



# Anspruchsvolle Werkstoffe riss- und porenfrei schweißen

**Ob Zahnräder, Spritzgussformen, medizinische Instrumente oder Turbinenteile – bei filigranen und besonders anspruchsvollen Schweißarbeiten ist die Technologie des Laserschweißens unübertroffen. Wo konventionelle cw-Laser und selbst viele Nd:YAG-Laser an Grenzen stoßen, helfen moderne Prozessstrategien, um anspruchsvolle Schweißmetallurgien, artunterschiedliche Werkstoffe oder Mikrobauteile prozesssicher, reproduzierbar und effizient zu bearbeiten.**

Laserstrahlschweißen wird insbesondere dann eingesetzt, wenn Bauteile mit hoher Schweißgeschwindigkeit, schmaler und schlanker Schweißnahtform und geringem thermischem Verzug gefügt werden sollen. Verglichen mit anderen Schweißverfahren, wird die Energie beim Laserschweißen konzentriert ins Material eingetragen. Anhand ihrer Signalform lassen sich Laser in zwei Kategorien einteilen: Während die Strahlung konventioneller Continuous-wave-Laser (cw-Laser) immer einen kontinuierlichen Strahl aufweist, geben gepulste Laser die Energie pulswise ab. Dadurch stehen erheblich mehr Prozessparameter zur Beeinflussung der Erstarrungscharakteristik der Werkstoffe zur Verfügung als bei cw-Lasern. Gerade bei der Bearbeitung anspruchsvoller Werkstoffe und Werkstoffkombinationen haben sich daher inzwischen gepulste Laser durchgesetzt. So kann bei gepulsten Neodym-dotierten Yttrium-Aluminium-Granat-Lasern (Nd:YAG-Laser) das Verhältnis zwischen Puls und Pulspause und damit das Erstarrungsverhalten des Materials gezielt beeinflusst werden. Zudem lässt sich der Pulsverlauf mithilfe der thermischen Pulsformung an das temperaturabhängige Absorptionsverhalten des Werkstoffs anpassen. Auf diese Weise kann das Schmelzbad stabilisiert und der Werkstoff definiert vorgewärmt und abgekühlt werden. Parallel dazu lässt sich der Pulsverlauf modulieren, um die Durchmischung des

Schmelzbades sowie das Kristallwachstum gezielt zu beeinflussen. Beide Varianten der Pulsformung beeinflussen maßgeblich das Schweißergebnis. Es lohnt sich daher insbesondere bei anspruchsvollen Materialien, die Wirkweise und die Einflussmöglichkeiten der Pulsformung zu kennen und optimal zu nutzen.

## **Thermische Pulsformung minimiert Risse und Poren**

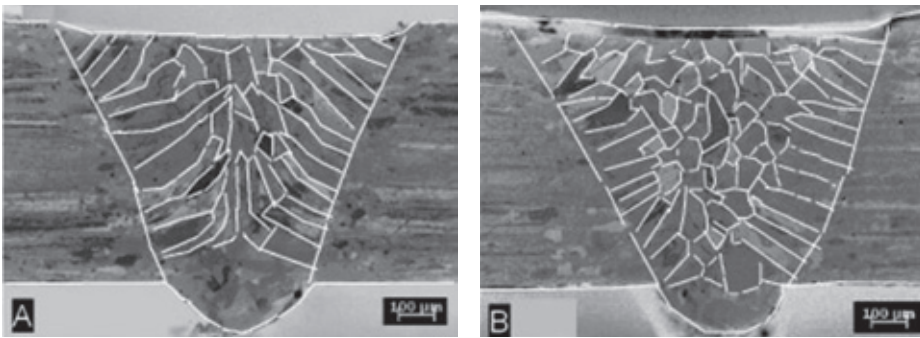
Im Gegensatz zum Laserschweißen mit Rechteckpuls, bei dem immer die gesamte Pulsleistung aktiviert wird, lässt sich die Leistung mithilfe der thermischen Pulsformung über den Pulsverlauf hinweg gezielt dosieren. So können Leistungsüberschüsse und damit eine Überhitzung des Schmelzbades verhindert werden.

