

# Inhaltsverzeichnis

mit Bildhinweisen

- 1 Grundlagen für die Fertigung von Lötverbindungen
  - 1.1 Grundwerkstoffe für Lötbaugruppen
    - 1.1.1 Grundwerkstoffarten
      - ▶ Grundwerkstoffarten für Lötbaugruppen
    - 1.1.2 Metallischer Grundwerkstoff
      - ▶ Chemische Elemente – Vorkommen in der Erdkruste
      - ▶ Kreislauf der Werkstoffe
      - ▶ Metalle und Halbmetalle
      - ▶ Periodensystem der Elemente – Metalle und Halbmetalle
    - 1.1.2.1 Kompaktwerkstoff als metallischer Grundwerkstoff
      - ▶ Co(Ni)-Schmelzlötverbindung – Gefüge im Schliff
    - 1.1.2.2 Werkstoffverbund als metallischer Grundwerkstoff
      - ▶ Werkstoffverbund mit heterogener Löt:Löt-Verbindung
      - ▶ Leiterplatte als Werkstoffverbund mit elementarer Lötverbindung
    - 1.1.2.3 Verbundwerkstoff als metallischer Grundwerkstoff
      - ▶ Verbundwerkstoff mit heterogener Löt:Kleb-Verbindung
    - 1.1.2.4 Schaumwerkstoff als metallischer Grundwerkstoff
      - ▶ Schaumwerkstoff mit elementarer Schmelzlötverbindung
  - 1.2 Festkörperoberflächen und äußere Festkörpergrenzflächen
    - 1.2.1 Oberflächen des Festkörpers
      - ▶ Tiefenbereiche verschiedener Prozesse auf den Oberflächen von Festkörpern
      - ▶ Topologie einer realen Oberfläche
    - 1.2.2 Grenzflächen des Festkörpers
      - ▶ Vorbehandelte Grundwerkstoffgrenzflächen vor dem Löten und zum Löten aktivierte Grundwerkstoffoberflächen
    - 1.2.3 Grenzflächen des Festkörpers vor dem Löten
      - ▶ Aufbau technischer Oberflächen – Schema
      - ▶ Rautiefe und Verformungstiefe nach der Bearbeitung von Stahl mit verschiedenen Schleif- und Poliermitteln

- 1.2.4.1 Fremdstoffbereich mit adsorbierten Staubteilchen
  - ▶ Umweltbedingter Schwebstaub
  - ▶ Sekundäre Staubpartikel als Reaktionsprodukte in Gasen
- 1.2.4.2 Fremdstoffbereich mit adsorbierten organischen Molekülen
- 1.2.4.3 Fremdstoffbereich mit adsorbierten Wassermolekülen
  - ▶ Phasengrenze Metall-Flüssigkeit
- 1.2.4.4 Fremdstoffbereich mit adsorbierten Gasen
  - ▶ Siliziumgrenzflächenrelief mit adsorbierten Gasmolekülen
- 1.2.5 Oberfläche des Festkörpers vor dem Löten
  - ▶ Gestaltabweichungen nach DIN 4670
  - ▶ Rautiefen bei unterschiedlichen Fertigungsverfahren
  - ▶ Rautiefen für einen selbstständigen Stoffschluss
- 1.2.6 Werkstoffbereiche auf und unter der Festkörperoberfläche – Grundlagen
- 1.2.6.1 Werkstoffbereich mit Reaktionsgefüge auf der Oberfläche
  - ▶ Zeit für die Bildung einer Sauerstoffmonolage in Abhängigkeit vom Umgebungsdruck
  - ▶ Zusammensetzung des Reaktionsgefüges nach Teilefertigung
  - ▶ Zusammensetzung des Reaktionsgefüges nach Teilefertigung und mechanischem Abrieb
- 1.2.6.2 Werkstoffbereich mit Verformungsgefüge unter der Oberfläche
  - ▶ Bearbeitungsschicht an einem Kupfereinkristall mit erhöhter Versetzungsdichte
- 1.3 Homologe Temperaturen
- 1.3.1 Festigkeit von Metallen und homologe Temperatur
  - ▶ Einfluss der Temperatur auf die Festigkeit von Metallen und Metalllegierungen
- 1.3.2 Kriechwiderstand von Schmelzlötverbindungen und homologe Temperatur
  - ▶ Zulässige Betriebstemperaturen für Schmelzlötverbindungen bei einer kritischen homologen Temperatur von 0,85
- 1.3.3 Aggregatzustände und homologe Temperatur
  - ▶ Physikalische und technische Aggregatzustände
- 1.3.4 Fertigungsverfahren und homologe Temperatur
  - ▶ Homologe Temperaturen – Bedeutung für die Löt-, Schweiß- und Fertigungstechnik
- 1.4 Fügen und Fügeverbindungen
- 1.4.1 Fügen
  - ▶ Fügen – ein Fertigungshauptverfahren
- 1.4.2 Fügeverbindung
  - ▶ Formschlussverbindung – punktförmige
  - ▶ System der Fügeverbindungen

- 1.4.3 Fügeverbund
- 1.4.4 Formschlussverbindung
- 1.4.5 Kraftschlussverbindung
- 1.4.6 Stoffschlussverbindung
  - ▶ Kontakte in Fügeanschlussflächen
- 2 Lötverbindungen in Lötbaugruppen
- 2.1 Lötverbindung als Stoffschlussverbindung
- 2.1.1 Stoffschlussverbindungen
  - ▶ Stoffschlussverbindungen – mögliche Varianten
  - ▶ Wandelverbindungen zwischen Diamant und Graphit
- 2.1.1.1 Lötverbindung als Stoffschlussverbindung
  - ▶ Werkstoffspezifischer Aufbau der Stoffschlussverbindungen
- 2.1.1.2 Schweißverbindung als Stoffschlussverbindung
- 2.1.1.3 Klebverbindung als Stoffschlussverbindung
- 2.1.2 Chemische Bindungen in Stoffschlussverbindungen
  - ▶ Bindungsarten und ihre Zwischenformen (Mischbindung) nach [1]  
und Zuordnung der Kleb-, Löt- und Schweißverbindungen
- 2.1.3 Wesen der Fertigung von Lötverbindungen
  - ▶ Elementare mittelbare Lötverbindung als Werkstoffverbund mit  
zwei Phasen und zwei inneren Grenzflächen
- 2.1.4 Wirkprinzip der Stoffvereinigung beim Löten
- 2.1.5 System der Lötverbindungen
  - ▶ Gattungen, Gruppen, Klassen, Arten, Typen und Untertypen von Löt-  
verbindungen
- 2.1.6 Anzahl der für einen Werkstoff möglichen Stoffschlussverbindungen
  - ▶ Anzahl der für einen Werkstoff prinzipiell möglichen Stoffschluss-  
verbindungen
  - ▶ Natürliche letal-vitale Klebverbindungen im Perlmutter
- 2.2 Metall-, Keramik- und Kunststoff-Stoffschlussverbindungen
- 2.2.1 Klebverbindungen – Lötverbindungen
- 2.2.1.1 Metall-Klebverbindung
  - ▶ Metall-Klebverbindung – Metallrotor mit Metallwelle
- 2.2.1.2 Keramik-Klebverbindung
  - ▶ Keramik-Klebverbindungen
- 2.2.1.3 Kunststoff-Klebverbindung
  - ▶ Kunststoff-Klebverbindung
- 2.2.2 Lötverbindungen – Lötverbindungen
- 2.2.2.1 Metall-Lötverbindung
  - ▶ Kupfer-Mikroreaktor mit Metall-Lötverbindungen

- 2.2.2.2 Keramik-Lötverbindung
  - ▶ Oxidkeramische Grundwerkstoffe und Zusatzwerkstoffe
  - ▶ Zusammensetzung einer Keramik-Lötverbindung
- 2.2.2.3 Kunststoff-Lötverbindung
  - ▶ Manuelles Schmelzlöten von Kunststoff-Lötverbindungen
- 2.2.3 Schweißverbindungen – Lötverbindungen
  - 2.2.3.1 Metall-Schweißverbindung
    - ▶ Gefüge von Metall-Schmelzschweißverbindungen
  - 2.2.3.2 Keramik-Schweißverbindung
    - ▶ Keramik-Schweißverbindung und Keramik-Schweißbaugruppen
  - 2.2.3.3 Kunststoff-Schweißverbindung
    - ▶ Kunststoff-Schweißverbindung und Kunststoff-Schweißbauteil
- 2.3 Elementare Lötverbindung
  - ▶ Elementare mittelbare Schmelzlötverbindung durch Laserschweißen und elementare unmittelbare Presslötverbindung durch Rührreibschweißen
- 2.3.1 Elementare Presslötverbindung
  - ▶ Elementare mittelbare Titanpresslötverbindung durch Diffusionsschweißen und elementare unmittelbare Stahlpresslötverbindung durch Reibschweißen
- 2.3.1.1 Elementare unmittelbare Presslötverbindung und das Problem der Schweißbarkeit
  - ▶ Verfahren zur Fertigung von Pressschweißverbindungen und Presslötverbindungen
  - ▶ Ultraschallfügen von Presslötverbindungen und Pressschweißverbindungen
  - ▶ Presslötverbindungen und Pressschweißverbindungen durch Bonden
- 2.3.1.2 Elementare mittelbare Presslötverbindung
  - ▶ Mittelbare Presslötverbindungen durch Kaltpressschweißen
- 2.3.2 Elementare Schmelzlötverbindung
  - ▶ Elementare mittelbare Schmelzlötverbindungen durch Ofenlöten und Flammlöten
- 2.3.2.1 Elementare unmittelbare Schmelzlötverbindung und das Problem des Auftragschweißens, Metallspritzens und Verbundgießens
  - ▶ Gemischte unmittelbare Kupfer-Schmelzschweiß-/Stahl-Schmelzlöt-Verbindung und Aluminium-Schmelzschweiß-/Stahl-Schmelzlöt-Verbindung durch Schmelzschweißen
  - ▶ Elementare unmittelbare Kupfer-Schmelzlöt-/Silber-Schmelzlöt-Verbindungen durch Schmelzlöten mit Reaktionslot
  - ▶ Elementare unmittelbare Schmelzlötverbindung durch Auftragschweißen
  - ▶ Elementare unmittelbare Schmelzlötverbindung durch Verbundgießen

