

Zentrum für Diagnostik laserbasierter Fertigungsverfahren in der FGSW

Der globalisierte Wettbewerb erzwingt, bei steigender Produktvielfalt Entwicklungszeiten weiter zu verkürzen und gleichzeitig die Produktionskosten zu senken. Ein wesentlicher Beitrag dazu kann durch Vermeidung von Ausschuss erreicht werden, wofür sichere Verfahren und zuverlässige Überwachungseinrichtungen erforderlich sind. Um dies zu erreichen sind fundierte Kenntnisse über die Ursache sporadisch auftretender Prozessinstabilitäten erforderlich, die jedoch selbst bei vielfach industriell eingesetzten Laser-Verfahren zum Schneiden, Schweißen und Bohren nicht vorliegen. Dies liegt daran, dass auf experimentellen Weg nur sehr schwierig Auskunft über Prozessstörungen erhalten werden kann, welche meist auf extrem kurzen Zeitskalen und räumlichen Dimensionen im Mikrometerbereich meist unterhalb der Werkstückoberfläche ablaufen. Angesichts der Komplexität und Schwierigkeit der Aufgabe ist eine Kombination unterschiedlicher Analyseverfahren erforderlich, die höchstmögliche zeitliche und räumliche Auflösung bieten.

In der Forschungsgesellschaft für Strahlwerkzeuge mbH (FGSW) wird ein "Zentrum für Diagnostik laserbasierter Fertigungsverfahren" eingerichtet. Zur Ausstattung des Zentrums werden modernste Diagnose- und Messeinrichtungen zählen, welche die oben genannten Anforderungen erfüllen und in dieser Zusammenstellung weltweit einmalig sind. Die finanziellen Mittel zur Beschaffung der Geräte wurden im Rahmen der "Zukunftsoffensive III" des Landes Baden-Württemberg bereitgestellt. Die vielseitige Diagnostikausstattung des Zentrums ermöglicht der FGSW Projekte zur Aufklärung qualitätsmindernder Prozessstörungen durchzuführen sowie die Industrie bei der Lösung akuter Fertigungsprobleme zu unterstützen.

Die Ausstattung des "Zentrums für Diagnostik laserbasierter Fertigungsverfahren" wird nach vollständigem Ausbau folgende Geräte und Messeinrichtungen umfassen.

- Echtzeit-Bildverarbeitungssystem
- Hochgeschwindigkeits-Farbvideo
- Hochgeschwindigkeits-Infrarotkamera
- Hochgeschwindigkeits-Mikrofokus-Röntgenanlage
- Lichtschnittsystem
- Kurzzeitdiagnostik mit ICCD-Kamera

- Strahl-Diagnostik
- Topographie-Messsystem
- Pikosekundenlaser
- Nanosekundenlaser
- Hochgeschwindigkeits-Handlingsystem
- Hochgeschwindigkeits-Spektrometer

Im Folgenden wird zunächst vorwiegend auf bereits beschaffte Geräte eingegangen, die eine Prozessdiagnostik in Echtzeit erlauben. In einer späteren Ausgabe wird die Beschreibung der übrigen erfolgen.

Echtzeit-Bildverarbeitung

Mit Hilfe des Echtzeit-Bildverarbeitungssystems kann die Echtzeitfähigkeit von Bildverarbeitungsalgorithmen zur Erfassung der Schmelzbad- und Kapillargeometrie beim Laserstrahlschweißen untersucht werden. Um eine hinreichende Bildwiederholrate verarbeiten zu können ist der Einsatz spezieller Beschleunigerhardware (DSP: Digital Signal Processor) in Verbindung mit schnellen Berechnungsroutinen nötig. Das System stellt eine selbstständige, echtzeitfähige, sehr schnelle Bildverarbeitungseinheit mit kompletter Prozessperipherie dar. Es lässt den flexiblen Einsatz von Bildverarbeitungsalgorithmen zu und bietet zudem die Möglichkeit, die Daten von Einzeldetektorsignalen und Bilddaten synchron zu erfassen und korreliert auszuwerten. In Verbindung mit einer oder mehreren Hochgeschwindigkeitsdetektoren können somit Prozessaufnahmen erfasst, ausgewertet und die Ergebnisse zur Kontrolle ausgegeben werden.

