

Forschungsergebnisse

Optische Technologien

der Baden-Württemberg Stiftung gGmbH

Messung der Einschweißtiefe zur Regelung laserbasierter Schweißprozesse

Im Rahmen eines von der Baden-Württemberg Stiftung finanzierten Projekts wurde ein Sensor für die Tiefenmessung im Schweißloch entwickelt.

Das Laserschweißen hat sich in vielen Bereichen der industriellen Fertigung – insbesondere im Automobilbau – mittlerweile zu einem Standardprozess entwickelt. Ein wichtiges Qualitätsmerkmal einer Laserschweißung ist häufig die tatsächlich erzielte Einschweißtiefe, da damit die Anbindefestigkeit korreliert. Dies trifft z.B. auf Anwendungen im Karosseriebau zu, bei denen explizit keine Durchschweißung stattfinden darf, wenn die Rückseite des zu verschweißenden Blechstapels eine Sichtfläche darstellt. Es muss jedoch sichergestellt sein, dass die Verbindung eine ausreichend hohe Festigkeit aufweist. Andere Anwendungen sind Tiefenschweißungen in massivem Material, bei denen eine sichere Verbindung zum Beispiel eines Zahnrads auf einer Welle gewährleistet sein muss. Es sollte daher ein System entwickelt werden, das im Prozess die Tiefe des sog. Keyholes misst und ein Signal zur Regelung der Einschweißtiefe liefert.

Lösungsansatz

Für die vorliegende Aufgabe wurde ein laufzeitbasiertes Sensorkonzept gewählt, weil damit der für die Messaufgabe erforderliche koaxiale Strahlengang ideal realisiert werden kann. Darüber hinaus sind laufzeitbasierte Sensoren sehr robust und relativ unempfindlich gegenüber starker Hintergrundstrahlung.

Für die direkte Messung der Laufzeit mit der geforderten Auflösung von Bruchteilen von Millimetern wäre jedoch eine Zeitauflösung < 1 ps gefordert. Dies ist mit einer direkten Metho-

de, d.h. Aussenden eines Pulses und Messung der Zeit bis zur Detektion des Reflexes, nur mit inakzeptablem Aufwand möglich.

Der realisierte Sensor arbeitet daher nach dem Prinzip des sogenannten Phasenlaufzeitverfahrens: Hierbei wird die Intensität des Sendelasers hochfrequent moduliert und aus der Phasendifferenz des gesendeten und empfangenen Lichts der Lichtweg berechnet. Auf dieser Technik basieren Distanzmessmodule, die mit hoher Messrate (> 1 MHz) auch unter schwierigen Umgebungsbedingungen für Laserscanner zur 3D-Messung eingesetzt werden.

Durch die hohe Messrate kann während des Schweißprozesses nicht nur direkt im Schweißloch gemessen, sondern ständig auch die Umgebung der Schweißnaht erfasst werden. Der Messstrahl wird hierzu senkrecht zur Schweißrichtung periodisch über das Werkstück gescannt. Mit jedem Durchgang des Messlasers wird ein komplettes Profil der Oberfläche neben der Bearbeitungsstelle und der Schweißkapillare erfasst. Dadurch werden eventuelle Driften kompensiert und die Messung erfordert keine Kenntnis

des Gesamtabstands vom Schweißkopf zum Schweißobjekt. Frequenz und Amplitude des Scanners sind so gewählt, dass der Messstrahl ca. 500-mal pro Sekunde eine 3-5 mm lange Linie quer über die Schweißkapillare bildet. Die angestrebten Zielparameter waren ein Tiefenmessbereich von 2 mm bis 5 mm, eine Auflösung von $< 0,1$ mm und eine Messfrequenz von ca. 1 kHz.

