

Ultraschnelle Laseroberflächenbearbeitung mit neuartigem Hochleistungslaser und Polygonscanner

Robby Ebert^{1,2}, Sebastian Weinhold¹, Linda Pabst¹, Mathias Müller¹, Lars Hartwig¹, Philipp Kurze³, André Lohse⁴, André Streek^{1,2}
¹Laserinstitut Hochschule Mittweida, ²MOEWE Optical Solutions GmbH, ³IPG Laser GmbH, ⁴SITA Messtechnik GmbH

Zur Erprobung einer neuartigen Laserstrahlquelle wurden am Laserinstitut Hochschule Mittweida (LHM) Untersuchungen zum ultraschnellen Reinigen und zum Glätten bzw. Polieren von Oberflächen mit Polygonscanner durchgeführt. Die Untersuchungen wurden von den Firmen MOEWE Optical Solutions GmbH, IPG Laser GmbH und SITA Messtechnik GmbH unterstützt.

Kurzgepulste Multimode-Laserstrahlquellen, die in der Abbildung einen quadratischen Top-Hat Strahlfleck liefern, sind schon längere Zeit bekannt und werden von mehreren Unternehmen angeboten. Vor allem für die Reinigung von Oberflächen kommen diese Quellen zum Einsatz. In der Regel kann man die Leistung der Strahlquellen wegen der geringen Pulsfrequenz gut mit Galvoscantern applizieren.

Polygonscanner können einen Laserstrahl gegenüber Galvoscantern um den Faktor 50 schneller ablenken. Insbesondere bei vollflächiger Bearbeitung sind sie dem Galvoscanner somit überlegen. Ein weiterer Vorteil sind die gegenüber dem Galvoscanner wegfallenden Beschleunigungsstrecken. Ein Nachteil ist der begrenzte Laser-Nutzungsgrad des Scanners aufgrund der notwendigen Abschaltung an der Polygonspiegelkante, insbesondere bei einer großen Apertur bzw. einem großen Strahldurchmesser. Der MOEWE Scanner hat auch aufgrund seiner Apertur von 30 mm einen Nutzungsgrad von max. 50 %.

Die Firma IPG Laser GmbH hat deshalb auf Anregung von MOEWE einen speziellen Laser entwickelt, der auf der Polygonlinie die doppelte mittlere Leistung zur Verfügung stellt und in der Polygonpause abschaltet (Abb. 1). Dadurch kann die mittlere Leistung des Lasers fast zu 100 % genutzt werden. Die speziellen Laser werden von IPG als ns-Burst-Laser angeboten. Für die Versuche wurde ein Laser mit einer hohen mittleren Leistung von 6 kW auf der Polygonlinie verwendet. Der Laser besitzt eine quadratische Faser mit einer Abmessung von $400 \times 400 \mu\text{m}^2$. Das Faserende wird mit Kollimator und F-Theta-Optik auf die Probenoberfläche abgebildet.



Abb. 1: ns-Burst-Laser von IPG Laser GmbH mit einer Leistung von 6 kW im Burst, mittlere Leistung 3 kW.

Der eingesetzte Polygonscanner PM 100 von MOEWE hat beste Voraussetzungen, um die extrem hohe Laserleistung verlustarm abzulenken. Durch die synchronisierte und präzise Ansteuerung des Lasers vom Scanner aus können die großen Laserflecken einerseits sehr genau und damit leistungssparend bzw. sogar als Muster platziert werden (Abb. 2, 4).

Das Handmessgerät SITA CleanoSpector wird zur Sauberheitskontrolle von Bauteilen zur Sicherung der Produktqualität und der nachfolgenden Prozesse wie Kleben, Beschichten, Schweißen, Härten und Bonden verwendet. Störende filmische Verunreinigungen wie Öle, Fette, Kühlschmierstoffe und Trennmittel werden durch die Messung der Fluoreszenzintensität erfasst (Abb. 3).

