

Manuell geführtes Laserstrahlschweißen als Reparaturverfahren für Poren an Kupfergussteilen

Hemann, U. (1); Winkel, G. (2); Jasnau, U. (2)

Die Verfahren der Lasertechnik finden seit mehr als zwei Jahrzehnten in der Technik Anwendung. Trotzdem zählt die Lasertechnik nach wie vor zu den innovativen Technologien. Laserstrahlschneiden ist seit langem eine Standardtechnologie und wird von vielen Unternehmen – auch von kleinen und mittelständischen – eingesetzt bzw. als Dienstleistung in Anspruch genommen. Das Laserstrahlschweißen mit verschiedenen Strahlquellen hat ebenfalls seit Jahren in verschiedenen Branchen Eingang gefunden, u.a. in der Automobilindustrie und auch als Hochleistungsverfahren auf einigen deutschen und europäischen Werften. Traditionell ist das Equipment standortgebunden.

Mit der Entwicklung von mobilen Laserquellen, die sich durch Kompaktheit, Leistungsstärke und Robustheit auszeichnen, können Laserschneiden oder Laserschweißen auch Vor-Ort beim Kunden als Dienstleistung ausgeführt werden.

An der SLV M-V GmbH in Rostock sind zwei mobile Laserquellen verfügbar. Dies sind ein Faserlaser mit einer Spitzenleistung von 10 kW im kontinuierlichen Betrieb und ein gepulster Festkörperlaser mit einer mittleren Leistung von 140 W mit



Bild 1: Laserquelle TruPulse 156

einer maximalen Pulsspitzenleistung von bis zu 10 kW.

Neben der Entwicklung mobiler Laserquellen sind seit ca. fünf Jahren verschiedene Bearbeitungsköpfe verfügbar, mit denen manuell geführtes Schweißen und Schneiden möglich ist. So ein Handkopf wird an der SLV M-V GmbH für mobile Reparaturen von Fehlstellen z.B.

an großvolumigen Bauteilen eingesetzt. Zurzeit entwickelt die SLV M-V GmbH einen eigenen Handkopf, der im Vergleich zu anderen Modellen eine verbesserte Ergonomie aufweisen wird.

Im Rahmen des Forschungsprojektes „ReSoMaLas“ erfolgen an der SLV M-V GmbH in Zusammenarbeit mit der MMG Waren Arbeiten zum manuellen Laserschweißen zur Reparatur von Poren auf der Oberfläche gegossener Schiffspropeller.

Manuell geführtes Laserschweißen

Im Laufe des Lebenszyklus hochwertiger Bauteile aus Sonderwerkstoffen tritt immer wieder die Notwendigkeit von schweißtechnischen Reparaturen auf. Dies betrifft sowohl den eigentlichen Herstellungsprozess als auch die Reparatur nach einer Betriebsbeanspruchung. Diese Reparaturen werden heutzutage meist mit dem WIG-Verfahren durchgeführt. Dabei wird das Bauteil bzw. der Werkstoff wegen der geringen Energiedichte des Werkzeuges WIG-Lichtbogen in starkem Maße thermisch beeinflusst, in einigen Fällen ist auch ein Vorwärmen des Gesamtbauteiles oder von

Teilbereichen notwendig. Außerdem wird das eigentliche Schadensbild nicht berücksichtigt, selbst kleine Fehlstellen oder Schädigungen führen zu einem relativ großflächigen Auftrag von Zusatzwerkstoff und zu einem hohen Aufwand bei der Wiederherstellung der Endkontur durch nachfolgende meist mechanische Bearbeitung. Viele Sonderwerkstoffe, an denen solche Reparaturen durchgeführt werden gelten außerdem als nur bedingt schweißbar.

