 × 10 mm, ist bereits bei einer Zugbeanspruchung von 18600 kg gerissen. Dagegen wurde die Stoßschweißung Abb. 62, die denselben Werkstoffquerschnitt 60 × 10 mm aufweist, mit 21700 kg belastet, mithin um 3100 kg mehr als die Nietverbindung, wobei die Schweißstelle nicht zerrissen werden konnte. Die beiderseits der Naht hervorgerufene Einschnürung der Bleche ist deutlich zu erkennen.

Bei der Schweißung des T-Stoßes sind im allgemeinen keine besonderen Vorarbeiten erforderlich, wohl aber ist darauf zu achten, daß die Bleche gut aufliegen. Die Abb. 63 zeigt die doppelseitige Kehlnahtschweißung eines T-Stoßes aus 12 mm starken Blechen, die mit einer starkumhüllten Elektrode ausgeführt wurde.

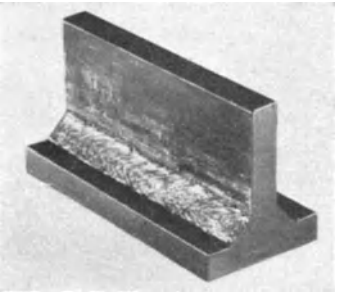


Abb. 63.
Doppelseitige Kehlnahtschweißung.

Kehlnähte müssen zumeist so geschweißt werden, daß das eine Blech senkrecht steht. Wenn angängig, bringt man das Werkstück in eine solche Lage, daß die beiden Schenkel des Stoßes unter 45° liegen, wodurch das Schweißen für den Anfänger wesentlich erleichtert wird.

Die Einlagenschweißung des T-Stoßes ist wohl die am häufigsten vorkommende Ausführungsart (siehe auch Abb. 49).

Bei stärkeren Blechen wird die Mehrlagenschweißung angewandt. Die Reihen-

folge der einzelnen Lagen bei einer Dreilagenschweißung ist aus der Abb. 64 ersichtlich.

Sowohl die Wurzellage *1* als auch die beiden Decklagen *2* und *3* wurden mit einer starkumhüllten Elektrode 4 mm Durchmesser geschweißt. Bei sachgemäßer Ausführung soll die Dreilagennaht die Form eines gleichschenkeligen Dreieckes haben. Aus der Abb. 65, die den Aufbau einer an 13 mm starken Blechen ausgeführten Dreilagennaht veranschaulicht, sind die einzelnen Lagen deutlich zu erkennen.

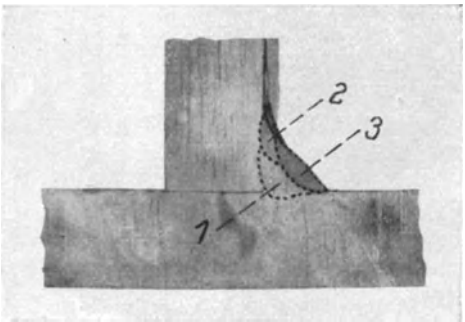


Abb. 64. Reihenfolge der Lagen bei der Dreilagenschweißung.

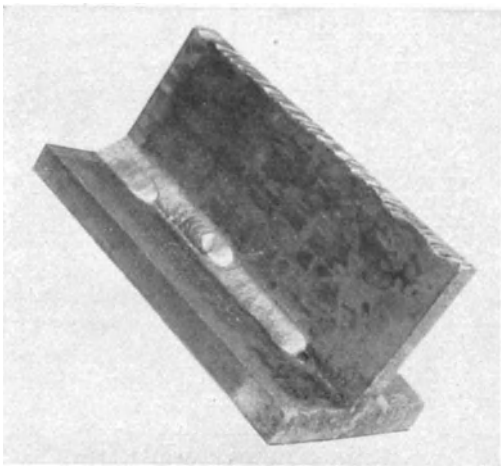


Abb. 65. Kehlnahtschweißung in drei Lagen.

Wenn Bleche, deren Stärke nicht gleich ist, geschweißt werden, so ist der Lichtbogen stets mehr auf das stärkere Blech zu richten, da dieses zur Erzielung einer guten Verschmelzung eine größere Wärmemenge erfordert.

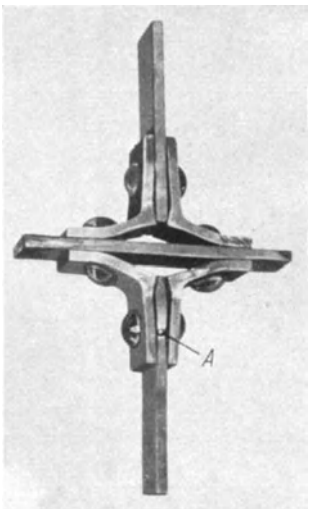


Abb. 66. Verformte Nietverbindung. *A* = Riß.

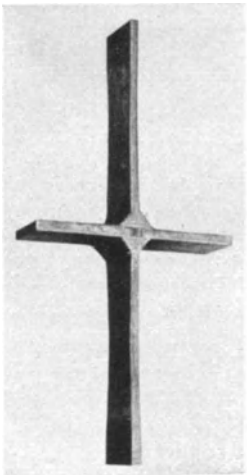


Abb. 67. Schweißverbindung.

Ein weiteres Beispiel, welches die bedeutenden Vorteile und die Einfachheit der Schweißverbindung gegenüber der Nietung veranschaulicht, ist aus den Abb. 66 u. 67 zu ersehen.

Die Nietverbindung (Abb. 66) wurde bei einer Zugbeanspruchung von 17500 kg nicht nur sehr stark verformt, sondern ist an der Stelle *A* gerissen. Die Schweißverbindung (Abb. 67) hingegen konnte bei einer um 3700 kg höheren Belastung von 21200 kg nicht zerstört werden. Bei beiden Kreuzstoßverbindungen betrug der Werkstoffquerschnitt 60 × 10 mm².

Kommen bei der Schweißung in senkrechter Lage nur dünne Nähte in Frage,

so ist es zweckmäßig, von oben nach unten zu schweißen. Die Abb. 68 zeigt die Schweißung einer Kehlnaht in drei Lagen an 10 mm starken Blechen. Die Wurzellage *1* sowie die übrigen beiden Lagen *2* und *3* wurden mit 2,5 mm Durchmesser starkumhüllten Elektroden und einer Stromstärke von 120 Ampere geschweißt. Wie aus der Abb. 69 ersichtlich, ist die Naht ziemlich breit, aber trotzdem sehr gleichmäßig. Weiters hat die Naht, wie der Schnitt durch die Schweißung zeigt (Abb. 69), die Form einer leichten Hohlkehle mit einem allmählich verlaufenden Übergang zu den Blechen.

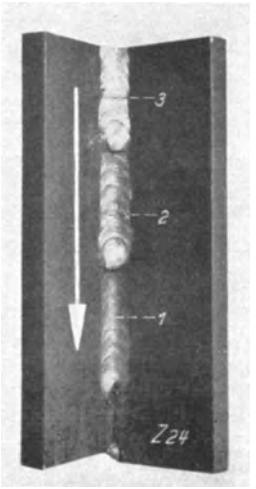


Abb. 68. Kehlnahtschweißung in senkrechter Lage von oben nach unten.

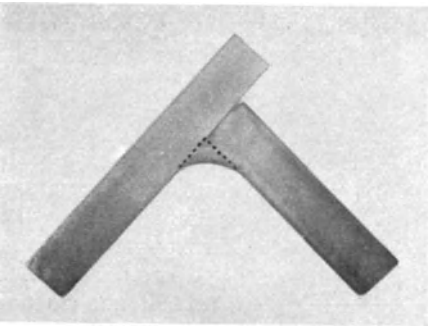


Abb. 69. Schnitt durch die Kehlnaht der Abb. 68.

Bei starken Blechen schweißt man Stoß- und Kehlnähte von unten nach oben. Den Aufbau einer Eckkehlnaht eines Winkelstoßes an 14 mm starken Blechen in 3 Lagen veranschaulicht die Abb. 70. Die Wurzellage *1* und die Lage *3* wurden mit 2,5 mm Durchmesser und die Lage *2* mit 3,25 mm Durchmesser starkumhüllten Elektroden geschweißt. Die Stromstärke betrug bei der 1. und 3. Lage 80 Ampere und bei der 2. Lage 105···110 Ampere.

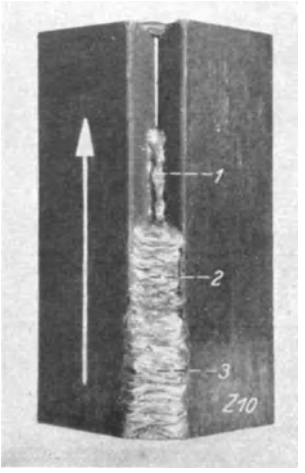


Abb. 70. Aufbau einer Ecknaht von unten nach oben.

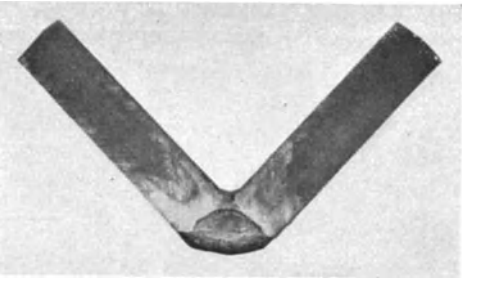


Abb. 71. Schnitt durch die Ecknaht der Abb. 70.

Im Gegensatz zur Schweißung von oben nach unten, bei welcher der größte Teil der Schlacke dauernd nach unten tropft, legt sich bei der Schweißung von unten nach oben die Schlacke auf die Naht. Die Form der Naht ist, wie die Abb. 71 zeigt, nach außen gewölbt, was bei Ecknähten sehr erwünscht ist. Sie ist aber nicht so glatt wie bei der Schweißung von oben nach unten.

Überall dort, wo es sich um hoch beanspruchte Nähte handelt und von unten nach oben geschweißt wird, ist es vorteilhaft, die oberste Lage von oben nach unten zu legen, wodurch eine glatte Oberfläche der Naht mit einem gut verlaufenden Übergang zu den Blechen entsteht. Eine Mehrlagenschweißung einer Kehlnaht in vorstehender Ausführungsart veranschaulicht die Abb. 72. Der untere Teil „*A*" zeigt die charakteristischen Merkmale der Nahtoberfläche bei der Schweißung von unten nach oben. Bei dem Teil „*B*" wurde die oberste Lage von oben nach unten geschweißt.

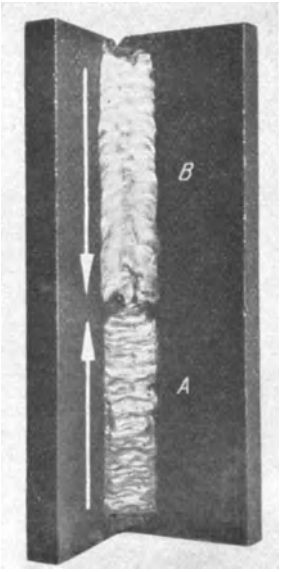


Abb. 72. Kehlnahtschweißung von unten nach oben mit oberster Lage von oben nach unten.

Wie bereits im Abschnitt 12h erwähnt, ist das Schweißen in senkrechter Lage, das in der Praxis so häufig vorkommt, gar nicht so schwierig, weshalb abschließend die wichtigsten Maßnahmen noch einmal kurz angeführt seien:

dünne Nähte: von oben nach unten — Stromstärke höher als bei waagerechter Schweißung;

starke Nähte: von unten nach oben — Stromstärke geringer als bei waagerechter Schweißung — eventuell oberste Lage von oben nach unten.

Für beide Ausführungsarten:

Haltung der Elektrode: sowohl bei der Wurzellage als auch bei den übrigen Lagen senkrecht zur Naht.

Führung der Elektrode: bei der Wurzellage geradlinig und bei den übrigen Lagen zickzackartig.

Lichtbogen stets so kurz wie möglich halten und schließlich nur solche Elektroden verwenden, die für derartige Schweißungen geeignet sind.

Werden diese Maßnahmen nicht beachtet, dann wird vor allem kein einwandfreier Wurzeleinbrand erzielt und außerdem besteht die Gefahr der Schlackeneinschlüsse, wodurch eine solche Naht unbrauchbar wird.

Für den Überlappungsstoß Abb. 73 gibt die Tabelle 2 Anhaltswerte hinsichtlich der Breite der Überlappung. Jedenfalls soll man die Überlappung nicht breiter wählen als nötig ist, da sonst zuviel Werkstoff verbraucht wird.

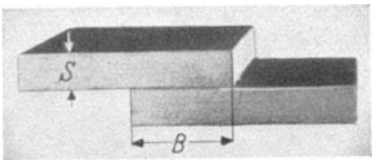


Abb. 73. Überlappung.

Tabelle 2.

Blechstärke *S* in mm	Überlappung *B* in mm
5···10	20···30
10···15	30···50
15···20	50···70

Vor dem Verschweißen von Rissen sind die Schweißfugen entsprechend auszukreuzen, und zwar so tief, bis der Span sich nicht mehr teilt. Risse, die man mit freiem Auge nicht wahrnehmen kann, nennt man Haarrisse. Der Verlauf solcher Haarrisse läßt sich in einfacher Weise wie folgt feststellen:

Zunächst werden Unreinigkeiten im Bereiche der mutmaßlichen Risse mit Schaber, Bürste usw. entfernt. Sodann trägt man reichlich Petroleum auf und läßt dieses einige Zeit in die Risse eindringen, worauf das überschüssige Petroleum wieder sauber abgewischt wird. Nun wird eine Mischung aus Schlämmkreide

und Brennspiritus angerührt und dieser nicht zu dicke Brei aufgestrichen. Der Brennspiritus verdunstet ziemlich rasch, die Schlämmkreide trocknet ein und saugt das in den Haarriß eingedrungene Petroleum auf, wodurch der Verlauf des Risses in Form eines fettigen Streifens deutlich zum Vorschein kommt.

