

Entwicklung einer bauteilgerechten Technologie zum lokalen Kurzzeit-Hochtemperaturlöten mit Hilfe des Elektronenstrahls und maßgeschneiderter vakuumtauglicher Lot-Tapes

FKZ: KK5027703SU1 / Projektlaufzeit: 03/2022-03/2024

K. Kerber^{1,2}, P. Hengst¹, Prof. H. Biermann^{1,2}, T. Kolberg³, I. Rass³, B. Kuntzmann⁴

¹TU Bergakademie Freiberg, Institute of Materials Engineering, ²Center for Efficient High Temperature Processes and Materials Conversion, TU Bergakademie Freiberg,

³Euromat GmbH, Baesweiler, Deutschland

⁴Listemann AG, Winterthur, Schweiz

Gefördert durch:



Bundesministerium
für Wirtschaft
und Energie

aufgrund eines Beschlusses
des Deutschen Bundestages

Ziel des Projektes

Entwicklung eines energieeffizienten Verfahrens für das kurzzeitige Löten von Ni-Basis-Superlegierungen mittels Elektronenstrahls (EB) zur Herstellung von funktionsoptimierten Verbundstrukturen.

Durchführung

Entwicklung (Euromat GmbH) neuartiger Lotapplikationsformen wie Tapes oder Lot-Preforms. Diese sind geometrisch, pulvermorphologisch und -metallurgisch optimiert sowie erfordern nur geringe chemische Zusätze. Untersuchungsschwerpunkte sind die im Lötprozess applizierten Energieverteilungen des Elektronenstrahls, Vorrichtungseinflüsse und des Lotwerkstoffs. Darüber hinaus wurden die Einflüsse verschiedener Lötprozessparameter (Solltemperatur, Haltezeit, Anpresskraft etc.) untersucht. Untersucht wurde der Werkstoff Inconel 718 mit zwei Standard-Lotwerkstoffen (AWS BNi-2, AWS BNi-9) in Form von speziellen vakuumtauglichen Lot-Tapes mit variierenden Dicken (0,1 bis 3 mm). Weiterhin erfolgte der Vergleich zu Lötungen durch etablierte Vakuumofenprozesse (Listemann AG). Durch diese Innovationen soll ein bedeutender Beitrag zur Schonung von Ressourcen geleistet werden, insbesondere im Bereich der Reparaturanwendungen hochwertiger Bauteile und der energie- und werkstoffeffizienten Lotmaterialherstellung.

Ergebnisse

Abb.1 zeigt den schematischen Aufbau des entwickelten Elektronenstrahl-Lötprozesses mit exemplarischen Temperaturverteilungen im nicht optimierten und optimierten Zustand. Die in **Abb. 1a** dargestellte Lötvorrichtung wurde im Rahmen des Projekts konstruiert. Sie ermöglicht sowohl eine genaue Positionierung der zu verlötenden Partner vor und während des Lötens als auch einen über Druckfedern realisierbaren Krafteintrag von $4 \times 50 - 1000$ N. Hierdurch kann die wahre Kontaktfläche zwischen Lot-Tape und Grundwerkstoff erhöht werden und ermöglicht so ein homogeneres Aufschmelzen des Lots. Zur Reduzierung des Wärmeeintrags in das Spannwerkzeug kann der Energieeintrag (E) des **Abb. 1a** rot dargestellten EB-Heizfeldes an den zwangsweise notwendigen Überlappbereichen des Spannwerkzeugs mit der geheizten Platte vorab oder in situ auf $E = 0$ J gesetzt werden. Die Auflösung des Heizfeldes liegt hierbei in der Größenordnung des Strahldurchmessers (10^{-1} mm). Die Oberflächentemperatur wird über ein Pyrometer im Bereich des Pyrometerspots geregelt. Dabei wird die Leistung des EB entsprechend angepasst. Wird ein konstanter Energieeintrag an jedem Punkt des Heizfeldes verwendet, resultiert eine inhomogene Temperaturverteilung infolge eines variierenden Verlustwärmestroms ($J_l = f(x,y)$) an der geheizten Platte (siehe **Abb.1b**). Zur Homogenisierung der Temperaturverteilung steht die am Institut für Werkstofftechnik entwickelte und implementierte „2D-Temperaturregelung“ zur Verfügung. Hierbei wird, basierend auf der zweidimensionalen Temperaturmessung der in **Abb 1b** dargestellten Thermokamera, der Energieeintrag an jedem Punkt des Heizfeldes individuell in einem geschlossenen Regelkreis angepasst. Dadurch kann die Temperaturverteilung

homogenisiert werden, sodass die Abweichung bei einem Sollwert von 1170 °C (unter Berücksichtigung des Messrauschens) auf ± 10 K reduziert werden kann. Die EB-Lötungen erreichten Scherfestigkeitswerte von bis zu 378 ± 64 MPa.

