



Mit finanzieller Unterstützung
durch das EU-Programm
Erasmus+



MODUL P

Widerstandsschweißen

Widerstandsschweißen



Prinzip des Widerstandsschweißen

- Das Widerstandsschweißen ist ein elektromechanischer Prozess, bei dem eine Schweißverbindung durch Druck erzeugt wird, während der Schweißstrom fließt, wobei die Wärmequelle die durch den Joule Act erzeugte Widerstandswärme ist.
- Der Vorteil des Widerstandsschweißens ist insbesondere das Merkmal, dass kein zusätzliches Metall erforderlich ist, sondern die Schweißverbindung durch Schmelzen des Materials selbst gebildet wird.
- Weitere Vorteile sind neben der Verbindungsqualität die Geschwindigkeit und Wirtschaftlichkeit der Konstruktion, die Möglichkeit der Mechanisierung und Automatisierung.



Charakteristik des Widerstandsschweißens

- ▶ Die Widerstandsschweißtechnik gehört zum Druckschweißen, bei dem die Schweißverbindung an einem Punkt ausgebildet wird, der durch elektrische Widerstandswärme unter Druck auf die Schweißtemperatur erhitzt wird.
- ▶ Bei diesem Verfahren wird ein Teil des Materials in den Schmelzzustand gebracht und in unmittelbarer Nähe dieser Zone in den plastischen Zustand (oder nur in den plastischen Zustand beim Anpressschweißen).
- ▶ Das Wesen des elektrischen Widerstandsschweißens besteht darin, die erzeugte elektrische Wärme auf den Punkt zu konzentrieren, an dem sie geschweißt werden soll.
- ▶ Während des Schweißens ändern sich der Arbeitswiderstand und die Stromstärke.
- ▶ Die zum Zeitpunkt t zwischen den Elektroden entwickelte Gesamtwärme entspricht dem Joule'schen Gesetz :
- ▶ $Q = U * I * t$



Gesamtwiderstand des elektrischen (ohmschen) Systems

- Widerstand der Elektroden
- Übergangswiderstände in Kontaktelektroden - geschweißtes Material
- Eigenwiderstand von geschweißten Materialien
- Übergangswiderstand beim Kontakt von Oberflächen geschweißter Materialien.

- Jeder dieser Widerstände ist eine Funktion der Temperatur, und der Wert der Übergangswiderstände hängt stark von der Oberflächenqualität der geschweißten Materialien und Elektroden und vom Druck zwischen den Elektroden ab.
- Außerdem ist der Gesamtwiderstand der Schweißverbindung zwischen den Elektroden zeitabhängig.

KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 120.



Gesamtwiderstand des elektrischen (ohmschen) Systems

➤ Schweißpositionen	alle
➤ Art des geschweißten Materials	aus unlegiertem Stahl, legiertem Stahl, Aluminium, Kupfer, Nickel und deren Legierungen
➤ Schweißdickenbereich	von 0,4 mm bis 10 mm (und mehr)
➤ Schweißstrom	103 A bis 105 A
➤ Betriebsspannung	0,5 V bis 30 V
➤ Art des Schweißstroms	alternierend (evtl. Gleichstrom)
➤ Schweißzeit	0,04 s bis 2,0 s
➤ Schweißdruck	15 MPa bis 200 MPa
➤ Temperaturanstieg	auf 100.000 ° C / s

KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 120.

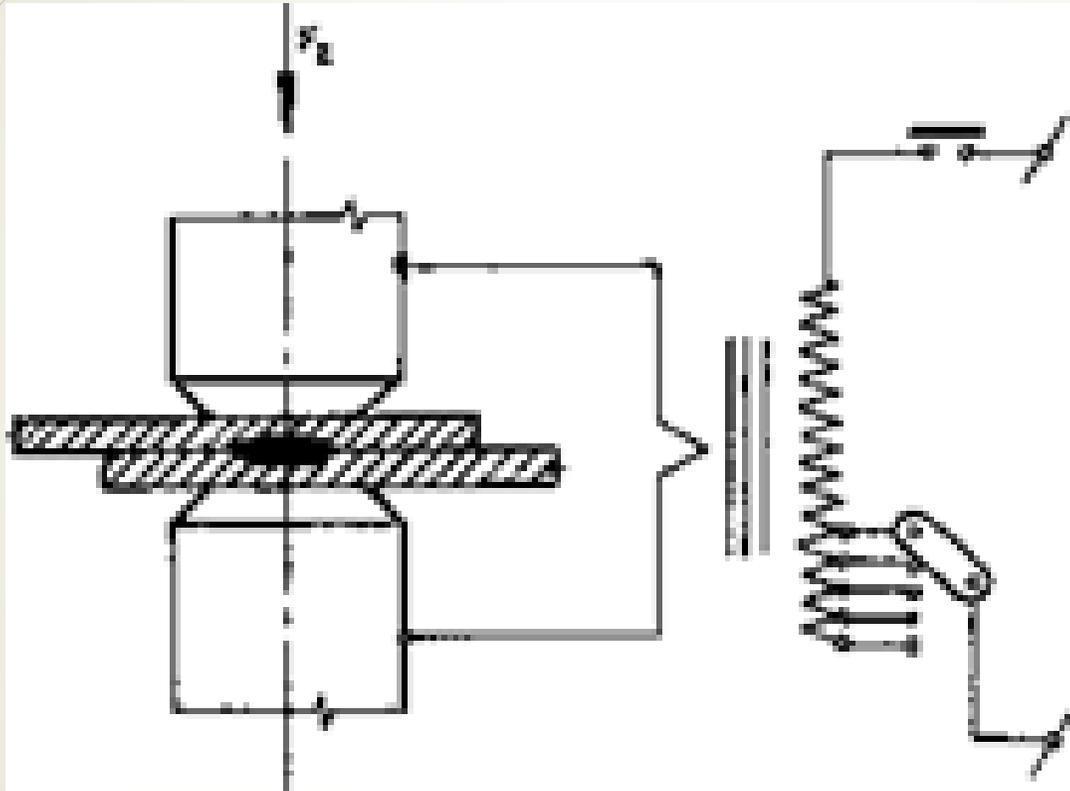


Aufteilung der Widerstandsschweißarten

- Punktschweißen
- Nahtschweißen
- Extrusionsschweißen
- Druckschweißen
- Hot Melt-Schweißen



