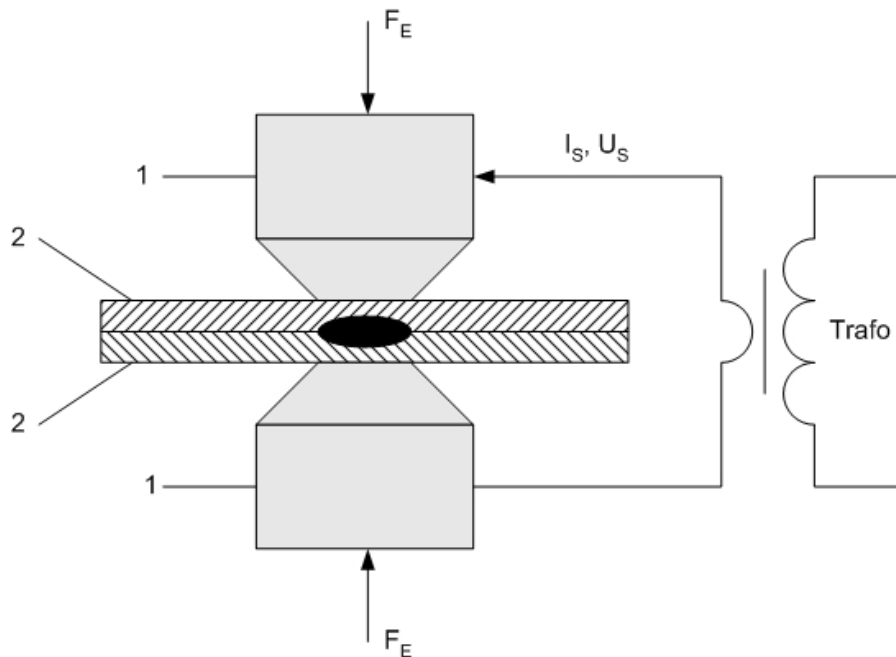


## Produktionstechnisches Praktikum Widerstandsschweißen Vorbereitung

### Wirkprinzip

- hoher elektrischer Strom durchfließt einen zu schwach bemessenen Leiter, durch den Stoffwiderstand entsteht eine Erwärmung



1 Elektroden 2 Schweißteile (Bleche)  $I_s$  Schweißstrom  $U_s$  Schweißspannung  $F_E$  Elektrodenkraft

- in der Zeit  $t$  geleistete Arbeit  $W = U \cdot I \cdot t$  in [Ws] mit  $U = I \cdot R$

$$W = I^2 \cdot R \cdot t \text{ in [Ws]}$$

- bei Wechselstrom  $I = I_{\max} \cdot \sin \omega t$

- für sinusförmigen Wechselstrom  $I = I_{\max} / \sqrt{2}$

- die elektrische Arbeit von Ws entspricht der Wärmemenge in J

$$\text{(Joulesches Gesetz)} \quad Q = I_s^2 \cdot R_G \cdot t_s \text{ in [J]}$$

