

Integration optischer Messmethoden zur Prozesskontrolle beim Laserstrahlschweißen

Der zunehmende Einsatz des Laserstrahlschweißens in zahlreichen Bereichen der industriellen Fertigung ist im Wesentlichen durch eine Steigerung der Wirtschaftlichkeit gegenüber konkurrierenden Verfahren begründet. Die Umsetzung der hohen Wirtschaftlichkeit geht jedoch einher mit der Forderung nach einer automatisierten Qualitätsüberwachungs- und Regelstrategie. Mit diesem Thema beschäftigte sich im Zeitraum von 2002 bis 2005 das Verbundprojekt „Integration optischer Messmethoden zur Prozesskontrolle beim Laserstrahlschweißen“ (INESS).

Für das Laserstrahlschweißen existieren zwar bereits verschiedene, auf unterschiedlichen Messmethoden basierende, kommerzielle Prozessüberwachungssysteme, jedoch vollzieht sich die Einführung dieser Systeme in die industrielle Fertigung sehr schleppend. Hauptgrund hierfür ist die oft unzureichende Zuverlässigkeit und begrenzte Aussagekraft der Systeme hinsichtlich aller zu überwachenden Merkmale. Bestehende Messmethoden basieren häufig auf der Auswertung eines einzelnen Indikators und können daher den Multiparameterprozess Laserstrahlschweißen nur unzureichend beurteilen. Eine kombinierte Auswertung verschiedener Indikatoren erhöht zwar die Aussagekraft, jedoch bieten Systeme aus Kombination von Einzeldetektoren, so genannte Multidetektorsysteme, in Kombination mit den üblichen Laseroptiken einen zu geringen Integrationsgrad. Die Systeme weisen eine enorme Störkontur auf, wodurch die Zugänglichkeit zum Werkstück behindert wird. Im Mittelpunkt des Projekts INESS stand die Entwicklung eines integrierten und damit industrierelevanten Prozessüberwachungssystems für das Laserstrahlschweißen von

Stahl und Aluminium mit Festkörperlasern. Das realisierte System kombiniert eine Pre-, In- und Postprozessüberwachung in kompakter Bauweise, was durch eine Fusionierung mehrerer Messprinzipien unter Zuhilfenahme bildgebender Sensorik erreicht wurde.

Das INESS-Projekt wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) innerhalb des Rahmenkonzeptes "Forschung für die Produktion von morgen" gefördert und vom Projektträger Forschungszentrum Karlsruhe (PTKA), Bereich Produktion und Fertigungstechnologien (PFT), betreut.

Partner in diesem Projekt waren die TRUMPF GmbH & Co. KG und die Precitec Optronik GmbH, sowie das Institut für Technische Optik der Universität Stuttgart (ITO) und die Forschungsgesellschaft für Strahlwerkzeuge (FGSW), die das Vorhaben auch koordinierte. Die Firmen DaimlerChrysler AG, Robert Bosch GmbH und Audi AG waren als Verfahrensanwender im Projekt durch einen assoziierten Industriekreis vertreten.

Das INESS-System

Im INESS-System sind in kompakter Bauweise mehrerer Messprinzipien vereint. Es wurde eine Pre- und Post-Lichtschnittmessung mittels eines ortsauflösenden Detektors in den Schweißkopf integriert. Dadurch kann während des Laserschweißprozesses im Vorlauf die Stoßgeometrie überprüft und mittels der optional integrierbaren Linearachse die Strahllage relativ zum Werkstück angepasst werden. Im Prozess selbst wird die Schmelzbad- und Kapillargeometrie mittels ortsauflösender Messtechniken ausgewertet und die relevanten Parameter bei Bedarf nachgeregelt. Im Nachlauf erfolgt eine Nahtberraupeinspektion. Flankierend wurden verschiedene Einzeldetektoren zur integralen Ermittlung der Prozessemissionen in verschiedenen spektralen Bereichen in den Bearbeitungskopf integriert, um die Aussagekraft und Zuverlässigkeit des Systems zu unterstützen.

Abbildung 1(links) zeigt eine Skizze des Schweißprozesses mit zu überwachendem Pre-, In- und Post-Prozessbereich, Abbildung 1(rechts) das INESS-Prozessüberwachungssystem an einem Strahlteilerwürfel. Ebenso zu sehen sind hier die Laseroptik mit integrierter Schutzglasüberwachung und ein eigens für das Projekt entwickelter Prozessadapter mit integrierter Medienführung.

