

Polieren mit Laserstrahlung

Neue Perspektiven für Design und Wirtschaftlichkeit. Das Oberflächenfinish von Werkzeugen soll zukünftig nicht mehr manuell erfolgen. Neue Perspektiven eröffnet das Laserpolieren, mit dem Strukturdetails und Glanz der Werkzeugoberfläche automatisiert hergestellt werden können.

EDGAR WILLENBORG

Die Oberfläche eines Bauteils oder Produkts bestimmt in hohem Maße dessen Eigenschaften und Funktion. Hierbei stehen Haptik, optische Anmutung, Verschleißbeständigkeit, Gleiteigenschaften und Biokompatibilität im Vordergrund. Entscheidenden Einfluss auf die Funktionseigenschaften einer Oberfläche hat die Rauheit. In der produzierenden Industrie kommen daher häufig aufwendige mehrstufige Schleif- und Polierverfahren mit wechselnden Werkzeugen und zwischengeschalteten Reinigungsschritten zum Einsatz. Dies geschieht auch im Hochtechnologie-land Deutschland heute noch

zum großen Teil von Hand, da es für viele Polieraufgaben keine geeigneten Maschinen gibt. Ein Beispiel dafür sind Spritzgießwerkzeuge mit nach innen geneigten Oberflächen. Bei der manuellen Politur besteht immer die Gefahr, die bereits mit hohem Kostenaufwand und langen Fertigungszeiten hergestellten Werkzeuge zu beschädigen. Das manuelle Polieren lässt häufig keine schnellere Bearbeitung als 10 bis 30 min/cm² zu.

Großer Bedarf in der Industrie

Aus dieser Sachlage erklärt sich der große Bedarf, den die Industrie nach neuen Verfahren für die automatisierte Politur dreidimensionaler metallischer Bauteile an-

meldet. Einen neuen Ansatz hierzu stellt das Polieren mit Laserstrahlung dar (Bild 1). Beim Laserpolieren schmilzt der Laserstrahl als flexibel formbares, berührungsloses und somit verschleißfreies Werkzeug eine dünne Randschicht um. Im flüssigen Zustand werden Unebenheiten der Oberfläche durch Selbstorganisation infolge der Oberflächenspannung geglättet. Die eigentliche Innovation besteht in dem grundlegend anderen Wirkprinzip, das das Laserpolieren (Umschmelzen) gegenüber konventionellen Schleif- und Polierverfahren (Abtragen) nutzt. Die Beherrschung des Umschmelzprozesses, bei dem das Schmelzbadvolumen kleiner 0,005 mm³ ist, stellt eine technische Herausforderung dar.

Das Laserpolieren von Metallen lässt sich in zwei Verfahrensvarianten unterteilen:

- Beim Makro-Polieren wird mit kontinuierlicher Laserstrahlung die Oberfläche bis zu einer Tiefe von 40-80 µm umgeschmolzen. Grobe Rauheiten wie Fräsriefen, Drehriefen oder Erodierstrukturen werden so beseitigt. Die Bearbeitungszeit beträgt 1 bis 3 min/cm².
- Beim Mikro-Polieren wird mit gepulster Laserstrahlung insbesondere der Glanzgrad einer Oberfläche erhöht. Da hier nur noch bis zu einer Tiefe von wenigen Mikrometern umgeschmolzen wird, bleiben grobe Strukturen unbe-



Das Laserpolieren gestattet die Einstellung verschiedener Rauheiten und Glanzgrade mit hoher örtlicher Auflösung und versetzt den Anwender so in die Lage, neue Oberflächendesigns zu erzeugen (Bilder: Fraunhofer ILT)

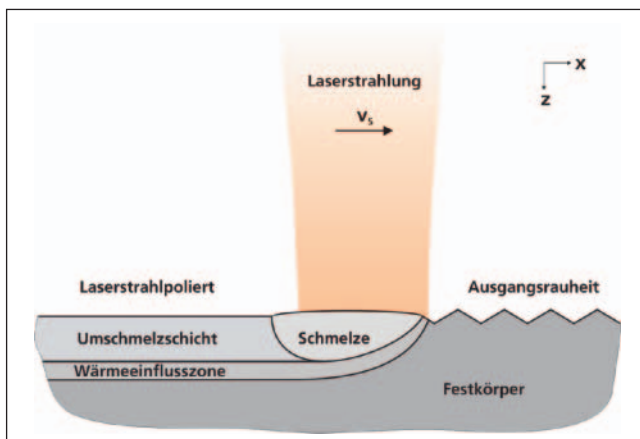


Bild 1. Verfahrensprinzip zum Polieren metallischer Oberflächen mit Laserstrahlung

