Abdruck aus Laser Magazin 4/1999

Institut für Strahlwerkzeuge
Universität Stuttgart

IFSW

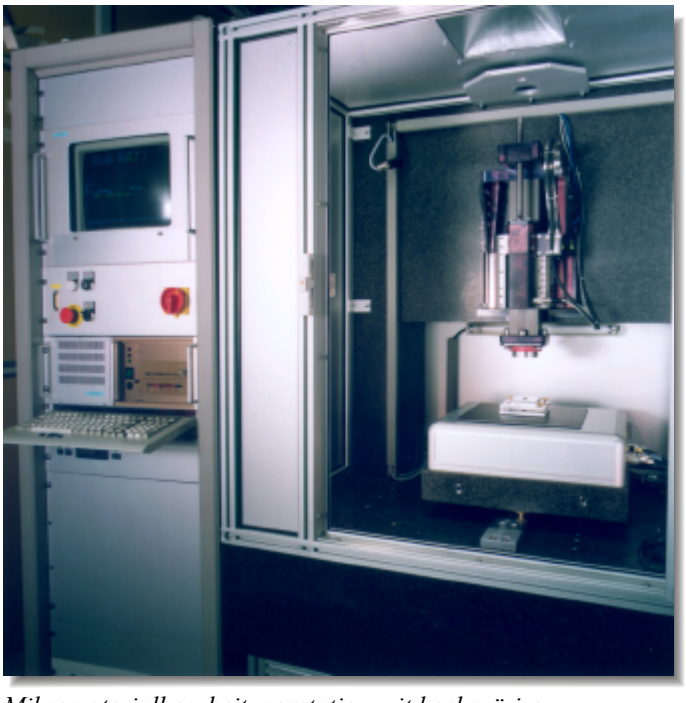
Im Fokus

Mikrobearbeitung am IFSW

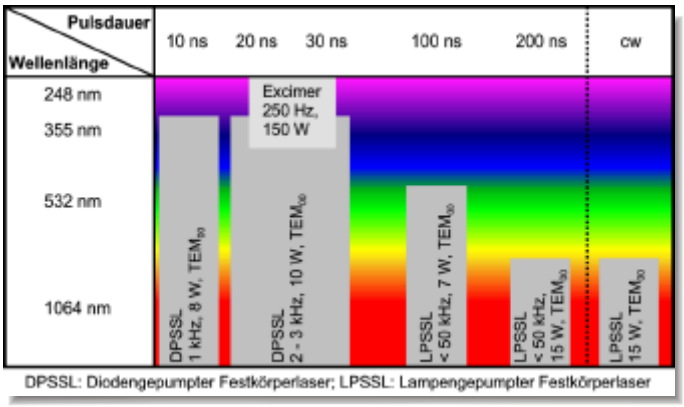
Nachdem in früheren Jahren die Themen Oberflächenbehandlung und Schneidenim Mittelpunkt der Verfahrensentwicklung standen, liegen die Schwerpunkte des Instituts nun auf zwei Gebieten mit besonders hohem Forschungs- und Anwendungspotential: dem Schweißen von Aluminiumlegierungen und der Mikromaterialbearbeitung. Diese Neuausrichtung spiegelt sich auch in einer Umstrukturierung des Versuchsfeldes am IFSW wider, in dessen Zuge die Laborfläche der Mikrobearbeitung auf 140 m² erweitert wurde.

Die Technologie der Mikrostrukturierung wird in Zukunft in zunehmendem Maße an Bedeutung gewinnen, da die Notwendigkeit zur Herstellung hochpräziser und miniaturisierter Strukturen aus ökonomischen und ökologischen Gesichtspunkten stark zunehmen wird. Insbesondere wird die erreichbare Präzision und die Bearbeitbarkeit alternativer Werkstoffe (z. B. Keramiken) die Anwendungsgebiete der strukturierten Komponenten bestimmen.
Zur Erzeugung hochpräziser Strukturen mittels Lasermaterialbearbeitung sind gewisse systemtechnische Voraussetzungen im Bereich der Anlagentechnik sowie der Strahlquellen notwendig.

