

## REPARATUR EINES DAMPFTURBINENROTORS DURCH IMPULS-LASERSTRAHLSCHWEISSEN IN THAILAND

# Schweißen verbindet

Prof. Dr. Gerd Kucher, Hannover, Stephan Thiemonds, Chonburi/Thailand

An dem Rotor einer Dampfturbine im firmeninternen Kraftwerk eines thailändischen Zementwerks kam es durch Fehlbedienung zu einer Mangelschmierung und in der Folge zu Rissen an beiden Rotorwellenenden, die bis zu 7 mm tief waren. Der Beitrag beschreibt das Reparaturschweißen des Rotors durch Impuls-Laserstrahlschweißen mit einer mobilen Schweißanlage vor Ort in Thailand und die technischen und personellen Herausforderungen, die dieses deutsch-thailändische Gemeinschaftsprojekt mit sich brachte.



▲ Bild 1. Einbringen des Turbinenrotors in die Kopfdrehbank zur mechanischen Vorbearbeitung der schadhaften Flächen

Das Schweißen mit dem Impuls-Laserstrahl ergibt hinsichtlich der Schweißbeugung metallischer Werkstoffe eine neue Betrachtungsweise. Insbesondere der Festkörperlaser (Nd:YAG) mit der Möglichkeit, den Laserstrahl über Lichtleitfaserkabel vom Laser unabhängig an jeden Ort einer Konstruktion zu leiten, bietet neue Möglichkeiten des Impuls-Laserstrahlschweißens. Hinzu kommt, dass Stahlwerkstoffe, die bei der Abkühlung eine Gefügeumwandlung erfahren und damit eine bestimmte Wärmeeinflusszone (WEZ) ausbilden, sich beim Schweißen mit dem Impuls-Laserstrahl anders verhalten als bei konventionellen Schweißprozessen. Die aufgrund einer Impulsfrequenz von wenigen Millisekunden extrem kurze Schweißzeit und die daraus resultierende sehr kurze Abkühlzeit ( $t_{8/5}$ ) ergeben eine nur wenige zehntel Millimeter schmale WEZ und ein parameterbedingtes Vermeiden der Ausbildung der kritischen Grobkornzone.

Diese Fakten ergeben eine andere laserspezifische Einordnung der Schweißbeugung metallischer Werkstoffe.

Diese Erkenntnisse nutzt seit nunmehr fast 20 Jahren die Firma DSI Laser Service (Thailand) Co.,Ltd. aus Chonburi, unweit von

Bangkok gelegen, um auch an Großbauteilen Impuls-Laserstrahlschweißungen mit mobilen Laserstrahlschweißanlagen der Firma Alpha Laser GmbH aus dem bayrischen Puchheim erfolgreich durchzuführen. Neben dem Hauptgeschäftsfeld als Service-Dienstleister



◀ Bild 2. Vom deutschen Hersteller Alpha Laser gefertigte Impuls-Laserstrahlschweißmaschine mit 900 W Leistung vom Typ „ALFlak Faser“, der in der vorläufigen Schweißanweisung (pWPS) für die Reparaturschweißung festgelegt wurde

für Laserstrahlschweißen in unterschiedlichen Branchen (Automobilindustrie, Öl- und Gasindustrie, Petrochemie und neuerdings auch Luftfahrtindustrie) ist die DSI (Thailand) ebenfalls als autorisierter Händler für Alpha-Laserstrahl-Schweißanlagen in Thailand tätig. Seit 15 Jahren besitzt die DSI (Thailand) die Zertifizierung nach DIN EN ISO 3834-2 durch die DVS Zert GmbH, auditiert durch die GSI – Gesellschaft für Schweißtechnik International mbH, Niederlassung SLV Hannover, die die DSI (Thailand) auch fachlich unterstützt.

