

R. Ebert, L. Hartwig, S. Klötzer, A. Streek, U. Löschner, J. Schille, F. Ullmann, H. Exner

Hochrate-Laserbearbeitung mit schnellen und ultraschnellen Scannern

Im Rahmen der vom BMBF geförderten Innoprofile-Initiative wurden von der Nachwuchsforschergruppe „Rapid Microtooling mit laserbasierten Verfahren“ am Laserinstitut der Hochschule Mittweida grundlegende Untersuchungen zur neuartigen Hochrate - Laserbearbeitung durchgeführt. Dabei kam erstmals ein schnell drehender Polygonspiegelscanner zum Einsatz.

Motivation

Ziel der Untersuchungen waren zunächst Hochrate-Schneidtechnologien für den Blechbereich unter Nutzung von schnellen Galvoscantern. Die erzielbaren Geschwindigkeiten mit einer Laserleistung von 3 kW liegen bei Folien (Dicke 0,05mm) im Bereich von über 1000 m/min, bei Blechdicken von 0,5mm immer noch bei 75 m/min.

Hochrate-Mikrostrukturierung mit ultraschnellen Polygonspiegelscannern kann bei einem Spurbabstand von 50µm und hoher Auflösung (Fokussdurchmesser 21µm) eine Flächenrate von mehr als 3.000 cm²/min erreichen. Dies eröffnet völlig neue Anwendungsbereiche, z.B. in der Photovoltaik. Bei etwas geringerer Auflösung unter Nutzung z.B. einer F-Theta-Optik mit Brennweite 1200mm und Apertur 50mm (Fokussdurchmesser immer noch 65µm!) können bei einem Spurbabstand von 100µm Flächenraten von 8,4 m²/min erzielt werden! Damit stößt das Verfahren in bisher nicht für möglich gehaltene Produktivitätsbereiche vor. Unter Anwendung von noch größeren Fokussdurchmessern und Spurbabständen, z.B. zur Oberflächenbearbeitung, sind auch Flächenraten von über 60 m²/min möglich. Dies entspricht einer Quasi-Pulsbearbeitung auf großen Flächen. Voraussetzung für solche Verfahren ist allerdings die Applikation von brillanter Laserstrahlung hoher Leistung.

Versuchsaufbau

Für die Untersuchungen stand ein Mono-Mode-Faserlaser mit einer maximalen cw - Leistung von 3kW zur Verfügung. Die gemessene Beugungsmaßzahl betrug $M^2=1,1-1,2$; der Strahl war zufällig polarisiert. Die Ablenkung und Fokussierung der Strahlung erfolgte mit zwei verschiedenen Hochleistungs-Scannern:

	Galvo	Polygon
Brennweite [mm]	230	230
Fokussdurchmesser d_{86} [µm]	21	21
max. Scangeschwindigkeit [m/min]	1.200	24.000
max. Laserleistung auf der Probe [kW]	2,64	2,64
max. Intensität auf der Probe [W/cm ²]	$7,6 \cdot 10^8$	$7,6 \cdot 10^8$
min. mittlere Einwirkzeit [ns]	1.000	50

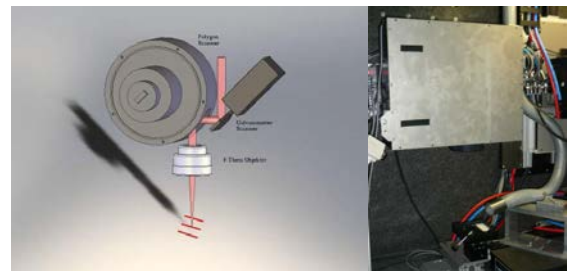


Abb. 1: Polygonspiegelscanner, Prinzip (links) und Versuchsaufbau (rechts, Drehgeschwindigkeit bis 10.000 U/min)

Der neuartige Polygonspiegelscanner (Abb.1) erreicht zwar enorme Ablenkgeschwindigkeiten, kann prinzipbedingt aber nur zeilenweise arbeiten. Die mittlere Einwirkzeit der Laserstrahlung liegt mit < 200ns im Bereich der sonst bei gütegeschalteten Lasern erzielten Pulslängen. Es sind also qualitativ ähnlich geartete Bearbeitungsergebnisse mit relativ geringer Schmelzbildung zu erwarten. Mit längeren Brennweiten steigt zwar die maximale Scangeschwindigkeit an, gleichzeitig nimmt aber die Fokusgröße zu, so dass die mittlere Einwirkzeit nahezu konstant bleibt. Am Institut sind für weitere Untersuchungen F-Theta-Optiken mit Brennweiten von 330 und 500mm, perspektivisch auch von 163 und 1200mm, verfügbar.

