

Schneiden mit dem Laser MicroJet

Weiterentwicklungen der bewährten Technik eröffnen neue Anwendungsfelder, etwa in der Uhrenindustrie

Annika Richmann

Das Laser MicroJet-Schneiden (LMJ) wird bereits in vielen industriellen Anwendungen zum Schneiden von Diamant, Halbleiter und Metallen eingesetzt. Vorteile des LMJs gegenüber anderen Technologien sind hohe Kantenqualität, keine Wärmeeinflusszone, große Abtragraten und große Aspektverhältnisse der Schnittfugen. Kürzlich ließ sich durch Prozessweiterentwicklung die Rauheit der Kanten, abhängig vom geschnittenen Material, auf $Ra = 0,3 - 0,5 \mu\text{m}$ reduzieren.

Technologie

Bei der LMJ-Technik wird Laserstrahlung in einen Wasserstrahl eingekoppelt und in diesem zum Werkstück geführt (Abb. 1). Der Wasserstrahl hat einen Durchmesser von bis zu wenigen $10 \mu\text{m}$ und wird mit einem Druck von $50 - 500 \text{ bar}$ erzeugt. Er dient nur zur

Führung der Laserstrahlung, aber nicht zum Schneiden. Dadurch muss der Arbeitsabstand nicht präzise eingestellt werden, sondern lässt sich in dem stabilen Bereich des Wasserstrahls, der bis zu 100 mm betragen kann, frei wählen. Die Laserstrahlung wird zur Einkoppelung in den Wasserstrahl fasergekoppelt zunächst zu dem Bearbeitungskopf geführt. Eine Skizze des Aufbaus ist in Abb. 2 links gezeigt.

In dem Bearbeitungskopf befinden sich neben dem optischen Aufbau zur Strahlformung auch eine Kamera zur Justierung der Düsenöffnung zum Laserstrahl sowie eine Kamera zur Positionierung der Werkstücke und eine Lichtquelle. Die Laserstrahlung wird zunächst im Bearbeitungskopf kollimiert und anschließend auf die Düsenöffnung durch ein Quarzfenster fokussiert. Das Fenster trennt den optischen Aufbau in dem Bearbeitungskopf von der Düsenkammer und dem darin befindlichen Wasser. Der Fokusbereich kann abhängig von der verwendeten Düsengröße gewählt werden. Senkrecht zum Laserstrahl wird in diesem Bereich rotationssymmetrisch Wasser über mehrere Kanäle in die Düse eingeleitet, welches unter-

halb der Düse in Form eines haarfeinen Wasserstrahls austritt. Im Bereich der Düse wird so die Laserstrahlung in den Wasserstrahl eingekoppelt und mittels Totalreflektion in dem Wasserstrahl geführt. Unterhalb der Düsenöffnung trifft der Laserwasserstrahl auf das Werkstück. Der Arbeitsabstand wird üblicherweise bei kleinen Düsen zu 10 mm gewählt, kann aber insbesondere bei der Bearbeitung von dreidimensionalen Werkstücken größer sein, um eine Kollision mit dem Werkstück zu vermeiden. Zusätzlich wird bei der Bearbeitung von harten Materialien unterhalb der Düse eine Blende montiert, die die Düse vor abgetragenem Material schützen soll [1], welches die Düse beschädigen kann.

Typische Düsengrößen liegen zwischen $30 - 80 \mu\text{m}$ und sind abhängig von der gewünschten Breite der Schnittfuge. Der Durchmesser des Wasserstrahls und damit auch des Laserstrahls ist etwa 20% kleiner, da sich der Wasserstrahl am scharfkantigen Austritt der Düse kontrahiert. Die etwas größeren Düsen werden aus Saphir, die kleineren aus Diamant gefertigt und sind in einen Halter aus Messing oder Edelstahl eingelassen.



Abb. 1 Das Laser MicroJet-Schneiden eignet sich für viele industrielle Anwendungen.

