



Mit finanzieller Unterstützung
durch das EU-Programm
Erasmus+



MODUL T

Weich- und Hartlöten

Weichlöten und Hartlöten - Eigenschaften



Weichlötten und Hartlötten - Eigenschaften

- Durch Lötten ist es möglich, eine nicht lösbare Verbindung zu bilden. Somit kann neben Schweißen, Nieten und Kleben auch ein anderes Verfahren hergestellt werden.
- Im Gegensatz zum Schmelzschweißen sind die Arbeitstemperaturen niedriger. Dies bedeutet, dass das Basismaterial immer im festen Zustand bleibt.
- Als Zusatzmaterial wird ein Lot mit einem niedrigeren Schmelzpunkt als ein Verbundmaterial verwendet.



Bildung der Lötstelle

- Die Lötverbindung wird aus drei Materialien gebildet, nämlich Grundmaterial (gelötet), Hilfsmittel (Lot) und Hilfsmittel (Flussmittel).
- Das erwärmte Lot entsteht durch Gravitations- oder Kapillarkräfte in den Lötspalt, wo es das metallische Reinigen auf die Löttemperatur der erwärmten Lotoberflächen benetzt.
- Bindungs- und Lötatome schaffen Bedingungen für die Bildung von Adhäsions- und Kohäsionskräften.
- Bei Löttemperaturen tritt Löten und Diffusion von gelöteten Materialien und Lot auf.
- Nachdem das Lot abgekühlt ist, wird eine nicht lösbare Verbindung gebildet. Sein Typ hängt von der Löslichkeit des gelöteten Materials und des Lots im festen Zustand ab.
- Die Festigkeit der Lötverbindung ist im Allgemeinen höher als die des Lots, abhängig von der Art und Größe der Verbindung.
- Für das Löten sind normalerweise spezielle Verbindungsarten erforderlich, die meist so ausgelegt sind, dass die Lötbeanspruchungen so gering wie möglich sind.

