

# Laser Community



Vier Schweißungen ausgeführt bei 1013 mbars, 500 mbars, 100 mbars and 10 mbars: Schweißen mit reduziertem Druck eröffnet für Festkörperlaser neue Dimensionen © Foto | Institut für Füge- und Schweißtechnik der TU Braunschweig

## UNTER TIEFDRUCK

22-10-2012

Wer hätte gedacht, dass es von Vorteil ist, die teure Vakuumtechnik des Elektronenstrahlschweißens mit dem Strahl eines Festkörperlasers zu vereinen?

Beim konventionellen Laserstrahlschweißen kann es dazu kommen, dass der ausströmende Metalldampf auf die Schmelzschicht an der Kapillarrückwand trifft und dort Schweißspritzer ablöst. Festkörperlaser neigen weit stärker zur Spritzerbildung als CO<sub>2</sub>-Laser und diese Neigung wächst mit der Schweißtiefe und mit zunehmender Vorschubgeschwindigkeit.

Deshalb gilt im Allgemeinen, dass Festkörperlaser zwar bei Dünnschichtanwendungen oft die erste Wahl sind, der CO<sub>2</sub>-Laser sich jedoch bei Blechdicken über vier Millimeter überlegen zeigt. Bestimmte Schweißanwendungen wie etwa im Getriebekonstruktion schließlich, bei denen die Schweißtiefe weit über zehn Millimetern liegt, bleiben dem Festkörperlaser komplett verschlossen.

Andererseits wird dieser jedoch von der Industrie zunehmend gefordert: aus wirtschaftlichem Interesse, insbesondere aus Gründen der Energieeffizienz und der Fertigungsflexibilität.

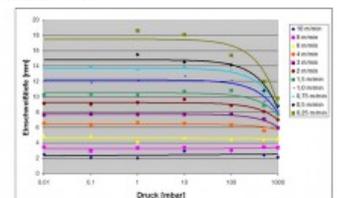
### UNGEWÖHNLICHE VERBINDUNG

Das Elektronenstrahlschweißen wiederum ermöglicht große Einschweißstiefen und erzeugt hervorragende Nähte. Allerdings erfordert es einen stark reduzierten Arbeitsdruck von etwa  $10^{-4}$

### Mehr zum Thema

#### ZU DEN ERGEBNISSEN

Galerie 1: Abhängigkeiten zwischen Einschweißtiefe, Prozessgeschwindigkeit, Fokusslage und Druck bei verschiedenen Fokusslagen zwischen +2 und -8 Millimetern.



Galerie 2: Humpingverhalten und Spritzer bei verschiedenen Fokusslagen zwischen +2 und -8 Millimetern (grau = Humping; gelb bis rot = zunehmend Spritzer)

Millibar.

In vielen Fällen ist es keine echte Alternative, da die notwendige Vakuumkammer die Bauteilgröße beschränkt und der Pumpaufwand sowie die Notwendigkeit, Komponenten ein- und auszuschleusen, die Taktzeiten verlängern. Die im Prozess erzeugte Röntgenstrahlung sowie die im Allgemeinen höheren Investitionskosten bilden weitere wesentliche Restriktionen.

Es stellt sich jedoch die Frage, ob es möglich ist, durch die Kombination von Prozessanteilen des Elektronen- und des Laserstrahlschweißens mit Festkörperlasern Vorteile der beiden Verfahren zu vereinigen. In einem laufenden Forschungsprojekt des Instituts für Füge- und Schweißtechnik der TU Braunschweig in Zusammenarbeit mit TRUMPF Laser- und Systemtechnik GmbH und pro-beam AG & Co. KGaA, einem der führenden deutschen Hersteller von Elektronenstrahltechnologie, wird der Versuch unternommen, eine solche neue Technologie umzusetzen, zu erforschen und für den Markt zugänglich zu machen

## SPIELBEIN LUFTDRUCK

Während für das Elektronenstrahlschweißen ein Feinvakuum Prozessvoraussetzung ist, stellt der Druck beim Laserstrahlschweißen einen zusätzlichen Prozessparameter dar. Üblicherweise können dafür bereits Drücke im Grobvakuum von 500 bis 10 Millibar verwendet werden.

Das bedeutet, dass Aufwand und Kosten zur Vakuumherzeugung in künftigen Applikationen deutlich geringer ausfallen und kürzere Evakuierzeiten entstehen. Einen entscheidenden Vorteil bietet die flexible Integration von Festkörperlasern in die Produktionssysteme: Mehrere Bearbeitungsstationen oder Arbeitskammern greifen auf eine Laserstrahlquelle zu und nutzen diese für ihre unterschiedlichen Schweißanwendungen.

