

LASERSTRUKTURIERUNG POLY- UND EINKRISTALLINER DIAMANTWERKZEUGE

LASERSTRUCTURING OF POLY- AND MONOCRYSTALLINE DIAMOND TOOLS

Seine hervorragende thermische Leitfähigkeit und die extreme Härte machen Diamant zum bevorzugten Werkzeugmaterial zur Ultrapräzisionsbearbeitung diverser Metalle, Metalllegierungen, Kunststoffe sowie Halbleitermaterialien. Diese Eigenschaften erschweren allerdings in ebengleicher Weise die Herstellung sowie Aufbereitung der Werkzeuge erheblich. So ist zum einen das Spektrum an Schneidgeometrien technologisch beschränkt, zum anderen bedarf es eines hohen Zeit- und Materialeinsatzes, die Werkzeuge mit herkömmlichen, abrasiven Verfahren schleifend herzustellen.

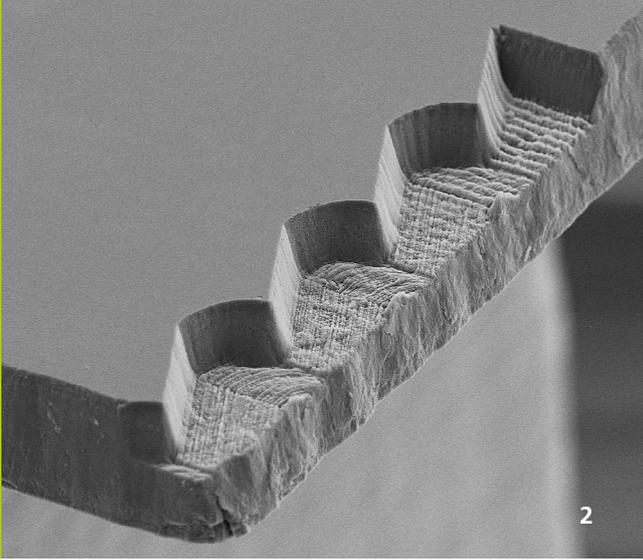
Eine Alternative dazu bietet die Konturierung und Bearbeitung mittels ultrakurzer Laserpulse [1]. Die Lasertechnologie erlaubt eine von der Kristallrichtung der Diamanten unabhängige und vor allem schnelle Bearbeitung in nahezu beliebigen Formen. Weiterhin erlaubt der Einsatz ultrakurzer Laserpulse eine hochpräzise Bearbeitung, bei der der Diamant aufgrund eines lokal und zeitlich begrenzten Energieeintrags nur geringstmöglich geschädigt wird [2].

Its outstanding thermal conductivity and mechanical hardness make diamond the preferred material for tools for ultra-precision manufacturing of metals, metal alloys, plastics and semi-conductors. However, in turn these properties make it hard to manufacture or to refurbish diamond tools. On the one hand, the spectrum of possible tool geometries is technologically limited. On the other, generating the tool tips with commonly used abrasive techniques like grinding, lapping and polishing is a time-consuming and material-intensive process.

Laser contouring and manufacturing by ultra-short laser pulses is a promising alternative technology to overcome some of these limitations [1]. This technique allows a fast processing of the diamond independent of its crystal orientation to generate almost every arbitrary shape. Furthermore, the application of energy within femtoseconds is confined both locally and temporarily, reducing damage to the diamond to a minimum. This technique is therefore suitable for ultra-precision processing.

1 Prototyp eines Einstechwerkzeugs. Länge: 200 μm , Breite: 20 μm , Aspektverhältnis 1:10.

1 Prototype of a grooving tool, Length: 200 μm , width: 20 μm , aspect ratio 1:10.



Der Laserstrahl wird dazu mit oder ohne Strahlaufbereitung bzw. -formung mit einem Mikroskopobjektiv direkt auf den Diamanten fokussiert. Die extrem hohe Intensität führt zu einem ultraschnellen Materialabtrag innerhalb weniger Pikosekunden im Bereich des Laserfokus [3], so dass sich induzierte Wärme und mechanische Spannungen nahezu nicht ausbreiten können. Die dabei applizierte, geringe Pulsenergie im Nanojoulebereich minimiert zudem den Energieeintrag in den Diamanten und damit die Abtragsvolumina pro Laserpuls. Ein Laserpuls ablatiert so nur wenige Kubikmikrometer (μm^3) an Diamantmaterial.