- 2.3.2.2 Elementare mittelbare Schmelzlötverbindung und das Problem des Flüssigphasensinterns
  - ▶ Elementare mittelbare Stahl(AgCu)Stahl-Schmelzlötverbindung und Cu(AgCu)Cu-Schmelzlötverbindung
  - ▶ Elementare mittelbare Schmelzlötverbindungen durch Flüssigphasensintern
- 2.3.3 Elementare mittelbare Kondensationslötverbindung
  - ▶ Elementare mittelbare Kondensationslötverbindungen durch galvanisches Abscheiden
- 2.4 Gemischte Lötverbindung
  - ▶ Gemischte Al(ZnAl2)-Löt/Stahl(ZnAl2)-Schmelzlöt-Verbindung
- 2.4.1 Gemischte Löt/Löt-Verbindung
  - ▶ Gemischte mittelbare Löt/Löt-Verbindungen durch Ofenlöten
- 2.4.2 Gemischte Löt/Schweiß-Verbindung
  - ▶ Gemischte unmittelbare Löt/Schweiß-Verbindungen
- 2.4.3 Gemischte Löt/Kleb-Verbindung
  - ▶ Gemischte unmittelbare Löt/Schweiß-Verbindungen
- 2.5 Heterogene Lötverbindung
  - ▶ Verbundwerkstoffe – Einteilung und Anwendung
  - ▶ Verbundwerkstoffe für Kühlkörper in Hochleistungselektronikbaugruppen
  - ▶ Heterogene mittelbare Löt:Kleb-Verbindung durch Schmelzlöten von WC-Hartmetall mit einem CrNiMo-Stahl
- 2.5.1 Heterogene Löt:Löt-Verbindung
- 2.5.2 Heterogene Löt:Kleb-Verbindung
- 2.6 Kombinierte Lötverbindung
  - ▶ Kombinierte Schmelzschweiß-Schmelzlöt-Verbindung
- 2.6.1 Kombinierte Löt-Stoffschluss-Verbindung
  - ▶ Kombinierte Presslöt-Schmelzkleb-Verbindung durch Kleben mit Silberpartikeln gefülltem Epoxydharz
  - ▶ Kombinierte Schmelzschweiß-Schmelzlöt-Verbindung
- 2.6.2 Kombinierte Löt-Kraftschluss-Verbindung
  - ▶ Kombinierte Presslöt-Schrauben-Verbindung
  - ▶ Kombinierte Presslöt-Querpress-Verbindung
- 2.6.3 Kombinierte Löt-Formschluss-Verbindung
  - ▶ Kombinierte Schmelzlöt-Formschluss-Verbindung zur Verbesserung der mechanischen Eigenschaften der Durchsetzfügeverbindung
  - ▶ Kombinierte Schmelzlöt-Formschluss-Verbindung zur Verbesserung der Dauerfestigkeit der Lötverbindung
- 2.6.4 Kennzeichnung der elementaren, gemischten, heterogenen und kombinierten Lötverbindung in Arbeitsunterlagen
  - ▶ Kennzeichnung elementarer, heterogener, gemischter und kombinierter Lötverbindungen in konstruktiven und technologischen Arbeitsunterlagen

- 2.7 Feste, viskose, flüssige und bewegliche Metall-Lötverbindungen
  - 2.7.1 Feste Lötverbindung
    - ▶ Aggregatzustände von Stoffen
    - ▶ Aggregatzustände des Lötguts → Lötverbindungsgruppen
  - 2.7.2 Viskose Lötverbindung
    - ▶ Homologe Temperaturen und mechanische Eigenschaften von Metallen
    - ▶ Aggregatzustände beim Löten → Lötverfahren und Löt Verbindungstypen
  - 2.7.3 Flüssige Lötverbindung
    - ▶ Zyklen bis zum Bruch von Weichlötverbindungen
    - ▶ Fest-flüssige kombinierte Löt-Löt-Verbindung
    - ▶ Aluminiuminhibitor in Lotschmelzen zur Verringerung der Flüssig-Metall-Korrosion
    - ▶ Flüssige Lötverbindungen in Steckverbindern
    - ▶ Fest-flüssige kombinierte Löt-Kleb-Verbindung – elektrischer Widerstand
    - ▶ Fest-flüssige kombinierte Löt-Kleb-Verbindung – Korngröße im Lötgut
  - 2.7.4 Bewegliche Lötverbindung
    - ▶ Fertigungsverfahren Füllen nach DIN 8593
    - ▶ Flüssige Lote in Wärmetauschern und elektrischen Flüssig-Metall-Kontakten
- 3 Lötbaugruppen mit Lötverbindungen
  - 3.1 Konstruktive Gestaltung
    - 3.1.1 Konstruktive Aufbauvarianten
      - ▶ Konstruktive Grundvarianten der Lötbaugruppen
      - ▶ Geometrische Varianten der Lötbaugruppen
      - ▶ Geometrische Varianten der Elektronikbaugruppen
    - 3.1.2 Stoßarten der Lötverbindungen
      - ▶ Stoßarten zwischen den Lötbauteilen
    - 3.1.3 Montagespalt und Lötspalt
      - ▶ Spaltbreitenänderung bei Erwärmung auf Löttemperatur
    - 3.1.4 Lötflächenoptimierung zur Verbesserung der Verbindungswertigkeit
      - ▶ Berechnung der Überlapp-Lötverbindungen [1] und das Problem der Einstecklötverbindungen
      - ▶ Berechnung der Festigkeit von zug- oder druckbelasteten Bundbolzen-Platte-Lötverbindungen
      - ▶ Festigkeit von Lötverbindungen – Einfluss von Lötfläche, Montagespalt, Bauteildicke, Überlapplänge und Löt-Zusatzwerkstoffen
  - 3.2 Primat der Lötverbindung und Lötbarkeit
    - 3.2.1 Primat der Lötverbindung
      - ▶ Lichtbogen – multifunktionale Anwendung zur Fertigung von form-schlüssigen, kraftschlüssigen und stoffschlüssigen Fügeverbindungen

- 3.2.2 Lötbarkeit
  - ▶ Lötbarkeit als Gesamtheit von Lötmöglichkeit, Löteignung und Löt-sicherheit
- 3.2.2.1 Lötmöglichkeit als Element der Lötbarkeit
  - ▶ Energie- und Wärmequellen für die Fertigung von Lötverbindungen
- 3.2.2.2 Löteignung als Element der Lötbarkeit
  - ▶ Lötverfahren – Bewertung anhand von Flexibilität und spezifischem Zeitaufwand
  - ▶ Lötverfahren – Bewertung anhand lötbare Stößarten und Fertigungsart
- 3.2.2.3 Löt-sicherheit als Element der Lötbarkeit
- 3.3 Qualität und Qualitätsabweichungen
  - 3.3.1 Qualität der Lötverbindung
  - 3.3.2 Qualitätsabweichungen in Lötverbindungen
    - ▶ Fehler und Mängel – Qualitätsabweichungen in Lötverbindungen
    - ▶ Qualitätsabweichungen – Einfluss auf die Systemeigenschaften von Lötverbindungen
  - 3.3.3 Fehler und Mängel in Lötverbindungen
    - ▶ Fehler und Mängel als Qualitätsabweichungen in Lötverbindungen
  - 3.3.4 Fehler in Schmelzlötverbindungen
    - 3.3.4.1 Risse in Schmelzlötverbindungen
      - ▶ Rissarten in Schmelzlötverbindungen
    - 3.3.4.1.1 Schrumpfungs- und Ausdehnungsrisse in Schmelzlötverbindungen
      - ▶ Verformungsquellen beim Schmelzlöten mit globaler und lokaler Erwärmung
      - ▶ Schrumpfungs- und Ausdehnungsrisse in Elektronikbaugruppen
    - 3.3.4.1.2 Versprödungsrisse in Schmelzlötverbindungen
      - ▶ 2. Temperaturintervall der Sprödigkeit als Ursache für Versprödungsrisse
    - 3.3.4.1.3 Lamellenrisse in Schmelzlötverbindungen
      - ▶ Innere metallurgische Kerben als Ursache für Lamellenrisse
    - 3.3.4.1.4 Kaltrisse in Schmelzlötverbindungen
      - ▶ Kaltrisse in Schmelzlötverbindungen und Schmelzschweißverbindungen
    - 3.3.4.1.5 Untersolidusrisse in Schmelzlötverbindungen und das Problem der Löt-brüchigkeit
      - ▶ Untersolidusrisse in Schmelzlötverbindungen
      - ▶ Korngrenzenlötverbindungen neben der Schmelzlötverbindung
    - 3.3.4.1.6 Warmrisse in Schmelzlötverbindungen
      - ▶ Warmrisse in Schmelzlötverbindungen
  - 3.3.4.2 Durchschmelzungen in Schmelzlötverbindungen
    - ▶ Durchschmelzungen in Schmelzlötverbindungen

- 3.3.4.3 Einschlüsse in Schmelzlötverbindungen
  - ▶ Einschlüsse in Schmelzlötverbindungen
  - ▶ Entstehung von metastabilen Kristallisationskeimen in der Lötgutschmelze
  - ▶ Antiblasen im Bier und Lottropfen im Schmelzlötgut
- 3.3.4.4 Poren und Blasen in Schmelzlötverbindungen
  - ▶ Poren und Blasen in Schmelzlötverbindungen
  - ▶ Wasserstofflöslichkeit in Metallen
  - ▶ Blasen in Schmelzlötverbindungen
- 3.3.4.5 Lunker in Schmelzlötverbindungen
  - ▶ Makrolunker und Mikrolunker
  - ▶ Lunkerbildung durch Volumenschwund – Schema
- 3.3.4.6 Oberflächenbelegungen in Schmelzlötverbindungen
  - ▶ Flussmittelrückstände in Lötbaugruppen mit verdeckten Schmelzlötverbindungen
  - ▶ Metall dendriten und intermetallische Phasen als Oberflächenbelegungen
- 3.3.4.7 Falschbenetzungen in Schmelzlötverbindungen
  - ▶ Unterbenetzung, Fehlbenetzung und Überbenetzung beim Schmelzlöten
  - ▶ Lotzapfen, Lotspinnen und Lotperlen beim Schmelzlöten
- 3.3.4.8 Lageabweichungen in Schmelzlötverbindungen
  - ▶ Lageabweichungen in Schmelzlötverbindungen von Elektronikbaugruppen
  - ▶ Grabsteineffekt als Lageabweichung
- 3.3.4.9 Gestaltabweichungen in Schmelzlötverbindungen
  - ▶ Gestaltabweichungen in Schmelzlötverbindungen
- 3.3.5 Verbindungswertigkeit zur Bewertung der Qualität
  - ▶ Zugfestigkeit von elementaren und kombinierten Stahl(Kupfer)-Schmelzlötverbindungen
  - ▶ Verbindungswertigkeit und normierte Zugfestigkeit von Stahl(Kupfer)-Lötverbindungen
  - ▶ Verbindungswertigkeit zur Bewertung der erreichten Lötbarkeit
- 3.3.6 Irdische Betriebsbedingungen
- 3.4 Eigenschaften der Lötverbindungen
- 3.4.1 Systemeigenschaften der Lötverbindung
  - ▶ Systemeigenschaften der Lötverbindung und ihre möglichen Veränderungen bis zum Lebensdauerende – Schema ohne Diffusionszone und Mischkristallschicht
  - ▶ Systemeigenschaften und Materialeigenschaften
  - ▶ Kriechwiderstand des Löt-Zusatzwerkstoffs SnPb37 und einer Cu(SnPb37)-Schmelzlötverbindung
  - ▶ Montagespalt und Zugfestigkeit von Stahl(Kupfer)-Schmelzlötverbindungen



