FORSCHUNGSZENTRUM DER LUFTFAHRTINDUSTRIE

Lehrschriften für die Berufsausbildung und Qualifizierung

Schweißingenieur Wilhelm George

METALLSCHWEISSEN
im Flugzeugbau

Als Manuskript gedruckt

Mit der Herausgabe beauftragt:

ZENTRALSTELLE FÜR LITERATUR UND LEHRMITTEL

Dresden 1960

Gutachter: Schweißing. Ewald Kaluza
Dr. paed. Franz Lichtenecker

Bearbeiter: Dipl.-Gwl. Walter Förster

Bestell-Nr. 7226

Als Manuskript gedruckt
1960

Nachdruck, Reproduktion und Nachbildung – auch auszugsweise –
nur mit Genehmigung des Verfassers und
der Zentralstelle für Literatur und Lehrmittel
im Forschungszentrum der Luftfahrtindustrie
Dresden N 2 – Postschließfach 40

III-9-266 IG 16 1060 1208 1,5

INHALTSVERZEICHNIS

1. Einführung 1

2. Erklärung des Begriffs Schweißen 5

3. Begriffe, Bezeichnungen und Symbole bei Schweißverbindungen und deren Elementen 6

4. Einteilung der Schweißverbindungen nach Beanspruchungsklassen 7

5. Schweißverfahren und ihre Anwendung im Flugzeugbau 9

5.1. Übersicht über die Schweißverfahren 9

5.2. Gasschweißen 9

5.2.1. Wärmequelle 9

5.2.2. Azetylen 11

5.2.3. Sauerstoff 12

5.2.4. Schweißgeräte 13

5.2.5. Schweißflamme 15

5.2.6. Einige Hinweise für die Durchführung des Gasschweißens 15

5.2.7. Besonderheiten des Gasschweißens von Aluminium 18

5.2.8. Nahtvorbereitung 21

5.2.9. Zusatzwerkstoffe 21

5.3. Lichtbogenschweißen 22

5.3.1. Wärmequelle 22

5.3.2. Vorgänge im Lichtbogen 22

5.3.3. Blaswirkung des Lichtbogens 23

5.3.4. Schweißausrüstung 24

5.3.4.1. Schweißstromerzeuger 24

5.3.4.2. Schweißkabel 30

5.3.4.3. Elektrodenzange und Werkstückanschlußzwinge 30

5.3.5. Nahtvorbereitung 30

5.3.6. Zusatzwerkstoffe 30

5.4. Argonarc-Schweißen 35

5.4.1. Wärmequelle 35

5.4.2. Schweißausrüstung 36

5.4.3. Elektroden 37

5.4.4. Argon 38

5.4.5. Besonderheiten beim WIG-Schweißen 39

5.4.6. Verbrauchs- und Leistungswerte 41

5.4.7. Zusatzwerkstoffe 42

5.5. Arcatom-Schweißen 42

5.5.1. Wärmequelle 42

5.5.2. Schweißausrüstung 43

5.5.3. Elektroden 44

5.5.4. Wasserstoff 44

5.5.5. Brennereinstellung und Brennerführung 44

5.5.6. Verbrauchs- und Leistungswerte 46

5.5.7. Zusatzwerkstoffe 47

5.6.Widerstands-Punktschweißen und Widerstands-Nahtschweißen 47

5.6.1.Begriffe 47

5.6.2.Verbindungselement 47

5.6.3.Gütebestimmende Faktoren bei der Herstellung des Verbindungselements 49

5.6.3.1.Überblick 49
5.6.3.2.Werkstoffart, Werkstoffdicke und Oberflächenbeschaffenheit 49
5.6.3.3.Geforderte Schweißqualität und Festigkeit 50
5.6.3.4.Schweißstrom, Schweißzeit und Elektrodendruck 52
5.6.3.5.Schweißmaschinen 58
5.6.3.6.Fensteröffnung 58
5.6.3.7.Form und Werkstoff der Elektroden 59

5.6.4.Vorteile des Punkt- und Nahtschweißens 59

5.7.Sonderschweißverfahren 60

5.7.1.SIGMA-Schweißen 60

5.7.2.CO_2-Schweißen 61

5.7.3.UP-Schweißen 61

5.7.4.Abbrenn-Stumpfschweißen 62

5.8.Geschweißte Werkstücke aus der Flugwerk- und Triebwerkfertigung 62

6.Werkstofffragen beim Schweißen 67

6.1.Schweißeignung der Werkstoffe 67

6.2.Wahl des Schweißverfahrens 67

6.3.Auswirkungen der Schweißwärme 67

7.Gestaltung von Schweißkonstruktionen 69

7.1.Einflußgrößen 69

7.2.Einige Grundsätze für die beanspruchungsgerechte Gestaltung 70

7.3.Einige Grundsätze für die fertigungsgerechte Gestaltung 70

7.4.Einige Grundsätze für die werkstoffgerechte Gestaltung 73

8.Schrumpfungen und Spannungen beim Schweißen 74

8.1.Ursachen und Arten der Schrumpfung 74

8.2.Berücksichtigung der Schweißschrumpfungen an Schweißteilen des Flugzeugbaus 75

9.Schweißvorrichtungen 79

10.Prüfung der Schweißverbindungen 80

11.Unfallverhütung 82

Verzeichnis der DIN- und TNL-Unterlagen für die Schweißtechnik 85
Literaturverzeichnis 88
Bildnachweis 88
Sachwörterverzeichnis 89
Veröffentlichungen der Zentralstelle für Literatur und Lehrmittel 90
Anhang (TNL 951 04 und 951 06)

1. Einführung

Es gibt nur wenige Industriezweige, die eine so hohe Sicherheit ihrer Erzeugnisse gewährleisten müssen wie der Flugzeugbau. Auf die Schweißteile im Flugzeug übertragen bedeutet das, daß eine hohe Güte der Schweißung notwendig ist, um diese Sicherheit der Konstruktion zu garantieren. Diese Güteforderung des Flugzeugbaus läßt sich nur erfüllen, wenn alle Größen, die die Güte der Schweißung beeinflussen, sowohl einzeln als auch in ihrem Zusammenwirken bekannt sind und beherrscht werden.

Die Schweißtechnik wird in bezug auf die Güte der Schweißung von drei Haupteinflußgrößen beherrscht:

Schweißverfahren,
Werkstoff und
Gestaltung.

Die einzelnen Einflußgrößen werden im Betrieb von Menschen mit unterschiedlichen Aufgabengebieten verkörpert.

Das S c h w e i ß v e r f a h r e n , die Technik des Schweißens, das Beherrschen der Schweißgeräte sowie die Einordnung der Schweißarbeiten in den gesamten Fertigungsablauf - das ist der Wirkungsbereich der Schweißer, der Schweißfachingenieure und Technologen.

Der W e r k s t o f f spielt für das Schweißen eine wichtige Rolle. Die Beantwortung von Fragen nach der Schweißbarkeit oder der notwendigen Wärmebehandlung eines Werkstoffs vor bzw. nach dem Schweißen gehören zum Aufgabenbereich der Metallogen.

Die G e s t a l t u n g der Schweißteile, vorausgehende Berechnungen und zeichnerische Ausführung sind die Aufgaben der Konstrukteure.

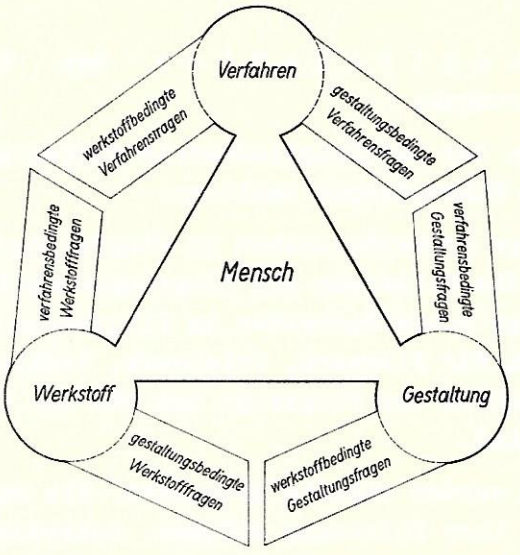


Bild 1.1 Beziehungen zwischen den Haupteinflußgrößen der Schweißtechnik

Das beste Schweißbauteil entsteht, wenn alle Einflußgrößen gebührend beachtet werden. Die notwendigen Voraussetzungen dafür schafft die Gemeinschaftsarbeit aller Fachleute, die Schweißteile gestalten, schweißtechnische Werkstoffprobleme lösen und das Schweißen ausführen.

Der Mensch

Schweißtechnisches Gestalten erfordert vom Konstrukteur Kenntnisse auf dem Gebiet der Schweißtechnik, wobei für ihn die Gestaltungsfragen im Vordergrund stehen. Der Technologe, der die schweißtechnische Fertigung vorbereitet, muß sich gleichfalls in der Schweißtechnik auskennen. Für ihn sind jedoch die Verfahrensfragen Schwerpunkt. Der Schweißer muß in erster Linie die Technik des Verfahrens einwandfrei beherrschen. Um die notwendige hohe Güte der Schweißteile im Flugzeugbau garantieren zu können, müssen alle auf dem Schweißgebiet tätigen Kräfte eine entsprechende Qualifikation nachweisen.

S c h w e i ß f a c h i n g e n i e u r e erhalten ihre schweißtechnische Ausbildung auf konstruktivem und technologischem Gebiet im Zentralinstitut für Schweißtechnik der DDR in Halle (ZIS), auf der Hochschule für Schwermaschinenbau in Magdeburg oder auf der Ingenieurschule für Schwermaschinenbau in Roßwein/Sa. Um die Konstrukteure und Technologen, die sich mit der Gestaltung und Fertigung von Schweißbauteilen des Flugzeugbaus befassen, mit den Belangen der Schweißtechnik vertraut zu machen, hat der Flugzeugbau eine eigene S c h w e i ß t e c h n i s c h e A u s b i l d u n g s s t ä t t e d e r L u f t f a h r t i n d u s t r i e in Dresden geschaffen. Dort erhalten Konstrukteure und Technologen durch die Teilnahme an schweißtechnischen Unterweisungslehrgängen die Kenntnisse vermittelt, die für ihre Tätigkeit erforderlich sind. Die Schweißtechnische Ausbildungsstätte der Luftfahrtindustrie spielt auch eine große Rolle bei der Ausbildung und Prüfung d e r Schweißer, die als F l u g z e u g s c h w e i ß e r zugelassen werden. In der Ausbildungsstätte werden neben der Schweißergrundausbildung zur Erlangung des Schweißerpasses die Sonderausbildung der Flugzeugschweißer durchgeführt und die Prüfungen abgenommen, die für die Zulassung als Flugzeugschweißer Voraussetzung sind.

In bezug auf die Q u a l i f i k a t i o n des S c h w e i ß e r s bestehen folgende Forderungen:

1. In den Betrieben der Luftfahrtindustrie dürfen nur Schweißer beschäftigt werden, die den Schweißerpaß besitzen.
2. Abnahmepflichtige Schweißarbeiten im Flugzeugbau dürfen nur Schweißer ausführen, die die Zulassung als Flugzeugschweißer besitzen. Abnahmepflichtige Schweißarbeiten im Flugzeugbau sind alle Schweißarbeiten an Bauteilen für Flugwerk, Triebwerk, Geräte und Hilfseinrichtungen, die für die Funktion des Flugzeugs und für die Sicherheit des Flugbetriebs von Bedeutung sind.

Die Flugzeugschweißer werden ständig überwacht. Sie müssen jährlich eine Wiederholungsprüfung für ihre Zulassung ablegen. Außerdem wird monatlich eine Schnittprüfung an den von ihnen ausgeführten Arbeiten vorgenommen.

Über die Qualifikation und Überwachung der Schweißer in der Luftfahrtindustrie

geben folgende Fachbereichstandards (TNL) Auskunft:

1. TNL 950 05
   Qualifikationsmerkmale für Schweißer in der Luftfahrtindustrie.
2. TNL 950 08
   Blatt 1 Überwachung der Schweißer.
   Wiederholungsprüfungen für Flugzeugschweißer.
   Blatt 2 Überwachung der Schweißer.
   Makro-Schliffprüfung.
   Blatt 3 Überwachung der Schweißer.
   Schweißerkartei.

Der S c h w e i ß t e i l - G ü t e p r ü f e r (Schweißkontrolleur) in der Luftfahrtindustrie nimmt nicht nur die fertigen Schweißteile ab, sondern kontrolliert auch den Arbeitsablauf während des Schweißens. Er soll deshalb mindestens den Schweißerpaß besitzen. Besser ist es, er besitzt auch die Zulassung als Flugzeugschweißer oder als Lehrschweißer. Er nimmt außerdem an den schweißtechnischen Unterweisungslehrgängen für Schweißteil-Güteprüfer in der Schweißtechnischen Ausbildungsstätte der Luftfahrtindustrie teil.

Das Gelingen einer einwandfreien Schweißverbindung hängt aber nicht allein von der Qualifikation des Schweißers ab. Wesentlich ist auch eine einwandfreie Vorbereitung der Schweißnaht durch den Flugzeugbauer. Flugzeugbauer und Flugzeugschweißer müssen deshalb eng zusammenarbeiten, um die geforderte hohe Güte der Schweißnaht und damit des geschweißten Flugzeugbauteils zu erreichen.

Das Verfahren

Für den Flugzeugbau werden aus der Vielzahl der vorhandenen Schweißverfahren nur die mit entsprechend hoher Güteleistung ausgewählt und angewandt. Solche Verfahren sind z.B. das Schutzgasschweißen mit Argon oder das elektrische Punkt- und Nahtschweißen mit elektronisch gesteuerten Schweißmaschinen.

Voraussetzung für die Anwendung der einzelnen Verfahren ist, daß die entsprechenden Schweißgeräte dafür vorhanden sind. Unter Schweißgeräte sind alle Einrichtungen zu verstehen, die mittelbar oder unmittelbar dem Schweißvorgang dienen. Dazu gehören z.B. Heft- und Schweißvorrichtungen, Schweißstromerzeuger, Punkt- und Nahtschweißmaschinen, Schweißzubehör u.a. Ständig ist die Schweißgeräteindustrie bemüht, die Geräte so zu verbessern, daß damit die beste Qualität erreicht werden kann. Nicht selten gibt der Schweißer mit seinen praktischen Erfahrungen den Anlaß zur Verbesserung und Weiterentwicklung der Geräte. Dabei ist das Bestreben zu erkennen, die Handarbeit zu mechanisieren, um dem Schweißer die Arbeit zu erleichtern, oder das Schweißverfahren zu automatisieren, um die subjektiven Einflüsse des Schweißers auf die Qualität der Schweißung möglichst auszuschalten. Gleichzeitig wird bei dieser Entwicklung zum automatischen Schweißen die Arbeitsproduktivität bedeutend erhöht.

Der Werkstoff

Der Werkstoff, der für Schweißkonstruktionen im Flugzeugbau verwendet wird, muß die Bedingungen des Leichtbaus erfüllen und eine gute Schweißeignung haben.

Aus der Reihe der Luftfahrtwerkstoffe entwickelt das Institut für Werkstoffe im Forschungszentrum der Luftfahrtindustrie in Zusammenarbeit mit der metallurgischen Industrie in der DDR zum Schweißen geeignete Werkstoffe für den Flugzeugbau. Diese Werkstoffe werden von der Aufsichtsbehörde der Luftfahrtindustrie, der Prüfstelle für Luftfahrtgerät, zugelassen und ständig überwacht. Die metallogischen Abteilungen in den einzelnen Betrieben der Luftfahrtindustrie achten auf die richtige Behandlung und Verwendung der Schweißwerkstoffe in der Fertigung. So werden werkstoffseitig die Voraussetzungen geschaffen, die notwendig sind, um die geforderte hohe Güte der Schweißung zu erreichen.

Hinweise über die Eigenschaften und Verwendungsmöglichkeiten der Luftfahrtwerkstoffe, über die Schweißeignung bestimmter Werkstoffe, auch über die Schweißbedingungen und die Verwendungsmöglichkeit für bestimmte Schweißkonstruktionen können folgenden Unterlagen entnommen werden:

1. Luftfahrt-Werkstoff-Leistungsblätter,
   verbindliche Unterlagen, herausgegeben von der Zentralstelle für Standardisierung
2. Luftfahrt-Werkstoff-Blätter,
   erweiterte Luftfahrt-Werkstoff-Leistungsblätter als vorläufig unverbindliche Arbeitsunterlagen für Konstrukteur und Statiker, herausgegeben vom Institut für Werkstoffe für die Werkstoffgruppen

Stahl	1. Ausgabe, Juli 1958,
Schwermetalle	1. Ausgabe, April 1958,
Leichtmetalle	1. Ausgabe, Dezember 1958.

Die Güte von Schweißverbindungen an Flugzeugkonstruktionen wird nicht nur vom geeigneten Werkstoff, sondern häufig auch von der richtigen Wärmebehandlung vor und nach dem Schweißen beeinflußt. Aus den Wärmebehandlungsvorschriften, die ebenfalls vom Institut für Werkstoffe herausgegeben werden und von dort zu beziehen sind, erhalten die technologischen Abteilungen Hinweise für die erforderliche Wärmebehandlung beim Schweißen von Luftfahrtwerkstoffen. Es sind folgende Ausgaben zu nennen:

1. Wärmebehandlungsvorschriften, Stahl, 1. Ausgabe, September 1958,
2. Wärmebehandlungsvorschriften, Schwer- und Leichtmetalle (angekündigt).

Die Gestaltung

Die Gestalter von Bauteilen für Flugzeuge müssen bei ihrer Arbeit vielfältige Forderungen berücksichtigen. Dazu gehören z.B.

der Leichtbau (Form- und Stoffleichtbau),

das Einhalten der notwendigen statischen und dynamischen Festigkeit,

das Gewährleisten einwandfreier Funktion in einem bestimmten Temperaturbereich und bei den möglichen Belastungsfällen,

das Anpassen an die aerodynamische Form.

Die Entwicklung zu ständig wachsenden Flughöhen und Fluggeschwindigkeiten bei zunehmenden Fluggewichten vermehrt die Ansprüche an die Gestaltung der Flugzeugbauteile.

Geschweißte Flugzeugbauteile unterscheiden sich deutlich in der Gestaltung von genieteten oder gegossenen Konstruktionen. Die Gefahr für jede Schweißkonstruktion, sich an Niet- oder Gießkonstruktionen anzulehnen, ist im Flugzeugbau nicht mehr vorhanden. Im Gegenteil zeigt gerade der Flugzeugbau besonders deutlich die Vorteile, die die Schweißverbindung dem gestaltenden Konstrukteur bietet.

2. Erklärung des Begriffs Schweißen

Nach DIN 1910 wird zwischen Metallschweißen und Kunststoffschweißen unterschieden. Nach dem Zweck kann das Schweißen in Verbindungsschweißen und Auftragsschweißen eingeteilt werden. Das Schweißen kann von Hand als Handschweißen oder maschinell als Maschinenschweißen ausgeführt werden. Beim halbautomatischen und vollautomatischen Schweißen läuft der Schweißvorgang selbsttätig ab. Die folgenden Ausführungen befassen sich ausschließlich mit dem Metallschweißen zum Zwecke der Verbindung von Bauteilen.

> M e t a l l s c h w e i ß e n ist ein Vereinigen metallischer Werkstoffe unter Anwendung von Wärme oder von Druck oder von beiden, und zwar mit oder ohne Zusetzen von artgleichem Werkstoff (Zusatzwerkstoff) mit gleichem oder nahezu gleichem Schmelzbereich.

Z i e l d e s S c h w e i ß e n s ist, zwischen den Begrenzungsflächen der zu vereinigenden Teilstücke die gleichen inneren Kräfte zur Wirkung zu bringen, die den Zusammenhalt im Werkstoff und seine technologischen Eigenschaften bedingen. Je vollkommener diese Vereinigung gelingt, um so hochwertiger ist das Schweißverfahren. In DIN 1910 werden drei Gruppen von Metallschweißverfahren definiert:

Kalt-Preßschweißen,
Preßschweißen und
Schmelzschweißen.

Das Verbinden kann allein durch Druck erzwungen werden, wenn durch diesen Druck der Werkstoff an der Verbindungsstelle plastisch verformt wird (K a l t - P r e ß s c h w e i ß e n) . Diese Möglichkeit wird praktisch noch nicht genutzt.

Da der Formänderungswiderstand der metallischen Werkstoffe mit steigender Temperatur sinkt, gelingt die Verbindung durch Druck mit zusätzlicher Wärmezufuhr bereits bei entsprechend geringeren Drücken. Einschränkende Bedingungen sind allerdings, daß unter der Einwirkung der Temperatur auf der Trennfläche keine Oxyde gebildet oder diese unmittelbar vor dem Verschweißen beseitigt werden können (P r e ß s c h w e i ß e n) .

Auf die Anwendung äußerer Kräfte kann schließlich ganz verzichtet werden, wenn der Werkstoff an den Trennflächen verflüssigt und außerdem flüssiger Werkstoff zur Auffüllung der trennenden Fuge zugesetzt wird. Die verflüssigten Zonen vereinigen sich unter Überwindung der Oberflächenspannung zu einem einheitlichen Schmelzbad, das nach seiner Erstarrung den Zusammenhalt schafft (S c h m e l z s c h w e i ß e n) .

Die Temperaturhöhe soll beim Preßschweißen in der Nähe der Soliduslinie (solidus lat. fest), beim Schmelzschweißen oberhalb der Liquiduslinie (liquidus lat. flüssig) liegen, um ein Vereinigen herbeizuführen.

3. Begriffe, Bezeichnungen und Symbole bei Schweißverbindungen und deren Elementen

Für schweißtechnische Schriften, Normen, Zeichnungen, Fertigungsunterlagen, Lieferbedingungen und Gütevorschriften müssen einheitliche Bezeichnungen der Elemente einer Schweißverbindung, einheitliche Maßbuchstaben und einheitliche schweißtechnische Zeichnungsangaben angewendet werden. Als Unterlagen für einheitliche Begriffsbestimmungen und Zeichnungsangaben dienen die Normen DIN 1911 (Entwurf 2.58) und DIN 1912.

Im Flugzeugbau werden nicht alle in diesen Normen enthaltenen Begriffe benötigt bzw. besondere Begriffe zusätzlich verwendet. Die Zentralstelle für Standardisierung in der Luftfahrtindustrie hat deshalb für den Flugzeugbau DIN 1911 und DIN 1912 zu folgenden TNL ausgearbeitet:

1. TNL 951 04
   Schmelzschweißverbindungen. Begriffe.
2. TNL 951 06
   Preßschweißverbindungen. Begriffe.
3. TNL 106 45
   Schmelzschweißverbindungen. Angaben auf Zeichnungen.
4. TNL 106 46
   Preßschweißverbindungen. Angaben auf Zeichnungen.

Die für einheitliche Begriffsbildung auf dem Gebiet der Schweißtechnik maßgebenden Standards TNL 951 04 und TNL 951 06 sind dieser Lehrschrift als Anhang beigegeben.

Kurzzeichen	Schweißverfahren
G	Gasschweißen (Autogenschweißen)
E	elektrisches Lichtbogenschweißen von Hand mit Schweißelektrode
Arc	atomares Lichtbogenschweißen (Arcatomschweißen)
WIG	Edelgas-Lichtbogenschweißen (Argonarcschweißen) mit nichtverzehrender Elektrode
MIG	Edelgas-Lichtbogenschweißen (SIGMA-Schweißen) mit abschmelzender Elektrode
WP	elektrisches Widerstands-Punktschweißen
WR	elektrisches Widerstands-Nahtschweißen (Rollennahtschweißen)
WA	elektrisches Abbrennstumpfschweißen

Bild 3.1 Kurzzeichen für die im Flugzeugbau angewandten Schweißverfahren

In den TNL 106 45 und 106 46 werden die Kurzzeichen für die Schweißverfahren angegeben, die im Flugzeugbau verwendet werden (Bild 3.1). Es ist jedoch nicht ausgeschlossen, daß zu diesen Kurzzeichen neue hinzukommen, wenn durch den technischen Fortschritt neue Schweißverfahren, z.B. UP-Schweißen, in der Fertigung eingeführt werden.

4. Einteilung der Schweißverbindungen nach Beanspruchungsklassen

Nach DIN 1912 werden zwei Güteklassen der Schweißverbindungen unterschieden:

Güteklasse I alle Voraussetzungen in bezug auf Werkstoff, Vorbereitung, Schweißverfahren, Schweißgut und Personal für die Herstellung einer einwandfreien Schweißung sind gegeben. Fehlerfreie Ausführung wird durch eine Prüfung, z.B. Durchstrahlungsprüfung, nachgewiesen;

Güteklasse II wie bei Güteklasse I, jedoch ohne Nachweis fehlerfreier Ausführung durch zusätzliche Prüfung.

Wegen der Eigenart der geschweißten Konstruktionen im Flugzeugbau sind die zwei Güteklassen nach DIN 1912 nicht brauchbar. Aber auch die früher im Flugzeugbau verwendete Einteilung

Festnaht (F),
Normalnaht (N) und
Leichtnaht (L)

entspricht nicht mehr den jetzigen Forderungen. Die Schweißverbindungen müssen vielmehr in B e a n s p r u c h u n g s k l a s s e n eingeteilt werden. Für die Einordnung in die einzelnen Beanspruchungsklassen gelten u.a. folgende Gesichtspunkte:

1. Beanspruchung der Schweißverbindung im Betrieb,
2. Berechnungsgrundlagen, insbesondere Abminderungsfaktoren,
3. Schweißerqualifikation,
4. Fertigungsmöglichkeit, insbesondere das angewendete Schweißverfahren,
5. Prüfforderungen.

Es werden Unterlagen durch die Zentralstelle für Standardisierung ausgearbeitet, die die Beanspruchungsklassen von geschweißten Verbindungen an Bauteilen des Flugzeugbaus einheitlich festlegen. Zur Zeit finden noch betriebsgebundene Regelungen Anwendung, wie z.B. im Flugwerkbau. Dort richtet sich die Beanspruchungsklasse in der Hauptsache nach den Prüfanforderungen, nach denen das Schweißteil im fertigen Zustand geprüft wird. Es werden drei Prüfgruppen unterschieden. Zu jeder Prüfgruppe kann noch eine Dichtprüfung kommen. Die Anwendungsmöglichkeit der Prüfverfahren ist bestimmend für die Wahl der Prüfgruppe. Jeweils nach der bestimmenden Prüfgruppe werden die entsprechend festgelegten Abminderungsfaktoren für statische und dynamische Beanspruchung in die Festigkeitsrechnung eingesetzt.

Einzelheiten über die Prüfgruppen für Schweißnähte im Flugwerkbau enthält Abschnitt 10.

Wärmequelle	Anwendung		
	nur von Wärme	von Wärme und Druck	nur von Druck
	Schmelzschweißen	Preßschweißen	Kalt-Preßschweißen
Gasflamme	Gasschweißen	Gas-Preßschweißen	-
elektrischer Lichtbogen	Lichtbogen-schweißen	Lichtbogen-Preßschweißen	-
elektrischer Strom im Widerstand	Widerstands-Schmelzschweißen	Widerstands-Preßschweißen	-
chemische Reaktion	aluminothermisches Schmelzschweißen	aluminothermisches Preßschweißen	-
flüssiger Wärmeträger	Gießschweißen	Gieß-Preßschweißen	-
Ofen	-	Feuerschweißen	-
ohne Wärme	-	-	Kalt-Preßschweißen (Sonderverfahren)

Bild 5.1 Einteilung der Metallschweißverfahren nach den Wärmequellen

<table>
<tr><td colspan="5">Metallschweißverfahren</td></tr>
<tr><td colspan="4">Preßschweißen</td><td colspan="3">Schmelzschweißen</td></tr>
<tr><td rowspan="2">Gas-Preß-schweißen</td><td colspan="3">Gas-Wulstschweißen</td><td colspan="3">Gasschweißen (Autogenschweißen)</td></tr>
<tr><td colspan="3">Gas-Abbrennschweißen</td><td rowspan="10">Lichtbogen-schweißen</td><td rowspan="2">offenes Lichtbogen-schweißen</td><td>Lichtbogenschweißen mit Schweißelektrode</td></tr>
<tr><td colspan="4">Lichtbogen-Preßschweißen</td><td>Lichtbogenschweißen mit Kohleelektroden</td></tr>
<tr><td rowspan="4">Widerstands-Preß-schweißen</td><td rowspan="2">Widerstands-Stumpf-schweißen</td><td>Preß-Stumpfschweißen</td><td rowspan="2">verdecktes Lichtbogen-schweißen</td><td>Unter-Schienen-Schweißen (US-Schweißen)</td></tr>
<tr><td>Abbrenn-Stumpfschweißen</td><td>Unter-Pulver-Schweißen (UP-Schweißen)</td></tr>
<tr><td rowspan="3">Widerstands-Punkt- und Naht-schweißen</td><td>Punktschweißen</td><td rowspan="3">Schutzgas-Lichtbogen-schweißen</td><td>Atomares Lichtbogen-schweißen (Arcatom)</td></tr>
<tr><td>Buckelschweißen</td><td>Edelgas-Lichtbogen-schweißen (Argonarc)</td></tr>
<tr><td>Nahtschweißen</td><td>CO_2-Licht-bogenschweißen</td></tr>
<tr><td colspan="4">aluminothermisches Preßschweißen</td><td colspan="3">Widerstands-Schmelzschweißen</td></tr>
<tr><td colspan="4">Gieß-Preßschweißen</td><td colspan="3">aluminothermisches Schmelzschweißen</td></tr>
<tr><td colspan="4">Feuerschweißen</td><td colspan="3">Gießschweißen</td></tr>
<tr><td colspan="4">Bemerkung:
Die Definitionen für die aufgeführten Schweißverfahren sind DIN 1910 zu entnehmen.</td><td colspan="3"></td></tr>
</table>

Bild 5.2 Übersicht über die Schweißverfahren

5. Schweißverfahren und ihre Anwendung im Flugzeugbau

5.1. Übersicht über die Schweißverfahren

Werden die Schweißverfahren nach den Wärmequellen geordnet, so entsteht nach DIN 1910 die Übersicht des Bilds 5.1. Dieses Bild läßt erkennen, daß im wesentlichen zwei Gruppen von Schweißverfahren zu unterscheiden sind: S c h m e l z s c h w e i ß e n und P r e ß s c h w e i ß e n .

Im Bild 5.2 werden die bekannten Schweißverfahren (ohne die Sonderschweißverfahren) entsprechend DIN 1910 aufgeführt. Die im Flugzeugbau vorzugsweise angewendeten Schweißverfahren sind im Bild 5.2 stark umrandet. Sie werden in dieser Schrift näher behandelt.

5.2. Gasschweißen

5.2.1. Wärmequelle

In DIN 1910 wird das in die Gruppe Schmelzschweißen gehörende Gasschweißen wie folgt erläutert:

> Der Schmelzfluß entsteht durch unmittelbare, örtlich begrenzte Einwirkung einer Brenngas-Sauerstoff- oder Brenngas-Luft-Flamme.

Diese Schweißflamme vor der Düse eines Schweißbrenners dient als Wärmequelle zur Erzeugung des Schmelzflusses von Grundwerkstoff und Zusatzwerkstoff. Die Flamme entsteht in den meisten Fällen durch Verbrennung eines Azetylen-Sauerstoff-Gemischs. Nur selten werden andere Brenngase verwendet. In den Bildern 5.3 und 5.4 werden die Wärmewerte der verschiedenen Brenngase zum Vergleich gegenübergestellt.

Die Flammenleistung vermittelt ein Bild von der an der Brennerspitze in der Zeiteinheit erzeugten Wärmemenge bei der Verwendung verschiedener Brenngase. Aus beiden Bildern ist zu erkennen, weshalb Azetylen als Brenngas für die Schweißflamme bevorzugt angewendet wird.

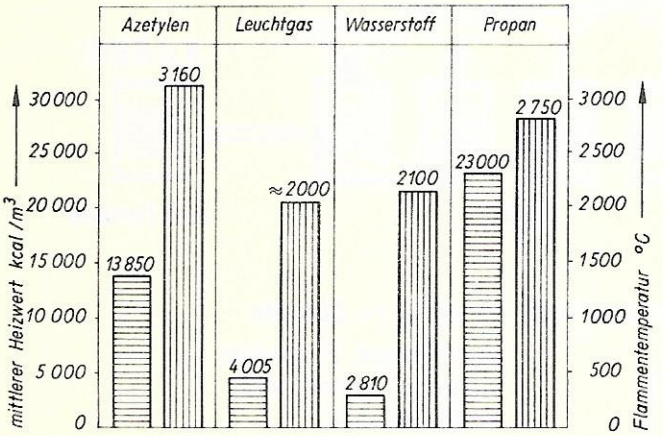


Bild 5.3 Heizwert und Flammentemperatur der Brenngase

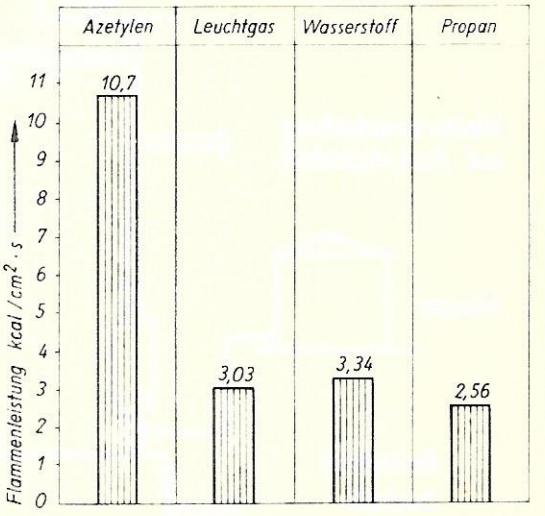


Bild 5.4 Leistung der Schweißflamme mit verschiedenen Brenngasen

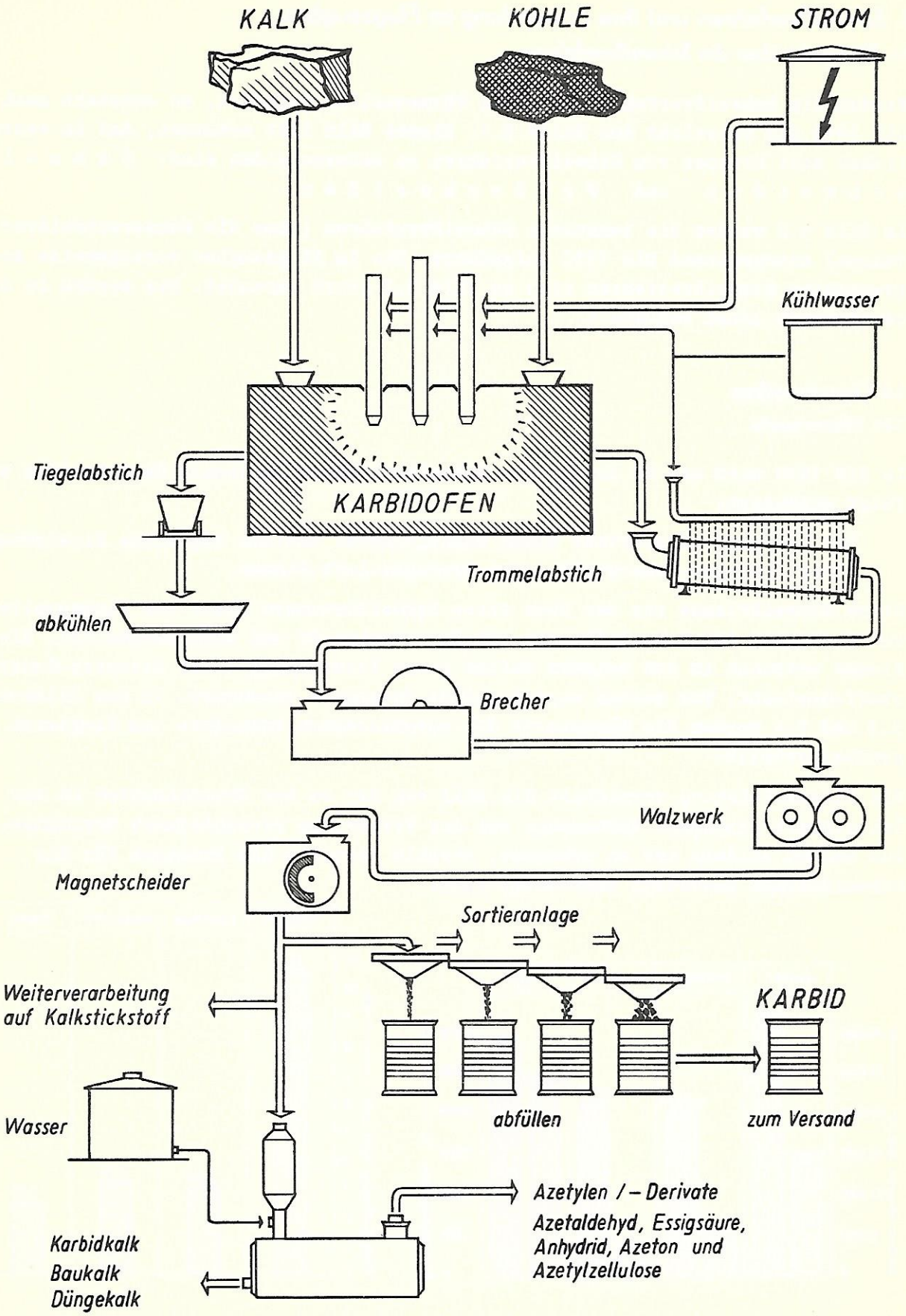


Bild 5.5 Produktionsschema von Kalziumkarbid

5.2.2. Azetylen

Ausgangsstoffe für das Azetylen sind Kalk und Koks, aus denen Kalziumkarbid gewonnen wird. Unter Einwirkung von Wasser spaltet sich aus dem Kalziumkarbid der brennbare Kohlenwasserstoff Azetylen ab.

Karbiderzeugung

Die chemischen Reaktionen bei der Karbiderzeugung können vereinfacht folgendermaßen dargestellt werden:

$CaCO_3$	+	Wärme	=	CaO	+	CO_2
Kalkstein (kohlensaurer Kalk)				Kalziumoxyd (gebrannter Kalk)		Kohlendioxyd

Unter Aufwendung von Wärme aus elektrischer Energie entsteht aus

CaO	+	$3C$	=	CaC_2	+	CO
Kalziumoxyd (gebrannter Kalk)		Kohlenstoff (Koks)		KALZIUMKARBID		Kohlenmonoxyd

Die Rohstoffe Kalk und Koks werden bei Temperaturen von etwa 2000 °C zu Kalziumkarbid umgewandelt. Dazu sind je nach Ofenart für eine Tonne Kalziumkarbid 3000 bis 3500 kWh elektrische Energie nötig. Die elektrische Energie wird durch Kohleelektroden dem Ofeninneren mit verhältnismäßig niedrigen Spannungen zwischen 100 und 250 V, aber mit sehr hohen Stromstärken zwischen 40 000 und 90 000 A und mehr zugeführt. Karbidöfen wirken als Lichtbogen- und Widerstandsöfen zugleich. Es gibt heute bereits rotierende Karbidöfen mit einer Leistungsaufnahme bis zu 35 000 kW und einer täglichen Karbiderzeugung von nahezu 300 t.

Das Kalziumkarbid ist normgerecht (DIN 53 922), wenn es bei folgenden Körnungen mindestens folgende Durchschnitts-Gasausbeuten an Azetylen aufweist (Bild 5.6):

Körnung mm	Gasausbeute (Liter Gas je Kilogramm Karbid)
50 ... 80	≈ 300
25 ... 50	≈ 300
15 ... 25	≈ 280
7 ... 15	≈ 260
4 ... 7	≈ 260
2 ... 4	ohne Gewähr

Bild 5.6 Körnung und Gasausbeute des Kalziumkarbids

Azetylenerzeugung

CaC_2	+	H_2O	=	C_2H_2	+	CaO	+	Wärme
Kalziumkarbid		Wasser		AZETYLEN		gebrannter Kalk		

Um die entstehende Wärme im Azetylenentwickler sofort unschädlich zu machen, bevor das Kalziumkarbid zum Glühen kommt und der Entwickler dadurch explodieren kann, wird mehr Wasser zugegeben, als für die chemische Reaktion notwendig ist. In diesem Entwicklerwasser, in dem - wie vorher aufgeführt - das Azetylen entsteht, wird der gebrannte Kalk sofort beim Entstehen auch gelöscht.

CaO	+	H_2O	=	$Ca(OH)_2$
gebrannter Kalk		Wasser		gelöschter Kalk (Kalziumlauge)

Im Flugzeugbau wird nicht das unmittelbar im Entwickler gewonnene Azetylen verwendet, weil es meist verunreinigt und zu feucht ist. Es wird vielmehr mit sogenanntem F l a s c h e n - oder D i s s o u s g a s gearbeitet, das in Stahlflaschen geliefert wird. Dieses Gas ist ohne Verunreinigungen und trokken, so daß ungünstige Einflüsse auf die Qualität der Schweißung ausgeschlossen sind.

Die Stahlflaschen, die das Azetylen enthalten, sind g e l b gekennzeichnet und haben 40 Liter Fassungsvermögen. Da Azetylen nur bis zu einem Druck von 1,5 kp/cm² verdichtet werden darf (bei höheren Drücken kann Azetylen unter Explosionserscheinungen in Wasserstoff und Kohlenstoff zerfallen), ist es in den Stahlflaschen im gelösten Zustand enthalten. Zu diesem Zweck sind die Azetylenflaschen vollständig mit einer porösen Masse gefüllt, so daß das gelöste Azetylen auf kleinste Räume verteilt ist. Die Masse ist mit etwa 16 Liter Azeton getränkt. Bei atmosphärischem Druck vermag ein Liter Azeton etwa 25 Liter Azetylen zu lösen. Die Lösungsfähigkeit des Azetons für Azetylen wächst mit steigendem Druck. Das gelöste Azetylen wird auf etwa 15 kp/cm² verdichtet, so daß eine volle Azetylenflasche etwa 6000 Liter Gas enthält.

Der Azetylenverbrauch kann nicht ohne weiteres durch Ablesen des Druckabfalls am Flaschenmanometer und Umrechnen in Kubikmeter ermittelt werden. Die verbrauchte Azetylenmenge wird vielmehr durch Wiegen der Flasche vor und nach dem Schweißvorgang in Kilogramm angegeben. Ein Kubikmeter Azetylen wiegt 1,17 kg, eine Flaschenfüllung von etwa 6 m³ also rund 7 kg.

Werden aus einer Azetylenflasche mehr als 1000 l/h Azetylen entnommen, so wird Azeton mitgerissen. Das Azeton verklebt beim Schweißen Druckminderventil und Schweißbrenner und macht die Schweißflamme unbrauchbar. Wenn mehr als 1000 l/h Azetylen gebraucht werden, sind mehrere Flaschen parallelzuschalten.

Bei Verwendung von Azetylen aus Flaschen ist keine Wasservorlage erforderlich.

5.2.3. Sauerstoff

Der Sauerstoff wird aus flüssiger Luft gewonnen. Gereinigte und von Kohlendioxyd befreite Luft wird auf hohen Druck (bis auf 200 kp/cm²) verdichtet. Im Gegenstromkühler wird die Hochdruckluft von kaltem, aus dem Trennapparat entweichenden Stickstoff auf tiefe Temperaturen vorgekühlt. Im isolierten Trennapparat wird die Luft dann durch Entspannung verflüssigt. Da bei atmosphärischem Druck die Verdampfungstemperatur des Sauerstoffs (-183 C) um 13 höher liegt als die des flüssigen Stickstoffs (-196 C), kann der Sauerstoff durch Abdampfen vom Stickstoff getrennt werden.

Der Sauerstoff wird wie Azetylen in Stahlflaschen aufbewahrt und zwar mit einem Druck von 150 kp/cm². Der Sauerstoff muß trocken sein und einen Reinheitsgrad von etwa 99,5 Prozent aufweisen. Die Sauerstoff-Flasche ist b l a u gekennzeichnet und hat 40 Liter Rauminhalt. Die Sauerstoff-Füllung bei Normaltemperatur läßt sich nach dem aus der Physik bekannten Boyle-Mariotteschen Gesetz errechnen. Das Gesetz besagt, daß das Produkt aus Gasvolumen und Gasdruck konstant ist. Danach läßt sich das in einer Gasflasche unter einem bestimmten Druck vorhandene Gasvolumen in die Gasmenge umrechnen, die bei Entspannung auf 1 kp/cm² zum Schweißen verfügbar ist.

$$p_1 \cdot V_1 = p_2 \cdot V_2 = \text{const.}$$

$$V_1 = \frac{p_2}{p_1} \cdot V_2$$

Für die volle Sauerstoff-Flasche:

$p_1 = 1$ kp/cm²
$V_1 = ?$
$p_2 = 150$ kp/cm²
$V_2 = 40$ l

$$V_1 = \frac{150 \text{ kp/cm}^2}{1 \text{ kp/cm}^2} \cdot 40 \text{ l}$$

$V_1 = 6000$ l

Der Sauerstoffverbrauch einer Schweißung kann ebenfalls nach dem Boyle-Mariotteschen Gesetz errechnet werden, wenn der Druckabfall des Inhaltsmanometers beachtet wird.

$$V_S = 40\ l \cdot \frac{(p_a - p_e)\ kp/cm^2}{1\ kp/cm^2}$$

$$V_S = 40\ l \cdot (p_a - p_e)$$

V_S beim Schweißen verbrauchte Gasmenge
p_a Flaschendruck vor Beginn der Schweißung
p_e Flaschendruck nach beendeter Schweißung

Beispiel: Bei Beginn der Schweißarbeit zeigt das Flaschenmanometer 130 kp/cm², am Ende 90 kp/cm² Druck an. Wie groß ist der Sauerstoffverbrauch?

$$V_S = 40\ l \cdot (130 - 90)$$
$$V_S = 40\ l \cdot 40$$
$$V_S = 1600\ l$$

5.2.4. Schweißgeräte

Zu den Schweißgeräten für das Gasschweißen gehören Druckminderventile, Gasschläuche und Schweißbrenner.

Druckminderventile

Die Druckminderventile müssen zwei Aufgaben erfüllen,

1. den Flaschendruck auf den Arbeitsdruck reduzieren, der beim Schweißen je nach Brennergröße zwischen 0,1 und 3 kp/cm² liegt, und
2. den eingestellten Arbeitsdruck trotz anhaltender Gasentnahme konstanthalten.

