



Stab, Faser und Scheibe – Die Geschichte des Festkörperlasers

Festkörperlaser wurden bereits Anfang der 1970er Jahre für die industrielle Fertigung eingesetzt. Heute gibt es ganz verschiedene Festkörperlaser. Diese Vielfalt macht ihn zu einem universellen Werkzeug: Festkörperlaser schneiden, schweißen, löten, bohren, härten und beschriften.

Der Nd:YAG-Laser (Neodymium-dotierter Yttrium-Aluminium-Granat-Laser) hat der Gruppe der Festkörperlaser zum Durchbruch in der industriellen Materialbearbeitung verholfen und ist zum Synonym für den Festkörperlaser geworden. Er wird heute als Werkzeug für feinste Bearbeitungen im Mikrobereich bis hin zum Schweißen von Schiffsplanken eingesetzt.

Es sind drei Eigenschaften, die diese Lasertechnologie besonders charakterisieren: die hohe Verstärkung des Laserlichtes, die Möglichkeit der Energiespeicherung im aktiven Medium, sowie seine Wellenlänge.

Damit ist ein breites Spektrum von Betriebsarten möglich: vom Dauerstrich(cw)-Betrieb mit Multikilowatt-Leistungen, bis zu Pulsen im Sub-Pikosekundenbereich mit mehreren Gigawatt-Spitzenleistung. Hinzu kommt die Frequenzkonversion, mit der die Wellenlänge des Laserlichtes von Infrarot bis Ultraviolett variiert werden kann.

Für die Wellenlänge des YAG-Lasers mit 1064 nm ist Glas noch voll transparent. Das ist von großer Bedeutung, wird der Laser doch erst in Verbindung mit weiteren optischen Komponenten zum Werkzeug. Beim YAG-Laser konnte zur Strahlführung, Strahlformung, Fokussierung und Beobachtung von Anfang an die klassische Optik verwendet werden. Und was später für den YAG-Laser so wichtig wurde wie die Strahlerzeugung selbst ist die Strahlführung mit Glasfaser. Sie ermöglicht nicht nur die Trennung von Strahlerzeugung und Bearbei-

tungsort. Der Laser kann auch an mehreren Orten eingesetzt werden, entweder gleichzeitig durch Strahlaufteilung in mehrere Fasern oder zeitlich nacheinander mithilfe optischer Schalter. In der Praxis ist die Übertragung mittels Faser als Kabel – Laserlichtkabel (LLK) – mit Steckverbindungen und Signalleitungen realisiert. Wird der Laser über das LLK mit einem Roboter oder kartesischen Systemen verbunden, ist eine 3D-Bearbeitung auch großer Teile möglich. Eine Steigerung ist die Verbindung des Roboters mit einem zusätzlichen 3D-Scanner, bei der der Roboter die großen Konturen abfährt, während der Scanner den Laserstrahl sehr schnell und präzise an die Schweißposition bringt.

Die wichtigsten Meilensteine bei der Entwicklung

Das Geburtsjahr des Nd:YAG-Lasers ist 1964, in dem es gelang, diesen Kristall zu züchten. Seine optischen und mechanischen Eigenschaften sind mit denen des Rubins vergleichbar, er hat aber eine sehr viel niedrigere Anregungsschwelle. Wegen seiner hohen Anregungsschwelle war der Rubin nur für hohe Pulsleistungen geeignet und konnte nicht im cw-Modus betrieben werden.

Nd:YAG hingegen kann bei Raumtemperatur im cw-Modus betrieben werden – ein großer Fortschritt. Bereits 1961 waren die Vorzüge des Dotierungselementes Neodymium bekannt. Die komplette Anordnung mit aktivem Medium, optischem Resonator sowie

Pumpanordnung mit Lampe, Reflektor und elektrischer Versorgung waren vom Rubin-Laser, dem ersten Festkörperlaser, vorhanden. Das aktive Medium, der Rubin in Stabgeometrie, musste nur durch einen Nd:YAG-Stab ersetzt werden. Ehe es aber gelang, mit Nd:YAG einen hervorragenden Kristall zu züchten, wurden Gläser mit Neodymium dotiert.