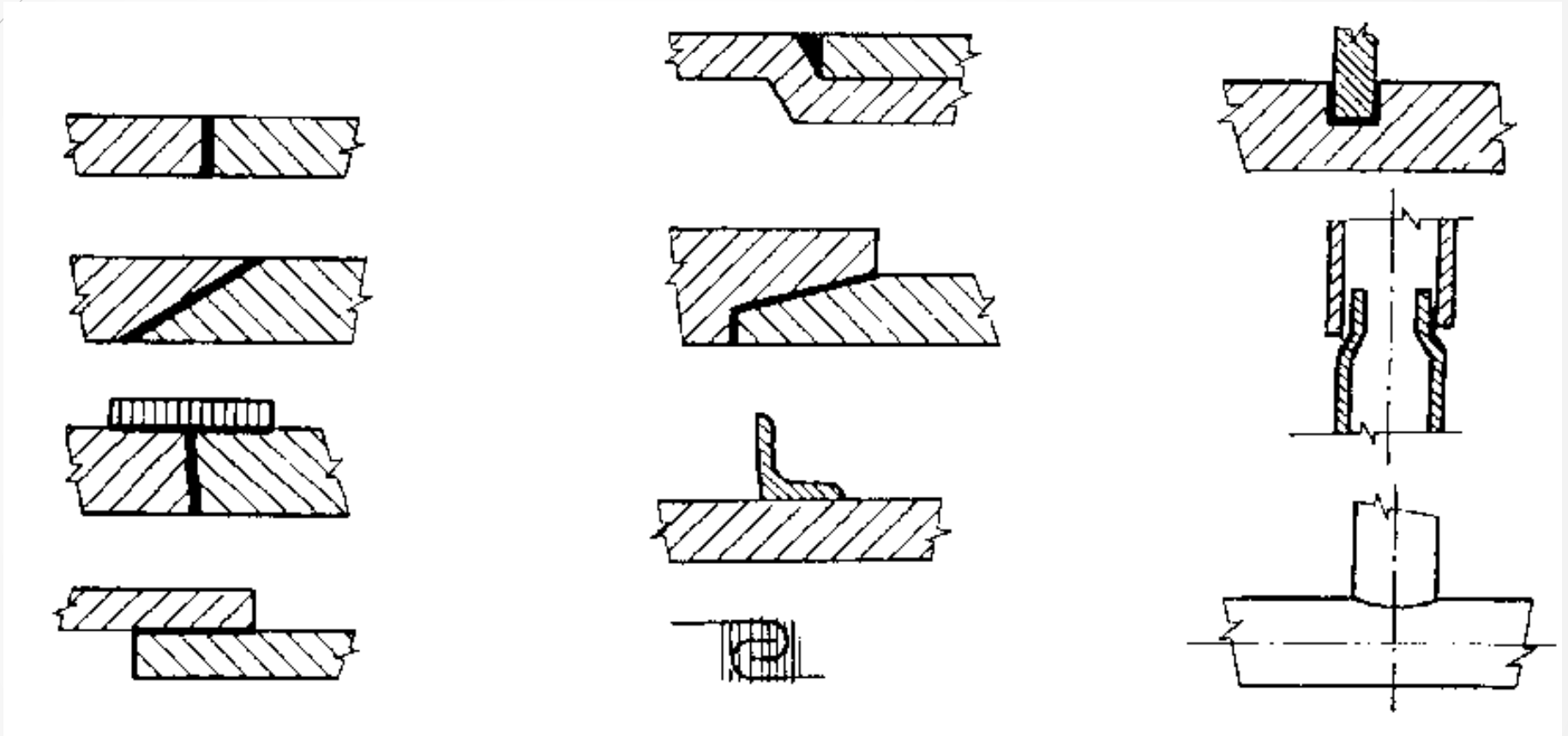


Weichlöten - Verbindung der Rinne mit dem Leckagerohr





Arten von Lötverbindungen



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. 215.



Vorteile des Lötens

- hohe Produktivität
- hohe Reproduzierbarkeit der Produkte
- hohe Maßgenauigkeit, Anschlussmöglichkeit von Lötens mit Wärmebehandlung
- geringere thermische Belastung von gelöteten Materialien, geringere thermische Spannungen und strukturelle Änderungen
- bessere Arbeitsumgebung, schönes Aussehen der Fuge
- Möglichkeit der Automatisierung, Möglichkeit des Lötens auch an unzugänglichen Stellen.



Löten auf Arbeitstemperaturen

- Entsprechend der Schmelztemperatur des Lotes wird das Löten in zwei Gruppen unterteilt :
 - Weichlöten (Schmelztemperatur des Lotes bis $450\text{ }^{\circ}\text{C}$),
 - Hartlöten (Schmelztemperatur über $450\text{ }^{\circ}\text{C}$),
 - Eine spezielle Untergruppe des Lötens ist das Hochtemperaturlöten mit einer Löttemperatur über $950\text{ }^{\circ}\text{C}$.



Löten

- Das Löten kann auch nach anderen Kriterien unterteilt werden, wie z. B. der Erhitzungsmethode, der Lötmittelart, dem Mechanisierungsgrad oder Automatisierungsgrad, der Umgebung, der Verbindungsmethode usw.
- Abhängig von der Art des Transports des Lotes zum Lötspalt wird das Löten in Kapillare und Abscheidung (Gravitation) unterteilt.
- Beim Löten müssen die Schmelztemperaturen der verwendeten Materialien die Bedingung erfüllen, dass die Arbeitstemperatur des Lötens 30 ° C bis 100 ° C über der Lotlöslichkeitstemperatur liegt.



Anforderungen an LötKolben

- Der kleinste Temperaturbereich des Schmelzens (ideal ist die eutektische Zusammensetzung), gute Benetzbarkeit, Fließfähigkeit und Kapillarität
- Die im Lot enthaltenen Elemente dürfen die intermetallische Phase mit dem gelöteten Material nicht aufhellen
- Das kleinste elektrochemische Potential zwischen Lot und Lot.