Moderne Druckminderventile erfüllen ihre Aufgaben - Druckmindern und Konstanthalten des Arbeitsdrucks - mit Hilfe eines Membranmechanismus.

Die Druckminderventile für Sauerstoff und Azetylen unterscheiden sich äußerlich durch bestimmte Konstruktionsmerkmale voneinander.

Der S a u e r s t o f f wird aus der Flasche über ein Druckminderventil entnommen, das mit einer Überwurfmutter R 3/4" an den Entnahmestutzen des Flaschenverschlußventils angeschlossen wird (Bild 5.7, Seite 29). Es können einstufige oder zweistufige Druckminderventile verwendet werden, jedoch sind zweistufige wegen der geringeren Einfriergefahr (Expansionskälte) vorzuziehen. Die Druckminderventile bestehen aus einem Druckmesser für den Inhaltsdruck der Flasche und einem Druckmesser, der den eingestellten Arbeitsdruck anzeigt. Bei den einstufigen Druckminderventilen wird der Sauerstoffdruck in einer Stufe von 150 kp/cm² auf 3 kp/cm², bei den zweistufigen von 150 kp/cm² auf 30 kp/cm² in der ersten, von der Herstellerfirma fest eingestellten Stufe, und von 30 kp/cm² auf 3 kp/cm² in der zweiten einstellbaren Stufe herabgemindert.

Das Druckminderventil für A z e t y l e n wird mit einem Bügelverschluß an die Azetylenflasche angeschlossen (Bild 5.8, Seite 29). Es ist ebenfalls mit

einem Inhaltsdruckmesser und einem Arbeitsdruckmesser versehen. Der Azetylendruck wird in einer Stufe auf 0,3 kp/cm² herabgemindert.

Gas	Innendurchmesser mm	Wanddicke mm
Sauerstoff	6	5
Azetylen	9	3,5

Bild 5.9 Abmessungen der Gasschläuche

Schläuche

Sauerstoff und Azetylen werden durch Schläuche dem Schweißbrenner zugeleitet. Die Schläuche müssen nach der Arbeitsschutzbestimmung 615 mindestens 5 m lang und durch Schlauchschellen sicher befestigt sein.

Schweißbrenner

Der gebräuchlichste Schweißbrenner im Betrieb ist der N i e d e r d r u c k b r e n n e r , der nach seiner Wirkungsweise auch unter dem Namen I n j e k t o r b r e n n e r bekannt ist. Bei dieser Brennart strömt der Sauerstoff mit etwas höherem Druck aus einer Injektordüse aus und saugt dabei das unter geringerem Druck stehende Azetylengas an (Bild 5.10). Die Grundform dieser Injektordüse ist der aus der Chemie und von den Glasbläsern bekannte D a n i e l l s c h e H a h n .

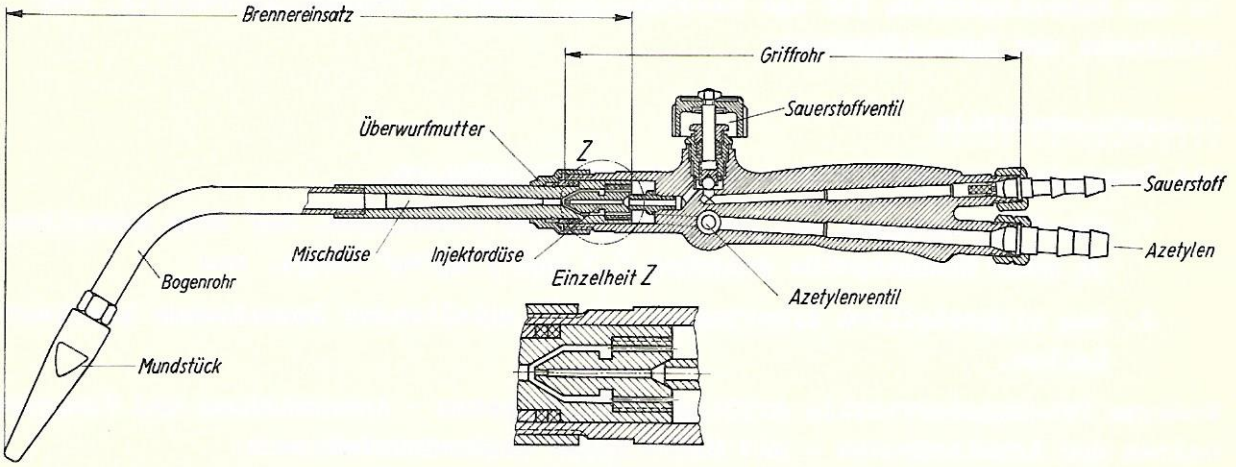


Bild 5.10 Injektor-Schweißbrenner im Schnitt (Ausführung als Wechsel-Schweißbrenner)

Die Hauptteile des Injektor-Schweißbrenners in Bild 5.10 sind Griffrohr und Brennereinsätze.

Griffrohr mit Einstellventilen für Sauerstoff und Azetylen, Schlauchanschlüssen und Anschlußstutzen für den Brennereinsatz.

Brennereinsätze in verschiedenen Größen, so daß sie je nach der zu schweißenden Werkstückdicke ausgewechselt werden können (Wechsel-Schweißbrenner). Jeder Brennereinsatz besteht aus Anschlußstutzen mit Überwurfmutter, Druckdüse (Injektordüse), Mischrohr, Bogenrohr und Mundstück.

Die Schweißbrennereinsätze können auch gegen einen Schneidbrennereinsatz ausgewechselt werden. Für Dünnblechschweißungen werden oft Kleinschweißbrenner verwendet.

Je nach dem Mischungsverhältnis von Azetylen und Sauerstoff können die Zusammensetzung und damit die Eigenschaften der Schweißflamme verändert werden.

Neutrale Flamme

Das Mischungsverhältnis Sauerstoff zu Azetylen liegt etwa 1 : 1 bis 1,2 : 1 . Mit dieser Flammeneinstellung werden fast alle Schweißarbeiten ausgeführt. Die neutrale Flamme verhindert sowohl ein unerwünschtes Aufkohlen des Schweißguts als auch ein Verbrennen des Schweißguts bzw. der Legierungsbestandteile. Der blendendweiße Flammenkern zeichnet sich scharf ab. Die Flammentemperatur und die Flammengase einer neutralen Flamme werden im Bild 5.11 erläutert.

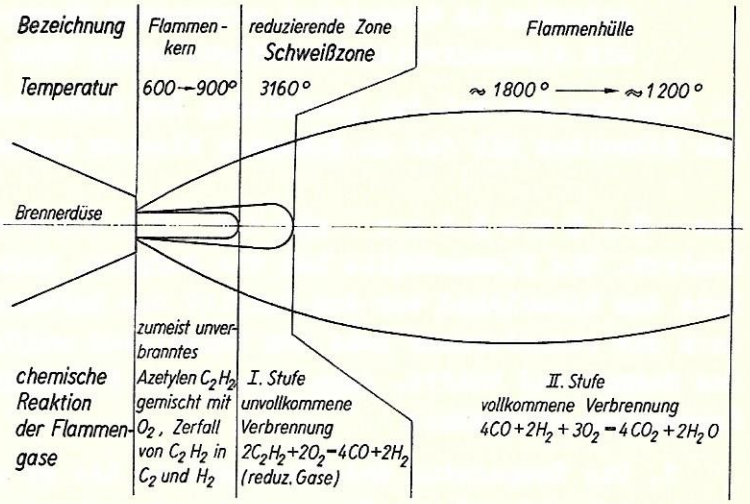


Bild 5.11 Charakteristik der Schweißflamme

Flamme mit Azetylenüberschuß

Bei dieser Einstellung erscheint der weiße Flammenkern verwischt. Mit dieser Flamme werden Gußeisen, Chrom-Molybdän-Stahl und bei geringem Überschuß auch Aluminium geschweißt.

Flamme mit Sauerstoffüberschuß

Kleine Flamme mit kleinem Kern sind die Zeichen des Sauerstoffüberschusses. Diese Flammeneinstellung wird nur beim Schweißen von Messing verwendet.

5.2.6. Einige Hinweise für die Durchführung des Gasschweißens

Einfluß der Schweißflamme

Das S c h w e i ß e n mit dem F l a m m e n k e r n tritt beim Eintauchen des Kerns in das Schmelzbad oder beim Drücken des Schmelzbads mit dem Kern ein. In beiden Fällen entstehen folgende Fehler im Schweißgut:

1. ungenügendes Aufschmelzen des Grundwerkstoffs infolge der niedrigen Temperatur im Flammenkern,
2. chemische Reaktion des Sauerstoffs im Flammenkern mit dem Eisen und den Eisenbegleitern im Schmelzbad, Eisenbegleiter werden verbrannt, Eisen-Sauerstoff-Verbindungen im Schweißgut vermindern Güte der Schweißung,
3. unverbrauchtes Azetylen des Flammenkegels wird thermisch dissoziiert (in der Wärme aufgespalten), Kohlenstoff kohlt das Schmelzbad auf, das Schweißgut wird hart und spröde, Wasserstoff diffundiert in das Schmelzbad ein und erzeugt Gasporen im Schweißgut.

Das S c h w e i ß e n mit der r e d u z i e r e n d e n Z o n e ergibt ein einwandfreies Schweißgut. Begründung:

1. Die reduzierende Zone ist die Flammenzone mit der höchsten Temperatur, der Grundwerkstoff wird schnell und sicher aufgeschmolzen. Die hohe Temperatur ermöglicht ein fortlaufendes Schmelzen des Grundwerkstoffs und damit eine ausreichende Schweißgeschwindigkeit.
2. Die reduzierenden Gase dieser Flammenzone verhüten jede chemische Reaktion der Bestandteile des Schmelzbads mit Sauerstoff. Sie reduzieren außerdem im Schmelzbad vorhandene Eisen-Sauerstoff-Verbindungen. Es wird ein einwandfreies Schweißgut hoher Güte erzielt.

Zu beachten ist bei der Gestaltung der Schweißteile, daß die Schweißnähte für das Schweißen mit der an Ausmaßen kleinen reduzierenden Zone gut zugängig sind.

Das S c h w e i ß e n mit der F l a m m e n h ü l l e führt zu Schweißfehlern. Die Flammenhülle hat die Aufgabe, beim Schweißen mit der reduzierenden Zone das Schmelzbad vor dem Zutritt des Luftsauerstoffs zu schützen. Wird jedoch die reduzierende Zone vom Schmelzbad entfernt, so daß die Flammenhülle auf das Schmelzbad trifft, dann können aus folgenden Gründen Fehlstellen im Schweißbad entstehen:

1. Die Temperatur der Flammenhülle ist zu niedrig, um den Grundwerkstoff schnell und mit Sicherheit aufzuschmelzen.
2. Der Wasserdampf der Flammengase in der Hülle dissoziiert beim Auftreten auf das Schmelzbad, wobei der entstehende Wasserstoff zu Gasporen und der Sauerstoff zu Eisen-Sauerstoff-Verbindungen im Schmelzbad führt. Damit wird die Güte des Schweißguts vermindert.

Beim A b h e b e n der S c h w e i ß f l a m m e von dem noch flüssigen Schweißbad entstehen ebenfalls Fehler im Schweißgut. Die Güteminderung tritt ein, weil der Schutz der Flammenhülle wegfällt und der Luftsauerstoff ungehindert in das Schmelzbad gelangen kann.

Das Abheben der Flamme kann vorkommen:

1. bei unsachgemäßem Schweißen durch häufiges Wedeln mit dem Schweißbrenner,
2. am Ende der Schweißnaht, wenn die Schweißflamme abgehoben wird, bevor der Endkrater erstarrt ist.

Einfluß der Brennerführung

N a c h l i n k s - S c h w e i ß e n

Kennzeichen: Schweißrichtung vom Schweißer weg oder von der rechten Hand zur linken Hand hin; der Schweißdraht wird in Schweißrichtung vor der Schweißflamme geführt.

Ergebnis: Glatte, breite Schweißraupe; Durchschweißen der Wurzel erschwert; Nahtgüte und Schweißleistung geringer als bei der Nachrechts-Schweißung.

Anwendung: Kohlenstoffstähle bis 3 mm Dicke,
legierte Stähle bis 2 mm Dicke,
Nichteisenmetalle, Gußeisen.

N a c h r e c h t s - S c h w e i ß e n

Kennzeichen: Schweißrichtung von der linken Hand des Schweißers zur rechten Hand hin; Schweißdraht wird in Schweißrichtung hinter der Schweißflamme geführt.

Ergebnis: Schuppige, schmale Schweißraupe; gutes Durchschweißen, besonders der Nahtwurzel infolge gleichmäßiger Erhitzung der Schweißfuge durch die Schweißflamme; Nahtgüte und Schweißleistung höher als bei der Nachlinks-Schweißung; Azetylenverbrauch etwa 20 % geringer; Nachrechts-Schweißung ergibt eine bessere Bindung, feineres Gefüge und geringere Wärmespannungen.

Anwendung: Schweißungen höherer Güte,
Stahlschweißen bei Blechdicken über 3 mm.

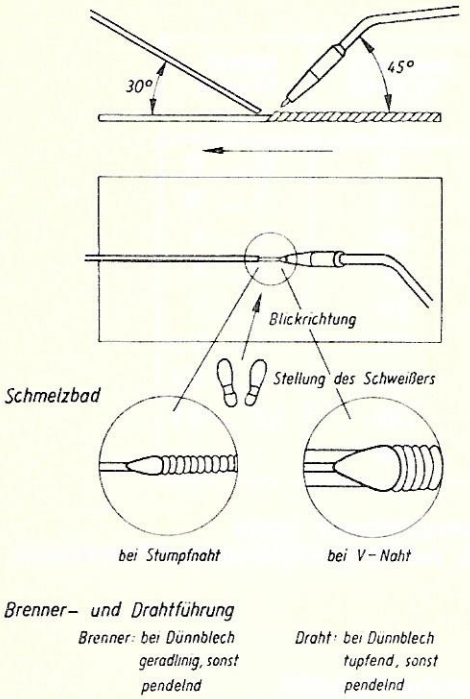


Bild 5.12 Nachlinks-Schweißen

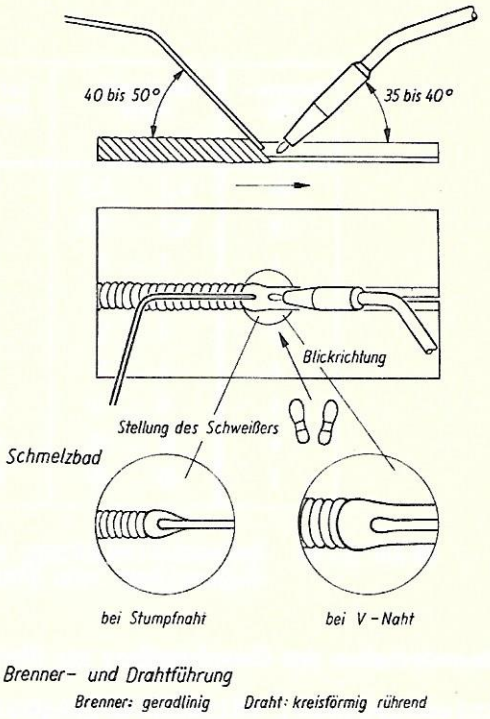


Bild 5.13 Nachrechts-Schweißen

Beim S c h w e i ß e n mit z u g e r i n g e r S c h w e i ß g e s c h w i n d i g k e i t wird das Schweißgut einer längeren Wärmeeinwirkung ausgesetzt. Die Folgen sind:

1. Gefahr der Überhitzung des Schweißguts,
2. Gefahr des Durchbrennens des Blechs,
3. zu breite Schweißraupe,
4. zu großes Schmelzbad, das unter Umständen vom Schweißer nicht mehr beherrscht wird,
5. zu breite Wärmeeinflußzone im Werkstoff,
6. Erhöhung der Schrumpfung und damit größerer Verzug des Schweißteils und größere Schweißrestspannungen.

Beim Schweißen mit zu hoher Schweißgeschwindigkeit ergeben sich die nachstehenden Folgen:

1. ungenügendes Aufschmelzen des Grundwerkstoffs und damit Kaltstellen und Bindefehler,
2. Wurzelfehler durch ungenügende Aufschmelzung der Nahtwurzel,
3. unzureichende Füllung der Schweißfuge und damit eingefallene Schweißraupe mit schlechtem Aussehen.

Schweißleistung und Gasverbrauch

Die Werte über Schweißleistung und Gasverbrauch beim Gasschweißen von Stahl im Bild 5.14 gelten für einen Azetylenarbeitsdruck von 0,15 kp/cm² und für einen Sauerstoffarbeitsdruck von 2,5 kp/cm².

Brennergröße	Werkstoffdicke mm	Azetylenverbrauch l/h	Sauerstoffverbrauch l/h	Schweißleistung m/h
00	0,2 ... 0,5	50	50	10 ... 12
0	0,5 ... 1,0	75	75	7 ... 10
1	1 ... 2	150	150	6 ... 8
2	2 ... 4	300	300	5 ... 7
3	4 ... 6	475	500	4 ... 6
4	6 ... 9	700	750	3 ... 5
5	9 ... 14	1100	1200	2 ... 3,5
6	14 ... 20	1600	1700	1,5 ... 2,5
7	20 ... 30	2350	2500	1 ... 2

Bild 5.14 Schweißleistung und Gasverbrauch beim Schweißen von Stahl mit Azetylen-Sauerstoff-Gemisch

5.2.7. Besonderheiten des Gasschweißens von Aluminium

Aluminiumoxydhaut, Wärmeleitfähigkeit, Warmfestigkeit

Aluminium überzieht sich bereits bei Raumtemperatur unter Einwirkung des Luftsauerstoffs mit einer dünnen, aber dichten und festhaftenden Oxydschicht (Al_2O_3), die sich auch nach Beseitigung sofort wieder neu bildet. Bei höheren Temperaturen ist die Oxydbildung noch erheblich stärker. Der Schmelzpunkt der Oxydhaut liegt bei 2060 °C, so daß sie durch die wesentlich niedrigere Arbeitstemperatur beim Schweißen nicht beeinflußt werden kann. Um die Schweißkanten zum Zusammenfließen zu bringen, müssen deshalb die Oxyde durch ein Flußmittel gelöst werden. Gelangen die Oxyde in das Schweißgut, so setzen sie die Festigkeit und die Korrosionsbeständigkeit herab.

Das Flußmittel besteht aus einem Gemisch von Salzen, von denen das wirksamste das Lithiumchlorid ist. Es zerfließt in der Schweißhitze, breitet sich mit glasurartigem Fluß aus, löst dabei die Oxyde und schützt das geschmolzene Aluminium vor erneuter Oxydation.

Von einem guten Flußmittel werden folgende Eigenschaften verlangt:

1. Die Wirkungstemperatur muß auf den Werkstoff abgestimmt sein.

2. Es soll ein gutes Lösungsvermögen für Aluminiumoxyd vorhanden sein.
3. Das Flußmittel soll eine geringe Dichte und eine gute Abdeckfähigkeit haben, damit es mit den gelösten Oxyden auf der Schmelze schwimmt und diese vor dem Zutritt von Sauerstoff schützt.
4. Das Flußmittel soll eine gewisse Zähflüssigkeit haben, damit es nicht von der Flamme weggeblasen wird.
5. Das Flußmittel darf in der Flamme nicht spritzen und weder Rauch noch schädliche Gase entwickeln.

Die W ä r m e l e i t f ä h i g k e i t von Aluminium ist etwa dreimal so groß wie die von Eisen. Die Wärmezufuhr beim Schweißen muß deshalb so erfolgen, daß weder eine zu schnelle Wärmeableitung noch eine Wärmestauung eintritt, daß sich ein ausreichendes Schmelzbad bildet und das Werkstück genügend vorgewärmt wird. Es dürfen daher keine zu großen und auch keine zu kleinen Schweißbrennereinsätze und keine scharfen Flammen angewandt werden.

Die W a r m f e s t i g k e i t von Aluminium,d.h. die Festigkeit bei höheren Temperaturen ist gering. Größere Schweißteile dürfen deshalb vom Beginn der Vorwärmung an bis zur beendeten Abkühlung nicht bewegt werden. Darauf ist besonders bei Gußstücken zu achten.

Für die angenäherte Bestimmung der Werkstücktemperaturen beim Vorwärmen können Thermocolor-Farbstifte (einfach und zuverlässig), Fichtenholzspäne oder auch Kernseife verwendet werden.

Beim Aufreiben eines Holzspans oder von Kernseife auf die erwärmte Metalloberfläche entsteht ein farbiger Strich		Temperatur etwa °C
Fichtenholzspan	Kernseife	
-	gelblich nach 10...20 s	250
braun - (Eichenholzspan)	gelb nach 5 ... 10 s	300
hellbraun - starker Druck	braun nach 5 s	350
braun - leichter Druck	schwarz nach 10 s	400
braun - langsam reiben	-	450
hellbraun - schneller Strich	-	450
schwarz - verschwindet nach 1/2 min	-	500
schwarz - verschwindet nach 1... 3 s	-	550
schwarz - verschwindet sofort, Span flammt auf		> 550

Bild 5.15 Einfache Verfahren zur angenäherten Bestimmung der Werkstücktemperaturen

Vorbehandlung der Aluminium-Schweißteile

1. Entfetten mit organischen Lösungsmitteln (Benzin, Tetrachlorkohlenstoff, Tri o.ä.)
2. Beizen in GTL-Aluminiumbeize A l o x

GTL-Aluminiumbeize A l o x	9 kg/100 l Wasser
Temperatur	55 ... 75 °C
Dauer	0,5 min

3. Spülen in kaltem fließenden Wasser

Frischwasserdurchlauf	25 l/min
Temperatur	15 ... 25 °C
Dauer	5 min

4. Neutralisieren in Salpetersäure

Konzentration	250 ... 300 g/l Wasser
Temperatur	16 ... 25 °C
Dauer	1 ... 5 min

5. Spülen in kaltem fließenden Wasser

Frischwasserdurchlauf	25 l/min
Temperatur	15 ... 25 °C
Dauer	5 min

6. Spülen in heißem fließenden Wasser

Frischwasserdurchlauf	25 l/min
Temperatur	50 ... 90 °C
Dauer	1 ... 2 min

7. Trocknen bei 110 ... 120 °C im Trockenofen oder mit Warmluftgebläse

Das Schweißen muß spätestens vier Stunden nach der Vorbehandlung erfolgt sein. Die Schweißkanten müssen beiderseits, aber besonders auf der Unterseite, gut entgratet werden, damit die Kanten leicht zusammenfließen können.

Nachbehandlung der Aluminium-Schweißteile

Sämtliche fertiggeschweißten Werkstücke sind sofort von den Flußmittelresten gründlich zu befreien, da diese ein Ausblühen und Zersetzen der Schweißnaht unter dem Einfluß der Feuchtigkeit der Luft verursachen.

1. Teile in heißem Wasser spülen und Schweißnähte beiderseitig mit harter Scheuerbürste (keine Stahlbürste) abwaschen. Temperatur 50 bis 90 °C.
2. Spülen in Kaliumbichromat, innen und außen,

Konzentration	16 ... 24 g/l Wasser
Temperatur	60 ... 80 °C
Dauer	5 ... 10 min

3. Spülen in heißem fließenden Wasser

Frischwasserdurchlauf	25 l/min
Temperatur	50 ... 90 °C
Dauer	1 ... 2 min

4. Trocknen bei 110 ... 120 °C im Trockenofen oder mit Warmluftgebläse.

Man kann die gründliche Reinigung der Schweißnaht prüfen, wenn man an verschiedenen Stellen der Schweißnaht Tropfen einer Silbernitratlösung aufträgt. Tritt ein weißer Niederschlag auf, dann ist die Reinigung zu wiederholen. Waschen und Spülen muß in zwei gesonderten Heißwasserbädern erfolgen.

Schweißen von LW 3355

Der Werkstoff LW 3355 - AlMgSi - wird zweckmäßig im Zustand LW 3355.25 (geglüht) und nicht als LW 3355.35 (ausgehärtet) geschweißt, um Rißbildung zu vermeiden.

5.2.8. Nahtvorbereitung

Für die Vorbereitung der Schweißnähte sind die erforderlichen Schweißnahtformen aus folgender TNL zu ersehen:

TNL 951 20
Blatt 1 Schweißnahtvorbereitung. Fugenformen für Stahl.
Blatt 2 Schweißnahtvorbereitung. Fugenformen für Leichtmetall.

5.2.9. Zusatzwerkstoffe

Als Zusatzwerkstoff wird Schweißdraht verwendet. Die Bördelnaht erfordert keinen Zusatzwerkstoff. Der Schweißdraht für Stahl muß rost- und fettfrei, für Aluminium und Aluminiumlegierungen gebeizt sein. Er wird in Ringen und in gezogenen Stäben geliefert. Von den Ringen werden die Schweißdrähte in Längen von 0,5 bis 1,0 m geschnitten und gerichtet. Ungerichtet erschweren sie das Schweißen, so daß Schweißfehler entstehen können. Die gezogenen Stäbe für Stahl werden zweckmäßig mit einem galvanischen Kupferüberzug verwendet, damit sie nicht rosten.

Werkstoff	Zusatzwerkstoff	Bemerkung
LW 1110 LW 1112 LW 1120 18 Mn 5	LW 1108.04	Blechdicken bis 3 mm bei statischer und dynamischer Belastung, Blechdicken über 3 mm bei statischer Belastung
	8 Mn Ni 4	Blechdicken über 3 mm bei dynamischer Belastung
LW 1403	LW 1422.04	
LW 3001	LW 3011.04	mit Flußmittel
LW 3302 LW 3303 LW 3305	LW 3315.04	
LW 3355	LW 3202.04	
LW 3357	LW 3202.04 LW 3315.04	

Bild 5.16 Zusatzwerkstoffe für die Gasschweißung

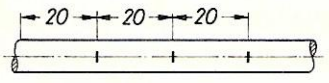
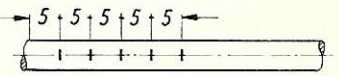
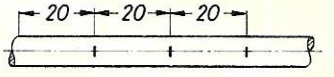
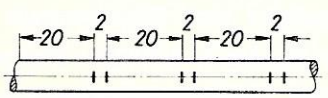
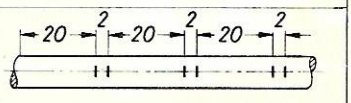
Stahl		*Leichtmetall*	
Sorte	*Kennzeichnung*	*Sorte*	*Kennzeichnung*
LW 1108.04		*LW 3011.04*	
		LW 3315.04	
1422.04		*LW 3354.04*	
Kerben einseitig über die gesamte Länge			

Bild 5.17 Kennzeichnung der Schweißdrähte nach TNL 139 05

5.3. Lichtbogenschweißen

5.3.1. Wärmequelle

Die Wärmequelle für das Lichtbogenschweißen ist der elektrische Lichtbogen. Nach DIN 1910 wird dieses Schweißverfahren wie folgt definiert:

> Lichtbogenschweißen - der Schmelzfluß entsteht durch unmittelbare, örtlich begrenzte Einwirkung eines Lichtbogens.

Bei dem heute üblichen elektrischen Lichtbogenschweißen wird der Lichtbogen zwischen einem abschmelzenden Metallstab, Elektrode genannt, und dem Werkstück gezogen. Der Lichtbogen brennt ohne Schutz in der offenen Atmosphäre. Voraussetzung dafür ist, daß zwischen Werkstück und Elektrode eine ausreichende Spannung und ein bestimmter Abstand vorhanden sind. Die vom Lichtbogen erzeugte Wärme wird

1. zum Abschmelzen der Elektrode und
2. zum Aufschmelzen des Grundwerkstoffs verwendet.

Der Lichtbogen wird entweder durch Wechsel- oder Gleichstrom erzeugt. Das mit Drehstrom arbeitende Kaell-Verfahren hat für den Flugzeugbau keine Bedeutung.

5.3.2. Vorgänge im Lichtbogen

Die Entstehung des G l e i c h s t r o m l i c h t b o g e n s kann, ohne auf die physikalischen Vorgänge im einzelnen einzugehen, folgendermaßen dargestellt werden: Durch kurzes Berühren des Werkstücks mit der Elektrode entsteht ein Kurzschluß. Der hohe Übergangswiderstand ruft eine starke Erwärmung hervor, die am Minuspol (Kathode) den Austritt von Elektronen ermöglicht. Diese Elektronen werden vom Pluspol (Anode) angezogen, wobei sie auf dem Weg dorthin die Luft ionisieren (in Ionen und Elektronen zerlegen, elektrisch leitend machen). Der Lichtbogen ist gezündet. Im W e c h s e l s t r o m l i c h t b o g e n wechseln z.B. bei der üblichen Frequenz von 50 Hz hundertmal in der Sekunde Anode und Kathode, und zwar immer bei einem Nulldurchgang des Stroms. Um bei diesem Polwechsel das Abreißen des Lichtbogens zu verhindern, muß die ionisierte Gassäule in dieser Zeit aufrecht erhalten werden. Diese Aufgabe erfüllt die Umhüllung der Elektroden, die deshalb für die Wechselstromschweißung in jedem Fall vorhanden sein muß (vgl. Abschn. 5.3.6.).

Die T e m p e r a t u r im L i c h t b o g e n bei Wechselstrom beträgt an beiden Polen gleichmäßig etwa 3500 °C. Im Gleichstromlichtbogen ist die Temperatur am Pluspol etwa 400 °C höher als am Minuspol. Ursache dieser unterschiedlichen Erwärmung sind die am Minuspol austretenden Elektronen, die mit hoher Geschwindigkeit auf den Pluspol auftreffen. Durch die Umwandlung der kinetischen Energie der Elektronen in Wärme entstehen am Pluspol höhere Temperaturen.
Beim Lichtbogenschweißen mit Gleichstrom wird deshalb der Pluspol in der Regel an das Werkstück, der Minuspol an die Elektrode, angeschlossen (Ausnahme vergleiche

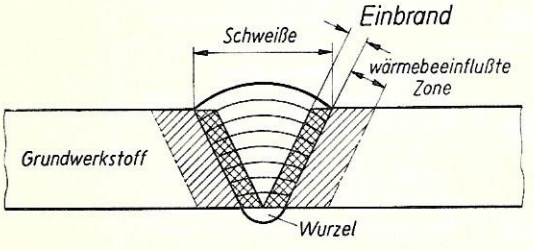


Bild 5.18 Erläuterung des Einbrands

Abschnitt 5.3.6.).Dadurch wird erreicht, daß das Werkstück mit seiner größeren Masse und damit größeren Wärmeableitung an der Schweißstelle eher aufschmilzt als die kleinere Elektrodenspitze. Das flüssige Elektrodengut wird erst dann auf das Werkstück auftreffen, wenn der Grundwerkstoff bereits aufgeschmolzen ist. So wird ein guter Einbrand erreicht, wobei unter E i n b r a n d die Eindringtiefe einer Schweiße in den Grundwerkstoff zu verstehen ist (Bild 5.18).

Die Temperatur des Lichtbogens nimmt mit steigender Stromdichte zu, vorausgesetzt, daß sich der Spannungsabfall im Lichtbogen nicht wesentlich ändert. Der Spannungsabfall im Lichtbogen hängt u. a. von der Länge des Lichtbogens ab. Um einen gleichmäßigen Einbrand zu erzielen, muß deshalb die Lichtbogenlänge während des Schweißens konstant, nach einer Faustregel etwa gleich dem Kerndrahtdurchmesser der verwendeten Elektrode sein. Wichtig für einen gleichmäßigen Einbrand längs einer Naht ist auch die richtige Einstellung der für jede Elektrode vorgeschriebenen Stromstärke.

Elektroden mit kurzschlußartigem, tropfenförmigem Übergang des geschmolzenen Elektrodenwerkstoffs in das Schmelzbad des Grundwerkstoffs vergrößern ihren Einbrand mit steigender Lichtbogenlänge, weil die Brennzeit des unbehindert brennenden Lichtbogens zunimmt. Das ist folgendermaßen zu verstehen: Befindet sich die Elektrode sehr nahe am Werkstück, ist der Lichtbogen sehr kurz. Die von der Elektrode abgehenden Tropfen stellen jedesmal zwischen Werkstück und Elektrode einen Kurzschluß her und der Lichtbogen erlischt für diese Zeit. Bei größerem Abstand der Elektrode vom Werkstück verringern sich diese Kurzschlußzeiten, weil sich das flüssige Elektrodengut erst in großen Tropfen löst und einen Kurzschluß verursacht. Bei einer bestimmten Lichtbogenlänge wird die Kurzschlußzeit zu Null, weil sich der abgehende Tropfen von der Elektrode löst, bevor er das Werkstück berührt. Der Lichtbogen kann unbehindert brennen, und der Elektrodenwerkstoff fällt in großen Tropfen in das Schmelzbad. Der Lichtbogen brennt tief in den Grundwerkstoff ein. Je kleiner das Verhältnis der Kurzschlußzeiten durch den übergehenden Tropfen zur freien Brenndauer des Lichtbogens ist, desto tiefer wird der Einbrand.

Anders verhalten sich die Elektroden mit sprühartigem Tropfenübergang, die sogenannten heißgehenden Elektroden. Ihre Schweißen brennen mit steigender Bogenlänge weniger tief ein, weil der brennende Lichtbogen durch den raschen, sprühregenartigen Tropfenübergang am Einbrennen gehindert wird.

Bei gleichbleibender Stromeinstellung vermindert sich bei allen Elektroden die Einbrandtiefe mit steigender Arbeitsgeschwindigkeit. Richtige Stromeinstellung und richtige Schweißgeschwindigkeit müssen deshalb stets beachtet werden.

5.3.3. Blaswirkung des Lichtbogens

Der Lichtbogen ruft eine magnetische Wirkung hervor, die als m a g n e t i s c h e B l a s w i r k u n g bezeichnet wird. Die Blaswirkung äußert sich in einer Ablenkung des Lichtbogens durch magnetische Kräfte, die beim Schweißen vor allem in dem vom Schweißstrom durchflossenen Werkstück entstehen. Besonders ausgeprägt sind diese magnetischen Kräfte bei Gleichstrom. Da der Lichtbogen ein leichtbeweglicher Leiter ist, reagiert er bereits auf diese relativ kleinen Kräfte, so daß der Schweißvorgang erheblich gestört werden kann. Für die Größe

und Richtung dieser magnetischen Kräfte lassen sich keine allgemeingültigen Regeln aufstellen, da viele Faktoren, wie z.B. Werkstückform, Art und Richtung der Strombahn, zu beachten sind.

Im praktischen Schweißbetrieb äußert sich die Blaswirkung im wesentlichen in drei Blasrichtungen des Lichtbogens:

1. in Richtung der Elektrodenachse,
2. zur fertigen Schweißraupe hin und
3. vom Stromanschluß des Werkstücks weg.

Durch eine entsprechende Haltung der Elektrode kann der Schweißer dem Lichtbogen die erforderliche Richtung vermitteln. Die Blaswirkung kann auch dadurch beeinflußt werden, daß die Werkstückanschlußzwinge des Schweißstromkreises an eine andere Stelle des Werkstücks angeklemmt wird, so daß eine günstige Blasrichtung des Lichtbogens erreicht wird.

Der Konstrukteur soll deshalb die Schweißteile so gestalten, daß die Schweißstelle der Elektrode gut zugängig ist und der Schweißer den Lichtbogen jederzeit beobachten kann. Besonders unangenehm macht sich die Blaswirkung in räumlichen Ecken bemerkbar. Da der Lichtbogen nach der größeren Masse (räumliche Ecke) hinbläst, es aber dort oft nicht möglich ist, die Elektrode der Blaswirkung entgegenzuneigen, sind Schweißfehler nur schwer zu vermeiden. Bei der Gestaltung der zu schweißenden Bauteile muß deshalb diese Blaswirkung in räumlichen Ecken weitgehend berücksichtigt werden.

5.3.4. Schweißausrüstung

Der Aufwand für die Ausrüstung einer Lichtbogen-Handschweißstelle ist verhältnismäßig gering. Der Schweißer benötigt einen Schweißstromerzeuger, Schweißkabel, Elektrodenzange und Werkstückanschlußzwinge (Erdungsklemme).

5.3.4.1. Schweißstromerzeuger

Es sind drei verschiedene Arten von Schweißstromerzeugern zu unterscheiden:

1. Schweißumformer
   a) mit Netzanschluß
   b) mit Antrieb durch Benzin- oder Dieselmotor (für Baustellen)
2. Schweißumspanner (Schweißtransformator)
3. Schweißgleichrichter (meist als Selen-Trockengleichrichter)

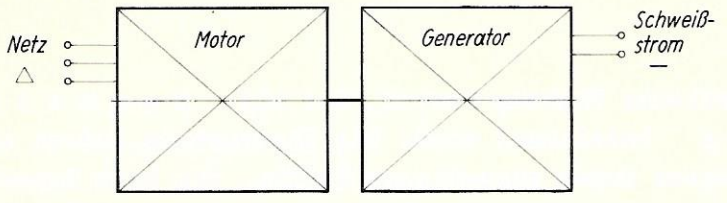


Bild 5.20 Schema eines Schweißumformers

Schweißumformer

Der Schweißumformer dient zur Erzeugung eines Gleichstroms niederer Spannung. Er besteht aus einem Gleichstromgenerator, der von einem Drehstrommotor (evtl. auch Gleichstrom-, Benzin- oder Dieselmotor) angetrieben wird. Bei einem an das Netz angeschlossenen Schweißumformer haben Generator und Motor eine gemeinsame Welle und sind in einem Gehäuse unter-

gebracht (Eingehäuse-Schweißumformer). Bild 5.19 (Seite 29) zeigt einen Schweißumformer üblicher Bauart, Bild 5.20 (Seite 24) stellt das Schema des Umformers dar.

Für die Beurteilung eines Schweißumformers sind die Angaben auf dem Typenschild äußerst wichtig. Es enthält die Angaben für den Antriebsmotor und die Angaben für den Gleichstromgenerator. Die wichtigsten Angaben für den Antriebsmotor sind

1. Stromart bei elektrischem Antrieb (Drehstrom oder Gleichstrom),
2. Anschlußspannung (220 V, 380 V oder umschaltbar),
3. Motorleistung im Dauerbetrieb (DB),
4. Drehzahl,
5. Frequenz,
6. Leistungsfaktor cos φ im Handschweißbetrieb (HSB).

Wichtige Angaben für den Gleichstromgenerator sind

1. Schweißstrom im HSB,
2. Schweißstrom im DB,
3. Regelbereiche für den Schweißstrom,
4. Leerlaufspannung.

Der S c h w e i ß s t r o m , der sich einstellt, hängt stets von der Lichtbogenspannung und von der Länge des Kabels ab. Während die Lichtbogenspannung vom gewählten Elektrodentyp beeinflußt wird, gewinnt die Kabellänge durch den normalen Spannungsabfall im Kabel Einfluß auf den Schweißstrom.

Die L e e r l a u f s p a n n u n g ändert sich mit der Schweißstromeinstellung. Es ist z.B. für einen Schweißstrom-Regelbereich bis etwa 550 Ampere eine Leerlaufspannung von 100 Volt, für einen Bereich bis etwa 350 Ampere eine Leerlaufspannung von 50 Volt erforderlich (vgl. Bild 5.21). Die Leerlaufspannung soll eine bestimmte Höhe nicht überschreiten, um den Schweißer nicht zu gefährden; sie muß jedoch hoch genug sein, um eine schnelle und sichere Zündung des Lichtbogens zu gewährleisten.

Die s t a t i s c h e C h a r a k t e r i s t i k eines Schweißumformers wird von den Strom-Spannungs-Kennlinien gebildet. Bild 5.21 zeigt die statische Charakteristik eines Schweißumformers mit zwei Regelbereichen. In das Diagramm ist die Kurve für den genormten Zusammenhang zwischen Schweißstromstärke und Arbeitsspannung eingezeichnet. Als Arbeitsspannung wird die Lichtbogenspannung zuzüglich eines reichlichen Zuschlags für den Spannungsabfall in den Zuleitungskabeln definiert.

In der statischen Charakteristik im Bild 5.21 überschneiden sich die einzelnen Regelbereiche ausreichend.

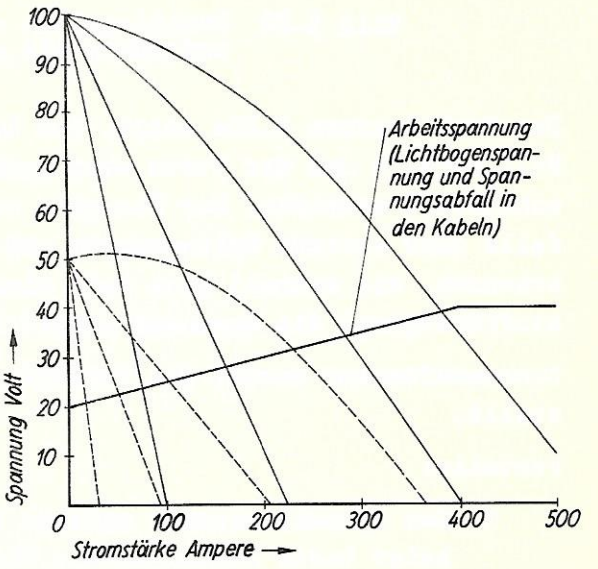
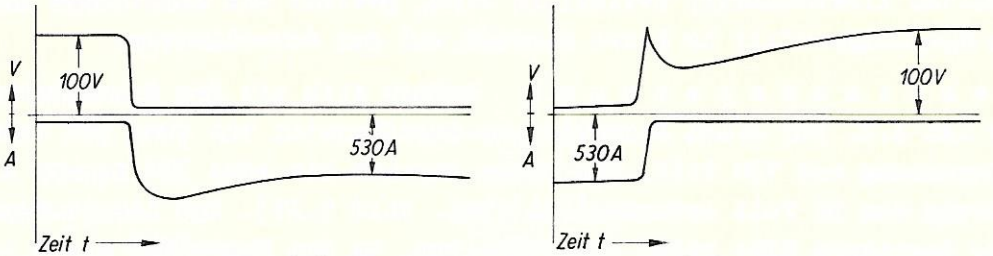


Bild 5.21 Beispiel einer statischen Charakteristik eines Schweißumformers mit zwei Regelbereichen

Dies hat den Vorteil, daß innerhalb bestimmter Grenzen die Charakteristik mit Rücksicht auf die durchzuführende Schweißung gewählt werden kann. Ändert nämlich der Schweißer den Elektrodenabstand, also die Lichtbogenlänge, dann ändert sich die Lichtbogenspannung. Aus dem Diagramm in Bild 5.21 ist ersichtlich, daß bei einem Schweißumformer mit steilen Kennlinien eine Änderung der Lichtbogenspannung, wie es im Handschweißbetrieb bei der Führung der Elektrode durch die Hand des Schweißers unausbleiblich ist, nur eine geringe Schweißstromschwankung hervorruft. Diese Tatsache ist durchaus erwünscht, weil starke Schwankungen des für die Elektrode notwendigen Schweißstroms die Güte der Schweißung nachteilig beeinflussen.

Für die Beurteilung eines Schweißumformers genügt es nicht, nur auf die Eigenschaften Rücksicht zu nehmen, die sich in der statischen Charakteristik widerspiegeln. Die d y n a m i s c h e n E i g e n s c h a f t e n sind gleichfalls von großer Bedeutung. Sie lassen erkennen, wie der Umformer bei plötzlichen Veränderungen des Belastungszustands reagiert. Ein Umformer mit guten dynamischen Eigenschaften paßt sich rasch und ohne störende Schwingungen der neuen Belastung an.

Um die dynamischen Eigenschaften beurteilen zu können, werden Oszillogramme aufgenommen, die den Verlauf Leerlauf-Kurzschluß bzw. Kurzschluß-Leerlauf zeigen. Ein Oszillogramm ist in diesem Fall die mit Hilfe eines Oszillographen gewonnene graphische Darstellung des Strom- und Spannungsverlaufs über der Zeit.



a) Übergang von Leerlauf auf Kurzschluß

b) Übergang von Kurzschluß auf Leerlauf

Bild 5.22 Oszillogramme - Beispiel eines Schweißumformers mit guten dynamischen Eigenschaften

Das Oszillogramm 5.22a zeigt, daß im Moment des Kurzschlusses die Spannung auf Null abfällt und der Strom ohne große Schwankungen den entsprechenden Kurzschlußwert erreicht. Der Übergang vom Kurzschluß zum Leerlauf (b) geht ebenfalls ohne extreme Spitzenwerte und Schwankungen vonstatten. Außerdem ist zu erkennen, wie schnell sich nach einem Kurzschluß (Zünden der Elektrode, Werkstoffübergang) die Spannung wieder erholt.

Zusammenfassend werden die Vorteile und Nachteile des Schweißumformers dargestellt.

Vorteile:

1. Der Schweißumformer erzeugt Gleichstrom als Schweißstrom. Gleichstrom zeigt beste Eigenschaften für das Schweißen. Es können blanke und kalkbasisch umhüllte Elektroden (vgl. Abschn. 5.3.6.) verschweißt werden.
2. Der Schweißumformer hat eine gleichmäßige Netzbelastung.

3. Wo kein Netz vorhanden ist, kann mit einem Benzin- oder Dieselaggregat geschweißt werden.
4. Es kann in Hohlräumen (Kessel, Behälter usw.) geschweißt werden.

Nachteile:

1. Der Schweißumformer hat einen niedrigeren Wirkungsgrad als der Schweißtransformator, bedingt durch die hohen Reibungs- und Wärmeverluste.
2. Er besitzt dem Verschleiß unterworfene Teile.
3. Ständige Wartung und Pflege ist erforderlich.
4. Die Blaswirkung ist bei Gleichstrom größer als bei Wechselstrom.
5. Der Stromverbrauch bei Leerlauf (1 bis 2 kW) ist größer als beim Schweißtransformator.
6. Die Anschaffungskosten sind höher als beim Schweißtransformator.

Schweißumspanner (Schweißtransformator)

Der Schweißtransformator, auch kurz Schweißtrafo genannt, vermindert die Spannung des Wechselstromnetzes auf die niedrige Leerlaufspannung. Die Spannungsverminderung auf etwa 70 Volt (höhere Wechselspannung ist für den Schweißer gefährlich) wird entsprechend dem elektrischen Transformatorprinzip durch Primär- und Sekundärspule erreicht. Gekühlt wird der Schweißtrafo meist durch Luft. Bild 5.23 (Seite 29) zeigt einen Schweißtrafo üblicher Bauart. Das Schema des Schweißtrafos erläutert Bild 5.24.