Die ersten Nd:YAG-Kristalle der sechziger und siebziger Jahre waren sehr teuer. Zudem waren sie militärisch bedeutend und daher zumindest in Europa kaum erhältlich. Erst Anfang der 1980er, nachdem die Restriktionen gelockert wurden, waren auch in Europa YAG-Kristalle aus amerikanischer Produktion verfügbar. In der Zwischenzeit begannen die industriellen Anwendungen mit den Festkörperlasern: Bohren eher mit Rubin-Lasern und Punktschweißen eher mit Nd-Glas. Eine erste Anwendung war das automatisierte Schweißen von Spiralfedern für Uhren. Daraus entwickelte sich das Schweißen von Bauteilen der Fernseh-Bildröhre, eine Revolution in der industriellen Großserienfertigung, die sich weltweit durchsetzte und den Durchbruch für den Laser in der industriellen Fertigung bedeutete.

Der wahrscheinlich wichtigste Meilenstein war das Laserlichtkabel, das 1985 von Haas-Laser, Schramberg zusammen mit der Firma Philips aus den Niederlanden in deren Produktion eingeführt wurde. Im Jahr 1991 baute Haas-Laser einen Nd:YAG-Laser mit 2 Kilowatt cw-Leistung, die in den Folgejahren bis auf 4 Kilowatt gesteigert wurde.

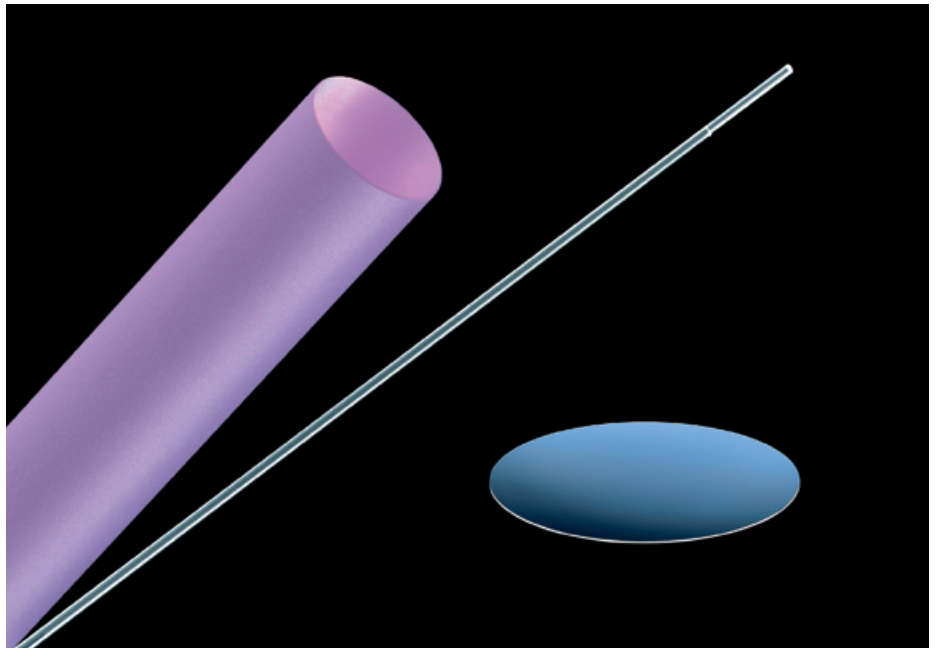
Eine große Einschränkung für eine weitere Leistungssteigerung war die Anregung des Nd:YAG-Kristalls durch Lampen. Schon anfangs der 1990er



Jahre wurde daher mit Hochdruck an der Entwicklung der Diodenlaser als Pumpquelle gearbeitet. Die Diodenlaser waren damals jedoch noch teuer und nicht zuverlässig genug. Erst um die Jahrtausendwende wurden sie industrietauglich. Dadurch konnten mit der Scheibe und der Faser weitere Geometrien für das aktive Lasermedium entwickelt werden, die den Effekt der thermisch induzierten, leistungsabhängigen Linsenwirkung vermeiden. Strahlqualität und Leistungsbereich beider Systeme übertreffen heute die aller anderen Lasertechnologien.

