IFSW Im Fokus

Schmelzbadcharakteristiken und Spritzerquantifizierung beim Laserstrahlschweißen von verzinktem Stahlblech

In der industriellen Fertigung, besonders in der Serienproduktion von Fahrzeugkarosserien, werden immer kürzere Taktzeiten gefordert, um die Produktivität zu steigern. Ein Lösungsansatz besteht darin, die effektive Bearbeitungszeit durch höhere Schweißgeschwindigkeiten zu reduzieren. Diese werden nun ermöglicht durch die Fortschritte bei der Entwicklung der Scheiben- und Faserlaser, welche eine Skalierung der Laserleistung in den Multikilowattbereich mit gleichzeitig brillanter Strahlqualität erlauben. Bei konstanter Blechstärke lässt sich damit die mögliche Schweißgeschwindigkeit wesentlich erhöhen. Die hervorragende Strahlqualität ebnet zudem der Remote-Technologie, welche vor allem die Nebenzeiten minimiert, den Weg in die Serienproduktion (siehe Robscan, Daimler AG). Diese beiden Konzepte lassen die Taktzeit dahinschmelzen. Zusätzlich etablierte die Werkstoff- und Umformtechnik verzinkte Halbzeuge vor dem Fügezeitpunkt. Durch die Kombination, der neuen Werkstoffoberflächen und der schnellen Fügetechnik, ergeben sich neue Aufgabenstellungen in der Verfahrensentwicklung.

Die größte Herausforderung ist dabei die Verringerung der Spritzerbildung, welche mit steigender Laserleistung bzw. Schweißgeschwindigkeit massiv zunimmt. Spritzer führen in der Produktion zu einer Vielzahl ernsthafter Probleme, wie der Verunreinigung der Spannvorrichtungen, Ablagerungen und Anhaftungen auf der Blechoberfläche (pot. Korrosionskeim, Minderung der visuellen Qualität), dem Materialverlust in der Naht (Nahteinfall, Endkrater, Löcher, ggf. Festigkeitsabfall) und zusätzliche Schutzglasverschmutzung. Arbeiten zu diesem Thema bilden einen aktuellen Forschungsschwerpunkt am Institut für Strahlwerkzeuge der Universität Stuttgart (IFSW) und der angegliederten Forschungsgesellschaft für Strahlwerkzeuge (FGSW). Die neuesten Erkenntnisse dazu

wurden bereits an einem vom IFSW veranstalteten internationalen Workshop im Februar 2009 diskutiert.

Kennzeichnend für das Laserstrahlschweißen von verzinkten Stahlwerkstoffen ist die vorlaufende und sich seitlich begrenzt ausdehnende, abdampfende Zinkschicht. Diese Schicht ist deutlich in Hochgeschwindigkeits(HS)-Aufnahmen auf der Oberseite, aber auch auf der Unterseite der Werkstücke zu sehen (vgl. Abb. 1). Die korrosionshemmenden Zinkschichten an Ober- und Unterseite des Gesamtbauteils zeigen dabei keine Wechselwirkung mit dem Keyhole oder dem Schmelzbad. Jedoch findet bei einem I-Naht Überlappstoß genau diese Verdampfung der Zinkschicht zwischen den zu fügenden Blechen statt. Daher ist hinlänglich bekannt, dass für eine akzeptable Schweißnahtqualität ein definierter

Fügespalt einzustellen ist. In den Untersuchungen hat sich weiter gezeigt, dass sich durch die Skalierung hin zu höheren Laserleistungen und somit zu höheren Vorschubsgeschwindigkeiten, die Ausbildung der Wechselwirkungszone bei gleichem Durchschweißgrad ändert. In Abb. 1 sind die Schmelzbadöffnungen in Abhängigkeit der Laserleistung bzw. der Vorschubgeschwindigkeit bei konstantem Durchschweißgrad abgebildet. Mit zunehmender Vorschubgeschwindigkeit weicht die Kapillarrückwand weiter zurück und es ergibt sich eine größere Schmelzbadöffnung. Ebenfalls zeigt sich in diesen Bildern sehr deutlich, dass sich die Kapillarneigung an der Front deutlich ändert und somit auch die Einkoppelmechanismen der Laserleistung in das Bauteil. Daraus lässt sich schließen, dass eine höhere

Schweißgeschwindigkeit eine Veränderung der Schmelzströmung und der Schmelzbadbewegung verursacht. Sehr unterschiedlich fallen die Schmelzbadbewegungen im Vergleich einer Blindnaht (1 Blech) und einer I-Naht-Überlappverbindung bei gleichen Schweißparametern und Blechdicken (Stapeldicke von 2 mm) aus. In Abb. 2 ist links eine Blindnaht dargestellt, rechts eine Zwei-Blechverbindung mit Spalt. Blau eingezeichnet ist der Auftreffpunkt des Laserstrahls, weiß umrandet ist die Schmelzbadöffnung. Charakteristisch für Blindnahtschweißungen ist die Ausbildung der Schmelzbadöffnung, diese ähnelt einer Wanne. Hier kann sicherlich nicht mehr von einem Keyhole gesprochen werden. Im Gegensatz dazu zeigt die Zwei-Blechverbindung eine typische Keyhole-Öffnung



