

Qualität, Stabilität und Wirtschaftlichkeit des Fügeprozesses - Oft entscheiden Details

Automatisiertes Widerstandsschweißen von Kupferwerkstoffen



15. Werkstoff-Forum

Hannover Messe, 17.04.2015

Dr.-Ing. Dominic Gruß, Phoenix Feinbau GmbH & Co. KG

Agenda

- Phoenix Contact
- Widerstandsschweißen von Cu-Werkstoffen
- Kabelschweißen
- Einflussgrößen auf Qualität und Prozessstabilität
- Anlagentechnik
- Prozesstechnik
- Zusammenfassung

PHOENIX CONTACT Unternehmensgruppe und Produkte

Hall 9, Stand F40
(Main stand)



Komponenten und Lösungen für Automation

- Kontakttechnik
- Steckverbinder
- Überspannungsschutz
- Steuerungstechnik
- Sicherheitstechnik
- Stromversorgung

Unternehmensdaten

- Gründung: 1923
- Stammsitz: Blomberg (NRW)
- Mitarbeiter: 3.700 / 12.300 weltweit
- Umsatz: Über 1,5 Mrd. Euro 2011
- Weltweit über 80 Vertriebsbüros
- Über 30.000 aktive Artikel
- Eigener Maschinen- und Werkzeugbau
- Kunststoff- und Metallteilefertigung
- Montage





Stanz-Biegeteile und Baugruppen für die Elektrotechnik

- Klemmtaschen
- Kontaktelemente
- Klemmfeder
- Schweiß- und Montagebaugruppen
- Kunststoffteile

Unternehmensdaten

- Gründung: 1953
- Sitz: Lüdenscheid
- Mitarbeiter: 750
- Eigener Werkzeugbau
- Stanzprodukte für die Elektrotechnik



- Ca. 3.000 aktive Stanzartikel
 - Cu-Werkstoffen
 - Stählen
- Ca. 2.000 aktive Werkzeuge
- Baugruppenfertigung
 - Schweißverfahren
 - Gewindeformen
 - Montage

Widerstandsschweißen von Cu-Werkstoffen

Anforderungen

Anforderungen an elektrotechnische Verbindungen

- Minimaler Übergangswiderstand
- Hohe mechanische Festigkeit
- Hohe Korrosionsbeständigkeit
- Hohe Schwingfestigkeit
- Hohe Thermoschockbeständigkeit

Anwendungsbereiche für Schweißverbindungen

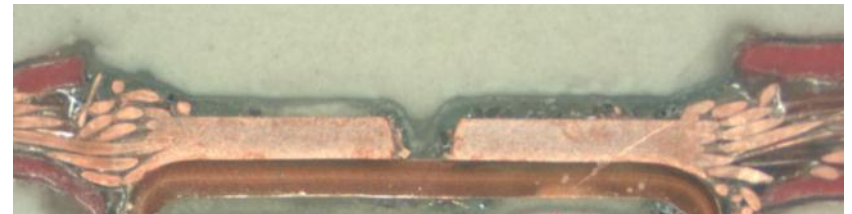
- Hochstromanwendungen
 - Solartechnik
 - Leistungselektrik

Verbindungsarten in der Elektrotechnik

- Kraftschlüssig: Schraub-, Crimp-, Klemm-, Schneidkontaktierung
- Stoffschlüssig: Schweiß-, Lötverbindungen