-  $I_s$  [A] Schweißstrom

-  $R_G$  [ $\Omega$ ] Gesamtwiderstand

-  $t_s$  [s] Schweißzeit

- nicht alle Wärme fließt in den Schweißpunkt

- Teil geht in stark wassergekühlter Elektrode verloren

- Teil wird in Werkstückumgebung abgeführt

- bei längeren Schweißzeiten muß die Wärmestrahlung beachtet werden

## Widerstand des Schweißgutes

$$\text{Gesamtwiderstand } R_G = \sum R_{St} + \sum R_K$$

$R_{St}$  – Stoffwiderstand im Werkstück selber

$R_K$  – Kontaktwiderstand

- an Kontaktflächen

> zwischen oberer Elektrode + Blech

> zwischen Blech + Blech

> zwischen unterer Elektrode + Blech

## Stoffwiderstand $R_{St}$

- wird beeinflusst durch:
  - physikalische Eigenschaften des WST
  - Größe und Gestalt der Strombahn im Schweißgut
  - Temperatur der Strombahn
- Spurenelemente und Legierungselemente erhöhen den Widerstand gegenüber reinem Metall
  - bei steigender Temperatur verringert sich der Unterschied jedoch, und wird bei hohen Temperaturen praktisch vernachlässigt
- Widerstand steigt mit steigendem Kohlenstoffgehalt
  - $\rho = 0,10 \text{ } (\Omega\text{mm}^2)/\text{m}$  bei 0% C-Gehalt
  - $\rho = 0,15 \text{ } (\Omega\text{mm}^2)/\text{m}$  bei 1,2% C-Gehalt
- Zulegierung von Silicium steigert den Widerstand erheblich
- Erhöhung des Widerstandes bei technischen Metallen wird durch Kaltverformung oder Abschreckung erhöht

- kann durch Wärmebehandlung rückgängig gemacht werden

$$R_{St} = \frac{\rho \cdot l}{A} \text{ in } [\Omega]$$

-  $l$  [ m ] Länge des Leiter

-  $A$  [  $\text{mm}^2$  ] Querschnitt des Leiter

-  $\rho \left[ \frac{\Omega\text{mm}^2}{\text{m}} \right]$  spezifische elektrische Widerstand

-  $R_{St}$  bei Punktschweißen mit zylindrischer Schweißbahn

$$R_{St} = \frac{\rho \cdot 2s}{\pi d^2 \cdot 250} \text{ in } [\Omega]$$

-  $2s$  [ mm ] Länge Strombahn

-  $s$  [ mm ] Blechdicke

-  $d$  [ mm ] Durchmesser Strombahn ( Durchm. Elektrode )

- Durchmesser  $\uparrow$  Widerstand  $\downarrow$

- Temperatur  $\uparrow$  Widerstand  $\uparrow$ , bei reinem Eisen steigt bei einer Erhöhung von 20°C auf 800°C der Widerstand um rund das zehnfache

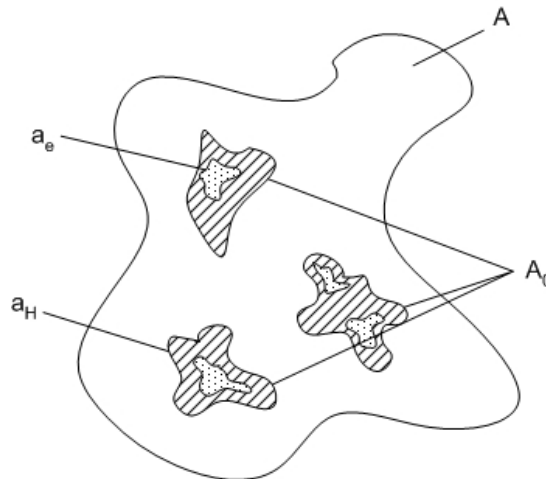
- Vergrößerung des Widerstandes kann durch  $\rho_T = \rho_{RT} (1 + \alpha(T - 20))$  berechnet werden

-  $\rho_T \left[ \frac{\Omega\text{mm}^2}{\text{m}} \right]$  spez. Elektr. Widerstand bei Temperatur °C

-  $\rho_{RT} \left[ \frac{\Omega\text{mm}^2}{\text{m}} \right]$  spez. Elektr. Widerstand bei Raumtemperatur °C

-  $\alpha$  [  $\text{K}^{-1}$  ] Temperaturkoeffizient

- Kontakt- und Übergangswiderstand ist die Bezeichnung für den Widerstand zwischen zwei Leitern durch die Strom fließt
- werden zwei Bleche durch eine Kraft zusammengepresst, so verformen sich diese Bleche plastisch bzw. elastisch an Ihren Berührungspunkten, bei weiterer Verformung entstehen bzw. werden neue Berührungspunkte beansprucht
- . die wahre Kontaktfläche entspricht nicht der theoretischen Fläche, da es praktisch nicht möglich ist ebene Flächen herzustellen



