

2014 SCHWEISS- UND PRÜFTECHNIK

07 08 Die Fachzeitschrift der ÖGS und der ÖGfZP

7. ÖGS-Workshop „Automation in der Schweißtechnik“

Datum: 2. Oktober 2014

Ort: FH Technikum Wien

Höchstädtplatz 6, 1200 Wien

FACHHOCHSCHULE
TECHNIKUM WIEN

LASER-Technologien für den Instandhaltungsservice



- Wilfried Storch (CIWE), seit 2012 TÜV Rheinland Werkstoffprüfung GmbH Berlin (Foto links)
- Christian Frank, seit 1997 Inhaber und Geschäftsführer der DSI Laser-Service GmbH Maulbronn (Foto rechts)
- Daniel Sagan; Regionalleiter der TÜV Rheinland Werkstoffprüfung GmbH Berlin (Bild rechts)
- Claudia Kuzma; seit 2014 QM-Beauftragte der DSI Laser-Service GmbH Maulbronn

Die Nutzung der Lasertechnologie zum Schweißen, Schneiden und Oberflächenhärten ist eine wertvolle Bereicherung der verfügbaren Verfahrenspalette für thermische Bearbeitungstechnologien. Für das weit gefächerte Tätigkeitsfeld der Bauteilinstandsetzung hat sich neben der handgeführten WIG-Schweißtechnologie (Verfahren 141 nach DIN EN ISO 4063) das handgeführte Laserstrahlschweißen (Verfahren 52) etabliert. Diese Technik fand vormals bevorzugt Anwendung für filigrane Schweißaufgaben in der Schmuck- und Dentaltechnik, Abb. 1+2. Auf die dabei gewonnenen Erfahrungen aufbauend, und nach Bereitstellung von Laserstrahlquellen höherer Leistung (500W mittlere Strahlleistung, 10kW Pulsleistung), wurden neue Instandhaltungslösungen im Maschinen- und Anlagenbau für vormals oft als zu kompliziert, riskant oder zu aufwendig mit WIG-Schweißungen zu lösen, erschlossen. Beispiele werden dazu vorgestellt.

Manuelles Laserschweißen mit Nd:YAG-Lasern

Lasertechnologien nutzen unterschiedliche Lasertypen als Energiequelle, die für jede Verfahrenstechnik spezielle Vorteile bieten. Die im Schweißprozess zum Aufschmelzen von Metallen notwendige Energie von Nd:YAG-Lasern (Neodym-Yttrium-Aluminium-Granat) als Strahlquelle wird durch gepulste Strahlung mit einer Wellenlänge von 1064 nm – optimale Absorption der Strahlenergie in Eisenwerkstoffe – über eine Fokussieroptik auf das Objekt gelenkt und vom Schweißer durch ein Mikroskop gezielt auf die Schweißzone ausgerichtet. Das ermöglicht ein zonales Aufschmelzen minimalster Werkstoffvolumina innerhalb von Millisekunden und das sofortige Erstarren derselben nach Pulsende unter Ausschaltung von Umwandlungsvorgängen in den Werkstoffen. Der Umfang des Aufschmelzens von Metallen im Pulszyklus hängt von der Absorptionsrate und der Wärmeleitfähigkeit des jeweils zu bearbeitenden Werkstoffes für diese Wellenlänge ab. Bei hoher Absorptionsrate und geringer Wärmeleitfähigkeit des Werkstoffes ist ein Schweiß-

prozess als Wärmeleitungsschweißen, Abb. 3, ohne eine wesentliche Ausbildung der bekannten nachteiligen Wärmeinflusszone mit kritischen Aufhärtungen im Nahtbereich gut möglich (Eisenwerkstoffe); gegenteilige Werkstoffeigenschaften (Kupfer, Bronze, Edelmetalle etc.) erfordern Ergänzungen und spezielle Erfahrungen in der Verfahrenshandhabung. Die Oxidation des hoch erhitzten Werkstoffes wird mittels eines Schutzgasschirmes (Argon, Ar/He) über der Schmelzzone ausgeschlossen. Schweißzusätze dafür als Feindraht im Durchmesserbereich 0,15 – 1,2 mm sind für alle gängigen Anwendungsfälle verfügbar.

