

Zweistrahllaserschweißen mit Hochleistungsdiode-Laser und Nd:YAG-Laser kleiner Leistung

F. Ullmann, R. Ebert, V. Neumann, H. Exner

Laserinstitut Mittelsachsen e.V.
Technikumplatz 17, 09648 Mittweida
fullmann@htwm.de

Kurzfassung: Die Kopplung eines Hochleistungsdiode-Lasers und eines Nd:YAG-Lasers kleiner Leistung ermöglicht die Bereitstellung der für den Schweißprozess notwendigen Energie bei gleichzeitiger Nutzung der für das Tiefschweißen erforderlichen hohen Intensität.

Mit Edelstahl wurden Blind- und Stumpfstoßschweißungen ohne Schutzgas durchgeführt.

Bei Verwendung eines Hochleistungsdiode-Lasers mit einer Leistung < 1 kW reicht die Intensität zum Tiefschweißen nicht aus. Durch zusätzlichen Einsatz eines Nd:YAG-Lasers im Multimode-Betrieb konnte bei Edelstahl die Auslösung des Tiefschweißeffektes nachgewiesen werden.

Daraus resultieren als wichtigste Ergebnisse die Zunahme der eingekoppelten Laserleistung und dadurch die Erhöhung der Schweißgeschwindigkeit, welche die Verwendung eines zweiten Lasers zum vorhandenen Hochleistungsdiode-Laser sinnvoll werden lassen.

1 Einleitung

Aufgrund der schlechten Strahlqualität und der damit begrenzten Fokussierbarkeit können mit Hochleistungsdiode-Lasern im Leistungsbereich um 1 kW lediglich Intensitäten von 10^4 bis 10^5 W/cm² erzielt werden. Diese reichen nicht aus, um das für das Tiefschweißen notwendige Keyhole auszubilden und damit den Übergang vom Wärmeleit- zum Tiefschweißen zu realisieren. [1]

CO₂- oder Nd:YAG-Laser besitzen hingegen eine hohe Strahlqualität. Die großen Intensitäten aufgrund der Fokussierung auf sehr kleine Durchmesser schaffen die Voraussetzungen für das Tiefschweißen und damit für höhere Schweißgeschwindigkeiten. Die Nachteile des kleinen Fokusbereichs sind jedoch die hohen Anforderungen an die Strahlpositionierung beim Schweißen. Mit Hochleistungsdiode-Lasern können zudem größere Fügespalte überbrückt und größere Bauteiltoleranzen gestattet werden. [2]

Bei den Untersuchungen soll durch einen Hochleistungsdiode-Laser und einen zusätzlichen Nd:YAG-Laser kleiner Leistung aber hoher Intensität ein definiertes Intensitätsprofil erzeugt und somit der Tiefschweißeffekt ausgelöst werden. Dadurch können die Vorteile beider Laser genutzt und die Prozesssicherheit erhöht werden.

2 Methoden

Bei den Versuchen kam ein fasergekoppelter Hochleistungsdiodenlaser ($\lambda = 808 \text{ nm}$) und ein Nd:YAG-Laser ($\lambda = 1064 \text{ nm}$) im Multimode zum Einsatz. Die Brennweite der Bearbeitungsoptik betrug $f = 50 \text{ mm}$. Daraus resultieren die in der Tabelle Fig. 1 links aufgeführten Parameter und das in Fig. 1 rechts dargestellte Strahlprofil.

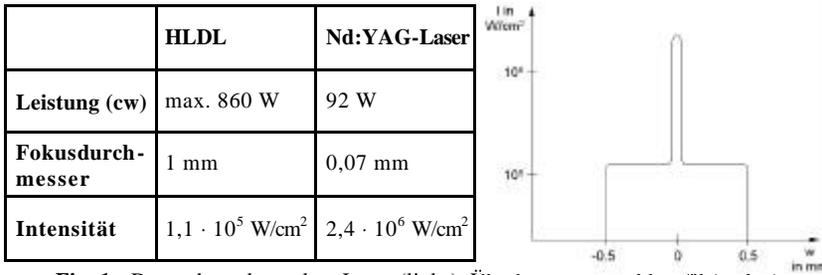


Fig. 1: Daten der gekoppelten Laser (links), Überlagerungsstrahlprofil (rechts)

Der aus der Faser austretende Diodenlaserstrahl wird über eine Kollimationsoptik und der Nd:YAG-Laserstrahl aus entgegengesetzter Richtung über einen Umlenkspiegel in den Bearbeitungskopf geführt (Fig. 2 links). Über einen Teilerspiegel (HR für 808 nm, HT für 1064 nm) erfolgt die Kopplung beider Strahlen. Durch die nachfolgende Optik werden sie auf das zu fügende Material fokussiert.

