

REPARATURSCHWEISSEN VON GUSSEISEN MIT KUGELGRAPHIT

Problemlos ohne Wärmever- und -nachbehandlung

Gerd Kuscher, Hannover, Stephan Thiemoonds, Chonburi/Thailand

Aus konventioneller Sicht der Schweißtechnik erfordert das Reparaturschweißen von Gusseisen mit Kugelgraphit besonderes Fachwissen sowie einen hohen Zeit- und Kostenaufwand. Die Gründe sind metallografisch erklärbar und nicht zu umgehen, wenn die mechanisch-technologischen Eigenschaften des Grundwerkstoffs erhalten bleiben sollen. Neue Versuche haben gezeigt, dass dieser Aufwand durch die Anwendung des Impuls-Laserstrahlschweißens nicht mehr betrieben werden muss sowie gänzlich auf Wärmever- und -nachbehandlung verzichtet werden kann – ohne negative Beeinträchtigung des Schweißergebnisses. Dies wurde an einem praktischen Anwendungsfall bewiesen.



▲ Bild 1. Aus Gusseisen, Typ GJS-400-15 (EN 1563), bestehende Maschinenbauteile, die durch örtliche Auftragschweißungen repariert werden sollten

Hinter der wie ein Industrie-Märchen aus „Tausendundeiner Nacht“ klingenden Überschrift verbirgt sich eine Erfolgsgeschichte der Schweißtechnik. Wie so oft, stellte auch in diesem Fall der Kunde die Herausforderung, ein in Thailand produzierender Hersteller von Elektroofen-Schmelzanlagen, Stranggussanlagen und Walzwerken. Er forderte das dank der Impuls-Laserstrahltechnologie mögliche Reparaturschweißen von Gusseisen mit Kugelgraphit (Sphäroguss) ohne Wärmever- und -nachbehandlung. Die in Chonburi ansässige DSI Laser-Welding Academy Thailand nahm

in Kooperation mit der Alpha Laser Southeast Asia Co., Ltd. diese Hausforderung an. Im konkreten Fall sollten aus Gusseisen, Typ GJS-400-15 (EN 1563), bestehende Maschinenbauteile (**Bilder 1 und 2**) durch örtliche Auftragschweißungen repariert werden. **Bild 3** zeigt ein Beispiel der beim Gießen dieser Teile – durch nichtmetallische Einschlüsse, Gasblasen, Warmrisse oder Lunkerstellen – verursachten, zu reparierenden Fehlstellen.

Bei dem zu schweißenden Werkstoff handelt es sich um Gusseisen mit Kugelgraphit, auch bekannt unter der Abkürzung FCD (Ferro

Casting Ductile). Der Vorteil dieses auch Sphäroguss genannten Werkstoffs sind ähnlich gute mechanische Eigenschaften, wie sie Kohlenstoffstahl aufweist (AHSS, Advanced High Strength Steel).

Von der Theorie zur Praxis: die Technologie in der Beweispflicht

Die Gusseisenbauteile sind Teile einer Maschine zur Produktion von Strangguss-Rundstahl, die in ihrer Funktion als lineare Gleitlagerstütze und zur radialen Ausrichtung im 24/7-Dauerbetrieb mechanisch hoch und mehrfach beansprucht werden. Da ein Bauteilversagen zum Ausfall der Maschine und demzufolge der gesamten Strangguss-Produktion führen würde, einhergehend mit wirtschaftlich hohem Verlust, vertraute der auf Kundenseite verantwortliche erfahrene Schweißfachingenieur und Leiter der Qualitätsstelle bei der Reparaturschweißung nicht nur auf die Ergebnisse der Sichtprüfung (VT) und der Farbeindringprüfung (PT), sondern forderte darüber hinaus vorab eine Arbeitsprobe (**Bild 4**). Diese sollte den in der Theorie angepriesenen Hauptvorteil des Impuls-Laserstrahlschweißens – keine relevante negative Beeinflussung in der Wärmeeinflusszone und dadurch keine mikrostrukturellen Veränderungen des Grundwerkstoffs – durch den Praxistest beweisen.

Die Problematiken, die sich beim konventionellen Reparaturschweißen, beispielsweise beim Lichtbogenhandschweißen, eines derartigen Gusseisenwerkstoffs stellen, sind vor allem der hohe Zeit- und Kostenaufwand,

verursacht durch die Metallurgie des Grundwerkstoffs: hoher Kohlenstoffgehalt (über 3%), Sprödigkeit und geringe Bruchdehnung, Gefahr der Rissbildung durch Eigenspannungen, niedrige Schmelztemperatur, dünnflüssige Schmelze sowie hohe Phosphor- und Schwefelgehalte. Kurzum: Die Schweißbeugung aller unlegierten, graphitischen Gusseisenwerkstoffe hängt in erster Linie von der Menge an verspröden Gefügebestandteilen ab, vom Perlit, von der Graphitform und von der Menge der Graphitpartikel im Bereich der Schweißstelle.