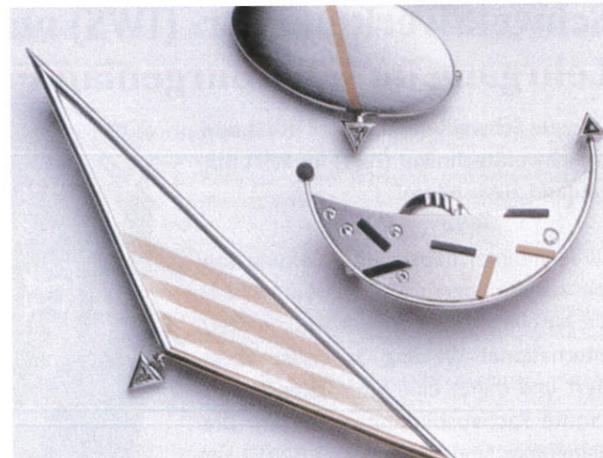


Abb. 1: Schmuck, lasergeschweißt



Abb. 2: Dentalarbeiten mittels manuellem Laserschweißen

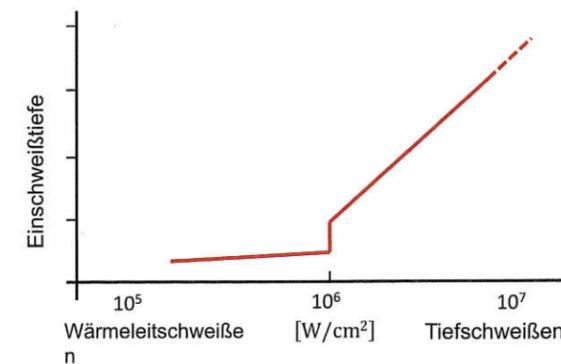
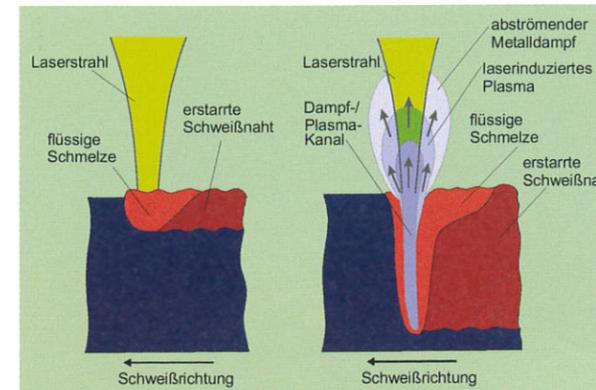


Abb. 3: Wirkungsweise der Energie des Laserstrahles bei Wärmeleitungs- und Tiefschweißen

Anwendungsbeispiele für die manuelle Laserschweißung

An Beispielen aus der Servicepraxis und des Angebotes von Serviceleistungen für den Werkzeug-, Motoren- und Turbinenbau, werden Vorteile der Laserbearbeitungsverfahren, mit speziellen Anwendungsreferenzen belegt, beschrieben. Dabei wird darauf hingewiesen, dass der Verfahrensnutzer für die Laseranwendung diese nicht in Alleinverantwortung zu beherrschen braucht. Ein gut eingeführter Fachdienstleistungssektor (Lasershops) bietet dazu die Leistungen sowohl in eigenen Werkstätten als auch mit ortsveränderlicher Gerätetechnik in den Fertigungsstätten der Auftraggeber oder als Fieldservice schnell und kostengünstig weltweit an.

Reparatur von Werkzeugen und Formen

Umformwerkzeuge sind bekannter Weise teure und aufwendig herzustellende Spezialbauteile deren Verfügbarkeit innerhalb von Fertigungslinien zur formgebenden Blechbearbeitung zu sichern ist.

Bei ihrer Nutzung treten an zonal überbeanspruchten Zonen Verschleißerscheinungen auf, die mit dem verfügbaren Know-how zur manuellen Laser-Auftragschweißung korrigiert werden können. Ein Beispiel dafür: An einem gehärteten Werkzeug aus dem Stahl X153CrMoV12 (1.2379) war nach Überbeanspruchung ein 120 mm langes Segment ausgebrochen, Abb. 4.



Abb. 4: Schnittmatrize mit ausgebrochener Kante



Abb. 5: Ohne Formabweichung repariertes Werkstück mittels 20 cm³ Laser-Schweißgut

Eine Verbindungsschweißung entlang der Bruchstelle scheidet wegen der Werkstoffspezifikation und der zu sichernden Formkonstanz aus. Gewählt wurde zur Instandsetzung eine Laser-Auftragschweißung, womit der Ausbruch durch sehr dünnen lagenweisen Auftrag von Schweißgut bis zu einer Höhe von ca. 25 mm nachmoduliert wurde. Dafür wurden 39 m Schweißdraht, Durchmesser 0,6 mm – knapp 20 cm³ – abgeschmolzen, Abb. 5.