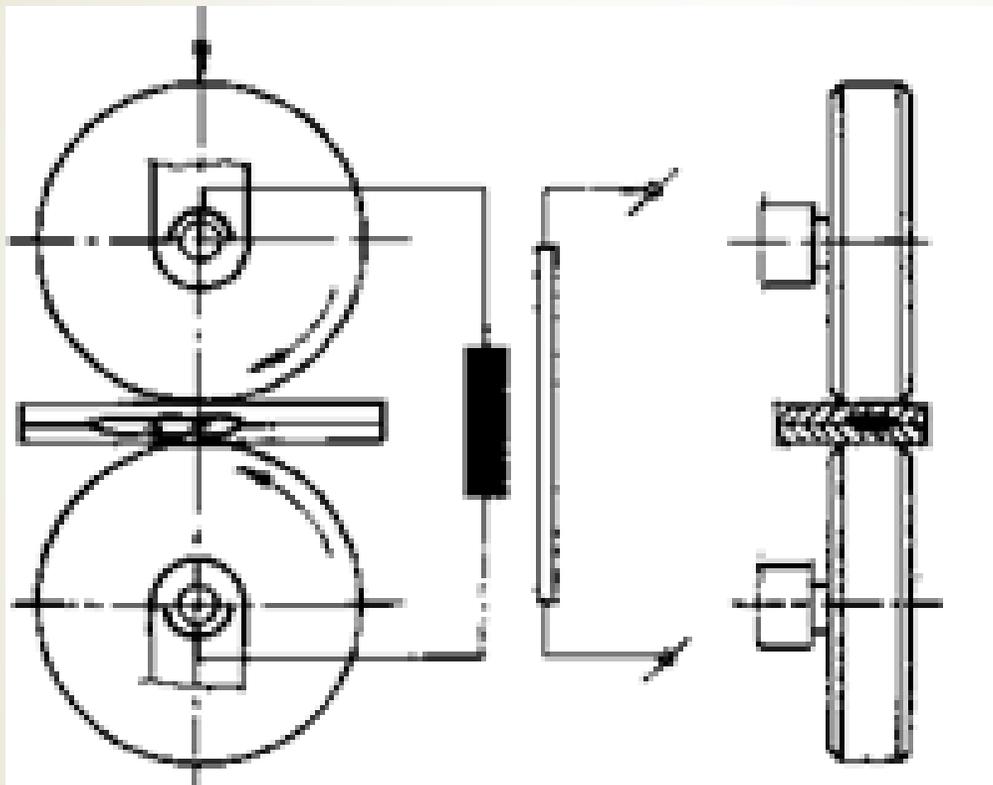
Punktschweißen



KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 121.



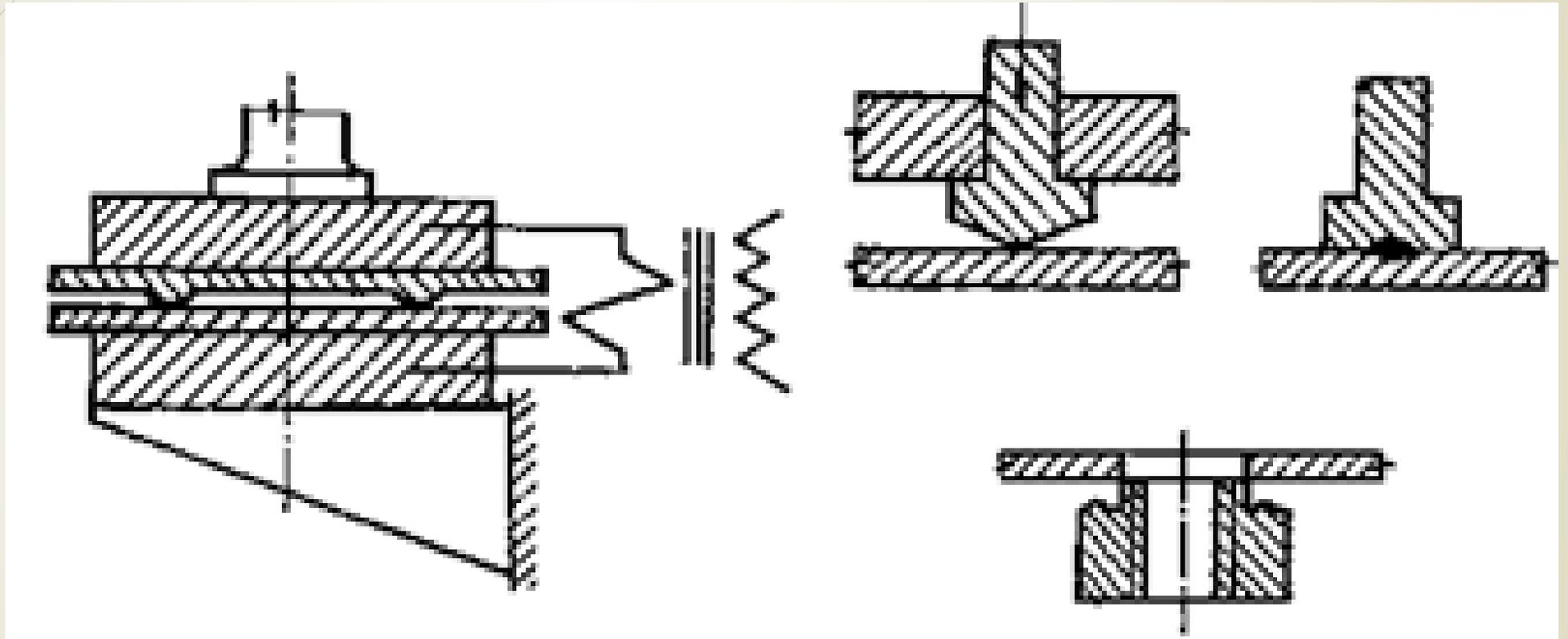
Nahtschweißen



KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 121.