Die Qualität der Nahtoberfläche verbessert sich. Zudem wird beispielsweise bei Kupferlegierungen verhindert, dass sich Spritzer bilden, was bei einem schlagartigen Phasenübergang der Fall wäre. Vorpulsphasen haben

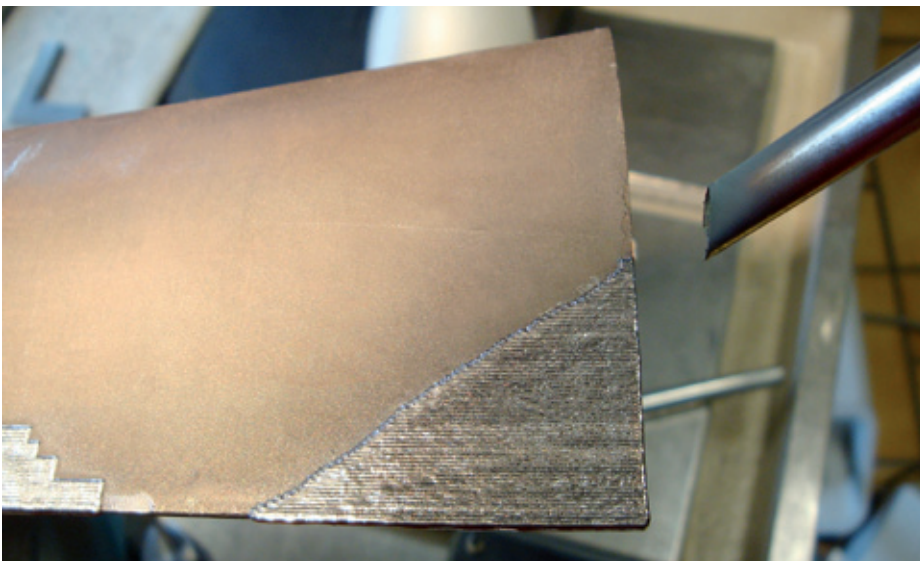
ANZEIGE



▲ Die Laserbearbeitungsmaschine PSM 400 von Schunk ist mit einem gepulsten Nd:YAG Laser ausgestattet.  
Bild: Schunk



▲ Mithilfe der Pulsmodulation (2b) lässt sich, wie hier bei Al 99.9, eine homogenere Gefügeverteilung erreichen als ohne (2a)  
Bild: J. Wilden, TU Berlin, IWF



▲ Perfektes Ergebnis: Eine auf der PSM 400 reparierte Turbinenschaufel aus einer Nickelbasislegierung.  
Bild: Schunk

sich unter anderem bei Kupfer- und Aluminiumlegierungen bewährt, um die Einkopplung des Laserstrahls ins Material und damit die Reproduzierbarkeit der Schweißungen zu verbessern. Bei anderen Materialien hingegen lassen sich über die Vorpulsphase Oxidschichten beseitigen oder die Bildung von Poren verhindern. Nachpulsphasen wiederum haben eine homogenisierende Wirkung. Sie können die Porenbildung verhindern, indem sie die Ausgasung des Materials verbessern. Zudem sind sie in der Lage, Heißrisse, beziehungsweise bei höher kohlenstoffhaltigen Werkstoffen Härterisse zu verhindern. Mithilfe der Pulsmodulation wiederum lässt sich die Temperatur des Schmelzbades gezielt beeinflussen und stabilisieren. Dies wird genutzt, um bei der Erstarrung eine möglichst hohe Keimbildungsrate und damit ein möglichst feinkörniges, homogenes Gefüge zu erreichen. Zudem kann mithilfe der Modulation der Laserleistung die Schmelzbad-Dynamik und damit die Erstarrungsmorphologie beeinflusst werden. So lässt sich beim Schweißen artunterschiedlicher Werkstoffe, wie etwa Titan und Aluminium, die Bildung von Rissen vermeiden, indem die plastische Verformbarkeit (Duktilität) der Verbindung erhöht wird. Eine besondere Bedeutung hat die kombinierte Pulsformung und -modulation beim Schweißen von Refraktärmetallen, wie etwa bei Legierungen aus Titan, Zirkonium, Tantal oder Molybdän. Wird bei ihnen das Schmelzbad mithilfe der Pulsmodulation gezielt unterkühlt, kann ein feinkörniges Gefüge und damit eine hervorragende Schweißnahtgüte erzielt werden.

