

## Teilprojekt A5

### Titel

Einfluss der Fest-Flüssig-Reaktionen im Lötspalt auf  
Lötguteigenschaften und Präzision

### Projektleitung/-bearbeitung

Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. K. Bobzin

Projektbearbeitung: D. Machado, M.Sc.

Institut für Oberflächentechnik (IOT)

### Aufgabenstellung

- Lotentwicklung auf Basis des Norm-Hartlotes Ni 620
- Erarbeitung der Prozessparameter und Analyse des Einflusses vom stromunterstützten Diffusionslöten (ECAB)
- Kombiniertes Einsatz der entwickelten Lote mit dem optimierten ECAB und umfassende Charakterisierung der Fügeverbindungen

### Vorgehensweise

Um den Einfluss des elektrischen Stroms beim ECAB zu untersuchen, wurden Stumpfstoßverbindungen hergestellt. Der Versuchsaufbau wurde gegenüber dem bisherigen Aufbau optimiert, so dass Vierkantstäbe paarweise in Lötversuchen unter einem Aufpressdruck von  $p = 0,2 \text{ MPa}$  und mit höheren Stromdichten gelötet werden können. Zudem ermöglicht der neue Versuchsaufbau die reproduzierbare Einstellung der Lötspaltbreite ohne vorheriges Punktschweißen.

Der Warmarbeitsstahl X37CrMoV5-1 und das industrielle Nickelbasislot Ni 620 wurden für die Untersuchungen eingesetzt. Der prozesstechnische Ansatz konzentriert sich dabei auf die Verbesserung der angewandten Prozessparameter beim stromunterstützten Diffusionslöten. Hierbei ermöglicht eine reduzierte Probenquerschnittsfläche Stromdichten bis zu  $J_{\max} = 240 \text{ A/cm}^2$ . Der werkstofftechnische Ansatz sieht hingegen das „Impfen“ des Lotes Ni 620 mit Refraktärmetallen vor. Mittels des Melt-Spinning-Verfahrens wurden hierzu

geimpfte amorphe Lötbander mit  $w_x = 3$  Gew.-% Zr oder Ti hergestellt.

### Ergebnisse

Die hergestellten geimpften Lötbander wurden mittels Rasterelektronenmikroskopie (REM) und Röntgendiffraktometrie (XRD) charakterisiert. Die Untersuchungen an den Bändern zeigten, dass die gewünschte Dicke von  $d \approx 60 \mu\text{m}$  erreicht wurde. Anhand der REM-Untersuchungen konnte eine homogene chemische Zusammensetzung über die Länge der Bänder nachgewiesen werden. Die XRD-Analyse der hergestellten Lotbänder garantierte die Qualität, da durch einen amorphen Anteil der Lotbänder die mechanische Flexibilität und damit auch gute Verarbeitungseigenschaften gewährleistet werden. In Abbildung 1 ist die Kurve für ein Zr-geimpftes Lötband dargestellt. Das Fehlen von eindeutig definierten Peaks deutete auf das Vorhandensein einer teilweise amorphen Mikrostruktur hin.

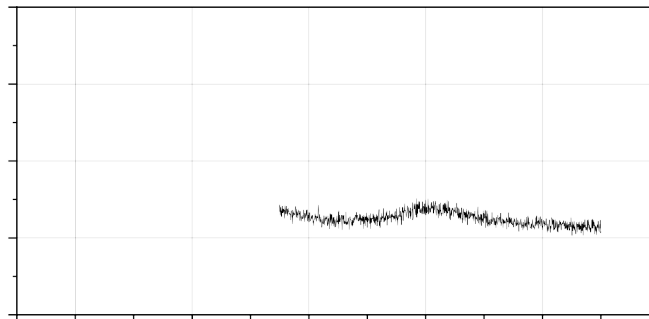


Abbildung 1: XRD-Kurve von teilweise amorphem Lötband Ni 620 geimpft mit  $w_x = 3$  Gew.-% Zr

Zur Untersuchung des stromunterstützten Diffusionslötens wurden REM-Untersuchungen wie auch Untersuchungen mittels Elektronenstrahlmikroanalyse (ESMA) an gelöteten Proben vorgenommen, Abbildung 2. Die Proben zeigen einen signifikanten Effekt der hohen Stromdichten auf die Lage und Verteilung der intermetallischen (Spröd-)Phasen. Als mögliche Begründung für die beobachteten Effekte wird die Lorentzkraft sowie das wandernde Magnetfeld angenommen, welches im schmelzflüssigen Lot verläuft. Diese Effekte sind bereits aus

anderen Anwendungen bekannt, wobei sich erstarrende Dendriten von der Grenzfläche am Grundwerkstoff lösen und hierdurch eine Verfeinerung des Gefüges stattfindet.