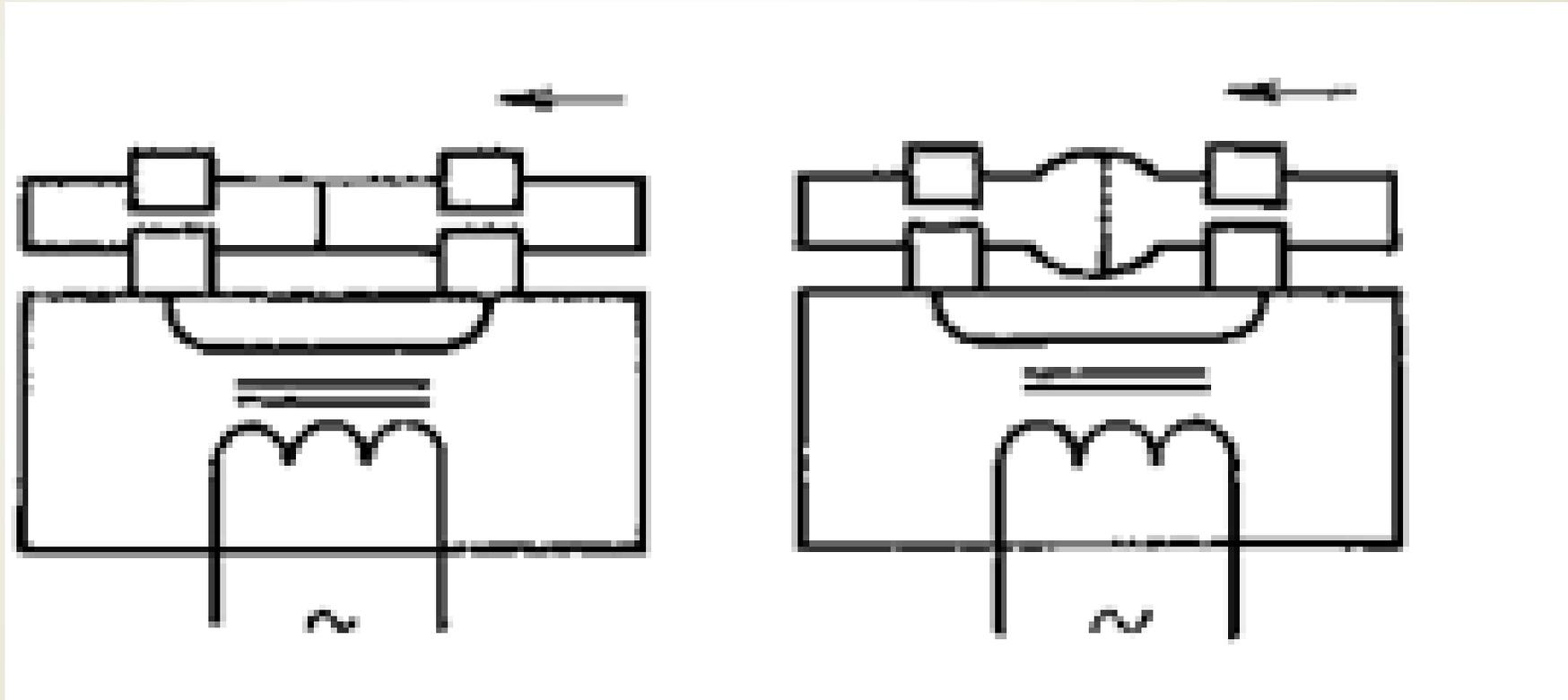
Extrusionsschweißen



KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUŠ, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 121.



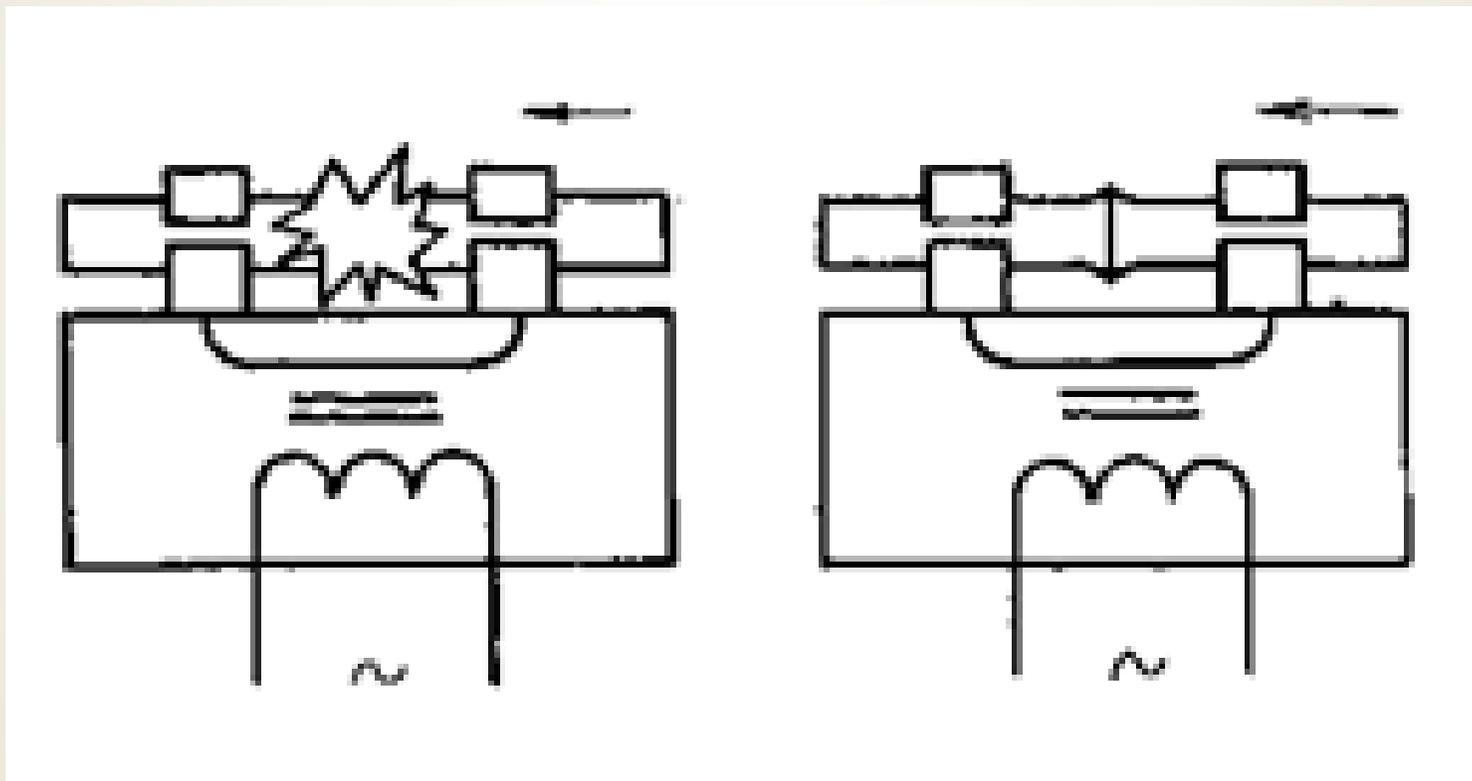
Druckschweißen



KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 121.



Hot Melt-Schweißen



KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 121.



Grundparameter des Widerstandsschweißens

- Schweißstrom,
- Schweißzeit und -druck, die den Übergangswiderstand am Kontaktpunkt der Elektroden und den Kontakt beider Materialien beeinflussen.