Diese Problematik gab den Anstoß, das manuell geführte Laserstrahlschweißen für einige Werkstoffe zu untersuchen. Neben Ni-Legierungen erfolgten Untersuchungen an der Schiffspropellerlegierung CuAl10Fe5Ni5-C-GS. Für diesen Werkstoff sollte die Reparatur von Oberflächenporen, die in Gusswerkstoffen bedingt durch den Herstellungsprozess auftreten können, untersucht werden.

Laserquelle und Zubehör

Als Laserquelle wurde der gepulste Nd:YAG-Laser TruPulse 156 der Fa. Trumpf eingesetzt, siehe Bild 1. Die Laserquelle liefert eine Pulsspitzenleistung von max. 10 kW. Die Pulsdauern



Bild 2: Handgeführter Laserkopf



Bild 3: Manuell geführtes Laserstrahlschweißen an einer Platte aus CuAl10Fe5Ni5

können im Bereich von 0,3 - 50 ms gewählt werden. Die Wellenlänge der Laserstrahlung beträgt 1,06 µm. Die Übertragung des Laserstrahles erfolgt über eine flexible Lichtleitfaser mit einem Durchmesser von 0,6 mm. Zurzeit steht eine Faser mit einer Länge von 15 m zur Verfügung.

Die Ausführung der Schweißarbeiten erfolgt mit dem in Bild 2 dargestellten handgeführten Laserkopf mit Abstandshalter und Schutzgasglocke. Auf Grund der geringen Abmessungen der Zusatzwerkstoffe und des kurzzeitig existierenden kleinen Schmelzbades wird der Schweißprozess über ein Display beobachtet. Bild 3 zeigt den Schweißprozess an einer Platte aus CuAl10Fe5Ni5. Auf dem Display ist die Schweißstelle erkennbar. Das Fadenkreuz markiert den Auftreffpunkt des Laserstrahls.

Zusatzwerkstoffe

Für das manuell geführte Laserstrahlschweißen werden Schweißstäbe verwendet, deren Durchmesser 0,4 bis 0,8 mm beträgt. Auf Grund der geringen Drahtdurchmesser ist die Auswahl an verfügbaren Zusatzwerkstoffen insbesondere für Sonderwerkstoffe begrenzt.

Zusatzwerkstoff	Gehalte in Gew.-%				
	Al	Fe	Mn	Ni	Cu
12-A-Multi, Cronitex	12	2	4	1	Rest
QuCu80, Quada	7,5	2,5	13,0	2,5	Rest

Tabelle 1: Zusammensetzung der Zusatzdrähte

Die ersten Versuche erfolgten mit zwei verschiedenen Schweißzusätzen, deren chemische Zusammensetzung (mittlere Werte) in Tabelle 1 dargestellt sind. Beide Drähte lagen mit einem Durchmesser von 0,6 mm und einer Länge von 330 mm vor.

Reparatur von Poren mit dem manuell geführten Laserschweißen

Für jeden Werkstoff, der manuell mit Zusatzwerkstoff geschweißt werden soll, ist im Vorfeld die Bestimmung von geeigneten Parametern bzw. eines Parameterfeldes erforderlich.

Im ersten Schritt erfolgten dazu automatisiert ausgeführte Auftragschweißungen auf ebenen Oberflächen ohne Defekte, um Einflüsse durch die manuelle Handhabung auszuschließen. Mit den so gewonnenen Parametern werden dann manuelle Schweißungen ausgeführt. Bild 4 links zeigt eine Auftragschweißung mit dem Zusatzwerkstoff 12-A-Multi (Cronitex) in der Draufsicht. Im rechten Bild ist der dazugehörige Querschliff dargestellt. Im nächsten Schritt erfolgte das Schweißen von Oberflächenporen bzw. Porosität. Die Oberfläche lag in einem geschliffenen Zustand vor, in dem

