

Werkstoffwissenschaftliche Schriftenreihe

Band 47

Frank Hillen

**Flußmittelfreies Fügen von
schwer benetzbaren Oberflächen**

D 82 (Diss. RWTH Aachen)

Shaker Verlag
Aachen 2001

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Hillen, Frank:

Flußmittelfreies Fügen von schwer benetzbaren Oberflächen / Frank Hillen.

Aachen : Shaker, 2001

(Werkstoffwissenschaftliche Schriftenreihe ; Bd. 47)

Zugl.: Aachen, Techn. Hochsch., Diss., 2001

ISBN 3-8265-9507-6

Copyright Shaker Verlag 2001

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 3-8265-9507-6

ISSN 1437-8450

Shaker Verlag GmbH • Postfach 1290 • 52013 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • eMail: info@shaker.de

Diss-hi

Ausgangssituation und Zielsetzung

Das Weichlöten, definiert als Lötverfahren mit Lotwerkstoffen, deren Liquidustemperatur unterhalb von 450°C liegt, wird primär in der Elektronikbranche und im Installationsbereich angewendet. Der Prozess wird in der Regel an Luft durchgeführt und erfordert zum Teil aggressive Flussmittel, die auf Grund ihres hygroskopischen Charakters ein Korrosionsrisiko darstellen, so dass die gelöteten Teile nach dem Lötprozess einer aufwendigen Reinigung unterzogen werden müssen. Alternativ werden derartige Prozesse unter Schutzgasatmosphäre durchgeführt und sind somit aufwendiger und kostenintensiver. Flussmittel bzw. Lötatmosphäre sind dabei auf die jeweiligen zu verlötenden Grundwerkstoffe abzustimmen, woraus sich Einschränkungen ergeben, wenn artfremde Werkstoffe miteinander zu verbinden sind. Zur Herstellung hybrid aufgebauter Lötverbindungen wird ein recht aufwendiger Weg beschritten, indem ein Fügepartner zuvor metallisiert bzw. mit einem Metall plattiert wird, so dass für die eigentliche Lötaufgabe artgleiche Ausgangswerkstoffe zur Verfügung stehen.

Auf Grund dieser limitierenden Faktoren für die Weichlöttechnik, wurde für die vorliegende Arbeit das Ziel formuliert, Weichlote zu entwickeln, die die gängigen Konstruktionswerkstoffe direkt benetzen. Darüber hinaus sollte ein Lötprozess an Luft ohne den Einsatz von Flussmitteln durchgeführt werden. Als Grundwerkstoffe wurden AlMg3 und SF-Cu als Nichteisenmetalle sowie die Stähle S235JR und X5CrNi18-10 ausgewählt, wobei die Aluminiumlegierung mit den anderen genannten Werkstoffen zu verbinden ist. Die Herstellung derartiger Lötverbindungen ist besonders anspruchsvoll, da die Fügepartner in ihrem thermischen Ausdehnungsverhalten zum Teil stark differieren.

Vorgehensweise

Im Rahmen einer detaillierten Literaturrecherche wurde zunächst der Stand der Technik für Weichlote analysiert, wobei ausschließlich bleifreie Legierungen betrachtet wurden. Aufbauend auf diesen Erkenntnissen, wurde eine theoretische Legierungskonzeption vorgenommen, die sich neben Literaturdaten auf die Auswertung von binären und ternären Phasendiagrammen stützt. Als Löttemperatur für die neu zu konstituierenden Lotwerkstoffe wurde alternativ ein Bereich zwischen 200 bis 300°C bzw. 400 bis 500°C vorgegeben. Es wurden zwei Lotklassen vorgeschlagen, die Zinn bzw. Zink als Basiskomponente beinhalten. Die weiteren eingesetzten Lotbestandteile wurden gemäß ihrer Funktionalität in Gruppen zusammengefasst (vgl. S. 30 ff). Als Funktion i.d.S. wurde die Regulierung des Schmelzintervalls, die Benetzungsfähigkeit, die Festigkeit, die Ausbildung eines feinkörnigen Gefüges und eine Reduktion der Lotoxidation identifiziert. Verfahrensseitig wurde der Ansatz verfolgt, Oxidbelegungen auf Lot- und Grundwerkstoff auf mechanischem Weg zu dissoziieren. Die Umsetzung erfolgt mit verschiedenen Sonderanlagen, die mittels Ultraschall bzw. Reibung die oxidischen Deckschichten zerstören, wobei die Verfahrensauswahl in Abhängigkeit von der Probengröße- bzw. geometrie erfolgt. Im praktischen Teil dieser Arbeit werden die Versuchsergebnisse im Rahmen von zwei Kapiteln systematisch analysiert. Zunächst werden die Lotwerkstoffe in metallurgischer bewertet und der Schmelzbereich und die Mikrohärtigkeit von 68 Versuchsloten, die im Lichtbogenofen bzw. im Induktionsschmelztiegel erschmolzen wurden, ermittelt. Zusätzlich wurden weitere physikalischen Eigenschaften (wie Wärmeausdehnungskoeffizient, Wärmeleitfähigkeit, Zugfestigkeit etc.) bestimmt und die Qualität der Lotoxidation im Rahmen von thermogravimetrischen Messungen ermittelt.

