

Mikrobearbeitung mit wasserstrahlgeführten Laser

Martin Thoma

Speed Laser, Dorfstrasse 43, 8717 Benken

Tel. 055 293 55 05, Fax 055 293 55 06, e-mail: info@speed-laser.ch

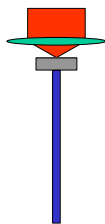
Internet: <http://www.speed-laser.ch>

Zusammenfassung:

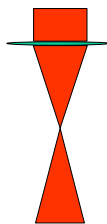
Der wasserstrahlgeführte Laser ist eine neuartige Technologie welche neue Möglichkeiten für die Feinst- und Mikrobearbeitung eröffnet. Mit Schnittspaltbreiten von 30 – 100 µm und einer sehr effizienten Kühlung der Schnittkante entsteht ein einzigartiger Prozess für die Bearbeitung unterschiedlichster Werkstoffe. Ganz speziell gilt dies für wärmeempfindliche Materialien.

Ursprünglich als Reinigungstechnologie entwickelt und später auch als Dentalbohrgerät, hat der wasserstrahlgeführte Laser inzwischen den Durchbruch mit der industriellen Nutzung erreicht. Das Verfahren ermöglicht einzigartige Bearbeitungslösungen, besonders für die Feinst- und Mikrobearbeitung von wärmeempfindlichen Materialien. Die Technologie basiert auf einem feinen Flüssigkeitsstrahl, welcher die Laserenergie fokussiert auf das Werkstück überträgt. In der Funktionsweise ähnlich der bekannten Glasfaser. Die Wirkweise unterscheidet sich jedoch stark von den bisher bekannten Laserbearbeitungsverfahren.

Wasserstrahlgeführter Laser



Klassischer Laser



Der Wasserstrahlgeführte Laser wirkt als Ablationsverfahren im Gegensatz zum Ausbrennverfahren der klassischen Lasertechnologie. Das Verfahren gleicht in seiner Wirkung somit eher der Drahterosion. Der wasserstrahlgeführte Laser liefert optimal fokussierte Laserenergie auf einer Länge von bis zu 100 mm und erzeugt dabei einen praktisch vernachlässigbaren Schnittdruck am Werkstück. So ist es mit dem wasserstrahlgeführten Laser nicht üblich, den Abstand zwischen Fokussieroptik und

Werkstück sehr genau zu Regeln, wie dies bisher mit Laserbearbeitungsverfahren nötig war. Zudem entfällt oft auch ein aufwändiges Spannen des Werkstückes, da praktisch keine Kräfte auf das Werkstück wirken. Nebst dieser Charakteristik ergeben sich weitere interessante Vorteile, welche der Industrie völlig neue Möglichkeiten zur Herstellung hochgenauer, komplexer Teile eröffnet, für welche es bisher keine, oder nur sehr viel aufwändigere Herstellmethoden gab. Der Wasserstrahl bewirkt als erwünschten Nebeneffekt eine hervorragende Kühlung der Schnittkante, sodass auch äusserst wärmeempfindliche Werkstoffe bearbeitet werden können, ohne dass es dabei zu Rissbildung oder Randschichtveränderungen kommt. Dieser Umstand sorgt auch dafür, dass die unerwünschte Gratbildung an der Unterseite des Werkstückes mit dem wasserstrahlgeführten Laser in der Regel weit geringer ist als bei anderen Verfahren. Bei einzelnen Materialien ist auch eine absolut gratfreie Bearbeitung möglich.

Um die Technologie und dessen Wirkung würdigen zu können, ist es wichtig, den Vorgang zu verstehen. Beim klassischen Laser wird mittels eines auf einen Punkt fokussierten Laserstrahls die Oberfläche des Werkstückes erhitzt und mit einem Schutzgas unter hohem Druck das erhitzte Material als Schmelze ausgeblasen. Es handelt sich dabei um ein so genanntes Ausbrennverfahren. Beim wasserstrahlgeführten Laser sprechen wir von einem Ablationsverfahren. Am Punkt wo der Wasserstrahl auf das Werkstück auftritt erfolgt mit jedem Laserpuls eine sehr kurze, lokale Erhitzung. Die so entstehende Schmelze wird umgehend

