

Hochrate - Lasermikrostrukturierung von Edelstahl mit fs - Laserstrahlung

J. Schille, U. Löschner, R. Ebert

Hohe Raten bezogen auf das abgetragene Volumen bzw. die bestrahlte Fläche zu erreichen, ist seit jeher ein wesentliches Ziel der Lasermikrobearbeitung, um eine hohe Produktivität zu gewährleisten. Als Nebenbedingung muss gerade im Mikrobereich eine hohe Bearbeitungsqualität gewährleistet werden.

Entgegen dem bisherigen Erkenntnisstand, dass Repetitionsraten größer 300 kHz eher zu einer Verringerung der Abtragraten oder einer Verschlechterung der Bearbeitungsqualität führen, konnten im Rahmen des Innoprofile-Projektes „Rapid Microtooling mit laserbasierten Verfahren“ ultrakurze Laserpulse mit bis zu 2 MHz Pulsrepetitionsrate erfolgreich zum Metallabtrag eingesetzt werden. Nun wurde erstmals gezeigt, dass sehr hohe Repetitionsraten von bis zu 20 MHz nicht nur eine weitere Erhöhung der Abtragraten bewirken, sondern gleichzeitig zu einer wesentlich verbesserten Oberflächenqualität führen [1]. Zur erfolgreichen Anwendung der hohen Repetitionsraten ist allerdings eine hochwertige periphere Technik in Form von speziellen Scannern erforderlich.

Experimenteller Aufbau und Versuchsdurchführung

Die Untersuchungen wurden mit einem fs-Faserlaser durchgeführt, der auf der Probe eine maximale mittlere Leistung von 31,7 W aufwies (Fa. Active Fiber Systems). Die Pulsdauer betrug 350 fs, die maximale Pulsenergie 55 μ J. Der Laser hatte eine sehr gute Strahlqualität mit einer Beugungsmaßzahl $M^2 < 1,5$. Die Zentralwellenlänge lag bei 1030 nm.

Für die schnelle Relativbewegung zwischen Laserstrahl und Probenoberfläche wurde ein Hochleistungs-Scansystem verwendet (Tab.1).

Tab.1: Parameter Scansystem

Feldgröße	80 x 80 mm ²
Brennweite	163 mm
Fokusbrenndurchmesser d_{86}	22 μ m
Max. Spitzenfluenz	29,5 J/cm ²
Max. Scangeschwindigkeit	17,1 m/s

Die Untersuchungen erfolgten an Proben aus Edelstahl 1.4301.

Zur Bestimmung der Volumenabtragraten wurden Kavitäten mit einer Fläche von 2 x 1 mm² mit einem linienhaften Abtragregime erzeugt. Der Linienabstand betrug konstant 5 μ m, der geometrische Abstand der Laserpulse entlang der Linie bis zu einer Repetitionsrate von 3,2 MHz ebenso 5 μ m. Aufgrund der begrenzten maximalen Scangeschwindigkeit

sank der Pulsabstand sukzessive bis auf 0,85 μ m bei der maximalen Repetitionsrate von 19,3 MHz ab. Dieses Bestrahlungsregime wurde pro Kavität 15mal nacheinander abgearbeitet. Die eingestrahlte mittlere Laserleistung betrug konstant 31,7 W, die Repetitionsrate wurde zwischen 0,5 und 19,3 MHz variiert, sodass sich die applizierte Pulsenenergie und damit die Fluenz jeweils änderten.

Zur Bestimmung der mit dem System erzielbaren Flächenrate wurde die volle nutzbare Scanfläche von 80x80 mm² bei einer Repetitionsrate von 3,2 MHz mit einer Fluenz von 1 J/cm² und einer Scangeschwindigkeit von 11,3 m/s bestrahlt und die Oberfläche des Materials modifiziert.

Ergebnisse

Mit jedem Parameterset wurden 3 Kavitäten erzeugt. Aus den geometrischen Abmessungen konnte die Volumenabtragraten bestimmt werden. Dazu wurde ein Confocam C101 (Fa. confoviv) und ein Mikroskop LV100D-U (Fa. Nikon) eingesetzt. Die Daten wurden mit der Software Mountains Map® (Fa. Digital Surf) ausgewertet. Die Tiefe der Kavitäten wurde durch 8 Messungen evaluiert.

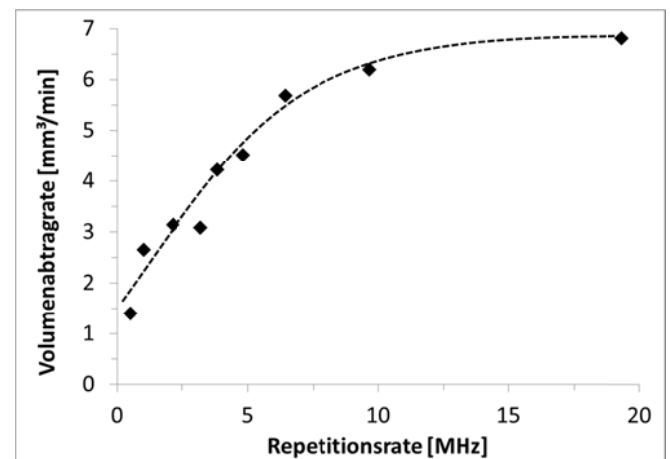


Abb.1: Diagramm Volumenabtragraten in Abhängigkeit von der Repetitionsrate; mittlere Laserleistung 31,7 W

Aus dem Diagramm in Abb.1 ist ersichtlich, dass tendenziell eine stetige Zunahme der Abtragraten mit der Repetitionsrate zu verzeichnen war. Oberhalb einer Repetitionsrate von 10 MHz stagnierte die Volumenabtragraten zunehmend. Der erreichte Wert von 6,8 mm³/min ist ungefähr 5mal größer als der Abtrag mit ps-Laserstrahlung (mittlere Laserleistung 25 W, Fa. Lasertec). Nur im Burst-Modus wurden mit ps-Pulsen ähnlich hohe Abtragraten erzielt. Zur möglichen weiteren Steigerung der Volumenabtragraten mit fs-Pulsen müssten Repetitionsrate und Ablenkgeschwindigkeit bei gleicher Fluenz proportional erhöht werden.

Bei der genauen Betrachtung der Oberflächenqualität der erzeugten Kavitätböden fällt auf, dass bei Repetitionsraten unterhalb von 19,3 MHz stets eine Mikro-Lochbildung zu verzeichnen war (Abb.2). Die Ursache dafür ist noch nicht

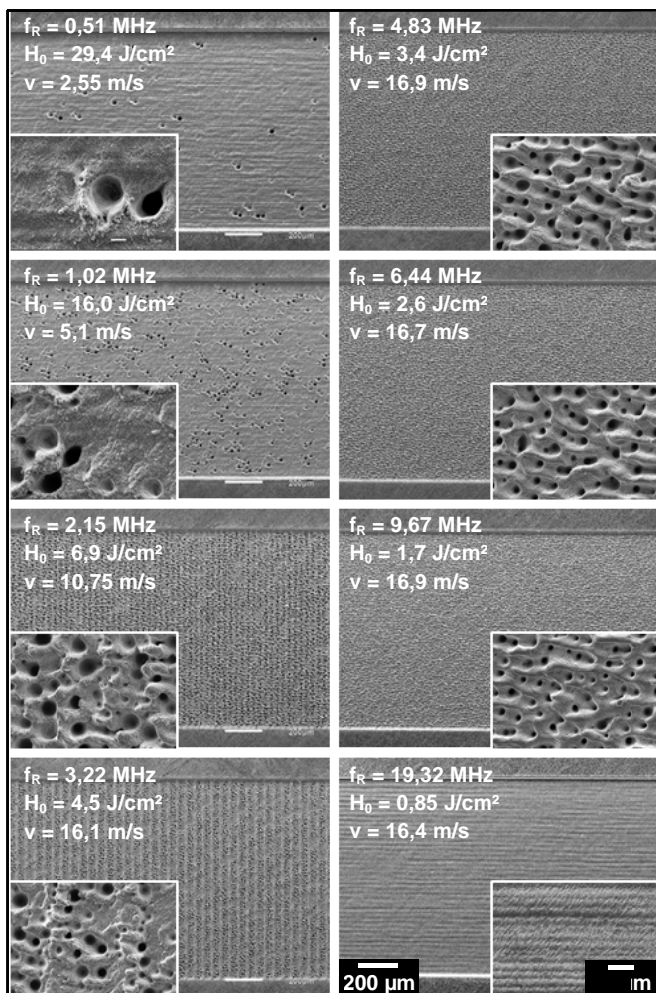


Abb.2: REM-Aufnahmen von Kavitätböden bei verschiedenen Repetitionsraten, Fluenzen und Scangeschwindigkeiten; mittlere Laserleistung 31,7 W

vollständig geklärt. Es zeigte sich, dass der Lochdurchmesser mit der Fluenz abnahm. Tendenziell schien die Anzahl der Löcher hingegen mit kleiner werdender Fluenz zuzunehmen, wobei hierzu noch detaillierte Untersuchungen ausstehen. Für die Lochbildung verantwortlich könnte u.a. das ausgetragene und auf der Oberfläche abgelagerte Material sein. Je kleiner die Fluenz ist, desto kleiner sind die erzeugten Schmelztropfen. Submikro-Schmelztropfen wiederum führen zu einer Nahfeldverstärkung der Laserstrahlung, wodurch die Löcher entstehen können.

Bei einer Fluenz von 0,85 J/cm² war keine Lochbildung mehr festzustellen. Hier liegen nach theoretischen Berechnungen optimale Abtragbedingungen vor, so dass kaum Schmelze entsteht. Das deckt sich mit den erzielten Ergebnissen. Es konnte erstmalig nachgewiesen werden, dass eine hohe

Repetitionsrate sowohl zu einer extrem hohen Abtragraten als auch zu sehr hoher Oberflächenqualität führt.

Anhand eines Demonstrators konnte eine hohe Flächenbearbeitungsrate gezeigt werden (Abb.3). Dazu wurden auf der Oberfläche Nano-Ripple erzeugt, die bei Bestrahlung mit Weißlicht zu typischen sichtbaren Farbeffekten führen. Die absolute Bearbeitungszeit betrug 157 s. Das ergab eine sehr hohe Flächenbearbeitungsrate von 25 cm² /min.

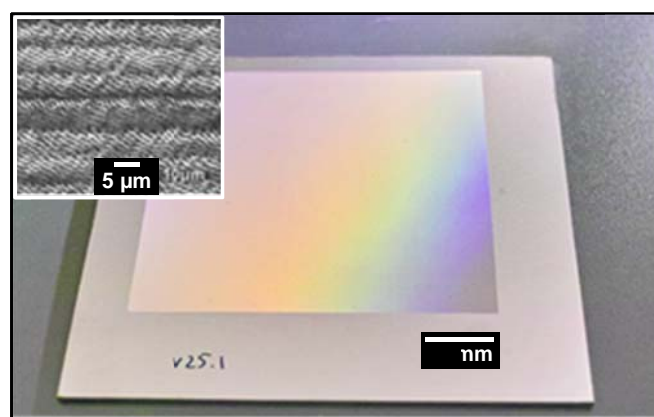


Abb.3: Bilder von auf Edelstahlprobe erzeugten Nanostrukturen, Flächenbearbeitungsrate 25 cm²/min

Zukünftige Untersuchungen am LHM mit fs-Laserquellen noch höherer Leistung und Repetitionsrate in Verbindung mit schnelleren Scansystemen lassen noch deutlich höhere Abtrag- und Flächenraten erwarten.

Literatur

[1] J. Schille, L. Schneider, M. Müller, U. Loeschner, N. Goddard, P. Scully, H. Exner: Highspeed Laser Micro Processing using Ultra-short Laser Pulses, Proceedings of LAMP2013 - the 6th International Congress on Laser Advanced Materials Processing, Nigata, Japan

Danksagung

Die Autoren bedanken sich für die finanzielle Förderung durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung (FKZ: 03IPT506X).

GEFÖRDERT VOM



Kontakt:

Prof. Dr.-Ing. U. Löschner
 Laserinstitut der Hochschule Mittweida
 Hochschule Mittweida
 Technikumplatz 17
 09648 Mittweida, Deutschland
 Tel.: 03727 / 58-1336
 E-Mail: loeschne@hs-mittweida.de
 Web: www.laserinstitut.org