- 3.4.2 Konstruktionseigenschaften der Lötverbindung
  - ▶ Konstruktionseigenschaften der Lötverbindungen bzw. Lötauftragungen
- 3.4.3 Funktionseigenschaften der Lötverbindung
  - ▶ Funktionseigenschaften der Lötverbindungen bzw. Lötauftragungen
  - ▶ Konstruktionslote und Funktionslote für die Fertigung von mittelbaren Schmelzlötverbindungen
  - ▶ Funktionslote – Beispiele
- 3.4.4 Gebrauchseigenschaften der Lötverbindung
  - ▶ Gebrauchseigenschaften der Lötverbindungen bzw. Lötauftragungen
  - ▶ Spezifische Zugfestigkeit (links) und spezifische Streckgrenze (rechts) von metallischen und nichtmetallischen Werkstoffen
  - ▶ Spezifische Streckgrenze (rechts) von metallischen und nichtmetallischen Werkstoffen
- 3.4.5 Verbindungswertigkeit mit niedrigen Werten als prinzipieller Mangel der Lötverbindungen
  - ▶ Niedrige Verbindungswertigkeit – prinzipieller Mangel der Lötverbindungen
  - ▶ Verbindungswertigkeit von Stoffschlussverbindungen
  - ▶ Verbindungswertigkeit von Aluminiumschweißverbindungen und Aluminiumlötverbindungen
- 3.4.6 Verbesserung der Verbindungswertigkeit durch höherwertige Löt-Zusatzwerkstoffe und Lötverfahren – 1. und 2. Gebot der Löttechnik
  - 3.4.6.1 Höherfeste Fertiglote zur Verbesserung der Verbindungswertigkeit
    - ▶ FeMn-Mischkristall-Fertiglote – Zusammensetzung
    - ▶ FeMn-Mischkristall-Fertiglote – Eigenschaften
    - ▶ FeMn-Fertiglote – Schmelzlöten von Rohrleitungen und Hochspannungsleitungen
    - ▶ Palladiumfertiglote – Schmelzlöten von CrNi-Stählen
  - 3.4.6.2 Verbundlote zur Verbesserung der Verbindungswertigkeit
    - ▶ Nickellote (teilchenverstärkte) zum Schmelzlöten der gerichtet erstarrten warmfesten Ni-Superlegierung SchS26
    - ▶ Zugfestigkeit und Gefüge der mit Nickel-Verbundloten gefertigten Lötverbindungen
  - 3.4.6.3 Adaptive Schmelzlötverbindungen zur Verbesserung der Verbindungswertigkeit
    - ▶ Umwandlung des Reaktions-Verbundlotes in das adaptive Verbundlötgut
    - ▶ Adaptive Erhöhung des Kriechwiderstandes durch Anwendung von Verbundloten
    - ▶ Adaptive Erhöhung der Auslöttemperatur durch Anwendung von Verbundloten
  - 3.4.6.4 Adaptive Presslötverbindungen zur Verbesserung der Verbindungswertigkeit
    - ▶ Wickelverbindungen mit lokalen adaptiven Presslötverbindungen
    - ▶ Gefüge der lokalen adaptiven Presslötverbindungen in Wickelverbindungen

- ▶ Welle-Naben-Pressverbindungen mit lokalen adaptiven Presslötverbindungen
- ▶ Massearmer Drehmomentbegrenzer mit Welle-Naben-Pressverbindung und lokalen adaptiven Presslötverbindungen
- 3.4.6.5 Kombinierte Lötverbindungen zur Verbesserung der Verbindungswertigkeit
  - ▶ Kombinierte stoffschlüssige Lötverbindungen
- 3.4.6.6 Übersoliduslöten zur Verbesserung der Verbindungswertigkeit
- 3.4.7 Verbesserung der Verbindungswertigkeit durch Oberflächen- und Volumendesign – 1. und 2. Gebot der Löttechnik
  - ▶ Oberflächendesign und Volumendesign von Lötverbindungen
  - ▶ Bruchverlauf in Hartmetall-Lötverbindungen und Elektroniklötbaugruppen mit 2D-Lötoberflächen
- 3.4.7.1 Oberflächendesign vor dem Löten zur Verbesserung der Verbindungswertigkeit
  - ▶ Gemischte Aluminium-Löt-/Titan-Löt-Verbindung mit einer Oberflächenstrukturierung – Scherfestigkeit über Anzahl der Prüfzyklen
  - ▶ Halbleiter-Lötbaugruppen mit einer berechneten Oberflächenstruktur
  - ▶ Presslötverbindungen und Klebverbindungen mit negativen Formelementen zur Oberflächenstrukturierung
  - ▶ Schmelzlötverbindung mit einseitiger Oberflächenprofilierung und Formschlussverbindung unter Nutzung beidseitiger Oberflächenstrukturierung
- 3.4.7.2 Oberflächendesign während des Schmelzlötens zur Verbesserung der Verbindungswertigkeit
  - ▶ Oberflächenstrukturierung durch Pendeln der Wärmequelle während des Schmelzlötens
- 3.4.7.3 Volumendesign des Löt-Zusatzwerkstoffs vor dem Löten zur Verbesserung der Verbindungswertigkeit
- 3.4.7.4 Volumendesign des Lötgutes während des Schmelzlötens zur Verbesserung der Verbindungswertigkeit
  - ▶ Volumenstrukturierung des Lötguts in-situ beim Schmelzlöten
  - ▶ Kombinierte Stahl-Schweißlöt-Verbindungen erhöhter Verbindungswertigkeit
- 3.4.8 Verbesserung der Verbindungsfestigkeit durch Verfestigungsbehandlungen – 1. und 2. Gebot der Löttechnik
  - ▶ Festigkeit über Versetzungsdichte
  - ▶ Thermischer Lötzyklus mit thermischer Behandlung während des Lötens
  - ▶ Mögliche Varianten der Verfestigung von Metallen – Schema für Stahl
- 3.4.8.1 Mechanische Behandlung des festen Grundwerkstoffs vor dem Löten zur Verfestigung der Lötverbindung
  - ▶ Einfluss einer plastischen Verformung des Grundwerkstoffs vor dem Löten auf die Eigenschaften der Schmelzlötverbindungen
  - ▶ Vererbung der Korngröße und der kristallographischen Orientierung des Grundwerkstoffs beim homoepitaxialen Erstarren der Schweißgutschmelze

- ▶ Vererbung der Korngröße und der kristallographischen Orientierung des Grundwerkstoffs beim heteroepitaxialen Erstarren der Lötgutschmelze
- ▶ Einfluss der Vorbehandlung auf die Festigkeit von Schmelzlötverbindungen
- 3.4.8.2 Thermo-chemische Behandlung des festen Grundwerkstoffs vor dem Löten zur Verfestigung der Lötverbindung
- 3.4.8.3 Thermische Behandlung des fest-flüssigen Lötverbundes beim Löten zur Verfestigung der Lötverbindung
  - ▶ Überzeiten bei Löttemperatur und Kriechwiderstand von Kupfer-Schmelzlötverbindungen
  - ▶ Überzeiten bei Löttemperatur und Scherfestigkeit von Stahl-Schmelzlötverbindungen
- 3.4.8.4 Thermo-chemische Behandlung des fest-flüssigen Lötverbundes beim Löten zur Verfestigung der Lötverbindung
  - ▶ Kriechverhalten – Verbesserung durch Pikolegieren beim Schmelzlöten
  - ▶ Pikolegieren beim Schmelzlöten
  - ▶ Gefüge von mit Mangan pikolegierten Schmelzlötverbindungen
  - ▶ Nickel-ODS-Legierung – Gefüge
  - ▶ Innenoxidieren und Innennitridieren beim Schmelzlöten durch chemisch aktive Metalle in Niedrig-Temperatur-Zinn-Basisloten
  - ▶ Abstecken von Metallschmelzen – Einfluss auf ihren Gasgehalt
- 3.4.8.5 Thermo-mechanische Behandlung des fest-flüssigen Lötverbundes beim Löten zur Verfestigung der Lötverbindung
  - ▶ Verfestigung von Lötverbindungen durch Vibration beim Schmelzlöten
- 3.4.8.6 Thermische Behandlung der festen Lötverbindung beim Abkühlen zur Verfestigung der Lötverbindung
- 3.4.8.7 Thermische Behandlung, der festen Lötverbindung nach dem Löten mit Erwärmung über Raumtemperatur zur Verfestigung der Lötverbindung
  - ▶ Verfestigung von Lötverbindungen durch thermische Behandlung nach dem Löten
- 3.4.8.8 Thermische Behandlung der festen Lötverbindung nach dem Löten bei Raumtemperatur zur Verfestigung der Lötverbindung
  - ▶ Gleitmodul von Lötverbindungen – Veränderung durch die natürliche Wärmebehandlung (Auslagerung) bei Raumtemperatur nach Thermozyklen
  - ▶ Kriechwiderstand von Lötverbindungen – Veränderung durch die natürliche Wärmebehandlung (Auslagerung) bei Raumtemperatur nach Thermozyklen
- 3.4.8.9 Mechanische Behandlung der festen Lötverbindung nach dem Löten bei Raumtemperatur zur Verfestigung der Lötverbindung
- 3.4.9 Sondereigenschaften der Lötverbindung – 1. und 2. Gebot der Löttechnik
- 3.4.9.1 Anisotropie der mechanischen Eigenschaften der Lötverbindung
  - ▶ Anisotropie der Bruchenergie durch Gusstextur in Schmelzschweißnähten
  - ▶ Anisotropie der mechanischen Eigenschaften durch Gusstextur in Schmelzschweißnähten

