

1 Einleitung

Trotz hoher Qualitätsanforderungen an die komplexen Herstellungsprozesse im Maschinenwesen, Werkzeugbau oder in der Triebwerkstechnik können Bauabweichungen in der Neuteilfertigung nicht vermieden werden. Ebenso unterliegen die oftmals hochpreisigen Bauteile im Laufe ihres Lebenszyklus Verschleißerscheinungen, wodurch ihr bestimmungsgemäßer Einsatz nicht mehr möglich ist. Dies wirkt sich negativ auf die Lebenswegkosten der betroffenen Produkte aus, da neben den hohen Kosten der Bauteile selbst Folgekosten aufgrund von Neubeschaffung, Produktionsausfall und vertraglich vereinbarten Verfügbarkeiten zu berücksichtigen sind. Bedingt durch lange Produktlebenszyklen müssen Bauteile und Ersatzteile auch Jahrzehnte nach der Indienststellung am Markt verfügbar sein. Der daraus resultierende Bedarf an Instandsetzungsverfahren für jede Phase des Produktlebenszyklus stellt eine Herausforderung für Herstellungs- und Servicebetriebe dar. [Men07, S. 427 ff., Ero12, Mül20, Mül24]

Ein mögliches Verfahren zur Behebung von Bauabweichungen und Verschleiß ist das Laserauftragschweißen („Directed Energy Deposition“ mit Laserstrahlung von Metallen, DED-LB/M). Dabei wird am beschädigten Bereich durch den Laserstrahl auf der Bauteilloberfläche ein Schmelzbad erzeugt, in das ein pulverförmiger Werkstoff mittels einer Pulverdüse eingebracht wird, wodurch eine mit dem Bauteil schmelzmetallurgisch verbundene Schicht entsteht. [Bac96, Can11, Ko23]

Das DED-LB/M wird als Reparaturverfahren bisher nur für Bauteilbereiche eingesetzt, bei denen die Zugänglichkeit für die Systemtechnik gegeben ist und deren Werkstoffeigenschaften sich durch das DED-LB/M nicht nachhaltig verschlechtern, sodass die Funktionalität des Bauteils erhalten bleibt. Bei Werkstoffen wie der Nickelbasis-Superlegierung Alloy 718, die im Maschinen- und Triebwerksbau vielfach verwendet wird, muss nach dem DED-LB/M oftmals eine aufwendige Wärmebehandlung (WBH) durchgeführt werden, um die Funktionalität des Bauteils wiederherzustellen [Ams19, Ams22, Ams22a]. Bei dieser WBH kann es zu Maß- und Formänderungen (Verzug) kommen [Ber77, Hof96]. Häufig treten Bauabweichungen und Verschleiß an mit der zum DED-LB/M verfügbaren Systemtechnik nicht erreichbaren Bauteilbereichen auf, sodass für eine Instandsetzung Zugänge geschaffen werden müssen. Dieses Vorgehen kann analog zu den Operationstechniken vor Einführung der minimalinvasiven Chirurgie, die eine breite Nutzung von Endoskopen und die Miniaturisierung von chirurgischen Instrumenten mit sich brachte, gesehen werden [Ber00]. Bei der minimalinvasiven Chirurgie werden großflächige Öffnungen des Körpers vermieden und nur zielgerichtet kleine Öffnungen geschaffen bzw. bestehende Zugänge genutzt, um den Operationsbereich mit Endoskopen zu erreichen und den Eingriff durchzuführen [Iri15]. Daher soll im Rahmen dieser Arbeit untersucht werden, wie der minimalinvasive Aufbau rissfreier Beschichtungen innerhalb von Bauteilen mit Zugangsöffnungen (Höhe \leq 50 mm, Breite \leq 10 mm) und die minimalinvasive, laserbasierte Funktionalisierung zur Ausscheidungshärtung des beschichteten Bereichs unter Nutzung der benötigten Systemtechnik für eine industrielle Anwendung erreicht werden können, da diese

Verfahrenskombination ein bisher nicht erschlossenes Potenzial bei der Instandsetzung von Bauteilen aus den Branchen Werkzeug-, Maschinen- und Triebwerksbau bietet.