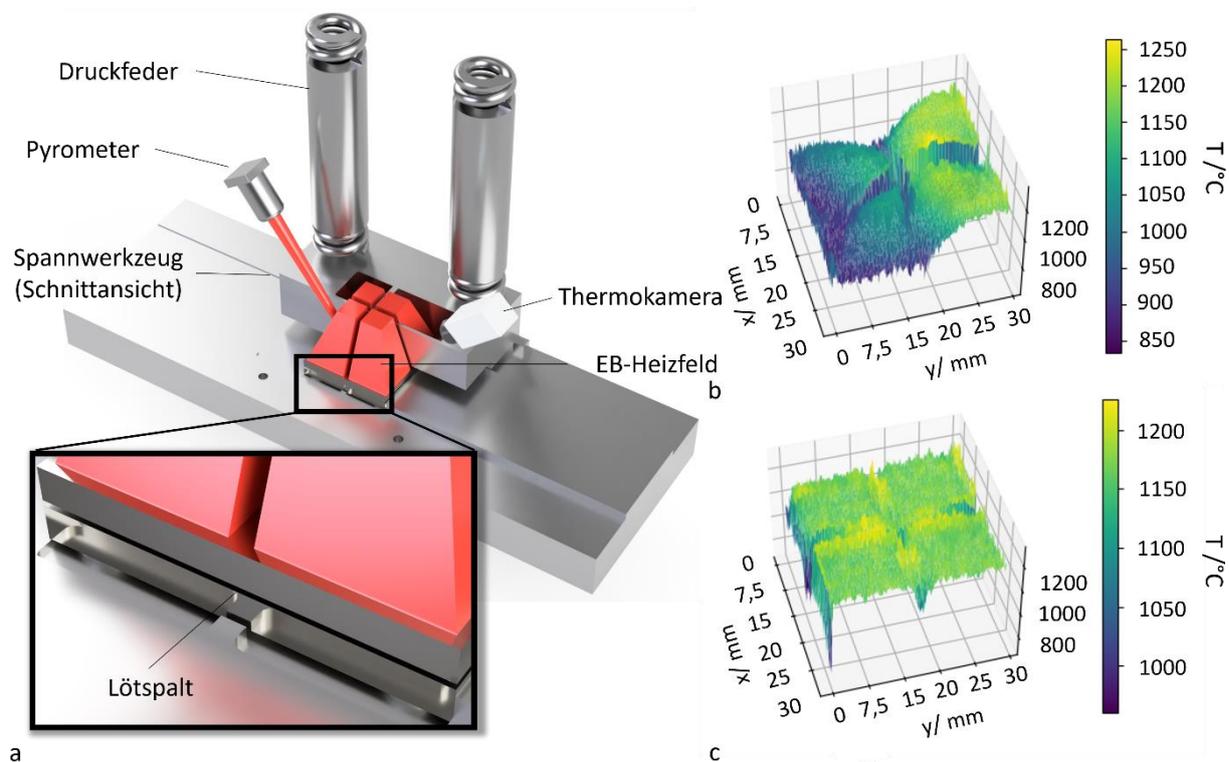


Abb.1: a) Schematischer Aufbau des EBL-Lötprozesses mit b) nicht optimierter und c) optimierter dreidimensional dargestellter, exemplarischer Temperaturverteilung an der geheizten Probenoberfläche

Zusammenfassung

Neuartige Werkstofftapes in abgestimmten Zusammensetzungen konnten pulvermetallurgisch und geometrieoptimiert mit 100% Werkstoffausbeute ohne Verluste kostengünstig entwickelt und hergestellt werden. Die Innovation hierbei besteht in der Verwendung aussergewöhnlich geringer chemischer Bestandteile und abgestimmten Pulverzusammensetzungen. Die Tapes konnten so im Vakuum mit dem EB-Prozess und den entsprechenden Superlegierungen verarbeitet werden. Ein weiterer energetischer Nutzen erzielte die Anpassung der EB-Leistung sowie Vorrichtungsoptimierung. Die Lötzykluszeiten reduzierten sich dadurch tw. erheblich. Das ZIM-Projekt konnte kooperativ erfolgreich abgeschlossen werden und zeigte das Potential zur Energieeinsparung und Ressourcenschonung durch intelligente Werkstoffformen und Prozessanpassungen. Ohne Förderung wäre dieses nicht möglich gewesen. Das Konsortium bedankt sich für die Unterstützung beim BMWK und der AIF.

WIR SIND DABEI!

**INNOVATIONSTAG MITTELSTAND
DES BMWK AM 13. JUNI 2024**

www.innovationstag-mittelstand-bmwk.de #innotag2024