Die Firma

SYNOVA S.A.
Berlin

Synova S. A., im Jahre 1997 gegründet, mit Hauptsitz in Lausanne, Schweiz, stellt Laserschneidsysteme basierend auf einem Wasserstrahlgeführten Laser her. Diese Technologie wurde von dem Gründer der Firma in den frühen 90ern an der ETH Lausanne entwickelt und später weltweit patentiert. Synova beschäftigt etwa 50 Mitarbeiter, darunter 30 Ingenieure, die sich über den Hauptsitz und die 4 weiteren Niederlassungen und Applikationszentren in Japan, Korea, Indien und den USA verteilen.

www.synova.ch/de

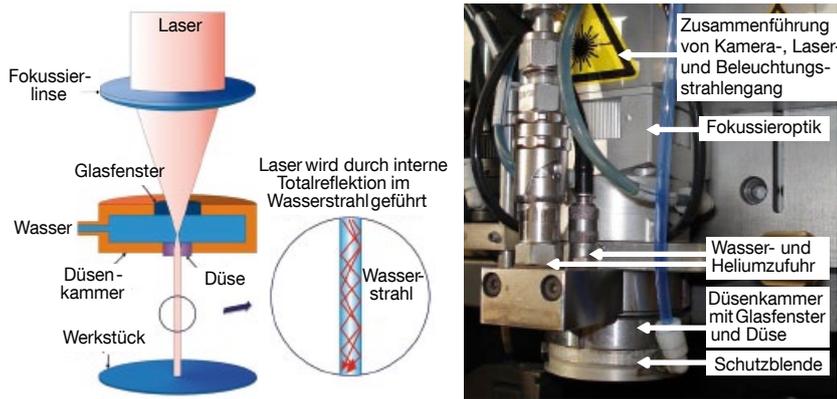


Abb. 2 Links: Prinzip des Laser MicroJets (LMJ). Rechts: Fotos des unteren Teil des Bearbeitungskopfes mit Fokussieroptik und Kopplungseinheit.

Die mechanische Kraft, die von dem Wasserstrahl auf das Werkstück gegeben wird ist aufgrund des geringen Wasserdrucks von maximal 500 bar vernachlässigbar ($<0,1\text{ N}$). Allerdings ist die Wasserqualität entscheidend für die Lebensdauer der Düsen. Darum werden für die Wasseraufbereitung zuvor verschiedene Filter für die Entgasung, zur Deionisierung und zum Entfernen von Partikeln genutzt. Die Düsengröße und der verwendete Wasserdruck bestimmen die Länge, über die der Wasserstrahl stabil ist, und damit auch den maximal verwendbaren Arbeitsabstand. Bei größeren Düsen wird in der Regel ein kleinerer Wasserdruck angewendet. Für alle Düsengrößen gilt allerdings, dass beim Schneiden Aspektverhältnisse von bis

zu 1000 erreicht werden können. Entsprechend beträgt der Arbeitsabstand für $150\ \mu\text{m}$ große Düsen bis zu 150 mm und lässt sich unterhalb der Düse in diesem Bereich frei wählen. Für das Bohren von Löchern $< 1\text{ mm}$ sind immerhin noch Aspektverhältnisse von bis zu 50 möglich, was mit konventionellen Lasern oder Funkenerodieren (Electrical Discharge Machining EDM) nicht zu erreichen ist. Eine Justage des Arbeitsabstandes ist nicht erforderlich, da entlang des stabilen Wasserstrahls eine Top-Hat Intensitätsverteilung erreicht wird. Dies ist ein bedeutender Vorteil gegenüber dem Schneiden mit einem konventionellen Laser. Bei der Bearbeitung mit konventioneller Laserstrahlung muss der Arbeitsabstand sehr genau eingestellt

– dies kann bis zu wenige Mikrometer Genauigkeit erfordern. Mit dem Laser MicroJet lässt sich der Arbeitsabstand sehr flexibel einstellen.

