

Integration optischer Messmethoden zur Prozesskontrolle beim Laserstrahlschweißen (INESS)

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. Im März 2002 startete zu diesem Thema das Verbundprojekt „Integration optischer Messmethoden zur Prozesskontrolle beim Laserstrahlschweißen“ INESS (s. LASER MAGAZIN 2/2002). Das Projekt ist im Rahmenkonzept „Forschung für die Produktion von morgen“ des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) eingebunden und wird vom Forschungszentrum Karlsruhe als „Projekträger des BMBF für Produktion und Fertigungstechnologien“ getragen.

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 bezüglich weniger Merkmale beurteilen. Eine kombinierte Auswertung verschiedener Indikatoren erhöht zwar die Aussagekraft, jedoch bieten Systeme aus Kombination von Einzeldetektoren, sogenannte Multidetektorsysteme, einen zu geringen Integrationsgrad unter Verwendung der üblichen Laseroptiken. Die

Systeme weisen eine enorme Störkontur auf, wodurch die Zugänglichkeit zum Werkstück behindert wird.

Im Mittelpunkt des Projekts INESS steht der Aufbau eines fertigungssicheren Prozessüberwachungs- und Regelungskonzeptes für das Schweißen mit Nd:YAG-, Yb:YAG- und Diodenlasern. Ein hoher Grad an Integration und Miniaturisierung umfasst dabei eine Laserprozesssensorik und Aktorik zur Bahnführung, eine zeitlich und örtlich hochauflösende Beobachtung der Schmelzbad- und Kapillargeometrie und die Überwachung der Nahtoberraupe.

Die Hauptziele des Vorhabens sind:

1. Durchgängige modulare Integration der unterschiedlichen Mess- und Stell-systeme.
2. Sichere und eindeutige Detektion qualitätsrelevanter Kenngrößen durch ortsaufgelöste Sensorik und der Kombination von Pre-, In- und Postprozess-Informationen.

3. Regelung qualitätsrelevanter Kenngrößen des Laserschweißprozesses (z.B. Fokuslage, Einschweißtiefe, Nahtlage) und dadurch Vermeidung von Ausschuss und Nacharbeit.

4. Erhöhung der Prozessgeschwindigkeit durch Optimierung des Schweißprozesses.

5. Schaffung der Basis für eine rasche Umsetzung und Markteinführung des Konzeptes.

Partner in diesem Projekt sind die Firmen und Institute TRUMPF GmbH & Co.KG, JURCA Optoelektronik GmbH & Co.KG, Institut für Technische Optik der Universität Stuttgart (ITO) und Forschungsgesellschaft für Strahlwerkzeuge (FGSW), die das Vorhaben auch koordiniert. DaimlerChrysler AG, Robert Bosch GmbH und Audi AG sind als Verfahrensanwender im Projekt durch einen assoziierten Industriekreis vertreten.

Einige hinreichende Lösungen für die Aufgaben Nahtverfolgung, Schmelzbadbeobachtung und Nahtoberraupeninspektion beim Laserstrahlschweißen sind bekannt, existieren aber derzeit nur als diskrete Einzelsysteme. Die Entwicklung eines integrierten und damit industrierelevanten Überwachungssystems soll durch eine Fusionierung mehrerer Messprinzipien unter Zuhilfenahme von Bildsensoren ermöglicht werden. Es ist vorgesehen, eine Pre- und Post-Lichtschnittmessung mittels eines ortsauflösenden Detektors (CMOS-Bildaufnehmer) in den Schweißkopf zu integrieren. Dadurch kann während des Laserschweißprozesses im Vorlauf die Stoßgeometrie überprüft, zu fügende Werkstücke zuein-

