

WERKSTATTBÜCHER

HERAUSGEBER H.HAAKE

HEFT 73

W. FAHRENBACH

**WIDERSTANDS-
SCHWEISSEN**



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH

WERKSTATTBÜCHER

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

Jedes Heft 50—70 Seiten stark, mit zahlreichen Textabbildungen

Preis: RM 2.— oder, wenn vor dem 1. Juli 1931 erschienen, RM 1.80 (10% Notnachlaß)

Bei Bezug von wenigstens 25 beliebigen Heften je RM 1.50

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

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

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

Einteilung der bisher erschienenen Hefte nach Fachgebieten

I. Werkstoffe, Hilfsstoffe, Hilfsverfahren

	Heft
Das Gußeisen. 2. Aufl. Von Chr. Gilles	19
Einwandfreier Formguß. 2. Aufl. Von E. Kothny	30
Stahl- und Temperguß. Von E. Kothny	24
Die Baustähle für den Maschinen- und Fahrzeugbau. Von K. Krekeler	75
Die Werkzeugstähle. Von H. Herbers	50
Nichteisenmetalle I (Kupfer, Messing, Bronze, Rotguß). Von R. Hinzmann	45
Nichteisenmetalle II (Leichtmetalle). Von R. Hinzmann	53
Härten und Vergüten des Stahles. 4. Aufl. Von H. Herbers	7
Elektrowärme in der Eisen- und Metallindustrie. Von O. Wundram	69
Die Brennstoffe. Von E. Kothny	32
Öl im Betrieb. Von K. Krekeler	48
Farbspritzen. Von R. Klose	49
Rezepte für die Werkstatt. 3. Aufl. Von F. Spitzer	9

II. Spangebende Formung

Die Zerspanbarkeit der Werkstoffe. Von K. Krekeler	61
Hartmetalle in der Werkstatt. Von F. W. Leier	62
Gewindeschneiden. 3. Aufl. Von O. M. Müller	1
Wechselraderberechnung für Drehbänke. 3. Aufl. Von G. Knappe	4
Bohren. 2. Aufl. Von J. Dinnebieer und H. J. Stoewer	15
Senken und Reiben. 2. Aufl. Von J. Dinnebieer	16
Räumen. Von L. Knoll	26
Das Sägen der Metalle. Von H. Hollaender	40
Die Fräser. 2. Aufl. Von P. Zieting und E. Brödner	22
Das Einrichten von Automaten I (Die Automaten System Spencer und Brown & Sharpe). Von K. Sachse	21
Das Einrichten von Automaten II (Die Automaten System Gridley [Einspindel] und Cleveland und die Offenbacher Automaten). Von Ph. Kelle, E. Gothe, A. Kreil	23
Das Einrichten von Automaten III (Die Mehrspindel-Automaten, Schnittgeschwindig- keiten und Vorschübe). Von E. Gothe, Ph. Kelle, A. Kreil	27
Das Einrichten von Halbautomaten. Von J. v. Himbergen, A. Bleckmann, A. Wassmuth	36
Die wirtschaftliche Verwendung der Mehrspindelautomaten. Von H. Finkelnburg	71

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

HEFT 73

Widerstandsschweißen

Von

Dr.-Ing. Wolfgang Fahrenbach VDI

Berlin

Mit 141 Abbildungen im Text



Springer-Verlag Berlin Heidelberg GmbH
1939

Inhaltsverzeichnis.

	Seite
I. Grundgesetze der Widerstandsschweißung	3
1. Die Schweißverfahren S. 3. — 2. Stoffwerte, Wärme und elektrische Arbeit S. 3. — 3. Die Berücksichtigung der Zeit S. 4. — 4. Erhitzung und Wärmeverlust S. 5. — 5. Die Widerstandserwärmung S. 6. — 6. Die Widerstandsschweißung S. 8. — 7. Vier Widerstandsschweißverfahren S. 9.	
II. Punktschweißen	10
A. Arbeitsweise und Hauptteile der Punktschweißmaschine	10
8. Die Gesetzmäßigkeiten des Punktschweißvorganges S. 10. — 9. Der Schweißdruck S. 11. — 10. Erzeugen und Regeln der Elektrodenkraft S. 12. — 11. Der Schweißstrom und seine Erzeugung S. 13. — 12. Umspanner und Schweißstromleitung S. 15. — 13. Verluste S. 16. — 14. Leistungsdreieck und Kennlinie S. 17. — 15. Schalten des Schweißstromes, mechanisch S. 19. — 16. Schalten des Schweißstromes durch Röhrenschalter S. 20. — 17. Die Schweißzeit S. 20. — 18. Zusammenfassung S. 21.	
B. Werkstück und Schweißmaschine	22
19. Der Werkstoff S. 22. — 20. Die Gestalt des Werkstückes S. 23. — 21. Schweißpunkt und Elektroden S. 25. — 22. Ortsfeste Punktschweißmaschinen S. 28. — 23. Bewegliche Punktschweißmaschinen S. 29.	
C. Regler und Steuerungen	30
24. Druckregelung S. 30. — 25. Stromregelung S. 32. — 26. Zeitregelung S. 33. — 27. Verbundregelung S. 35.	
D. Betriebsmäßiges Punktschweißen	36
28. Stromschluß S. 36. — 29. Einstellen der Maschine S. 37. — 30. Die häufigsten Fehler S. 39.	
III. Nahtschweißen	40
A. Die Nahtschweißverfahren	40
31. Punktreihe und Rollennaht S. 40. — 32. Schrittnahtschweißen S. 41. — 33. Gleichförmiges Nahtschweißen S. 43. — 34. Die Stromsteuerung S. 43.	
B. Werkstück und Nahtschweißmaschine	44
35. Einfluß des Werkstoffes S. 44. — 36. Werkstück und Nahtform S. 46. — 37. Die Elektroden S. 47. — 38. Die Nahtschweißmaschinen S. 49.	
IV. Buckelschweißen	51
39. Das Buckelschweißverfahren S. 51. — 40. Der Buckelschweißpunkt S. 51. — 41. Die Buckelschweißmaschine S. 54.	
V. Stumpfschweißen	54
42. Stumpf- und Abbrennschweißung S. 54. — 43. Druck, Strom, Zeit S. 56. — 44. Werkstück und Werkstoff S. 57. — 45. Spannbacken und Stromzuführung S. 59. — 46. Die Stumpfschweißmaschine S. 61.	

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

ISBN 978-3-662-41718-8

ISBN 978-3-662-41857-4 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-662-41857-4

I. Grundgesetze der Widerstandsschweißung.

1. Die Schweißverfahren. Mit dem Wort „Schweißen“ wird das Vereinigen zweier an der gewünschten Verbindungsstelle erhitzter Metallteile bezeichnet. Beim Schmelz- und Gießschweißen werden die aneinanderstoßenden Teile auf flüssigen oder nahezu flüssigen Zustand erhitzt und meist unter Zusatz von gleichartigem Werkstoff verschmolzen. Beim Preßschweißen werden die Stoßflächen nur bis zum teigigen Zustand erwärmt und ohne Zusatzwerkstoffe durch starkes Zusammenpressen miteinander verbunden. Stets wird beim Schweißen im Gegensatz zum Löten eine möglichst gleichbleibende und von dem metallischen Aufbau der Teile wenig abweichende Zusammensetzung der geschweißten Verbindungsstelle angestrebt¹.

Beim Schmelzschweißen wird die Schweißwärme durch Gasverbrennung, durch den elektrischen Lichtbogen oder durch beide Wärmequellen gleichzeitig erzeugt. Durch die Verbrennungswärme des Gases oder die Strahlungswärme des Lichtbogens wird die Schweißstelle erwärmt und aus dem Schweißdraht, der beim Lichtbogenschweißen gleichzeitig Elektrode ist, der erforderliche Zusatzwerkstoff niedergeschmolzen und mit den Stoßkanten vereinigt. Eine Mittelstellung zwischen der Schmelz- und Preßschweißung nimmt das beim Stumpfschweißen von Schienen übliche Thermitverfahren ein, bei dem die Schienenstöße durch Verbrennen von Aluminiumpulver mit Eisenoxyd erhitzt werden. Das älteste Preßschweißverfahren ist das Hammerschweißen, nach dem Eisenteile im Schmiedefeuer bis zum teigigen Zustand erhitzt und durch Zusammenschlagen auf dem Amboß geschweißt werden. Später wurde der Schweißdruck nicht mehr durch die Wucht des Hammerschlages, sondern durch die Kraft hydraulischer Pressen oder Walzen erzeugt. Bei der Widerstandsschweißung, dem jüngsten Preßschweißverfahren, werden die Werkstücke an der Schweißstelle durch einen starken Strom erhitzt und im teigigen Zustand durch Zusammenpressen vereinigt.

2. Die Eigenschaften der für das Widerstandsschweißen wichtigsten Werkstoffe sind in der Tabelle 1 zusammengestellt. Erfahrungsgemäß vermitteln diese Zahlen

Tabelle 1. Stoffwerte der für das Widerstandsschweißen wichtigsten Metalle.

	Zeichen	Maß	Wasser	Magnesium	Aluminium	Schweiß-eisen	Zink	Messing	Kupfer
Spezifisches Gewicht . .	γ	g/cm^3	1,00	1,74	2,70	7,8	7,14	8,6	8,9
Schmelzpunkt	t_s	$^{\circ}\text{C}$	0	650	658	1600	418	950	1083
Spezifische Wärme (20°)	c	$\text{cal/g}^{\circ}\text{C}$	1,00	0,25	0,21	0,123	0,092	0,093	0,092
Wärmeleitfähigkeit . . .	λ	$\text{kcal/m h }^{\circ}\text{C}$	0,50	135	181	46,8	91	80	320
Elektr. spez. Widerstand	ρ	$\Omega \text{ mm}^2/\text{m}$	—	0,0455	0,028	0,13	0,063	0,075	0,0178
Elektrische Leitfähigkeit	$1/\rho$	$\text{m}/\Omega \text{ mm}^2$	—	22,0	35,7	7,7	15,9	13,4	56,2

nur eine schwache Vorstellung von den Eigenschaften der Metalle. Da jedoch die Kenntnis der Stoffeigenschaften und der Grundgesetze der elektrischen Erwärmung für die weiteren Ausführungen unerlässlich ist, seien in folgendem die Zusammenhänge an Beispielen erläutert: Wird einem Gewichtsanteil G eines Stoffes eine bestimmte Wärmemenge Q zugeführt, so erhöht sich die Temperatur

¹ Vgl. die Werkstattbücher Heft 13 „Die neueren Schweißverfahren“ und Heft 43 „Das Lichtbogenschweißen“.

um so mehr, je geringer seine Wärmespeicherfähigkeit, d. h. seine spezifische Wärme c ist¹.

$$\Delta t = \frac{Q}{G \cdot c} \quad (1)$$

Temperaturzunahme $\frac{\text{Wärmemenge}}{\text{Gewicht} \times \text{spez. Wärme}}$

Wärmemenge und elektrische Arbeit sind gleichzusetzen:

$$Q = E \cdot J \cdot T. \quad (2)$$

Wärmemenge = Spannung \times Strom \cdot Zeit

Das Grundmaß für die elektrische Arbeit ist die Wattsekunde (Ws):

$$1 \text{ Ws} = 1 \text{ V} \cdot 1 \text{ A} \cdot 1 \text{ s}. \quad (3)$$

Wattsekunde = Volt \times Ampere \times Sekunde

Da diese Arbeitseinheit sehr klein ist, wird in der Technik die elektrische Arbeit meist in Kilowattstunden (kWh) gemessen:

$$1 \text{ kWh} = 1000 \text{ V} \cdot \text{A} \cdot \text{h} = 1000 \cdot 60 \cdot 60 \text{ Ws}. \quad (4)$$

1 Kilowattstunde = 1000 Wattstunden = 3 600 000 Wattsekunden

Der elektrischen Arbeit von 1 Ws entspricht, wie durch Versuche ermittelt worden ist, eine Wärmemenge von 0,239 Gramm-Kalorien (cal). Durch Zufuhr von 1 cal erhöht sich die Temperatur von 1 g oder 1 ccm Wasser um 1° C. Demnach sind $1/0,239 = 4,184$ Ws erforderlich, um 1 g oder 1 ccm Wasser um 1° C zu erwärmen: 1 cal = 4,184 Ws. In der Technik rechnet man mit Kilogramm-Kalorien (kcal):

$$1 \text{ kcal} = 1000 \text{ cal} = \frac{1000 \cdot 4,184}{3\,600\,000} = 1/860 \text{ kWh}. \quad (5)$$

Wärmemenge $\frac{=}{\text{elektrische Arbeit}}$

Infolge ihrer kleineren spezifischen Wärme lassen sich die Metalle mit der gleichen Menge elektrischer Arbeit auf wesentlich höhere Temperaturen erwärmen (Tab. 2). Aus dem großen Unterschied ihrer spezifischen Wärme ergibt sich

Tabelle 2. Temperaturerhöhung verschiedener Stoffe in °C durch verlustlose Zufuhr von 1 cal = 4,184 Ws elektrischer Arbeit.

Stoffmenge	Wasser	Magnesium	Aluminium	Eisen	Zink	Messing	Kupfer
1 g . . .	1,00	4,00	4,76	8,12	10,85	10,75	10,85
1 cm ³ . .	1,00	2,30	1,77	1,05	1,52	1,26	1,19

also, daß z. B. mit dem gleichen Verbrauch von 0,093 kWh an elektrischer Arbeit, mit dem 1 Liter Wasser um 80° C erwärmt wird, 1 kg Eisen bereits um 650° C erhitzt werden kann. Dabei ist natürlich vorausgesetzt, daß alle zugeführte Wärme von den Körpern aufgenommen und keine Verlustwärme an die Umgebung abgeleitet wird.

3. Die Berücksichtigung der Zeit. Soll ein Körper in einer bestimmten Zeit erhitzt, d. h. ihm eine Wärmemenge in einer bestimmten Zeit zugeführt werden, so ist eine elektrische Leistung anzuwenden, die um so höher ist, in je kürzerer Zeit die erforderliche Wärme umgesetzt werden soll.

$$Q/T = E \cdot J. \quad (6)$$

Wärmeleistung = elektrische Leistung

Auch die Leistungseinheit Watt (1 W = 1 V · A) ist recht klein und wird daher als Maß nur für elektrische Geräte (Lampen, Haushaltgeräte) angewendet. An Elektromaschinen wird die Leistung in Kilowatt gemessen.

$$1 \text{ kW} = 1000 \text{ W} = 1000 \text{ V} \cdot \text{A}. \quad (7)$$

Kilowatt = 1000 Watt = 1000 Volt \times Ampere

¹ Vgl. Heft 69 „Elektrowärme in der Eisen- und Metallindustrie“.

Um in einer Sekunde 1 g Wasser um 1° C zu erwärmen, ist eine elektrische Leistung (verlustlos umgesetzt) von 4,184 W erforderlich [vgl. die Ableitung für Gl. (5)]:

$$1 \text{ cal/s} = 4,184 \text{ W}; \quad 1 \text{ kcal/h} = \frac{1}{860} \text{ kW}. \quad (8)$$

$$\text{Wärmeleistung} = \text{elektrische Leistung} \quad \text{Wärmeleistung} = \text{elektrische Leistung}$$

Um die gleiche Wärmemenge in $\frac{1}{10}$ Sekunde zu erzeugen, ist dementsprechend die 10fache elektrische Leistung anzuwenden.

4. Erhitzung und Wärmeverlust. Für die Aufgaben der Widerstandsschweißtechnik ist diejenige elektrische Leistung von besonderer Wichtigkeit, durch die bestimmte Werkstoffmengen in kurzer Zeit auf ihre Schmelztemperatur erwärmt werden können, wobei das Ansteigen der spezifischen Wärme mit wachsender Temperatur zu beachten ist. In der Tabelle 3 sind die elektrischen Leistungen

Tabelle 3. Erforderliche elektrische Leistung in W, um 1 g oder 1 cm³ Metall in 1 s von Raumtemperatur verlustlos auf Schmelztemperatur zu erhitzen.

Stoffmenge	Magnesium	Aluminium	Eisen	Zink	Messing	Kupfer
1 g/s	745	623	1110	167	426	491
1 cm ³ /s	1300	1690	8640	1190	3680	4370

zusammengestellt, mit denen 1 cm³ verschiedener Stoffe in 1 s von 20° auf ihre Schmelztemperatur erhitzt werden kann. Dabei ist wieder angenommen, daß die zugeführte elektrische Energie restlos in Wärme umgesetzt und ohne Verluste für das Erhitzen des Körpers ausgenutzt wird. Für die Praxis trifft diese Annahme nicht zu. Jeder erhitzte Körper überträgt Wärme auf seine Umgebung und sucht durch Wärmeabgabe seine eigene und die Temperatur der umgebenden Stoffe auszugleichen. Bei niedrigen Temperaturen wächst die Wärmeübertragung durch Leitung etwa mit dem Temperaturunterschied zwischen Körper und Umgebung sowie mit der Oberfläche des Körpers, die die Wärme überträgt. Bei höheren Temperaturen kommt die Wärmeabgabe durch Strahlung hinzu, die mit der 4. Potenz der absoluten Körpertemperatur (273 + t) ansteigt. Wird nun in einem Körper elektrische Energie in Wärme umgesetzt, so erhöht der Körper durch Wärmeaufnahme seine Temperatur, verliert aber gleichzeitig einen Teil der aufgenommenen Wärme an die kühlere Umgebung.

Der Ablauf einer elektrischen Erwärmung eines cm³ Eisen von 20° auf 1600° C unter Berücksichtigung der Verluste ist in Abb. 1···4 veranschaulicht. Die Kurven Abb. 1 zeigen die für die Temperaturerhöhung aufgenommene elektrische Arbeit und die Verlustleistungen durch Wärmeleitung und -strahlung bei verschiedenen Temperaturen, die bei 1600° bereits 300 und 200 W beanspruchen. Würde nur die Summe dieser beiden Leistungen, d. h. 500 Watt dem Eisenkörper zugeführt werden, so könnte erst nach unendlich langer Zeit die gewünschte Temperatur von 1600° erreicht werden. Die Kurven Abb. 2 zeigen den Verlauf des Temperaturanstieges und das Verkürzen der Erwärmungszeit bei höheren elektrischen Leistungen. Je höher die umgesetzte elektrische Leistung ist, desto schneller erwärmt sich der Körper und desto kürzer wird die Zeit für die Abgabe von Verlustwärme. Die Kurven Abb. 3 zeigen über der in jedem Fall gleichen Arbeit zum Erwärmen des Körpers die Verlustarbeit, die bei verschiedenen Anwärmzeiten entsteht. Ohne jeden Verlust könnte der Körper nur durch eine unendlich hohe Leistung erwärmt werden, während bei zu schwacher Leistung mit der Erwärmungszeit auch die Verlustarbeit ins Unendliche wächst, ohne daß der Körper die gewünschte Temperatur erreicht. Der Wirkungsgrad der elektrischen Erwärmung, d. h. das Verhältnis der vom Körper aufgenommenen Wärmemenge zur aufgewendeten Arbeit wird also ganz entscheidend von der angewendeten

Leistung beeinflusst (Abb. 4). Je höher die elektrische Leistung, desto kürzer ist die Erheizungszeit und desto besser ist der Wirkungsgrad der elektrischen Erwärmung. Um 1 cm³ Eisen nach diesem Beispiel in 1 s von 20° auf 1600° zu erhitzen, müßte während der ganzen Erheizungszeit eine gleichbleibende Leistung von 8,9 kW umgesetzt werden. Der Wirkungsgrad des Wärme-

erhitzen, müßte während der ganzen Erheizungszeit eine gleichbleibende Leistung von 8,9 kW umgesetzt werden. Der Wirkungsgrad des Wärme-

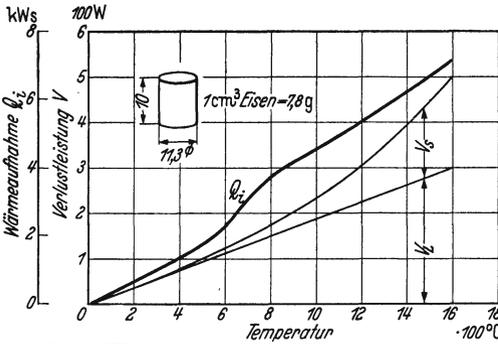


Abb. 1. Wärmeaufnahme eines Eisenblockes von 1 cm³ und seine Wärmeabgabe bei verschiedenen Temperaturen. Die Unstetigkeit der Temperaturkurve ist eine Folge von Gefügewandlungen (vgl. Werkstoffbuch Heft 7 Härten und Vergüten.)
 Q_i = Wärmeaufnahme des Blockes; V_s = Verlustleistung durch Strahlung; V_L = Verlustleistung durch Leitung.

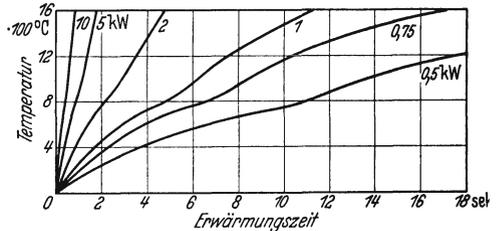


Abb. 2. Temperaturzunahme des Blockes bei Zufuhr verschieden hoher elektrischer Leistungen (kW).

umsatzes, nur auf den Eisenzylinder bezogen, betrüge 97%. In der Praxis würde man sich schon mit einer Erheizungszeit von 5...7 s begnügen, da trotz des geringen Rückganges des Wirkungsgrades auf 95...93% eine wesentlich billigere Erwärmungseinrich-

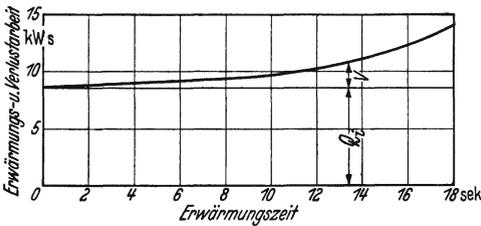


Abb. 3. Aufgenommene und verlorene Wärmemenge des Blockes bei verschiedenen Erheizungszeiten.
 Q_i = Wärmeaufnahme des Blockes; V = Verlustarbeit.

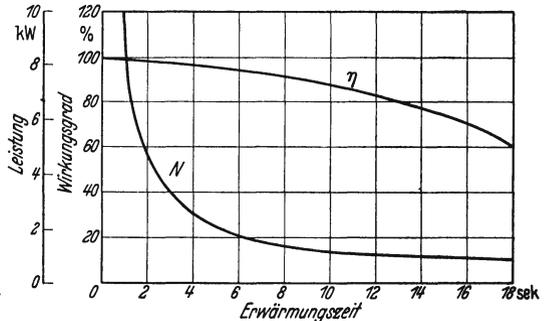


Abb. 4. Erheizungsleistung und Wirkungsgrad für verschiedene Erheizungszeiten.
 N = im Block umgesetzte Leistung in kW; η = Wirkungsgrad.

tung mit nur 1,5...2 kW benutzt werden könnte. Das hier für einen Einzelfall entwickelte Beispiel hat allgemeine Gültigkeit für alle weiteren Betrachtungen, bei denen uns die gleichen Zusammenhänge stets wieder begegnen werden.

5. Die Widerstandserwärmung. Beim Durchfließen von Metallen, die stets elektrische Leiter sind, erzeugt der Strom infolge ihres elektrischen Widerstandes Wärme. Nach dem JOULESchen Gesetz ist die entstehende Wärmemenge Q dem Quadrat der Stromstärke J , dem Widerstand R des Leiters und der Dauer T des Stromflusses verhältnismäßig:

$$Q = J^2 \cdot R \cdot T \tag{9}$$

Wärmemenge = Strom² × Widerstand × Zeit

Wird eine Wärmemenge in einer bestimmten Zeit erzeugt, so entspricht dieser Wärmeleistung eine gleichwertige elektrische Leistung:

$$Q/T = J^2 \cdot R. \tag{10}$$

Wärmeleistung = Strom² × Widerstand

Über das OHMSche Gesetz

$$J = \frac{E}{R} \tag{11}$$

$$\text{Strom} = \frac{\text{Spannung}}{\text{Widerstand}}$$

ist der Zusammenhang mit den oben entwickelten Arbeits- und Leistungseinheiten hergestellt.

Der Widerstand R eines Leiters wächst mit dem spezifischen, vom Werkstoff abhängigen Widerstand ρ und der Länge L des Stromweges und vermindert sich mit der Zunahme des stromdurchflossenen Querschnittes F :

$$R = \frac{\rho \cdot L}{F} \tag{12}$$

$$\text{Widerstand} = \frac{\text{spez. Widerstand} \times \text{Länge}}{\text{Leiterquerschnitt}}$$

Die Strombelastung des Leiterquerschnittes J/F wird mit Stromdichte (A/mm^2) bezeichnet.

In jedem stromdurchflossenen Leiter entsteht also Wärme, die zunächst die Temperatur des Leiters und seiner Umgebung erhöht und bei dauerndem Stromfluß von dem erhitzten Leiter an die kühlere Umgebung abgegeben werden muß. Ein guter Leiter von reichlichem Querschnitt bietet dem Strom so geringen Widerstand, daß nur wenig Wärme entsteht, die schon nach einer unbedeutenden Temperaturerhöhung des Leiters abgeleitet werden kann (Leitungen zum Übertragen elektrischer Leistung). Beim Durchfließen eines schlechten Leiters von hohem spezifischen Widerstand oder knappem Querschnitt erzeugt der Strom dagegen viel Wärme. Der stromdurchflossene Körper erhitzt sich um so schneller, je geringer seine Masse und seine spezifische Wärme und je höher sein elektrischer Widerstand ist. Erst wenn infolge der Temperatursteigerung die Wärmeabgabe

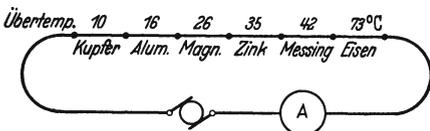


Abb. 5. Übertemperaturen von Leitern gleichen Querschnittes aus verschiedenem Werkstoff.

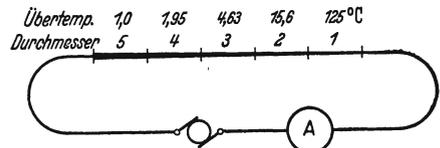


Abb. 6. Übertemperaturen von Leitern aus gleichem Werkstoff bei verschiedenem Querschnitt.

des Körpers der umgesetzten elektrischen Leistung gleich wird, erhöht sich seine Temperatur nicht mehr (elektrische Heizgeräte). Solange die Stromwärmeerzeugung die Wärmeabgabe des Leiters noch überschreitet, erhitzt dieser sich ständig weiter, bis durch Schmelzen oder Verdampfen des Metalles der Stromfluß unterbrochen wird (Schmelzsicherung).

Liegen in einem Stromkreis Leiter mit verschiedenen Widerständen hintereinander, so sind die in den Einzelleitern in Wärme umgesetzten elektrischen Leistungen den Einzelwiderständen verhältnismäßig. Bei gleicher Oberfläche und gleicher Fähigkeit derselben, Wärme abzugeben, entsprechen daher auch die Übertemperaturen der Einzelleiter eines Stromkreises ihren Widerständen. Der Einfluß des spezifischen Widerstandes querschnittgleicher Leiter und des Querschnittes werkstoffgleicher Leiter auf die Übertemperaturen in den Einzelleitern des Stromkreises sind in Abb. 5 und 6 veranschaulicht. Einen besonders hohen elektrischen Widerstand hat die lose Berührungsstelle zweier Leiter, da diese sich an der Stoßstelle nur an wenigen kleinen Flächenteilen berühren (Wackel- oder Lockerkontakt). In einem Stromkreis erhitzen sich daher diese Stellen ganz besonders stark.

Um einen Begriff von der Spannung und dem Strom zu erhalten, die bei einer Widerstandserwärmung auftreten, kehren wir zu unserem Erwärmungsbeispiel für 1 cm^3 Eisen zurück. Aus dem Querschnitt von 100 mm^2 und der Länge des Stromweges von $0,01 \text{ m}$ ergibt sich nach Gleichung 12 sein Widerstand

$$R = \frac{0,13 \cdot 0,01}{100} = 0,000013 \, \Omega$$

Widerstand Ohm

Um die erforderliche Leistung $E \cdot J = 8900 \text{ W}$ in dem Körper umsetzen zu können, ist daher eine Spannung an seine Endflächen zu legen, die sich aus den Zusammenhängen

$$R = E/J = 0,000013 \, \Omega \quad \text{und} \quad E \cdot J = 8900 \text{ W}$$

errechnen läßt, indem man $J = 8900/E$ in den ersten Ausdruck einsetzt. Die Spannung beträgt danach $0,34 \text{ V}$ und erzeugt in dem Körper einen Strom von 26200 A . Wir erkennen aus diesem Beispiel, daß bei der Widerstandserwärmung trotz kleiner für den Menschen ganz ungefährlicher Spannungen Ströme von einer Stärke auftreten, wie wir sie in der ganzen Elektrotechnik nur selten wiederfinden.

Der spezifische Widerstand der meisten elektrischen Leiter erhöht sich mit der Temperatur. Wird daher eine gleichbleibende Spannung an einen Leiter gelegt, so sinkt mit der Erwärmung der Strom und damit die im Leiter in Wärme umgesetzte Leistung ab. Gleichbleibende Leistungen können also während der Erwärmung eines Leiters nur durch gleichzeitige Erhöhung der angelegten Spannung erreicht werden.

6. Die Widerstandsschweißung nutzt diese Zusammenhänge zum Erwärmen der Schweißstelle aus. Die Teile, welche verschweißt werden sollen, werden in einen Stromkreis gelegt, der aus guten Leitern besteht und einen starken Strom ohne übermäßige Erwärmung führen kann. Durch gut leitende Elektroden wird der Strom zu den Werkstückteilen gebracht und zum Durchfließen der Berührungsstelle beider Teile gezwungen. Diese Stelle hat in dem Stromkreis den höchsten Widerstand, so daß sie sich schnell erhitzt und durch Zusammenpressen der Elektroden verschweißt werden kann.

Vernachlässigt man den geringen elektrischen Widerstand der Stromzuführung und der Elektroden, so ist der Schweißstrom abhängig von der Spannung und dem elektrischen Widerstand zwischen den Elektrodenspitzen. Die Elektrodenspannung ist durch die Bauform der Schweißmaschine selbst bestimmt. Der Widerstand zwischen den Elektrodenspitzen hängt von dem Werkstoff und seiner Oberfläche und in ganz besonderem Maße von der Zusammenpressung der Teile durch die Elektroden ab. Je fester die Teile durch die Elektrodenkraft zusammengedrückt werden, desto geringer wird mit dem Wachsen der Berührungsfläche der Widerstand und desto geringer auch bei gleichem Strom die Erwärmung.

Nach den bisher entwickelten Grundsätzen der elektrischen Erwärmung wird zum Erhitzen eine möglichst hohe elektrische Leistung angewendet. Die Schweißtemperatur wird daher sehr schnell erreicht, so daß schon nach kurzer Zeit die Energiezufuhr zur Schweißstelle unterbrochen oder geschwächt und die erhitzten Teile durch die Elektrodenkraft vereinigt werden müssen. In der Praxis wird die Zeit vom Einschalten bis zum Ausschalten des Schweißstromes als Schweißzeit bezeichnet. Der Verlauf der Erhitzung und Verschweißung eines Werkstückes ist daher durch die Elektrodenkraft, die Schweißstromstärke und die Schweißzeit bestimmt, so daß allen Widerstandsschweißmaschinen und -verfahren die Einrichtungen zum Erzeugen und Regeln dieser Größen gemeinsam sind.

7. Vier Widerstandsschweißverfahren sind zu unterscheiden: die Punkt-, die Naht-, die Buckel- und die Stumpfschweißung. Beim Punktschweißen (Abb. 7) durchfließt der Schweißstrom zwischen spitzen Elektroden zwei aufeinanderliegende flache Teile in der Querrichtung auf einem kleinen Querschnitt, „einem Punkt“, der schnell erwärmt und verschweißt wird. Auch beim Rollennahtschweißen (Abb. 8) wird der Schweißstrom zum Durchfließen des Werkstückes zwischen den kleinen Berührungsflächen des Rollenpaares und zum Erzeugen

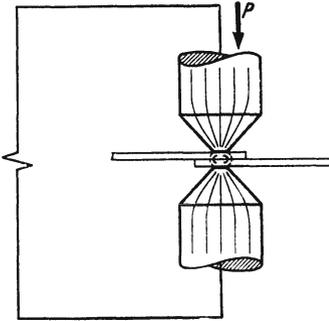


Abb. 7. Punktschweißen.

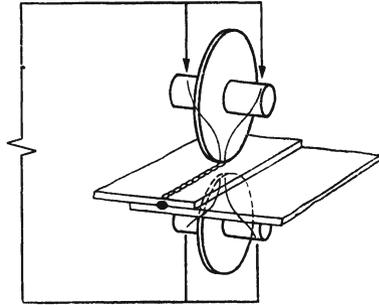


Abb. 8. Rollennahtschweißen.

Punkt- und Rollennahtschweißen: Hohe Stromdichte in der Schweißstelle wird durch beschränkte Berührungsflächen der Elektroden bei beliebiger Berührung der Werkstückteile erzeugt.

einzelner Schweißpunkte gezwungen. Durch Vorschub des Werkstückes zwischen den Rollen werden die in schneller Folge geschweißten Einzelpunkte zu einer offenen oder geschlossenen Naht aneinandergereiht. Die Punkt- und Rollennahtschweißung wird vorwiegend für das feste oder dichte Verschweißen von Blechen benutzt.

Beim Punkt- und Rollennahtschweißen wird also der Weg des Schweißstromes und die Stromdichte von außen her durch die Berührungsflächen des Elektrodenpaares mit dem Werkstück bestimmt. Die Berührungsfläche der Werkstückteile selbst ist beliebig. Beim Buckel- und Stumpfschweißen (Abb. 9 u. 10) dagegen wird der Weg des Schweißstromes und die Stromdichte durch beschränkte Berührungsflächen zwischen den Werkstückteilen selbst, also von innen her bestimmt. Die Berührungsflächen der Elektroden mit dem Werkstück verlieren hierbei ihren Einfluß auf die Stromdichte und die Lage der Schweißstellen.

