

Neues Optikdesign für das Remote-Laserschweißen mit feinstem Fokus

Günter Toesko, Sill Optics GmbH, Wendelstein
Albrecht Kienemund, KeySysTech GmbH, Oberhausen
Jörg Hermsdorf, Rainer Kling, Laser Zentrum Hannover e.V.

Mit Hilfe von Linearmotoren lassen sich größere Scannerspiegel als mit klassischen Galvano-Systemen schnell bewegen. In Verbindung mit der entsprechenden Optik können so beim Laserschweißen größere Arbeitsabstände mit kleinerem Fokusbereich erreicht werden.

Beim Remote Welding wird mit einem Laser aus der Ferne geschweißt (**Bild 1**). Das Verfahren eignet sich vor allem für Anwendungen, bei denen hohe Bahn- und Positioniergeschwindigkeiten erwünscht sind, wie z.B. viele kurze Schweißnähte (Stepnähte) oder Punktschweißungen. Der Laserstrahl wird auf die Stelle fokussiert, an der geschweißt werden soll. Durch die hohe Leistungsdichte im Fokuspunkt erwärmt sich das zu bearbeitende Material bis zum Schmelzpunkt, es verläuft und verschweißt. Mit einem Ablenkensystem wird der Fokus entlang der späteren Nahtstelle verfahren. Das Werkstück muss nicht bewegt werden, und wird während des Schweißprozesses nicht von einer äußeren Kraft beansprucht. Die erreichbaren Arbeitsabstände und Fokusbereiche sind durch die Strahlqualität des Lasers, durch die für den jeweiligen Prozess notwendige Energie und nicht zuletzt durch die beteiligte Optik gegeben.

In der Regel wird die Laserstrahlung mit optischen Fasern zum Laserkopf übertragen. Über geeignete optische Komponenten wird das aus der Faser austretende Licht zunächst kollimiert und anschließend als Abbildung des Faserendes wieder fokussiert. Die Güte dieser Abbildung und

das Abbildungsverhältnis bestimmen den Fokusbereich auf dem Werkstück. In einem üblichen Faserabbildungssystem wird beispielsweise ein fasergekoppelter

Nd:YAG-Laser über eine mehrlinsige Optik kollimiert (**Bild 2**). Bei einer typischen numerischen Apertur der Faser von 0,11, einem Faserdurchmesser von 200 μm und einer Kollimationsoptik mit 80 mm Brennweite ergibt sich ein kollimierter Strahl mit ca. 17,5 mm Durchmesser. Laser zum Schweißen haben oft mittlere Leistungen von 5 kW oder mehr. Bei derart hoher Leistung führt selbst eine geringe Absorption im Linsenkörper zu einer Erwärmung und damit zu einer Veränderung der Fokusbereiche und -größe. Deshalb werden in allen optischen Komponenten eines solchen Systems Quarzlinsen verwendet. Im Vergleich zu Standard-Gläsern wie BK7 absorbieren sie das Laserlicht minimal, und die Kristallstruktur ist sehr stabil, so dass eine ungleichmäßige Brechungsindex-Änderung aufgrund der inhomogenen Temperaturverteilung im Glas möglichst vermieden wird. Eine geringe thermische Linse und damit eine konstante Fokusbereiche ist die Voraussetzung für gleichmäßige und reproduzierbare Schweiß- oder Schneid-ergebnisse.

Der Strahl wird mit einer F-Theta-Optik mit 500 mm Brennweite fokussiert. Zusätzlich wird der kollimierte Strahl zwischen Kollimationsoptik und Scanner mit einem Teleskop aufgeweitet.



Bild 1: Remote-Welding-Systeme (engl. remote = fern) ermöglichen eine hochdynamische, präzise Positionierung des Laserstrahls für die Materialbearbeitung

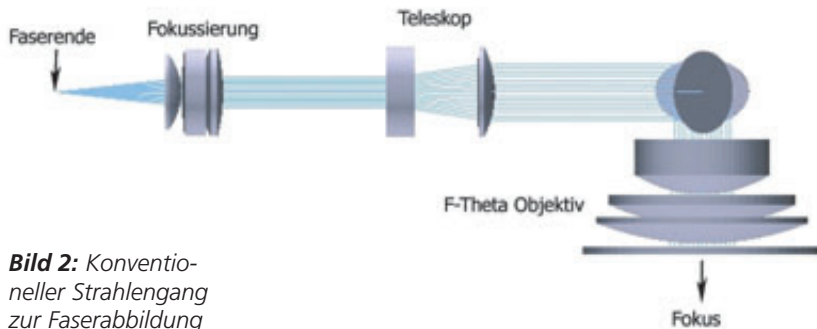


Bild 2: Konventioneller Strahlengang zur Faserabbildung

Über eine Divergenzänderung des Teleskops verschiebt sich die Fokusebene des F-Theta-Objektivs, so dass unterschiedliche Bauteilhöhen ausgeglichen werden können.