Bei dem von der DSI (Thailand) reparierten Rotor (**Bild 1**) handelt es sich um den Rotor einer im Jahr 2005 von Siemens gebauten Dampfturbine. Die 37 MW leistende Turbine ist im firmeninternen Kraftwerk eines thailändischen Zementwerks im Einsatz, wobei Überkapazitäten an die EGAT (Electricity Generating Authority of Thailand) verkauft werden. EGAT ist der größte thailändische Stromversorger und betreibt 45 Kraftwerke mit einer Gesamtkapazität von 15.548 MW. Der Stromversorger unterhält eigene Werkstätten, die unter anderem auf Turbinenreparaturen spezialisiert sind. In einer im Norden der Landeshauptstadt Bangkok gelegenen EGAT-Werkstatt begannen im November 2018 die Impuls-Laserstrahl-Reparaturschweißungen, die, ohne mechanische Vor- und Nachbearbeitung, vier Wochen dauerten.

#### Welcher zu reparierende Verschleiß am Rotor lag vor?

Der Rotor der Turbine ist ögelagert. Durch eine Fehlbedienung beim Betreiben der Turbine kam es zu einer „Mangelschmierung“,



▲ Bild 3. Impuls-Laserstrahl-Schweißmaschine im Schweißensatz am Turbinenrotor in Thailand

das heißt zu einem nicht ausreichenden, „abreißenden“ Schmierfilm zwischen der mit 3.000 min<sup>-1</sup> rotierenden Rotorwelle und deren Aufnahmen. Durch die metallische Reibung und die daraus resultierende Hitzeentwicklung kam es zu Rissen an beiden Rotorwellenenden. Nach einer ersten Schadensbetrachtung wurden Risse bis zu einer Tiefe von 2 mm erwartet. Bei der nachfolgenden Magnetpulverprüfung (MT) und beim mechanischen Abarbeiten der Fehlstellen auf einer Kopfdrehbank wurden Risse bis zu einer Tiefe von 7 mm gefunden.

Der Rotorwerkstoff ist der ASTM A335 P22. Als Schweißzusatz wurde der von EGAT vorgegebene EN ISO 21952-A CrMo1 (früher 1.7339) mit einem Durchmesser von 0,8 mm verwendet. Als Laser wurde eine Nd:YAG-Impuls-Laserstrahl-Schweißmaschine (**Bilder 2 und 3**) mit einer durchschnittlichen Laser-

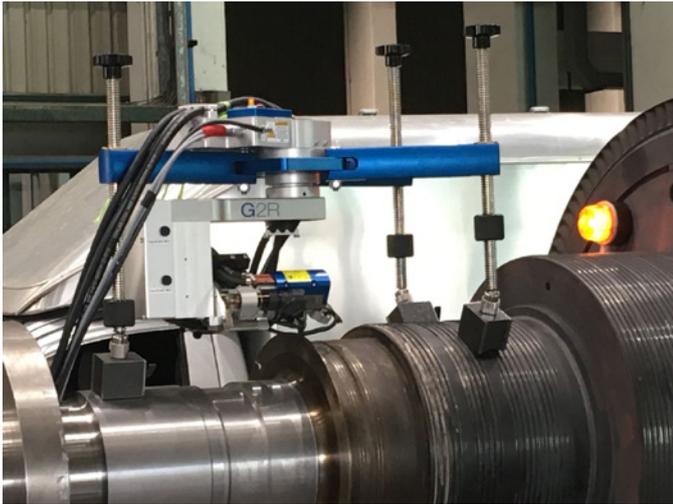
ausgangsleistung von 900 W eingesetzt. Die Wellenlänge betrug 1059 nm. Die Schweißung erfolgte mit einer Impulsfrequenz von 33,6 Hz, einer Impulsdauer von 3,5 ms, einem Strahldurchmesser von 2,5 mm und dem Schutzgas Ar 99,9%. Es lag eine vorläufige Schweißanweisung (preliminary welding procedure specification, pWPS) (pWPS-DSI-EGAT-Turbine-18.11.12) mit allen weiteren notwendigen Angaben vor. Die eingesetzten Laserstrahlschweißer von DSI (Thailand) besaßen hierfür eine gültige Bedienerprüfung nach ISO 14732:2013 für das Auftragschweißen.

