SAMMLUNG GÖSCHEN BAND 1020

Die elektrischen Schweißverfahren

Von

Berat. Ing. Hans Niese VBI

Zweite Auflage

Neu bearbeitet von

Ing. Hans Dienst VDI

Mit 58 Abbildungen

WALTER DE GRUYTER & CO.

vormals G. J. Göschen'sche Verlagshandlung. J. Guttentag, Verlagsbuchhandlung. Georg Reimer. Karl J. Trübner. Veit & Comp.

Berlin 1955

Alle Rechte, einschl. der Rechte der Herstellung von Photokopien und Mikrofilmen, von der Verlagshandlung vorbehalten.

Archiv-Nr. 111 020
Druck: Buchkunst, Berlin W 35
Printed in Germany

INHALTS - VERZEICHNIS

Seite

Einführung 6

I. Einteilung der Schweißverfahren 7

II. Elektrische Widerstandsschweißung 8
A. Allgemeines 8
B. Elektrische und mechanische Einrichtung der Maschinen 9
1. Stumpfschweißmaschinen 9
2. Punktschweißmaschinen 13
3. Nahtschweißmaschinen 16

III. Lichtbogenschweißung 20
A. Der Lichtbogen und seine Eigenschaften 20
B. Verfahren der Lichtbogenschweißung 23
Benardos — Zerener — Slavianoff — Arcatom — Schutzgasschweißverfahren — Bolzenschweißverfahren — Fesa-Weibel

IV. Maschinen und Geräte für die Lichtbogenschweißung 27
A. Allgemeines 27
B. Stand- und Stoß-Kennlinien 28
C. Mechanischer Aufbau 31
D. Elektrische Ausführung 33
E. Betrieb und Pflege 36
F. Schweißumspanner (Transformator) 36
G. Mehrstellen-Schweißanlagen 40
H. Schweißgleichrichter 41

V. Schweißzubehör 41

VI. Verhalten der Stähle beim Schweißen 42
A. Einteilung, Eigenschaften und Prüfverfahren der Stähle 42
B. Einfluß der Legierungselemente 44
C. Warmbehandlung 46

Seite

VII. Schweißelektroden 51

A. Verschiedene Elektrodenarten 51
nackte, Seelen-, dünn umhüllte, mitteldick und dick umhüllte Elektroden, Sondertypen
B. Normung der Elektroden 59
C. Legierte Stahlelektroden 61
D. Elektroden für Auftragschweißung 62
E. Sonderelektroden 63
Gußeisen-, Leichtmetall-, Kupfer- und Bronze-Elektroden

VIII. Konstruktionselemente 63

A. Verbindungsformen der Schweißnähte 63
B. Schweißzeichen 67
C. Kerbwirkungen 67

IX. Die Technik der Lichtbogenschweißung 68

A. Schweißausführung — Elektrodenführung 68
B Ursachen und Vermeidung von Schweißfehlern 75
C. Die Blaswirkung des Lichtbogens 78
D. Schrumpfspannungen beim Schweißen 81

X. Automatische Schweißverfahren 86

A. Allgemeines 86
B Kohlelichtbogen-Automat 87
C Nacktdraht-Automat 88
D. Manteldraht-Automat 89
E. Verdeckte Lichtbogenschweißung (Ellira-Verfahren) ... 92
F. Schutzgas-Schweißverfahren 97
G. Elin-Hafergut-Verfahren 97
H. Einlege-Schnellschweißverfahren 98
J. Humboldt-Meller-Verfahren 100

XI. Schweißen der Werkstoffe 100

A Stahlschweißung 100
1. Unlegierte Stähle 100
2. Niedrig legierte Stähle (St 52) 102
3. Maschinenbaustähle 103
4. Kesselbaustähle 106

Seite

5. Legierte Stähle 108
a) Niedrig bis mittelhoch legierte Stähle 108
b) Hochlegierte Stähle 108
Rostsichere Stähle — Hitze- und zunderbeständige Stähle
B. Schweißen von Stahlguß 110
C. Auftragschweißung 112
D. Schweißen von Gußeisen 113
E. Schweißen von Nichteisenmetallen 118
1. Leichtmetallschweißung 118
2. Kupferschweißung 119