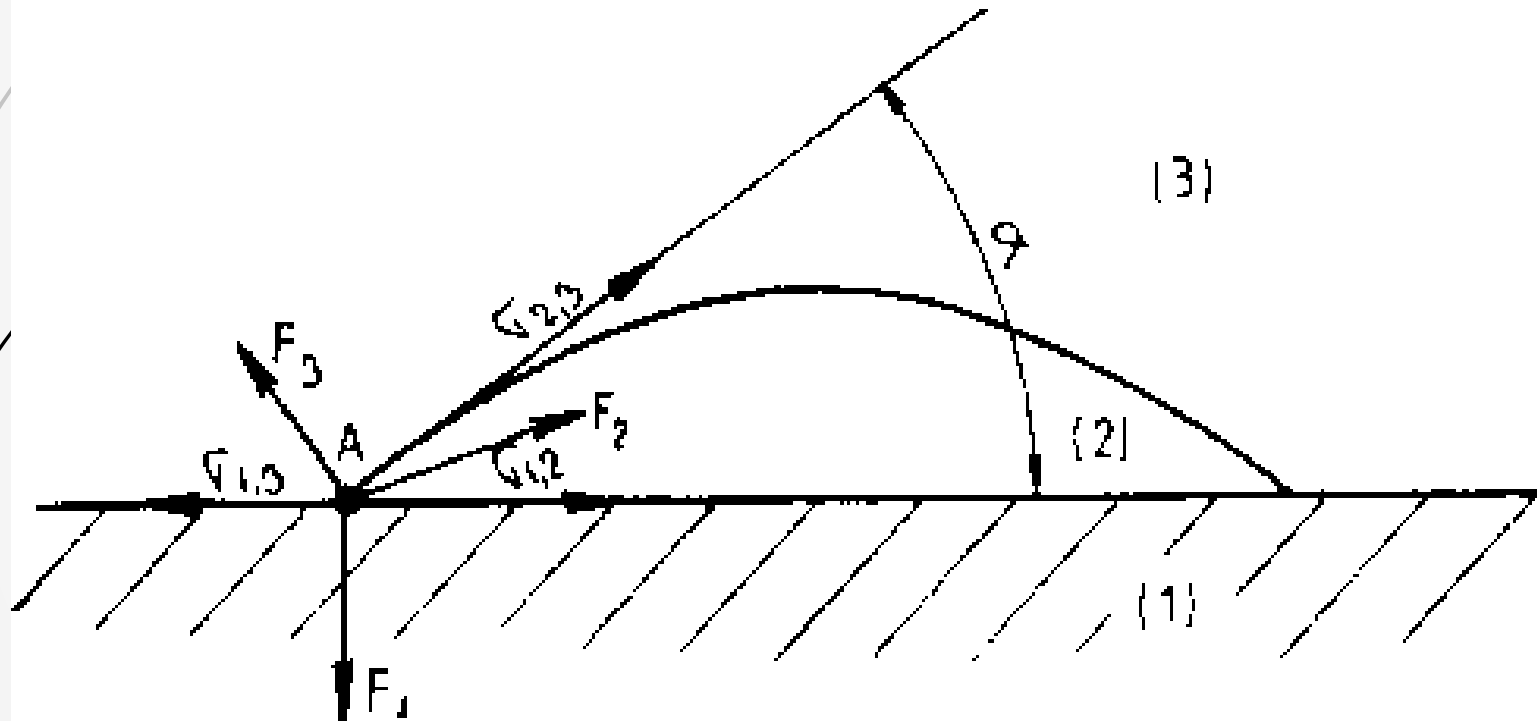
Eigenschaften des LötKolbens

- ▶ Nasslöten
 - ▶ Tränkbarkeit ist definiert als die Fähigkeit des Lots, bei der Arbeitstemperatur an der sauberen Oberfläche des gebundenen Materials anzuhaften.
 - ▶ Dies ist eine der wichtigsten Eigenschaften, die die Qualität der Lötverbindung grundlegend beeinflusst.
 - ▶ Durch die Benetzung wird die Oberflächenspannung von geschmolzenem Lot erheblich beeinflusst.
 - ▶ Bei der Benetzung erfolgt ein Lottropfen in einer Form, in der die Oberflächenenergie des Systems (Basismaterial - Lötflussmittel) erreicht wird.

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. 216.



Spannungen und Kräfte im Grundwerkstoffsystem - Lot - Umgebung



- 1. gelötetes Material,
- 2. löten
- 3. Umgebungsatmosphäre - Umgebung
- F_1 - Adhäsionskräfte;
- F_2 - Kohäsionskräfte;
- F_3 - Anziehungskräfte

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. 216.



Spannungen und Kräfte im Grundwerkstoffsystem - Lot - Umgebung

- $\alpha = 0^\circ$ bis 15° - perfekte Benetzbarkeit (geeignet für Kapillarlöten)
- $\alpha = 15^\circ$ bis 75° - gute Benetzbarkeit (geeignet zum Löten)
- $\alpha = 75^\circ$ bis 90° - Lötlot (noch ausreichend zum Löten)
- $\alpha > 90^\circ$ - Lot nicht benetzend (ungeeignet für Lötprozesse)
- Die Benetzung hängt eng mit der Fließfähigkeit und dem Lotfluss zusammen.