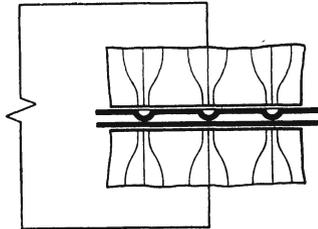


Abb. 9. Buckelschweißen.

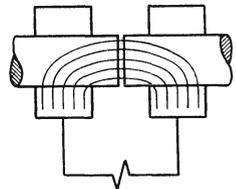


Abb. 10. Stumpfschweißen.

Buckel- und Stumpfschweißen: Hohe Stromdichte in der Schweißstelle wird durch beschränkte Berührungsflächen der Werkstückteile erzeugt.

Beim Buckelschweißen (Abb. 9) werden an dem einen der zu verschweißenden Werkstückteile kleine buckelartige Erhöhungen vorgesehen, deren Spitzen das andere Teil berührt. Der Schweißstrom wird durch großflächige Elektroden zugeführt und muß sich durch die kleinen Berührungsflächen der Buckel zwängen. Diese werden so gleichmäßig und schnell erhitzt, daß eine größere Anzahl von Buckelschweißpunkten gleichzeitig geschweißt werden kann. Die Buckelschweißung eignet sich besonders für das Verbinden von Zieh-, Stanz- und Preßteilen, bei denen die Buckel ohne besonderen Arbeitsgang angebracht werden können.

Beim Stumpfschweißen (Abb. 10) schließlich wird die gesamte Berührungsfläche zweier Teile, die Stoßfläche, vom Schweißstrom durchflossen und erhitzt.

Die Elektroden sind beim Stumpfschweißen als Spannbackenpaare ausgebildet, die die Werkstückteile fassen und den Schweißstrom zuführen. Ein Spannbackenpaar ist in der Stauchrichtung beweglich und überträgt die erforderliche Stauchkraft auf die Schweißstelle. Mit Hilfe der Stumpfschweißung können dünnste Drähte und starke Eisenträger ebenso einwandfrei wie lange Blechkanten und dünnwandige Rohre verschweißt werden.

II. Punktschweißen.

A. Arbeitsweise und Hauptteile der Punktschweißmaschine.

8. Die Gesetzmäßigkeiten des Punktschweißvorganges sind grundlegend für alle anderen Widerstandsschweißverfahren. Da im übrigen der Benutzer von Schweißmaschinen meistens mit der einfachen Punktschweißmaschine beginnt, um dann zu den leistungsfähigeren Maschinen und Verfahren überzugehen, sollen zunächst am Punktschweißverfahren alle Gesetzmäßigkeiten des Widerstandsschweißens gründlich besprochen werden, so daß bei den anderen Verfahren nur kurze Hinweise auf diese Zusammenhänge genügen.

Abb. 11 zeigt den grundsätzlichen Verlauf einer Punktschweißung. Zwei Bleche werden zwischen einem Elektrodenpaar so weit zusammengedrückt, daß der Schweißstrom hindurchgeleitet werden kann (*a b*). Nach dem Zusammendrücken der Bleche wird der Schweißstrom für eine bestimmte Zeit (*b c*) eingeschaltet, die zum Erwärmen der Schweißstelle erforderlich ist. Nach dem Erreichen der Schweißtemperatur (bei *c*) werden die Bleche unter der federnden Kraft des Elektrodenpaares verschweißt. Während der Schweiß-

strom sofort nach der Verschweißung ausgeschaltet wird, wirkt während des Abkühlens (*c d*) die Elektrodenkraft noch bis zum völligen Erstarren der Schweißstelle weiter. Dann erst öffnet sich das Elektrodenpaar (bei *d*).

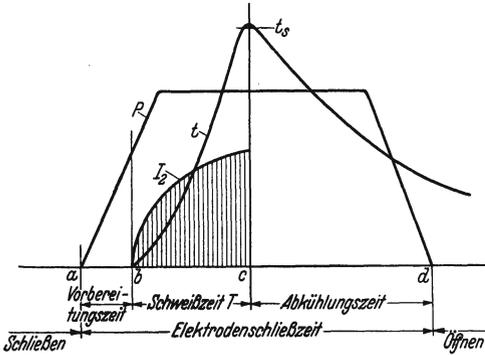


Abb. 11. Zeitlicher Verlauf einer Punktschweißung. P = Elektrodenkraft; J_s = Schweißstrom; t = Temperatur; t_s = Schweißtemperatur.

strom sofort nach der Verschweißung ausgeschaltet wird, wirkt während des Abkühlens (*c d*) die Elektrodenkraft noch bis zum völligen Erstarren der Schweißstelle weiter. Dann erst öffnet sich das Elektrodenpaar (bei *d*).

Nach diesem Vorgang arbeitet auch die allgemein bekannte Punktschweißmaschine Abb. 12. Das Elektrodenpaar ist von zwei Armen gehalten, von denen der Unterarm feststeht und der Oberarm schwenkbar angeordnet ist. Beim Nieder-treten des Fußhebels schließen sich zunächst die Elektroden und pressen die Bleche zusammen. Bei weiterem Durchtreten wird der Schweißstrom über den Hauptschalter eingeschaltet und die Schweißstelle nach dem Erwärmen unter einem Druck verschweißt, der durch die Feder bestimmt ist. Als Stromquelle dient ein Umspanner, dessen Oberspannungsseite über den Hauptschalter an das Netz geschlossen wird. Der starke Schweißstrom mit niedriger Spannung wird in nur einer Sekundärwindung erzeugt, die mit der Stirnplatte einerseits, dem Oberarm andererseits verbunden ist. Nach dem Verschweißen wird der Fußhebel losgelassen, zunächst durch Öffnen des Hauptschalters der Schweißstrom unterbrochen und kurze Zeit danach das Elektrodenpaar geöffnet.

Die für das Erhitzen der Schweißstelle erforderliche Wärmemenge Q muß in der Schweißzeit T zugeführt werden. Nach der Grundgleichung (10) ist diese

Wärmeleistung dem Quadrat des Schweißstromes und dem Widerstand der Schweißstelle verhältnismäßig. Der Widerstand der Schweißstelle hängt außer

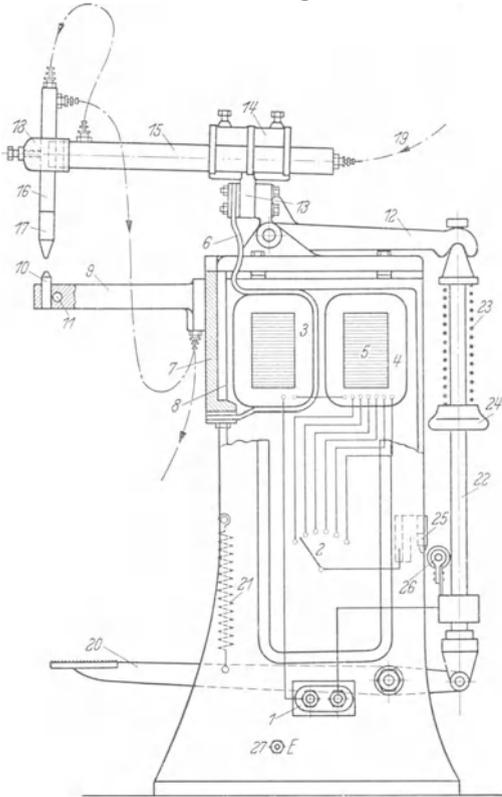


Abb. 12. Aufbau einer Punktschweißmaschine.

1 = Anschlußklemmen; 2 = Stufenschalter; 3 = Umspannerhauptspule; 4 = Umspanneranzapfspule; 5 = Umspannerkern; 6 = Sekundäre (nur eine Windung); 7 = Stirnplatte; 8 = Isolation gegen Gestell; 9 = Unterarm; 10 = Steckeletrode; 11 = Klemmbohrung; 12 = Oberarmhebel; 13 = Oberarmträger; 14 = Spannhäube; 15 = Oberarm; 16 = Elektrodenhalter; 17 = Elektrode mit Gewinde; 18 = Spannkappe für Elektrodenhalter; 19 = Kühlwasserweg; 20 = Fußhebel; 21 = Rückzugfeder; 22 = Druckstange; 23 = Druckfeder für Elektrodenkraft; 24 = Handrad für Kraftverstellung; 25 = Hauptschalterstifte; 26 = Hauptschalterrollen; 27 = Erdungsschraube.

Schweißdruck in kg/mm^2 erst aus dem Verhältnis der Elektrodenkraft P zur verschweißten Fläche F ergibt (Abb. 13). Der Schweißdruck muß so hoch sein, daß der Schweißstrom ohne Lichtbogenerscheinung von der Elektrode zum Werkstück und zwischen den Werkstückteilen geführt werden kann. Er darf andererseits während des Erhitzens nur so hoch sein, daß in der Schweißstelle genügend elektrischer Widerstand zum Erzeugen der Schweißwärme besteht. Ist die Wärme erzeugt, so kann der Schweißdruck erhöht werden, wenn eine innige Verschweißung des erweichten Werkstoffes dies erfordert. Der Schweißdruck ist nach oben durch die Rücksicht auf die Haltbarkeit der Elektrodenflächen begrenzt.

Nach der Grundgleichung (9) wächst die Wärmeentwicklung, gleichbleibenden Strom vorausgesetzt, mit dem Widerstand der Schweißstelle. Da der Widerstand von der Elektrodenkraft abhängt, so kann auch der Verlauf der Erwärmung un-

vom Werkstoff besonders stark vom Schweißdruck ab. Der Schweißstrom wird von der Elektrodenspannung und dem Widerstand der Schweißstelle, somit also auch vom Schweißdruck beeinflusst. Die Schweißzeit schließlich muß dem Schweißstrom und dem Widerstand und damit auch dem Schweißdruck so angepaßt werden, daß nur die für die Schweißung erforderliche Wärmemenge oder elektrische Arbeit zugeführt wird. Schweißdruck, Schweißstrom und Schweißzeit stehen also zueinander und zur Schweißstelle in ganz engen Wechselbeziehungen, die beim Behandeln des einzelnen Einflusses stets beachtet werden müssen.

9. Der erforderliche Schweißdruck wird erzeugt, indem das Werkstück zwischen den Elektroden mit einer bestimmten Elektrodenkraft zusammengepreßt wird.

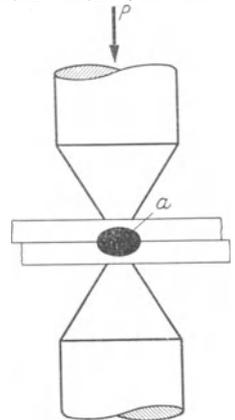


Abb. 13. Schweißdruck

$p = P/F \text{ kg/mm}^2$.
 P = Elektrodenkraft in kg; a = Schweißpunkt mit verschweißtem Querschnitt F (mm^2).

In der Praxis wird häufig die Elektrodenkraft als „Schweißdruck“ oder „Elektrodenkraft“ bezeichnet. Diese Bezeichnung ist fehlerhaft, da sich der

abhängig vom Werkstoff durch die Elektrodenkraft beeinflusst werden. Gut leitende Werkstoffe mit sauberen Oberflächen würden bei hoher Elektrodenkraft den Schweißstrom ohne genügende Erwärmung durchfließen lassen, weil durch das kräftige Zusammenpressen eine große Berührungsfläche zwischen den Werkstückteilen entstehen würde. Erst durch Verringern der Elektrodenkraft auf ein Maß, das nur eine Lockerberührung der Teile verursacht, wird genügend Widerstand und damit genügende Wärmeleistung an der Schweißstelle erzeugt. Umgekehrt müssen Teile mit hohem elektrischen Widerstand und mit schlecht leitenden Oberflächen, z. B. oxydierte Bleche, mit sehr hohen Elektrodenkräften zusammengepreßt werden, damit dem Strom genügend leitende Fläche zur Verfügung steht.

Schließlich ist bei der Bemessung der Elektrodenkraft auch auf den Elektrodenwerkstoff und die Elektrodenform Rücksicht zu nehmen. Wegen der erforderlichen guten Leitfähigkeit können die Elektroden nur aus Kupfer oder seinen Legierungen hergestellt werden. Das Punktschweißen zwingt zu spitzen Elektroden, deren Form trotz hoher Pressung und Erwärmung der Arbeitsflächen möglichst lange erhalten werden muß. Der Schweißdruck darf daher die Festigkeit des Elektrodenwerkstoffes im warmen Zustand nicht überschreiten. Aber auch zu geringer Schweißdruck begünstigt die Abnutzung der Elektroden, weil durch den Lockerkontakt zwischen Elektrode und Werkstückoberfläche kleine Lichtbögen entstehen, die die Elektrodenoberflächen angreifen und schnell zerstören.

Während des Schweißens wird die Schweißstelle etwas zusammengestaucht. Dieser Vorgang ist bei jeder Preßschweißung unvermeidlich und zeigt sich an den punktgeschweißten Werkstücken deutlich durch geringfügige Eindruckstellen. Zu tiefe Eindrücke entstehen meist nicht durch zu hohe, sondern eher durch zu niedrige Elektrodenkraft und durch zu lange Schweißzeiten, die das Einbrennen oder Einsinken der Elektrodenspitzen begünstigen. Zum Erzeugen eines bestimmten Schweißdruckes ist für eine Elektrodenspitze mit großer Arbeitsfläche mehr Elektrodenkraft aufzubringen als für eine scharf zugespitzte Elektrode. Meistens steht jedoch die Elektrodenfläche in einem bestimmten Verhältnis zur Blechstärke und zum Punktdurchmesser. Es ist daher üblich, beim Punktschweißen verschiedener Blechstärken und Werkstoffe ohne Rücksicht auf den Schweißdruck Erfahrungswerte für die Elektrodenkräfte anzugeben. Diese Werte geben nur einen ungefähren Anhalt, da durch Einflüsse des Werkstückes auch bei gleicher Elektrodenkraft ganz verschiedene Schweißdrücke entstehen können (vgl. Abschn. 20).

10. Erzeugen und Regeln der Elektrodenkraft. Der Schweißdruck wird bei den kleinen Punktschweißmaschinen durch Fußkraft erzeugt (Abb. 14). Zwischen den Fußhebel und den Oberarmhebel ist eine Feder geschaltet, deren Vorspannung verstellt werden kann und die nach Durchtreten des Fußhebels die Elektrodenkraft bestimmt. Bei größeren Maschinen wird die Elektrodenkraft meist durch ein Getriebe mit Motor erzeugt (Abb. 15). In dem Getriebe sind Schlagbolzenkupplungen oder Klauenkupplungen vorgesehen, durch die die Elektrode in der Arbeits- oder Ruhestellung stillgesetzt wird. Für Punktschweißmaschinen können die Kraftantriebe mit verschiedener Geschwindigkeit laufen, so daß die Zahl der Elektrodenhübe je Minute der Arbeitsweise anzupassen ist. Bei Nahtschweißmaschinen müssen die Getriebe die Elektrode in der Arbeitsstellung festhalten und erst nach erneutem Betätigen loslassen. Die auf dem Markt befindlichen Kraftantriebe sind meist für Durchlauf und für Einzelhübe, also für das Arbeiten mit Punkt- und Nahtschweißmaschinen eingerichtet. Auch bei kraftbetriebenen Elektroden wird die Elektrodenkraft meist durch eine Feder geregelt. Große Elektrodenkräfte werden auch durch Preßluft oder Öldruck er-

zeugt (Abb. 16). Ist in einem Betriebe Preßluft vorhanden, so kann mit Hilfe eines Preßluftzylinders am einfachsten der Schweißdruck erzeugt und über ein Druckminderventil geregelt werden. Bei öldruckbetätigten Maschinen muß in der Maschine eine Ölpumpe vorgesehen und das Drucköl im Kreislauf verwendet werden.

Oft ist es erforderlich, die Elektrodenkraft während der Schweißung, also in kurzer Zeit, zu ändern. Gut leitende Werkstoffe können nur bei absichtlich durch leichten Schweißdruck erhöhtem Widerstand der Schweißstelle erwärmt werden, brauchen jedoch zum Verschweißen nach der Erwärmung einen hohen Schweißdruck.

Bei durch Federkraft geregelten Maschinen wird diese Forderung mit Hilfe besonderer Federkennlinien oder Kurven zum Erzeugen des Federweges erfüllt. Bei durch Preßluft oder Flüssigkeit erzeugtem Schweißdruck wird die Elektrodenkraft durch schnelles Ändern der Betriebsdrücke beeinflusst. Um die Elektrodenkraft sehr genau und unabhängig vom Hub beherrschen zu können, werden die Einrichtungen zum Erzeugen des Elektrodenhubes und zum Regeln der Elektrodenkraft voneinander getrennt. Zwischen den Huberzeuger und die Elektrode wird dann ein luft- oder flüssigkeitsgefüllter Raum mit gleichgehaltenem Innendruck geschaltet, dessen „Kissen“wirkung in jeder Stellung für gleiche Elektrodenkräfte sorgt (Abb. 17).

Um Brandlöcher zu vermeiden, ist es unbedingt erforderlich, vor dem Einschalten des Schweißstromes die Elektroden und das Werkstück leitend zusammenzupressen und den Strom vor dem Öffnen der Elektroden auszuschalten. Um die Gewähr zu haben, daß der Schweißstrom erst nach Erreichen der gewünschten Elektrodenkraft eingeschaltet wird, darf der Betätigungsschalter erst nach Zusammendrücken der Feder einschalten. Bei preßluftbetätigten Maschinen oder besonders bei den Maschinen mit Öl- oder Luftkissen wird dieser Betätigungsschalter erst eingeschaltet, nachdem im Flüssigkeitsraum der gewünschte Druck erreicht ist.

11. Der Schweißstrom bringt die Schweißstelle auf die gewünschte Schweißtemperatur. Seine Stärke wird durch den Widerstand der Schweißstelle und durch die Elektrodenspannung bestimmt und muß im Einklang mit der Schweißzeit stehen, damit der Schweißstelle nur die zur Erhitzung erforderliche elektrische Arbeit zugeführt wird. Um die Wärmeverluste recht klein zu halten (s. Abschn. 4), muß die Schweißstelle in möglichst kurzer Zeit erwärmt werden. Die hierfür erforderliche hohe Wärmeleistung kann nur durch eine möglichst hohe Stromdichte in der Schweißstelle erzeugt werden. Bei der Punktschweißung wird die Strom-

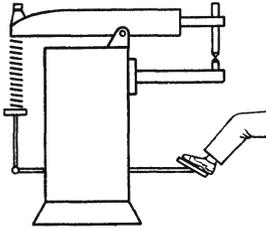


Abb. 14. Erzeugen durch Fußkraft, Regeln durch Feder.

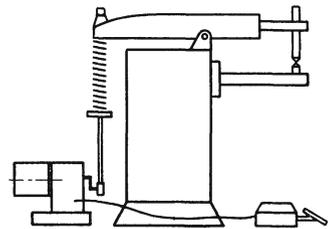


Abb. 15. Erzeugen durch Motorkraft, Regeln durch Feder.

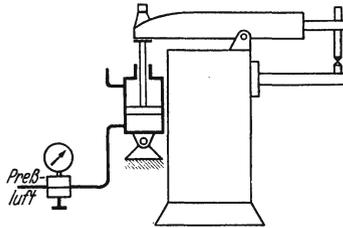


Abb. 16. Erzeugen durch Preßluft oder Drucköl, Regeln durch den Druck des Druckmittels.

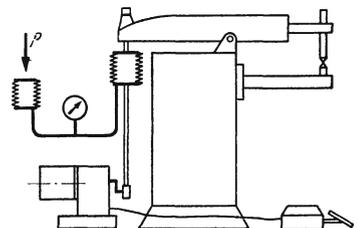


Abb. 17. Erzeugen beliebig, z. B. durch Kraftantrieb, Regeln durch Luft- oder Öldruck-„Kissen“.

Abb. 14—17. Regeln und Erzeugen der Elektrodenkraft.

dichte durch die kleinen Berührungsflächen der Elektroden bestimmt, zwischen denen der Schweißstrom das Werkstück durchfließen muß. Daher darf der Schweißstrom nur so weit gesteigert werden, daß die Elektrodenflächen noch imstande sind, ihn sicher in das Werkstück zu leiten.

Der Widerstand des Werkstückes zwischen den Elektrodenspitzen ist so gering, daß schon eine kleine vollkommen ungefährliche Elektrodenspannung von wenigen Volt einen sehr starken Strom von vielen tausenden Ampere entstehen läßt (s. Abschnitt 5). Derart starke Ströme von kleiner Spannung belasten die Stromquelle der Widerstandsschweißmaschine sehr ungleichmäßig, weil kurze, starke Schweißstromstöße mit oft langen Pausen abwechseln. Es liegt daher der Gedanke nahe, in den Schweißpausen elektrische Arbeit aufzuspeichern und während der Schweißzeit die Energie dem Speicher zu entnehmen, um dadurch die Stromquelle nur mit einer mittleren Leistung zu beanspruchen. Die Schwierigkeit dieses Verfahrens besteht darin, daß nach Ablauf der Schweißzeit der starke Schweißstrom selbst durch Schalter unterbrochen werden muß. Die älteste Speicherschweißmaschine, eine Stumpfschweißmaschine, arbeitete mit einer Akkumulatorenbatterie, deren Zellen durch Quecksilberschalter in den Schweißpausen

hintereinandergeschaltet ans Netz gelegt und während des Schweißens in Gruppen parallel an die Sekundäre geschlossen wurden. Bei einer späteren Speicherpunktschweißmaschine wurde der Schweißstromkreis durch eine Sperre im Akkumulator selbst unterbrochen. Stromspeicher, die jeweils nur mit so viel elektrischer Arbeit geladen werden, wie für das Herstellen einer Schweißung erforderlich ist, vermeiden das schwierige Unterbrechen des Schweißstromes. Hierfür haben sich in neuerer Zeit bei kleinen Maschinen Kondensatoren bewährt. In größeren Widerstandsschweißmaschinen findet man als Schweißstromerzeuger ausschließlich Umspanner (Transformatoren), für deren Betrieb Wechselstrom oder Drehstrom dem Kraftnetz entnommen wird.

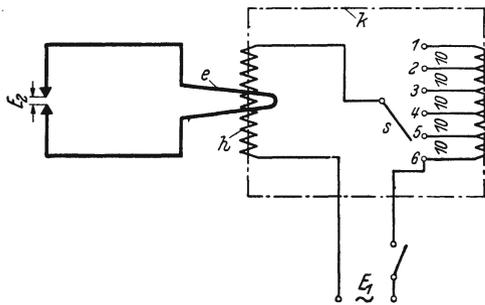


Abb. 18. Umspanner mit Regelstufen (Schema).

E_1 = Netzspannung (z. B. 220 Volt); E_2 = Elektrodenspannung; k = Umspannerkern; h = 100 primäre Hauptwindungen auf dem Hauptschenkel; e = 1 Sekundärwindung; n = 5×10 Anzapfwindungen auf dem Nebenschenkel; s = Stufenschalter (schematisch).

Schaltstellung des Hebels s	1	2	3	4	5	6
Übersetzungsverhältnis	1:150	1:140	1:130	1:120	1:110	1:100
Elektrodenspannung E_2 bei $E_1 = 220$ Volt	1,46	1,57	1,69	1,84	2,0	2,2

Der Umspanner (Abb. 18) besteht aus einer Ober- und einer Unterspannungswicklung, die durch einen Eisenkern elektromagnetisch verbunden sind. Im Schweißmaschinenumspanner wird die Oberspannungsseite, die Primärwicklung, vom Netzstrom durchflossen. Die Unterspannungsseite, die Sekundäre, besteht nur aus einer Windung mit sehr großem Querschnitt und guter Leitfähigkeit, die mit der Ober- und Unterelektrode leitend verbunden ist. Die vom Netzstrom durchflossenen Windungen erzeugen im Eisenkern einen magnetischen Fluß, der in der Sekundäre eine Spannung induziert. Das Verhältnis der einen oder mehrerer Sekundärwindungen zur Zahl der wirksamen Primärwindungen nennt man das Übersetzungsverhältnis des Umspanners, durch das bei gegebener Netzspannung die Elektrodenspannung bestimmt wird. Werden z. B. 150 Windungen eines Schweißumspanners, dessen Sekundäre eine Windung hat, an eine Spannung von 220 Volt gelegt, so ist die Elektrodenspannung im Leerlauf $220 \cdot 1/150 = 1,47$ Volt.

Die Elektrodenspannung und damit die Höhe des Schweißstromes ist also zu regeln, indem mehr oder weniger Primärwindungen an die Netzspannung gelegt werden. Zum Regeln der Leistung von Widerstandsschweißmaschinen sind daher die Umspannerspulen mit Anzapfungen versehen, durch die die Anzahl der stromdurchflossenen Windungen verändert werden kann. Bei höchster Leistungsstufe der Maschine liegt die geringstmögliche Windungszahl des Umspanners am Netz, während bei der niedrigsten Leistungsstufe alle vorhandenen Windungen vom Strom durchflossen sind.

Schweißmaschinenumspanner können mit der Nennleistung der Maschine nur aussetzend betrieben werden. Ihre Kurzschlußleistung im Dauerbetrieb (DB) liegt wesentlich niedriger als die für eine bestimmte Einschaltdauer (ED) zulässige Spitzenleistung der Maschine.

12. Der Umspanner. Die Primärwicklung des Umspanners wird aus Kupferdraht oder -band hergestellt. Die einzelnen Windungen werden durch Umwickeln mit Band voneinander isoliert, und die ganze Spule wird durch Tauchen in Isoliermasse und nachfolgendes Trocknen im Ofen gefestigt. Bei stärkeren Maschinen mit größeren Kupferquerschnitten wird die Wicklung in einzelne Spulen aufgelöst, die mit einigem Abstand voneinander auf dem Kern befestigt

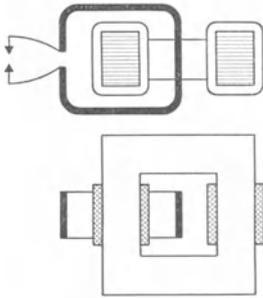


Abb. 19. Kernumspanner.

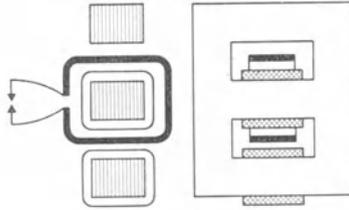


Abb. 20. Mantelumspanner.

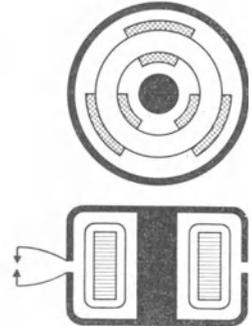


Abb. 21. Ringumspanner.

Abb. 19...21. Bauformen der Schweißmaschinenumspanner.

werden. Zwischen den einzelnen Spulen ist Raum zum Durchtritt von Kühlluft gelassen. Die Spulen müssen untereinander und auf dem Eisenkern gegen seitliche Verschiebung sorgfältig befestigt werden, weil sie beim Einschalten des Schweißstromes zu wandern versuchen. Der Eisenkern ist zum Vermeiden von Wirbelströmen aus dünnen gegeneinander isolierten Blechen geschichtet. Nach der Form des Kernes unterscheidet man Kern-, Mantel- und Ringumspanner (Abb. 19...21). Die Bleche der Kern- und Mantelumspanner werden in die fertigen Spulen gepackt. Beim Ringumspanner muß die Wicklung auf dem Kern selbst hergestellt werden. Beim Kern- und Mantelumspanner wird der von der Sekundäre umschlossene Teil als „Hauptschenkel“ bezeichnet, der auch die „Hauptwindungen“ der Primärwicklung trägt, während die Anzapfwindungen auf dem Nebenschenkel angeordnet sind.

Die Sekundäre wird bei kleineren Maschinen aus mehreren Lagen Bandkupfer hergestellt, die mit dem Oberarmträger einerseits und der Stirnplatte der Maschine andererseits verbunden werden. Bei größeren Maschinen wird sie aus Messing oder Bronze gegossen und diese feststehende Sekundäre nur durch einen biegsamen Teil aus Blattkupfer mit dem beweglichen Oberarm verbunden. In letzter Zeit werden wegen der Knappheit an Schwermetallen wenigstens für die nicht beweglichen Teile des Schweißstromweges auch Aluminiumgußteile und

gezogene Aluminiumschienen benutzt. Alle leitenden Verbindungen dieser Teile sind durch Korrosion besonders gefährdet. Die Kontaktflächen sind daher unmittelbar vor dem Verschrauben zu säubern und mit säurefreiem Fett gegen Oxydbildung zu schützen. Verbindungsschrauben aus Stahl werden verkadmiumt und durch federnde Unterlegscheiben gegen Lösen gesichert. In Verbindungsflächen mit Schwermetallen haben sich auch kupferplattierte Aluminiumbleche als Zwischenlage bewährt, durch die offene Berührung nur zwischen gleichartigen Metallen entsteht. Der Schweißstrom durchfließt außer dieser Sekundärwindung die Stirnplatte, den Unterarm, den Oberarmträger und den Oberarm sowie die Elektrodenhalter, um zu den Elektroden zu gelangen.

13. Verluste. Alle Leiter des Schweißstromkreises müssen zum Führen des starken Schweißstromes genügend Querschnitt haben und an ihren Verbindungsstellen mit reichlichen Berührungsflächen und hoher Anpressung verbunden werden. Trotz ihrer guten Leitfähigkeit erwärmen sich die Schweißstromleiter um so mehr, je stärker der Schweißstrom und je höher die Einschaltdauer (ED), d. h. das Verhältnis von Schweißzeit zu Strompause ist. Bei kleineren Maschinen kann diese Verlustwärme an die umgebende Luft abgeführt werden, während bei größeren Maschinen die Sekundäre und besonders ihre Verbindungsstellen durch Gebläseluft oder Wasser gekühlt werden müssen. Luftgekühlte Sekundären werden trotz ihrer größeren Querschnitte und kleinerer Verluste heißer als wassergekühlte, weil der Wärmeübergang an Luft schlechter ist als an fließendes Wasser. Für die Elektroden und ihre Halter selbst ist Wasserkühlung unerlässlich, weil diese Teile außer durch die Stromwärme zusätzlich vom erhitzten Werkstück erwärmt werden. Schließlich entsteht auch im Umspannerkern und in der Spannungswicklung Verlustwärme, die jedoch gegenüber den Verlusten im Schweißstromkreis unbedeutend ist. Zum Decken all dieser Verluste ist der Schweißmaschine vom Netz eine wesentlich höhere Leistung zuzuführen, als zwischen den Elektroden für das Erwärmen des Werkstückes erforderlich wäre. In den einzelnen Teilen des Schweißstromkreises entstehen Verlustwärmemengen, die den Ohmschen Widerständen dieser Leiterteile entsprechen

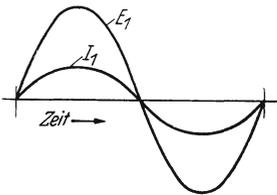


Abb. 22. Nur Ohmscher Widerstand: E_1 und J_1 in Phase, Wirkleistung $N = E_1 \cdot J_1$.

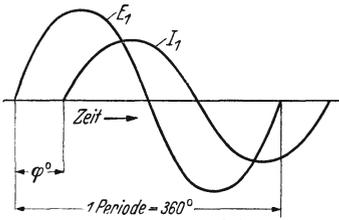


Abb. 23. Ohmscher und induktiver Widerstand, J_1 eilt E_1 um φ° nach, Scheinleistung $N = E_1 \cdot J_1$; Wirkleistung $N_w = N \cdot \cos \varphi$; $\cos \varphi =$ Leistungsfaktor.

Abb. 22...23. Phasenverschiebung und Leistungsfaktor.

(vgl. Abb. 5 u. 6). Der Gesamtwirkungsgrad der Erwärmung ergibt sich aus dem Verhältnis der für das Erhitzen des Schweißpunktes erforderlichen Wärmemenge zu der in die Maschine geschickten elektrischen Arbeit (vgl. Abb. 1...4). Außer diesen wärmeerzeugenden Jouleschen Verlusten entstehen aber in Widerstandsschweißmaschinen weitere Verluste, die durch den Wechselstrombetrieb bedingt sind.

Alle vom Wechselstrom durchflossenen Spulen und Einzeleiter umgeben sich mit einem magnetischen Wechselfeld, dessen Auf- und Abbau ein Nacheilen des Stromes hinter der aufgedrückten Spannung verursacht. Diese Phasenverschiebung vermindert das für die Wärmeleistung maßgebende wirksame Produkt aus Spannung und Strom, die Wirkleistung. Von der in die Maschine geschickten Scheinleistung N steht also nur ein Teil $N_w = N \cos \varphi$ für das Erzeugen der Schweiß- und Verlustwärme zur Verfügung, während ein anderer Teil, die Blindleistung $N_B = N \sin \varphi$ ohne fühlbare Verlustwärme nur für den Auf- und Abbau der magnetischen Felder verbraucht wird (Abb. 22 u. 23). Der Kosinus des Phasenver-

schiebungswinkels φ heißt „Leistungsfaktor“. Danach gibt die Leistungsaufnahme einer Schweißmaschine noch keinen Aufschluß über ihre Schweißleistung. Von der aufgenommenen Scheinleistung N , die durch Volt- und Amperemeter angezeigt wird, geht durch Streuung des Umspanners und durch den induktiven Widerstand des Schweißstromweges wattlos ein Teil verloren. Der Streuverlust hängt von der Sättigung des Eisenkernes, also von der Leistungsaufnahme und von der Kopplung zwischen Netz- und Schweißstromkreis ab. In Schweißmaschinenumspannern werden absichtlich die Streuverluste nicht zu weit vermindert, weil die Streuung eine natürliche Begrenzung der Schweißstromstärke darstellt (s. Abschn. 25). Die Induktionsverluste des Schweißstromweges wachsen mit seiner Länge und der von ihm umschlossenen Fläche. Hieraus erklärt sich, daß Schweißmaschinen mit großen Armausladungen und Öffnungen für die gleiche Schweißleistung viel höhere Scheinleistungen aufnehmen müssen.