Crimpverbindung zwischen Kabel und Stanzteil



Längsschliff durch eine Widerstandsschweißung

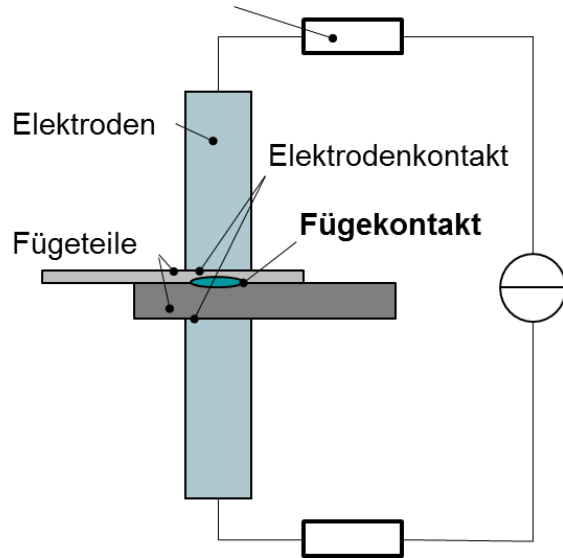
Anforderungen an den Fügeprozess

- Gute Automatisierbarkeit
- Stabile Qualität
- Hohe Taktung

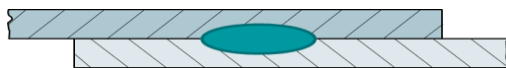
Widerstandsschweißen von Cu-Werkstoffen

Verfahrensprinzip, Einflussgrößen und Störeffekte

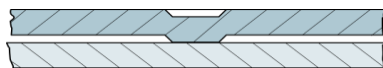
Leitungs- und Übergangswiderstände im Sekundärkreis



Widerstände im Sekundärkreis



Punktschweißen

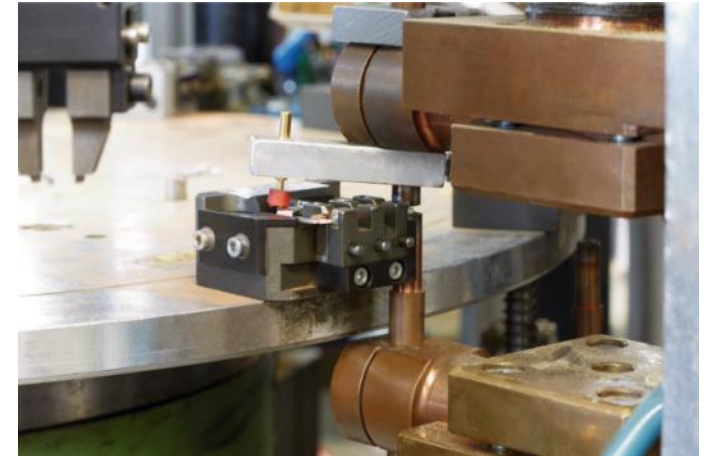


Buckelschweißen



Überlappschweißen

Gestaltprinzipie der Fügestelle



Schweißzange an einem Drehsteller

Vorteile des Widerstandsschweißens

- Gute Automatisierbarkeit
- Etablierte Anlagentechnik
- Keine Vorbehandlung und Zusatzstoffe erforderlich

Widerstandsschweißen von Cu-Werkstoffen

Besonderheiten

Der geringe elektrische Widerstand erfordert

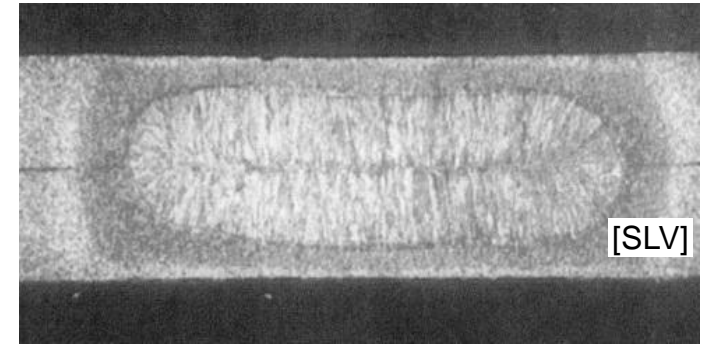
- Hohe Ströme (5 bis 30 kA)
- Wärmeeintrag über die Elektroden

Die hohe thermische Leitfähigkeit erfordert

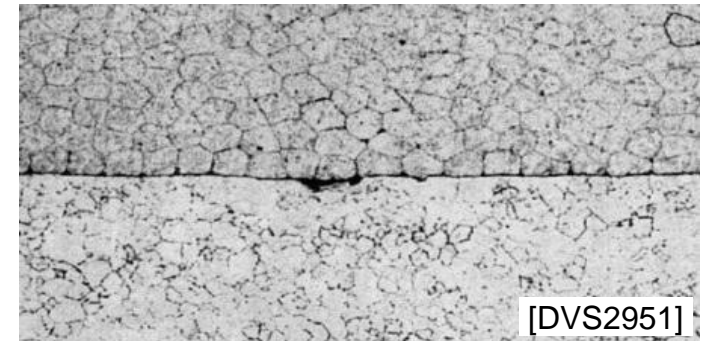
- Kurze Schweißdauer (5 bis 50 ms)
- Hohe Dynamik der Fügebewegung

Weiter Herausforderungen bei Cu-Werkstoffen

- Neigung zu Entmischung und Heißrissen (mehrphasiger Sn- und Zn-Legierungen)
- Entfestigung durch Wärmeeinwirkung