Modi des Widerstandsschweißens

- Weicher Schweißmodus
- Harter Schweißmodus



Weicher Schweißmodus

- Kleiner Schweißstrom, längere Schweißzeit, weniger Anpresskraft.
- Sie zeichnet sich durch einen größeren thermischen Einfluss auf das Material aus, die Schweißlinse hat einen kleinen Durchmesser, eine große Höhe und eine grobkörnige Struktur, die die mechanischen Eigenschaften der Schweißverbindung verschlechtert.
- Die Elektroden sind hitzebeansprucht und haben daher eine kurze Lebensdauer und hinterlassen auch tiefe Einrisse im Schweißgut.
- Höher ist der Stromverbrauch (niedriger Wirkungsgrad, höhere Wärmeverluste).
- Dieser Modus wird absichtlich beim Schweißen von trübungsgefährdeten Materialien verwendet.



Harter Schweißmodus

- Höherer Schweißstrom, kürzere Schweißzeit, größere Druckkraft.
- Der Hard-Modus zeichnet sich durch höhere Arbeitsproduktivität, geringere Wärmeverluste, weniger Grip, längere Lebensdauer der Elektrode und geringere Verformung aus.
- Schweißlinsen haben einen größeren Durchmesser (etwa als Elektrode), ihre Höhe beträgt etwa 30% der Gesamtdicke beider Bleche, die mechanischen Eigenschaften der Schweißverbindung sind besser.
- Schweißmaschinen müssen jedoch eine höhere Leistung und eine stärkere Konstruktion für größere Druckkräfte aufweisen.



Schweißzyklus

- Es beeinflusst die Dynamik des Prozesses, Bildung von Schweißlinsen, metallurgische Änderungen und End Eigenschaften der Schweißverbindung.
- Der am häufigsten verwendete Schweißzyklus mit konstanter Kraft und konstantem Strom.



Thermisches Gleichgewicht

- Die Ausbildung eines perfekten Widerstandsschweißens impliziert eine abgenutzte Symmetrie in der Schweißverbindung aufgrund der Kontaktebene der geschweißten Teile.
- Diese Annahme gilt nicht nur für die Aufheizphase, sondern auch für die Abkühlphase.
- Wenn das thermische Gleichgewicht beeinträchtigt wird (durch unterschiedliche Eigenschaften von geschweißten Materialien, ungleichmäßigen Dicken usw.), wird das geschweißte Material ungleichmäßig und asymmetrisch erhitzt.
- Dies führt zu einem ungleichen Schmelzen der geschweißten Materialien und aufgrund der Materialgrenzfläche zur Bildung einer asymmetrischen Schweißlinse.



Punktschweißen



Prinzip des Punktschweißens

- ▶ Punktschweißen ist ein Widerstandsschweißen, bei dem die geschweißten Materialien zwischen den Kupferelektroden gestapelt und komprimiert werden.
- ▶ Der Timer schaltet den durch das Material fließenden elektrischen Strom ein, der Strom hat eine hohe Intensität, die Kontaktflächen werden abrupt abgebremst und erzeugen die zur Erzeugung einer Schweißnaht erforderliche Wärme.
- ▶ Die Klinge hat die Form einer Linse und ist ohne zusätzliches Material geformt.
- ▶ Die Quelle des Schweißstroms ist der Schweißtransformator.
- ▶ Der Strom von der Sekundärwicklung des Transformators wird durch feste und flexible Schweißmaschinenzuleitungen den Elektroden zugeführt.
- ▶ Der elektrische Stromfluss wird meistens elektronisch geregelt.



Punktschweißen





Punktschweißen





Punktschweißen





Schweißparameter für das Punktschweißen

- ▶ In der technischen Praxis werden testbasierte Tabellen zur Auswahl der Schweißparameter verwendet.
- ▶ Neben der Größe der Grundparameter (Schweißstrom I , Druckkraft F und Schweißzeit t) für einzelne Sorten und Materialstärken sind zusätzliche Angaben zu machen:
 - ▶ empfohlene Durchmesser der Auflageflächen der Elektroden,
 - ▶ minimale Überlagerungsgröße,
 - ▶ Mindestabstand benachbarter Schweißnähte
 - ▶ Mindestschweißabstand vom Blechrand und anderen Parametern.
- ▶ Die Werte des Schweißstroms I und der Schweißzeit t können in zwei Betriebsmodi dargestellt werden (weicher Schweißmodus und harter Schweißmodus)..



Punktschweißung erstellen

- Schweißteile zwischen Elektroden einlegen
- Elektrodengriff
- Schalten Sie die Stromversorgung ein
- Ausschalten
- Verlassen der Elektroden



Widerstand des Schweißkreises

- Der gesamte aktive Widerstand R wird durch die Summe der Übergangswiderstände und der Materialwiderstände gebildet.
- Die Widerstände sind während des Schweißzyklus nicht konstant.
- Übergangswiderstände variieren in Abhängigkeit von der Größe der Druckkraft, dem Temperaturwert und dem Zustand der Kontaktmaterialoberflächen.
- Materialwiderstände sind eine Funktion des spezifischen Widerstands des Materials, der Dicke des Materials und eines nominellen Stromflusses des elektrischen Stroms durch das Material.
- Sie ändert sich auch mit der Temperatur, was eine Funktion der Zeit ist. Der Querschnitt des elektrischen Stromflusses ist durch den Querschnitt der Elektroden gegeben.
- Der Durchmesser der Elektroden ergibt sich aus der Beziehung :
 - $d = 5j \sim s$ [mm]; s - Materialstärke [mm]

Nahtschweißen



Prinzip des Nahtschweißens

- ▶ Nahtschweißen ähnelt grundsätzlich dem Punktschweißen.
- ▶ Im Gegensatz zum Punktschweißen wird die Schweißverbindung zwischen zwei rotierenden Scheiben - Elektroden (in besonderen Fällen eine) - gebildet.
- ▶ Die Schweißnaht besteht aus einzelnen, wie bei Schweißpunkten.
- ▶ Wenn sich die Schweißnähte ausreichend überlappen, ist die Verbindung dicht.
- ▶ Der Abstand zwischen den einzelnen Schweißnähten ist abhängig von der Umfangsdrehzahl der Elektroden, der natürlichen Modulation (50 Hz) des Schweißstroms oder der angestrebten Stromunterbrechung.
- ▶ Der Strom hat in jeder Periode zwei Maxima - positiv und negativ. Dann wird der Kern der Schweißnähte gebildet.
- ▶ Wenn der Strom durch Null fließt, tritt keine Wärme auf.
- ▶ In einer Sekunde werden 100 Schweißnähte erstellt.
- ▶ Der Widerstand im Schweißbereich ist ähnlich dem Punktschweißwiderstand.