- ▶ Anisotropie der Festigkeit von Schmelzlötverbindungen an gerichtet erstarrten Turbinenschaufeln aus einer Nickelsuperlegierung
- 3.4.9.2 Anisotropie der Verschleißbeständigkeit der Löttauftragung
  - ▶ Anisotropie der Verschleißbeständigkeit durch Gusstextur in Schmelzlöttauftragungen
  - ▶ Anisotropie der Verschleißbeständigkeit durch Gusstextur in Löt Nähten
- 3.4.9.3 Auslöttemperatur der Lötverbindung
  - ▶ Auslöttemperatur der Lötverbindung und Wiederaufschmelztemperatur des Lötgutes
  - ▶ Thermisches Schmelzen der Korngrenzenphasen im eutektischen SnPb-Lot
  - ▶ Bestimmung der systemspezifischen Auslöttemperatur nach GOST 21 547-76
  - ▶ Erhöhung der Auslöttemperatur durch Anwendung eines (NiCrSiFeB)+(Ni;Co)-Reaktions-Verbundlotes mit Kobaltzusätzen zum Schmelzlöten von CrNi-Stahl
- 3.4.9.4 Wiederaufschmelztemperatur des Lötgutes der Lötverbindung
  - ▶ Titanschmelzlöten mit einem temporär flüssigen NiTi-Reaktionslot
- 3.4.9.5 Kriechwiderstand der Lötverbindung
  - ▶ Festigkeitsänderungen mit steigender homologer Temperatur
  - ▶ Methode zur schnellen Prüfung des Kriechverhaltens von Lötverbindungen
  - ▶ Kriechgeschwindigkeit – Einfluss von Spannungszyklen und Temperaturzyklen
  - ▶ Kriechwiderstand von Lötverbindungen – Einfluss von Beschichtungen und Löt-Zusatzwerkstoffen
- 3.4.9.6 Schwerkraft – Einfluss auf die Eigenschaften der Lötverbindung
  - ▶ Schwerkraft – Einfluss auf das Gefüge von gemischten Löt/Löt-Verbindungen und kombinierten Schmelzschweiß-Schmelzlöt-Verbindungen
  - ▶ Schwerkraft – Einfluss auf das Gefüge und die Biegefestigkeit von gemischten Löt/Kleb-Verbindungen
  - ▶ Schwerkraft-Potenzial-Probe
- 3.4.9.7 Schwerelosigkeit – Einfluss auf die Eigenschaften der Lötverbindung
  - ▶ Schwerelosigkeit – Einfluss auf das thermische Schmelzen des Lotes beim Kolbenlöten
  - ▶ Manuelles Elektronenstrahllöten im Weltall
- 3.4.9.8 Strahlung – Einfluss auf die Eigenschaften der Lötverbindung
  - ▶ Strahlungsschädigungen beim Treffen von Neutronen mit Atomen des Kristallgitters von Metallen
  - ▶ Schlagarbeit – Einfluss der Wärmebehandlung und des Neutronenflusses
  - ▶ Lötbaugruppen für die Chemieindustrie, Luftfahrt und Atomtechnik – mechanische Eigenschaften der Lötverbindungen
  - ▶ Gefüge der ZrNb(AlSi)ZrNb-Schmelzlötverbindungen von Hüllrohren der Brennelemente
  - ▶ Schnellerstartete Lote für den 1. Internationalen Versuchsreaktor ITER

- 3.4.9.9 Elektrische Felder – Einfluss auf die Eigenschaften der Lötverbindung
  - ▶ Gefügeausbildung beim Schmelzlöten mit äußerer Spannungsquelle und Stromfluss und mit innerer Spannungsquelle ohne Stromfluss
  - ▶ Haftfestigkeit von Kupfer-Schmelzlötverbindungen beim Ultraschalllöten mit einem SnPb-Fertiglot und mit Stromfluss
  - ▶ Einfluss des Elektro-Masse-Transports auf Gefügeveränderungen bei Temperaturwechseln in mit einem SnBi-Basislot gefertigten Schmelzlötverbindungen
- 3.4.9.10 Magnetische Felder – Einfluss auf die Eigenschaften der Lötverbindung
  - ▶ Breitspalt-Schmelzlöten mit einem Verbundlot und Magnetfeldwirkung
- 3.4.9.11 Betriebsdauer – Einfluss auf die Eigenschaften der Lötverbindung
  - ▶ Mögliche Veränderungen der Qualität der Lötverbindungen bis zum Lebensdauerende
  - ▶ Kriechgeschwindigkeit von Weichlötverbindungen – Veränderung bei thermo-mechanischen Wechselbeanspruchungen
  - ▶ Ausfallraten über thermo-mechanische Zyklen in Schmelzlötverbindungen
- 4 Lötfertigung von Lötverbindungen
- 4.1 Fertigungselemente beim Löten
  - ▶ Fertigungselemente bei der Fertigung von Lötverbindungen
- 4.1.1 Lötbaugruppe als Fertigungselement beim Löten
  - ▶ Induktionslöten von Kurzschlussläufern
- 4.1.2 Lötprozess als Fertigungselement beim Löten
- 4.1.2.1 Lötverfahren als Element des Lötprozesses beim Löten
  - ▶ Gemischte unmittelbare Presslötverbindung durch Rührreibschweißen
- 4.1.2.2 Lötmaterialien als Element des Lötprozesses beim Löten
  - ▶ Schmelzlöten von Kupfer mit einem in-situ thermisch überhitzten SnAgCu-Kaskadenlot
- 4.1.2.3 Löt-Zusatzwerkstoffe als Element des Lötprozesses beim Löten
  - ▶ Schmelzlöten von Kupfer mit einem in-situ thermisch überhitzten SnAgCu-Kaskadenlot
- 4.1.2.4 Löt-Beschichtungswerkstoffe als Element des Lötprozesses beim Löten
- 4.1.2.5 Löt-Hilfsstoffe als Element des Lötprozesses beim Löten
- 4.1.2.6 Löt-Füllstoffe als Element des Lötprozesses beim Löten
- 4.1.2.7 Lötparameter als Element des Lötprozesses beim Löten
- 4.1.3 Lötmedium als Fertigungselement beim Löten
  - ▶ Lötprozess und Lötmedium zum Energie-, Stoff- und Informationstransport
- 4.1.3.1 Löteinrichtung als Element der Lötmedium beim Löten
- 4.1.3.2 Lötvorrichtung als Element der Lötmedium beim Löten
  - ▶ Spezielle Lötvorrichtungen
- 4.1.3.3 Lötgerät als Element der Lötmedium beim Löten
- 4.1.4 Lötwerkstoff als Fertigungselement beim Löten

- 4.2 Rationalisierung der Lötfertigung
  - 4.2.1 Aufgaben der Rationalisierung
    - Rationalisierung der Lötfertigung
  - 4.2.2 Rationalisierungselemente
    - Rationalisierungselemente und Fertigungselemente bei der Lötfertigung
  - 4.2.3 Optimierung der Qualität und Qualitätsmenge – 1. und 2. Gebot
  - 4.2.4 Humanisierung der Lötfertigung durch schädigungsarme Produkte und Fertigung – 3. Gebot
    - Bewertungskriterien zur menschengerechten Arbeitsgestaltung im Rahmen produktiver und effizienter Arbeitsprozesse
  - 4.2.5 Modernisierung der Lötfertigung – 4. bis 7. Gebot
    - 4.2.5.1 Modernisierung durch massearme Produkte und Fertigung – 4. Gebot
      - Modernisierung durch Anwendung massearmer Lötverfahren
    - 4.2.5.2 Modernisierung der Lötfertigung durch stufenarme Produkte und Fertigung – 5. Gebot
    - 4.2.5.3 Modernisierung durch energiearme Fertigung – 6. Gebot
      - Baugruppenwirkungsgrad beim Ofenlöten und Tauchlöten
      - Wärmedämmstoffe und effiziente Schutzgase zur Erhöhung des Einrichtungswirkungsgrades beim Schutzgas-Ofenlöten und Tauchlöten
      - Baugruppenwirkungsgrad unterschiedlicher Lötverfahren
    - 4.2.5.4 Modernisierung durch informationsarme Fertigung – 7. Gebot
      - Information als Ergebnis der Wechselwirkungen zwischen Stoff und Energie im Lötprozess
      - Modernisierung der Lötfertigung durch Anwendung vergegenständlichter Informationen
      - Modernisierung der Lötfertigung durch Anwendung physikalisch-chemischer Grenzzustände
  - 4.2.6. Intensivierung der Lötfertigung – 8. bis 9. Gebot
    - 4.2.6.1 Intensivierung durch raumarme Fertigung – 8. Gebot
    - 4.2.6.2 Intensivierung durch zeitarne Fertigung – 9. Gebot
  - 4.2.7 Mechanisierung und Automatisierung durch bedienerarme Fertigung – 10. Gebot
    - Einteilung der Lötverfahren nach Mechanisierungsgrad
    - Rationalisierung der Lötfertigung durch Mechanisierung und Automatisierung
- 4.3 Löten mit verwandten Fertigungsverfahren
  - Fertigungsverfahren nach DIN 8580
  - Fertigungsverfahren – genormte und alternative
- 4.3.1 Urformen zur Fertigung von Lötverbindungen
  - W-Verbundwerkstoffe und W-Werkstücke mit Schmelzlötkompaktierung
  - Werkstoffverbunde mit Lötverbindungen durch Löten sowie durch Urformen mittels Sintern und Einschmelzen