Großvolumige Ergänzungen erzeugen Spannungen im Auftragschweißgut. Vorbeugemaßnahmen gegen dadurch mögliche Risse sind eine Vorwärmung der Bauteile auf ca. 60°C; ansonsten wird sich jede einzelne der vielen Schweißraupen aufgrund der Temperaturunterschiede beim Abkühlen stärker zusammenziehen, als wenn eine angehobene Grundtemperatur im Werkstück einen Ausgleich ermöglicht. Zum rissicheren viellagigen Ersatzvolumenaufbau werden „Stressbrecher“ im Schweißlagenaufbau berücksichtigt. Das sind um 90° gegenüber der Hauptschweißrichtung ausgeführte Querraupen, die das unter Spannungen stehende Schweißgut entlastend segmentieren, Abb. 6.

Wichtig ist gleichfalls die Temperaturbegrenzung des Werkstückes weit unter 100°C, wodurch eine ansonsten nicht mehr rückgängig zu machende Ausdehnung (Dilatation)

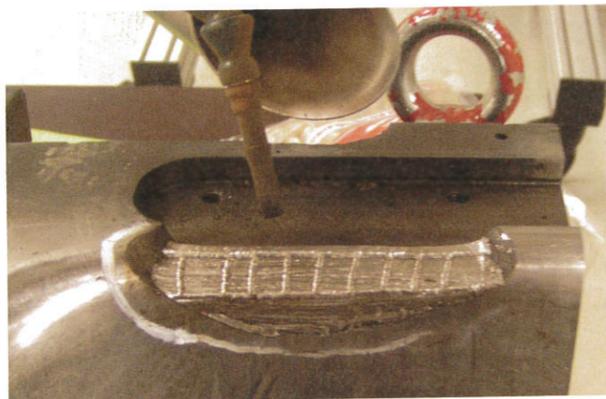


Abb. 6: Querraupen als „Stressbrecher“

des Werkstückes beim Abkühlen auf Raumtemperatur vermieden wird.

Rissreparatur an einem Motorblock

Hohe Erwartungen werden an Instandsetzungen gerissener Motorblöcke von s.g. „Oldtimern“ wegen deren oft nicht oder nur bedingt zum Schweißen geeigneter Werkstoffe gesetzt. Hinzu kommen Verzugsrisiken und umfangreiche Demontagen von Ein- und Anbauten. Wird dazu die Laserstrahlschweißung genutzt und das Erfahrungspotential dafür profilierter Schweißer, erhöht sich die Chance zum Erfolg. Beispiel: Der Wassermantel eines Motorblockes (Chevrolet „Nova Custom“) hatte einen Riss. Dieser wurde in seiner tatsächlichen Ausdehnung mit Unterstützung der optischen Ausrüstung der Laseranlage, Abb. 7, sowie durch Erhitzung der Rissenden mit minimaler Laserenergie und deren dadurch das Rissende markierenden Aufweitung vor Reparaturbeginn präzise lokalisiert, Abb. 8.

Nach dem Ausschleifen der Risszone wurde als Badsicherung für das einzubringende Schweißgut der Nutflankenverbin-



Abb. 7: Motorblock und Laseranlage in Arbeitsposition

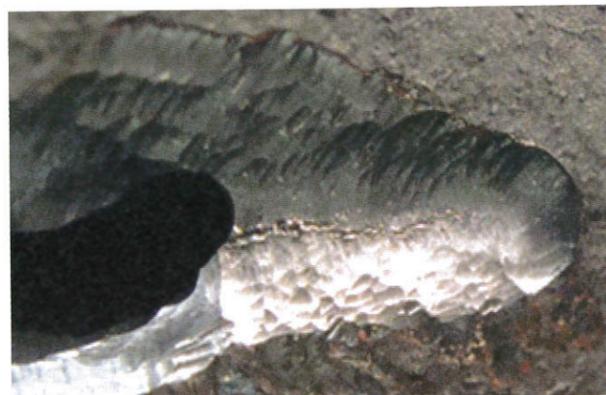


Abb. 8: thermisch sichtbar gemachter Haarriss



Abb. 9: Fertig aufgebaute Schweißnaht. Nahtoberfläche ist eben und entspricht der originalen Wandstärke des Motorblocks.

dung ein Nickeldraht im Fugengrund fixiert, der ergänzt um das die Risszone auffüllende Schweißgut die notwendige Wanddicke des zu reparierenden Wassermantels sicherte. Der Grundwerkstoff – Grauguss – konnte anschließend an diese Vorbereitungen mit Nickeldraht und einem möglichen Spannungsrisen vorbeugenden Schweißlagenaufbau frei von Fehlern geschweißt werden, Abb. 9.