14. Leistungsdreieck und Kennlinie (Abb. 24 u. 25) geben eine Übersicht über den Verlauf der Leistungen in der Schweißmaschine. Wir gehen aus von der Schweißleistung, d. h. der elektrischen Leistung N_5 , die zum Erwärmen des Schweißpunktes auf Schmelztemperatur in der Schweißzeit erforderlich ist. Durch Wärmeverlust an das kalte Werkstück und die Umgebung (N_4) sowie an die gekühlten Elektroden (N_3) ist schon zwischen den Elektroden-spitzen eine erhöhte Leistung ($N_3 + N_4 + N_5$) aufzuwenden. Der Wirkungsgrad des Wärmeumsatzes $\frac{N_5}{N_3 + N_4 + N_5}$ wächst mit dem Verkürzen der Schweißzeit.

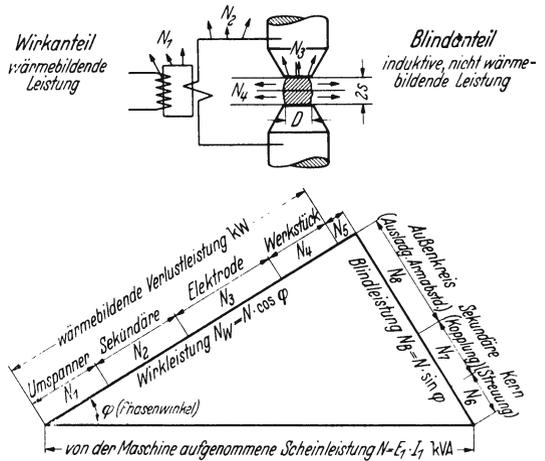


Abb. 24. Das Leistungsdreieck.

Schweißleistung: $N_5 = 4,184 \cdot \frac{D^2 \cdot \pi \cdot 2 \cdot s \cdot \gamma \cdot c_m \cdot t_s}{4 \cdot T}$

darin: $\frac{D^2 \cdot \pi}{4} \cdot 2 \cdot s \cdot \gamma =$ Gewicht des Schweißpunktes

- c_m = mittlere spez. Wärme
- t_s = Schweißtemperatur
- T = Schweißzeit

In den Elektroden mit Haltern, den Armen und der Sekundäre entsteht weitere Verlustwärme, die mit den kleinen Kupfer- und Eisenverlusten im Umspanner durch die Leistung N_2 und N_1 zu decken sind. Diese Verluste sind weniger durch Verkürzen der Schweißzeit, als durch richtige Bemessung der Leitungsquerschnitte im Verhältnis zum Schweißstrom zu beeinflussen. Der Wirkungsgrad der Maschine N_5/N_W ist also von der Schweißzeit und von der Strombelastung des Schweißstromkreises abhängig.

Durch das Herausstreuen von Kraftlinien aus dem Umspannerkern durchfließen nicht alle von den Primärwindungen erzeugten Kraftlinien die von der Sekundäre umschlossene Fläche. Diese Streuung erzeugt eine Blindleistung, die mit der Länge des freien Kraftlinienweges im Kern (N_6) und mit der Öffnung der Sekundärwindung (N_7) wächst. Werden alle vom Netzstrom durchflossenen Windungen möglichst eng von der Sekundäre umschlossen (z. B. Ringumspanner), so entsteht wenig Blindleistung. Die auf dem Nebenschenkel angeordneten Windungen erzeugen mit wachsender Leistung viel Streuverlust und lassen den Umspanner „weich“, d. h. mit bei zunehmender Belastung schnell abfallender Sekundär-

spannung arbeiten (s. Abschn. 25). Der größte Anteil der Blindleistung entsteht zwischen den Elektrodenarmen (N_8). Dieser Anteil wächst mit der Ausladung und der Armöffnung, sowie mit Eisenmassen, die zwischen die Arme gebracht werden. Die gesamte Blindleistung nimmt außerdem mit der Belastung der Schweißmaschine zu. Infolge der von ihr verursachten Phasenverschiebung müssen wir also der Schweißmaschine eine Scheinleistung N zuführen, die noch wesentlich höher als die Wirkleistung ist. Zum Beurteilen der Schweißmaschine muß man außer dem Wirkungsgrad N_5/N_W auch den Leistungsfaktor $N_W/N = \cos \varphi$ kennen. Der Wirkungsgrad N_5/N_W der üblichen Punktschweißmaschinen ist etwa $0,1 \cdots 0,5\%$, der Leistungsfaktor $\cos \varphi = 0,4 \cdots 0,8$. Das Produkt des von der Maschine aufgenommenen Stromes und der Netzspannung ergibt die Scheinleistung. Ein Wattmeter im Netzstromkreis zeigt die Wirkleistung und ein Arbeits-(kWh-) Zähler die Wirkarbeit, d. h. das Produkt aus Wirkleistung und Schweißzeit an. Der niedrige Leistungsfaktor der Widerstandsschweißmaschinen ist

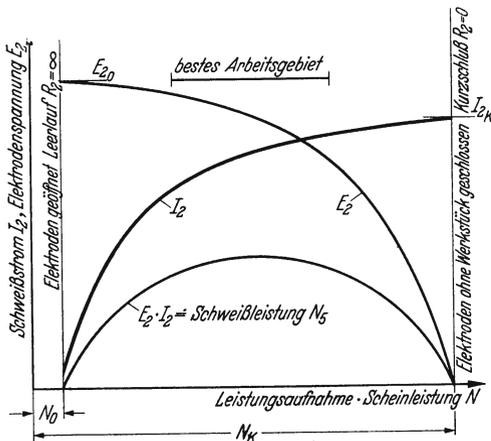


Abb. 25. Die Kennlinie.

Vom Leerlauf (N_0) steigt die Schweißleistung N_5 auf einen Bestwert und ist beim Kurzschluß (N_k) der Elektroden wieder Null.

Die Zunahme der wärmebildenden und blinden Verlustleistung mit der Belastung bestimmt die Kennlinie (Charakteristik) der Schweißmaschine (Abb. 25). Zum Erzeugen der Leerlaufspannung der geöffneten Elektroden nimmt die Maschine eine kleine (Magnetisierungs-)Leerlaufleistung N_0 auf. Nach dem Schließen der Elektroden entsteht ein Schweißstrom J_2 . Mit dem Vermindern des Werkstückwiderstandes wächst der Schweißstrom J_2 und die Leistungsaufnahme N der Maschine. Mit der wachsenden Belastung fällt die Elektrodenspannung E_2 , weil immer mehr Leistung auf dem Wege durch die Maschine als Blind- und Wärmeverlust verlorengeht. Daher fällt die wirksame Schweißleistung $N_5 = E_2 \cdot J_2$ nach Überschreiten eines Höchstwertes wieder ab. Bei kurzgeschlossenen Elektroden schließlich nimmt die Maschine die höchste Leistung, die Kurzschluß-Scheinleistung N_k , auf, die restlos durch Blind- und Verlustwärmeleistung vernichtet wird. Die Kennlinie ist für jede Regelstufe und Armausladung der gleichen Maschine anders. Am wirkungsvollsten arbeitet eine Schweißmaschine im steigenden Teil der Leistungslinie. Schweißtechnische Rücksichten verlangen jedoch oft das Arbeiten auf dem fallenden Teil, wobei ein schlechterer Wirkungsgrad und Leistungsfaktor in Kauf genommen werden müssen. Aufgabe der Schweißstromregelung (Abschn. 25) ist es, die Schweißleistung in den günstigsten Teil der Maschinenkennlinie zu legen.

für den Elektrizitätslieferer nicht angenehm. Bei größeren Schweißanlagen wird daher auch der Blindstrom gemessen und berechnet. In Betrieben mit vielen Widerstandsschweißmaschinen ist eine Kompensation des Blindstromes durch Kondensatoren zu empfehlen, damit der Leistungsfaktor verbessert und die Kosten der elektrischen Energie gesenkt werden. Die Kompensation einzelner Maschinen ist wegen ihres geringen Arbeitsverbrauches nicht üblich.

15. Das Schalten des Schweißstromes ist wegen der großen Stromstärken nicht im Schweißstromkreis, sondern nur durch Schließen und Unterbrechen der Stromzufuhr vom Netz zum Umspanner möglich. Bei den einfachen Punktschweißmaschinen wird der Strom durch Klöppel-, Rollen- oder Gleitschalter geschaltet, die in Verbindung mit dem Druckgestänge arbeiten (Abb. 26). Bei dem Einstellen dieser Schalter ist zu beachten, daß vor dem Einschalten genügend Elektrodenkraft vorhanden ist. Bei größeren Maschinen werden meist Schütze benutzt, deren Schaltstücke durch Elektromagneten geschlossen werden (Abb. 27). In Luft arbeitende Schütze haben sich für Schweißmaschinen besser als Ölschütze bewährt. Die Schalthäufigkeit, d. h. die Zahl der Schaltungen je Stunde, hat einen wesentlichen Einfluß auf die Haltbarkeit der Schaltstücke. 2000 Schaltungen je Stunde gehören schon zu den höchsten Beanspruchungen der Magnetschütze. Die Schaltstücke der Schütze und der mechanischen Schalter nutzen sich infolge der häufigen Unterbrechung der hohen Schweißmaschinenleistungen stark ab. Die durch die Abschaltlichtbogen verursachten Brandkrater auf den Schaltflächen sind oft der Anlaß für ungenaues Schalten. Häufiges Reinigen der Schaltstücke ist daher für gleichmäßiges Schweißen unerlässlich. Die Haltbarkeit der Schaltstücke kann durch Auflegen von silber- und wolframlegiertem Kontaktmetall sowie durch gutes Kühlen (Wasser oder Luft) und Ausblasen des Abschaltlichtbogens durch Preßluft oder magnetische Felder erhöht werden. Die Schaltstücke aller mechanischen Schalter und Schütze müssen mit genügend Kraft zusammengepreßt werden. Zu geringe Kontaktkräfte führen zu besonders unangenehmen Verschmorungen der Schalter. Auch bei bestem Zustand der Schaltstücke wird die Einschaltzeit der mechanischen Schalter um mehrere Perioden verlängert, wenn die Kontakte sich zufällig im Höchstwert des Wechselstromes öffnen. Infolge dieser Fehler und ihres trägen Arbeitens sind daher Schütze und mechanische Schalter für diejenigen Aufgaben ungeeignet, bei denen das Einhalten kurzer Schweißzeiten und genaues Zusammenarbeiten mit schnellen Bewegungen der Elektroden verlangt wird.

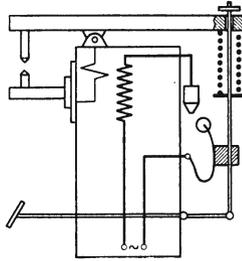


Abb. 26. Klöppelschalter im Federgestänge, muß nach der Elektrodenstellung eingestellt werden.

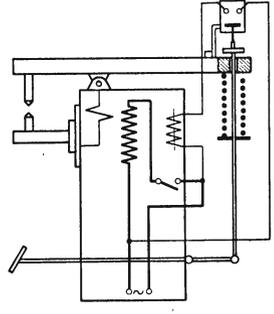


Abb. 27. Magnetschütz mit Hilfsschalter, der erst nach Zusammendrücken der Druckfeder einschaltet.

Abb. 26 ··· 27. Mechanische Schalter.

16. Erst das Schalten des Schweißstromes durch Röhrenschalter eröffnete für diese Aufgaben die Möglichkeit, große Leistungen bei höchster Schalthäufigkeit und kürzesten Schweißzeiten einwandfrei zu beherrschen. Die Quecksilberdampf- und Glühkathodengefäße arbeiten als elektrische Ventile, die den Strom nur in einer Richtung durchlassen. Wird zwischen Kathode und Anode dieser Gefäße ein Gitter gelegt und dieses durch Anlegen einer negativen Spannung aufgeladen, so sperrt es den Stromdurchgang und öffnet den Stromweg erst bei positiver Aufladung. Schaltet man zwei dieser Gefäße gegensinnig parallel (Abb. 28), so können sie einen Wechselstrom führen, wobei die positiven Halbwellen durch das eine, die negativen durch das andere Gefäß fließen können. Sperrt man beide Gitter, so ist der Wechselstrom unterbrochen.

Eine Gittersteuerung ist also ein Schalter, der gegenüber den oben beschriebenen mechanischen Schaltern folgende Vorteile hat:

1. Ein starker Wechselstrom von mehreren hundert Ampere wird durch winzige Kommandoströme von wenigen Milliampere beherrscht.

2. Der Schalter folgt dem Kommandostrom trägheitslos.

3. Die Gittersteuerungen unterliegen keiner Abnutzung und halten daher auch bei hoher Schalthäufigkeit ihre Schaltgenauigkeit aufrecht. Es ist daher zu verstehen, daß heute für höhere Ansprüche an Widerstandsschweißungen und an die Genauigkeit der Schweißzeit vorwiegend gittergesteuerte Anlagen verwendet werden.

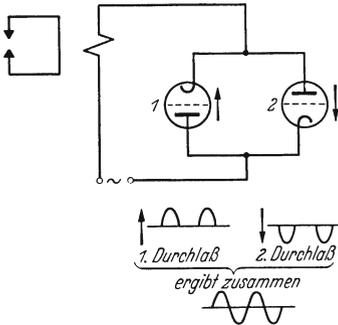


Abb. 28. Unmittelbare Gittersteuerung: Die beiden Stromrichter 1 und 2 führen den Hauptstrom der Maschine.

Anlagen mit zwei Gefäßen nennt man Zweiwegsteuerungen. Durchfließt der Hauptstrom der Schweißmaschine vom Netz kommend unmittelbar beide Gefäße, so spricht

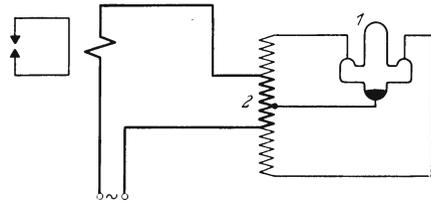


Abb. 29. Mittelbare Gittersteuerung: Der Hauptstrom der Maschine wird durch Kurzschließen des Drosselumspanners 2 mit dem Stromrichter 1 eingeschaltet.

Abb. 28...29. Gittergesteuerte Schalter.

man von einer unmittelbaren Gittersteuerung. Bei den mittelbaren Steuerungen durchfließt der Hauptstrom einen Drosselumspanner (Abb. 29), durch dessen induktiven Widerstand der Strom auf einen unbedeutenden Restwert herabgesetzt wird. Wird dieser Drosselumspanner mit Hilfe eines zweiarmigen Gefäßes kurzgeschlossen, so hat er keinen nennenswerten Spannungsabfall und läßt den vollen Strom zur Schweißmaschine durch. Außer den gittergesteuerten Stromrichtern (Thyratrons) werden zum Schalten von Schweißmaschinen neuerdings auch Quecksilberdampfgefäße mit Halbleiter-Hilfselektroden (Ignitrons) benutzt, die nicht durch Gitter gesperrt, sondern für jede Halbwelle durch einen Stromstoß gezündet werden.

Die Röhrenschalter erlauben nicht nur, kürzeste Schweißzeiten genau einzuhalten, sondern auch infolge ihrer trägheitslosen Arbeitsweise den Einschalt- und Ausschaltzeitpunkt in jede gewünschte Lage zum Ablauf der Wechselstromwelle zu bringen (Abschn. 26).

17. Die Schweißzeit ist die Einschaltzeit des Schweißstromes während einer Schweißung. Die Arbeitszeit je Punkt ist länger, da in dieser auch die Griffzeit für das Einlegen der Teile und für das Schließen und Öffnen der Elektrodenpaare enthalten ist. Für unsere schweißtechnischen Betrachtungen hat nur die Schweißzeit Bedeutung. In der Schweißzeit muß der Schweißstelle die Wärmemenge zugeführt werden, die für das Erhitzen des Punktes auf die Schweißtemperatur erforderlich ist. In je kürzerer Zeit die Wärme im Punkt erzeugt wird, desto weniger Verlustwärme kann der Punkt an den umgebenden Werkstoff und an die Elektroden abgeben. Daher ist man bestrebt, stets mit möglichst hohen Strömen und kurzen Schweißzeiten zu arbeiten (Abschn. 4). Mit dem Verkürzen der Schweißzeit muß die Schweißleistung erhöht werden. Die kürzest mögliche Schweißzeit ist erreicht, wenn der erforderliche Schweißstrom nicht mehr ohne Ausbrennungen von den Elektrodenflächen in den Werkstoff geleitet werden kann.

Die Länge der Schweißzeit wird in Sekunden oder bei kurzen Schweißzeiten in Perioden angegeben. Der übliche Wechselstrom mit 50 Hz hat 50 Perioden

oder Wellen je Sekunde. Eine Schweißzeit von 1 Periode entspricht also 0,02 Sekunden, eine Schweißzeit von einer Halbwelle 0,01 Sekunde. Die Schweißzeit wird durch die Einschaltdauer des Hauptschalters bestimmt. Bei einfachen Punktschweißmaschinen und kleineren Leistungen wird die Schweißzeit willkürlich nach dem Augenschein bemessen und der Hauptschalter meist in Verbindung mit dem Fußhebel so lange eingeschaltet, bis die Schweißung vollendet ist. Bei stärkeren Maschinen muß die Wärmemenge oder elektrische Arbeit je Schweißstelle durch genaues selbsttätiges Begrenzen der Schweißzeit gewählt werden. Sind außerdem die Punkte in schneller Folge zu schweißen, so ist nicht nur die Schweißzeit allein, sondern auch die zeitliche Lage der Einschaltzeit durch Synchronisieren mit der Wechselstromlinie genau zu bestimmen (s. Abschn. 26). Diese Aufgaben sind nur mit Hilfe von Gitter- oder elektrodynamischen Steuerungen zu lösen.

18. Zusammenfassung. Sicher vermißt der Schweißpraktiker schon die „Zahlenangaben“, nach denen für jede Schweißung sofort die beste Einstellung zu finden

Einflußgröße:	 Schweißzeit T	 Schweißwiderst. R	 Armausladung	 Armabstand	<i>weicher</i> Umspannerkoppig
Schweißleistung $N_5 = E_2 \cdot I_2$		—	—	—	—
Wirkleistung $N \cdot \cos \varphi$				—	—
Blindleistung $N \cdot \sin \varphi$					
Leistungsaufnahme Scheinleistung $N = E_1 \cdot I_1$					
el. Arbeitsverbrauch $E_1 \cdot I_1 \cdot \cos \varphi \cdot T$				—	—
Wirkungsgrad $\eta = \frac{N_5}{N \cdot \cos \varphi}$				—	—
Leistungsfaktor $\cos \varphi = \frac{N \cdot \cos \varphi}{N}$					

Abb. 30. Abhängigkeit der Leistungsaufnahme und -verteilung von der Schweißzeit und dem Schweißstromkreis. Voraussetzungen: Die Wärmeaufnahme der Schweißstelle, d. h. die Schweißarbeit $N_5 \cdot T = E_2 \cdot J_2 \cdot T$ bleiben konstant. Beim Ändern einer Einflußgröße bleiben die anderen unverändert.

wäre. Auf derartige „Rezepte“ ist bei der Behandlung der einzelnen Einflußgrößen bewußt verzichtet worden. Alle Zahlenangaben können nur für bestimmte Voraussetzungen gelten. Das „Rezept“ verleitet aber immer dazu, ohne Sinn für den Zusammenhang zu arbeiten, und muß daher auch bei genauester Erfüllung zum Mißerfolg führen, wenn einige Einflußgrößen nicht mit den vorausgesetzten übereinstimmen. Den vielseitigen Aufgaben der Widerstandsschweißung ist jedoch nur der Schweißer gewachsen, der sich eine klare Vorstellung von den Zusammenhängen aneignet.

Nach der notwendigen getrennten Behandlung der einzelnen Einflußgrößen seien noch einmal kurz ihre gegenseitigen Beziehungen (ohne Rücksicht auf den zahlenmäßigen Zusammenhang) zusammengestellt (Abb. 30). Zum Erzeugen der Schweißwärme eines Punktes sei eine bestimmte Wärmemenge oder elektrische Arbeit erforderlich. Mit wachsender Schweißzeit vermindert sich zwar die Schweißleistung, aber trotzdem nimmt infolge der wachsenden Verluste der Arbeitsverbrauch der Maschine zu. Ein Erhöhen des Schweißwiderstandes zwischen den Elektroden (z. B. durch Vermindern des Schweißdruckes) vermindert die Verlustarbeit im Schweißstromkreis und verbessert so den Wirkungsgrad und Leistungsfaktor. Durch den Armabstand wird die Blindleistung, durch die Ausladung

Blind- und Wirkleistung (Verlängerung des Schweißstromweges) beeinflusst. Die Umspannerkopplung, z. B. das Verhältnis der Haupt- zu den Anzapfwindungen, wirkt nur auf die Blindleistung und den Leistungsfaktor.

B. Werkstück und Schweißmaschine.

19. Der Werkstoff. Das Widerstandsschweißen ist bei allen Werkstoffen möglich, die durch den Durchfluß eines elektrischen Stromes zu erwärmen und im teigigen oder beginnenden flüssigen Zustand schweißbar sind. Diese Bedingung erfüllt am besten das Eisen und seine schmiedbaren Legierungen, so daß man früher auch nur diese für geeignet zum Widerstandsschweißen hielt. Eisen ist in einem weiten Temperaturbereich knetbar und unter genügendem Schweißdruck in diesem Zustand schweißbar. Außerdem besitzt es genügend elektrischen Wider-

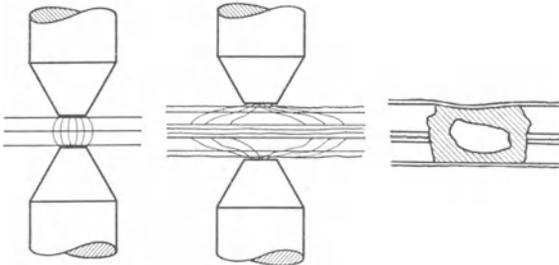


Abb. 31. Bleche sauber, Stromweg eindeutig.

Abb. 32. Bleche oxydiert, Stromweg unbestimmt.

Abb. 33. Folge: Lunker im Innern des Schweißpunktes.

Abb. 31...33. Punktschweißen oxydierter Bleche.

stand, um schon beim Durchgang eines mäßigen Schweißstromes schnell erwärmt werden zu können. Schmiedbares Eisen mit blanker Oberfläche läßt daher bei gleich gutem Ausfall des Schweißpunktes große Spielräume für die Einstellung der Elektrodenkraft, des Schweißstromes und der Schweißzeit zu. Verrostete und verzünderte Bleche sind jedoch nur mit sehr hohen Elektrodenkräften zu schweißen, die die isolierenden

Zunderschichten zerquetschen und so den Stromweg durch das Metall freilegen (Abb. 31, 32). Zu kleine Schweißdrücke bei verzünderten Blechen verursachen Hohlräume im Punkt, durch die die Tragfähigkeit sehr vermindert wird (Abb. 33). Bei legierten und beim Abschrecken härtenden Blechen wird die Umgebung des

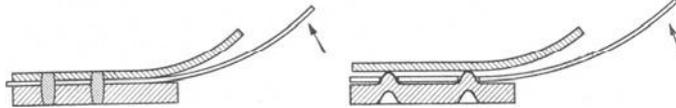


Abb. 34. Mit Deckblech durchgeschweißt.

Abb. 35. Feder gelocht, daher thermisch nicht beansprucht.

Abb. 34 u. 35. Punktschweißen von Federn.

Schweißpunktes oft glashart, weil diese beim schnellen Abgeben der Punktwärme an den umgebenden Werkstoff abgeschreckt wird.

Schweißpunkte an legierten Stählen haben daher eine geringe Tragfähigkeit, die nur durch Vergrößern des Schweißpunktes bzw. Ausglühen und Nachhärten der Punktumgebung aufgehoben werden kann. Auch durch richtige Formgebung lassen sich härtende Werkstoffe einwandfrei schweißen. So wird beim Anpunkten von Federn an Eisenbleche die Beanspruchung durch ein übergeschweißtes Weicheisenblech aufgenommen (Abb. 34), oder die gut schweißbaren Deckbleche werden durch Löcher der Feder hindurch unmittelbar verschweißt (Abb. 35). Gußeisen ist überhaupt nicht, Temperguß und Stahlguß nur beschränkt punktschweißbar.

Die gute elektrische und Wärmeleitfähigkeit der meisten Nichteisenmetalle zwingt zu sehr hohen Schweißströmen, da bei ihrem geringen Widerstand nur wenig Wärme am Schweißpunkt anfällt, und zu kurzen Schweißzeiten, da durch ihre gute Wärmeleitfähigkeit die wenige entstandene Wärme sich schnell verteilt. So ist z. B. das Punktschweißen von Kupferblechen nur möglich, wenn der Widerstand der Schweißstelle durch Erniedrigen der Elektrodenkraft oder Ver-

werden. Solange die Farbe weich ist, werden die Punkte einwandfrei durchgeschweißt. Metalle mit Gußgefüge sind im allgemeinen für das Punktschweißen nicht geeignet.

Das Verschweißen verschiedener Werkstoffe ist nur möglich, wenn zwischen beiden Werkstoffen eine Legierung möglich ist. Während des Schweißens bildet sich dann im Schweißpunkt eine Legierung aus beiden Stoffen, welche nach beiden Seiten anschweißt. Selbst wenn zwei Stoffe nicht legierungsfähig sind, ist doch eine Punktverbindung möglich, sofern zwischen die Teile ein Verbindungsmetall gelegt wird, welches mit beiden Stoffen legieren kann. Man spricht dann von einer elektrischen Hartlötung. Bleche mit Schutzschichten aus anderem Metall (galvanisierte und plattierte Bleche) schweißen im Grundwerkstoff zusammen, sofern das Deckmetall leichter schmilzt. Im Schweißpunkt wird das verflüssigte Deckmetall verdrängt und legt sich schützend um die Schweißstelle. Eine Festigkeitsverringerung des Punktes durch Einlegieren des Deckmetalles in den Grundwerkstoff ist oft nicht zu vermeiden. Bei Deckmetallen, deren Schmelzpunkt über dem des Grundwerkstoffes liegt, muß die Deckschicht selbst verschweißt oder während des Punktens eine Legierung mit dem Grundwerkstoff gebildet werden. Eine Übersicht über die Schweißbarkeit der Metalle gibt Abb. 38.

20. Die Gestalt des Werkstückes bestimmt die Form der Schweißmaschine und der Elektrodenarme. Die Werkstückteile sollen das Zuführen des Schweißstromes auf möglichst kurzem Wege und eindeutiges Durchleiten durch den gewünschten Schweißpunkt ermöglichen. Außerdem müssen die Teile so gegeneinander beweglich sein, daß die Elektrodenkraft den erforderlichen Schweißdruck zwischen ihnen erzeugen kann.

Sperrige Werkstücke benötigen lange Elektrodenarme und große Armöffnungen, die die Leistungsaufnahme der Maschine sehr erhöhen (Abb. 39 u. 40). Größere Schwierigkeiten bereitet das Verarbeiten formsteifer Teile. Liegen solche

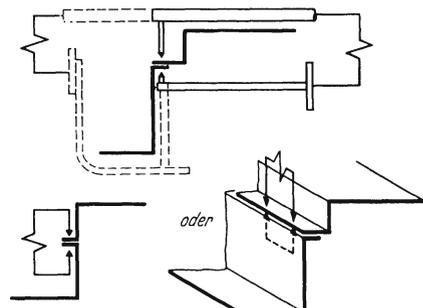
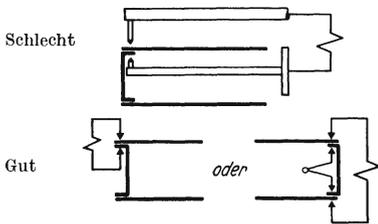


Abb. 39. Schweißen eines Bodens im Hohlkörper. Abb. 40. Schweißen von Werkstücken mit sperriger Gestalt. Abb. 39 u. 40. Sperrige Gestalt des Werkstückes erzwingt mit großer Armausladung und -öffnung teure Maschinen mit schlechtem Wirkungsgrad und Leistungsfaktor. Abhilfe durch Änderung der Gestalt oder des Stromweges.

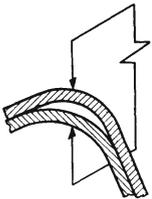


Abb. 41. Schlecht passende Ecke.



Abb. 42. Festgelegte Ecke.

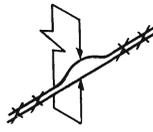


Abb. 43. Tüte oder Brücke.

Schlechtes Passen der Werkstückteile verursacht Brandlöcher und unnötig lange Schweißzeiten.

Teile zwischen den Elektroden hohl, so verteilt sich zwischen den Blechen der Strom auf weit auseinanderliegende Berührungspunkte, während unter den Elektroden spitzen Löcher in die Bleche geschmort werden (Abb. 41...43). Bei abgekanteten Blechteilen empfiehlt es sich, die Punkte mindestens 3...5mal Blechstärke von der Kante entfernt zu legen, damit etwas Beweglichkeit erhalten bleibt

stärke von der Kante entfernt zu legen, damit etwas Beweglichkeit erhalten bleibt

(Abb. 44). Bei langen Hohlkörpern oder schweren Eisenteilen ist die Stromdrosselung durch die zwischen die Arme gebrachten Eisenmassen zu berücksichtigen und gegebenenfalls für die weiter außen liegenden Punkte eine stärkere Stromstufe zu wählen. Schon der Gestalter des Werkstückes sollte diese Zusammenhänge beachten und dafür sorgen, daß die Elektroden bequem und mit möglichst geringer Ausladung an die Schweißstelle gebracht werden können.

Dickere Bleche erfordern verhältnismäßig hohe Schweißleistung, weil mit dem Wachsen der Schweißzeit und der zu erhaltenden Werkstoffmenge auch die Wärmeverluste gewaltig ansteigen. Bei gleich starken Blechen ist die Wärmeableitung in beiden Teilen gleich, so daß beide Teile gleiche Schweißtemperatur annehmen. Bei verschieden starken Teilen nimmt das dickere Teil mehr Verlustwärme auf als das dünnere, so daß das dünnere schneller die Schweißhitze erreicht (Abb. 45). Ein Ausgleich ist möglich, indem man am dünneren Blech die Elektrodenfläche vergrößert. Für das Bemessen der Leistung wird bei verschieden starken Teilen nicht die Gesamtdicke, sondern die 2,5- bis 3fache Dicke des dünnen Bleches zugrunde gelegt. Ungleiche Wärmeableitung ist auch beim Zusammenschweißen verschiedenartiger Querschnitte gegeben. Grundsätzlich ist auch in diesen Fällen am besser ableitenden Teil durch Verkleinern der Elektrodenfläche die Wärmeezeugung zu erhöhen, das schlechter ableitende, durch Überhitzung gefährdete Stück durch Vergrößern der Elektrodenflächen zu kühlen (Abb. 46, 47).

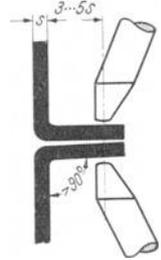


Abb. 44. Abgekantete Bleche müssen freie Beweglichkeit zwischen den Elektrodenspitzen haben.

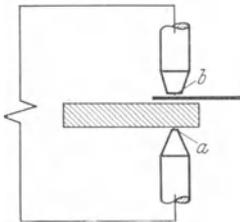


Abb. 45. Ungleiche Blechstärke:
 a = am dicken Blech Elektroden-
spitze kleiner (mehr
Wärmeentwicklung); b = am
dünnen Blech Elektroden-
spitze größer (bessere Ab-
leitung des Wärmeüber-
schusses).

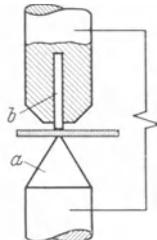


Abb. 46. Drahtstift
senkrecht auf Blech.
 a = Spitze Elektrode;
 b = Drahtstift, bis
zur Schweißstelle ge-
faßt und gekühlt.

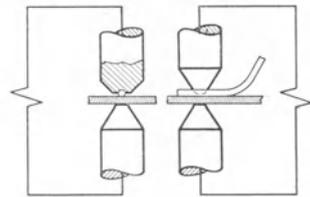


Abb. 47. Draht flach auf Blech.

Abb. 45...47. Ungleiche Erwärmung am Punkt.

Kleine Werkstücke werden frei oder in Lehren an die Maschine gebracht, während große Werkstücke zu Maschinen in Sonderausführung und beweglichen Punktschweißzeugen zwingen. Es empfiehlt sich immer, die Lage der Einzelteile zueinander durch Lehren zu bestimmen, besonders wenn während des Punktschweißens ein Verziehen der Teile zu befürchten ist. Die Lehren dürfen keine Eisenteile enthalten, die einen geschlossenen Ring um den Schweißstromweg bilden und sollen möglichst aus nichtmagnetischen Stoffen gefertigt werden. Läßt die Lehre für das Einführen der Elektrodenspitzen Öffnungen frei, so sind diese gegen leitendes Berühren durch Einlegen von Isolierbuchsen zu schützen. Das Entstehen einer leitenden Verbindung zwischen den Elektrodenarmen oder Teilen, die punktgeschweißt werden sollen, ist durch sorgfältige Isolation der Lehren zu verhindern.

