

Neue Möglichkeiten zur CBN-Bearbeitung mit dem Wasserstrahlgeführten Laser

Frank Wagner (wagner@synova.ch) &
 Laetitia Mayor (mayor@synova.ch),
 Synova SA, Schweiz

Die Technologie des wasserstrahlgeführten Lasers, auch unter dem Namen Laser MicroJet (LMJ) bekannt, wurde vor zehn Jahren an der Eidgenössisch Technischen Hochschule in Lausanne entwickelt. Zu Beginn war die Technologie auf medizinische Anwendungen ausgerichtet. Schnell zeigte sich aber, dass mit dem wasserstrahlgeführten Laser auch Probleme in verschiedenen anderen Bereichen effizient gelöst werden können. Es handelt sich dabei unter anderem um die Halbleiterindustrie, die Elektronikindustrie, die Automobilindustrie und seit kurzem auch die Werkzeugindustrie. Eine Schweizer Firma produziert nun CNC-Maschinen auf der Basis dieser hybriden Technologie, die in der Tat hervorragende Ergebnisse bei der Herstellung von Hartwerkzeugen aus CBN-Scheiben produziert.

Schneiden mit Laser und Wasser

Der Laserstrahl wird durch die wassergefüllte Druckkammer hindurch in die Düse fokussiert (siehe Bild 1). Der von der Düse ausgehende Wasserstrahl leitet den Laserstrahl durch Totalreflektion an der Wasser-Luft-Grenzfläche, in genau der gleichen Weise, wie es in Glasfaserkabeln geschieht. Man kann den Wasserstrahl daher als flüssigen optischen Wellenleiter veränderlicher Länge bezeichnen.

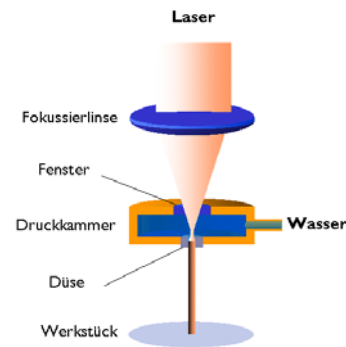


Bild. 1: Microjet Prinzip.

Wasser ist praktisch transparent für den verwendeten Laserstrahl. Wenn der Laserstrahl jedoch auf einen Körper trifft, der ihn absorbiert, so wird dieser so stark erhitzt, dass sich ein Plasma bildet. Das Plasma trennt Wasser und Werkstück, und transferiert die Laserenergie effizient in das zu bearbeitende Material.

Die benutzte Flüssigkeit ist deionisiertes, gefiltertes Wasser.	
Wasserdruck	20-500 bar
Wasserstrahlgeschwindigkeit	Bis zu 300 m/s (bei 500 bar)
Wasserstrahldurchmesser	40, 50, 60, 75, 80 oder 100 Mikrometer
Durchfluss	5-100 ml/min

Tabelle 1: Charakteristika des Wasserstrahls

Das Plasma besteht nur solange es vom Laserstrahl mit Energie versorgt wird. Weil ein gepulster Laser verwendet wird, kann

der kontinuierliche Wasserstrahl den Schnittspalt in der Zeit zwischen den Pulsen kühlen. Dadurch wird der Wärmeeintrag in das Werkstück entscheidend verringert.

Allgemein gesagt ist der Hauptvorteil des Systems die exzellente Schnittqualität, die aus folgenden Gründen erreicht wird:

- Die Vermeidung von thermisch induzierten Schädigungen und von Gratzen durch die Wasserstrahlkühlung des Schnittspaltes und den effizienten Austrieb der Schmelze.
- Die praktische Abwesenheit mechanischer Belastung des Werkstückes, da Wasserdruck und Strahldurchmesser vergleichsweise niedrig sind (siehe Tabelle 1).

Schneiden von CBN-Scheiben mit dem LMJ

Üblicherweise müssen Einsätze aus kubischem Bornitrid (CBN) aus Scheiben von ca. 1-4 mm Dicke und typischerweise 4 Zoll Durchmesser ausgeschnitten werden. Alle üblichen Formen der Einsätze, d.h. Dreiecke, Rechtecke und Rauten, können problemlos mit dem LMJ erzeugt werden, weil das System ein Schneiden in alle Richtungen ermöglicht. Das System schneidet die Formen entsprechend beliebiger Zeichnungen und kann auch Bohrungen höchster Qualität erzeugen (vgl. Bild 4).

