



MIKROSPRITZGIESSEN

08 SPEZIAL: Automatisierungskonzepte und Einspritzmodule für die Fertigung von Mikroteilen aus Kunststoff und Metall

0510

www.mikroproduktion.com

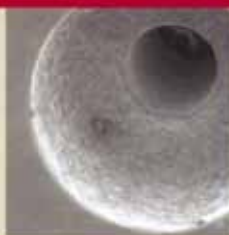
Mikroproduktion

Im Aufbau

24 Elektroformung für gratfreie Strukturbauteile

Im Umlauf

32 Schleppfinish für perfekte Schneidkanten



Im Kommen

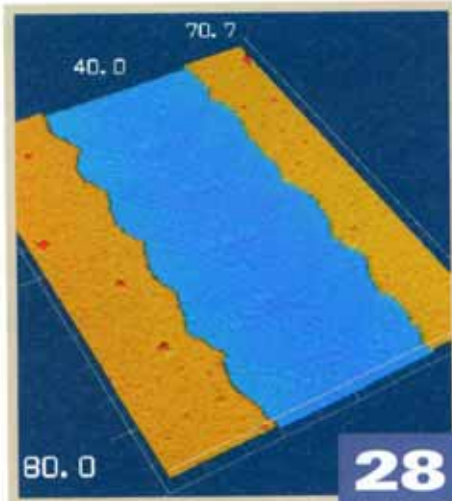
38 Elektrochemisches und funkenerosives Mikrobohren

TRW



Inhalt

Die Strukturierung von Dünnschicht-Solarzellen verlangt ein präzises Zusammenspiel unterschiedlicher Disziplinen. Ein Blick auf den Stand der Technik.



> SPECIAL

21



MIKROSPRITZGIESSEN

- ▶ **08 Mit zwei Schnecken zum Mikrobauteil**
Ein neues Mikrospritzmodul kombiniert eine 8-mm-Schnecke zum Einspritzen mit einer zweiten Schnecke zum Aufschmelzen des Materials. *Eberhard Duffner*
- 12 Mikrospritzgießen mit Automatisierung nach Maß**
Im Spritzgießprozess müssen die nachfolgenden Bearbeitungsschritte berücksichtigt werden. Hier empfiehlt sich eine Fertigungszelle mit mannloser Bestückung. *Gabor Jüttner, Hartmut Freitag und Björn Dorman*
- 18 Die Vielfalt des Mikrospritzgießens**
Für das Mikrospritzgießen sowie die Mikro- und Nanostrukturierung von Kunststoffbauteilen bedarf es neuer Lösungsansätze entlang der gesamten Prozesskette. *Paul Glendenn*
- 21 Manchmal muss es eben MIM sein**
Eine interessante Alternative zum Kunststoff-Spritzgießen ist das Metal Injection Molding (MIM). Zu den Vorzügen des Verfahrens gehören die hohe geometrische Gestaltungsfreiheit sowie das breite Werkstoffspektrum. *Frank Deit*

> TITELANZEIGE

Präzisions-Elektroformung von Mikrobauteilen

Werden 100% identische Kleinstkomponenten in großen Stückzahlen zum Beispiel für Sensorik,

Mikromechanik oder Mikrofluidik benötigt, ist die Präzisions-Elektroformung die Methode der Wahl. Die Produkte werden dabei elektrochemisch Metallion für Metallion auf einem geeigneten Trägermaterial aufgebaut. Die 2-dimensionale Formgebung der Teile wird durch UV-Licht

strukturierten Fotolack erreicht. Ist die über die Strommenge kontrollierbare Schichtdicke erreicht, werden die gratfreien Produkte von der Matrize abgedrückt und je nach Spezifikation verpackt oder weiter behandelt. *Beitrag auf Seite 24*



TRW Switzerland GmbH
Theilerstrasse 3
Postfach 328
CH-6301 Zug, Schweiz
Telefon +41 41 726 24 24
Fax: +41 41 726 24 25
info.switzerland@trw.com
www.trw.ch