Zur mechanischen Qualifizierung der Lötverbindungen wurden artgleiche Lötverbindungen hergestellt, die mittels Scher- und Zugversuchen bei RT und erhöhten Prüftemperaturen untersucht wurden. An Hand ausgewählter Lotwerkstoffe wurde die Reaktionskinetik der Reaktionsschichten zwischen Lot- und Grundwerkstoff beurteilt. Der Fügezonenaufbau gelöteter Werkstoffverbunde wurde abschließend in mechanischer (Nanoindentation) und metallurgischer Hinsicht (REM) analysiert.

Zusammenfassung - Schwerpunkte - Ergebnisse

- ◆ Mit den eingesetzten Lotwerkstoffen - sowohl auf Sn- als auch auf Zn-Basis - kann auf allen untersuchten Grundwerkstoffen (AlMg3, SF-Cu, S235JR, X5CrNi18-10) eine Benetzung erzielt werden, so dass Lote zur Verfügung stehen, die das Verbinden artfremder Metalle ohne vorherige Metallisierung, flussmittelfrei an Luft ermöglicht. Ga, Ce und Ti zur Benetzungsförderung sind wirksam.
- ◆ Die beiden eingesetzten Lötprozessvarianten - mit Ultraschall bzw. Reibung - ermöglichen die Herstellung fehlerfreier Verbindungen. Während die Anwendung des ultraschallgestützten Lötens nur auf kleinere Bauteile übertragbar, können mit dem Reiblötens, das auf einer Relativbewegung der beiden Fügepartner basiert, auch größer dimensionierte Teile verlötet werden. Hierdurch wird das Anwendungsspektrum des flussmittelfreien Lötens mittels mechanischer Oxidhautzerstörung deutlich erweitert.
- ◆ Die Refraktärmetalle bilden mit der Lotmatrix Disperide, die zur Festigkeitssteigerung (insbesondere Warmfestigkeit) beitragen. Im Fall der Legierung Sn-Ag4-Ti4-Ce0,1-Ga0,1 konnte neben der allgemein bekannten Phase Ti_3Sn_5 eine intermetallische Verbindung der Stöchiometrie Ti_3Sn_5 gefunden werden, die bisher in der einschlägigen Literatur nicht erwähnt wird.
- ◆ Im Vergleich zu dem Lot Sn-Ag3,5 (S. 117: $\alpha = 27,9 \cdot 10^6$) weisen die mit Titan dotierten Sn-Basislote einen deutlich niedrigeren E-Modul auf. Für die Legierung Sn-Ag4-Ti4-Ce0,1-Ga0,1 wurde α mit $17,7 \cdot 10^6$ 1/K ermittelt. Dieser Wert führt beim Verbinden artfremder Werkstoffe wie Aluminium und Stahl zu einer Reduktion der Restspannungen im Lötnahtgefüge und resultiert somit in höheren Festigkeitswerten.
- ◆ Die Auswertung thermogravimetrischer Messung und die Korrelation mit entsprechenden Oxidbildungsgesetzen belegen, dass die Lotoxidation auf Grund der höheren Verarbeitungstemperaturen bei den Zn-Basisloten von größer Bedeutung ist als bei den Sn-Basiswerkstoffen. Durch eine gesteigerte Zugabe oxidationsträger Elemente, wie Silber oder von Bestandteilen die eine dünne, dichte Oxidschicht auf der flüssigen Lotschmelze bilden, wie Aluminium, konnte dieses Problem erfolgreich gelöst werden.