Das Teleskop vergrößert die effektive Brennweite der Kollimationsoptik um den verwendeten Aufweitungsfaktor. Damit sinkt auch das Abbildungsverhältnis, das durch das Verhältnis der Brennweiten von Fokussieroptik zu Kollimationsoptik (mitsamt des Teleskops) bestimmt ist – und die Leistungsdichte auf dem Werkstück wird erhöht.

Weil das Licht nicht statisch in der Fokussieroptik geführt, sondern gescannt wird, ist die thermische Belastung der Linsen inhomogen und sehr groß, obwohl der Strahldurchmesser nach dem Teleskop auf ca. 30 mm aufgeweitet ist. Dies führt zu nicht statischen Fokusverschiebungen durch die Ausbildung einer thermischen Linse. Allerdings kann mit Hilfe des Teleskops prinzipiell die auftretende thermische Linse partiell kompensiert werden, indem dann ein Teil der Verschiebung des Fokus innerhalb der Tiefenschärfe liegt. Damit ist

das Bearbeitungsergebnis innerhalb des Bearbeitungsvolumens homogener.

Die zusätzliche Aufweitung des Strahldurchmesser erfordert allerdings eine große Apertur des Scan-Systems. Auch das verwendete F-Theta Objektiv muss dem Rechenschaft tragen, d.h. die Linsendurchmesser der Optiken müssen sehr groß werden, hier in diesem Beispiel fast 130 mm, um ein hinreichendes Bearbeitungsvolumen zu erreichen.

Im vorgestellten Abbildungssystem ergibt sich ein Abbildungsverhältnis von ca. 3,5, d.h. bei einer Faser mit einem Kerndurchmesser von 200 μm ergäbe sich eine Spotgröße von ca. 700 μm . Um die schon durch die Quarzlinsen erhöhten Kosten in einem gewissen Rahmen zu halten, lässt man beim optischen Design des F-Theta Objektivs geringe sphärische Abberationen zu, was allerdings zu einem verwaschenen und damit vergrößerten Faserabbild führt. Anstelle eines 700 μm -Spots ergeben sich etwa 800 μm Spotdurchmesser (Kantenlänge in **Bild 3**).

Mit einem konventionellen Galvo-Scanner, der eine hinreichend große Apertur für den 30mm-Strahl besitzt, kann ein Bearbeitungsfeld von ca. 210 x 210 mm^2 erreicht werden. Der Arbeitsabstand beträgt ca. 580 mm. Mit Hilfe des Teleskops kann die Fokusslage um ± 100 mm variiert werden, ohne dass die Abberationen stark zunehmen. Das Abbildungsverhältnis und damit die Spotgröße ändert sich hierbei um $\pm 10\%$.

Um einen größeren Arbeitsabstand oder -raum bei gleicher Fokusgröße zu erreichen, müsste der Strahl weiter aufgeweitet werden, da eine Fokussieroptik mit längerer Brennweite nötig wäre. Dies wird wiederum durch den Spiegeldurchmesser des Ablenssystems begrenzt, bzw. durch dessen Stellkräfte und Trägheit.

Mit Spiegeldurchmessern von 200 mm und mehr kann das Thor-System der KeySysTech GmbH deutlich größere Spiegel als klassische Galvo-Scanner mit hoher Stellkraft antreiben und genau positionieren. Linear-

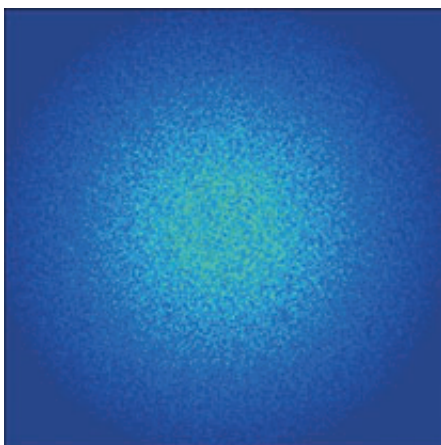


Bild 3: Fokusbild des konventionellen Systems mit Abbildungsverhältnis 3,5. Die Faser mit 200 μm Durchmesser wird mit 800 μm Durchmesser abgebildet