21. Schweißpunkt und Elektroden. Der Durchmesser des Schweißpunktes steht in einem bestimmten Verhältnis zur Blechstärke. Bei dünnen Blechen

(0,3...2 mm) ist der Punktdurchmesser etwa 5...3mal Blechstärke, während er bei dicken Blechen (5...10 mm) unter 1mal Blechstärke sinken kann. Bei starken Blechen sind tiefe Eindrücke unter den Punktelektroden nicht zu vermeiden, da ein bedeutender Teil der Schweißwärme am Übertritt des Schweißstromes von den Elektroden in das Blech entsteht. Bei dünnen Blechen sind die Eindrücke wesentlich geringer und können, sofern ein glattes Aussehen der Werkstückaußen-

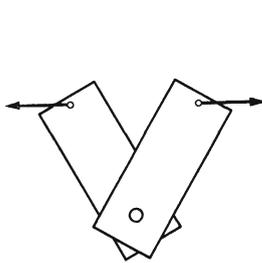


Abb. 48. Abscheren: Glatter Bruch zwischen den Blechen.

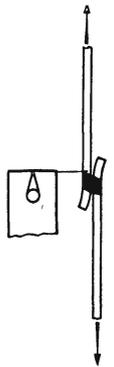


Abb. 49. Zerreißen: Punkt reißt als Butzen mit kleinem Fließkeil aus einem oder beiden Blechen aus.



Abb. 50. Abbiegen: Punkt reißt als runder Butzen aus dem einen Blech aus.

seite erstrebt wird, einseitig durch Verwenden einer flachen Elektrode ganz vermieden werden. Die Tragfähigkeit des Punktes ist bei Scher- und Zugbeanspruchung verschieden (Abb. 48...50). Am günstigsten verhält sich der Punkt bei Zug- oder Biegebeanspruchung, bei der er stets in Form eines Butzens aus dem Gegenblech herausreißt. Für das Berechnen der Tragfähigkeit eines Punktes kann bei unvergüteten Werkstoffen für den verschweißten Querschnitt die 0,9 fache Festigkeit des Ausgangswerkstoffes angenommen werden.

Abb. 48...50. Verhalten des Schweißpunktes bei Bruchbeanspruchung.

Die Schweißpunkte können nur dann gleichmäßig ausfallen, wenn alle für die Schweißung wichtigen Größen unverändert erhalten bleiben. Für den Schweißdruck, den Schweißstrom und die Schweißzeit wird diese Forderung meist erfüllt. Daß auch die Form der Elektroden Spitzen erhalten werden muß, um gleichmäßige

Schweißpunkte zu erzielen, wird jedoch viel zu wenig beachtet. Werden beim Arbeiten die Elektroden überhitzt, so verringert sich durch Breitquetschen der Berührungsflächen die Stromdichte und die Wärmeentwicklung im Werkstück, und die Schweißung

wird trotz bester Einstellung und Steuerung der Maschine fehlerhaft. Der richtigen Gestaltung und Pflege der Elektroden ist daher größte Aufmerksamkeit zu widmen.

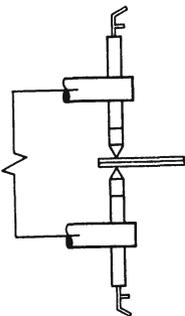


Abb. 51. Schaftelektrode oben und unten.

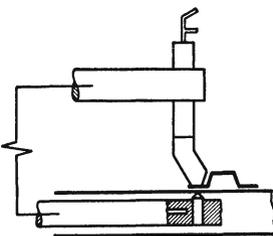


Abb. 52. Gekrümmte Elektrode oben, Steckeletrode unten.

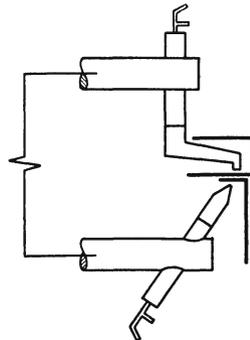


Abb. 53. Hakenlektrode oben, schräggestellte Schaftelektrode unten.

Abb. 51...53. Die wichtigsten Elektrodenformen.

Die Elektroden Spitzen werden im allgemeinen aus Kupfer gefertigt und durch Gewinde oder Kegel an dem Elektrodenhalter befestigt. Die Form und Stellung der Elektroden muß oft auf das Werkstück Rücksicht nehmen (Abb. 51...53). Von den technischen Stoffen hat Elektrokupfer die beste elektrische und Wärme-

leitfähigkeit, ist aber als Elektrodenwerkstoff sehr weich. Durch kaltes Hämmern können die Arbeitsflächen der Elektroden verdichtet und gehärtet werden, behalten jedoch diese Verfestigung nur, wenn die Spitze gut gekühlt wird. In der Elektrode muß daher das Wasser gegen die Innenseite der Elektrodenarbeitsfläche gespritzt werden und zwischen Arbeitsfläche und Kühlwasser höchstens 10 mm Kupfer verbleiben (Abb. 54). Bei kurzen Stecke Elektroden und Hakenelektroden bereitet die Kühlung oft Schwierigkeiten, ist aber für den gleichmäßigen Ausfall der Schweißungen unerlässlich. Für hochbeanspruchte Elektroden gibt es heute Werkstoffe, die auch bei höheren Temperaturen ihre große Festigkeit und Härte behalten. Bei hohen Ansprüchen an die Leitfähigkeit werden diese Stoffe vorwiegend aus Kupfer-Silber-Legierungen, bei höheren Forderungen an die Festigkeit aus Kupfer-Beryllium-Legierungen oder Wolframsinterungen hergestellt. Im allgemeinen ist die Leitfähigkeit der Werkstoffe um so schlechter, je besser ihre Festigkeitseigenschaften werden (Tabelle 4). Aus den Legierungen mit vorwiegendem Kupfergehalt werden die Elektrodenspitzen im ganzen gefertigt. Von den wertvolleren Legierungen werden Scheiben oder Stifte in die Kupferspitze eingelötet. Die Wolframsinterungen werden mit Kupfer umgossen und als Kegel in die Spitze eingelassen. Beste Kühlung ist auch für diese Elektrodenbaustoffe unerlässlich. Für das Schweißen von Leichtmetallen haben sich bisher kalt verdichtete Elektrolytkupfer-Elektroden am besten bewährt. Sofern keine besonderen Forderungen vorliegen, erhält die Arbeitsfläche der Elektrode den Durchmesser des Schweißpunktes (s. auch Abschn. 24 und 25).

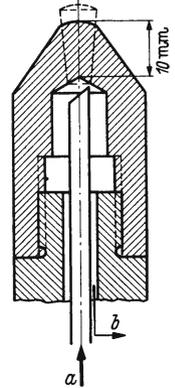


Abb. 54. Wasserkühlung der Elektroden Spitze.
a = Kühlwasserzulauf; b = Kühlwasserablauf.

Gleiche Stromstärke in jedem Schweißpunkt setzt ferner voraus, daß nicht ein Teil des Stromes durch einen Nebenschluß den Schweißpunkt umgehen kann. Solche vermeidbaren Nebenschlüsse entstehen durch falsch gestaltete Haltevorrichtungen und Lehren, durch schlechte Form der Werkstücke oder durch Zunderschichten am Schweißpunkt. Sie sind erkennbar durch Funkenbildung oder Wärmeentwicklung außerhalb der Schweißstelle und werden durch eindeutiges Begrenzen des Schweißstromweges beseitigt. Nicht zu vermeiden ist der Nebenschluß durch schon geschweißte Nachbarpunkte, dessen Einfluß mit der Blechdicke und der Leitfähigkeit des Werkstoffes anwächst. Es empfiehlt sich daher, zwischen den Punkten einen Mindestabstand zu halten, der bei Eisen etwa das 2...3fache, bei Leichtmetallen und Kupferlegierungen etwa das 4...6fache des Punktdurchmessers beträgt.

Tabelle 4. Die bekanntesten Elektrodenwerkstoffe.

Werkstoff	Hauptbestandteile	Elektr. Leitfähigkeit	Spezif. Gewicht	Brinellhärte bei °C			Besonders geeignet für
				25°	300°	500°	
Elektrolytkupfer	Cu	57	8,9	90	50	30	Alle Arbeitsgebiete, besonders Leichtmetalle Formelektroden, Punkt- und Nahtelektroden, verzundertes Eisen, Spanbacken, lange Schweißzeiten
Elmet C	Cu	46	9	130	100	60	
Blombit	Cu Ag	45	9	130	100	60	
Kusit	Cu Ag	42	9	130	100	60	
Durana - Elektra	Cu, Cd	41	8,9	130	125	70	
Elmet U	0,93 Cu	38	9	160	140	75	
Elmet H 3	0,8W0,2Cu	20	17	220	110	100	Buckelschweißung, Warmnietung Kupferschweißung Spanbackeneinsätze
Wolfram	W	18,9	19,1	280			
Elmet CU	W	18	19	280	160	120	

22. Die ortsfeste Punktschweißmaschine mit schwenkbarem Oberarm ist infolge ihrer Einfachheit auch heute noch am meisten benutzt. Der Schweißdruck wird bei diesen Maschinen meistens durch Fußkraft, gelegentlich auch durch elektrischen Kraftantrieb oder durch Preßluft erzeugt. Die schwenkende Bewegung der Ober-

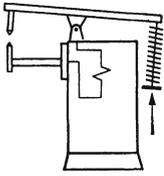


Abb. 55. Schwenkende — bis höchstens 600 mm Ausladung.

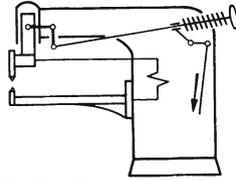


Abb. 56. Parallel geführte Oberelektrode für große Ausladung und Elektrodenkräfte. Abb. 55 ··· 56. Elektrodenführung bei Punktschweißmaschinen.

elektrode ist bei großer Ausladung und höheren Elektrodenkräften unangenehm, so daß man bei Ausladungen über etwa 600 mm Punktschweißmaschinen mit parallel geführter Oberelektrode den Vorzug gibt (Abb. 55 u. 56). Bei diesen Maschinen wird der Schweißdruck fast ausschließlich durch Motor oder Preßluft erzeugt und nur aushilfsweise auch Fuß- oder Handhebelbetrieb vorgesehen. Die

Kraftantriebe sind sowohl für das Schweißen einzelner Punkte als auch für Reihenspunktschweißung mit durchlaufenden Elektroden eingerichtet. Bei Reihenspunktschweißungen sind 60 ··· 120 Elektrodenspiele je Minute üblich. Schnellschweißmaschinen mit bis zu etwa 300 Arbeitsspielen/Min. werden zum Schweißen von Punkt- und Steppnähten an dünnen Blechen benutzt.

Die Punktleistung, die Zahl der je Minute geschweißten Punkte, sucht man durch Doppel- oder Vielpunktschweißmaschinen zu erhöhen. Gleichzeitiges Schweißen mehrerer Punkte, die in einem Stromkreis parallel liegen, ist nicht möglich, weil infolge geringster Unterschiede der Übergangswiderstände in den

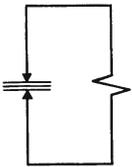


Abb. 57. Einfachpunkt: Bleche müssen sich bei Schweißbeginn leitend berühren.

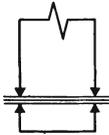


Abb. 58. Doppelpunkt: Gleichstarke Bleche mit Kurzschlußgegenelektrode.

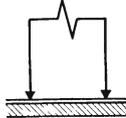


Abb. 59. Doppelpunkt: Dünnem auf dickes Blech ohne Gegenelektrode.

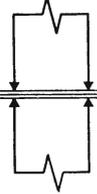


Abb. 60. Doppelpunkt mit zwei Umspannern im Reihenschluß.

Abb. 58 ··· 60. Isolierschichten zwischen den Blechen werden vor Schweißbeginn verbrannt und der Schweißstromkreis geschlossen.

Abb. 57 ··· 60. Schaltungen des Schweißstromkreises.

einzelnen Punkten der Schweißstrom sich ganz ungleichmäßig verteilen würde. Mehrere Punkte können daher nur dann gleichzeitig geschweißt werden, wenn sie nacheinander vom Schweißstrom durchflossen werden. Bei der Doppelpunktschweißmaschine wird der Schweißstromkreis durch eine Kurzschluß-

Gegenelektrode geschlossen. Wird ein dünnes Blech auf ein starkes geschweißt, so kann schon das stärkere den Stromkreis schließen (Abb. 57 ··· 60). Die Doppelpunktschweißung erfordert also nicht das Umgreifen des Werkstückes durch zwei Elektrodenarme, da sich die stromzu- und stromabführende Elektrode auf der gleichen Werkstückseite befinden. Eine Sonderform der Doppelpunktschweißung arbeitet mit zwei Umspannern, die auf beiden Seiten beliebig großer Werkstücke, etwa großer Blechplatten, angeordnet sind. Diese Anordnung gestattet auch das Durchschweißen durch isolierende Schichten zwischen den Blechen. Der Schweißstrom fließt dann zunächst durch die Einzelbleche, verbrennt durch Erhitzen der Berührungsstelle unter den Elektroden die isolierende Schicht, stellt an den Schweißpunkten die Leitung zwischen den beiden Blechen her und durchfließt beim Schweißen beide Sekundären in Reihe.

Für größere Werkstücke der Massenfertigung werden Punktschweißmaschinen mit Folgeelektroden gebaut, die die erforderliche Anzahl Punkte in sehr kurzer

Zeit herstellen (Abb. 61). In diesen Maschinen ist für jeden Schweißpunkt des Werkstückes ein Elektrodenpaar vorgesehen. Mehrere Elektrodenpaare liegen immer parallel an einem Umspanner, werden aber einzeln und in schneller Folge für je eine Punktschweißung geschlossen. Der Schweißstrom wird nur während der Schließzeit je eines Elektrodenpaares eingeschaltet. Die Unterelektroden sind in einer Platte mit gemeinsamer Stromrückführung zusammengefaßt und nur die Oberelektroden werden hydraulisch geschlossen und geöffnet. Im amerikanischen Karosseriebau schweißen z. B. drei derartige Schweißmaschinen einen Karosserieboden aus 20 Teilen mit 558 Punkten in 60 Sekunden. Der Nachteil dieser Maschinen liegt darin, daß sie für ein bestimmtes Werkstück gebaut werden müssen und nur ganz beschränkte Änderungen der Werkstückform zulassen.

23. Bewegliche Punktschweißmaschinen

werden für das Schweißen sehr großer Werkstücke, z. B. von Autokarosserien benutzt. Die Schweißleistung beweglicher Punktschweißzeuge ist dadurch auf geringe Blechstärken beschränkt, daß ein großer Teil der Leistung durch den induktiven und Ohmschen Verlust in den Zuführungskabeln vernichtet wird, die den starken Schweißstrom vom Schweißumspanner zu den Schweißzeugen führen müssen. Um die Zuführungskabel genügend beweglich zu halten, muß ihr Querschnitt sehr klein und ihre Strombelastung sehr hoch gewählt werden. Die große Verlustwärme wird durch Wasser abgeführt, von welchem das ganze Kabel in einem Gummischlauch umspült ist. Die induktiven Verluste setzt man durch möglichst nahes Zusammen- oder Ineinanderlegen der beiden Kabel und Vermeiden unnötiger Kabellängen herab. Schon bei bescheidener Schweißleistung nehmen Kabelpunktschweißmaschinen infolge der großen Verluste im Schweißstromkreis sehr hohe Leistungen auf. Das Kabelpunktschweißen blieb daher bis jetzt auf Eisenblech bis höchstens 3 mm Einzelblechstärke beschränkt.

Für das Erzeugen des Schweißpunktes sind eine ganze Anzahl beweglicher Punktschweißzeuge entwickelt worden. Die Punktschweißzangen zeigen grundsätzlich den Aufbau der einfachen Punktschweißmaschine und sind überall anzuwenden, wo das Werkstück von den Armen übergreifen werden kann (Abb. 62 u. 63). Punktschweißzangen werden in verschiedenen Formen mit auswechselbaren Elektroden gebaut und meistens durch Preßluft betätigt. Gestattet die Werkstückform kein Umgreifen der Schweißstelle durch eine Zange, so müssen die Stromzu- und -rückführung getrennt an die Innen- und Außenseite des Werkstückes geführt werden. Die Innenelektrode kann von einem zweiten Mann gegengehalten werden, ist aber meistens als Schiene ausgebildet, auf der das Werkstück der gewünschten Punktreihe entlang aufliegt. Als Außenelektrode wird eine Stoßelektrode verwendet, die von Hand oder mit Hilfe einer Gegenlage angepreßt wird (Abb. 64). Auch für die Stromzuführung an der Außenseite des Werkstückes kann eine Schiene benutzt werden. Die Elektrode kann dann an beliebiger Stelle zwischen der Schiene und dem Werkstück gespreizt werden und

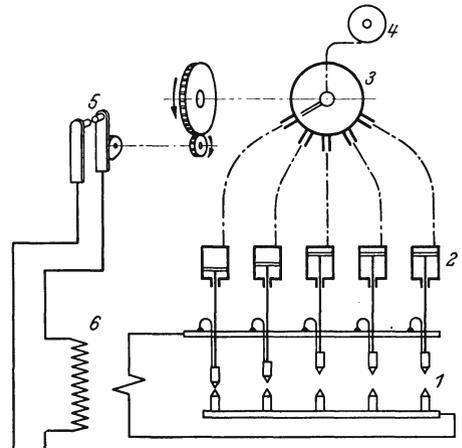


Abb. 61. Aufbau einer Punktschweißmaschine mit Folgeelektroden.
 1 = Elektrodenpaare; 2 = Öldruckkolben; 3 = Öldruckverteiler; 4 = Ölpumpe; 5 = Hauptschalter; 6 = Umspanner.

ist frei von jeder Behinderung durch schwere Stromzuführungskabel (Abb. 65). An Stelle der Spreizelektrode genügt auch in vielen Fällen ein Knüppel mit Punktelektrode (Abb. 66). Bei allen Punktschweißzeugen ist dafür zu sorgen, daß der

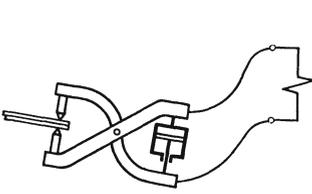


Abb. 62. Schweißzange mit Preßluftbetrieb.

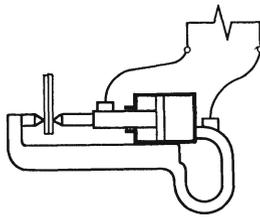


Abb. 63. Schweißpistole mit Preßluftbetrieb.

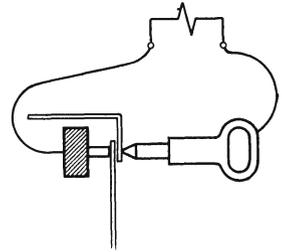


Abb. 64. Stoßelektrode, handbetätigt.

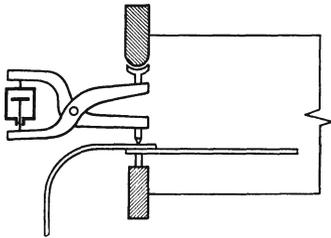


Abb. 65. Spreizelektrode, preßluftbetätigt.

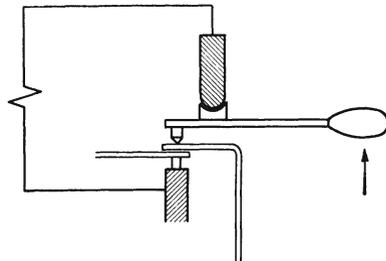


Abb. 66. Schweißknüppel, handbetätigt.

Abb. 62...66. Ortsbewegliche (Kabel-) Punktschweißmaschine.

Schweißstrom erst dann eingeschaltet wird, wenn die Schweißstelle zwischen den Elektroden einwandfrei zusammengepreßt ist.

Das Anwendungsgebiet der Punktschweißung ist so vielseitig, daß neben den beschriebenen Grundformen in großer Zahl Maschinen für Sonderzwecke entwickelt wurden, deren Beschreibung in diesem Rahmen nicht möglich ist.

C. Regler und Steuerungen.

Um den Ausfall der Schweißungen möglichst unabhängig vom Einfluß der Bedienung zu machen, sucht man die verantwortlichen Werte: Schweißdruck, Schweißstrom und Schweißzeit gleichzuhalten oder durch selbsttätig arbeitende Einrichtungen dem gewünschten Schweißvorgang entsprechend zu steuern. Das Regeln der Elektrodenkraft und des Schweißstromes tritt hinter der Bedeutung des Steuerns kurzer Schweißzeiten zurück. Verbundenes Steuern mehrerer dieser Größen ist nur in Sonderfällen erforderlich.

24. Druckregelung. Bei den meisten Maschinen wird die Elektrodenkraft durch Federn geregelt, die im Federgestänge der Maschine mehr oder weniger vorgespannt werden. Nach dem Aufsetzen der Elektroden werden sie über die Vorspannung hinaus noch um einen bestimmten Betrag zusammengedrückt, bevor der Schweißstrom eingeschaltet wird. Bei Federn ist die Kraft abhängig von ihrer Zusammendrückung. Ändert sich also der Hub des Federgestänges oder die Stellung der Elektroden z. B. durch Nachfeilen der Spitzen, so ändert sich auch die Elektrodenkraft. Gleichbleibende Elektrodenkräfte, die auch beim Abnutzen oder Verstellen der Elektrode sich nicht ändern, sind durch Gewichte oder Öl- und Luftdruckbetrieb zu erzeugen. Gewichte scheiden für Punktschweißmaschinen wegen der hämmernden Wirkung auf die Elektroden aus, während sie bei Naht- und Stumpfschweißmaschinen häufig benutzt werden.

Am genauesten ist die Elektrodenkraft unabhängig von den Einrichtungen zum Erzeugen des Elektrodenhubes durch Luft- oder Öldruckkissen zu steuern, deren Innendruck gleichgehalten oder von außen geregelt wird (vgl. Abb. 67).

Auch bei gleichbleibender Elektrodenkraft ist der Schweißdruck schon durch die Form der Elektrodenspitze während des Schweißens zu ändern. So werden bei oxydier- ten Blechen und Leichtmetallen die Elektrodenspitzen ballig oder kegelig gemacht (Abb. 68 u. 69). Vor dem Schwei- ßen verursacht die

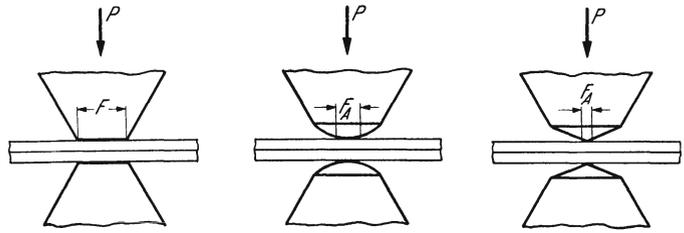


Abbildung	67	68	69
Elektrodenspitze	flach	ballig	kegelig
Schweißdruck $\frac{P}{F}$ $P = \text{konstant}$	gleichbleibend	anfänglich erhöht, dann schnell absinkend	anfänglich sehr erhöht, dann schnell absinkend
Stromdichte $\frac{I_2}{F}$ $I_2 = \text{konstant}$	gleichbleibend	anfänglich erhöht, dann schnell absinkend	anfänglich sehr erhöht, dann schnell absinkend
Arbeitsgebiet	leicht schweißbare Stoffe: insbesondere blankes Eisenblech sowie NE-Metalle mit blanker Oberfläche	oxydierte Eisenbleche. Gut leitende Metalle mit Oxydhäuten, z. B. Zink, Aluminium, Magnesium	Leichtmetalle, Nachteil: Kegelform im Betrieb schwer zu erhalten

Abb. 67...69. Änderung des Schweißdruckes und -stromes während der Schweißzeit durch die Form der Elektrodenspitze.

kleine Berührungsfläche der Elektroden eine hohe Flächenpressung, durch die die Oxydschicht zerstört und der Durchfluß des Schweißstromes ermöglicht wird. Mit dem Erweichen des Werkstoffes sinken die Elektroden ein, ihre Berührungsflächen vergrößern sich und der Schweißdruck sinkt trotz gleichbleibender Elektrodenkraft auf den für die Schweißung erwünschten Wert ab. Bei blanken Metallen wird meist

ein Anwachsen der Elektrodenkraft während der Schweißung angestrebt, damit zunächst bei leichtem Schweißdruck und hohem Widerstand die Schweißstelle schnell erwärmt und dann bei kräftigem Druck verschweißt wird. Hierfür wird bei durch Federkraft geregelten Maschinen die Feder wäh-

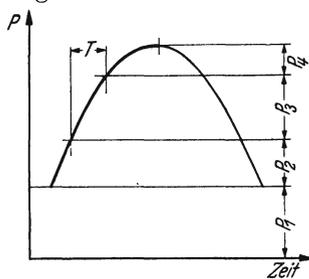


Abb. 70. Eine Druckfeder.

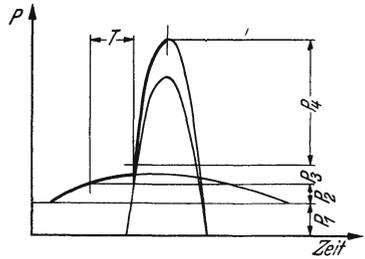


Abb. 71. Zwei Druckfedern.

Abb. 70 u. 71. Zeitlicher Verlauf der Elektrodenkraft (P) bei durch Feder geregelten Maschinen.

T = Schweißzeit; P_1 = Federvorspannung; P_2 = Zusammendrücken des Werkstückes vor der Schweißung; P_3 = Krafterhöhung während des Schweißens; P_4 = Krafterhöhung zum Nachschmelzen.

rend der Schweißzeit weiter zusammengedrückt (Abb. 70). Noch wirksamer wird die Elektrodenkraft durch Benutzen zweier Federn erhöht, von denen die schwächere während des Erhitzens, die stärkere erst zum Verschweißen zusammengedrückt wird (Abb. 71). Nach einem beliebigen Verlauf kann die Elektrodenkraft durch Kurven zum Erzeugen des Gestängehubes oder durch Beeinflussen des Innen-

druckes der Öl- oder Luftkissen gesteuert werden. Bei Kraftänderungen innerhalb sehr kurzer Zeiträume ist die Steuerung durch Ölkissen überlegen, weil sie fast ohne Flüssigkeitsströmung und daher sehr trägheitsarm arbeitet.

25. Stromregelung. Während der Schweißung vermindert sich der Widerstand der Schweißstelle, weil sich die Flächen für den Stromübergang vergrößern und der Berührungswiderstand zwischen den beiden Teilen durch Verschmelzen des Schweißpunktes verschwindet. Bei gleichbleibender Elektrodenspannung

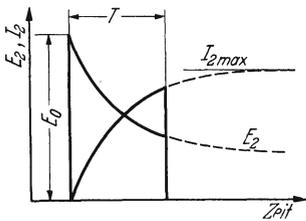


Abb. 72. Innere Strombegrenzung. „Weich“ arbeitende Maschine. J_{2max} kann den Punkt nicht verbrennen, daher sind selbst große Abweichungen der Schweißzeit ungefährlich.

würde daher der Schweißstrom während der Schweißung ansteigen und, falls er nicht auf einen Höchstwert begrenzt oder rechtzeitig unterbrochen wird, den Punkt nachträglich verbrennen. Das Steuern des Schweißstromes beschränkt sich daher meistens darauf, den Strom auf einen höchstzulässigen Wert zu begrenzen. Gleichzeitig wird angenommen, daß nach Erreichen dieses Höchstwertes für den Schweißstrom der Punkt vollkommen verschweißt ist.

Ohne Zutun von außen ist schon durch den Aufbau des Umspanners und der Schweißmaschine eine „innere“ Begrenzung des Schweißstromes dadurch gegeben, daß mit wachsendem Schweißstrom die Elektrodenspannung zurückgeht (Abb. 72). Gibt man der Maschine eine „abfallende“ Kennlinie (vgl. Abschn. 14) und legt man das Arbeitsgebiet in den fallenden Teil der Leistungslinie, so steigt der Schweißstrom nach beendeter Schweißung nicht mehr an und eine Verbrennung des Punktes ist unmöglich. Zum Anpassen an verschiedene Blechstärken wird in diesen „weich“ arbeitenden Maschinen außer dem Übersetzungsverhältnis auch die Steuerung des Umspanners durch Abschalten von Hauptwindungen und Zuschalten von Windungen auf dem Nebenkern oder durch Vorsehen eines regelbaren Luftspaltes im Umspannerkern verändert. Schweißmaschinen mit abfallender Kennlinie sind besonders für das Schweißen schmutziger und oxydierter Eisenbleche geeignet. Die hohe Leerlauf-Elektrodenspannung durchschlägt zunächst die isolierenden Schichten, fällt aber während des Verschweißens schnell ab und begrenzt den Schweißstrom auf einen ungefährlichen Wert, bei dem alle im

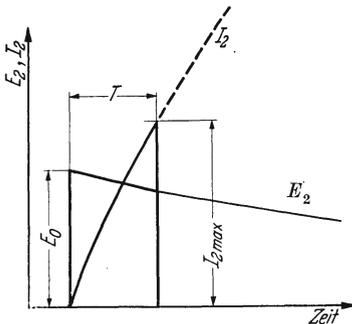


Abb. 73. Äußere Strombegrenzung. „Hart“ arbeitende Maschine.

Schweißstrombegrenzer (Kontroller) oder Schweißzeitbegrenzer muß bei J_{2max} abschalten, da sonst durch steigenden J_2 der Punkt verbrannt würde.

Abb. 72 u. 73. Innere und äußere Strombegrenzung. T = Schweißzeit; E_0 = Leerlaufspannung.

Schweißpunkt erzeugte Wärme, ohne den Punkt zu überhitzen, als Verlustwärme abgeleitet werden kann. Diese „innere“ Strombegrenzung arbeitet also ohne jedes Hilfsgerät und macht den Ausfall der Schweißung so unabhängig von der wechselnden Oberfläche des Werkstückes und der Bedienung, daß der Nachteil des geringeren Leistungsfaktors bei dem geringen Verbrauch an elektrischer Arbeit ohne weiteres in Kauf genommen werden kann.

Für das schnelle Schweißen blanker Eisenbleche sowie für das Punkten gutleitender Nichteisenmetalle müssen die Maschinen „hart“ arbeiten. Mit fallendem Widerstand der Schweißstelle steigt bei diesen Maschinen der Strom steil an, so daß durch einen Schweißstrombegrenzer die Maschine von „außen“ rechtzeitig abgeschaltet werden muß (Abb. 73). Diese als „Schweißkontroller“ bekannte Einrichtung besteht aus einem offenen Magneten, der den Oberarm umschließt

und gegen eine einstellbare Federkraft geschlossen wird, wenn der Schweißstrom die gewünschte Höhe erreicht hat. Durch das Schließen des Magneten wird der Hauptschalter der Schweißmaschine, der nach dem Niedertreten des Fußhebels eingeschaltet wurde, wieder ausgeschaltet. Diese Schweißstrombegrenzer haben sich für solche Schweißungen bewährt, bei denen der Widerstand der Schweißstelle während des Verschweißens schnell abfällt und ein allzu genaues Bemessen der Energiezufuhr nicht erforderlich ist.

In manchen Fällen ist es erforderlich, die Schweißstromstärke selbst während des Schweißverlaufes zu beeinflussen. Hierfür wird die mittlere Betriebsspannung der Maschine durch einen Drehtransformator oder durch Anschnitt der Wechselstromwelle mit Hilfe von Gittersteuerungen geregelt. Die Stromdichte im Schweißpunkt kann während des Schweißens durch ballige oder kegelige Elektrodenspitzen herabgesetzt werden. Nachdem man den Wert kürzester Schweißzeiten erkannt hat, ist die Bedeutung der Strom- gegenüber der Zeitsteuerung zurückgetreten.

26. Zeitregelung. Durch das Begrenzen der Schweißzeit soll (gleiche Schweißstromstärke vorausgesetzt) jedem Punkt die gleiche Menge elektrischer Arbeit zu-

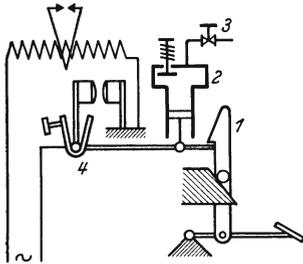


Abb. 74. Verzögerungsschalter.

Einlegen und Freigeben des Schalters 4 durch Sperre 1. Ausschalten verzögert durch Luftbremse 2 mit Drosselventil 3 für Zeitregelung.

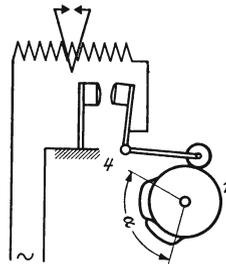


Abb. 75. Nockenschalter unmittelbar.

Einlegen des Schalters 4 unmittelbar durch Nockenscheibe 1. Schaltzeit bestimmt durch Nockenwinkel α und Drehzahl der Scheibe. Nockenscheibe wird von der Maschine angetrieben.

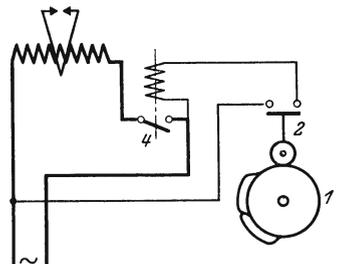


Abb. 76. Nockenschalter mittelbar mit Schütz.

Nocken betätigt Rollendruckknopf 2. Dieser schließt den Hilfsstromkreis des Schützes 4. Nockenscheibe von der Maschine oder durch regelbaren Motor angetrieben.