Als Laserquellen kommen infrarote oder grüne Festkörperlaser mit Pulslängen von 80 – 200 ns mit einer maximalen Laserleistung von bis zu 200 W zum Einsatz. Grüne Laserquellen werden bevorzugt, da die Absorption im Wasser sehr viel geringer ist. Durch die Verwendung dieser Laserquellen können sehr hohe Abtragraten im Vergleich zu der Bearbeitung mit Ultrakurzpuls-Laserstrahlung erreicht werden. Die bei der Bearbeitung mit konventioneller ns-Laserstrahlung auftretende Wärmeeinflusszone lässt sich jedoch durch die Kühlung der Wechselwirkungszone mit dem Wasserstrahl verhindern, sodass eine hohe Kantenqualität erreicht werden kann, die vergleichbar mit der Kantenqualität bei der Ultrakurzpuls-Laserstrahlung ist. Ausbrüche und Risse lassen sich durch eine richtige Parameterwahl vermeiden. Zusätzlich sind die Kanten der Schnittfuge beim Schneiden mit Hilfe des LMJs aufgrund des stabilen Top-Hat-Profils entlang des Wasserstrahls parallel – die Breite der Schnittfuge ist also über die Tiefe konstant.

Ein weiterer Vorteil ist, dass das abgetragene Material durch das Wasser sofort vom Werkstück abgeführt wird und so den weiteren Abtragprozess nicht stört. Daher ist der Laser MicroJet auch für giftige oder schwer entsorgbare Materialien sehr gut geeignet. Das kontaminierte Wasser wird nach der Bearbeitung in einem separaten Filtersystem gereinigt und die kritischen Materialien entsorgt. Den zeitlichen Verlauf des Abtragprozesses beim Schneiden mit dem Laser MicroJet zeigt Abb. 3 schematisch.

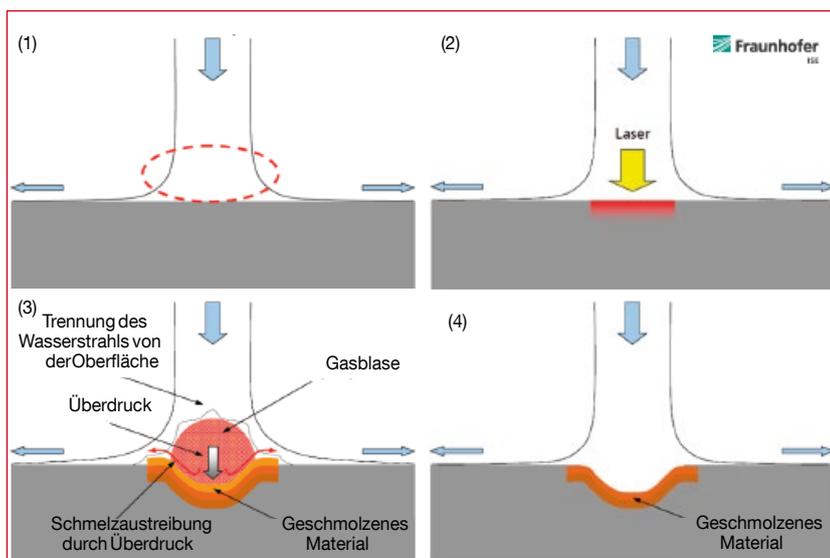


Abb. 3 Schematische Darstellung des Abtragprozesses mit dem Laser MicroJet: (1) Der Wasserstrahl trifft auf die Oberfläche; (2) Absorption des Laserpulses und Beginn des Aufheizens des Materials; (3) Durch das starke Aufheizen des Materials entsteht ein Plasma – nur eine sehr geringfügige Wärmeeinflusszone ist erkennbar, da das Wasser kühlend wirkt; (4) Schnittfuge nach dem Materialabtrag ohne Materialrückstände. (Quelle: FhG)

Anwendungsbeispiele

Das vorgestellte Verfahren wird bereits insbesondere in verschiedenen Anwendungsgebieten eingesetzt, wie z. B. Schneiden und Bohren von natürlichem und synthetischem Diamant, Keramik, Halbleiter und Edelstahl. Abb. 4 zeigt Beispiele für verschiedene Materialien und Anwendungen.

