

Forschungsergebnisse

Optische Technologien

der Baden-Württemberg Stiftung gGmbH

Analoge Bildverarbeitung mit Cellularen Neuronalen Netzen zur Regelung von Laserschweißprozessen

Im Rahmen des durch die Baden-Württemberg Stiftung finanzierten Projekts „Analoge Bildverarbeitung mit Cellularen Neuronalen Netzen (CNN) zur Regelung laserbasierter Schweißprozesse“ gelang erstmals eine kamerabasierte Regelung von Laserschweißprozessen. In einem anschließenden Verwertungsprojekt wurden nun die Grundlagen für den Einsatz des Verfahrens für sehr unterschiedliche Anwendungen ausgebaut.

Laserschweißprozesse sind aus der modernen Produktion nicht mehr wegzudenken. Beispielsweise ermöglichen sie im Karosseriebau das schnelle und flexible Schweißen an schwer erreichbaren Stellen. Dennoch ist bis heute die Frage der Qualitätssicherung bei diesem wichtigen und zukunftsweisenden Produktionsverfahren nur unbefriedigend gelöst. Der Grund ist, dass die besonders effizienten Tiefschweißprozesse auf einem komplexen und hochdynamischen Zusammenspiel von Laserlicht, Schmelzströmungen und dem Druck des Metaldampfes beruhen. Durch die Zusammenführung von Prozesswissen und einer neuartigen Kamera- und Rechner-technologie, den sogenannten Cellularen Neuronalen Netzen (CNN), konnten wichtige Fortschritte auf dem Gebiet der Regelung von Laserschweißprozessen erzielt und für den industriellen Einsatz verfügbar gemacht werden.

Heutige Qualitätssicherungssysteme für Laserschweißprozesse überwachen das Schmelzbad entweder mit Photodioden oder mit konventionellen Kamerasystemen. Erstere sind zwar schnell, aber aufgrund ihrer integralen Messung zu wenig robust gegen äußere Einflüsse. Kamerabasierte konventionelle Bildverarbeitungssysteme können zwar viele Fehler erkennen, sind aber zu langsam, um in den Prozess einzugreifen. Daher wurde im Projekt „Analoge

Bildverarbeitung mit Cellularen Neuronalen Netzen (CNN)“ erstmals die CNN-Technologie in der industriellen Prozessüberwachung eingesetzt (s. Photonics BW Newsletter 2/2009).

Bei CNN handelt es sich um eine leistungsfähige analoge Rechner-technologie, welche aufgrund ihres geringen Schaltungsaufwandes in die elektrische Beschaltung der Pixel von CMOS-Kameras integriert werden kann. Auf diese Weise entsteht ein effizienter Parallelrechner, in dem die Bildinformationen aller 25 000 Pixel gleichzeitig verarbeitet werden. Abb. 1 zeigt die am Schweißkopf montierte CNN-Kamera, die das sogenannte Durchschweißloch innerhalb der Dampfkapillare mit einer Bildrate von bis zu 14 kHz abtastet und trotzdem die bisher übliche Intensitätsauswertung durch eine wesentlich robustere Konturauswertung des Durchschweißloches ersetzt [1, 2].

Die hohe Bildrate bildet die statistische Basis für die Zustandsbewertung des Schweißprozesses, aufgrund der die Laserleistung in einem zum Patent angemeldeten Verfahren innerhalb weniger Millisekunden angepasst wird [3]. Auf diese Weise können in Stahl- und Aluminiumblechen Spritzer und Schweißrauch vermindert, Verschmutzungen auf dem Schutzglas kompensiert oder Vorschubschwankungen beim ro-

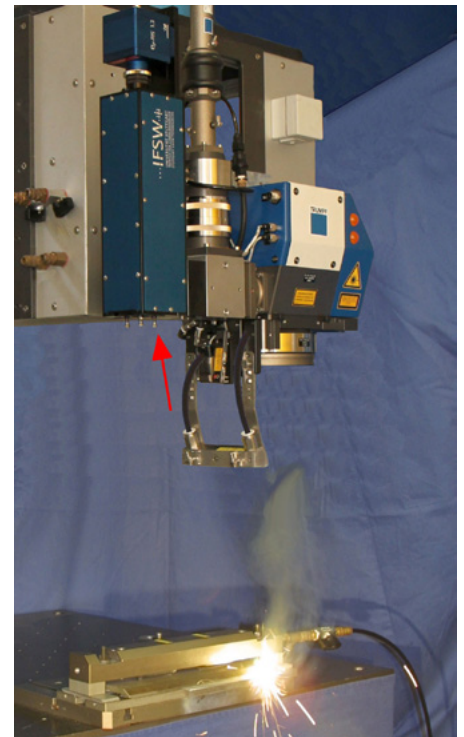
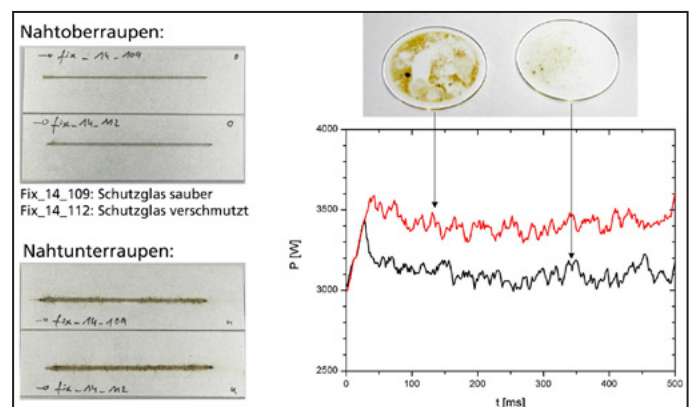


Abb. 1: Schweißkopf mit angebautem Regelsystem

botergestützten Remote-Schweißen kompensiert werden [4]. Abb. 2 zeigt dies am Beispiel einer vollständigen Durchschweißung mit sauberem und verschmutztem Schutzglas.

Die Projektergebnisse führten zu sehr positiven Reaktionen der Industrie. Die Anwendungsmöglichkeiten sind vielfältig: Schweißen dünner Bleche, Roboterschweißen, Rohrschweißen,

Abb. 2: Geregelte Durchschweißung mit sauberem Schutzglas (schwarze Kurve) und verschmutztem Schutzglas (rote Kurve), durch die Regelung wird die Laserleistung automatisch angehoben, sodass der Grad der Durchschweißung der Nahtunterraupe konstant bleibt



Stumpfstoßschweißen unterschiedlicher Materialien sind Beispiele, für die Anfragen für allfällige Umsetzungen in die Produktion vorliegen. Aus diesem Grund wurde von der Baden-Württemberg Stiftung ein zusätzliches Verwertungsprojekt finanziert, innerhalb dessen die Grundlagen für den Einsatz des

Verfahrens in sehr unterschiedlichen Anwendungen geschaffen wurden.

Dazu wurde ein industrietauglicher Prototyp des Regelsystems erstellt, welcher neben der CNN-Technologie auch eine optische Signalübertragung über eine schleppkettentaugliche Glasfaser enthält. Da das System aus kommerziell verfügbaren Komponenten besteht, kann es schnell in die Produktion überführt werden.

Das System ermöglichte weitere Tests des Verfahrens an verschiedenen Schweißgeometrien (I-Naht-Überlapp- und Stumpfstoß) sowie an verschiedenen Werkstoffen (verzinkter und nicht-verzinkter Baustahl, Edelstahl und Aluminium) mit Fokusburchmessern von 200 und 600 μm . Die experimentellen Untersuchungen zeigten, dass sich das Verfahren recht universell zur Regelung auf vollständige Durchschweißung einsetzen lässt. Außerdem zeigte sich, dass auch die Einschweißung in das Unterblech über die Rate der Durchschweißlöcher geregelt werden kann.

Die geregelte Einschweißung in zwei überlappende verzinkte Stahlbleche, wie sie in Abb. 3 gezeigt wird, ist insbesondere für den Karosseriebau wichtig. Die Laserleistung wird von der CNN-Kamera dergestalt geregelt, dass die Einschweißtiefe trotz variablem Vorschub nahezu konstant bleibt und die Blechunterseite durch die Schweißnaht nicht verletzt wird (Abb. 4). Dadurch können Schweißnähte im Sichtbereich platziert

werden und es wird das Abdampfen von Zink verhindert, was den Korrosionsschutz weiter verbessert [5].