vom Wasserstrahl ausgetragen und das umliegende Material sofort gekühlt. So werden sehr kleine Mengen ausgetragen, ohne dass das umliegende Material irgendwelche Hitzschäden erleidet. Man kann den Unterschied zwischen klassisch hergestellten Teilen und mit wasserstrahlgeführtem Laser hergestellten Teilen sehr leicht erkennen. An mit wasserstrahlgeführtem Laser bearbeiteten Werkstücken ist keinerlei Verfärbung an der Schnittkante erkennbar, weshalb eine Nachbehandlung des Teiles oft entfallen kann. Bei einer Anwendung mit optimierten Parametern ist eine Wärmeeinfuhr in die Schnittkante nicht nachweisbar. Die Oberfläche gleicht einem mit Elektroerosion bearbeiteten Werkstück oder einer Sandgestrahlten Oberfläche. Die Schnittkante ist sehr eben und im rechten Winkel zu Oberfläche, ohne Anzug sowie beidseitig scharfkantig ausgebildet. Bei einzelnen Materialien beobachten wir eine geringe Ablagerung von ausgetragenem Material an der Unterkante. Dieses haftet jedoch nicht stark und kann meist ohne grossen Aufwand abgestreift werden.

Der wasserstrahlgeführte Laser ist grundsätzlich ein sehr effizientes und wirtschaftliches Verfahren für die genaue Bearbeitung von dünnen Materialien. Mit zunehmender Dicke des Werkstückes nimmt die Bearbeitungsgeschwindigkeit progressiv ab. Es ist schwierig hierbei eine definierte Wirtschaftlichkeitsgrenze zu legen, da diesbezüglich verschiedene Faktoren zu berücksichtigen sind. Stahl beispielsweise ist meist nur bis 0.5 mm Dicke wirtschaftlich bearbeitbar.

Der Wasserstrahlgeführte Laser wird in erster Linie zum Schneiden verwendet. Wir haben aber auch schon einzigartige Resultate beim Abtragen erreicht und auch zum Bohren eignet sich das Verfahren mit gewissen Einschränkungen. Das Verfahren ist noch sehr jung und wir treiben deshalb einen erheblichen Aufwand für die kontinuierliche Weiterentwicklung des Verfahrens.

Die Feinst- und Mikrobearbeitung:

Besonders häufig wird das Verfahren in der Uhrenindustrie, der Medizinaltechnik, der Halbleiterindustrie und der Sensorindustrie eingesetzt. Daneben gibt es aber unzählige weitere Anwendungen aus den verschiedensten Bereichen der produzierenden Industrie. Die Uhrenindustrie verwendet das Verfahren für die Herstellung von Uhrenteilen in Kleinserien wie auch für Prototypenteile und Versuchsreihen für die Auslegung von Stanzwerkzeugen. Der wasserstrahlgeführte Laser ist die einzige realistische Alternative zum chemischen Ätzen, welches aus Umweltschutzgründen zunehmend verteuert und verdrängt wird. Für die Medizinaltechnik fertigen wir viele Teile für Endoskope und anderen Werkzeugen; aber auch für die Herstellung von Stents (Implantate) haben wir sehr vorteilhafte Bearbeitungseffekte gegenüber klassischen Herstellmethoden zu offerieren. Im weiteren fertigen wir sehr filigrane und komplexe Implantate für die Hirnchirurgie. In der Halbleiterindustrie wird der wasserstrahlgeführte Laser vorwiegend zur Bearbeitung von sehr wärmeempfindlichen Materialien wie Si und GaAs eingesetzt. Bei der Sensor- und Piezoindustrie sind es hauptsächlich Masken und Membranen welche mit dem wasserstrahlgeführten Laser hergestellt werden. Hier sind es vielfach sehr kleine Bauteile, welche oft eine interessante Herausforderung darstellen.

Allgemein eröffnet die wasserstrahlgeführte Lasertechnologie für diese Anwendungen völlig neue Möglichkeiten um kleine Bauteile von hoher Qualität und Präzision kostengünstig und reproduzierbar herstellen zu können. Durch den oft sehr geringen Initialaufwand eignet sich das Verfahren auch hervorragend für die kostengünstige Herstellung von Prototypen und Kleinserien, wobei sehr flexibel auf Anpassungs- und Änderungswünsche reagiert werden kann.