Blick ins Gefüge: Was geschieht beim konventionellen Schweißen von Gusseisen?

Ab einer ins Werkstück eingebrachten Temperatur von über 420°C und einer Einwirkzeit von länger als 1 s (was beim konventionellen Schweißen immer der Fall ist) löst sich der in der eisenmetallischen Matrix des Gusseisens vorliegende Kohlenstoff (Graphit). Dieser wandert zu den Korngrenzen und bildet Graphitknötchen. Individuell abhängig von der Kohlenstoffsättigung des jeweiligen Werkstoffs und der Abkühlungsgeschwindigkeit beim Schweißen bilden sich die sehr harten und spröden Gefügebestandteile Martensit und – in aufgeschmolzenen Bereichen – Ledeburit. Diese Vorgänge – nennen wir sie die „Graphitierung von Gusseisen“ – beeinträchtigen negativ die Festigkeit, Zähigkeit, Kriechfestigkeit und Duktilität des geschweißten Bauteils.

Um diese – durch konventionelles Schweißen verursachte – Verschlechterung der mechanisch-technologischen Eigenschaften zu verhindern, müssen geeignete Gegenmaßnahmen ergriffen werden. Konkret: Die werkstoffkundlichen Zusammenhänge müssen in Fertigungsparameter umgesetzt werden, die ein gezieltes und prozesssicheres Einstellen der gewünschten Schweißnahteigenschaften gestatten. Als wesentliche beeinflussbare Steuergrößen stehen zur Verfügung: Vorwärmtemperatur und gegebenenfalls Wärmenachbehandlung und während des Schweißprozesses zusätzlich die Wärmeeinbringung, die wiederum abhängig ist von der Schweißgeschwindigkeit und dem Abkühlungsverlauf. Umfangreiche Regelwerke beschreiben die Varianten der schweißtechnischen Verarbeitung.



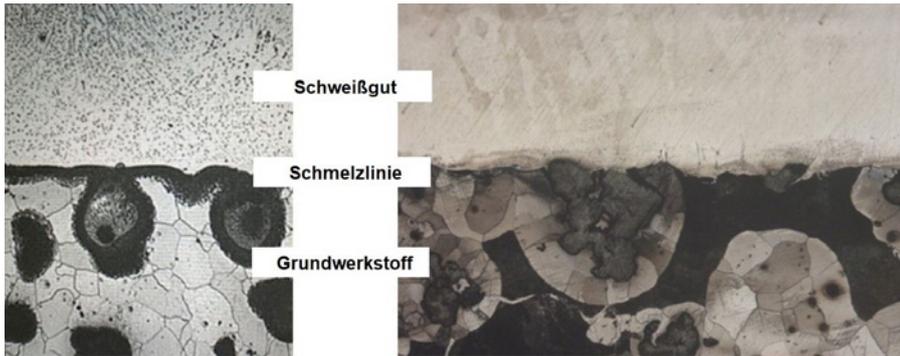
▲ Bild 2. Aus Gusseisen, Typ GJS-400-15 (EN 1563), bestehende Maschinenbauteile, die durch örtliche Auftragschweißungen repariert werden sollten



◀ Bild 3. Beispiel für beim Gießen durch nichtmetallische Einschlüsse, Gasblasen, Warmrisse oder Lunkenstellen verursachte, zu reparierende Fehlstellen



◀ Bild 4. Arbeitsprobe mit dreilagiger Impuls-Laserstrahl-Auftragschweißung



▲ Bild 5. Links: Schlichtbild des Gusswerkstoffs GJS-400-15 (Kohlenstoffgehalt 3,25 bis 3,70%) mit einer durch konventionelles Lichtbogenhandschweißen ausgeführten, „artfremden“ Auftragschweißung mit einem Ni-Fe-Zusatzwerkstoff; rechts: Schlichtbild des Sphärogusswerkstoffs EN-GJS-500-7 (Kohlenstoffgehalt 3,40 bis 3,60%) mit einer durch die „Energie des Lichts“, durch Impuls-Laserstrahlschweißen, ausgeführten, „artfremden“ Auftragschweißung