Bei allen Beispielen ist die Kantenqualität sehr hoch, was eine kleine Rauheit der Schnittfläche und keine Ausbrüche im Bereich der Kante be-

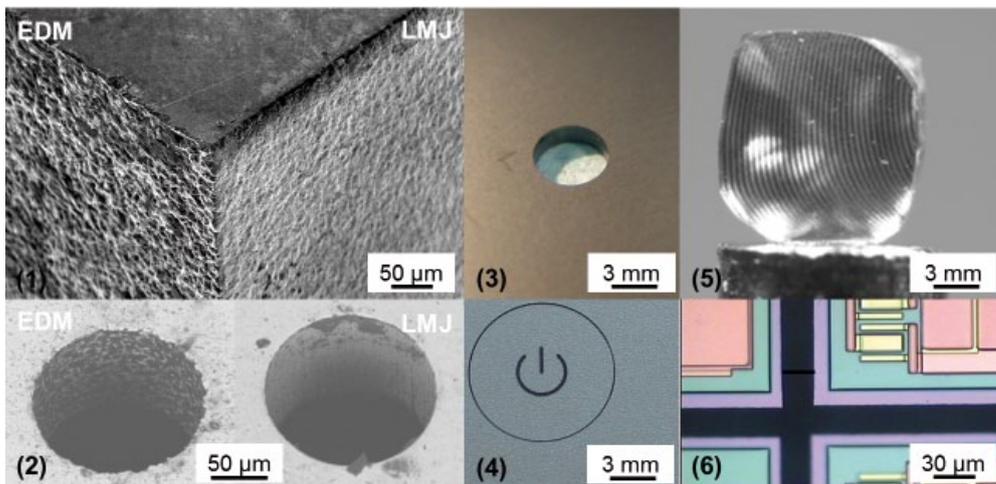


Abb. 4 Beispiele für Anwendungen: (1) PCD (links EDM, rechts LMJ) (2) Bohrungen in Edelstahl (links EDM, rechts LMJ), (3) SiC, (4) Aluminium, (5) Diamant, (6) Schneiden und Ritzen von GaAs Wafern.

deutet. Die Bilder (1) bzw. (2) in Abb. 4 zeigen außerdem, dass beim Schneiden von PKD und Bohren von Edelstahl mit dem LMJ eine geringere Oberflächenrauheit als bei der Bearbeitung

mit EDM erreicht werden kann. Die Rauheit liegt hier im Bereich von $R_a = 0,5 \mu\text{m}$. Auch harte Materialien wie Siliziumkarbid oder Aluminiumoxid lassen sich sehr gut mit dem Laser Mi-

croJet schneiden, s. Abb. 4 (3). Darüber hinaus sind auch weniger harte Materialien, wie Aluminium sehr gut zu bearbeiten, s. Abb. 4 (4). Insbesondere beim Schneiden von Diamant kommt der Vorteil der parallelen Schnittkanten beim Laser MicroJet zum Tragen, da weniger Verschnitt bei gleichzeitig schmaler Schnittfugenbreite erreicht werden kann, s. Abb. 4 (5). Dies bedeutet bei Diamanten je nach Größe des Steins einen direkten Wertgewinn von bis zu 5000 US-Dollar. Darum werden Diamanten mit Düsengrößen von 50, 40 oder 30 μm geschnitten, um den Verschnitt zu minimieren. Das Schneiden von Siliziumwafern ist im Vergleich zu anderen Materialien mit Geschwindigkeiten bis zu 100 mm/s sehr viel schneller, s. Abb. 4 (6). Insbesondere für harte Materialien liegen die Geschwindigkeiten bis zu zwei Größenordnungen darunter. Das Schneiden von Siliziumwafern mit dem Laser MicroJet ist deshalb insbesondere aus wirtschaftlicher Sicht relevant.