Einige Beispiele:

Für das Hochvakuumlöten von Bauteilen, wie etwa das Auflöten von Diamantkörnern auf eine Titanlegierung, wird im vorliegenden Fall eine 70 µm starke Bimetallfolie als Lot verwendet. Für diese neuartige Applikation konnten die gewünschten konischen Bohrungen mit traditionellen Verfahren nicht in befriedigender Qualität hergestellt werden. Klassische Laseranwendungen brachten zuviel Wärme in das Material ein. Beim chemischen Ätzen ergab sich zwischen den Lagen des Materials eine unterschiedliche Ausprägung der Bearbeitung welches zu unbrauchbaren Resultaten führte. Bereits bei der ersten Bemusterung stellte der wasserstrahlgeführte Laser sehr interessante Effekte dar, welche in der Folge zu einer weiteren Steigerung der Anforderungen an das Bauteil führten und so ein noch besseres Resultat für den Kunden erzielt werden konnte. Die Applikation hat dem Kunden einen wesentlichen technologischen Vorsprung ermöglicht, durch welchen er mit seinem Produkt eine einzigartige Marktstellung erreicht hat.

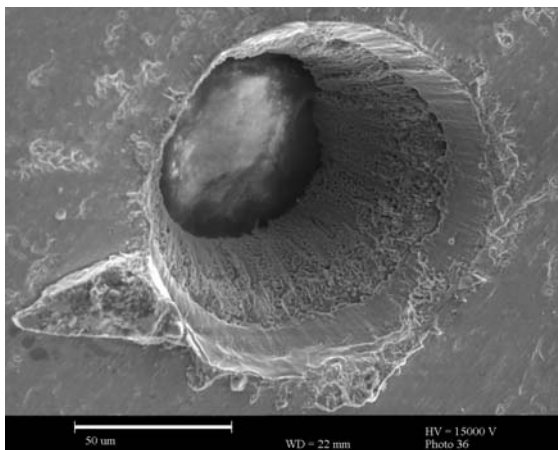


Bild 2: Konische Bohrung in Bimetallfolie mit 0.07 mm Dicke, Bohrung $d = 0.13 / 0.075 \text{ mm} \pm 0.02 \text{ mm}$

Stents sind medizinische Implantate aus rostfreiem Stahl oder einer NiTi-Legierung. Es sind dies speziell geschnittene kleine Rohre, welche in verengten Stellen der Blutgefäße eingesetzt und expandiert werden. So können diese bis zur 8-fachen Größe ihres Ursprungsdurchmessers aufgeweitet und im Körper positioniert werden. Es ist dies eine sehr interessante Applikation bei welcher der wasserstrahl-

geführte Laser seine Vorteile in vielfacher Weise zum Tragen bringen kann. Durch die praktisch vernachlässigbare Wärmeeinfuhr an den Schnittkanten und der sehr kleinen Schnittspaltenbreite ist es möglich, die Nachbehandlung auf ein absolutes Minimum zu reduzieren bzw. mit Nachbearbeitungsverfahren zu arbeiten, welche für den Einsatz des Stents im Körper wesentlich vorteilhafter und weniger risikobehaftet sind wie die üblich angewandten Verfahren. Statt des sehr aufwändigen chemischen Polierens oder des Elektropolierens erreichen wir mit einem neu entwickelten Verdichten der Oberfläche ideale Voraussetzungen wie etwa eine um über 10 mal höhere Wechselbeanspruchungsfestigkeit und eine Oberflächenqualität welche den Stent ideal für den Einsatz im Gewebe der Blutgefäße macht.

