

Kurz, kürzer, piko

- Moderne Ultrakurzpuls-Laser arbeiten mit Pulsen, die nur Pikosekunden dauern. Eine Pikosekunde entspricht dem Billionstel einer Sekunde. Also 0,000 000 000 001 oder eben mathematisch ausgedrückt
- 10 hoch minus 12.

Stärke

- Die Stärke der meisten heute auf dem Markt erhältlichen und einsetzbaren UKP-Laser liegt bei
- 100 Watt. Klingt wenig, reicht aber aus.

UKP? Was ist das?

- Üblicherweise werden Laser, die mit Pulsen im Femto- oder Pikosekundenbereich arbeiten, als UKP-, also Ultrakurzpuls-, Laser bezeichnet. Ein Laser, der im Nanosekundenbereich strahlt, zählt nicht dazu.

Bild: Jürgen Flächle - Fotolia

UKP-Laser-Fertigung schneller als ein Lidschlag

Ultrakurzpuls-Laser revolutionieren die Mikrofertigung

Mit Laserpulsen, die im Billionstel-Sekunden-Bereich arbeiten, werden innovative Produkte hergestellt, die ohne diese Technik nicht denkbar wären.

Ein Lidschlag dauert bei einem Menschen durchschnittlich zwischen 300 und 400 Millisekunden. Er gilt als eine der schnellsten und kürzesten Bewegungen, die der Mensch ausführen kann. In der Welt der Ultrakurzpuls-Laser (UKP) kann man darüber noch nicht einmal müde lächeln. Hier arbeitet man mit Laserpulsen im Femto- und Pikosekundenbereich. Eine Pikosekunde ist das Billionstel einer Sekunde – also 10^{-12} . In dieser schier unfassbar kurzen Zeit kann mit UKP-Lasern nahezu jedes Material bearbeitet werden. So können Löcher, die dünner sind als ein menschliches Haar, in Metalle gebohrt werden oder medizinische Gefäßstützen aus winzigen Polymer-Röhrchen geschnitten werden. Außerdem werden mit der Technologie bruchfeste Displaygläser für Smartphones gefertigt, Oberflächen von Dünnschicht-Solarzellen strukturiert oder hauchdünne Kunststofffolien, spröde Keramikteile, ja sogar Diamanten getrennt.

Gerade die Materialbearbeitung mit Pikosekunden-Pulsen zeichnet sich im Vergleich zu „längeren“ Pulsen im Nano- oder Mikrosekun-

den-Bereich dadurch aus, dass sie eine präzisere Bearbeitung ermöglicht. Anwendungsbeispiele sind hochwertige Kennzeichnungen, die Oberflächenstrukturierung zur Reduktion von Reibungsverlusten, die Photovoltaik-Fertigung, das LED-Dicing und das Strukturieren von Dünnschichtzellen.

Diese ultrakurzen Pulse bringen punktuell sehr hohe Energie-Intensitäten ins Material. Durch die kurze Pulsdauer gibt es jedoch kaum Gelegenheit für das Material, die Laserenergie in Form von Wärme an benachbartes Material weiterzuleiten. Die UKP-Bearbeitung wird daher auch als „kalter Abtrag“ bezeichnet. Theoretisch wird beim Materialabtrag von Metallen die flüssige Phase des zu bearbeitenden Materials übersprungen, sodass ein direkter Übergang vom festen in den Gaszustand erfolgt. Das Material wird also direkt verdampft, was auch als Sublimation bezeichnet wird. Damit ist ein sehr präziser Abtrag möglich, der ohne Schmelzablagerungen erfolgt. Die Qualität des Bearbeitungsergebnisses macht zeit- und kostenaufwendige Nachbearbeitungsschritte zur Entfernung von Graten oder Schmelzeablagerungen

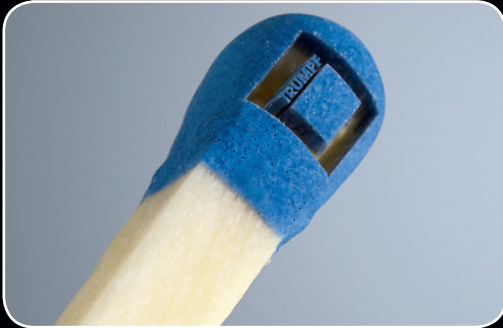


Bild: Trumpf

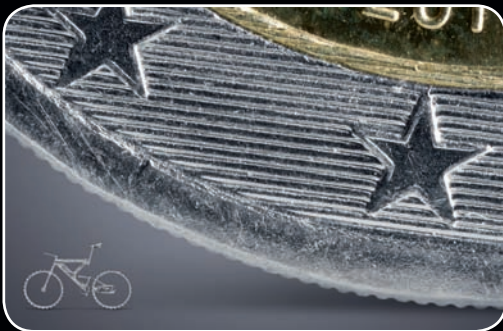


Bild: Trumpf

Kleiner und genauer geht nicht

Mit UKP-Technik können kleinste Strukturen aus fast jedem beliebigen Material geschnitten werden. So zum Beispiel in einen Streichholzkopf – der sich aufgrund der besonderen Eigenschaften der Technik auch nicht entzündet. Auch ein Fahrrad, kleiner als der Stern auf einer Zwei-Euro-Münze, ist problemlos herstellbar.

