

## Hochpräzises Strahlwerkzeug Scheibenlaser

In den vergangenen Jahren hat sich der Laser zu einem für die Fertigungstechnologie sehr wichtigen Werkzeug entwickelt. Als die wichtigsten Vorteile sind die hohen Bearbeitungsgeschwindigkeiten, gute Qualität, geringer Energieeintrag in das Werkstück und die sehr hohe Flexibilität zu nennen. Derzeit sind die CO<sub>2</sub>- und Nd:YAG-Laser die wichtigsten Strahlquellen für die Lasermaterialbearbeitung. Lampengepumpte cw-Nd:YAG-Laser sind für typische cw-Bearbeitungen eine relativ kostenintensive Alternative zu CO<sub>2</sub>-Lasern, da sie mit einem Gesamtwirkungsgrad von ca. 2% um den Faktor 5 ineffizienter sind und vergleichsweise hohe Investitions- und Betriebskosten verursachen.

### Laser neuester Generation

Durch den Einsatz von Laserdioden zum Pumpen des Laserkristalls ist es möglich, sowohl eine höhere Effizienz als auch eine höhere Strahlqualität gleichzeitig zu erzielen. Der höhere Wirkungsgrad der Laserdiode und die selektive Anregung des Laserkristalls mit nur einer Wellenlänge führt zu einem höheren Gesamtwirkungsgrad eines diodengepumpten Festkörperlaser. Als Folge der geringeren Verlustenergie im Laserkristall ist der temperaturabhängige thermische Linseneffekt geringer und die Strahlqualität kann gesteigert werden.

Bei der ersten Generation von diodengepumpten Festkörperlaser wurde die gleiche Kristallgeometrie und Kühltechnik wie bei den lampengepumpten Systemen verwendet. Der thermische Linseneffekt konnte dabei zwar verringert aber nicht vermieden werden.

Die Idee zur Verringerung des thermischen Linseneffekts

war die Verwendung einer Scheibe anstatt eines Stabes als Laserkristall (s. Abb. 1). Durch den Einsatz von Laserdioden zum Pumpen kann z.B. Ytterbium anstatt Neodym als laseraktives Medium verwendet werden, das im Vergleich zu Neodym einen höheren optisch-optischen Wirkungsgrad hat. Der scheibenförmige Laserkristall ist hierbei auf einer Wärmesenke montiert, wodurch der Abstand zwischen Kristall und Kühlkörper sehr klein und die Kühlung sehr effektiv ist. Dies führt zu einem homogenen Temperaturprofil und zu einem geringeren thermischen Linseneffekt, was eine höhere Strahlqualität bei diesem Konzept ermöglicht.

Der prinzipielle Aufbau eines Scheibenlasers ist in Abbildung 2 dargestellt. Der Yb:YAG-Kristall hat typischerweise einen Durchmesser von 7 mm und eine Dicke von 0,3 mm. Der Resonator wird von der einen polierten Scheibenendfläche und dem Auskoppelspiegel gebildet.

Zur Steigerung des Pumpwirkungsgrades passiert das Pumplicht den Laserkristall mehrfach.

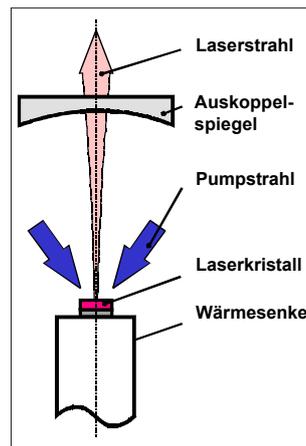


Abb. 2: Prinzipieller Aufbau eines Scheibenlasers

Am IFSW sind mittlerweile vier Scheibenlaser mit einer Ausgangsleistung von 1,5 kW installiert. Die Wellenlänge beträgt 1029 nm und die Strahlqualität 6 mm\*mrad. Der Gesamtwirkungsgrad dieser Systeme ist mit ca. 16% deutlich höher als von lampengepumpten Nd:YAG-Lasern.

Vor allem die Strahlqualität, d.h. die gute Fokussierbarkeit eines Laserstrahls, ist ein entscheidender Faktor für die Prozesseffizienz und Flexibilität der Lasermaterialbearbeitung. Mit dem Scheibenlaser ist bei gleicher Brennweite eine deutliche Verkleinerung des Fokusedurchmessers oder bei gleichem Fokusedurchmesser die Vergrößerung des Arbeitsabstands zu erreichen. Des weiteren ermöglicht die höhere Strahlqualität die Verwendung von schlanken, kompakten Bearbeitungsoptiken. In Abbildung 4 ist der Vergleich einer HAAS-Bearbeitungsoptik D70, die üblicherweise zum Schweißen mit lampengepumpten Nd:YAG-Festkörperlaser

eingesetzt wird, mit einer Bearbeitungsoptik D35, die zum Schweißen mit dem Scheibenlaser verwendet werden kann, dargestellt. Dadurch wird die Zugänglichkeit in Bauteilstrukturen verbessert und die Integration in die Anlagentechnik erleichtert. Als Folge davon können neue, bisher nicht herstellbare Leichtbaustrukturen gefertigt werden. Weiterhin wird die Integration von Sensorelementen sowie von Draht- und Gasführungskomponenten erleichtert. Die Dynamik der Handhabungsmaschine kann durch geringere zu bewegende Massen gesteigert werden.