Abb. 1: Schmelzbadöffnung in Abhängigkeit der Vorschubgeschwindigkeit; d=2x1,0mm, s=0,2mm

UNIVERSITÄT STUTTGART INSTITUT FÜR STRAHLWERKZEUGE -

.IFS₩.

mit Kapillarrückwand. Die Rückwände bewegen sich ungleichmäßig in Schweißrichtung auf das Keyhole zu und wieder vom Keyhole weg. Der Antriebsmechanismus für diese wellenförmige Bewegung ist in den HS-Aufnahmen nicht zu erkennen. Zusätzlich kommt es durch Unterströmungen mit abdampfendem Material bei der I-Naht zu Schmelzauswürfen an der Keyhole-Rückwand, die teilweise wieder in das entfernte Schmelzbad fallen und sich somit nicht qualitätsmindernd auswirken. Im Allgemeinen lässt sich bei der Beobachtung des Laserschweißprozesses mittels HS-Kamera die oberflächige Geometrie und Dynamik des Schmelzbades gut ablesen. Um jedoch die Spritzerhäufigkeit zu quantifizieren, wurden zunächst jeweils die HS-Filme einer 80 mm I-Naht-Überlapp Schweißnaht ausgezählt. In Abb. 3 sind die Anzahl der "normalen" Spritzer über die Gesamtblechdicke von vier elektrolytisch verzinkten Stahlwerkstoffen aufgetragen. Große Spritzer bzw. Auswürfe kamen sehr selten vor. Sehr kleine Spritzer konnten nicht ausgewertet werden, da diese aufgrund ihrer Größe und Geschwindigkeit nicht eindeutig in den HS-Aufnahmen erkennbar waren. Ein deutlicher Anstieg der



Abb. 2: Blindnaht d=2,0mm und I-Naht-Überlapp d=2x1,0mm; s=0,1mm, P=6kW, v=7,5m/min

Spritzeranzahl wird ab einer Gesamtblechdicke von größer als 2,5 mm (2 x 1,25 mm) gezählt. Weiterhin ist zu erkennen, dass der Werkstoffeinfluss innerhalb der hier getesteten vier Stähle weit weniger von Bedeutung ist als der Blechdickeneinfluss.

Als Verfahren, um die Schweißnahtqualität hinsichtlich Spritzer schneller und einfacher zu quantifizieren, hat sich die Messung des Gewichts vor und nach dem Schweißen angeboten. Der Gewichtsunterschied des Werkstücks vor und nach dem Schweißen, kann als ein Maß für die Schweißnahtqualität ermittelt werden. In Abb. 3 ist der Gewichtsverlust über der Vorschubgeschwindigkeit bei konstanter Laserleistung und Blechdicke aufgetragen. Mit geringer werdender Einschweißtiefe (höhere Schweißgeschwindigkeit) verringert sich der Gewichtsverlust durch Spritzer kontinuierlich bis zum Übergang des Durch- zum Einschweißen. Am Übergang bei 3,8 m/min ist ein Sprung ersichtlich. Zunächst ist am Unterblech noch eine komplette Durchschweißung erkennbar, jedoch ist zu vermuten, dass das Keyhole nicht mehr nach unten geöffnet ist und somit die Spritzerbildung nach unten unterbunden wird. Ab 4 m/min findet keine Durchschweißung am Unterblech mehr statt, vereinzelt treten jedoch kleine Anschmelzungen der Oberfläche an der Unterseite auf. Der Gewichtsverlust beim Einschweißen liegt deutlich unter 50% des Gewichtsverlusts einer Durchschweißung. Dies zeigt auf, dass an der Unterseite der Schweißnaht erheblich mehr Spritzer das Bauteil verlassen als auf der Oberseite. Weiterhin ist wie schon vermutet der

Gewichtsverlust bei einem Bauteil mit einem Spaltmaß von s = 0.3 mm geringer, als bei einem Spaltmaß von s = 0, 1mm. Die dargestellten Ergebnisse zeigen die komplexen Verhältnisse beim Laserstrahlschweißen von verzinkten Stahlwerkstoffen auf. Weitere Untersuchungen sind in Arbeit. Besonderes Augenmerk wird der Ausbildung der Kapillare und des Schmelztransports von der Front des Keyholes in das Schmelzbad gewidmet, um dadurch die Spritzerentstehungsmechanismen zu untersuchen. Mittels HS-Aufnahmen sollen hier weitere Erkenntnisse gewonnen werden. Vielversprechend erscheinen dazu auch Röntgenmessungen mit hoher Ortsund Zeitauflösung. Eine europaweit einzigartige Anlage dafür wird noch in diesem Jahr am IFSW in Betrieb genommen.



Institutsadresse: Institut für Strahlwerkzeuge Pfaffenwaldring 43 70569 Stuttgart Tel.: +49 (0)711 685 66840 Fax: +49 (0)711 685 66842 www.ifsw.uni-stuttgart.de

Autoren

Dipl.-Ing. Philipp Gärtner *philipp.gaertner@fgsw.de* Dr. Rudolf Weber <u>rudolf.weber@ifsw.uni-</u> stuttgart.de

Kontakt / Redaktion: Dipl.-Phys. Thomas Liebig IFSW Tel.: +49 (0)711 685 67882 Fax: +49 (0)711 685 66842 E-Mail: thomas.liebig@ifsw.unistuttgart.de

