



Verborgenes sichtbar machen - Hochgeschwindigkeits-Röntgendiagnostik beim Laserstrahlschneiden

Im Herbst 2010 wurde am Institut für Strahlwerkzeuge (IFSW) in Stuttgart eine Röntgenanlage in Betrieb genommen, mit der es erstmals in Europa möglich wurde, Laserprozesse sowohl innerhalb des Materials als auch während der Bearbeitung zu beobachten. Das seitdem etablierte Diagnostikmittel, wurde nun in Zusammenarbeit mit der Firma PRECITEC GmbH & Co. KG zur Beobachtung von Laserstrahlschneidprozessen modifiziert. Diese Modifizierung ermöglicht eine in-Prozess Analyse der physikalischen Abläufe beim Laserstrahlschneiden und somit einen erstmaligen Blick in das Innere des Schneidprozesses. Dabei konnte die Schneidfront bereits eindeutig identifiziert und quantifiziert werden.

Die maximal verfügbare Laserleistung von Festkörperlasern ist in den letzten Jahren kontinuierlich gestiegen. Aufgrund dessen konnten die maximale Vorschubgeschwindigkeit und die maximale Schnitttiefe erhöht werden. Die erreichte Schnittqualität beim Schneiden dicker Materialien ist jedoch oft unzureichend. Dies äußert sich vor allem in Bart- und Riefenbildung, welche zu rauen Schnittkantenoberflächen führt. Die Frage nach dem physikalischen Hintergrund des Qualitätsverlustes kann nun um die neue (Röntgen-)Perspektive erweitert werden, da die prozessrelevanten Merkmale, wie z. B. die Geometrie der Schneidfront, mit herkömmlicher Diagnostik nur schwer zu beobachten sind. Diese Tatsache motivierte das Institut für Strahlwerkzeuge in Zusammenarbeit mit der Firma PRECITEC GmbH Co. & KG

neue Grundlagenforschungen im Bereich des Laserstrahlschneidens mit Festkörperlasern anzustoßen. Untersucht werden insbesondere die Chancen und Möglichkeiten von Strahlformung beim Laserstrahlschneiden.

Zur Umsetzung dieser Aufgabe musste zunächst die bestehende Anlage [1] (Abbildung 1) mit einem neuen Spannmittel (1) erweitert werden, welches zum einen die Probe zwischen Röntgenröhre (2) und Kamera (3) positioniert und zum anderen ein Auffangen des ausgetriebenen Materials sicherstellt. Darüber hinaus wurde eine Versorgung mit Schneidgas in die Anlage integriert, welche Drücke bis zu 30 bar erlaubt.

Eine zusätzlich implementierte, kapazitive Abstandsregelung sorgt für einen

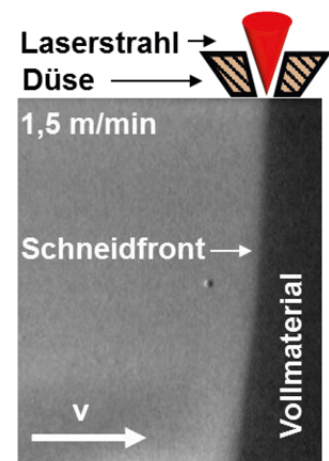


Abbildung 2: Grauwertaufnahme eines geröntgten Laserstrahlschneidprozesses.

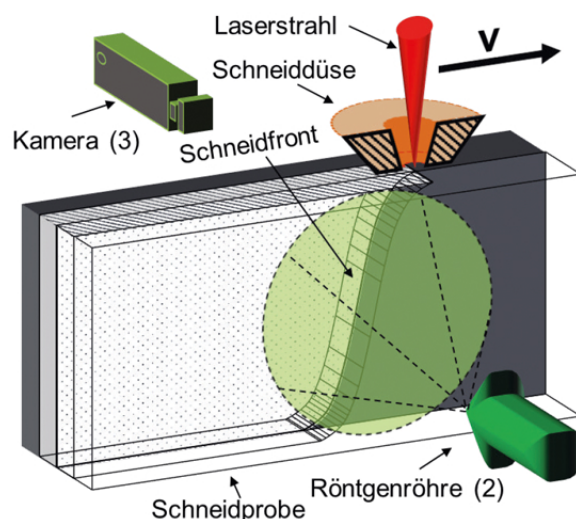
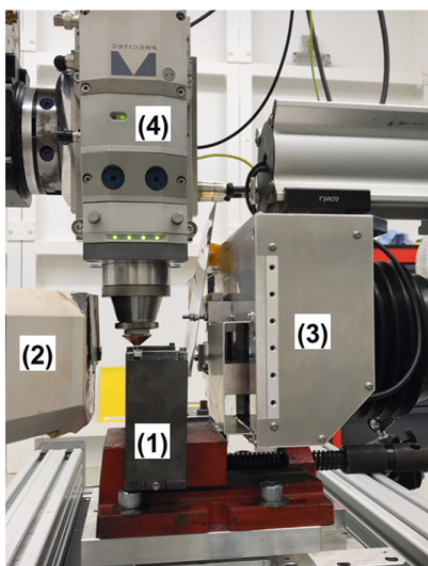