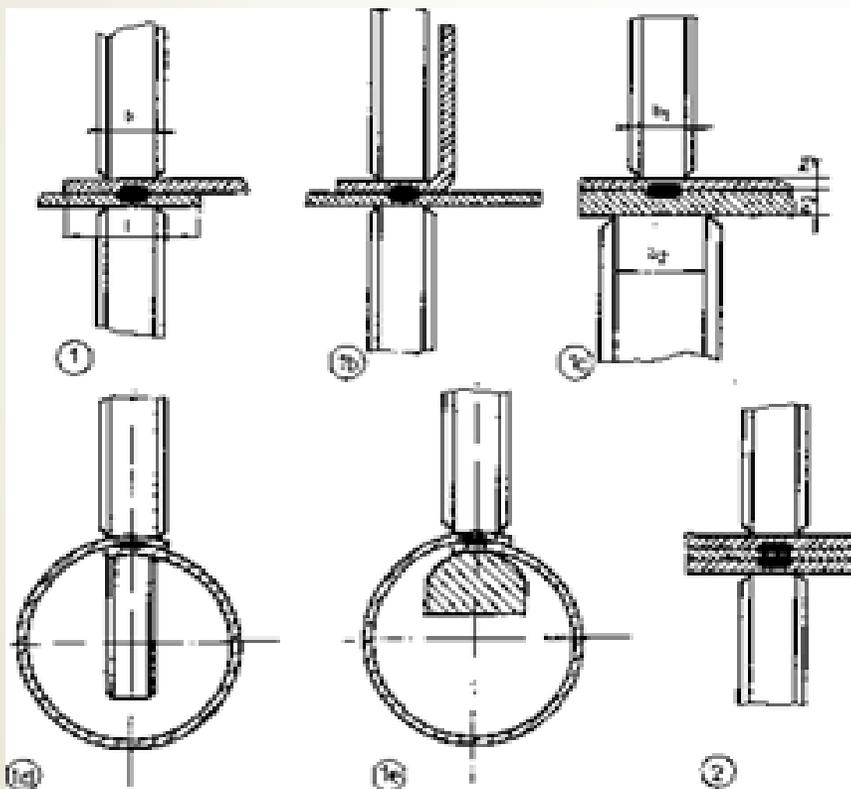


Schweißparameter und Arten und Formen von Verbindungen

- Die folgenden Schweißparameter werden für das Nahtschweißen verwendet :
 - Schweißkraft F (konstantes Schweißen beim Schweißen),
 - Schweißstrom I (konstant beim Schweißen),
 - Schweißgeschwindigkeit v (Umfangsgeschwindigkeit der Klingen - konstant beim Schweißen),
 - Modulation des Schweißstroms (ggf. Stromunterbrechung)



Arten von Schweißnähten



- 1a - Grundtyp;
- 1b - eine Schweißnaht aus einer einseitigen Scheibe;
- 1c - Schweißen mit ungleichen Dicken;
- 1d - Behälterliner;
- 1e - ummantelte Verbindung des im Dunkeln hergestellten Schiffes;
- 2 - Schweißen mit drei Blechstärken

KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 127.



Extrusionsschweißen



Prinzip des Extrusionsschweißens

- Das Ausgangsschweißen ist ein solches Widerstandsschweißen, bei dem Schweißverbindungen auf vorgefertigten Vorsprüngen gebildet werden.
- Die Vorsprünge werden normalerweise nur an einem der geschweißten Teile hergestellt.
- Durch Schweißen können mehrere Schweißpunkte gleichzeitig erstellt werden.
- Die Aufgabe der Projektionen besteht darin, den Strom und die Kraft auf den Ort der zukünftigen Schweißnaht zu konzentrieren.
- Eine Schweißpresse wird zum Schweißen verwendet, wobei die Schweißnähte entweder zwischen flachen Elektroden oder in Backen oder Backen hergestellt werden.
- Die Lösung des thermischen Gleichgewichts gleicht dem Punktschweißen.

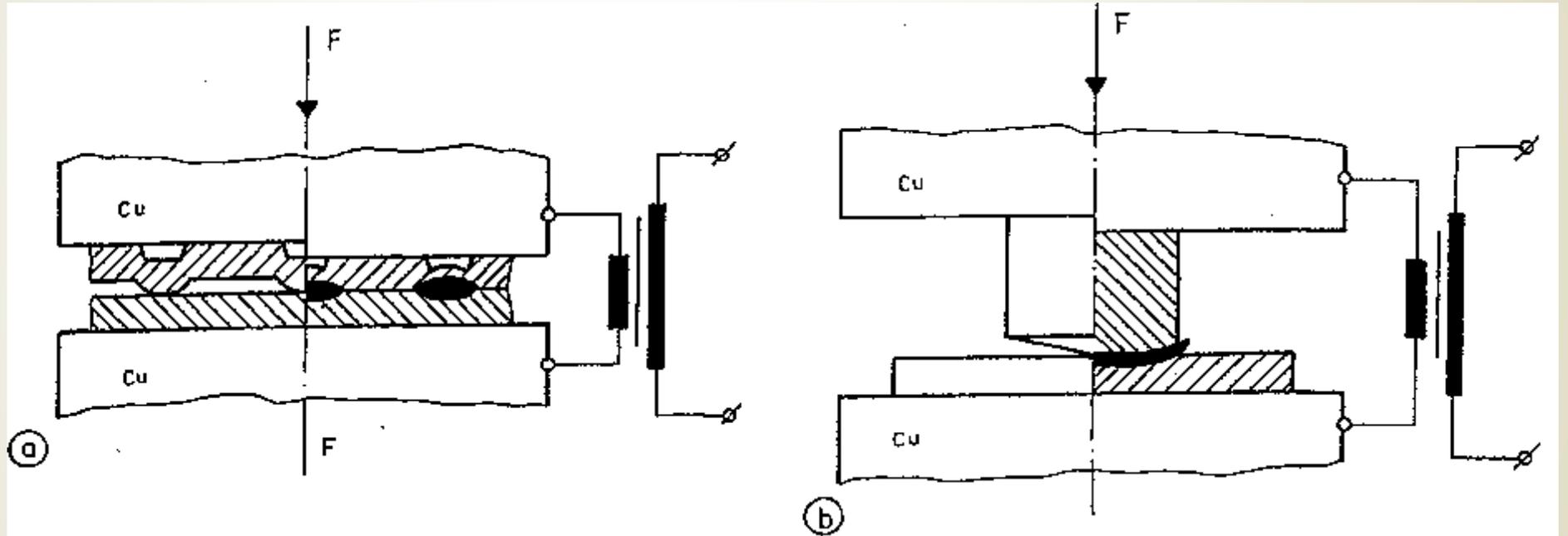


Methoden des Vorsprungsschweißens

- Vorsprungsschweißen mit gepressten Vorsprüngen (beim Schweißen von Platten),
- Protrusionsschweißen mittels massiver Protrusionen (oder Zwischenlagen).



Extrusionsschweißen



KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 127.