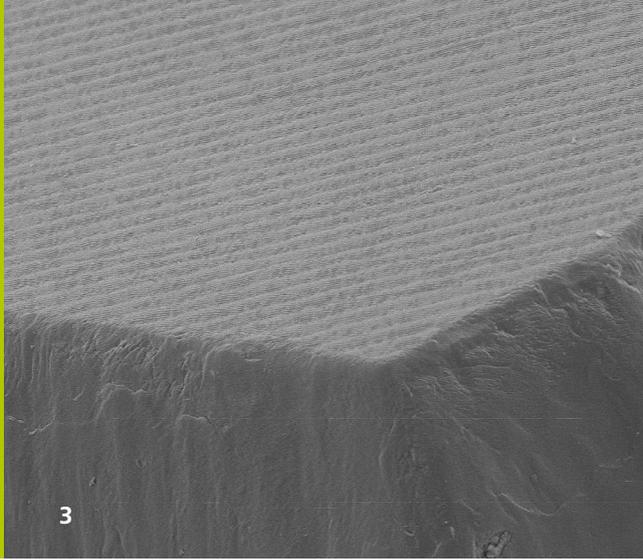
Wird der Diamant während der Bearbeitung unter dem Laser in bis zu drei Dimensionen (x, y, z) bewegt, lassen sich nahezu beliebige Formen und Strukturen sowohl in die Oberfläche einschreiben als auch innerhalb des Diamantvolumens erzeugen. Darstellbar sind Strukturen mit mikrometergroßen, filigranen Konturen und Formen. Bisher werden Prototypen möglicher Werkzeuggeometrien geschnitten, so z. B. eine nadelförmige Form in einkristallinem Diamant als Prototyp für ein Einstechwerkzeug (Abb. 1) zum UP-Diamantdrehen und -fräsen oder auch Sägezahnstrukturen (Abb. 2) in polykristallinem Diamant als Prototyp eines Mikrofräasers. Die Strukturgröße reicht dabei derzeit bis in den Mikrometerbereich bei Oberflächenrauheiten bis zu 30 nm (rms). Erzeugte Schnittkanten weisen eine minimale Kantenschärfe (Radius) von bis zu 400 nm auf.

The laser beam is focussed directly onto the diamond surface by a microscope objective without any prior beam shaping or preparation. The extreme high intensity leads to ultra-fast material removal within some picoseconds in the laser focus area. Within this period of time, diffusion of heat and mechanical stress is negligible. The applied energy in the nanojoule domain minimizes the amount of energy inside the diamond and therefore limits the ablation volume. Hence one single laser shot only removes some cubic microns of diamond material.

Moving the diamond in up to three dimensions (x, y, z) while processing, almost every arbitrary shape can be carved into the diamond surface as well as into the bulk material. Structures with micrometer-sized, filigree contours and shapes are representable. So far, some prototypes of possible tool geometries have been produced, e. g. needle-like shapes in single crystal diamond as a prototype for a diamond grooving tool (Fig. 1) for UP-turning or -milling as well as saw-tooth-like shapes in polycrystalline diamond as a prototype of a micro mill (Fig. 2). The structures can be sized down to the micrometer domain with a surface roughness as small as 30 nm (rms). Cutting edges show a sharpness (edge radius) as small as 400 nm.