Ultraschnelles Reinigen von Oberflächen

Ob für den Laserreinigungsprozess eine ultraschnelle Ablenkung der Laserstrahlung benötigt wird, hängt vor allem von der notwendigen Intensität für den Prozess ab. Bei weniger als 100 MW/cm^2 ist die Wahrscheinlichkeit dafür groß, bei $\gg 100 \text{ MW/cm}^2$, wie sie z.B. zum Entfernen von Rost gebraucht wird, reicht die Ablenkung mit Galvoscanner aus.

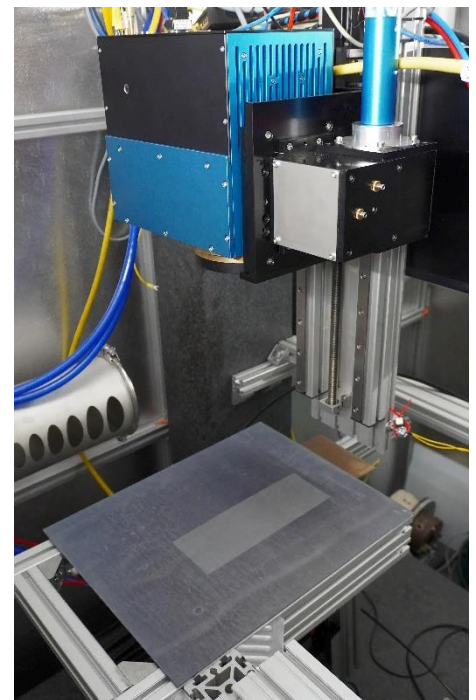


Abb. 2: Versuchsaufbau zum Reinigen und Polieren von Blech mit MOEWE Polygonscanner PM 100.

Für die Versuche wurde eine Brennweite 420 mm mit einer Scanlänge von 325 mm genutzt, der Kollimator hatte eine Brennweite von 85 mm, dadurch ergab sich auf der Probe eine Fleckgröße von $2 \times 2 \text{ mm}^2$. Für das Reinigen ist vor allem eine Pulsdauer von 25 ns relevant. Wenn man die Laserleistung voll nutzen will, kann man sich zwischen einer Pulsenergie von 33 mJ bei einer Frequenz von 155 kHz und 17 mJ bei der maximalen Frequenz von 300 kHz bewegen. Das entspricht Intensitäten von 28 bis $14,5 \text{ MW/cm}^2$ und entsprechenden Scangeschwindigkeiten von 294 bis 570 m/s bei einem notwendigen Überlapp der Pulse von $100 \mu\text{m}$. Die erreichbaren Flächenraten reichen dann von 990 bis $1.923 \text{ m}^2/\text{h}$, was schon Geschwindigkeiten in industriellen Bandprozessen entspricht.

Es sollte eine Edelstahloberfläche, die mit organischem Material belegt war, gereinigt werden. Zum schnellen Verifizieren des Ergebnisses wurde das SITA Clean-Spector Gerät genutzt. Im ungereinigten Zustand zeigte das Gerät > 140 Counts an, die Schicht war einige μm dick. Im gereinigten Zustand waren < 2 Counts zu sehen, was einigen nm-Schichtdicke entspricht (Abb. 3).



Abb. 3: Messprozess zur organischen Verunreinigung mit SITA Clean Spector.

Für einen schnellen Reinigungsprozess war eine Intensität von 23 MW/cm^2 ausreichend, die Fluenz betrug $0,58 \text{ J/cm}^2$. Mit den Parametern erreichte der Polygonscanner eine Geschwindigkeit von 356 m/s und eine Zeilenfrequenz von 540 Hz . Das ergab eine extrem hohe Flächenrate von $3.334 \text{ cm}^2/\text{s}$.



Abb. 4: Prozess mit strukturierter Pulsverteilung, gleiche Bearbeitungsdauer.