Bei einzuschweißenden oder überlappt aufzuschweißenden Flicken dürfen die Ecken niemals scharf sein, sondern müssen stets gut abgerundet werden.

Sind an einem Werkstück Schäden, wie Risse, Brüche vorhanden, deren Ursache in der Ermüdung des Werkstoffes liegt, so führt eine Schweißung zu keinem Erfolge, da — obwohl der geschweißte Riß oder Bruch hält — neue Schäden schon nach kurzer Zeit an anderen Stellen auftreten.

Aufgerissene Heftnähte dürfen nicht überschweißt werden, sondern sind vorher zu entfernen, weil der vorhandene Anriß im Grunde der Schweiße weitergeht und früher oder später zum offenen Riß führt.

Auf einem warmen Werkstück ist der Lichtbogen viel ruhiger zu halten und ein besserer Fluß zu beobachten als auf einem kalten Werkstück.

14. Stahlgußschweißung.

Für die Schweißung von gewöhnlichem, kohlenstoffhaltigem Stahlguß gelten sinngemäß die für die Flußstahlschweißung angegebenen Anleitungen. Bei Beachtung dieser Maßnahmen ist Stahlguß ohne weiteres schweißbar und bereitet keine Schwierigkeiten.

In den meisten Fällen handelt es sich um das Ausfüllen von Lunkerstellen oder die Schweißung von Rissen an Gußkörpern verschiedenster Art. Da Lunkerstellen zumeist durch Schlacke stark verunreinigt sind, so ist es unbedingt erforderlich, diese durch Auskreuzen restlos zu entfernen. Eine Unterlassung dieser Vorarbeit kann das Gelingen einer Schweißung in Frage stellen. Bei der Schweißung von Rissen erstrecken sich die Vorarbeiten auf die Herrichtung der Schweißfugen, wie bei der Flußstahlschweißung bereits angegeben (siehe Abb. 57). Eine Verbindungsschweißung zwischen Stahlguß und Flußstahl kann ebenfalls in einwandfreier Weise ausgeführt werden. Für einfache Instandsetzungsarbeiten, wie das Ausfüllen von Lunkern, verwendet man dünnumhüllte Elektroden. Bei Schweißungen, die den Anforderungen größerer Festigkeit entsprechen müssen, nimmt man starkumhüllte Elektroden.

15. Auftragsschweißung.

Die Auftragsschweißung mit dem Lichtbogen ist ein Verfahren, welches außerordentliche Vorteile bietet. Durch geringen Material- und Zeitaufwand ist es möglich, Werkstücke, die durch Abnützung unbrauchbar geworden sind, wieder verwendungsfähig zu machen. — Man unterscheidet bei Auftragsschweißungen

a) solche, die gewöhnlichen Beanspruchungen unterworfen sind und

b) solche, bei denen eine hohe Verschleißfestigkeit gefordert wird.

Je nach dem Verwendungszweck des Werkstückes hat man für die Auftragsschweißung die hierzu geeigneten Elektroden zu wählen.

a) Für Auftragsschweißungen, bei welchen keine besonderen Anforderungen hinsichtlich Verschleißfestigkeit gestellt werden, vielmehr eine leichte Bearbeitung der Schweiße in Frage kommt, verwendet man Flußstahlelektroden üblicher Zusammensetzung, z. B. bei der Auftragung von neuem Werkstoff an abgenutzten Stellen, eine Arbeit, die in jedem Betriebe öfters vorkommt.

Bei der Ausbesserung von Wellen ist die in der Abb. 74 angegebene Reihenfolge der Schweißraupen einzuhalten, wobei die einzelnen Schweißlagen nicht zu

hoch aufgetragen werden dürfen, um eine übermäßige Erwärmung des Werkstückes zu vermeiden. Die Schweißraupen müssen glatt und mit Rücksicht auf die nachherige Bearbeitung — Abdrehen, Abhobeln, Abschleifen — gleichmäßig hoch und gut anschließend an die vorhergehenden Raupen aufgetragen werden. Vor Auftragen der zweiten Schweißlage ist die Schlacke sorgfältig zu entfernen.

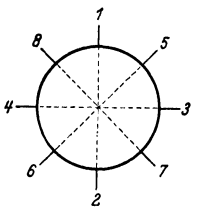


Abb. 74. Reihenfolge der Raupen beim Auftragsschweißen an Wellen.

Zur Ausfüllung von Rostgruben (Korrosionen) bei Dampfkesseln u. dgl. wird die Auftragsschweißung in bedeutendem Umfange angewendet. Derartige Schweißungen dürfen aber nur von solchen Schweißern ausgeführt werden, die die vorgeschriebenen Prüfungen als Kesselschweißer mit Erfolg abgelegt haben (vgl. Abschn. 23).

b) Für Auftragsschweißungen an Werkstücken, die einer überaus starken Abnützung unterliegen und bei welchen demnach eine hohe Verschleißfestigkeit gefordert wird, verwendet man Elektroden besonderer Zusammensetzung, die bei Gleichstrom stets an den Pluspol angeschlossen werden. Der aufgetragene Werkstoff kann wegen seiner großen Härte nur mit der Schleifscheibe bearbeitet werden.

Unter Festigkeit einer Auftragsschweißung ist die Verschleißfestigkeit zu verstehen. Im gewöhnlichen Sprachgebrauch decken sich die Begriffe hohe Festigkeit — Verschleißfestigkeit — und Härte.

Die Härte wird meist mittels der Kugeldruckprobe nach BRINELL bestimmt und in kg/mm² angegeben.

Bei größerem Querschnitte des Werkstückes und Auflegen nur einer Schweißraupe wird diese infolge der raschen Abkühlung besonders hart.

Die Härte der Auftragsschweißung schwankt außerdem je nach der chemischen Zusammensetzung des Werkstoffes.

16. Gußeisenkaltschweißung.

Das hauptsächlichste Anwendungsgebiet der Gußeisenkaltschweißung bildet die Ausbesserung gebrochener Gußstücke. Es gibt Schäden an Werkstücken, die weder durch die autogene, noch durch die elektrische Warmschweißung behoben werden können. Die Kaltschweißung ist demnach öfters das einzige und zugleich einfachste Arbeitsverfahren, innerhalb kürzester Zeit und unter Aufwendung geringster Kosten einen schadhaften Maschinenteil wieder in einen gebrauchsfähigen Zustand zu versetzen, wobei Neuanschaffungen vermieden werden können. Allerdings erfordert die Kaltschweißung, bei welcher — zum Unterschiede von der Warmschweißung — das Werkstück nicht vorgewärmt wird, zur Erzielung befriedigender Erfolge weitaus mehr Erfahrungen als die elektrische Schweißung von Flußstahl.

Es ist bekannt, daß Gußeisen von Natur aus nur geringe Dehnung hat und außerdem oft durch Eigenspannungen gefährdet ist. Beim Gießen von Gußstücken, die verschieden starke Querschnitte aufweisen, treten infolge der ungleichmäßigen Abkühlung an den Stellen der Querschnittsänderungen die sogenannten Gußspannungen auf, so z. B. zwischen den Speichen und der Nabe oder dem Kranz bei Riemen- und Seilscheiben, dann bei Hohlkörpern mit Kühlmantel usw. Die Gußspannungen bilden oftmals die Ursache von Schäden.

Besteht ein Werkstück aus gutem Maschinenguß, dessen Bruchfläche grau ist, dann können Schäden vorgenannter Art durch die Kaltschweißung mit Erfolg behoben werden.

Anders liegt jedoch der Fall, wenn Gußeisen längere Zeit hohen Temperaturen und Gasen ausgesetzt war — man sagt, der Guß ist „verbrannt" — oder Öl oder Säuren angenommen hat. Ein solches Gußeisen hat seine ursprüngliche gute Beschaffenheit verloren und ist nicht mehr schweißbar.

Man unterscheidet bei der Gußeisenkaltschweißung

a) Schweißungen, bei welchen die Schweißstellen nur Ansprüchen hinsichtlich der Festigkeit zu genügen haben, z. B. gebrochene Arme bei Riemen- und Seilscheiben, Fundamentrahmen usw.: für solche Schweißungen verwendet man Flußstahlelektroden.

b) Schweißungen, bei welchen außer Festigkeit insbesondere Dichtheit der Schweißstellen gefordert wird, wie dies bei allen auf Druck beanspruchten Hohlkörpern der Fall ist. Für derartige Schweißungen verwendet man — je nach Wandstärke — entweder Flußstahlelektroden als Grundraupen und Sonderelektroden als Deckraupe oder nur Sonderelektroden allein.

Bei Verwendung einer Flußstahlelektrode nimmt diese aus dem schmelzenden Gußeisen Kohlenstoff auf, wodurch sich eine hochgekohlte, dem Stahl ähnliche Übergangszone bildet, die nur durch Schleifen zu bearbeiten ist.

Die Sonderelektrode hingegen, die aus einer Nickel-Kupfer-Legierung besteht, ergibt einen weichen, bearbeitbaren Übergang zwischen Gußeisen und Schweiße. Die Sonderelektrode wird unter dem Namen „Monelelektrode" in den Handel gebracht. Außerdem läßt sich die Schweißnaht gut hämmern und verstemmen.

Die Schadensursache bei Rissen und Brüchen soll immer festgestellt werden, da hiervon in vielen Fällen die Art der Vorbereitung zum Schweißen abhängt.

Schäden, die infolge ungewöhnlicher Beanspruchung des Werkstückes entstanden sind, oder deren Ursache in einer mangelhaften Konstruktion mit zu schwacher Wandstärke liegt, sind wohl fast immer durch Schweißung zu beheben, wobei sehr oft gleichzeitig eine Verstärkung der Schweißnähte durch Laschen vorgenommen wird.

Vor dem Schweißen meißelt man zwecks besserer Verschmelzung die Gußhaut auf ungefähr 2 mm Tiefe ab, legt eine Proberaupe auf und entfernt diese sodann wieder mit dem Meißel, um sowohl die Schweißbarkeit des Gußeisens als auch die Einbrandtiefe festzustellen. Eine gute Verschmelzung hat dann stattgefunden, wenn der abgemeißelten Proberaupe eine dünne Schicht Gußeisen anhaftet. — Um die Wärmezufuhr möglichst niedrig zu halten, schweiße man mit höchstens 4 mm starken Elektroden.

Sehr gewissenhaft sind die Vorarbeiten auszuführen, da das Gelingen einer Kaltschweißung oftmals von der sorgfältigen Durchführung dieser Arbeiten abhängig ist.

Risse sind — je nach der Lage — entweder an dem einen Ende oder an beiden Enden abzubohren, um ein Weiterreißen beim Schweißen zu verhindern.

Bei abgebrochenen Stücken ist stets eine Paßfläche — möglichst über die ganze Länge des Bruches — stehenzulassen, damit die anzuschweißenden Stücke genau in ihre ursprüngliche Lage gebracht werden können. Um die angepaßten Teile in der richtigen Lage zu halten, werden sie entweder kurz geheftet oder mit Schrauben, Laschen usw. eingespannt.

Bei Werkstücken mit geringeren Wandstärken, die keiner besonders großen Beanspruchung unterworfen sind, genügt zumeist das Ausfüllen der Schweißfuge in V-Form.

Bei größeren Wandstärken werden in die Schweißfuge Stiftschrauben eingesetzt, die, nachdem sie miteinander verschweißt sind, gewissermaßen eine Brücke bilden und zur Erhöhung der Festigkeit beitragen. — Gleichzeitig werden

durch diese Brücke auch die unvermeidlichen Spannungen wenigstens teilweise aufgenommen. — Man darf jedoch nicht zu viele Stiftschrauben setzen, da sonst die Wandung des Werkstückes unnötig geschwächt wird. Für diese Stiftschrauben gilt Tabelle 3.

Tabelle 3. Stiftschrauben für Schweißnähte.

Wandstärke in mm	Stiftschrauben (metr. Gewinde) Äußerer Durchmesser in mm	Kern-durchmesser in mm
15	8	6,26
20	10	7,92
25	10	7,92
30	12	9,57

Die Abb. 75 veranschaulicht die Anordnung und die Stärke der Stiftschrauben nebst ihrer Entfernung voneinander bei einer Wandstärke von 30 mm. — Es ist darauf zu achten, daß die Stiftschrauben nicht locker, sondern stramm sitzen.

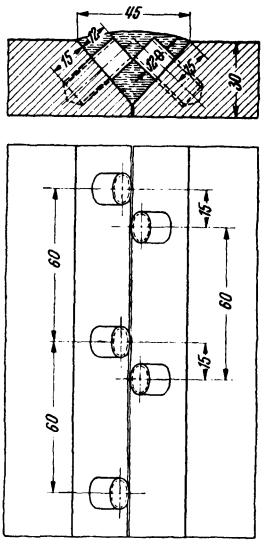


Abb. 75. Schweißnaht mit Stiftschrauben.

Es gibt verschiedene Verfahren, nach welchen die Schweißung selbst durchgeführt wird. Ein in der Praxis bewährter Schweißvorgang ist folgender:

Die Schweißung des in Abb. 75 angedeuteten Risses soll nur Ansprüchen hinsichtlich Festigkeit genügen. — Die Schweiße wird nachträglich nicht bearbeitet, weshalb nur Flußstahlelektroden verwendet werden.