überflüssig. Allerdings sind Laser im Pikosekundenbereich etwas weniger effizient als ihre länger pulsierenden Kollegen – das ist der Tatsache geschuldet, dass UKP-Laser das Material als Plasma abtragen, während bei längeren Pulsen eher Schmelze abgetragen wird. Unternehmen wie Coherent haben daher eine neue Generation von Pikosekunden-Lasern wie die Rapid NX-Serie entwickelt, die den Kostenanteil pro Watt, in denen Profis die Kosten für einen Laser berechnen, deutlich gesenkt hat.

Außerdem gibt es laut Coherent einen wachsenden Bereich von Markierapplikationen, dem traditionelle Laserverfahren nicht gewachsen sind und der die höheren Kosten beim Wechsel zur Pikosekunden-Technologie rechtfertigt. So werden zum Beispiel in der Automobilindustrie teure oder problematische Bauteile mit einem Barcode versehen, der in der erforderlichen Präzision nur von einem Pikosekunden-Laser aufgebracht werden kann. Die Markierungen, die Serien- oder Chargennummern enthalten, stellen unter anderem die Rückverfolgbarkeit der Bauteile sicher. Entscheidend ist, dass die Barcodes durch den Verschleiß nicht unleserlich werden und die Funktionalität des Werkstückes nicht beeinträchtigen. Diese Applikationen stellen ein ideales Einsatzgebiet für den Pikosekunden-Laser dar, der Markierungen so erzeugt, so dass weder Verfärbungen noch Veränderungen der Oberflächenstruktur auftreten.

Entsprechend den steigenden Anforderungen werden auch die Leistungen der Laser verbessert. Bei Trumpf in Ditzingen, einem der größten Laserhersteller Deutschlands, wurde so zum Beispiel die TruMicro Serie 5000 entwickelt. Das sind UKP-Laser mit Laserleistungen von bis zu 100 Watt und Pulsenergien bis zu 250 Mikrojoule. Die extrem kurzen Pulse von weniger als 10 Pikosekunden verdampfen nahezu jedes Material so schnell, dass keine Wärmeeinflusszone erkennbar ist. Diese Laser ermöglichen laut Hersteller Mikrobearbeitung mit einer optimalen Kombination aus Qualität und Produktivität.

Einige der Verfahren, in denen solche und ähnliche UKP-Laser zum Einsatz kommen, klingen wie Science Fiction. So beispielsweise das sogenannte Selective Laser Etching (SLE), das Forscher am Fraunhofer Laser Institut in Aachen entscheidend mitentwickelt haben. Der Diplom-Physiker Sebastian Nippgen erklärt, wie es funktioniert: „Ultrakurz gepulste Laserstrahlung wird innerhalb eines transparenten Werkstücks aus Glas oder Saphir fokussiert. So wird das Material rissfrei in seinen Eigenschaften derart verändert, dass es selektiv chemisch ätzbar wird. Somit können Mikrokanäle, Formbohrungen, strukturierte Bauteile und komplexe Systeme in Glas oder Saphir hergestellt werden.“ Speziell wird das Verfahren in der Feinmechanik und in der Medizintechnik eingesetzt, wo damit extrem kleine und feine Bauteile ausgeschnitten werden. Durch den Einsatz eines Mikros�anners werden Formen bis auf 1 µm genau geschnitten.

„Sogenannte mikrofluidische Systeme können mit dem SLE-Verfahren in thermisch und chemisch beständigen Materialien wie Quarzglas, Borosilikatglas oder Saphir für diverse Anwendungen zum Beispiel in der medizinischen Diagnostik hergestellt werden“, erklärt Nippgen. Der Vorteil dabei: In Quarzglas wird das durch die Laserstrahlung modifizierte Volumen um den Faktor 1000 schneller geätzt als das unmodifizierte Glas. Dadurch sind minimale Kanaldurchmesser von 10 µm bei einer Länge von einigen Millimetern möglich. Durch Scannen im Volumen können Kanäle, Verzweiger und beliebige Hohlstrukturen hergestellt werden.