Lösungsmittelflussrate

- Es ist die Fähigkeit des Lots, die größte Oberfläche des Lötmaterials abzudecken.
- Die Flussrate wird auch durch die benetzte Fläche bewertet.



Lötfähigkeit des Lotes

- Mischen ist definiert als die Fähigkeit des Lotes, den engen Spalt der Verbindung bei der Arbeitstemperatur durch Kapillarkräfte zu füllen.
- Die Größe der Kapillarkraft ergibt sich aus den Gesetzen der Hydromechanik.
- Die Anziehung der Kapillaren hängt von der Art des Lotes, seiner Oberflächenspannung, dem spezifischen Gewicht und der Größe des Verbindungsspalts ab.



Metallurgische Reaktionen beim Lötén

- ▶ Während des Lötens stehen das Lot und das feste Basismaterial für einige Zeit miteinander in Kontakt (je nach Art der Erwärmung einige Sekunden bis Minuten).
- ▶ Damit ist die wichtigste Annahme metallurgischer Reaktionen im Bereich der Fuge erfüllt.
- ▶ Abhängig von der Art des Lots und des Basismaterials können einige dieser Reaktionen am Rand ihres Kontakts auftreten :
 - ▶ Kleben,
 - ▶ gegenseitige Diffusion der Lot- und Basismaterialkomponenten,
 - ▶ Auflösen des Grundmaterials durch Lot,
 - ▶ Reaktion der Lötbestandteile mit dem Oberflächenoxid des Grundmaterials.

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. 217.



Metallurgische Reaktionen beim Lötén

- Eine Klebeverbindung wird als Bonding-Prozess bezeichnet, bei dem sich Lot und Basismaterial miteinander auflösen (z. B. Pb-Fe, Cu, Zn, Ni, Mo, Al, Ag-Fe, Cr usw.).
- Klebeverbindung wird verwendet, wenn sich die chemische Zusammensetzung der Verbundmaterialien nicht ändert, z. B. in der Elektronik.
- Die Klebeverbindung hat eine gute elektrische Leitfähigkeit, ist jedoch weniger fest.

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. 217.



Metallurgische Reaktionen beim Löten

- In den meisten Fällen werden Übergangszonen mit bestimmten Dicken durch Löten (durch Diffusion oder Auflösung) erzeugt, die andere chemische, physikalische und mechanische Eigenschaften aufweisen als die Verbundmaterialien.
- Im Allgemeinen können jedoch nicht alle oben genannten Bereiche in der Lötverbindung hergestellt werden.



Weichlote

- Weichlote zeichnen sich durch niedrige Betriebstemperatur und geringe Festigkeit (5 MPa) aus.
- Daher werden sie für Verbindungen eingesetzt, die nicht beansprucht oder wärmebelastet werden.
- Sie sind Schwermetalllegierungen (Sn, Pb, Cd, Sb, Bi) und bilden zwei Gruppen: Zinnlot, Speziallot.



Lötzinn

- Es gibt Zinn- und Bleilegierungen mit einer Arbeitstemperatur von 190 °C - 350 °C .
- Zinn ist ein Wirkstoff in diesen Lötmitteln und bietet eine gute Benetzbarkeit.
- Der Sn-Gehalt beeinflusst wesentlich die Lötqualität.
- Andererseits hat Blei eine schlechte Benetzbarkeit und reagiert nicht metallurgisch mit dem Basismaterial.
- Eine kleine Menge Zinn (mindestens 3% eines anderen Tensids (z. B. Sb), um die Lötoteigenschaften signifikant zu verbessern.
- Bei Zinnloten liegt der Zinngehalt zwischen 4% und 90%.
- Modernes Lot hat den minimalen Bleigehalt, um die negativen Auswirkungen auf die Umwelt zu reduzieren.



Weiches Lötzinn





Spezielle Weichlote

- Sie erfüllen besondere Anforderungen (z. B. Zuverlässigkeit und Dichtheit bei Tiefsttemperaturen, Korrosionsbeständigkeit in einer bestimmten Umgebung usw.).
- Dies sind zwei- oder mehrkomponentige Legierungen, die aus Sn und Pb bestehen, ebenfalls aus Cd und Zn, und ihre Zusammensetzung ist nahezu eutektisch.
- Durch Legieren mit anderen Elementen (Ag, Cu, Sb, Bi, In) wird Lot hergestellt, um spezifische Anforderungen zu erfüllen.