Typische Schmelzlinse einer Punktschweißung von Stahl

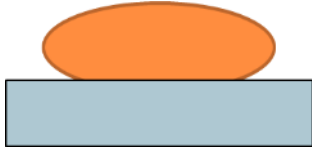


Diffusionsverbindung ohne Aufschmelzung bei Cu-Werkstoffen

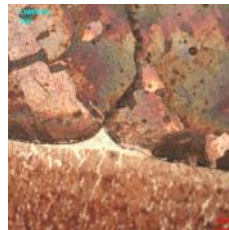
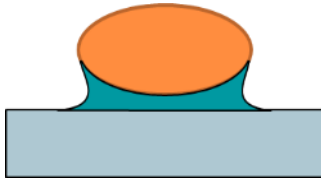
Bei gut leitfähigen **Cu-Werkstoffen** erfolgt der Wärmeeintrag primär von außen, so dass i.d.R. **keine beidseitige Schmelze im Fügebereich** erreicht werden kann.

Widerstandsschweißen von Cu-Werkstoffen

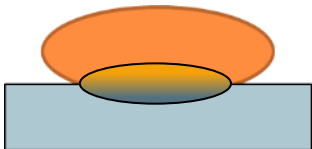
Bindungseffekte



Diffusions-Bindung zwischen Grenzschichten, Abhängig von Diff.-Koeffizient, Temperatur und Einwirkdauer sowie ggf. dem Konzentrationsgefälle



Einseitiges Schmelzen mit Diffusionsbindung
Eine sich bei (verzinnnten Teilen) bildende oder bereits vorhandene niederschmelzende Phase schmilzt und benetzt das andere Fügepartei



Beim
Kabelschweißen
i.d.R. nicht erreichbar

Beidseitiges Schmelzbad mit Vermischung
Aufschmelzen beider Fügepartner, Vermischung und Erstarrung des gemeinsamen Schmelzbades

Kabelschweißen Prozesskette

Prozessfolge

Mechanische
Vorbereitung der
Kabelenden



Widerstands-
kompaktier-
schweißen



Widerstands-
fügeschweißen

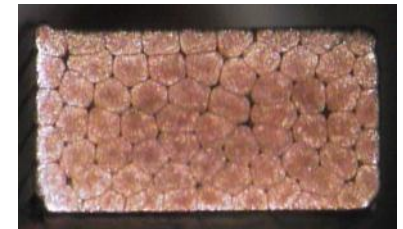
Störeinflüsse

- Innere Spannungen
- Abweichungen von Längen- und Leiterquerschnitt
- Reste des Isoliermaterials zwischen den Litzen
- Längenänderung
- Gratbildung
- Kompaktier-Dichte
- Kerbwirkung
- Konstruktive Einflüsse
- Fertigungsseitige Einflüsse

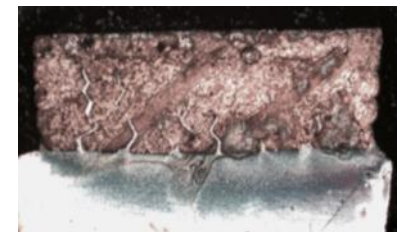


*Rückstände von Isoliermaterial
in druckisoliertem Kabel*

Kabelkompaktierung



Kabelschweißung



Das Kompaktierergebnis hat großen Einfluss auf Schweißqualität und Prozessstabilität.