Abb. 74...76. Mechanische Regelung der Schweißzeit. (Beispiel zu Abb. 75 u. 76: Nocken: $n = 2$ Umdr/s.; $\alpha = 90^\circ$; $T = 1/2 \cdot 90/360 = 1/8$ s.)

geführt werden. Die ältesten Schweißzeitbegrenzer arbeiteten mit mechanisch verzögerten Ausschaltern, die vom Hubgestänge der Maschine nach dem Schließen der Elektroden eingeschaltet werden und, durch Luft- oder Ölkolbenbremse verzögert, sich selbsttätig ausschalten (Abb. 74). Diese zeitverzögerten Schalter sind wegen ihres ungenauen Arbeitens heute ganz verschwunden. Für kleine Leistungen und kurze Schaltzeiten hat sich ein mechanischer Schweißzeitbegrenzer bewährt, bei dem der Schalter unmittelbar von einer durch Feder geregelten Massenkraft betätigt wird. Bei kraftbetriebenen Maschinen werden mechanische Schalter meist unmittelbar durch Nocken betätigt, durch deren Drehgeschwindigkeit und Nockenwinkel die Schweißzeit bestimmt wird (Abb. 75). Die unvermeidliche Abnutzung der Schaltstücke und die hohen Schaltkräfte führen aber bei diesem Schalter zu erheblichen Schaltungengenauigkeiten, so daß bei größeren Schaltern die Kraft zum Schließen der Schaltstücke nicht mehr unmittelbar von dem Nocken erzeugt werden kann. So betätigt bei größeren durch Motor betriebenen Punktschweißmaschinen die Nockenscheibe nur einen Rollendruckknopf, der den Hilfsstromkreis eines Schützes schließt (Abb. 76). Soll auch bei wechselnder Arbeitsgeschwindigkeit der Maschine, also bei wechselnder Drehzahl der Nockenscheibe, die Schweißzeit gleichgehalten werden, so ist diese durch einen unabhängigen Zeitgeber zu

regeln. Die bekanntesten Zeitgeber sind kleine durch Federwerk oder Kleinmotor betriebene Uhrwerke, bei denen für die Einschaltzeit des Hauptschalters durch

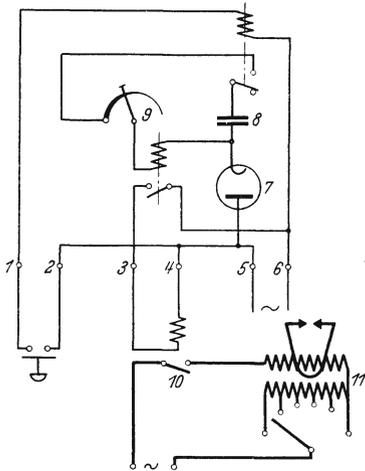


Abb. 77. Schaltbild eines Röhrenschweißzeitbegrenzers.
 1...6 = Anschlußklemmen des Röhrenzeitschalters; 7 = Gleichrichterröhre; 8 = Kondensator; 9 = Widerstand für Zeitregelung; 10 = Hauptschütz der Punktschweißmaschine; 11 = Punktschweißmaschine.

Nocken ein leichter Kontakt geschlossen wird. Die Einschaltzeit wird durch Verändern der Drehgeschwindigkeit der Nockenscheibe beeinflusst. Für motorgetriebene Zeitgeber wird meist ein Wirbelstrom- (FERRARIS-) Motor verwendet, dessen regelbare Drehzahl die Schweißzeit bestimmt. Nach dem Schließen der Elektroden wird der Zeitgeber zum Ablaufen gebracht, schaltet den Schütz für die gewünschte Schweißzeit ein und läuft nach dem Öffnen der Elektroden wieder in die Bereitschaftsstellung.

Bei kurzen Schweißzeiten haben alle mechanischen Zeitgeber den Nachteil, daß sich ihre Einschaltzeiten durch Abnutzung, Kälte- und Wärmeeinfluß sowie Störungen in den Getriebeteilen häufig ändern. Daher hat sich in den letzten Jahren der elektrische Zeitgeber immer mehr durchgesetzt, der die Schweißzeit durch die Lade- oder Entladezeit eines Kondensators bestimmt. Zum Aufladen eines Kondensators auf eine bestimmte Spannung ist stets die gleiche elektrische Arbeit erforderlich, die er beim Entladen wieder

abgibt. Die Entladezeit des Kondensators ist daher bei gleicher Betriebsspannung abhängig vom Entladestrom, dessen Stärke durch einen Widerstand geregelt wird.

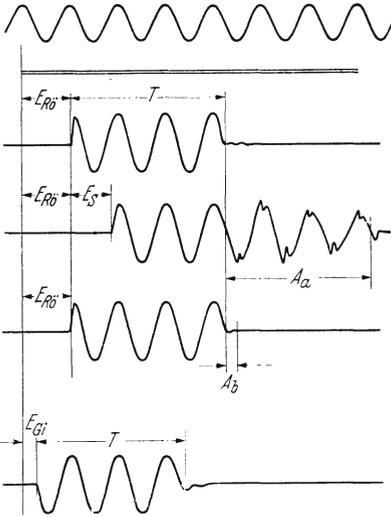


Abb. 78. Oszillogramme des Hauptstromes beim Schalten mit Begrenzer und Gittersteuerung.

E = Einschaltverzögerung; A = Ausschaltverzögerung.

(Abb. 77). Bei größeren Schützen mit hohen Einschaltströmen muß von dem empfindlichen Relais des Röhrenzeitschalters zunächst ein Hilfsschalter betätigt werden, dessen kräftigere Kontakte den Magnetstrom des Hauptschützes schließen. Für sehr kurze Schweißzeiten sind Schütze ungeeignet, weil sie dem Röhrenzeitschalter nur

Wechselspannung.

Befehlsstromkreis der Schweißmaschine geschlossen. Zeitregelung durch

1. Röhrenzeitschalter: Schaltzeit: 3 Per. Lage der Schaltzeit zur \sim unbestimmt. Zeitgabe übertragen auf:
 - a) Schütz: durch mechanische Trägheit und Abschaltlichtbogen entsteht ein Zeitfehler bis $-30 + 70\%$.
 - b) Stromrichterschalter: schaltet unverzögert ein und mit höchstens 1 Halbwelle Verzögerung aus. Zeitfehler bis $-0 + 19\%$.

Zeitgabe und Schaltung trägheitslos durch:

2. Gittersteuerung: Lage der Schaltzeit zur \sim bestimmt. Zeitfehler ± 0 .

Der Entladestrom betätigt ein Relais, welches während der regelbaren Entladezeit den Hauptschalter der Schweißmaschine einschaltet. Geladen wird der Kondensator vom Netz über eine Gleichrichterröhre, so daß seine Ladung sich nur mit der sehr geringen Spannungsschwankung des Netzes ändert.

In den Röhrenschweißzeitbegrenzern für kleinere Maschinen betätigt dieser Röhrenzeitschalter den Hauptschütz der Schweißmaschine

träge folgen und durch den wechselnden Abschaltlichtbogen große Zeitfehler von bis 3 Perioden erzeugen (Abb. 78). Bei Schweißzeiten unter etwa 10 Perioden steuert daher der Röhrenzeitschalter das Gitter eines Stromrichterschalters. Da jedoch der Röhrenzeitschalter die Einschaltzeit in beliebiger Lage zur Wechselstromlinie gibt, entsteht auch beim Stromrichterbetrieb noch ein Zeitfehler von $+ \frac{1}{2}$ Periode. Empfindlichste Arbeiten mit Schweißzeiten von weniger als etwa 3 Perioden werden daher nur durch Gittersteuerungen beherrscht, in denen nicht nur die Länge der Schweißzeit, sondern auch ihre zeitliche Lage zur Wechselstromlinie genau festgelegt ist. In der Gittersteuerung arbeitet auch der Röhrenzeitschalter trägeheitslos. An die Stelle des kleinen Relais treten Verstärkerröhren, die ohne jede Verzögerung die Gebezeit auf die Gitter der Stromrichter übertragen. Unabhängig vom Kommando der Maschine wartet dieser Röhrenzeitschalter bis zum nächsten Nullwert der Wechselspannung und schaltet erst dann den Schweißmaschinenumspanner ans Netz. Durch diese sinnreiche Einrichtung werden die Magnetisierungsstromstöße, die bei „wildem“ Schalten oft bis zum dreifachen Wert der Umspanner-Kurzschlußleistung ansteigen, vermieden, und die Schweißmaschine wird ohne Stromstöße ein- und ausgeschaltet. Der Einschaltzeitpunkt läßt sich auch an eine beliebige Stelle der Wechselstromhalbwellen legen. Durch dieses „Anschneiden“ einer Wechselstromhalbwellen werden Schweißzeiten von weniger als 0,01 Sekunde Dauer erzeugt. Neben den Gittersteuerungen entstehen in neuester Zeit elektrodynamische Schalter, mit denen auch für Punktschweißmaschinen einzelne Stromstöße von kurzer Dauer gesteuert werden können.

27. Verbundsteuerung. So hoch entwickelt die bisher beschriebenen Steuergeräte auch sein mögen, so kann das Steuern einer einzelnen Einflußgröße doch nur zum Erfolg führen, wenn sich die anderen Größen während der Arbeit nicht ändern. Würde z. B. während des laufenden Punktschweißens der Schweißdruck — d. h. die Elektrodenkraft oder die Elektrodenfläche oder die Rückfederung des Werkstückes — oder die Stromdichte — d. h. die Schweißstromstärke oder die Elektrodenfläche oder die Berührungsfläche zwischen den Blechen — sich wesentlich ändern, so würden auch bei genauestem Bemessen der Schweißzeit die Punkte ungleichmäßig ausfallen. Andererseits zwingt die Unmöglichkeit einer laufenden Prüfung der Schweißpunkte ohne Zerstörung des Werkstückes dazu, neben sorgfältigster Vorbereitung des Werkstückes alle Werte für eine einmal erprobte Besteinstellung der Maschine möglichst genau einzuhalten. Diese große Bedeutung der Schweißmaschinensteuerung spiegelt sich in den vielen Verfahren zum verbundenen Regeln mehrerer Einflußgrößen wieder, von denen hier dem Leser nur eine kurze Übersicht vermittelt werden kann.

Das Produkt Leistung mal Schweißzeit erfaßt der Watt-Sekunden-Regler, durch den für jeden Schweißpunkt eine bestimmte Menge elektrischer Arbeit vom Netz an die Schweißmaschine abgegeben wird. Bei gleichen Verhältnissen an der Schweißstelle werden durch diese Steuerung stets gleiche Wärmemengen im Schweißpunkt erzeugt. Bei kleinen Leistungen und kurzen Schweißzeiten arbeiten aber die üblichen elektrischen Arbeitsmesser sehr unzuverlässig. Für das Bemessen kleiner elektrischer Arbeitsmengen hat sich daher das Aufspeichern der benötigten elektrischen Energie und völliges Entladen des Speichers während der Schweißung besser bewährt.

Besonders für das Schweißen von Leichtmetallen wurde ein Verfahren entwickelt, nach dem die Stromaufnahme der Maschine und die Elektrodenkraft nach einem Zeitprogramm gesteuert werden. Ein bekanntes Strom-Druck-Programm preßt zunächst die Leichtmetallbleche mit großer Kraft zusammen, schaltet bei herabgesetzter Elektrodenkraft den starken Schweißstrom ein und

vergütet den fertigen Schweißpunkt nach Herabsetzen des Stromes durch Wiedererhöhen der Elektrodenkraft in warmem Zustande. Das kräftige Zusammendrücken vor der Schweißung zerquetscht die Oxydhäute und stellt auch bei unsauberen Blechen sicheren Kontakt her. Durch Herabsetzen der Elektrodenkraft wird der erforderliche Widerstand der Schweißstelle erzeugt. Sorgfältiges Anpassen der Teile ist auch bei diesem Verfahren erforderlich, weil beim Nachlassen der Elektrodenkraft nichtpassende Bleche zurückfedern würden und ihr für den Widerstand verantwortlicher Berührungsdruk doch immer nur dem Unterschied zwischen Elektroden- und Rückfederungskraft entspricht. Durch das Vergüten bei erhöhter Elektrodenkraft soll das grob gewordene Korn der Schweißstelle wieder verfeinert und der Werkstoff gefestigt werden. Schweißstrom und Elektrodenkraft werden bei diesem Verfahren synchron durch Nocken, Magnet oder Photozellenregler beeinflußt.

Der natürlichste und beste Weg zum Erzeugen gleichmäßiger Schweißpunkte wäre das Steuern des Schweißstromes und der Schweißzeit in unmittelbarer Abhängigkeit von der Temperatur der Schweißstelle. Leider hat dieses Verfahren bisher nur wissenschaftliche Bedeutung erlangt, weil nach dem heutigen Stand der Technik ein zuverlässiges und trägheitsloses Messen der Temperatur des Schweißpunktes nur über seine leuchtende Wärmestrahlung mit der Photozelle möglich ist. Das Verdecken des Punktes durch die Elektroden und Werkstückteile verhindert in der Werkstatt das Ansetzen der Photozelle. Die Beschränkung des Verfahrens auf Temperaturen mit leuchtender Wärmestrahlung schaltet es vollkommen von dem zur Zeit wichtigsten Gebiet, dem einwandfreien Steuern der Leichtmetallschweißung aus. Erst das Auffinden eines Temperaturmessers, der das werkstattmäßige Punktschweißen nicht behindert und trägheitslos nach Erreichen der Schweißtemperatur den Schweißstrom unterbricht, würde diese ideale Steuerung ermöglichen und unmittelbar das auch durch alle anderen Steuerungen erstrebte Ziel — gleiche Temperatur beim Schweißen jedes einzelnen Punktes erreichen.

D. Betriebsmäßiges Punktschweißen.

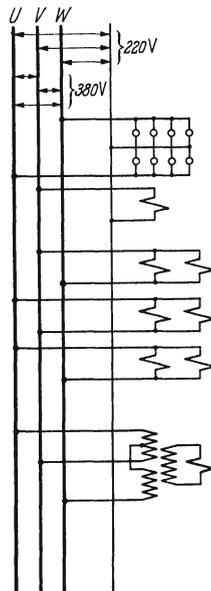
28. Stromanschluß. Für den Betrieb der Punktschweißmaschinen und aller anderen Widerstandsschweißmaschinen ist Einphasen-Wechselstrom erforderlich. Das übliche Drehstromnetz mit drei Phasen und einem Nulleiter führt zwischen je zwei Hauptleitern Einphasenspannung von 380 Volt und zwischen je einem Hauptleiter und dem Nulleiter Einphasenspannung von 220 Volt. Lichtnetze und kleine einphasige Wechselstromgeräte werden stets zwischen einem Haupt- und dem Nulleiter mit 220 Volt betrieben. In kräftigen Netzen können auch kleinere Punktschweißmaschinen zwischen Phase und Nulleiter auf 220 Volt geschaltet werden. Dabei ist zu beachten, daß alle Lichtleitungen an die anderen beiden Hauptleiter gelegt werden, da die kurzen Stromstöße der Punktschweißmaschine sonst Lichtflackern verursachen können (Abb. 79, Beispiel 1). In den meisten Fällen ist es vorzuziehen, die Widerstandsschweißmaschinen an zwei Hauptleiter zu legen und mit 380 Volt zu betreiben. Enthält die Maschine Hilfsgeräte, Schütze, Kontrollampen, Magnete usw., so sind diese zwischen einen Haupt- und den Nulleiter gelegt und arbeiten mit 220 Volt Betriebsspannung. Mehrere Maschinen an einem Netz werden gleichmäßig auf die drei Phasen verteilt (Beispiel 2). In kleineren Netzen ist die einphasige Belastung oft nicht zulässig. In diesem Fall wird zwischen die Schweißmaschine und das Netz ein Dreiphasen-Einphasen-Umspanner gelegt, der sekundärseitig Einphasenwechselstrom abgibt und die aufgenommene Leistung primärseitig im Verhältnis 1 : 2 : 1 auf die drei Phasen

des Drehstromnetzes verteilt (Beispiel 3). Die Übertragung der stoßweisen Belastung auf das Netz kann auch der Vorumspanner nicht verhindern. Müssen Spannungsschwankungen durch die Belastungsstöße der Punktschweißmaschine im Licht- und Kraftnetz ganz vermieden werden, so müssen die Schweißmaschinen über einen eigenen Umspanner unmittelbar an das Hochspannungsnetz gelegt werden.

An Gleichstrom können Punktschweißmaschinen nur über einen Umformer erangeschlossen werden, der den Gleichstrom in Einphasen-Wechselstrom umwandelt. Für Maschinenleistungen bis zu etwa 30 kVA genügt der Einankerumformer, der mit 220 bzw. 440 Volt Gleichstrom gespeist wird und 150 bzw. 300 Volt Einphasen-Wechselstrom abgibt. Um das Feuern des Kollektors infolge des hohen Magnetisierungsstromstoßes beim Einschalten der Schweißmaschine in einem ungünstigen Punkt der Wechselstromlinie zu verhindern, ist zwischen Umformer und Schweißmaschine ein Dämpfungswiderstand vorzusehen, der den Überstrom abschwächt.

In allen Fällen muß die auf dem Leistungsschild der Schweißmaschine vermerkte Spannung mit der Netzspannung übereinstimmen. Kleinere Punktschweißmaschinen sind meist für mehrere Anschlußspannungen eingerichtet. Von den beiden Zuleitungen ist die eine stets mit der gemeinsamen Klemme A, die andere mit der der Netzspannung entsprechenden Klemme zu verbinden. Außerdem muß das Maschinengestell über die Erdungsschraube „E“ mit leitenden Teilen des Gebäudes

oder mit dem Nulleiter verbunden werden. Bei Maschinen mit 380 Volt Betriebsspannung wird das Erden des Maschinengestelles dadurch erzwungen, daß alle Hilfsgeräte mit 220 Volt zwischen einer Phase und dem Maschinengestell als Nulleiter arbeiten.



Drehstromnetz 380 V mit 0 Leiter.

Beispiel 1.
Licht 220 V zwischen U oder W und O.
Kleine Punktschweißmaschine 220 V zwischen die nichtlichtspeisende Phase V und O schalten.

Beispiel 2.
6 Punktschweißmaschinen 380 V gleichmäßig auf die drei Phasen verteilen.

Beispiel 3.
Einphasige Belastung unzulässig:
Drehphasen-Einphasenumspanner vor die Schweißmaschine schalten. Phasenbelastung (z. B. bei Scottschaltung) im Verhältnis 1 : 2 : 1.

Abb. 79. Anschluß der Schweißmaschinen.

Tabelle 5. Leitungsquerschnitte und Sicherungen für verschiedene Spitzenleistungen und Spannungen.

Spannung			Spitzenleistung der Maschine in kVA										
			8	12	15	20	25	30	40	50	75	100	
220 V	Cu-Leitung	mm ²	10	10	16	16	25	25	35	35	70	120	150
	Al-Leitung	mm ²	16	16	25	25	35	35	50	50	95	150	185
	Sicherung	A	35	50	60	80	100	125	160	200	260	300	300
380 V	Cu-Leitung	mm ²	4	6	10	10	16	16	16	16	25	50	70
	Al-Leitung	mm ²	6	10	16	16	25	25	25	25	35	70	95
	Sicherung	A	25	35	35	50	60	80	100	125	160	225	225
500 V	Cu-Leitung	mm ²	2,5	4	10	10	10	10	16	16	35	50	50
	Al-Leitung	mm ²	4	6	16	16	16	16	25	25	50	70	70
	Sicherung	A	15	25	25	35	50	60	80	100	125	160	160

Punktschweißmaschinen belasten das Netz nur kurzzeitig. Man kann im allgemeinen mit einem Verhältnis von Schweißzeit zu Pause von 1 : 10 (Leichtmetalle) bis 1 : 1 (dicke Eisenbleche) rechnen. Diese kurze Einschaltdauer „ED“ gestattet es, die Zuleitungen wesentlich schwächer zu bemessen, als es für den der Spitzenleistung der Maschine entsprechenden Dauerstrom erforderlich wäre. Die Schweißmaschinen müssen daher auch mit trägen Schmelzsicherungen oder stark verzögerten Automaten gesichert werden, die auf kurzzeitige Überlastungen nicht ansprechen. Einen Anhalt für das Bemessen der Zuleitungen und Sicherungen gibt Tabelle 5. Bei größeren Anlagen mit vielen Widerstandsschweißmaschinen ist eine Verbesserung des Leistungsfaktors durch Parallelschalten von Kondensatoren zu empfehlen.

29. Einstellen der Maschine. Ist die Maschine richtig angeschlossen, so werden zunächst die Elektroden so befestigt, daß man das Werkstück einführen, die Elektroden schließen und darüber hinaus die Druckfeder um einen gewissen Betrag zusammenpressen kann. Danach wird der Hauptschalter derart eingestellt, daß der Schweißstrom erst nach Erreichen der gewünschten Elektrodenkraft eingeschaltet wird. Vor dem Arbeitsbeginn wird das Kühlwasser angestellt, das nacheinander oder in parallelen Gruppen alle Kühlstellen durchfließt. Jede Schweißung wird mit mittlerer Elektrodenkraft und niedriger Schweißstromstufe begonnen. Verschweißen die Teile noch nicht oder ist der Punkt zu klein, so wird die Schweißstromstufe erhöht. Bleibt die Oberfläche des Werkstückes ganz glatt, so kann die

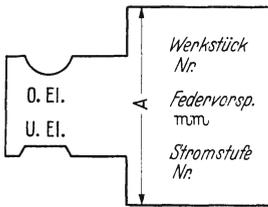


Abb. 80. Einstelllehre für Punktschweißung.
O. El. = Spitzenform der Oberelektrode; *U. El.* = Spitzenform der Unterelektrode; *A* = Elektrodenabstand.

Elektrodenkraft vermindert werden, während sie beim Auftreten von Spritzern an der Oberfläche zu erhöhen ist. Mit der Erhöhung des Schweißstromes wird die Schweißzeit vermindert, damit der Punkt mit möglichst wenig Verlustwärme geschweißt wird. Funkenerscheinungen oder Sprühen an der Blechoberfläche zeigt das Erreichen oder Überschreiten der höchstzulässigen Schweißstromdichte an. Ist für ein bestimmtes Werkstück die Besteinstellung der Maschine gefunden, so wird die Federvorspannung, die Schweißstromstufe, die Schweißzeit und der Elektrodenabstand auf der Arbeitskarte oder Lehre für das betreffende Werkstück vermerkt (Abb. 80).

Einen Anhalt für die Größe der Elektrodenkraft, die Leistungsaufnahme und die Schweißzeit möge Tabelle 6 geben. Infolge des verschiedenen Verhaltens der

Tabelle 6. Werte für *P*, *N* und *T* bei verschiedenen Blechstärken und Werkstoffen.

P Elektrodenkraft in kg
N Leistungsaufnahme in kVA (350 mm Ausladung)
T Schweißzeit in s.

Die Angaben für *N* sind Mindestwerte. Erhöhen von *N* und *P* gestattet kürzere *T*.

Blech- stärke 2 × mm	Eisenblech blank			Eisenblech verzündert			Messingblech blank			Aluminiumblech		
	<i>P</i> kg	<i>N</i> kVA	<i>T</i> s	<i>P</i> kg	<i>N</i> kVA	<i>T</i> s	<i>P</i> kg	<i>N</i> kVA	<i>T</i> s	<i>P</i> kg	<i>N</i> kVA	<i>T</i> s
0,5	25	5	0,3	80	4	0,5	15	15	0,1	50	20	0,04
1	40	6	0,6	100	5	0,9	25	25	0,15	70	30	0,08
1,5	55	7	0,9	120	6	1,3	35	50	0,2	90	40	0,12
2	70	8	1,2	140	8	1,8	—	—	—	110	50	0,14
2,5	90	10	1,5	160	10	2,2	—	—	—	130	70	0,16
3	120	12	1,9	180	12	2,5	—	—	—	150	100	0,20
4	150	15	2,4	220	15	3,0	—	—	—	—	—	—
5	180	20	3,0	260	20	3,5	—	—	—	—	—	—

Maschinen, Werkstücke und Werkstoffe sind jedoch diese, wie alle zahlenmäßigen Angaben über Punktschweißungen, mit großer Vorsicht anzuwenden. Es ist zwar etwas mühevoller, führt aber um so sicherer zum Erfolg, wenn man sich auch beim Einstellen der Maschinen immer wieder die Zusammenhänge klarmacht, die noch einmal kurz in Abb. 81 zusammengefaßt sind.

Die Punktschweißungen können bisher leider nur durch Zerstören geprüft werden. In Eisen und Stahl muß bei einer guten Schweißung beim Auseinanderziehen oder Biegen der geschweißte Butzen aus einem der beiden Bleche herausreißen. Ein einzelner Punkt läßt sich durch Verdrehen beider Bleche leicht abscheren. Bei diesem Scherversuch liefert nur der Verdrehungswinkel der Bleche bis zum Abscheren einen Maßstab für die Güte des Punktes (vgl. Abb. 48...50). Auch die Punktschweißungen an Kupfer, Aluminium und seinen Legierungen werden durch Zerreißen oder Scheren geprüft. Bei legierten, besonders bei plat-

Maschine	Werkstoff Leitfähigkeit schlecht gut	Blechstärke Punkt- ϕ klein groß	Oberfläche sauber oxydiert	Werkstück bewegl. formsteif	Punktleistung Punkte je min mehr
Elektrodenkraft P					
Schweißstrom I_2			—	—	
Schweißzeit T					
Elektrode	flach ballig kegelig	Spitzendurch- messer wächst	flach ballig	flach	flach ballig

Abb. 81. Zusammenhang der Einstellgrößen beim Punktschweißen.

tierten Leichtmetallen und rostfreien Stählen, die zum Erhalten der Korrosionsfestigkeit der Oberfläche mit kürzesten Schweißzeiten verbunden werden, löst sich beim Reißversuch nur ein balliger Butzen aus dem einen Blech, ohne daß die Bruchkante bis zur Oberfläche des Bleches durchgeht und ein Loch in diesem entsteht (vgl. Abb. 37).

Da eine laufende Prüfung der Punkte selbst nicht möglich ist, kann ein gleichmäßiger Ausfall der Schweißungen nur durch sorgfältiges Gleichhalten aller Einflußgrößen der Maschine und des Werkstückes erreicht werden.

30. Die häufigsten Fehler, die beim Schweißbetrieb immer wieder zu beobachten sind, sollen kurz angegeben werden. Fast alle Mißerfolge beim Punktschweißen sind auf Veränderungen der Einstellwerte während des Betriebes oder auf Ungleichmäßigkeiten des Werkstückes zurückzuführen. An der Schweißmaschine wird die Form und Kühlung der Elektroden zu wenig beachtet und durch Breitdrücken der Elektrodenspitze die Stromdichte herabgesetzt. Falsch ist es, durch recht lange Elektroden eine längere Betriebszeit der einzelnen Elektrode zu erstreben. Wegen des großen Abstandes zwischen Arbeitsfläche und Kühlwasser nutzt sich die lange Elektrode besonders schnell ab, und erst der übrigbleibende kurze Stummel zeigt die gewünschte Haltbarkeit. Hakenelektroden werden häufig überhaupt nicht gekühlt. Werden sie stark beansprucht, so müssen jedoch auch die Hakenelektroden gebohrt und bis kurz hinter die Arbeitsfläche gekühlt werden.

Sehr oft wird durch fehlerhafte Maßnahmen die Schweißleistung vermindert. Am Ober- oder Unterarm werden Eisenschellen für Anschläge, Haltevorrichtungen oder Lehren angebracht, die den Strom drosseln. Alle an den Armen befestigten Teile, besonders wenn sie die Arme ringförmig umgeben, müssen aus nichtmagnetischen Stoffen hergestellt werden. Fehlerhaft ist es auch, irgend-

welche Vorrichtungen gleichzeitig an den Elektrodenarmen oder der Stirnplatte und ohne Isolation am Maschinengestell zu befestigen (Nebenschluß). Völlige Verständnislosigkeit verrät das Abdichten der Elektrodenspitzen durch Gummischeiben oder Hanf mit Mennige, sowie das „Nacharbeiten“ kegeliger Elektroden und ihrer Halter mit Feile und Taschenmesser. Auch in der Überwachung der Länge und Lage der Schweißzeit werden immer wieder Fehler gemacht. Bei fußbetätigten Maschinen wird der Hauptschalter falsch eingestellt oder beim Abnutzen der Elektroden nicht rechtzeitig nachgestellt, so daß sich die Elektroden schon vor dem Ausschalten des Schweißstromes öffnen und große Brandlöcher entstehen. Schließlich entstehen oft Fehlschweißungen durch mangelnde Pflege des Hauptschalters, der durch völlig verschmorte Kontakte unsicher schaltet oder durch abgelagerten Kupferstaub sogar ganz überbrückt wird.

Auch durch mangelhafte Vorbereitung des Werkstückes entstehen oft Mißerfolge. Als Hauptfehler sind schlechtes Passen formsteifer Teile (vgl. Abschnitt 20) und wechselnde Blechoberfläche zu erwähnen, durch die mit dem wechselnden Schweißdruck und Werkstückwiderstand ganz ungleichmäßige Wärmemengen im Punkt entstehen. Auch ungleiche Wärmeverteilung im Werkstück (vgl. Abschn. 21) gefährdet den gleichmäßigen Ausfall der Punkte. Man muß sich stets dessen erinnern, daß nur bei gleichbleibenden Arbeitsbedingungen der Maschine und des Werkstückes auch gleichmäßige Schweißergebnisse erwartet werden können.

III. Nahtschweißen.

A. Die Nahtschweißverfahren.

31. Punktreihe und Rollennaht. Das Nahtschweißen ist unmittelbar aus dem Punktschweißen abgeleitet. Schon mit der Schnellpunktschweißmaschine können Punktnähte (Steppnähte) durch schnelles und dichtes Aneinanderreihen einzelner Schweißpunkte erzeugt werden. Während des Vorschubes des Werkstückes muß sich das Punktelektrodenpaar jedoch nach jedem einzelnen Punkt öffnen. Beim schnellen Arbeiten mit großer Punktleistung hämmern daher die Elektroden sehr stark auf das Werkstück und verformen sich in kurzer Zeit. Bei leicht zugänglichen Punktreihen und beim Rollennahtschweißen wird das Punktelektrodenpaar durch ein Rollenpaar ersetzt, durch dessen Drehung das Werkstück vorgeschoben wird. Auch das Rollenpaar berührt ebenso wie das Punktelektrodenpaar das Werkstück nur auf einer kleinen Fläche, so daß der Strom gezwungen ist, durch einen beschränkten Querschnitt des Werkstückes von Rolle zu Rolle zu fließen und einen Schweißpunkt zu erzeugen (vgl. Abb. 8). Zum Erzeugen einer Naht werden durch das umlaufende Rollenpaar in schneller Folge Stromstöße geschickt, die Punkt an Punkt reihen. Vor dem Nahtschweißen mit Punktelektroden hat das Rollennahtschweißen den Vorzug einer viel geringeren Elektrodenabnutzung infolge der größeren Arbeitsfläche der Nahtelektroden (Rollenumfang gegen Elektrodenspitze) und eines regelmäßigen Werkstückvorschubes durch die Rollendrehung.

Als Nahtleistung oder Schweißgeschwindigkeit bezeichnet man die beim Nahtschweißen durch die Rollendrehung erzeugte Vorschubgeschwindigkeit des Werkstückes. Ist die Umfangsgeschwindigkeit der Rollen und damit der Vorschub des Werkstückes gegeben, so wird der Längenabstand der einzelnen Schweißpunkte durch den Zeitabstand der einzelnen Stromstöße, die Punktzeit, bestimmt (Abb. 82). Je größer die Nahtleistung (m/min) und je länger die Punktzeit (s oder Periode) ist, desto weiter wird der Punktabstand. Der einzelne Punkt wird während

einer Schweißzeit erzeugt, die meist nur einen Teil der Punktzeit einnimmt. Der Zeitrest entfällt auf die Strompause. Der Kehrwert der Punktzeit (s) gibt die Anzahl der je Sekunde geschweißten Punkte, die Punktleistung (1/s), an. Die Schweißzeit des einzelnen Punktes folgt den Gesetzen der Punktschweißung. Die Pause zwischen den einzelnen Punkten der Naht wird durch Rücksichten auf den Werkstoff und seine Erwärmung bestimmt. Eine Naht, bei der je ein Schweißpunkt oder eine kurze Naht mit einer nichtgeschweißten Stelle abwechselt, bezeichnet man mit Fest- oder Heftnaht. Bei einer Dichtnaht müssen die einzelnen Schweißpunkte sich gegenseitig überlappen, um eine geschlossene Schweißnaht zu bilden. Die größten Punkt-abstände betragen bei Dichtnähten etwa 3 mm, bei Festnähten etwa 10 mm und bei Heftnähten etwa 30 mm. Für eine bestimmte Naht ist durch den erforderlichen Punkt-abstand und die höchstmögliche Punktzahl je Sekunde die Nahtleistung und damit die Umfangsgeschwindigkeit der Elektrodenrollen eindeutig festgelegt (Tabelle 7). Die Leistungsaufnahme der Nahtschweißmaschine wächst wie beim Punktschweißen mit dem Verkürzen der Schweißzeit je Punkt. Ein Steigern der Nahtleistung erfordert daher stärkere Schweißmaschinen. Oft wird

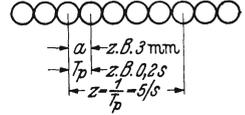


Abb. 82. Zusammenhang zwischen Punktabstand, Punktzeit und Nahtleistung.

a = Punktabstand (mm);
 T_p = Schritt- oder Punktzeit (s); z = in 1 s geschweißte Punkte = Punktleistung $1/T_p$.
 Nahtleistung $L = \frac{a \cdot z \cdot 60}{1000}$;
 z. B. $a = 3$ mm, $z = 5/s$,
 $L = 0,9$ m/min.

Tabelle 7. Nahtleistung in m/min beim Nahtschweißen mit verschiedenen Punktabständen (Schrittlängen) a und Punktzahlen z je Sekunde.