Abbildung 1: Hochgeschwindigkeits-Röntgenvideo-System mit Spannmittel (1), Röntgenröhre (2), Kamera (3), Schneidoptik inkl. Abstandsregelung (4), links. Schematische Darstellung des Versuchsaufbaus, rechts.

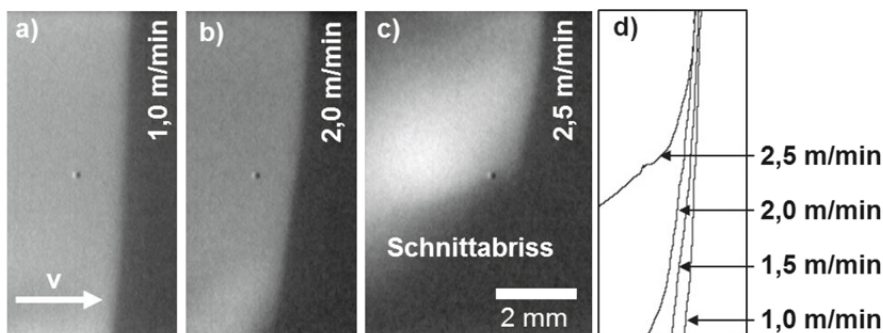


Abbildung 3: Mittelwertbild der Röntgenaufnahmen über 3 mm Schnittlänge in Abhängigkeit des Vorschubes, a-c. Gefilterte Schneidfronten, d.

definierten Abstand zwischen Schneidoptik (4) und Schneidprobe.

Im Dezember 2018 konnte erstmals eine High-Speed Röntgenaufnahme beim Laserstrahlschneiden von dicken Blechen demonstriert werden. Als Strahlquelle kam hierfür ein TruDisk 8001 Scheibenlaser zum Einsatz. Die emittierte Strahlung besitzt eine Wellenlänge von 1030 nm bei einer maximalen Laserleistung von 8 kW, welche über ein Lichtleitkabel mit 100 µm Durchmesser zur PRECITEC ProCutter-Schneidoptik transportiert wurde. Mit dem im Schneidkopf implementierten EdgeTec-Strahlformungsmodul, wurde eine Intensitätsverteilung in der Form eines Ringes in der Fokusebene abgebildet. Die Schneiddüse mit einem Auslassdurchmesser von 2,5 mm, wurde 1 mm oberhalb der 10 mm starken Edelstahlprobe positioniert. Die notwendige Relativbewegung zwischen Laserstrahl und Werkstück wurde über ein Verfahren der Schneidprobe realisiert. Bei einer gewählten Laserleistung von 8 kW, einer Fokusbildung von 1 mm unterhalb der Blechoberfläche und 12 bar Schneidgasdruck konnten Schnitte mit zunehmender Vorschubgeschwindigkeit bis zum Schnittabriss beobachtet werden.

Abbildung (2) zeigt eine Röntgenaufnahme von einem Laserstrahlschneidprozess, dargestellt als zeitliches Mittelwertbild. Die Röntgenstrahlen werden bei ihrer Propagation durch die Schneidprobe in Abhängigkeit der Schichtdicke des durchstrahlten Körpers absorbiert. Dadurch ist in den Grauwertaufnahmen ein deutlicher Kontrast zwischen Vollmaterial (dunkel) und Schnittfuge (hell) sichtbar. Dieser Grau-

wertkontrast liefert zeitlich sowie örtlich hochaufgelöste Informationen über die Geometrie der Schneidfront.

Abbildung (3) zeigt die aufgenommenen Schneidfronten in Abhängigkeit des Vorschubes, dargestellt als Mittelwertbild über die Zeit. Bei den Vorschüben von 1,0 m/min bis 2,0 m/min wurde das Werkstück getrennt. Ab einer Vorschubgeschwindigkeit von 2,5 m/min reichte die Streckenenergie für einen vollständigen Schnitt nicht aus, sodass ein Schnittabriss zu beobachten ist.

Durch die Nutzung von verschiedenen Bildverarbeitungsprozessen, lassen sich die Konturen der jeweiligen Schneidfronten in Abhängigkeit des Vorschubes untereinander vergleichen, dargestellt in Abbildung (3) d). Dabei ist deutlich erkennbar, dass die Schneidfront mit zunehmendem Vorschub flacher wird.

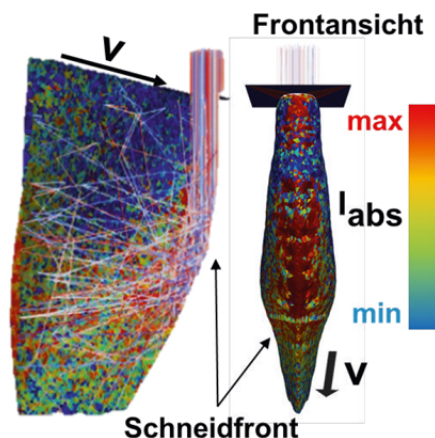


Abbildung 4: Räumliche Rekonstruktion der Schneidfront farblich skaliert in Abhängigkeit der absorbierten Intensität, $v = 2,5 \text{ m/s}$.

Dies hängt unter anderem von der Abhängigkeit zwischen absorbierten Intensität und Einfallswinkel der eingestrahnten Laserleistung ab. Zur Berechnung der absorbierten Intensität wurde ausgehend von den Röntgenaufnahmen ein Verfahren entwickelt, mithilfe dessen die Schneidfront räumlich rekonstruiert werden kann. Dabei wird die Schneidfront als achssymmetrisch zum Laserstrahl angenommen.

Die in Abbildung (4) dargestellte dreidimensionale Schneidfront wird verwendet, um mit Hilfe einer am IFSW entwickelten Raytracingsoftware die absorbierte Intensität in Abhängigkeit von Laserstrahl- und Schneidfrontgeometrie zu berechnen.

Diese Ergebnisse werden genutzt, um die Effizienz der eingebrachten Laserleistung entsprechend ihrer Strahlform zu quantifizieren.

Die bisher erzielten Resultate demonstrieren auf beeindruckende Weise das Potenzial der Hochgeschwindigkeits-Röntgendiagnostikanlage zur Messung der bisher verborgenen Prozessabläufe beim Laserstrahlschneiden.

Die Anlage wird in Zukunft zusätzlich zu der Diagnostik von Schweißanwendungen auch für eine Erweiterung des Prozessverständnisses beim Laserstrahlschneiden eingesetzt. Dies bietet die Möglichkeit Prozesseffizienz und Schnittqualität weiter zu steigern und soll insbesondere erlauben, neue Schneidköpfe und -konzepte zu testen und zu optimieren.

REFERENZ:

[1] F. Abt, M. Boley, R. Weber, T. Graf, G. Popko, S. Nau, "Novel X-ray System for in-situ Diagnostics of Laser Based Processes-First Experimental Results", Physics Procedia 12, 761-770 (2011).

AUTOREN:

M.Sc. Jannik Lind
Institut für Strahlwerkzeuge (IFSW)
Pfaffenwaldring 43, 70569 Stuttgart
Tel.: +49 (0)711 685 69721
jannik.lind@ifsw.uni-stuttgart.de
www.ifsw.uni-stuttgart.de

Priv.-Doz. Dr. Rudolf Weber
Institut für Strahlwerkzeuge (IFSW)
Pfaffenwaldring 43, 70569 Stuttgart
Tel.: +49 (0)711 685 66844
rudolf.weber@ifsw.uni-stuttgart.de
www.ifsw.uni-stuttgart.de