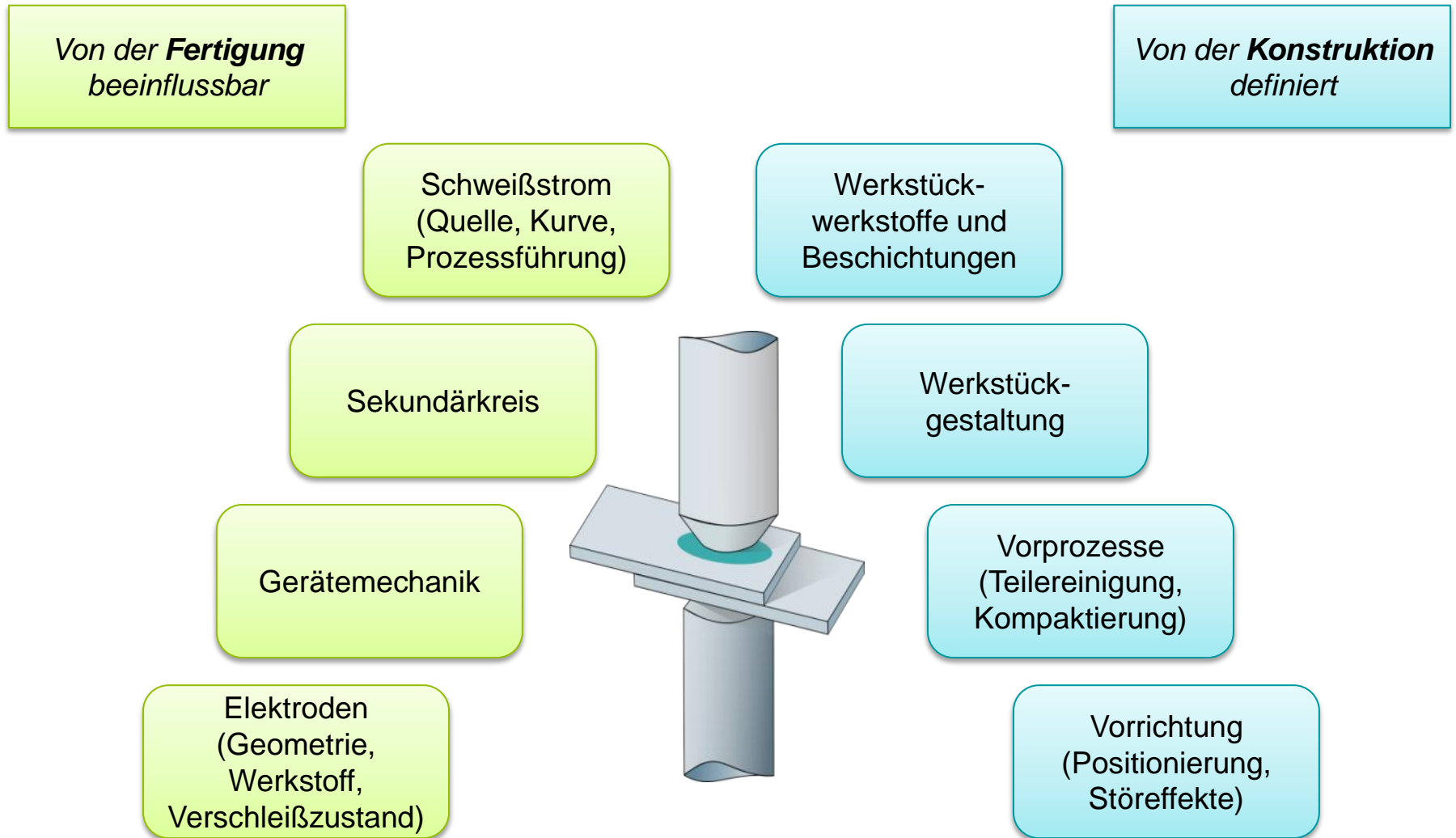
Kabelschweißen

Anlage zum Kabelkompaktieren



Prozesseinflussgrößen auf Qualität und Prozessstabilität

Übersicht



Anlagentechnik

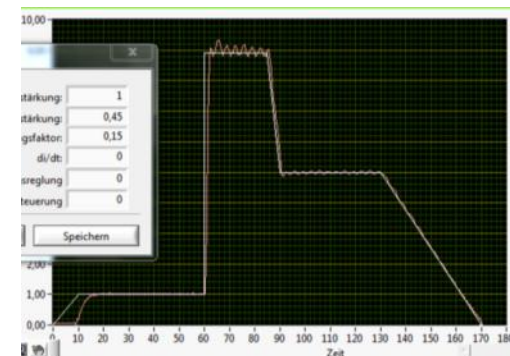
Schweißstrom

Stromquelle

- **AC-Transformator (50 Hz)**
 - Langsamer Stromanstieg
 - Für lange Schweißdauern (>20 ms)
 - Energieeintrag nicht regelbar
- **DC-Mittel-/Hochfrequenz-Inverter (1-20 kHz)**
 - Schneller Stromanstieg
 - Für kurze Schweißdauern (>10 ms)
 - Energieeintrag **regelbar**
- **Kondensatorentladung (KE) (f. Sonderanwend.)**
 - Sehr schneller Stromanstieg
 - Für sehr kurze Schweißdauern (>3 ms)
 - Energieeintrag nicht regelbar

Anwendungen

- Widerstansschweißungen mit langen Schweißdauern
- Kabelkompaktieren
- Hartlöten mit Lotzusatz
- Widerstansschweißungen kleinerer bis mittlerer Querschnitte