2 Prototyp einer Sägezahnstruktur für ein Diamantfräs Werkzeug, Zahngröße $100 \mu\text{m} \times 30 \mu\text{m}$.

2 Prototype of a saw-tooth-like structure for a diamond micro mill, Dimensions: $100 \mu\text{m} \times 30 \mu\text{m}$.



Die leichter zugängliche Oberfläche des Diamanten kann mit Submikrometerpräzision strukturiert werden. Zudem lassen sich je nach Wahl der Prozessparameter Laserpulsenergie und Schreibgeschwindigkeit nanoskopische Oberflächenstrukturen generieren. Diese mikro- und nanoskopischen Strukturen (Abb. 3) in Kombination können auf herkömmlichen Diamantwerkzeugen dazu genutzt werden, während des Drehprozesses den Span gezielt ablaufen zu lassen und des Weiteren Kühlschmiermittel am Werkzeug zu binden bzw. dieses ebenfalls gezielt abzuleiten.

Die Untersuchungen zeigen, dass eine nahezu beliebige Strukturierung von Diamant mittels Ultrakurzpulslaser möglich ist. Die Technologie eignet sich gegenwärtig zur Herstellung von hochgenauen Oberflächenstrukturen und Diamantfräswerkzeugen und kann weiterhin in Verbindung mit einem Oberflächenfinish als Präzisionsvorschnitt zur Herstellung von Diamantdrehwerkzeugen verwendet werden.

Das Projekt »nanoreplica«, Fördernummer FKZ 03IP609, wird mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) innerhalb des Rahmenkonzepts »InnoProfile – Unternehmen Region« gefördert und vom Projektträger Jülich (PtJ) betreut.

3 *Mikroskopische Spanleitgeometrie (Periode 5 μm) mit überlagelter Nanostruktur (Periode 400 nm) auf einer Diamantoberfläche.*

The easily accessible surface of the diamond can be manufactured by the laser with sub-micrometer precision. Furthermore, nanoscopic surface structures can be generated by choosing appropriate process parameters like laser pulse energy and writing speed. On the chip face of a diamond tool, the right combination of microscopic structures superimposed by a nanoscopic pattern (Fig. 3) can guide chips while UP-turning and adhere or guide cooling lubricant as well.

The investigations show that the structuring of diamond into almost any shape is possible with the ultra-short pulse laser technique. At the present time, this technique is capable of generating high-precision diamond micro mills. The laser processing is also suitable for manufacturing diamond turning tools by precision-cutting the tool shape by the laser, if an additional polishing step for finishing is applied.

This work is funded as part of the research and development project "nanoreplica" by the German federal ministry of education and research (BMBF), fund number FKZ 03IP609, and is managed by the Project Management Agency Projektträger Jülich (PtJ).

3 *Microscopic chip guiding structure (period 5 μm) with superimposed nanoscopic pattern (period 400 nm) on a diamond surface.*

Literatur/References

- [1] Joswig, A.; Risse, S.; Eberhardt, R.; Tünnermann, A.: Laser generated and structured prototypes of diamond tool tips for microoptics fabrication, ASPE 2010.
- [2] Rethfeld, B.; Sokolowski-Tinten, K.; von der Linde, D.; Anisimov, S.I.: Timescales in response of metaterials to femtosecond laser excitation, Appl. Phys. A 78, pp. 767–769, 2004.
- [3] Momma, C.; Nolte, S.; Chichkov, B.N.; v. Alvensleben, F.; Tünnermann, A.: Precise laser ablation with ultrashort pulses, Appl. Surf. Sci., 109/110, pp. 15–19, 1997.

AUTHORS

Andreas Joswig¹

Stefan Nolte¹

Stefan Risse

Ramona Eberhardt

*¹ Institut für Angewandte Physik,
Friedrich-Schiller-Universität Jena;
Fraunhofer IOF*

CONTACT

Dipl.-Phys. Andreas Joswig

Phone +49 3641 807-120

andreas.joswig@iof.fraunhofer.de

Dr. Ramona Eberhardt

Phone +49 3641 807-312

ramona.eberhardt@iof.fraunhofer.de