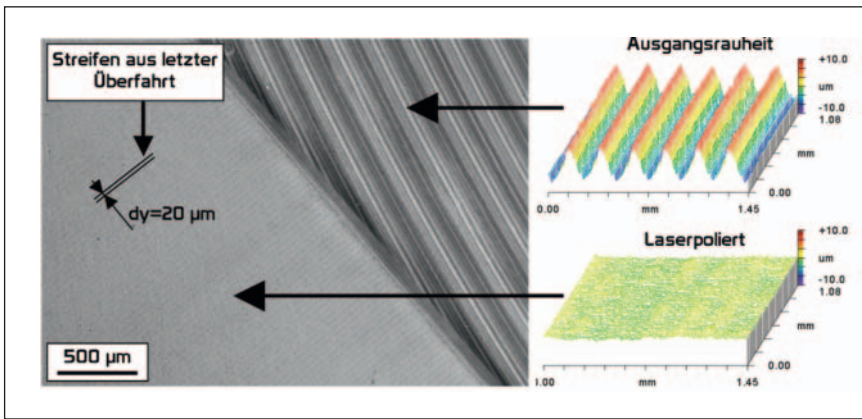


Bild 2. Eine gedrehte Oberfläche (Werkstoff 1.2343) wird teilweise laserpoliert. Das Ergebnis wird mit REM (links) und Weißlichtinterferometrie (rechts) untersucht

einflusst. Die Bearbeitungszeit liegt bei nur noch 3 bis 10 s/cm². Zusätzlich können beide Verfahrensvarianten kombiniert werden, sodass zuerst mit dem Makro-Polieren die grobe Rauheit geglättet und anschließend mit dem Mikro-Polieren der Glanzgrad eingestellt wird.

Der Unterschied zwischen einer gedrehten und einer laserpolierten Oberfläche ist erheblich (Bild 2). Im Bereich der Ausgangsrauheit (im Bild oben rechts) sind die Drehriefen mit einem Abstand von 250 µm zu sehen, im laserpolierten Bereich (linke Bildhälfte) sind diese beseitigt. Die feinen neuen Linien entsprechen den Laserbahnen und haben einen Abstand von nur 20 µm. Diese Linien sind so fein, dass das bloße Auge sie nicht wahrzunehmen vermag.

An ebenen Testflächen aus einem Werkzeugstahl der Güte 1.2343 gelang es, die Rauheit von gedrehten Oberflächen durch Laserpolieren von Ra = 5 µm auf Ra = 0,1 µm zu reduzieren. Für viele Anwendungen ist dieser Wert bereits ausreichend – wenn nicht, kann durch kur-

ze manuelle Nacharbeit ein Ra-Wert < 0,05 µm erreicht werden.

Der Schritt von ebenen Oberflächen zu dreidimensionale Werkstücken

Die Herausforderung liegt nun darin, diese an ebenen Oberflächen erzielten Ergebnisse auf dreidimensionalen Werkstücken zu erreichen. Dazu hat eine Arbeitsgruppe am Fraunhofer-Institut für Lasertechnik zusammen mit der Maschinenfabrik Arnold GmbH & Co. KG, Ravensburg, der EdgeWave GmbH, Würselen, und der S&F NC-Systemtechnik GbR, Herzogenrath, eine Werkzeugmaschine zum Laserpolieren für die industrielle Produktion entwickelt (Bild 3). Basis für die Maschine ist ein 5-Achsen-Bearbeitungszentrum der Maschinenfabrik Berthold Hermle AG, Gosheim. Durch den Wegfall der Frässpindel ist ausreichend Bauraum für die Integration aller für das Laserpolieren benötigter Komponenten vorhanden. Dies sind Laserstrahlquelle, Optik und Prozessgasführung. Die Ansteuerung dieser Kom-

ponenten wurde in die Siemens Steuerung der Basismaschine integriert. Im Rahmen des Projekts „Polar“ (Polishing with Laser Radiation) wurde die Maschinenentwicklung gefördert durch das Bundesministerium für Bildung und Forschung und betreut vom Projektträger Forschungszentrum Karlsruhe, Bereich Produktion und Fertigungstechnologien.