Rubriken

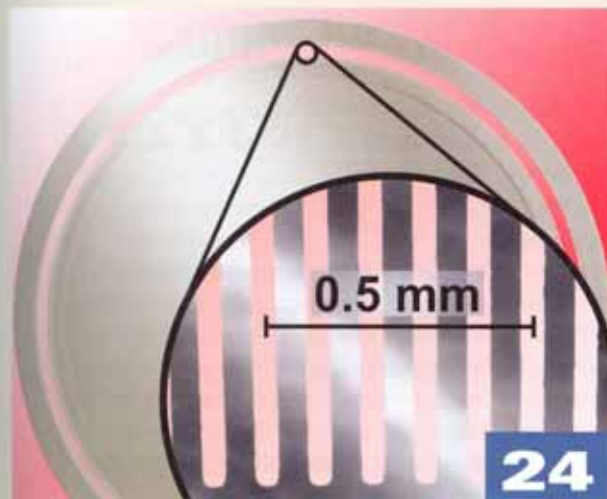
- 03 Editorial
- 06 Branchennews
- 48 Neue Produkte
- 50 Vorschau / Index

Mikrostrukturtechnik

- ▶ **24 Industrielle Haarspalterei mit Elektroformung**
Die galvanische Abformung von UV-Lithografie-Strukturen ermöglicht die industrielle Fertigung metallischer Mikrobauteile. *Gunnar Pasold*

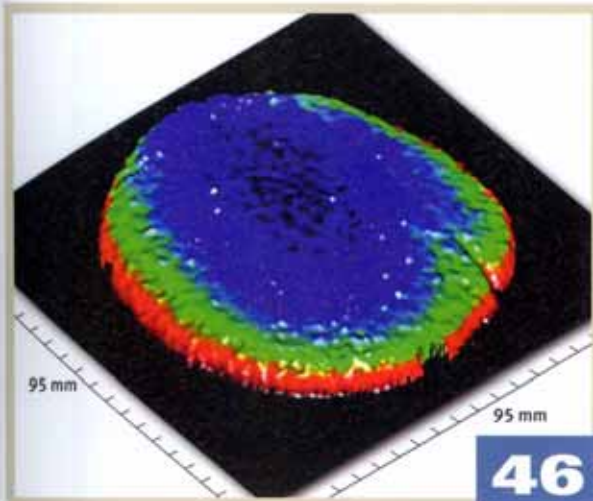
Lasermikrobearbeitung

- 24 Maschinenbau trifft Lasertechnik**
Die Strukturierung von Dünnschicht-Solarzellen verlangt ein präzises Zusammenspiel unterschiedlicher Disziplinen. Ein Blick auf den Stand der Technik. *Malte Borges*



24

Die galvanische Abformung von UV-Lithografie-Strukturen ermöglicht die industrielle Fertigung metallischer Mikrobauteile. Die Elektroformung besteht durch eine hohe Reproduzierbarkeit sowie span- und gratfreie Strukturen.



46

Multisensor-Messgeräte überwachen die Prozess-toleranzen in der Waferbearbeitung und helfen, die geforderten Qualitätsstandards einzuhalten.

Mechanische Mikrobearbeitung

- ▶ 32 **Mit Schleppfinishing zur perfekten Kontur**
Das Schleppfinishing ist auch für die Mikrofertigung geeignet. Auf eine mehrachsige Prozessführung kann dabei verzichtet werden.
Eckart Uhlmann, Dirk Oberschmidt, Armin Löwenstein, Frederik Mahr und Malte Langmack

37 **Höhere Drehzahlen, längere Lebensdauer**

Elektrochemische Mikrobearbeitung

- ▶ 38 **Mikrobohren mit ECM und thermischem Materialabtrag**
Die Kombination von elektrochemischer und thermischer Mikrobearbeitung bietet interessante Perspektiven.
Alexandre de Souza und Wagner de Rossi

Reinigung

- 42 **Mehr als oberflächlich sauber**
Die CO₂-Schneestrahlnreinigung ist ein trockenes, umweltgerechtes und inlinefähiges Verfahren für die Reinigung von Bauteilen und Komponenten.
Doris Schulz

Messtechnik

- 46 **Metrologische Multisensortechnik misst µm-genau**
Multisensor-Messgeräte überwachen die Prozesstoleranzen in der Waferbearbeitung und helfen, die geforderten Qualitätsstandards einzuhalten.
Jens Bonerz

Kleinstbohrungen bis 0,04 mm

präzise

modernste Mikroerodierung macht's möglich



perfekt

Bohrungen in Düsen ohne Gratbildung und Eintrittsdeformation.



logisch

Breites Anwendungsspektrum z.B. in

- Informationstechnologie
- Biotechnologie
- Medizintechnik

... im µ-Bereich zu Hause



Jato-Düsenbau AG

Täschmattstrasse 23
CH-6015 Luzern
Phone +41 41 269 88 30
www.mikroerodierung.ch

Mit Schleppfinishing zur perfekten Kontur

Das Schleppfinishing ist auch für die Mikrofertigung geeignet, beispielsweise bei der Schneidkantenpräparation von Mikrofräswerkzeugen oder beim **ENTGRATEN** und der Oberflächenbehandlung von Mikrostrukturen. Auf eine mehrachsige Prozessführung kann dabei verzichtet werden.