**Zusatzwerkstoffe machen Unmögliches möglich**

Wenn über die Anpassung der Pulscharakteristik und -parameter an den Werkstoff noch keine zufriedenstellenden Ergebnisse erzielt werden, lässt sich zusätzlich die Metallurgie mithilfe von Zusatzwerkstoffen beeinflussen. Dieses Verfahren spielt



insbesondere bei hochchromhaltigen Chrom-Nickel-Stählen, bei mit Silizium und Magnesium legierten Aluminiumlegierungen sowie bei Molybdän eine Rolle. So hat sich beim Laserschweißen hochchromhaltiger Chrom-Nickel-Stähle, die aufgrund ihrer hohen Korrosionsbeständigkeit gerne in der Medizintechnik sowie in der Lebensmittelindustrie eingesetzt werden, ein Zusatzdraht aus einer Nickelbasislegierung bewährt. Der zähe Werkstoff kann durch plastische Dehnung einen großen Teil der beim Schweißen auftretenden Schrumpfspannung aufnehmen und damit verhindern, dass sich Heißrisse bilden. Während sich Reinaluminium bereits mithilfe einer optimierten Pulsformung sehr gut schweißen lässt, neigen Aluminiumlegierungen mit Silizium, Magnesium, Lithium oder Kupfer verstärkt zur Heißrisbildung. Dies ist insbesondere bei Aluminiumlegierungen mit einer Magnesiumkonzentration zwischen 0 und 3,5 % der Fall, die aufgrund ihrer guten mechanischen Eigenschaften und ihrer guten Zerspanbarkeit häufig in der Industrie eingesetzt werden. Sie lassen sich mit Zusatzdraht aus der niedrigschmelzenden eutektischen Legierung AlSi12 auflegieren und rissfrei schweißen. Gleiches gilt für den heißrisseanfälligen Werkstoff AlSi1, der in der Automobilindustrie und in der Luftfahrt eingesetzt wird und ohne Zusatzmaterial als nicht schweißbar gilt.

Moderne gepulste Nd:YAG Laser bieten zahlreiche Möglichkeiten, damit sich auch anspruchsvolle Werkstoffe und Werkstoffkombinationen optimal fügen lassen. So kann mit der flexibel einsetzbaren Laserbearbeitungsmaschine PSM 400 von Schunk Lasertechnik der Schweißprozess wirksam beeinflusst und an die Erstarrungscharakteristik der Werkstoffe angepasst werden. Während die meisten Nd:YAG-Laser am Markt nur Laserimpulse zwischen 20 und 60 ms ermöglichen, setzt die PSM 400 mit Laserimpulsen von 100 ms Maßstäbe. Insbesondere bei der Bearbeitung spröder

Materialien, wie etwa bei Gussteilen, hochkohlenstoffhaltigen Stählen und Superlegierungen profitieren Anwender von dem überlangen Laserimpuls, der die Schweißbarkeit erheblich verbessert und den Aufwand für Nacharbeiten minimiert. Noch leistungsfähiger ist der PSM 400 Blade Welder, der speziell zum Schweißen hochwarmfester Nickel- beziehungsweise Kobalt-Basislegierungen konzipiert wurde, wie sie beispielsweise in modernen Gasturbinen verwendet werden. Seine Pulsdauer kann auf enorm lange 200 ms ausgedehnt werden. Um bei stark reflektierenden Materialien, wie etwa Kupfer, zu vermeiden, dass ein reflektierter Laserstrahl die Faser beschädigt, werden beim BladeWelder besonders leistungsfähige Fasern eingesetzt, die Reflexionen absorbieren. Bei beiden Anlagen gewährleistet eine adaptive Closed-Loop-Regelung, dass der Laser stets präzise und leis-

tungsstabil arbeitet. Über eine freiskalierbare Pulsformung und -modulation können die Laserparameter an die spezifischen Eigenschaften der Werkstoffe angepasst werden. Einmal definiert, lassen sie sich in der Steuerung hinterlegen und beim nächsten Mal in Sekundenschnelle aktivieren. Die Qualität der Schweißergebnisse kann Schunk anhand metallurgischer Untersuchungen im hauseigenen Werkstoffkundelabor prüfen und belegen.

#### ■ INFO

Kontakt:  
 Michael Schneider  
 Geschäftsbereichsleitung Lasertechnik  
 SCHUNK GmbH & Co. KG  
 Bahnhofstr. 106-134  
 74348 Lauffen am Neckar  
 Tel.: 07133 103-2266 · Fax: 07133 103-942266  
 E-Mail: michael.schneider@de.schunk.com  
 www.de.schunk.com

ANZEIGE