XII. Das elektrische Brennen und Schneiden 119
Das Brennen mit Sonderelektroden 119
Das Lichtbogen-Sauerstoff-Schneidverfahren 120
Das Unterwasserschweißen und -schneiden 121

XIII. Die Wirtschaftlichkeit der elektrischen Schweißverfahren 122

XIV. Ausbildung der Elektroschweißer 124
A. Schweißerausbildung 124
B. Schweißerprüfung 126

XV. Schweißvorschriften 127

XVI. Unfall-Verhütungsvorschriften 128

XVII. Schweißnahtprüfung 129

Schrifttumsverzeichnis 134

Sachverzeichnis 135

Einführung

Die Anwendung elektrischer Schweißverfahren, deren Einführung kaum mehr als fünfzig Jahre zurückliegt und die nach dem Ersten Weltkrieg in verstärktem Maße einsetzte, gewann infolge der technischen Entwicklung im Stahlhoch- und Brückenbau, Schiffbau, Maschinenbau usw. immer mehr an Bedeutung. In den letzten Jahren ist eine große Zahl neuer Schweißverfahren entwickelt worden, die einerseits eine erhebliche Erweiterung der Schweißtechnik bewirkten, andererseits geeignet sind, ältere Verfahren allmählich zu verdrängen.

Aus diesem Grunde bedurfte die bereits 1930 erschienene erste Auflage dieses Buches einer völligen Neubearbeitung. Die Entwicklung der Schweißtechnik geht aber laufend weiter. Die neueren Verfahren konnten dabei noch nicht alle abschließend dargestellt werden; manche Ergänzung wäre hier noch erforderlich. Es war lediglich möglich, einen Querschnitt durch das umfangreiche Gebiet der Schweißtechnik zu geben, um so die interessierten Kreise mit den verschiedenen zur Zeit gebräuchlichen Verfahren bekannt zu machen und sie zu einer Ausweitung und Vervollkommnung ihrer Arbeitsmethoden anzuregen.

Das umfangreiche Gebiet der Schweißkalkulation wurde fallen gelassen, um eine weitere Einengung der einzelnen Verfahren und ihrer praktischen Anwendungsmöglichkeit zu vermeiden.

I. EINTEILUNG DER SCHWEISSVERFAHREN

Die Anwendungsmöglichkeiten der verschiedenen Schweißverfahren sind sehr vielseitig. Ihr Anwendungsbereich ist u. a. abhängig von der Art des zu schweißenden Werkstoffes, der Werkstoffdicke, der verlangten Schweißnahtgüte und der Konstruktion. Die Vielgestaltigkeit der Schweißausführung in Form, Ausführung und Anwendung hat die Entwicklung vieler Schweißverfahren nach sich gezogen. Zweckentsprechende und wirtschaftliche Anwendung des jeweils günstigsten Verfahrens setzt die Kenntnis seiner Arbeitsweise und Eigenarten voraus.

Die gesamten Schweißverfahren werden in zwei Hauptgruppen — Preß-Schweißung und Schmelz-Schweißung — eingeteilt. Bei der Preß-Schweißung erfolgt die Verbindung meist im teigigen Zustand unter Druckanwendung. Geht die Vereinigung im schmelzflüssigen Zustand vor sich, so spricht man von Schmelz-Schweißung. Die den beiden Hauptgruppen zugehörigen Verfahren sind aus Bild 1 ersichtlich. Bei einigen neueren Schweißverfahren ist