Derzeit läuft die Maschine in der Erprobungsphase, die sich auf die Weiterentwicklung und Optimierung der Maschinen- und Verfahrenstechnik für das Polieren dreidimensionaler Oberflächen konzentriert. Einfache 3D-Geometrien können bereits bearbeitet werden. So beträgt die Bearbeitungszeit für das Polieren einer grob geschliffenen Glasformhälfte, wie sie zur Herstellung des Fußes und Stiels von Weingläsern benötigt wird, 25 Minuten (Bild 4). Die Programmierung der Maschine erfolgt bisher noch von Hand. Hier ist insbesondere für den Werkzeugbau die Entwicklung eines CAM-Systems erforderlich.

Die verschiedenen Anwendungsbereiche verdeutlichen das weitreichende Potenzial für das Polieren mit Laserstrahlung. So besteht, wie bereits einleitend erwähnt, im Werkzeug- und Formenbau ein großer Bedarf an automatisierten Verfahren zur Politur dreidimensionaler Oberflächen. Da in der Praxis Bearbei-

i	Institut
Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT	
Steinbachstr. 15	
D-52074 Aachen	
Tel. +49 (0) 2 41/89 06-0	
Fax +49 (0) 2 41/89 06-121	
www.ilt.fraunhofer.de	



Bild 3. Prototyp einer Werkzeugmaschine zum Laserpolieren, den das Fraunhofer ILT zusammen mit drei Partnern aus Maschinenbau und Lasertechnik entwickelt hat

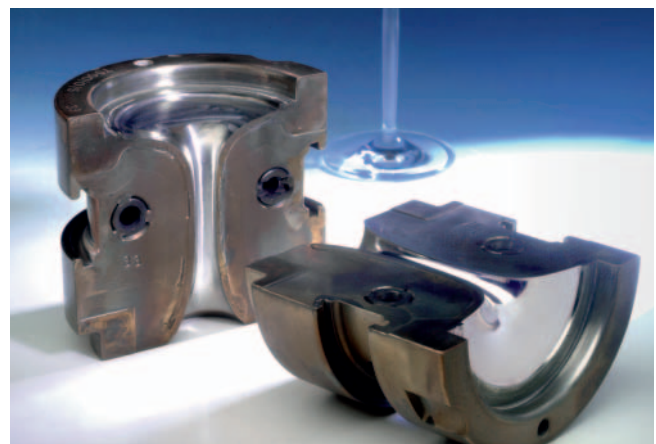


Bild 4. Zwei Glasformhälften, einmal im grob geschliffenen Zustand (links) und einmal laserpoliert (vorne rechts)

tungszeiten von 1-3 min/cm² erreicht werden, können Werkzeugbauer durch das Laserpolieren ihre Fertigungszeiten und -kosten signifikant reduzieren. Aber auch andere Bereiche, z. B. das Polieren von Titanbauteilen für die Medizintechnik, eröffnen vielversprechende Anwendungsfelder.

Mikrostrukturen und Hochglanz im Schnellgang

Das Laserpolieren bietet Möglichkeiten, die dem Anwender konventioneller Polierverfahren nicht offen stehen. Bild 5 zeigt eine durch konventionelles photochemisches Ätzen strukturierte Oberfläche eines Werkzeugs, das so z. B. für die Fertigung von Pkw-Armaturenrä- ▶