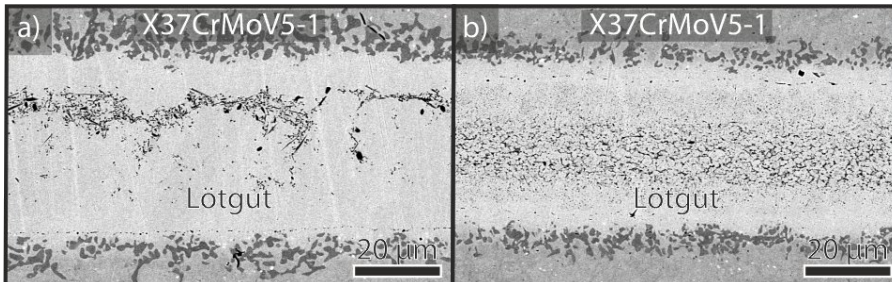


Abbildung 2: REM-Querschliffaufnahmen der Lötverbindung unter Strom (a) und der Referenz (b).  $T_{\text{Löt}} = 1.000 \text{ }^\circ\text{C}$ ,  $t_{\text{Löt}} = 10 \text{ min}$

Die ESMA-Messungen, die in Zusammenarbeit mit dem Teilprojekt A6 durchgeführt wurden, zeigen eine verstärkte Bor-Diffusion entlang der ehemaligen Austenitkorngrenzen durch das ECAB. Abbildung 3 zeigt vergleichend den Einfluss des Stroms auf die Boridbildung, ebenso wie auf die Silizidbildung im Lötgut ohne zusätzlich Impfung.

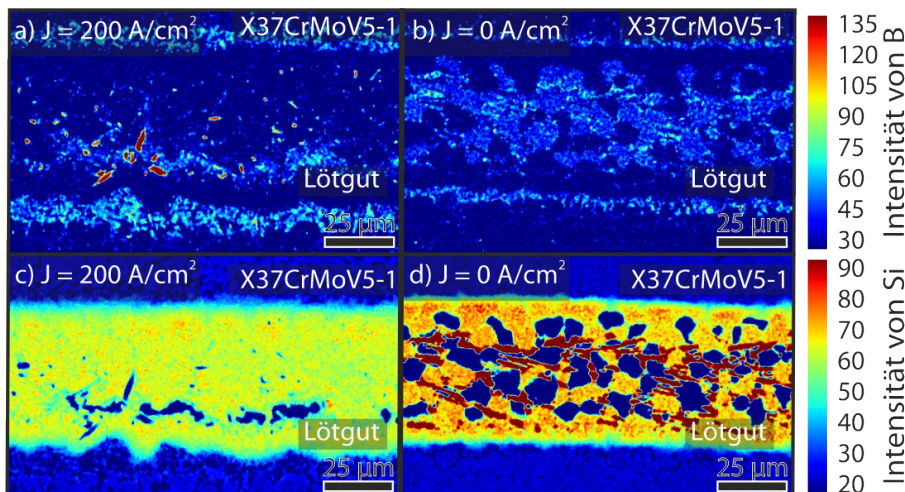


Abbildung 3: ESMA-Scans der Verteilung von Bor (a,b) und der Verteilung von Si (c,d) im Randbereich der Lötverbindung

### Zusammenfassung und Ausblick

Angepasste geimpfte Lote wurden erfolgreich entwickelt, charakterisiert und beim Diffusionslöten eingesetzt. Der Einfluss des ECAB auf das Lötgut wurde analysiert, wobei ein signifikanter Einfluss des Stroms insbesondere auf die B und Si-

Diffusion und somit auch die Ausbildung intermetallischer Phasen beobachtet wurde.

Im nächsten Schritt werden die entwickelten Lote zur Reduktion der Sprödphasen weiter validiert. Auch die kombinierte Nutzung der geimpften Lotbänder und des ECAB wird weiter untersucht. Das Verständnis der mikrostrukturellen Entwicklung unter Stromzufuhr muss hierbei vertiefend analysiert und mit den mechanischen Eigenschaften (statisch/dynamisch) korreliert werden.

### **Veröffentlichungen**

K. Bobzin, W. Wietheger, J. Hebing, L. Zhao, A. Schmidt, R. Iskandar, J. Mayer

*Influence of direct electric current on wetting behavior during brazing*

Frontiers of Mechanical Engineering 15 (2020) 496-503  
[10.1007/s11465-019-0582-6]