

Mikrobearbeitung am IFSW

Parallel mit dem stetig wachsenden Interesse industrieller Anwender an lasergestützten Verfahren für die Mikromaterialbearbeitung hat die Mikrobearbeitung am IFSW in den letzten Jahren einen gewaltigen Aufschwung genommen. Hauptaufgabe der Abteilung ist die anwendungsorientierte Erforschung moderner Laserbearbeitungsverfahren für das Mikrostrukturieren und Präzisionsbohren und ihre Qualifizierung für den Einsatz als Fertigungsverfahren in der Industrie. Große Erfolge konnten insbesondere durch parallele Erarbeitung des zugehörigen Prozessverständnisses erzielt werden. Im Vordergrund der aktuellen Forschungsaktivitäten stand die Untersuchung der Eignung ultrakurz gepulster Laserstrahlung mit Femto- und Pikosekunden-Pulsdauern für die industrielle Fertigungstechnik im Projekt "Präzise Materialbearbeitung mit Ultrakurzpuls-Strahlquellen" (PRIMUS), das eingebunden in den Projektverband "Femtosekudentechnologie" vom BMBF gefördert wurde.

In den letzten Jahren ist mit der Mikrobearbeitung mit Laserstrahlung ein Wachstumsmarkt mit erheblicher Dynamik entstanden. Mit der Verfügbarkeit von immer zuverlässigeren und leistungsfähigeren Strahlquellen werden zunehmend auch neue Anwendungsfelder jenseits der „klassischen“ Sektoren Laserbeschriften und Laserlithographie erschlossen, gerade auch in der Fertigungstechnik für die Elektronik- und Automobilindustrie. Hier kooperiert das IFSW seit vielen Jahren eng mit Herstellern und Zulieferern, aber auch mit Firmen aus dem Werkzeugmaschinenbau. Dabei stehen das Präzisionsbohren mit Lasern und die Strukturierung von Funktionsoberflächen im Vordergrund. Einige industrielle Anwendungen werden

im Folgenden an Produkten von Kooperationspartnern vorgestellt.

Anwendungsbeispiele

Bei der Gehring Maschinenfabrik GmbH & Co. wurde in Zusammenarbeit mit dem IFSW der Prozess des Laserhohens entwickelt. In besonders belasteten Bereichen von tribologischen Funktionsflächen werden mit gepulster Laserstrahlung gezielt kleine Taschen mit nur rund 30 bis 60 µm Breite eingebracht. Sie dienen als Schmierstoffreservoir und verhindern ein Abreißen des Schmiermittelfilms bei langsamen Relativbewegungen der beiden Reibpartner. So können Reibung und Verschleiß z.B. von Gleitlagern und Zylinderlaufbahnen deutlich verringert werden. Im Motorenbau besteht so ein er-

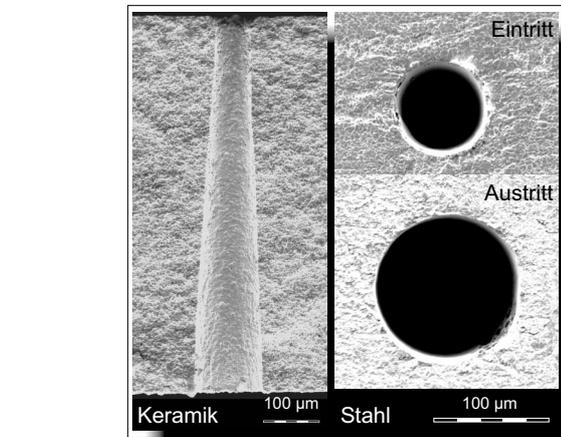


Abb.2: Mit einer Trepanieroptik und der Technik des Wendelbohrens erzielbare, definiert konische Bohrungsgeometrie für Diesel-Direkteinspritzdüsen.

hebliches Potenzial zur Reduktion des Ölverbrauchs sowie zur Einsparung von Kraftstoff und damit von Schadstoffemissionen. Seit Anfang 2002 wird das Verfahren bei der Opel Powertrain GmbH in der Fertigung der 2.0- und 2.2-Liter 4-Zylinder-Dieselmotoren serienmäßig eingesetzt.

Im Bereich Druck- und Prägetechnologien ist die Wetzel GmbH tätig. Heute schon werden bei der Walzenherstellung für das Bedrucken von Verpackungen oder für die Fertigung von strukturierten Kunststoffoberflächen vielfach Laser angewendet. Wünschenswert für die Zukunft ist die nachbearbeitungsfreie Laser-Direktstrukturierung der Kupferoberflächen von Walzen für den Offset-Druck.