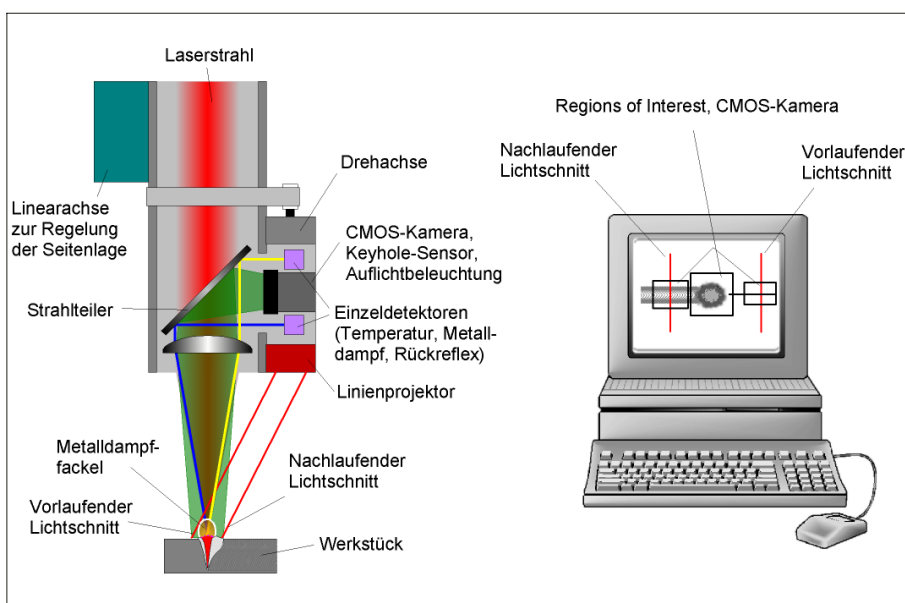


Abb. 1: Beispielhaftes System und Darstellung des Auswertbereichs.

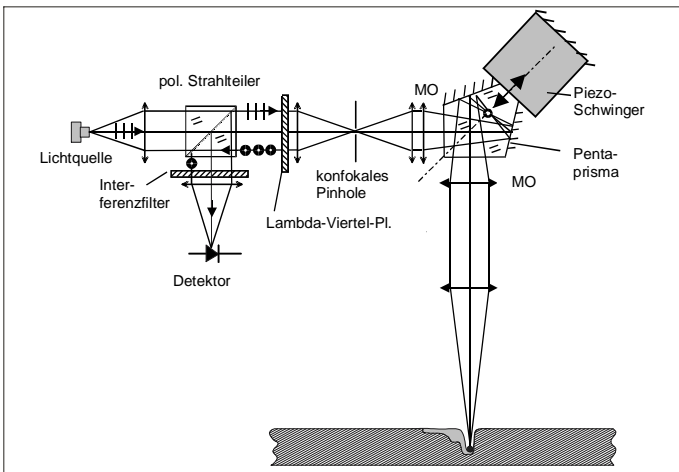


Abb.2: Schematischer Aufbau des Keyholesensors mit Penta-Prisma und Piezo-Schwingers.

ander justiert und die Strahl-lage zum Werkstück angepasst werden. Im Prozess selbst soll die Schmelzbad- und Kapillar-geometrie mittels ortsauf-lösender Messtechniken ausgewertet und die relevanten Parameter bei Bedarf nach-geregelt werden. Im Nachlauf erfolgt die Nahtberrauen-inspektion. Flankierend werden verschiedene Einzel-detektoren zur integralen Ermittlung der Prozess-emissionen in verschiedenen spektralen Bereichen in den Bearbeitungskopf integriert, um die Aussagekraft und Zuverlässigkeit des Systems zu unterstützen. Abbildung 1 zeigt die Skizze eines beispiel-haften Systemkonzepts. Dargestellt ist der Laserschweißkopf mit integrierter Sensorik und die Auswerteeinheit. Für die Lichtschnittverfahren zur Nahtverfolgung und Naht-rauheninspektion sind verschiedene Systeme verfügbar. Da erhältliche Lichtschnitt-sensoren jedoch mit einem großen Triangulationswinkel arbeiten und deshalb für die Integration in den Laserbearbeitungskopf ungeeignet sind, werden alternativ axial messende Topografie-Verfahren untersucht. Insbesondere kommen dabei die mikro-skopische Streifenprojektion und die konfokale Mikro-skopie in Betracht.