- A scheinbare Kontaktfläche  $A_0$  wahre Kontaktfläche  $a_e$  fremdschichtfreie Einzelfläche  $a_H$  Fremdschicht
- der Kontaktwiderstand setzt sich aus Haut- und Energiewiderständen zusammen

$$R_K = R_H + R_e \text{ in } [\Omega]$$

- die den Hautwiderstand hervorrufenden Fremdschichten sind Oxidhäute, Fettschichten oder andere fremdartige Ablagerungen
- bei steigender Elektrodenkraft wächst die wahre Kontaktfläche, wobei der Kontaktwiderstand sinkt
- durch den Schweißstrom werden in den verschiedenen Kontaktpunkten unterschiedliche Wärmeentwicklungen hervorgerufen
  - dadurch kann es passieren, daß einzelne Kontaktpunkte schmelzen und der Elektrodenkraft keinen Widerstand mehr entgegensetzen können
- der Kontaktwiderstand erstreckt sich vom Beginn des Stromflusses bis hin zum ersten Aufschmelzen der Oberflächenschicht
  - danach hat der Kontaktwiderstand keinen Einfluß mehr auf den Erwärmungsprozess
- beim Punktschweißen ist immer mit einer höheren Elektrodenkraft zu schweißen, um gleichmäßige Punktfestigkeit zu erzielen
- meist besteht die Ansicht, daß der Kontaktwiderstand Blech-Blech größer sein muß als Blech-Elektrode, dies muß nicht immer so sein:
  - bei balligen Elektroden und festen Werkstoffen reduziert sich die Fläche und der Kontaktwiderstand steigt
  - bei festen Werkstoffen reduziert sich die Verformung, somit der Kontaktwiderstand Blech-Blech

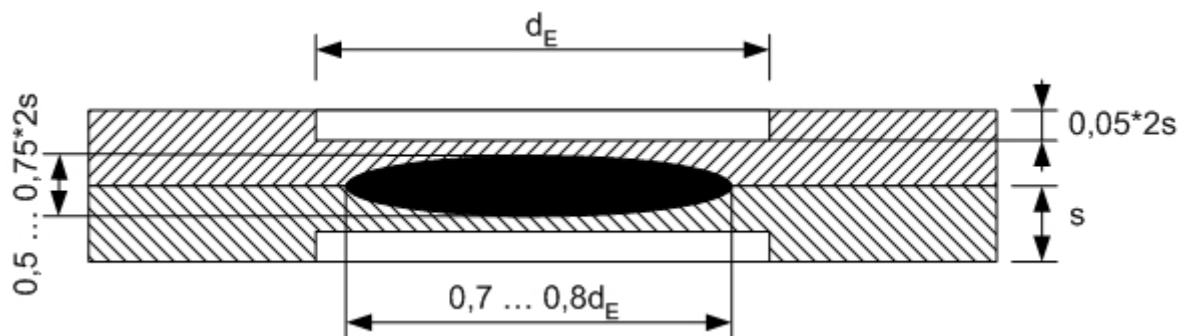
### **Kontaktwiderstand und Oberflächenzustand**

- Oxidschichten setzen dem Schweißstrom einen Widerstand entgegen, der unter Umständen so groß sein kann, daß kein Stromfluß zustande kommt

- um einen Stromdurchfluss zu erreichen muß die Oxidschicht durchbrochen werden
  - durch Verwendung von balligen Elektroden kommt es zu einer Oberflächenvergrößerung wodurch die Oberfläche aufbricht
  - je dünner die zu brechende Schicht ist, desto mehr Risse werden entstehen
  - durch das Aufbrechen verringert sich der Kontaktwiderstand Elektrode-Blech, wodurch der Stromfluß steigt
- durch plane Elektrodenspitzen werden die Schichten nur zusammengedrückt, nicht gesprengt
  - zu dicke Oxidschichten reißen unter Umständen auch nicht bei hohen Elektrodenkräften, hier ist ein Entfernen der Oxidschicht notwendig
  - mögliches Entferungsverfahren: Beizen
    - o Zeitabstand Beizen zu Schweißen zu gering wie möglich