Befestigung von Druckmessleitungen

In thermischen Turbinen durchströmt Prozessdampf einen stationären Gehäusekörper und setzt dabei einen beweglichen Turbinenläufer in Rotationsbewegung, was zum Antrieb von Generatoren oder Verdichtern genutzt wird. Zur Ermittlung des Druckabfalles des Dampfstromes über die Wegstrecke beim Durchströmen des Gehäuses mit innerem Leitapparat sind zur Erfassung der Prozeßdaten Messstellen anzubringen. Das erfolgt mit Druckmessleitungen, die in Bohrungen auf der Bauteiloberfläche befestigt werden, Abb. 10. Die Messleitungen haben einen Außendurchmesser von 1,5 mm und eine Wandstärke von 0,25 mm. Vor der Wahl des dafür geeigneten Verbindungsverfahrens wurden Hartlötung und manuelles Laserschweißen verglichen; die Laserschweißung war überzeugend und ausschließlich dafür geeignet.

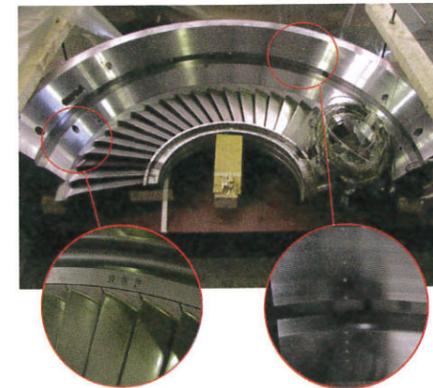


Abb. 10: Leitschaufelträger mit Druckmessleitungen

Verfahren Lötten

- Vorteil: ortsunabhängig ausführbar, einfache Geräte, kurze Personalqualifizierung
- Nachteil: optische Beeinflussung der Bauteiloberfläche durch Erhitzen

Verfahren Laser

- Vorteil: Hochtemperaturbelastbare Verbindung, saubere Verbindungsausführung, einfache Korrektur bei Fehlern
- Nachteil: spezielle Gerätetechnik, hohe Ansprüche an Personalqualifizierung

Die Laserschweißtechnologie beinhaltet:

- Bohrung der Messrohrdurchführung durch den Grundkörper mit 45° ansenken, um die Verbindung als eingesenkte HV-Naht auszuführen und die Oberfläche einebnen zu können.
- Laserschweißnaht wird als Rundnaht um den Rohrmantel gelegt, Abb. 11.
- Grundwerkstoffe:
Leitapparat X22CrMoV12.1 (1.4923)
Messleitungen X5CrNi18.10 (1.4301)
- Laserquelle: Nd:YAG-Schweißlaser mit 1500 W mittlerer Leistung und 10kW Impulsspitzenleistung

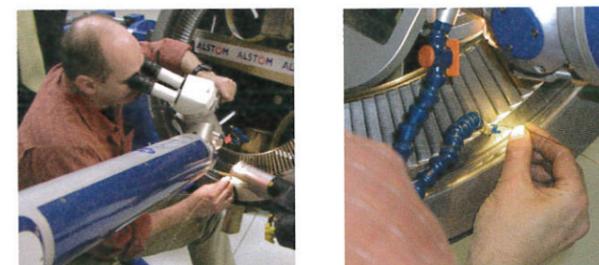


Abb. 11: Laserschweißung der Verbindung Trägerkörper-Messleitung

Reparaturbeispiel Leitrad

Bei der Herstellung eines Dampfstromleitrades aus geteilten Hälften mittels Formerodieren wurde ein Dampfkanal zwischen den Leitschaufelblättern verletzt, Abb. 12a+b. Die zur Wertsicherung erforderliche Reparatur erfolgte als zo-



Abb. 12a: Turbinenleitrad mit örtlicher Beschädigung



Abb. 12b: Detail der örtlichen Beschädigung

nale Auftragung von Schweißgut. Dafür als geeignet ange-sehene Schweißverfahren WIG und LASER wurden zuvor auf mögliche Risiken bei der Bauteilreparatur bewertend gegenübergestellt, um wegen fehlender Referenzen für solch eine Reparatur, jeder Zweifel des Kunden am Wert eines reparierten Bauteil überzeugend ausgeschlossen bleiben sollte.