Die Grenzen dieses Verfahrens liegen bei Schweißnahtfehlern, welche nicht direkt über die Laserleistung ausgeglichen werden können, insbesondere Nahteneinfall und sogenannte „Falsche Freunde“, bei den keine Anbindung zwischen Ober- und Unterblech besteht, obwohl sowohl die Nahtober- als auch die Nahtunterraupe korrekt aussehen. Für beide Fehlertypen könnte jedoch die CNN-Technik als Grundlage einer Mehrgrößenregelung dienen.

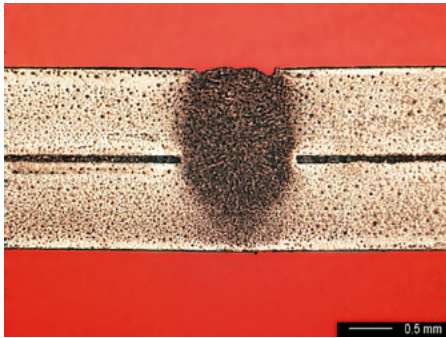


Abb. 3: Profil einer geregelten Einschweißung am Überlapp-Stoß

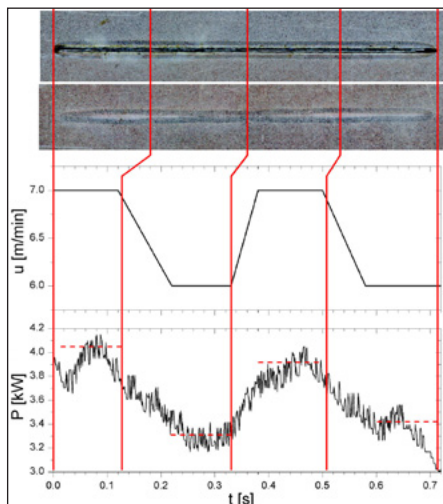


Abb. 4: Geregelte Einschweißung mit variablem Vorschub. Von oben: Nahtoberraupe, Wärmespur am Unterblech, Vorschub u, automatisch nachgeregelte Laserleistung P

Kontakt:

Andreas Blug
Fraunhofer Institut für Physikalische Messtechnik IPM
Heidenhofstr. 8
79110 Freiburg

Tel. (0761) 88 57 328
andreas.blug@ipm.fraunhofer.de

www.ipm.fraunhofer.de

Felix Abt
Institut für Strahlwerkzeuge (IFSW)
Universität Stuttgart
Pfaffenwaldring 43
70569 Stuttgart

Tel. (0711) 68 56 97 60
felix.abt@ifsw.uni-stuttgart.de

www.ifsw.uni-stuttgart.de

- [1] Abt, F.; Blug, A.; Nicolosi, L.; Dausinger, F.; Höfler, H.; Tetzlaff, R.; Weber, R. (2011): Real Time Closed Loop Control of Full Penetration Keyhole Welding with Cellular Neural Network Cameras. In JLMN 6 (2), pp. 131–137
- [2] Nicolosi, L.; Blug, A.; Abt, F.; Tetzlaff, R.; Höfler, H.; Carl, D. (2011): Real Time Control of Laser BeamWelding Processes - Reality. In Ákos Zarándy (Ed.): Focal-Plane Sensor-Processor Chips. 1.th ed. New York, NY: Springer Science+Business Media LLC
- [3] Verfahren zum Betrieb einer Vorrichtung und Vorrichtung. Erfinder: Blug, A.; Abt, F.; Nicolosi, L.; Anmelder: Baden-Württemberg Stiftung. Anmeldenummer DE 10 2010 013 914; WO 2011/120672
- [4] Blug, A.; Carl, D.; Höfler, H.; Abt, F.; Heider, A.; Weber, R. et al. (2011): Closed-loop Control of Laser Power using the Full Penetration Hole Image Feature in Aluminum Welding Processes. In Physics Procedia 12, pp. 720-729.
- [5] Abt, F.; Heider, A.; Weber, R.; Graf, T.; Blug, A.; Carl, D.; Höfler, H.; Nicolosi, L.; Tetzlaff, R. (2011): Camera Based Closed Loop Control for Partial Penetration Welding of Overlap Joints. In Physics Procedia 12, pp. 730–738