Abb. 4: Vergleich einer Bearbeitungsoptik D70 (rechts) mit einer Bearbeitungsoptik D35 (beide HAAS-LASER)

### Dünnblechschweißen

In Abbildung 5 ist für Aluminium und Stahl die im Querschnitt gemessene Einschweißtiefe in Abhängigkeit von der Laserleistung dargestellt. Der Fokusedurchmesser wird sowohl durch Änderung der Brennweite als auch durch Verwendung von Lasern unterschiedlicher Fokussierbarkeit (ausgestattet mit Glasfasern entsprechenden Durchmessers) variiert. Die Schwelle zwischen Wärmeleitungs-schweißen und Tiefschweißen, gekennzeichnet durch den sprunghaften Anstieg der

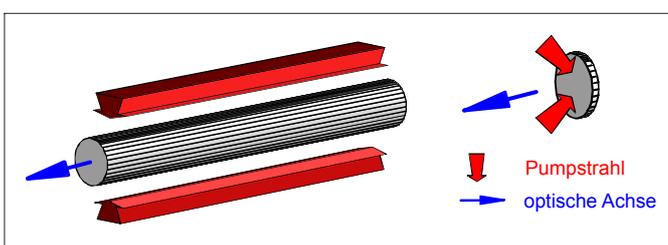


Abb. 1: Vergleich von Stab und Scheibe als Laserkristall



Einschweißtiefe, wird durch einen kleineren Fokussdurchmesser zu geringeren Leistungen hin verschoben. Der dort auftretende Sprung in der Einschweißtiefe ist bei Aluminium stärker ausgeprägt als bei Stahl. Grund hierfür sind unterschiedliche Absorptions- und Materialeigenschaften. Eine höhere Strahlqualität kann bei gleichen Leistungen in eine höhere Einschweißtiefe umgesetzt werden.

Der im Vergleich zum Nd:YAG-Festkörperlaser geringere Fokussdurchmesser des Scheibenlasers ermöglicht das prozesssichere Laserstrahl-tiefschweißen von dünnen Blechen im cw-Betrieb mit geringen Leistungen. Diese waren mit dem Nd:YAG-Laser im cw-Betrieb bisher nicht oder nur bedingt schweißbar. So kann beispielsweise eine Einschweißtiefe von 0,5 mm bei Aluminium nur mit dem Scheibenlaser prozesssicher realisiert werden. Bei Stahl ist diese Einschweißtiefe zwar auch mit dem Fokussdurchmesser 0,6 mm (Nd:YAG-Laser) möglich, allerdings ist die Prozesssicherheit nicht gewährleistet und die erforderliche Laserleistung um 1000 W höher als beim Scheibenlaser. Die deutlich höhere Leistung und der damit verbundene höhere Energieeintrag in das Bauteil führt z.B. zu einem höheren Verzug, zu höheren Spannungen im Bauteil und u.U. zu Löchern im Bauteil aufgrund der zu hohen Leistung. Mit dem Scheibenlaser

ist es daher möglich, in Bereiche vorzudringen, die bisher gepulsten Lasersystemen vorbehalten waren. Durch den möglichen cw-Betrieb kann die Vorschubgeschwindigkeit und gleichzeitig der Nahtqualität im Vergleich zu gepulsten Lasersystemen erheblich gesteigert werden.

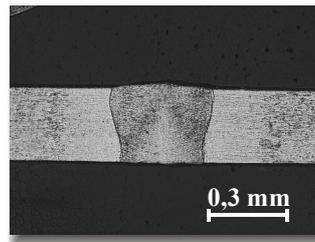


Abb. 6: Querschliff einer Blindschweißung in ein 0,3 mm dickes Edelstahlblech ( $P_L = 230 W$ ,  $v = 3 m/min$ )

In Abbildung 6 ist ein Querschliff und die dazugehörige Oberraupe einer Blindschweißung in ein 0,3 mm dickes Edelstahlblech dargestellt. Die qualitativ sehr hochwertige Schweißnaht zeigt absolut keine Nahtfehler wie z.B. Heißrisse oder Poren. Die Oberraupe ist gleichmäßig und es sind keine Einbrandkerben vorhanden. Durch das Umströmen der Schmelze um die Dampfkapillare entsteht die für das Tiefschweißen typische gepfeilte Schuppung der Oberraupe.