Verfahren WIG

- Vorteil: bekannte Technologie, verfügbare Schweißer
- Nachteil: eingeschränkte Zugänglichkeit der Reparaturzone, notwendige Vorwärmung des Bauteiles (X22CrMoV12.1)

Verfahren Laser

- Vorteil: Schweißen ohne Vorwärmung, Beherrschung bei beschränkter Zugänglichkeit
- Nachteil: Verfahrensprüfung mittels Arbeitsprobe (EN ISO 15613:2004, Pkt.6)

Die Entscheidung zur Reparaturausführung mittels Laserschweißung erfolgte nach den gewichteten Verfahrensvorteilen.

Die Reparaturausführung gliederte sich in die Schritte:

- Anfertigung, Abb. 13, und Prüfung, Abb. 14, einer Arbeitsprobe
- Prüfen und Beurteilen der Schweißverbindung als Volumenauftragung von Schweißgut
- Ausführen der realen Bauteilreparatur
- Wärmenachbehandlung des reparierten Bauteiles
- Montage der von Verzug freien(!) Bauteilhälften

Reparaturbeispiel Profiling

An einem aufwendig und fast fertig bearbeiteten Profiling, Werkstoff X8CrAl7 (1.4713), Abb. 15, wurde bei der Schluss-

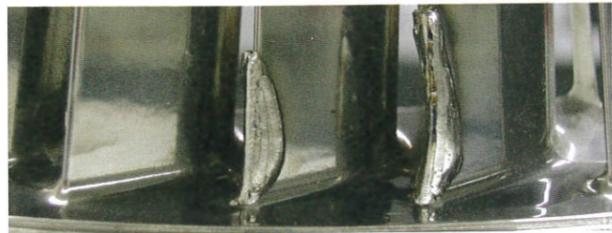


Abb. 13: Arbeitsprobe „Leitradreparatur“

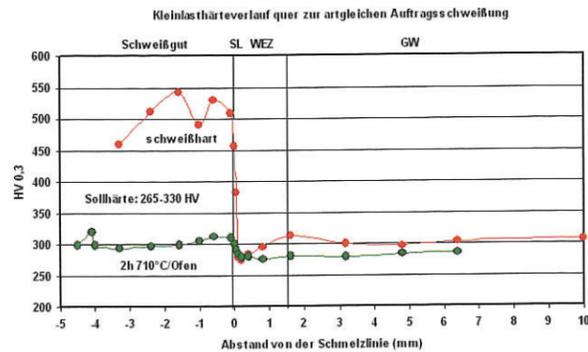


Abb. 14: Härteabbau mittels Wärmebehandlung

bearbeitung eine Profillippe verletzt, Abb. 16. Diese Bauteilbeschädigung war nicht tolerierbar! Artgleicher Schweißgutauftrag mittels manueller Laserschweißung erprobt an einem Referenzmuster war die Lösung zur Fehlenergänzung, Abb. 17-19.

Eine mechanische Nachbearbeitung der reparierten Bauteilzone sicherte die Qualität des Bauteiles in vollem Umfang.