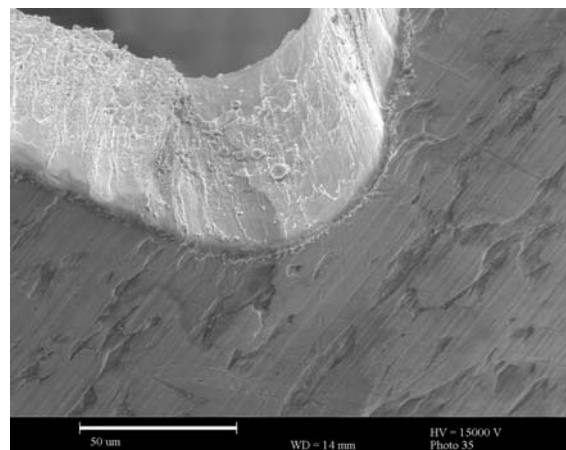


Bild 3: Stent (ohne Nachbearbeitung)

Aber nun noch ein Wort zur Bearbeitung sehr wärmeempfindlicher Werkstoffe wie etwa Si, GaAs, CBN, BaTiO₃ etc. Diese meist synthetischen Materialien werden in zunehmender Menge verwendet. So zum Beispiel in der Elektronik, als Schneidmittel, als Isolatoren in medizinischen Geräten aber auch als Ausgangsmaterial für oelfreie Hochgeschwindigkeitslager und vielen anderen High-Tech-Anwendungen. Diese Werkstoffe sind alle sehr hart, spröde und sehr wärmeempfindlich und dadurch im allgemeinen sehr schwierig zu bearbeiten. Mit der zunehmenden Miniaturisierung gelangen traditionelle und oft auch sehr kostenintensive Herstellungsprozesse zunehmend an ihre Grenzen. Der wasserstrahlgeführte Laser bietet hier eine

höchst willkommene und meist auch sehr kostengünstige Alternative, welche dort anfängt, wo klassische Prozesse an ihre Grenzen stossen. Aufgrund des sehr geringen Schnittdruckes und den sehr feinen möglichen Schnittspaltbreiten ist es mit dem wasserstrahlgeführten Laser problemlos möglich, Silizium (Si) von nur 0.01 mm Dicke zu schneiden. Aber auch dicke Wafer oder beispielsweise CBN mit 4.8 mm Stärke sind wirtschaftlich und ohne Rissbildung an den Schnittkanten prozessierbar.

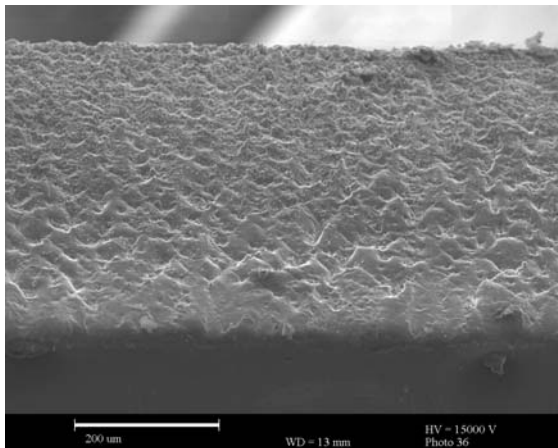


Bild 4: Schnittkante in Silizium, Dicke 1.2 mm

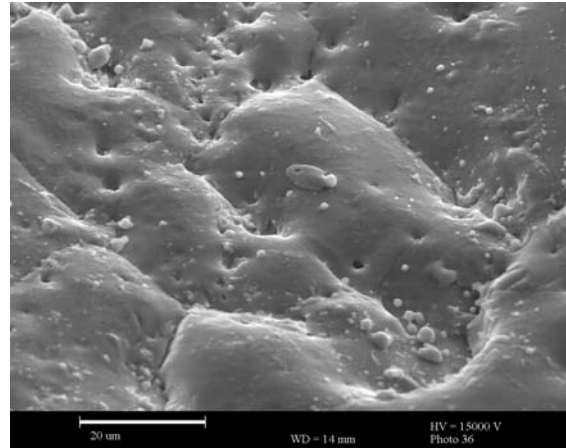


Bild 5: Schnittkante in Silizium, Dicke 1.2 mm, Ausschnitt

Fazit:

Mit der allgemeinen Tendenz zur Miniaturisierung stellt der wasserstrahlgeführte Laser eine sehr interessante Bereicherung der Produktionsmöglichkeiten für die Herstellung kleiner, hochgenauer Bauteile dar. Der wasserstrahlgeführte Laser steht nicht in direkter Konkurrenz zu etablierten Verfahren sondern komplementiert diese mit der Eröffnung völlig neuer Bearbeitungsmöglichkeiten.