Man schweißt nicht in einem Zuge, sondern abschnittweise. Die Länge der einzelnen Abschnitte — je ungefähr 30···40 mm — richtet sich wieder nach der Art des Werkstückes und der Wandstärke. — Bei langen Schweißnähten ist es vorteilhaft, wenn die einzelnen Abschnitte möglichst weit voneinander entfernt liegen. Zunächst werden die im Bereiche der ersten 3···4 Abschnitte befindlichen Stiftschrauben zusammengeschweißt. Sodann legt man die Wurzelraupe auf die Länge des ersten ungefähr 30···40 mm langen Abschnittes. Nach kurzer Pause verlängert man die Wurzelraupe um weitere 30···40 mm. Nun beginnt das Ausfüllen der V-Fuge auf die Länge des ersten Abschnittes. — Die einzelnen Lagen dürfen aber keinesfalls, wie bei der Flußstahlschweißung in der Längsrichtung der Schweißfuge (vgl. Abb. 58) gezogen werden, sondern nur in der Querrichtung zu dieser, worauf besonders zu achten ist.

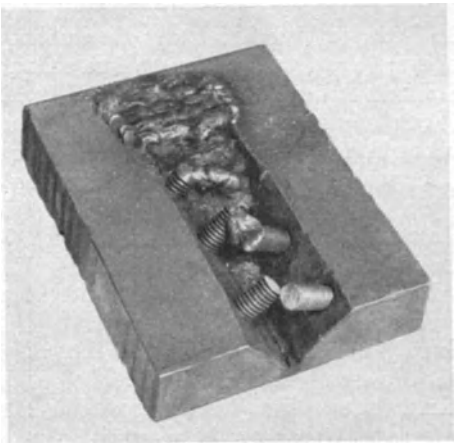


Abb. 76. Aufbau der Naht bei einer Rißschweißung.

Abb. 76 zeigt die Verschweißung der Stiftschrauben, die Wurzelraupe, sowie die Ausfüllung der V-Fuge im ganzen Querschnitt auf die Länge des ersten Abschnittes. In der vorgenannten Weise wird der Riß zur Gänze geschweißt. Daß vor dem Auflegen der folgenden Schweißraupe die Schlacke mit Spitzhammer und Drahtbürste gründlich zu entfernen ist, braucht wohl nicht erst besonders betont zu werden.

Unter Einschaltung von Schweißpausen muß man sehr langsam schweißen, damit die Temperatur der nächsten Umgebung der Schweißstellen höchstens hand-

warm wird, wovon man sich des öfteren zu überzeugen hat. — Die als Spannungen bezeichneten Erscheinungen (vgl. Abschn. 8) treten selbstverständlich auch bei der Kaltschweißung auf.

Zur möglichsten Niedrighaltung der zusätzlichen Spannungen sind daher die erforderlichen Maßnahmen, die der Schweißer beachten muß, nochmals kurz angeführt:

1. Schweißung in nur ganz kurzen, 30···40 mm langen Abschnitten.
2. Ziehen der Raupen — mit Ausnahme der Wurzelraupe — nur quer zur Längsrichtung der Schweißnaht (siehe Abb. 76).
3. Einschaltung angemessener Schweißpausen.

Je niedriger die Spannungen gehalten werden, desto geringer ist die Gefahr, daß Risse entweder in der Übergangszone am Werkstück zur Schweiße oder in der Mitte der Schweiße auftreten.

Wo immer es möglich ist, wird das Werkstück in eine solche Lage gebracht, daß man nur waagerecht schweißt. — Bei Maschinenteilen, die vom Fundament nicht abgehoben werden können oder sollen, muß manchmal eine Senkrechtschweißung ausgeführt werden. — Allerdings erfordert eine derartige Schweißung besondere Hilfsmittel (z. B. Vorhalten einer Formkohleplatte), um das Abtropfen des schmelzenden Materials zu verhindern. — In einem solchen Falle baut man die Schweiße von unten aus auf.

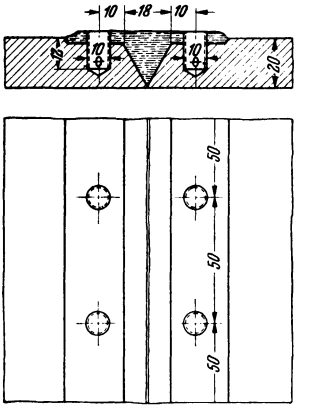


Abb. 77. Stiftschrauben außerhalb der Schweißnaht.

Zur Erhöhung der Festigkeit werden oftmals Laschen oder Bandagen aus Flußstahl, die der Form des Werkstückes gut angepaßt sein müssen, notfalls unter Verwendung von Schrauben, aufgesetzt. Es werden sowohl die Kehlnähte bei derartigen Verstärkungen als auch die Schraubenmuttern verschweißt.

Falls bei einem Werkstück ein abgebrochener Teil nicht mehr verwendbar ist, kann man diesen durch ein passendes Stück aus Flußstahl ersetzen. In einem solchen Falle werden die Stiftschrauben nur in das gußeiserne Werkstück gesetzt, da die gegenüberliegende Kante der Schweißfuge ohnedies ganz aus Flußstahl besteht.

Tritt der Fall ein, daß mit Rücksicht auf die Lage der Risse keine Stiftschrauben in die Schweißfuge gesetzt werden können, dann werden die Stiftschrauben — ebenfalls stramm sitzend — knapp neben der Schweißfuge angeordnet, wie dies aus der Abb. 77 für eine Wandstärke von 20 mm ersichtlich ist. Die Gußhaut ist beiderseits der Schweißnaht auf ungefähr 2 mm Tiefe und entsprechende Breite durch Abmeißeln zu entfernen. Der Schweißvorgang ist ungefähr der gleiche, wie oben bereits angegeben. Im unmittelbaren Bereich der gegenüberliegenden Stiftschrauben wird die Schweißnaht auf eine kurze Strecke aufgebaut, bis die beiden Schrauben miteinander verschweißt sind. Dann wird die Fuge in bekannter Weise quer zur Schweißrichtung ausgefüllt. Sind an einem Werkstück Lunker auszuschweißen, so hat man zunächst die schadhaften Stellen gründlich zu reinigen und die Gußhaut zu entfernen. — Auch wird es je nach Größe der auszufüllenden Stellen notwendig sein, Stiftschrauben zu setzen. Die Grundraupen legt man mit der Flußstahlelektrode und die Deckraupe mit einer Sonderelektrode, ähnlich Abb. 79, wenn eine nachträgliche Bearbeitung der geschweißten Stellen durchgeführt werden muß.

Sind an einem auf Druck beanspruchten Hohlkörper Risse zu verschweißen, wird mithin von der Schweißnaht nicht nur Festigkeit, sondern auch Dichtheit ge-

fordert, so ist die Verwendung einer Sonderelektrode unerläßlich. Mit Rücksicht auf die aus dem Auslande zu beziehenden Rohstoffe zur Herstellung der Sonderelektroden werden diese zur Schweißung nur in beschränktem Maße herangezogen.

Der Arbeitsvorgang ist im allgemeinen derselbe, wie bereits bei der Schweißung auf Festigkeit angegeben. — Nach dem Verschweißen der Stiftschrauben wird die V-Fuge in mehreren Lagen immer quer zur Längsrichtung der Naht mit Flußstahlelektroden, in der Abb. 78 mit „*F*" bezeichnet, ausgefüllt. Die oberste Lage an den Rändern der Schweißfuge wird mit der Sonderelektrode *S* gelegt. Man schweißt die Deckraupe *S* nur in Abschnitten von ungefähr 30 mm Länge. — Unmittelbar danach wird die Deckraupe durch rasche und kurze Schläge gehämmert, wodurch der Schrumpfung teilweise entgegengewirkt wird.

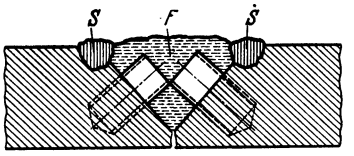


Abb. 78. Schweißung auf Dichtheit ohne Nacharbeit.

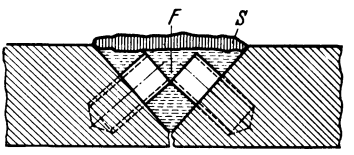


Abb. 79. Schweißung auf Dichtheit mit Nacharbeit.

Der vorgenannte Arbeitsvorgang kommt zur Anwendung, wenn die Schweiße nicht bearbeitet wird. — Falls jedoch eine Nachbearbeitung der Schweißnaht (Drehen, Hobeln) notwendig ist, wird die Decklage ebenfalls quer zur Längsrichtung der Naht, zur Gänze aus Sonderelektroden hergestellt, wie dies in Abb. 79 angedeutet ist.

Wenn bei einem Hohlkörper eine Prüfung durch Wasserdruck nicht vorgenommen werden kann, wird zur Feststellung der Dichtheit der Schweißnähte die sehr einfache Petroleumprobe wie folgt angewendet:

Die Schweißnähte werden zunächst sauber gebürstet. Sodann streicht man an der Außenseite des Werkstückes Schlämmkreide, gemischt mit Brennspiritus, in breiiger Form auf und läßt diesen Anstrich trocknen. Die Innenseite der Schweißnähte wird hierauf mit Petroleum gut angefeuchtet. Sind poröse Stellen oder Haarrisse, die fast immer in der Übergangszone vom Werkstück zur Schweiße vorkommen, vorhanden, so zeigen sie sich dann als fettige Flecke auf der Schlämmkreide.

17. Gußeisenhalbwarmschweißung.

Die Halbwarmschweißung wird hauptsächlich zur Ausbesserung kleinerer Maschinenteile angewendet, die sich nach allen Seiten frei ausdehnen können und bei denen mithin die Gefahr von Spannungserscheinungen gering ist.

Die am Werkstück aufzuschweißenden Teile werden unter Verwendung von Formkohleplatten eingeformt, wobei für Bearbeitung entsprechend zuzugeben ist. Risse werden an den Enden abgebohrt und die Schweißfugen ähnlich wie bei der Flußstahlschweißung hergerichtet (siehe Abb. 57). Das Gußstück wird sodann, am besten in einem milden Holzkohlenfeuer, langsam auf ungefähr 300° erwärmt. Zur Schweißung eignet sich nur Gleichstrom, wobei die Gußeisenelektrode an den Pluspol angeschlossen wird.

Tabelle 4.
Anhaltswerte für Gußeisenhalbwarmschweißung.

Elektrodendurchmesser in mm	Schweißspannung in Volt	Stromstärke in Amp.
4	25	110
6	30	150
8	35	200

Zur Halbwarmschweißung kleinerer Werkstücke kommt man mit Stromstärken bis rund 200 Ampere aus (Tabelle 4).

Nach beendeter Schweißung ist das Werkstück abermals sorgfältig zu glühen und nachher mit trockenem Formsand oder Asche gut abzudecken, damit es gleichmäßig und langsam abkühlt.

Eine richtig ausgeführte Halbwarmschweißung ergibt dichte, weiche und leicht zu bearbeitende Schweißstellen bzw. Übergangsstellen zwischen Grundwerkstoff und Schweiße.

18. Schweißen mit Schweißkohle und Blasmagnet.

Wie bereits im Abschn. 9 — Blaswirkung des Lichtbogens — angeführt, unterliegt der im Lichtbogen fließende elektrische Strom magnetischen Einwirkungen. Die Blasspule ermöglicht es, Form und Richtung des Kohlelichtbogens in einer für das Schweißen günstigen Weise zu beeinflussen. Das Schweißen mit dem Kohlelichtbogen unter Verwendung einer Homogenschweißkohle und einer Blasspule eignet sich in erster Linie für Dünnblecharbeiten mannigfaltigster Art. Gegenüber der Gasschweißung dünner Bleche hat dieses Schweißverfahren den Vorteil, daß die beim Gasschweißen unvermeidlichen Verwerfungen in wesentlich geringerem Maße auftreten, weil die Schweißstelle schneller erhitzt wird und deshalb nicht soviel Wärme an den benachbarten Werkstoff abgibt.

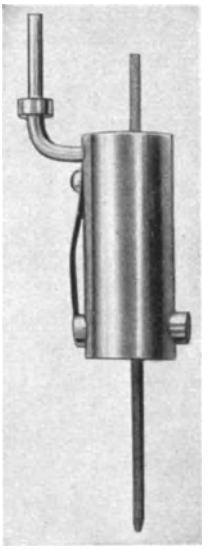


Abb. 80. Schweißkohle mit Blasspule.

Die Schweißkohle mit Blasspule (Abb. 80) ist bei Gleichstrom stets an den Minuspol anzuschließen, da bei Anschluß der Schweißkohle an den Pluspol die Gefahr besteht, daß das Werkstück übermäßig viel Kohlenstoff aus der Kohle aufnimmt.

Die Blasspule kann auch bei Wechselstrom verwendet werden, obzwar die Schweißkohle hierbei nicht so gleichmäßig und spitz abbrennt wie bei Gleichstrom.

Der Lichtbogen ist immer möglichst kurz zu halten.

Für die Dünnblechschweißung kommen folgende Schweißverbindungen in Betracht:

1. Stoßnaht,
2. überlappte Naht,
3. Bördelnaht,
4. Winkelstoß.

Der bei Eisenkonstruktionen so vielfach angewendete T-Stoß kann bei Dünnblechschweißungen nicht ausgeführt werden, da infolge der erforderlichen größeren Wärmezufuhr ein Durchbrennen der Bleche unvermeidlich

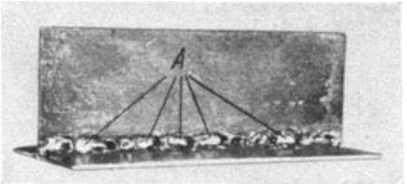


Abb. 81. T-Stoß mit durchgebrannten Stellen *A*.

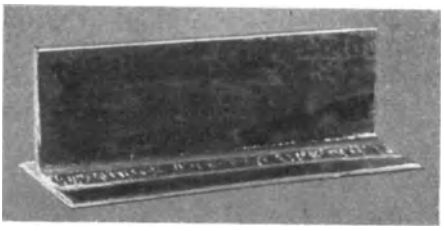


Abb. 82. T-Stoß für Dünnblechschweißung.

sein würde. In der Abb. 81 ist ein T-Stoß zu sehen, bei dem das senkrecht stehende Blech an vielen Stellen „*A*“ durchgebrannt ist. Das anzuschweißende Blech muß erst um 90^0 abgekantet (umgebördelt) werden, so daß dann eigentlich

eine überlappte Naht entsteht, deren Schweißung ohne weiteres möglich ist, wie dies Abb. 82 zeigt.