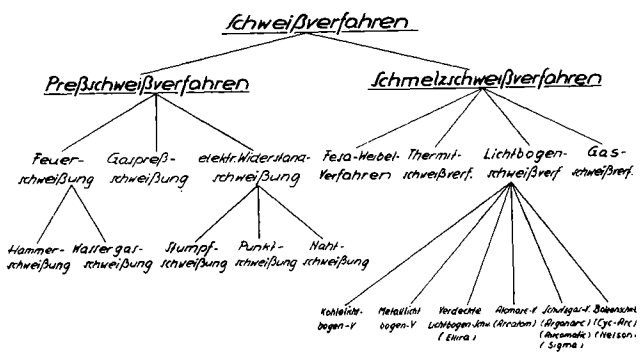

Bild 1: Übersicht über Schweißverfahren

eine genaue Zuordnung zur Preß- oder Schmelz-Schweißung nicht immer möglich, da sie häufig die Wesensart beider Verfahren vereinigen. Aus diesem Grunde werden diese Verfahren auch mit Widerstand-Schmelzschweißung bzw. mit Lichtbogen-Preßschweißung bezeichnet. Zur besseren Unterscheidung der einzelnen Verfahren untereinander war eine Neufestlegung der Verfahrensbenennungen erforderlich. Früher wurden die Verfahren meist nach den Herstellerfirmen benannt, während neuerdings die Bezeichnungen nach den charakteristischen Merkmalen festgelegt wurden. Im Bild 1 sind die Firmenbezeichnungen unter die neuen Begriffe hinzugefügt worden.

II. ELEKTRISCHE WIDERSTAND-SCHWEISSUNG

A. Allgemeines

Die elektrische Widerstandschweißung beruht auf dem größeren elektrischen Widerstand an der Stoßstelle zweier Metallteile, der dem durchfließenden elektrischen Strom entgegengesetzt wird. Die hierbei auftretende Wärmeentwicklung wird zum Schweißen verwendet. Die Schmelztemperatur wird bei dieser Verbindungsart nicht erreicht, sondern durch zusätzliche Druckanwendung wird eine innige Verbindung erzielt. Die Werkstücke werden in Vorrichtungen entsprechender Maschinen eingespannt, dann zusammengepreßt und unter Druck miteinander verschweißt.

Dieses Verfahren wurde erstmalig im Jahre 1887 von C. Thomsen angewendet. Hohe mechanische Gütewerte, gute Wirtschaftlichkeit durch kurze Schweißzeiten, geringe Wärmeeinwirkung sowie vielseitige Anwendungsmöglichkeiten sind die wesentlichsten Vorzüge dieses Verfahrens.

Unterteilt wird die Widerstandschweißung in Stumpf-, Punkt- und Nahtschweißung. Der grundsätzliche Aufbau dieser Verfahren ist im Bild 2 dargestellt. Außer Stahl sind auch Kupfer, Messing, Bronze, Aluminium u. a. nach diesen Verfahren schweißbar.

Im wesentlichen bestehen alle Widerstandschweißmaschinen aus den gleichen elektrischen und mechanischen Teilen. Diese sind der Transformator sowie die

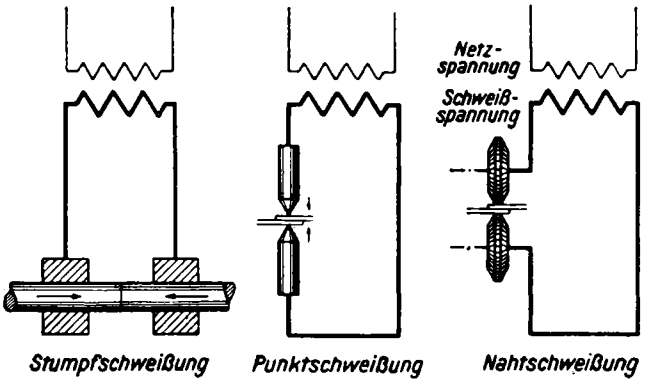

Bild 2: Grundsätzliche Darstellung der drei Widerstandschweißverfahren (1)[1])

Einspann- und Stauchvorrichtungen. Benötigt werden geringe Schweißspannungen von etwa 2—5 Volt und hohe Stromstärken bis zu 100 000 Ampere mit möglichst feinstufiger Regelbarkeit. Diese Betriebsverhältnisse sind nur bei Verwendung von Wechsel- bzw. Drehstrom gewährleistet.