Das Verfahren ist sehr robust gegenüber Hintergrundstrahlung, da nicht nur eine optische Filterung des Empfangslichtes stattfindet, sondern durch die elektronische Signalverarbeitung ähnlich wie bei einem lock-in Verstärker nur das Licht verarbeitet wird, welches die Modulationsfrequenz des Lasers enthält. Dies entspricht einer sehr schmalbandigen Filterung des Empfangssignals – die Bandbreite wird im Wesentlichen von der benötigten Messrate vorgegeben und beträgt ca. 100 kHz.

Ergebnisse

Die Sensorik wurde in der Röntgenanlage des IFSW (Bearbeitungslaser: TruDisk 5001, Firma Trumpf, 600 μ m Transportfaser (LLK-D06), Fokusbereich

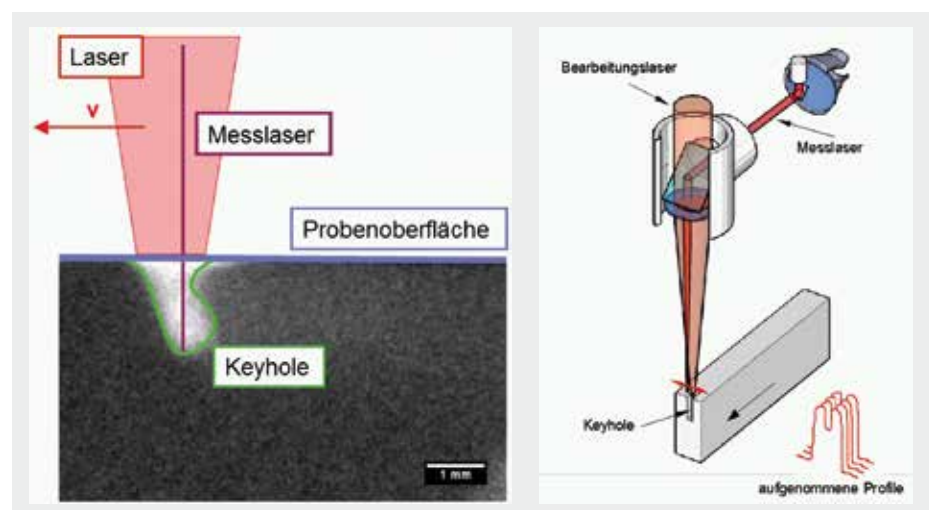


Abbildung 1: Links: Röntgenaufnahme eines Schweißprozesses mit schematischer Darstellung des Messlasers zur Messung der Einschweißtiefe. Rechts: Prinzip der scannenden Tiefenmessung

messer 600 µm am Werkstück, Bearbeitungswellenlänge 1030 nm, Abbildung 2) getestet. Hierzu wurde mit unterschiedlichen Laserleistungen in die Stirnseite von Probenkörpern aus verschiedenen Materialien eingeschweißt und die gemessenen Profile aufgezeichnet.

Als Vorstufe zur Regelung wurden neben Untersuchungen mit konstanter Laserleistung auch Untersuchungen mit stufenweise reduzierter Laserleistung von 5 kW bis 2 kW (4 Stufen) bei einem Vorschub von 6 m/min durchgeführt.

Rückstreuung aus der Schweißkapillare eine zu große Tiefe vortäuscht. Die Reflexionsänderung an der bewegten flüssigen Metalloberfläche im Keyhole führt zur verstärkten Fluktuation der gemessenen Tiefe.

Die erzielten Messergebnisse zeigen einen eindeutigen Zusammenhang zwischen Messung und offline gemessener Einschweißtiefe. Derzeit laufende Weiterentwicklungen zielen auf eine Reduktion der störenden Reflexe an der Schweißoptik sowie einer Ergänzung des Messprinzips, um sowohl den Messfehler weiter zu reduzieren als auch die Auflösung weiter zu verbessern.