Bei allen vorgenannten Schweißverbindungen müssen die Bleche sehr genau zugeschnitten sowie zusammengepaßt werden, da sonst ein Durchbrennen der Bleche nur allzu leicht vorkommt; das nachträgliche Zuschweißen von Löchern bereitet aber große Schwierigkeiten.

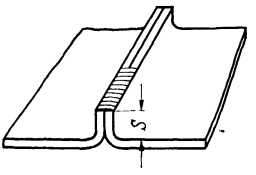


Abb. 83.
Bördelnahtschweißung.
S = Bördelhöhe = doppelte Blechstärke.

Vor Beginn des Schweißens sind die Nähte in Abständen von 50···60 mm, je nach der Größe und Art des Werkstückes, kurz zu heften, damit die Bleche in der richtigen Lage gehalten werden.

Zur Unterstützung eines gleichmäßigen und guten Schweißflusses wird auf die Schweißfuge mittels eines Pinsels etwas Wasserglas aufgestrichen.

Bleche bis 2 mm Stärke werden bei stumpfer und überlappter Naht immer ohne Zusatzdraht geschweißt. Bei $2^1/_2$ und 3 mm starken Blechen kann man einen Zusatzdraht von 2 mm Durchmesser verwenden. Bei Bördelnaht- und Winkelstoßschweißungen werden bei allen Blechstärken bis 3 mm nur die Bördel bzw. die

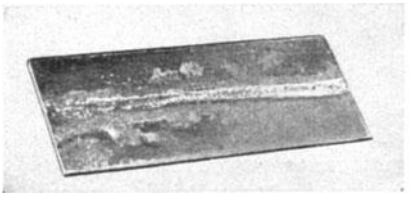


Abb. 84. Stoßnaht.

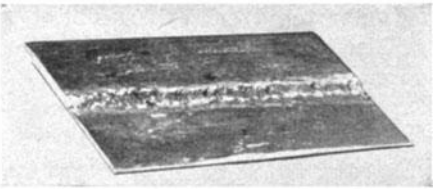


Abb. 85. Überlappte Naht.

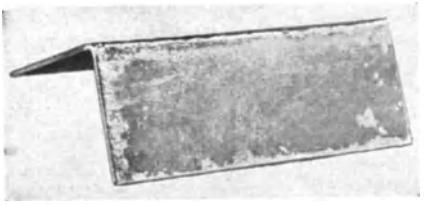


Abb. 86. Winkelstoß.

Tabelle 5. Anhaltswerte für Dünnblechschweißungen.

Blechstärke in mm	Schweißkohlendurchmesser in mm	Schweißspannung in Volt	Stromstärke in Amp.
0,75	3	18···22	30···35
1,00	3	18···22	40···45
1,50	5	18···22	45···50
2,00	6	18···22	50···55
2,50	6	18···22	55···60
3,00	7	18···22	60···65

Kanten niedergeschmolzen. Ein Zusatzdraht ist demnach nicht erforderlich. Die Höhe S (Abb. 83) des niederzuschmelzenden Bördels soll ungefähr gleich der Höhe der doppelten Blechstärke sein.

Beim Schweißen ohne Zusatzdraht wird die Nachrechtsschweißung — von links nach rechts — beim Schweißen mit Zusatzdraht die Nachlinksschweißung — von rechts nach links — angewendet.

Nachdem bereits eine T-Stoßverbindung gezeigt wurde (Abb. 81 u. 82), sind in den Abb. 84···86 noch einige Dünnblechschweißverbindungen an 1,5 mm Blechen zu sehen.

Das richtige Einstellen der Stromstärke hat durch eine Probeschweißung und Beobachtung des Kohlelichtbogens sowie des Schmelzflusses zu geschehen. — Als Anhaltswerte gelten die Daten der Tabelle 5. — Das Schweißen dünner Bleche mit Kohle und Blasspule erfordert trotz des verhältnismäßig langsamen Abbrandes der Schweißkohle eine besonders ruhige und sichere Hand.

19. Schweißen der Nichteisenmetalle.

a) Aluminium und Aluminiumlegierungen. Das Schweißen der Leichtmetalle[1] — Reinaluminium und Aluminiumlegierungen — ist ein Sondergebiet, das erst durch die Entwicklung der umhüllten Metallelektroden im Laufe der letzten Jahre eine so weitverbreitete Anwendung gefunden hat. Im Rahmen dieses Heftes können nur einige allgemeine Richtlinien angegeben werden. Im übrigen wird auf das einschlägige Schrifttum verwiesen.

Zur Erzielung befriedigender Erfolge muß der Schweißer zunächst über reichliche Erfahrungen in der Schweißung starkumhüllter Flußstahlelektroden verfügen. Gegenüber der Stahlschweißung erfordert die Aluminiumschweißung Arbeitsmethoden, die durch die besonderen Eigenschaften dieser Werkstoffe bedingt sind; solche Eigenschaften sind:

1. Starke Neigung zur Oxydation, d. h. Verbindung des Metalles mit dem Sauerstoff der Luft. Aluminium überzieht sich schon an der Luft mit einem sehr dünnen, festhaftenden Oxydhäutchen, dessen Schmelztemperatur mehr als dreimal größer ist, als jene des Aluminiums. Die während der Schweißung sich bildenden Oxyde müssen durch die Umhüllung der Elektrode gelöst werden, wodurch eine gute Verschmelzung der Elektrode mit dem Werkstoff erst ermöglicht wird.
2. Große Wärmeleitfähigkeit. Sie ist dreimal größer als beim Eisen.
3. Niedrige Schmelztemperatur. Sie erreicht nicht einmal die Hälfte derjenigen des Eisens.
4. Hohe Abschmelzgeschwindigkeit. Sie ist wesentlich höher als beim Eisen.

Reinaluminium und alle Aluminiumlegierungen können sowohl als Walz- als auch als Gußmaterial mit dem Lichtbogen einwandfrei geschweißt werden.

Als Stromart kommt nur Gleichstrom in Frage, wobei die Elektrode an den Pluspol angeschlossen wird. Elektroden aus Hydronalium kann man ebenso gut auch am Minuspol schweißen.

Aluminiumelektroden müssen stets vollkommen trocken sein. Sind sie durch unsachgemäße Aufbewahrung feucht geworden, müssen sie unbedingt wieder getrocknet werden. Die Elektrode muß dem Werkstoff angepaßt sein, d. h. Reinaluminium wird nur mit Reinaluminium geschweißt, während bei Aluminiumlegierungen die Elektrode der gleichen Legierungsgattung angehören soll.

Tabelle 6. Anhaltswerte für Stromstärken bei 20···25 Volt.

Blechstärke in mm	Elektrodendurchmesser in mm	Aluminium Stromstärke in Amp.	Bronze—Monel Stromstärke in Amp.
2···3	2	80···90	70···80
3···4	3	120···130	110···130
4···5	4	160···170	140···150
5···6	5	190···210	170···180
6···8	6	220···230	190···220

Die Waagerechtschweißung ist jedenfalls am leichtesten auszuführen. Zwecks guter Beobachtung des Schmelzbades ist der Nachrechtsschweißung — also von links nach rechts — der Vorzug zu geben, wobei der Lichtbogen möglichst kurz zu halten ist. Anhaltswerte über die Stromstärke, die von der Blechstärke und dem Durchmesser der Elektrode abhängig ist, sind aus der Tabelle 6 zu ersehen. Die richtige Stromstärke, die bei Aluminiumlegierungen etwas geringer ist als bei Reinaluminium, kann man am besten bei guter Beobachtung der Schweiße einstellen.

Die Schweißstellen müssen metallisch blank sein. Die Schweißfugen werden in ähnlicher Weise wie bei Flußstahlschweißungen als Stoßnaht mit geraden oder abgeschrägten Kanten hergerichtet. Damit beim guten Durchschweißen einer

[1] Werkstattbuch Heft 85, RICKEN, Schweißen der Leichtmetalle.

Stoßnaht ein Durchfließen des Elektrodenwerkstoffes verhindert wird, ist die Schweißfuge am besten mit einem Kupferblech zu unterlegen.

Heftschweißen sind ebenfalls vor Durchführung der eigentlichen Schweißung sehr sorgfältig von Schlackenresten zu reinigen. Gerissene Heftnähte sind unbedingt zu entfernen.

Durchgebrannte oder mangelhafte Stellen sind nicht sofort während der Schweißung, sondern erst nach Beendigung derselben und nach Abkühlen des Werkstückes auszubessern.

Bleche, die schwächer als 2 mm sind, können mit dem Lichtbogen nicht geschweißt werden. Hierfür kommt die Gasschweißung in Betracht.

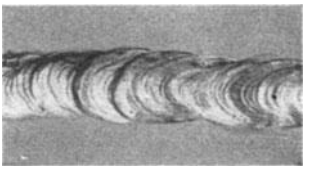


Abb. 87. Stoßschweißung von 6 mm Aluminiumblech.

Bleche bis 7 mm Stärke können bei der Stoßschweißung ohne Abschrägung der Kanten geschweißt werden, wobei die Spaltweite bei Blechen von 3 mm aufwärts 2···4 mm betragen soll.

Eine Stoßschweißung von zwei 6 mm starken Blechen ist aus Abb. 87 ersichtlich.

Die Haltung und Führung der Elektrode bei der Stoßnaht ist die gleiche, wie in Abb. 41 und Abb. 42 (Abschn. 12) angegeben. Die Elektrode wird jedoch steiler, mithin senkrecht gehalten und ohne seitliche Bewegung gezogen. Mit Rücksicht auf die hohe Abschmelzgeschwindigkeit ist die Elektrode gleichmäßig schnell zu führen, da sonst die Bleche sehr leicht durchbrennen. Bei Zickzackbewegung der Elektrode ist es leicht möglich, daß Einbrandkerben entstehen.

Bei Blechen von 7···10 mm werden die Kanten abgeschrägt, wie in Abb. 57 (Abschn. 13) angegeben, wobei jedoch der Fugenwinkel 90^0 betragen soll.

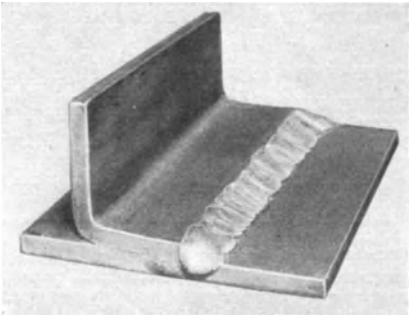


Abb. 88. Einwandfreie Aluminiumschweißung.

Die X-Schweißfuge wird bei stärkeren Blechen angewendet. Die Einlagenschweißung kommt bei Blechen bis 7···8 mm in Betracht. Darüber hinaus wird die Mehrlagenschweißung angewendet, bei welcher die Grundraupe mit einer dünneren und die übrigen Lagen mit einer stärkeren Elektrode gezogen werden. Die Wahl der Elektrodenstärken richtet sich nach der Blechstärke. Die Schlackenreste auf der Grundraupe sind selbstverständlich mit Hammer und Bürste gründlich zu entfernen.

Überlappte, Kehl- und Winkelnähte sind ebenfalls einwandfrei herzustellen. Die Schweißung eines überlappten Stoßes ist aus Abb. 88 zu ersehen. Hierbei ist zu beachten, daß die Bleche sehr gut, also ohne Zwischenraum, aufeinanderliegen, damit keine Schlacke zwischen die beiden Bleche eindringen kann. Die Kante des oberen Bleches wird etwas abgeschrägt.

Eine Kehlnahtschweißung zeigt Abb. 89, wobei das anzuschweißende Blech senkrecht steht.

Aus Abb. 90 ist die Schweißung bei waagerecht liegendem Blech zu ersehen. Damit auch eine einwandfreie Verschweißung in der Nahtwurzel erzielt wird, muß sowohl der Elektrodendurchmesser als auch die Stromstärke und die Haltung der Elektrode richtig gewählt werden, was am einfachsten durch eine Probeschweißung geschieht. Bei der in der Abb. 89 dargestellten Kehlnaht an 6 mm starken Blechen wurde eine Elektrode 5 mm Durchmesser mit 250 Ampere ge-

schweißt. Die Schweißung nach Abb. 90 wurde bei einer gleichen Blechstärke mit nur 210 Ampere ausgeführt, da bei einer höheren Stromstärke die Wurzel der Kehlnaht durchbrennt und somit der eingeschweißte Werkstoff durchtropft.

Die Winkelstoßschweißung ist, wie aus der Abb. 91 ersichtlich, ohne weiteres ausführbar, nur muß man, um ein Durchtropfen des flüssigen Metalles zu verhindern, unter die Schweißfuge eine Unterlage, am zweckmäßigsten ein Winkeleisen, legen.

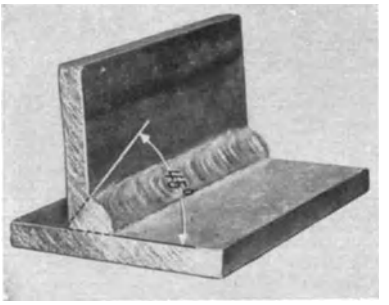


Abb. 89. Kehlnahtschweißung von Aluminium.

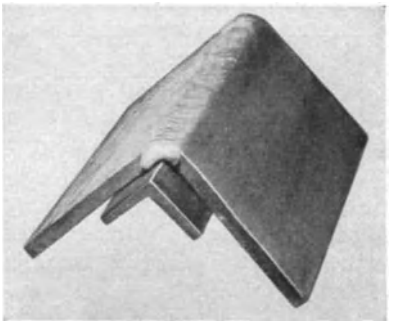


Abb. 91. Winkelstoßschweißung von Aluminium.