Anzahl der Einzelpunkte je Sek. z und Zeit je Punkt T_p in Perioden 50 Per. = 1 s			Abstand der Einzelpunkte a in mm							
			Druckdichte Schweißnähte						Festnähte	
z	T_p Per.	Stromsteuerung	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	3,0	5,0	10
100	$1/2$	Schritt m. Klöp- pelschalter — Modulation — Synchrone Stromsteuerung (z. B. durch Stromrichter)	3,00	6,00	9,00	12,0				
50	1		1,50	3,00	4,50	6,00	7,50	9,00		
$33^{1/3}$	$1^{1/2}$		1,00	2,00	3,00	4,00	5,00	6,00	10,0	
25	2		0,75	1,50	2,25	3,00	3,75	4,50	7,50	15,0
20	$2^{1/2}$		0,60	1,20	1,80	2,40	3,00	3,60	6,00	12,0
$16^{2/3}$	3		0,50	1,00	1,50	2,00	2,50	3,00	5,00	10,0
$12^{1/2}$	4		0,375	0,75	1,125	1,50	1,875	2,25	3,75	7,50
10	5		0,30	0,60	0,90	1,20	1,50	1,80	3,00	6,00
$8^{1/3}$	6		0,25	0,50	0,75	1,00	1,25	1,50	2,50	5,00
$7^{1/7}$	7		0,21	0,43	0,64	0,86	1,07	1,28	2,14	4,28
$6^{1/4}$	8		0,19	0,38	0,56	0,75	0,94	1,12	1,87	3,75
6	$8^{1/3}$		0,18	0,36	0,54	0,72	0,90	1,08	1,80	3,60
5	10		0,15	0,30	0,45	0,60	0,75	0,90	1,50	3,00
4	$12^{1/2}$		0,12	0,24	0,36	0,48	0,60	0,72	1,20	2,40
3	$16^{2/3}$		0,09	0,18	0,27	0,36	0,45	0,54	0,90	1,80
2	25		0,06	0,12	0,18	0,24	0,30	0,36	0,60	1,20
1	50	0,03	0,06	0,09	0,12	0,15	0,18	0,30	0,60	

auch durch das Erhöhen des Schweißstromes mit dem Verkürzen der Schweißzeit je Punkt die Allgemeinerwärmung des Werkstückes verringert und so trotz gleicher oder gesteigerter Nahtleistung weniger elektrische Arbeit verbraucht. Bei Angaben über die Leistungsaufnahme und den Arbeitsverbrauch von Nahtschweißmaschinen sind daher nicht nur der Werkstoff und die Blechdicke, sondern auch die Nahtleistung und die Nahtform (Punktabstand) zu berücksichtigen.

32. Das Schrittnahtschweißen ist unmittelbar aus dem Reihenpunktschweißen entwickelt. Jeder einzelne Punkt der Naht wird zwischen stillstehenden Elektrodenrollen geschweißt, die sich immer nach Ablauf der Schweißzeit um einen Schritt weiterdrehen und das Werkstück ohne Schweißstrom um einen Punkt-

abstand vorschieben. Der Schweißstrom wird nur während des ersten Teiles des

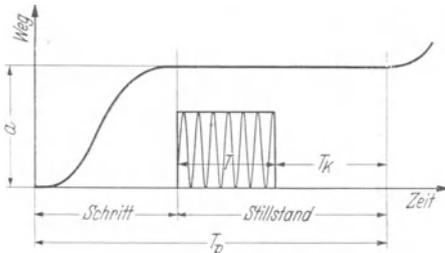


Abb. 83. Verlauf eines Rollenschrittes.

Schweißzeit T und Abkühlzeit T_k während des Stillstands. Punktzeit T_p entfällt auf Schritt und Stillstand.

Rollenstillstandes eingeschaltet (Abb. 83). Erst nachdem sich der Punkt zwischen den Elektrodenrollen abgekühlt hat, werden diese um einen Schritt weitergedreht. Der Schweißstrom muß also im Gleichlauf mit der Schrittbewegung der Rollen ein- und ausgeschaltet werden. Der Punktabstand wird durch die Schrittlänge der Rollen bestimmt. Die Punkteleistung entspricht der Anzahl der Schritte je Sekunde. Nach dem Rollenschrittverfahren können Nähte mit jedem beliebigen Punkt-

abstand geschweißt werden.

Die Schrittbewegung der Elektrodenrollen wird bis zu etwa 5 Schr./s durch Reibungs- oder Zahngesperre mit Schwinghebel erzeugt. Die Schrittlänge wird durch das Verändern des Angriffspunktes eines um gleichmäßige Beträge hin und her gehenden Gestänges am Schwinghebel oder durch Verändern des Gestänge-

hubes eingestellt (Abb. 84). Für mehr als etwa 5 Schr./s ist der Schrittantrieb durch Gesperre infolge der ruckweisen Beschleunigung der Getriebeteile ungeeignet. Schnellaufende Schrittnahtschweißmaschinen arbeiten daher mit einer zwangsläufigen Schrittsteuerung durch Kurven, die ein sanftes Beschleunigen und Verzögern der Getriebeteile ermöglicht. Bei der Schrittkurvensteuerung wird eine gleichförmige Rollendrehung, die der mittleren Vorschubgeschwindigkeit entspricht, durch Überlagern einer schwingenden in die schritt-

förmige Bewegung abgewandelt (Abb. 85). Mit der Schrittkurvensteuerung werden bis zu 25 Schr./s erzeugt. Da der Schweißstrom im Takt mit der Schrittbewegung unterbrochen wird, muß bei mehr als 6 Schr./s auch die Schrittbewegung synchron mit dem Wechselstrom verlaufen (vgl. Abschn. 34).

Die Vorteile des Rollenschrittverfahrens sind schweißtechnischer Art. Jeder einzelne Punkt wird mit großer Sicherheit und Gleichmäßigkeit geschweißt. Gegen kleine isolierende Unsauberkeiten auf der Blechoberfläche, die beim Auflaufen der Rolle unter Strom ein Brandloch verursachen würden, ist die Schweißung zwischen stillstehenden Elektrodenrollen unempfindlich. Auf Schrittmaschinen können daher auch unsaubere Bleche mit wechselnder Oberfläche dicht geschweißt werden. Besondere Nahtformen, z. B. stumpf verpreßte Nähte, sind nur im Schritt zu schweißen. Auch bei Fest- und Heftnähten mit großem Punktabstand ist das Schrittverfahren überlegen, weil das Werkstück durch die Rollen zwangsläufig und schnell um genau gleiche Punktabstände vorgeschoben wird. Ein Vorteil



Abb. 84. Schrittantrieb durch Sperrklinke (bis zu 5 Schritte/s).

1 = Kurbeltrieb; 2 = Gesperrehebel; 3 = Mittenmerklinke; 4 = Sperrrad; 5 = Rücklaufsperrung; 6 = Schneckentrieb; 7 = Elektrodenrolle; Schrittlänge verstellbar durch Ändern des Kurbelradius 1 oder der Hebellänge 2.

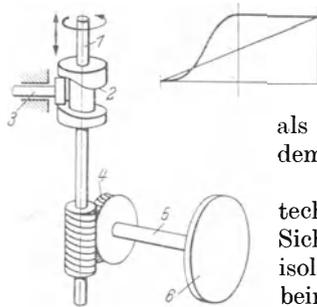


Abb. 85. Schrittantrieb durch Kurvensteuerung (bis zu 25 Schritte/s).

1 = Antriebswelle (läuft gleichförmig um); 2 = Mantelkurve, erzwingt mit der feststehenden Rolle 3 eine Längsschwingung der Welle 1; 4 = Schneckentrieb; 5 = Elektrodenwelle; 6 = Elektrodenrolle.

der Schrittnahtschweißmaschine ist ferner die geringere Abnutzung der stromführenden Lager, da die Elektrodenwellen während des Stromflusses stillstehen und einen festen Kontakt mit dem Lager bilden. Der einzige Nachteil des Schrittvorgangens ist die Begrenzung auf eine nicht sehr hohe Nahtleistung, weil die höchstmögliche Schrittzahl wegen des ruckförmigen Vorschubes durch die Masse des Werkstückes und der Getriebeteile bestimmt ist. Eine Abart des Rollenschrittvorgangens ist das Pilgerschrittschweißen, das nur für Sonderfälle beschränkte Bedeutung erlangt hat. Beim Pilgerschrittvorgang bewegen sich die Rollen stromlos etwas weiter als die gewünschte Schrittlänge und gehen vor dem Stillstand ein Stück zurück. Der Schweißstrom wird während des kleinen Rückwärtsschrittes eingeschaltet und während des Stillstandes ausgeschaltet. Durch das zweimalige Überwalzen der Schweißstelle ist in manchen Fällen der Ausfall der Naht zu verbessern.

33. Gleichförmiges Nahtschweißen. Das einfachste Nahtschweißverfahren, zwei Bleche zwischen sich gleichförmig drehenden und ununterbrochen vom Strom durchflossenen Rollen zu schweißen, ist nur in einzelnen Fällen erfolgreich anzuwenden. Beim gleichförmigen Nahtschweißen fördern die Elektrodenrollen das Werkstück auch während einer noch so kurzen Schweißzeit um einen bestimmten Betrag. Läuft während dieser Zeit eine Elektrodenrolle auf ein isolierendes Teilchen, z. B. auf eine oxydierte Stelle der Blechoberfläche, auf, so wird der Schweißstromkreis zwischen Werkstück und Elektrode unterbrochen und infolge des Abschaltlichtbogens ein Brandloch erzeugt. Gleichförmiges Nahtschweißen ist daher besonders bei großen Vorschubgeschwindigkeiten sehr empfindlich gegen Ungleichmäßigkeiten der Blechoberfläche. Bei vollkommen metallisch blanken Blechen lassen sich dagegen beim gleichförmigen Nahtschweißen bedeutend höhere Nahtleistungen als beim Schrittschweißen erzielen.

Auch beim Nahtschweißen ohne Stromunterbrechung entsteht eine Punkt-an-Punkt-Naht, in der jede einzelne Wechselstromhalbwelle je einen Punkt schweißt. Bei normaler Wechselstromfrequenz ist daher die Nahtleistung durch den Punkt-abstand begrenzt, der z. B. bei 6 m/min und 50 Hz schon 1 mm beträgt. In den meisten Fällen ist für den einzelnen Punkt eine längere Schweißzeit und wegen des Nebenschlusses ein größerer Punkt-abstand der Naht erforderlich, so daß auch beim gleichförmigen Nahtschweißen der Strom in einem bestimmten Takt unterbrochen oder geschwächt werden muß. Die Nahtleistung wird auch hierbei durch die Umfangsgeschwindigkeit der Elektrodenrollen, der Punkt-abstand bei gleicher Nahtleistung aber durch die Zahl der Stromstöße oder Stromschwelen je Sekunde bestimmt.

34. Die Stromsteuerung. Bei Wechselstrom von 50 Hz können bis zu etwa sechs Stromunterbrechungen je Sekunde noch mechanisch und nicht synchronisiert durch Klöppelschalter (Abschn. 15) beherrscht werden. Bei höherer Punkt-leistung fallen die einzelnen Schweißpunkte beim Arbeiten mit mechanischen Schaltern ungleichmäßig aus, weil bei diesen der Schweißzeit-fehler mit dem Verkürzen der Schweißzeiten wächst. Schließlich können sich auch zwischen der Punkt-leistung und der Wechselstromfrequenz, z. B. bei nicht synchron laufenden Schrittnahtschweiß-maschinen, Schwebungen bilden, die zu einem gleichmäßigen An- und Abschwellen der Schweißzeit und Verändern der Punktgröße führen (Abb. 86). Wie allgemein beim Steuern kurzer Schweißzeiten wird es dann erforderlich, nicht nur die Schweiß-

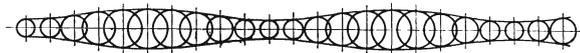


Abb. 86. An- und Abschwellen der Punktgröße einer Rollennaht durch Schwebungen zwischen der Schalt- und Wechselstromfrequenz beim asynchronen mechanischen Schalten der Schweißzeit.

zeit des einzelnen Punktes, sondern auch ihre zeitliche Lage zur Wechselstromlinie durch Synchronbetrieb festzulegen. Mechanische Schalter sind für den Synchronbetrieb im allgemeinen ungeeignet, weil schon bei geringster Abnutzung der Schaltstücke der Ein- und Ausschaltpunkt verschoben und der Vorteil der Synchronisierung aufgehoben wird. Beim Modulationsverfahren verzichtet man daher auf völliges Ausschalten des Schweißstromes, sondern schwächt und verstärkt die der Schweißmaschine zugeführte Spannung mit Hilfe eines Drehtransformators, des Modulators, mit einer für die gewünschte Punkteleistung erforderlichen Frequenz (Abb. 87). Während des Höchstwertes der Spannung wird stets ein Punkt geschweißt, während beim Tiefstwert der Spannung nur ein Reststrom fließt, der zum Schweißen nicht mehr genügt. Mit dem Modulator werden Punkteleistungen von etwa $4 \cdot 12$ Punkten je Sekunde beherrscht. Er verteilt die Punktzeit in einem festen, in der Nähe von 1 : 1 bleibenden Verhältnis auf Schweißzeit und Pause. Der während der Pause fließende Reststrom erwärmt (oft unerwünscht)

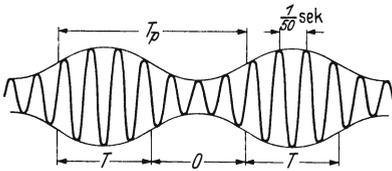


Abb. 87. Steuern der Nahtschweißung durch Modulation des Wechselstromes.

$T_p = 1$ Modulationswelle; T_p entfällt auf Schweißzeit T und Pause O .

das Werkstück zusätzlich und erhöht den Verbrauch an elektrischer Arbeit. Das beliebige Verteilen der Schweißzeit und Pause, wie es z. B. beim Nahtschweißen wärmeempfindlicher Werkstoffe erforderlich wird, ist beim schnellen Arbeiten nur mit Hilfe der Gittersteuerung möglich. Man unterscheidet Halbwellen- und Vollwellensteuerung, je nachdem volle Perioden oder Halbwellen für die Schweißzeit und die Pause eingeteilt

werden können. Die Gitter dieser Nahtschweißsteuerungen werden durch synchrone Befehle gesteuert, die durch kleine mechanische Schalter, optische oder magnetische Impulse sowie durch elektrische Schwingungskreise gegeben werden.

B. Werkstück und Nahtschweißmaschine.

35. Einfluß des Werkstoffes. Beim Nahtschweißen ist die Leitfähigkeit und Wärmeempfindlichkeit sowie die Oberflächenbeschaffenheit des Werkstoffes wesentlich sorgfältiger zu beachten als beim Punktschweißen. Besonders bei Dichtnähten mit sich überlappenden Schweißpunkten tritt der Nebenschluß durch die schon geschweißte Naht störend in Erscheinung. Durch den Nebenschluß umgeht mit wachsender Nahtlänge ein immer größerer Teil des Schweißstromes die Schweißstelle, so daß diese schließlich nicht mehr genügend erhitzt wird. Diese Erscheinung verhindert das Nahtschweißen gut leitender Stoffe restlos und läßt auch bei schlechter leitenden Stoffen nur das Schweißen von wesentlich geringeren Blechstärken zu.

Eisenbleche eignen sich für das Nahtschweißen am besten. Blanke und dekapierte Bleche können im Schritt oder gleichförmig geschweißt werden. Verzünderte Bleche lassen sich im Schritt ohne Entzündung nahtschweißen, sofern keine zu großen Anforderungen an die Dichtigkeit und Gleichmäßigkeit der Naht gestellt werden. Kleine Spritzer durch Wegschleudern der geschmolzenen Zunderreste sind beim Schweißen verzunderter Bleche nicht zu vermeiden. Sollen druckluft- und wasserdichte Nähte aus Schwarzblech geschweißt werden, so ist Abschleifen der Schweißkante oder das Beizen der Teile zweckmäßig. Rostfreie Stahlbleche müssen mit möglichst kurzen Schweißzeiten und langen Strompausen zwischen den einzelnen Punkten nahtgeschweißt werden, damit ihre Korrosionsfestigkeit nicht durch übermäßige Erwärmung vernichtet wird. Gewöhnliche Stahlbleche sind bis zu einer höchsten Einzelblechstärke von etwa 3,5 mm naht-

zuschweißen. Bei Einzelstärken über etwa 2,5 mm ist jedoch das Lichtbogenschweißen in den meisten Fällen dem Rollennahtschweißen überlegen, so daß man sich von Fall zu Fall für das bestgeeignete Verfahren entscheiden muß.

Nichteisenmetalle erschweren infolge ihrer meist guten elektrischen Leitfähigkeit und der dadurch entstehenden Nebenschlußverluste das Schweißen dichter Nähte. Diese Metalle können daher nur mit sehr hohen Stromstärken und kürzesten Schweißzeiten geschweißt werden. An Kupferblechen können dichte Rollenschweißnähte nicht erzeugt werden. Schon nach dem Schweißen einiger Punkte der Naht wird bei diesem gut leitenden Werkstoff so viel Schweißstrom durch den Nebenschluß geführt und so viel Verlustwärme in das Blech abgeleitet, daß eine sichere Schweißung unmöglich ist. Bronzen mit hohem Kupfergehalt, deren elektrische Leitfähigkeit etwas unter der des Kupfers liegt, sind bis zu Einzelblechstärken von etwa 0,8 mm schweißbar. Mit der Abnahme ihrer elektrischen Leitfähigkeit lassen sich die Kupferlegierungen immer besser nahtschweißen. So bietet z. B. das vakuumdichte Nahtschweißen von Messingblechen mit 1·1,2 mm Einzelblechstärke kaum noch Schwierigkeiten. Voraussetzung zum Schweißen dieser Legierungen sind kurze Schweißzeiten von etwa 1·3 Perioden, die mit Rücksicht auf die hohe Stromstärke meist durch Gitter gesteuert werden, beste Kühlung der Elektrodenrollen und am besten auch des Werkstückes durch Bespülen der ganzen Schweißstelle mit Kühlwasser. Je wärmeempfindlicher der Werkstoff ist, desto länger sind auch die Strompausen zwischen den Punkten zu bemessen. So konnten z. B. vakuumdichte Nähte an sehr wärmeempfindlichen dünnen Bronzeblechen erst mit Schweißzeiten von etwa $\frac{1}{3}$ Halbwelle (0,003 s) und Strompausen von etwa 5 Perioden (0,15 s) einwandfrei geschweißt werden.

Leichtmetalle verhalten sich ähnlich wie Messing. Wie beim Punktschweißen müssen jedoch Leichtmetalle unmittelbar vor dem Nahtschweißen sorgfältig von Oxydschichten befreit werden. Die große Wärmeempfindlichkeit der Aluminium- und Magnesiumlegierungen zwingt beim Nahtschweißen ebenfalls zu kurzen Schweißzeiten und großen Strompausen, in denen sich die Hitze des Schweißpunktes gleichmäßig verteilen kann und der schädliche Einfluß örtlicher Überhitzungen auf das Werkstoffgefüge vermieden wird. Leichtmetalle lassen sich bis zu einer Einzelblechstärke von etwa 1,5 mm rollennahtschweißen. Schwierigkeiten bereitet noch das Anlegieren der Bleche an den Elektrodenrollen, das nur durch peinliches Sauberhalten der Rollen und beste Kühlung in erträglichen Grenzen zu halten ist.

Zinkbleche sind sehr gut nahtschweißbar. Allgemein bekannt sind die nahtgeschweißten Zinkbecher für Taschenlampen- und Anodenbatterien, an deren Dichtigkeit und Gleichmäßigkeit höchste Anforderungen gestellt werden. Bei blanken Zinktafeln ist eine Vorbereitung der Bleche nicht erforderlich. Weiße körnige Flecke auf der Oberfläche, die durch Naßwerden entstehen, sollten möglichst entfernt werden, da sie die Schweißung unsicher machen. Die bläulich schimmernden Fettsäureverbindungen auf der Zinkblechoberfläche, die beim Paketwalzen durch das Zurückbleiben von Fett zwischen den Blechpaketen entstehen, erzeugen beim Schweißen Brandlöcher; sie müssen daher durch Beizen entfernt werden. Zinkbleche bis zu etwa 0,4 mm Einzelblechstärke können ohne Stromunterbrechung mit 6 m/min Nahtleistung, also einem Punktabstand von 1 mm bei 50 Hz Wechselstromfrequenz, nahtgeschweißt werden. Größere Blechstärken werden etwa wie Kupferlegierungen geschweißt. Die größte nahtschweißbare Zinkblechstärke beträgt etwa 1,5 mm.

Alle Nichteisenmetalle müssen wegen ihrer guten Leitfähigkeit mit sehr niedrigen Schweißdrücken geschweißt werden. Durch die kleine Reibungskraft zwischen

den Elektrodenrollen und der Blechoberfläche rutschen die Rollen schon bei kleinen Hemmungen, wodurch leicht Brandfurchen entstehen. Man muß daher für leichteste Mitnahme der Bleche zwischen den Elektrodenrollen und für genau gleiche Umfangsgeschwindigkeit der Rollen sorgen. Wenn möglich, sollen beide Rollen angetrieben sein. Wo Schlepprollen beim Schweißen von Nichteisenmetallen nicht zu umgehen sind, müssen die Rollen auch bei geringer Reibung am Werkstück ohne Stockung mitgedreht werden können. Eine Übersicht der Werkstoffe und Blechstärken, die noch nahtzuschweißen sind, sowie die Nahtleistung und Maschinengröße unter gewöhnlichen Bedingungen vermittelt Tabelle 8.

Tabelle 8. Nahtschweißbare Blechstärken, mittlere Nahtleistungen und Leistungsaufnahmen bei verschiedenen Werkstoffen.

Werkstoff	Nahtschweißbare Einzelblechstärke von/bis mm	Nahtleistung und Leistungsaufnahme bei 350 mm Ausladung. Dichte Naht mit 1...3 mm Punktabstand (Mittelwerte)		
		m/min	kVA	
Blankes Eisenblech	0,1/2,5 (3,5)	0,5	1 ... 6	8 ... 30
		1,0	0,8 ... 3	12 ... 40
		1,5	0,5 ... 2	20 ... 60
		2,0	0,4 ... 1,5	30 ... 80
		2,5	0,3 ... 0,9	40 ... 100
Schwarzblech	0,5/2,5	2 ... 0,5	10 ... 50	
Rostfreier Stahl	0,1/2,5	4 ... 0,5	12 ... 100	
Zink	0,1/1,5	6 ... 2,5	8 ... 40	
Messing	0,1/1,2	2,5 ... 0,4	15 ... 100	
Aluminium	0,2/1,2	3 ... 0,3	30 ... 150	
Aluminium-Magnesium-Legierung	0,1/1,5	3 ... 0,2	30 ... 200	

36. Werkstück und Nahtform. Die Gestalt des Werkstückes muß das Heranführen der Elektrodenrollen an die Schweißnaht gestatten. Bei Längsnähten an Hohlkörpern muß der Durchmesser das Einfahren eines genügend starken Unterarmes zulassen. Längsnähte an Rohren von 100 mm Durchmesser bis höchstens 1500 mm Länge können noch auf dem Dorn einer Wanderrollennahtschweißmaschine bearbeitet werden, während beliebig lange Rohre mit noch kleinerem Durchmesser nur auf Rohrnahtschweißmaschinen in Sonderausführung zu schweißen sind. Rundnähte sollten stets eine möglichst geringe Ausladung der Elektrodenrollen erfordern. Beim Einschweißen eines Bodens in einen Hohlkörper wäre also der Boden möglichst nach außen zu bördeln (vgl. Abb. 39). Beim Rundnahtschweißen müssen die beiden Werkstückteile besonders genau ineinanderpassen. Viele Mißerfolge beim Schweißen von Rundnähten sind auf die Bildung von Tüten infolge zu großen Durchmessers des Außenteiles zurückzuführen (vgl. Abb. 41...43).

Am einfachsten und sichersten läßt sich die überlappte Naht schweißen (Abb. 88). Die Überlappung soll wenigstens 5 mal Einzelblechstärke betragen. Je kürzer die Überlappung gewählt ist, desto unsauberer wird die Schweißung infolge des Herausquetschens von Spritzern. Nichteisenmetalle können nur überlappt geschweißt werden. Wird an Eisen- oder Stahlblech eine nicht sichtbare Naht verlangt, so kann diese überlappt verpreßt, schräg überlappt oder stumpfgeschweißt werden. Von den nicht sichtbaren ist die überlappt verpreßte Naht am haltbarsten (Abb. 89). Die Blechkanten müssen auf der ganzen Länge 1...0,8 mal Einzelblechstärke überlappen. Der Erfolg der Schweißung ist durch die Gleichmäßigkeit der Überlappung bedingt, die höchstens 10% vom Sollwert, d. h. bei 1 mm Blech um 0,1 mm, abweichen darf, und die nur durch genau geradlinig geschnittene Blechkanten und sorgfältiges Einspannen und Festlegen der

Teile in Lehren einzuhalten ist. Während der Schweißung werden die Bleche unter der Kraft der Elektrodenrollen fast in eine Ebene gepreßt. Durch nachträgliches Kaltwalzen wird die Naht vollkommen unsichtbar. Die überlappt verpreßte Naht ist besonders gut nach dem Schrittverfahren zu schweißen. Die Nähte fallen dicht und porenfrei aus, so daß sie nach dem Walzen gut verzinkt und emailliert werden können. Die schräg überlappte Naht erfordert Schrägschleifen der Blechkanten vor dem Schweißen (Abb. 90). Die Nähte sind fest und dicht, aber ungeeignet für das Emaillieren, weil unter den spitzen Blechkanten unverschweißte Fugen bleiben. Stumpfnähte werden an allen nicht druckbeanspruchten Teilen der Blechindustrie angewendet (Abb. 91). Beim Stumpfstoß entsteht der Schweißdruck nur mittelbar, so daß die Stoßkanten gut passen und während des Schweißens fest aufeinandergedrückt werden müssen. Nach dem Kaltwalzen oder Hämmern eignen sich die Stumpfnähte für das Verzinken und Emaillieren. In manchen Fällen empfiehlt sich das Einlegen und Einschweißen eines Drahtes (Abb. 92) in die Stumpfnahth oder auch das Aufschweißen eines Profildrahtes, der als Zierleiste die Naht verdeckt (Abb. 93). Der überschüssige Werkstoff zum Vollschweißen einer Naht kann auch durch Hochbördeln der Stoßkanten gewonnen werden. Derartige Nähte werden beim Nahtschweißen von Hohlkörpern ohne Gegenelektrode angewandt (Abb. 94). Vor dem Nahtschweißen muß die Lage der Werkstücke zueinander durch Heftnähte oder durch Lehren festgelegt werden. Die Lehren müssen die Teile so zusammenhalten und so geführt sein, daß sich der Schweißdruck gleichmäßig auf beide Teile auswirken kann.

37. Die Elektroden. Die meisten Schweißnähte sind zwischen einem Elektrodenrollenpaar zu schweißen, von dem entweder beide Rollen mit gleicher Umfangsgeschwindigkeit angetrieben sind oder die eine als Schlepprolle nur vom Werkstück mitgedreht wird. Schlepprollen sollen möglichst zweiseitig in einer Gabel gelagert sein, da die einseitig gelagerten Kopffrollen leicht stocken (Abb. 95). Das Verhältnis vom Rollen- zum Wellendurchmesser soll bei Schlepprollen möglichst groß sein und darf den Wert 2,5 keinesfalls unterschreiten. Der Schweißstrom wird der Elektrodenrolle durch die Gleitlager der Welle zugeführt. Diese stromführenden Gleitlager nutzen sich sehr ab und müssen daher leicht auswechselbar, möglichst als Prismen aus handelsüblichem Sechskantmessing oder Bronze gefertigt sein. Gute Kühlung der Elektrodenwellen erhöht die Lebensdauer der Lager. Für die Schmierung dieser Lager (nicht zu reichlich) hat sich Auto-Winteröl bewährt. Bei empfindlichen Schweißungen (NE.-Metalle) vermeidet man, be-

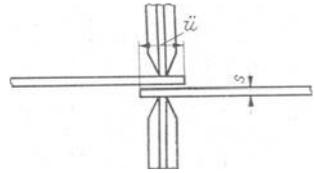


Abb. 88. Überlappte Naht. $u > 5s$; Festigkeit = 0,95.

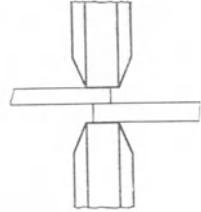


Abb. 89. Überlappt verpreßte Naht. $u = 1 \dots 0,8s$; Festigkeit = 0,9.



Abb. 90. Schräg überlappte Naht. Festigkeit = 0,8.



Abb. 91. Stumpfnahth. Festigkeit = 0,7.



Abb. 92. Stumpfnahth mit Eingelegdraht. Festigkeit = 0,4.



Abb. 93. Stumpfnahth mit Auflegedraht (Zier-). Festigkeit = 0,4.

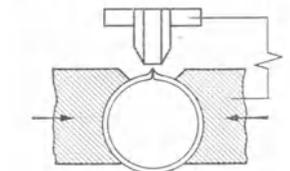


Abb. 94. Aufgebördelte Stumpfnahth für Hohlkörper ohne Gegenelektrode. Festigkeit = 0,5.

Abb. 88...94. Die verschiedenen Rollenschweißnähte und ihre Zerreißeigenschaft in vH der Blechfestigkeit (von Eisenblech).
 s = Blechstärke; u = Überlappung.

sonders bei Schlepprollen, die stromführenden Gleitlager und führt den Schweißstrom gesondert durch Quecksilberkontakte zu (Abb. 96). Auch bei der bekannten Nahtschweißmaschine für Zinkbecher (Trockenbatterien) werden stromführende Gleitlager umgangen, indem zwei Nähte gleichzeitig unter einer Doppelrolle ge-

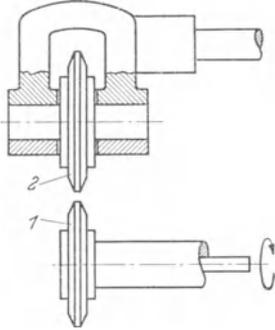


Abb. 95. Treib- und Schlepprolle. 1 = Treibrolle als Kopfrolle einseitig gelagert; 2 = Schlepprolle in Gabel zweiseitig gelagert.

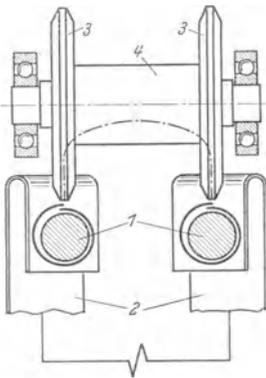


Abb. 97. Doppelschlepprolle z. B. für Zinkbeckerschweißung. Den beiden Dornen 1 wird der Strom durch die Bänder 2 zugeführt. Die Elektrodenrollen 3 sind durch die Welle 4 kurzgeschlossen und laufen ganz leicht in Kugeln. Beide Nähte werden gleichzeitig geschweißt.

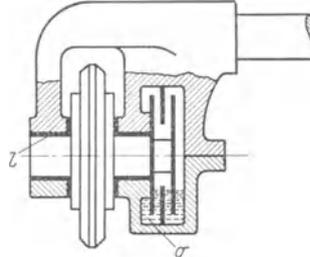


Abb. 96. Schlepprolle ohne stromführende Gleitlager. l = isolierte Lauflager; q = Stromzuführung durch Quecksilber.

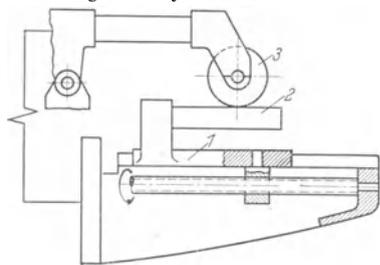


Abb. 98. Längnahtschweißmaschine mit Dornschlitten-Elektroden. Schlitten 1 mit Elektroden 2 bewegt sich unter der stillstehenden Elektrodenrolle 3.

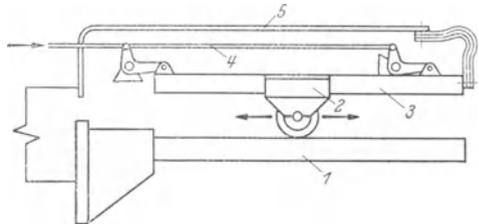


Abb. 99. Längnahtschweißmaschine mit Wanderrolle. Die Elektrodenrolle überfährt im Schlitten 2 den stillstehenden Dorn 1. Die Schlittenbahn 3 ist im Parallelogrammgestänge 4 aufgehängt. Der Schweißstrom wird der Rolle durch Leitung 5, Schlittenbahn 3 und Schlitten 2 zugeführt. Der Stromweg hat in jeder Rollenstellung die gleiche Länge.

schweißt werden, die außerhalb des Schweißstromweges in Kugeln läuft (Abb. 97). In vielen Fällen, z. B. beim Schweißen der Längsnähte rohrförmiger Hohlkörper wird die eine Elektrode als Dorn ausgebildet, auf dem das Werkstück während der Schweißung ruht. Bis etwa 200 mm Nahtlänge wird der Dorn auf einem Schlitten unter der stillstehenden Elektrodenrolle hindurchgeführt (Dornschlittenmaschine, Abb. 98). Längsnähte an großen Werkstücken mit bis zu etwa 1,5 m Nahtlänge werden auf einem stillstehenden Dorn von der in einem Schlitten geführten Elektrodenrolle überfahren (Wanderrollenmaschine, Abb. 99). Die Elektrodenrohre werden aus Kupferrohr oder aus Bronzeträgern mit Kupfereinlage hergestellt und müssen wie alle Elektroden durch hindurchgeleitetes Wasser gut gekühlt

werden. Für hochbeanspruchte Elektroden werden wärmebeständige Kupferlegierungen (vgl. Tabelle 4) verwendet. Bei den Rollen werden Elektrodenringe benutzt, die zwischen Flanschen gefaßt und von innen unmittelbar vom Kühlwasser bespült werden.