Die Einspannvorrichtungen, die aus Spannbacken oder Elektroden bestehen, müssen gute elektrische Leiter sein und bestehen aus diesem Grunde meist aus Kupfer. Zur Ableitung der beim Schweißvorgang sich entwickelnden Wärme ist außerdem Wasserkühlung erforderlich.

B. Elektrische und mechanische Einrichtung der Maschinen

1. Stumpfschweißmaschinen

Bei der Stumpfschweißung unterscheidet man zwischen der älteren Druckschweißung oder Preßschweißung und der Abbrennschweißung.

Bei der Druckschweißung müssen die zu verbindenden Teile an den Berührungsflächen metallisch

[1]) Die eingeklammerten Zahlen beziehen sich auf das Schrifttumsverzeichnis im Anhang.

rein und eben sein. Nach erfolgter Einspannung werden die Stoßflächen fest aneinandergedrückt, der Schweißstrom eingeschaltet und nach Erreichung der erforderlichen Temperatur werden die Teile mit großer Kraft zusammengedrückt bei gleichzeitiger Abschaltung des Schweißstromes. Dieses Verfahren hat verschiedene Nachteile. Außer sorgfältiger mechanischer Vorbereitung der Werkstücke ist die aufzuwendende elektrische Arbeit sehr hoch und zieht entsprechend starke Erhitzung der geschweißten Teile nach sich (starke Wulstbildung). Ferner können sich in der Schweißstelle Einschlüsse und Bindefehler ergeben, die die Festigkeit der Schweißverbindung stark herabsetzen. Aus diesen Gründen ist der Anwendungsbereich dieses Verfahrens sehr begrenzt. Die obere Grenze liegt bei Stahl bereits bei Querschnitten von etwa 500 mm², entsprechend einem Durchmesser von etwa 20—25 mm. Die Anschlußleistung beträgt hierbei etwa 10 KVA. Des weiteren sind Stähle höherer Festigkeit für die Druckschweißung ungeeignet. Erst durch die Entwicklung der Abbrennschweißung im Jahre 1911 wurden die Anwendungsmöglichkeiten ganz erheblich erweitert.

Die Abbrennschweißung benötigt keine besondere Vorbereitung der Stoßflächen und wird für beliebige Querschnittsformen und -größen bis zu 40 000 mm² und sogar bis zu 70 000 mm² angewendet. Besonders geeignet sind stabförmige Körper mit runden oder eckigen Querschnitten und Walzprofile aller Art. Auch viele Sonderprofile und Konstruktionen, z. B. Schmiedestücke, Kurbelwellen und dergleichen, Bild 3, lassen sich ohne Schwierigkeiten miteinander verbinden. Auch die Verschweißung verschiedener Stahlsorten ist möglich und wird besonders bei der Herstellung hochwertiger Schneidwerkzeuge, wie Bohrer, Reibahlen, Fräser und dergleichen, angewendet. Hierbei wird für den Werkzeugschaft billiger, unlegierter Stahl und nur für den schneidenden Teil des Werkzeuges hochwertiger Werkzeugstahl, z. B. Schnellstahl, gewählt. Eine Stumpfschweißmaschine, die für alle Zwecke geeignet ist, gibt es auf Grund der vielseitigen Anwendungsmöglichkeiten nicht, so daß viele Bauarten entwickelt worden sind.