Ausbesserungen an Aluminiumgußkörpern, für die früher nur die Gasschweißung in Betracht kam, werden jetzt immer mehr und mehr elektrisch durchgeführt. Es handelt sich dabei hauptsächlich um die Behebung von Riß- und Bruchschäden an Gußstücken der Kraftwagen, wie Motorgehäuse und ähnliche Stücke, deren Ursache in einer ungewöhnlichen Beanspruchung oder einem Unfalle liegt.

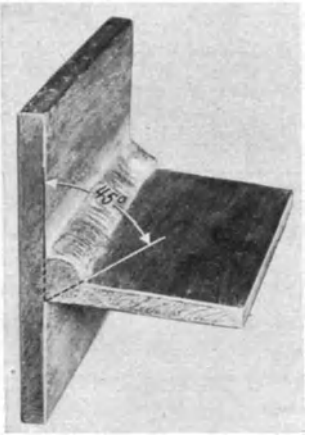


Abb. 90. Kehlnahtschweißung von Aluminium.

Die bei der Schweißung von Reinaluminium gemachten Angaben gelten im allgemeinen auch für die Schweißung von Gußkörpern aus Aluminiumlegierungen. Zu beachten ist jedoch, daß man für derartige Ausbesserungsarbeiten keinesfalls Elektroden aus Reinaluminium verwenden darf, sondern solche, deren Zusammensetzung jener des Werkstoffes möglichst nahe kommt. Elektroden, die einen Zusatz von ungefähr 12% Silizium (Handelsbezeichnung: Silumineelektrode) enthalten, sind so ziemlich für alle vorkommenden Gußlegierungen ohne weiteres mit bestem Erfolge verwendbar.

Die Herrichtung der V-Schweißfuge ist dieselbe, wie bei der Flußstahlschweißung. Bei abgebrochenen Stücken läßt man eine Paßfläche stehen. Öl- und Fettrückstände sowie sonstige Verunreinigungen sind mit Benzin gründlich zu entfernen. Ölrückstände, die sich in den Poren der Bruchflächen befinden, sind entweder mit dem Gasbrenner oder in einem milden Holzkohlenfeuer auszubrennen.

Die Lichtbogenschweißung hat den Vorteil, daß man kleine Stücke ohne Vorwärmung schweißen kann. Größere Stücke werden im Bereich jener Stelle, wo

mit der Schweißung begonnen wird, mit dem Gasbrenner (Flamme weich einstellen!) leicht vorgewärmt. Das Gußstück ist immer in eine solche Lage zu bringen, daß die Schweißung waagerecht ausgeführt werden kann. Wie bereits erwähnt, ist bei Aluminiumlegierungen die Stromstärke etwas niedriger einzustellen. Bei sachgemäßer Durchführung des Schweißvorganges sind Verziehungen kaum zu erwarten.

Sowohl bei Reinaluminium als auch bei Aluminiumlegierungen sind nach der Schweißung die zumeist an den Rändern der Nähte noch haftenden Schlackenreste mit Wasser und Wurzelbürste gründlich zu entfernen, da sonst im Laufe der Zeit Anfressungen an der Schweißnaht entstehen. Um ganz sicher zu gehen, beizt man die Schweißstellen mit einer ungefähr 10%igen Ätznatronlauge und wäscht mit verdünnter Salpetersäure — etwa 3 bis 5%ig — nach. Säurerückstände müssen dann mit heißem Wasser entfernt werden.

b) Monel. Elektroden aus Monelmetall oder aus Mansfeld-Silbernickel werden mit besonderem Vorteil bei der Gußeisenkaltschweißung angewendet. Die für die Schweißung von Flußstahlelektroden angegebenen Hinweise gelten sinngemäß auch für die Schweißung von Monel. Im übrigen wird auf die Ausführungen des Abschn. 16 verwiesen.

c) Bronze. Mit einer geeigneten Bronzeelektrode können Auftrags- und Rißschweißungen an Lagerschalen, Büchsen, Gleitflächen usw. mit gutem Erfolge durchgeführt werden. Verunreinigungen, insbesonders Schmierölrückstände, müssen sorgfältig entfernt werden. Die zu schweißenden Stellen müssen metallisch blank sein. Das gleiche gilt auch für Verbindungsschweißungen, bei welchen die Kanten ähnlich wie bei Flußstahl (Abb. 57) abgeschrägt werden. Der Winkel der V-Fuge soll jedoch mindestens 90^0 betragen, damit ein einwandfreies Legen der Wurzelraupe erzielt wird. Die zusammenzuschweißenden Teile sind ohne Zwischenraum in der Wurzel gut passend herzurichten.

Größere Werkstücke sind vorzuwärmen, damit gleich zu Beginn der Schweißung eine gute Verschmelzung erreicht wird. Die Elektrode wird stets an den Pluspol angeschlossen. Der Lichtbogen ist möglichst kurz zu halten. Es kommt nur die Schweißung in waagerechter Lage in Betracht. Anhaltswerte über die Stromstärken sind aus der Tabelle 6 zu entnehmen.

Beim Schweißen muß unbedingt ein Atmungsschutz (Respirator) mit angefeuchteter Einlage getragen werden, da die sich bildenden Dämpfe sehr schädlich sind und das sogenannte „Messingfieber" hervorrufen. Bei Fieberanfällen sind zweckmäßigerweise 1···2 Aspirintabletten 0,5 zu nehmen. Überdies ist für eine sehr gute Lüftung des Schweißraumes — wenn möglich mittels eines Ventilators — Vorsorge zu treffen.

d) Kupfer. Das Schweißen von Kupfer bereitet in Anbetracht seiner hohen Wärmeleitfähigkeit, die ungefähr sechsmal so groß ist wie beim Eisen, gewisse Schwierigkeiten. Je nach der Größe und Art des Werkstückes muß die Stromstärke entsprechend hoch eingestellt werden, was am besten durch aufmerksame Beobachtung der Schweiße geschieht.

Die Kupferschweißung wird derzeit wohl nur für Auftrags- und leichte kleinere Verbindungsschweißungen angewendet.

Für die Kupferschweißung finden Bronzeelektroden geeigneter Zusammensetzung Verwendung.

Für Kupferschweißungen jedoch, von denen große Festigkeit und Dehnung gefordert werden, z. B. bei Feuerbüchsen für Lokomotiven, kommt derzeit nur die Gasschweißung in Betracht.

20. Das elektrische Schneiden.

Beim elektrischen Schneiden wird der Werkstoff lediglich nur abgeschmolzen, während er beim autogenen Schneiden verbrennt.

Außer Flußstahl kann man auch Grauguß und Kupfer, die sich beide autogen nicht schneiden lassen, elektrisch schneiden.

Das elektrische Schneiden wird sowohl mit der Kohleelektrode als auch mit einer Flußstahlelektrode, die unter dem Namen „Schneidelektrode" auf den Markt gebracht wird, ausgeführt.

Die Kohleelektrode — entweder Homogen- oder Graphitkohle — schließt man an den Minuspol an. Die Flußstahlschneidelektrode hingegen wird an den Pluspol angeschlossen.

Im Gegensatz zum elektrischen Schweißen muß beim Schneiden der Lichtbogen sehr lang gehalten werden. Die Stromstärke wird beim Schneiden ganz wesentlich höher als beim Schweißen eingestellt. Deshalb ist es vorteilhaft, die Schneidelektrode vorher in Wasser anzufeuchten.

Man schneidet immer von „unten nach oben", damit das ausgeschmolzene Metall gut aus der Fuge abtropfen kann.

Beim elektrischen Schneiden werden die Schnittflächen niemals so sauber wie beim autogenen Schneiden.

Das Elektroschneiden wird deshalb hauptsächlich zur Verschrottung von Eisenkonstruktionen und Gußteilen angewendet.

Beim Schneiden von Kupfer sind infolge der großen Wärmeleitfähigkeit desselben wesentlich höhere Stromstärken als bei Flußstahl und Gußeisen nötig.

21. Einige Angaben über die wichtigeren Metalle.

a) Eisen und Stahl. Das Eisen für industrielle Zwecke teilt man in zwei Hauptgruppen ein:

1. in nichtschmiedbares Eisen, Roheisen genannt, und
2. in schmiedbares Eisen, Stahl genannt.

Unter Roheisen versteht man jene im Hochofen aus Erzen gewonnenen Legierungen des Eisens, deren Kohlenstoffgehalt 1,7 % übersteigt und die weder schmiedbar noch schweißbar sind.

Gußeisen oder Grauguß wird durch Umschmelzen von grauem Roheisen zumeist im Kupolofen gewonnen. Gußeisen ist ein spröder, nicht schmiedbarer, wohl aber schweißbarer Werkstoff, bei dem ein Teil des Kohlenstoffgehaltes in Form von Graphit — an der Bruchfläche ohne weiteres erkennbar, daher Grauguß — ausgeschieden ist.

Unter schmiedbarem Eisen versteht man jene Legierungen des Eisens, deren Kohlenstoffgehalt weniger als 1,7 % beträgt.

Nach den DIN-Normen werden als Stahl sämtliche schmiedbaren Eisensorten jeglicher Härte bezeichnet. Je nach der Zusammensetzung der Stähle unterscheidet man:

1. Kohlenstoff- oder gewöhnliche Stähle, und
2. legierte Stähle.

Für die beiden früheren Benennungen „Flußeisen" und „Flußstahl" wurde die einheitliche Benennung „Stahl" eingeführt, wobei die bisherigen handelsüblichen Bezeichnungen, wie z. B. Schrauben- und Nieteneisen, Flach- und Rundeisen, Winkel- und U-Eisen, Eisenbleche usw., auch weiterhin beibehalten werden.

Gewöhnliche Stähle mit geringerem Kohlenstoffgehalt sind leichter schweißbar als Stähle mit höherem Kohlenstoffgehalt.

Legierte Stähle werden je nach der besonderen Zusammensetzung benannt, wie z. B. Manganstahl, Nickelstahl, Chromnickelstahl usw. Für die Schweißung legierter Stähle sind stets die bezüglichen Vorschriften der Lieferfirmen zu beachten.

Man versteht unter Stahlguß jenen Stahl, der unmittelbar in die Formen gegossen wird (Stahlformguß). Stahlguß ist sowohl schmiedbar als auch schweißbar.

Man bezeichnet als Temperguß Abgüsse aus weißem Roheisen bestimmter Zusammensetzung, die einem längeren oder kürzeren Glühprozeß unterworfen werden und dabei infolge Kohlenstoffabgabe schmied- und schweißbar werden. Die Schweißbarkeit des Tempergusses ist jedoch von der Länge des Glühprozesses abhängig.

b) Kupfer ist neben Eisen das wichtigste Metall, findet vielseitige Anwendung in der Industrie und kommt entweder als Hüttenkupfer oder als Elektrolytkupfer, welches nahezu chemisch reines Metall darstellt, in den Handel; die hauptsächlichsten Eigenschaften des Kupfers sind:

Es ist weich, sehr dehnbar und hat eine ungefähr sechsmal so große Wärmeleitfähigkeit wie Eisen.

Es läßt sich im Schmiedefeuer weder schweißen noch härten und ist außerdem sehr schlecht gießbar.

Es hat eine lachsrote Farbe. Zeigt die Bruchfläche jedoch eine ziegelrote Farbe, dann ist es überhitzt oder, wie man sagt: „verbrannt". Ein solches Kupfer kann nicht mehr gebrauchsfähig gemacht werden.

Kupfer ist sowohl mit der Kohle- als auch mit der Metallelektrode schweißbar.

c) Bronze — Messing. Unter Zinnbronze oder einfach Bronze versteht man eine Kupfer-Zinn-Legierung; sie wird jedoch Phosphorbronze genannt, wenn sie durch Phosphor desoxydiert ist.

Rotguß oder Rotmetall ist eine Kupfer-Zinn-Zink-Legierung.

Spezialbronze ist eine Bronze, die nebst Zinn weitere Legierungszusätze enthält, soweit sie nicht unter die Bezeichnung von Rotmetall fällt, z. B. Manganbronze, Aluminiumbronze, Bleibronze usw.

Messing ist eine Kupfer-Zink-Legierung, die aber weniger Kupfer enthält als Bronze. Tombak ist ebenfalls eine Kupfer-Zink-Legierung, jedoch mit höherem Kupfergehalt als Messing.

Unter Spezialmessing versteht man ein Messing, welches weitere Legierungszusätze, wie Nickel, Mangan, Eisen usw., enthält.

Bronze und Messing kann man sowohl mit der Kohle- als auch mit der Metallelektrode schweißen.

d) Aluminium. Als Hüttenaluminium wird reines, aus den Rohstoffen hüttenmännisch erzeugtes Aluminium mit einem Reinheitsgrade von 98···99,5% bezeichnet; es wird für Walz- und Zieherzeugnisse sowie zu Guß- und Legierungszwecken verwendet.

Außer Reinaluminium sind auch die Al-Legierungen, die für die Leichtmetallwirtschaft Deutschlands große Bedeutung haben, nach Überwindung der anfänglichen erheblichen Schwierigkeiten schweißbar. Zur Erzielung befriedigender Erfolge ist es unbedingt nötig, daß die Elektrode der chemischen Zusammensetzung des zu schweißenden Werkstoffes angepaßt wird bzw. der gleichen Legierungsgattung angehört.

Sofern Metallelektroden verwendet werden, kann man das Aluminium und seine Legierungen bisher nur mit Gleichstrom schweißen (vgl. Abschn. 19a).