- ▶ Presslötverbindungen durch Urformen mittels Sintern eines porösen Silberlotformteils
- ▶ Schmelzlötverbindungen durch Urformen mittels Gießen bzw. Infiltrieren
- 4.3.2 Volumenaufbauendes Fügen und Ergänzen zur Fertigung von Lötverbindungen
  - ▶ Werkstoffverbunde mit unmittelbaren Schmelzlötverbindungen durch volumenaufbauendes Ergänzen mittels Chrom-Gußeisen auf unlegierten Stahl
  - ▶ Werkstoffverbunde mit Schmelzlötverbindungen und Klebverbindungen durch Gießen
  - ▶ Volumenaufbauendes Fügen und Ergänzen – Bauteilformen und Bauteileigenschaften
- 4.3.3 Umformen zur Fertigung von Lötverbindungen
  - ▶ Aluminiumwerkstoffverbunde mit unmittelbaren Presslötverbindungen durch Warmumformen mittels Walzplattieren
  - ▶ Stahlwerkstoffverbunde mit unmittelbaren Presslötverbindungen durch Warmumformen mittels Walzplattieren
- 4.3.4 Beschichten zur Fertigung von Lötverbindungen
  - ▶ Schmelzlötauftragungen durch Beschichten mittels Tauchen
  - ▶ Kondensationslötauftragungen durch Beschichten mittels chemischer Metallisierung
- 4.3.5 Stoffeigenschaftsändern zur Fertigung von Lötverbindungen
  - ▶ Lötauftragungen durch Stoffeigenschaftsändern mittels Oberflächenauflegieren
  - ▶ Kondensationslötauftragungen durch Beschichten mittels galvanischer Metallisierung
  - ▶ Lötauftragungen durch Stoffeigenschaftsändern mittels Oberflächenauflegieren mit Bor
- 4.3.6 Schweißen zur Fertigung von Lötverbindungen
  - ▶ Werkstoffkombinationen beim Diffusionslöten
  - ▶ Werkstoffkombinationen für das Ultraschallschweißen
- 4.3.7 Kleben zur Fertigung von Lötverbindungen
  - ▶ Prinzip des Infrarotlicht-Schweißens
- 5 Lötverfahren für die Fertigung von Lötverbindungen
  - 5.1 Löten nach der Norm und dem Stand der Technik
    - 5.1.1 Löten nach der Norm
    - 5.1.2 Löten nach dem Stand der Technik vor der Norm
  - 5.2 Lötverfahrenseinteilung
    - 5.2.1 Merkmale zur Einteilung der Lötverfahren
      - ▶ Merkmale für die Einteilung von Lötverfahren
    - 5.2.2 Mechanisierungsgrad beim Löten

- 5.2.3 Flexibilität beim Löten
  - ▶ Einteilung der Lötverfahren nach Flexibilität
  - ▶ Bewertung der Lötverfahren anhand von Flexibilität und spezifischem Zeitaufwand
- 5.2.4 Fertigungsaufgabe beim Löten
  - ▶ Einteilung der Lötverfahren nach Fertigungsaufgabe
  - ▶ Energieart beim Löten
  - ▶ Einteilung der Lötverfahren nach Energieart
- 5.2.6 Absolute Löttemperatur beim Löten
  - ▶ Lötverfahren – Einteilung nach absoluter Liquidustemperatur der Lote – DIN 8505 (1979)
  - ▶ Liquidustemperatur der Lote
- 5.2.7 Homologe Löttemperatur beim Löten
  - ▶ Lötverfahren – Einteilung nach homologer Löttemperatur
  - ▶ Niedrigtemperlöten, Hochtemperlöten, Untersoliduslöten und Übersoliduslöten
  - ▶ Kritische Löttemperaturen bei der Fertigung von Metall-Schmelzlötverbindungen
- 5.2.8 Lötdruck beim Löten
  - ▶ Lötverfahren – Einteilung nach Lötdruck
  - ▶ Lötverfahren – Einteilung nach Lötdruck und Lötwärme
- 5.2.9 Löt-Hilfsstoff beim Löten
  - ▶ Lötverfahren – Einteilung nach Löt-Hilfsstoffen
- 5.2.10 Lotdepot beim Löten
  - ▶ Lötverfahren – Einteilung der Lötverfahren nach Lotdepot
  - ▶ Löten mit internem Lotdepot und mit extern angebrachtem, eingebrachtem oder aufgebracht Lot
- 5.2.11 Aggregatzustand und Wirkprinzip beim Löten
  - ▶ Lötverfahren – Einteilung nach Aggregatzustand beim Löten
  - ▶ Chemisches, chemo-mechanisches, chemo-thermisches und chemo-mechano-thermisches Löten
- 5.2.12 Löt-Zusatzwerkstoff beim Löten
  - ▶ Lötverfahren – Einteilung nach Löt-Zusatzwerkstoffen
  - ▶ Fertig-, Reaktiv-, Reaktions- und Kaskadenlote zum Press- und Schmelzlöten
- 5.2.13 Erstarrung der Lötgutschmelze beim Schmelzlöten
  - ▶ Einteilung der Schmelzlötverfahren nach Erstarrung der Lötgutschmelze
  - ▶ Schmelzlöten von Titan mit einem temporär flüssigen NiTi-Reaktionslot
- 5.2.14 Montagespalt beim Schmelzlöten
  - ▶ Einteilung der Schmelzlötverfahren nach Montagespalt
  - ▶ Fugenlöten – Spalllöten – Breitspalllöten – Engspalllöten



- 6. Lötmaterialien für die Fertigung von Lötverbindungen
  - 6.1 Löt-Zusatzwerkstoff
    - 6.1.1 Lotwerkstoffe
      - ▶ Lotwerkstoffe für die Fertigung von mittelbaren Schmelzlötverbindungen
    - 6.1.2 Fertiglote
      - ▶ Fertiglote für die Fertigung von mittelbaren Press- und Schmelzlötverbindungen
    - 6.1.2.1 Intermetall-Fertiglote
      - ▶ Intermetall-TiAl-Fertiglote für die Fertigung von mittelbaren Schmelzlötverbindungen
    - 6.1.2.2 Metall-Fertiglote
      - ▶ Schmelzlötverbindungen in Cu-, CuNi-, NiCu- und Ni-Grundwerkstoffen
      - ▶ Artfremde Metall-Fertiglote für die Fertigung von mittelbaren Lötverbindungen
      - ▶ Kupfer- und Nickel-Fertiglote zum Untersoliduslöten und Übersoliduslöten von mittelbaren Schmelzlötverbindungen in Cu-, CuNi-, NiCu- und Ni-Grundwerkstoffen
    - 6.1.2.3 Mischkristall-Fertiglote
      - ▶ Metall-Fertiglote, Mischkristall-Fertiglote und Eutektik-Fertiglote zum Untersoliduslöten von mittelbaren Press- und Schmelzlötverbindungen
    - 6.1.2.4 Eutektik-Fertiglote
    - 6.1.2.4 Eutektik-Fertiglote zum Untersoliduslöten von mittelbaren Press- und Schmelzlötverbindungen
    - 6.1.3 Reaktivlote
      - ▶ Reaktivlote für die Fertigung von mittelbaren Press- und Schmelzlötverbindungen
      - ▶ AuMn-Mischkristall-Reaktivlot mit Schmelzpunktminimum – Herstellung und Anwendung
    - 6.1.3.1 Reaktivlote mit thermischer Freisetzung des Metalls
      - ▶ Silbernitrat als Reaktivlot zum Untersoliduslöten von mittelbaren Kupferschmelzlötverbindungen durch thermische Zersetzung
    - 6.1.3.2 Reaktivlote mit Freisetzung des Metalls durch Redoxreaktionen
      - ▶ Kupferoxide bzw. Kupfer- und Eisenoxide als Reaktivlote zum Untersoliduslöten von mittelbaren Stahlschmelzlötverbindungen durch Redoxreaktionen mit Wasserstoff
      - ▶ Kupferoxide als Reaktivlote zum Untersoliduslöten von mittelbaren Stahlschmelzlötverbindungen durch Redoxreaktionen mit Wasserstoff
    - 6.1.3.3 Reaktivlote mit Freisetzung des Metalls durch Austauschreaktionen
      - ▶ Siliziumverbindungen als Reaktivlote in Flussmitteln zum Schmelzlöten von mittelbaren Aluminium-Schmelzlötverbindungen durch Austauschreaktionen
      - ▶ Bismutverbindungen als Reaktivlotbäder zum Untersoliduslöten von mittelbaren Aluminium-Schmelzlötverbindungen durch Austauschreaktionen

- 6.1.3.4    Reaktivlote mit Freisetzung des Metalls durch elektrolytische Abscheidung
- 6.1.4    Reaktionslote
  - 6.1.4.1    Reaktionslote – Einteilung nach Zusammensetzung
    - ▶ Reaktionslote mit konstanter oder variabler chemischer Zusammensetzung für die Fertigung von unmittelbaren und mittelbaren Schmelzlötverbindungen
  - 6.1.4.2    Reaktionslote – Einteilung nach Ausgangswerkstoffen
    - ▶ AgCu-Reaktionslote aus Grund- und/oder Zusatzwerkstoffen für die Fertigung von unmittelbaren und mittelbaren Schmelzlötverbindungen
  - 6.1.4.3    Reaktionslote – Einteilung nach Aggregatzustand
    - ▶ Reaktionslote aus Lotkomponenten mit unterschiedlichen Aggregatzuständen für die Fertigung von unmittelbaren und mittelbaren Schmelzlötverbindungen
  - 6.1.4.4    Viskos-feste Zusatzwerkstoff-Grundwerkstoff-Reaktionslote
    - ▶ Viskos-festes CuSn-Reaktionslot zum Schmelzlöten von Kupfer-Lötbaugruppen bei 228 °C
  - 6.1.4.5    Viskos-viskose Grundwerkstoff-Grundwerkstoff-BiSnCd-Reaktionslote
    - ▶ BiSnCd-Eutektik-Reaktionslot zum Schmelzlöten von Zinn- mit BiCd40-Proben bei 104 °C
    - ▶ Mikrohärtigkeit unmittelbarer Schmelzlötverbindungen mit viskos-viskosem Grundwerkstoff-Grundwerkstoff-BiSnCd-Eutektik-Reaktionslot mit und ohne Gleichstrom
    - ▶ Korrosionsgeschwindigkeit und elektrische Leitfähigkeit unmittelbarer Schmelzlötverbindungen mit viskos-viskosem Grundwerkstoff-Grundwerkstoff-BiSnCd-Eutektik-Reaktionslot mit und ohne Gleichstrom
  - 6.1.4.6    Viskos-viskose Grundwerkstoff-Zusatzwerkstoff-AlSi-Reaktionslote
    - ▶ Viskos-viskoses AlSi-Eutektik-Reaktionslot zum Schmelzlöten von Aluminium-Lötbaugruppen bei 580 °C
    - ▶ Schema des Schmelzlötens von Aluminium-Lötbaugruppen mit einem viskos-viskosem AlSi-Eutektik-Reaktionslot
  - 6.1.4.7    Viskos-flüssige Grundwerkstoff-Zusatzwerkstoff-CuSnPb-Reaktionslote
    - ▶ Viskos-flüssiges Grundwerkstoff-Zusatzwerkstoff-CuSnPb-Mischkristall-Reaktionslot zum Schmelzlöten von Kupfer-Lötbaugruppen bei 800 °C
    - ▶ Zugfestigkeit von mittelbaren Kupfer- und Kupfer-Stahl-Lötverbindungen beim Schmelzlöten mit einem CuSnPb-Mischkristall-Reaktionslot
  - 6.1.4.8    Viskos-dampfförmige Grundwerkstoff-Zusatzwerkstoff-CuMn-Reaktionslote
    - ▶ Viskos-dampfförmiges Grundwerkstoff-Zusatzwerkstoff-CuMn-Mischkristall-Reaktionslot mit Schmelzpunktminimum zum Schmelzlöten von Kupfer bei 910 °C
    - ▶ Gefüge von mittelbaren Kupfer- und Kupfer-Stahl-Schmelzlötverbindungen mit viskos-dampfförmigem Grundwerkstoff-Zusatzwerkstoff-CuMn-Mischkristallreaktionslot
    - ▶ Fest-dampfförmige oder viskos-dampfförmige Grundwerkstoff-Zusatzwerkstoff-Reaktionslote