Trotz der hohen Flächenrate bestanden noch Reserven um die Fläche in der gleichen Zeit zweimal mit einer Geschwindigkeit von 712 m/s und einer Zeilenfrequenz von 1.080 Hz zu bestrahlen. Da der Laser in der richtigen Phase pulsgenau angesteuert werden konnte, ließen sich sehr präzise Muster (Abb. 4) erzeugen oder neuartige Prozessstrategien anwenden. Auch bei zweifacher Bestrahlung waren keine Übergänge zwischen den

Bearbeitungsstellen zu erkennen. Daraus folgt, dass der Prozess räumlich und zeitlich sehr gut gesteuert und präzise ausgeführt wurde.

Ultraschnelles Polieren von Metalloberflächen

Das Polieren von Oberflächen mit cw-Laserstrahlung und Polygonscanner wird am LHM schon längere Zeit untersucht. Dabei fiel auf, dass eine schlechtere Strahlqualität bessere Ergebnisse erbringt und effektiver wirkt als eine Bearbeitung mit gaußverteilter Strahlung.

In der Literatur¹ wurde eine Veröffentlichung vom ILT Aachen gefunden, in der mit einem gepulsten Laser mit einer Pulsdauer von $1,28 - 2,5 \mu\text{s}$ und einem Flat-Top-Profil sehr gute Polierergebnisse erzielt wurden. Deshalb wurde untersucht, ob man das Verfahren auch mit einem Reinigungslaser mit Standardparametern durchführen kann. Es stellte sich heraus, dass nur die Pulsdauer 100 ns dafür geeignet ist. Kürzere Pulsdauern führen aufgrund der geringen Schmelztiefe zu einem ungenügenden Poliereffekt bzw. auch zur Oxidation der Oberfläche.

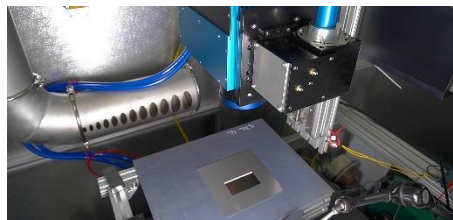


Abb. 5: Polierprozess.

Um eine hohe Intensität zu erreichen, wurde eine Brennweite von 163 mm mit einer Fleckgröße von $0,77 \times 0,77 \text{ mm}^2$ genutzt (Abb. 5). Trotz relativ großer Pulsdauer wird mit einer optimalen Pulsenergie von $25,44 \text{ mJ}$ eine Intensität von 43 MW/cm^2 auf der Probe erzielt, die Fluenz beträgt $4,29 \text{ J/cm}^2$. Mit einem notwendigen kleinen Puls- und Zeilenabstand von $0,28$ bzw. $0,47 \text{ mm}$ wurde ein qualitativ hochwertiges Ergebnis mit $R_a < 0,1 \mu\text{m}$ erreicht (Ausgangswert $0,25 \mu\text{m}$, Abb. 6). Die Ablenkgeschwindigkeit betrug 56 m/s , die Zeilenfrequenz 220 Hz und die daraus

resultierende Flächenrate $108 \text{ cm}^2/\text{s}$. Mit einer optimal angepassten Optik wären bis zu $132 \text{ cm}^2/\text{s}$ möglich. Die Untersuchung fand ohne Schutzgas statt.



Abb. 6: Polierter Bereich reflektiert.

Versuche mit einer alternativen Brennweite von 255 mm waren prinzipiell auch erfolgreich. Aber durch eine notwendige geringere Scangeschwindigkeit wurde die maximale Burstdauer des Lasers von 5 ms überschritten, was zu einem geringeren Nutzungsgrad führte.

Fazit

Sowohl beim Reinigen als auch beim Polieren konnte im Prozess mit dem Polygonscanner die volle Laserleistung von 6 kW auf der Polygonlinie umgesetzt werden. Das neuartige Burst-Prinzip funktioniert sehr gut. Weitere Anwendungen aus der Industrie sind willkommen.

Kontakt:

Robby Ebert

Laserinstitut Hochschule Mittweida
Technikumplatz 17
09648 Mittweida

Tel.: +49 3727 / 58-1401

E-Mail: ebert@hs-mittweida.de

Web: www.laser.hs-mittweida.de

Video Reinigen:



Video Glätten:

