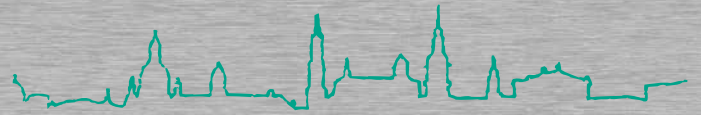




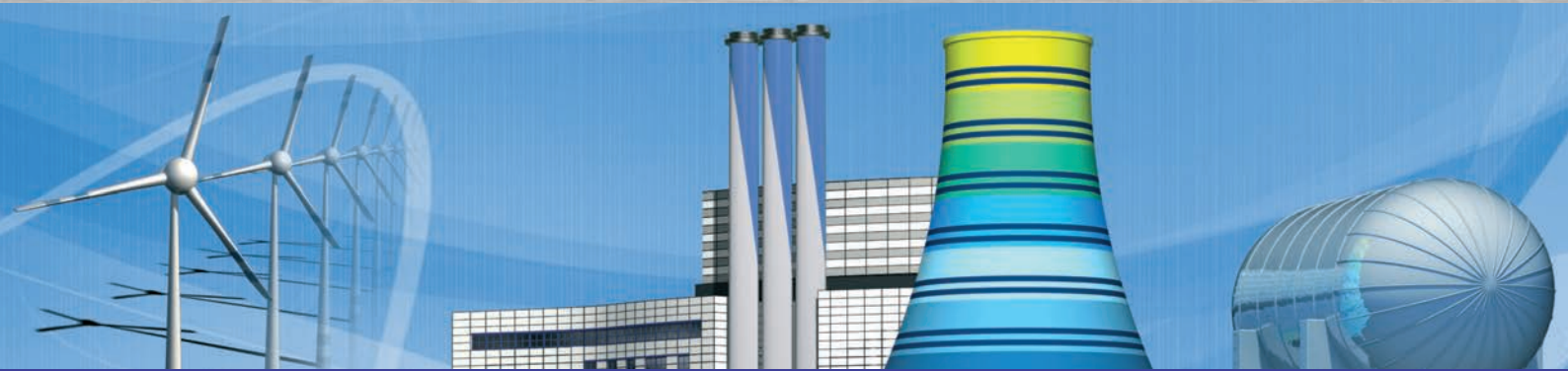
Fraunhofer

IWS



Dresden

FRAUNHOFER-INSTITUT FÜR WERKSTOFF- UND STRAHLTECHNIK IWS



LASERSTRAHLSCHWEISSEN IM ENERGIESEKTOR

Laser MES - MEHRLAGIG, EFFIZIENT, SKALIERBAR

Motivation

Die Energiewende, also der Übergang von fossilen Energieträgern und Kernenergie zu erneuerbaren Energieträgern, ist eine der größten Herausforderungen für unsere Gesellschaft. Effizientere Energienutzung ist dabei ebenso wichtig wie der grundlegende Umbau der Energieversorgungssysteme auf eine nachhaltige Energieerzeugung.

Der Mix aus Sonnenenergie, Windkraft und fossilen Brennstoffen erfordert neue Konzepte bei der Energieerzeugung, Wandlung und Speicherung. Diesen Bedingungen muss Deutschland gerecht werden, wenn das große Wertschöpfungspotenzial bei der Herstellung und dem Betrieb von Kraftwerken auch in Zukunft in Deutschland liegen soll.

Die im Energiesektor häufig anzutreffenden hochbeanspruchten Schweißkonstruktionen erfordern zunehmend neue prozesssichere Schweißtechniken mit hoher Effizienz. Insbesondere für den Bereich sehr dickwandiger Bauteile hat das Fraunhofer IWS Dresden eine neue, laserbasierte Füge-technologie entwickelt, das Laser-Mehrlagen-Engstspaltschweißen (Laser-MES).

Laser-MES stellt eine Schlüsseltechnologie für die Herstellung großer Kraftwerkskomponenten dar und gestattet gleichzeitig flexible Reparaturlösungen im Energiesektor. Das Verfahren ist für den klassischen Stahlbau ebenso einsetzbar wie für warmfeste Stähle und Nickelbasiswerkstoffe sowie für diverse Aluminiumlegierungen.