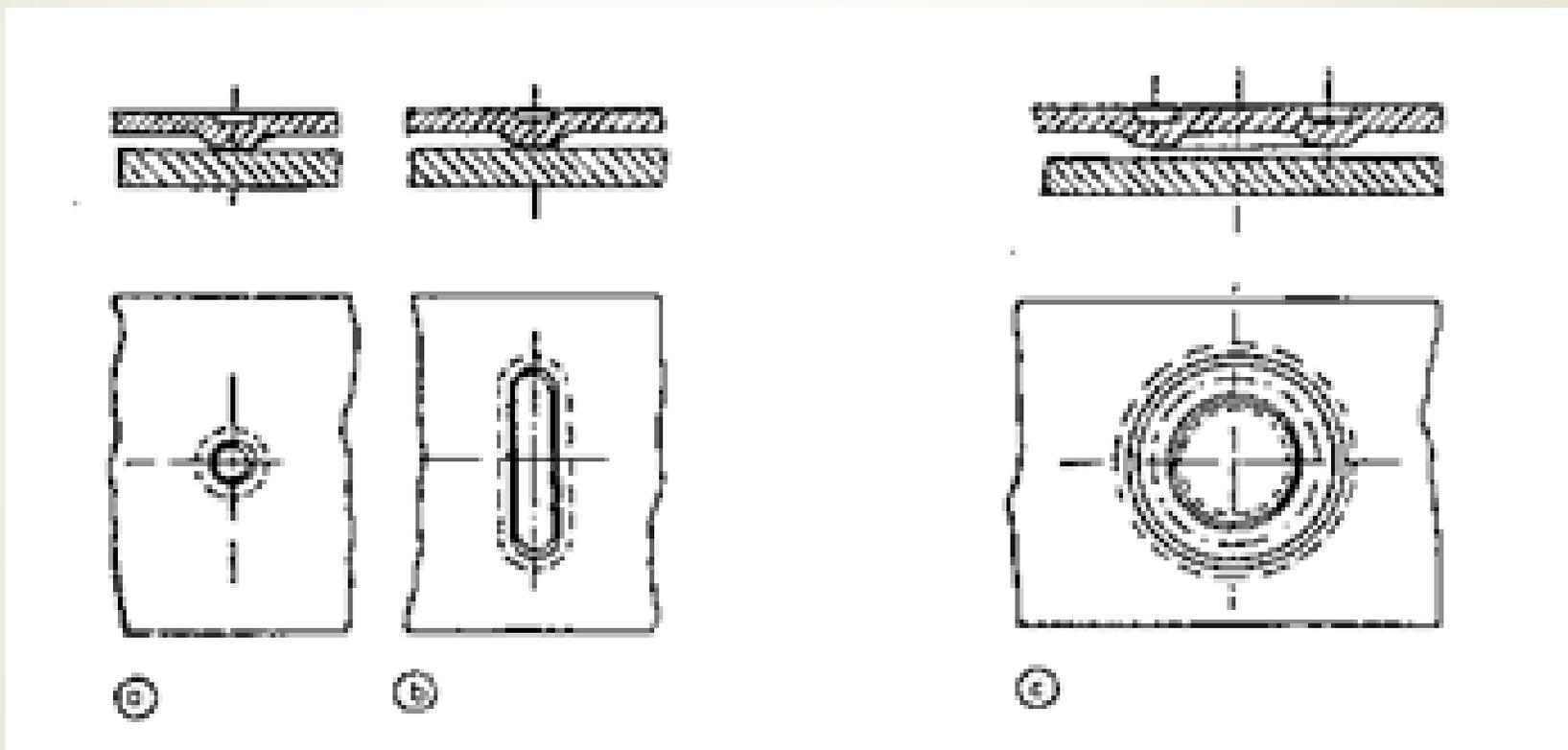


Schweißparameter

- Die gleichen Schweißparameter wie beim Punktschweißen sind: Zwangsschweißen F , Schweißstrom I und Schweißzeit t .
- Wir können auch einen weichen oder harten Schweißmodus verwenden.
- Der Verlauf der Programmparameter (Schweißzyklus) ist ähnlich wie beim Punktschweißen.



Arten von Verbindungen, die durch Überstandsschweißen hergestellt werden



KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 128.



Druckschweißen



Prinzip des Druckschweißens

- Das Druckschweißen ist ein Widerstandsschweißverfahren, bei dem geschweißte Teile (am häufigsten Drähte oder Stäbe) gegeneinander drücken.
- Beim Durchleiten des elektrischen Stroms wird vorzugsweise die Kontaktfläche der beiden Facetten erwärmt, da an dieser Stelle der größte elektrische Widerstand vorliegt.
- Aufgrund der häufigen langen Längen sind die geschweißten Teile horizontal ausgerichtet.
- Der Strom wird den Platten mittels Backen zugeführt, die nicht nur die Funktion der Elektroden haben, sondern die Platten auch mechanisch klemmen und verhindern, dass sie bei Anwendung der Schweißkraft verrutschen.
- Beim Komprimieren der geschweißten Materialien und beim Durchlaufen des Schweißstroms wird die Temperatur nahe dem Schmelzpunkt erreicht.
- Das stark erhitzte Kunststoffmaterial wird teilweise aus der Schweißnaht extrudiert und erzeugt ein Ventil.
- Daraus folgt, dass das Werkstück während des Schweißens gekürzt wird.
- Nach dem Abschalten des Schweißstroms bildet das Abkühlen und Erstarren des Materials eine Diffusionsschweißnaht.
- Nur dann kann die Schweißkraft aufgehoben werden.



Schweißparameter für das Kontaktschweißen

- ▶ Die Schweißparameter sind die gleichen wie beim Punkt- und Buckelschweißen :
 - ▶ die Andruckkraft F ,
 - ▶ Schweißstrom I
 - ▶ Schweißzeit t .
- ▶ Wir können auch einen weichen oder harten Schweißmodus verwenden.
- ▶ Beim Schweißen von zwei Materialien unterschiedlicher Qualität ist das Gleichgewicht der Materialwiderstände R_m wichtig.
- ▶ Die Erhöhung des Widerstands des leitfähigen Materials wird durch einen größeren Auswurf des Materials aus den Backen im Vergleich zu dem Material mit schlechterer Leitfähigkeit erreicht.
- ▶ Dadurch wird das thermische Gleichgewicht sichergestellt.



