

Laserschweißen von hochfestem Stahl 22MnB5 mit Hochleistungs-Monomode-Faserlaser

J. Drechsel, U. Löschner, S. Schwind, H. Exner

Das Schweißen mit brillanter Laserstrahlung wurde bisher vorrangig im Mikrobereich untersucht. Dies soll nun auf den Makrobereich erweitert werden. Das Laserstrahl-tiefschweißen erfordert in Abhängigkeit der verwendeten Laserwellenlänge sehr hohe Intensitäten von in der Regel mehr als 10^6 W/cm². Dabei wird der Werkstoff nicht nur aufgeschmolzen, sondern teilweise verdampft, so dass sich in der Schmelze eine Dampfkapillare bildet, in der der Laserstrahl über Mehrfachreflektion an der Kapillarwand tief in das Material eindringt und gleichzeitig fast vollständig absorbiert wird. Dadurch ist ein hoher Prozesswirkungsgrad bei gleichzeitig hohen Schweißgeschwindigkeiten erreichbar. Im Ergebnis sind sehr schlanke Schweißnähte mit Einschweiß-tiefen von über 15 mm möglich. In [1] wird gezeigt, dass sich hohe Laserstrahlintensitäten grundsätzlich positiv auf den Schweißprozess auswirken. Dabei bieten Hochleistungs-Monomode-Faserlaser für einen Hochgeschwindigkeits-Laserschweißprozess die erforderliche Strahlleistung bei gleichzeitig bester Strahlqualität. Interessant sind diese neuen Möglichkeiten vor allem auch für die Anwendung an hochfesten Stählen. Damit können existierende Limits hinsichtlich verringerter Schweißnahtfestigkeit im Bereich der Wärmeinflusszone und bei der Schweißgeschwindigkeit bei derzeit verwendeten Festkörperlaserquellen überwunden werden.

Experimenteller Aufbau und Versuchsdurchführung

Die Untersuchungen wurden mit einem cw-Monode-Faserlaser durchgeführt, der eine maximale Laserstrahlleistung von 3 kW bei einer Wellenlänge von 1070 nm emittiert.

Für die schnelle Relativbewegung zwischen Laserstrahl und Werkstückoberfläche stehen 2 grundlegende Möglichkeiten zur Verfügung: Beim Remote-Schweißen wird der Laserstrahl mit einem geeigneten Laserstrahlablenksystem, z.B. einem Scanner, in die gewünschte Vorschubrichtung abgelenkt. Alternativ kann die Relativbewegung mit einem Handlingsystem (Achssystem, Roboter) durch Bewegung einer Bearbeitungsoptik oder des Werkstücks realisiert werden. Die für das Hochgeschwindigkeits-Laserschweißen erwarteten Geschwindigkeiten von ca. 100 m/min können grundsätzlich mit beiden Technologien realisiert werden. Dabei ermöglicht das Remote-Schweißen mit Scanner jedoch eine größere Dynamik.

In den durchgeführten Untersuchungen wurden beide Strahlführungskonzepte angewandt. Zum Remote-Schweißen wurde ein Galvanometerscansystem der Fa. Raylase AG eingesetzt. Für die Fokussierung standen zwei f-Theta-Objektive mit Brennweiten von 230 mm bzw. 500 mm zur Verfügung. Zum Schweißen mit Handlingsystem kam zur Laserstrahlfokussierung ein Schweißkopf der Fa. Precitec KG mit einer Brennweite von 250 mm zum Einsatz. Die auf der Werkstückoberfläche erreichbaren Fokussdurchmesser wurden mit einem Strahldiagnosesystem vermessen. Die entsprechenden Werte sind in Tab. 1 zusammengestellt.

Die Kombination aus Schweißkopf und Achssystem ermöglicht durch Kippen des Schweißkopfes relativ zur Probenoberfläche die gezielte Einstellung des Einstrahlwinkels des Lasers. Dementsprechend wurde auch der Einfluss eines definierten Einfallswinkels auf den Schweißprozess untersucht. Dabei wird das Kippen des

Schweißkopfes in Schweißrichtung als schleppende Schweißführung, entgegen der Schweißrichtung als stechende Schweißführung betrachtet. Bei Verwendung eines Galvanometerscanners zur Strahlablenkung ist der variierende Einfallswinkel auf die Materialoberfläche während der Bewegung zu beachten. Durch die Beschränkung der Bewegung auf den mittleren Bereich des Scanfeldes kann dieser Einfluss vernachlässigt werden.