Dabei sind Flächen von mehreren Quadratmetern Größe dicht mit kleinsten Nöpfchen unterschiedlicher Größe und Tiefe zu belegen, wobei typischerweise Strukturgrößen unterhalb von 100 µm gewünscht sind.

Als Weltmarktführer bei der Einspritztechnik für Dieselmotoren ist die Robert Bosch GmbH mit der Technik des Laserbohrens gut gerüstet für die Entwicklungen der nächsten Jahre. Immer kleinere Düsenbohrungen sollen künftig für eine bessere Durchmischung des Dieselmotorkraftstoffes im Zylinder und damit für noch sparsamere Motoren sorgen. Die geforderten Düsendurchmesser im Bereich von ca. 100 µm und darunter lassen sich bei Materialstärken von etwa 1 mm mit konventionellen Verfahren nicht mehr fertigen. Hier hilft die Technik des Wendelbohrens weiter, bei der der gepulste Laserstrahl immer wieder auf einer kleinen Kreisbahn umläuft, so dass die Abtragsfront in Form einer Schraubenlinie im Werkstück voranschreitet. Zusätzlich wird oft eine Düsenkontur gefordert, für die der engste Querschnitt auf der Seite des Zylinderraums liegt, also auf der für die Bearbeitung zu-



Abb. 1: Anwendungsbeispiele der Mikromaterialbearbeitung mit kurz gepulster Laserstrahlung bei Industriepartnern des IFSW: Laserhohnen von Zylinderlaufbahnen (Gehring), Strukturieren von Druck- und Prägewalzen (Wetzel) und Bohren von Kraftstoffeinspritzkomponenten (Bosch).

gänglichen Seite. Beim Bohren muss daher der Querschnitt mit der Tiefe zunehmen, was den meisten Fertigungstechniken nicht oder nur eingeschränkt möglich ist.

Optimale Strahlquelle

Um die gewünschten Präzisionsanforderungen zu erfüllen, ist bei allen genannten Beispielen der Metallbearbeitung die Vermeidung hoher Schmelzaufkommen am Rand der Strukturen bzw. am Eintritt der Bohrungen ein wesentlicher Aspekt. Dabei hat sich über die Jahre gezeigt, dass in aller Regel eine Verkürzung der Laserpulsdauer bis auf 1 bis 10 ps viele Vorteile mit sich bringt. Durch die so erzielbaren höheren Intensitäten im Laserfokus wird ein zunehmender Anteil des Materials dampfförmig ausgetrieben und damit die Schmelzgratbildung erheblich reduziert.

Wirklich schmelzfreie Bearbeitung wird allein durch eine Verkürzung der Pulsdauer jedoch nicht erzielt. Insbesondere beim Oberflächenstrukturieren ist zudem eine Be-

zesstechnischen Grenzen sind in dieser Hinsicht nach wie vor unbekannt. Leider bedingen sich verfahrenstechnische Grundlagenuntersuchungen als Basis der weiteren Strahlquellenentwicklung und die Verfügbarkeit von Lasersystemen für eben diese Untersuchungen gegenseitig.

Prozessverständnis

Um dennoch frühzeitig Prognosen über mögliche Grenzen der Prozesse zu machen, anhand derer die erforderlichen Parameter der Laserquellen definiert werden können, werden daher parallel zu den prozessorientierten Versuchen umfassende Studien zur Erlangung eines weit reichenden Prozessverständnisses durchgeführt. In theoretischen Untersuchungen werden mit Hilfe einfacher analytischer und numerischer Rechnungen Modellvorstellungen für Teilaspekte der Bearbeitungsprozesse überprüft: beispielsweise Absorption und Einkopplung, Wärmeleitung oder Schmelzfluss. Die gewonnenen Erkenntnisse finden Eingang in ganzheitliche

zum Gesamtprozessverständnis. Die Visualisierung von Abtragswolken und Materialdampf klärt Fragestellungen zum Verbleib von ablatiertem Material und zu möglichen Abschirmungseffekten bei hohen Pulswiederholraten. Ebenso sind die bei ultrakurzen Pulsen im Fokus auftretenden nichtlinearen Erscheinungen in der Prozessatmosphäre und ihre Vermeidung Thema der Untersuchungen. Ohne besondere Vorkehrungen können sie insbesondere im Femtosekundenregime und bei hohen Energiedichten in erheblichem Maße qualitäts- und effizienzmindern wirken.



Abb.4: Trepanieroptik zum Laserpräzisionsbohren.