Anlagentechnik
Für die Präzisionsbearbeitung müssen hochgenaue und hochdynamische Positioniereinheiten eingesetzt werden. Hier bieten sich luftgelagerte Achsen oder Linearantriebe mit hochauflösenden Positionsgebern (z. B. Glasmaßstäben) an. Dadurch lassen sich Positionier- und Bahngenauigkeiten von unter 1 µm erzielen. Dies ist erforderlich, um mit dem Materialbearbeitungsprozeß die geforderten Genauigkeiten von wenigen Mikrometern zu erreichen. Bei großen Geschwindigkeiten kann eine hohe Dynamik und Präzision nur gewährleistet werden, wenn Steuerungen mit kurzen Satzabarbeitungszeiten eingesetzt werden.
Die oben angeführten Voraussetzungen werden von vier ortsfesten Bearbeitungsstationen und einer transportablen Einheit in den Mikrobearbeitungslabors des IFSW erfüllt. Letztere dient vor allem zur Erzeugung hochpräziser rotationssymmetrischer Bohrungen und der Erprobung neuer Strahlquellen. Neben den x/y-Positioniereinheiten, die einen maximalen Verfahrweg von 200 x 200 mm aufweisen, stehen zusätzlich zwei Galvanometerscanner und eine luftgelagerte schnelle Drehachse zur Erzeugung der Relativbewegung zwischen Laserstrahl und Werkstück zur Verfügung. Darüber hinaus werden am IFSW eigene Strahlführungs- und Formungsoptiken für applikationsangepaßte Bearbeitungstechnik mit hoher Präzision entwickelt. Hier liegt das Interesse insbesondere an der Auslegung von momentan nicht am Markt verfügbaren Optiken für das Wendelbohren und Lasererodieren, auf das später noch eingegangen wird.



Mikromaterialbearbeitungsstation mit hochpräziser, luftgelagerter Positioniereinheit

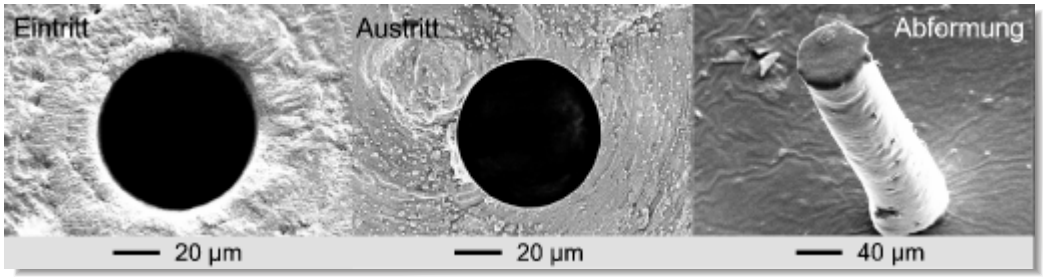


Übersicht der am IFSW in der Mikrobearbeitung eingesetzten Strahlquellen

Strahlquellen
In der Mikrobearbeitung werden Lasersysteme benötigt, die kleinste Fokusdurchmesser ermöglichen bzw. abbildend feinste Strukturen erzeugen können. Dies erfordert eine hohe Strahlqualität und eine kurze Laserwellenlänge sowie fehlerfreie Optiken. Da in der Struktur verbleibende Schmelzphase die erreichbare Präzision verringern, muß ein möglichst hoher Anteil des Materials sublimierend entfernt werden. Dies ist durch kurze Pulsdauern (<200ns) sowie durch eine angepaßte Pulsenergie erreichbar. In Abhängigkeit von der Pulsfolgefrequenz und der Pulsenergie bewegt sich somit die mittlere Leistung dieser Systeme unter 100 Watt, bei Pulsleistungen im Bereich mehrerer Kilowatt.
Prädestiniert für die Mikrobearbeitung sind daher kurzgepulste Festkörperlaser sowie Excimerlaser. Neueste Entwicklungen auf dem Gebiet der Festkörperlaser gehen zu kompakten kurzgepulsten diodengepumpten Systemen. Diese weisen bereits hohe Wirkungsgrade und sehr gute

Strahlqualität auf. Eine weitere Steigerung des Wirkungsgrades und damit der auskoppelbaren Leistungen bei gleichzeitig hoher Strahlqualität kann durch die Weiterentwicklung des diodengepumpten Scheibenlasers erzielt werden.
FürdieQualifizierungderverschiedenenLasersystemesteht ein auf der Basis neuester Erkenntnisse aus dem Projekt "CHOCLAB" entworfenes Strahlvermessungssystem für kontinuierliche und gepulste LaserstrahlungzurVerfügung.

Anwendungsbeispiele
In der Mikrobearbeitung ist durch die Anwendung leistungsfähiger diodengepumpter Laser und durch Entwicklung einer neuen Verfahrensstrategie, dem sogenannten Wendelbohren, ein Durchbruch zu bisher unerreichter Präzision gelungen. Unter Wendelbohren versteht man ein Bohrverfahren mit kreisförmiger Relativbewegung, beidemdieDurchbohrungerst nach einer Vielzahl von Umläufenerreichtwird.Durchdas AuflösendesBohrprozessesin eineVielzahlvonEinzelschritten kann eine Steigerung der Präzisionerreichtwerden.Neben rotationssymmetrischen Bohrungen ist auch die Herstellung geometrisch komplexerMikrobohrungenmittelseines hochgenauen Abtragprozesses möglich.IndiesemFall istesdannangebracht,vomLaser-Erodieren zu sprechen. Hierbei wird die Relativbewegung zwischen Laserstrahl undWerkstückdurchgeeignete Tischbewegungen oder Ablenkoptiken erzeugt. Dadurch können Mikrobohrungen in Stahlund Keramik mithohem Aspektverhältnis erzeugt werden.