#### Ausbildung, Prüfung und Zertifizierung der Schweißer

Das Einhalten der hohen Qualitätsanforderungen der Reparaturschweißung an einer mit mehreren Tausend Umdrehungen



▲ Bild 4. Mechanisch für die Reparaturschweißung vorbereitete Turbinenwelle



▲ Bild 5. Vor dem Schweißen und während des Schweißens angebrachtes Messgerät zur Eigenspannungsanalyse der Turbinenwelle



◀ ▲ Bild 6. Schweißen am Turbinenrotor vor Ort in Thailand

der DSI (Thailand) erfolgte an der firmeneigenen DSI Thailand Laser-Welding Academy. Geprüft und zertifiziert wurde nach der von der GSI – Gesellschaft für Schweißtechnik International mbH, Niederlassung SLV Hannover, erarbeiteten internen Ausbildungsrichtlinie „SLV-H-LS01“. Neben den Schweißern der DSI (Thailand) werden an der Akademie ebenfalls Laserstrahlschweißer von Kunden ausgebildet und über die SLV Hannover qualifiziert und zertifiziert.

#### Breitflächige und großvolumige Reparaturschweißung

Die Bearbeitungsflächen wurden nach dem Säubern im Rissbereich auf einer Breite von 332 mm bzw. 340 mm auf 2 mm Tiefe abgearbeitet und im direkten Rissbereich in einer Breite von 100 mm zusätzlich weitere 5 mm tief (Bild 4). Um eventuelle Bauteilspannungen festzustellen, erfolgten Eigen-

pro Minute arbeitenden Turbine erfordert neben metallurgischem Wissen sehr gut ausgebildetes Fachpersonal. Die Projektleitung der Turbinenrotorreparatur übernahmen die beiden sowohl metallurgisch als

auch laserstrahlschweißtechnisch erfahrenen DSI-Kollegen, Ms. Thongplew Banpao und Mr. Thanapol Pradissun. Die Ausbildung der sowohl im Auftrag- als auch im Verbindungs-schweißen qualifizierten Laserstrahlschweißer

spannungsanalysen durch Röntgendiffraktion jeweils vor dem Schweißen, in Zwischenschritten während des Schweißens und nach dem Schweißen (**Bild 5**).

**Bild 6** zeigt das Schweißen am Turbinenrotor vor Ort in Thailand. Die Dicke der bei jeder Lage aufgetragenen Naht betrug etwa 1 mm. Im direkten Rissbereich der Welle (100 mm breit) ergaben sich etwa fünf bis sechs Umfangslagen, auf der Oberfläche (332 mm bzw. 340 mm) drei Lagen. Diese breitflächige und großvolumige Reparaturschweißung war aus wirtschaftlicher/zeitlicher Sicht nur durch den Einsatz von zwei 900 W-Faserlasern möglich, mit denen an beiden Wellenenden gleichzeitig geschweißt wurde. Ein Zwischenlagenergebnis zeigt **Bild 7**. Die fertigen Schweißungen (**Bild 8**) wurden neben den finalen Eigenspannungsanalysen und Sichtprüfungen (VT) auch durch Farbeindringprüfung (PT), Magnetpulverprüfung (MT) und Ultraschallprüfung (UT) geprüft. Nach den erfolgreichen Tests wurden die geschweißten Oberflächen an den Rotorwellenenden auf die für ihren Einsatz bestimmten Ursprungsmaße und -toleranzen auf einer Kopfdrehbank mechanisch bearbeitet. Seit der Wiederinbetriebnahme im Frühjahr 2019 arbeitet die Dampfturbine im störungsfreien Betrieb. ■



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



Stephan Thiemonds (IWS), Direktor, DSI Thailand Laser-Welding Academy, Chonburi/Thailand, thiemonds@dsi-laser.com



◀ Bild 7. Lagenaufbau der Impuls-Laserstrahl-Reparaturschweißung



▲ Bild 8. Fertige Impuls-Laserstrahlschweißung bei der finalen Eigenspannungsanalyse (Bilder: DSI)