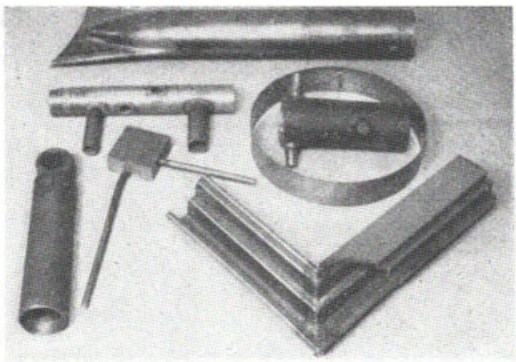

Bild 3: Verschiedene abbrenngeschweißte Teile

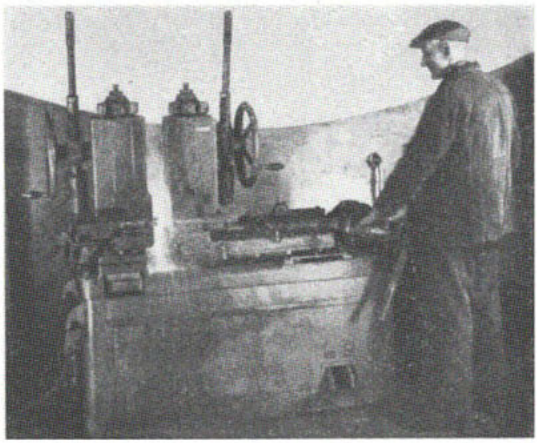

Bild 4: Stumpfschweißmaschine in Betrieb
(Hersteller: Siemens-Schuckertwerke)

Der eigentliche Schweißvorgang bei der Abbrennschweißung setzt sich zusammen aus der Vorwärmung, dem Abbrennen und dem Stauchen. Bei der Vorwärmung wird der Strom durch Hin- und Herbewegen der einen Werkstückhälfte mehrmals ein- und ausgeschaltet. Erst dann wird der Führungsschlitten gleichmäßig vorwärts bewegt, es erfolgt nun der eigentliche Abbrand. Bei Erreichung der Schweißtemperatur über den gesamten Querschnitt wird durch den Stauchvorgang die eigentliche Schweißverbindung eingeleitet und beendet.

Bei großen Querschnitten ist eine Pressung durch Handkraft nicht mehr durchführbar, so daß eine automatische Steuerung erforderlich wird. Je nach Art dieser Ausführung unterscheidet man handgesteuerte, halbselbsttätige und vollselbsttätige Stumpfschweißmaschinen. Mit einer handgesteuerten Maschine, wie in Bild 4 gezeigt, können Querschnitte bis etwa 5000 mm² verschweißt werden. Der erforderliche Stauchdruck wird mittels Handrad über eine Spindel erzeugt.

Bei der halbselbsttätigen Steuerung erfolgt das Vorwärmen und Abbrennen mit Handbetätigung, der

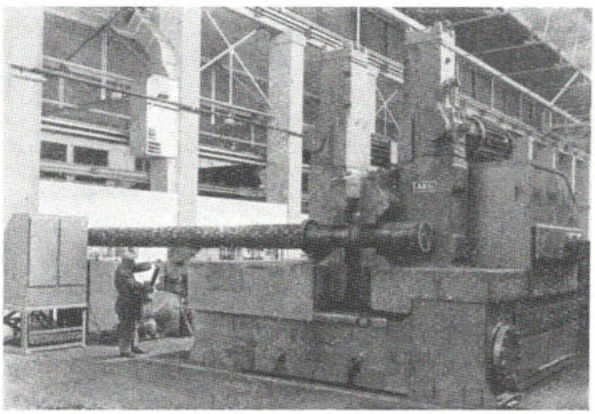

Bild 5: Selbsttätige Abbrenn-Stumpfschweißmaschine für Querschnitte bis 40.000 mm² (Hersteller: AEG)

Stauchvorgang hingegen vollkommen selbsttätig. Ebenso wird das Einspannen der großen Werkstücke elektrisch, pneumatisch oder hydraulisch gesteuert. Bei den vollselbsttätigen Maschinen werden sämtliche Vorgänge elektrisch gesteuert. Die erforderlichen Vorwärm- und Schweißzeiten sowie der Stauchdruck werden vorher eingestellt. Der Schweißvorgang wird alsdann durch Betätigung eines Druckknopfes ausgelöst. In Bild 5 ist eine vollselbsttätige Stumpfschweißmaschine zum Verschweißen von Querschnitten bis zu 40 000 mm² dargestellt.