Die Wärmeleitfähigkeit des Aluminiums ist ungefähr dreimal so groß wie beim Eisen. Die Aluminiumlegierungen sind genormt. Das Normblatt DIN 1713 (Dezember 1941) gibt Aufschluß über die auf den Markt gebrachten Aluminiumlegierungen, deren Eigenschaften, ungefähre Zusammensetzung, mechanischen Gütewerte und Richtlinien für die Verwendung.

e) Magnesium. Dieses Metall, das vollständig aus deutschen Rohstoffen gewonnen wird, zeichnet sich durch sein geringes Gewicht und seine verhältnismäßig große Festigkeit aus. Magnesium kommt als Werkstoff nur in Form von Legierungen auf den Markt. Als Gußwerkstoff (Elektronguß) erbringt es z. B. gegenüber Grauguß bei gleicher Festigkeit eine Gewichtsersparnis von 60···70%. Nähere Angaben über Magnesiumlegierungen sind aus dem Normblatt DIN 1717 zu entnehmen. — Die Magnesiumlegierungen eignen sich nur für die Gasschweißung. Die Schweißung mit dem Lichtbogen befindet sich derzeit noch in der Entwicklung.

f) Monelmetall ist eine Nickel-Kupfer-Legierung mit hohem Nickelgehalt und wird in Kanada unmittelbar aus Nickel-Kupfer-Erzen gewonnen.

Die hauptsächlichsten Eigenschaften des Monelmetalles sind:

Es ist zäh und streckbar wie Stahl, leicht bearbeitbar, gieß- und schmiedbar.

Es besitzt Widerstandsfähigkeit verschiedenen Chemikalien gegenüber.

Es hat eine silberglänzende Farbe und ist dem Reinnickel sehr ähnlich.

Es ist sowohl mit der Kohle- als auch mit der Metallelektrode schweißbar.

Seit einer Reihe von Jahren wird in Deutschland eine der Naturlegierung gleichwertige Legierung unter der Bezeichnung „Mansfeld-Silbernickel" auf den Markt gebracht. Diese Legierung besitzt dieselben Eigenschaften und Anwendungsgebiete wie das Monelmetall. Die daraus hergestellten Sonderelektroden werden bei der Gußeisen-Kaltschweißung (vgl. Abschn. 16) mit ganz besonderem Vorteil angewendet.

g) Schmelztemperaturen. Im Mittel kann man als Schmelztemperaturen in Graden Celsius annehmen:

Gewöhnlicher Stahl (Flußeisen)	1500	Bronze	900
Legierter Stahl	1450	Messing	900
Monelmetall und Mansfeld-Silbernickel	1360	Aluminium	660
Gußeisen	1200	Zink	420
Kupfer	1080	Zinn	230

22. Erklärungen einiger oft vorkommender Begriffe.

Das Volt (V) ist die Einheit der Spannung und das Ampere (A) die Einheit der Stromstärke.

Das Watt (W) ist die Einheit der elektrischen Leistung (1 W = 1 V × 1 A). Gewöhnlich wird mit dem tausendfachen Wert, dem „Kilowatt" (kW) gerechnet.

Die elektrische Arbeit, die von einem Kilowatt während einer Stunde geleistet wird, ist eine Kilowattstunde (kWh).

Die Pferdestärke ist die Einheit der mechanischen Leistung und entspricht theoretisch einer elektrischen Leistung von 736 Watt (0,736 Kilowatt).

Man rechnet in der Praxis unter Berücksichtigung der Verluste bei Umsetzung von elektrischer in mechanische Leistung:

1 Kilowatt (kW) = 1,25 Pferdestärke (PS),

1 Pferdestärke = 0,8 Kilowatt.

Eine Atmosphäre entspricht einem Druck von einem Kilogramm auf eine Fläche von einem Quadratzentimeter.

Anode bezeichnet den Pluspol oder positiven Pol, und Kathode den Minuspol oder negativen Pol.

Man versteht unter Festigkeit die Widerstandsfähigkeit eines Metalles gegen Zug, Druck, Biegung und Verdrehung. Die Festigkeit bei Metallen wird in Kilogramm, bezogen auf ein Quadratmillimeter Querschnitt, angegeben.

Man bezeichnet ein Metall als dehnbar, wenn es sich hämmern, schmieden, walzen läßt.

Man bezeichnet ein Metall als zäh, wenn es auch bei stoßweiser Beanspruchung nur unter Annahme starker Formveränderung zerstört werden kann. Hingegen bezeichnet man ein Metall als spröde, wenn es nur geringe, stoßweise Beanspruchung zu ertragen vermag.

Unter Kerbschlagzähigkeit versteht man den Widerstand eines Probestabes gegen plötzlichen Schlag. Die Kerbschlagzähigkeit wird in Kilogramm auf 1 cm^2 ausgedrückt.

Unter Härte versteht man den Widerstand, den ein Metall dem Eindringen eines Stoffes beim Bohren, Drehen, Feilen usw. entgegensetzt.

Der Schmelzpunkt gibt diejenige Temperatur an, bei welcher ein Metall beim Erhitzen in den flüssigen Zustand übergeht (vgl. die Zahlenwerte S. 47).

Unter Wärmeleitfähigkeit versteht man die Geschwindigkeit, mit welcher die Wärme ein Metall durchfließt (die Wärmeleitfähigkeit des Kupfers ist ungefähr sechsmal und die des Aluminiums dreimal so groß wie beim Eisen).

Das spezifische Gewicht (die „Wichte") gibt diejenige Zahl an, um wievielmal schwerer das betreffende Metall als der gleiche Rauminhalt Wasser ist.

Man versteht unter Oxydation die Verbindung eines Metalles mit Sauerstoff. Desoxydation kennzeichnet eine Sauerstoffentziehung, also das Gegenteil von Oxydation.

Unter einer Legierung versteht man eine Mischung von mehreren Metallen durch Zusammenschmelzen, z. B. Messing ist eine Kupfer-Zink-Legierung.

Unter Korrosionen versteht man Anfressungen (Rostgruben), die durch chemische Einflüsse verursacht wurden.

23. Ausbildung und Eigenschaften des Schweißers.

Das elektrische Lichtbogenschweißen ist ein Handwerk, das, wie jedes andere, erlernt sein muß.

Die erste Ausbildung soll der angehende Elektroschweißer entweder durch den Besuch eines Ausbildungslehrganges oder durch Anlernung unter Aufsicht eines Lehrschweißers erhalten. — In einem Schweißkurs werden zumeist nur die Anfangsgründe gelehrt. Der Anfänger muß daher trachten, durch fleißige Übung die erforderlichen Fertigkeiten sich anzueignen.

Elektroschweißer, die nur eine oberflächliche Ausbildung erhalten haben und dann selbständig das Schweißhandwerk ausüben, laufen Gefahr, Fehlschläge zu bekommen, insbesondere dann, wenn sie an sehr schwierige Arbeiten herantreten, denen sie nicht gewachsen sind. Dadurch kann die Lichtbogenschweißung in Mißkredit kommen.

Schweißer, die zu Schweißungen an Stahlkonstruktionen im Hochbau herangezogen werden, haben die Prüfungen im Sinne des § 6 der Vorschriften für geschweißte Stahlhochbauten (DIN 4100, Ausgabe 1934) abzulegen.

Eine besondere Gruppe bilden die Kesselschweißer. Aus den weiter unten angeführten „Richtlinien für die Ausbildung und Prüfung von Kesselschweißern" geht hervor, daß man zu unterscheiden hat zwischen:

a) selbständigen Schweißern, das sind jene Schweißer, die selbständig und unter eigener Verantwortung dem Auftraggeber gegenüber Schweißarbeiten ausführen;

b) Werkstättenschweißer, das sind solche Schweißer, die als abhängige Betriebsangehörige im Auftrag, unter Anleitung und Verantwortung eines anerkannten Fachmannes (Schweißingenieur, Schweißmeister) Schweißarbeiten ausführen.

Schweißer, die als Dampfkesselschweißer Verwendung finden, müssen an einem Sonderlehrgang teilgenommen haben. Der theoretische und praktische Ausbildungsplan ist für beide Gruppen in den Richtlinien festgelegt.

Auf Grund der „Richtlinien für die Ausbildung und Prüfung von Kesselschweißern" — als Verordnung herausgegeben vom Reichswirtschaftsminister vom 30. November 1938 — dürfen nur solche Schweißer mit Schweißarbeiten an Dampfkesseln beschäftigt werden, welche die vorgeschriebenen Prüfungen mit Erfolg abgelegt haben.

Die wichtigsten Eigenschaften eines Elektroschweißers müssen sein:
Fleiß und Ausdauer,
gute Beobachtung,
eine sichere, ruhige Hand,
Gewissenhaftigkeit,
sowie der Wille, nicht nur zu lernen, sondern auch stets bestrebt zu sein, sich weiter auszubilden.

24. Fehler, die der Schweißer vermeiden soll.

Wenn auch die vom angehenden Schweißer durchgeführten verschiedenen Probeschweißungen an Altmaterial einigermaßen zufriedenstellend ausfallen, so werden die ersten Schweißarbeiten an Eisenkonstruktionen, Werkstücken usw. doch nicht gleich vollwertig sein. — Es werden da und dort kleinere und auch größere Fehler vorkommen, und zwar auch dann, wenn der Anfänger schon einige Übung in der Einstellung der richtigen Stromstärke und in der Erzielung eines gleichmäßigen Einbrandes besitzt. — Ein berufsfreudiger Schweißer wird seine Arbeit selbst kritisch prüfen, denn nur derjenige, der seine Fehler kennt, kann sie auch verhindern.

Nachstehend sind einige der am häufigsten vorkommenden Fehler und die Maßnahmen zu ihrer Vermeidung angegeben.

Es ist falsch, bei Auftragsschweißungen die einzelnen Schweißraupen so aneinander zu legen, wie dies die Abb. 92 zeigt, weil beim Abhobeln, Abdrehen oder Abschleifen der Schweiße keine gleichmäßige, fehlerlose Oberfläche entsteht, sondern die Stellen *A* als Riefen sichtbar bleiben, wodurch eine solche Schweißung unbrauchbar wird.

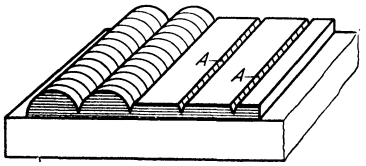


Abb. 92.

Es ist richtig, bei Auftragungen die Schweißraupen derart zu legen (Abb. 93), daß die folgenden Raupen ohne Zwischenraum an die vorhergehenden gut anschließen, was durch richtige Haltung, also entsprechende Neigung der Elektrode, erreicht wird. Die nachträgliche Bearbeitung der Auftragsschweiße wird in diesem Falle eine brauchbare Oberfläche zeigen.

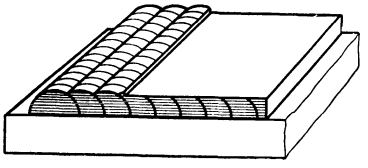


Abb. 93.

Es ist falsch, das Auftragen der Schweißraupen auf einer Welle (Abb. 94) in der Richtung des Umfanges *A* auszuführen, weil, wie die Erfahrung lehrt, durch diese Art der Raupenlegung Spannungen in der Welle hervorgerufen werden und als Folge davon sehr leicht Wellenbrüche vorkommen können.

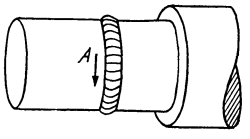


Abb. 94.

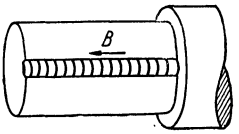


Abb. 95.

Es ist richtig, das Legen der Raupen (Abb. 95) nur in der Längsrichtung *B* der Welle vorzunehmen, bei gleichzeitiger genauer Einhaltung der im Abschn. 14 bereits angegebenen Reihenfolge der einzelnen Schweißraupen, weil sonst ein Verziehen — Werfen — der Welle eintritt. Mit Rücksicht auf das nachherige Abdrehen ist es notwendig, daß die Schweißraupen auf der Wellenstirnseite diese ein wenig übergreifen.

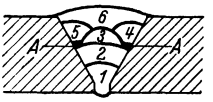


Abb. 96.

Es ist falsch, bei Mehrlagenschweißungen die einzelnen Schweißraupen in der durch Ziffern bezeichneten Reihenfolge zu legen (Abb. 96), da an den Stellen *A* ungebundene Schweißen, also Hohlräume entstehen, wodurch die Festigkeit der Schweißnaht ganz wesentlich herabgesetzt wird.

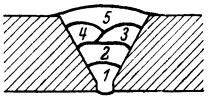


Abb. 97.

Es ist richtig, die Reihenfolge der einzelnen Schweißraupen, wie sie durch Ziffern in der Abb. 97 angegeben sind, einzuhalten. Man beginnt demnach mit der Schweißung stets am Rande der Schweißfuge, da — wie bereits in Abschn. 7 erwähnt — die Güte einer Schweißung ganz wesentlich von dem guten Einbrand an den Blechrändern abhängig ist.

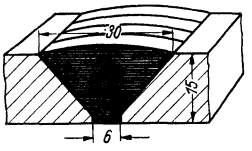


Abb. 98.

Es ist falsch, die Schweißkanten so abzuschrägen, wie es beispielsweise an 15 mm starken Blechen in der Abb. 98 dargestellt ist, weil das Ausfüllen einer so breiten Schweißfuge einen nutzlosen Mehraufwand an Arbeitszeit, Strom und Elektroden erfordert und außerdem große Schrumpfspannungen entstehen.

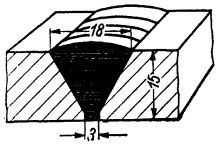


Abb. 99.

Es ist richtig, die Schweißfuge nur so breit abzuschrägen (Abb. 99), als dies zum guten Durchschweißen des Querschnittes erforderlich ist. Ausführliche Angaben für die gebräuchlichen Blechstärken von 8, 10, 12, 15 und 20 mm sowie 25 mm wurden bereits im Abschn. 13 gemacht.

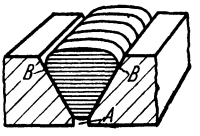


Abb. 100.