Für die Beurteilung eines Schweißtrafos sind die Angaben auf dem Typenschild zu beachten:

1. Netzanschluß (220 und 380 V),
2. Nennleistung,
3. Leerlaufspannung,
4. stufenloser Regelbereich,
5. Schweißstrom im DB,
6. Schweißstrom im HSB.

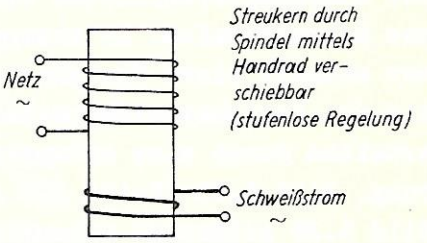


Bild 5.24 Schema eines Schweißtrafos

Infolge der hohen Streuung ist beim Schweißtrafo die Phasenverschiebung wesentlich größer als beim Schweißumformer. Der Leistungsfaktor $\cos\varphi$, der sich aus dem Verhältnis Wirkleistung zu Scheinleistung errechnet, liegt deshalb mit 0,3 bis 0,4 wesentlich unter dem eines Schweißumformers. Durch den Einbau von Starkstromkondensatoren kann $\cos\varphi$ auf etwa 0,8 verbessert werden. Die infolge des schlechten Leistungsfaktors höhere Scheinleistung des Schweißtrafos gegenüber einem Schweißumformer gleicher Wirkleistung muß durch stärkere Bemessung der Anschlußquerschnitte berücksichtigt werden.

Die Vor- und Nachteile des Schweißtrafos werden nachfolgend zusammengefaßt.

Vorteile:

1. Der Schweißtrafo hat keine dem Verschleiß unterworfenen Teile, er bedarf also keiner so gründlichen Wartung wie der Schweißumformer.
2. Der Wirkungsgrad, das ist das Verhältnis der abgegebenen zur aufgenom-

menen Leistung, beträgt etwa 75 % und ist größer als der eines Schweißumformers.

3. Die Blaswirkung ist bei dem vom Trafo erzeugten Wechselstrom geringer als bei dem Gleichstrom des Schweißumformers.
4. Der Stromverbrauch im Leerlauf (einige hundert Watt) ist geringer als beim Schweißumformer.
5. Die Anschaffungskosten sind geringer als die eines Schweißumformers.

Nachteile:

1. Als Schweißstrom wird Wechselstrom erzeugt. Es können damit keine Blankdrahtelektroden und keine Kb-Elektroden (vgl. Abschn. 5.3.6.) verschweißt werden.
2. Beim Zünden des Lichtbogens entsteht eine hohe Spannungsspitze, so daß das Schweißen in Hohlräumen mit dem Schweißtrafo nicht erlaubt ist.
3. Der einphasige Anschluß eines Schweißtrafos bewirkt eine ungleichmäßige Netzbelastung.
4. Der Schweißtrafo kann nur dort verwendet werden, wo ein Netz vorhanden ist.
5. Der Leistungsfaktor eines Schweißtrafos ohne Kondensator ist sehr niedrig.

Schweißgleichrichter

Der Schweißgleichrichter vereinigt die Vorteile des Schweißumformers mit denen des Schweißtrafos. Er erzeugt zum Schweißen Gleichstrom. Der Schweißgleichrichter enthält einen Dreiphasen-Transformator und drei Selen-Trockengleichrichter, die den Dreiphasen-Wechselstrom gleichrichten. Die drei Trockengleichrichter arbeiten durch eine entsprechende Schaltung auf eine gemeinsame Gleichstromleitung. Bild 5.25 (Seite 29) zeigt einen Schweißgleichrichter üblicher Bauart. Bild 5.26 erläutert schematisch den Aufbau eines Schweißgleichrichters.

Durch den Dreiphasenanschluß wird das Netz gleichmäßig belastet. Der erzeugte Gleichstrom gestattet das Verschweißen von allen Elektrodentypen und auch das Schweißen in Hohlräumen. Der Schweißgleichrichter ist besonders für Dünnblechschweißungen geeignet. Als wichtigste Angaben auf dem Typenschild müssen beachtet werden:

1. Anschlußspannung,
2. Frequenz,
3. Leistung,
4. Leerlaufspannung,
5. Schweißstrom im HSB.

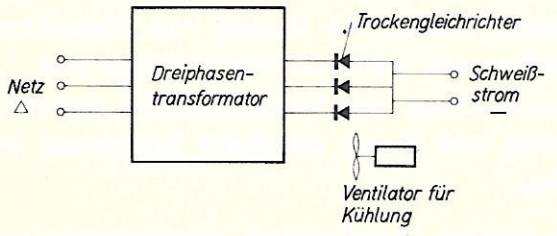
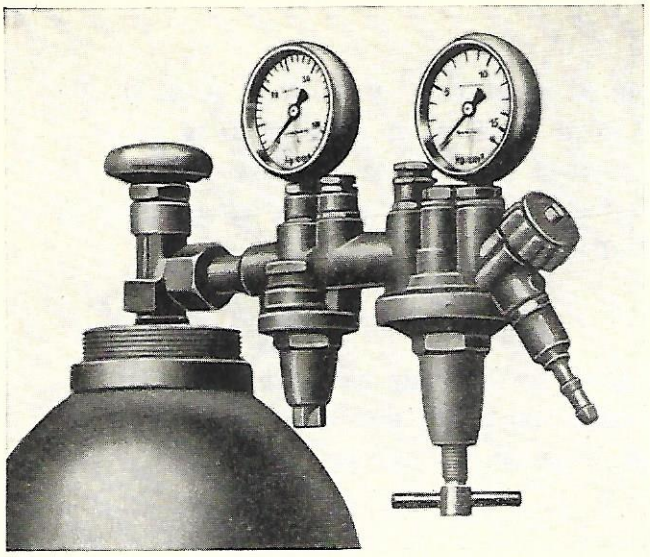
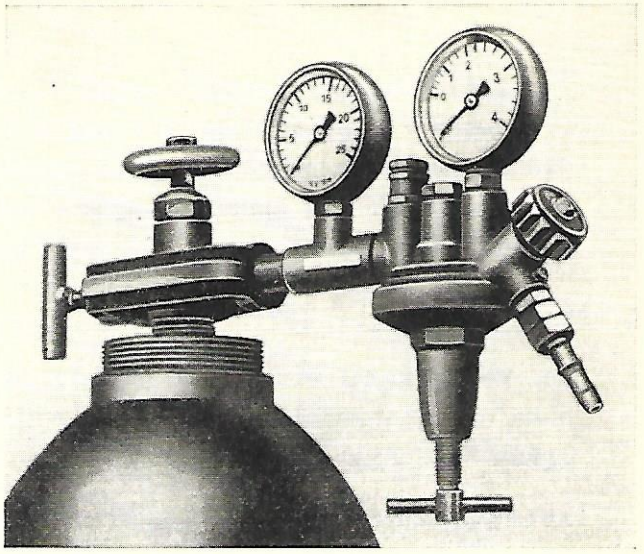


Bild 5.26 Schema eines Schweißgleichrichters

Verwendet werden zumeist sogenannte Drehstrom-Streufeld-Transformatoren, die wie beim Schweißtrafo mittels Handrad eine stufenlose Regelung ermöglichen. Die Strom-Spannungs-Kennlinie verläuft im Schweißbetrieb im unteren Teil fast senkrecht, so daß ein äußerst stabiler Lichtbogen erreicht wird.





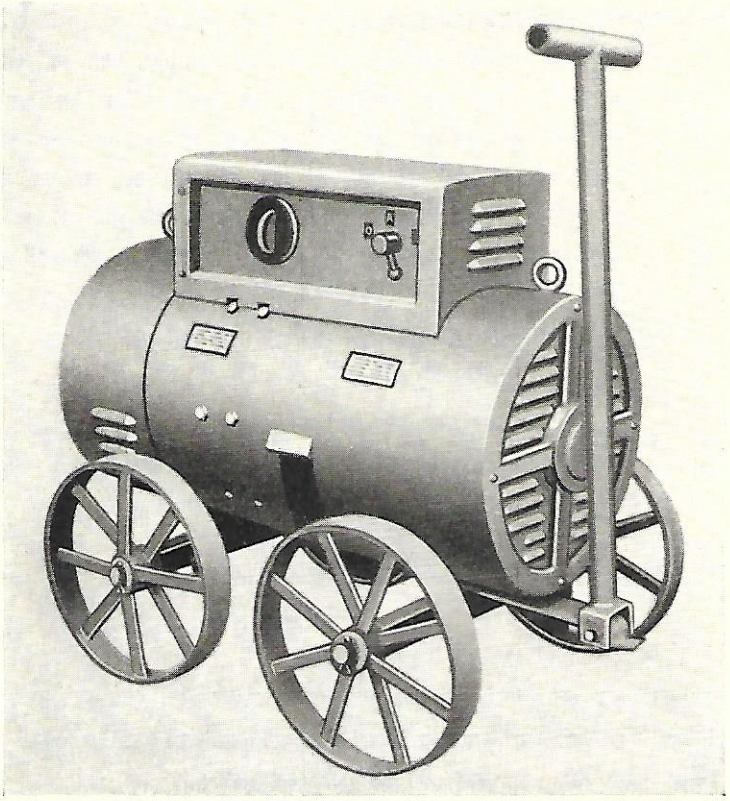


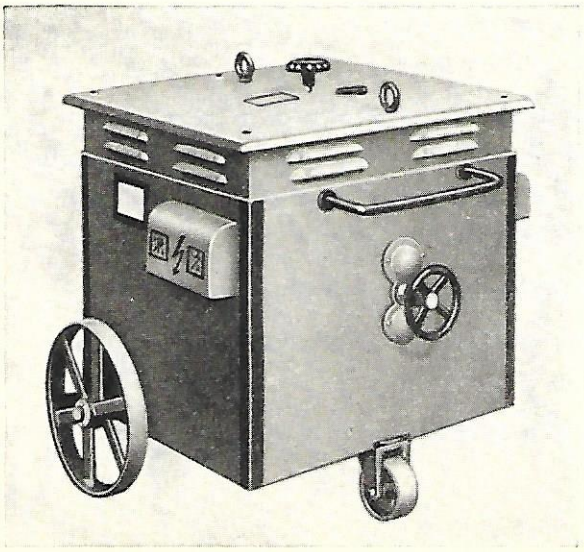
Bild 5.7 (links oben)
Sauerstoff-Druckminderventil, zweistufig

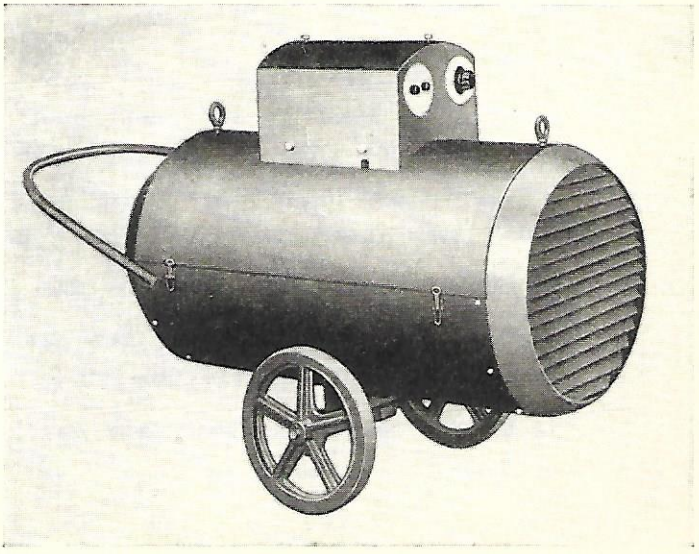
Bild 5.8 (rechts oben)
Azetylen-Druckminderventil, einstufig

Bild 5.19
Eingehäuse-Schweißumformer üblicher Bauart

Bild 5.23 (links unten)
Schweißtrafo üblicher Bauart

Bild 5.25 (rechts unten)
Schweißgleichrichter üblicher Bauart





Die Gleichrichterplatten werden durch einen eingebauten Ventilator gekühlt. Es ist deshalb eine geringe Wartung erforderlich. Die Gleichrichterpakete haben jedoch nur eine begrenzte Lebensdauer und müssen nach einer bestimmten Zeit ersetzt werden. Die Anschaffungskosten eines Schweißgleichrichters sind höher als die des Schweißumformers und des Schweißtrafos.

5.3.4.2. *Schweißkabel*

Bei der Auswahl von Schweißkabeln ist auf gute Isolierung und vor allem auf eine ausreichende Bemessung des stromführenden Querschnitts zu achten, um den Spannungsabfall in den Kabeln in zulässigen Grenzen zu halten.

5.3.4.3. *Elektrodenzange und Werkstückanschlußzwinge*

Elektrodenzangen müssen die Elektroden fest am Einspannende der Elektrode fassen und während des Schweißens unverrückbar festhalten. Auf guten Stromübergang durch entsprechende Ausbildung der Einspannstelle ist zu achten. Es sind möglichst nur vollisolierte Elektrodenzangen zu verwenden, um bei unbeabsichtigtem Berühren der Zange mit dem Werkstoff des Schweißteils keine Brennstelle zu erhalten, die die Oberfläche des Werkstoffs beschädigt und unter Umständen Ausgangspunkt einer Schadenstelle (Dauerbruch) werden kann.

Die Werkstückanschlußzwingen können als Schraubklemmen, als Spannkeilklemmen oder als Magnethalter ausgebildet sein.

Schweißstrom maximal A	Arbeitsspannung V	Kabelquerschnitt (Kupfer) mm²
200	26	35 (mind.25)
250	28	35
300	30	35
350	32	50
400	34	50
450	36	70
500	38	95

Bild 5.27 Genormte Arbeitsspannungen und Mindestquerschnitte für Schweißkabel

5.3.5. Nahtvorbereitung

Die elektrische Lichtbogenschweißung wird im Flugzeugbau ausschließlich für Stahl verwendet. Die notwendigen Vorbereitungen der Schweißnähte für die entsprechenden Nahtformen sind TNL 951 20, Blatt 1 zu entnehmen.

5.3.6. Zusatzwerkstoffe

Wesen der Elektrode

Den zum Füllen der Fuge erforderlichen Zusatzwerkstoff liefert die Elektrode hauptsächlich aus ihrem Kerndraht, der von der Umhüllung umgeben ist. Kerndraht und Umhüllung müssen durch geeignete Auswahl auf den zu verschweißenden Grundwerkstoff abgestimmt sein. Die Umhüllung hat folgende Aufgaben:

1. Stabilisierung des Lichtbogens, besonders bei Wechselstromschweißung,
2. Schutz des übergehenden Schweißguts und des Schweißbads vor dem Sauerstoff und Stickstoff der Luft,
3. Ersatz der Abbrandverluste durch Legierungsbestandteile aus der Umhüllung.

4. Auflegieren der Naht durch Legierungsbestandteile der Umhüllung,
5. Verringern der Abkühlungsgeschwindigkeit der Naht durch eine Schlackendecke, die aus Umhüllungsbestandteilen gebildet wird.

Im Flugzeugbau werden nur umhüllte Elektroden verwendet. Verschiedene Elektroden für Luftfahrtwerkstoffe haben eine kalkbasische Umhüllung. Diese Elektroden werden entgegen der im Abschnitt 5.3.2. genannten Regel an den Pluspol angeschlossen, weil sie am Minuspol die größere Erwärmung hervorrufen. Diese Erscheinung kann wie folgt erklärt werden: Kalkbasisch umhüllte Elektroden enthalten in der Umhüllung große Mengen Flußspat (CaF_2). Das Kalziumfluorid bindet Elektronen und mindert den Elektronenstrom im Lichtbogen in Richtung vom Minus- zum Pluspol. Wahrscheinlich binden am Minuspol die Fluorionen unter Wärmeabgabe Elektronen, wodurch am Minuspol eine größere Wärmemenge frei wird. Da die größere Wärmemenge am Werkstück benötigt wird, werden Elektroden mit kalkbasischer Umhüllung (Kb-Elektroden) entgegen der Regel am Pluspol angeschlossen. Durch die Minderung des Elektronenstroms in Richtung zum Pluspol wird auch die Wechselstromschweißbarkeit beeinträchtigt, so daß Kb-Elektroden nur mit Gleichstrom geschweißt werden.

Stahlbleche unter 1,5 mm Dicke werden selten durch die offene Lichtbogenschweißung mit Elektroden geschweißt. Die dazu erforderlichen dünnen Elektroden lassen sich nur sehr schwer führen, so daß Fehlstellen unvermeidlich werden.

Elektroden für Luftfahrtwerkstoffe

Die im Bild 5.28 aufgeführten Elektrodensorten sind als Luftfahrtwerkstoffe durch die Prüfstelle für Luftfahrtgerät der DDR freigegeben.

Die im Bild 5.28 aufgeführten Elektrodentypen für Luftfahrtwerkstoffe werden in den nachfolgenden Bildern 5.29 bis 5.33 eindeutig charakterisiert.

Werkstoff	Elektrode
LW 1110	LW 1881
LW 1112	(LW 1882)
LW 1120	LW 1883
LW 1403	LW 1891
LW 1414	
LW 1660	LW 1892
LW 1670	LW 1893

Bild 5.28 Elektroden für Luftfahrtwerkstoffe

übliche Bezeichnung	Umhüllungstyp	Werkstoffübergang	Einbrandtiefe	Spaltüberbrückbarkeit	Rißempfindlichkeit	Nahtaussehen	Stromart und Polung
Ti VIII s	Titandioxyd, stark umhüllt, gepreßt	feintropfig, heißgehend	mitteltief	gut	gering	gering überwölbt bis flach, feinschuppig	mit Gleichstrom am Minuspol oder Wechselstrom schweißbar

mechanische Gütewerte	Abschmelzleistung	Schweißstromstärke	
reines Schweißgut	bei 160 bis 200 A Schweißstrom und 4 mm Ø, Länge 350 mm	Durchmesser	Ampere
Zugfestigkeit 48...52 kp/mm²	1. 91,1 % Absatz	2,5	90 ... 115
Dehnung 28...32 %	2. 25,7 g/min, 1543 g/h	3,25	130 ... 160
	3. 3,55 cm³ Schmelzgut/Elektrode	4	160 ... 200
	4. 18,3 s/cm³ reine Schweißzeit	5	210 ... 260
		6	270 ... 320

Bild 5.29 Elektrode LW 1881

übliche Bezeichnung	Kb IX / Xs
Umhüllungstyp	kalkbasisch, sehr dick umhüllt, gepreßt
Werkstoffübergang	grob- bis mitteltropfig
Einbrandtiefe	mitteltief
Spaltüberbrückbarkeit	gut
Rißempfindlichkeit	sehr gering
Nahtaussehen	gering überwölbt, mittel- bis großschuppig
Stromart und Polung	nur mit Gleichstrom am Pluspol verschweißbar
Hinweis für Anwendbarkeit	besonders geeignet für dicke Querschnitte und starre Konstruktion, Stähle mit höherem C-Gehalt (bis etwa 0,6 % C) Thomasstahl, hohe mechanische Gütewerte; geringer Gehalt an H_2, O_2, N_2
Besonderheiten der Elektrodensorte	kurzen Lichtbogen halten (Elektrodendurchmesser), trocken lagern, unmittelbar vor dem Verschweißen etwa eine halbe Stunde bei 250 °C trocknen, für Absaugung der Schweißgase sorgen
mechanische Gütewerte	reines Schweißgut Zugfestigkeit 50 ... 52 kp/mm² Dehnung 25 ... 35 %
Abschmelzleistung	bei 165 bis 180 A Schweißstrom und 4 mm Ø, Länge 350 mm 1. 105 % Absatz 2. 26,8 g/min; 1618 g/h 3. 4,16 cm³ Schmelzgut/Elektrode 4. 17,3 s/cm³ reine Schweißzeit
Schweißstromstärke	Durchmesser / Ampere 2,5 — 90 ... 100 3,25 — 120 ... 135 4 — 165 ... 180 5 — 210 ... 230 6 — 250 ... 280

Bild 5.30 Elektrode LW 1883 (LW 1882)

übliche Bezeichnung	CrMo 44 R (CrMo 44 K)
Umhüllungstyp	Titandioxyd, stark umhüllt, gepreßt
Werkstoffübergang	feintropfig
Einbrandtiefe	mitteltief
Nahtaussehen	gering überwölbt bis flach, feinschuppig
Stromart und Polung	vorwiegend mit Gleichstrom am Minuspol verschweißbar
Besonderheiten der Umhüllung	Die Elektrode ist hüllenlegiert mit Chrom und Molybdän sowie einem hohen Anteil von metallischem Eisen. Dadurch ist die Hülle stromführend und die Zündung stark erleichtert

chemische Zusammensetzung des reinen Schweißguts (Prozent)

C	Mn	Si	Cr	Mo	P + S
0,05 0,12	0,45 0,50	0,20 0,30	0,70 1,00	0,40 0,60	0,03

mechanische Gütewerte

1. reines Schweißgut
(normalgeglüht und angelassen)

Zugfestigkeit	45 ... 48 kp/mm²
Dehnung	28 ... 32 %
Kerbzähigkeit	15 ... 18 kpm/cm²

2. Schweißverbindung

Werkstoff	LW 1403.40 LW 1403.50 LW 1403.90	LW 1403.30	LW 1414.50 LW 1414.90
Zugfestigkeit kp/mm²	100	90	100
Streckgrenze kp/mm²	80	70	80
Biegewinkel o	40	40	40

Abschmelzleistung

bei 165 bis 180 A Schweißstrom und 4 mm ∅, Länge 350 mm

1. 101 % Absatz
2. 26,6 g/min; 1596 g/h
3. 4,14 cm³ Schmelzgut/Elektrode
4. 17,7 s/cm³ reine Schweißzeit

Schweißstromstärke

Durchmesser	Ampere
2,5	80 ... 95
3,25	120 ... 135
4	165 ... 180

Bild 5.31 Elektrode LW 1891

übliche Bezeichnung	Kennzeichen nach SES	Umhüllungstyp	Kerndraht	Werkstoffübergang	Stromart und Polung
Croni 25 VEB Elektrodenwerk Berlin	X 15 CrNi 24 19	kalkbasische Hülle, mittelstark umhüllt, gepreßt	legierter Kerndraht mit etwa 24 % Cr, 19 % Ni und 2 % Si	mitteltropfig,	nur mit Gleichstrom am Pluspol verschweißbar

Besonderheiten der Elektrode	chemische Zusammensetzung	mechanische Gütewerte	Schweißstromstärke
austenitischer Zusatzwerkstoff, mit möglichst kurzem Lichtbogen schweißen, wesentliche Überschreitungen der vorgeschriebenen Stromstärken vermeiden, sonst Rißgefahr, besonders in Wurzellagen, Kopffarbe schwarz	reines Schweißgut C: ≦ 0,15 · Si: 1,8 / 2,2 · Mn: 0,2 / 0,8 P: ≦ 0,03 · S: ≦ 0,03 · Cr: 23,0 / 25,0 · Ni: 18,5 / 19,5	reines Schweißgut (nicht wärmebehandelt) 1. Zugfestigkeit 50...70 kp/mm² 2. Streckgrenze > 30 kp/mm² 3. Dehnung (= 5 d) > 30 % 4. Kerbzähigkeit > 10 kpm/cm² 5. Brinellhärte 140...180 kp/mm²	Durchmesser / Ampere 2,5 / 60...75 3,25 / 90...110 4 / 130...150 5 / 160...180

Bild 5.32 Elektrode LW 1892

übliche Bezeichnung	Kennzeichen nach SES	Umhüllungstyp	Kerndraht	Werkstoffübergang	Stromart und Polung
Croni 18 VEB Elektrodenwerk Berlin	X 10 CrNiTi 18 9	kalkbasische Hülle, stark umhüllt, gepreßt	legierter Kerndraht mit 18 % Cr und 8 % Ni, mit Titan und Tantal-Niob stabilisiert	mitteltropfig, kaltgehend	nur mit Gleichstrom am Pluspol verschweißbar

Besonderheiten der Elektrode	chemische Zusammensetzung	mechanische Gütewerte	Schweißstromstärke
austenitisches Schweißgut, mit möglichst kurzem Lichtbogen schweißen, zu hohe Stromstärken ergeben Rißgefahr, besonders bei Wurzelnähten, Kopffarbe gelb	reines Schweißgut C: ≦ 0,10 · Si: ≦ 0,5 · Mn: 0,2 / 0,4 P: ≦ 0,03 · S: ≦ 0,03 · Cr: 17,5 / 18,5 Ni: 8,0 / 10,0 · Ti: 0,4 · T/Nb: 1,0	reines Schweißgut (nicht wärmebehandelt) 1. Zugfestigkeit 55...70 kp/mm² 2. Streckgrenze > 32 kp/mm² 3. Dehnung (= 5 d) > 23 % 4. Kerbzähigkeit > 10 kpm/cm² 5. Brinellhärte 140...180 kp/mm²	Durchm. / Länge / Ampere 2,5 / 250 / 60...75 3,25 / 350 / 90...110 4 / 350 / 130...150 5 / 350 / 160...180

Bild 5.33 Elektrode LW 1893

Elektroden für Arbeitsmittel

Da für die Herstellung von Arbeitsmitteln im Bereich der Luftfahrtindustrie Stähle nach DIN bzw. SES verwendet werden, sollen die für diese Werkstoffe erforderlichen Elektroden im Bild 5.34 kurz erwähnt werden.

Werkstoffe für Arbeitsmittel		verwendbare Elektroden aus DDR-Aufkommen	Bemerkungen
SES	DIN	Bezeichnung nach DIN 1913	
St 3	St 37	Ti VIII s	für statische und dynamische Beanspruchung
St 5	St 50	Kb X s Kb XI s	dickere Querschnitte zum Schweißen vorwärmen
St 6	St 60	Kb XI s	Werkstücke zum Schweißen unbedingt vorwärmen
C 12	St 35.29	Ti VIII s Kb X s	-
C 15	C 15	Ti VIII s Kb X s	-
C 35	C 35	Kb X s Kb XI s	-
C 45	C 45	Kb XI s	Werkstücke zum Schweißen unbedingt vorwärmen
18 Mn 5	St 52	Ti VIII s Kb X s Kb XI s	-

Bild 5.34 Elektroden für das Schweißen von Arbeitsmitteln

5.4. Argonarc-Schweißen

5.4.1. Wärmequelle

Das Argonarc-Schweißverfahren wird auch als Edelgas-Lichtbogenschweißen bezeichnet und nach DIN 1910 sinngemäß definiert:

> Der Lichtbogen brennt in einer Argon-Schutzschicht zwischen dem Werkstück und einer n i c h t a b s c h m e l z e n d e n Elektrode. Im allgemeinen wird Zusatzwerkstoff eingeschmolzen.

Eine geläufige Bezeichnung dieses Verfahrens bildet die Grundlage für das Kurzzeichen des Schweißverfahrens: Wolfram-Inert-Gas-Schweißen, abgekürzt WIG-Schweißen. Inert bedeutet soviel wie reaktionsträge.

Als Wärmequelle dient der elektrische Lichtbogen, der zwischen einer nichtabschmelzenden Wolframelektrode und dem Werkstück brennt. Der Lichtbogen, der Tropfenübergang des Zusatzwerkstoffs und die Schweißzone des Werkstücks werden durch eine Hülle des Edelgases Argon geschützt. Daraus ergeben sich folgende wesentlichen Kennzeichen:

1. engbegrenzte, konzentrierte Lichtbogenwärme,

2. hohe Schweißgeschwindigkeit,

3. Anpassungsfähigkeit an schwierige Werkstoffe und Arbeitsbedingungen.

Werkstoff	Wechselstrom mit Hochfrequenz-überlagerung	Gleichstrom Elektrode am Minuspol
LW 1403		×
LW 1660		×
LW 1670		×
LW 2329		×
LW 2335		×
LW 3001	×	
LW 3305	×	
LW 3355	×	

Bild 5.35 Wahl der Stromart nach dem zu schweißenden Werkstoff

Als Schweißstrom kann Gleichstrom oder Wechselstrom verwendet werden. Die Wahl der Stromart hängt von dem zu schweißenden Werkstoff ab. Metalle, die einen dünnen Oxydfilm bilden, z.B. Stahl, Nikkel, werden mit Gleichstrom und Elektrode am Minuspol geschweißt. Für Metalle mit zäher Oxydhaut, z.B. Leichtmetalle, wird zur Zerstörung der Oxydhaut Wechselstrom verwendet. Um auch bei Wechselstrom eine genügende Stabilität des Lichtbogens zu erhalten, wird der Wechselstrom mit einem hochfrequenten Strom von 2000 bis 3000 Volt und 300 bis 500 kHz mittels eines Hochfrequenzzündgeräts überlagert (vgl. Abschn. 5.4.5.).

5.4.2. Schweißausrüstung

In den Argon-Schutzgas-Schweißanlagen wird für das Schweißen mit Gleichstrom ein normaler Schweißumformer mit einem Schweiß-

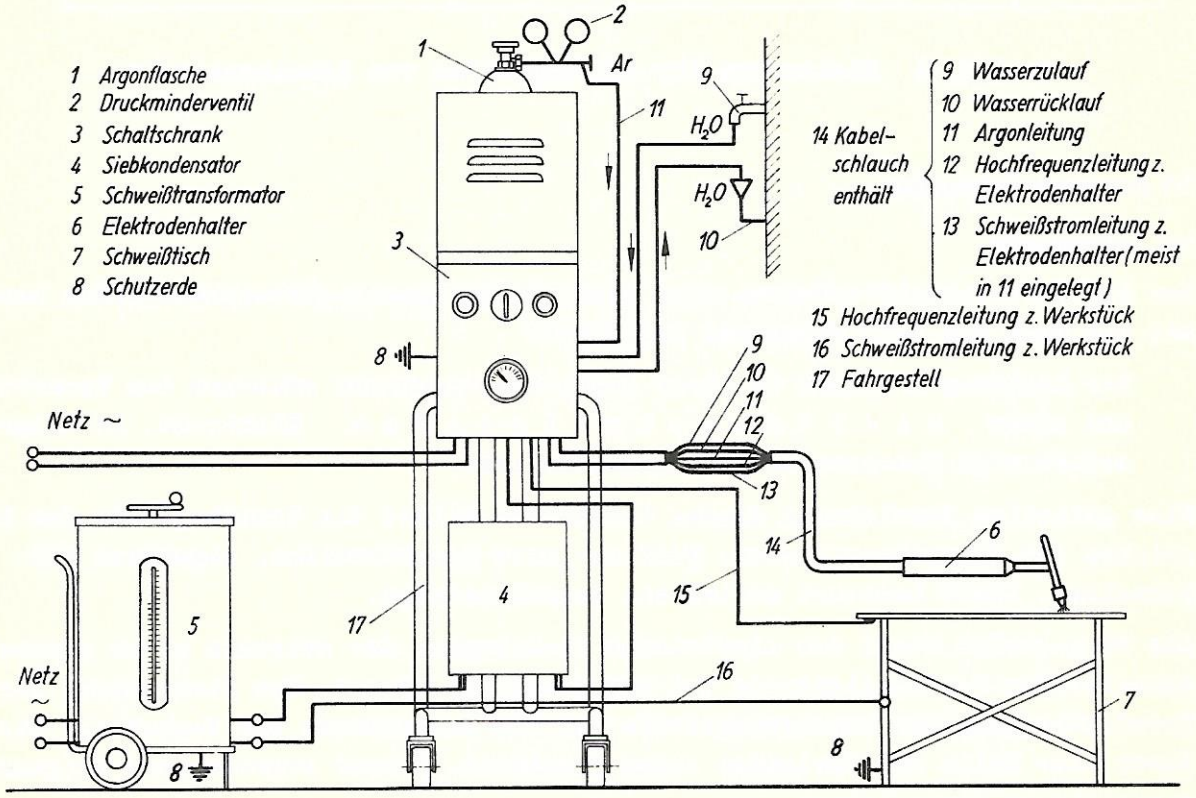


Bild 5.38 Schema einer Argon-Schutzgas-Schweißanlage für Wechselstrom

strombereich (HSB) von 30 bis 300 A verwendet. Für das Schweißen mit Wechselstrom wird ein normaler Schweißtransformator mit einem Schweißstrombereich (HSB) von 30 bis 300 A benutzt.

Bild 5.36 (Seite 63) zeigt eine Argon-Schutzgas-Schweißanlage mit eingebautem Schweißtransformator zum Schweißen von Leichtmetall, 1 bis 10 mm Dicke. Die gleiche Anlage kann mit einem Schweißumformer oder Schweißgleichrichter auch zum Schweißen mit Gleichstrom vorgesehen sein.

Bild 5.37 (Seite 63) zeigt eine Anlage für Werkstoffdicken von 0,8 bis 8 mm und einem maximalen Schweißstrom von 300 A (HSB). Im Fahrgestell unter dem Schaltschrank ist der Siebkondensator zu sehen (Erläuterungen vgl. Abschn. 5.4.5.). Diese für Wechselstrom vorgesehene Anlage wird komplett als Schema im Bild 5.38 erläutert.

Wie für das Lichtbogenschweißen so wirken sich auch für das Argon-Schutzgas-Schweißen Schweißstromerzeuger mit steil abfallender Strom-Spannungs-Kennlinie günstig aus (vgl. Bild 5.21). Die im Handschweißbetrieb unvermeidliche ständige Veränderung der Lichtbogenlänge und damit der Lichtbogenspannung verursacht dann nur eine geringfügige Änderung des Schweißstroms, da die Linie der Schweißspannung die Kennlinie stets im steil abfallenden Bereich schneidet.

Der A r g o n - E l e k t r o d e n h a l t e r kann im Kopfstück verschiedene Argondüsen aufnehmen, die mit abgestimmten Bohrungen für die verschiedenen Elektrodendurchmesser versehen sind. Im Flugzeugbau hat sich bisher ein wassergekühlter Elektrodenhalter bewährt, der Werkstoffdicken von 0,8 bis 8 mm zu schweißen gestattet. Es werden drei verschiedene Argondüsen, z.B. bei dem Gerät Armanex 300 der Firma Messer, verwendet.

Düse Nr.	innerer Durchmesser d_i mm
1	8
2	12
3	16

Bild 5.39 Düsenmaße für Argon-Elektrodenhalter

5.4.3. Elektroden

Im Flugzeugbau werden für das Argonarc-Schweißen nichtabschmelzende Elektroden aus Wolfram mit 1,2 bis 2,0 % Thoriumzusatz verwendet. Thoriumlegierte Wolframelektroden zeichnen sich gegenüber Elektroden aus reinem Wolfram durch folgende Vorzüge aus:

1. Thoriumlegierte Elektroden weisen eine bessere Elektronenemission auf (Emission-Aussendung). Beim Beginn einer Schweißung mit noch kalter Elektrode - besonders bei Gleichstrom - ist das von großer Bedeutung. Das Einsetzen der thermischen Elektronenemission tritt bei thorierten Elektroden bei einer Temperatur ein, die um etwa 1000 °C niedriger ist als bei reinem Wolfram. Die Temperatur, auf die die Elektrode erhitzt werden muß, um einen wirksamen Lichtbogen zu erhalten, braucht deshalb nicht bis über die Schmelzgrenze der Elektrodenlegierung gebracht zu werden. Das erleichtert beim Gleichstromschweißen das vorteilhaft wirkende Anspitzen der Elektrode, weil auch eine Spitze, die schärfer ist als notwendig, der Lichtbogenbelastung standhält.
2. Thoriumlegierte Elektroden zeigen eine größere Lichtbogen-Stabilität.

3. Die Strombelastbarkeit ist etwa 25 Prozent höher als bei reinen Wolframelektroden. Das hat zur Folge: längere Lebensdauer, etwa um 50 Prozent geringerer Verbrauch, dünnere Elektroden verwendbar, schmaleres Schmelzbad, kleinere Wärmezone und geringerer Argonverbrauch.

4. Berührung der Elektrode mit dem Schweißgut sowie Spritzer und Dämpfe des Schweißbads legieren thorierte Elektroden weniger auf als reine Wolframelektroden.

Strombelastbarkeit

Die Strombelastbarkeit der Elektroden ist in der folgenden Tabelle, Bild 5.40, angegeben. Die genannten Stromstärken sind Mittelwerte, die mit den Skaleneinstellungen am Schweißtransformator nicht übereinstimmen müssen.

Elektrodendurchmesser mm	Wechselstrom A	Gleichstrom Elektrode am Minuspol A
1,0	10 ... 46	10 ... 80
1,5	30 ... 68	50 ... 135
2,0	40 ... 100	80 ... 200
2,5	50 ... 125	160 ... 270
3,0	70 ... 160	200 ... 350

Bild 5.40 Strombelastbarkeit der Elektroden

Der erforderliche Elektrodendurchmesser wird je nach der Stärke des Schweißstroms gewählt. Für die Gleichstromschweißung wird die Elektrode angespitzt, bei der Wechselstromschweißung bleibt sie stumpf. Die Länge der Elektrode beträgt etwa 175 mm.

Die Erwärmung des Elektrodenendes, von dem der Lichtbogen ausgeht, soll so hoch sein, daß es wohl glühend und teigig ist, d.h. zu schmelzen beginnt, aber nicht abschmilzt und ins Schmelzbad übergeht. Wenn bei einer erforderlichen bzw. gegebenen Stromstärke die Elektrodenspitze abtropft, ist der nächstgrößere Elektrodendurchmesser zu wählen. Brennt jedoch der Lichtbogen wegen zu geringer Strombelastung nicht einwandfrei, dann wird ein kleinerer Elektrodendurchmesser gewählt oder die Stromstärke erhöht.

Zünden des Lichtbogens

Der Lichtbogen darf nicht durch Berühren des Werkstücks mit der Elektrode gezündet werden. Die Elektrode legiert dadurch mit dem Werkstoff des Werkstücks auf und wird unbrauchbar. Die Werkstückoberfläche wird beschädigt und es entstehen örtliche Spannungsstellen.

Muß der Lichtbogen durch Berührung gezündet werden (Stahl, Kupfer), dann wird auf einem neben der Schweißstelle liegenden Blechstückchen (am besten aus Kupfer) gezündet. Bei Leichtmetall wird der Lichtbogen ohne Berührung mit Hilfe des überlagerten Hochfrequenzstroms gezündet.

5.4.4. Argon

Argon ist ein Edelgas, d.h., es ist ein inertes (reaktionsträges) Gas. Es hat beim WIG-Schweißen folgende Aufgaben zu erfüllen:

1. Schutz des Schmelzbads vor chemischen Reaktionen mit dem Sauerstoff und Stickstoff der Luft,

2. Schutz des glühenden Teils der Elektrode vor der Einwirkung des Sauerstoffs aus der Luft während des Schweißens und kurz nach dem Schweißen,

3. Kühlung des glühenden Teils der Elektrode während des Schweißens und unmittelbar nach dem Erlöschen des Lichtbogens während einer begrenzten N a c h s t r ö m z e i t des Argons,

4. Schutz des abschmelzenden Zusatzwerkstoffs am Zusatzstab und während des Übergangs vom Ende des Zusatzstabs in das Schmelzbad vor chemischen Reaktionen mit dem Sauerstoff und Stickstoff der Luft.

Das verwendete Argon muß einen Reinheitsgrad von 99,8 % aufweisen. Der Feuchtigkeitsgehalt darf 60 mg/cm³ nicht übersteigen.

Das Argon wird einer Stahlflasche über Druckminderventil und Gasmengenmesser entnommen und dem Brenner zugeleitet. Die Stahlflaschen haben einen Rauminhalt von 40 bzw. 50 l. Eine 40 l-Flasche enthält z.B. bei einem Druck von 150 kp/cm² 6 m³, bei einem Druck von 200 kp/cm² 8 m³ Argon. Die Flaschen dürfen nicht unter 1,5 kp/cm entleert werden, da sonst eine kostspielige Spülung der Flaschen im Lieferwerk notwendig wird.

Der Argonverbrauch beim Schweißen ist von der Blechdicke abhängig und den Tabellen (Bild 5.43 und 5.44) zu entnehmen. Die Argon-Nachströmzeiten sind in Bild 5.41 angegeben.

Elektrodendurchmesser mm	1	1,5	2	2,5	3
Nachströmzeiten s	8	9	10	11	13

Bild 5.41 Argon-Nachströmzeiten

5.4.5. Besonderheiten beim WIG-Schweißen

Schutz der Wurzelseite der Schweißverbindung

Beim WIG-Schweißen ist ein Schutz der Wurzelseite der Schweißverbindung gegen Einwirkung des Sauerstoffs der Luft auf das flüssige Schweißgut während des Schweißens vorteilhaft. Dieser Schutz wird erreicht:

1. durch eine für die Ausbildung der Unterraupe mit Rille versehenen Unterlage aus nichtrostendem Stahl (Kupfer ist wegen der starken Wärmeableitung aus dem Schmelzbad beim WIG-Schweißen zu vermeiden, ebenfalls Kohleunterlagen),

2. durch Heranführen von Schutzgas an die Unterseite der Schweißverbindung.

Dem Schutz der Wurzelseite beim WIG-Schweißen kommt besondere Bedeutung zu, weil bei vielen Werkstücken aus besonderen Werkstoffen (vgl. Abschn. 5.8., geschweißte Werkstücke aus der Flugwerk- und Triebwerkfertigung) Wurzellagen in WIG-Schweißung ausgeführt werden. Aufgefüllt wird die Naht häufig durch andere Schweißverfahren. Dieses Vorgehen wird folgendermaßen begründet: Die WIG-Schweißung ergibt eine saubere Wurzellage mit gutem Einbrand und ohne Ausbrand oder Auflegierung. Bereits die 2. Lage, ausgeführt mit WIG-Schweißung, ergibt jedoch aus bisher noch ungeklärten Gründen poriges Schweißgut. Aus dieser Erklärung geht auch hervor, weshalb die WIG-Schweißung besonders für dünne Bleche geeignet ist, die durch Einlagenschweißung gefügt werden können.

WIG-Schweißen von Leichtmetall

Beim Wechselstromschweißen von Leichtmetall ist zur Zündung und zur sicheren Aufrechterhaltung des Lichtbogens die Überlagerung von Hochfrequenz erforderlich.

Durch die Oxydhaut auf der Oberfläche des Leichtmetalls wird die Verbindung beim Schmelzschweißen verhindert. Die Oxydhaut muß deshalb während des Schweißens aufgelöst oder zerstört werden. Beim Gas- und beim Lichtbogenschweißen wird die Oxydhaut chemisch durch Verwendung eines Flußmittels zerstört. Das Flußmittel wirkt jedoch auf den Werkstoff korrodierend. Es muß nach dem Schweißen mit aller Sorgfalt entfernt werden. Die Entfernung der Flußmittelreste ist aber oft schwierig und nicht immer einwandfrei möglich.

Der elektrische Lichtbogen unter Argonschutz vermag unter bestimmten Voraussetzungen die Oxydhaut rasch und vollständig zu zerstören. Der Argonschutz verhindert die Neubildung der Oxydhaut während des Schweißens, so daß eine einwandfreie Verbindung möglich ist. Da keine Flußmittel verwendet werden, entfällt die Nachreinigung und eine Korrosion durch Flußmittelreste tritt nicht auf.

Der Argon-Lichtbogen, für den beim Leichtmetallschweißen Wechselstrom erforderlich ist, zerstört dann die Oxydhaut am Werkstück, wenn die Elektrode gerade positives, das Werkstück negatives Potential aufweist. Ist die Polarität umgekehrt, dann bleibt die Oxydhaut auf dem Werkstück erhalten und lediglich der darunter befindliche Werkstoff wird aufgeschmolzen. Bei Wechselstrom mit 50 Hz wechselt die Polarität hundertmal in der Sekunde. Die dabei je Sekunde entstehenden 50 positiven Halbwellen zerstören die Oxydhaut, während die 50 negativen Halbwellen das Werkstück kräftig erhitzen. Während der negativen Halbwellen kann sich die Elektrode abkühlen, so daß der Schmelzpunkt des Wolframs nicht erreicht wird.

Siebkondensator beim WIG-Schweißen mit Wechselstrom

Im Wechselstromlichtbogen mit Wolframelektrode tritt als unerwünschte Nebenerscheinung eine Gleichrichterwirkung auf. Sie beruht im wesentlichen darauf, daß die Fähigkeit zur Elektronenemission bei der heißeren Wolframelektrode größer ist als bei dem relativ kalten Werkstück. Dadurch bildet sich die negative Halbwelle stärker aus als die positive. Der so entstehende Wechselstrom ist daher in bezug auf die Null-Linie nicht symmetrisch. Im Lichtbogen fließt deshalb neben dem reinen Wechselstrom noch zusätzlich ein Gleichstrom, der die positive Halbwelle schwächt und die negative verstärkt (Bild 5.42).

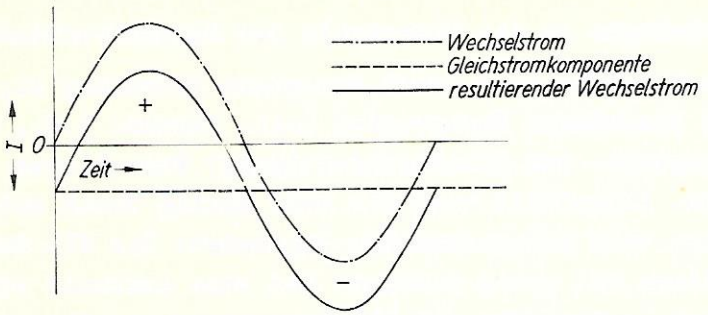


Bild 5.42 Schema zur Erläuterung der Gleichrichterwirkung

Die asymmetrische Form des resultierenden Wechselstroms stellt die ausreichende Zerstörung der Oxydhaut beim WIG-Schweißen in Frage. Die positiven Halbwellen können bei ungenügenden Zündverhältnissen sogar völlig ausbleiben, und damit kann das Schweißen unmöglich werden. Es wird deshalb beim WIG-Leichtmetallschweißen ein sogenannter Siebkondensator in den Schweißstrom eingeschaltet, der die Ausbildung der Gleichstromkomponente

völlig unterbindet. Durch den Siebkondensator wird die positive Halbwelle, die die rasche Beseitigung der Oxydhaut bewirkt, wieder entsprechend ausgebildet.