Sehr enge Toleranzen können eingehalten werden, da die Maschine eine Präzision von +/- 3 Mikrometern über eine Arbeitsfläche von 300 auf 300 Millimetern aufweist. Eine typische Schneidgeschwindigkeit für 3.25 mm dickes CBN ist 7 mm/min.

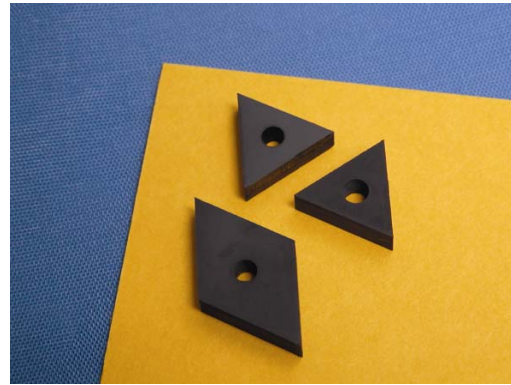


Bild. 2: CBN Einsätze, die mit dem LMJ geschnitten wurden (ohne jegliche Nachbehandlung).

Die besten Ergebnisse in CBN werden mit einem Wasserstrahldurchmesser von 75 Mikrometern erreicht. Diese Information ist von Interesse, da dieser Durchmesser der Schnittbreite entspricht und CBN ein wertvolles Material ist. Desto schmaler der Schnittspalt, desto weniger Materialverlust ergibt sich während der Bearbeitung.

Vergleich mit dem konventionellen Produktionsprozess

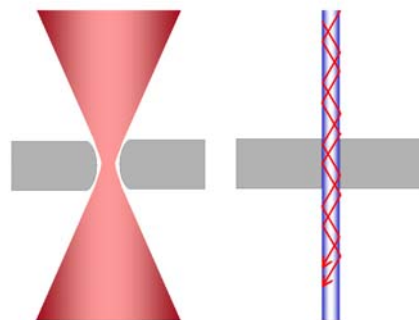


Bild. 3: Links: Die konische Form, die durch konventionelles Laserschneiden entsteht. Rechts: Der Laserstrahl wird im Wasserstrahl geleitet und die Schnittfuge hat parallele Wände.

Der LMJ sollte nicht mit dem konventionellen Laserschneiden verwechselt werden, das heutzutage die meistverwendete Technik beim CBN

schneiden ist.

Der LMJ hat unbestreitbare Vorteile gegenüber dieser älteren Technologie. Der Hauptunterschied liegt in der Führung des Lichts und der Kühlwirkung des Wasserstrahls. Wegen der zylindrischen Form des Wasserstrahls sind, wie schon erwähnt, die Schnittkanten parallel und es entstehen scharfe Kanten (vgl. Bild 3).

Die Kanten der mit dem LMJ geschnittenen Einsätze sind so scharf, dass kein Nachschleifen mehr erforderlich ist (vgl. Bild 5).

Der Fluss des Wassers bewirkt außerdem eine effektive Kühlung des Werkstückes, so dass der Prozess des LMJ manchmal als „kaltes Laserschneiden“ bezeichnet wird. Zum Beispiel können praktisch keine Materialänderungen durch Erhitzung beobachtet werden, wie sie beim konventionellen Laserschneiden üblich sind. Die effiziente Ausspülung der Ablationsprodukte verhindert zusätzlich deren Ablagerung auf dem Werkstück wie auch im Schnittspalt und vermindert zudem die Gratbildung entscheidend gegenüber dem konventionellen Laser.

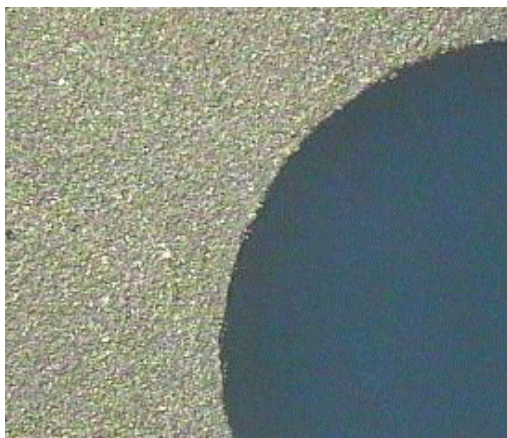


Bild. 4: LMJ gebohrtes Loch
(Durchmesser: 2,6 mm)

Funkenerosion ist ein weiteres Verfahren, das für harte Werkstoffe angewendet wird. Aber es ist nur für elektrisch leitende Werkstoffe von Nutzen, zu denen kaum reine ultra-harte Materialien zählen. Für die LMJ-Bearbeitung ist keine elektrische Leitfähigkeit nötig, und auch die Bearbeitungsgeschwindigkeit liegt weit über den Möglichkeiten der Funkenerosion.