Es ist falsch, die Nahtwurzel *A* (Abb. 100) nicht gründlich durchzuschweißen und die oberen Blechränder bei *B* nicht gut verlaufend zu verschweißen, weil in beiden Fällen Kerben entstehen, die — manchmal schon bei verhältnismäßig geringer Belastung — die Ursache eines Bruches der Schweißnaht bilden.

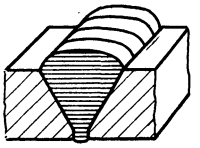


Abb. 101.

Es ist falsch, den Wulst der Deckraupe übermäßig hoch aufzutragen (Abb. 101). Eine überhöhte Naht bedeutet ebenfalls eine Kerbe und erniedrigt somit die Festigkeit bei wechselnder Belastung.

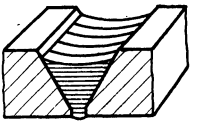


Abb. 102.

Es ist falsch, wenn die Deckraupe die Form der Abb. 102 aufweist, weil dadurch die Schweißfuge nicht vollständig ausgefüllt wird und mithin eine Schwächung des Blechquerschnittes zur Folge hat.

Es ist falsch, die Bleche, die durch eine Stoßnaht zu verbinden sind, so ungenau zu lagern, wie dies Abb. 103 zeigt, da dann nur ein Teil des Blechquerschnittes verschweißt werden kann.

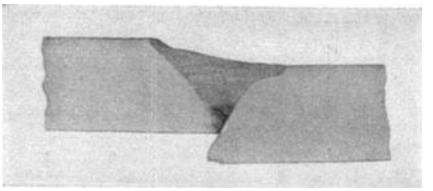


Abb. 103.

Es ist falsch, die Bleche sowohl nicht genügend abzuschrägen als auch ohne Spalt an der Wurzel aneinander zu legen. Auch im Falle der Abb. 104 wurden die Bleche nicht in ihrer ganzen Stärke verschweißt.

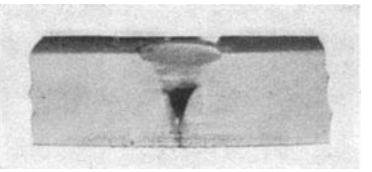


Abb. 104.

Es ist richtig, die Schweißfuge fachgemäß herzurichten und die Bleche in die erforderliche Lage zu bringen, daß der ganze Blechquerschnitt mit der richtig eingestellten Stromstärke und mit möglichst kurzem Lichtbogen gut durchgeschweißt werden kann (Abb. 105). Die Grundraupe ist mit einer dünnen Elektrode zu legen, damit auch die Nahtwurzel richtig erfaßt wird. Einen etwaigen Fehler an der Nahtwurzel behebt man — falls das Werkstück umgedreht werden kann — durch das Legen einer wurzelseitigen Raupe *C*, wobei jedoch die fehlerhaften Stellen an der Nahtwurzel vorher ausgekreuzt werden müssen, da sonst die Gefahr besteht, daß der durch die Kerbe gebildete Hohlraum letzten Endes doch nicht ganz ausgefüllt wird.

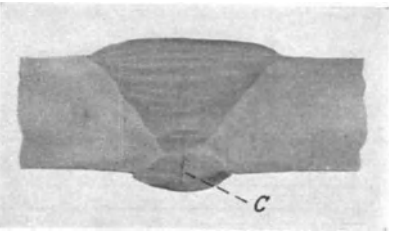


Abb. 105.

Es ist darauf zu achten, daß ein allmählich verlaufender Übergang der Deckraupe an den oberen Kanten der Schweißfuge erreicht wird. Die Deckraupe soll nur leicht überhöht sein.

Je genauer die Herrichtung der Schweißfuge durchgeführt wird, desto besser wird die Schweißung ausfallen. Fehler, die durch nicht sorgfältige Zurichtung der Werkstücke gemacht wurden, können durch die Schweißung niemals behoben werden.

Jeder Schweißer soll sich durch Vornahme von Biegeproben — über einem Dorn am Schraubstock — selbst davon überzeugen, welch überaus schädlichen Einfluß die Kerbwirkung auf die Festigkeit einer sonst gut ausgeführten Stoßschweißnaht hat, er wird dann gewiß sein besonderes Augenmerk auf einen allmählichen verlaufenden Übergang der Deckraupe mit dem Blech sowie auf die gründliche Verschweißung an der Nahtwurzel richten.

Es ist falsch, die Kehlnaht so breit zu schweißen, wie dies in der Abb. 106 mit *BB* angegeben ist, weil dadurch keine Erhöhung der Festigkeit erzielt wird. Abgesehen davon, daß eine derartige Schweißung nicht fachgemäß ist, ist sie außerdem infolge Mehraufwand an Zeit, Strom und Elektroden auch unwirtschaftlich.

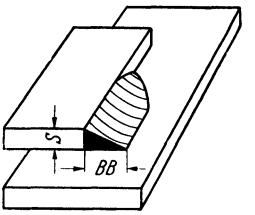


Abb. 106.

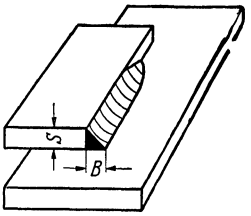


Abb. 107.

Es ist richtig, die Kehlnaht so zu schweißen, wie dies die Abb. 107 zeigt, weil die natürliche Form der Kehlnaht, also das gleichschenklige Dreieck, die größte Festigkeit ergibt. Die Kehlnahtbreite B soll gleich der Höhe S sein. Bei Festigkeitsnähten ist die Kehlnaht niemals hohl, sondern stets voll zu schweißen.

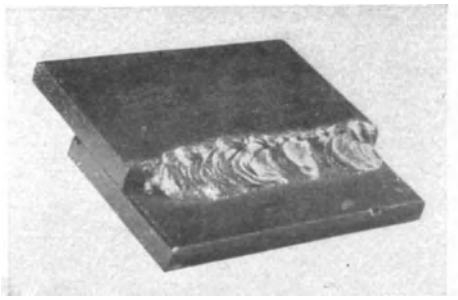


Abb. 108.

Es ist falsch, bei dem überlappten Stoß schwächerer Bleche die Kanten des aufliegenden Bleches abzuschmelzen (Abb. 108). Ursachen dieses Fehlers sind: der Lichtbogen wurde mehr auf das obere Blech gerichtet, und außerdem wurde eine zu starke Elektrode verwendet.

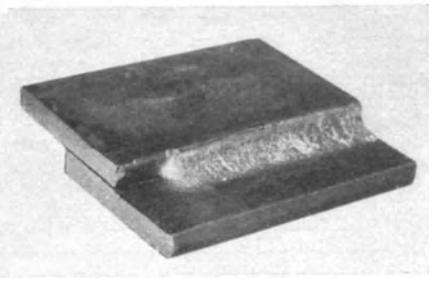


Abb. 109.

Es ist richtig, den Lichtbogen mehr auf das untere Blech zu richten und eine schwächere Elektrode zu nehmen. Die Kehlnaht muß die in der Abb. 109 ersichtliche Form haben.

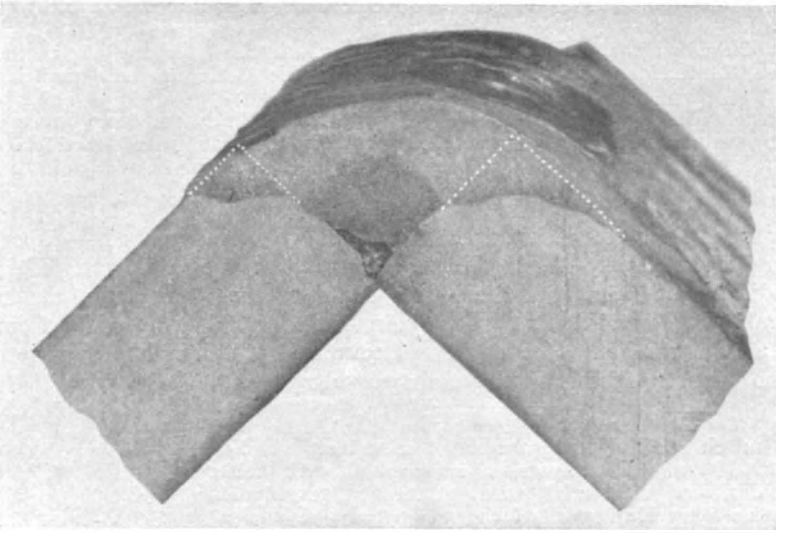


Abb. 110.

Es ist falsch, einen Winkelstoß so auszuführen, daß die Nahtwurzel keinen Einbrand aufweist und außerdem die freien Blechkanten abgeschmolzen wurden (Abb. 110). Ursachen der Fehler: zu starke Elektrode und zu niedrige Stromstärke.

Diese Schweißung wurde an 10 mm starken Blechen ausgeführt. In der Vergrößerung ist deutlich zu sehen, daß das Schweißgut in die Wurzel der Eckkehle nur hineingetropft ist. Es hat also an dieser Stelle eine Verschmelzung mit dem Grundmaterial nicht stattgefunden, ja es haben sogar die Metalltropfen die Wurzel nicht einmal ganz ausgefüllt.

Es ist richtig, wenn in einem solchen Falle zuerst eine Wurzellage mit einer dünnen Elektrode gezogen und erst dann die übrigen Raupen gelegt werden, wie dies Abb. 111 zeigt.

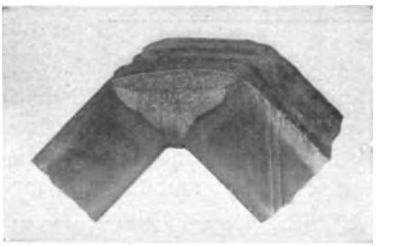


Abb. 111.

Es ist falsch, bei der Schweißung eines T-Stoßes, der aus Blechen von beispielsweise 13 mm und 6 mm besteht, die Elektrode unter einem Winkel von 45^0 (siehe Abb. 49) zu halten, da in diesem Falle der Wurzeleinbrand im unteren Blech mangelhaft wird und außerdem im stehenden Blech zumeist eine Randkerbe *K* entsteht (Abb. 112).

Auf die Gefährlichkeit der Kerbwirkungen wurde schon mehrfach hingewiesen. Durch die Einbrandkerbe erfährt der Blechquerschnitt eine Schwächung, wodurch die Festigkeit herabgesetzt wird.

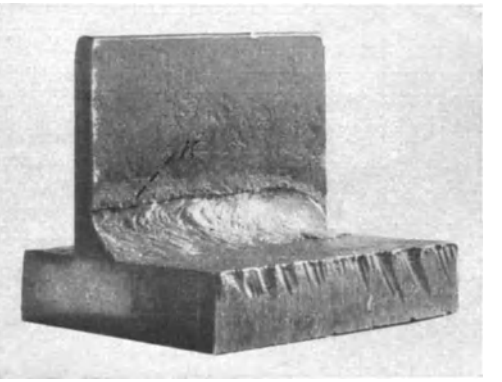


Abb. 112.

Es ist richtig, bei der Verschweißung ungleich starker Bleche den Lichtbogen durch steilere Haltung der Elektrode, etwa unter einem Winkel von 70^0, mehr auf das untere Blech zu richten. Das stärkere Blech benötigt zur Erzielung eines guten Einbrandes eben eine größere Wärmezufuhr. Die entlang der Kehlnaht verlaufende Kerbe im schwächeren Blech ist, wie Abb. 113 zeigt, nicht mehr aufgetreten.

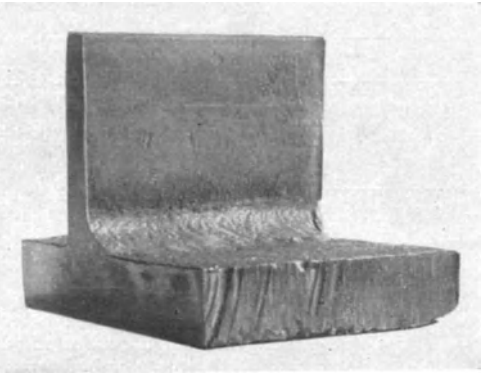


Abb. 113.

Es ist falsch, zwei lose gelagerte Bleche durch eine Schweißnaht zu verbinden, wie dies Abb. 114 zeigt. Beginnt man bei *A* mit der Nachrechtsschweißung, so öffnen sich zunächst die Bleche bei *B*, um dann nach kurzer Zeit infolge Schrumpfung der Naht sich übereinander zu legen, wie dies die gestrichelten Linien andeuten. Ein Ausrichten der Bleche in die ursprüngliche Lage ist ganz unmöglich, weshalb die Schweiße wieder ausgekreuzt werden muß.

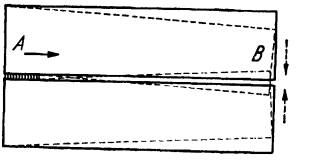


Abb. 114.

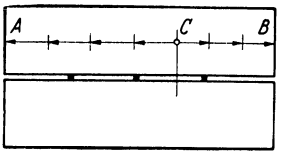


Abb. 115.

Es ist richtig, die Schweißung in der nachfolgenden Art (Abb. 115), die wohl zumeist angewendet wird, auszuführen. Der Abstand der beiden Bleche voneinander richtet sich nach der jeweiligen Blechstärke. Nach dem Heften — ungefähr 4···6 kurze Heftnähte auf den laufenden Meter — schweißt man zunächst vom Punkt *C* in der Richtung nach *B* und dann erst das zweite Ende von *C* nach *A*. Um einer zu hohen Erwärmung — besonders bei schmalen Blechen — vorzubeugen, schweißt man nicht in einem Zuge, sondern in kurzen Abschnitten bei gleichzeitiger Einschaltung richtig bemessener Schweißpausen. Etwa gerissene Heftnähte sind vor dem Durchschweißen der Naht auf jeden Fall zu entfernen.

Der vorstehend angegebene Arbeitsvorgang bezieht sich nicht nur auf die Stoßschweißung ebener Blechplatten allein, sondern wird auch bei zylindrisch oder kegelig eingerollten Mantelblechen mit dem gleichen Vorteil angewendet.