### Widerstandspunktschweißen

- Zuführung des Schweißstromes mit stabförmigen Elektroden, welche auch Kraft bereitstellen
- nach vollem Anliegen der Kraft fließt Schweißstrom
- an der Berührungsstelle der Bleche entsteht ein geschmolzener Kern, der von einer plastischen Zone umgeben ist
- der Durchmesser der Schweißstelle hängt vom Durchmesser der Elektrode ab, bei guter Schweißung rund 70 – 80% von  $d_E$



s Blechdicke  $d_E$  Durchmesser der Elektrode

- die Höhe des Schweißpunktes soll nicht mehr als 50 – 70% und die Tiefe des Elektrodeneindrucks nicht mehr als 5% der zweifachen Blechdicke betragen

### **Schweißwerte**

- die Höhe des Schweißstromes ist bestimmt durch die Sekundärspannung und den Gesamtwiderstand im sekundärkreis
- Stromnebenschlüsse entstehen, wenn Schweißpunkte einen zu geringen Abstand haben, an dem Punkt steht nicht der ganze Schweißstrom zur Verfügung, da ein Teil durch den bereits hergestellten Punkt fließt
  - die Folge ist ein kleinere Punkt, mit geringerer Festigkeit
  - Abstand: Stahl 3-4 fache, Alu- und Kupferlegierung 5-6 fache des Punktdurchmessers
  - $d \approx 5\sqrt{s}$
- Schweißzeiten: Stahl 0,1 bis 2s

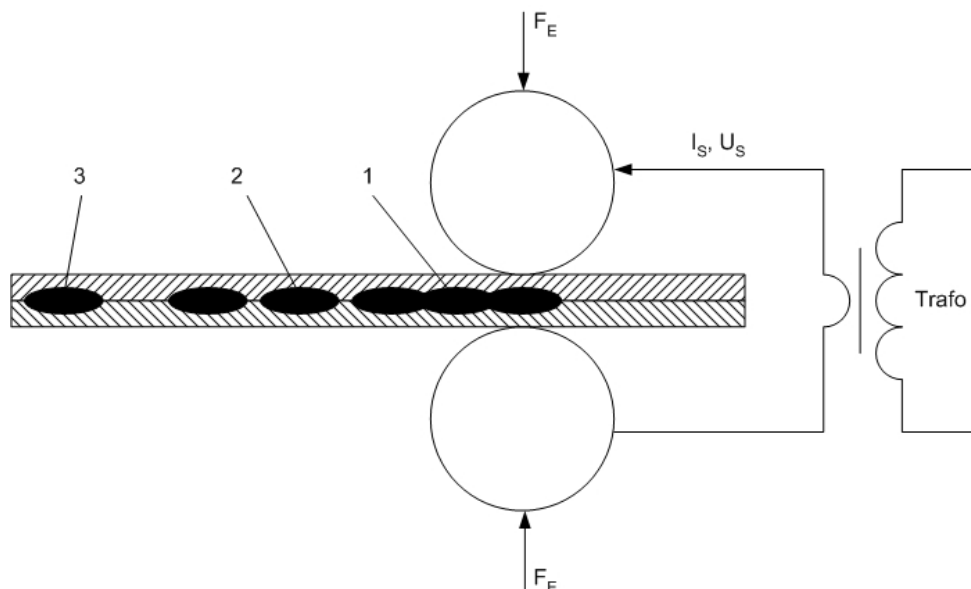
- bei zu geringen Elektrodenkräften wird die Blechsteifigkeit nicht überwunden, wodurch ein sicheres Aufliegen der Werkstücke nicht gewährleistet werden, es bildet sich ein Schmorkontakt, welcher unter Umständen auch zu Brandlöchern führen kann
- bei steigender Elektrodenkraft nimmt besonders bei Leichtmetallen die Neigung zur Lunkerbildung und Rißbildung im Schweißpunkt ab
- hohe Druckkräfte verhindern außerdem das Abheben der Elektroden infolge elektrodynamischer Kräfte