Tab. 1 Wesentliche Prozessparameter

Fokussiersystem	Galvanometer-scanner		Schweiß-Kopf
Laserleistung am Werkstück [kW]	2,74		1,84
Brennweite [mm]	230	500	250
Fokussdurchmesser d_{86} [μ m]	21	65	53
Spitzenintensität [10^8 W/cm ²]	15,8	1,65	1,67
max. Verfahrensgeschwindigkeit des Bewegungssystems [m/min]	1200	2580	135

Die Schweißversuche wurden als Blindschweißungen sowie im Stumpfstoß realisiert. Für das Stumpfstoßschweißen erfolgte eine Kantenvorbereitung der Fügepartner mittels Schleifen. Diese war auf Grund der geringen Laserfokusabmessungen von 53 bzw. 65 μ m notwendig, um einen Nullspalt zu garantieren. Andernfalls waren keine reproduzierbaren Schweißergebnisse sichergestellt. Die Schweißversuche erfolgten ohne Schutzgas.

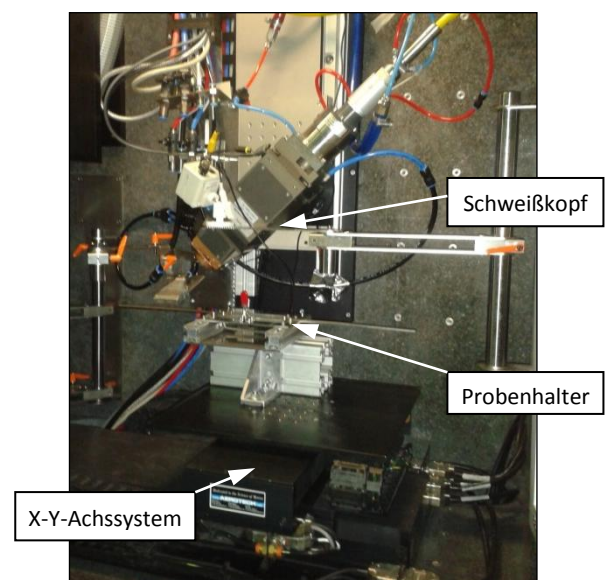


Abb. 1 Experimenteller Aufbau für das Laserstrahlschweißen mit Linearmotor- Achssystem und schräg gestelltem Schweißkopf

Die Untersuchungen wurden an 1,6 mm dickem Werkstoff 22MnB5 mit einer Zinkbeschichtung von beidseitig ca. 20 μ m Schichtdicke durchgeführt. Der Mangan und Bor legierte, voll martensitische, vergütete Stahl hat eine Zugfestigkeit von 1500 MPa. Abb. 2 zeigt einen Querschliff des Stahls 22MnB5.

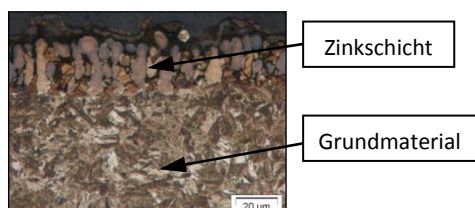


Abb. 5 Querschliff-Aufnahme des Stahls 22MnB5: 20 µm dicke Zinkschicht auf der Stahloberfläche deutlich sichtbar

Ergebnisse

Es entstehen generell sehr schmale Schweißnähte mit einer Breite von ca. 250 µm. Mit dem optischen Scannersystem konnten beim Durchschweißen des 1,6 mm dicken Materials Schweißgeschwindigkeiten von deutlich mehr als 10 m/min erreicht werden. Die maximal erzielbare Schweißgeschwindigkeit kann dabei mit steigender applizierter Laserstrahlleistung kontinuierlich gesteigert werden, s. Abb.3. Als begrenzendes Einflüsse wurden hier das Humping an der Oberraupe sowie einsetzendes Spiking an der

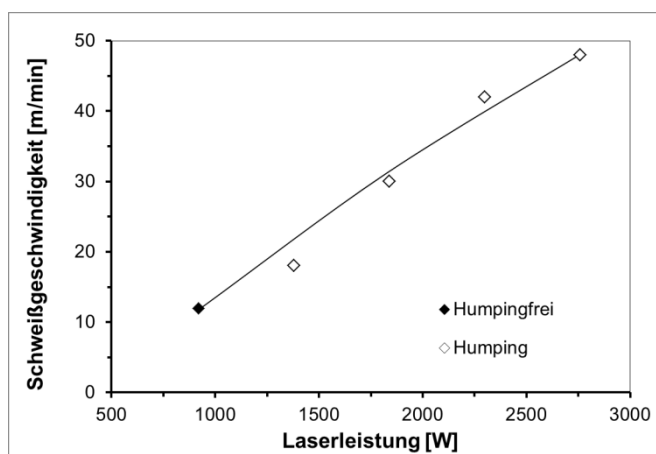


Abb. 2 Max. Schweißgeschwindigkeit beim Blindnaht-Durchschweißen von 1,6 mm dickem Blech aus 22MnB5 (Scannersystem, Fokusdurchmesser $d_{86} = 65 \mu\text{m}$)