38. Die Nahtschweißmaschinen. Auch der Aufbau der Nahtschweißmaschinen zeigt keine grundsätzlichen Abweichungen von demjenigen der Punktschweißmaschine. Im schwenkbaren Oberarm gelagerte Elektrodenrollen sind nur für leichte Maschinen geeignet. Bei schweren Maschinen ist die obere Elektrodenrolle parallel geführt, damit sie ihre genaue Stellung über der Unterrolle auch bei wechselnden Elektrodenkräften einhält. Bei Längsnahtschweißmaschinen mit zwei Elektrodenrollen wachsen beim

Einfahren starker Werkstücke aus Eisen die induktiven Verluste, wodurch der Schweißstrom während des Schweißens abnimmt. Bei Längsnahtschweißmaschinen mit Dornschlitten- oder Wanderrolleneinrichtung ändern sich außerdem noch die induktiven und Ohmschen Verluste im Schweißstromkreis durch das Verkürzen oder Verlängern des Schweißstromweges. Um auch

über lange Nähte einen gleichbleibenden Schweißstrom einzuhalten, müssen daher derartige Maschinen mit Drosseln oder Stromreglern versehen sein, die der Verluständerung im Schweißstromkreis entgegenwirken.

Alle bei der Punktschweißmaschine besprochenen Schaltungen finden sich auch bei den Nahtschweißmaschinen wieder. Ebenso ist die Zahl der Rollen-nahtschweißmaschinen für Sonderzwecke sehr groß. Größere Bedeutung hat die Doppelrollenahtschweißmaschine mit wanderndem Umspanner erlangt, die die Verluste im Schweißstromkreis unabhängig von der Größe des Werkstückes und der Länge der Naht macht. Unter der Doppelrolle werden entweder zwei Nähte geschweißt (Abb. 100) oder die eine Rolle wird bei verringerter Stromdichte nur als Stromzuführungsrolle benutzt, während die andere eine Naht schweißt (Abb. 101).

Soll die Nahtleistung einer

Schweißmaschine über diejenige Leistung gesteigert werden, die aus schweißtechnischen Gründen (Punktzeit und Punktabstand) mit einem Rollenpaar erreicht werden kann, so läßt man mehrere Rollen gleichzeitig auf dieselbe Naht arbeiten. Hat die Naht begrenzte Länge, so wird man jeder einzelnen Rolle einen Teil der Naht zuweisen (Abb. 102). Hat die Naht unbegrenzte Längen, wie z. B. beim Schweißen endloser Rohre oder Bänder, so werden die Punkt- und Rollenabstände derart gelegt, daß die einzelnen Rollen „auf Lücke“ arbeiten und erst unter der letzten Rolle die Naht vollständig geschlossen wird (Abb. 103). Nach diesem Verfahren kann die Nahtleistung einer Maschine so weit

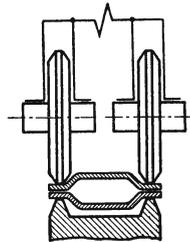


Abb. 100. Gleichzeitiges Schweißen zweier Nähte.

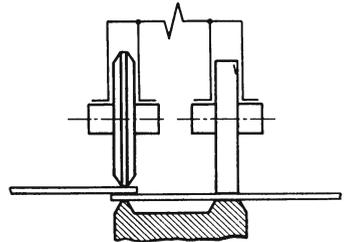


Abb. 101. Schweißen einer Naht, Stromzuführung durch die zweite Rolle.

Abb. 100 u. 101. Doppelrollenahtschweißmaschine mit gleichbleibenden Verlusten im Schweißstromkreis bei beliebiger Nahtlänge.

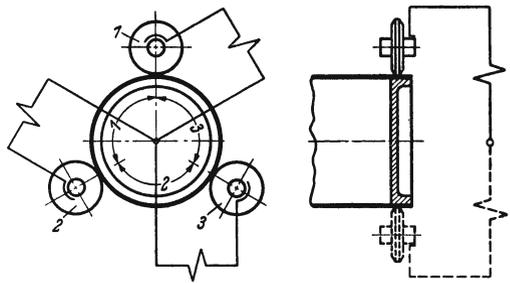


Abb. 102. Dreierrollenahtschweißmaschine. Jede Rolle schweißt ein Drittel des Umfanges. Der einzuschweißende Boden bildet die Mittelelektrode.

vervielfacht werden, wie weitere Elektrodenpaare anzuordnen sind. Für das Nahtschweißen von Rohren werden Maschinen gebaut, die in einem Zuge das

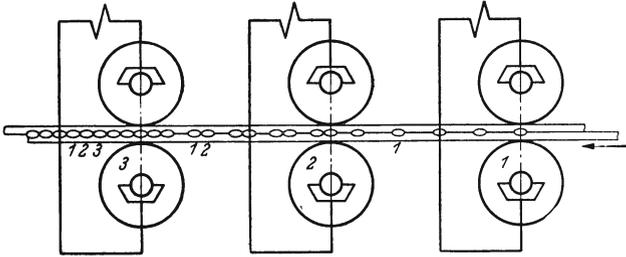


Abb. 103. Dreierollennahtschweißmaschine mit „auf Lücke“ gesetzten Einzelpunkten.

Rohr aus einem Band walzen und die Längsnaht unter einer Elektrodendoppelrolle, die gleichzeitig den Schweißumspanner enthält, verschweißen (Abb. 104). Eine Innelektrode wird bei diesem Verfahren nicht angewendet, sondern der erforderliche Schweißdruck wird durch

zwei Druckrollen erzeugt. Schließlich seien auch noch die Ringnahtschweißmaschinen mit Torkelektroden erwähnt (Abb. 105), auf denen kreisförmige

Nähte, z. B. zum Einschweißen von Stutzen oder Nippeln in Bleche erzeugt werden.

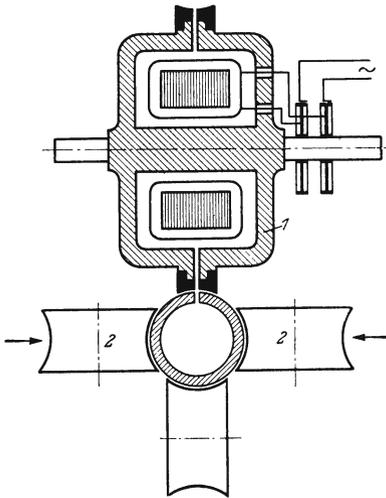


Abb. 104. Rohrnahtschweißmaschine. Der Stoß wird durch den Ringumspanner 1 erhitzt. Die Rollen 2 erzeugen den Schweißdruck.

Beim Einstellen verfolgt man für den einzelnen Punkt der Naht die gleichen Grundsätze wie beim Punktschweißen. Wird der einzelne Punkt zwischen den Elektrodenrollen einwandfrei geschweißt (vgl. Abschn. 29), so ist meist der Schweißstrom beim Schweißen der Naht zu verstärken, um den Nebenschlußverlust zu decken. Je kürzer die Schweißzeit für den einzelnen Punkt bemessen werden kann, desto höher wird die Nahtleistung und

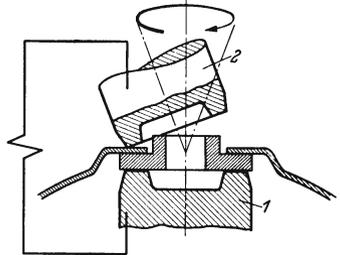


Abb. 105. Torkelnahschweißmaschine. Die Ringnaht eines Stutzens wird zwischen der feststehenden Elektrode 1 und derTorkelektrode 2 geschweißt, die sich um einen Kegel auf der Naht abwälzt.

desto geringer der Verbrauch an elektrischer Arbeit. Wärmeempfindliche Stoffe

	Werkstoff		Naht		Nahtleistung m/min
	Blechstärke	Leitfähigkeit	ge- her- tet	fest dicht	
Schweißzeit je Punkt T	▲	▲	—	—	▲
Schweißstrom I_2	▲	▲	▲	▲	▲
Strompause $T_p - T$	▲	▲	▲	▲	▲
Punktabstand a	▲	—	▲	▲	▲
Nahtleistung L	▲	▲	▲	▲	○

Abb. 106. Übersicht über die Zusammenhänge beim Nahtschweißen.

sind mit kürzester Schweißzeit und genügend langen Strompausen zu schweißen, um Schädigungen durch Überhitzung zu vermeiden. Der Punktabstand soll so groß wie möglich gewählt werden, um die Nahtleistung nicht unnötig zu verringern. Abb. 106 zeigt eine Übersicht über die beschriebenen Zusammenhänge.

IV. Buckelschweißen.

39. Das Buckelschweißverfahren. Beim Punkt- und Nahtschweißen wurde der Weg des Schweißstromes im Werkstück und die Stromdichte im Schweißpunkt von außen durch die Berührungsflächen der Elektroden bestimmt. Beim Buckelschweißen (auch Warzen-, Dellen-, Relief- und Projektionsschweißung genannt) muß dagegen der Strom zwischen den Werkstückteilen selbst über die Spitzen kleiner Buckel fließen, die an dem einen Teil vor dem Schweißen angebracht wurden (vgl. Abb. 9). Unabhängig von der Form der Elektroden entsteht in diesen Buckeln eine hohe Stromdichte, wodurch sie schnell erhitzt und mit dem Gegenblech verschweißt werden. Während des Schweißens werden die erweichten Buckel zurückgepreßt, bis sich die Werkstückteile satt aufeinanderlegen. Durch das eindeutige Aufteilen und Bemessen des Stromweges zwischen den Teilen können viele Buckelschweißpunkte gleichzeitig geschweißt werden. Die Lage, Größe und Festigkeit der Punkte ist genau zu bestimmen und im Dauerbetrieb einzuhalten. Die Buckel erlauben kurze Schweißzeiten, so daß die Teile mit geringster Allgemein-erwärmung geschweißt werden. Das nicht gebuckelte Blech bleibt an den Schweißpunkten vollkommen glatt, und auch die zurückgepreßten Buckel sehen nach dem Schweißen „gewölbt“ und gleichmäßig sauber aus (Abb. 107). Die Elektroden erhalten große Arbeitsflächen mit geringen Flächenpressungen, lassen sich gut kühlen und nutzen sich kaum ab. Das Buckelschweißen ist daher das ideale Schweißverfahren für alle Massenteile, die durch mehrere Schweißpunkte maßhaltig verbunden werden sollen.

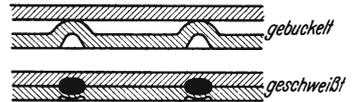


Abb. 107. Buckelschweißung zweier Bleche.

Während beim Punktschweißen schon vor und während des Schweißens die Teile fest aufeinanderliegen, bewegt sich das gebuckelte Teil während des Schweißens um die Buckelhöhe zum Gegenstück hin. Um dem Teil die erforderliche Bewegungsfreiheit zu erhalten, müssen daher alle Buckel eines Werkstückes zugleich verschweißt oder einzelne Buckelgruppen an einem größeren Werkstück so weit auseinandergelegt werden, daß die Bewegungsfreiheit nicht durch Formsteifigkeit behindert wird. Das gebuckelte Stück muß während des Schweißens genau parallel geführt sein, damit alle Buckel mit gleicher Kraft gepreßt werden. Die gleichmäßige Kraft- und Stromverteilung auf alle Buckel zwingt dazu, die Buckel auf nicht zu großer Fläche — etwa innerhalb eines Kreises von 200 mm \varnothing und bei gewölbten Flächen innerhalb eines Kegels von 60° Spitzenwinkel — anzuordnen und im allgemeinen bis zu 10, in Ausnahmefällen bis höchstens 20 Buckel gleichzeitig zu schweißen. Diese Forderung beschränkt das Verfahren auf kleine und mittlere Zieh- und Stanzteile, bei denen die Buckel möglichst ohne besonderen Arbeitsgang mitgepreßt werden können.

40. Der Buckelschweißpunkt. Die Buckel können in verschiedenster Form, die durch Rücksichten auf die Fertigung bestimmt sind, hergestellt werden. In allen Fällen müssen sich jedoch die Buckel möglichst schwer zurückpressen lassen und während des Schweißens recht große Stauchkräfte auf ihre Umgebung entwickeln. Aus Blechteilen bis etwa 2,5 mm Stärke wird der einzelne Buckel in Form einer Kugelkappe mit 3 ··· 4 mal Blechstärke Durchmesser gezogen (Abb. 108).

Die entsprechenden Buckelschweißpunkte haben Durchmesser von etwa $2 \cdots 3$ mal Blechstärke. Länglich gezogene Buckel erhöhen die Tragfähigkeit des einzelnen Punktes, erfordern jedoch infolge ihrer Linienauflage viel höhere Schweißströme (Abb. 109). Bei Blechen von mehr als 2,5 mm Dicke macht das Ziehen der Buckel Schwierigkeiten, so daß diese besser geschnitten werden. Geschnittene runde Buckel sind schweißtechnisch ungünstig, weil während des Schweißens kein Schweißdruck zwischen dem losgestanzten Butzen und dem umgebenden Blech auftritt. Geschnittene längliche Buckel, die an ihren Schmalseiten noch mit dem Blech zusammenhängen, haben sich bewährt (Abb. 110). Alle aus Blech gezogenen oder geschnittenen Buckel müssen eine gut ausgeprägte, gewölbeähnliche Form haben. Die Höhe der Buckel beträgt $0,3 \cdots 1$ mal Blechstärke. An Preß- und Schmiedeteilen werden die Buckel als kegelig oder dachartig ausgepreßt angesehen (Abb. 111). An bearbeiteten Fertigteilen werden die Buckel durch Anschneiden und Aufstauchen des losgeschnittenen Werkstoffes erzeugt (Abb. 112). Die Buckelformung durch spanabhebende Bearbeitung beschränkt sich bis auf wenige Ausnahmen auf Drehteile (Abb. 113 u. 115). Infolge der konzentrierten Wärmeentwicklung im Schweißpunkt läßt das Buckelschweißen auch große Unterschiede in der Masse der Werkstücke zu (vgl. Abb. 113 u. 114). Alle Buckel eines Werkstückes müssen gleich hoch sein, damit sie möglichst

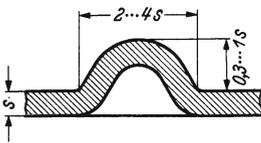


Abb. 108. Rund, gezogen
0,5...2,5 mm Blechstärke.



Abb. 109. Lang, gezogen
0,5...2,5 mm Blechstärke.



Abb. 110. Lang, geschnitten
2...5 mm Blechstärke.

Abb. 108...110. Gezogene und geschnittene Buckel.

gleichmäßig auf dem Gegenstück aufliegen. Die Lage von solchen Teilen, die sich durch Vorrichtungen der Werkzeuge während des Schweißens nicht halten lassen,

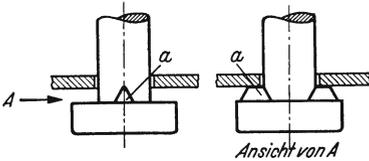


Abb. 111. Gepreßte Buckel für Schmiedeteile, z. B. Einschweißen von Bolzen in Bleche. a = Buckel, beim Gesenkschmieden des Kopfes hergestellt.

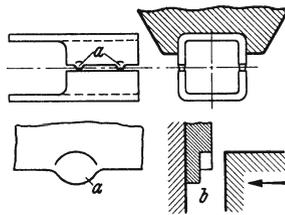


Abb. 112. Gestauchte Buckel, z. B. aus zwei U-förmig gebogenen Blechen buckelgeschweißter Stangenkopf. a = Buckel; b = Herstellung der Buckel.

Abb. 111 u. 112. Gepreßte und gestauchte Buckel.

Wärmeentwicklung im Schweißpunkt läßt das Buckelschweißen auch große Unterschiede in der Masse der Werkstücke zu (vgl. Abb. 113 u. 114). Alle Buckel eines Werkstückes müssen gleich hoch sein, damit sie möglichst

gleichmäßig auf dem Gegenstück aufliegen. Die Lage von solchen Teilen, die sich durch Vorrichtungen der Werkzeuge während des Schweißens nicht halten lassen,

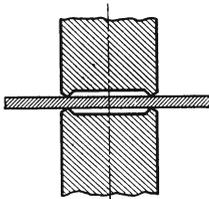


Abb. 113. Ringbuckel, gedreht, z. B. gleichzeitiges vakuumdichtes Anschweißen zweier Rundstählen an ein Blech (nach dem Schweißen Bohrung).

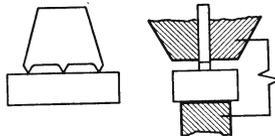


Abb. 114. Gefräste Dachbuckel, z. B. hochkant Aufschweißen eines Bleches auf einen Klotz. Diese Buckel können auch gestanzt werden.

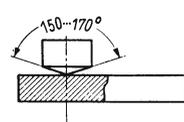


Abb. 115. Gedrehter Kegelsbuckel, z. B. Anschweißen eines Zapfens an einen Flacheisenhebel.

Abb. 113...115. Spanabhebend geformte Buckel.

wird durch Zentrierbutzen gesichert, die aus dem gebuckelten Blech fast herausgestanzt werden und in entsprechende Löcher des Gegenstückes eingreifen (Abb. 116).

Von den schweißbaren Werkstoffen eignen sich für das Buckelschweißen die schmiedbaren Stähle am besten. Teile aus Tiefzieblech sind ja stets sauber. Aber auch das Schweißen verzunderter Teile wird durch das Buckelschweißen sehr erleichtert, weil schon beim Ziehen der Buckel die Zunderschicht an einem Blech zerstört und auch beim Schweißen durch den örtlich begrenzten hohen Anpreßdruck die Zunderschicht des Gegenbleches von den Buckeln durchgedrückt wird. Es entstehen so eindeutige und neben-schlußfreie Wege für den Schweißstrom. Werkstoffe, die unmittelbar vom festen in den flüssigen Zustand übergehen, sind für das Buckelschweißen weniger gut geeignet. Beim Verschweißen verschiedener Werkstoffe werden die Buckel in dem Teil mit höherem Schmelzpunkt angeordnet.

Buckelschweißungen erfordern starke Schweißströme und kurze Schweißzeiten. Die Elektrodenkraft muß vor Einschalten des Schweißstromes so hoch sein, daß alle Buckelspitzen zum Anliegen an das Gegenblech kommen, jedoch noch nicht verformt werden. Während des Stromdurchflusses wird der Druck schnell gesteigert, um die erhitzten Buckel zu verschweißen und gut zu verpressen (vgl. Abschn. 24). Für runde Buckel an 1 mm starken Blechen hat sich eine Elektrodenanfangskraft von 20 kg und eine Endkraft von 60...100 kg je Buckel bewährt. Für die gleichen Buckel ist bei einer gewöhnlichen Buckelschweißmaschine durchschnittlich eine Leistungsaufnahme von 10...20 kVA je Punkt anzusetzen. Liegen die Buckel weit voneinander entfernt, so wächst die Leistungsaufnahme. Die Schweißzeit soll so kurz wie möglich, wenigstens jedoch so lang sein, daß die Buckel ganz zurückgepreßt und die Werkstückteile satt aufeinandergelegt werden. Je nach der Masse und Formsteifigkeit der Teile liegen die Schweißzeiten zwischen etwa 3 und 25 Perioden. Beim Einlegen der Teile von Hand werden 10 bis 20 Stücke, bei selbsttätiger Zuführung bis zu 60 Werkstücke je Minute geschweißt.

Die Buckelschweißelektroden ähneln den Stanz- oder Prägewerkzeugen. Auf je einem Werkzeugfuß, der an die obere und untere Spannfläche der Maschine geschraubt wird, sitzen leicht auswechselbar und gut gekühlt die Elektroden aus Elektrolytkupfer oder legiertem Elektrodenwerkstoff. Die richtige Lage der Werkstückteile wird durch Anschläge und Haltevorrichtungen gesichert. Dabei sind natür-

lich die elektrischen Forderungen, Vermeiden von Nebenschluß und größeren



Abb. 116. Zentrierbutzen sichern die Lage der Teile während des Buckelschweißens.

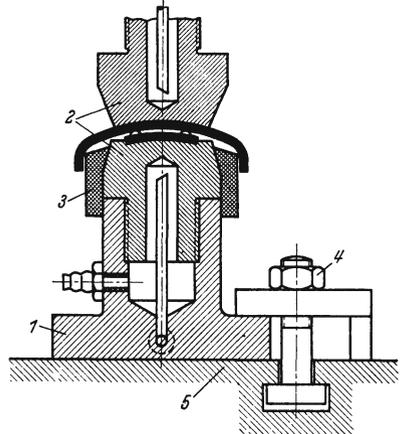


Abb. 117. Buckelschweißwerkzeug mit Flächen-elektroden für kleines Werkstück.

1 = Elektrodenfuß; 2 = Elektroden; 3 = Zentrierling aus Isolierstoff; 4 = Spannschraube; 5 = Tisch der Buckelschweißmaschine.

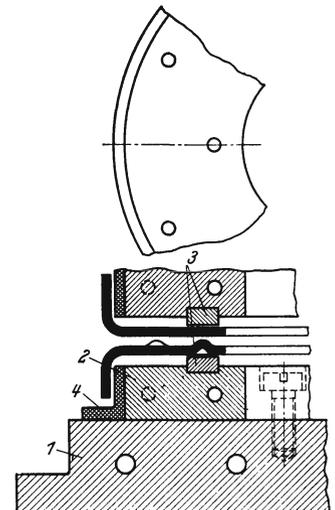


Abb. 118. Buckelschweißwerkzeug mit Einsatzelektroden für ein großes Werkstück.

1 = Elektrodenfuß; 2 = Elektrode aus Kupfer; 3 = Eingelötete Elektroden-einsatz; 4 = Anschlag aus Isolierstoff.

lich die elektrischen Forderungen, Vermeiden von Nebenschluß und größeren

Eisenteilen in der Nähe des Stromweges zu beachten. Liegen alle Buckel innerhalb einer Fläche von 30 mm \varnothing , so wird die Elektrodenfläche im ganzen dem Werkstück angepaßt (Abb. 117). Bei weiter auseinanderliegenden Buckeln wird in der Ober- und Unterelektrode für jeden Buckel ein um 2...3 mm erhöhtes Flächen- oder Einsatzelektrodenpaar von etwa 8...10 mm \varnothing vorgesehen (Abb. 118). Sorgfältig gearbeitete, gut passende und gut gekühlte Buckelschweißelektroden können Tausende von Schweißungen ohne jede Nacharbeit aushalten.

41. Die Buckelschweißmaschine muß hohe Elektrodenkräfte ohne Auffedern des Maschinengestelles aufnehmen können, damit die Arbeitsflächen während der Arbeit ihre parallele Stellung behalten. Sie ist daher als Presse mit Tisch und Spannfläche gebaut, auf denen die Elektrodenfüße mit Spanneisen in *T*-Nuten befestigt werden. Die große Leistungsfähigkeit der Buckelschweißmaschinen erfordert häufiges Umstellen auf andere Werkstücke. Die Maschinen sind daher in weiten Bereichen einstellbar und ermöglichen das Wiedereinrichten einer einmal gefundenen Besteinstellung in kürzester Zeit. Eine bekannte Buckelschweißmaschine zeigt folgende Einstellmöglichkeiten: Stufenlose Verstellung des Stößelhubs von 10...120 mm, der Stößelspiele von 10...80/min, der Elektrodenkraft von 50...1200 kg, Regelbarkeit ihres Verlaufes während der Schweißzeit und selbsttätige Steuerung der Schweißzeit von 1 Periode bis 2 s. Wegen der großen Gefährdung des Schweißers durch den schnell niedergehenden Stößel zeigen Buckelschweißmaschinen stets die im neuzeitlichen Pressenbau üblichen Arbeitsschutzeinrichtungen: Das Arbeitsspiel kann nur durch gleichzeitiges Drücken zweier Handdruckknöpfe eingeleitet werden. Während des gefährlichen Niederganges bleibt nach Loslassen nur eines Druckknopfes der Stößel sofort stehen. Erst nach völligem Schließen des Werkzeuges beginnt der selbsttätige Ablauf der Schweißung. Auch gegen Nachschlagen, d. h. gegen unbeabsichtigten Beginn eines zweiten Arbeitsspieles ist die Maschine gesichert. Die Werkzeuge sind durch Verriegelungen geschützt, die das Einschalten des Schweißstromes erst nach Erreichen des erforderlichen Schweißdruckes zulassen und den Stößel so lange in der Schließstellung festhalten, bis der Schweißstrom wieder ausgeschaltet ist. Verbrennen von Werkzeugen und Werkstücken durch vorzeitiges Öffnen der Elektroden unter Strom wird so vermieden. Die Steuerungen der Buckelschweißmaschinen gleichen den in Abschn. 24...27 beschriebenen. Für die meisten Buckelschweißungen wird der Schweißstrom durch Schützschalter mit Röhrenzeitbegrenzer geschaltet. Bei besonders feinen Arbeiten oder großen Stückzahlen sind jedoch Gittersteuerungen oder Stromrichterschalter vorzuziehen.

V. Stumpfschweißen.

42. Stumpf- und Abbrennschweißung. Beim Punkt-, Naht- und Buckelschweißen werden die Werkstückteile nur auf einzelnen begrenzten Querschnitten (Punkten), beim Stumpfschweißen dagegen auf der gesamten gemeinsamen Berührungsfäche vom Schweißstrom durchflossen und verschweißt. Das Stumpfschweißen bedingt daher Verfahren und Maschinen, die von der Bauweise der bisher beschriebenen Widerstandsschweißmaschinen wesentlich abweichen. Die Elektroden bestehen aus zwei Spannbackenpaaren, die die meist stangenförmigen Werkstückteile fassen, ihnen den Schweißstrom zuführen und sie in der Stauchrichtung aufeinanderpressen (vgl. Abb. 10). Die Stromdichte wird durch die Berührungsfäche der Werkstücke bestimmt, ist also wie beim Buckelschweißen unabhängig von den Elektroden.

Bei der ruhenden Stumpfschweißung, meist einfach „Stumpfschweißung“ oder „Druckschweißung“ genannt, werden die Werkstückteile nach dem Einspannen mit der erforderlichen Stauchkraft zusammengedrückt und die Stoßflächen durch Hindurchschicken des Schweißstromes erwärmt. Ist die Schweißtemperatur erreicht, so werden die Teile durch die Stauchkraft zusammengedrückt und verschweißt. Bei Stoffen, die schon im teigigen Zustand schweißbar sind (z. B. Eisen, Nickel), bildet sich an der Schweißstelle ein glatter Stauchwulst (Abb. 119). Bei Stoffen, die unmittelbar vom festen in den flüssigen Zustand übergehen (Bunt- und Leichtmetalle), entsteht auch bei der ruhenden Stumpfschweißung an der Schweißstelle ein unregelmäßiger, zackig verlaufender Grat (Abb. 120). Damit in allen Teilen des Schweißquerschnittes gleiche Stromdichte herrscht und gleiche Wärmemengen erzeugt werden, müssen bei der (ruhenden) Stumpfschweißung die Stoßflächen der Werkstückteile genau aufeinander passen. Wegen der gleichmäßigen Wärmeverteilung ist die Stumpfschweißung auch nur für volle, z. B. kreisförmige oder quadratische Querschnitte anwendbar. Infolge der Überlegenheit des Abbrennschweißens wird heute die Stumpfschweißung bei Eisen nur noch bis zu Querschnitten von etwa 100 mm², sowie für Bunt- und Leichtmetallschweißungen angewendet.

Beim Abbrennschweißen werden die Werkstückteile zunächst mit geringer Stauchkraft zusammengedrückt, so daß sich die Stoßflächen nur auf kleinen Flächenteilen berühren. Infolge der hohen Stromdichte werden diese kleinen Querschnitte sehr schnell erwärmt. Es entstehen Strombrücken aus flüssigem Metall, die schließlich unter Bildung eines Abschaltfeuers zerstört und aus der Stoßfuge herausgeschleudert werden. Durch abwechselndes Öffnen und Schließen der Stoßstelle wiederholt sich diese Erscheinung in schneller Folge und breitet sich allmählich gleichmäßig auf die gesamte Stoßfläche aus. Beide Stoßflächen überziehen sich mit einer Haut aus flüssigem Metall, die durch das fortlaufende Bilden und Herausschleudern weiterer Strombrücken ständig erneuert wird. Das Werkstück wird laufend nachgeschoben, bis sich nach einer gewissen Zeit die Stoßflächen ganz gleichmäßig erwärmt haben. Durch kräftiges, schlagartiges Zusammenpressen der Schweißstelle werden alle flüssigen Metall- und Schlackenteile aus der Fuge herausgeschleudert und die völlig sauberen Stoßflächen der Werkstückteile miteinander verschweißt. Gleichzeitig oder, falls die Schweißstelle noch nachgewärmt werden soll, etwas später wird der Schweißstrom ausgeschaltet. Beim warmen Abbrennen wird die Schweißstelle vor Beginn des Abbrennens mit einem schwächeren Vorwärmstrom bis auf Rotglut vorgewärmt. Beim kalten Abbrennen wird durch einen sehr starken Schweißstrom die kalte Stoßstelle ohne Vorwärmung nur durch Abbrennen auf die Schweißtemperatur gebracht. Die Abbrennschweißung arbeitet schneller und wirtschaftlicher als die ruhende Stumpfschweißung, gestattet auch das Verschweißen ganz ungleichmäßiger Querschnitte und verhütet durch die „Selbstreinigung“ der Stoßflächen Schlackeneinschlüsse oder Poren in der Schweißstelle. Um die Schweißstelle legt sich nur ein Grat aus Metall und Schlacke, der leicht zu entfernen ist (Abb. 121). Alle Eisen- und Stahlquerschnitte über etwa 100 mm² werden daher heute nach dem Abbrennverfahren stumpfgeschweißt. Für Bunt- und Leichtmetalle ist das Abbrennschweißen ungeeignet.

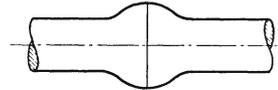


Abb. 119. Stumpfschweißung von Eisen und Stahl.



Abb. 120. Stumpfschweißung von Bunt- und Leichtmetallen.

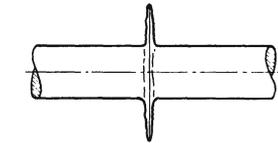


Abb. 121. Abbrennschweißung.
Abb. 119 ··· 121. Verschiedene Form des Stauchwulstes oder -grates beim Stumpf- und Abbrennschweißen.

43. Druck, Strom, Zeit beim Stumpfschweißen. Der Schweißdruck wird durch Handkraft oder Gewichte, bei größeren Maschinen durch Motorkraft oder ein flüssiges Druckmittel erzeugt. Unter der Wirkung der Stauchkraft wird während des Verschweißens das Werkstück um die „Stauchlänge“ verkürzt und dabei der Querschnitt der Schweißstelle vergrößert. Beim Abbrennschweißen

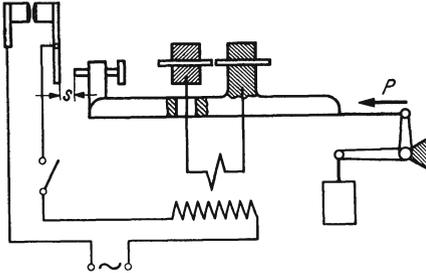


Abb. 122. Unterbrechen des Schweißstromes nach einem Stauchweg s bei ruhender Stumpfschweißung.

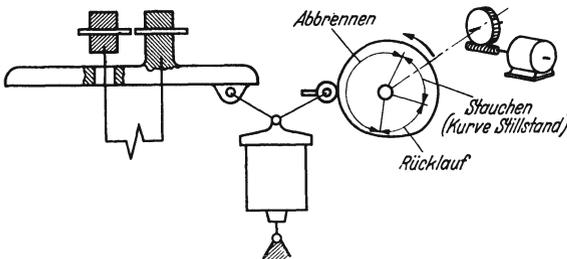


Abb. 123. Zwangläufiges Abbrennen durch Kurve, Stauchen durch Kniehebel mit Preßluftkraft.

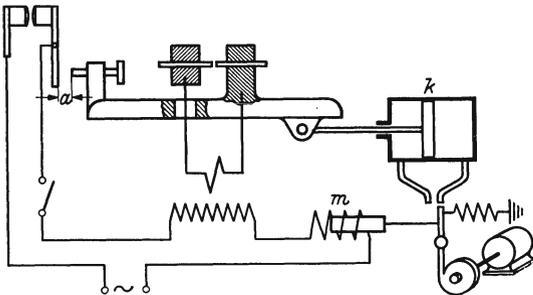


Abb. 124. Vollseltstätiges Abbrennen und Stauchen z. B. in Abhängigkeit vom Abbrennweg a und der Stromaufnahme der Maschine.

Magnet m steuert bei Stromstärke O den Ölkolben k in Stauchrichtung, bei Kurzschluß in Rücklauf.

Abb. 122...124. Die selbsttätigen Steuerungen von Stumpfschweißmaschinen.

verliert das Werkstück schon vor dem Stauchen, also ohne Querschnittvergrößerung, die „Abrennlänge“. Beiden Längen entsprechen Wege des Stauchschlittens, die zum Regeln und Steuern des Schweißvorganges ausgenutzt werden. Der Schweißdruck beträgt bei Stahl etwa $1,5 \cdot \cdot 2,5 \text{ kg/mm}^2$, bei Leicht- und Buntmetallen $0,5 \cdot \cdot 1,5 \text{ kg/mm}^2$. Durch zu niedrigen Schweißdruck bilden sich in der Schweißfuge Lunken. Das Steigern des Schweißdruckes über $2,5 \cdot \cdot 3 \text{ kg/mm}^2$ ist zwecklos, weil die besten Festigkeitswerte meist schon vorher erreicht sind¹. Der Schweißstrom ist beim Stumpfschweißen nur so weit zu steigern, daß noch keine Feuererscheinungen entstehen. Beim Abbrennen sind nur etwa ein Drittel bis die Hälfte der beim Stumpfschweißen üblichen Stromstärken, jedoch bei wesentlich höheren Elektrodenspannungen erforderlich. Die Schweißzeiten sind beim Stumpf- und Abbrennschweißen nur von den Querschnitten abhängig und können durch die Höhe des Schweißstromes nur wenig beeinflusst werden.