Hochgeschwindigkeits-Farbvideo

Für das Prozessverständnis hochdynamischer Vorgänge ist eine digitale Hochgeschwindigkeits-Videokamera unerlässlich. Zum Beispiel treten beim Laserstrahlschweißen Strömungsgeschwindigkeiten im Schmelzbad auf, die um Größenordnungen größer als die Vorschubgeschwindigkeit des Lasers sind und die zu Prozessinstabilität führen können. Die Visualisierung der Schmelzbaddynamik hilft die Nahtqualität mindernde Vorgänge wie Schmelzauswurf und Spritzerbildung zu erfassen. Mit Kameraverschlusszeiten im Mikrosekundenbereich sowie Aufzeichnungsgeschwindigkeiten im kHz-Regime in Vollauflösung und über 100 kHz bei reduzierter Auflösung werden detaillierte Aufzeichnungen des Bearbeitungsprozesses ermöglicht. Weiterhin kann das Vordringen des Bohrlochs beim Laserstrahlbohren keramischer Werkstoffe in Kombination mit gepulstem Beleuchtungs-

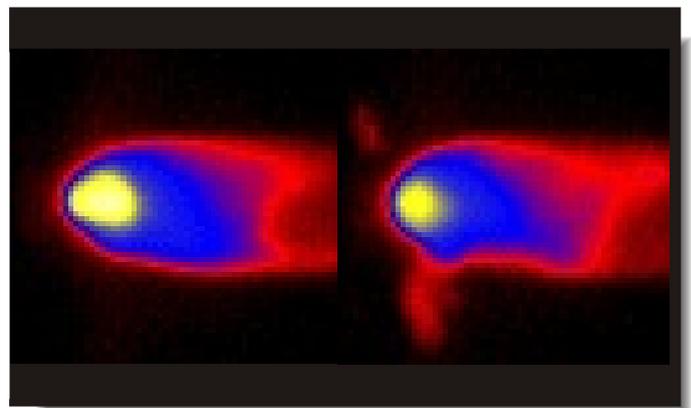


Abb. 1: Schmelzbadaufnahmen im Falschfarbenmodus beim Laserstrahlschweißen. Die Kapillarregion (gelb), das Schmelzbad (blau) und die Schmelzfront (rot) sind deutlich erkennbar.

Laser detailliert verfolgt werden. Dadurch können weitere Erkenntnisse über den Ablauf des Bohrprozesses erzielt werden.

Hochgeschwindigkeits-Infrarotkamera

Die thermische Visualisierung des Schmelzbades beim Laserstrahlschweißen gibt Aufschluss über die Temperaturverteilung und lässt somit Rückschlüsse auf die Strömungsmechanismen im Schmelzbad zu, dient also unmittelbar dem Prozessverständnis. Der Spektralbereich von CCD- und CMOS-Kameras ist für die Schmelzbadvisualisierung nicht ausreichend. Hier ist der Einsatz von IR-Kameras notwendig. Die Bildwiederholfrequenz herkömmlicher IR-Kameras ist jedoch auf 50 Hz beschränkt und damit zu gering, um die Schmelzbadynamik zu erfassen. Die zur Ausstattung des Diagnostik-Zentrums zählende IR-Kamera ist eine der neuesten Entwicklungen auf dem Sektor der bildgebenden Detektoren im infraroten Spektralbereich. Die Kamera hat eine Vollbildwiederholfrequenz ($256 \times 256 \text{ Pixel}^2$) von 880 Hz bei einer exzellenten Temporauflösung im mK-Bereich. Die Belichtungszeiten sind von einigen Mikrosekunden bis mehreren Millisekunden einstellbar. Verbunden mit maximaler Empfindlichkeit im Spektralbereich zwischen $35 \mu\text{m}$ und

hoher Dynamik für die Auflösung von Hell-Dunkel-Kontrasten ist diese Hochgeschwindigkeits-Infrarotkamera bestens geeignet, um die Temperaturverteilung des Schmelzbades mit ausreichender Zeitauflösung aufzuzeichnen.

Hochgeschwindigkeits-Spektrometer

Durch Messung der spektralen Verteilung der Prozessemissionen können die Zusammensetzung des Metaldampfes und die Anregungszustände der beteiligten Spezies bestimmt werden. Dadurch sind Rückschlüsse auf den Prozess selbst, wie zum Beispiel Schmelzbadmischung oder Bohrlochdurchbruch möglich. Da gängige Methoden zur Prozessüberwachung auf der Analyse der Prozessemissionen in bestimmten Spektralbereichen basieren, dienen die spektroskopischen Untersuchungen zudem bei der Entwicklung von Prozessüberwachungsmethoden als Grundlage für die Bestimmung geeigneter Detektorwellenlängen.