Innovativ im Projekt INESS ist der Ansatz, sowohl die Pre- und Postprozess-Lichtschnitte als auch die Schmelzbad- und Kapillargeometrie mit nur einem ortsauflösenden Detektor zu erfassen. Hierzu wird eine CMOS-Kamera verwendet, die einerseits die Definition von verschiedenen Teilbildern, sog. *Regions of Interest* (ROI's) und das schnelle Umschalten zwischen ihnen zulässt, andererseits eine ausreichende Bildfolgefrequenz aufweist, um die verschiedenen Auswerteprozesse mit der jeweils nötigen Zeitauflösung zu detektieren.

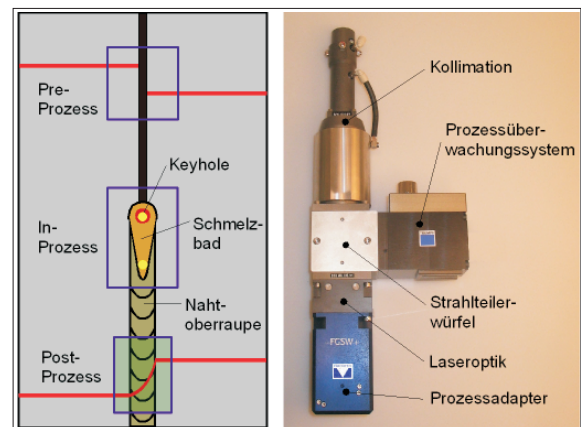


Abb. 1: Prozessüberwachung im Projekt INESS: Skizze des Schweißprozesses mit zu überwachendem Pre-, In- und Postprozessbereich (links), Festkörperlaser-Optik mit Prozessadapter und INESS-Prozessüberwachungssystem (rechts).

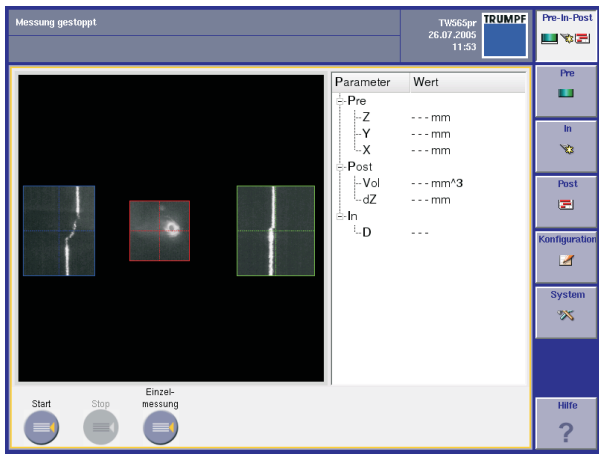


Abb. 2: Pre-, In- und Post-Gesamtansicht der Bedienoberfläche des INESS-Systems.

Darüber hinaus wurde ein durchgängiges Hard- und Softwarekonzept für Steuerung, Regelung und Bildverarbeitung entwickelt. Die Daten aller Sensoren werden an einen eigens im Rahmen des Projekts entwickelten Prozessrechner übertragen. Hierfür wurden geeignete Schnittstellen definiert, die eine optimale Anbindung bzw. Integration der unterschiedlichen Sensorsysteme ermöglichen. Sowohl die Visualisierung der Messdaten als auch die Konfiguration der einzelnen Messsysteme erfolgt über eine einheitliche Bedienoberfläche. In Abbildung 2 ist beispielhaft die Pre-, In- und Post-Gesamtansicht der Bedienoberfläche dargestellt. Es sind verschiedene weitere Bildschirmmasken aktivierbar, wie beispielsweise für die Pre-, In- und Post-Einzelprozesse oder die Systemkonfiguration. Ergänzend zu den integrierten Messsystemen wurden einerseits unterschiedliche Kon-

zepte für ein axial messendes Topometer untersucht, das es ermöglicht, die Topografie der Nahtoberfläche im Nachlauf des Schweißprozesses örtlich hoch aufgelöst zu messen, wobei in diesem Zusammenhang ein angepasster chromatisch-konfokaler Liniensensor aufgebaut wurde. Andererseits wurde die Realisierbarkeit eines *konfokalen Keyholesensors* mit mechanischem Tiefenscan untersucht, um die Einschweißtiefe während des Laserschweißprozesses direkt messen zu können.