Bei handbetätigten Stumpfschweißmaschinen wird der Stauchdruck und -weg willkürlich bemessen. Stumpfschweißungen von Eisen bis etwa 100 mm^2 Querschnitt sowie von Bunt- und Leichtmetallen werden oft selbsttätig gesteuert, indem sich der Schweißstrom in Abhängigkeit vom Stauchweg selbst ausschaltet (Abb. 122). Bei Abbrennschweißmaschinen bis etwa 3000 mm^2 wird das Werkstück meist von Hand um einen bestimmten Weg abgebrannt und nach dem Erhitzen durch Handkraft oder Kraftstauchung mit der erforderlichen höheren Stauchkraft verschweißt. Das kalte Abbrennen von Querschnitten bis etwa 2000 mm^2

¹ Vgl. z. B. H. KILGER: Abbrennschweißung. Vieweg 1936.

wird in der Massenfertigung vollselbsttätig durch zwangläufiges Steuern des Schlittenvorschubes geregelt. Die Kurve zum Erzeugen der Abbrennbewegung ist für jeden Querschnitt und jede Querschnittform durch Versuche zu ermitteln, so daß diese Art der selbsttätigen Abbrennschweißung nur für große Mengen gleichartiger Stumpfschweißungen anwendbar ist (Abb. 123). Das vollselbsttätige freie Steuern vielseitig verwendbarer Abbrennschweißmaschinen erfordert besonders für den Abbrennvorgang umfangreiche Regeleinrichtungen, die nur für große Querschnitte und starke Maschinen gerechtfertigt sind (Abb. 124). Nach einem bestimmten Abbrennweg schalten diese Maschinen selbsttätig den Schweißstrom aus und erhöhen die Stauchkraft zum Verschweißen der Teile.

44. Werkstück und Werkstoff. Bei der Stumpfschweißung, besonders bei dem ruhenden Verfahren ist es ebenso wichtig wie bei allen anderen Widerstandsschweißmaschinen, daß die Stoßflächen beider Werkstückteile während der Schweißung die gleiche Temperatur annehmen. Dies ist nur möglich, wenn bei gleicher Wärmeentwicklung auch gleicher Wärmebedarf der Teile herrscht, oder wenn Unterschiede der Entwicklung oder des Bedarfes durch verschiedene Wärmeableitung ausgeglichen werden.

Beim Verschweißen von gleichen Werkstoffen müssen daher an der Schweißstelle gleiche Querschnitte zusammenstoßen. Sollen Werkstückteile mit verschiedenen Querschnitten zusammengeschnitten werden, so ist das stärkere Teil an der Stoßstelle auf den Querschnitt des schwächeren Teiles zu verjüngen (Abb. 125) oder das dünnere anzustauchen. Sind Werkstoffe mit verschiedener Leitfähigkeit zu verschweißen, so entsteht in dem schlechter leitenden mehr Wärme, die durch kürzeres Einspannen dieses Teiles abgeleitet werden muß (Abb. 126). Selbst Teile mit sehr unterschiedlicher Masse sind auf gleiche Schweißtemperatur zu bringen, indem das leichte Teil besonders gut gekühlt, in dem schweren Teil durch langes Einspannen und schlecht leitende Spannbacken die Wärmeentwicklung erhöht wird (Abb. 127).

Beim Stumpfschweißen ringförmiger Teile umgeht ein Teil des Schweißstromes die Schweißstelle und fließt durch den Ring. Der Stromverlust durch diesen Nebenschluß ist um so höher, je kleiner der Ring, je größer der Querschnitt und je besser die Leitfähigkeit des Ringes ist. Der Nebenschlußverlust kann durch eine Eisendrossel verringert werden, die um den freien Teil des Ringes gelegt wird (Abb. 128). Die Schweißung wird immer unsicherer, je enger der Ring und je stärker sein Querschnitt ist, weil weder der Schweißstrom noch infolge der verschiedenen Rückfederung der gebogenen Ringe der Schweißdruck gleichmäßig gehalten werden kann.

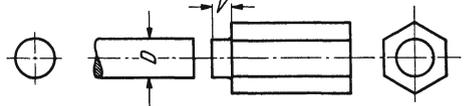


Abb. 125. Bei Teilen mit ungleichem Querschnitt durch Absetzen des stärkeren. Länge V der Verjüngung: $0,2 \cdots 0,5 D$ beim Abbrennschweißen; $0,5 \cdots 1 D$ beim Stumpfschweißen.

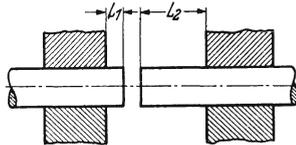


Abb. 126. Bei Teilen mit ungleicher Leitfähigkeit durch verschiedene Einspannlängen.

Gut leitendes Teil länger (L_2) als das schlecht leitende (L_1) spannen.

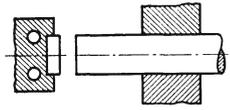
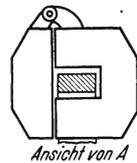


Abb. 127. Bei Teilen sehr verschiedener Masse durch Fassen des kleineren in einer besonders gut gekühlten Elektrode und große Einspannlänge des größeren.

Abb. 125...127. Gleichmäßiges Erwärmen der Stoßstellen beim Stumpfschweißen.



Ansicht von A

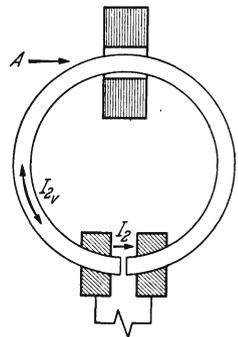


Abb. 128. Stumpfschweißen von Ringen.

Der Stromverlust durch den Nebenschluß I_2 wird durch eine Eisendrossel verringert.

Alle Arten von Stahl sind auch beim Stumpfschweißen am leichtesten zu verarbeiten. Kleine, volle Querschnitte werden nach dem ruhenden Verfahren stumpf geschweißt. Die Stoßflächen solcher Teile sollen glatt aufeinander passen, damit sich der Schweißstrom auf die ganze Schweißstelle gleichmäßig verteilt. Besonders wichtig ist sattes Passen beim selbsttätigen Schweißen auf in Abhängigkeit vom Stauchweg gesteuerten Stumpfschweißmaschinen, da unregelmäßige Erhöhungen (z. B. ein Grat) vorzeitiges Abschalten der Maschine verursachen würden. Am besten lassen sich Teile mit kreisförmigem Querschnitt stumpfschweißen, da deren Stoßflächen am leichtesten gleichmäßig zu erwärmen sind.

Für größere Querschnitte wird für Stahl heute fast ausschließlich die Abbrennschweißung angewendet. Sie ist gegen ungleichmäßige Stoßflächen und Unterschiede im Querschnitt der zu schweißenden Teile wesentlich unempfindlicher als die ruhende Stumpfschweißung. Verschiedene Aufgaben der Stumpfschweißung, so z. B. das Schweißen von legierten Stählen und von Teilen mit großem Verhältnis des Umfanges zur Querschnittsfläche, sind nur mit Hilfe der Abbrennschweißung zu lösen.

Volle, größere Querschnitte werden stets warm abgebrannt. Die Schweißstelle wird nach dem Einspannen in die Maschine durch einen schwächeren Strom unter ruhendem Druck langsam bis auf Rotwärme erhitzt. Dann erst werden die Teile auseinandergezogen und nach Einschalten der höheren Abbrennstufe auf die Schweißtemperatur gebracht. Die Arbeitszeit je Schweißstelle kann bedeutend verringert werden, wenn man die Teile nicht in der Schweißmaschine, sondern im Ofen anwärmt und schon warm in die Maschine einspannt. Beim Abbrennschweißen wärmeempfindlicher Stähle treten leicht Wärmerisse infolge un- ausgeglichener Werkstoffspannungen auf. Derartige Schweißungen dürfen daher nur an sehr langsam und gleichmäßig vorgewärmten Werkstückteilen ausgeführt werden, die sofort nach dem Schweißen in noch rotwarmem Zustand in Asche oder besser in einem Glühofen entspannt und langsam abgekühlt werden. Besonders beim Schweißen von Werkzeugen, deren schneidende Teile aus Hochleistungsstahl mit weniger wertvollem Stahl für den Schaft verbunden werden, ist gutes Vorglühen und Nachglühen Voraussetzung für den Erfolg. Der legierte Stahl hat eine schlechtere elektrische Leitfähigkeit und muß zum Erreichen gleicher Schweißtemperatur etwa mit einem Drittel der Einspannlänge des Schaftstahles gefaßt werden.

Beim Abbrennschweißen von dünnen Blechteilen, dünnwandigen Rohren und von Querschnitten mit sehr ungleichmäßiger Verteilung der Flächen darf die Abbrenngeschwindigkeit nur wenig hinter der Fortpflanzungsgeschwindigkeit der Wärmewelle im Werkstück zurückbleiben. Die erhitzten Stoßflächen grenzen dann während des Abbrennens unmittelbar an das noch nicht erwärmte Werkstück, das sich daher beim Auftreten der höchsten Stauchkraft am Ende der Schweißung nicht verformt. Das kalte Abbrennen erfordert, bezogen auf den zu schweißenden Querschnitt, bedeutend höhere Maschinenleistungen als das Warmabbrennen.

Nichteisenmetalle werden bisher nur nach dem ruhenden Verfahren stumpfgeschweißt. Bunt- und Leichtmetalle erfordern sehr starke Schweißströme und leichte Stauchkräfte, damit die Schweißstelle schnell erhitzt wird. Im Gegensatz zum Eisen gehen besonders bei der erforderlichen schnellen Erhitzung diese Metalle plötzlich und ohne Übergang durch ein plastisches Gebiet vom festen in den flüssigen Zustand über. Im Augenblick des Weichwerdens der Schweißstelle darf der Schweißdruck nicht nachlassen, da sonst der Stromkreis unterbrochen und die Schweißstelle verdorben würde. Der Stauchschlitten mit dem beweglichen Werk-

stückteil muß daher beim Weichwerden der Schweißstelle ohne jede Verzögerung folgen. Bei den erforderlichen leichten Schweißdrücken werden die Stauchsclitten von Stumpfschweißmaschinen für NE.-Metalle sehr leicht gebaut und möglichst reibungsarm in Wälzlagern geführt. Der Schweißstrom wird in Abhängigkeit vom Stauchweg gesteuert. Kupfer ist schon bis zu Querschnitten von 2000 mm² stumpfgeschweißt worden. Leichtmetalle bilden beim Stumpfschweißen an der Schweißstelle sehr grobkörnige Gußgefüge, durch die die Festigkeit der Schweißstelle weit herabgesetzt wird. Die Möglichkeit des Stumpfschweißens muß daher für jede Leichtmetalllegierung durch Versuch erprobt werden. Auch verschiedene Metalle lassen sich durch die Stumpfschweißung verbinden, wofür ebenfalls die

	Werkstoff	W e r k s t ü c k			Vorwärmung
	Leitfähigkeit z.B. Eisen Kupfer	Querschnitt	Verhältnis Umfang/Querschn.	ringförmig Ring \varnothing	vor dem Abbrennen kalt warm
Einspannlänge	$\frac{1d}{4d}$			—	—
Schweißdruck	$\frac{2,5 \text{ kg/mm}^2}{10}$	—	—	—	—
Leistungsaufnahme					
Abbrennlänge	—			—	
Schweißzeit	—			—	
Arbeitsverbrauch kWh/mm ²					

Abb. 129. Zusammenhänge beim Stumpf- und Abbrennschweißen.

Zusammenstellung Abb. 38 Gültigkeit hat. In Abb. 129 sind die beschriebenen Zusammenhänge noch einmal übersichtlich dargestellt.

45. Spannbacken und Stromzuführung. Die Spannbackenpaare der Stumpfschweißmaschine müssen die Werkstückteile so fest fassen, daß durch die Reibung zwischen den Backen und dem Werkstück die Stauchkraft beim Schweißen aufgenommen wird. Außerdem müssen die Spannbacken als Elektroden wirken und den Schweißstrom in das Werkstück leiten. Die stromführenden Spannbacken werden daher aus gut leitenden Stoffen, aus Kupfer und seinen Legierungen, sowie aus harten und wärmebeständigen Elektrodenwerkstoffen (vgl. Tab. 4, S. 27) gefertigt. Nur bei Spannbacken für kleine Formteile wird gelegentlich auch Gußeisen verwendet. In allen Fällen müssen die Spannbacken sorgfältig gekühlt werden. Am schlechtesten sind glatte Werkstückteile mit blanken Oberflächen einzuspannen, weil diese trotz hoher Spannkräfte leicht rutschen. Die Werkstücke sollten daher möglichst im roh bearbeiteten Zustande (Schruppspan) stumpfgeschweißt werden.

Die Form der Spannbacken ist möglichst dem Werkstück anzupassen. Auf Vielzweckstumpfschweißmaschinen werden die Spannbacken meist als flache Klötze ausgebildet, zwischen denen Profile und Rundstangen gespannt werden können (Abb. 130). Für Maschinen, die vorwiegend Rundstangen schweißen sollen, sind Spannbackenpaare mit ausgesparten Vierkanten vorzuziehen (Abb. 131). Die Vierkantflächen fassen die Rundstangen auf vier Linien und verteilen so die Spannkraft und den Schweißstrom gleichmäßiger auf den Querschnitt als ebene Spannbacken. Bei kleineren und mittleren Maschinen findet man meist Spannbackenpaare mit zwei bis drei verschiedenen Vierkanten für verschiedene Durch-

messer und mit genügend ebener Spannfläche zum Einspannen rechteckiger Teile (Abb. 132). Dünnwandige Rohre können weder in flachen noch in Vierkantbacken gefaßt werden, weil durch die ungleich auf den Umfang verteilten Einspannkräfte

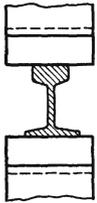


Abb. 130. Flache Backen.

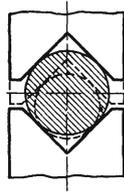


Abb. 131. Vierkantbacken.

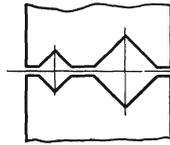


Abb. 132. Mehrere Vierkante.

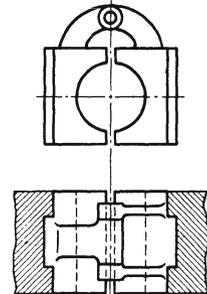


Abb. 133. Steckbacken, z. B. für Rohre.

Abb. 130...133. Verschiedene Spannbackenformen in Stumpfschweißmaschinen.

das Rohr verformt wird. Rohre müssen daher grundsätzlich in Backen eingespannt werden, die sich der Außenform des Rohres genau anpassen. Sind verschiedene

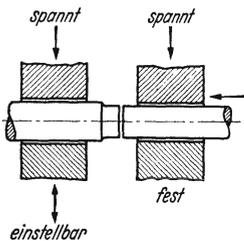


Abb. 134. Ein Spannbackensatz ist verstellbar.

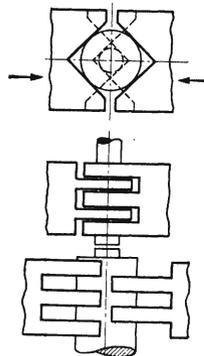


Abb. 135. Zur Mittelschließende Vierkantbacken bringen verschiedene Durchmesser selbsttätig auf die gleiche Mittellinie.

Abb. 134 u. 135. Ausrichten der Werkstückteile in den Spannbacken.

Rohrdurchmesser oder -formen wechselnd auf der gleichen Maschine zu schweißen, so werden in je einem Halter zusammengefaßte auswechselbare Steckbackensätze verwendet, die gemeinsam mit dem zu schweißenden Teil in die Spannvorrichtung der Stumpfschweißmaschine eingelegt werden (Abb. 133).

In den meisten Stumpfschweißmaschinen führt nur je eine Spannbacke der beiden Paare die Spannbewegung aus, während die beiden anderen Spannbacken in einer Ebene bleiben. Um die bei dieser Anordnung unvermeidlichen Schwierigkeiten beim Ausrichten runder Teile mit verschiedenen Durchmessern zu vermeiden, ist bei neueren Maschinen

der eine Spannbackensatz in der Spannrichtung einstellbar gemacht (Abb. 134). Runde Teile mit großen Durchmesserunterschieden, wie sie vorwiegend im Werkzeugbau zu verschweißen sind,

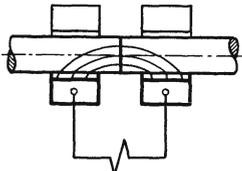


Abb. 136. Einseitig.

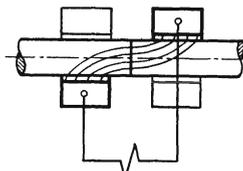


Abb. 137. Diagonal.

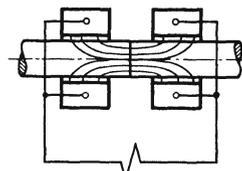


Abb. 138. Doppelt.

Abb. 136...138. Die verschiedenen Arten der Stromzuführung zu den Spannbacken.

werden in Vierkantspannbacken gefaßt, die sich zu einer gemeinsamen Mittellinie hin schließen (Abb. 135).

In kleinen Maschinen ist nur je eine Spannbacke der beiden Paare mit der Sekundäre des Umspanners verbunden (Abb. 136). Bei größeren Querschnitten

wird durch diese Zuführung der Schweißstrom und die Wärmeentwicklung ungleichmäßig auf die Stoßfläche verteilt. Die diagonale Stromdurchführung vermindert diesen Mangel schon weitgehend (Abb. 137). In Maschinen zum Schweißen von Rundstangen (Vierkantbacken) wird beiden Spannbacken eines Paares Strom zugeführt (Abb. 138) und so eine wirklich gleichmäßige Verteilung der Wärme im Querschnitt erreicht. Bei einseitiger Stromzufuhr werden nur die stromführenden Backen aus Elektrodenwerkstoff, die Gegenbacken aus Stahl hergestellt.

46. Die Stumpfschweißmaschine. Die Stumpfschweißung umfaßt ein so großes Arbeitsgebiet, daß die Maschinen trotz ihrer gemeinsamen Grundlage sehr verschiedene Bauformen zeigen. Bei den Drahtstumpfschweißmaschinen ist das stauende Spannbackenpaar schwenkend angeordnet. Diese kleinen Maschinen für Drähte von etwa 0,3 bis etwa 8 mm Durchmesser tragen alle Kennzeichen eines feinmechanischen Werkzeuges. Stauchkraft, Stauchweg und Schweißstrom sind in feinsten Grenzen regelbar und werden mit der Einspannlänge in Abhängigkeit vom Drahtdurchmesser nur durch einen Bedienungsgriff selbsttätig auf den Bestwert eingestellt. Die Maschinen werden für Eisen-, Bunt- und Leichtmetalldrähte gebaut und vorwiegend in der Drahtzieherei verwendet.

In allen größeren Stumpfschweißmaschinen wird die Stauchbewegung durch Parallelführung des Spannbackenpaares im Stauchschlitten ausgeführt. Die

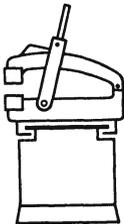


Abb. 139. Spannbacken senkrecht, Oberbacke schwenkend.

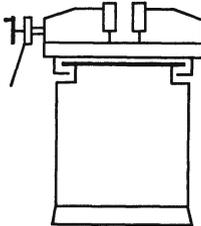


Abb. 140. Spannbacken waagrecht, Parallelführung.

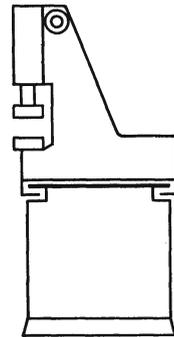


Abb. 141. Spannbacken senkrecht, Oberbacke parallel geführt.

Abb. 139... 141. Anordnung der Spannbacken in Stumpfschweißmaschinen.

Spannbacken sind entweder in waagerechter Richtung schließend über dem Maschinengestell oder senkrecht schließend vor der Maschine angeordnet. Waagerechte Spannbacken erleichtern das Einlegen schwerer Werkstücke und gestatten einen gedrängten Aufbau der Maschine (Abb. 140). Senkrecht schließende Spannbacken nehmen die Hebelkräfte langer Stangen besser auf und ermöglichen einen wirksameren Schutz des Umspanners gegen den Abbrand (Abb. 141). Bei kleinen Maschinen werden die Spannbacken durch Handhebel mit Kurven- oder Kniehebeltrieben geschlossen, wobei die spannende Backe an einem Hebel eine schwenkende Bewegung ausführt (Abb. 139). In größeren Maschinen ist auch die spannende Backe parallel geführt. Bei Handbetätigung sind die Antriebe zum schnellen Schließen und zum Festspannen der Spannbacken mit verschiedenen Übersetzungen getrennt ausgeführt. Die hohen Spannkraft in Stumpfschweißmaschinen mit mehr als etwa 4000 mm² Schweißleistung werden ausschließlich durch Motorkraft, Öl- oder Luftdruck erzeugt.

Bei kleinen Werkstücken mit kurzen Schweißzeiten entfällt der Hauptanteil der Arbeitszeit auf das Ein- und Ausspannen. Kleine Stumpfschweißmaschinen

für die Massenfertigung arbeiten daher nicht nur mit selbsttätigem Ablauf des Schweißvorganges (Stauchwegscharter), sondern schließen und öffnen auch die Spannbacken und erzeugen die Bewegung des Stauchschlittens in einem bestimmten Arbeitstakt. In vielen Fällen ist sogar das Einlegen der Werkstücke durch selbsttätige Zuführungen möglich, so daß Leistungen bis zu 60 Stück je Minute erreicht werden. Diese kleinen vollselbsttätigen Maschinen werden für Querschnitte bis etwa 100 mm² gebaut.

In mittleren Stumpfschweißmaschinen, für Querschnitte von etwa 300 bis 3000 mm², die meist nach dem Abbrennverfahren arbeiten, wird das Ein- und Ausspannen der Teile sowie der Abbrennvorgang selbst meist von Hand geführt. Gleichmäßiges Abbrennen von Hand wird durch spielfreie Kraftübertragung und möglichst reibungsarme Führung des Stauchschlittens (Wälzlager) erleichtert. Das Stauchen zum Vollenden einer Abbrennschweißung wird auch bei diesen Maschinen oft durch einen Kraftantrieb erzeugt.

Schwerere Abbrennschweißmaschinen für Querschnitte über etwa 5000 mm² arbeiten fast immer vollselbsttätig. Die Bewegung der Spannbacken und des Stauchschlittens wird durch Motorkraft, Öl- oder Luftdruck erzeugt. Nach Erfahrungswerten werden für das zu schweißende Werkstück der Abbrennweg, die Stauchkraft und die Schweißstromstärke eingestellt. Mit diesen vollselbsttätigen Stumpfschweißmaschinen werden Querschnitte bis zu 25000 mm² abbrenngeschweißt.

Auch bei den Stumpfschweißmaschinen ist die Zahl der Sonderausführungen sehr groß. Die vollselbsttätigen Kettenstumpfschweißmaschinen weichen von der üblichen Bauform mit zwei Spannbackenpaaren etwas ab. Das einzelne Kettenglied wird bei diesen Maschinen nur von außen durch Elektroden zusammengedrückt. Der Schweißdruck entsteht also mittelbar. Aus dem Gebiet des Abbrennschweißens seien schließlich noch die Blechstumpfschweißmaschinen erwähnt, auf denen dünne, gezogene Blechteile vollselbsttätig abbrenngeschweißt werden. Für das einwandfreie Arbeiten dieser Maschinen ist das genaue Einspannen der Blechteile mit höchstens $\frac{1}{10}$ mm Abweichung Vorbedingung. Bei der großen Ausdehnung der Werkstücke, z. B. beim Verschweißen einer Karosserierückwand mit dem Mittelteil, erfordert das Herstellen der Spannbackenpaare und das spielfreie Führen der Backen und des schweren Stauchschlittens außerordentliche Sorgfalt und Erfahrung. Die Schweißstelle wird kalt und sehr schnell abgebrannt, damit die Bleche sich nicht erwärmen, verziehen und während des Verschweißens aufeinandergleiten können.

Eine bisher noch nicht einwandfrei gelöste Aufgabe auf dem Gebiete des Abbrennschweißens ist der Schutz der Maschine gegen den Abbrand sowie die Beseitigung desselben. Auf einer voll arbeitenden schweren Abbrennschweißmaschine werden am Tage mehrere 100 kg Stahl abgebrannt und in Form von flüssigen Metall- und Schlackenbrocken bis zu feinstem Schlackenstaub aus der Schweißstelle geschleudert. Sorgfältiges Abdecken aller gleitenden Teile der Maschine und des Umspanners schützt zwar gegen das Ansetzen des groben Abbrandes. Der feine Staub dringt jedoch, begünstigt durch die starken elektrischen Felder, in alle Teile der Maschine ein und verursacht vorzeitige Abnutzung. Durchspülen des Maschinengehäuses mit sauberer Luft und Vorrichtungen zum Einschließen der Schweißstelle und zum Absaugen des Abbrandes würden nicht nur die Lebensdauer der Maschine verlängern, sondern auch den Schweißer vor Gesundheitsschädigungen durch Metaldämpfe und Schlackenstaub schützen.

Verlag von Julius Springer in Berlin

Klingelberg

Technisches Hilfsbuch

Herausgegeben von

Baurat Dipl.-Ing. Ernst Preger und **Dipl.-Ing. Rudolf Reindl**
Oberursel (Taunus) Berlin

Neunte, neubearbeitete Auflage von

Schuchardt & Schütte, Technisches Hilfsbuch

Mit zahlreichen Abbildungen und Zahlentafeln. VII, 706 Seiten. 1939.

Gebunden RM 10.50

Der neue „Klingelberg“ führt die Tradition des „Schuchardt & Schütte“ weiter. Das Buch bringt nach wie vor die Dinge, die der Praktiker im Konstruktionsbüro und im Werkstattbetriebe des Maschinenbaues und verwandter Industrien täglich braucht. Auf engem Raum ist eine außergewöhnlich große Menge Stoffes zusammengetragen; wo trotzdem der Platz nicht ausreichte, helfen reichhaltige Schrifttumshinweise dem suchenden Leser weiter. Die Schreibweise ist bewußt leicht verständlich gehalten. So bietet das Technische Hilfsbuch dem Betriebsmann, vom Betriebsleiter bis zum Facharbeiter, sein Rüstzeug in einem handlichen Nachschlagewerk vereinigt.

Die Entwicklung der deutschen Technik seit der Herausgabe der letzten Auflage machte eine völlige Neubearbeitung der rein technischen Teile notwendig. Besonders die Gebiete Dauerfestigkeit, Neue deutsche Werkstoffe, Berechnung von Verzahnungen auf Lebensdauer, Prüfung von Verzahnungen auf Genauigkeit, Deutsche Hartmetalle, Stufung von Drehzahlen und einige Abschnitte aus der Betriebsorganisation sind neu aufgenommen bzw. sind von Grund auf neu bearbeitet. In den Abschnitten der verschiedenen Bearbeitungsarten sind die neuesten Erkenntnisse der Zerspannungsforschung und die neuesten Ergebnisse der Gemeinschafts-Arbeitsausschüsse berücksichtigt. Über dreißig anerkannte Fachleute haben am Klingelberg Technischen Hilfsbuch mitgearbeitet.

Der Klingelberg enthält viele Zahlentafeln, auch solche über seltenere Dinge, ferner Auszüge aus den neuesten Ausgaben von Dinormen. So soll und wird er auch in seinem neuen Gewand und unter seinem neuen Namen zum eisernen Bestand der Bücherei des Fachmannes gehören. Auch Lehrlinge, Fachschüler und Studierende werden gern nach dem Technischen Hilfsbuch greifen, das eine gute Brücke vom erlernten Stoff nach der ausführenden Praxis bildet.

Z u b e z i e h e n d u r c h j e d e B u c h h a n d l u n g

Dubbel, Taschenbuch für den Maschinenbau. Bearbeitet von zahlreichen Fachgelehrten. Herausgegeben von Professor Ing. **H. Dubbel**, Berlin. Siebente, völlig umgearbeitete Auflage. Zwei Bände. Mit etwa 3000 Textfiguren. XI, 1542 Seiten. 1939. Gebunden RM 19.80

Das bewährte Taschenbuch für die Maschineningenieur-Praxis und Lehrbuch für Unterricht und Fortbildung gibt kurz, genau und erschöpfend Auskunft über alle vorkommenden Fragen. Die erprobten Grundsätze, deren Befolgung dem Taschenbuch eine stets zunehmende Verbreitung in den Kreisen der Studierenden wie auch der praktisch tätigen Ingenieure gesichert haben, sind auch für die neue Auflage maßgebend gewesen. Der Inhalt ist reicher, die Form straffer geworden. Zahlreiche neue Mitarbeiter. Gesamtauflage jetzt 130 000 Exemplare.

Inhalt:

Mathematik. — Mechanik. — Die Brennstoffe und ihre technische Verwendung. — Festigkeitslehre. — Werkstoffkunde. — Schweißkonstruktionen. — Maschinenteile. — Die Dampferzeugungsanlagen. — Die Kraft- und Arbeitsmaschinen mit Kolbenbewegung. — Schwungräder, Massenausgleich, Schwingungen und Regler. — Die Kondensation. — Die umlaufenden Kraft- und Arbeitsmaschinen. — Abwärmeverwertung. — Rohrleitungen. — Hebe- und Fördermittel. — Werkzeugmaschinen. — Kraftwagen. — Flugtechnik. — Bau-Elemente des Flugzeugs. — Elektrotechnik.

Taschenbuch für Druckluft-Betrieb. Ausgabe 1936. Sechste Auflage. Neu bearbeitet von Zivilingenieur **Chr. P. Hansen**, Frankfurt a. M. Herausgegeben von der FMA/Pokorny, Frankfurter Maschinenbau-AG., vorm. Pokorny & Wittekind, Frankfurt a. M. Mit 350 Abbildungen und 52 Tabellen. V, 343 Seiten. 1936. Gebunden RM 5.70

Taschenbuch für wirtschaftliche Blechbearbeitung. Dritte, erweiterte Auflage, herausgegeben von der **L. Schuler A.-G.**, Göppingen-Württemberg. Mit zahlreichen Abbildungen, Tabellen und Zahlentafeln. 446 Seiten. 1937. Gebunden RM 4.50

Taschenbuch für Schnitt- und Stanzwerkzeuge. Von Dr.-Ing. **G. Oehler**. Zweite, verbesserte Auflage. Mit zahlreichen Abbildungen, Literaturnachweisen, Konstruktions- und Berechnungsbeispielen. VI, 136 Seiten. 1938. Gebunden RM 8,70
Ein Ratgeber sowohl für das Werkzeugkonstruktionsbüro als auch für den Werkzeugbau unter besonderer Berücksichtigung der Auswahl des geeigneten Werkstoffes und seiner richtigen Behandlung.

Inhalt:

Konstruktionsrichtlinien für Schnitte. — Ausführungen von Schnittwerkzeugen. — Biegewerkzeuge. — Ziehwerkzeuge für Hohlkörper. — Auswahl des Werkzeugstahles. — Vermeidung von Härteausschuß. — Schleifen von Schnittwerkzeugen. — Prüfung des kalt verarbeitbaren Werkstoffes, insbesondere auf seine Verformbarkeit (Blechuntersuchungen).

Einteilung der bisher erschienenen Hefte nach Fachgebieten (Fortsetzung)

III. Spanlose Formung

Heft

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

IV. Schweißen, Löten, Gießerei

Die neueren Schweißverfahren. 3. Aufl. Von P. Schimpke	13
Das Lichtbogenschweißen. 2. Aufl. Von E. Klosse	43
Praktische Regeln für den Elektroschweißer. Von Rud. Hesse	74
Widerstandsschweißen. Von Wolfgang Fahrenbach	73
Das Löten. 2. Aufl. Von W. Burstyn. (Im Druck)	28
Modelltischlerei I (Allgemeines, einfachere Modelle). 2. Aufl. Von R. Löwer	14
Modelltischlerei II (Beispiele von Modellen und Schablonen zum Formen). 2. Aufl. Von R. Löwer	17
Modell- und Modellplattenherstellung für die Maschinenformerei. Von Fr. und Fe. Brobeck	37
Kupolofenbetrieb. 2. Aufl. Von C. Irresberger. (Vergriffen)	10
Handformerei. Von F. Naumann	70
Maschinenformerei. Von U. Lohse	66
Formsandaufbereitung und Gußputzerei. Von U. Lohse	68
Das ABC für den Modellbau. Von E. Kadlec	72

V. Antriebe, Getriebe, Vorrichtungen

Der Elektromotor für die Werkzeugmaschine. Von O. Weidling	54
Die Getriebe der Werkzeugmaschinen I (Aufbau der Getriebe für Drehbewegungen). Von H. Rognitz	55
Die Zahnformen der Zahnräder. Von H. Trier. (Im Druck)	47
Einbau und Wartung der Wälzlager. Von W. Jürgensmeyer	29
Teilkopfarbeiten. 2. Aufl. Von W. Pockrandt	6
Spannen im Maschinenbau. Von Fr. Klautke	51
Der Vorrichtungsbau I (Einteilung, Einzelheiten und konstruktive Grundsätze). 3. Aufl. Von F. Grünhagen	33
Der Vorrichtungsbau II (Typische Einzelvorrichtungen, Bearbeitungsbeispiele mit Reihen planmäßig konstruierter Vorrichtungen). 2. Aufl. Von F. Grünhagen	35
Der Vorrichtungsbau III (Wirtschaftliche Herstellung und Ausnutzung der Vor- richtungen). Von F. Grünhagen	42

VI. Prüfen, Messen, Anreißen, Rechnen

Werkstoffprüfung (Metalle). 2. Aufl. Von P. Riebensahm	34
Metallographie. Von O. Mies	64
Technische Winkelmessungen. 2. Aufl. Von G. Berndt	18
Messen und Prüfen von Gewinden. Von K. Kress	65
Das Anreißen in Maschinenbau-Werkstätten. 2. Aufl. Von F. Klautke	3
Das Vorzeichnen im Kessel- und Apparatebau. Von A. Dorl	38
Technisches Rechnen I. 2. Aufl. Von V. Happach	52
Der Dreher als Rechner. 2. Aufl. Von E. Busch	63
Prüfen und Instandhalten von Werkzeugen und anderen Betriebsmitteln. Von P. Heinze	67