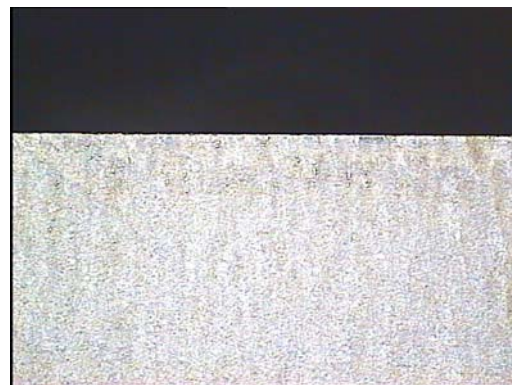


Fig. 5: CBN-Kante, nach dem Schnitt mit dem LMJ. Keinerlei Nachbearbeitung; 70-fach vergrößert.

Diamantsägeblätter werden auch teilweise noch zum Schneiden von CBN-Einsätzen eingesetzt. Wegen der extremen Härte von CBN oder Si_3N_4 ist dieses Verfahren aber mit einer sehr schnellen Abnutzung der Sägeblätter verbunden, was nicht nur zu einem langsamen Prozess führt, sondern auch beträchtliche Qualitätsschwankungen zur Folge hat. Wenn in der LMJ-Maschine der Laser einmal zur Wasserstrahldüse justiert wurde, kann man für hunderte von Stunden schneiden ohne etwas auszutauschen.

Die laufenden Kosten des LMJ liegen deswegen deutlich unter denen der Diamantsäge. Außerdem konsumieren die Diamantsägen auch große Mengen von

Kühlmitteln. Der LMJ hingegen nutzt natürlich auch deionisiertes Wasser, aber nur in sehr kleinen Mengen, dh. maximal 50 ml/min.

Schneiden anderer harter Materialien mit dem LMJ

Die Bearbeitungsmöglichkeiten des LMJ erschöpfen sich nicht mit dem Schneiden von Einsätzen aus kubischem Bornitrid. Andere harte Materialien wie synthetischer Diamant und Siliziumnitrid können ebenfalls effizient geschnitten werden. Letztendlich können beliebige Materialien mit dem LMJ bearbeitet werden, wenn nur ihre Absorption des Laserlichtes ausreichend ist. Der LMJ wurde zuerst für Infrarotlaser (Nd:YAG) entwickelt, da die Lasertechnik in diesem Bereich besonders weit fortgeschritten ist und hohe mittlere Leistungen zur Verfügung stehen.

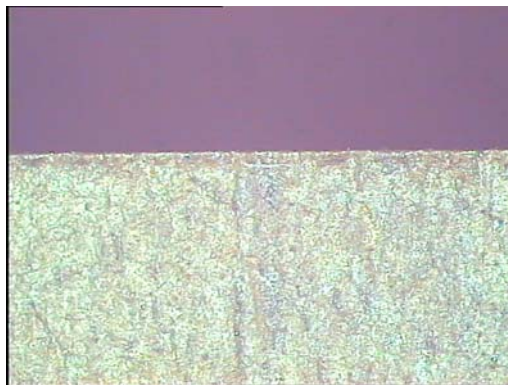


Bild 6: Si₃N₄ Kante, die mit dem LMJ geschnitten wurde. 70-fache Vergrößerung.

Die Absorption der infraroten Laserstrahlung in CBN und Si₃N₄ ist exzellent, was leider nicht für transparente Materialien wie synthetischen Diamant gilt. Trotzdem können gute Bearbeitungsergebnisse erzielt werden, wenn die Puls-Charakteristika des Lasers dem Material angepasst werden

Zusammenfassend kann man sagen, dass der wasserstrahlgeführte Laser beim CBN Schneiden bessere Ergebnisse als alle Standardmethoden erzielt. Die hohe Schnittgeschwindigkeit und die perfekte Kantengeometrie in Kombination mit der Möglichkeit, beliebige Formen zu schneiden, machen den LMJ so interessant für die Werkzeugindustrie.

Durch diese Fähigkeiten der LMJ Technologie sind neue Produkte im Sinne von neuen Materialien und neuen Geometrien möglich geworden. Das selbe gilt auch für neue Dienstleistungen, wie zum Beispiel die Fertigung kundenspezifischer Werkzeuge innerhalb von 24 Stunden.