Zur Positionierung des Nd:YAG-Laserstrahles mittig zum Diodenlaserstrahl dienen Stellschrauben. Damit kann ein Ausgleich des Strahlversatzes und die Justage des Umlenkspiegels erfolgen.

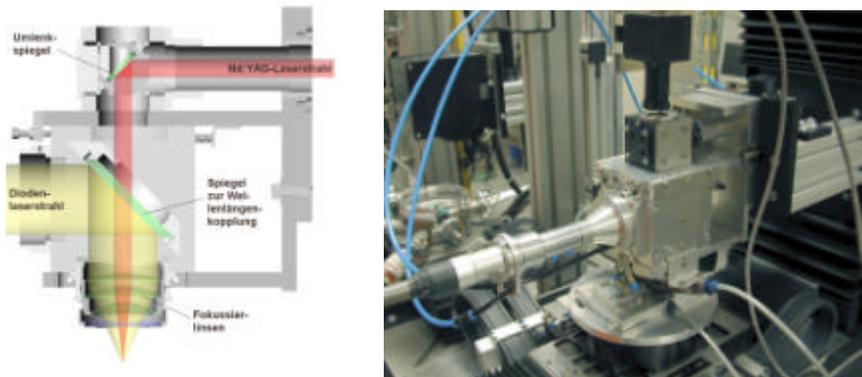


Fig. 2: Strahlüberlagerung (links), Bearbeitungskopf integriert in die Bearbeitungsanlage (rechts)

Die Integration des Zweistrahlbearbeitungskopfes in die Bearbeitungsanlage zeigt Fig.2 rechts. Es sind die Faser mit Faserstecker, die Fasersteckeraufnahme und die Kollimationsoptik sowie beide Umlenkwürfel zu erkennen. Die Halterung zur Positionierung der zu schweißenden Proben ist auf einen xy-Koordinatentisch mit Drehachse montiert.

3 Ergebnisse

Die Experimente wurden an Proben aus Edelstahl 1.4301 ohne Verwendung von Schutzgas durchgeführt. Dabei wurde die Erzeugung sowohl von Blind- als auch von Stumpfstoßschweißnähten untersucht.

Es wurden jeweils Versuche mit und ohne zusätzlicher Nd:YAG-Laserstrahlung zur verwendeten Diodenlaserstrahlung durchgeführt und die entstandenen Schweißnähte verglichen. Die Positionierung der beiden Foki erfolgte auf die Materialoberfläche.

Blindschweißungen

Bei den Versuchen mit Zweistrahlanordnung wurden zwei Varianten unterschieden. Einmal wurde die Gesamtlaserleistung durch Addition von Dioden- und Nd:YAG-Laserleistung erhöht, zum anderen erfolgte, um die Gesamtlaserleistung konstant zu halten, beim Zuschalten des Nd:YAG-Lasers die Verringerung der Diodenlaserleistung um den gleichen Betrag.

Ohne Anpassung der Gesamtlaserleistungen entspricht die Nahttiefe der mit Doppelstrahl geschweißten Naht (Fig. 3 rechts) in etwa der Addition beider Einzelnahntiefen (Fig. 3 links und Mitte) und erhöht sich in Bezug auf den Hochleistungsdiodenlaser um 23 %. Die Querschnittsfläche dieser Schweißnaht, die ein Abbild der eingekoppelten Laserleistung darstellt, ist jedoch um 43 % größer als die Summe der Einzelflächen. Durch den zusätzlichen Nd:YAG-Laser kann die Leistung besser in das Material eingebracht werden.

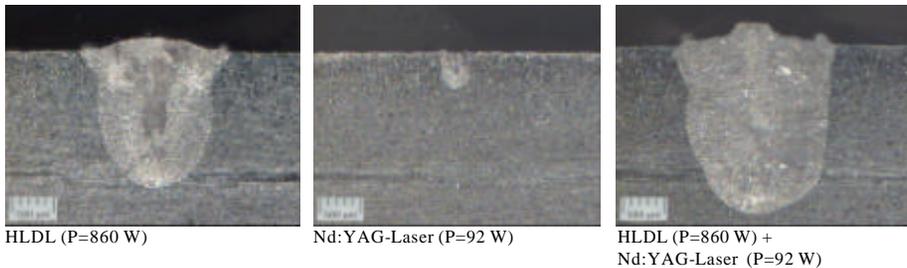


Fig. 3: Nahtquerschnitte von Blindschweißungen in Edelstahl 1.4301 (Dicke 3,0 mm), $v=5$ mm/s

Bei gleicher eingestrahelter Gesamtlaserleistung ergibt sich für die Nahttiefe bei unterschiedlichen Schweißgeschwindigkeiten das in Fig. 4 dargestellte Diagramm. Daraus kann bei gleicher Nahttiefe ein Geschwindigkeitszuwachs der Zweistrahlanordnung gegenüber dem reinen Diodenlaserstrahl von ca. 40 % abgeleitet werden. Die Breite der Oberraupe der Schweißnaht wird durch den Diodenlaser bestimmt und ändert sich durch den zugeschalteten Nd:YAG-Laser kaum.