Bild 1. Otec 'DF-3 Tools'-Schleppfinishing-Anlage am IWF der TU Berlin

**ECKART UHLMANN, DIRK OBERSCHMIDT,
ARMIN LÖWENSTEIN, FREDERIK MAHR UND
MALTE LANGMACK**

Beim Schleppfinishing werden die zu bearbeitenden Werkstücke oder Zerspanwerkzeuge in angetriebene Satellitenträger eingespannt und mittels einer Rotorplatte auf einer komplexen Bewegungsbahn durch ein abrasives Medium geschleppt. Zusätzlich werden die Werkstückhalter angetrieben, um eine gleichmäßige Behandlung aller Werkstückkonturen sicherzustellen. Die Relativbewegung zwischen Verfahrensmittel und Werkstück bewirkt durch das Aufprallen und Abgleiten des abrasiven Mediums die Bearbeitung.

Schleppfinish-Anlagen von Otec können mehrere Werkstücke gleichzeitig bearbeiten und sind deshalb für Großserien besonders geeignet (Bild 1). Das Schleppfinishing wird zumeist eingesetzt in

- der Werkzeugindustrie, beispielsweise zum Verrunden von Schneidkanten sowie zum Polieren der Spannuten von Hartmetallwerkzeugen oder der Press- und Umformfläche von Umformwerkzeugen,

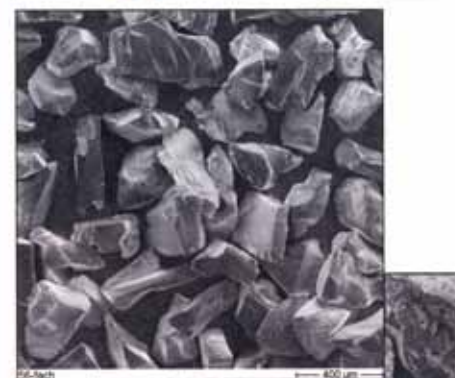


Bild 2. 'HSC 1/300' Superfinish-Granulat der Firma Otec, 56-fache (Mitte) und 200-fache (unten) Vergrößerung des Abrasivanteils

- der Pharmaindustrie zum Polieren der Pressfläche von Tablettierstempeln,
- Entwicklungen für den Rennsport, zum Beispiel zum Glätten und Polieren von Zahnrädern, Ventilen sowie Schlepphebeln,
- der Uhrenindustrie zum Schleifen und Hochglanz-