Laserbohrung in Stahl (Durchmesser: 65µm;Materialstärke: 300 µm)

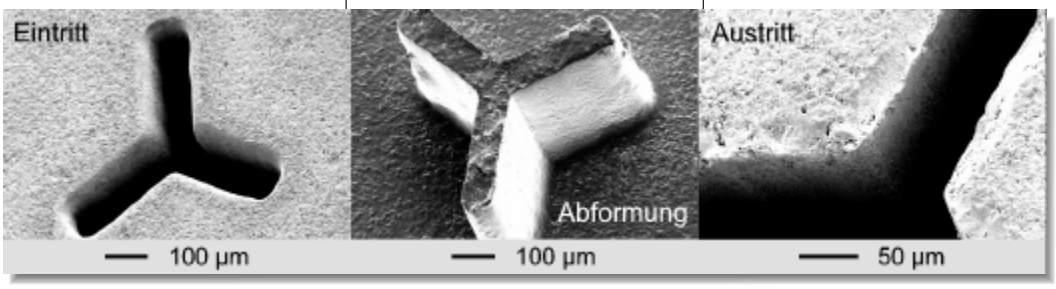
Keramik
Aufgrund derSchrumpfungkeramischer Werkstoffe beim Sintern ist die Genauigkeit von im Grünzustand eingebrachten Bohrungen für zahlreicheAnwendungennichtausreichend. Um die geforderte hohe Präzision zu erreichen, bzw. komplexe Strukturenfertigenzukönnen,erfolgtdieBearbeitung mit dem Laser. EinsatzgebietefürdieseFormausbrüche sind vor allem in der Textilindustrie im Bereich der Spinndüsen zu sehen. Der Wunsch nach Verwendung von Keramik liegt hierbei hauptsächlich in der erreichbaren höheren Standzeit der Düsen aufgrund des geringerenVerschleißes.

Metalle
Die bisher industriell beim Bohren erreichte Genauigkeit reicht für eine Reihe von Applikationen aus, erfüllt jedoch nicht die Anforderungen, die bei wichtigen Anwendungen wie der Kraftfahrzeug-Einspritztechnik gestellt sind. HierbestehtnunauchdieMöglichkeit, Bohrungen bis momentan 1 mm Materialstärke in der obendargestellten Qualitätherzustellen.

Weitere wichtige Arbeitsgebiete in der Mikrobearbeitung sinddas Schneidenund Oberflächenstrukturierenvonkeramischen und metallischen Werkstoffen. Das hochpräzise Ausschneiden von planaren Strukturen bildet die Basis für eine lasergestützte Bauelementetechnologie. Durch das Zusammenfügen dieser Strukturen ist es möglich, dreidimensionaleMikrosystemeherzustellen. Ein wichtiger Aspekt des Lasermikroabtragens mit großem wirtschaftlichenPotentialistdieMöglichkeit, Mikrostrukturen in makroskopische Bauteile einzubringen.DieAnwendungenliegenhier im Bereich der DichtungstechnikunddermechanischenLagermitdemZieleiner Verschleißminimierung.

Materialographie
Für die Analyse der Bearbeitungsergebnissesteht eineMaterialographie mit Licht-, Rasterelektronen- und Laser-Scanning-Mikroskop sowie Replikatechnik, undRauheitsmessungzurVerfügung.

Ausblick
Ein Schwerpunkt zukünftiger Arbeiten stellt die präzise Materialbearbeitung mit Ultrakurzpuls-Strahlquellen dar, die vom BMBF im Rahmen der "Femtosekunden-Technologie" (FST) gefördert wird. DurchdieVerkürzungderPulsdauer in den ps/fs-Bereich wird eine Verminderung bzw. VermeidungvonSchmelzeerwartet.Aufbauend auf den Erfahrungen mit kurzgepulsten Systemen aus dem BMBF-Verbundprojekt "PRABO" (Wendelbohren, Laser-Erodieren) sollen Bearbeitungsstrategienzur hochpräzisen und effizienten Materialbearbeitungerarbeitet werden. Diese sollen neue AnwendungsfelderimBereichderDüsenherstellung und Oberflächenstrukturierung erschließen.



Trilobal: Komplexe Geometrie in Al_2O_3
(Schenkellänge: 300 µm; Schenkelbreite:100 µm; Materialstärke: 400 µm)

Institutsadresse:
InstitutfürStrahlwerkzeuge
Pfaffenwaldring43
70569Stuttgart
Tel.: +49 (0)711-6856840
Fax: +49 (0)711-6856842

Redaktion:
Dipl.-Ing.Matthias GMüller
FGSW- Forschungsgesellschaft fürStrahlwerkzeuge
Nobelstr.15
70569Stuttgart
Tel.: +49 (0)711-6874321
Fax: +49 (0)711-6856842
E-Mail: matthias.mueller@fgsw.uni-stuttgart.de
http://www.ifsw.uni-stuttgart.de