Erst die Strahlführung macht jedoch aus dem Laserstrahl ein flexibles Werkzeug. Dafür kommen beispielsweise hoch dynamische Scanner zum Einsatz. Einfach gesagt ist ein Scanner eine Einheit, in der drehbare Spiegel mithilfe von Motoren (Galvanometern) sehr schnell und präzise so gesteuert werden können, dass der Laserstrahl genau dort auftrifft, wo der Abtrag erfolgen soll. Ein Unternehmen, das sich mit der Herstellung von Präzisionsscannern beschäftigt, ist Scanlab:

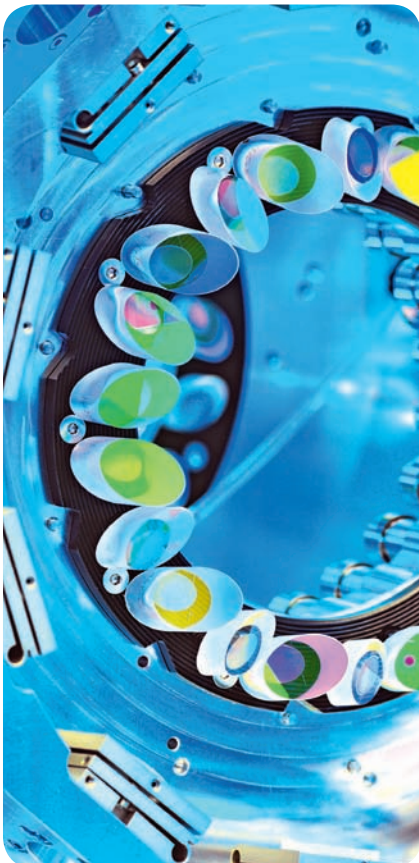


Bild: Fraunhofer ILT

Ein am ILT entwickelter Scheibenverstärker für UKP-Laser mit einer Leistung von 1,5 kW. Damit wurde am ILT ein neuer Rekord für UKP-Laser erreicht: Das System liefert 1,5 kW mittlere Leistung bei einer Pulsdauer von 710 fs. Unterstützt wurde die Entwicklung vom Bundesforschungsministerium sowie der Trumpf-Gruppe.

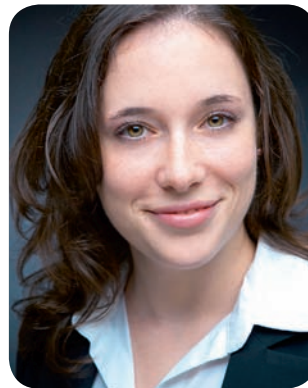


Bild: Scanlab

„Durch moderne Strahlquellen, wie UKP-Laser, sind völlig neue Bearbeitungsverfahren möglich geworden.“

Dr.-Ing. Patricia Weber,
Scanlab, Puchheim

Die Scanlab nahe München ist nach eigenen Angaben der weltweit führende unabhängige OEM-Hersteller von Scan-Lösungen zum Ablenken, Positionieren und Führen von Laserstrahlen in drei Dimensionen.



Bild: Fraunhofer ILT

„Höhere Produktivität ist heute das Hauptziel bei der Entwicklung von UKP-Lasersystemen für die Industrie.“

Dipl.-Phys. Sebastian Nippgen,
Fraunhofer ILT, Aachen

Mit über 400 Mitarbeitern zählt das Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT weltweit zu den bedeutendsten Auftragsforschungs- und Entwicklungsinstituten im Bereich Laserentwicklung und Laseranwendung.

„Durch die Kombination moderner UKP-Strahlquellen mit innovativer Strahlführung sind völlig neue Bearbeitungsverfahren in Feinwerktechnik und Mikrotechnologie technisch und wirtschaftlich möglich geworden“, erklärt Dr.-Ing. Patricia Weber, Projektleiterin für die Produktentwicklung komplexer Scan-Systeme bei Scanlab. „Die Kombination aus UKP-Laser mit Scanner-basierter Strahlführung in bis zu 5-Achs-Richtungen ermöglicht eine Qualitätssteigerung von Konturkanten und Oberflächen – beispielsweise bei Mikrobohrungen in Einspritzdüsen für den Automotive-Sektor oder präzisen Schnittkanten an Zahnradlaufflächen in der Uhrenindustrie.“

Ihr Unternehmen hat die Mikrobearbeitungs-Systemlösung precSYS entwickelt, in dem durch eine präzise taumelnde Bewegung des Laserstrahls in 5-Achs-Richtungen ideal zylindrische und gar negativ konische Bohrungen hergestellt werden können. Das bedeutet, dass der Eintritt einer Bohrung kleiner ist als ihr Austritt. Diese sogenannten Hinterschnitte sind somit erstmals möglich geworden und kommen an Stellen zum Einsatz, wo die Werkstückrückseite nicht bearbeitet werden kann. Zudem ist es möglich, auch flexible Formen wie elliptische oder kleeblattförmige Strukturen herzustellen. Diese Technik macht es möglich, dass der Laserstrahl die Ein- und Austrittskanten der Bohrung nicht schädigt. So entstehen gratfreie Kanten, die für die exakte Verteilung des Kraftstoffs – und damit für eine effiziente Kraftstoffausnutzung – unerlässlich sind.