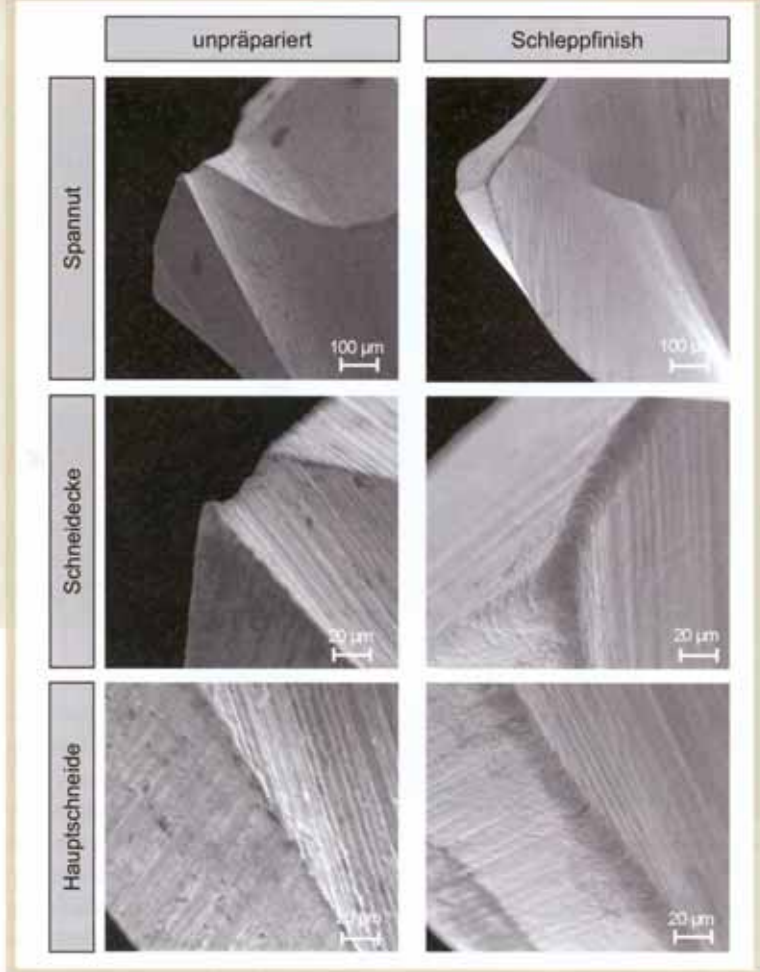


Bild 3. REM-Aufnahme der Präparationseffekte

polieren von Uhrengehäusen aus Edelstahl, Gold und Keramik,

- der Medizintechnik zum Schleifen und Hochglanzpolieren von Knie-Implantaten,
- der Metallindustrie zum Glätten von Hochgeschwindigkeitsspindeln.

Als Verfahrensmittel können unterschiedliche abrasive Medien, von Edelmetall über Siliziumcarbid bis hin zu feinen Kombinationen aus Walnusschalengranulat und beispielsweise Diamantpulver, eingesetzt werden. Das Walnusschalengranulat dient hier als Trägermedium für den abrasiven Diamantanteil. Bei der Auswahl des Verfahrensmittels sind die wichtigsten Parameter die Korngröße, die Härte und die Dichte der Medien.

Schneidkantenpräparation von Mikrowerkzeugen

Die Präparation des Schneidanteils bei Zerspanwerkzeugen mit geometrisch bestimmter Schneide hat die Erzeugung einer definierten Kantengestalt, meist in der Form eines Schneidkantenradius r_b , zum Ziel [1]. Dadurch lassen sich eine Stabilisierung der Schneide und eine Verbesserung der Oberflächengüte erreichen. Hieraus resultiert eine Senkung des Reibwertes zwischen Werkzeug und ablaufendem Span sowie der Bauteiloberfläche. Weiterhin werden verbesserte Bedingungen für die Haftung der Werkzeugbeschichtung geschaffen. Dies reduziert den Werkzeugverschleiß deutlich und steigert die Leistungsfähigkeit der präparierten Werkzeuge erheblich. Die Standzeit

SCHNELL + µ-GENAU

Mikrobearbeitungsmaschinen



- Diamantfräsen (große Flächen)



- MIKRO-Bohren, -Schleifen, -Fräsen



- MIKRO-Lasern



- MIKRO-Zerspanen, -Lasern in einer Maschine

Überlegene Präzision. Günstiger als Sie denken:



Heiligenberger Str. 100 · 88682 Salem · GERMANY
Tel.: +49 7553 9200-0 · Fax: +49 7553 9200-45
info@kugler-precision.com

www.kugler-precision.com

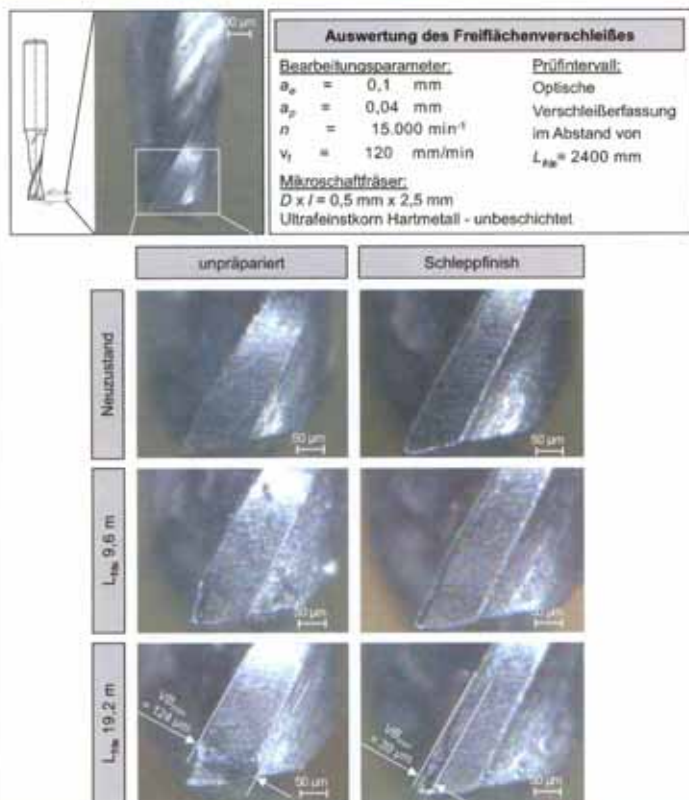


Bild 4. Verschleißauswertung der Versuchswerkzeuge

der Werkzeuge wird auf diese Weise verlängert und die Prozesssicherheit erhöht [1, 2, 3].