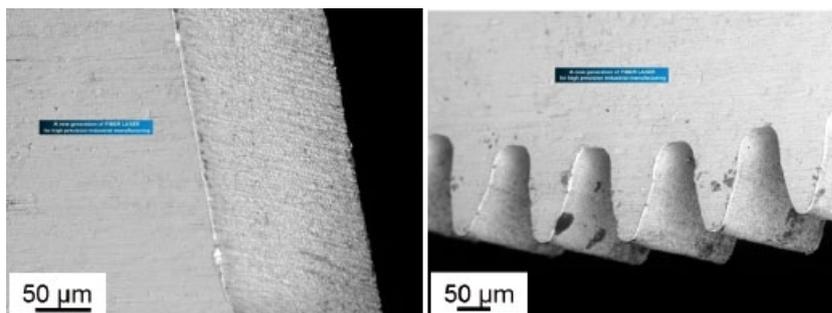


Abb. 5 Schneiden von 200 μm dickem CuBe Blech, Links: Gerader Schnitt, Rechts: Ausgeschnittenes Zahnrad.

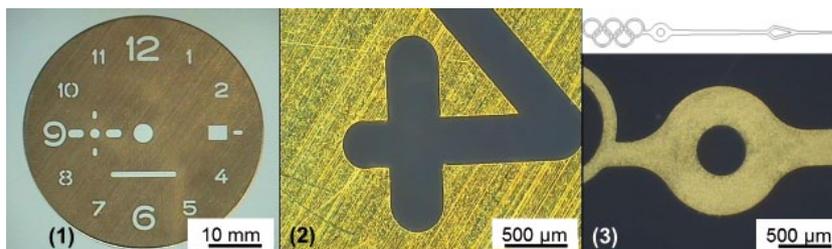


Abb. 6 Beispiele für Anwendungen in der Uhrenindustrie (1, 2) Ziffernblatt, ausgeschnittener Uhrenzeiger (3).

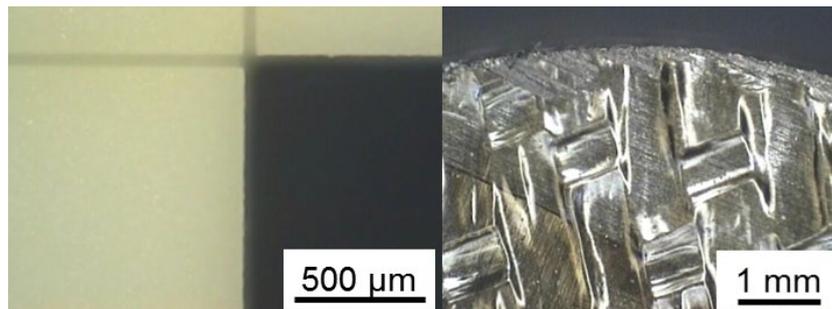


Abb. 7 Links: Aluminiumdioxidkeramik, Rechts: Karbonfasern.

Neuheiten

Durch Verwendung von noch kürzeren Laserpulsen im Bereich von etwa 10 – 50 ns ist es gelungen, die Rauheit der Schnittkanten noch weiter zu reduzieren. Da die Energie der Laserpulse etwas geringer ist als für die längeren Pulse, ist auch die Abtragrates etwas kleiner und daher wird diese Technik überwiegend für dünne Materialien eingesetzt, zum Beispiel für Anwendungen aus der Uhrenindustrie. Zwei Beispiele für das Schneiden aus CuBe anhand eines geraden Schnitts und des Schneidens eines Zahnrades ist in Abb. 5 dargestellt.