Hot Melt-Schweißen



Prinzip des Hot Melt-Schweißens

- ▶ Klappschweißen hat ein ähnliches Prinzip wie das Kontaktdruckschweißen.
- ▶ Die geschweißten Teile werden mit einem Schweißtransformator verbunden, der vor dem Pressen unter Spannung steht.
- ▶ Die verwendete Spannung ist niedrig (3 V bis 5 V), um einen Lichtbogen zu vermeiden.
- ▶ Die Teile beginnen sich dann mit einer sehr niedrigen Geschwindigkeit (in der Größenordnung von $1 \text{ mm}\cdot\text{s}^{-1}$) zu nähern, um sich an einer oder mehreren Stellen zu berühren.
- ▶ Brücken berühren.
- ▶ Da die Druckkraft minimal ist (gegen Null geht), ist der Übergangswiderstand zwischen den Platten extrem groß und der Fluss ist gering.
- ▶ Das Material wird an der Kontaktstelle heftig schmelzen und ein Teil der Metallschmelze spritzt heraus.



Prinzip des Hot Melt-Schweißens

- ▶ Durch das Einspritzen von flüssigem Metall und sich ausdehnenden Metalldämpfen wird gleichzeitig Luft aus der Schweißnaht ausgestoßen und die erhitzten Schweißoberflächen vor Oxidation geschützt.
- ▶ An der Stelle der ehemaligen Brücke entsteht ein mit Metallschmelze gefüllter Krater und eine Lücke zwischen den Teilen der Brücke.
- ▶ Die Teile nähern sich immer noch, so dass ein neuer Kontakt entsteht, neue Brücken entstehen und der Vorgang wiederholt wird, bis das geschmolzene Metall am Boden der Krater nicht die gesamte Fläche an den Stirnflächen der geschweißten Teile durch eine durchgehende Schicht Metallschmelze bedeckt.
- ▶ Dann folgt die zweite Phase - Kompression.
- ▶ Die Teile zwingen sich unter erhöhter Kraft, und der Strom wird sofort abgeschaltet.
- ▶ Das geschmolzene Metall der beiden Flächen fällt mit einer Kraft zusammen, um eine Schweißnaht zu bilden.
- ▶ Gleichzeitig wird ein Teil des stark erhitzten Materials aus der Schweißnaht extrudiert und bildet einen Stopfen.



Schweißparameter des Kontaktschweißens

- Die folgenden Schweißparameter werden für das Kontaktschweißen verwendet :
 - Schweißstrom I (sinkt bei Abfall unter 25 A.mm^{-2}),
 - die Kompressionskraft F (in der Schmelzphase ist sie minimal bis zur Kompressionsphase)
 - (im Bereich von $0,25 \text{ mm.s}^{-1}$ für große bis 6 mm.s^{-1} für kleine Querschnitte),
 - Schmelzlänge l_0 (im Bereich von $0,2$ bis $0,5$ Durchmesser D oder 2 bis $5 \times$ Dicke).

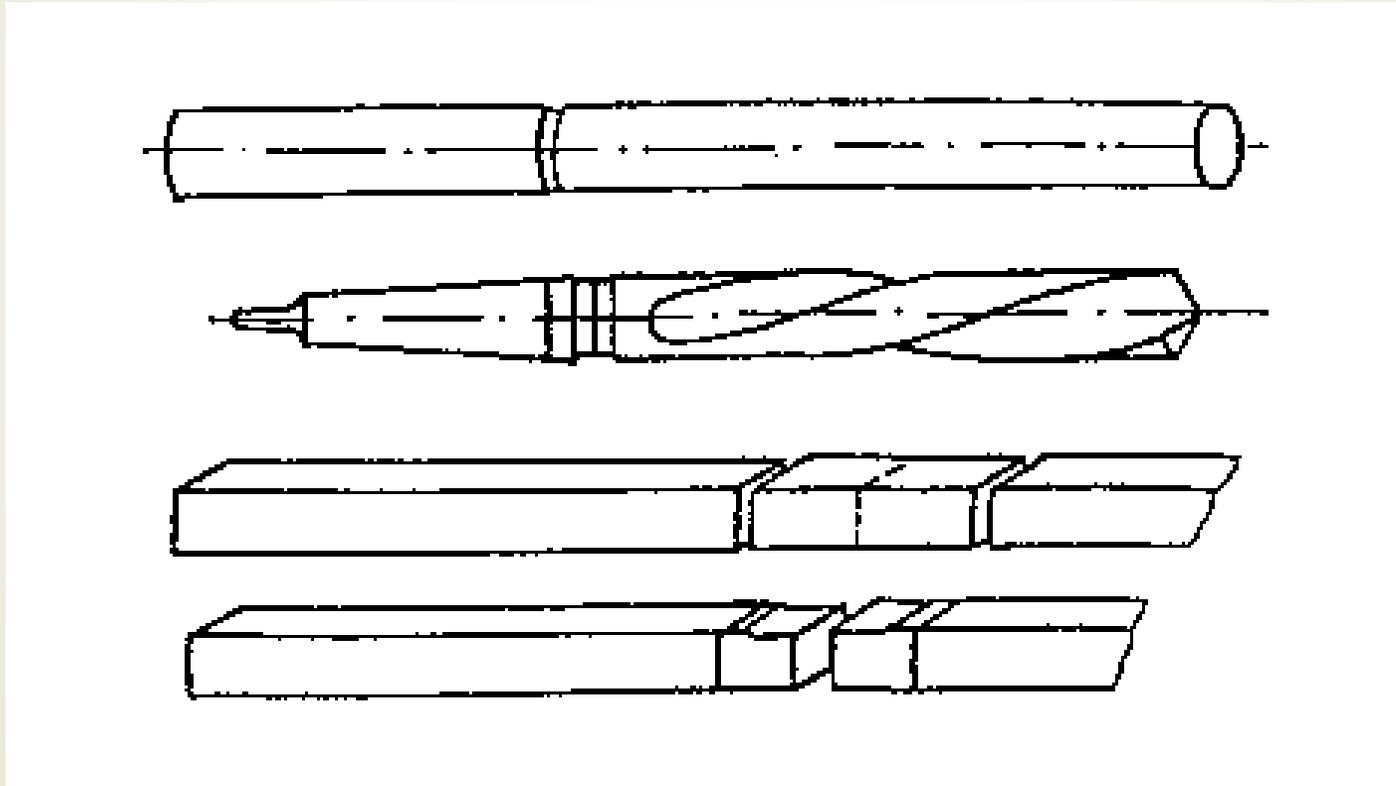


Schweißparameter des Kontaktschweißens

- In einigen Fällen wird Kontaktschweißen mit Vorwärmen verwendet.
- Das Vorwärmen erfolgt mit intermittierenden Kurzschlüssen.
- Die Teile werden wiederholt hin und her geschoben (sogenanntes Umkehrvorwärmen).
- Bei jeder Berührung heizen sie sich auf, schmelzen aber auch teilweise.
- Das Vorwärmen unterstützt den Verlauf der Schmelzphase (reduziert den Stromverbrauch) und verhindert jegliche Trübung.