Fraunhofer-Institut für Werkstoff- und Strahltechnik IWS

Winterbergstraße 28, 01277 Dresden

Fax +49 351 83391-3210

www.iws.fraunhofer.de

Ansprechpartner:

Dr. Dirk Dittrich

Telefon +49 351 83391-3228

dirk.dittrich@iws.fraunhofer.de



1a



1b

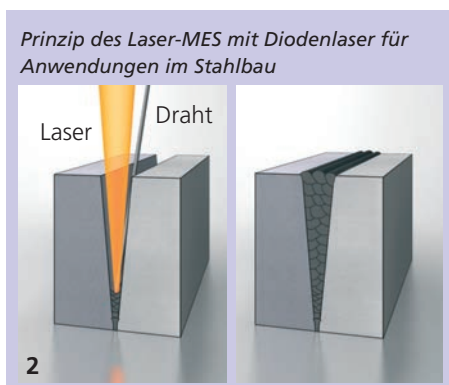


1c

Laser-MES im Stahlbau

Große Schweißquerschnitte, beträchtliche Bauteiltoleranzen und schwierige Zugänglichkeit stellen für den Stahlbau typische Randbedingungen dar, die bisher nur bedingt durch Laserstrahlschweißen abgesichert werden konnten. Mit dem neu entwickelten Laser-MES-Verfahren können oben genannte Anforderungen erfüllt und der Automatisierungsgrad der Fertigung erhöht werden.

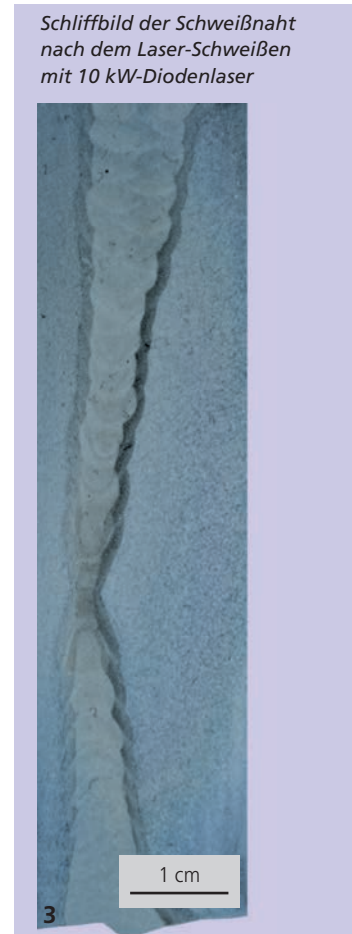
Basis ist ein 10 kW-Diodenlaser mit einem Spotdurchmesser von ca. 3 mm und einer Strahlqualität von ca. 150 mm mrad. Der von der Kaustik des Laserstrahles abhängige minimale Öffnungswinkel der Fuge reduziert sich dadurch von 40° auf Werte kleiner 15°, ohne dass die Flanken im oberen Bereich einer 120 mm DHV-Naht abgeschmolzen werden. Der Strahl wird statisch durch die Fuge geführt, um entweder mit einer Raupe pro Lage oder mit zwei bis drei Raupen pro Lage den Spalt zu füllen.



2

Vorteile des Verfahrens

- Reduzierung des aufzufüllenden Fugenvolumens
- weniger Verzug, geringere Nacharbeit
- Fasenvorbereitung mittels Plasma-Brennschnitt ausreichend
- niedrige Investitionskosten pro kW Laserleistung
- hohe Abschmelzleistung
- Spaltüberbrückung ± 2 mm
- Effizienzsteigerung und Kostenreduktion

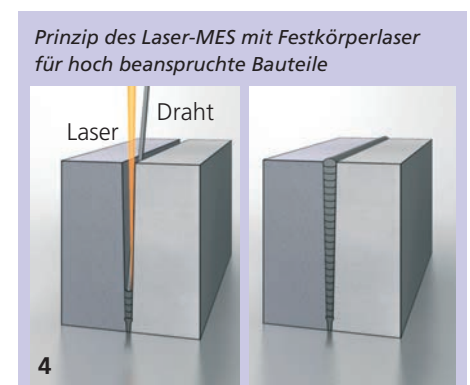


3

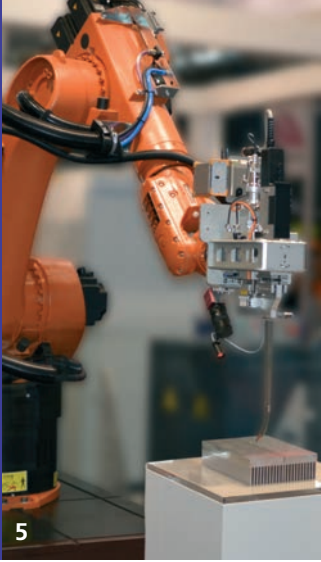
Laser-MES für höchste Präzision

Werden beim Laser-MES-Verfahren Festkörperlaser mit höchster Strahlqualität eingesetzt (z. B. Faser- oder Scheibenlaser), können die Vorteile des Laserstrahlschweißens, geringer und lokal begrenzter Energieeintrag ins Bauteil, reduzierter Bauteilverzug auch für Dickblechanwendungen realisiert werden. Die für das Tiefschweißen mit dem Laserstrahl typischen Prozessgrenzen werden deutlich überschritten.