Die Gleichstromkomponente hat außerdem noch eine weitere unerwünschte Wirkung, nämlich die S ä t t i g u n g des E i s e n k e r n s des Schweißtransformators. Dadurch kann eine große Stromaufnahme und Überlastung des Transformators verursacht werden. Auch diese schädliche Wirkung wird durch Einschalten des Siebkondensators verhindert. Schweißtransformatoren, die Argon-Schweißanlagen ohne Siebkondensator zur Kompensierung der Gleichstromkomponente versorgen, dürfen deshalb nur mit einem Teil ihrer Nennleistung belastet werden. Schweißtransformatoren, die mit Siebkondensator arbeiten, können voll belastet werden.

5.4.6. Verbrauchs- und Leistungswerte

Beim WIG-Schweißen von Leichtmetall, und zwar wenn der Stumpfstoß angewandt wird, gelten etwa die im Bild 5.43 aufgeführten Verbrauchs- und Leistungswerte. Soll ein T-Stoß bei Leichtmetallen, also eine Hohlkehle geschweißt werden, muß die Stromstärke gegenüber der Tabelle im Bild 5.43 um 10 bis 20 Prozent erhöht werden. Die Elektrode soll nicht weiter als 10 mm aus der Düse herausragen.

Dicke des Werkstücks mm	Durchmesser der Elektrode mm	Durchmesser des Schweißdrahts mm	Düse Nr.	Schweißstrom ~ A	Argonverbrauch l/min	Schweißgeschwindigkeit mm/min	Bemerkung
1	1 ... 2	1,5 ... 2	1	30 ... 70	4 ... 5	380	mit Siebkondensator (Schweißtrafo)
1,5	1,5 ... 2	1,5 ... 2	1	60 ... 80	5	350	
2	2 ... 3	2 ... 3	1	80 ... 120	5 ... 6	320	
3	3	3	1	100 ... 150	6	300	
4	3 ... 5	3 ... 4	1 oder 2	120 ... 200	6 ... 8	280	
5	3 ... 5	3 ... 4	1 oder 2	130 ... 200	6 ... 8	280	

Bild 5.43 Verbrauchs- und Leistungswerte beim WIG-Schweißen (Leichtmetall, Stumpfstoß)

Dicke des Werkstücks mm	Durchmesser der Elektrode mm	Durchmesser des Schweißdrahts mm	Düse Nr.	Schweißstrom — A	Argonverbrauch l/min	Schweißgeschwindigkeit mm/min	Bemerkung
1	1	1,5	1	30 ... 60	2,5 ... 3	350	ohne Siebkondensator (Schweißumformer oder Gleichrichter)
1,5	1,5	2 ... 2,5	1	60 ... 100	3 ... 4	300	
2	1,5	2 ... 3	1	70 ... 120	3 ... 4	300	
3	1,5 ... 2	2 ... 3	1	90 ... 150	3 ... 5	250	
4	1,5 ... 2	3	1	120 ... 175	3 ... 5	220	
5	2 ... 3	3 ... 4	1	130 ... 220	4 ... 5	200	
6	2 ... 3	3 ... 5	1	160 ... 300	4 ... 5	180	

Bild 5.44 Verbrauchs- und Leistungswerte beim WIG-Schweißen (legierte Stähle, Stumpfstoß)

Beim WIG-Schweißen von legierten Stählen (Stumpfstoß) werden die Verbrauchs- und Leistungswerte entsprechend Bild 5.44 erreicht.

5.4.7. Zusatzwerkstoffe

Die wichtigsten Werkstoffe, die im Flugzeugbau argonarcgeschweißt werden, sowie die erforderlichen Zusatzwerkstoffe enthält Bild 5.45.

Werkstoff	Zusatzwerkstoff
LW 1403 LW 1660 LW 1670	LW 1422.04 LW 1661.74 LW 1671.74
LW 2329 LW 2335	wird vom Schweiß-ingenieur bestimmt
LW 3001 LW 3302 LW 3303 LW 3305 LW 3355 LW 3357	LW 3011.04 LW 3315.04 LW 3315.04 LW 3315.04 LW 3202.04 LW 3202.04

Bild 5.45
Zusatzwerkstoffe für das WIG-Schweißen

5.5. Arcatom-Schweißen

5.5.1. Wärmequelle

Nach DIN 1910 wird das Arcatom-Schweißverfahren als atomares Lichtbogenschweißen zu den Schutzgas-Lichtbogenschweißverfahren gerechnet und wie folgt definiert:

> Der Lichtbogen brennt zwischen zwei Wolframelektroden. Lichtbogen und Schmelzfluß werden durch Wasserstoff als Schutzgas gegen Luftzutritt abgeschirmt. Der Wasserstoff überträgt außerdem durch Zerfall in seine Atome und Rückbildung von Molekülen Wärme an die Schweißstelle. Es wird Zusatzwerkstoff eingeschmolzen.

Beim Arcatomschweißen wird der Lichtbogen zwischen zwei spitzwinklig zueinander stehenden Wolframelektroden gebildet. Der Lichtbogen wird also unabhängig vom Werkstück erzeugt und dient zum Aufschmelzen des Werkstoffs an der Schweißstelle, ohne daß das Werkstück elektrisch angeschlossen wird. Die Elektroden sind nur Lichtbogenträger und werden, ähnlich wie beim Argonarc-Schweißen, n i c h t als Zusatzwerkstoff in das Werkstück eingeschmolzen. Die Elektroden werden in Düsen eines Arcatom-Schweißbrenners eingespannt, die mit der Stromquelle elektrisch verbunden sind. Durch dieselben Düsen wird der Wasserstoff, der als Schutzgas dient, der Schweißstelle zugeführt. Da der Wasserstoff im Lichtbogen verbrennt, werden sowohl die Elektroden als auch die Schweißstelle in eine Schutzgasflamme eingehüllt. Der Wasserstoff dissoziiert an den Elektrodenspitzen, d.h., die Moleküle werden in Atome zerlegt. Diese Zerlegung erfordert eine bestimmte Wärme, die den glühenden Elektrodenspitzen entzogen wird. Dadurch und durch den vorbeiströmenden Wasserstoff werden die Elektrodenspitzen gekühlt und ein zu schneller Abbrand der Wolframelektroden wird vermieden.

Am Rand des hufeisenförmigen Lichtbogens (Bild 5.46) findet eine Wiedervereinigung der Wasserstoffatome zu zweiatomigen Molekülen statt. Die bei diesem Prozeß wieder freiwerdende Bindungswärme wird gemeinsam mit der normalen Lichtbogenwärme für das Aufschmelzen des Grundwerkstoffs ausgenützt. Die Temperatur am Rand des Lichtbogens beträgt etwa 4000 °C.

Der Wasserstoff erfüllt also beim Arcatom-Schweißen drei Aufgaben:

1. Erhöhen der Wärmeleistung des Lichtbogens,

2. Abschirmen des Schweißbads und der glühenden Elektrodenspitzen gegen den Sauerstoff und Stickstoff der Luft,
3. Kühlen der Elektrodenspitzen und damit Verhindern eines zu schnellen Abbrands der Wolframelektroden.

Durch die hohe Temperatur am Rand des Lichtbogens wird seine Wärme schnell an die Schweißstelle abgegeben. Der Werkstoff schmilzt sofort beim Ansetzen des Lichtbogens und die Schweißgeschwindigkeit erreicht deshalb besonders günstige Werte. Infolge sehr hoher Schmelzleistung in der Schweißfuge ist die Gesamterwärmung des Werkstücks gering. Sie liegt etwa zwischen der beim Lichtbogenschweißen und beim Gasschweißen.

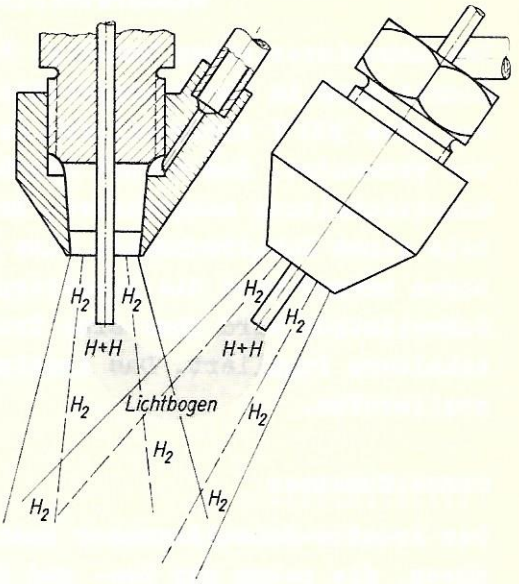


Bild 5.46 Arcatom-Lichtbogen

5.5.2. Schweißausrüstung

Schweißanlage

Die für die Ausrüstung einer Arcatom-Schweißstelle notwendigen Geräte zeigt Bild 5.47.

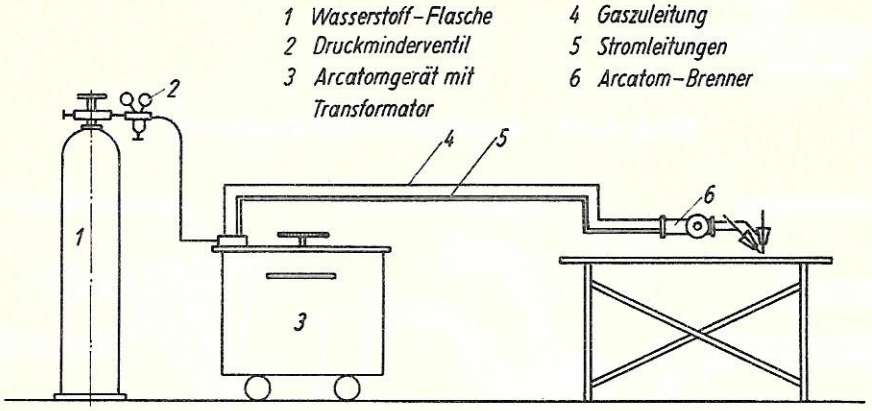


Bild 5.47 Schema einer Arcatom-Schweißanlage

Bild 5.48 (Seite 63) zeigt die äußere Form des Arcatomgeräts Lag 15. Um die technischen Daten dieses Geräts zu erläutern, werden nachstehend die wichtigsten Angaben des Typenschilds aufgeführt:

Dauerleistung 15 kVA
Anschlußleistung (DAB 40 % ED) 24 kVA
(DAB = Dauerleistung bei ausschaltender Belastung,
ED = Einschaltdauer)
Leerlaufleistung 0,15 kW
Zündspannung 300 V
Lichtbogenspannung 80 V

Schweißstrombereich 15 ... 80 A
Umstellstufen 13
Wasserstoffdruck 0,3 kp/cm²

Das Schweißverfahren benötigt Wechselstrom normaler Frequenz. Zum Zünden des Lichtbogens in der Wasserstoffatmosphäre ist eine besonders hohe Zündspannung von etwa 300 V erforderlich. Es wird deshalb ein besonderer Schweißtransformator verwendet. Zum Schutz des Schweißers ist der Transformator mit einer Schutzschaltung ausgerüstet. Beim Schweißen erhält der Schweißstromkreis mittels eines Schaltschützes eine Schutzspannung von 42 V, nur während der Lichtbogen brennt wird die Arbeitsspannung an den Schweißbrenner geschaltet. Der Schweißstrom wird über eine Drosselspule durch Einstellen eines Vielfachstufenschalters reguliert. Das Arcatomgerät Lag 15 (Bild 5.48) besitzt z.B. 13 Umstellstufen.

Schweißbrenner

Der Arcatom-Schweißbrenner besteht aus dem Griffstück mit den beiden Brennerdüsen, die neben der Gas- und Stromzuführung auch zur Aufnahme der Wolframelektroden dienen.

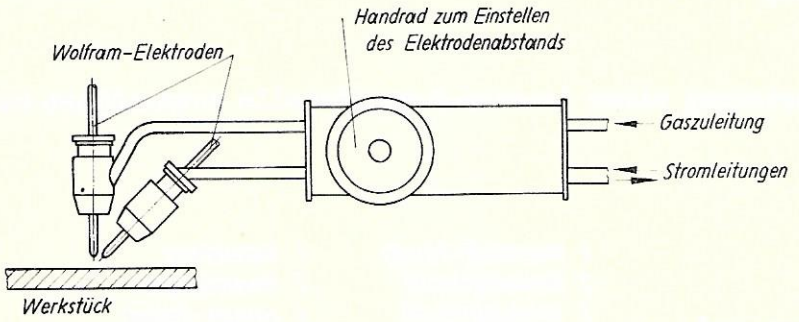


Bild 5.49 Arcatom-Schweißbrenner

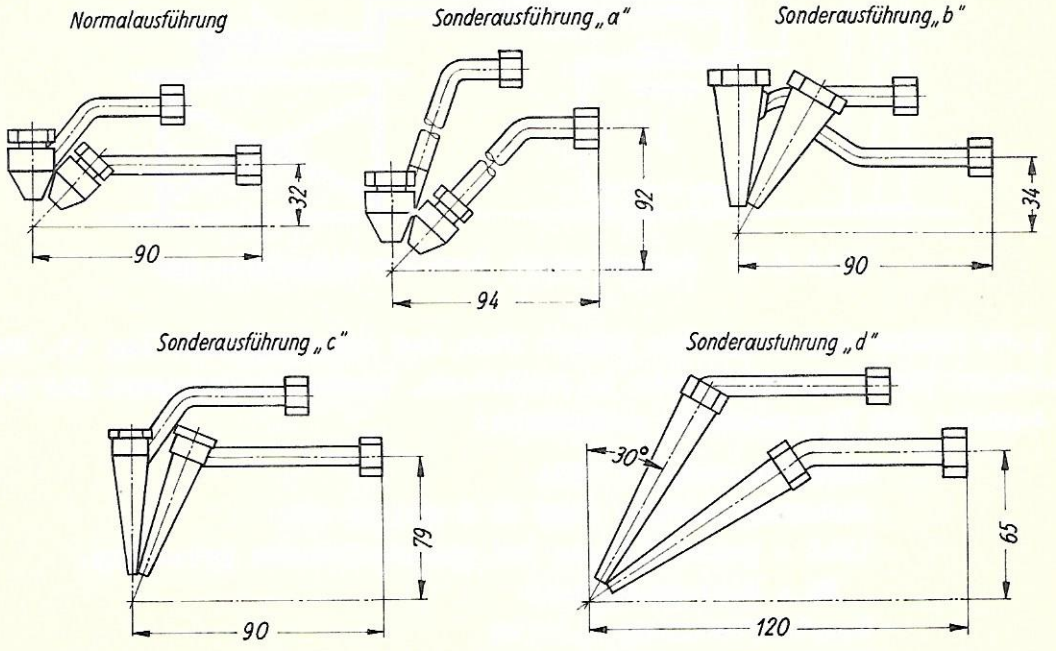


Bild 5.50 Verschiedene Ausführungen von Arcatom-Schweißbrennerköpfen

Durch ein Stellrad wird die Entfernung der Brennerdüsen mit den eingespannten Wolframelektroden geregelt. Die Brennerköpfe können je nach Zugängigkeit der Schweißstelle in verschiedenen Ausführungen (Bild 5.50) benutzt werden. Nach Möglichkeit ist die Normalausführung zu verwenden.

5.5.3. Elektroden

Die für die einzelnen Blechdicken zu verwendenden Durchmesser der Wolframelektroden zeigt Bild 5.51.

Blechdicke mm	Elektrodendurchmesser mm
1 ... 2	1,5
2 ... 3	1,5
3 ... 5	1,5 oder 2
5 ... 8	2 oder 3
8 ... 10	3

Bild 5.51 Durchmesser der Wolframelektroden

5.5.4. Wasserstoff

Der Wasserstoff wird von der Wasserstoff-Flasche über ein Druckminderventil zum Verteilerkasten auf der Schweißmaschine geleitet. Von hier strömt der Wasserstoff nach dem Öffnen des Einstellventils im Verteilerkasten durch die beiden Anschlußleitungen zu den Düsen des Brenners. Die richtige Wasserstoffmenge ist vorhanden, wenn am Druckminderventil ein Druck von 0,2 bis 0,3 kp/cm^2 eingestellt wird. Das Gas darf keinesfalls stark rauschend, sondern nur mit geringem Überdruck an den Brenndüsen ausströmen. Beide Flammenzweige sollen nahezu gleich groß sein und zentrisch aus den Düsen brennen.

5.5.5. Brennereinstellung und Brennerführung

Es werden zwei Brennzustände des Arcatomlichtbogens unterschieden,

1. der unentwickelte Lichtbogen und
2. der entwickelte Lichtbogen.

Die Grenze zwischen diesen beiden Lichtbogen liegt bei einer Entfernung der beiden Elektrodenspitzen von etwa 2 mm. Es wird die Gaszufuhr am Ventil des Verteilerkastens so eingestellt, daß es möglich ist, von ganz kleinen Abständen der Elektrodenspitzen bis zu 2 mm Entfernung zu gehen, ohne daß ein Zischen einsetzt (unentwickelter Lichtbogen). Erst wenn der Lichtbogen durch Drehen am Stellrad mit dem Daumen der rechten Hand länger gezogen wird, muß das für höhere Wärmeentwicklung charakteristische Zischen oder Zwitschern einsetzen (entwickelter Lichtbogen).

Beim Schweißbeginn wird mit dem Rand des als farbige Scheibe sichtbaren Lichtbogens der zu schweißende Werkstoff berührt. Der Schmelzfluß des Werkstücks setzt wegen der großen Wärmeentwicklung des Lichtbogens sofort ein. Ist die Hitzewirkung des Lichtbogens zu groß, so wird der Lichtbogen durch Zurückdrehen des Stellrads mit dem Daumen, also durch Verringerung des Elektrodenabstands, verkürzt. Eine stärkere Schmelzwirkung wird erzielt, wenn die Elektrodenspitzen weiter voneinander entfernt werden und dadurch ein größerer Lichtbogen entsteht. Ein Verändern der Schmelzwirkung durch Nähern und Entfernen des gesamten Brenners in Richtung Werkstück ist unvorteilhaft.

Bei zu starker Annäherung der Elektroden an das Werkstück besteht die Gefahr, daß mit den Wolframspitzen der Schmelzfluß berührt wird. Da die Wolframstäbe lediglich Lichtbogenträger sind, ist immer darauf zu achten, daß ihre Spitzen weder den festen noch den flüssigen Werkstoff während des Schweißens berühren.

Ebenso darf der flüssige Zusatzwerkstoff nicht die Elektrodenspitzen berühren. Bei versehentlicher Berührung macht sich ein Flattern des Lichtbogens mit einem charakteristischen Geräusch und eine Farbänderung der Flamme bemerkbar. Der angesetzte Werkstoff wird durch eine kurze Schleuderbewegung mit dem Brenner entfernt und der Lichtbogen neu gezündet.

5.5.6. Verbrauchs- und Leistungswerte

In den folgenden Bildern 5.52 bis 5.55 werden einige für die wirtschaftliche Beurteilung des Arcatom-Schweißens notwendige Verbrauchs- und Leistungswerte zusammengestellt.

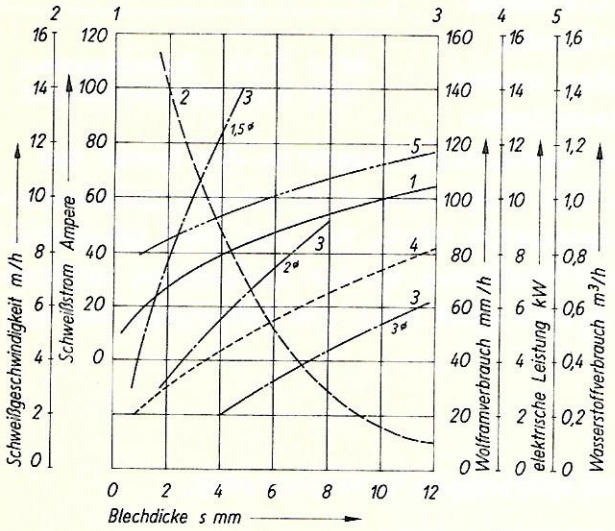


Bild 5.52 Werte für das Arcatom-Schweißen von St 37 bis 42, bezogen auf die Schweißdauer

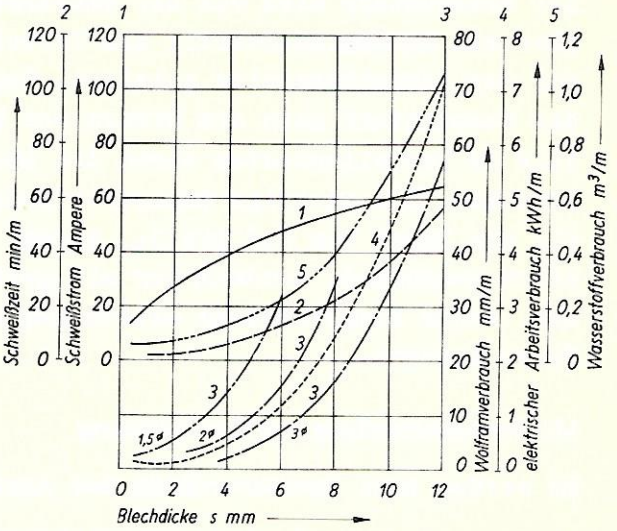


Bild 5.53 Werte für das Arcatom-Schweißen von St 37 bis 42, bezogen auf die Nahtlänge

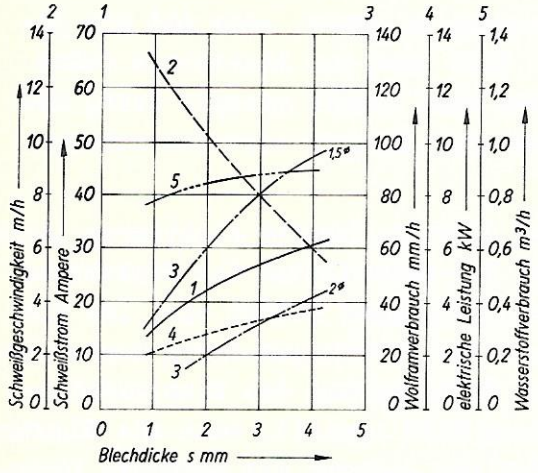


Bild 5.54 Werte für das Arcatom-Schweißen von austenitischen Stählen, bezogen auf die Schweißdauer

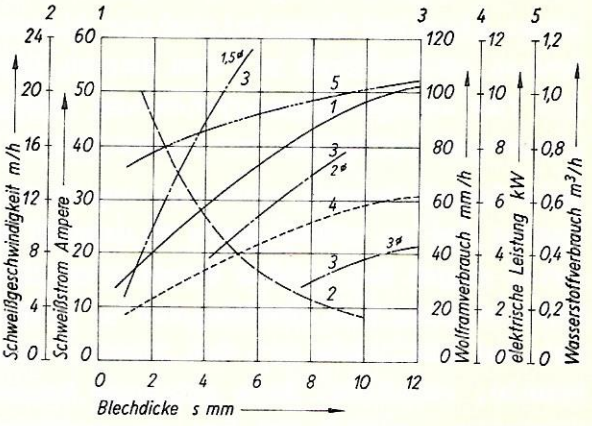


Bild 5.55 Werte für das Arcatom-Schweißen von Leichtmetall, bezogen auf die Schweißdauer

5.5.7. Zusatzwerkstoffe

Die für die verschiedenen Luftfahrtwerkstoffe notwendigen Zusatzwerkstoffe zeigt Bild 5.56. Bild 5.57 läßt erkennen, wieviel Zusatzwerkstoff bei den verschiedenen Nahtformen erforderlich ist.

Werkstoff	Zusatzwerkstoff
LW 1110	LW 1108.04
LW 1112	LW 1108.04
LW 1120	LW 1108.04
LW 1302	wird durch Schweiß-ingenieur bestimmt
LW 1403	LW 1422.04
LW 1414	LW 1422.04
LW 1660	LW 1661.74
LW 1670	LW 1671.74
LW 3001	LW 3011.04
LW 3302	LW 3315.04
LW 3303	LW 3315.04
LW 3305	LW 3315.04
LW 3355	LW 3202.04
LW 3357	LW 3202.04

Bild 5.56 Zusatzwerkstoffe für die Arcatomschweißung

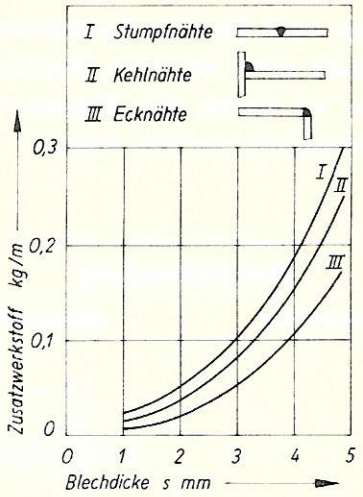


Bild 5.57 Erforderlicher Zusatzwerkstoff für verschiedene Nahtformen bei Blechen aus Baustählen von 1 bis 5 mm Blechdicke, bezogen auf die Nahtlänge

5.6. Widerstands-Punktschweißen und Widerstands-Nahtschweißen

5.6.1. Begriffe

Nach DIN 1910 gehören Widerstands-Punktschweißen (WP) und Widerstands-Nahtschweißen (WR) zu den P r e ß s c h w e i ß v e r f a h r e n . Einheitliche Begriffe und Angaben auf Zeichnungen für diese Schweißverbindungen in der Luftfahrtindustrie enthalten folgende TNL:

1. TNL 951 06 - Preßschweißverbindungen. Begriffe.
2. TNL 106 46 - Preßschweißverbindungen. Angaben auf Zeichnungen.

5.6.2. Verbindungselement

Das Verbindungselement der Punkt- und Nahtschweißung ist die S c h w e i ß l i n s e , deren Aufbau Bild 5.58 erläutert.

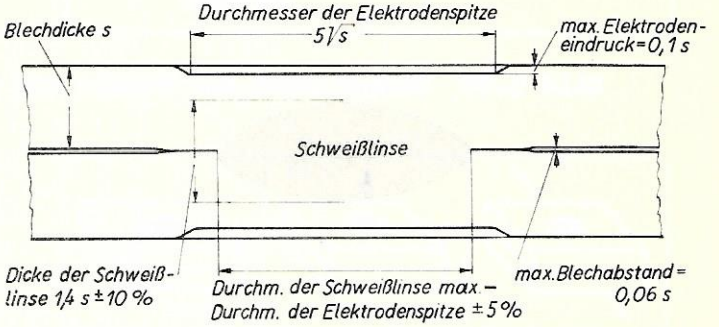


Bild 5.58 Ausbildung der Schweißlinse bei dünnen Blechen

Die zur Bildung der Schweißlinse erforderliche Wärme wird durch Umwandlung elektrischer Energie in Wärmeenergie unmittelbar im Werkstück erzeugt. Darin unterscheidet sich das Verfahren grundsätzlich von den bisher beschriebenen Schweiß-

verfahren, bei denen die Wärme zur Erzeugung der Schweißverbindung von außen in das Werkstück eingeführt wird.

Im Bild 5.59 sind die Grundformen der Verfahren zur Herstellung des Verbindungselements der Punkt- und Nahtschweißung im Flugzeugbau aufgeführt. Durch abgekröpfte Elektroden beim Punktschweißen und durch Spezialausführungen von Elektroden- und Rollen-Halteeinrichtungen und besondere Schweißvorrichtungen ergeben sich noch weitere Möglichkeiten zur Herstellung des Verbindungselements, wie es durch die Eigenart der Konstruktionsteile im Flugzeugbau zuweilen erforderlich werden kann.

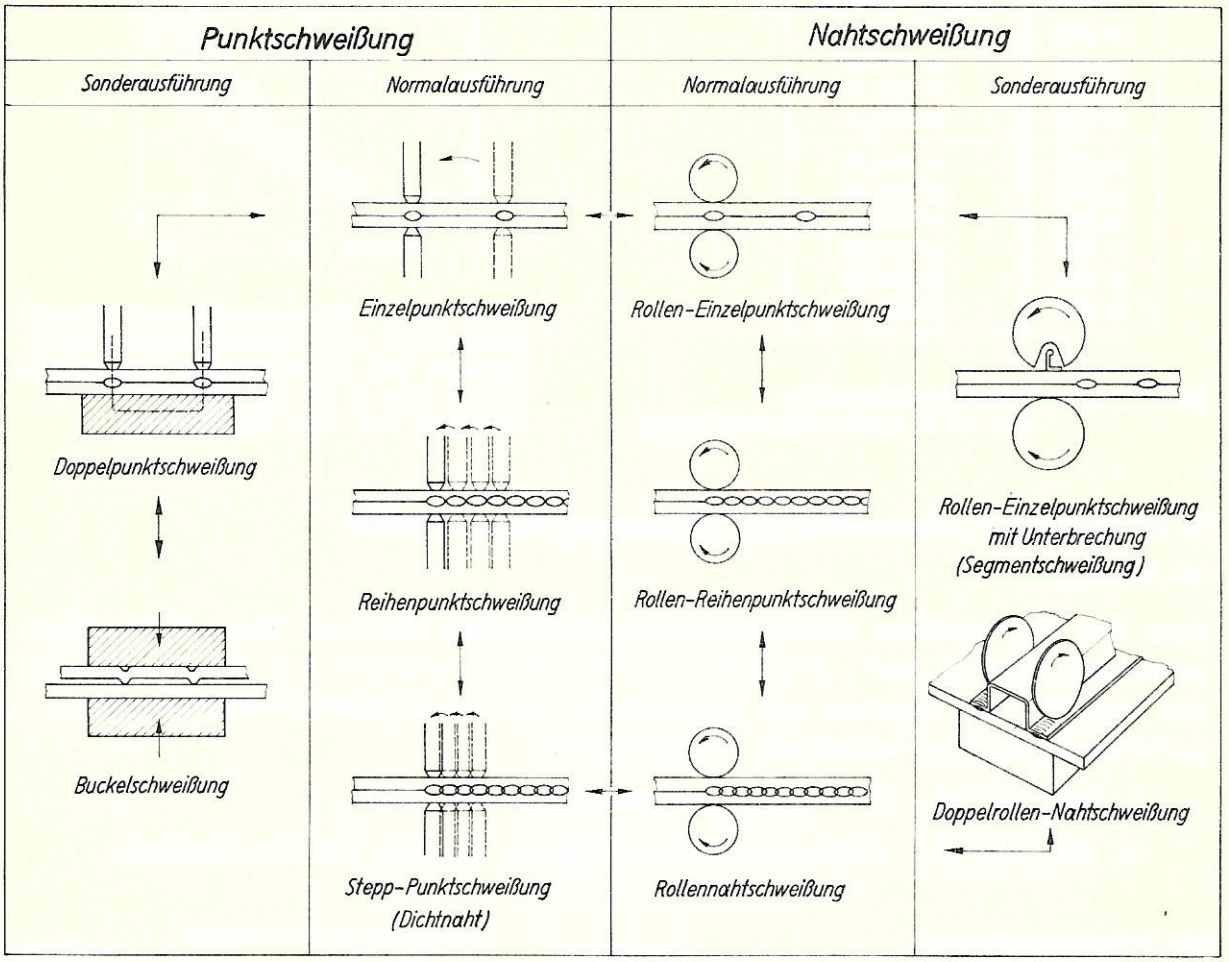


Bild 5.59 Grundformen der Punkt- und Nahtschweißung im Flugzeugbau

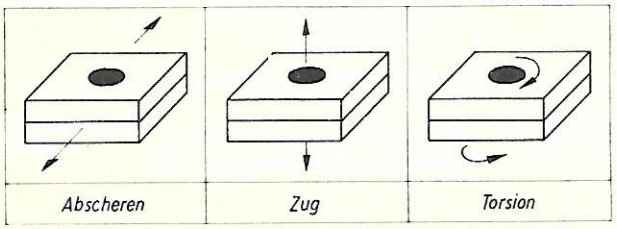


Bild 5.60 Beanspruchungsarten des Verbindungselements

Der Schweißpunkt als Verbindungselement soll nach Möglichkeit nur auf Abscheren beansprucht werden. Bei Scherbeanspruchung kann ungefähr drei- bis viermal soviel Last je Schweißpunkt übertragen werden wie bei Zugbeanspruchung. Bei Torsionsbeanspruchung sind die übertragbaren Momente sehr gering.

Die Art der Kraftübertragung bei einer punktförmigen Verbindung läßt sich am besten durch eine Modellvorstellung, den Kraftlinienfluß, erläutern. Im Bild 5.61 ist für eine Schweißpunktverbindung der gedachte Kraftlinienfluß dargestellt. Es ist zu beachten, daß die Stellen, an denen die Kraftlinien sehr eng beieinanderliegen, auch die Stellen mit der höchsten Spannung sind (Spannungsspitzen).
Bild 5.61 erläutert, daß in einer auf Abscheren beanspruchten Schweißpunktverbindung in den Schweißlinsen starke Spannungsanhäufungen auftreten. Bei ruhender Last und verformungsfähigen Werkstoffen beeinträchtigen diese Spannungsspitzen die Tragkraft der Verbindung nur wenig. Bei wechselnder Last dagegen führen sie zu Kerbwirkungen, so daß nur geringe Wechselkräfte übertragen werden können.

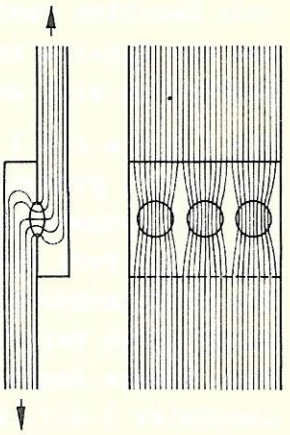


Bild 5.61 Kraftlinienverlauf in einer Schweißpunktverbindung

5.6.3. Gütebestimmende Faktoren bei der Herstellung des Verbindungselements

5.6.3.1. Überblick

Bei der Herstellung des Verbindungselements (Schweißlinse) sind nachstehende Einflußgrößen zu beachten:

1. Werkstoffart, Werkstoffdicke und Oberflächenbeschaffenheit,
2. geforderte Schweißqualität und Festigkeit,
3. Schweißstrom, Elektrodendruck und Schweißzeit,
4. Art und Leistung der Maschine,
5. Fensteröffnung,
6. Form und Werkstoff der Elektroden.

Diese Einflußgrößen werden in ihren Grundzügen in den folgenden Abschnitten 5.6.3.2. bis 5.6.3.7. beschrieben.

5.6.3.2. Werkstoffart, Werkstoffdicke und Oberflächenbeschaffenheit

Im Flugzeugbau werden die im Bild 5.62 aufgeführten W e r k s t o f f e punkt- oder nahtgeschweißt.

Die Punktschweißbarkeit der genannten Werkstoffe ist unterschiedlich und muß beim Schweißvorgang berücksichtigt werden. Als besonders schwierig schweißbar erweisen sich z.B. die zinkhaltigen Aluminiumlegierungen, besonders bei Blechdicken über 1,5 mm. Bei zu langer Einwirkung des Schweißstroms treten stets Risse im Schweißpunkt auf.

Stahl unlegiert und legiert	Aluminium und Al-Legierungen
LW 1110	LW 3001
LW 1112	LW 3115
LW 1302	LW 3116
LW 1403	LW 3125
LW 1670	LW 3126
	LW 3305
	LW 3355
	LW 3455
	LW 3456

Bild 5.62 Werkstoffe des Flugzeugbaus, die für die Widerstands-Punkt- und -Nahtschweißung geeignet sind

Die W e r k s t o f f d i c k e n , die durch Widerstandsschweißung punkt- oder nahtgeschweißt werden können, sind nicht ohne weiteres anzugeben. Sie sind

abhängig von der Werkstoffart, der Leistung der vorhandenen Maschine und von der durch die Größe der Armausladung dieser Maschine möglichen Druckkraft. Für jede Maschine werden Tabellen oder Kurven vom Hersteller mitgeliefert, aus denen die Angaben entnommen werden können, welche Blechdicken der einzelnen Werkstoffarten sich schweißen lassen.

Die O b e r f l ä c h e n b e s c h a f f e n h e i t der zu schweißenden Bleche hat großen Einfluß auf die Güte der Schweißverbindung. Die Oberfläche muß bei hochwertigen Verbindungen an den Schweißstellen von Zunder, Oxyden, Farbe und Fett gesäubert werden. Das Entfetten geschieht durch Lösungsmittel. Die Oberflächen können mechanisch durch Abstrahlen, wie bei LW 1403, oder chemisch durch Beizen, wie bei Aluminium und Aluminiumlegierungen, gesäubert werden. Nähere Angaben über die Vorbehandlung von Blechen aus Aluminium vergleiche Abschnitt 5.2.7. Ausnahmsweise ist es erlaubt, bei sehr großen, sperrigen Werkstücken aus Aluminium oder Aluminiumlegierungen, an die Kleinteile angepunktet werden, die Schweißstellen mit feinem sauberem Schmirgelleinen metallisch blank zu schleifen.

Nach der Vorbereitung der Teile für das Punkt- oder Nahtschweißen sollen die Schweißstellen möglichst nicht mehr mit ungeschützten Händen angefaßt werden, damit sie an den Berührungsstellen nicht wieder durch Öl, Schmutz oder Hautausscheidungen verunreinigt werden und die Schweißung dadurch fehlerhaft werden kann. Es sind saubere Leinenhandschuhe zu verwenden.

5.6.3.3. Geforderte Schweißqualität und Festigkeit

Verbindliche Festlegungen für die im Flugzeugbau der DDR erforderliche und zu erreichende Schweißqualität und Festigkeit (insbesondere Dauerfestigkeit) von Punkt- und Nahtschweißverbindungen bestehen noch nicht. Ursachen für das Fehlen dieser Unterlagen sind:

1. Der Flugzeugbau der DDR ist ein verhältnismäßig junger Industriezweig, der noch stark im Aufbau begriffen ist.
2. Die hochwertigen Werkstoffe und die hohen Festigkeitsforderungen des Flugzeugbaus gestatten nur in seltenen Fällen den Einsatz von Universal-Punkt- oder -Nahtschweißmaschinen. Meist müssen Spezialmaschinen verwendet werden, die in der DDR infolge zu geringer Anwendungsmöglichkeiten bisher nicht entwickelt wurden.
3. Unterlagen aus dem Flugzeugbau des Auslands oder von früher können infolge unterschiedlicher Werkstoff- und Maschinenvoraussetzungen nicht übernommen werden.

Wenn in der Luftfahrtindustrie die maschinenseitigen Voraussetzungen geschaffen sind, können durch Versuchsreihen und Forschungs- und Entwicklungsaufgaben die Schweißqualität festgelegt und Normen für die Festigkeit geschaffen werden, die dann Grundlagen für den Konstrukteur bei der Gestaltung und Berechnung sind.

Die erwünschte Schweißqualität im Flugzeugbau wird unterschiedlich sein. Für den Maschinenbau empfiehlt VEB LEW "Hans Beimler", Hennigsdorf, drei Gütegrade:

Gütegrad I soll für Schweißaufgaben angewendet werden, bei denen es neben hoher Punktfestigkeit auch auf gute Oberflächenbeschaffenheit an-

kommt, d.h. insbesondere an Außenflächen. Auf den Flugzeugbau bezogen müßte dieser Gütegrad im Flugwerkbau, z.B. bei Rumpf- und Flügelschalen, angewendet werden.

Gütegrad II soll für Schweißaufgaben angewendet werden, bei denen es nur auf hohe Punktfestigkeit ankommt, z.B. für Konstruktionsteile innerhalb einer Maschine oder eines Geräts. Auf den Flugzeugbau bezogen kommt dieser Gütegrad teilweise für den Triebwerkbau in Frage.

Gütegrad III kann für Schweißaufgaben angewendet werden, bei denen es weder auf hohe Punktfestigkeit noch auf gute Oberflächenbeschaffenheit ankommt, z.B. für Heftpunkte, die nach Fertigstellung der Konstruktion abgetrennt werden.
Dieser Gütegrad wird im Flugzeugbau nicht angewendet werden.

Da die Punktschweißverbindung heute vielfach die Nietverbindung ersetzt, sind für die Bewertung der Punktschweißverbindung in der Hauptsache die Scherkräfte maßgebend, mit denen der einzelne Schweißpunkt belastet werden kann. Die Scherkräfte, die der einzelne Schweißpunkt übertragen kann, werden bei Blechen entsprechend DIN 50 124 - Scherzugversuch an Punktschweißnähten - festgestellt. Die durch den Zugversuch des überlappt gepunkteten Blechs ermittelte Scherfestigkeit des Schweißpunkts wird entweder als Tragkraft in Kilopond je Schweißpunkt, übertragbare Scherlast oder als Scherzugfestigkeit des Schweißpunkts bezeichnet. Der letztgenannte Begriff wird im folgenden Text verwendet.

Die Scherzugfestigkeit eines Schweißpunkts ist abhängig von der Art des verschweißten Werkstoffs und dessen Oberflächenbeschaffenheit, von dem mechanischen und steuertechnischen Aufbau der Schweißmaschine und den Kennwerten des Schweißspiels (vgl. Abschn. 5.6.3.4.) bei den verschiedenen Werkstoffdicken.

Dicke des zu schweißenden Werkstoffs	Mindestscherzugfestigkeit						
	nach sowjetischer Instruktion für			nach Angaben von VEB LEW Hennigsdorf bei Gütegrad I für Al und Al-Legierungen mit σ_B (kp/mm²)			
	LW 1110	LW 1403	LW 1670	< 13	13...20	20...38	> 38
mm	kp/Punkt	kp/Punkt	kp/Punkt	kp/Punkt	kp/Punkt	kp/Punkt	kp/Punkt
0,3 + 0,3	80	90	90	-	-	-	-
0,5 + 0,5	145	170	200	45	52	60	70
0,8 + 0,8	310	360	380	-	-	-	-
1,0 + 0,8	310	360	380	-	-	-	-
1,0 + 1,0	400	480	500	115	145	180	220
1,5 + 1,0	400	480	500	-	-	-	-
1,5 + 1,5	800	900	750	200	260	330	400
2,0 + 1,0	400	480	500	-	-	-	-
2,0 + 1,5	800	900	750	-	-	-	-
2,0 + 2,0	1100	1300	1000	300	400	520	640
2,5 + 2,5				410	540	720	920
3,0 + 2,0	1100	1300	1000	-	-	-	-
3,0 + 3,0	1900	2000	1700	530	700	980	1230

Bild 5.63 Richtwerte für die Mindestscherzugfestigkeit des Schweißpunkts bei Einhaltung einwandfreier Schweißkennwerte

Sollen also Werte für die Scherzugfestigkeit einer Punktschweißverbindung ermittelt werden, dann müssen sie vorerst für den Maschinentyp, für den betreffenden Werkstoff bei festzulegender Oberflächenbeschaffenheit und für die einzelnen Blechdicken in Versuchsreihen ermittelt werden. Als Anhalt für die erreichbaren Mindestwerte können die Werte des Bilds 5.63 dienen, die sich bei Einhaltung folgender Schweißkennwerte ergeben:

Durchmesser der Elektrodenfläche,
Form der Elektrodenarbeitsfläche (flach oder ballig),
Elektrodendruck,
Schweißzeit,
Schweißstrom,
Punkt-Randabstand,
Punktabstand.

5.6.3.4. Schweißstrom, Schweißzeit und Elektrodendruck

Die drei Faktoren Schweißstrom, Schweißzeit und Elektrodendruck beeinflussen sowohl durch die gewählten Größenwerte als auch durch die zeitlich richtige Zuordnung zueinander (Schweißspiel) die Qualität der Schweißverbindung.

Schweißstrom

Der Schweißstrom dient zur Erzeugung der zum Schweißen erforderlichen Wärme. Nach dem J o u l e s c h e n G e s e t z entsteht durch unmittelbare Umwandlung elektrischer Energie Wärme im Werkstück. Die Wärmemenge Q errechnet sich aus der Gleichung

$$Q = 0{,}239 \cdot J^2 \cdot R \cdot t \cdot 10^{-3}.$$

Q ergibt sich in kcal, wenn der Strom J in Ampere, der Widerstand R in Ohm und die Einwirkungszeit t in Sekunden eingesetzt werden.

Der Schweißstrom wird in der Sekundärwicklung eines Transformators erzeugt, wenn die Primärwicklung mit dem Netz verbunden wird. Das Werkstück sowie die Übergänge bilden entsprechend Bild 5.64 den elektrischen Widerstand.

Der Transformator formt die Netzspannung in die erforderliche Niederspannung um. Der im Sekundärstromkreis durch die Niederspannung erzeugte Schweißstrom ist kaum durch ein Zeigermeßgerät meßbar, die Größe des Schweißstroms hängt von vielen veränderlichen Faktoren ab.

Aus Bild 5.64 ist zu erkennen, welche Widerstände im Schweißstromkreis vorhanden sind. Dabei wird von den Widerständen in den Stromzuführungen vom Transformator zu den Elektroden abgesehen. Außer den Widerstandsänderungen, wie sie durch unterschiedliche Kontaktwiderstände und durch unterschiedliche Übergangswiderstände infolge verschieden guter Passung der Werkstücke eintreten, kann die Stromstärke noch von der Netzspannung und vom inneren Widerstand des Schweißtransformators beeinflußt werden. Verschieden große Eisenmassen des Werkstücks können bei Werkstückbewegungen in der Schweißmaschine durch Vergrößerung oder Verringerung der Impedanz (Scheinwiderstand im Wechselstromkreis) Änderungen in der Schweißstromstärke herbeiführen. Der im Schweißpunkt wirksame Schweißstrom hängt außerdem von den Nebenschlüssen durch andere, bereits

geschweißte Punkte ab. In der Praxis wird deshalb meist noch durch die Ergebnisse von Probeschweißungen auf die richtige Schweißstromstärke geschlossen, die dann beim Schweißen des Werkstücks an der Maschine eingestellt wird.