Pulsierend schweißen – mit Licht und Lichtgeschwindigkeit

Im fachkundlichen Gewährsein dieser schweißtechnischen Herausforderungen und des dadurch verursachten Zeit- und Kostenaufwands stelle man sich nun eine Technologie vor, bei deren Anwendung all dies nicht berücksichtigt werden muss: pulsierend schweißen mit Licht und Lichtgeschwindigkeit durch Impuls-Laserstrahltechnologie. In wenigen Millisekunden (eine Impulsdauer) schießen Photonen (Lichtteilchen) mit nahezu 300.000 km/s (Lichtgeschwindigkeit) auf die Werkstückoberfläche, kreieren ein Schmelzbad (Geschwindigkeit = Energie), in das der Schweißzusatz eintaucht, wonach dieses erstarrt. Erst nach dem vollständigen Erstarren setzt der nächste Impuls ein – Impuls an Impuls an Impuls ..., während sich das Gefüge des Grundwerkstoffs aufgrund der Schnelligkeit und der geringen

Energieeinbringung nicht verändert. Die Problemlösung klingt und ist simpel: schneller sein als die unerwünschte Reaktion. Der gepulste Laser macht es möglich.

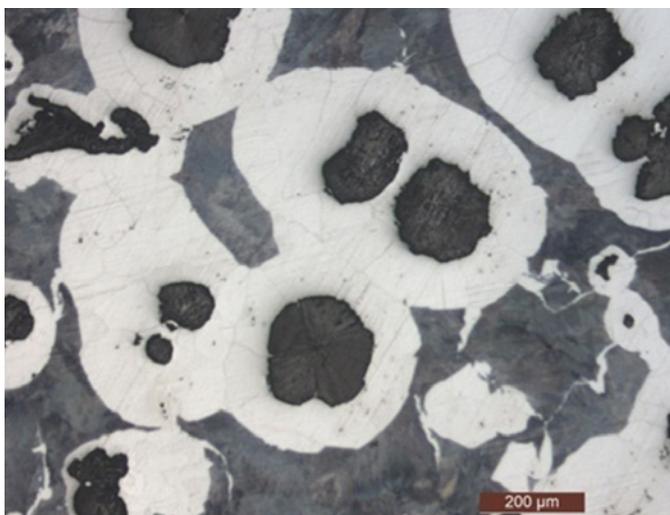
Die Schweißaufsicht bei der vom Kunden geforderten Arbeitsprobe übernahm Thanapol Pradissun, technologischer Leiter von Alpha Laser Southeast Asia Co., Ltd. Geschweißt wurde mit einer von der Alpha Laser GmbH hergestellten Faserlaser-Maschine vom Typ „AL Flak 1200F“, programmiert mit folgenden Schweißparametern: 440 W Laserleistung, 1,6 ms Impulsdauer, 42 Hz Impulsfrequenz, Schmelzbaddurchmesser 1,8 mm.

Die Schmelzlinien im Vergleich

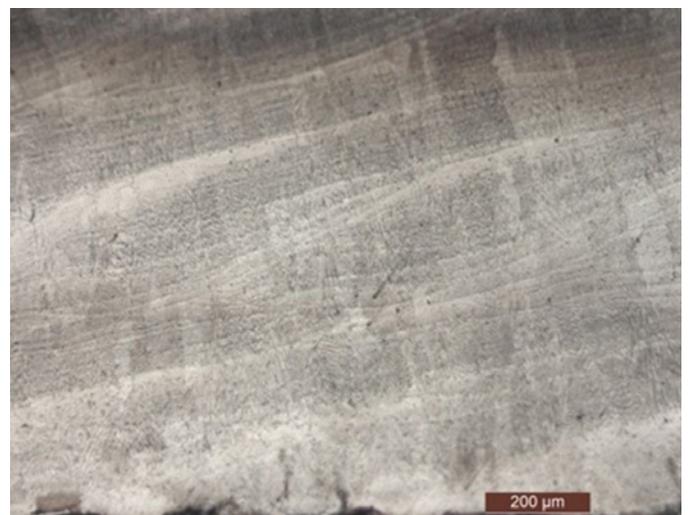
Zur Auftragschweißung der Arbeitsprobe entschied man sich für einen hoch nickelhaltigen (20 bis 23%) „artfremden“ Schweißzusatz (Durchmesser 0,6 mm): für „Inconel 625“

(Werkstoff-Nr.: 2.4856, Handelsname „DSI M NICR 625“). Dieser erzeugt ein „reines Schweißgut“. Dessen Mikrogefüge liegt nicht, wie das des Grundwerkstoffs, als Eisenmatrix vor, sondern austenitisch. Auf Schlichtbildern ist dies als Farbunterschied zwischen Grundwerkstoff und Schweißgut deutlich erkennbar (**Bild 5**). **Bild 5 links** zeigt das Schlichtbild des Gusswerkstoffs GJS-400-15 (Kohlenstoffgehalt 3,25 bis 3,70%) mit einer durch konventionelles Lichtbogenhandschweißen ausgeführten, „artfremden“ Auftragschweißung mit einem Ni-Fe-Zusatzwerkstoff. **Bild 5 rechts** zeigt das Schlichtbild des Sphärogusswerkstoffs EN-GJS-500-7 (Kohlenstoffgehalt 3,40 bis 3,60%) mit einer durch die „Energie des Lichts“, durch Impuls-Laserstrahlschweißen, ausgeführten, „artfremden“ Auftragschweißung.