Reparaturbeispiel Turbinenläufer-Schaufelnutflanke

Eine zonale Reparatur an einem Turbinenläufer aus Stahl



Abb. 15: Profiling

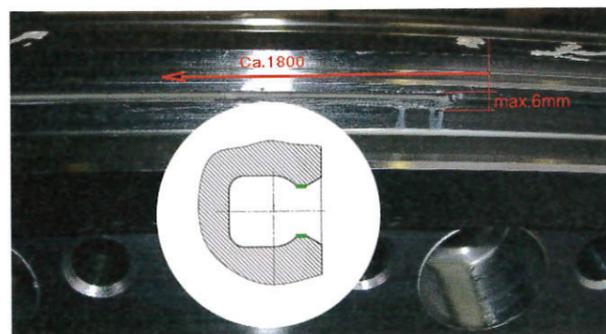


Abb. 16: Profiling mit zentraler Nutverletzung

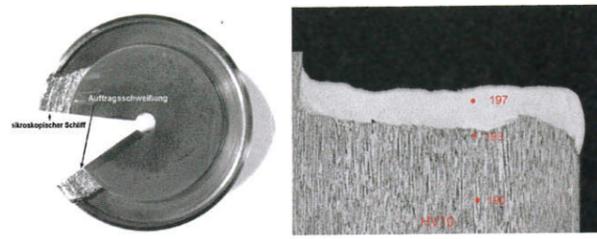


Abb. 17: Referenzmuster zum Nachweis der Reparaturausführung



Abb. 18: Reparatur des Profilinges mittels Laserschweißung



Abb. 19: Detail Laserauftragschweißung

30CrMoNiV5.11 (1.6946) wurde mittels WIG-Schweißen mit Zusatzwerkstoff W CrMoSi1 ausgeführt. Nach der Bauteilreparatur mit Vorwärmung und kompletter Wärmenachbehandlung wurden zwei sehr kleine Anrisse in der Reparaturzone festgestellt, deren Tolerierung auch nach dem möglichen Ausschleifen nicht stattgegeben wurde, Abb. 20. Der Rückgriff auf die ambulante manuelle Laserschweißung direkt in der Turbinenfabrik sicherte die zeitlich kürzeste



Abb. 20: Reparaturzone an einem Turbinenläufer



Abb. 21: Vorbereitung zur Laserschweißung



Abb. 22: Reparaturzone während (links) und nach (rechts) der Laserschweißung

Problemlösung und sparte die für diesen Stahl bei einer anderen Schweißverfahrensanwendung notwendige Wärmenachbehandlung zum Härteabbau des aufgetragenen Schweißgutes; Abb. 21 und Abb. 22.

Reparaturbeispiel Turbinenläufer-Wellenzapfen

Turbinenläufer werden über Wellenzapfen in Gleitlagern geführt. Die hohe Belastung aus Läufermasse und Betriebsparametern in Verbindung mit möglichen Schmierungsstörungen des Lagerkörpers können zum zonalen Verschleiß an den Lagerzapfen führen. Ein Beispiel dafür war ein solcher Schaden an einem Dampfturbinenläufer in einem neuen indonesischen Kraftwerk auf der Insel Java (2x350MW), Abb. 23-24a, b.

Hier wurde zur Schadenssanierung erstmalig die manuell ausgeführte Laserauftragschweißung direkt im Kraftwerk



Abb. 23: Wellenzapfen eines ND-Läufers mit Beschädigungen



Abb. 24a,b: Beschädigung eines Wellenzapfens durch Riefen



Abb. 25: Laserschweißer im Einsatz (mehrschichtig)



Abb. 26a: Auftragsschweißgut in der ausgefrästen Schadzone

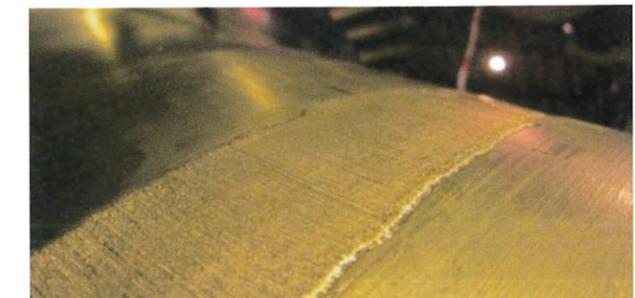


Abb. 26b: Auftragsschweißgut zum Erneuern der ausgefrästen Schadzone

gewählt, Abb. 25+26a,b. Die nach der Zapfenreparatur ausgeführte ambulante mechanische Wellenbearbeitung zur Sicherung des Einbaumaßes der Wellenzapfen in die Lager bestätigte den Reparaturserfolg, Abb. 27.

Ausschlaggebend für die vertrauensvolle Beauftragung zur Ausführung der anspruchsvollen Wellenreparatur waren die



Abb. 27: Wellenzapfen, geschliffen/einbaufertig

bisherigen Erfahrungen des Leistungsanbieters zur qualitäts-sicheren Ausführung von Auftragschweißungen, die Zertifizierung des Unternehmens nach DIN EN ISO 3834-2: 2006 und die z.Zt. laufende nach DIN 2303 sowie die Fähigkeit des weltweit agierenden Unternehmens in kürzester Zeit das Reparaturschweißgerät und Fachpersonal Vor-Ort einsetzen zu können.