2. Punktschweißmaschinen

Das Punktschweißen dient hauptsächlich zum Verbinden von blechförmigen Teilen. Vor allem im Ofen-, Jalousie-, Karosserie-, Waggon- und Behälterbau hat es große Anwendungsmöglichkeiten gefunden. Da die Festigkeitseigenschaften auch bei Schwingungsbeanspruchungen sehr günstig sind, hat sich die Punktschweißung außerdem im Fahrzeugbau stark eingeführt. Einfache Arbeitsweise, große Wirtschaftlichkeit und Zeitersparnis sind die nachweisbaren Vorteile dieses Schweißverfahrens. Im wesentlichen besteht eine Punktschweißmaschine aus dem Maschinengestell, dem Transformator sowie dem Ober- und Unterarm mit den Elektroden. Meist ist der Oberarm durch Fuß- oder Handbetätigung beweglich ausgeführt, um den erforderlichen Stauchdruck sowie die

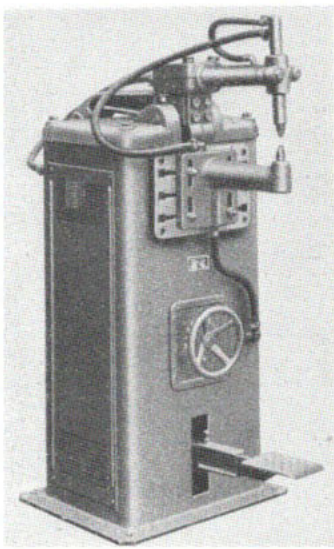

Bild 6: Punktschweißmaschine, Leistung: 6/15 KVA, bis 2×6 mm Stahlblech (Hersteller: Siemens-Schuckertwerke)

Kontaktgabe zu erzielen. Im Bild 6 ist eine Punktschweißmaschine einfacher Bauart gezeigt. Für die Güte und Wirtschaftlichkeit der Schweißung ist eine genaue Bemessung der zugeführten elektrischen Energie von größter Wichtigkeit. Der Zustand der Erhitzung, in dem sich die Werkstücke mit Erfolg zusammenfügen lassen, hat zwei Grenzen, eine obere, die Verbrennungsgrenze, eine untere, die Grenze der Kaltschweißung. Aufgabe ist es, den Schweißvorgang möglichst in dem zwischen diesen beiden Grenzen liegenden Bereich zu erzielen. Außerdem muß größere Wärmeableitung in den begrenzenden Werkstoff vermieden werden, um größeren Verzug und Gefügeänderungen zu verhindern. Dies erfordert hohe Schweißströme und kurze Schweißzeiten. Eine mechanische Steuerung durch Hand- oder Fußbetätigung ergibt ungleichmäßige und daher schlechte Schweißverbindungen. Besonders kurze Zeiten von Bruchteilen einer Sekunde können überdies auf mechanischem Wege nicht mehr gesteuert werden. Die Einschaltdauer des Schweißstromes muß durch ein automatisches Steuerorgan begrenzt werden. Diese Schweißzeitbegrenzer sprechen meist auf eine bestimmte, einstellbare Schweißzeit an. Die Einschaltung des Schweißstromes erfolgt stets nach der Druckgabe durch den beweglichen Elektrodenarm, damit „Feuern" zwischen Elektrode und Werkstück und zwischen den zu verschweißenden Blechen vermieden wird. Ebenso muß der Schweißvorgang stets vor dem Öffnen der Elektrode beendet sein. Die Ein- und Ausschaltung des Schweißstromes erfolgt über ein Schütz, das durch ein Relais gesteuert wird. Beim Energieregler erfolgt eine Dosierung der zugeführten Schweißenergie (Vorteile bei verzunderten Blechen). Weitere Verkürzungen bei gleichzeitig besserer Steuerung der Schweißzeiten lassen sich bei Verwendung von Ignitrons erzielen, s. Nahtschweißmaschinen, S. 19.

Dem vorliegenden Fertigungsprogramm gemäß werden die Punktschweißmaschinen in zahlreichen Größen und Sonderausführungen gebaut. Bei Stahl liegt die Grenze im Anwendungsbereich bei etwa 10—12 mm Blechstärke, Aluminium bis etwa 6 mm. Größere Blechdicken erfordern sehr hohe Maschinenleistungen und sind da-