Der Mikroschliff der konventionellen Schweißung (**Bild 5 links**) zeigt deutlich, wie sich aufgrund der hohen, nicht durch Elektrizität eingeleiteten Wärmeeinbringung der in der metallischen Matrix des Gusseisens vorliegende Kohlenstoff löste, zu den Korngrenzen wanderte und Graphitknötchen bildete. Darüber hinaus ist erkennbar, wie das nickelhaltige Schweißgut in der Aufmischungszone Eisenpartikel aus dem Grundwerkstoff aufgenommen hat, der sich als Nickelmartensit ausprägte (schwarz gesprenkelt). Im Vergleich dazu zeigt der Mikroschliff der Impuls-Laserstrahlschweißung (**Bild 5 rechts**) keinerlei Veränderungen – weder eine Graphitierung im Grundwerkstoff noch eine Veränderung des Kohlenstoffs in der Aufmischungszone.



▲ Bild 6. Unveränderter Grundwerkstoff der geschweißten Arbeitsprobe



▲ Bild 7. Reines Schweißgut der geschweißten Arbeitsprobe (Bilder: Alpha Laser Southeast Asia Co., Ltd.)

Trotz des theoretischen Wissens – großes Erstaunen

Auf Kundenwunsch erfolgte die Auswertung der Arbeitsprobe bei einem unabhängigen Dritten (Third Party), beim Thai German Institute (TGI) in Chonburi, was von Prof. Dr. Kuscher von der GSI – Gesellschaft für Schweißtechnik International mbH, Niederlassung SLV Hannover, fachkundlich begleitet wurde. Obschon allen am Projekt Beteiligten die mit der eingesetzten Technologie einhergehende Theorie wohl bekannt war – die Hauptvorteile des Impuls-Laserstrahlschweißens –, so waren doch ausnahmslos alle gleichermaßen erstaunt und erfreut über das zweifelsfrei positive Ergebnis. Der Praxistest lieferte den Beweis für die Theorie: Sphärogusseisen (GJS/FCD) kann ohne jegliche Wärmebehandlung bei Raumtemperatur fehlerfrei geschweißt werden. Damit hat die Impuls-Laserstrahlschweißtechnologie die schier unüberwindbare Barriere des problemlosen und

wirtschaftlichen Reparaturschweißens von Gusseisen mit Kugelgraphit beseitigt – dank ihrer beiden Hauptvorteile, die keine „Graphitierung“ und keine mikrostrukturellen Veränderungen des Grundwerkstoffs verursachen:

1. sehr geringe Wärmeeinbringung (Schweißen mit Licht und Lichtgeschwindigkeit),
2. schweißen mit Impuls mit ultrahoher Frequenz (maximal 100 Hz).

Bereit für weitere Herausforderungen

Zeit und Kosten einsparen, aber ohne Kompromisse an die Qualität: Die Technologie des Impuls-Laserstrahlschweißens hat diese Herausforderung mit Bravour gemeistert, sowohl bei der Arbeitsprobe als auch bei den im Anschluss reparaturgeschweißten und inzwischen erfolgreich im Dauereinsatz befindlichen Maschinenbauteilen (**Bilder 1 und 2**).

Dieses Praxisbeispiel zeigt eine bislang ungeahnte Möglichkeit hinsichtlich der Reparatur

von konventionell aufwendig zu schweißenden Werkstoffen. Gleichsam lässt es erahnen, welche vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten sich den Kunden aus den unterschiedlichsten Industriebranchen bieten. ■



Prof. Dr.-Ing. Gerd Kuscher, Auditor und Zertifizierer, GSI – Gesellschaft für Schweißtechnik International mbH, Niederlassung SLV Hannover, kuscher@slv-hannover.de,



Stephan Thimonds (IWS), Manager Welding Department, Alpha Laser Southeast Asia Co., Ltd., Chonburi/Thailand, thimonds@dsilaser.com

Anzeige



18TH PIPELINE TECHNOLOGY CONFERENCE
8-11 MAY 2023, BERLIN

www.pipeline-conference.com



Exhibition



Conference



Networking

DIAMOND SPONSOR



PLATINUM SPONSORS



GOLDEN SPONSORS



SILVER SPONSORS