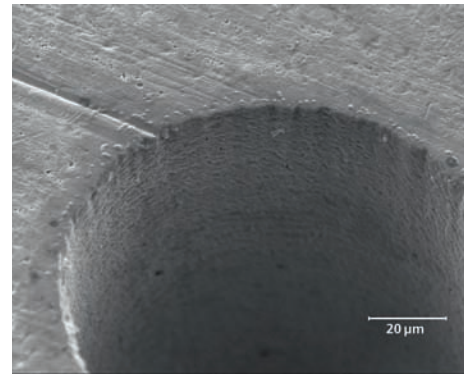
Moderne UKP-Laser und die entsprechende Scanner-Technologie machen es möglich, klassische Fertigungsverfahren wie Mikrofräsen oder Mikrofunkenerosion abzulösen. Es entstehen ganz neue Möglichkeiten für die Entwicklung und Optimierung von Produkten. Der Fortschritt wird mit einigen Möglichkeiten wachsen und die UKP-Lasertechnologie leistet dazu einen bedeutenden Beitrag. ■

Autor

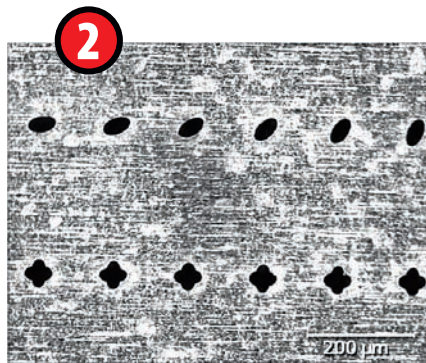
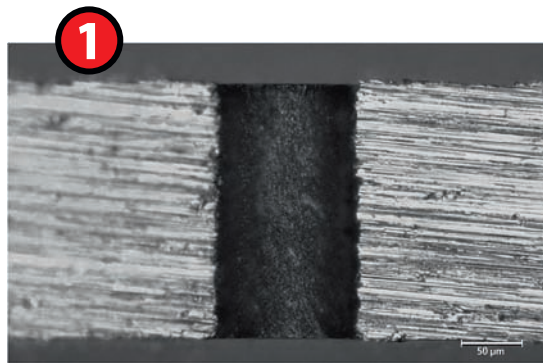
Stefan Weinzierl

Mikrolöcher – gebohrt mit Laser und Scanner
UKP-Technik ermöglicht exakte Kanten

In der Mikrobearbeitung sind exakte und gratfreie Kanten ein Muss. Darum werden hier vermehrt Pikosekunden- statt Nanosekunden-Laser eingesetzt. Die entscheidenden Vorteile der Ultrafast-Laserpulse für die Materialbearbeitung liegen in ihrer geringen Pulslänge und der damit verbundenen hohen Peak-, also Spitzenleistung. Zudem arbeiten industriell eingesetzte Ultrafast-Laser meist mit extrem hohen Puls-Repetitionsraten, was sich positiv auf die Material-Abtragungsraten auswirkt. Bei der Materialbearbeitung mit Nanosekunden-Lasern ist die primäre Interaktion zwischen dem Laser und dem Werkstück thermischer Natur, was zu Problemen führen kann. Auch



funktionale Fehler wie die Beschädigung der darunter liegenden Halbleiter-Schaltkreise oder die Verursachung von Mikrorissen des umgebenden Materials können auftreten. Zudem kann das thermische Abtragen beim Bohren und Schneiden zu unsauberen Kanten, deren Grate vor allem aus Resten abgetragenen Materials bestehen, führen. Unter Umständen müssen diese dann in einem zusätzlichen Prozess nachbearbeitet werden. Modernste Technik, hier das Bearbeitungsergebnis einer 100-µm-Bohrung in Stahl mit der precSYS-Technik von Scanlab, verhindert das. Gut zu erkennen sind der grat- und schmelzefreie Bohrungseintritt mit sehr guter Oberflächenqualität der Innenwand.



- 1 Schliffbild einer 100 µm Bohrung in 200 µm Stahldicke – gut zu erkennen ist das Fehlen der Gratbildung sowohl am Ein- wie auch am Austrittsloch.
- 2 Flexible Geometrien, Ellipsen und Kreuze in Stahl und zwar im Mikrometer-Bereich. Solch hochgenaue Arbeiten sind nur mit präziser Strahlführung, zum Beispiel durch hochgenaue Scan-Systeme, möglich.