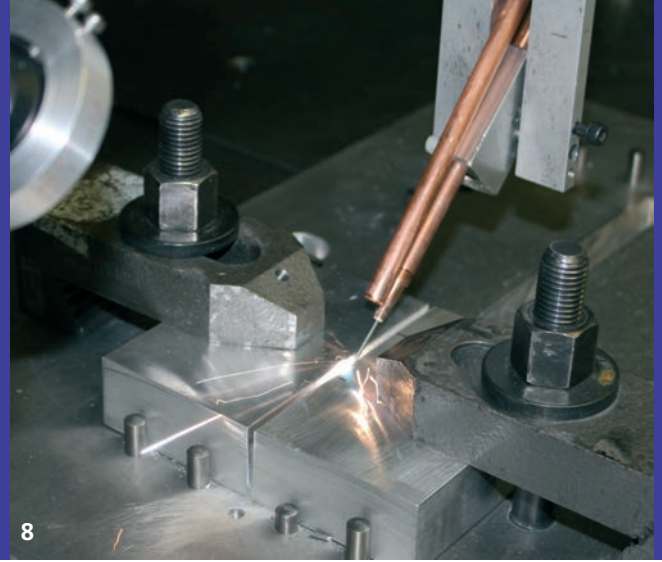
Bei der mehrlagig ausgeführten Schweißnaht werden die aus dem klassischen Laserstrahlschweißen bekannten sehr kleinen Schmelzbadvolumen beibehalten. Dadurch sind die Schrumpfspannungen gering und die Bauteile müssen in vielen Fällen nicht mehr vorgeheizt werden. Die hohe Leistungsintensität im Fokus des Laserstrahles wird sowohl für das Abschmelzen des Schweißzusatzwerkstoffs als auch für die lokale Aufschmelzung der Bauteilflanken genutzt. Letzteres verbessert die Haftung und verhindert Bindefehler.



4



5



8

Die mechanisch bearbeitete Fugestelle ist durch eine individuell ermittelte Fugenbreite sowie einen sehr kleinen Öffnungswinkel ($<4^\circ$) gekennzeichnet. Durch das Laser-MES-Verfahren entsteht eine riss- und bindefehlerfreie Schweißverbindung mit großem Aspektverhältnis. Sie ist durch homogen miteinander verbundene Lagen gekennzeichnet.

Vorteile des Verfahrens

- äußerst geringer Energieeintrag
- drastisch reduziertes Schweißgutvolumen
- riss- und bindefehlerfreie Schweißverbindung mit großem Aspektverhältnis
- höchste Schweißnahtqualität (kaum Kaltrisse, geringer Bauteilverzug, geringe Eigenspannungen)
- zwischen 15 und 50 mm Bauteildicke beliebig skalierbar
- effizient und kostengünstig

Laser-MES für das Aluminium-Dickblech-Schweißen

Das Laser-MES-Verfahren mit Festkörperlaser höchster Strahlqualität (SPP ca. $0,4 \text{ mm mrad}$) ist speziell für die Verarbeitung von Aluminium-Dickblech geeignet. Der nahezu ideal fokussierbare Laserstrahl kann vollständig bis zum Fugengrund in eine 2 bis 3 mm breite und bis zu 50 mm tiefe Fuge eingespiegelt werden.

Für eine homogene Einmischung der Legierungselemente aus dem Zusatzwerkstoff wird das Laser-MES mit einer Strahloszillation kombiniert. Sie erlaubt ein gezieltes Querpendeln des Strahls innerhalb der Fuge mit hoher Scanfrequenz. Damit wird eine gleichmäßige Aufschmelzung der Bauteilflanken und eine homogene Durchmischung der Schmelze mit Schweißzusatzwerkstoff (AlSi12) gewährleistet.