## Anwendungen

- kohlenstoffarme Stähle
- legierte Stähle
- Leichtmetalle ...
- Herstellung von Feinst- und Mikroschweißverbindungen [Feinpunktschweißmaschinen]
- Hochleistungspunktschweißmaschinen für Einimpuls- bzw. Mehrimpulsschweißungen

## Widerstandsnahtschweißen

- ist ein Reihenpunktschweißen, indem die Elektrode durch Elektrodenrollen ersetzt wurde
- Steppnähte > großer Punktabstand
- druckfeste und dichte Nähte > Punkte überlappen sich



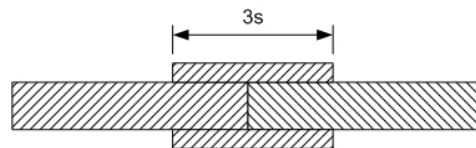
1 Dichtnaht 2 Festnaht 3 Heftnaht

- Nahtarten:
- Dichtnaht [ Schweißpunkte überlagern sich gegenseitig, maximaler Punktabstand 3 mm ]
  - Festnaht [ zwischen den Punkten sind einzelne Zwischenräume vorhanden, maximaler Punktabstand 10 mm ]
  - Heftnaht [ zwischen den einzelnen Punkten sind größere Zwischenräume, Punktabstand 30 – 50 mm ]

- Elektrodenrollen müssen neben Stromzufuhr und Kraftzufuhr auch noch der Werkstofftransport übernehmen
- bei Stahl genügt es nur eine Rolle anzutreiben, aufgrund der Reibung wird die zweite mitbewegt
- bei NE-Metallen müssen beide Rollen angetrieben werden, um ein Rutschen zu vermeiden
- aufgrund der Nebenschlußwirkung sind hier die Blechdicken geringer als beim Punktschweißen [ Grenze sind 4 mm Dicke eines Bleches ]
- Nahtschweißen ohne Stromunterbrechung
  - nur bei sauberen Blechen
  - bis Blechdicke  $< 1\text{ mm}$
  - bei unebenen Blechen besteht die Gefahr der Stromunterbrechung, welche zu Brandlöchern führen kann
- Nahtschweißen mit Stromunterbrechung (Wechselstrom)
  - für hohe Vorschubgeschwindigkeiten
  - Art 1) Schweißen mit konstanter Geschwindigkeit der Rollen
  - Art 2) Schweißen bei Stillstand der Rollen

### Nahtformen

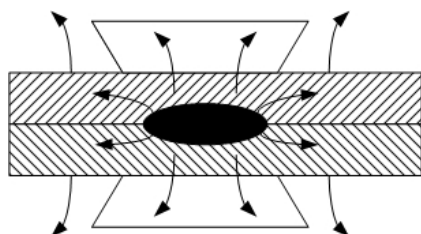
- Überlappstoß ( Stoßlänge =  $5 \cdot \text{Blechdicke}$  )
- Kurzer Überlappstoß ( Stoßlänge = Blechdicke )
- Folienstumpnaht



### Anwendungen

- Prinzip ähnlich wie Punktschweißen, jedoch höhere Anforderung an elektrische Leitfähigkeit, Wärmeempfindlichkeit und Oberflächenbeschaffenheit

### Wärmeverteilung Punktschweißen



- 1 gesamte erzeugte Wärme
- 2 Schweißwärme
- 3 Wärmeableitung in Grundwerkstoff
- 4 Wärmeableitung durch Elektroden
- 5 Wärmeableitung an umgebende Luft