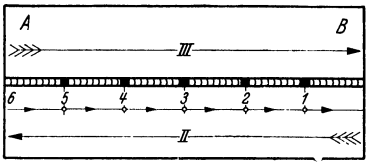


Abb. 116. Schweißung langer Stumpfnähte.

Um die unvermeidlichen Spannungen, die beim Schweißen langer Stoßnähte auftreten, auf ein Mindestmaß zu verringern, wird sehr häufig eine zweite Art der abschnittweisen Schweißung angewendet, die in Abb. 116 dargestellt ist. Zunächst werden die beiden Bleche wieder kurz geheftet. Sodann beginnt man mit dem Schweißen bei *1* in der Richtung nach *B*. Hierauf wird von *2* bis an den ersten Nahtabschnitt geschweißt, dann von *3* gegen *2* und so fort, bis die ganze Nahtlänge fertiggestellt ist. Der letzte Abschnitt von *6* nach *5* kann auch von innen nach außen, d. h. von *5* nach *6*, geschweißt werden.

Die Länge der einzelnen Schweißabschnitte ist der jeweiligen Blechstärke anzupassen. Beispielsweise wählt man bei 12 mm starken Blechen die einzelnen Abschnitte erfahrungsgemäß 120···180 mm lang.

Kommt eine Mehrlagenschweißung in Betracht, was bei Blechen von 6 mm Stärke aufwärts der Fall ist, so wird die zweite Lage in einem Zuge als durchlaufende Naht, und zwar von *B* nach *A* (Pfeilrichtung *II*) geschweißt. Falls noch eine dritte Lage geschweißt werden soll, beginnt man mit dieser bei *A* und schweißt durchlaufend nach *B* (Pfeilrichtung *III*).

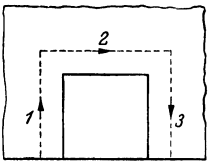


Abb. 117.

Es ist falsch, bei einem auf drei Seiten einzuschweißenden Flicken (Abb. 117) bei *1* zu beginnen und die Schweißung über *2* nach *3* in einem Zuge, oder auch in abschnittweiser Schweißung fortzusetzen, weil in diesem Falle die Arbeit zu einem Mißerfolge führt.

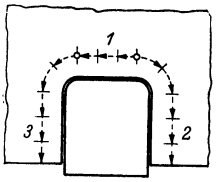


Abb. 118.

Es ist richtig, zunächst die scharfen Ecken stark abzurunden und den Flicken gut einzupassen, wobei jedoch so viel Spielraum vorhanden sein muß, daß eine gründliche Durchschweißung in der Nahtwurzel möglich ist (Abb. 118).

Mit Rücksicht auf die Schrumpfung muß der Flicken auf der freien Seite über das Blech vorstehen. Nach leichtem Heften an allen drei Seiten ist die Naht zunächst in der Richtung *1* zu schweißen, und zwar in der angegebenen Reihenfolge, erst dann folgen die Nähte in den Richtungen *2* und *3*. Damit der Flicken sich nicht allzu stark erwärmt, ist die Schweißung nicht in einem Zuge, sondern in

kurzen Abschnitten unter Einschaltung richtig bemessener Schweißpausen durchzuführen. Bei Mehrlagenschweißung ist es manchmal zweckmäßig, die Grundraupe wegen der Gefahr des Aufreißens nicht länger als höchstens 100 mm zu legen und sodann die Schweißfuge im ganzen Querschnitt voll auszufüllen, ehe die Grundraupe weitergeschweißt wird. Gerissene Heftnähte sind vor dem Durchschweißen der Naht zuverläßlich auszukreuzen.

Es ist falsch, einen allseits geschlossenen Flicken mit scharfen Ecken einzusetzen und in der Reihenfolge einzuschweißen, wie dies nebenstehende Abb. 119 zeigt, weil die Schweißnaht infolge der auftretenden Schrumpfung in den scharfen Ecken unbedingt aufreißen wird.

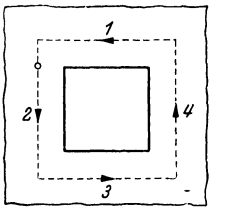


Abb. 119.

Es ist richtig, die Ecken gut abzurunden, den Flicken in der oben angegebenen Art sorgfältig einzupassen und an mehreren Stellen leicht zu heften (Abb. 120). Die Schweißung erfolgt dann in der angegebenen Reihenfolge.

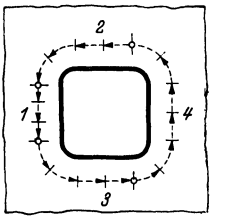


Abb. 120.

Die bereits bei der dreiseitigen Schweißung eines Flickens (Abb. 118) angeführten Maßnahmen, wie Schweißen in kurzen Abschnitten, Einschaltung von Schweißpausen, Auskreuzen etwa gerissener Heftnähte, sind auch bei dieser Arbeit genau zu beachten.

Unter Berücksichtigung der besonders in den Ecken auftretenden Spannungen ist es sehr vorteilhaft, den Flicken — wenn möglich — entweder in kreisrunder oder elliptischer Form auszuführen.

Die Regel, „je mehr Wärme einem Werkstück zugeführt wird, desto größer werden die Spannungen" (siehe Abschn. 8), soll sich der Schweißer bei derartigen Arbeiten stets vor Augen halten. Daher soll er nur dünne Elektroden verwenden und mit der Schweißung immer dort beginnen, wo das Werkstück am kältesten ist.

Unter Erfahrungen versteht man praktisch erworbene Kenntnisse. Vielfach werden diese auf Grund von Fehlschlägen gewonnen, weil man lernt, wie eine Sache nicht zu machen ist.

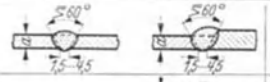
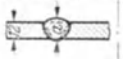
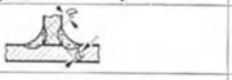
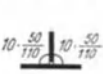
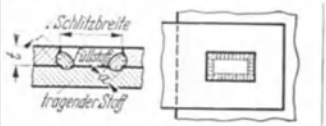
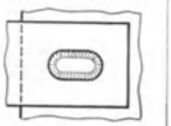
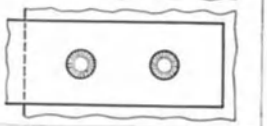
Der Schweißer soll sich der Verantwortung, die mit der Ausübung seines Berufes verbunden ist, stets bewußt sein und seine Arbeiten nach reiflicher Überlegung und bestem Wissen und Gewissen ausführen. Die anfangs unvermeidlichen Fehlschläge werden dann zur Quelle seiner Erfahrungen. Er wird auch trachten, vorkommende Fehler ohne wesentlichen Aufwand an Zeit und Werkstoff wieder zu beheben, und so ein erfahrener, guter Schweißer werden.

25. Die Kennzeichnung der Schmelzschweißnähte in Zeichnungen

ist durch das Normblatt DIN 4100 festgelegt, das nachstehend als Tabelle 7 wiedergegeben ist.

Tabelle 7. Sinnbilder für Schweißnähte (nach DIN 4100).

Maße in mm

Art	Sinnbild in Anwendung für Ansicht bzw. Aufsicht	Querschnitt
Stoßnähte		
V-Naht		
X-Naht		
Bezeichnung: Nach Nahtdicke a und Länge l z. B.: V-Naht $12(a) \cdot 300(l)$		
Werden die Schweißwulste zwecks Überdeckung durch einen Bauteil (z. B. Flacheisen) abgearbeitet, so erhalten die Sinnbilder statt Kreisbögen gerade Striche.		
Kehlnähte		
Volle Kehlnaht durchlaufend		
Leichte Kehlnaht		
Volle Kehlnaht unterbrochen		
Bezeichnung: Die Kehlnähte werden nach der Kehle a und der Länge l der Naht bezeichnet. Beispiel: Kehlnaht $10(a) \cdot 300(l)$. Bei unterbrochenen Kehlnähten ist das Maß der Unterbrechung von Mitte zu Mitte Schweiße in der Zeichnung anzugeben $10(a) \cdot \frac{50(l)}{110(e)}$		
Schlitznähte		
Langloch-Schlitz eckig		
Langloch-Schlitz abgerundet		
Rundloch		
Bezeichnung: Die Schlitznähte werden nach der Nahtdicke a und der abgewickelten Nahtlänge l bezeichnet. Beispiel: Schlitz eckig / „ abgerundet / Rundloch } $7(a) \cdot 150(l)$ / $7(a) \cdot 95(l)$		

1. Oft wird es sich empfehlen, in den Zeichnungen die verschiedenen vorkommenden Nahtformen in größerem Maßstabe herauszuzeichnen, zusammenzustellen und in der Zeichnung an den einzelnen Stellen auf diese Zusammenstellungen hinzuweisen. Bei den in größerem Maßstabe aufgezeichneten Nähten bietet sich auch Gelegenheit anzugeben, ob die Schweißung mit verschieden dicken Schweißdrähten und in wieviel verschiedenen Lagen sie ausgeführt werden soll.
2. Baustellenschweißungen sind in den Zeichnungen durch Hinzufügen des Buchstabens „B", Überkopf-Schweißungen durch „Ü" zu kennzeichnen.

Wiedergegeben mit Genehmigung des Deutschen Normenausschusses. Verbindlich ist die jeweils neueste Ausgabe des Normblattes im Normformat A 4, das beim Beuth-Vertrieb GmbH., Berlin SW 68 erhältlich ist.

Einteilung der bisher erschienenen Hefte nach Fachgebieten (Fortsetzung)

II. Spangebende Formung (Fortsetzung)

	Heft
Außenräumen. Von A. Schatz	80
Werkzeugschleifen. Von A. Rottler. (Im Druck)	94
Das Sägen der Metalle. Von H. Hollaender	40
Die Fräser. 3. Aufl. Von E. Brödner	22
Das Fräsen. Von Dipl.-Ing. H. H. Klein	88
Das Einrichten von Automaten I (Die Automaten System Spencer und Brown & Sharpe). Von K. Sachse. (Vergriffen)	21
Das Einrichten von Automaten II (Die Automaten System Gridley [Einspindel] und Cleveland und die Offenbacher Automaten). Von Ph. Kelle, E. Gothe, A. Kreil	23
Das Einrichten von Automaten III (Die Mehrspindel-Automaten, Schnittgeschwindigkeiten und Vorschübe). Von E. Gothe, Ph. Kelle, A. Kreil	27
Das Einrichten von Halbautomaten. Von J. v. Himbergen, A. Bleckmann, A. Wassmuth	36
Die wirtschaftliche Verwendung von Einspindelautomaten. Von H. H. Finkelnburg	81
Die wirtschaftliche Verwendung von Mehrspindelautomaten. Von H. H. Finkelnburg	71
Werkzeugeinrichtungen auf Einspindelautomaten. Von F. Petzoldt	83
Werkzeugeinrichtungen auf Mehrspindelautomaten. Von F. Petzoldt. (Im Druck)	95
Maschinen und Werkzeuge für die spangebende Holzbearbeitung. Von H. Wichmann	78

III. Spanlose Formung

Freiformschmiede I (Grundlagen, Werkstoff der Schmiede, Technologie des Schmiedens). 3. Aufl. Von F. W. Duesing und A. Stodt. (Im Druck)	11
Freiformschmiede II (Schmiedebeispiele). 2. Aufl. Von B. Preuss und A. Stodt	12
Freiformschmiede III (Einrichtung und Werkzeuge der Schmiede). 2. Aufl. Von A. Stodt	56
Gesenkschmiede I (Gestaltung und Verwendung der Werkzeuge). 2. Aufl. Von H. Kaessberg	31
Gesenkschmiede II (Herstellung und Behandlung der Werkzeuge). Von H. Kaessberg	58
Das Pressen der Metalle (Nichteisenmetalle). Von A. Peter	41
Die Herstellung roher Schrauben I (Anstauchen der Köpfe). Von J. Berger	39
Stanztechnik I (Schnittechnik). 2. Aufl. Von E. Krabbe	44
Stanztechnik II (Die Bauteile des Schnittes). 2. Aufl. Von E. Krabbe	57
Stanztechnik III (Grundsätze für den Aufbau von Schnittwerkzeugen). Von E. Krabbe	59
Stanztechnik IV (Formstanzen). 2. Aufl. Von W. Sellin. (Im Druck)	60
Die Ziehtechnik in der Blechbearbeitung. 3. Aufl. Von W. Sellin	25
Hydraulische Preßanlagen für die Kunstharzverarbeitung. Von H. Lindner	82

IV. Schweißen, Löten, Gießerei

Die neueren Schweißverfahren. 6. Aufl. Von P. Schimpke	13
Das Lichtbogenschweißen. 3. Aufl. Von E. Klosse	43
Praktische Regeln für den Elektroschweißer. 2. Aufl. Von R. Hesse	74
Widerstandsschweißen. 2. Aufl. Von W. Fahrenbach	73
Das Schweißen der Leichtmetalle. 2. Aufl. Von Th. Ricken. (Im Druck)	85
Das Löten. 3. Aufl. Von W. Burstyn	28
Das ABC für den Modellbau. Von E. Kadlec	72
Modelltischlerei I (Allgemeines, einfachere Modelle). 2. Aufl. Von R. Löwer	14
Modelltischlerei II (Beispiele von Modellen und Schablonen zum Formen). 2. Aufl. Von R. Löwer	17
Modell- und Modellplattenherstellung für die Maschinenformerei. Von Fr. und Fe. Brobeck	37
Der Gießerei-Schachtofen im Aufbau und Betrieb. 3. Aufl. von „Kupolofen-Betrieb". Von Joh. Mehrtens	10
Handformerei. Von F. Naumann	70
Maschinenformerei. Von U. Lohse	66
Formsandaufbereitung und Gußputzerei. Von U. Lohse	68

(Fortsetzung 4. Umschlagseite)