Vorteile des Verfahrens

- wesentlichen Anwendungsgrenzen für das Dickblechschweißen von ausscheidungshärtbaren Aluminiumlegierungen überwunden
- AlMgSi-Legierungen bis zu einer Dicke von 50 mm schweißbar
- sehr hoher Schweißnahtqualität (keine Bindefehler und Risse)
- hohe Reproduzierbarkeit
- gleichmäßige Aufschmelzung der Bauteilflanken
- hohes Aspektverhältnis
- homogene Durchmischung der Schmelze mit Schweißzusatzwerkstoff (AlSi12)
- für Blechdicken bis 50 mm nur 2 bis 4 kW Laserleistung nötig
- sehr geringer Wärmeeintrag in das Bauteil
- kaum Bauteilverzug (Verzug mit steigender Blechdicke sinkend)
- geringe Porenhäufigkeit (Bewertungsklasse B nach DIN 13919-2)
- keine Risse im Schweißgut
- sehr hohen Zugfestigkeitswerte
- hohe Prozesssicherheit
- geringe Investitionskosten



Schliffbild der Schweißnaht nach dem Laserstrahlschweißen von Stahl mit 5 kW-Faserlaser

6



Schliffbild der Schweißnaht nach dem Laserstrahlschweißen von Aluminium mit 4 kW-Faserlaser

7

1a Stahlbauanwendung bis 90 mm Schweißnaht

1b Aluminium-Platte 50 mm Schweißnaht

1c Aluminium-Rohrstutzen 25 mm Schweißnaht

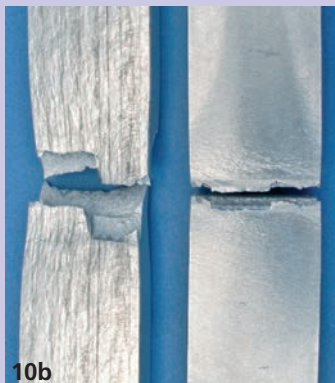
5 Laser-MES Kopf

8 Beispiel eines Laser-MES-Prozesses

Strukturelle Charakterisierung und mechanische Prüfung der Schweißverbindungen

Für die Schweißnahtcharakterisierung dickwandiger Bauteile stehen im Institut neben der klassischen statischen Zugprüfung umfangreiche Möglichkeiten der zyklischen Ermüdungsprüfung zur Verfügung. Diese reichen bis zur VHCF-Prüfung der Schweißnahtbereiche zur Bestimmung versagenskritischer Fehlstellen. Darüber hinaus werden analytische Methoden zur Werkstoffcharakterisierung beginnend von einer metallographischen Analyse bis hin zur Transmissionselektronenmikroskopie eingesetzt. Die bauteilangepasste Strukturprüfung dickwandiger Komponenten erfolgt zunächst durch FEM-Simulation bei der versagensrelevante Bereiche vorherbestimmt werden. Danach erfolgt die Validierung der Simulationsergebnisse z. B. mittels einer Torsions-Zug-Prüfmaschine experimentell.

Charakterisierung der Laser-MES-Proben im Zugversuch (10a), Versagensverhalten einer Grundwerkstoffprobe (10b links) und einer MES-Schweißnaht (10b rechts)



Anwendungsbeispiele für das Laser-MES-Verfahren

Das Laser-MES-Verfahren weist gegenüber dem klassischen Laserstrahlschweißen entscheidende Vorteile auf. So können riss- und umwandlungskritische Werkstoffe mit sehr niedriger Streckenenergie, also geringer Laserleistung, geschweißt werden. Das spart Investitionskosten. Der Bauteilverzug nach dem Schweißen ist gering und sinkt mit steigender Blechdicken, das spart Nacharbeitsaufwand. Das Verfahren bietet sich somit für das Schweißen dickwandiger Bauteile im Schiff-, Kran- oder Flugzeugbau an. Aber auch für hochbelastete Bauteile aus dem Energiesektor, wie z. B. Läuferwellen und Tanks, ist das Verfahren eine wirtschaftliche Alternative zu herkömmlichen Schweißtechnologien.

Forschungs- und Entwicklungsangebote des Fraunhofer IWS

Die Gruppe »Laserstrahlschweißen« beschäftigt sich mit der Entwicklung neuester Füge-technologien auf den Gebieten Antriebsstrang, Luft-, Raumfahrt- und Energietechnik sowie Karosserie- und Stahlbau. Dafür besitzt die Gruppe eine breite Expertise bei der Durchführung von öffentlich geförderten und bilateral mit der Industrie realisierten Projekten.

Unser Service:

- Entwicklung von laserbasierten Schweißprozessen für schwierig schweißbare Werkstoffe und Mischverbindungen
- Fügestellenauslegung und Charakterisierung der Schweißverbindung
- Beratung und Erarbeitung von Machbarkeitsstudien
- Durchführung von F&E-Arbeiten zusammen mit Industriepartnern und in öffentlichen Projekten
- Systementwicklung zusammen mit unseren Partnern
- verfahrenstechnische Unterstützung bei Prozesseinführungen, Schulungen von Ingenieuren und Anlagenbedienern
- Schadenfallanalysen