

## Teilprojekt A5

### Titel

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

### Projektleitung/-bearbeitung

Projektleitung: Prof. Dr.-Ing. Bobzin, Kirsten

Projektbearbeitung: M. Sc. Schmidt, Alexander

Institut für Oberflächentechnik (IOT)

### Aufgabenstellung

Nach dem heutigen Stand der Technik sind die Prozessanforderungen beim Löten von Warmarbeitsstählen mit Ni-Basisloten mittels des Transient Liquid Phase Bondings gegensätzlich. Bezüglich der Lötzone sind hierbei hohe Temperaturen sowie lange Haltezeiten von Vorteil. Dadurch wird die Bildung von Sprödphasen in der Lötzone verhindert. Auf der anderen Seite beeinflussen diese Parameter die mechanischen und korrosiven Eigenschaften des Grundwerkstoffs in negativer Weise durch unerwünschte Phasenumwandlungen und das einhergehende Kornwachstum. Das Ziel des Projekts ist es, diese Gegensätze in Einklang zu bringen. Hierzu wurden zwei Kompensationsansätze entwickelt. Der erste ist ein werkstofftechnischer Ansatz und sieht eine Lotentwicklung auf Basis des industriellen Lotes Ni 620 vor. Der zweite, prozesstechnische Ansatz umfasst das stromunterstützte Löten. Dabei beschleunigt der elektrische Strom die Diffusionsvorgänge während des Lötprozesses, sodass ungeachtet wesentlich geringerer Löttemperaturen und Haltezeiten, die Bildung der Sprödphasen im Lötspalt verhindert werden kann.

### Vorgehensweise

Zur Erarbeitung der physikalischen Grundlagen der stromunterstützten Diffusion wurden zunächst stromunterstützte Benetzungsversuche durchgeführt. Hierzu wurde der in

Abbildung 1 dargestellte Versuchsstand verwendet. Als Grundwerkstoff wurde der Baustahl 1.0036 angewandt. Als Lot wurde das Ni 620 Lottape eingesetzt. Um reproduzierbare Oberflächen zu gewährleisten, wurde der Grundwerkstoff vor den Benetzungsversuchen mit 1.200 SiC-Papier geschliffen.

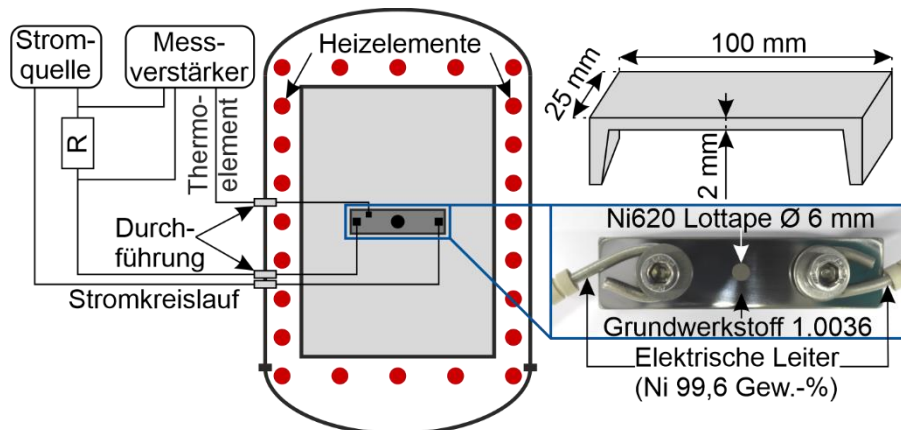


Abbildung 1: Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus

Die verwendeten Prozessparameter betragen  $T_{\text{Löt}} = 1.080 \text{ °C}$  und  $t_{\text{Löt}} = 10 \text{ min}$ . Um das Verdampfen des Lotes zu verhindern wurden die Benetzungsversuche ab einer Temperatur von  $T = 600 \text{ °C}$  in einer Ar-Atmosphäre durchgeführt. Bei der Referenzprobe V1 wurde kein elektrischer Strom und bei der Probe V2 Gleichstrom mit einer Stromstärke von  $I = 60 \text{ A}$  eingesetzt.

## Ergebnisse

In Abbildung 2 sind lichtmikroskopische Aufnahmen von V1 und V2 dargestellt. In beiden Fällen ist die vom Lot benetzte Fläche höher als die Ausgangsfläche des Lotes. Bei der Referenzprobe, ohne den Einsatz vom elektrischen Strom, erfolgt die Lotausbreitung gleichmäßig in alle Richtungen, Abbildung 2 a). Die benetzte Fläche des stromunterstützten Versuchs ist größer als bei der Referenzprobe, Abbildung 2 b). Weiterhin breitet sich das Lot hier in Richtung des Minuspols aus. Die Ausbreitung des Lotes in Richtung des positiven Pols dagegen wird im Vergleich zu V1 unterdrückt. Als mögliches physikalisches Erklärungsmodell für die gerichtete Lotausbreitung wird die elektrostatische Anziehungskraft angenommen. Im schmelzflüssigen Zustand des Lotes sind die positiv geladenen Atomrümpfe nicht im Kristallgitter gebunden und somit frei beweglich. In Kombination

mit einem anliegenden elektrischen Feld führt die Möglichkeit der Bewegung von einzelnen Atomen dazu, dass die positiv geladenen Atomrümpfe aufgrund der Coulombkraft in Richtung des negativen Pols beschleunigt werden.

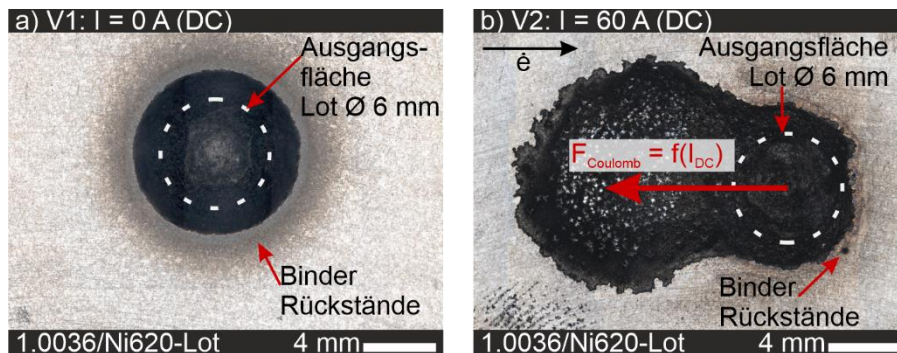


Abbildung 2: Lichtmikroskopische Aufnahmen von  
a) V1: Pos. 1,  $I = 0 \text{ A (DC)}$  und b) V2: Pos. 1,  $I = 60 \text{ A (DC)}$

### Zusammenfassung und Ausblick

Unter Verwendung des vorgestellten experimentellen Versuchsaufbaus wurden stromunterstützte Benetzungsexperimente durchgeführt, bei denen im Gegensatz zur einschlägigen Literatur Gleichstrom entlang der Grenzfläche zwischen dem Grundmaterial und dem Lot angelegt wurde. Die Ergebnisse zeigten einen ungewöhnlich signifikanten Einfluss des elektrischen Stroms auf die Größe der benetzten Fläche und zusätzlich eine Abhängigkeit der Ausbreitungsrichtung des Lots von der Polarität des Gleichstroms. Es wird angenommen, dass die Coulombkraft der verantwortliche physikalische Effekt für die beobachtete gerichtete Ausbreitung des Lots ist. Der Effekt einer verbesserten und gerichteten Lotausbreitung kann ein wertvolles Werkzeug für die Löttechnologie sein, um eine unzureichende Füllung des Lötspaltes aufgrund von Herstellungstoleranzen der Bauteile oder Bauteilverzug während des Lötprozesses zu überwinden.

### Veröffentlichungen

1. Bobzin, K.; Öte, M.; Wiesner, S.; Schmidt, A.\*)  
Accelerated and Directed Diffusion during Electric Current-Assisted Brazing  
**Proceedings IBSC 2018**: International Brazing and Soldering Conference (IBSC) 2018; April 15<sup>th</sup>-18<sup>th</sup>, 2018, New Orleans, USA, 126-129 (2018) [ISBN 978-0-87171-939-3]
2. Aretz, A.\*) ; Mayer, J.; Bobzin, K.; Öte, M.; Wiesner, S.; Schmidt, A.  
In Situ investigation of production processes in a Large Chamber Scanning Electron Microscope  
Ultramicroscopy 193 (2018) 151-158  
[10.1016/j.ultramic.2018.07.002]
3. Bobzin, K.; Öte, M.; Wiesner, S.; Schmidt, A.\*) ; Aretz, A.; Mayer, J.  
Influence of tin on the wetting behavior of aluminum  
**Proceedings LÖT 2019**: 12<sup>th</sup> International Conference on Brazing, High Temperature Brazing and Diffusion Bonding; May 21<sup>st</sup>-23<sup>rd</sup>, 2019, Aachen, Germany, DVS Media GmbH, DVS-Berichte 353, 240-246 (2019) [ISBN 978-3-96144-060-3]; Best Paper Award
4. Bobzin, K.; Wietheger, W.; Hebing, J.; Zhao, L.; Schmidt, A.\*) ; Iskandar, R.; Mayer, J.  
Influence of direct electric current on wetting behavior during brazing  
Frontiers of Mechanical Engineering (2020)  
[10.1007/s11465-019-0582-6]