- 6.1.4.9 Fest-feste Grundwerkstoff-Reaktionslote
  - ▶ Querschleiff einer Laserschweißung von einem verzinnnten Kupferverbinder auf einer Aluminiummetallisierung eines Siliziumwafers
  - ▶ Gefüge einer unmittelbaren gemischten Löt/Löt-Verbindung durch fest-festes Mischkristall-Reaktionslot
- 6.1.4.10 Flüssig-feste Zusatzwerkstoff-Grundwerkstoff-Reaktionslote
  - ▶ Gefüge mittelbarer elementarer Kupfer-Schmelzlötverbindungen mit flüssig-festen Zusatzwerkstoff-Grundwerkstoff-Reaktionsloten
  - ▶ Mechanische Eigenschaften mittelbarer gemischter Stahl(ZnAl)-Schmelzlöt/Al(ZnAl)-Schmelzlöt-Verbindungen mit flüssig-festen Zusatzwerkstoff-Grundwerkstoff-Reaktionsloten
- 6.1.4.11 Flüssig-flüssige Zusatzwerkstoff-Reaktionslote zur Fertigung mittelbarer Schmelzlötverbindungen
  - ▶ Lötvorrichtung zur Fertigung von flüssig-flüssigen Mischkristall-Reaktionsloten
  - ▶ Verbesserung des systemspezifischen Kriechwiderstandes von Schmelzlötverbindungen durch Anwendung von flüssig-flüssigen Reaktionsloten
- 6.1.5. Kaskadenlote für mittelbare Schmelzlötverbindungen
  - ▶ Metallische Lote zum Schmelzlöten – Einteilung nach Herstellung und metallurgischer Aktivität
- 6.1.5.1 Kaskadenlotbildung
  - ▶ Auslöttemperatur von Kupfer-Schmelzlötverbindungen
  - ▶ Bildung des ternären SnAgCu-Kaskadenlotes
- 6.1.5.2 Kaskadenlöten und Stufenlöten
  - ▶ Kaskadenlöten und Stufenlöten
- 6.1.5.3 Kaskadenlote und Rissbildung
  - ▶ Auslöttemperaturen von Cu(SnBi)- und Cu(SnAgCu)-Schmelzlöt-Verbindungen beim Schmelzlöten auf Kupferleiterbahnen mit bleihaltigen Beschichtungen
  - ▶ Bildung des ternären Bi52Pb32Sn16-Kaskadenlotes
  - ▶ Warmrisse in Schmelzlötverbindungen durch Bildung von Kaskadenloten (fillet lifting)
- 6.1.5.4 Kaskadenlote und Lötbarkeit
  - ▶ Benetzung von Titan mit AlSi- und Aluminium-Fertigloten beim Vakuum-Schmelzlöten ohne und mit Bleidämpfen
  - ▶ Bildung des ternären ZnAgCu-Kaskadenlotes
  - ▶ Fließen des SnAgAu-Kaskadenlotes in lange Lötspalte bei 240 °C / 2 min
- 6.1.5.5 Kaskadenlote und Lotentwicklung
  - ▶ Bildung des ternären AgAlCu-Kaskadenlotes
  - ▶ Erschmelzen des ternären AgAlCu-Kaskadenlotes aus AgCu- und Aluminiumkomponenten

- ▶ Schmelztemperaturen des ternären AgAlCu-Kaskadenlotes – berechnete, experimentelle und Literaturwerte
- ▶ Schmelztemperaturen des ternären AgAlGe-Kaskadenlotes – berechnete und Literaturwerte
- 6.1.6. Kompaktlote
  - ▶ Kompaktlote – Verbundlote – Lotverbunde
- 6.1.6.1. Arteigene Kompaktlote
- 6.1.6.2. Artfremde Kompaktlote
- 6.1.7. Verbundlote
  - 6.1.7.1. Schicht-Verbundlote
    - ▶ Verbundlote zur Fertigung von mittelbaren Lötverbindungen mit Verbundlötgut
    - ▶ Schicht-Verbundlot zum Hartmetalllöten
    - ▶ Mehrschicht-Verbundlot zur Fertigung von gemischten Löt/Klebverbindungen in Stahl-Keramik-Baugruppen
    - ▶ Stähle mit Plattierungen – auch mit Lotplattierungen
  - 6.1.7.2. Teilchen-Verbundlote
    - ▶ Teilchen-Verbund-Fertiglot bzw. Teilchen-Verbund-Reaktionslot zur Fertigung von dispersionsverfestigten mittelbaren Schmelzlötverbindungen
    - ▶ Verfestigung von mittelbaren Schmelzlötverbindungen durch Teilchen-Verbund-Fertiglotte als Pulvergemisch
  - 6.1.7.3. Faser-Verbundlote
    - ▶ Faser-Verbund-Reaktionslote aus beschichteten Cu-, CuZn- und Aluminiumfasern
    - ▶ Faser-Verbund-Fertiglot zur Fertigung von mittelbaren Breitspalt-Schmelzlötverbindungen durch Anwendung von Magnetfeldern
  - 6.1.7.4. Struktur-Verbundlote
    - ▶ Struktur-Verbundrohlinge aus handelsüblichen Halbzeugen und Produkten
    - ▶ Struktur-Verbund-Fertiglot zur Fertigung von mittelbaren Schmelzlötverbindungen
    - ▶ Struktur-Verbund-Fertiglot aus handelsüblichem Kupferschaum und Gefüge der Löttauftragungen
- 6.1.8. Lotverbunde
  - 6.1.8.1. Aktivierungslotverbunde
    - ▶ Lot-Flussmittelverbunde
  - 6.1.8.2. Reaktionslotverbunde
    - ▶ Lotverbund zur Fertigung von mittelbaren Schmelzlötverbindungen
    - ▶ Lotverbund und Verbundlot zur Fertigung von mittelbaren Schmelzlötverbindungen
- 6.1.9. Lote – Einteilung nach Fertigungsaufgabe

- 6.1.9.1 Konstruktionslote
  - ▶ CuP-Konstruktionslote als Ersatz für Silber-Konstruktionslote
  - ▶ Konstruktionslote bei Raumtemperatur
- 6.1.9.2 Funktionslote
  - ▶ Funktionslote bei Raumtemperatur
  - ▶ Relative Kosten für die bleifreien Zinn-Funktionslote als Ersatz für das eutektische SnPb-Funktionslote – Zinn-Basislote
  - ▶ Bleifreie Zinn-Funktionslote als Ersatz für eutektisches SnPb-Funktionslot
- 6.1.9.3 Gebrauchslote
  - ▶ Dentallegierungen und Gebrauchslote vorgegebener Farbe
  - ▶ Gusseiserne Säule (Wasserkran) – 1931
- 6.2 Löt-Füllstoffe
  - ▶ Löt-Füllstoff für die Fertigung von Lötverbindungen mit Verbundlötgut
  - ▶ Vormontage des Löt-Füllstoffs für die Fertigung von Lötverbindungen mit Verbundlötgut
  - ▶ Dauerfestigkeit von Schmelzlötverbindungen und Schmelzschweißverbindungen – Einfluss der Löthohlkehlen
- 6.2.1 Füllelementformen
  - ▶ Füllelemente und Verbundlötgut – Zuordnung zu den Verbundwerkstoffen
- 6.2.2 Füllelementwerkstoffe
  - ▶ Teilchen-Verbundlötgut durch beschichtete und unbeschichtete metallische Füllelemente
  - ▶ Teilchen-Verbundlötgut – Karbide als nichtmetallische Füllelemente
  - ▶ Lötverbindung mit Teilchen-Verbundlötgut
- 6.2.3 Füllelementfunktionen
- 6.3 Löt-Beschichtungsstoffe
  - ▶ Funktionsschichten durch Löt-Beschichtungsstoffe
- 6.3.1 Benetzungsschichten
  - ▶ Lötanschlusswerkstoffe und Beschichtungen von THT-Bauteilanschlüssen
  - ▶ Grundwerkstoffe mit ex-situ aufgetragenen Benetzungsschichten
- 6.3.2 Konservierungsschichten
  - ▶ Flussmittel für die ex-situ Konservierung von SnPb-Benetzungsschichten auf Kupfer-Lötbaugruppen für 1 Jahr Lagerdauer
  - ▶ Konservierung von SnPb-Benetzungsschichten auf Kupfer-Lötbaugruppen für 1 Jahr Lagerdauer
  - ▶ Funktionsschichten auf Lötbauteilen von Elektronikbaugruppen
- 6.3.3 Lotstoppschichten
  - ▶ Lotstoppschichten für die Fertigung von Elektroniklötbaugruppen
  - ▶ Lotstopperkerben für die Fertigung von Lötverbindungen