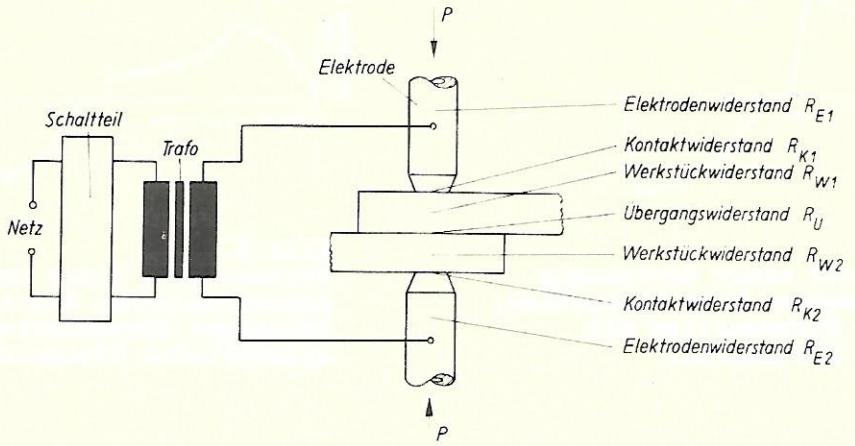


Bild 5.64 Widerstände beim Punktschweißen

Die Wärmeentwicklung im Schweißpunkt ist nach dem Jouleschen Gesetz von der Schweißzeit t und dem Widerstand R linear, von der Schweißstromstärke J quadratisch abhängig. Diese Wärmeentwicklung muß am Schweißpunkt konzentriert wirksam werden. Es wird mit möglichst hoher Stromstärke bei sehr kurzer Dauer geschweißt, um die Wärmeableitung in das Werkstück gering zu halten. Da die Wärmeableitung im Leichtmetall größer ist als bei Stahl, wird Leichtmetall auch mit wesentlich höherer Stromstärke und kürzerer Schweißzeit geschweißt als Stahl.

Die Schweißmaschinen werden entweder einphasig oder dreiphasig an das Netz angeschlossen. Bei dreiphasigem Anschluß ist die Netzbelastung gleichmäßig und deshalb günstiger. Man erhält bei beiden Anschlußarten verschiedene Kurven für den Stromverlauf im Schweißkreis (Bilder 5.65 bis 5.68). Für das Schweißergebnis hat die Wahl der Anschlußart wenig Bedeutung.

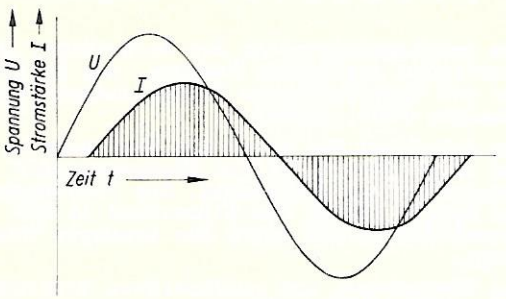


Bild 5.65
Stromverlauf einer einphasig angeschlossenen Widerstandsschweißmaschine bei höchstmöglicher Leistung

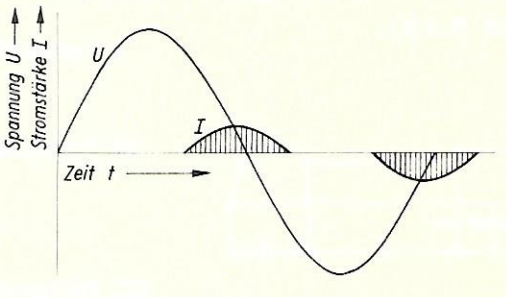


Bild 5.66
Stromverlauf einer einphasig angeschlossenen Widerstandsschweißmaschine bei geringer Leistung (Phasenanschnitt)

Der im Bild 5.68 erkennbare langsame Stromanstieg und allmähliche Stromabfall kann bei rißempfindlichen Werkstoffen wegen des Ablaufs des Wärmeprozesses im Schweißpunkt Vorteile ergeben.

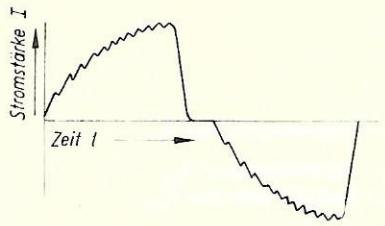


Bild 5.67
Stromverlauf einer dreiphasig angeschlossenen Schweißmaschine, langsamer Stromanstieg mit schnellem Stromabfall

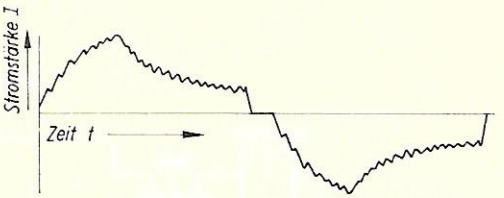


Bild 5.68
Stromverlauf einer dreiphasig angeschlossenen Schweißmaschine, langsamer Stromanstieg mit allmählichem Stromabfall

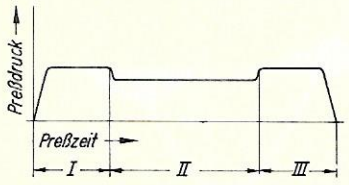
Schweißzeit

Die Schweißzeit ist ein Teil des gesamten Schweißspiels bei der Erzeugung der Schweißlinse. Als Schweißzeit wird die Dauer der Stromeinwirkung definiert. In dieser Zeit wird die elektrische Energie in Wärmeenergie umgewandelt. Die Schweißzeit wird in Perioden des Wechselstroms oder in Sekunden angegeben.

Elektrodendruck

Der Elektrodendruck ist erforderlich, um die zu schweißenden Bleche aufeinanderzudrücken (P r e ß schweißverfahren) und den durch die Erwärmung in den schweißbaren Zustand übergegangenen Werkstoff der Werkstücke miteinander zu vereinigen. Der Elektrodendruck wirkt indirekt auf die Erwärmung der Schweißstelle ein, denn bei großem Elektrodendruck wird der Widerstand an den Kontaktstellen und an der Übergangsstelle verringert und umgekehrt. Die Erwärmung ist aber vom Widerstand im Schweißstromkreis nur linear abhängig.

Auf modernen Schweißmaschinen kann der Elektrodendruck über das gesamte Schweißspiel gleichbleibend oder auch veränderlich eingestellt werden. So wird bei veränderlichem Elektrodendruck ein V o r p r e ß d r u c k , ein S c h w e i ß d r u c k und ein N a c h p r e ß d r u c k eingestellt (Bild 5.69).



I Vorpreßdruck	zum Aufeinanderpressen der Werkstücke, zum Überwinden schlechter Passung, zum Zerstören von nichtleitenden Oberflächenschichten (Zunder, Rost, Oxyde).
II Schweißdruck	zum Verbinden des durch die Erwärmung in den schweißbaren Zustand übergegangenen Werkstoffs der Werkstücke. Die Verringerung des Drucks erhöht den Widerstand an der Schweißstelle und damit die erzeugte Wärmemenge.
III Nachpreßdruck	zum Verfestigen des geschweißten Werkstoffs in der Schweißlinse.

Bild 5.69 Elektrodendruckverlauf

Bei der Bestimmung des Elektrodendrucks sind außerdem der Durchmesser der Elektrodendruckfläche und deren Form, ob flach oder ballig, zu beachten (vergleiche Abschnitt 5.6.3.7.).

Schweißspiel

Schweißstromstärke, Schweißzeit und Elektrodendruck müssen als veränderliche und für die Erzeugung des Verbindungselements ausschlaggebende Werte bei der Schweißmaschine einstellbar sein. Bei einfachen Maschinen werden die Werte meist mechanisch eingestellt und durch den Schweißer wird die Maschine Punkt für Punkt bedient. Für die Schweißungen im Flugzeugbau werden die drei Größen durch selbsttätig arbeitende Steuerungen geregelt. Die Werte können dadurch sehr genau eingehalten und vor allem reproduziert werden.

Sämtliche Steuerorgane sind immer mehr vervollkommnete präzise Zeitgeräte, mit denen Zeiten und Zeitdifferenzen eingestellt werden. Unter Zeit wird dabei die Dauer eines Vorgangs, z.B. die Einwirkung des Schweißstroms, verstanden. Eine Zeitdifferenz einstellen bedeutet, zu einem ablaufenden Vorgang einen zweiten Vorgang mit bestimmter zeitlicher Differenz später beginnen zu lassen.

Bei den hochwertigen Schweißmaschinen werden wegen der Notwendigkeit, genaue und oft auch kleinste Zeiten und Zeitdifferenzen einstellen zu können, elektronische Schaltungen verwendet.

Der Schweißstrom wird durch ein Schaltgerät ein- und ausgeschaltet, die Kommandos dazu gibt die Zeitsteuerung. Da im Fertigungsprozeß oft bis zu fünfmal und mehr in der Sekunde geschaltet werden muß, und zwar mit großer Genauigkeit und verschleißfrei, werden sogenannte I g n i t r o n s verwendet (Ignitron - technischer Stromrichter mit Initialzündung).

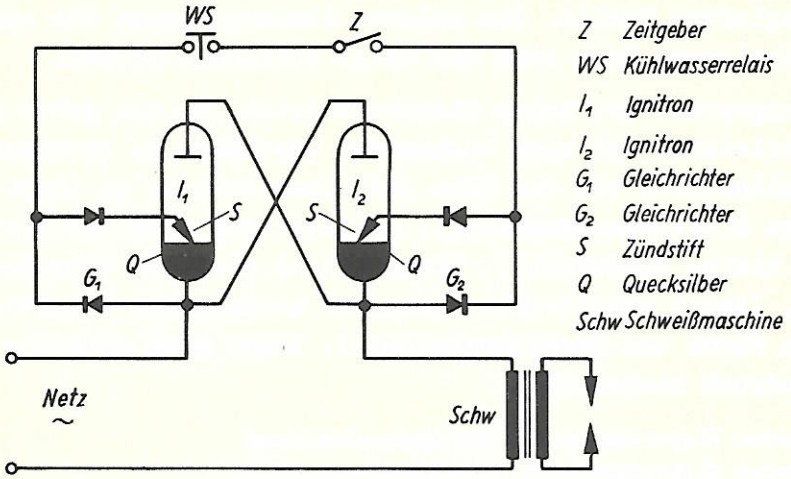


Bild 5.70 Prinzipschaltbild des Ignitronschalters

Der Ignitronschalter ist ein trägheitsloses Schaltgerät, das einphasig in die Zuleitung zur Schweißmaschine geschaltet wird. Bei ausreichendem Kühlwasserdurchlauf durch die Kühlmäntel des Ignitrons schließt das Kühlwasserrelais WS. Ist im Augenblick des Schließens des Zeitgeberkontakts Z der Pol V des Netzes positiv, so fließt ein Strom durch die Primärwicklung des Schweißtransformators zur Kathode des Ignitrons J_2, von dort über den Gleichrichter G_2, den Kontakt Z und den Wasserschalter WS zur Zündelektrode des Ignitrons J_1. Der über den Zündstift fließende Stromimpuls leitet die Hauptentladung (Quecksilberdampfbildung) im Ignitron J_1 ein. Nach Beendigung des Stromflusses durch J_1

liegt eine positive Spannung an der Anode von J_2, so daß dieses Ignitron über die Kathode von J_1, G_1, WS und Z durch den Zündstift gezündet wird. Die Ignitrons J_1 und J_2 führen abwechselnd den Strom solange, bis der Zeitgeberkontakt Z geöffnet wird. Der Strom fließt dann noch bis zum Nulldurchgang der im Augenblick wirkenden Halbwelle.

Wann der Ignitronschalter zu schalten hat, bestimmt der Z e i t g e b e r . Er regelt also die Schweißzeit. Als elektronisches Gerät arbeitet er so genau, daß z.B. bei bestimmten Maschinentypen bei jeder gewählten Schaltstufe der Zeitpunkt des Phasenanschnitts gewährleistet ist. Die Steuerung schaltet auch das Druckprogramm für die Elektroden, also den Zeitpunkt des Öffnens und Schließens der Ventile für die meist hydraulische oder pneumatische Druckeinrichtung der Maschine. Sie sorgt aber nicht für die Einhaltung des Druckwerts im rechten Augenblick während des Schweißspiels. Die Größe des Drucks muß vorher an entsprechenden Regelorganen eingestellt werden. Die Steuerung kann nur mit praktisch beliebiger zeitlicher Präzision Kommandos geben, sie kann aber nicht für die Einhaltung der Einstellwerte über das ganze Schweißspiel sorgen. Mit der elektronischen Steuerung lassen sich also Schweißstrom und Elektrodendruck in ihrem Zusammenwirken während des Schweißspiels mit großer Genauigkeit regeln. Im Bild 5.71 werden einige Beispiele für Strom-Druck-Programme erläutert, die hochwertige Schweißmaschinen ermöglichen (Steuerdiagramme, schematisch). Erklärung zu Bild 5.71 siehe unten.

Maschinen mit dieser komplizierten Programmsteuerung gestatten es, den Schweißvorgang weitgehend den Eigenarten des Werkstoffs anzupassen. Im Flugzeugbau ist das besonders wichtig für das Schweißen der hochfesten Leichtmetall-Legierungen und der hochlegierten Stähle. Ein solches Steuerprogramm für eine hochfeste Leichtmetall-Legierung kann etwa wie folgt erläutert werden:

Zuerst wird vorgepreßt mit hohem Elektrodendruck, um ein gutes Anliegen der Teile zu gewährleisten und noch vorhandene Oxydhäute zu sprengen. Ein Vorwärmstrom steigt allmählich bis zur Höhe des Schweißstroms an (Spritzer werden vermieden, geringe Elektrodenabnützung), gleichzeitig wird der Elektrodendruck geringer (keine tiefen Eindrücke!). Nachträglich wird die Schweißstelle durch einen kleinen, länger anhaltenden Stromstoß nachgeglüht (Wärmebehandlung zur Vermeidung von Härte und Spannungsspitzen). Dabei wird gleichzeitig mit erhöhtem Elektrodendruck nachgepreßt.

a) gleichbleibender Elektrodendruck, Einimpulsschweißung
b) gleichbleibender Elektrodendruck, Mehrimpulsschweißung
c) veränderlicher Elektrodendruck während des Schweißspiels
d) veränderlicher Elektrodendruck, Vorwärm- und Glühvorgang
e) gleichbleibender Elektrodendruck, Einimpulsschweißung, allmählicher Anstieg des Schweißstroms und schneller Abfall
f) gleichbleibender Elektrodendruck, Einimpulsschweißung, allmählicher Anstieg des Schweißstroms und langsamer Abfall
g) gleichbleibender Elektrodendruck, Mehrimpulsschweißung
h) veränderlicher Elektrodendruck, Einimpulsschweißung, schnell oder langsam abfallender Schweißstrom
i) veränderlicher Elektrodendruck, Vorwärm- und Glühvorgang

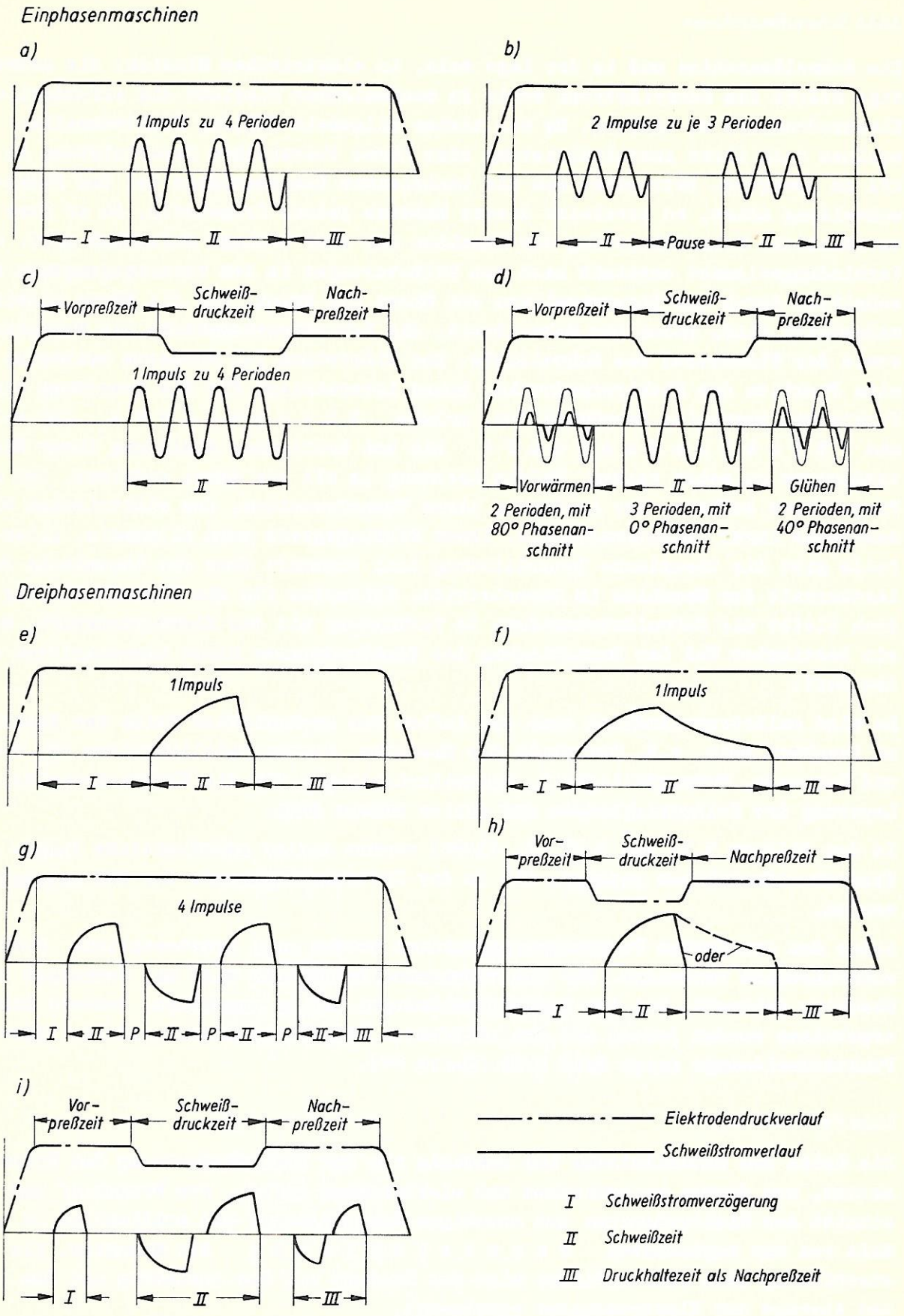


Bild 5.71 Beispiele für Strom-Druck-Programme hochwertiger Schweißmaschinen

5.6.3.5. Schweißmaschinen

Die Schweißmaschine muß in der Lage sein, in elektrischer Hinsicht die notwendige Stärke des Schweißstroms sowie in mechanischer Hinsicht die erforderliche Elektrodenkraft zu liefern. Es war bisher allgemein üblich, Punktschweißmaschinen nach ihrer Anschlußleistung oder ihrer thermischen Dauerleistung in kVA zu bewerten. Betrachtet man die technischen Zusammenhänge bei der Punktschweißung näher, so erscheint dieser Maßstab jedoch fragwürdig, da er über die tatsächliche Schweißleistung der Maschine nur sehr bedingt Aufschluß gibt. Das Verbindungselement entsteht nach den Erläuterungen in den vorausgegangenen Abschnitten durch das Zusammenwirken von Wärme und Druck. Für die Wärme allein maßgeblich sind, neben der Schweißzeit, die Sekundärstromstärke der Maschine sowie der Widerstand des Schweißguts. Der Widerstand ist wiederum teilweise eine Funktion des Elektrodendrucks. Daher interessiert für die Bewertung einer Punktschweißmaschine hauptsächlich, welche S t r o m s t ä r k e und welche E l e k t r o d e n k r a f t sie bei bestimmter Ausladung ihrer Elektrodenarme zu geben vermag. Welche Leistung in kVA sie dabei aufnimmt, ist eine Frage ihres Aufbaus, der Auslegung ihres Transformators, des elektrischen Widerstands ihrer Sekundärschleife, ihres Wirkungsgrads ganz allgemein. Allenfalls gibt die thermische Dauerleistung noch Auskunft über die thermische Belastbarkeit der Maschine im Dauerbetrieb. Kriterium für die Schweißleistung jedoch bleibt die Schweißstromstärke in Verbindung mit der Elektrodenkraft, wobei ein bestimmtes Maß der Durchbiegung der Elektrodenarme nicht überschritten werden darf.

Es wird selbstverständlich auch der Aufbau des mechanischen Teils der Maschine zu beachten sein, z.B. Starrheit der Maschine, Verstellmöglichkeiten für Ober- und Unterarm, Störanfälligkeit, Spanneinrichtungen für die Elektrodenhalter, Lagerung der Rollenelektroden und vieles andere mehr.

In den Bildern 5.72 bis 5.77 (S. 63/64) werden einige gebräuchliche Punkt- und Nahtschweißmaschinen gezeigt, die in der Luftfahrtindustrie der DDR verwandt werden.

Außer den ortsfesten Punktschweißmaschinen werden noch ortsbewegliche Punktschweißzangen verwendet. Bei den Punktschweißmaschinen wird das Werkstück zur Maschine gebracht, bei den Punktschweißzangen ist es umgekehrt. Bessere Schweißergebnisse werden jedoch mit den ortsfesten Schweißmaschinen erzielt. Eine Punktschweißzange zeigt Bild 5.78 (Seite 64).

5.6.3.6. Fensteröffnung

Die Größe des Schweißstroms ist abhängig von der Sekundärspannung des Transformators, von dessen mechanischem und elektrischem Aufbau, vom Werkstoff und Querschnitt der Elektrodenarme und sonstigen Sekundärwegen und schließlich in hohem Maße von der sogenannten F e n s t e r ö f f n u n g der Maschine. Als Fensteröffnung oder Fensterfläche wird das Produkt aus der Ausladung und dem lichten Abstand der Elektrodenarme verstanden.

Die Ausladung und der Abstand der Elektrodenarme müssen zur Anpassung an das Werkstück oft verändert werden. Je kleiner die Fensteröffnung ist, um so größer

ist der maximale Schweißstrom. Die Schweißmaschinenhersteller übergeben deshalb dem Benutzer Kurvenblätter oder Tabellen, aus denen der Schweißstrom in Abhängigkeit von der Ausladung bzw. von der Fensteröffnung entnommen werden kann.

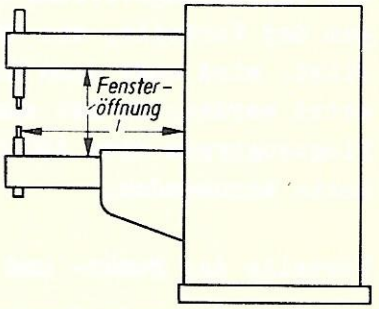


Bild 5.79 Fensteröffnung einer Punktschweißmaschine

5.6.3.7. *Form und Werkstoff der Elektroden*

Form und Stellung der Elektroden werden dem Werkstück angepaßt. Es werden Schaftelektroden, gekröpfte Elektroden und Hakenelektroden unterschieden. Die Elektroden sind durch Gewinde oder Kegel in den Elektrodenhaltern befestigt.

Festigkeit und elektrische Leitfähigkeit der Elektroden müssen in einem günstigen Verhältnis zueinander stehen. Der Elektrodenwerkstoff soll einen möglichst hohen Leitwert haben, gleichzeitig aber so hart sein, daß die Elektrodenspitze der ständig wechselnden Druck- und Schlagbeanspruchung ohne Deformation standzuhalten vermag. Diese beiden Forderungen lassen sich nur schwer miteinander vereinbaren. Für die meisten Metalle, auch für die Leichtmetalle, werden Punkt- und Rollenelektroden aus Elektrolytkupfer mit einer Brinellhärte HB = 90 kp/mm² oder aus Blombit (Hauptbestandteile Cu und Ag) mit einer Brinellhärte HB = 130 kp/mm² verwendet. Ständig werden neue Werkstoffe für Punkt- und Rollenelektroden entwickelt, deren Eigenschaften den genannten Forderungen besser gerecht werden sollen.

Härte und Festigkeit der Elektroden sollen auch durch die beim Schweißen entstehenden Temperaturen keine Einbuße erleiden. Die Elektroden werden deshalb meist durch einen wirksamen Wasserumlauf innen gekühlt.

Form und Durchmesser der Elektrodenspitzen sind für das Schweißergebnis von großer Bedeutung. Vergrößert sich beispielsweise während der Schweißarbeit der Spitzendurchmesser der Elektrode infolge Stauchung (Härteverlust), so verringert sich der spezifische Flächendruck auf die Schweißstelle, die Stromdichte sinkt und das Schweißergebnis wird schlechter, ohne daß sich die Einstellung der Maschine verändert hätte. Nur bei Leichtmetallschweißungen ist das Absinken der Stromdichte erwünscht, um das Durchbrennen der Bleche zu vermeiden. Diese Wirkung wird durch entsprechende Gestaltung der Elektrodenarbeitsfläche erreicht. Bei der Punktschweißung von Leichtmetallen ist die Elektrodenarbeitsfläche ballig (Radius etwa 75 mm) ausgebildet. Bei blanken Stahlblechen wird mit ebenen, kreisrunden Arbeitsflächen geschweißt, deren Durchmesser in einem bestimmten Verhältnis zur Werkstoffdicke stehen soll.

Bild 5.80 Elektrodenarbeitsfläche für Leichtmetall und Stahl

5.6.4. Vorteile des Punkt- und Nahtschweißens

Das Punktschweißen und Nahtschweißen ist als Verbindungsverfahren, welches keinen zusätzlichen Gewichts-

aufwand erfordert, besonders für den Flugzeugbau geeignet und zwar sowohl für den Flugwerkbau als auch für den Triebwerkbau. Solange die erforderlichen Schweißmaschinen noch nicht ausreichend zur Verfügung stehen, wird die Nietung als Verbindungsverfahren besonders im Flugwerkbau noch vorherrschend sein. Wegen der Vorteile, die die Punkt- und Nahtschweißung gegenüber der Nietung besitzt, wird aber dann doch zu einem Teil die Nietung durch diese Verfahren ersetzt werden. So ist zum Beispiel geplant, bei zukünftigen Entwicklungen von Flugzeugtypen etwa 150 000 geschweißte Punkte je Flugzeug als Verbindungselemente anzuwenden.

Vorteile der Punkt- und Nahtschweißung gegenüber dem Nieten:

1. bedeutende Herabsetzung der Arbeitszeiten, z.B. durch Einsparen der Arbeitsgänge Bohren und Senken,
2. glatte Oberfläche der Außenhaut (bis zu 5 µm möglich),
3. Gewichtsverminderung durch geringere Überlappung,
4. Gewichtsverminderung durch geringere Blechdicken wegen der hohen übertragbaren Scherlast,
5. Gewichtsverminderung durch Fortfall der Nietköpfe,
6. Verbesserung der Dauerfestigkeit, besonders gegenüber der Senknietung,
7. einwandfreie Dichtung und geringes Gewicht bei der Rollennahtschweißung.

5.7. Sonderschweißverfahren

5.7.1. SIGMA-Schweißen

Dieses Verfahren erhielt seinen Namen nach der Abkürzung Shielded Inert Gas Metal Arc. Darüber hinaus ist als Abkürzung die Bezeichnung MIG-Schweißen, das ist die Abkürzung für Metall-Inert-Gas-Schweißen, üblich geworden.

Das Verfahren ist ein halb- oder vollautomatisch arbeitendes Schutzgasschweißverfahren. Als Schutzgas wird das Edelgas Argon verwendet. Bei dem halbautomatischen Verfahren wird der Zusatzwerkstoff einer von Hand geführten Schweißpistole, bei dem vollautomatischen Verfahren einem Maschinenschweißbrenner kontinuierlich und automatisch zugeführt. Zwischen der Elektrode und dem Werkstück brennt der Schweißlichtbogen, geschützt durch einen Argon-Gasstrom. Im Gegensatz zum Argonarc-Schweißverfahren arbeitet dieses Verfahren mit einer sich verbrauchenden Elektrode, die zugleich den Zusatzwerkstoff darstellt. Dieses Verfahren ist für legierte Stähle, Bunt- und Leichtmetalle geeignet, es wird aber vorzugsweise bei Leichtmetall angewendet. Das SIGMA-Schweißverfahren ist ein leistungsstarkes Schweißverfahren, das vor allem für das Schweißen größerer Werkstoffdicken sowie bei Schweißarbeiten mit hohen Abschmelzleistungen oder hohen Schweißgeschwindigkeiten angewendet wird. Im Bild 5.81 (Seite 64) wird eine SIGMA-Schweißanlage für das halbautomatische Schweißen gezeigt (Typ Argomat 500). In der Luftfahrtindustrie der DDR wurde das Verfahren bisher noch nicht angewendet.

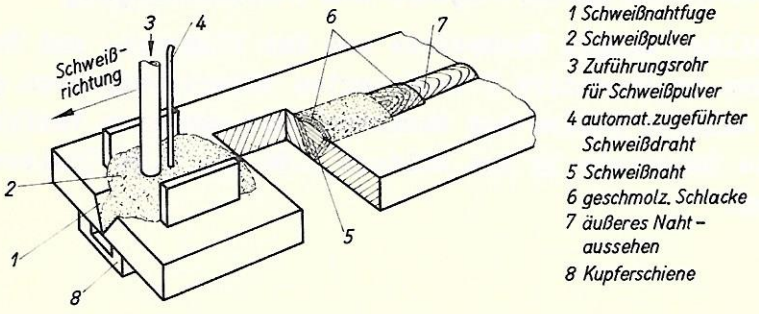
5.7.2. CO_2-Schweißen

Das Verfahren beruht auf dem gleichen Prinzip wie das SIGMA-Schweißverfahren. Als Schutzgas dient jedoch Kohlendioxyd (CO_2) und nicht Argon. Es wird als halbautomatisches Verfahren durchgeführt. Dazu können dieselben Schweißeinrichtungen wie beim halbautomatischen SIGMA-Schweißverfahren verwendet werden. Auch die Schweißeinrichtungen der halbautomatischen UP-Schweißung (vgl. Abschnitt 5.7.3.) werden verwendet, wenn anstelle des UP-Schweißkopfs ein CO_2-Schweißbrenner und ein besonderes Hohlkabel angeschlossen werden.

Verglichen mit Argon ist Kohlendioxyd viel billiger (Preise verhalten sich etwa wie 9 : 1). Das Kohlendioxyd zerfällt jedoch z.T. im Lichtbogen in Kohlenmonoxyd (CO, sehr giftig) und Sauerstoff, wobei eine leicht oxydierende Atmosphäre entsteht, so daß die Leichtmetalle (leicht oxydierend) und die legierten Stähle (abbrandgefährdet) mit diesem Verfahren nicht geschweißt werden können. Das CO_2-Schweißen käme deshalb im Flugzeugbau nur für das Schweißen unlegierter Stähle im Vorrichtungsbau in Frage. Dafür wäre das Verfahren allerdings wirtschaftlicher als das Lichtbogenhandschweißen.

5.7.3. UP-Schweißen

Das Unter-Pulver-Schweißen wird für das Verbinden von unlegierten und niedrig legierten Kohlenstoffstählen angewandt. Es wird halbautomatisch und vollautomatisch ausgeführt und ist wirtschaftlicher als die Lichtbogenschweißung. Der Schweißdraht wird dem Schmelzbad kontinuierlich zugeführt. In die Schweißfuge und darüber wird ein Schweißpulver aus einem am Schweißgerät mitgeführten Vorratsbehälter durch ein Rohr aufgeschüttet. Der Lichtbogen brennt mit hoher Stromstärke unter diesem vorwiegend aus Silikaten bestehenden Pulver, der Schmelzvorgang ist unsichtbar. Das Schweißgut besteht zum größeren Teil aus dem abgeschmolzenen Schweißdraht. Ein Teil des Pulvers schmilzt zu einer glasartigen Schlacke, die leicht entfernbar ist. Der Rest des Pulvers bleibt ungeschmolzen auf der Schlacke liegen und kann wieder verwendet werden.



1 Schweißnahtfuge
2 Schweißpulver
3 Zuführungsrohr für Schweißpulver
4 automat. zugeführter Schweißdraht
5 Schweißnaht
6 geschmolz. Schlacke
7 äußeres Naht-aussehen
8 Kupferschiene

Bild 5.82 UP-Schweißanlage schematisch

Es gelingt heute, Blechdicken ≧ 3 mm mit diesem Verfahren zu schweißen. Die Wirtschaftlichkeit wird um so größer, je dicker die zu schweißenden Bleche sind und je größer die Serie der Werkstücke ist. Der letztgenannte Umstand erklärt es, warum dieses Verfahren bei Flugzeugteilen in der Luftfahrtindustrie der DDR noch nicht angewendet wurde. Aus dem ausländischen Flugzeugbau ist bekannt, daß z.B. Druckbehälter für die Hydraulikeinrichtung unterpulvergeschweißt werden.

5.7.4. Abbrenn-Stumpfschweißen

Das Abbrenn-Stumpfschweißen ist ein elektrisches Widerstandsschweißverfahren. Der Stromübergang findet in der ganzen Berührungs- bzw. Querschnittsfläche (Stoßfläche) der zu verbindenden Werkstücke statt. Die zu verbindenden Teile (meist in Profilform) werden jedes in ein Spannbackenpaar eingespannt. Der Strom wird durch die Spannbacken den Werkstücken zugeführt und die Stoßflächen werden zunächst durch Bewegung des einen Backenpaars in Berührung gebracht. Da bei diesem Verfahren die Stoßflächen nicht planparallel bearbeitet zu sein brauchen, findet eine Berührung nur an einzelnen Stellen statt. Infolge des Widerstands wandelt sich beim Durchfluß die elektrische Energie in Wärmeenergie um, so daß sich die einzelnen Berührungsstellen bei der hohen Stromdichte sehr rasch erwärmen. Die entstehenden Strombrücken aus flüssigem Werkstoff werden durch wiederholtes Öffnen und Schließen der Stoßstellen immer zahlreicher, so daß schließlich beide Stoßflächen mit flüssigem Metall überzogen sind. Verunreinigungen und Oxyde werden mit dem flüssigen Metall aus der Stoßfuge herausgeschleudert. Entsprechend dem Abbrand der Stoßflächen wird das Werkstück nachgeschoben. Sobald sich beide Stoßflächen gleichmäßig auf Schweißhitze erwärmt haben, werden sie durch schlagartiges Zusammenpressen verschweißt. Bild 5.83 (Seite 64) zeigt die Abbrenn-Stumpfschweißmaschine UMA 25 vom VEB LEW Hans Beimler, Hennigsdorf.

Abbrenn-Stumpfschweißmaschinen sind als handbetätigte, halb- und vollautomatische Maschinen ausgebildet. Es werden mit ihnen Werkstücke aus unlegiertem und niedriglegiertem Stahl und, allerdings geringe Querschnitte, aus Aluminium geschweißt. Vorteilhaft ist die Anwendung des Verfahrens beim Anschuhen von Stangen- und Profilmaterial und bei stark gegliederten Schmiedestücken, die billiger aus einfacheren Teilstücken zusammengeschweißt werden können. In der DDR wird das Abbrenn-Stumpfschweißen von Flugzeugteilen noch nicht angewendet. Aus dem ausländischen Flugzeugbau ist jedoch bekannt, daß mit diesem Verfahren Fahrwerkteile geschweißt werden.

5.8. Geschweißte Werkstücke aus der Flugwerk- und Triebwerkfertigung

Die folgenden Bilder zeigen Werkstücke aus der Flugwerk- und Triebwerkfertigung, die mit den im Abschnitt 5 erläuterten Schweißverfahren geschweißt wurden. Da in den meisten Fällen das Werkstück mit mehreren Verfahren geschweißt wurde, sind alle Beispiele in den Bildern 5.84 bis 5.96 (Seiten 65/66) zusammengefaßt worden.

Bild 5.36 (links)
Argon-Schutzgas-Schweißanlage
für Leichtmetall
Werkstoffdicken 1 bis 10 mm

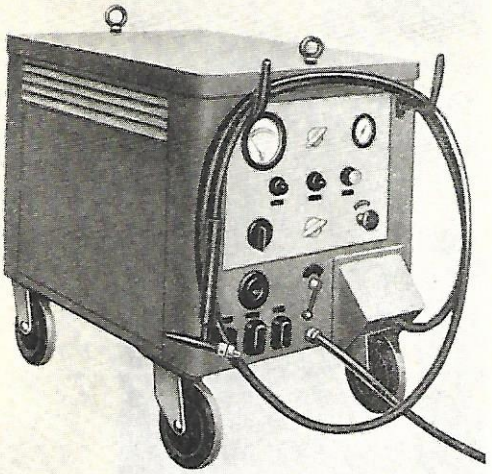
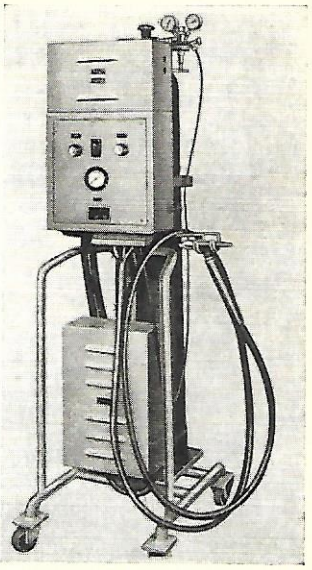


Bild 5.37 (rechts)
Argon-Schutzgas-Schweißanlage
mit Siebkondensator
Werkstoffdicken 0,8 bis 8 mm



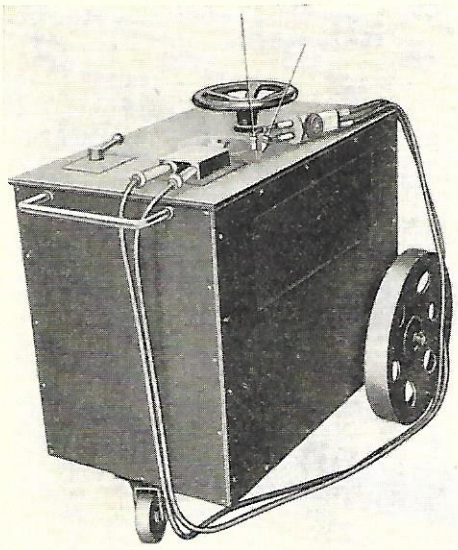


Bild 5.48 Arcatomgerät Lag 15

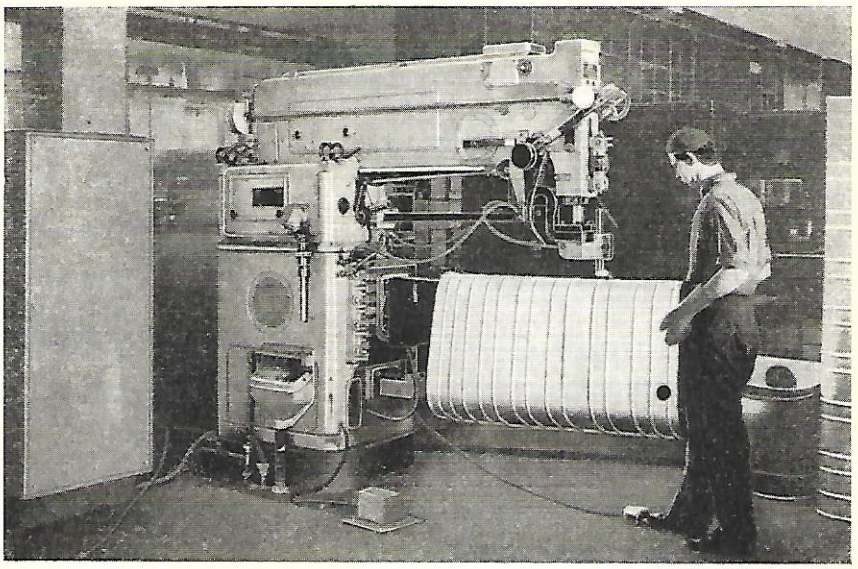


Bild 5.72 Punktschweißmaschine PNA 200
Einphasenmaschine, Punktschweißen eines Kraftstoffbehälters aus LW 3250

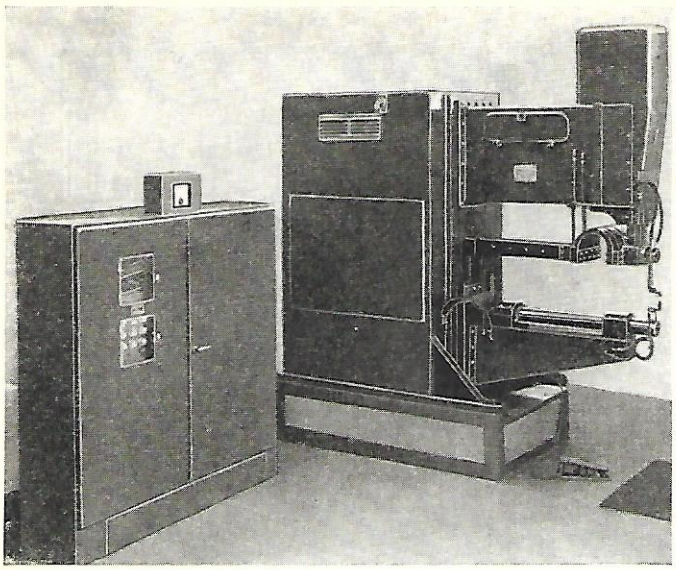


Bild 5.73 Punktschweißmaschine PSM 300
Einphasenmaschine

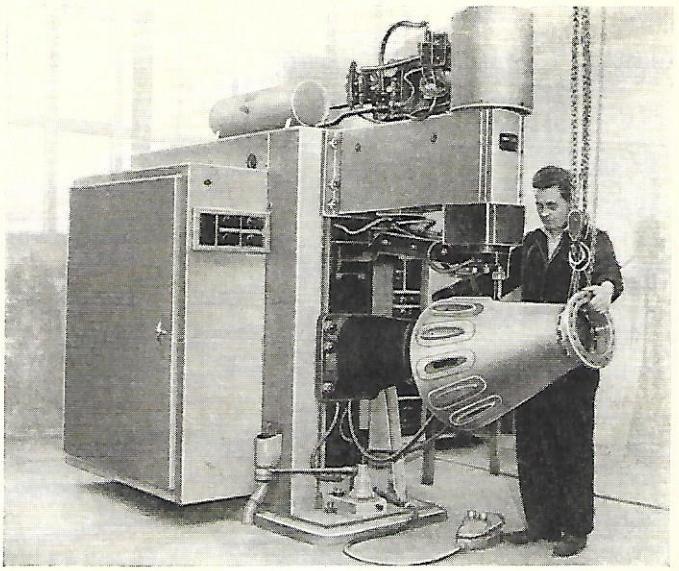


Bild 5.74 Punktschweißmaschine P 200 St K
Dreiphasenmaschine (Sciaky), Punktschweißen eines Kegelträgers aus LW 1670 für Strahltriebwerk

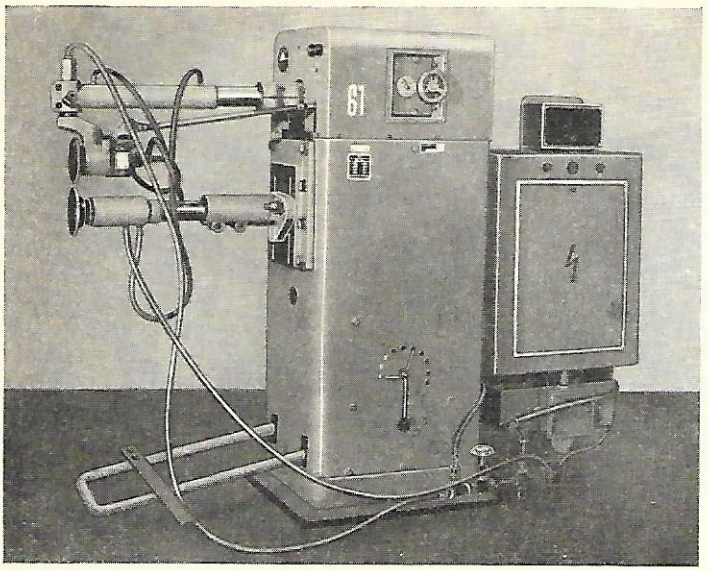


Bild 5.75 Rollennahtschweißmaschine Pou N IV
Einphasenmaschine

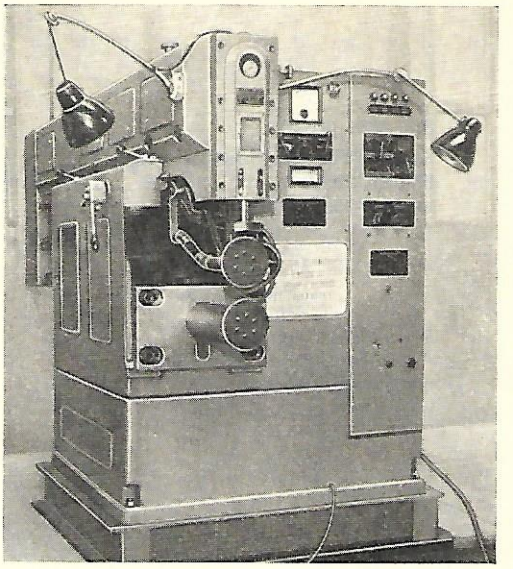
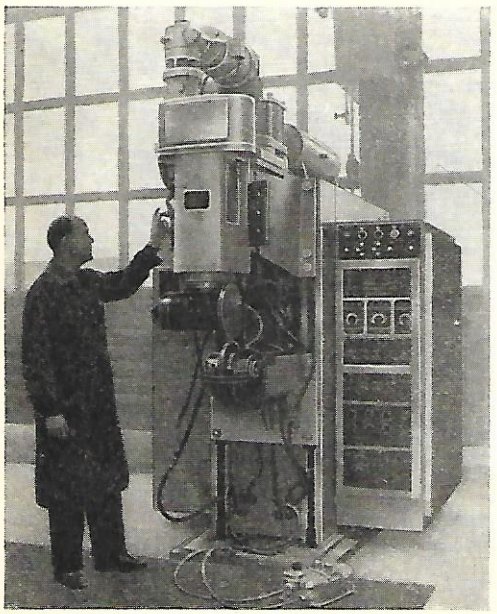
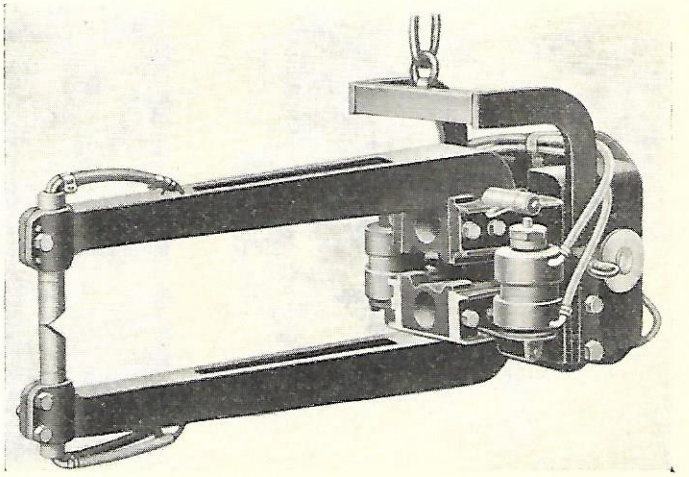