Strahl-Diagnostik

Der Einsatz von Laserstrahlung als Werkzeug erfordert die genaue Kenntnis der Eigenschaften des eingesetzten Laserstrahls. Die Sicherstellung einer hohen Bearbeitungsqualität hängt bei allen Bearbeitungsprozessen maßgeblich von der Qualität des-

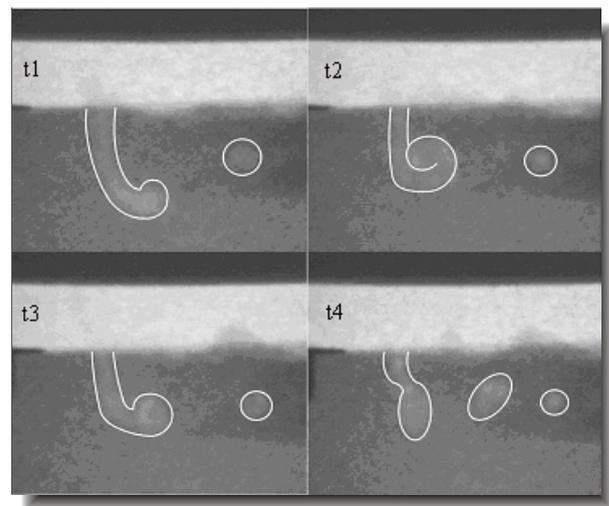


Abb.3: Visualisierung des zeitlichen Verhaltens der Dampfkapillare und Porenbildung beim Laserstrahl-tiefschweißen durch eine Mikrofokus-Röntgenanlage.

Laserstrahls ab. Ein kamerabasiertes Strahldiagnostiksystem mit hoher Dynamik ermöglicht eine präzise Messung der Ausbreitungseigenschaften des Strahls wie zum Beispiel Taillenlage, Tailendurchmesser, Divergenzwinkel und Fokussierbarkeit. Mit Hilfe eines solchen Systems können Veränderungen des Lasers wie auch des optischen Systems, die zum Beispiel durch thermische Effekte oder Zerstörung von Komponenten entstehen, detektiert werden. Das Strahldiagnostiksystem ist im Wellenlängenbereich 190 nm bis 1100 nm für Puls- und Dauerstrichlaser einsetzbar. Die Vermessung des Laserstrahls erfolgt nach DIN ISO 11146.

Hochgeschwindigkeits-Mikrofokus-Röntgenanlage

Mit Hilfe eines noch zu beschaffenden Online-Röntgen-Systems kann die Kapillarform beim Lasertiefschweißen und Laserbohren sowie ihr zeitliches Verhalten in Echtzeit beobachtet und dargestellt werden. Aus der Geometrie des Strahlenganges der Anlage ergeben sich besonders hohe geometrische Vergrößerungsfaktoren von >3600 . Durch die geringe Ausdehnung der emittierenden Fläche

können selbst bei dieser hohen Vergrößerung sehr scharfe Bilder mit einer Auflösung im Mikrometerbereich erzeugt werden. Dadurch ist es möglich, Fehlerentstehungsprozesse wie zum Beispiel Porenbildung zu visualisieren. Die so gewonnenen Ergebnisse sind ein Schlüssel zum Verständnis des Tiefschweißprozesses sowie des Bohrprozesses und tragen zur Verbesserung von Modellbildung, Simulation und Prozesskontrolle wesentlich bei.

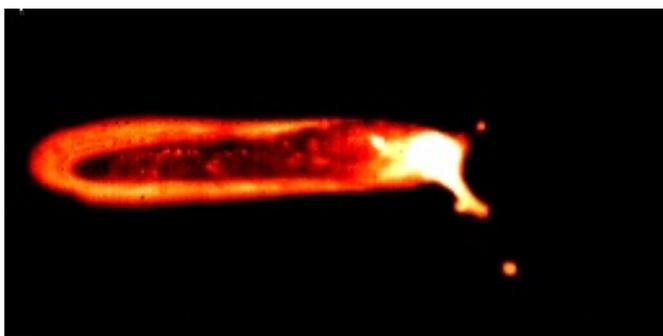


Abb.2: Schmelzbad- und Kapillarbereich beim Schweißen von Stahl mit einem Nd:YAG-Laser. Auflösung $256 \times 128 \text{ Pixel}^2$, Bildfolgefrequenz 1700 Hz.

Institutsadresse:

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

Autor::

Prof. Dr. Friedrich Dausinger
FGSW - Forschungsgesellschaft
für Strahlwerkzeuge
Nobelstr. 15
70569 Stuttgart
Tel.: +49 (0)711351 451-12
Fax: +49 (0)711351 451-13
E-Mail: dausinger@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.fgs.de>