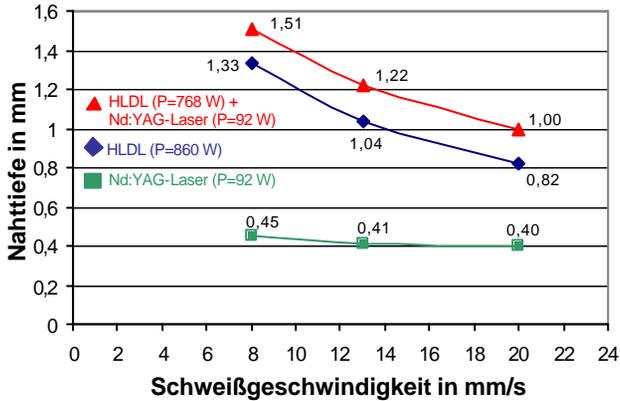


Fig. 4: Nahttiefe von Blindschweißungen in Edelstahl 1.4301 (Dicke 3,0 mm) in Abhängigkeit von der Schweißgeschwindigkeit und der verwendeten Laserquelle

Stumpfstoßschweißungen

Bei allen Stumpfstoßschweißungen sollte jeweils die maximale Schweißgeschwindigkeit, bei der sich eine durchgängige Schweißwurzel ausbildet, ermittelt werden, um die Vergleichbarkeit der Verfahren zu gewährleisten. Im Zweistrahlobetrieb wurden beide Laserleistungen addiert.

Bei einer Materialdicke von 1,5 mm entstanden die in Fig. 5 dargestellten Schweißnähte. Der zusätzliche Nd:YAG-Laser ermöglicht eine Steigerung der Schweißgeschwindigkeit um 45 % von 11 auf 16 mm/s gegenüber der mit Diodenlaser erzeugten Naht (Fig. 5 links und Mitte). Die Gesamtlaserleistung ist lediglich um 11 % größer. Die Breite der Oberraupe verändert sich kaum. Im Zweistrahlobetrieb ist aufgrund der größeren Schweißgeschwindigkeit eine schmalere Schweißnahttaille erreichbar.

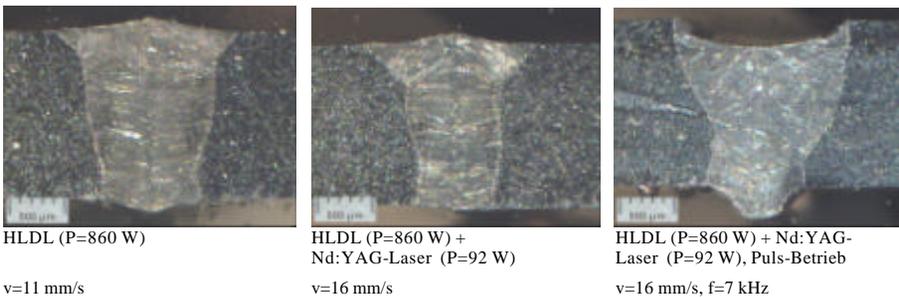


Fig. 5: Nahtquerschnitte von Stumpfstoßschweißungen mit Edelstahl 1.4301 (Dicke 1,5 mm)

Erste Untersuchungen bei Verwendung des Nd:YAG-Lasers im Puls-Betrieb (Güteschaltung) zeigten eine sehr gute Leistungseinkopplung. Bei einer Pulsfrequenz von $f=7$ kHz treten bei gleicher Schweißgeschwindigkeit wie im cw-Betrieb verstärkt Nahteinfall und Wurzelüberhöhung auf, so dass vermutlich höhere Geschwindigkeiten möglich gewesen wären (Fig. 5 rechts).