Ergebnisse

Galvo-Scanner

Ein Feld aus Mikroschlitzten und -stegen mit einer Periode von 80µm wurde mit maximaler Geschwindigkeit erzeugt (Abb.2). Bei 5 Überfahrten betrug die Höhe der Strukturen 80 – 100µm. Die entstandenen Mikrostege waren scharf konturiert, da die Schmelze gut ausgetragen wurde. Die Schmelzzone umfasste nur ca. 5 µm.

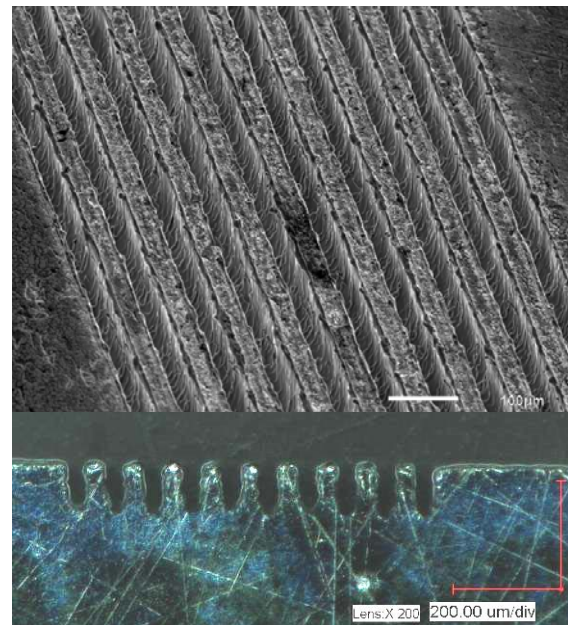


Abb.2: Mikrostruktur, $v = 1.200$ m/min, $P = 880W$, 5 Überfahrten, Spurbabstand 80µm

Unter Erhöhung der Laserleistung ließen sich auch Bleche schneiden (Abb. 3). Dabei wurde bei einer Struktur mit hohem Beschleunigungsanteil (Spitzen) noch eine mittlere Schnittgeschwindigkeit von 12 m/min erzielt! Die Konturschärfe war extrem hoch (Abb. 4).

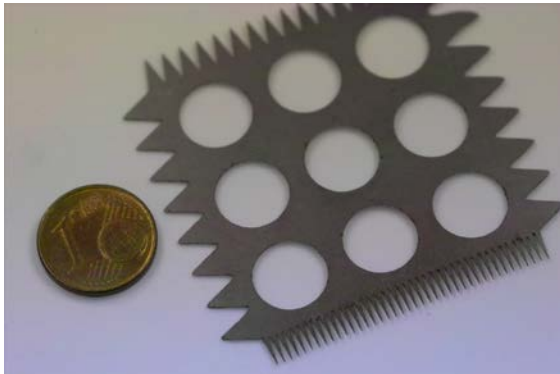


Abb. 3: Demonstrator aus Edelstahl, $d = 0,3 \text{ mm}$, $P = 2,64 \text{ kW}$, 10 Überfahrten, Schnittlänge 560 mm, Bearbeitungsdauer 3 s

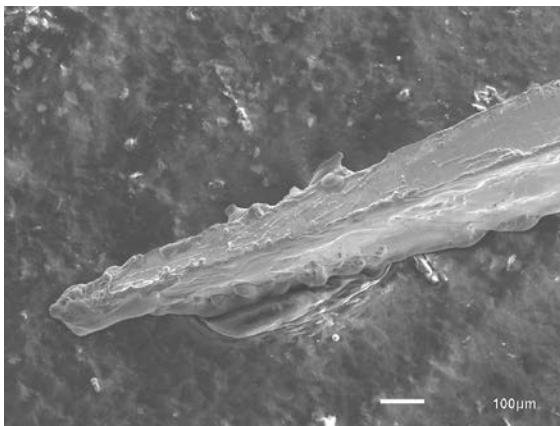


Abb. 4: Mikrospitze in Edelstahl, Spitzenradius ca. $15 \mu\text{m}$, $v = 600 \text{ m/min}$, $P = 1,76 \text{ kW}$

Polygonspiegelscanner

Als erster Demonstrator für die Applikation extrem hoher Scangeschwindigkeiten im Mikrobereich wurde eine Linienmuster durch Abtrag einer $2 \mu\text{m}$ dicken NiCr-Schicht auf Glas erzeugt. Die mittlere Einwirkzeit der Laserstrahlung lag bei 140ns. Es konnte eine Flächenrate von $900 \text{ cm}^2/\text{min}$ erzielt werden.