- 6.3.4 Barrierschichten
  - ▶ Diffusionsporen oder Kirkendall-Poren in der Diffusionszone des verfahrensbeeinflussten Grundwerkstoffs von Schmelzlötverbindungen
  - ▶ Intermetallische Phasen im Lötgut von Schmelzlötverbindungen
  - ▶ Chemisches Anschmelzen des Kupfer-Trägerwerkstoffs durch Fehler in den Nickel-Barrierschichten von Kupfer-Schmelzlötverbindungen
  - ▶ Schmelzlöten von Stahl/Sinterstahl-Lötverbindungen mit in-situ Bildung von Barrierschichten
- 6.4 Löt-Hilfsstoff
  - ▶ Oberflächenaktivierung des Grundwerkstoffs bzw. der Barrierschicht bei der Fertigung von Lötverbindungen – 6.4
  - ▶ Verfahren zur Aktivierung und Konservierung der Oberflächen von Grundwerkstoffen, Barrierschichten und Löt-Zusatzwerkstoffen – 6.4
  - ▶ Löt-Hilfsstoffe – Elemente für die Fertigung von Lötverbindungen – 6.4
- 6.4.1 Oberflächenaktivierung bei Raumtemperatur durch chemisches Potenzial
  - ▶ Chemische Oberflächenaktivierung in bei Raumtemperatur flüssigen Fertigloten
  - ▶ Ga- und Bi-Lote – bei Raumtemperatur (< 30 °C) flüssige Lote
  - ▶ Eigenschaften von Ga und anderen Elementen mit Dichteanomalie sowie von Quecksilber
  - ▶ Spontane Benetzung in chemischen Kontakten durch Dichteanomalie
  - ▶ Bildung von niedrigschmelzende eutektischen Galliumkaskadenloten
  - ▶ Versprödung von Aluminium durch Galliumsegregation in die Korngrenzen
- 6.4.1.1 Flussmittelfreies Schmelzlöten bei Raumtemperatur mit Fertigloten und chemischer Oberflächenaktivierung
- 6.4.1.2 Flussmittelfreies Schmelzlöten bei Raumtemperatur mit Reaktions-Verbundloten und chemischer Oberflächenaktivierung
  - ▶ Flussmittelfreies Schmelzlöten von Lötbaugruppen bei Raumtemperatur mit fest-flüssigen Reaktions-Verbundloten
  - ▶ Gallium- und Bismut-Reaktions-Verbundlote und Systemeigenschaften der Kupfer-Schmelzlötverbindungen mit Verbundlötgut
- 6.4.2 Oberflächenaktivierung bei Raumtemperatur durch mechanische Arbeit
  - ▶ Mechanische Oberflächenaktivierung bei Normaldruck in flüssigen Fertigloten
  - ▶ AlZn-Reiblot zum manuellen und maschinellen Vorbeloten von Aluminiumwerkstoffen
  - ▶ Kollaps einer laserinduzierten Blase
  - ▶ Ultraschall-Presslötverbindung und Ultraschall-Schmelzlötverbindung
  - ▶ Spreng-Presslötverbindung und Spreng-Schmelzlötverbindungen
- 6.4.2.1 Flussmittelfreies Schmelzlöten bei Raumtemperatur mit Fertigloten und mechanischer Oberflächenaktivierung durch Schleifen
  - ▶ Flussmittelfreies Schmelzlöten von Lötbaugruppen bei Raumtemperatur mit flüssigen Fertigloten...

- 6.4.2.2 Flussmittelfreies Schmelzlöten bei Raumtemperatur mit Fertigloten und mechanischer Oberflächenaktivierung durch Kavitation
  - ▶ Flussmittelfreies Schmelzlöten von Lötbaugruppen bei Raumtemperatur mit flüssigen Fertigloten...
- 6.4.2.3 Flussmittelfreies Schmelzlöten bei Raumtemperatur mit Fertigloten und mechanischer Oberflächenaktivierung durch Lötdruck
  - ▶ Flussmittelfreies Schmelzlöten von Lötbaugruppen bei Raumtemperatur mit flüssigen Fertigloten...
- 6.4.3. Oberflächenaktivierung bei Normaldruck oder Unterdruck durch thermische Energie
  - ▶ Thermische Oberflächenaktivierung bei Normaldruck und Unterdruck
  - ▶ Affinität der Metalle zu Sauerstoff
  - ▶ Verhältnis der thermischen Ausdehnung der Metalloxide zur thermischen Ausdehnung der Metalle
  - ▶ Differenz zwischen Verdampfungstemperaturen der Metalle im Feinvakuum und Schmelztemperaturen der Metalle bei Normaldruck
  - ▶ Zersetzungstemperaturen von Metalloxiden bei Erwärmung an Luft
  - ▶ Einfluss der Temperatur und der Dissoziationsspannung auf die Oxidation und Dissoziation von Metallen beim flussmittelfreien Schmelzlöten
  - ▶ Verdampfungstemperaturen von Metalloxiden bei Erwärmung im Feinvakuum
  - ▶ Vakuum – Einordnung anhand der Druckbereiche
  - ▶ Dampfdruck von Metallen und Zusammenhang zwischen dem thermischen Ausdehnungskoeffizienten und der Schmelztemperatur
  - ▶ Innenoxidation unter der Oxidschicht der warmfesten TiAlNb-Legierung
- 6.4.3.1 Flussmittelfreies Tauchlöten in Lotbädern bei Normaldruck und thermischer Oberflächenaktivierung
  - ▶ Flussmittelfreies Schmelzlöten von Lötbaugruppen bei Normaldruck in einem Fertiglotbad (Lotbadlöten) ...
- 6.4.3.2 Flussmittelfreies Tauchlöten in Ölbädern bei Normaldruck und thermischer Oberflächenaktivierung
  - ▶ Flussmittelfreies Schmelzlöten von belöteten Lötbaugruppen bei Normaldruck in einem Ölbad (Ölbadlöten, Glycerinbadlöten)
  - ▶ Löttauftragung mittels Umschmelzen von galvanisch erzeugten SnAgCu-Lotbumps durch Tauchlöten im Glycerinbad
- 6.4.3.3 Flussmittelfreies Tauchlöten in Salzbädern bei Normaldruck und thermischer Oberflächenaktivierung
  - ▶ Flussmittelfreies Schmelzlöten von belöteten Lötbaugruppen bei Normaldruck in einem Salzbad (Salzbadlöten)
  - ▶ Salzbäder – Zusammensetzung und Badtemperaturen
  - ▶ Schutzgas- oder Vakuum-Löten mit thermischer Oberflächenaktivierung in Löt-Containern unter Nutzung von Salzbädern

- 6.4.3.4 Flussmittelfreies Tauchlöten in Dampfbädern bei Normaldruck und thermischer Oberflächenaktivierung
  - ▶ Flussmittelfreies Schmelzlöten von beloteten Lötbaugruppen bei Normaldruck in einem Dampfbad (Dampfphasenlöten, Kondensationslöten, VP-Löten...)
  - ▶ Die Prinzipielle Entwicklung der Reflow-Technologien
  - ▶ Flussmittelfreies Schmelzlöten mit fest-festen Reaktionsloten im Dampfbad
- 6.4.3.5 Flussmittelfreies Schutzgaslöten in chemisch neutralen Gasen bei Normaldruck und thermischer Oberflächenaktivierung
  - ▶ Flussmittelfreies Schmelzlöten von beloteten Lötbaugruppen bei Normaldruck im neutralen Schutzgas (Schutzgaslöten, Inertgaslöten)...
  - ▶ Chemisch neutrale Schutzgase zum flussmittelfreien Schmelzlöten
- 6.4.3.6 Flussmittelfreies Vakuum-Löten in Luft oder Schutzgasen bei Unterdruck und thermischer Oberflächenaktivierung
  - ▶ Flussmittelfreies Schmelzlöten von beloteten Lötbaugruppen bei Unterdruck im neutralen Vakuum (Vakuum-Löten) ...
  - ▶ Löt-Container zum Schutzgaslöten und Vakuum-Löten
  - ▶ Ausbreitungsflächen und Scherfestigkeit beim Vakuum-Schmelzlöten
- 6.4.3.7 Flussmittelfreies Autovakuum-Löten in Luft bei Unterdruck und thermischer Oberflächenaktivierung
  - ▶ Flussmittelfreies Schmelzlöten von beloteten Lötbaugruppen bei Unterdruck im neutralen Vakuum (Autovakuum-Löten) ...
  - ▶ Autovakuum-Schmelzlöten – Verfahrensschema und Lötbaugruppe
- 6.4.4 Oberflächenaktivierung bei Normaldruck oder Unterdruck durch chemisches Potenzial und thermische Energie
  - ▶ Thermo-chemische Oberflächenaktivierung bei Normaldruck oder Unterdruck ...
  - ▶ Wirkbereiche von Flussmittelschmelzen – Schema
- 6.4.4.1 Tauchlöten in Lotbädern bei Normaldruck und chemo-thermischer Oberflächenaktivierung
  - ▶ Lotbad-Tauchlöten (Tauchlöten / Schwallloten / Wellenlöten / Schleplöten / Rollenlöten / Hub-Tauch-Löten u. a.) von gefluxten Lötbaugruppen ...
  - ▶ Lotbad-Tauchlöten – Verfahrensvarianten
  - ▶ Hartmetall-Bohrkronen – Flussmittel-Schmelzlöten durch Lotbad-Tauchlöten
- 6.4.4.2 Tauchlöten in Ölbädern bei Normaldruck und chemo-thermischer Oberflächenaktivierung
  - ▶ Ölbad-Tauchlöten (Tauchlöten) von gefluxten und beloteten Lötbaugruppen ...



- 6.4.4.3 Tauchlöten in Flussmittelbädern bei Normaldruck und chemo-thermischer Oberflächenaktivierung
  - ▶ Flussmittelbad-Tauchlöten (Tauchlöten) von beloteten Lötbaugruppen ...
  - ▶ Salze und Salzgemische für das Salzbadlöten oder Flussmittelbadlöten für Badtemperaturen von 485 °C bis 1300 °C
  - ▶ Transportvorrichtung für das Durchlauf-Tauchlöten von Fahrradrahmen in Flussmittelbädern
  - ▶ Salzgemische für das Flussmittel-Salzbadlöten von Aluminium-Lötbaugruppen für Badtemperaturen von 380 °C bis 638 °C
- 6.4.4.4 Tauchlöten in Dampfbädern bei Normaldruck und chemo-thermischer Oberflächenaktivierung
  - ▶ Dampfbad-Tauchlöten (Tauchlöten) von beloteten und gefluxten Lötbaugruppen ...
  - ▶ Dampfbad-Tauchlöten – Schema
  - ▶ Zeitarmes Dampfbad-Tauchlöten
- 6.4.4.5 Schutzgaslöten in Flussmitteldämpfen bei Normaldruck und chemo-thermischer Oberflächenaktivierung
  - ▶ Schutzgaslöten (Löten in aktivierten Schutzgasen, Löten im aktivierten Wasserdampf, Gasflux-Löten ...) von beloteten Lötbaugruppen in Flussmitteldämpfen...
  - ▶ Chemische Verbindungen für das Schutzgaslöten in Flussmitteldämpfen
  - ▶ Flammlöten mit Flussmitteldämpfen
  - ▶ Wärmeübergang und Benetzungseigenschaften des mit Adipinsäure aktivierten Wasserdampfs
  - ▶ Lötverbindungen durch Schmelzlöten im aktiviertem Wasserdampf
- 6.4.4.6 Schutzgaslöten in neutralen Gasen bei Normaldruck und chemo-thermischer Oberflächenaktivierung
  - ▶ Schutzgaslöten in chemisch neutralen Schutzgasen (Schutzgaslöten, Stickstofflöten, Containerlöten, Warmgaslöten ...) von beloteten und gefluxten Lötbaugruppen ...
  - ▶ Neutrale Schutzgase zum Flussmittel-Schmelzlöten
  - ▶ Stickstoff – Eigenschaften und Reinheit
  - ▶ Lötteinrichtungen zum Erwärmen durch erhitzte Gase oder Dämpfe
  - ▶ Mindesttemperaturen beim Schutzgaslöten für die thermische Oberflächenaktivierung durch die Fehlanpassung der Ausdehnung der Metalle und ihrer Oxide
- 6.4.4.7 Schutzgaslöten in reduzierenden Gasen bei Normaldruck und chemo-thermischer Oberflächenaktivierung
  - ▶ Schutzgaslöten in reduzierenden Schutzgasen (Schutzgaslöten, Löten in kontrollierter Atmosphäre ...) von beloteten Lötbaugruppen ...
  - ▶ Reduzierende Schutzgase – Zusammensetzung und Taupunkt
  - ▶ Verfahren zum Aufbringen von Lotmaterial auf Montageteile für die Halbleitermontage