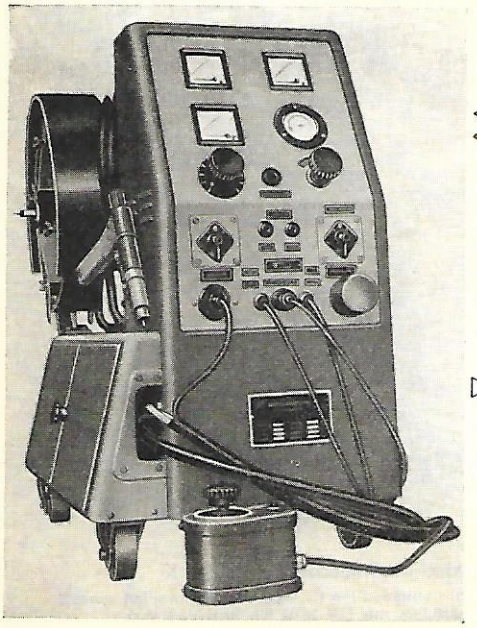
Bild 5.76 Rollennahtschweißmaschine PNA 120
Einphasenmaschine





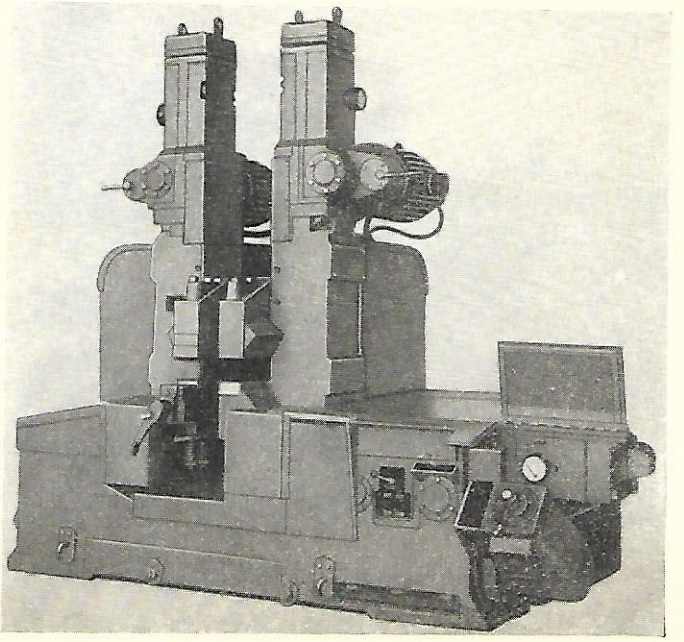
△ Bild 5.78 Punktschweißzange PZB

◁ Bild 5.77 Rollennahtschweißmaschine M 200 St K
(Sciaky) Dreiphasenmaschine



◁ Bild 5.81
SIGMA-Schweißanlage für das halbautomatische Schweißen

▷ Bild 5.83
Abbrenn-Stumpfschweißmaschine UMA 25



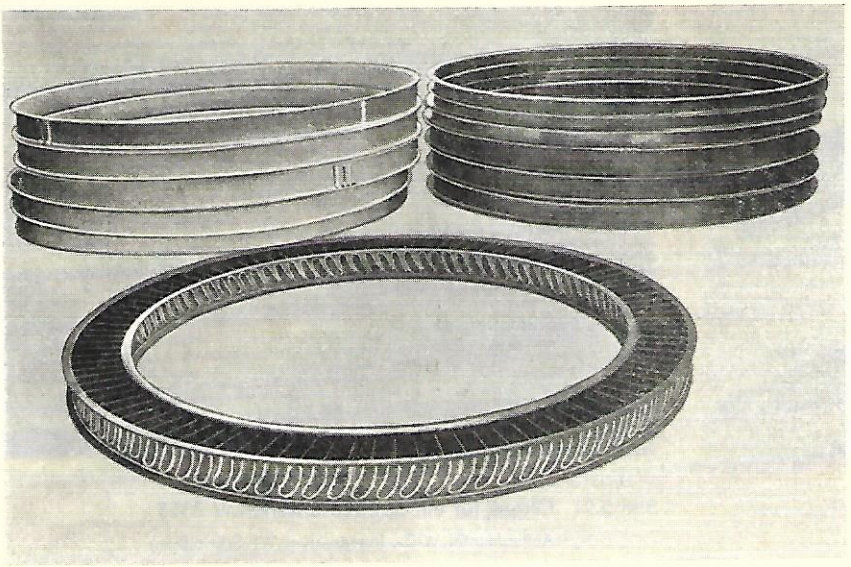


Bild 5.84 Verdichterleitkranz, LW 1112

Die Schaufeln sind mit Innen- und Außenring durch G-Schweißung verbunden

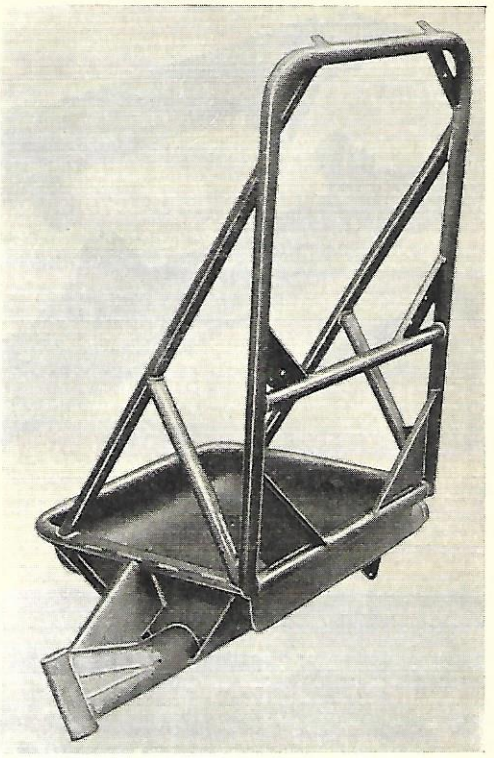


Bild 5.85 Sitzgestell, LW 1120 und 1403

Rohrrahmen gasgeschweißt, Gelenkteil E- und WIG-Schweißung

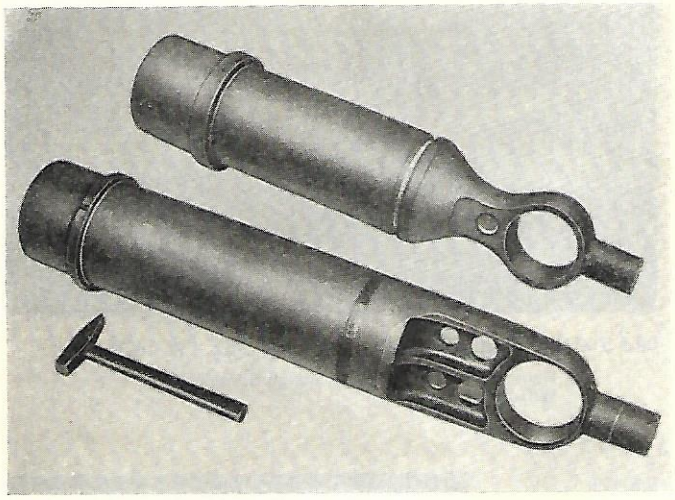


Bild 5.86 Fahrwerk-Kolbenstange, LW 1403

Rundnaht E-Schweißung, Wurzellage mit WIG-Schweißung ausgeführt

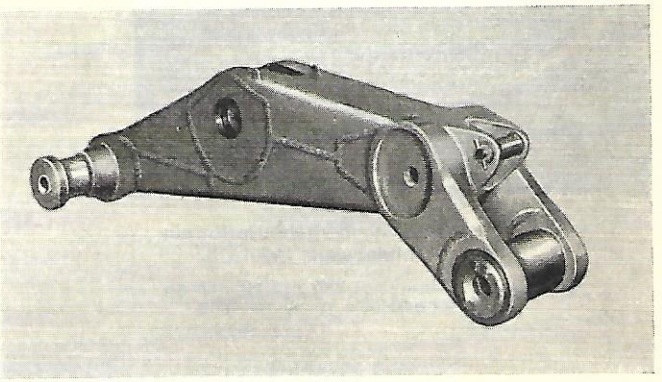
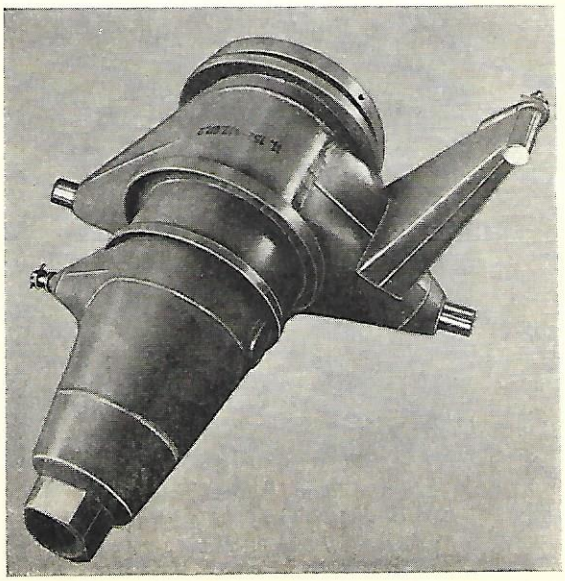
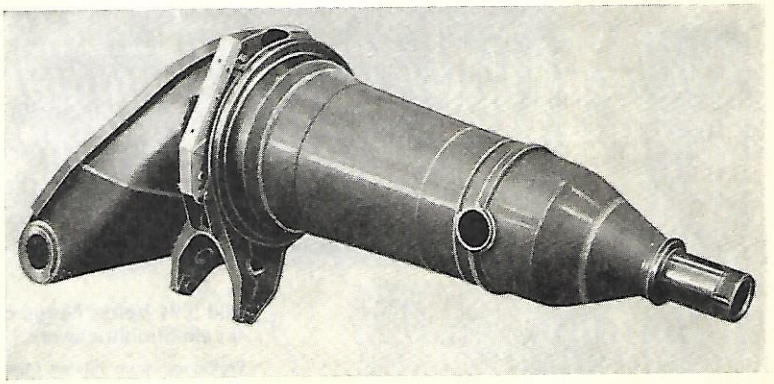


Bild 5.87 Schwinghebel für Hauptfahrwerk, LW 1403

E-, z. T. WIG-Schweißung





△ Bild 5.89 Drehständer für Bugfahrwerk, LW 1403

E-, z. T. WIG-Schweißung

◁ Bild 5.88 Querhaupt für Bugfahrwerk, LW 1403

E-, z. T. WIG-Schweißung

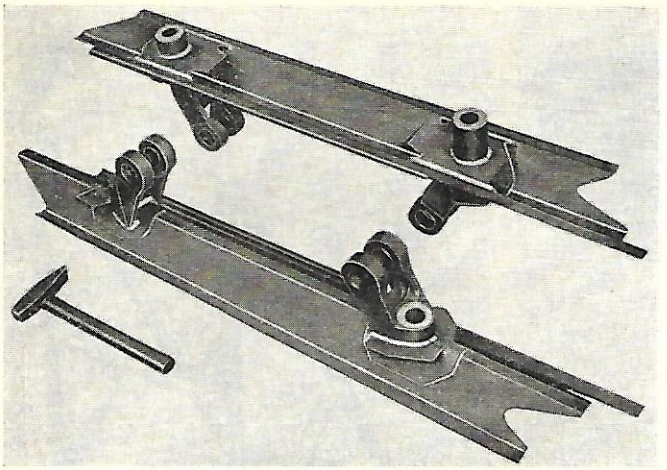


Bild 5.90 Stielanschlußbelag, LW 1403
E- und WIG-Schweißung

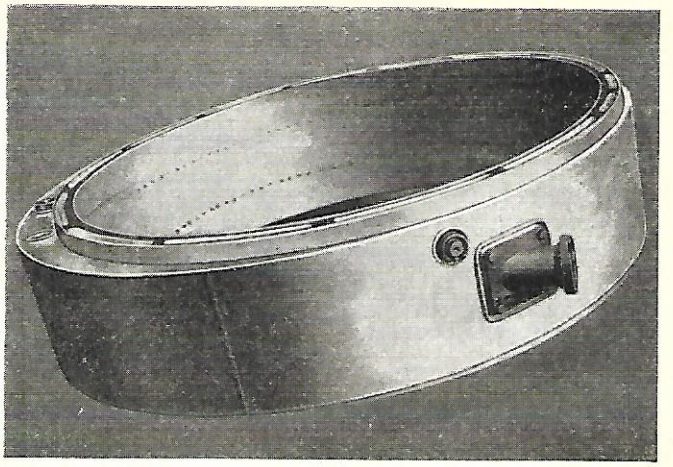


Bild 5.91 Öltank für ein Strahltriebwerk, LW 3355
Außenmantel WIG-, Innenmantel WP-Schweißung

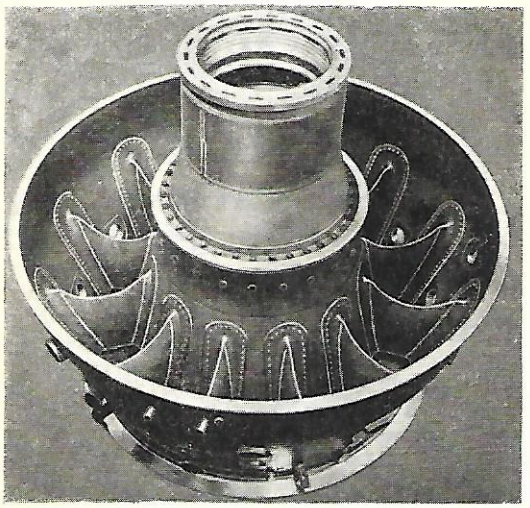


Bild 5.92 Brennkammergehäuse für ein Strahltriebwerk, LW 1670
Flanschringe WR- und WP-, übrige Schweißnähte WIG-Schweißung

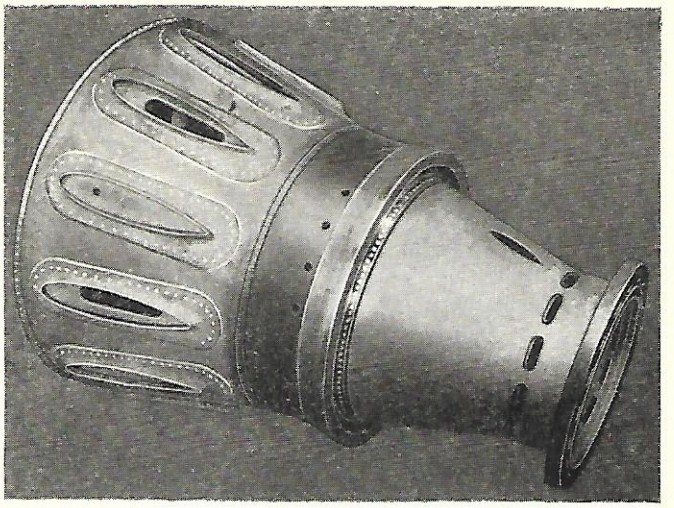
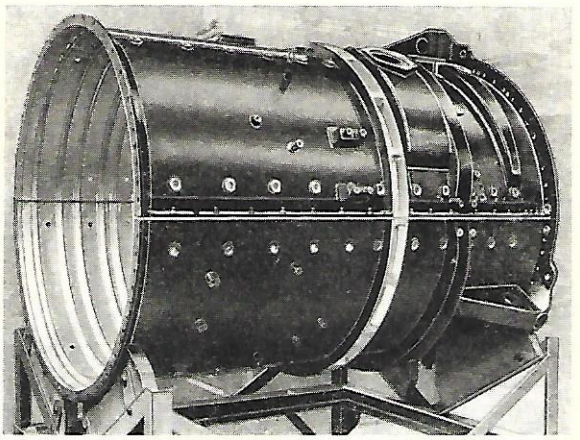
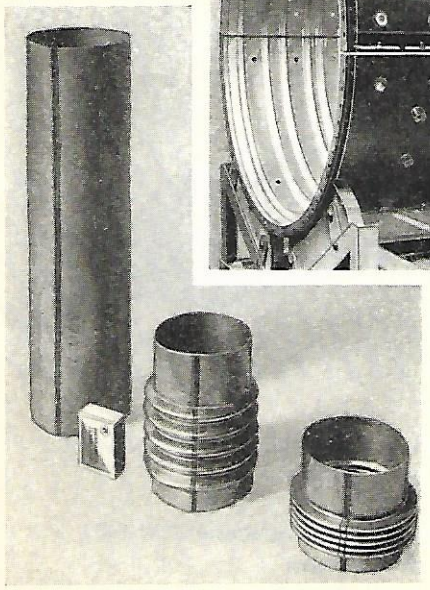


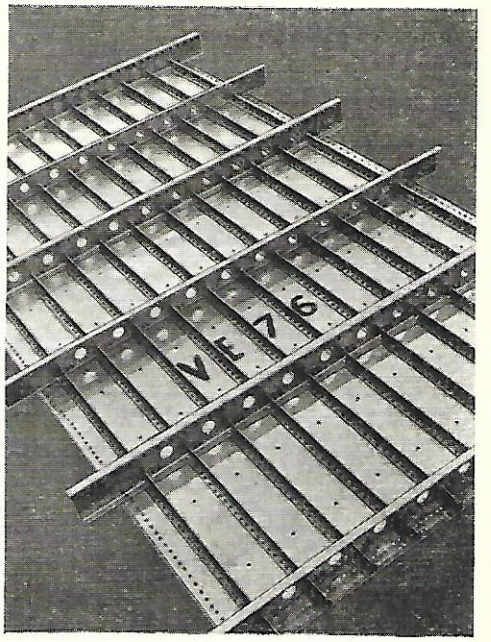
Bild 5.93 Kegelträger für ein Strahltriebwerk, LW 1670
Flanschringe WR- und WP-, übrige Schweißnähte WIG-Schweißung





△ Bild 5.94 Verdichtergehäuse für ein Strahltriebwerk, LW 1302
Profilringe innen mit dem Mantel durch WIG-Schweißung verbunden

◁ Bild 5.95 Dehnkörper, LW 1670
WR-Schweißung, die Rollenschweißnaht hat die starke Verformung ohne Beschädigung ertragen



△ Bild 5.96 Rumpf-Außenschale, (Versuchsschale)
Hautblech LW 3456, Profile LW 3455, WP-Schweißung

6. *Werkstofffragen beim Schweißen*

6.1. Schweißeignung der Werkstoffe

Bevor ein Schweißteil entworfen und hergestellt werden kann, muß die S c h w e i ß e i g n u n g des vorgesehenen Werkstoffs genau bekannt sein. Die Schweißeignung hängt sehr stark ab von der chemischen Zusammensetzung und vom Herstellungsverfahren der Werkstoffe, von inneren und äußeren Werkstofffehlern sowie vom Werkstoffzustand (z. B. kaltverfestigt, vergütet).

Die Schweißeignung der wichtigsten Luftfahrtwerkstoffe ist im Bild 6.1 (S.68) dargestellt. Die Übersicht weist in Form einer Empfehlung bereits auf die besondere Eignung der einzelnen Werkstoffe für bestimmte Schweißverfahren hin.

Genaue Angaben über die Schweißeignung der einzelnen Luftfahrtwerkstoffe enthalten die

Luftfahrt-Werkstoff-Leistungsblätter und die
Luftfahrt-Werkstoff-Blätter (Stahl, Schwer- und Leichtmetalle).

In Zweifelsfällen können entweder die Schweißfachingenieure der Betriebe oder das Institut für Werkstoffe Auskunft über die Schweißeignung von Werkstoffen geben. In Sonderfällen werden Schweißversuche mit wissenschaftlicher Auswertung durch die Hauptabteilungen Metallogie der Betriebe oder durch das Institut für Werkstoffe Aufschluß über die Schweißeignung geben. Ein solcher Sonderfall kann z. B. vorliegen, wenn zwei verschiedene Stähle durch Schweißen verbunden werden sollen.

6.2. Wahl des Schweißverfahrens

Vor dem Schweißen muß die Frage entschieden werden, welches Schweißverfahren bei dem geforderten Werkstoff bevorzugt angewendet werden soll oder muß, bzw. welches Schweißverfahren ausgeschlossen ist.

Die für einzelne Werkstoffe in der Praxis zu bevorzugenden Verfahren sind in TNL als Empfehlung festgehalten, wobei meist noch die Werkstoffdicke und entsprechende Zusatzwerkstoffe berücksichtigt werden.

1. TNL 951 29 (Entwurf)
   Empfehlung. Schweißverfahren für Aluminium und Aluminiumlegierungen. Werkstoffe. Zusatzwerkstoffe.
2. TNL 951 30
   Empfehlung. Schmelzschweißen. Schweißverfahren für Stahl. Werkstoffe. Zusatzwerkstoffe.

6.3. Auswirkungen der Schweißwärme

Die beim Schweißen notwendige Schweißwärme ruft Veränderungen im metallurgischen Aufbau des geschweißten Werkstoffs hervor, die sowohl in der Schweißstelle selbst als auch in den benachbarten Werkstoffzonen feststellbar sind. Diese Veränderungen können die Festigkeitswerte herabsetzen oder den Korrosionswiderstand des Werkstoffs verringern. Durch die Wärme entstehende Schweißspannungen können zu Rissen in den Verbindungsstellen oder dicht daneben führen. Vergütung bei Stahl und die Aushärtung bei Leichtmetall werden

Werkstoff		Schweißverfahren						
LW	Werkstoff-dicke mm	Schmelzschweißen					Preßschweißen	
		E	G	WIG	Arc	MIG	WP	WR
1110	0,5...1,6	d	a	b	c	-	zulässig	zulässig
	1,6...4	a	d	b	c	-	-	-
1112	4...12	a	d	b	c	-	-	-
1120	über 12	a	-	e	e	a	-	-
1302	0,5...1,6	d	c	a	b	-	zulässig	zulässig
	1,6...4	a	d	b	c	-		
	4...12	a	-	b	c	-	-	-
	über 12	a	-	e	e	a	-	-
1403	0,5...1,6	d	b	a	c	-	zulässig	zulässig
	1,6...4	a	-	b	c	-		
	4...12	a	-	b	c	-	-	-
	über 12	a	-	e	e	a	-	-
1414	1,6...4	a	-	b	c	-	zulässig	zulässig
	4...12	a	-	b	c	-	-	-
	über 12	a	-	e	e	a	-	-
1660	0,5...1,6	-	-	a	b	-	zulässig	zulässig
	1,6...4	a	-	b	c	-		
	4...12	a	-	b	c	-	-	-
	über 12	a	-	e	e	a	-	-
1670	0,5...1,6	-	-	a	b	-	zulässig	zulässig
	1,6...4	a	-	b	c	-		
	4...12	a	-	b	c	-	-	-
	über 12	a	-	e	e	a	-	-
3001	0,5...3	-	b	a	c	-	zulässig	zulässig
	3...6	-	b	a	c	-	-	-
	über 6	d	c	b	-	a	-	-
3302 3303	1...4	-	b	a	c	-	zulässig	zulässig
3305	0,5...3	-	b	a	c	-	zulässig	zulässig
	3...6	-	b	a	c	-	-	-
	über 6	d	c	b	-	a	-	-
3355	0,5...3	-	b	a	c	-	zulässig	zulässig
	3...6	-	b	a	c	-	-	-
3357	3...6	-	b	a	c	-	-	-
	über 6	d	c	b	-	a	-	-
3116 3126 3455 3456							zulässig	nicht zulässig

a günstigstes Schweißverfahren

b, c, d nachfolgend anzuwendende Schweißverfahren in der Reihenfolge der Zweckmäßigkeit

e Schweißverfahren vorzugsweise für Wurzelschweißung zu verwenden .

Bild 6.1 Schweißeignung der wichtigsten Luftfahrtwerkstoffe und Empfehlung der anzuwendenden Schweißverfahren

durch die Schweißwärme wieder aufgehoben, gehärtete Stähle werden enthärtet.

Solche Veränderungen des Werkstoffs mindern die Güte der Schweißung oder können sogar das Schweißen unmöglich machen. Um die Auswirkungen der Schweißwärme so gering wie möglich zu halten, soll besonders bei den im Flugzeugbau angewendeten Verfahren die zum Verbinden notwendige Wärme durch kurzzeitige aber intensive Einwirkung des Energieträgers (Flamme, Lichtbogen, elektr. Strom) erzeugt werden. Auf diese Weise werden die wärmebeeinflußten Zonen sehr klein gehalten. Darüber hinaus wird stets versucht, die Auswirkungen der Schweißwärme durch nachträgliche Wärmebehandlung der geschweißten Bauteile zu beseitigen oder zu mindern. Bei verschiedenen Werkstoffen und besonders bei größeren Werkstoffdicken muß das Werkstück zum Schweißen vorgewärmt werden. In vielen Fällen hängt deshalb der Erfolg des Schweißens und die Einsatzfähigkeit des geschweißten Bauteils von der richtigen Wärmebehandlung des vorliegenden Werkstoffs ab. Die notwendigen Hinweise für die Luftfahrtwerkstoffe enthalten die LW-Leistungsblätter, die LW-Blätter sowie die Wärmebehandlungsvorschriften Teil Stahl, Schwermetalle (in Vorbereitung) und Leichtmetalle (in Vorbereitung). In Sonderfällen ist es immer ratsam, entsprechende Auskunft beim Institut für Werkstoffe einzuholen.

7. Gestaltung von Schweißkonstruktionen

7.1. Einflußgrößen

Die geschweißte Konstruktion hat gegenüber der genieteten oder gegossenen Ausführung Vorteile aufzuweisen. Besonders bedeutsam für den Flugzeugbau sind die durch das Schweißen mögliche einfache und leichte Bauweise (Leichtbau) und die weitgehende Freiheit der Formgebung. Diese Vorteile werden jedoch nur ausgenutzt, wenn die Gestaltungsweise von genieteten oder gegossenen Konstruktionen nicht bedenkenlos auf Schweißkonstruktionen übertragen wird. Das Verbindungsverfahren Schweißen erfordert eine e i g e n e Gestaltungsweise.

Die Güte der Schweißverbindung wird gestaltungsseitig im wesentlichen durch folgende Faktoren beeinflußt:

1. gewählte Nahtform,
2. Lage der Schweißnaht im Bauteil,
3. Lage der Schweißnaht zur Beanspruchungsrichtung,
4. gewählte Schweißverfahren,
5. gewählte Prüfgruppe (vgl. Abschn. 10).

Der Konstrukteur muß bei der Gestaltung von Schweißkonstruktionen einige wichtige Grundsätze beachten, wenn eine wirtschaftlich vertretbare Schweißkonstruktion mit optimalen Eigenschaften entstehen soll. Diese Grundsätze betreffen besonders die

beanspruchungsgerechte,
fertigungsgerechte und
werkstoffgerechte Gestaltung.

7.2. Einige Grundsätze für die beanspruchungsgerechte Gestaltung

Als Grundsatz gilt, daß die Schweißkonstruktion mit den wenigsten Schweißverbindungen stets vorzuziehen ist. Der geringste Schweißaufwand wird z. B. durch die Verwendung von A b k a n t t e i l e n (Bild 7.1) und F o r m t e i l e n erreicht. Auch Guß- und Schmiedeteile können als Bauelemente für ein Schweißteil verwendet werden, wenn erwiesen ist, daß der dafür verwendete Werkstoff sich einwandfrei mit dem Blech- oder Profilwerkstoff schweißen läßt.

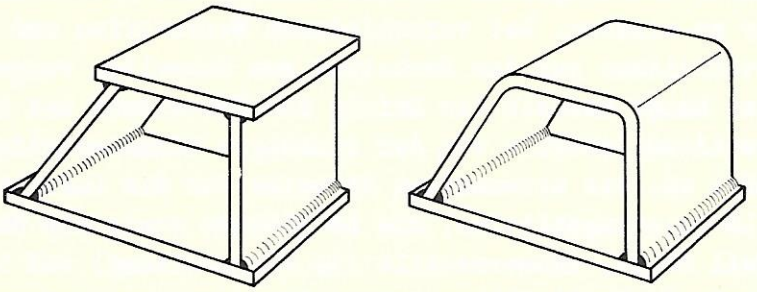


Bild 7.1 Geringerer Schweißaufwand durch Verwendung von Abkantteilen

Besonders wichtig ist bei hochbeanspruchten Verbindungen die Gestaltung der Querschnittübergänge. Anschlüsse für hohe schwellende oder wechselnde Beanspruchung sollen stetigen Querschnittübergang erhalten (Bild 7.2), wobei die Schweißstelle möglichst nicht im Übergang liegen soll.

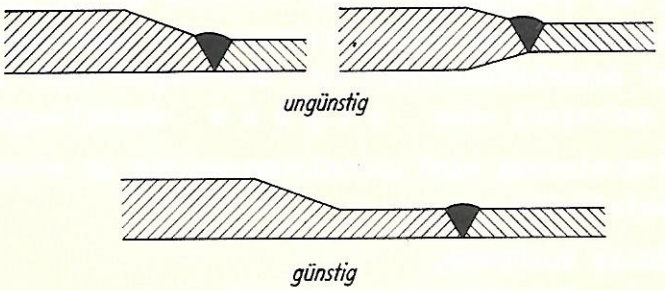


Bild 7.2 Querschnittübergänge bei Dickenunterschied

Außerdem ist ein möglichst kerbfrei geführter Kraftfluß anzustreben, um das Auftreten von mehrachsigen Spannungszuständen zu vermeiden. Vorteilhaft für die Beurteilung der erreichbaren Festigkeit und Dauerfestigkeit ist die Vorstellung vom Verlauf des Kraftflusses in der Schweißverbindung (Bild 7.3).

7.3. Einige Grundsätze für die fertigungsgerechte Gestaltung

Beim Gestalten von Schweißteilen sind die zur Verfügung stehenden Fertigungseinrichtungen (Schweißeinrichtungen, Vorrichtungen, Bearbeitungsmaschinen, Hebezeuge, Vorwärm- und Glüheinrichtungen u. a.) der Fertigungswerkstatt zu berücksichtigen. Außerdem müssen die Eigenarten des vorgesehenen Schweißverfahrens beachtet werden.

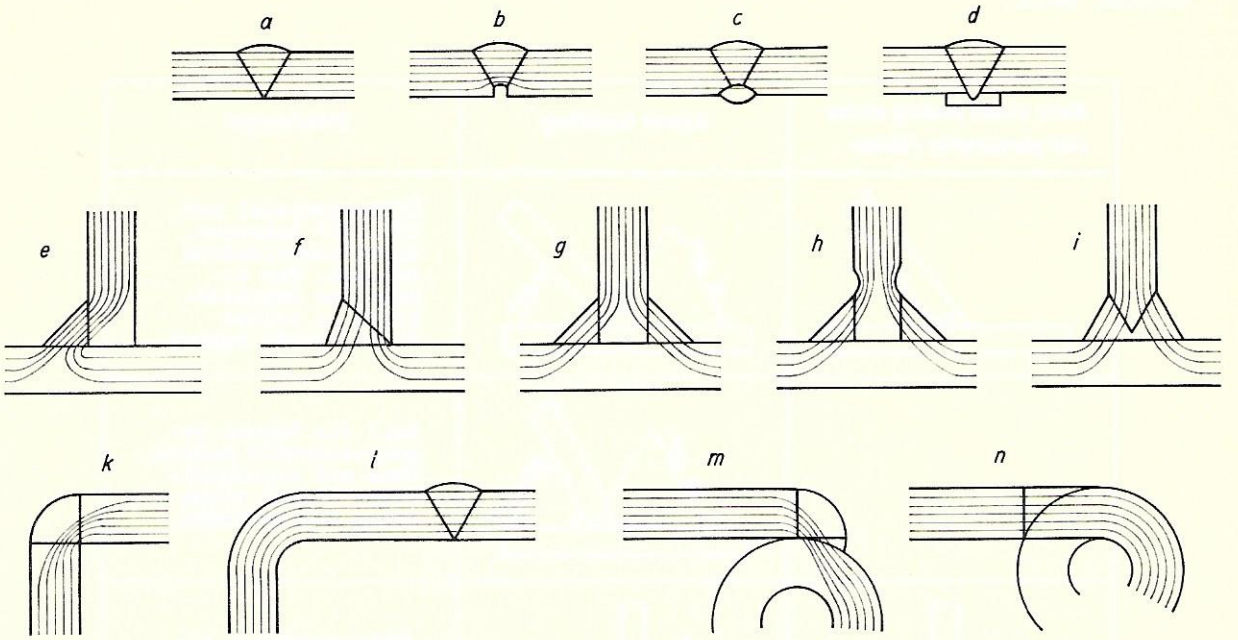


Bild 7.3 Beurteilung von Schweißverbindungen nach der Vorstellung vom Verlauf des Kraftflusses

a) Wurzel gut durchgeschweißt, glatter Kraftfluß
b) Wurzelfehler, Verlauf des Kraftflusses gestört, Kerbwirkung
c) Wurzel gegengeschweißt, glatter Kraftfluß
d) gute Schweißung durch Verwendung eines Schweißgrundblechs, glatter Kraftfluß nach dem Abarbeiten des Hilfsblechs
e) einseitige Kehlnaht, Zusammendrängen der Kraftlinien an den Kraftumlenkungen erzeugt Spannungsspitzen an den Umlenkstellen und damit Kerbwirkungen
f) Verlauf des Kraftflusses bei der HV-Naht
g) Verlauf des Kraftflusses bei der zweiseitigen Kehlnaht
h) Verlauf der Kraftlinien bei schlecht geschweißter zweiseitiger Kehlnaht, Kerbwirkung durch Einbrandkerben
i) K-Naht mit günstigem Verlauf des Kraftflusses
k) Ecknaht mit gedrängtem Verlauf der Kraftlinien in der Schweißwurzel, Kerbwirkung
l) richtige Ausbildung einer Eckverbindung
m) ungünstiger Kraftfluß, große Kerbwirkung
n) Kräfte tangential eingeleitet, dadurch besserer Verlauf des Kraftflusses

Bei einer fertigungsgerechten Schweißkonstruktion sind alle Schweißstellen für den Schweißer gut zugängig und damit die Voraussetzungen für eine einwandfreie Schweißung gegeben. Darüber hinaus soll das Teil so gestaltet sein, daß Schweißungen in Zwangslage (überkopf oder an senkrechter Wand) wegen der schwierigen Ausführung vermieden werden. Die Schweißverbindungen müssen sich in Normallage oder Wannenlage ohne wesentliche Behinderung ausführen lassen (vgl. dazu Bild 9.1).

Bei einigen Verbindungsmöglichkeiten durch Schmelzschweißen ergeben bestimmte Stellen keine sichere Bindung. Diese Verbindungen sind unter allen Umständen zu vermeiden (Bild 7.4, Seite 72).

Bei der Gestaltung von WP- oder WR-geschweißten Bauteilen ist zu beachten, daß der Schweißstrom auf möglichst kurzem Weg zum Schweißpunkt geführt werden soll und daß die Schweißung mit möglichst kleiner Fensteröffnung der Schweißmaschine erreicht wird. An der Schweißstelle selbst muß immer genügend Raum

für die Zuführung und das Ansetzen der Elektroden und Elektrodenrollen vorhanden sein.

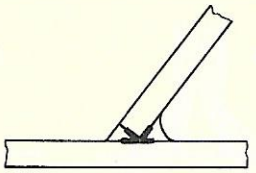
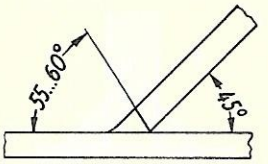
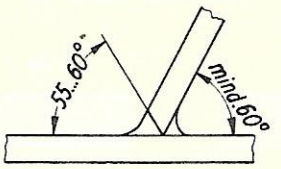
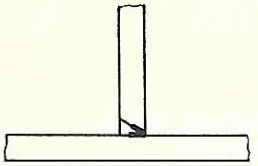
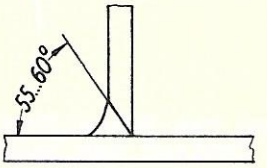
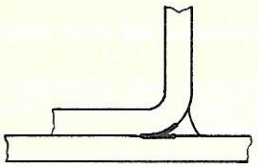
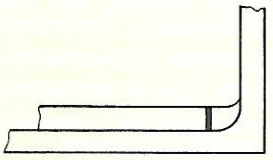
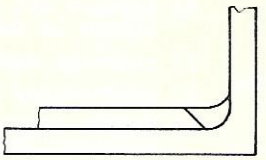
Keine sichere Bindung an den dick gezeichneten Flächen	*Bessere Gestaltung*	*Erläuterungen*
		Öffnungswinkel muß 55...60° betragen, daher Schweißkante anfasen. Nur so kann das Anschlußblech in voller Dicke erfaßt werden.
		Soll die Wurzel gegengeschweißt werden, dann muß wurzelseitiger Winkel mindestens 60° betragen.
		Öffnungswinkel beachten, damit die Blechdicke voll erfaßt werden kann.
		Diese und ähnliche Schweißverbindungen sind zu vermeiden.
		Senkrechte Kante kann nicht erfaßt werden. Beachte: bei Profilen aus unberuhigt vergossenen Stählen wird mit dieser Verbindung die Seigerungszone angeschnitten.

Bild 7.4 Zu vermeidende Schweißverbindungen

Bild 7.5 gibt einige Hinweise über den Platzbedarf bei Punktschweißverbindungen. Bei geschlossenen Konstruktionen muß außerdem die Länge des Unterarms der Schweißmaschine berücksichtigt werden. Spezialelektroden, wie außermittige, abgekröpfte u. a. sollen bei Anwendung hoher Elektrodendrücke möglichst vermieden werden; sie ergeben oft keine vollwertigen Schweißverbindungen.

Bei Schweißteilen mit g e s c h l o s s e n e n H o h l r ä u m e n ist in der Wandung eine Bohrung für das Entweichen der Luft beim Schweißen und bei der Wärmebehandlung vorzusehen, um Verformungen zu vermeiden.

Durchmesser der Entlüftungsbohrung $\geqq 2$ mm.

Der Durchmesser der Entlüftungsbohrung steht dabei im zweckmäßigen Verhältnis zum eingeschlossenen Volumen. Die Bohrung muß so angebracht werden, daß sich, vor allen Dingen bei der Wärmebehandlung, kein Luftpolster bilden kann.

Für den Flüssigkeitsdurchfluß bei Wärmebehandlung mit abschließendem Oel- oder Wasserbad und für den Flüssigkeitsdurchfluß bei Innenkonservierung sind zwei Flüssigkeitsbohrungen vorzusehen.

Durchmesser der Flüssigkeitsbohrungen ≧ 6 mm.

Auch hierbei stehen die Durchmesser der Bohrungen in einem zweckmäßigen Verhältnis zum eingeschlossenen Volumen.

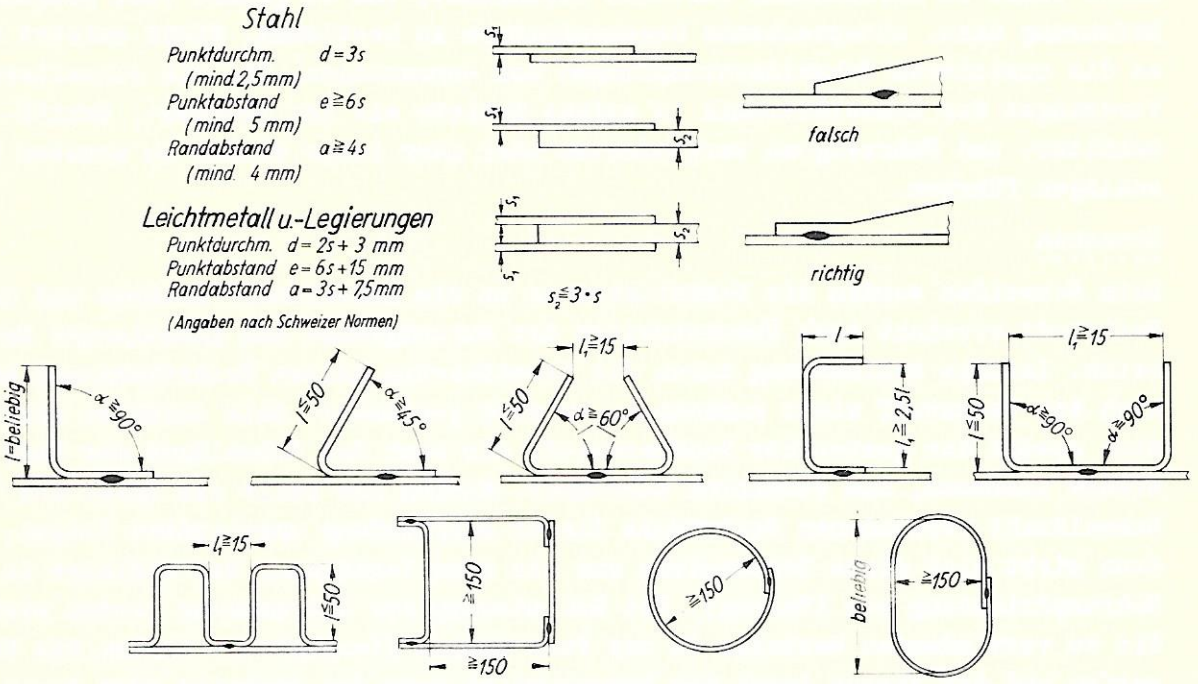


Bild 7.5 Bedingungen für die Gestaltung von Punktschweißverbindungen

Die Angaben nach Schweizer Normen im ersten Feld des Bilds gelten für den Maschinenbau. Sie sollen nur ungefähr die Verhältnisse bei der Punktschweißung veranschaulichen

7.4. Einige Grundsätze für die werkstoffgerechte Gestaltung

Der Konstrukteur muß bei der Gestaltung eines Schweißteils auch den Werkstoff in seine Rechnung einbeziehen. Der Werkstoff für das Schweißteil wird nach den Belastungsbedingungen gewählt. Dabei ist die Beeinflussung in bezug auf die Festigkeit durch die Schweißwärme oder durch die Wärmebehandlung des Schweißteils zu beachten. Es sind also von vornherein bestimmte Abminderungen der Festigkeitswerte einzukalkulieren.

Neben den Belastungsbedingungen, die für die Wahl des Werkstoffs entscheidend sind, müssen Schweißeignung und Formänderungsvermögen berücksichtigt werden. Weitere Einzelheiten zu Fragen, die den Werkstoff eines Schweißteils betreffen, sind bereits im Abschnitt 6 enthalten.

8. Schrumpfungen und Spannungen beim Schweißen *

8.1. Ursachen und Arten der Schrumpfung

Die wirtschaftliche und technisch einwandfreie Fertigung sowie die Sicherheit einer Schweißkonstruktion hängen weitgehend von der Berücksichtigung und Beherrschung der beim Schweißen auftretenden Schrumpfungen und Spannungen ab. Diese unangenehme Begleiterscheinung des Schweißens wird von vielen, meist nicht exakt zu erfassenden Faktoren beeinflußt, und es gehört viel praktische Erfahrung dazu, entsprechende Gegenmaßnahmen zu bestimmen. Nicht zuletzt waren es die unsicheren Schweißschrumpfungen und -spannungen, die ein schnelleres Vordringen der Schweißtechnik in solche Gebiete wie den Brücken-, Schiff-, Behälter- und Fahrzeugbau verhinderten oder aber immer wieder zu ernsten Rückschlägen führten.

Ursachen

Beim Schweißen werden die Werkstückzonen um die Schweißnaht erwärmt und der Werkstoff erreicht nach Überschreiten der Streckgrenze den plastischen Bereich. Infolge Behinderung durch die benachbarten kalten Werkstückzonen kann sich der Werkstoff nicht ausdehnen, er wird gestaucht. Beim Abkühlen zieht sich sowohl der gestauchte Randwerkstoff als auch das Schweißgut der Naht wieder zusammen, das Werkstück schrumpft. Können die Teile des durch die Schweißnaht verbundenen Werkstücks dieser Schrumpfung ungehindert folgen, dann wirkt sich diese Schrumpfung nur als eine Verkürzung der Meßlänge in Schrumpfrichtung aus (Verzug). Bei Behinderung der Schrumpfung werden sich die zu verbindenden Bauteile in der Form ändern (Verwerfen). Werden das Verwerfen und der Verzug durch die konstruktive Form des Bauteils oder durch Spanneinrichtungen behindert, dann entstehen Spannungen im Werkstück, die als Zug- oder Druckspannungen die Schweißnaht und das Bauteil so belasten, daß in ungünstigen Fällen Spannungsrisse und Brüche eintreten. Die durch die Vorgänge beim Schweißen im Gefüge des Werkstoffs entstehenden sogenannten inneren Spannungen können sich mit den Schrumpfspannungen im ungünstigsten Fall überlagern, so daß die Gefahr der Werkstofftrennung noch größer wird.

Arten der Schrumpfung

Bei der Betrachtung der verschiedenen Formen der Schrumpfung einer Schweißnaht (Bild 8.1) ist zu erkennen, daß die Längs- und Dickenschrumpfung eigentlich immer durch den benachbarten Werkstoff behindert sind. Die Dickenschrumpfung kann wegen ihrer Geringfügigkeit im allgemeinen unbeachtet bleiben. Der Querschrumpfung kann man durch verhältnismäßig einfache konstruktive und technologische Maßnahmen begegnen und damit die Spannungen vermindern, die Längsschrumpfung wird jedoch immer zu Verwerfungen oder, wenn die Verwerfung durch Zwang behindert wird, zu Schrumpfspannungen führen. Bei Werkstoffen mit geringer Dehnung können dadurch Querrisse in der Naht entstehen.

Q u e r s c h r u m p f u n g - Schrumpfen der Teile quer zur Naht in Richtung der x-Achse. Die erwärmten Nahtkanten dehnen sich beim Schweißen aus und verengen die Nahtform. Unmittelbar nach dem Schweißen setzt die Querschrumpfung ein, die zu 90 bis 95 % von der thermischen Dehnung des Grundwerkstoffs

*Unter teilweiser Benutzung Lit. [9]

und nur zu 5 bis 10 % vom Schwinden des Schweißguts herrührt.