Systemtechnik

Aber selbst optimierte Strahlquellen und Laserparameter sind oft noch nicht ausreichend, um Bearbeitungsprozesse in der gewünschten Qualität und mit der erforderlichen Effizienz darzustellen. Als ganz entscheidend hat sich auch im Bereich der Mikromaterialbearbeitung in den letzten Jahren die richtige Systemtechnik erwiesen, gerade auch wenn komplexere Prozessstrategien wie das Wendelbohren umgesetzt werden sollen. In Zusammenarbeit mit der Forschungsgesellschaft für Strahlwerkzeuge mbH (FGSW) ist das IFSW daher in den letzten Jahren verstärkt auf diesem Gebiet tätig. Ein Produkt dieser Kooperation ist die Trepanieroptik zum Wendelbohren, in der ein rotierendes System optischer Keilplatten den Laserfokus auf der für die Bohrstrategie notwendigen Bahn führt. Neben einem von 0 bis 400 µm variabel wähl-

baren Bohrdurchmesser erlaubt die Optik erstmalig eine davon unabhängige Einstellung eines zusätzlichen Laserstrahlstellwinkels auf dem Werkstück. Die Herstellung von Bohrungen, die wie die oben gezeigten einen starken konischen Hinterschnitt aufweisen, wird hiermit teilweise überhaupt erst ermöglicht bzw. durch eine weitaus höhere Prozesseffizienz fertigungstechnisch erst sinnvoll. In der hier dargestellten Variante mit motorischer Durchmessereinstellung ist die FGSW-Trepanieroptik derzeit schon erfolgreich im Industrieinsatz. Mittlerweile hat schon das Nachfolgemodell Produktreife erlangt, bei dem alle Parameter innerhalb von Sekundenbruchteilen während des Bohrprozesses automatisch verstellt werden können. Ein modernes Steuerungskonzept erlaubt zusätzlich auch die Ansteuerung des Lasers und weiterer für das Laserbohren wichtiger systemtechnischer Komponenten. Neben der Strahlquelle stellt die Trepanieroptik dadurch ein Kernstück für jede moderne Laser-Präzisionsbohranlage dar.

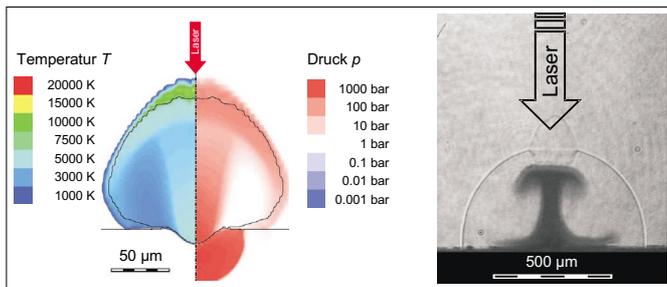


Abb.3: Entwicklung eines Prozessverständnisses zum Laserabtragen und -bohren anhand von numerischen Abtragsmodellen (links) und experimentellen Untersuchungen der Laser-Materialdampf/Plasma-Wechselwirkung (rechts).

schränkung der eingesetzten Pulsenergie erforderlich, so dass die Energiedichte am Werkstück die Abtragschwelle nicht vielfach überschreitet. Leider sinkt dadurch die Gesamtprozesseffizienz überproportional und muss beispielsweise durch eine entsprechende Zunahme der Pulswiederholfrequenz kompensiert werden. Die pro-

numerische Prozesssimulationen, die in umfassender Form möglichst viele Einzeleffekte in ihrem wechselseitigen Zusammenspiel verstehen hilft. Umfassende experimentelle Arbeiten zur Wechselwirkung der Laserstrahlung mit dem ablatierten Material und mit laserinduzierten Plasmen leisten einen wertvollen Beitrag

Institutsadresse:
 Institut für Strahlwerkzeuge
 Pfaffenwaldring 43
 70569 Stuttgart
 Tel.: +49 (0)711-685 6840
 Fax: +49 (0)711-685 6842
<http://www.ifsw.uni-stuttgart.de>

Autoren:
 Dipl.-Phys. Detlef Breiting
 Dipl.-Ing. Christian Föhl
christian.foehl@ifsw.de

Kontakt / Redaktion:
 Dipl.-Ing. Friedemann Lichtner
 FGSW - Forschungsgesellschaft für Strahlwerkzeuge
 Nobelstr. 15
 70569 Stuttgart
 Tel.: +49 (0)711-687 4311
 Fax: +49 (0)711-6868 7281
friedemann.lichtner@ifsw.de
<http://www.fgsw.de>