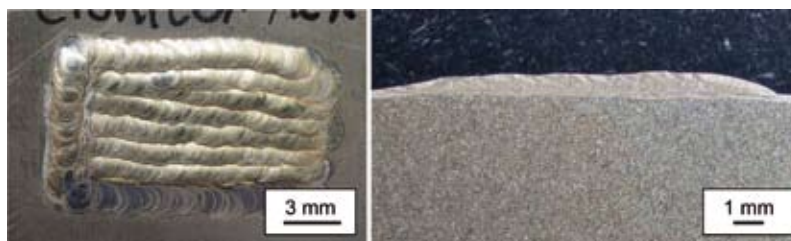


Bild 4: Manuell ausgeführte Auftragschweißung mit dem Zusatzwerkstoff 12-A-Multi (links) und Querschliff (rechts)

auch an Bauteilen derartige Reparaturen ausgeführt werden. Die Fehlstelle selbst wurde in keinem Fall vor dem Laserstrahlschweißen ausgeschlif-

fen. Es galt zu untersuchen, ob auch ohne Ausschleifen der zu reparierenden Bereiche ein zufrieden stellendes Ergebnis erzielt werden kann. Bei konventionellen Reparaturverfahren können nicht ausreichend vorbereitete Schweißstellen auf Grund von vorhandenen Oxidschichten zu weiteren Fehlstellen (Bindefehlern) führen.

Bild 5 links zeigt ein Beispiel von Porosität, bei dem an der Oberfläche nur ein geringes Ausmaß erkennbar ist, jedoch unter der Oberfläche weit größere Poren zu erwarten sind. Bild 5 rechts zeigt die gleiche Stelle nach Ausführung der Reparatur in der Draufsicht. In Bild 6 ist ein weiteres Beispiel dargestellt.

Ergebnisse

Die Auswertung der Versuche ergab, dass zur Erzielung einer Schweißung ohne unzulässige Unregelmäßigkeiten eine bestimmte Vorgehensweise einzuhalten ist.

Das einfache „Zuschweißen“ der erkennbaren Pore führt dazu, dass im Schweißgut bzw. an der Schmelzlinie Poren verbleiben, wie in Bild 7 erkennbar ist.

Vor dem Auffüllen der Pore sollte (so weit dies möglich ist) sichergestellt

werden, dass unmittelbar unter der zu schweißenden Stelle keine weiteren Unregelmäßigkeiten im Grundwerkstoff vorhanden sind. Dazu wird mit dem defokussierten Laserstrahl die Pore bzw. Porosität freigelegt oder geöffnet. Der so erzeugte Hohlraum wird dann ohne Zusatzwerkstoff mit dem defokussierten Strahl geglättet und danach mit Zusatzwerkstoff aufgefüllt.

Diese Vorgehensweise ist an der in Bild 8 dargestellten Probe angewen-

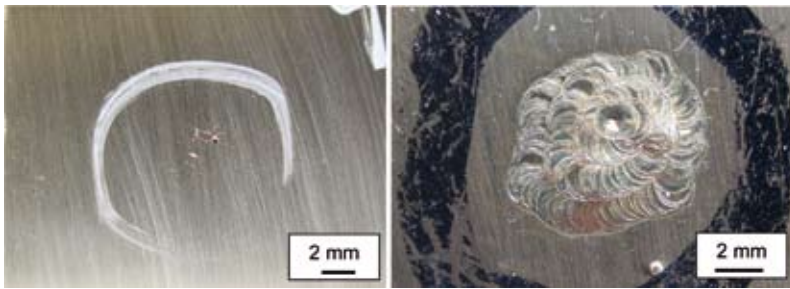


Bild 5: Porosität an der Oberfläche vor (links) und nach dem manuell geführten Laserstrahlschweißen (rechts)