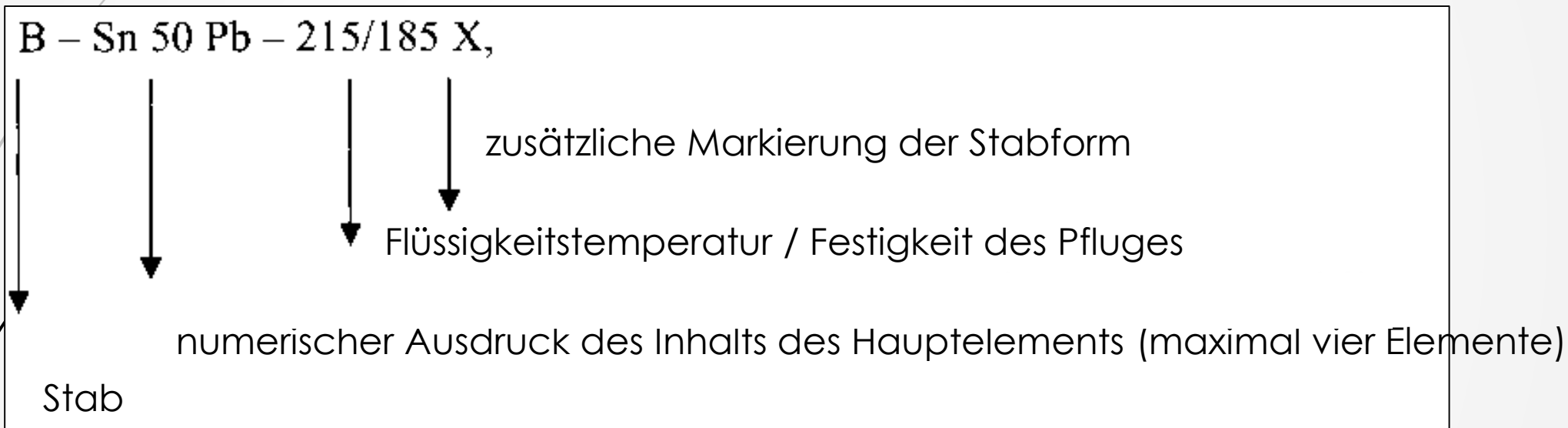


Zubehör für spezielle LötKolben

- Lötmittel für die Lebensmittel- und Kühlindustrie
- Lote für Elektrotechnik und Elektronik
- Lote zum Löten von Glas
- Lote für niedrige Löttemperaturen und thermische Sicherungen
- Modellieren von Lötungen zum Ausgleich von Unebenheiten (z. B. Karosserie).



Weichlötten-Kennzeichen





Hartlötten

- ▶ Hartlot hat eine Schmelztemperatur von mehr als 450 ° C.
- ▶ Dazu gehören Aluminium-, Kupfer-, Messing- und Silberlote.
- ▶ Aluminiumlote sind meist eutektische Legierungen Al und Si (Silumine) und dienen zum Lötten von Aluminium und seinen Legierungen.
- ▶ Kupferlote sind entweder reines Kupfer oder Kupfer mit 8% P oder 1% Ag, die zum Lötten von Stahl verwendet werden und bieten vakuumdichte Verbindungen.
- ▶ Messinglote werden üblicherweise zum Lötten von Kupfer, Stahl oder Grauguss und gehärtetem Gusseisen verwendet.
- ▶ Aufgrund des höheren Zn-Gehaltes ist es schwierig, vakuumdichte Verbindungen zu erhalten.
- ▶ Silberlote werden zum Lötten von Kupfer- und Edelstählen verwendet.