Abbildung 2: Links: Laseroptik mit Cross-Jet und Absaugung. Mitte: geöffnete MERlaS-Sensorik montiert an der Laseroptik. Rechts: Werkstück im Spannmittel. Die Schweißung erfolgt in die Stirnseite der Probe

Reiht man die während des Schweißprozesses vom Tiefensensor gelieferten Profile aneinander, erhält man eine 3D-Darstellung mit „eingefrorenem“ Keyhole wie in Abbildung 3 dargestellt. Bei der verwendeten Scanfrequenz von 240 Hz und einer Vorschubgeschwindigkeit von 100 mm/s (6 m/min) erhält man in Vorschubrichtung alle 0,21 mm ein Profil. Um die Einschweißung sichtbar zu machen, wird das Diagramm entlang der Mitte aufgeschnitten dargestellt.

Die vom Tiefensensor gemessenen Kapillartiefen waren für gleiche Laserleistungen gut reproduzierbar, zeigen in Vorschubrichtung jedoch eine große Fluktuation und sind verglichen mit den aus Querschliffen ermittelten realen Einschweißiefen zu groß. Als Ursache beider Effekte wurden störende Reflexe des Messlichts aus der Bearbeitungsoptik identifiziert. Sie führen zu einer Konversion von Intensitätsschwankungen in scheinbare Distanzänderungen, weshalb die verminderte

Kontakt:

Harald Wölfelschneider
 Fraunhofer IPM
 Heidenhofstr. 8
 79110 Freiburg

Tel. 0761 8857-161

harald.woelfelschneider@ipm.fraunhofer.de

www.ipm.fraunhofer.de

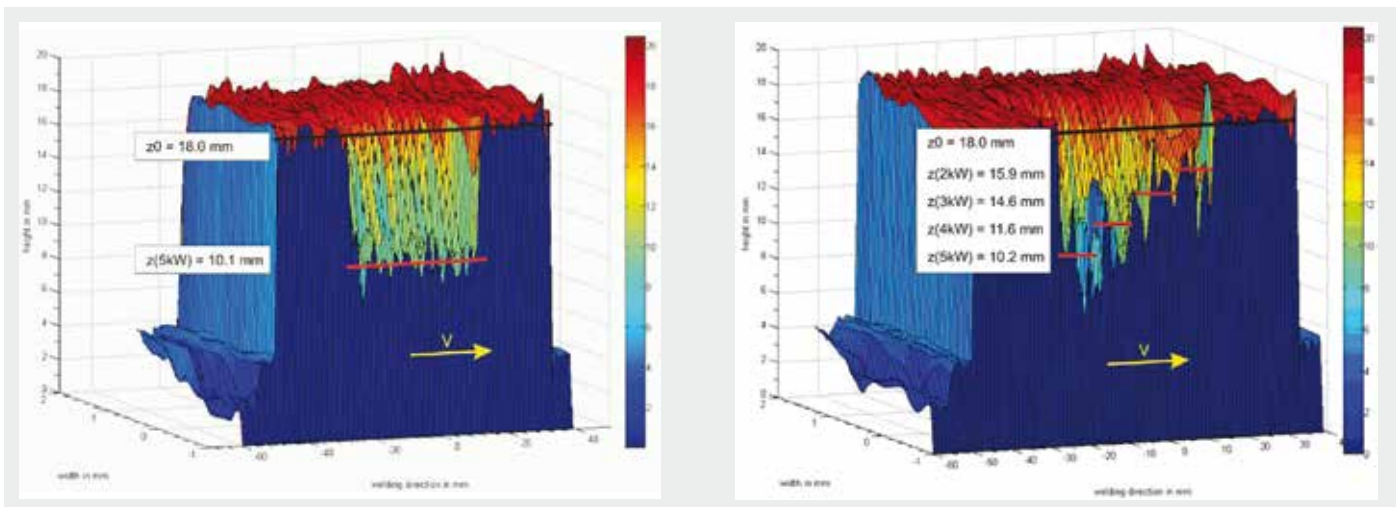


Abbildung 3: 3D Darstellung der gemessenen Profile eines Schweißprozesses mit konstanter (links) stufenweise reduzierter Laserleistung (rechts)