Die Zahnräder wurden mit einer Düsengröße von 40 μm hergestellt. Die Rauheit auf den Schnittflächen beträgt ohne Nachbearbeitung $R_a = 0,3 \mu\text{m}$. Diese Rauheit wurde auch mit Edelstahl und Messing erreicht. Die effektive Schnittgeschwindigkeit bei Verwendung einer sehr kleinen Düse liegt für alle Materialien mit einer Dicke von 200 μm bei etwa 1 mm/s. Die Schnittgeschwindigkeit lässt sich bei Verwendung einer größeren Düse noch erhöhen, wobei die Rauheit dabei auch leicht ansteigen kann.

Die in Abb. 5 gezeigten Ergebnisse lassen sich beispielsweise auch für die Herstellung von Zifferblättern oder

Uhrenzeigern verwenden (Abb. 6) und auf Keramik übertragen. Diese wird immer öfter in der Uhrenindustrie eingesetzt. Die erreichte Oberflächenrauheit im Vergleich zu der in Abb. 4 konnte deutlich reduziert werden (Abb. 7).

Ein weiteres neues Anwendungsgebiet könnte in Zukunft durch das Schneiden von Karbonfasern erschlossen werden. Erste Ergebnisse dazu sind sehr vielversprechend und sollen im Laufe der nächsten Monate weiterentwickelt werden (Abb. 7 rechts).

Ausblick

Auch wenn das Laser MicroJet-Schneiden bereits über 15 Jahre weiterentwickelt wird, besteht Synovas Interesse, das Potenzial des Laser MicroJets voll auszuschöpfen, weiterhin. Daher arbeitet die Firma neben den bereits genannten Themen zurzeit daran, durch Verwendung von neuen Laserquellen oder neuen Bearbeitungsstrategien auch Materialien zu bearbeiten, die bis

heute nicht mit dem Verfahren bearbeitet werden können, wie z. B. Saphir, Glas und Kunststoffe. Kürzlich durchgeführte Arbeiten auf Saphir sind sehr vielversprechend.

Ein weiteres Forschungsthema ist die Düsendgröße. Derzeit ist das Verfahren auf eine minimale Schnittfugenbreite von etwa 25 μm limitiert, da diese direkt von der Größe der Düse abhängt. Die Herstellung von Düsen mit einem Durchmesser $< 30 \mu\text{m}$ ist bis jetzt nicht vollständig gelöst. Entscheidend bei der Herstellung der Düsen ist die gute Kantenqualität im Bereich der Einkopplung der Laserstrahlung. Die Kanten müssen in diesem Bereich möglichst glatt sein und dürfen nur eine sehr kleine Verrundung vorweisen, da ansonsten die Düsen bei der Bearbeitung zerstört werden und der Wasserstrahl nicht stabil ist. Die bis jetzt von verschiedenen Herstellern getesteten Düsen mit einem Durchmesser $< 30 \mu\text{m}$ haben daher eine zu kurze Lebensdauer, sodass diese noch nicht in der

Produktion eingesetzt werden können. Des Weiteren sollen auch neue Düsendesigns zur Verwendung von sehr viel kleineren Düsen $< 15 \mu\text{m}$ geprüft werden.

DOI: 10.1002/latj.201300006

[1] B. Richerzhagen, G. Delacrétaz, R. P. Salathé: Opt. Eng. 35 (1996) 2058-2066

Die Autorin



Annika Richmann studierte Physik an der RWTH Aachen und promovierte anschließend am Lehrstuhl für Technologie optischer Systeme der RWTH Aachen in Kooperation mit dem Fraunhofer Institut für Lasertechnik. Seit 2013 ist sie bei Synova für aktuelle und zukünftige Forschungsthemen und -projekte zuständig.

Annika Richmann, Synova SA, Ch. De la Dent d'Oche, CH-1024 Ecublens, Tel.: +41 21 694 36 73, E-Mail: arichmann@synova.ch