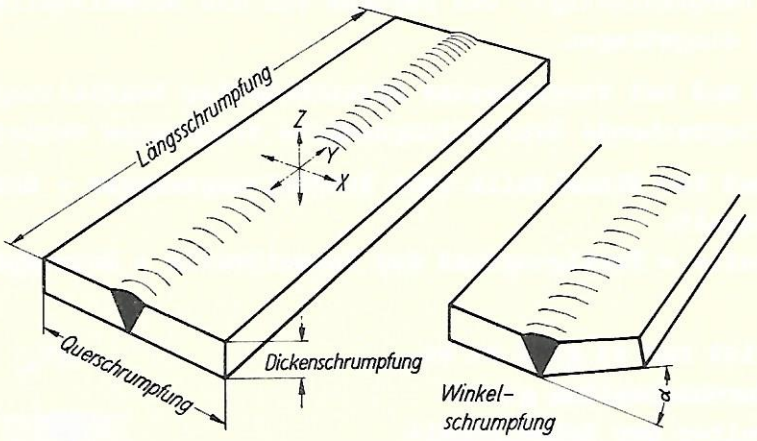


Bild 8.1 Die verschiedenen Formen der Schrumpfung

L ä n g s s c h r u m p f u n g - Schrumpfen der Teile längs der Naht in Richtung der y-Achse. Beim Schmelzen des Schweißguts dehnen sich die Nahtzonen aus. Durch die kalten Nachbarzonen wird jedoch die Ausdehnung in Längsrichtung stark eingeschränkt, so daß plastische Stauchungen eintreten. Diese sind die Ursache der in Nahtlängsrichtung auftretenden Schrumpfspannungen.

D i c k e n s c h r u m p f u n g - Schrumpfen in Richtung der z-Achse.

W i n k e l s c h r u m p f u n g - besondere Form der Querschrumpfung. Infolge der sich nach oben verbreiternden Nahtfuge tritt ein Schrumpfen aus der ursprünglichen Ebene um den Winkel α ein.

Da die Schrumpfung von so vielen und oft kaum genau zu erfassenden Faktoren, wie z. B. Werkstoffart und -dicke, Nahtform, Schweißverfahren und -geschwindigkeit, Schweißfolge abhängt, haben Formeln zur Vorausberechnung der Schrumpfung nur geringen Wert. Meist werden durch Versuchsreihen auf grafischem Weg genauere Anhaltspunkte für die zu erwartende Schrumpfung gewonnen. Das Ergebnis einer solchen Versuchsreihe an geschweißten Flugzeugteilen aus LW 1403 wird in den Bildern 8.2 bis 8.7 dargestellt. Dabei werden für den Stahl LW 1403 bei unterschiedlichen Nahtformen und Schweißverfahren sowie veränderlicher Blechdicke die auftretenden Querschrumpfungen ermittelt.

8.2. Berücksichtigung der Schweißschrumpfungen an Schweißteilen des Flugzeugbaus

Konstruktive Maßnahmen

Bei der Konstruktionsberatung sowie bei der Durchsicht der fertigen Zeichnungen durch die Konstruktionstechnologen oder durch den schweißtechnischen Berater der Fertigungsentwicklung wird die günstigste Reihenfolge des technologischen Ablaufs festgelegt und in Form einer Mitteilung der Fertigungsmittel- (Femi-) Konstruktion und der Feintechnologie zur Verfügung gestellt. Nach diesen Mitteilungen richten sich die F e m i - K o n s t r u k t e u r e bei der Konstruktion der Schweiß- bzw. Heftvorrichtungen, die F e i n t e c h n o l o g e n bei der Aufstellung der Arbeitsunterweisungen und Schweißfolgepläne sowie T e i l e b a u e r und S c h w e i ß e r bei

der Fertigung des Schweißteils. Bei der Festlegung der Schweißfolge werden gleichzeitig die voraussichtlich auftretenden Schrumpfmaße ermittelt und bei den Einzelteilen berücksichtigt. Das Heftmaß für die Schweißteile wird unter das Fertigungsmaß eingetragen.

Zum Fertigungsmaß muß bei vorgesehener spanabhebender Bearbeitung nach dem Schweißen eine entsprechende Bearbeitungszugabe vorgesehen werden.

Heftmaß = Längenmaß der Einzelteile (mit Bearbeitungszugabe + Schrumpfmaß) + Schweißspalt.

Länge der Einzelteile = Fertigungsmaß der Schweißteile + Schrumpfmaß - Schweißspalt.

Der Schweißspalt ist nur so groß zu bemessen, daß das Durchschweißen gesichert wird. Je breiter der Schweißspalt ist, desto größer wird die Schrumpfung. Die Gefahr des einseitigen Verzugs bei

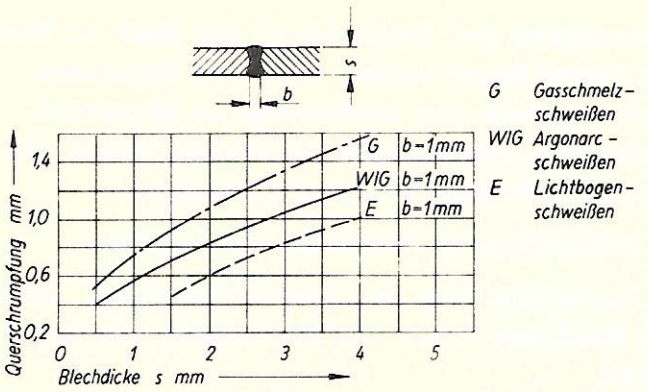


Bild 8.2 Querschrumpfung an I-Nähten, LW 1403

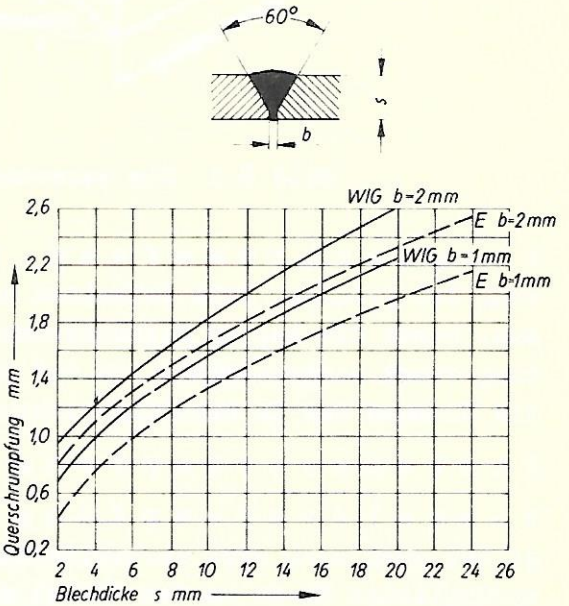


Bild 8.3 Querschrumpfung an V-Nähten, LW 1403

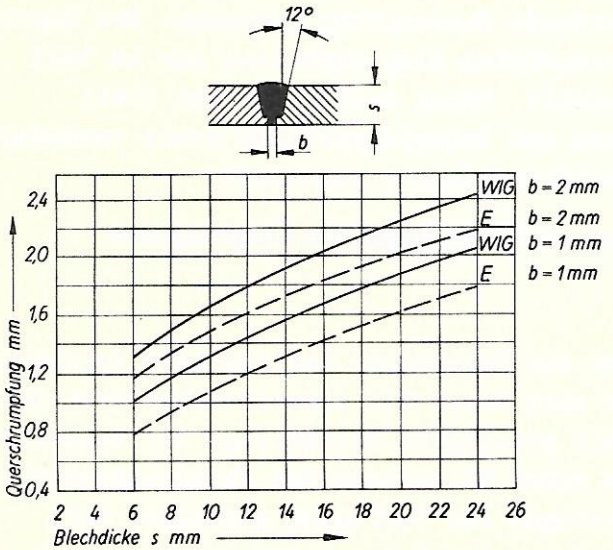


Bild 8.4 Querschrumpfung an Steilflankennähten, LW 1403

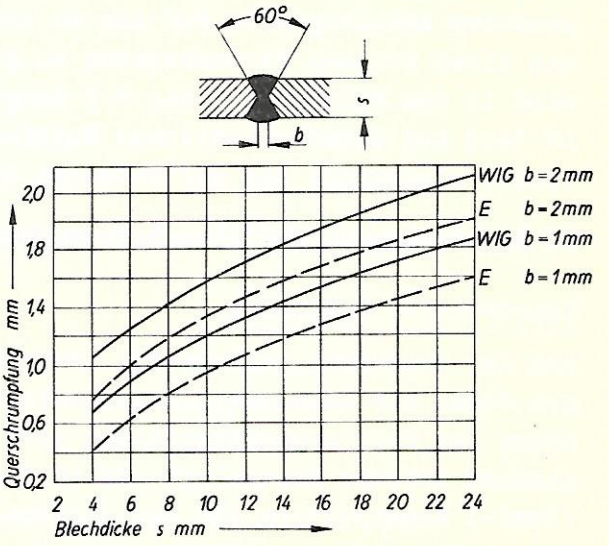


Bild 8.5 Querschrumpfung an X-Nähten, LW 1403

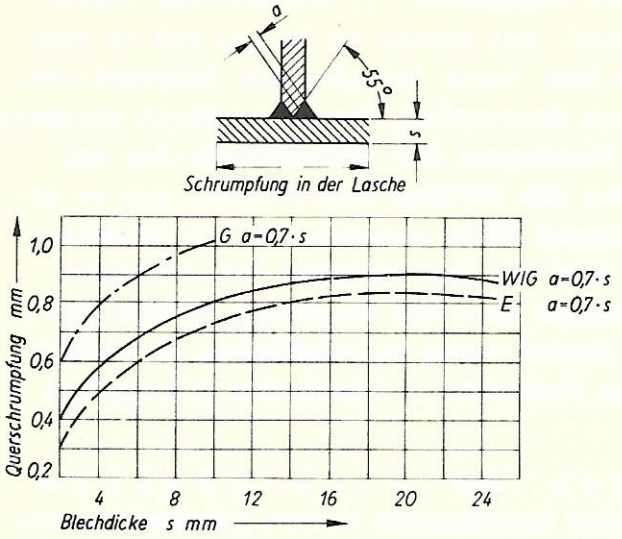


Bild 8.6 Querschrumpfung an HV-Nähten, LW 1403

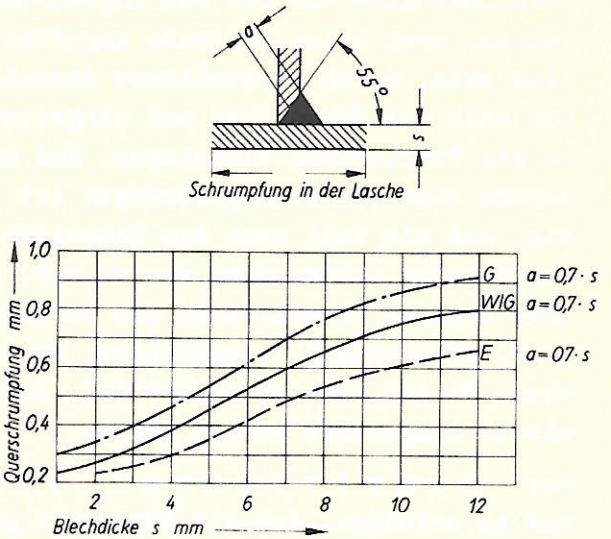


Bild 8.7 Querschrumpfung an K-Nähten, LW 1403

Rundnähten und die Verwerfungen bei anderen Schweißverbindungen wachsen mit steigender Spaltbreite. Das Durchschweißen wird verbessert, wenn der stehenbleibende Steg 0,5 mm nicht übersteigt, dadurch kann die Schweißspaltbreite < 2 mm gewählt werden.

Werden mehrere Schweißuntergruppen zu einer Baugruppe zusammengefaßt und geschweißt, so sind bei der Konstruktion der Untergruppe die Schrumpfmaße aufzuschlagen, um die Fertigmaße nicht zu unterschreiten. Muß das Schweißteil eine bestimmte Außenkontur aufweisen, z. B. Kontur des Rumpfs, der Tragfläche u. ä., so ist eine besonders sorgfältige Vorbereitung und eine nachträgliche Bearbeitung der Konturflächen notwendig. Das gleiche gilt bei besonderen Anforderungen in bezug auf Maßhaltigkeit und Oberflächengenauigkeit.

Müssen die Einzelteile bereits mit Bohrungen versehen werden, so sind die Bohrungen so klein zu wählen, daß ein Ausgleich in jeder Weise möglich wird.

Werden Deckbleche, Verstärkungsrippen oder andere Einzelteile in Schweißteile eingepaßt und wird ein genaues Maß verlangt, so muß der Konstrukteur auf der Einzelteilzeichnung das theoretische Maß und folgende Bemerkung einsetzen: b e i m Z u s a m m e n b a u e i n g e p a ß t . Dieser Hinweis soll eine vollständige Zubereitung verhindern und ein nachträgliches Anpassen der Einzelteile ermöglichen, um so eine größtmögliche Maßgenauigkeit zu erreichen. Bei Einzelteilen, die in Schweißteile eingepaßt und eingeschweißt werden, muß ein genügendes Übermaß in der Schrumpfrichtung vorgesehen werden, um ein sauberes Einpassen zu ermöglichen. Der Konstrukteur deutet durch eine gestrichelte Linie das vorzusehende Aufmaß an. Der Technologe gibt bei Festlegung der Zuschnittschablone erfahrungsgemäß das Aufmaß an.

Technologische Maßnahmen

Bei den S c h w e i ß v o r r i c h t u n g e n dürfen die Aufnahmen nach beiden Enden nicht begrenzt werden, sondern das Teil muß von einer Seite aufgebaut werden können. Es muß möglich sein, Teile mit einer Schrumpfzugabe in die Vorrichtung einzulegen. Der Femi-Konstrukteur hat bei der Festlegung der

Aufnahmepunkte und bei der Begrenzung die angegebenen Plustoleranzen auszunutzen, wenn keine Heftmaße angeführt sind. Bei Hebeln an Wellen muß es möglich sein, durch verstellbare Anschläge bzw. durch beizulegende Schrumpfscheiben nach der Schweißung und eingetretener Schrumpfung das Schweißteil nochmals in die Vorrichtung einzulegen. Bei der Festlegung der Abstandsmaße der Aufnahmen oder von Endbegrenzungen ist immer das Heftmaß einzutragen. Ist es nötig, daß ein Teil nach dem Schweißen einiger Nähte nochmals in die Schweißvorrichtung aufgenommen werden muß, so sind bei der Aufnahme von Bohrungen oder anderen Durchbrüchen die Aufnahmebolzen oder die Paßstücke verstellbar, z. B. exzentrisch, auszubilden, um die Zugabe eines Schrumpfmaßes zu ermöglichen. Es ist dann gewährleistet, daß die Absteckbolzen nach der Schrumpfung wieder eingeführt werden können.

Der s c h r i t t w e i s e A u f b a u des S c h w e i ß t e i l s muß so erfolgen, daß die Nähte mit größter Schrumpfung zuerst geschweißt werden. Eine Bearbeitungs- oder Schrumpfzugabe muß dabei vorhanden sein, um das Teil weiter anpassen und für die nächste Schweißnaht noch eine Schrumpfzugabe vorsehen zu können. Deshalb ist die wichtigste Voraussetzung bei der Fertigung der Einzelteile, daß in der Teilfertigung noch genügend Aufmaß an den Schweißkanten belassen wird, um ein sauberes Einpassen im Schweißteilbau zu ermöglichen. Für dieses Aufmaß hat bereits der Konstrukteur zu sorgen. Der Technologe muß in der Arbeitsplanstammkarte vermerken, daß diese Teile erst im Schweißteilbau genau einzupassen sind.

Die Schweißteile sollen von einer Seite aus aufgebaut werden. Es ist jeweils ein Teil unter Berücksichtigung der Schrumpfung einzupassen, zu heften und zu schweißen. Nach dem Richten ist das nächste Teil in oben beschriebener Weise anzupassen und anzuschweißen. Die Schweißrichtung soll möglichst so gewählt werden, daß von innen nach außen geschweißt wird, damit der Werkstoff durch nicht zu starres Einspannen möglichst lange freibeweglich ist (Vermeidung von Spannungsrissen). Als Regel soll gelten, daß erst die Teile zusammengepaßt und geschweißt werden, die unbehindert und frei schrumpfen können. Sollen Teile als Verstärkungsstege in U- oder I-Profile eingeschweißt werden, so sind diese Teile ganz straff in die Profile einzupassen, um ein übermäßiges Verwerfen der Profile zu vermeiden.

Bei der Aufstellung der S c h w e i ß f o l g e p l ä n e ist auf die Einhaltung folgender Grundregeln zu achten:

1. Das gesamte Schweißteil soll aus einzelnen Gruppen zusammengeschweißt werden, die vorher für sich möglichst spannungsfrei zusammengeschweißt, spannungsfrei geglüht bzw. weichgeglüht und sauber gerichtet werden.
2. Jedes neu anzubauende Teil soll ungehindert an das Schweißteil heranschrumpfen können.
3. Wenn Längs- und Quernähte zusammenstoßen, muß zuerst die anstoßende Naht und danach die durchlaufende Naht geschweißt werden.
4. Bei Nahtkreuzungen von Stumpf- und Kehlnähten muß stets zuerst die Stumpfnaht geschweißt werden.

Aufgabe des Konstrukteurs und des Technologen ist es, größere Schweißkonstruktionen so aufzuteilen, daß leicht zu richtende Gruppen vorgefertigt werden können und der Zusammenbau möglichst spannungsfrei geplant werden kann. Konstrukteur, Technologe und Schweißfachingenieur müssen deshalb eng zusammenarbeiten und ihre Belange bei der Herstellung eines Schweißteils aufeinander abstimmen.

9. Schweißvorrichtungen

Die Schweißvorrichtungen werden zweckmäßig nach ihrer Verwendung unterteilt in

Heftvorrichtungen,
Spannvorrichtungen,
Wendevorrichtungen und
Bewegungsvorrichtungen.

H e f t v o r r i c h t u n g e n haben die Aufgabe, die zu schweißenden Bauelemente des Schweißteils in die für das Heften und Schweißen richtige Lage zu bringen. Durch sie können Heftfehler vermieden und das Anreißen und Ankörnen eingespart werden. In der Reihenfertigung wird eine Gleichmäßigkeit der Schweißteile erreicht. Die Zugaben für eine nachfolgende spanende Bearbeitung können gering sein.

In den S p a n n v o r r i c h t u n g e n werden die zusammenzuschweißenden Teile mit Z w a n g in die für das Schweißen erforderliche Form und Lage gebracht und gehalten. Diese Vorrichtungen werden meist für das Vorspannen verwendet, um den beim Schweißen eintretenden Verzug und Verwerfen entgegenzuarbeiten. Vorteilhaft sind sie auch beim Schweißen von dünnen Blechen.

Mit den W e n d e v o r r i c h t u n g e n werden besonders größere Werkstücke vor Beginn des Schweißens in die für die Herstellung der betreffenden Naht günstigste Lage gewendet, gekippt oder gedreht. Im Flugzeugbau sollen die Schweißnähte nur in Normal- oder in Wannenlage geschweißt werden, damit die geforderte Qualität der Schweißverbindung sicher erreicht werden kann. Überkopfschweißungen und Schweißungen waagerecht und senkrecht (steigend) an senkrechter Wand sind zu vermeiden. Bild 9.1 erläutert die Begriffe Normallage und Wannenlage bei Stumpf- und Kehlnähten.

Das Drehen und Wenden der Schweißteile von Hand oder mit Kran wird durch die Wendevorrichtungen vermieden und damit werden die körperliche Arbeit des Schweißers, besonders bei größeren Werkstücken erleichtert sowie Kranzeiten und Kranwartezeiten eingespart.

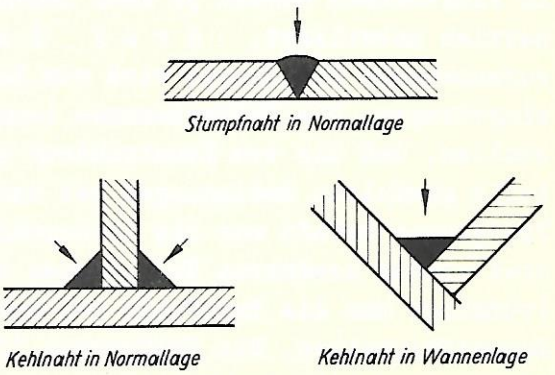


Bild 9.1 Normallage und Wannenlage

Durch die B e w e g u n g s v o r r i c h t u n g e n wird das Werkstück oder auch das Schweißgerät mit Schweißgeschwindigkeit so bewegt, daß gleich-

mäßig und stets in Normal- oder Wannenlage geschweißt wird. Vorteilhaft sind die Bewegungsvorrichtungen für Rundnähte, weil dadurch das häufige Unterbrechen des Schweißvorgangs zum Weiterdrehen des Werkstücks vermieden wird. Jede neue Ansatzstelle der Schweißlagen an diesen Unterbrechungsstellen birgt die Gefahr in sich, daß Fehler in der Schweiße vorhanden sind. Besondere Bedeutung haben die Bewegungsvorrichtungen bei den automatischen Schweißverfahren.

Die vorstehende Unterteilung der Schweißvorrichtungen schließt nicht aus, daß mehrere Verwendungszwecke in einer Vorrichtung vereinigt werden können. So ist es z. B. möglich, in einer Vorrichtung zu heften und zu schweißen, wenn dafür gesorgt ist, daß die Schweißnähte unbehindert geschweißt werden können und die Teile der Schrumpfung zu folgen vermögen.

Die genannten Schweißvorrichtungen haben besondere Bedeutung bei der Mechanisierung zur Verringerung des Aufwands an physischen Kräften bei gleichzeitiger Steigerung der Arbeitsproduktivität. Schweißvorrichtungen können oft auch bei der Einzelanfertigung Vorteile bringen, wenn dadurch z. B. zeitraubende, schwierige Richtarbeit vermieden wird. Es hängt in diesem Fall von dem Ergebnis einer Wirtschaftlichkeitsuntersuchung ab, ob beim Schweißen eines Einzelteils eine Schweißvorrichtung konstruiert, gefertigt und angewendet wird.

Eine Zusammenstellung von Schweißvorrichtungen für alle Verwendungszwecke enthält die Schweißtechnische Richtlinie R 17 - 56 R i c h t l i n i e n für H e f t - und S c h w e i ß v o r r i c h t u n g e n des Zentralinstituts für Schweißtechnik der Deutschen Demokratischen Republik, Halle/Saale.

10. Prüfung der Schweißverbindungen

Um bei den Schweißverbindungen am Fluggerät die größtmögliche Sicherheit zu gewährleisten, werden die Schweißteile durch die Technische Prüfung der einzelnen Betriebe der VVB Flugzeugbau ständig genau geprüft. Diese Prüfung beschränkt sich nicht nur auf das geschweißte Werkstück, sondern schließt Vorbereitung und Durchführung des Schweißprozesses ein. Als Ergebnis liegt dann eine Qualitätsbeurteilung auf der Grundlage der Qualitätsfestlegung durch den Konstrukteur vor.

Im Flugwerkbau werden je nach Beanspruchung, der das geschweißte Bauteil im Betrieb unterliegt, d r e i P r ü f g r u p p e n unterschieden. Die vorzusehende Prüfgruppe wird vom Konstrukteur bestimmt und in die Zeichnung eingetragen. Die Prüfmaßnahmen innerhalb der drei Prüfgruppen sollen sicherstellen, daß die vom Konstrukteur beim Gestalten und Berechnen des Schweißteils gewählten Bedingungen bei der Fertigung erfüllt wurden. Eine vierte Prüfgruppe umfaßt nur die Dichtprüfung; sie wird nur zusammen mit einer der drei vorher erwähnten Prüfgruppen durchgeführt. Die Prüfgruppe I erfaßt die Prüfgänge und die Prüffolge bei den wichtigsten und am meisten beanspruchten Schweißbauteilen. Die Prüfgruppe III sieht die geringsten Prüfanforderungen für weniger wichtige Teile vor. Das Bild 10.1 gibt eine Übersicht über Prüfgänge und Prüffolge bei den drei Prüfgruppen.

Während des Nachbaus von Fluggeräten waren die Prüfbestimmungen für die Güteprüfung maßgebend, die in den sowjetischen Instruktionen gegeben sind. Für

die Entwicklungen unseres Flugzeugbaus werden eigene Prüfvorschriften aufgestellt und eingeführt.

1. TNL 951 95 (Entwurf)
   Schmelzschweißen. Prüfanweisung für schmelzgeschweißte Teile.
2. TNL 951 86 (Entwurf)
   Schmelzschweißen. Zulässige Schweißfehler an Schmelzschweißverbindungen.
3. TNL 951 87
   Schmelzschweißen. Beurteilung der Röntgenaufnahmen von Schweißverbindungen. Vorläufige Prüfvorschrift.
4. TNL 853 22, Blatt 2
   Kennzeichnung der Schweißnähte, Schlagstempel

In Vorbereitung:
Preßschweißen. Prüfanweisung für punkt- und nahtgeschweißte Teile.
Löten. Prüfanweisung für Lötverbindungen

Prüfgänge und Prüffolge bei		
Prüfgruppe III	Prüfgruppe II	Prüfgruppe I
1. Sichtprüfung nach dem Weichglühen und Richten: 1.1 Maßliche Prüfung der Kehlnahthöhen, Nahtlänge; 1.2 Prüfung der Säuberung der Schweißnähte von Schlackenresten und Schweißspritzern; 1.3 Prüfung der Nahtoberfläche auf gleichmäßige feine Schuppung und einen gleichmäßigen Übergang von der Schweißnaht zum Grundmaterial; 1.4 Endkrater und Schweißgutansatzstellen müssen gut überschweißt sein; 1.5 Schweißnähte an tangential anlaufenden Teilen müssen einen kerbfreien Übergang aufweisen; 1.6 Prüfung auf einwandfreie Durchschweißung der Nahtwurzel; 1.7 Prüfung der Schweißnähte und der Übergangszone auf Risse und andere Oberflächenfehler wie Löcher, Einbrandkerben, Poren und Durchbrände. 2. Wiederholung der Sichtprüfung nach der letzten Wärmebehandlung.	1. Sichtprüfung nach dem Weichglühen und Richten wie unter Prüfgruppe III, Pkt.1.1 bis 1.7. 2. Rißprüfung mit Magnetpulververfahren oder Farbdiffusions- bzw. Fluoreszenzverfahren auf Risse und andere Oberflächenfehler oder auf oberflächennahe Fehler nach dem Weichglühen und Richten. Folgende Fehler können ermittelt werden: Risse, Wurzelfehler, Oberflächenporen und -schlacken, Bindefehler und Einbrandkerben. 3. Rißprüfung nach der letzten Wärmebehandlung (Vergüten, Normalisieren) auf Härte- oder Spannungsrisse nach Prüfgruppe II, Pkt. 2.	1. Sichtprüfung nach dem Weichglühen und Richten wie unter Prüfgr. III, Pkt. 1.1 bis 1.7. 2. Rißprüfung nach dem Weichglühen und Richten wie unter Prüfgruppe II, Pkt. 2. 3. Röntgenprüfung nach dem Weichglühen und Richten der Schweißnähte auf: Gaseinschlüsse (Poren), Schlakkeneinschlüsse, Wurzelfehler, Bindefehler, Längs- und Querrisse und Einbrandkerben. Es können auch tiefer liegende Fehler festgestellt werden. 4. Rißprüfung nach der letzten Wärmebehandlung (Vergüten, Normalisieren) auf Härte- oder Spannungsrisse nach Prüfgruppe II, Pkt. 2.

Bild 10.1 Prüfanweisung für Schweißnähte

Die bei den Prüfgängen und Prüffolgen der Prüfgruppen I bis III (Bild 10.1) vorgesehenen z e r s t ö r u n g s f r e i e n Prüfverfahren - Röntgen-,

Magnetpulver-, Farbdiffusions- und Fluoreszenzverfahren - werden im einzelnen in einer Lehrschrift über zerstörungsfreie Werkstoffprüfverfahren näher behandelt. Die Ultraschallprüfung von Schweißnähten wird im Flugzeugbau nur selten angewendet. Sie wird zuweilen als Ergänzung für die Röntgenprüfung benutzt, um auf einfache Art eine Aussage über das Vorhandensein und den Ort eines Fehlers zu machen und das teuere Röntgen dann nur an diesen Stellen zur Aussage über die Art und die Größe des Fehlers anzuwenden.

Für die Durchführung der Schweißteilprüfung werden P r ü f t e c h n o l o g i e n aufgestellt. Auf sie wird jeweils im Arbeitsplan, in dem die Prüfvorgänge folgerichtig in den Arbeitsablauf eingeordnet sind, verwiesen.

Die f a c h l i c h e Q u a l i f i k a t i o n des Schweißteilprüfers muß wegen der geforderten Qualität des Schweißteils im Flugzeugbau hohen Anforderungen genügen. Er muß in der Lage sein, am Arbeitsplatz des Schweißers die einwandfreie Vorbereitung und Durchführung des gesamten Schweißprozesses zu beurteilen, um bereits dort Fehler, die sich qualitätsmindernd auswirken, zu erkennen und zu beanstanden. Er muß also das Schweißverfahren zumindest selbst beherrschen. Die genannten zerstörungsfreien Prüfverfahren werden von eigens für diese Verfahren ausgebildeten Spezialkräften durchgeführt. Die Schweißteilprüfer sind bei einwandfreier Durchführung der Prüfung nicht allein für die Qualität der Schweißteile verantwortlich. Es muß mit Nachdruck auf die Anordnung im Gesetzblatt Nr. 93 vom 11. November 1952 hingewiesen werden. Im Absatz II § 3 wurde festgelegt:

> Verantwortlich für die Güte der Fertigung sind der Technische Leiter, der Produktionsleiter, die Meister und Brigadeleiter für ihren jeweiligen Aufgabenbereich. Sie sind verpflichtet, mit der Gütekontrolle zusammenzuarbeiten, systematisch auf eine ständige Qualitätsverbesserung einzuwirken und jede Arbeitsweise, die die Einhaltung des erforderlichen Gütegrads gefährdet, rechtzeitig zu unterbinden.

In bezug auf die Luftfahrtindustrie wird besonders auf die Anweisung Nr.24/59 der VVB Flugzeugbau Dresden vom 8.8. 59 verwiesen:

> Anweisung zur Gewährleistung der Qualität
> der Erzeugnisse der Luftfahrtindustrie.

11. Unfallverhütung

Die beim Schweißen möglichen Gefahren können zu Unfällen führen, die unter allen Umständen verhütet werden müssen. Es sind zu unterscheiden:

1. Gefahren, die durch Leichtsinn, Unachtsamkeit oder Unkenntnis herbeigeführt werden,
2. Gefahren, die sich aus den Eigenheiten der angewendeten Schweißverfahren ergeben.

Jeder Schweißer muß bei seiner Ausbildung gründlich über den Arbeitsschutz unterrichtet werden. Außerdem sind Arbeitsschutzunterweisungen in monatlichen Abständen durchzuführen. Für den Arbeitsschutz des Schweißers gelten folgende Arbeitsschutzbestimmungen:

1. Arbeitsschutzbestimmung 615, 6. 1. 1953,
   Schweißen und Schneiden (Gesetzblatt Nr. 11 vom 30. 11. 1953).
2. Arbeitsschutzbestimmung 861, 15. 4. 1953,
   Bau und Verwendung von ortsbeweglichen Druckgasbehältern (Gesetzblatt Nr. 68 vom 26. 5. 1953).
3. Arbeitsschutzbestimmung 870, 19. 1. 1953,
   Azetylen-Erzeugungsanlagen und Lagerung von Kalzium-Karbid (Gesetzblatt Nr. 45 vom 13. 4. 1953).
4. Arbeitsschutzbestimmung 612 (Auszug), 3. 8. 1953,
   Schweißarbeiten an bestehenden Leitungen und an Gasrohrleitungen (Gesetzblatt Nr. 93 vom 21. 8. 1953).

Unfälle, die aus der Unkenntnis dieser Arbeitsschutzbestimmungen herrühren, dürfen bei ordnungsgemäß ausgebildeten Schweißern nicht vorkommen. Unfälle, die auf Leichtsinn oder Unachtsamkeit zurückzuführen sind, müssen im Interesse der Erhaltung der Arbeitskraft und der Erhaltung unseres Volksvermögens unter allen Umständen vermieden werden.

Eine verfahrensabhängige Gefahr ist besonders zu beachten. Es ist die Gefahr, die beim Schweißen den Augen des Schweißers droht. Bei ungenügendem Schutz der Augen kann folgendes eintreten:

1. Das starke sichtbare Licht der Schweißflamme oder des Lichtbogens ruft eine B l e n d u n g hervor, die eine sorgfältige Beobachtung des Schweißvorgangs ausschließt und die bei häufiger oder andauernder Einwirkung die Sehfähigkeit der Augen vermindern kann.
2. Die unsichtbaren ultravioletten Strahlen des elektrischen Lichtbogens verursachen eine Bindehautentzündung. Diese als V e r b l i t z e n bezeichnete Erscheinung ist sehr schmerzhaft. Das Verblitzen tritt auch dann auf, wenn die Einwirkung nur sehr kurz ist, sich aber im Laufe eines Tags mehrfach wiederholt.
3. Die unsichtbaren ultraroten (infraroten) Wärmestrahlen, die von Schweißwärmequelle und Werkstück ausgehen, bewirken bei längerer starker Bestrahlung eine nicht heilbare T r ü b u n g der Augenlinse (Star).
4. Die abspringenden Schlackenteile beim Lichtbogenschweißen, die abspritzenden Metalltropfen beim Schmelzschweißen und Abbrennschweißen und die spritzenden Metallteilchen, die beim elektrischen Punkt- und Rollennahtschweißen auftreten, können V e r l e t z u n g e n des Auges hervorrufen.

Augenschutzgläser und Augenschutzfilter sind beim Schweißen unerläßlich. Die Augenschutzfilter sind in ihrer Schutzwirkung in DIN 4646 genormt. Die einzelnen Schutzstufen sind so bemessen, daß ein Glas, das ausreichenden Schutz vor der blendenden sichtbaren Strahlung gewährt, auch ausreichenden Schutz gegen die gleichzeitig auftretende unsichtbare Strahlung gewährt (Bild 11.1).

Schutzstufen-Kennzeichen nach DIN 4646 *)	Empfohlen für Anwendung beim	
	Gasschweißen (Autogenschweißen)	Lichtbogenschweißen
00	gegen Ultraviolett-Streulicht beim Schweißen	gegen Ultraviolett-Streulicht beim Schweißen
⓪	für Schweißerhelfer bei Nebenarbeiten	für Schweißerhelfer bei Nebenarbeiten
1	für Schweißerhelfer gegen helles Streulicht	für Schweißerhelfer gegen helles Streulicht
2	für leichte Brennschneidearbeiten	-
3	für Entrosten, Brennschneiden, Leichtmetall-Schweißen, Dünnblech-Schweißen	-
4	für Hartlöten, Brennschneiden, Stahl-und Grauguß-Schweißen, Leichtmetall-Schweißen	-
4a	wie 4, jedoch bevorzugt für Leichtmetall-Schweißen	-
⑤	für alle Schweißarbeiten	-
5a	wie 5, jedoch bevorzugt für Leichtmetall-Schweißen	-
⑥	für alle Schweißarbeiten	für Arbeiten an Dünnblechen
6a	wie 6, jedoch bevorzugt für Leichtmetall-Schweißen	-
7	besonders für das Schweißen von Stücken mit großen Wanddicken sowie für das Warmschweißen	für Arbeiten an Dünnblechen
8	für das Warmschweißen	für Schweißelektroden mit kleinem Durchmesser (bis 2,5 mm)
⑨	-	für Schweißelektroden mit größerem Durchmesser (3,25 bis 5 mm)
⑩	-	für Schweißelektroden mit sehr großem Durchmesser (über 5 mm), für Schutzgas-Lichtbogenschweißen mit geringen Stromstärken
⑪	-	für Schweißelektroden mit sehr großem Durchmesser (über 5 mm), Kohle-Elektroden und für Schutzgas-Lichtbogenschweißen mit hohen Stromstärken
12	-	für Elektroden mit besonders starker Lichtentwicklung
13	-	für Warmschweißarbeiten an Stükken mit großen Wanddicken
14	-	-

*) Die gebräuchlichsten Filter sind durch ◯ gekennzeichnet

Bild 11.1 Schutzstufen-Kennzeichen für Schweißerschutzgläser

Verzeichnis der DIN- und TNL-Unterlagen für die Schweißtechnik (Stand Aug.1960)

DIN-Blätter

DIN	1910	Blatt 1	Schweißen. Schweißverfahren. Allgemeine Einteilung.
		Blatt 2	Schweißen. Schweißverfahren für Metalle.
		Blatt 3	Schweißen. Schweißverfahren für Kunststoffe.
DIN	1911 (E)		Metallschweißen, Preßschweißen. Begriffe, Sinnbilder und zeichn. Darstellung.
DIN	1912	Blatt 1	Metallschweißen, Schmelzschweißen, Verbindungsschweißen. Begriffe, Sinnbilder und zeichn. Darstellung.
	(E)	Blatt 3	Schmelzschweißen, Auftragsschweißen. Begriffe, Sinnbilder und zeichn. Darstellung.
DIN	8520 (E)		Azetylenerzeugungsanlagen. Begriffe, Bau- und Betriebsmerkmale.
DIN	2559 (E)		Stumpfschweißen an geschweißten druckführenden Rohren. Richtlinien für Fugenformen.
DIN	4100		Geschweißte Stahlhochbauten. Berechnung und bauliche Durchbildung.
DIN	4115		Stahlleichtbau und Stahlrohrbau im Hochbau. Richtlinien für die Zulassung, Ausführung und Bemessung.
DIN	8551	Blatt 1	Schweißnahtvorbereitung, Richtlinien für Fugenformen. Offenes Lichtbogenschweißen von Hand an Stählen.
		Blatt 2	desgl. Gasschweißen an Stählen.
	(E)	Blatt 3	desgl. Schweißen mit Tiefeinbrandelektroden an Stählen.
	(E)	Blatt 4	desgl. Unterpulverschweißen an Stählen.
DIN	8553 (Vorbereit.)		Schweißen plattierter Stähle.
DIN	8558 (Vorbereit.)		Schweißverbindungen für Behälter und Rohrleitungen. Richtlinien.
DIN	1913	Blatt 1	Lichtbogen-Schweißelektroden für Verbindungsschweißen. Schweißelektroden für Stahl, unlegiert und niedriglegiert.
		Blatt 2	Lichtbogenschweißelektroden für Verbindungsschweißen. Prüfung der Elektrode, Schweißgutprobe.
DIN	8554	Blatt 1	Gasschweißdrähte für Verbindungsschweißen von Stählen. Bezeichnung, Technische Lieferbedingungen.
		Blatt 2	desgl. Prüfung des Schweißdrahts, Schweißgutprobe.

DIN 8541	Gasschweißgeräte. Schläuche.
DIN 8542	desgl. Schlauchanschluß und Schlauchverbindung.
DIN 8543	desgl. Schweiß- und Schneidbrenner (Saugbrenner).
DIN 8546	Gasschweißgeräte. Druckminderer für Gasflaschen.
DIN 8547	Gasschweißgeräte. Druckminderer-Anschlüsse für Gasflaschen, Anschlußmaße.
DIN 8549	Gasschweißgeräte. Betriebsmanometer mit Rohrfeder.
DIN 44751	Stumpfschweißmaschinen. Baugrößen.
DIN 44752 (Vornorm)	Stumpfschweißmaschinen. Begriffe und Bewertungsrichtlinien.
DIN 44753	Elektroschweißmaschinen und -geräte, Widerstandsschweißmaschinen, Punkt- und Nahtschweißmaschinen und -geräte, Schweißpressen. Begriffe und Bewertungsrichtlinien.
DIN 4664	Nahtlose Stahlflaschen für verdichtete Gase.
DIN 4666	Nahtlose Stahlflaschen für Azetylen.
DIN 8505	Löten. Verfahren, Temperaturen, Benennungen.
DIN 53922	Kalziumkarbid.
DIN 50120	Zugversuch an schmelzgeschweißten Stumpfnähten.
DIN 50121	Faltversuch an schmelzgeschweißten Stumpfnähten.
DIN 50122	Kerbschlagbiegeversuch an schmelzgeschweißten Stumpfnähten.
DIN 50123	Zugversuch an Schmelzschweißverbindungen.
DIN 50124	Scher-Zugversuch an Punktschweißnähten (Leichtmetall).
DIN 50127	Kerbzug-, Rohr-Kerbzug- und Kerbfaltprobe sowie Winkelprobe und Keilprobe zur Beurteilung von schmelzgeschweißten Stumpf- und Kehlnähten.
DIN 50128 (E)	Zeitstandversuch an schmelzgeschweißten Stumpfnähten.
DIN 50129	Bestimmung der Warmrißbeständigkeit von Schweißzusatzwerkstoffen.
DIN 54110	Richtlinien für die Beurteilung der Bildgüte von Röntgen- und Gammafilmaufnahmen an metallischen Werkstoffen.

DIN 54111		Richtlinien für die Prüfung von Schweißverbindungen metallischer Werkstoffe mit Röntgen- und Gammastrahlen.
DIN 54121		Magnetpulver-Prüfung.
DIN 4646		Optischer Strahlenschutz, Augenschutzfilter.
DIN 4647	Blatt 1	Optischer Strahlungsschutz, Augenschutzfilter als Schweißerschutzfilter.

TNL-Blätter

TNL 951 04		Schmelzschweißverbindungen. Begriffe.
TNL 106 45		Schmelzschweißverbindungen. Angaben auf Zeichnungen.
TNL 951 05		Preßschweißverbindungen. Begriffe.
TNL 106 46		Preßschweißverbindungen. Angaben auf Zeichnungen.
TNL 951 20	Blatt 1	Schweißnahtvorbereitung. Fugenformen für Stahl.
	Blatt 2	Schweißnahtvorbereitung. Fugenformen für Leichtmetall.
TNL 951 21		Schmelzschweißen. Schweißnahtvolumen -Schweißgutmengen.
TNL 951 29 (E)		Schweißverfahren für Aluminium und Aluminiumlegierungen. Werkstoffe. Zusatzwerkstoffe.
TNL 951 30		Schweißverfahren für Stahl. Werkstoffe. Zusatzwerkstoffe.
TNL 950 05		Qualifikationsmerkmale für Schweißer.
TNL 950 06 (Vorbereit.)		Prüfungen für Flugzeugschweißer.
TNL 950 08	Blatt 1	Überwachung der Schweißer. Wiederholungsprüfungen für Flugzeugschweißer.
	Blatt 2	Überwachung der Schweißer. Makroschliffprüfung.
	Blatt 3	Überwachung der Schweißer. Schweißerkartei.
TNL 951 51		Beseitigung von Gußfehlern an Gußstücken aus Magnesiumlegierungen.
TNL 139 05		Schweißstäbe. Kennzeichnung.
TNL 139 51		Eisen und Stahl. Schweißelektroden für Verbindungsschweißen, Technische Lieferbedingungen.
TNL 139 25		Leichtmetalle. Schweißdrähte, Schweißstäbe, Technische Lieferbedingungen.

TNL 139 22		Schwermetalle. Hart- und Weichlote, Technische Lieferbedingungen.
TNL 114 20 (E)		Schweißteile aus Stahl. Richtlinien für die Gestaltung.
TNL 951 95 (E)		Schmelzschweißen. Prüfanweisung für schmelzgeschweißte Teile.
TNL 951 86 (E)		Schmelzschweißen. Zulässige Schweißfehler an Schmelzschweißverbindungen.
TNL 951 87		Schmelzschweißen. Beurteilung der Röntgenaufnahmen von Schweißverbindungen. Vorläufige Prüfvorschrift.
TNL 853 22	Blatt 2	Kennzeichnung der Schweißnähte. Schlagstempel.

Literaturverzeichnis

[1] Sudasch, Erich: Schweißtechnik. 2. Aufl., München, Carl Hanser Verlag 1959

[2] Malisius, Richard: Der Weg zum wirtschaftlichen Schweißen. Halle/Saale, VEB Carl Marhold Verlag

[3] Schweißtechnische Richtlinien. ZIS, Halle/Saale, VEB Carl Marhold Verlag

[4] v. Hofe, H.: Schweißverfahren und Schweißtechnik. Schweißen und Schneiden 6 (1956), Seite 183

[5] Thiemer, E.: Das Arcatomschweißgerät, seine Wirkungsweise, Handhabung und Anwendung. AEG-Sonderdruck aus TZ für praktische Metallbearbeitung, 52. Jahrgang

[6] Plöchinger, R.: Ermittlung der Bedingungen für Punktschweißarbeiten. BBC-Nachrichten, Jan./März 1958, Seite 15 bis 21

[7] Masing, Walter: Probleme der Steuerungstechnik von Widerstandsschweißmaschinen. Schweißen und Schneiden 7 (1958)

[8] Gengenbach, Otto: Meßtechnische Probleme beim Widerstandsschweißen. Schweißen und Schneiden 1 (1958)

[9] Kiepisch, Lothar: Schrumpfungen und Spannungen beim Schweißen. Deutsche Flugtechnik 7 (1959), Seite 203 bis 210

[10] DIN- und TNL-Normenwerk

Bildnachweis

5.7, 5.8, 5.18, 5.82	Sudasch, Erich: Schweißtechnik. 2. Aufl., München, Carl Hanser Verlag 1959
5.36, 5.37, 5.81	Prospektausschnitte, Fa. Messer, Frankfurt a. M.

5.72, 5.73, 5.74, 5.75, 5.76, 5.77, 5.84 bis 5.96	ZFA, VEB FWD
8.1, 8.2, 8.3, 8.4, 8.5, 8.6, 8.7	Kiepisch, Lothar: Schrumpfungen und Spannungen beim Schweißen. Deutsche Flugtechnik 7 (1959), Seite 203 bis 210

Sachwörterverzeichnis

Aluminium
-oxydhaut 18
Gasschweißen von - 18
Wärmeleitfähigkeit von - 19
Warmfestigkeit von - 19
Aluminium-Schweißteile
Nachbehandlung der - 20
Vorbehandlung der - 20
Arbeitsschutz-bestimmungen 82f.
Arcatom-Schweißen 42ff.
-Schweißanlage 43
Argon 38f.,60
-Nachströmzeiten 39
Argonarc-Schweißen 35ff.
-Schweißanlage 37
Augenschutz-gläser 83f.
-filter 83f.
Azetylen 9ff.