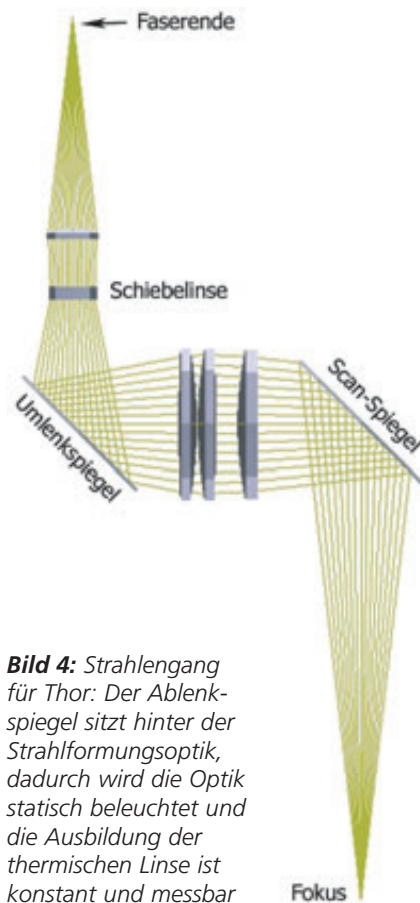


Bild 4: Strahlengang für Thor: Der Ablenkspiegel sitzt hinter der Strahlformungsoptik, dadurch wird die Optik statisch beleuchtet und die Ausbildung der thermischen Linse ist konstant und messbar

motoren und eine spezielle Spiegelaufhängung sorgen dafür, dass der Spiegelwinkel sehr schnell und auf etwa $0,001^\circ$ genau gestellt werden kann. Beim Auslenken des Spiegels bewegt sich der Fokus auf einer Kugelschale (Feldwölbung). Da aber ein ebenes Feld erreicht werden soll, wird der Fokus mit gleicher Geschwindigkeit durch Verstellen der Schiebelinse nachgeführt. Der Scanner arbeitet im sog. Einscannerspiegel-Verfahren, der Laserstrahl wird über einen Spiegel abgelenkt, der um zwei Achsen verstellbar ist. Dieser Spiegel sitzt hinter dem gesamten Optiksistem (**Bild 4**).

Die von Sill Optics in Zusammenarbeit mit dem Laser Zentrum Hannover entworfenen und hergestellten optischen Komponenten für Thor sind in diesem Falle nicht streng in Kollimation, Aufweitung und Fokussierung unterteilt, sondern wurden als Gesamtsystem optimiert. Die beiden Linsen, die den relativ kleinen Strahldurchmesser des fasergekoppelten Hochleistungslasers auf etwa 35 mm kollimieren und aufweiten, bestehen aus Quarz. Um das System kompakt zu halten, wird ein Umlenkspiegel integriert. Die nachfolgenden Optiken mit einem Durchmesser von etwa 115 mm fokussieren den stark divergenten Strahl.

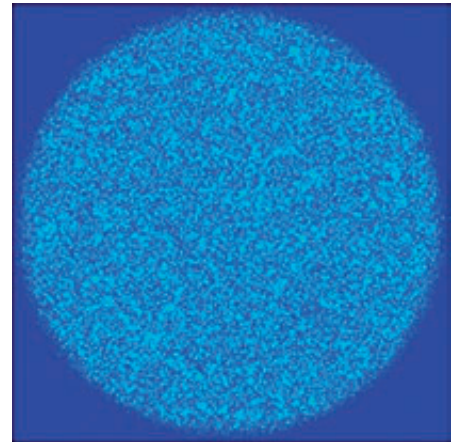


Bild 5: Fokusbild Thor mit Abbildungsverhältnis 1. Die Faser mit $200\ \mu\text{m}$ Durchmesser wird mit $200\ \mu\text{m}$ Durchmesser abgebildet

Durch den großen Bündeldurchmesser konnte hier anstelle des vergleichsweise teuren Quarzglas ein Glas mit maximaler Transmission gewählt werden.

Das Problem der thermischen Linsbildung kann auch hier mit Hilfe des variablen Fokussystems eingegrenzt werden. Da der Laserstrahl erst mit dem Spiegel abgelenkt wird und nicht durch die Optik gescannt wird, trifft er nicht abwechselnd auf kalte oder bereits vorgewärmte Volumina der Linsen, sondern diese werden immer mit derselben Leistung beaufschlagt. Dadurch ist auch die entstehende thermische Linse besser voraussagbar, bzw. vorab messbar.