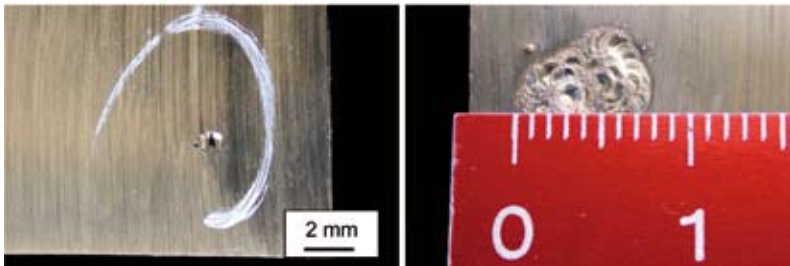


Bild 6: Pore an der Oberfläche vor (links) und nach dem manuell geführten Laserstrahlschweißen (rechts)

det worden. In den Bildern 7 und 8 ist zudem erkennbar, dass nahezu keine Wärmeinflusszone vorhanden ist. Durch das Pulsen ist der Energieeintrag in das Material sehr gering. Die Eigenschaften des Schweißgutes werden ausschließlich durch die chemische Zusammensetzung von Zusatz- und Grundwerkstoff sowie

durch die Abkühlgeschwindigkeit bestimmt. Die dabei auftretenden Härtewerte sind beispielhaft in Bild 8 dargestellt. In Bild 9 ist ein Beispiel für eine weit ins Grundmaterial hineinreichende Porosität gezeigt. In diesem Fall kann durch manuelles Laserstrahlschweißen der oberflächennahe Bereich defektfrei repariert werden.

Zusammenfassung

Die bislang durchgeführten Untersuchungen haben gezeigt, dass das manuell geführte Laserstrahlschweißen ein geeignetes Verfahren ist, um kleine Fehlstellen an Oberflächen zu reparieren. Durch die angewendete Technologie wird nur wenig Energie in das Bauteil eingetragen, so dass eine Reparatur mit einer geringen thermischen Belastung des Bauteils verbunden ist.

In weiteren Untersuchungen ist der Nachweis zu erbringen, dass für dynamisch beanspruchte Bauteile kein negativer Einfluss auf die Dauerfestigkeit zu erwarten ist. Dies ist insbesondere für die Anwendung als Reparaturverfahren für Schiffspropeller von Bedeutung, wenn eine Zulassung durch die Zertifizierungsorgane (z.B. Germanischer Lloyd) angestrebt wird.

Dieses Forschungsvorhaben wird durch den Projektträger Euronorm des BMWi im Rahmen des Programms Inno-Watt gefördert. Für diese Förderung sei gedankt.

- (1) Uwe Hemmann, MMG Mecklenburger Metallguß GmbH
- (2) Dr.-Ing. Gerlinde Winkel, Dipl.-Ing. Ulf Jasnau, SLV M-V GmbH



Bild 7: Querschliff einer manuellen Laserstrahlschweißung mit Poren im Schweißgut

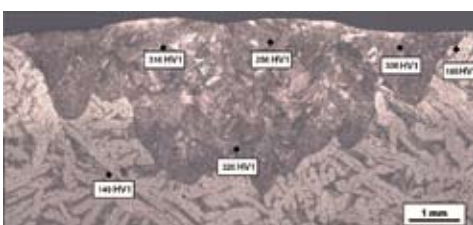


Bild 8: Querschliff einer manuellen Laserstrahlschweißung ohne Unregelmäßigkeiten

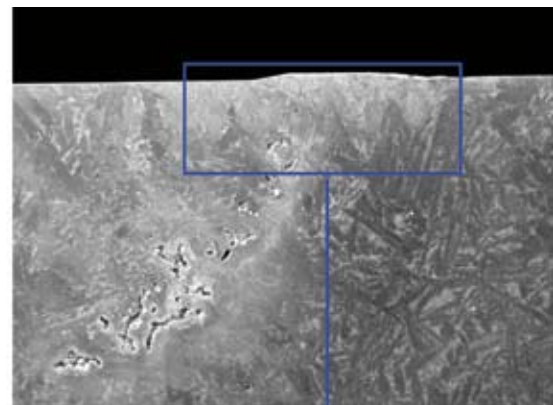


Bild 9: Querschliff einer manuellen Laserstrahlschweißung mit Porosität im Grundwerkstoff