In Abbildung 7 ist ein Überlappstoß aus zwei 0,15 mm dicken Edelstahlblechen dargestellt. Die Blechdicke entspricht der Blindschweiß-

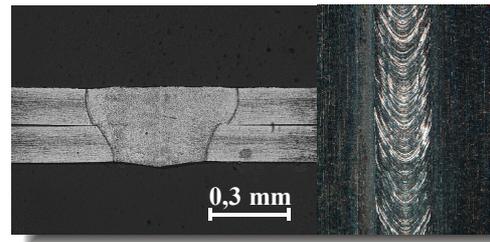


Abb. 7: Querschliff und Oberraupe einer Überlappschweißung zweier 0,15 mm dicken Edelstahlbleche

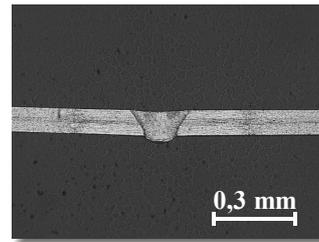


Abb. 8: Querschliff einer Blindschweißung in ein 0,1 mm dickes Edelstahlblech ( $v = 3 m/min$ )

ung von Abbildung 6. Auch hier kann diese Schweißaufgabe prozesssicher und fehlerfrei mit einer Tiefschweißung realisiert werden. Es konnten sogar Spalte, die so groß waren wie die Dicke eines Einzelblechs, fehlerfrei überbrückt werden. Wie aus Abbildung 8 ersichtlich ist, wo eine Blindschweißung in ein 0,1 mm dickes Edelstahlblech dargestellt ist, kann in diesem Blechdickenbereich ebenfalls eine fehlerfreie Tiefschweißung ohne Heißrisse, Poren und Einbrandkerben realisiert werden. Hierbei wurde mit nur 60 W Laserleistung geschweißt.

### Ausblick

Bei den oben dargestellten Schweißungen wurden nur geringe Laserleistungen verwendet. Es sind erhebliche Leistungsreserven vorhanden, die in eine höhere Vorschubgeschwindigkeit umgesetzt werden können. So konnten Vorschubgeschwindigkeiten bis zu 20 m/min realisiert werden. Beim Laserstrahlschweißen realer Bauteile im Dünnblechbereich ist die maximale Vorschubgeschwindigkeit durch die Kinematik der Handhabungsmaschine begrenzt. Die hohe Strahlqualität der Scheibenlaser ermöglicht nun den Einsatz hochdynamischer Strahlführungssysteme wie z.B. Galvanoscanner, mit denen die Vorschubgeschwindigkeit deutlich gesteigert werden kann. Die oben gezeigten Ergebnisse zeigen das riesige Potential, das mit dem Scheibenlaser im Dünnblechbereich vorhanden ist.

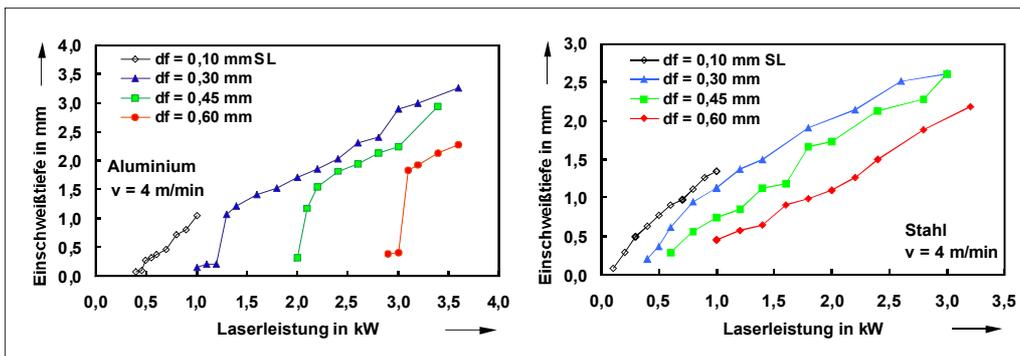


Abb. 5: Einschweißtiefe in Abhängigkeit der Laserleistung für den Vergleich vom Nd:YAG mit dem Scheibenlaser für Aluminium und Stahl

Institutsadresse:  
 Institut für Strahlwerkzeuge  
 Pfaffenwaldring 43  
 70569 Stuttgart  
 Tel.: +49 (0)711-685 6840  
 Fax: +49 (0)711-685 6842

Autor  
 Dipl.-Ing. Andreas Ruß

Kontakt / Redaktion:  
 Dipl.-Ing. Friedemann Lichtner  
 FGSW - Forschungsgesellschaft  
 für Strahlwerkzeuge  
 Nobelstr. 15  
 70569 Stuttgart  
 Tel.: +49 (0)711-687 4311  
 Fax: +49 (0)711-6868 7281  
 E-Mail:  
 lichtner@fgsw.uni-stuttgart.de  
<http://www.ifsw.uni-stuttgart.de>