Bei Stumpfstoßschweißungen mit einer Materialdicke von 0,8 mm ergaben sich ähnliche Resultate wie bei 1,5 mm. Der Geschwindigkeitszuwachs beträgt 38 %. Die Verringerung der Nahttaile ist ebenfalls festzustellen. (Fig. 6 links und Mitte)

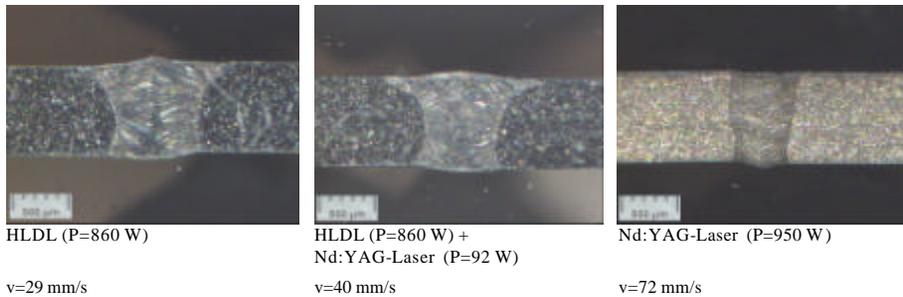


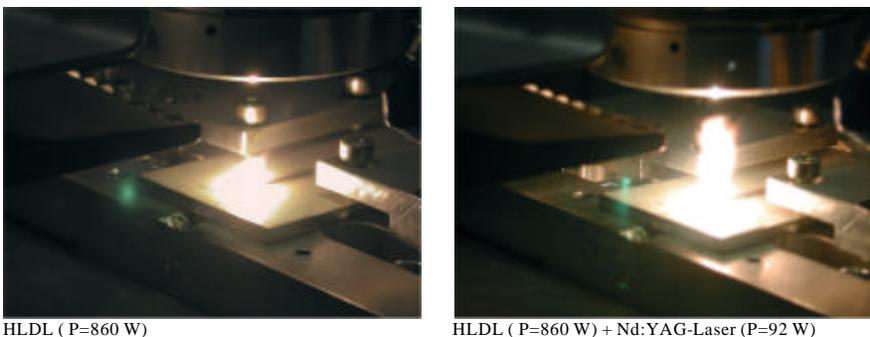
Fig. 6: Nahtquerschnitte von Stumpfstoßschweißungen mit Edelstahl 1.4301 (Dicke 0,8 mm)

Zum Vergleich des Zweistrahlverfahrens mit etablierten Laseranwendungen wurde eine Durchschweißung mit einem Nd:YAG-Laser entsprechender Leistung ($P=950$ W, Fokussdurchmesser 0,3 mm) erzeugt (Fig. 6 rechts). Die durch Tiefschweißen mögliche Schweißgeschwindigkeit liegt um 80 % höher als mit Doppelstrahl. Die Nahtbreite ist geringer. Das untersuchte Zweistrahlverfahren kann damit hinsichtlich der Schweißgeschwindigkeit zwischen dem Schweißen mit Hochleistungsdiodelnlasern und der Bearbeitung mit Nd:YAG-Lasern eingeordnet werden.

Beurteilung des Schweißprozesses

Das Auftreten eines Tiefschweißeffektes ist während der Bearbeitung sichtbar, da ein Teil des laserinduzierten Plasmas die Dampfkapillare verlässt und als leuchtende Wolke oberhalb des Werkstückes erkennbar wird.

Bei reiner Diodenlaseranwendung war eine kleine Fackel zu beobachten (Fig. 8 links). Mit zusätzlichem Nd:YAG-Laser bildete sich eine wesentlich größere stabile Fackel (Fig. 8 rechts) in Verbindung mit einem fauchenden Geräusch. Das lässt auf die Entstehung einer Dampfkapillare und die Realisierung des Tiefschweißens schließen.



HLDL (P=860 W)

HLDL (P=860 W) + Nd:YAG-Laser (P=92 W)

Fig. 8: Schweißfackel bei Blindschweißungen in Edelstahl 1.4301 (Dicke 3,0 mm), $v=8$ mm/s

4 Zusammenfassung

Durch die Versuche konnte gezeigt werden, dass beim Einsatz zusätzlicher brillanter Strahlung kleiner Leistung eine nichtlineare Überlagerung der Strahlen auftritt. Die in das zu bearbeitende Material eingekoppelte Laserleistung nimmt durch Initiierung des Tiefschweißeffektes zu und die Schweißgeschwindigkeit kann wesentlich erhöht werden. Damit ist es möglich, die Prozesseffizienz beim Schweißen mit Hochleistungsdiodenlasern überproportional zu steigern.

Literatur

- [1] J. Bliedtner, H. Müller, D. Wolff, *Diodenlaser schweißen tief - Laserstrahlschweißen metallischer Werkstoffe mit einem neuen fasergekoppelten Hochleistungs-Diodenlaser*. In: Laser-Praxis, (2000), Nr.1, S.31-35
- [2] G. Reinhard, J. Härtl, C. Lehner, *Schweißigenschaften eines hybriden Dioden/Nd:YAG-Lasersystems*. In LaserOpto, 33(2001), Nr.2, S.37-41