Die wichtigsten Applikationen

Über das feine Punktschweißen haben sich der Nd:YAG- bzw. der Nd-Glas-Laser bereits in den 1970er und vor allem in den 1980er Jahren ein breites Anwendungsfeld erschlossen. Dieses neue Fügeverfahren eröffne-



▲ Geometrien von Festkörperlaser-Medien: Stab, Faser und Scheibe

te Konstruktion und Produktion bislang nicht vorstellbare Möglichkeiten.

Punktschweißen ist bis heute ein weit verbreitetes Standardverfahren.

ANZEIGE



▲ Nahtschweißung an einem Herzschrittmacher. Die empfindliche Elektronik im Inneren wird beim Laserschweißen nicht beschädigt.



▲ Beispiel für »kalte Bearbeitung« mit Ultrakurzpulslasern. Die Pulse sind so kurz, dass sich das Bauteil – auf dem Bild ein Streichholzkopf – bei der Bearbeitung nicht erwärmt.

Ein nächster Technologieschritt ist das automatisierte, individuelle Justieren von Teil zu Teil, beispielsweise

von Lampen für Automobile. Jede Lampe wird im Fertigungsprozess automatisch zum Sockel justiert.

Ist der optimale Punkt erreicht, wird dieser innerhalb von Millisekunden durch mehrere, zeitgleiche Schweißpunkte fixiert. Der gesamte Vorgang dauert weniger als eine Sekunde. Auch die gute Integrierbarkeit des Lasers mithilfe des Laserlichtkabels und die hohe Wiederholrate werden genützt. Besonders in der Medizintechnik und im Dentallabor werden viele Punkt- und Nahtschweißungen auch von Hand ausgeführt. Mittels eines Stereomikroskopes werden die Teile von Hand positioniert, geführt und mit dem gepulsten Nd:YAG-Laser zusammenschweißt.

Beim Feinschneiden wurden zunächst nur Laser eingesetzt, die über die Anregung mit Lampen schnell gepulst wurden. Mit neueren Lasern, die sich durch hohe Strahlqualität auszeichnen, kann im cw-Modus noch schneller und auch noch feiner geschnitten werden. Medizintechnikfirmen schneiden viele ihrer Produkte mit Nd:YAG-Lasern. Für feine und exakte Schnitte, die oft dreidimensional geführt werden müssen, wird der Laser in präzise Führungsmaschinen integriert. Ein sehr weites Anwendungsfeld für YAG-Laser mit kleiner cw-Leistung, dafür aber mit Güteschaltung (Q-switch), ist das Beschriften. Die Güteschaltung ermöglicht sehr hohe Leistungen innerhalb eines Pulses, der kürzer als eine Millisekunde ist. Mit den drei Wellenlängen 1064, 532 und 355 nm können metallische und nichtmetallische Oberflächen beschriftet werden. Unterschiedliche Möglichkeiten zur Erzeugung von Kontrast auf Oberflächen – etwas anderes ist die Beschriftung nicht – werden genutzt.

Von der feinsten Verfärbung durch die Erzeugung von Anlassfarben auf Metalloberflächen, über das Abtragen dünner Schichten bei Schalern im Tag- und Nachtdesign, das thermisch-induzierte Aufschäumen von Kunststoffoberflächen bis hin zur Tiefengravur reichen die Wechselwirkungsprozesse zwischen Laserlicht und Werkstück.

Schweißen und Schneiden im Kilo-

watt-Bereich hat sich in den letzten 10 bis 15 Jahren neben dem Beschrifteten zum bedeutendsten Anwendungsbereich entwickelt, nicht nur im Automobilbau. Vorprodukte, wie maßgeschneiderte oder warm umgeformte Bleche, mit Innenhochdruck umgeformte Rohre und Teile für Getriebe werden geschnitten und geschweißt. Auch große Teile der Karosserie werden mit YAG-Lasern gefügt. Beim Schweißen von Werkstücken größerer Dicke, im Schiffbau oder bei Pipelines, wird der YAG-Laser auch in Verbindung mit dem konventionellen Lichtbogen-schweißen, als sogenanntes Hybridverfahren, eingesetzt.