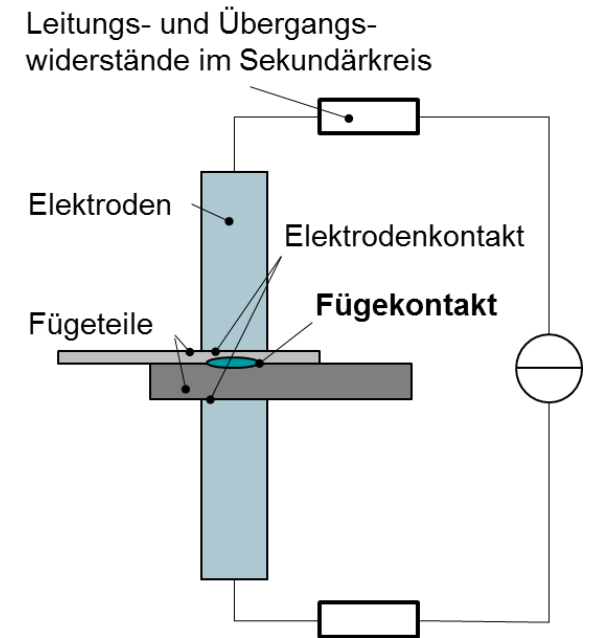


Typische Stromkurve eines 1 kHz DC-Inverters

Anlagentechnik

Sekundärkreis

- **Schwankungen der Ohm'schen Widerstände**
 - Oxidation von Kontaktflächen
 - Temperaturschwankungen
 - Reduzierung von Schraubenvorspannkräften
- **Querschnittsänderungen durch Risse**
 - Elektromagnetisch induzierter Schwingungen
 - Mechanischer Wechsel-Beanspruchung durch Zangenbewegung (Strombänder)
- **Veränderungen der Induktivität im Sekundärkreis**
 - Geometrische Veränderungen des Sekundärkreises
 - Einflüsse durch ferromagnetische Masse (Magnetisierungsverluste bei Wechselstrom)



Widerstände im Sekundärkreis

Durch Abstimmung von Artikelgestaltung , Anlageneinstellungen und Prozessparametern können Prozessstabilität und Standmenge deutlich gesteigert werden.

Anlagentechnik

Schweißmechanik

- **Pneumatisch**
 - Mäßige Dynamik mit hoher Dämpfung
 - Nachsetzbewegung ist abhängig von vielen instabilen Einflussfaktoren wie Luftdruck, Reibung usw.
- **Mechanisch** (meist mit pneumatischer Bewegung)
 - Höchste Dynamik
 - Nachsetzbewegung wird passiv über ein Federelement eingestellt
- **Servo-elektrisch**
 - Hohe Dynamik
 - Nachsetzbewegung wird aktiv kraft- oder wegabhängig geregelt od. zeitgesteuert
 - Erweiterte Möglichkeit zur Prozessüberwachung



Pneumatischer Schweißkopf mit mechanischer Feder für die Nachsetzbewegung
[Fa. Strunk Connect GmbH & Co. KG]

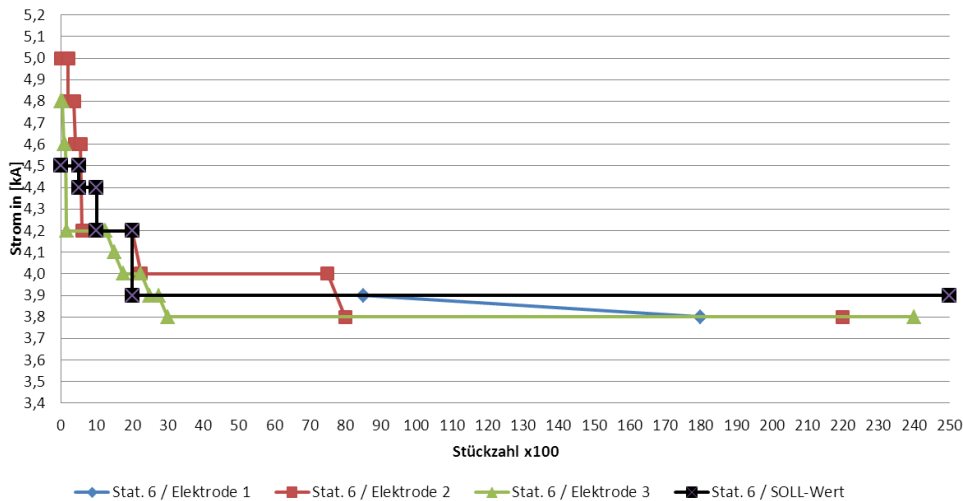
Wichtig beim **Cu-Schweißen** ist eine **schnelles Nachsetzen** aufgrund der hohen Abkühlgeschwindigkeit. Reine Pneumatiksysteme sind oftmals zu langsam.