- 6.4.4.8 Metaldampfblöten bei Normaldruck und chemo-thermischer Oberflächenaktivierung
  - ▶ Metaldampfblöten bei Normaldruck (Löten in kontrollierter Atmosphäre) von beloteten Lötbaugruppen
  - ▶ Scherfestigkeit von in Zinkdampf flussmittelfrei gefertigten Stahl(CuZn) Stahl-Schmelzlötverbindungen
- 6.4.4.9 Metaldampfblöten bei Unterdruck und chemo-thermischer Oberflächenaktivierung
  - ▶ Metaldampfblöten bei Unterdruck (Löten in kontrollierter Atmosphäre) von beloteten Lötbaugruppen
  - ▶ Metaldämpfe – Anwendung beim Schmelzlöten
  - ▶ Metaldampfblöten von Titan-Aluminium-Wärmetauschern
  - ▶ Schmelzlöten von Titan-Aluminium-Wärmetauschern mit Bleidämpfen
  - ▶ Lichtbogenpresslöten von Titan-Aluminium-Lötbaugruppen mit Titandämpfen
- 6.4.4.10 Schmelzlöten an Luft bei Normaldruck und chemo-thermischer Oberflächenaktivierung
  - ▶ Schmelzlöten an Luft von Lötbaugruppen ...
  - ▶ Selbstfließende Fertiglote – Wirkung [2] und Verbindungsgefüge [3]
  - ▶ Selbstfließende CuP- und CuPAg-Fertiglote in den Staaten der GUS
  - ▶ Selbstfließende Fertiglote zum Schmelzlöten von Kupferwerkstoffen
- 6.4.5. Oberflächenaktivierung bei Normaldruck durch mechanische Arbeit und thermische Energie
  - ▶ Mechano-thermische Oberflächenaktivierung bei Normaldruck in flüssigen Loten
- 6.4.5.1 Flussmittelfreies Tauchlöten in Lotbädern bei Normaldruck und mechano-thermischer Oberflächenaktivierung
  - ▶ Mechano-thermische Oberflächenaktivierung bei Normaldruck in flüssigen Lotbädern ...
  - ▶ Flussmittelfreies Tauchlöten in Ultraschall-Lotbädern mit mechano-thermischer Oberflächenaktivierung
- 6.4.5.2 Flussmittelfreies Schmelzlöten in Lotschmelzen bei Normaldruck und mechano-thermischer Oberflächenaktivierung
  - ▶ Mechano-thermische Oberflächenaktivierung bei Normaldruck in flüssigen Lotschmelzen ...
  - ▶ Flussmittelfreies Schmelzlöten in Ultraschall-Lotschmelzen mit mechano-thermischer Oberflächenaktivierung
  - ▶ Flussmittelfreies Ultraschall-Schwalllöten mit mechano-thermischer Oberflächenaktivierung
  - ▶ Flussmittelfreies Schmelzlöten mit mechano-thermischer Oberflächenaktivierung mittels der Reibpaarung *Heizdraht/Lötflächen*

- 6.4.5.3    Flussmittelfreies Engspaltlöten bei Normaldruck oder Unterdruck und mechano-thermische Oberflächenaktivierung
  - ▶ Mechano-thermische Oberflächenaktivierung bei Normaldruck beim Engspaltlöten ...
- 6.4.6    Oberflächenaktivierung bei Normaldruck durch chemisches Potenzial, mechanische Arbeit und thermische Energie
  - ▶ Chemo-mechano-thermische Oberflächenaktivierung beim Löten unter Druck
- 7        Lötparameter für die Fertigung von Lötverbindungen
- 7.1      Fertigungsparameter bei der Fertigung der Lötverbindung
- 7.1.1    Lötparameter beim Löten
  - ▶ Lötparameter für den Energie- und Stofftransport beim Löten
  - ▶ Thermischer Lötzyklus – beim Löten mit Erwärmen über Raumtemperatur
- 7.1.2    Behandlungsparameter beim Löten
- 7.2      Werkstoffveränderungen und Lötprozesse beim Schmelzlöten
- 7.2.1    Stofflicher Aufbau der Lötverbindungen
  - ▶ Werkstoffbereiche in Schmelzlötverbindungen
  - ▶ Chemisch-physikalische Prozesse beim Fertigen von Schmelzlötverbindungen
  - ▶ Werkstoffbereiche in unterschiedlichen Lötverbindungen
- 7.2.2    Verfahrensbeeinflusster Grundwerkstoff
  - ▶ Verfahrensbeeinflusster Grundwerkstoff mit verändertem Gefüge- und Phasenaufbau beim Schmelzlöten von Stählen
  - ▶ Kaltverformung und Anlasstemperatur – Einfluss auf Streckgrenze, Kornvolumen, elektrische Leitfähigkeit und Bruchdehnung
  - ▶ Zugfestigkeit von Grundwerkstoff, verfahrensbeeinflusstem Grundwerkstoff und kombinierten Schweißlöt-Verbindungen
  - ▶ Dauerfestigkeit von Grundwerkstoff, verfahrensbeeinflusstem Grundwerkstoff, Lötverbindungen und kombinierten Schweißlöt-Verbindungen
- 7.2.3    Lotschmelze
  - ▶ Metall-, Mischkristall- und Eutektik-Fertiglote sowie Eutektik- und Mischkristall-Reaktionslote zum Schmelzlöten von Kupfer
- 7.2.3.1   Thermisches Schmelzen der Fertiglote
  - ▶ Thermisches Schmelzen des festen AgCu-Eutektik-Fertiglotes
  - ▶ Thermisches Vorschmelzen von Fertiglotten – Untersuchungsmethode
  - ▶ Thermisches Schmelzen des SnPb-Eutektik-Fertiglotes
- 7.2.3.2   Thermisches Schmelzen der Reaktionslote
  - ▶ Laser-Übersolidus-Schmelzlötverbindungen
  - ▶ Lichtbogen-Übersolidus-Schmelzlötverbindungen und Widerstands-Übersolidus-Schmelzlötverbindungen

- 7.2.3.3 Chemisches Schmelzen der Reaktionslote
  - ▶ Chemisches Schmelzen des fest-festen AgCu-Eutektik-Reaktionslotes
  - ▶ Aluminiumschmelzlöten mit dem fest-festen AlSi-Eutektik-Reaktionslot
- 7.2.4 Lötgutschmelze beim Untersoliduslöten
  - ▶ Lotschmelze – Umwandlung in die Lötgutschmelze durch chemisches Schmelzen des Grundwerkstoffs
  - ▶ Lötgutschmelze – chemische Zusammensetzung bei Erreichen der Löttemperatur
  - ▶ Montagespalt – Einfluss auf den Grundwerkstoffanteil im Schmelzlötgut
- 7.2.5 Lötgutschmelze beim Übersoliduslöten
- 7.2.6 Chemisches Schmelzen des Grundwerkstoffs
  - ▶ Phasenübergänge *fest-flüssig* und *flüssig-fest* beim Schmelzlöten und Schmelzschweißen
  - ▶ Chemisches Anschmelzen des Grundwerkstoffs beim Schmelzlöten
  - ▶ Schmelzrate beim Schmelzlöten
- 7.2.7 Diffusionszone
  - ▶ Diffusionszone im verfahrensbeeinflussten Grundwerkstoff und Mischkristallschicht in der Lötgutschmelze
  - ▶ Mischkristallschicht (MK) und Diffusionszone (DZ) – chemische Zusammensetzung
- 7.2.8 Mischkristallschicht
  - ▶ Mischkristallschichten beim Schmelzlöten von Stahl, Kupfer und Messing
  - ▶ Mischkristallschicht (MK) und Diffusionszone (DZ) – chemische Zusammensetzung
- 7.2.9 Übergangsphase
  - ▶ Übergangsphasen beim Schmelzlöten einer NiCrFe-Legierung und von Kupfer
  - ▶ Werkstoffbereiche in einer Cu(SnPbAg)-Schmelzlötverbindung nach Tempern und Auslagerung
  - ▶ Löttemperatur und Montagespalt – Einfluss auf das Wachstum von CuSn-Phasen
- 7.2.10 Lötguterstarrung
  - ▶ Thermische und chemische Phasenübergänge *fest-flüssig* sowie *flüssig-fest*
- 7.2.10.1 Thermische Erstarrung der Lötgutschmelze
  - ▶ Heteroepitaxiales Wachstum der Mischkristalle des Lötgutes auf Basis der chemisch angeschmolzenen Grundwerkstoffkristallite mit Vererbung der Korngrenzen
  - ▶ Wachstumsmechanismen von Primärkristalliten bei der thermischen Erstarrung beim Schmelzlöten und Schmelzschweißen
  - ▶ Primärgefüge des thermisch erstarrenden Schmelzlötgutes – Einfluss der Abkühlgeschwindigkeit

- 7.2.10.2 Chemische Erstarrung der Lötgutschmelze
  - ▶ Thermisches (isochemisches) und isothermes Schmelzlöten der Titanlegierung OT-4
  - ▶ Magnesiumschmelzlöten mit Silber-Reaktionslot und isothermer Erstarrung
  - ▶ Löttemperaturen und Wiederaufschmelztemperaturen beim isothermen Schmelzlöten
- 7.3 Lötparameteroptimierung zur Verbesserung der Verbindungswertigkeit
  - ▶ Eigenschaften von Schmelzlötverbindungen – Einfluss der Abkühlgeschwindigkeit
  - ▶ Verfestigung von Schmelzlötverbindungen durch Abkühlen unter Argondruck