Beanspruchungsklassen 7
Bewegungsvorrichtungen 79

CO_2-Schweißen 61

Dickenschrumpfung 75
Dissousgas 11
Druckminderventil 13
Azetylen- 13f.,29
Sauerstoff- 13,29

Einbrand 23
Elektroden (E-Schweißen) 22f.
-zange 30
- für Arbeitsmittel 35
- für Luftfahrt-werkstoffe 31ff.
kalkbasisch umhüllte - 31
Kb- 31
Umhüllung der - 30f.
Wesen der - 30ff.
Elektroden (WP- und WR-Schweißen) 59
-arme 58
-form 59
-werkstoff 59
Elektrodendruck 52,54,56
-fläche 54
-verlauf 54

Fensteröffnung 58
Flammen-hülle 16
-leistung 9
Flaschengas 11
Flußmittel 18

Gasschläuche 14
Gasschweißen 9ff.
Durchführung des -s 15
Gleichrichterwirkung 40
Güteklassen 7

Heftvorrichtungen 79

Ignitronschalter 55

Kalt-Preßschweißen 5
Karbid 10f.
-erzeugung 10f.
Kalzium- 11
Kraftfluß 70

Längsschrumpfung 75
Leerlaufspannung 25,27
Lichtbogen
Arcatom- 43
entwickelter Arcatom- 45
Gleichstrom- 22
unentwickelter Arcatom- 45
Wechselstrom- 22
Blaswirkung des -s 23
Temperatur im - 22
Vorgänge im - 22
Lichtbogenschweißen 22ff.
Edelgas- 35
LW-Blätter 4,67
LW-Leistungsblätter 4,67

Metallschweißen 5
Metallschweißverfahren, Einteilung der 8
MIG-Schweißen 60

Nahtvorbereitung 21,30
Normallage 71,79

Oszillogramme 26

Preßschweißen 5,9
Programmsteuerung 56
Prüf-anweisung für Schweißnähte 81
-gruppen 7,80
-technologien 82
-verfahren 81
Punkt-schweißbarkeit 49
-schweißzange 58,64

Quer-schnittübergänge 70
-schrumpfung 74ff.

Reduzierende Zone 16

Sauerstoff 12f.
Scherzugfestigkeit 51
Schmelzschweißen 5,9ff.
Schrumpfmaß 76
Schweißbrenner 14
Arcatom- 44
Injektor- 14
Niederdruck- 14
Wechsel- 14
Schweiß-draht 21
-eignung der Werkstoffe 67f.
Schweißen
Nachlinks- 16
Nachrechts- 17
Werkstofffragen beim - 67f.
Schweißer
-paß 2f.
Flugzeug- 2
Qualifikation der - 2
TNL zur Überwachung der - 3
Schweißfachingenieur 2
Schweißflamme 9
- mit Azetylenüberschuß 15
- mit Sauerstoffüberschuß 15
Abheben der - 16
Eigenschaften der - 15
neutrale - 15
Schweiß-folgepläne 78
-geräte 3
Schweißgeschwindigkeit 17
zu geringe - 17
zu hohe - 18

Schweiß-gleichrichter 28f.
-kabel 30
Schweißkonstruktionen 5,69
beanspruchungsgerechte Gestaltung von - 70
fertigungsgerechte Gestaltung von - 70f.
werkstoffgerechte Gestaltung von - 73
Schweißlinse 47f.
Schweißpunkt 48
-festigkeit 50
-qualität 50
Schweißmaschinen 52f,55,58
Naht- 58,63f.
Punkt- 58,63f.
Anschlußarten der - 53
Bewertung der - 58
Schweißschrumpfungen 74ff.
Arten der - 74
Berücksichtigung der - 75ff.
Ursachen der - 75ff.
Schweiß-spannungen 67,74ff.
-spiel 52,55ff.
-strom 25,52ff.
-stromerzeuger 24ff.
-teil-Güteprüfer 3,82
-transformator 27,29
Schweißumformer 24ff.
Eingehäuse- 25,29
dynamische Eigenschaften eines -s 26
statische Charakteristik eines -s 25
Schweißumspanner 27,29
Schweißverfahren 1
Sonder- 60
Kurzzeichen für - 6
Übersicht über - 8
Wahl des -s 67
Schweiß-vorrichtungen 79f.
-wärme 67f.
-werkstoffe 4
-zeit 52,54
Siebkondensator 37,40
SIGMA-Schweißen 60
-Schweißanlage 60,64
Spannvorrichtungen 79

Thermocolor-Farbstifte 19

Ueberkopfschweißungen 79
Unfallverhütung 82f.
UP-Schweißen 61
-Schweißanlage 61

Verblitzen 83
Verwerfen 74ff.
Verzug 74ff.

Wärmebehandlungs-vorschriften 4,69
Wannenlage 71,79
Wasserstoff 45
Wendevorrichtungen 79
Werkstückanschlußzwinge 30
Widerstands-Nahtschweißen 47
-Punktschweißen 47ff.
WIG-Schweißen 35
- von Leichtmetall 39
Besonderheiten beim - 39
Winkelschrumpfung 75
Wolframelektroden 37f.,42,45
Strombelastbarkeit der - 38
Wurzellage 39

Zeitgeber 56
Zusatzwerkstoffe
- für die Arcatom-Schweißung 47
- für die Argonarc-Schweißung 42
- für die Gasschweißung 21
- für die Lichtbogenschweißung 30

ZENTRALSTELLE FÜR LITERATUR UND LEHRMITTEL

Vorträge und Abhandlungen

1. Obering. Strobel:	Neuzeitliche Konstruktionen und Bauweisen im Flugzeugbau Bestell-Nr. 7001	DM 1,25
2. Prof. Dr. phil. Cordes:	Das Strahltriebwerk als Flugzeugantrieb Bestell-Nr. 7002	DM 1,30
3. Prof. Dr.-Ing. Backhaus:	Einführung in Probleme der aerodynamischen Flugzeuggestaltung Bestell-Nr. 7003	DM 1,30
4. Dipl.-Ing. Schmitt:	Schwingungsprobleme im Flugzeugbau Bestell-Nr. 7006	DM 1,25
5. Dr.-Ing. Strauss:	Windkanäle als Arbeitsmittel für die Flugzeugentwicklung Bestell-Nr. 7007	DM 1,75
6. Obering. Griebsch:	Die Perspektive der Flugzeugfertigung Bestell-Nr. 7008	DM 1,50
7. Dipl.-Ing. Günther:	Festigkeitsprobleme des modernen Flugzeugbaus Bestell-Nr. 7009	DM 1,50
8. Dr.-Ing. Lehmann:	Einige aerodynamische und flugmechanische Probleme des Verkehrsflugzeugbaus Bestell-Nr. 7010	DM 1,25
9. Dr. rer. nat. Grochalski:	Ausnutzungsmöglichkeiten der Atomenergie für den Antrieb von Flugzeugen Bestell-Nr. 7011	DM 1,50
10. Dipl.-Ing. Jürgens:	Diesseits und jenseits der Schallmauer - Aerodynamische Vorgänge bei Unter- und Überschallgeschwindigkeit Bestell-Nr. 7012	DM 1,00
11. Ing. Hauthal:	Die technische Gamma-Durchstrahlung und die Perspektiven ihrer Anwendung in der Luftfahrtindustrie Bestell-Nr. 7013	DM 1,00
12. Ing. Paasch:	Einführung in das Gebiet Festigkeitsvorschriften für Flugzeuge Bestell-Nr. 7017	DM 1,00
13. Dr.-Ing. Mansfeld:	Organisation und Technik der Flugsicherung Bestell-Nr. 7019	DM 1,50
14. Prof. Dr.-Ing. Claussnitzer:	Flugzeuggeräte und elektrische Ausrüstung von Flugzeugen (ein Überblick) Bestell-Nr. 7015	ca. DM 1,50

Lehrschriften für die Berufsausbildung und Qualifizierung

1.	Dipl.-Ing. oec. Hehl, Dipl.-Ing. oec. Wintruff:	Bedeutung des Flugzeugs und Flugzeugbaus in unserer Zeit Bestell-Nr. 7201 DM 1,50
2.	Dipl.-Gwl. Günther:	Einteilung und vergleichende Übersicht der Flugtriebwerke Bestell-Nr. 7212 DM 1,00
3.	Dipl.-Ing. Berthold Dipl.-Gwl. Günther:	Physikalische Grundlagen der Flugzeugantriebe Bestell-Nr. 7219 DM 1,00
4.	Ing. Römer:	Korrosion und Korrosionsschutz unter besonderer Berücksichtigung des Flugzeugbaus Bestell-Nr. 7213 DM 2,00
5.	Dipl.-Ing. Kleiber:	Elektrische Ausrüstung im Flugzeug Bestell-Nr. 7229 DM 2,50
6.	Dipl.-Ing. Richter:	Grundlagen der elektrischen Bordgeräte Bestell-Nr. 7227 DM 2,25
7.	Ing. Hückel Dipl.-Gwl. Förster:	Stahl und Eisen unter besonderer Berücksichtigung des Flugzeugbaus Bestell-Nr. 7202 DM 2,50
8.	Dipl.-Ing. Hoffman:	Aufbau des Tragflügels Bestell-Nr. 7208 DM 1,50
9.	Lehmann, Joachim:	Normalnieten Bestell-Nr. 7304 DM 1,00

Bestellungen, möglichst Sammelbestellungen, nehmen für die Mitarbeiter der Luftfahrtindustrie die Technischen Kabinette in den Werken oder andere dafür bestimmte Abteilungen entgegen. Alle anderen Interessenten geben ihre Bestellungen bei der Zentralstelle für Literatur und Lehrmittel, Abteilung Bestell- und Lieferwesen, Dresden N 2, Postfach 40, auf.

Schmelzschweißverbindungen

Begriffe

TNL 951 04

Als Grundlage für die Ausarbeitung benutzt: DIN 1912 Blatt 1 (Mai 1956)

In diesem Standard sind einheitliche Begriffe für Schmelzschweißverbindungen festgelegt. Die Bilder dienen nur zur Erläuterung der Begriffe, sie dürfen nicht als Muster für zeichnerische Darstellungen in Fertigungsunterlagen verwendet werden.

1 Grundbegriffe

Die zu verschweißenden Teile werden am Schweißstoß durch Schweißnähte zu einem Schweißteil (geschweißtes Bauteil) vereinigt.

Eine Schweißgruppe entsteht durch Verschweißen von Schweißteilen.

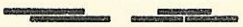
Die fertige Schweißkonstruktion kann aus einer oder mehreren Schweißgruppen bestehen.

2 Schweißstoß

Der Schweißstoß ist der Bereich, in dem die Teile miteinander verschweißt werden.

2.1 Stoßart

Die Stoßart wird durch die konstruktive Anordnung (Verlängerung, Verstärkung, Abzweigung) der Teile zueinander bestimmt.

2.11 Stumpfstoß	Die Teile liegen in einer Ebene	
2.12 [1] Überlappstoß	Die Teile überlappen sich	
2.13 [1] Parallelstoß	Die Teile liegen breitflächig aufeinander	
2.14 T-Stoß	Zwei Teile, davon eins mit seinem Ende, stoßen rechtwinklig aufeinander	
2.15 Kreuzstoß	Zwei in einer Ebene liegende Teile stoßen je mit einem Ende rechtwinklig gegen ein dazwischenliegendes drittes	
2.16 Schrägstoß	Ein Teil stößt mit seinem Ende schräg gegen ein anderes	
2.17 Eckstoß	Zwei Teile stoßen mit ihren Enden unter beliebigem Winkel gegeneinander	
2.18 Mehrfachstoß	Drei oder mehr Teile stoßen mit ihren Enden unter beliebigem Winkel aneinander	[1]

[1] Nicht für Flugwerk und Triebwerk zugelassen

3 Schweißnaht

Die Schweißnaht verbindet die Teile am Schweißstoß; sie besteht aus aufgeschmolzenem Grundwerkstoff und in den meisten Fällen aus eingeschmolzenem Zusatzwerkstoff.

3.1 Nahtart

Die Nahtart wird

a) durch Lage der Teile am Schweißstoß

b) durch Art und Umfang einer besonderen Nahtvorbereitung

bestimmt.

3.11 Stumpfnaht

Die Teile bilden am Schweißstoß eine Fuge. Nach der Vorbereitung unterscheidet man:

3.111 Stumpfnaht ohne besondere Vorbereitung

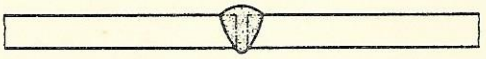


Bild 1 I-Naht

3.112 Stumpfnaht mit Bördelvorbereitung

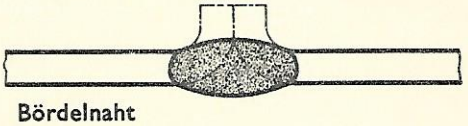


Bild 2 Bördelnaht

3.113 Stumpfnaht mit Fugenvorbereitung

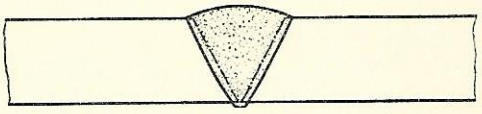


Bild 3 Beispiel: V-Naht

Unbefugte Verwendung und Vervielfältigung ist strafbar und macht schadenersatzpflichtig

Schmelzschweißverbindungen, Angaben auf Zeichnungen siehe TNL 106 45 Fortsetzung Seite 2 bis 5

3.12 Stirnnaht

Die Teile liegen flächig und am Schweißstoß bündig aufeinander und werden an ihren Stirnflächen miteinander verschweißt. Man unterscheidet:

3.121 Stirnnaht ohne besondere Vorbereitung[1])

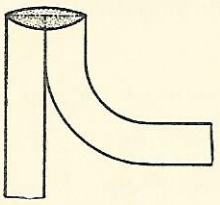


Bild 4 Stirn-Flachnaht

3.122 Stirnnaht mit Fugenvorbereitung[1])

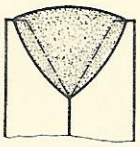


Bild 5 Stirn-Fugennaht

3.13 Kehlnaht

Die Teile bilden am Schweißstoß eine Kehle zur Aufnahme der Schweißnaht. Man unterscheidet zwischen Kehlnaht und Doppelkehlnaht (siehe Bild 6 und 7). Einen Sonderfall bildet die Ecknaht (äußere Kehlnaht), siehe Bild 8.

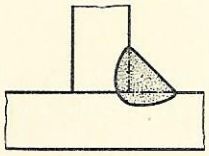


Bild 6 Kehlnaht

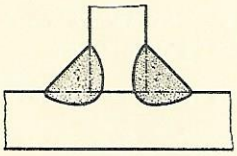


Bild 7 Doppelkehlnaht

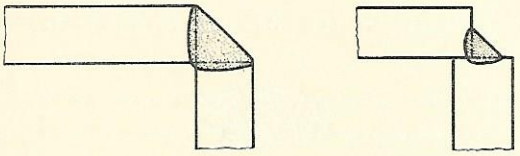


Bild 8 Ecknaht (äußere Kehlnaht)

3.2 Nahtform

Die Nahtform ergibt sich aus der zweckmäßigen Gestaltung (Vorbereitung) der Teile am Schweißstoß, wie sie zur Ausführung der Schweißung benötigt wird. Sie hängt ab von der Werkstoffart, Werkstoffdicke, Beanspruchung, Schweißart und dem Schweißverfahren. Die wichtigsten Begriffe sind in Bild 9 bis 15 erläutert (die umrahmten Ausdrücke beziehen sich auf Flächen).

Schweißnahtvorbereitung, Nahtformen für Stahl siehe TNL 951 20 Blatt 1

Schweißnahtvorbereitung, Nahtformen für Leichtmetall siehe TNL 951 20 Blatt 2

3.21 Nahtform für Stumpfnähte

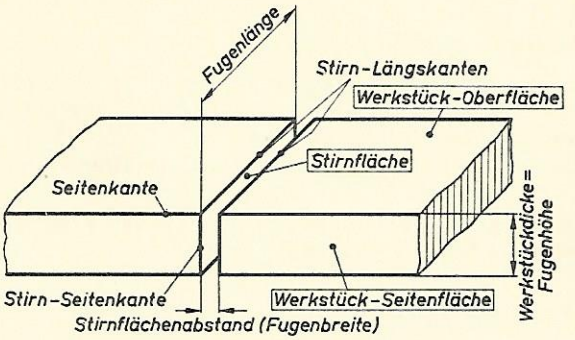


Bild 9 Nahtform für I-Naht (ohne besondere Vorbereitung)

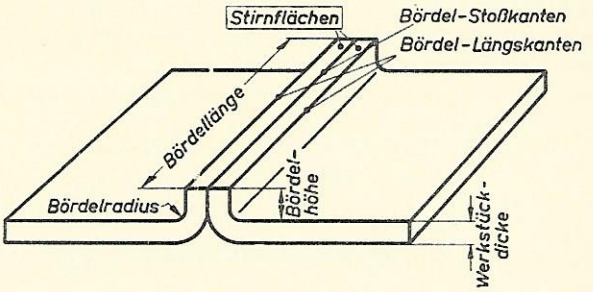


Bild 10 Nahtform für Bördelnaht

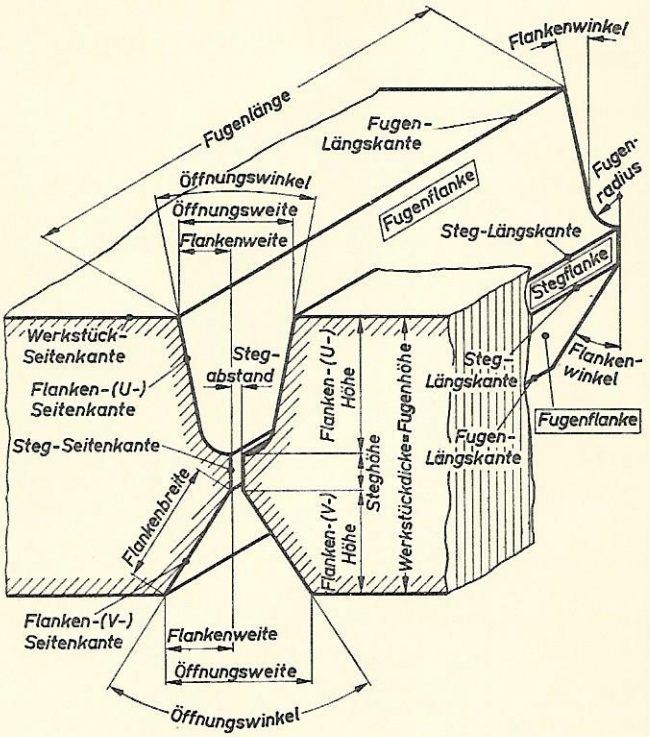


Bild 11 Nahtform für Fugennähte[2])

[1]) siehe Seite 1

[2]) Die Darstellung ist nicht als Ausführungsform einer Naht gedacht.

3.22 Nahtform für Stirnnähte

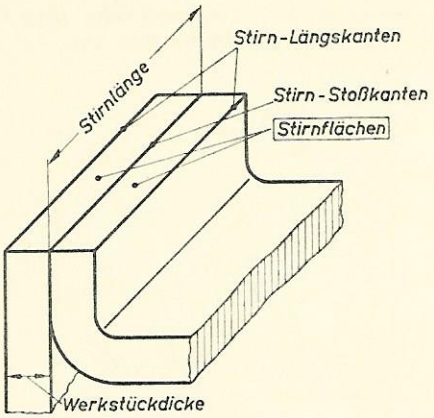


Bild 12 Nahtform für Stirnflachnaht (ohne besondere Vorbereitung)[1])

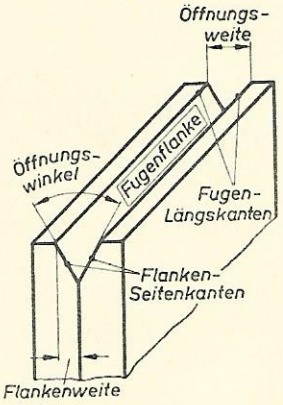


Bild 13 Nahtform für Stirnfugennaht[1])

3.23 Nahtform für Kehlnähte und Doppelkehlnähte

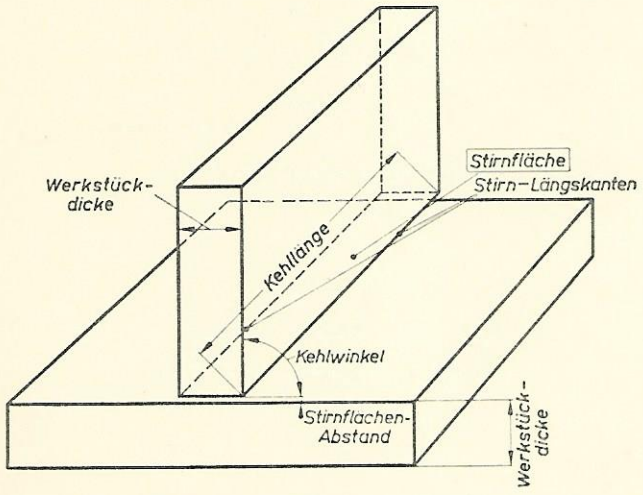


Bild 14 Nahtform für Kehlnaht und Doppelkehlnaht

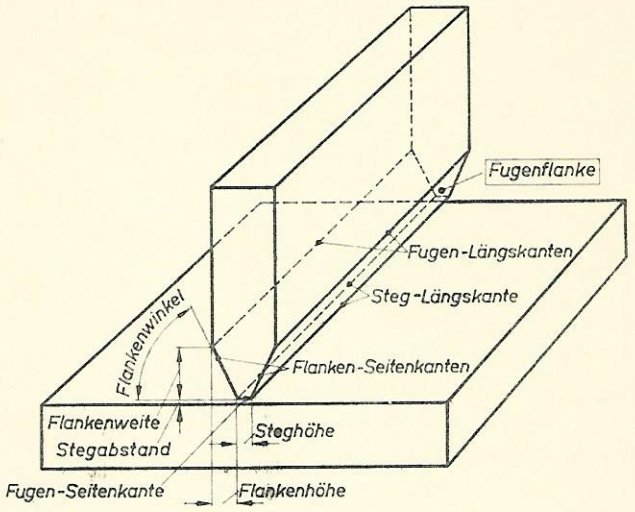


Bild 15 Nahtform für K-Naht mit Doppelkehlnaht

3.3 Nahtausführung

3.31 Nahtaufbau und Lagenfolge

Die Schweißnähte werden durch einzelne Raupen in einer oder mehreren Schweißlagen aufgebaut. Die wichtigsten Begriffe gehen aus Bild 16 bis 26 hervor.

3.311 Stumpfnaht

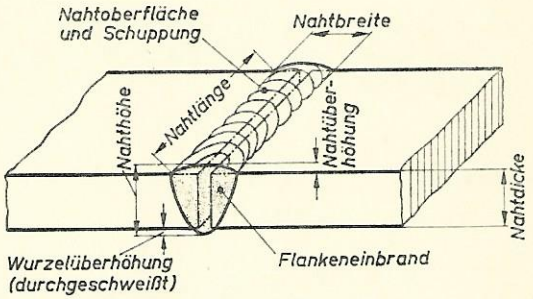


Bild 16 I-Naht, einseitig durchgeschweißt

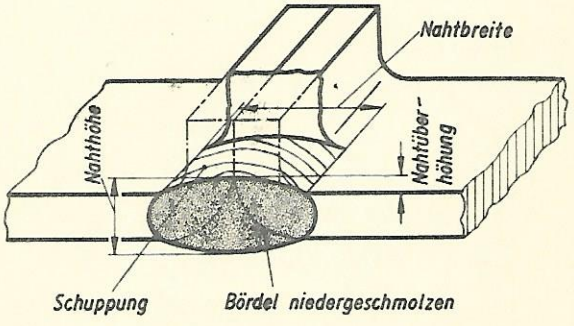


Bild 17 Bördelnaht

[1]) siehe Seite 1

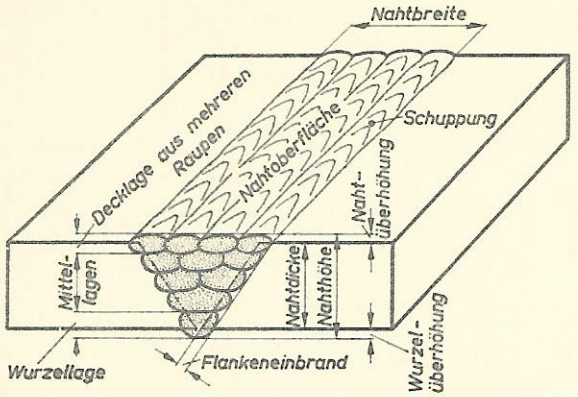


Bild 18 V-Naht (Nahtaufbau schematisch)

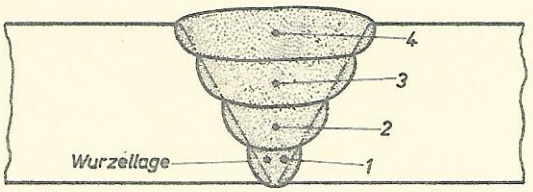


Bild 19 Lagenfolge für V-Naht, einseitig durchgeschweißt. (Beispiel.) Die Zahlen geben die Lagenfolge an.

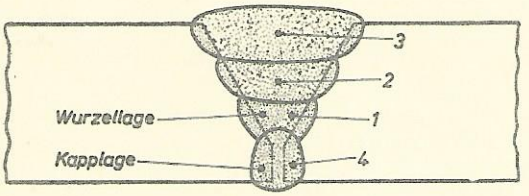


Bild 20 Lagenfolge für V-Naht mit Steg, Kapplage gegengeschweißt. (Beispiel.) Die Zahlen geben die Lagenfolge an.

3.312 Stirnnaht

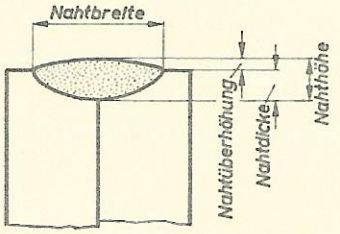


Bild 21 Stirn-Flachnaht [1])

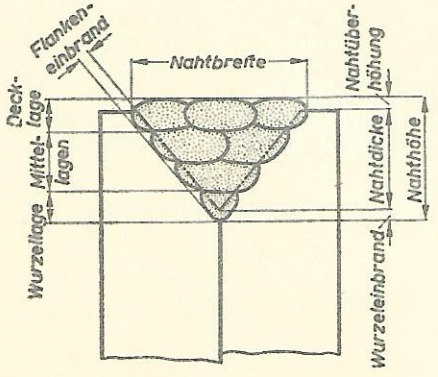


Bild 22 Stirn-Fugennaht [1])

[1]) siehe Seite 1

3.313 Kehlnaht

Der Nahtaufbau ist von der Schweißposition abhängig. Je nach Nahtquerschnitt unterscheidet man Flachnaht, Wölbnaht und Hohlnaht (siehe Bild 26).

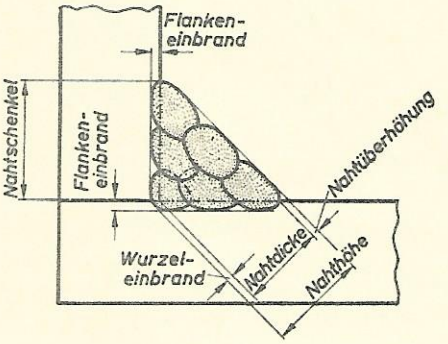


Bild 23 Kehlnaht, horizontal (h) geschweißt

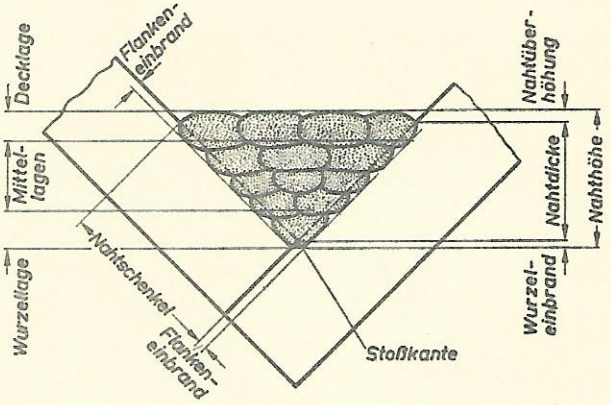


Bild 24 Kehlnaht, in Wannenposition (w) geschweißt

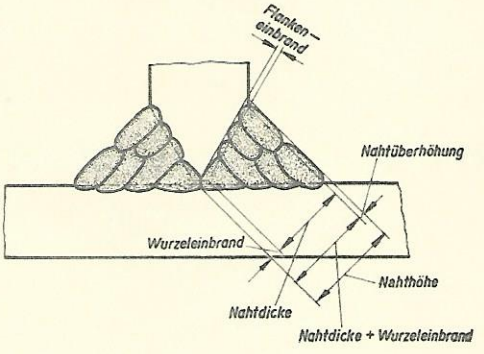


Bild 25 K-Naht mit Doppelkehlnaht

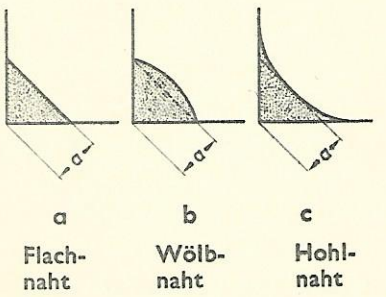


Bild 26 Nahtquerschnitte für Kehlnähte

3.32 Nahtverlauf

3.321 Durchlaufende Nähte

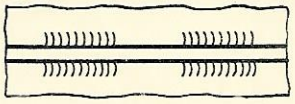
Die Nähte sind in ihrer ganzen Länge nicht unterbrochen.

3.322 Unterbrochene Nähte

Die Nähte sind in ihrer Länge durch gleichmäßig verteilte Strecken unterbrochen.

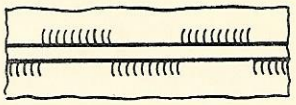
3.3221 Unterbrochene Nähte **gegenüberliegend**[1])

Die verschweißten Strecken von Doppelkehlnähten liegen einander gegenüber



3.3222 Unterbrochene Nähte **versetzt**[1])

Die verschweißten Strecken von Doppelkehlnähten sind gegeneinander versetzt.



4 Maßbuchstaben

In technischen Schriftsätzen, z. B. Standards, Berechnungen, sind folgende Maßbuchstaben zu verwenden:

a = Nahtdicke (Bild 16, 18, 21, 22, 23, 24, 25 und 26)

b = Stegabstand (Bild 11)
Nahtbreite (Bild 16, 17, 18, 21 und 22)

c = Steghöhe (Bild 11)
Bördelhöhe (Bild 10)

l = Nahtlänge (Bild 16 und 27)
als Nahtlänge l gilt der Teil der Naht, der den vollen verlangten Querschnitt aufweist (ohne Endkrater)

z = Abstand zwischen zwei Nahtlängen l bei unterbrochenen Nähten (Bild 27)

e = Teilung bei unterbrochenen Nähten = $l + z$ (Bild 27)

n = Anzahl der Teilschweißungen bei unterbrochenen Nähten

L = Fugenlänge (Bild 9 und 11)
Bördellänge (Bild 10)
Kehllänge (Bild 14)
Stirnlänge (Bild 12)

Als weitere Maßbuchstaben können verwendet werden:

$\Delta a'$ = Nahtüberhöhung (Bild 16, 17, 18, 21, 22, 23, 24 und 25)

a' = Nahtdicke a + Wurzeleinbrand (Bild 23, 24 und 25)

f = Flankenbreite (Bild 11)

h = Flankenhöhe (Bild 11)

k = Stirnflächenabstand (Bild 14)
Stegabstand (Bild 15)

r = Fugenradius (Bild 11)
Bördelradius (Bild 10)

s = Werkstückdicke (Bild 10, 11, 12 und 14)

v = Flankenweite (Bild 11 und 15)

w = Öffnungsweite (Bild 11 und 13)

w' = Nahtbreite (Bild 16, 17, 18, 21 und 22)

α = Öffnungswinkel (Bild 11 und 13)
Kehlwinkel (Bild 14)

β = Flankenwinkel (Bild 15).

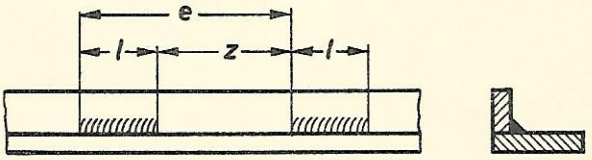


Bild 27 Unterbrochene Kehlnaht[1])

[1]) siehe Seite 1

Preßschweißverbindungen

Begriffe

TNL 951 06

Als Grundlage für die Ausarbeitung benutzt: DIN 1911 Ausgabe 10.59

In diesem Standard sind einheitliche Begriffe für Preßschweißverbindungen festgelegt.

Die Bilder dienen nur zur Erläuterung der Begriffe, sie dürfen nicht als Muster für zeichnerische Darstellungen in Fertigungsunterlagen verwendet werden.

1 Grundbegriffe

Die zu schweißenden Teile werden am Schweißstoß durch einzelne getrennte Schweißstellen oder durch Schweißnähte zu einem Schweißteil (geschweißtes Bauteil) vereinigt.

Eine Schweißgruppe entsteht durch Verschweißen von Schweißteilen.

2 Schweißstoß

Der Schweißstoß ist der Bereich, in dem die Teile durch Schweißen miteinander verbunden werden.

Seine Art wird durch die Anordnung der Teile am Schweißstoß bestimmt.

2.1 Stumpfstoß

Die Teile liegen in einer Ebene und werden an den Stoßflächen durch Schweißen verbunden. (Hauptsächlich für Widerstands-Preßschweißen).

2.2 Überlappstoß

Die Teile liegen überlappt und flächig aufeinander und werden

in einzelnen getrennten Schweißpunkten (Punktschweißen, Buckelschweißen)

oder

in sich überschneidenden Schweißpunkten (Nahtschweißen)

verbunden. Das Nahtschweißen kann punktförmig (Steppnaht-Schweißen) oder bandartig (Rollennaht-Schweißen) ausgeführt werden.

2.3 T-Stoß

Eine Stirnfläche des einen Teiles wird mit der Oberfläche des anderen Teiles durch Schweißen verbunden (z. B. Aufschweißen von Bolzen durch Widerstands-Preßschweißen).

2.4 Eckstoß (z. B. Gehrungsstoß)

Zwei Teile stoßen mit ihren Enden unter einem Winkel gegeneinander und werden an den Stoßflächen verschweißt, z. B. durch Abbrenn-Stumpfschweißen.

3 Schweißstelle, Schweißnaht

Schweißstellen bzw. Schweißnähte verbinden die Teile am Schweißstoß. Sie umfassen die Werkstoffbereiche, die an den Stoßflächen auf hohe Schmiedetemperatur erwärmt und durch den Schweißvorgang vereinigt werden.

Beim Stumpfstoß (bei Stumpfnähten) wird der gesamte Bereich an den sich stoßenden Flächen erwärmt und vereinigt, beim Überlappstoß (bei Überlappnähten) werden örtlich begrenzte Bereiche an den aufeinander liegenden Flächen erwärmt und vereinigt, und zwar:

entweder in einzelnen getrennten Schweißpunkten (Heftnaht, Festnaht)

oder in sich überschneidenden Schweißpunkten bzw. bandartigen Schweißungen (Dichtnaht, Festnaht).

Besteht eine Verbindung aus nur einem oder nur wenigen Schweißpunkten, wird sie als Schweißstelle bezeichnet.

Preßschweißverbindungen, Angaben auf Zeichnungen siehe TNL 106 46

Schmelzschweißverbindungen, Begriffe siehe TNL 951 04

Schmelzschweißverbindungen, Angaben auf Zeichnungen siehe TNL 106 45

Fortsetzung Seite 2 bis 4

Unbefugte Verwendung und Vervielfältigung ist strafbar und macht schadenersatzpflichtig

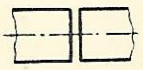
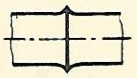
3.1 Nahtart

Die Nahtart wird bestimmt durch

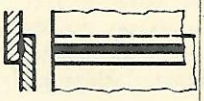
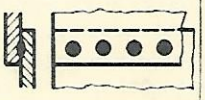
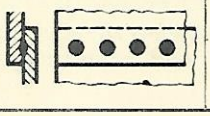
a) die Lage der Teile am Schweißstoß und ihre Vorbereitung

b) das Schweißverfahren.

3.11 Stumpfnaht

Benennung	vor dem Schweißen	nach dem Schweißen	Beispiele für die Herstellungsverfahren
Gratnaht			Abbrenn-Stumpfschweißen
Folien-naht			Nahtschweißen mit Rollenelektroden mit Folie als Beilage

3.12 Überlappnaht

Benennung	vor dem Schweißen	nach dem Schweißen	Beispiele für die Herstellungsverfahren
Stepp-naht			Nahtschweißen mit Punktelektroden
Rollen-naht			Nahtschweißen mit Rollenelektroden
Punkt-naht			Punktschweißen mit Punkt- oder Rollenelektroden
Buckel-naht			Buckelschweißen

3.2 Nahtvorbereitung

Die Naht wird am Schweißstoß so vorbereitet, wie es für die Ausführung der Schweißung zweckmäßig ist. Die Nahtvorbereitung hängt ab von Werkstoffart, Werkstoffdicke, Beanspruchung, Schweißart und dem Schweißverfahren. Die wichtigsten Begriffe gehen aus den Beispielen Bild 1 bis 4 hervor (die umrahmten Ausdrücke beziehen sich auf Flächen bzw. Volumen).

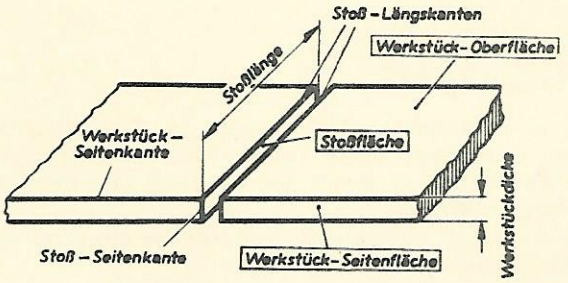


Bild 1. Vorbereitung für Gratnaht

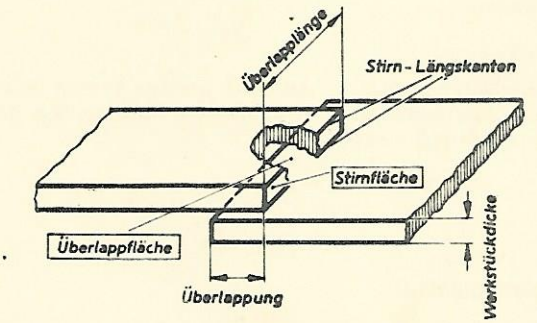


Bild 2. Vorbereitung für Stepp-, Rollen- und Punktnaht

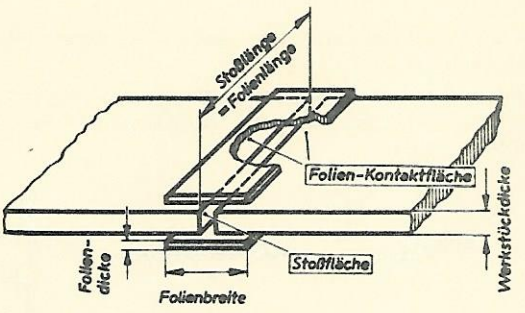


Bild 3. Vorbereitung für Folienstumpfnaht

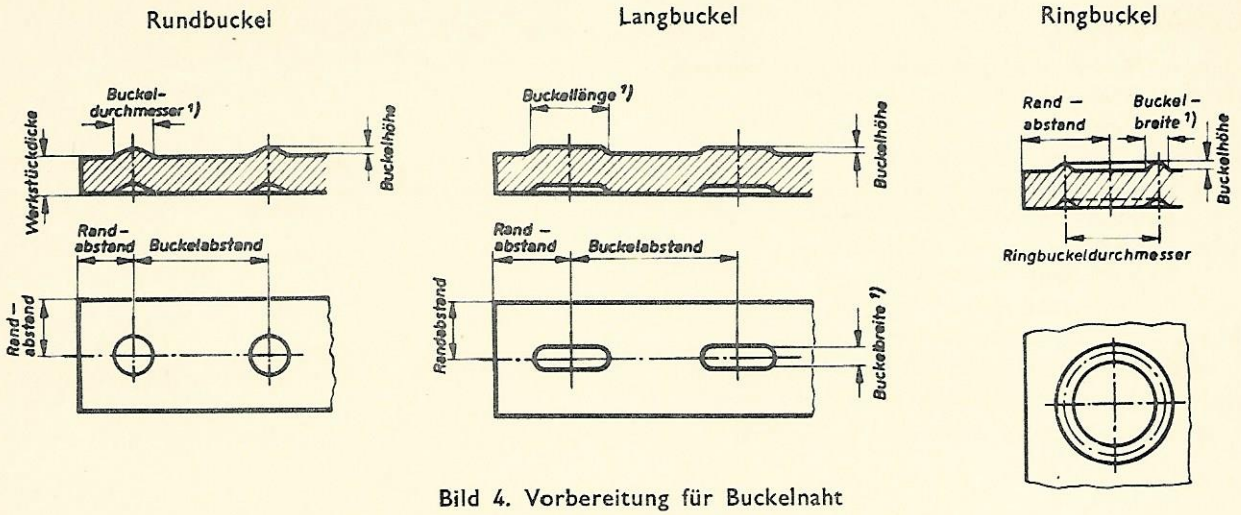


Bild 4. Vorbereitung für Buckelnaht

3.3 Aufbau von Preßschweißungen

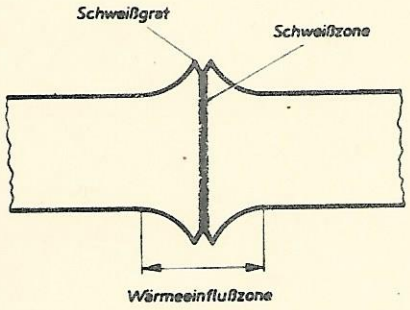


Bild 5. Gratnaht

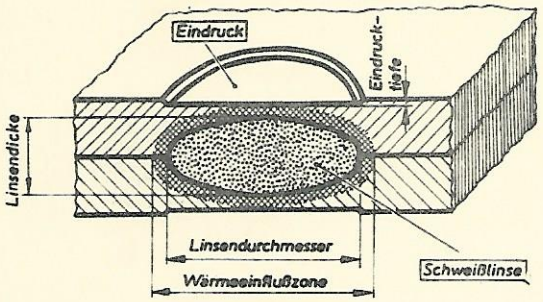


Bild 6. Schweißpunkt

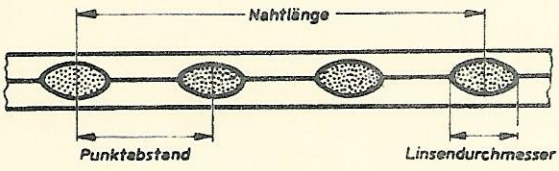


Bild 7. Punktnaht

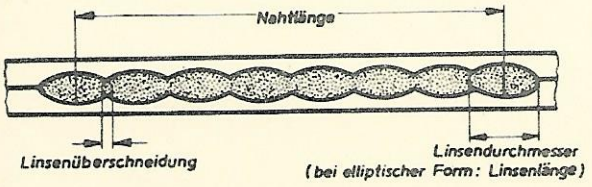
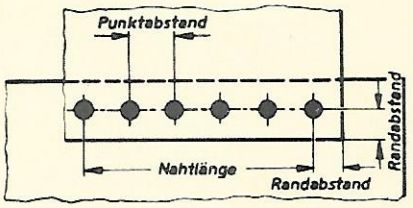
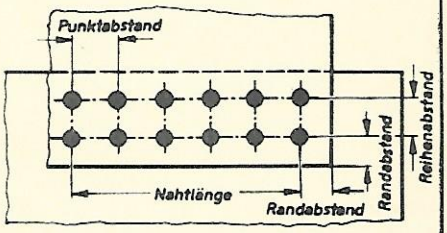
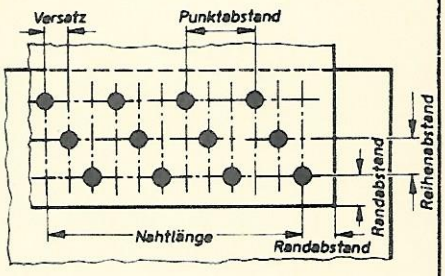


Bild 8. Rollen- und Steppnaht

3.4 Nahtverlauf

Benennung	Bild
Einreihige Punktnaht	
Zweireihige Punktnaht	
Dreireihige versetzte Punktnaht	

4 Schweißzeichen (Sinnbild)

Die Nahtformen werden durch Sinnbilder nach TNL 106 46 gekennzeichnet.

[1]) Buckeldurchmesser, -breite und -länge sind in halber Buckelhöhe zu messen.

5 Maßbuchstaben

In technischen Schriftsätzen, z.B. Standards, Berechnungen, sind folgende Maßbuchstaben zu verwenden:

- a = Randabstand (siehe Bild 4 und Abschnitt 3.4)
- b = Überlappung (siehe Bild 2)
- d = Linsendurchmesser (siehe Bild 6, 7 und 8)
  Buckeldurchmesser (siehe Bild 4)
- e_1 = Punktabstand (siehe Abschnitt 3.4)
  Buckelabstand (siehe Bild 4)
- e_2 = Reihenabstand (siehe Abschnitt 3.4)
- h = Buckelhöhe (siehe Bild 4)
- l = Nahtlänge (siehe Bild 7, 8 und Abschnitt 3.4)
- n = Anzahl der Schweißpunkte einer Punktreihe
- s = Werkstückdicke (siehe Bild 1, 2 und 3)

Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung

Format: pdf, A4, Klammerheftung
Anzahl der Seiten: 86
Erscheinungsjahr: 1961
Autor: Ing. Heinz Hauthal
Herausgeber: Forschungszentrum der Luftfahrtindustrie
Besitzer des Dokuments: Volker Schwerdt
Gescannt und bearbeitet: Volker Schwerdt