Bestehende Messprinzipien wurden häufig für das Schweißen von Stahlwerkstoffen bzw. für das Schweißen mit dem CO₂-Laser entwickelt. Diese Messprinzipien werden für das Schweißen von Aluminium-legierungen mit Festkörperlasern erweitert. Auch die Auswertung der Schmelzbad- und Kapillar-geometrie ist beim Schweißen von Stahlwerkstoffen mit dem CO₂-Laser (z.B. QUALAS) bekannt und liefert Zugang zu primären Prozessgrößen. Allerdings sind einerseits die Prozessemissionen beim Schweißen mit Festkörperlasern verglichen mit denen beim Schweißen mit dem CO₂-Laser spektral sehr unterschiedlich. Andererseits sorgen die thermophysikalischen Eigenschaften des Werkstoffs Aluminium für eine sehr hohe Prozess-dynamik. Um die hochdy-namischen Prozesse mit ausreichender Zeitauflösung zu erfassen, sind deshalb bei der Aufzeichnung der Schmelzbad- und Kapillar-geometrie mittels einer CMOS-Kamera Bildfolge-frequenzen von mehreren 100Hz erforderlich. Innovativ ist der Ansatz, sowohl die Pre- und Post-prozess-Lichtsnitte als auch die Schmelzbad- und Kapillar-geometrie mit nur einem ortsauflösenden Detektor zu erfassen. Hierzu wird eine

CMOS-Kamera verwendet, die einerseits die Definition von verschiedenen 'regions of interest' (ROI's) zulässt, andererseits eine ausreichende Bildfolgefrequenz aufweist, um die verschiedenen Auswerteprozesse mit der jeweils nötigen Zeitauflösung zu detektieren. Die in Abbildung 1 dargestellte Auswerteeinheit zeigt einen Ausschnitt des Kamerabildes mit vor- und nachlaufendem Lichtschnitt und den drei ROI's für die Pre-, In- und Postprozessüberwachung. Da die direkte Messung der Einschweißtiefe während der Bearbeitung derzeit noch nicht möglich ist, werden axial messende Methoden untersucht, mit denen ein Key-holesensor realisiert werden kann. Das Ziel ist es, die Kapillartiefe während des Schweißprozesses mit einer Abtast-frequenz von ca. 1 kHz messen zu können. Eine mögliche Realisierungs-variante ist in Abbildung 2 dargestellt. Hier dient als Messprinzip die konfokale Mikroskopie. Das von einer Laserlichtquelle ausgehende kollimierte Licht passiert einen Strahlteiler, anschließend das konfokale Pinhole und wird über das Penta-Prisma in das Keyhole fokussiert. Durch die Schwingbewegung des Penta-Prismas wird die Tiefenposition des Fokus im Takt der Schwingung verändert. Nur wenn der Fokus auf den Kapillargrund abgebildet wird, kann das rückreflektierte Strahlbündel das konfokale Pinhole passieren und gelangt auf den Detektor. Das in Abbildung 2 dargestellte System funktioniert derzeit als Laborsystem. Der Transfer zur Tiefenmessung während des Laserstrahlschweißens wird zunächst für geringe Einschweiß-tiefen realisiert werden. Erfolgsentscheidend ist ein durchgängiges Hard- und Softwarekonzept für Steuerung, Regelung und Bild-

verarbeitung. Die Daten aller Sensoren sollen an den im Rahmen des Projekts zu entwickelnden Prozessrechner übertragen werden. Hierfür sind geeignete Schnittstellen zu definieren, die eine optimale Anbindung bzw. Integration der unterschiedlichen Sensorsysteme ermöglichen.

Wir danken dem Bundes-ministerium für Bildung und Forschung für die anteilige Förderung und dem For-schungszentrum Karlsruhe für die Projektträgerschaft und die gute Zusammenarbeit.



INESS-Projekt

Koordination:
Dr.-Ing. Matthias Müller
Dipl.-Phys. Jürgen Müller
FGSW-Forschungsgesellschaft
für Strahlwerkzeuge mbH
Nobelstr. 15
70569 Stuttgart
E-Mail:
juergen.mueller@fgsw.uni-stuttgart.de

<http://www.iness-projekt.de>

Institutsadresse:

Institut für Strahlwerkzeuge
Pfaffenwaldring 43
70569 Stuttgart
Tel.: +49 (0)711-685 6840
Fax: +49 (0)711-685 6842

Autor:

Dipl.-Phys. Jürgen Müller

Kontakt / Redaktion:

Dipl.-Ing. Friedemann Lichtner
FGSW - Forschungsgesellschaft
für Strahlwerkzeuge mbH
Nobelstr. 15
70569 Stuttgart
Tel.: +49 (0)711-687 4311
Fax: +49 (0)711-6868 7281
E-Mail:
lichtner@fgsw.uni-stuttgart.de
<http://www.ifsw.uni-stuttgart.de>