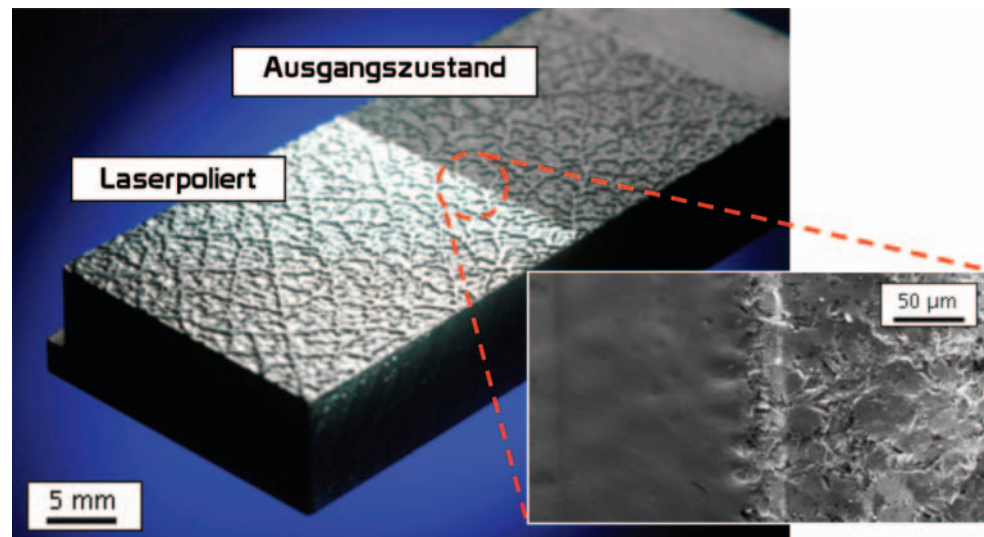


Bild 5. Die genarbte Werkzeugoberfläche wird teilweise mit Laserstrahlung poliert

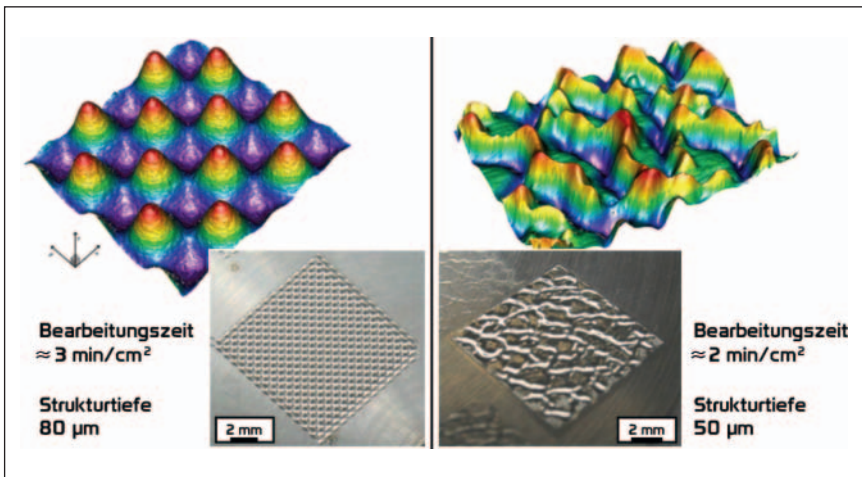


Bild 6. Kegelstruktur (links) und Ledernarbung (rechts) werden durch laserinduziertes Umschmelzen erzeugt

gern mit Ledernarbung eingesetzt wird. Die genarbte Oberfläche kann poliert werden, ohne die Strukturen zu beschädigen. Den scharfkantigen Übergang zwischen poliertem und nicht poliertem Bereich zeigt die Ausschnittsvergrößerung. Die hohe Selektivität und Flexibilität, mit der der Laserstrahl gesteuert werden kann, erlauben es, Designstrukturen und Beschriftungen bis hin zu Fotos auf metallischen Oberflächen abzubilden. So können auch Mehrglanzeffekte erzeugt werden, indem z. B. nur die Täler der Struktur poliert werden und die Stege un bearbeitet bleiben. Das Laserpolieren erreicht derzeit eine Ortsauflösung von ungefähr 100 µm. Die abgebildete Narbung ist durch photochemisches Ätzen erzeugt und nur der Glanzgrad durch Laserpolieren eingestellt worden. Das Strukturieren von Oberflächen durch Abtragen mit Laserstrahlung wurde umfassend untersucht. Für kleine Werkzeuge wie Mikrospritzgießwerkzeuge ist dies mittlerweile ein etabliertes Verfahren, bei größeren Oberflächen ist es allerdings häufig unwirtschaftlich.

