

Berichte aus der Lasertechnik

Boris Regaard

**Geometriebasierte Prozessüberwachung und
-regelung beim Laserstrahlschweißen durch koaxiale
Beobachtung des Schmelzbades mit Fremdbeleuchtung**

Shaker Verlag
Aachen 2013

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek

Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Zugl.: D 82 (Diss. RWTH Aachen University, 2012)

Copyright Shaker Verlag 2013

Alle Rechte, auch das des auszugsweisen Nachdruckes, der auszugsweisen oder vollständigen Wiedergabe, der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen und der Übersetzung, vorbehalten.

Printed in Germany.

ISBN 978-3-8440-1723-6

ISSN 0945-084X

Shaker Verlag GmbH • Postfach 101818 • 52018 Aachen

Telefon: 02407 / 95 96 - 0 • Telefax: 02407 / 95 96 - 9

Internet: www.shaker.de • E-Mail: info@shaker.de

Motivation für die im Rahmen dieser Arbeit vorgestellten Verfahren zur geometriebasierten Prozessbeobachtung ist der Bedarf an Laserschweißverfahren mit großer Prozesssicherheit und die Anforderung vieler Anwendungsbereiche, eine gleichbleibende Produktqualität bei großen Stückzahlen und einem hohen Automatisierungsgrad sicherzustellen.

Ausgangspunkt sind Qualitätssicherungssysteme, die eine Prozesszustandsüberwachung durch die Analyse optischer oder akustischer Prozessemissionen durchführen. Die Wirkbeziehungen zwischen diesen Prozessemissionen und Störgrößen beziehungsweise Parameterabweichungen sind bislang nur rudimentär verstanden, so dass eine physikalisch begründete Zuordnung von Messgrößen zu Prozessabweichungen nicht möglich ist. Die Prozessüberwachung erfolgt daher in der Regel durch den Vergleich der Messgröße mit Referenzmessungen aus einer so genannten *Gutschweißung*. Eine Abweichung des Messsignals wird als Prozessunregelmäßigkeit gewertet und führt zu einer Ausschleusung des Werkstücks. Abhängig von der Einstellung der Toleranzschwelle kann bei dieser Vorgehensweise entweder die Pseudofehler- oder die Durchschlupfrate reduziert werden; eine deterministisch abgesicherte Erkennung definierter Fehler ist jedoch nicht möglich.

Das in der vorliegenden Arbeit entwickelte Sensorprinzip verwendet eine Fremdbeleuchtungsquelle und eine zum Bearbeitungsstrahl koaxiale Kamerabeobachtung, um geometrische Prozesseingangs-, -zustands- und -ergebnisgrößen mit Hilfe von bildgebenden Verfahren zu messen. Ausgehend von dem grundsätzlichen Bedarf an einer Prozesssensorik zur Erkennung oder Vermeidung definierter Schweißnahtunregelmäßigkeiten werden die relevanten Komponenten für die bildgebende Prozessbeobachtung identifiziert. Unterschiedliche Ansätze zur koaxialen Beobachtung und Beleuchtung werden diskutiert und die gerätetechnischen und optischen Grundlagen für eine Auslegung der Fremdbeleuchtung, Bilderfassung und Bildverarbeitung werden erarbeitet. Das entwickelte modulare Konzept für den Aufbau bedarfsangepasster Beobachtungsoptiken und Auswertungssoftware wird vorgestellt.

Ein zentraler Arbeitspunkt ist die Entwicklung geeigneter Messverfahren zur quantitativen Erfassung relevanter Prozessgrößen. Bildverarbeitungsalgorithmen zur Messung der Lateralverschiebung, der Schmelzbad- und Kapillargeometrie, der Fugen- und Bauteilposition und des Bildkontrastes werden erarbeitet und Optimierungsstrategien werden diskutiert. Diese Algorithmen dienen als Grundbausteine für die Entwicklung individueller Lösungen für die Qualitätskontrolle, Anlagendiagnose und Prozessregelung. Bei den Anwendungsbeispielen liegt ein Schwerpunkt auf den Möglichkeiten des Verfahrens für die Prozessüberwachung beim Punkt- und Nahtschweißen, wobei im Gegensatz zu existierenden Konzepten voneinander unabhängige Messprinzipien zur Detektion definierter Prozessunregelmäßigkeiten eingesetzt werden. Diese Messprinzipien können beliebig kombiniert werden, um die individuell relevanten Fehlerklassen einer konkreten Anwendung zu überwachen.

Ein weiterer Schwerpunkt liegt in der Korrektur von Abweichungen der Vorschubbewegung des Bearbeitungsstrahls. Lageabweichungen sind insbesondere bei Stumpfstoßschweißungen eine häufige Ursache für Schweißunregelmäßigkeiten. Ausgehend von dem aktuellen Stand der Technik wird gezeigt, dass eine fehlerfreie Nahtfolgeregelung unbekannter Fugengeometrien bei Berücksichtigung von Bahnabweichungen nur möglich ist, wenn eine Messung der tatsächlichen Bahntrajektorie des Roboters erfolgt. Basierend auf den entwickelten Verfahren zur Erfassung der Lateralverschiebung und der Fugenposition wird ein erweiterter Nahtfolgealgorithmus vorgestellt, der eine hochgenaue Nahtfolge auch bei Verwendung von Handhabungssystemen mit geringer Bahngenauigkeit ermöglicht.

Die Kombination der Konzepte der autonomen Nahtfolge mit einer Regelung der Laserleistung durch die Auswertung der Schmelzbadlänge ermöglicht die Realisierung eines selbstregelnden Laserschweißprozesses. Die gleichzeitige Prozessüberwachung mit den hier vorgestellten Verfahren erlaubt eine in Grenzen autonome Prozessführung zum Schweißen von Werkstücken mit unterschiedlichen, unbekanntem Geometrien. Damit leistet dieses Sensorsystem einen Beitrag zur Entwicklung einer autonomen Produktionszelle für das Laserstrahlschweißen.