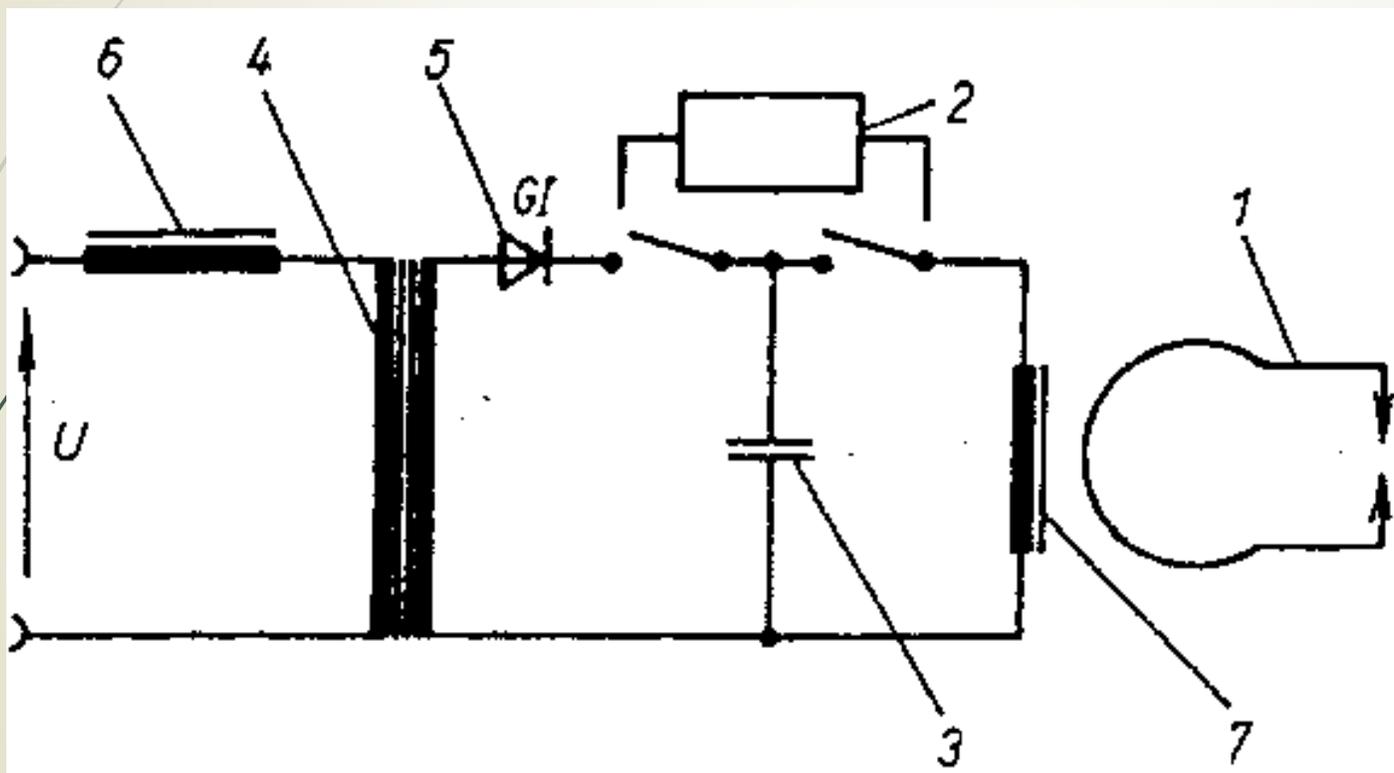
Arten und Formen der Verbindungen



KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 131.



Widerstandskondensatorschweißen



- Verdrahtungsplan für das
Kondensatorschweißen
- 1 - Schweißstromkreis;
 - 2 - Taktsteuerung;
 - 3 - Kondensatorbatterie;
 - 4 - Hochspannungstransformator;
 - 5 - Gleichrichter;
 - 6 - Choke;
 - 7 - Impulstransformator

KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů.* Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011. s. 131.



Widerstandskondensatorschweißen

- ▶ Bei dieser Technologie wird die Batterie des Ultrapuls-Schweißkondensators mit einer stabilisierten Spannung aufgeladen, um Energie konstanter Größe zu erhalten.
- ▶ Die an die Schweißnaht abgegebene Leistung ist groß, es handelt sich um ein Stromstoßschweißen mit einem Strombereich von 10 kA bis 250 kA, für eine sehr kurze Zeit von 1 ms bis 10 ms, mit präziser Wärmekontrolle in Kombination mit einer genau kontrollierten Druckkraft.
- ▶ Dieser Prozess des Schweißens mit hoher Energiekonzentration und kurzer Schweißzeit erzeugt ein sehr enges Wärmeeinflussband sowie eine minimale Verformung und führt zu einem Zusammenfügen der Teile bei minimalem Schmelzen. Dies ist der Grund dafür, dass es nicht zu einer Vermischung von Materialien und metallurgischen Veränderungen kommt.



Widerstandskondensatorschweißen

- Die Anwendung dieses Verfahrens eignet sich zum Fügen kleiner Pressformteile in der Feinmechanik, in der Serien- und Massenproduktion.
- Mit dieser Methode lassen sich alle NE-Metalle und deren Kombinationen sowie in Kombination mit Stahl materialmäßig kombinieren.
- Das Schweißen erfolgt entweder nach dem Punktschweißprinzip oder nach dem Pressschweißen an der Presse.



Fragen zum Nachdenken

1. Was sind die Vorteile des Widerstandsschweißens?
2. Was ist das Prinzip des Widerstandsschweißens?
3. Was sind die wichtigsten Möglichkeiten des Widerstandsschweißens?
4. Was ist die weiche und harte Art des Widerstandsschweißens?
5. Was sind die Schweißparameter für das Widerstandsschweißen?
6. Beschreiben Sie, wie Sie mit Punktschweißen arbeiten.
7. Wo funktioniert das Nahtschweißen?
8. Was ist das Prinzip der Arbeit beim Kontaktschweißen mit Schmelzen?
9. Wo wird Druckkontaktschweißen durch Widerstand eingesetzt?



Empfohlene Literatur und Informationsquellen

- ▶ AMBROŽ, O. A KOL. *Technologie svařování a zařízení: učební texty pro kurzy svářečských inženýrů a technologů*. Ostrava: ZEROSS, 2001, 395 s. Svařování. ISBN 80-85771-81-0.
- ▶ BERNASOVÁ, E. A KOL. *Svařování*. Praha: SNTL, 1987. ISBN 04-221-88.
- ▶ KUBÍČEK, J. DANĚK, L. KANDUS, B. *Technologie svařování a zařízení. Učební texty pro kurzy svařovacích inženýrů a technologů*. Plzeň: ŠKODA WELDING, s. r. o., 2011, 242 s.