Wie die Zukunft aussieht

Das Punktschweißen kleiner metallischer Teile mit gepulsten YAG-Lasern, die über Lampen angeregt werden, ist immer noch weit verbreitet. Zum Teil wird das gepulste Verfahren durch Faserlaser mit kleiner cw-Leistung ersetzt werden.

Bei reinen cw-Anwendungen haben die diodengepumpten Faser- und Scheibenlaser die lampengepumpten Nd:YAG Stablaser völlig verdrängt.

Neben höchster Strahlqualität und hohem Wirkungsgrad ist mit diesen Lasern ein Leistungsspektrum möglich, das heute noch gar nicht genützt wird. Die meisten Anwendungen liegen im Leistungsbereich kleiner als 10 Kilowatt, 100 Kilowatt wären möglich. Für diese hohen Leistungen können allerdings die optischen Komponenten zur Strahlübertragung und -fokussierung noch nicht Schritt halten. Aber auch dies wird technologisch bald möglich sein. Neu ist, dass Faser- und Scheibenlaser teilweise in die Domäne des CO₂-Lasers, das Schneiden von Blech, vordringt.

Die gütegeschalteten YAG-Laser zum Beschriften und auch zum Abtragen dünner Schichten werden ihr großes Anwendungsfeld noch ausweiten können. Zum Strukturieren und Bohren dagegen werden immer mehr Piko-sekunden-Laser und eventuell auch Femtosekunden-Laser zum Einsatz kommen. Mit diesen diodengepumpten, ultrakurzgepulsten Festkörperlaser konnte das Anwendungsfeld in der Mikrobearbeitung bereits deutlich erweitert werden. Nicht nur die kurzen Pulse, auch die Frequenzkon-

version des Laserlichtes vom nahen Infrarot zu Grün und Ultraviolett eröffnet ganz neue Möglichkeiten einer kalten Bearbeitung. So können beispielsweise Einspritzdüsen mit höchster Präzision gebohrt werden. Mit der hohen Spitzenleistung können auch Nichtmetalle, wie Glas, Keramik oder Halbleiter bearbeitet werden. Dies belegt, dass in der Mikrobearbeitung der Festkörperlaser mehr als eine brillante Zukunft hat. Denn viele Mikroanwendungen sind nur mit diesem Laser möglich. Mit ihren ultrakurzen Pulsen und ihrer hohen Brillanz können sie Materialien und Bauteile mit einer Qualität und Funktionalität bearbeiten, bei denen alternative Verfahren an ihre Grenzen stoßen.

■ INFO

Autoren:

- Dr. Paul Seiler, Dr. Klaus Wallmeroth
TRUMPF Laser, Sramberg
- Dr. Kurt Mann
TRUMPF Laser- und Systemtechnik
Ditzingen

■ www.trumpf.com

Die Zukunft der industriellen Lasertechnik ist brillant

»Die Zukunft des Lasers ist brillant, seine besten Jahre stehen ihm noch bevor. Dafür gibt es zahlreiche Gründe, zum Beispiel die sinkenden Investitionskosten pro Watt Laserleistung oder die zunehmend höheren Steckdosenwirkungsgrade. Der Markt bietet Anwendern eine ganze Reihe von verschiedenen Strahlquellentechnologien mit unterschiedlichen Eigenschaften wie Wellenlänge, Pulsdauer oder Leistung.

Für viele Applikationen gibt es bereits den passenden Laser. Falls dies nicht der Fall ist, lässt er sich an die Anwendung anpassen. Auch haben



Ein Statement von Peter Leibinger, Stellvertreter Vorsitzender der Geschäftsführung der TRUMPF GmbH + Co. KG und Vorsitzender des Geschäftsbereichs Lasertechnik/Elektronik

sich die Anbieter industrieller Lasertechnik zu internationalen Unternehmen gewandelt. Sie bieten zuverlässige Geräte und weltweiten Service an. Sie verstehen die Bedürfnisse ihrer Kunden.

Trumpf hat dies als einer der ersten Anbieter erkannt und erfolgreich umgesetzt. Unser umfassendes Applikationsfachwissen trägt mit dazu bei, dass der Laser zunehmend den Weg in die Produktionshallen findet.«