Reparaturbeispiel Verbindungsschweißen

Gute Erfahrungen mit der hochproduktiven 500W-Verfahrensvariante der manuellen Laserschweißung beziehen diese in die Entscheidungen zur Reparatur von Stegen zur Befestigung von Kühlluftabdecksegmenten an Gasturbinenläuferwellen ein; Werkstoff (1.6979) 20CrMoNiV4.7. Die Aufgabe bestand darin, nach einer Kühlluftnut-Neukonturierung, Abb. 28, dafür erforderlich zuvor entfernten Stege über dieser Nut zwischen den Bauteilflanken erneut mittels Brückenstützelementen zu verbinden (72x/Nut), Abb. 29. Diese Bauart von Gasturbinenläufern wird weltweit in Kraftwerksturbinen eingesetzt, so dass je nach Bedarf die für die Reparatur-Schweißaufgabe auszuwählenden Verfahrenstechniken auch ihre Vor-Ort-Ausführung ermöglichen müssen. Verglichen wurden zur Lösung der Schweißaufgabe: WIG; Lötten; EB; Laser, manuell und maschinell, Abb. 30+31.

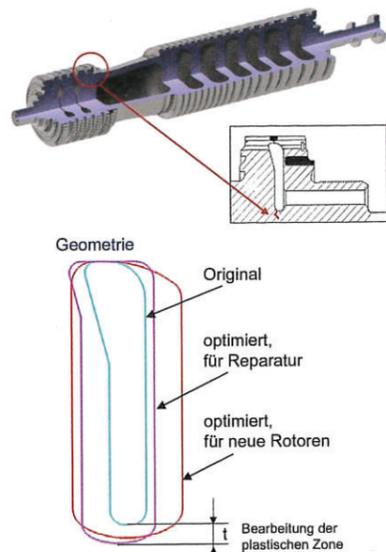


Abb. 28: Nutgrundrissentfernung mittels Neukonturierung



Abb. 29: Stegprofil zur Neuverbindung

Verfahren WIG

- Vorteil: bekannte Technologie, Gerätetechnik, Personalqualifikationen
- Nachteil: Bauteilpositionierung, Vorwärmung

Verfahren Lötten

- Vorteil: transportable Geräte, Bauteil kann waagrecht liegen
- Nachteil: Auflösung der mechanischen Grundwerkstoffeigenschaften durch Lötwärmezyklus

Verfahren EB

- Vorteil: verfügbare stationäre Schweißanlage, sichere Verbindungsschweißung $s=25\text{mm}$
- Nachteil: Bauteiltransport, Kraftwerk zur EB-Anlage

Verfahren Laser, manuell

- Vorteil: transportable Gerätetechnik, Bauteil bleibt in waagrecht Bearbeitungsposition gesichert
- Nachteil: Produktivität bei manueller Verfahrensvariante

Verfahren Laser, maschinell

- Vorteil: Leistung
- Nachteil: stationär

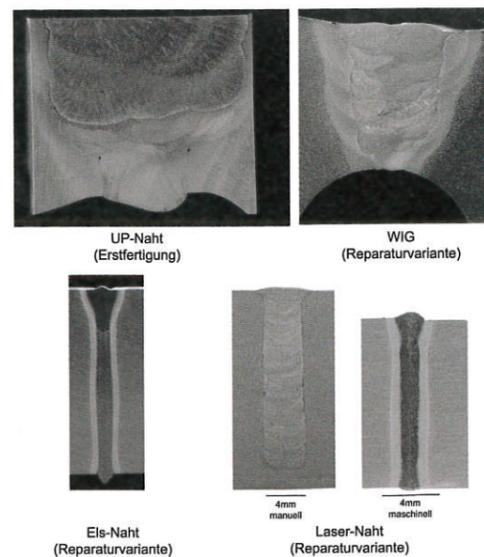


Abb. 30: Schweißnahtausbildung untersuchter Schweißverfahrensvarianten

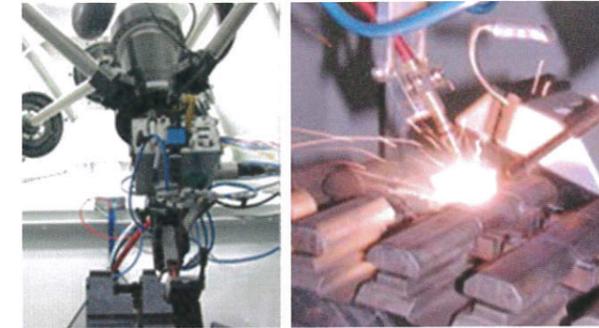


Abb. 31: maschinelle Laserschweißeinrichtung zur Stegverbindung

Ergebniss der Verfahrenserprobung, Abb. 30:

- Die Verfahren „WIG“, „EB“ und „Laser“ ermöglichen die Verbindungsschweißung an Kühlluftnutstegen
- Die manuelle Laserschweißung sichert die höchstmögliche Flexibilität für Bauteilreparaturen im Kraftwerk.
- Personalqualifikation (Verf. 52) und Leistungspotential (1000W Laser wird erwartet) sind zu sichern.