Das Laserpolieren ermöglicht es nun, Strukturen schnell und automatisiert zu erzeugen. Durch eine geeignete Steuerung der Verfahrensparameter kann die Metallschmelze so beeinflusst werden, dass eine Werkstoffumverteilung stattfindet. Die Strukturen werden also durch Umschmelzen erzeugt, nicht durch Materialabtrag. Da die Verfahrensparameter für das Strukturieren durch Umschmelzen im Bereich der Verfahrensparameter für das Laserpolieren liegen, lässt sich der Glanzgrad in Grenzen direkt einstellen. Eine Nachbearbeitung ist in der Regel nicht mehr erforderlich.

Stellvertretend dafür stehen zwei untersuchte Oberflächen: eine technische

Struktur in Form von Kegeln und eine Ledernarbung (Bild 6). Die Bearbeitungszeit liegt bei 2 bis 3 min/cm² für eine 80 µm tiefe Struktur und ist somit deutlich schneller als das Strukturieren durch Abtragen mit Laserstrahlung. Gegenüber dem klassischen photochemischen Ätzen bietet das Strukturieren durch Umschmelzen mit Laserstrahlung die Möglichkeit, technische Strukturen mit besonderer dreidimensionaler Wirkung und nicht senkrechte Flanken zu erzeugen. Letzteres erleichtert das Entformen, wenn es sich um eine Strukturierung an Werkzeugwänden handelt. Durch das Umschmelzen können Strukturen bis zu einer Höhe von 200 µm mit lateralen Abmessungen von 0,25 bis zu mehreren Millimetern effektiv hergestellt werden.

Fazit

Zusammengefasst lauten die wesentlichen Merkmale und Vorteile des Laserpolierens:

- Die automatisierte Bearbeitung von 3D-Oberflächen bedeutet eine hohe Reproduzierbarkeit der Polierergebnisse.
- Hohe Prozessgeschwindigkeiten, insbesondere im Vergleich zum manuellen Polieren, reduzieren Fertigungszeiten und -kosten.
- Dass das Verfahren die Einstellung verschiedener Rauheiten und damit verschiedener Glanzgrade mit hoher örtlicher Auflösung (≈ 100 µm) gestattet, versetzt den Anwender in die Lage, neue Oberflächendesigns zu erzeugen.
- Da es sich um ein berührungsloses Verfahren handelt, werden die Bauteile mechanisch nur wenig belastet.
- Die Maschine produziert keine Schleif- und Polierabfälle, sodass die Umweltbelastung gering ausfällt.

Die zukünftigen Arbeiten im Bereich des Laserpolierens am Fraunhofer-Institut für Lasertechnik konzentrieren sich auf die weitere Erprobung und Optimierung der Werkzeugmaschine (Bild 3) und die Bearbeitung komplexer 3D-Oberflächen. Unterstützend soll hierzu ein CAM-System auf Catia V5 Basis entwickelt werden. Auch die Reduzierung der Rauheit bleibt ein aktuelles Thema. Derzeit wird an Werkzeugstahl 1.2343 eine Rauheit von Ra = 0,1 µm erreicht, an Titan Ra = 0,07 µm. Als Ziel der weiteren Entwicklung wurde ein Ra ≤ 0,05 µm ausgegeben. Mit der Übertragung des Verfahrens auf weitere Werkstoffe und Anwendungen bietet das Laserpolieren bislang ungeahnte Perspektiven für die industrielle Fertigung. ■

DANK

Für ihre Beiträge zu dieser Arbeit ist der Autor Dr. rer. nat. Konrad Wissenbach, Thomas Kiedrowski, Sebastian Hack und André Temmler zu Dank verpflichtet.

DER AUTOR

DR.-ING. EDGAR WILLENBORG, geb. 1973, ist seit 2000 wissenschaftlicher Mitarbeiter der Abteilung Oberflächentechnik am Fraunhofer-Institut für Lasertechnik, Aachen, und beschäftigt sich mit dem Polieren von Metallen, Gläsern und Kunststoffen mit Laserstrahlung; edgar.willenborg@ilt.fraunhofer.de

SUMMARY KUNSTSTOFFE INTERNATIONAL

Polishing with Laser Radiation

NEW PERSPECTIVES FOR DESIGN AND PROFITABILITY. Finishing of mould surfaces will no longer be performed manually in the future. Laser polishing opens up new perspectives for the automatic creation of texture details and gloss level of the mould surface.

NOTE: You can read the complete article by entering the document number **PE103900** on our website at www.kunststoffe-international.com