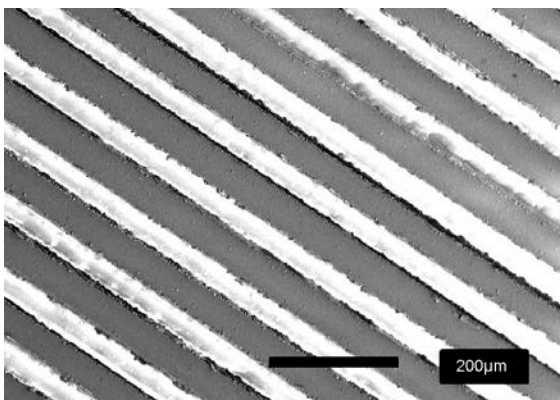


Abb. 5: Linienraster, $v = 9.000 \text{ m/min}$, $P = 880\text{W}$, 2 Überfahrten, Spurbstand $100 \mu\text{m}$

Extreme Mikrostrukturen mit einer Schlitzbreite von nur $3 \mu\text{m}$ (bei einem Fokussdurchmesser von $21 \mu\text{m}$!) und einer Schlitztiefe von $50 \mu\text{m}$ wurden in eine Edelstahloberfläche eingebracht (Abb.6). Die Strukturen entstanden wahrscheinlich durch Schmelzulagerungseffekte. Die genauen Mechanismen müssen noch untersucht werden. Wegen den applizierten 60 Überfahrten betrug die Flächenrate „nur“ $12 \text{ cm}^2/\text{min}$. Es ist allerdings keine alternative Technologie bekannt, mit der solche Strukturen ebenfalls erzeugt werden könnten.

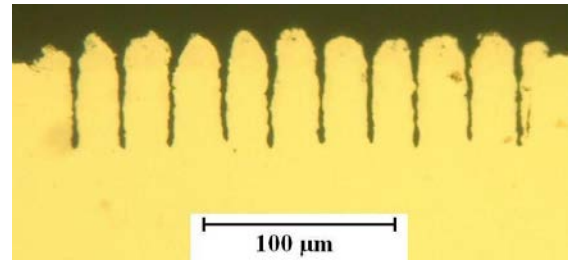


Abb. 6: Mikrogräben in Edelstahl, Aspektverhältnis 1:17, $v = 12.000 \text{ m/min}$, $P = 330\text{W}$, 60 Überfahrten, Spurbstand $25 \mu\text{m}$

Auch hochschmelzende Materialien wie Wolfram ließen sich bei hoher Scangeschwindigkeit abtragen (Abb.7). Die mittlere Einwirkzeit betrug hier nur 93ns. Aufgrund der kurzen Einwirkzeit existieren trotz hoher Intensitäten von über 10^8 W/cm^2 Schwelleleistungen, ab der das Material erst sicher abgetragen werden kann, im vorliegenden Fall ca. 900W . Bei einer Leistung von 330W musste die Geschwindigkeit auf 4.500 m/min gesenkt werden, um einen gleichmäßigen Abtrag zu erzielen. Diese Effekte werden zukünftig intensiv erforscht, um allgemeine Gesetzmäßigkeiten für die Anwendung von cw - Laserstrahlung und ultraschneller Strahlableitung zur Mikrostrukturierung abzuleiten.

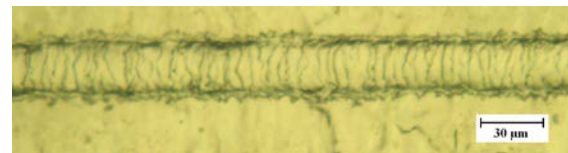


Abb. 7: Abtragsspur in Wolfram, $v = 13.500 \text{ m/min}$, $P = 990 \text{ W}$, 1 Überfahrt

Unser besonderer Dank gilt dem BMBF für die Förderung der Innoprofile - Nachwuchsforschergruppe (03IP506) und allen kooperierenden Firmen für die sehr gute Zusammenarbeit.

INNOPROFILE
UNTERNEHMEN
Die BMBF-Innovationsinitiative
Neue Länder **REGION**

Kontakt

R. Ebert
Laserinstitut Hochschule Mittweida
Hochschule Mittweida
Technikumplatz 17
09648 Mittweida, Deutschland
Tel.: 03727 581401 / E-Mail: ebert@htwm.de
www.laserinstitut.org