Reparaturbeispiel Stellite an Dampfventilen

Dampfventilventile sichern den Steuerungsprozess des Dampfstromes in Turbinenanlagen, Abb. 32. Hohe Temperatur- und Druckbelastungen, in Verbindung mit der erosiven Wirkung des Dampfstromes, führen zu selektiven Verschleißerscheinungen an Dichtflächen.

Unterschiedliche Reparaturschweißtechnologien ermöglichen wiederholbar Korrekturen an Verschleißzonen. Dafür hat die manuelle Laserschweißung ihre Eignung bewiesen; Abb. 33-36. ■

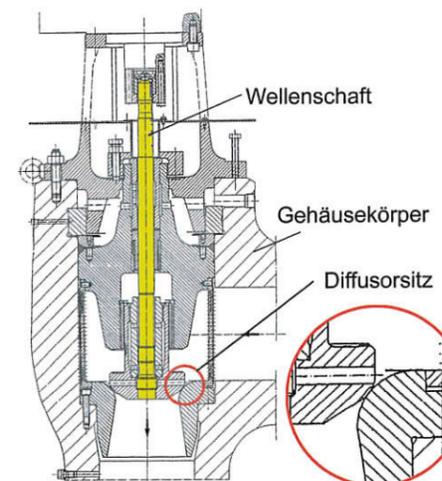


Abb. 32: Dampfventil mit Diffusor; Dichtsitzflächen aus Stellite 6



Abb. 33: Ausarbeiten einer Fehlstelle



Abb. 34: Manuelles Auftragschweißen mit Laser der Fehlstelle am Übergang vom Grundwerkstoff GS-17CrMoV5.11(1.7706) zur Dichtsitz-Auftragung aus Stellite 6



Abb. 35: Reparierte Übergangszone Dichtsitz-Grundwerkstoff mit Schweißgut NiCr20Mn3Nb (2.4806)



Abb. 36: Zonale Reparatur einer Stellite 6-Auftragung, Schweißgut NiCr22Co12Mo9 (2.4627)

Quellen

- 1/ Frank C., 2005: Laserstrahlschweißen von Hand mit dem Nd: YAG-Laser
Teil 1: Multitalent für Auftragungen und Verbinden, „der praktiker“ 57 (2005), H.4, S.86-89
Teil 2: Vielfach im Vorteil gegenüber Lichtbogenschweißen, „der praktiker“ 57 (2005), H.8, S.142-145
Teil 3: Notfallservice für Werkzeuge und Formen, „der praktiker“ 57 (2005), H.10, S.293-295
 - 2/ Moritz H., 2007: Technologietag Produktion & Engineering, SCHWEISSTECHNIK SOUDURE 96 (2007), H.2, S.19-23
 - 3/ Storch W., Jokiel I., 2009: Lasereinsatz im Turbinenbau – Technologie zur Produktivitätssteigerung, SCHWEISSTECHNIK SOUDURE 98 (2009), H.04, S.12-17
 - 4/ Storch W., Jokiel I., Seilkopf J., Novotny S., Göbel G., Frank C., 2010: EB- und Laserschweißtechnologien für den Turbinenbau: Erfahrungen und Erwartungen, 8.Internationale Konferenz Strahl-technik, 14./15. April 2010 in Halle (Saale)
 - 5/ N.N., 2012: Anspruchsvolle Werkstoffe riss- und porenfrei schweißen, Schweißen und Schneiden 64 (2012) H.3, S.91-93
 - 6/ Frank C., 2013: Riss am Wassermantel eines Oldtimermotors instandgesetzt, „der praktiker“, 65 (2013), S.124-129
 - 7/ Storch W., Frank C., 2013: Laserstrahlschweißen – Eine Technologie zur Reparatur von Wellenzapfen, „der praktiker“ 65 (2013), S. 500-502
- N.N., 2013: DSI Laser Schweißzusätze; Angebotsliste der DSI Laser-Service GmbH Maulbronn (info@dsi-laser.de)