Die Fokusslagekompensation in diesen Systemen ist leichter und genauer. Das Abbildungsverhältnis dieses Systems ist 1, d.h. eine $200\ \mu\text{m}$ -Faser erzeugt einen $200\ \mu\text{m}$ -Spot. Die Feldgröße, die mit dieser

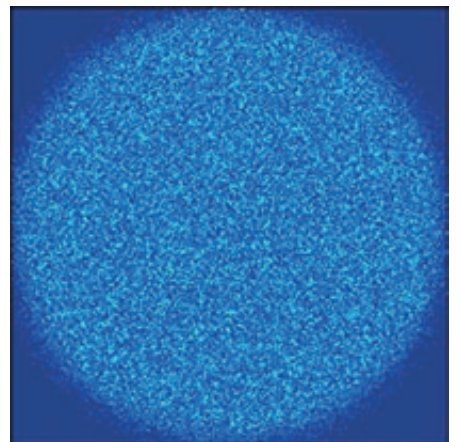


Bild 6: Fokusbild Thor mit reduzierter Optik, Abbildungsverhältnis 3. Die Faser mit $200\ \mu\text{m}$ Durchmesser wird mit $600\ \mu\text{m}$ Durchmesser abgebildet

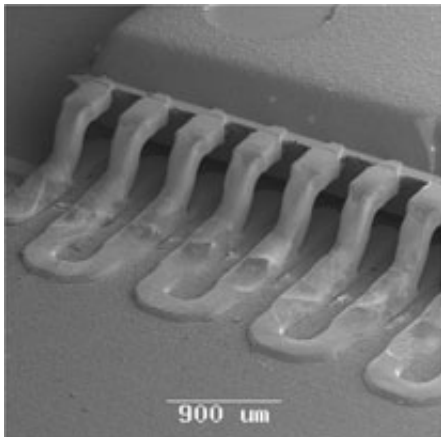


Bild 7: Eine mögliche Anwendung des neuen Scanners ist das Schweißen von Mikroelektronischen Bauteilen. Die abgebildeten Schweißungen wurden jedoch noch nicht mit dem neuen Scanner durchgeführt

1:1-Abbildung realisiert werden kann, ist mit $200 \times 300 \text{ mm}^2$ vergleichbar mit herkömmlichen Systemen gleichen Arbeitsabstandes, jedoch ist der Fokusbereich deutlich kleiner: Die Kantenlänge in **Bild 5** entspricht $200 \mu\text{m}$.

Das neue Design eröffnet zudem eine gewisse Flexibilität hinsichtlich des Abbildungsverhältnisses. Durch Weglassen der letzten Linse des Fokusglieds ändert sich der Abbildungsmaßstab von 1 auf 3 bei weiterhin sehr guter Abbildungsqualität. Die Kantenlänge der Abbildung ist $600 \mu\text{m}$ (**Bild 6**), die Feldgröße und der Arbeitsabstand skalieren ebenfalls etwa mit dem Faktor 3.

Große Arbeitsabstände schützen einerseits das Schweißsystem und die Optik vor Schweißspritzern und ähnlichem, andererseits ermöglichen sie die Bearbeitung größerer Bauteile. Mit Thor können innerhalb großer Prozessfelder viele kurze Schweißnähte mit kleinen Fokusbereichen und damit hohe Leistungsdichten realisiert werden. Die Prozessführung lässt sich dadurch viel flexibler gestalten, „kalte“ Verfahren werden deutlich reduziert. Die Technik lässt sich problemlos auf Gelenkarmrobotern einsetzen, mit denen dann auch große Bauteile ohne zusätzliche Rüstzeiten bearbeitet werden können.

Die guten Abbildungsleistungen erschließen auch neue Anwendungsgebiete, zum Beispiel werden im Bereich der Mikroanwendungen am Laser Zentrum Hannover derzeit Airbag-Rundschweißungen für Sprengkapseln angedacht, sowie der Einsatz für die Herstellung von Herzschrittmachern, die aus Titan und daher generell schon schwer zu verschweißen sind. Beides stellt hohe Anforderungen an eine saubere Schweißnaht und an Gasdichtheit. Eine weitere Anwendung in der Medizintechnik

sind Marker in Stents, deren Ausgangsmaterial (Nickel/Titan) im Röntgenbild schlecht zu orten ist. Um die Stents in den Adern der Patienten besser finden und überwachen zu können, werden daher an ihren Enden kleine Plättchen besser sichtbarer Materialien eingeschweißt.

Kontakt

Günter Toesko
Sill Optics GmbH & Co. KG
Johann-Höllfritsch-Str. 13
D-90530 Wendelstein
Tel. 09129/902332
Fax 09129/902323
guenter.toesko@silloptics.de
www.silloptics.de



LASER 2007: Stand B2.601

Dipl.-Ing. Jörg Hermsdorf
Laser Zentrum Hannover e.V.
Production & System Dep.
Machines & Controls Group
Hollerithallee 8
D-30419 Hannover
Tel. 0511/2788-472
Fax 0511/2788100
j.hermsdorf@lzh.de
www.lzh.de



LASER 2007: Stand B3.201

Dr.rer.nat.
Albrecht Kienemund
KeySysTech GmbH
Centroallee 263
D-46047 Oberhausen
Tel. 0208/3042056
Fax 0208/30422903
info@keysystech.de
www.keysystech.de