Anlagentechnik

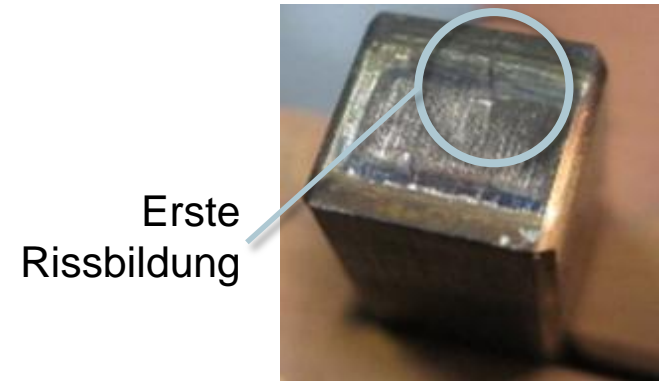
Einfluss der Elektroden

Wichtige Aspekte der Gestaltung

- Werkstoffauswahl
- Kurze ausgespannte Länge
- Großer Querschnitt mit geeigneter Kontaktfläche
- Einwandfreie Spannflächen



Idealer Schweißstrom in Abhängigkeit der Standmenge



Elektrodenkontaktfläche mit erstem Anriss

Verschleißeffekte

- Oxidation
- Verschweißungen mit dem Werkstück
- Temperatur (-wechselbelastung)
- Rissbildung und Ausbrüche
- Kriechen

Korrektur des Stromwertes in Anhängigkeit des Verschleißzustandes ist vorteilhaft.

Prozesstechnik

Qualität und Prozessstabilität

Anschmelzung

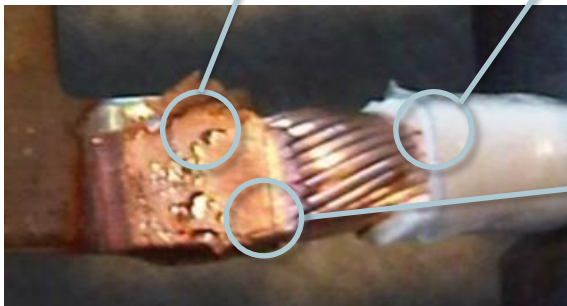
- Schädigung der Elektroden
- Kurzschlussgefahr durch Grat

Überhitzte Isolierung

- Aggressive Emissionen
- Schädigung der Elektroden

Kerbwirkung durch scharfe Elektrodenkante

- Querschnittsreduzierung
- Kurzschlussgefahr durch abstehende Litzen



Ungenügende Schweißqualität



Visuell gutes Schweißergebnis

Erreichbare Prozessgüte

- Standmenge der Elektroden > 50.000 Schweißungen
- Prozessfähigkeit Cpk >> 1,66 auch bei anspruchsvollen engen Spezifikationsgrenzen

Durch Abstimmung von Artikelgestaltung , Anlageneinstellungen und Prozessparametern können Prozessstabilität und Standmenge deutlich gesteigert werden.

Widerstandsschweißen von Cu-Werkstoffen

Zusammenfassung

- **Widerstandsschweißprozess bei Cu-Werkstoffen** weicht hinsichtlich **Energieeintrag** und **Bindeeffekten** deutlich ab von der klassischen Schmelzschweißung wie z.B. bei Stählen.
- Die den Prozess **beeinflussenden Faktoren sind vielfältig** und stehen in komplexen Zusammenhang.
- Insbesondere beim **Kabelschweißen** ist mit vielen **Störeinflüssen** zu rechnen.

Nur durch genaue **Betrachtung von Werkstück, Anlage und Prozessführung** sind - auch bei hohen Anforderungen im Serienbetrieb – **dauerhaft hohe Fügequalitäten Prozessfähigkeiten** erreichbar.



Dr.-Ing. Dominic Gruss
Produkt- und Prozesstechnologie

Tel. +49 2351 4306 30-343
Dominic.Gruss@phoenixcontact.com