Erprobung des Systems an Realbauteilen

Das INESS-System wurde beim Schweißen von Realbauteilen der Industriepartner erprobt. Im Folgenden sei beispielhaft eine Applikation des assoziierten Partners Daimler-Chrysler dargestellt. Bei diesem Bauteil handelt es sich um den Dachrahmen der Mercedes E-Klasse (Baureihe 211). Das Realbauteil ist in Abbil-

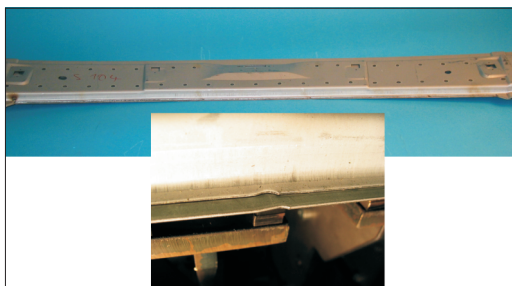


Abb. 3: Realbauteil zur Evaluierung des Gesamtsystems (Dachrahmen E-Klasse).

dung 3 dargestellt. Es handelt sich um verzinkte Stahlbleche mit der Nahtgeometrie Kehlnaht am Überlappstoß. Für die geschweißten Testteile wurden verschiedene Grenz-musterschweißungen durchgeführt mit Variation von Laserleistung, Fokusslage und Nahtposition. Aus der Erfahrung in der Praxis sind das wichtige, potenzielle Fehlerquellen.

Abbildung 4 zeigt als Screenshot den mit der integrierten CMOS-Kamera aufgenommenen Pre-, In- und Post-Prozessbereich beim Schweißen des Realbauteils. Der Hörsprung der Fugestelle ist durch den Pre-Lichtschnitt detektierbar, ebenso die Nahtober-raupengeometrie durch den Post-Lichtschnitt. Da beim Schweißen von verzinktem Stahlblech besonders intensives Prozesslicht entsteht, ist jedoch ein Einstrahlen von Prozesslicht in den Post-

Es wurde ein System realisiert, das eine Pre-, In- und Post-Prozessüberwachung in kompakter Bauweise kombiniert. Die Nahtverfolgung und die Vermessung der Nahtober-raupe erfolgt mittels Triangulationsverfahren, für die In-Prozessüberwachung wird die orts aufgelöste Messung mit der Analyse der Prozess-emissionen mit Einzeldetektoren kombiniert.

Die Messdaten werden von einem zentralen Rechner erfasst, visualisiert und ausgewertet. Darüber hinaus sind die einzelnen Messsysteme über diesen Rechner mittels einer einheitlichen Bedien-oberfläche konfigurierbar.

Die Abschlussveranstaltung des INESS-Projekts mit Fachvorträgen und Demonstration des entwickelten Prozessüberwachungssystems, fand am 30. September 2005 im Rahmen der Stuttgarter Lasertage '05 statt.

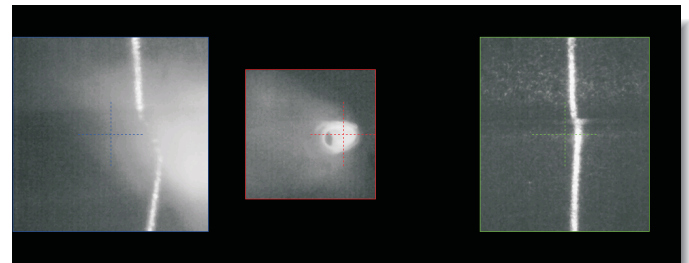


Abb. 4: Screenshot des Pre-, In- und Post-Prozessbereichs beim Schweißen eines Realbauteils.

Prozessbereich zu sehen. Im In-Prozessbereich ist die Kapillaröffnung zu sehen. Das In-Prozessbild wird mit Mitteln der Bildverarbeitung ausgewertet und dadurch eine Korrelation zu Schweißparametern und -defekten hergestellt.

Zusammenfassung

Mit dem INESS-System steht ein flexibles Werkzeug für eine umfassende Prozessüberwachung beim Laserstrahlschweißen mit Festkörperlasern zur Verfügung. Das System konnte seine Funktionalität und sein Potenzial bereits beim Schweißen von Realbauteilen zeigen.

Institutsadresse:

Institut für Strahlwerkzeuge
Pfaffenwaldring 43
70569 Stuttgart
Tel.: +49 (0)711-685 6840
Fax: +49 (0)711-685 6842
<http://www.ifsw.uni-stuttgart.de>

Autor:

Dipl.-Phys. J. Müller-Borhanian
FGSW - Forschungsgesellschaft
für Strahlwerkzeuge
Pfaffenwaldring 43
70569 Stuttgart
Tel.: +49 (0)711351 451-30
Fax: +49 (0)711351 451-31
E-Mail: juergen.mueller@fgsw.de

Kontakt / Redaktion:

Dipl.-Ing. Friedemann Lichtner
Tel.: +49 (0)711351 451-28
Fax: +49 (0)711351 451-29
E-Mail: friedemann.lichtner@fgsw.de
<http://www.fgsw.de>