## QUALITÄTSSPRUNG IM UNTERDRUCK

Der reduzierte Umgebungsdruck verändert in erster Linie die beim Schweißen mit Festkörperlaser typische Metaldampffackel. Bereits eine geringe Druckabsenkung führt zu einer sichtbar schmaleren Ausbildung und einer deutlichen Abnahme der Anzahl der Schweißspritzer.

Eine Verminderung des Drucks auf 100 Millibar lässt die Metaldampffackel weiter schrumpfen und nur noch über der Fügezone auftreten. Es entstehen lediglich vereinzelte Spritzer. Ab einem Druck von zehn Millibar verschwinden Fackel und Spritzerbildung gänzlich. Begründet durch den reduzierten Druck entstehen Schweißnähte, die qualitativ mit Elektronenstrahlnähten vergleichbar sind.

Es gelang, zehn Millimeter dicken Baustahl mit sechs Kilowatt Laserleistung und einem Vorschub von zwei Metern pro Minute in bemerkenswerter Nahtqualität ohne jegliche Unregelmäßigkeiten durchzuschweißen. Unter Atmosphärendruck lässt sich diese Qualität selbst mit einem CO<sub>2</sub>-Laser nicht erreichen.

## NEUE NAHTFORM



## ZU DEN FORSCHUNGSPARTNERN

- Institute of Joining and Welding ifs (German only)
- Technische Universität Braunschweig
- TRUMPF Laser- und Systemtechnik GmbH
- pro-beam KGAA

## ÜBER DIE SCHWEIßPROZESSE

- Elektronenstrahlschweißen
- Laserstrahlschweißen

## ÜBER DEN AUTOR



Prof. Klaus Dilger ist Leiter des Instituts für Füge- und Schweißtechnik (ifs) der Technischen Universität Braunschweig. Unter anderem beschäftigt er sich mit Strahlschweißprozessen und erforscht derzeit das Laserstrahlschweißen im Vakuum.



Nahtform in 4 Abbildungen | Foto @ Institut für Füge- und Schweißtechnik der TU Braunschweig

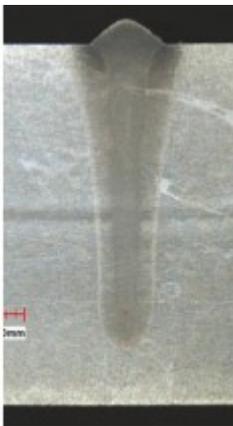
Der reduzierte Umgebungsdruck führt zu weiteren charakteristischen Merkmalen und Besonderheiten in der Schweißnahtqualität. Bei gleichen Prozessparametern bewirkt der sinkende Druck eine Erhöhung der Einschweißtiefe und verändert den Querschnitt der Naht.

Mit einer Laserleistung von sechs Kilowatt gelang es im Grobvakuum bei zehn Millibar, eine 25 Millimeter tiefe Einschweißung zu erzeugen. Diese Schweißstiefen sind unter atmosphärischen Bedingungen, vor allem unter dem Aspekt der zugrunde liegenden Leistung, unvorstellbar.

Eine unter Atmosphärendruck hergestellte Naht zeigt im Querschliff eine relativ breite Nahtoberraupe und nimmt die Form eines Nagelkopfs an. Mit sinkendem Druck nimmt die Nahtbreite ab, das Material wurde vornehmlich in der Tiefe aufgeschmolzen.

Bei einem Druck von 100 Millibar bilden sich Schweißnähte mit einem großen Aspektverhältnis und parallelen Nahtflanken aus. Wird der Druck um eine weitere Zehnerpotenz reduziert, erzeugt dies eine bemerkenswerte Veränderung der Nahtform. Die Einschweißtiefe bleibt weitestgehend erhalten, jedoch offenbart die Naht im Querschliff eine vasenähnliche Form. Die wesentlichen Merkmale dieser Vasenform sind die Taille in der Nahtmitte und eine bauchige Verbreiterung im Wurzelbereich. Es hat den Anschein, als sei die Kaustik des Laserstrahls im Querschliff "eingefroren".

## KEINE KERBEN, KEIN EINFALL



4 Abbildungen | Foto @ Institut für Füge- und Schweißtechnik der TU Braunschweig

Kai Noack  
k.noack@tu-braunschweig.de