Hartlöten

- ▶ Unter den anderen Arten des Hartlötens müssen das Ni-basierte Lot (Löten von feuerfesten Stählen und nichtrostenden Stählen), Palladiumlot (Kernkraft, Elektronik, Gasturbinen) und Edelmetalllot genannt werden, die in der Zahntechnik und in der Produktion verwendet werden Schmuck
- ▶ Lote werden nach Verbraucherbedürfnissen in Form von gezogenen Drähten, Bändern, Folien oder als Granulat geliefert.
- ▶ Sie können auch mit einem Flussmittel oder einem schmelzgefüllten Rohr beschichtet sein.
- ▶ Die Kennzeichnung von Hartlötwerkzeugen ähnelt der Kennzeichnung von Weichlötmaschinen, z.
- ▶ B - Cu 60 Zn - 900/880 (Messinglot mit 80% Cu, Zn-Rückstand)



Flussmittel

- Die Aufgabe des Flussmittels besteht darin, eine Lotoberfläche vorzubereiten - Oxide und andere Verunreinigungen mit der Oberfläche zu entfernen und möglicherweise den Kontakt mit Lot auf die Oberflächenspannung zu reduzieren und die Benetzbarkeit und Fließfähigkeit zu verbessern.



Anforderungen an Flussmittel

- gute Benetzung von Basismaterial und Lot
- Die Schmelzreaktionstemperatur muss $50\text{ }^{\circ}\text{C}$ bis $150\text{ }^{\circ}\text{C}$ niedriger sein als die Schmelztemperatur des Lots
- Mindestviskosität bei Lötarbeitstemperaturen
- permanente Oberflächenspannung
- geringere Dichte als die Lötichte
- chemische Stabilität bei Raum- und Betriebstemperatur
- nach dem Löten leicht zu entfernen
- Gesundheitssicherheit.



Lötpaste





Flussmittel zum Weichlöten

- Organische Flussmittel - sie werden hauptsächlich in der Elektronik wie Kolophonium verwendet, in der Falle werden Fette verwendet
- Anorganische Flussmittel - dies sind überwiegend Lösungen von Ammoniumchlorid und Lösungen von Zinkchlorid.
 - Nachteil - ätzende Wirkungen, daher müssen die Rückstände der Flussmittel ordnungsgemäß entfernt werden.



Salmiak zum Löten mit der Lötspitze





Heiße Lötflusmittel

- ▶ Hartgelötete Oberflächen und Lote decken aufgrund der höheren Löttemperaturen schnell die zu entfernenden Oxide ab.
- ▶ Andererseits beschleunigt die höhere Löttemperatur jedoch die Reaktion zwischen dem Flussmittel und den Oxiden. In einigen Fällen kann das Löten ohne Flussmittel erfolgen, da die hohe Temperatur die Reduktion von Oxiden mit Wasserstoff oder Kohlenmonoxid ermöglicht (Löten mit atmosphärischen Öfen)..



Heiße Lötflussmittel

- Die Grundkomponente der meisten Bindemittel für das Löten mit Cu- und Ag-Lot ist Borax ($\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7$) und Borsäure, gefolgt von wirksamen temperaturreduzierenden Mitteln (Silikate, Phosphate, Carbonate, Chloride und Fluoride).
- Zum Hartlöten von Aluminiumlegierungen werden Flussmittel verwendet, die im Wesentlichen identisch mit Flussmitteln zum Aluminiumschweißen sind, d. H. Gemische von Alkalimetallchloriden und Fluoriden.
- Die Flussmittel liegen in Form von Pulvern oder Pasten vor. Es werden auch Flussmittel verwendet, die bei erhöhten Temperaturen verdampfen.
- Zum Löten in der Massenproduktion werden Sicherungen so wenig wie möglich verwendet und durch eine reduzierende Atmosphäre ersetzt.

Lötmethoden



Zum Schmelzen des Lots verwendete Wärmequelle

- ▶ LötKolben löten
- ▶ Flammenlöten
- ▶ Heißgaslöten
- ▶ Widerstandslöten
- ▶ Induktionslöten
- ▶ Laserlöten
- ▶ Elektronenstrahllöten
- ▶ In geschmolzenes Lot oder Flussmittel eintauchen
- ▶ Löten im Ofen
- ▶ Wellenlöten
- ▶ U.a.



Löten nach Umgebung

- Blasen in Luft, üblicherweise mit Flussmittel
- Löten in einem reduzierenden Gas, das mit hoher Affinität zu Sauerstoff die Menge an Oxiden auf der Lotoberfläche reduziert.
 - Das Flussmittel wird nicht verwendet.
- Löten in innerem Gas.
 - Es ist normalerweise frei von Flussmitteln. Internes Gas reduziert die Bildung von Oxiden während des Lötens.
- Vakuumlöten ohne Flussmittel.