Schweißnahtwurzel beobachtet. Mit dem kleinsten verwendeten Fokusdurchmesser von 21 µm war generell Humping auf der Schweißnaht zu verzeichnen. Ein Grund wird in der Einkopplung von Laserstrahlung in ein überhitztes Plasma bzw. in die Dampffackel bei der nahezu senkrechten Einstrahlung des Lasers beim Scannerschweißen gesehen. Damit entsteht ein unstabiler Leistungseintrag in das Keyhole. Beim Schweißen mit Schweißkopf und Achssystem konnte bei geeigneter Schweißoptik in stechender Anordnung die Humpingschwelle hin zu höheren Schweißgeschwindigkeiten verschoben werden. Auch das Stumpfstoßschweißen wurde mit bis zu 45° geneigter, stechend angeordneter Schweißoptik realisiert. Die so erreichten Schweißgeschwindigkeiten von 18 m/min lagen ca. 20 % über den Schweißgeschwindigkeiten von 18 m/min lagen ca. 20 % über den Schweißgeschwindigkeiten des Scannerschweißens. Abb. 4 links zeigt einen Querschliff einer typischen Stumpfstoßschweißnaht. Die Wärmeeinflusszone beidseits der Schweißnaht ist äußerst gering. Dies zeigt sich auch in der Messung des Härteverlaufs in Abb. 5. Die Breite der Wärmeeinflusszone liegt in der gleichen Größenordnung wie die Breite der Schweißnaht selbst. Folglich wird die schwächende Wirkung reduzierter Härte in der Wärmeeinflusszone auf die Zugfestigkeit

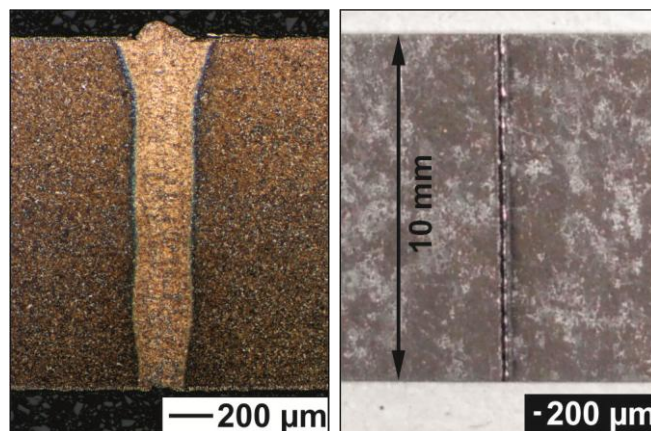


Abb. 3 Typische Stumpfstoß-Laserschweißnähte; Links: Querschliff einer Schweißnaht (Schweißgeschwindigkeit: 20 m/min, Nahtbreite 250 µm), Rechts: Ansicht 10 mm Schweißnahtoberraupe

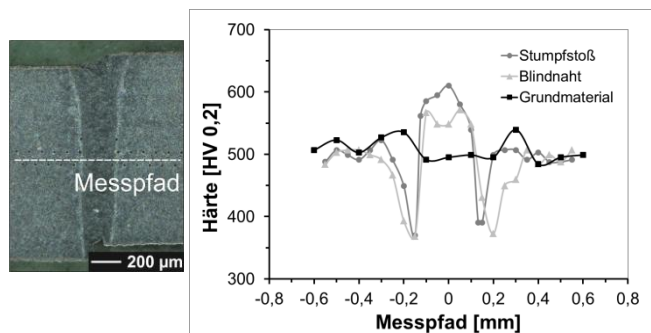


Abb. 4 Querschliffaufnahme einer Stumpfstoßschweißnaht (links) und dazugehöriger Härteverlauf (rechts); Parameter: $P_{cw} = 1840 \text{ W}$; $v = 16 \text{ m/min}$; $d_{86} = 53 \mu\text{m}$

gemindert. Dadurch ergab sich eine um nur 10 % geringere gemessene Zugfestigkeit gegenüber dem Grundmaterial.

Literatur

[1] Hartwig, L., Ebert, R., Kloetzer, S., Weinhold, S., Drechsel, J., Peukert, F., Schille, J., Exner, H., "Material processing with a 3 kW single mode fibre laser." JLMN-Journal of LaserMicro/ Nanoengineering, Vol. 5 No. 2, 128-133 (2010).

Danksagung

Die Autoren bedanken sich für die finanzielle Förderung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (FKZ: 03IPT506X).

GEFÖRDERT VOM

INNOPROFILE

UNTERNEHMEN
REGION

Die BMBF-Innovationsinitiative
Neue Länder



Bundesministerium
für Bildung
und Forschung

Kontakt:

Dipl.-Ing. Jan Drechsel
Laserinstitut der Hochschule Mittweida
Hochschule Mittweida
Technikumplatz 17
09648 Mittweida, Deutschland
Tel.: 03727 / 58-1572
E-Mail: jan.drechsel@hs-mittweida.de
Web: www.laser.hs-mittweida.de