Löten

- Vor dem Löten ist es in der Regel erforderlich, das Grundmaterial in geeigneter Weise vorzubereiten.
- Vorbereitung: Entfetten, mechanischer Behandlung durch Schleifen oder Strahlen oder chemische Zubereitung durch Beizen.
- Nach dem Beizen muss die Neutralisierung und das Spülen mit lauwarmem Wasser durchgeführt werden, und zwar in Bezug auf den optimalen Lötspalt und die gewünschte Formgenauigkeit des Lötteils.
- Nach dem Löten werden Lötstellen behandelt, Flussmittelreste entfernt und anschließend mit warmem Wasser gespült.
 - Nach dem Hochtemperaturlöten kann eine Wärmebehandlung erforderlich sein.



Defekte von Lötstellen und Löten von Materialien

- ▶ Die folgenden Fehler können bei Lötverbindungen auftreten:
 - ▶ Kaltverklebung, nicht benetzte Bereiche löten
 - ▶ Überhitzung (Lotdegeneration - Kornrauigkeit, Elementbrennen, hohe Eigenspannung)
 - ▶ Gaskavitäten (Luft, Wasserstoff, CO₂)
 - ▶ Lottropfen (überschüssiges Lot, großer Spalt in der Lötstelle)
 - ▶ Flussmittelrückstände
 - ▶ unzureichender Lötübergang
 - ▶ Risse - Schnelle Abkühlung der Fuge.
- ▶ Nicht alle Metalle können eine Lötverbindung mit den gewünschten Eigenschaften bilden.



Lötmaterialien

- Stahl
- Gusseisen
- Andere Metalle



Stahl

- ▶ Alle Stähle werden mit der richtigen Technologie und Methode gelötet.
- ▶ Unlegierte Baustähle: Löslichkeit hängt vom Kohlenstoffgehalt ab.
- ▶ Ein höherer C-Gehalt kann zu Poren im Lot führen.
- ▶ Es werden Cu- und Ag-Lote verwendet.
- ▶ Legierte Baustähle: Die Lötbarkeit hängt wieder vom Inhaltsstoffgehalt ab.
- ▶ Nebenwirkungen von Co, Ni, W.
- ▶ Bei höheren Cr-, Al-, Ti-, Si- und Mn-Gehalten, die Oberflächenoxide bilden, müssen besondere Bedingungen der Löttechnik beachtet werden.
- ▶ Mit Ni-LötKolben können hochlegierte Chrom-Nickel-Stähle gelötet werden.



Gusseisen

- ▶ Alle Arten von Gusseisen können durch Löten gelötet werden.
- ▶ Die Benetzbarkeit von Gussteilen verschlechtert den Graphit und sollte mit der Oberfläche durch Bürsten oder Schleifen entfernt werden.
- ▶ Günstigerweise Mn, Cr und Ni. Lötverbindungen aus Messinglot erreichen die Festigkeit des Kernmaterials der Cu-Legierung.
- ▶ Es ist möglich, Cu mit einem O₂-Gehalt von bis zu 0,1% zu löten.
- ▶ Mit einem höheren Sauerstoffgehalt entsteht in der Wasserstoffatmosphäre die sogenannte Wasserstoffkrankheit (Poren an den Korngrenzen), so dass es nicht möglich ist, diese Materialien in einer reduzierenden Atmosphäre zu verlöten.
- ▶ Für das Flammenlöten muss eine neutrale Flamme verwendet werden.
- ▶ Messing kann mit Ag-Lot gelötet werden.
- ▶ Bronze neigt zur Verflüssigung und muss daher mit Ag-Lot mit einer Arbeitstemperatur unter 800 ° C gelötet werden.



Andere Metalle

- Andere Metalle können mit Al, Ti, Ni, Be, Au, Ag, Mo, Zr, W und deren Legierungen verlötet werden.
- Sowohl keramische Materialien als auch Glas können gelötet werden.



Elektrischer LötKolben





Gaslötokolben





Fragen zum Nachdenken

1. Was ist das Prinzip des Lötens?
2. Wie zerfällt das Lötens in weich und hart?
3. Was ist das Flussmittel zum Lötens?
4. Welche Eigenschaften hat das Lot?
5. Was sind die Vorteile des Lötens?
6. Was sind die Arbeitstemperaturen für das Lötens?
7. Welche Verbindungsfehler können beim Lötens auftreten?
8. Welche Materialien können gelötet werden?
9. Was ist die Vorbereitung der Materialien vor dem Lötens?



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.
- ▶ 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.