Für die Schneidkantenpräparation sind gleichmäßig geschliffene und stabile Werkzeuge von entscheidender Bedeutung. Diese beeinflussen signifikant die

> KONTAKT

INSTITUT
Technische Universität Berlin,
Institut für Werkzeugmaschinen
und Fabrikbetrieb
 10587 Berlin
 Tel. +49 30 6392 3960
www.iwf.tu-berlin.de

HERSTELLER
Otec Präzisionsfinish GmbH
 75334 Straubenhardt-Feldrennach
 Tel. +49 70 82 491120
 Fax +49 70 82 491129
www.otec.de

spätere Werkzeugqualität. Im Gegensatz zum Makrobereich, in dem das Schleppfinish bereits fest etabliert ist, stellt dies für die Anwendung innerhalb der Mikrofertigung eine große technologische und wirtschaftliche Herausforderung dar. Da für Mikrowerkzeuge prozessbedingt nur sehr kleine und entsprechend gering tolerierte Radien sinnvoll sind, müssen die Präparationsergebnisse besonders reproduzierbar sein. Das Fundament hierfür bildet zum einen die Werkzeugkonstruktion und zum anderen die prozesssichere Herstellung der Mikrofräser. Beides sind Forschungsschwerpunkte am Institut für Werkzeug-

Bild 5. Oberflächenrauheit R_a und R_z in Abhängigkeit der Bearbeitungszeit t

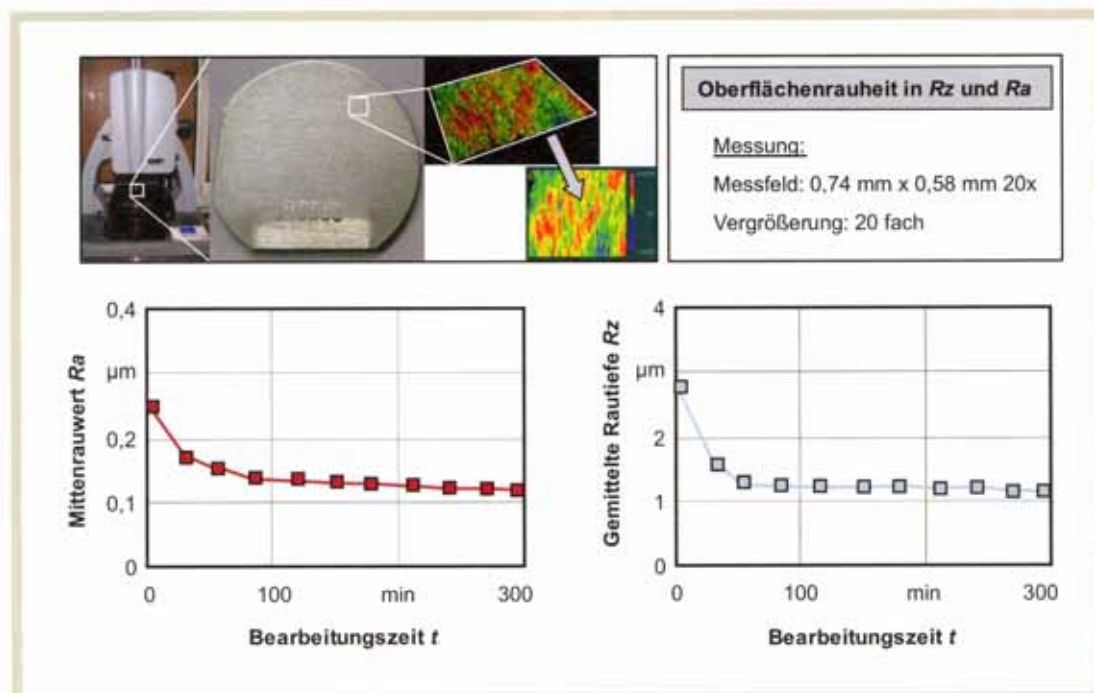
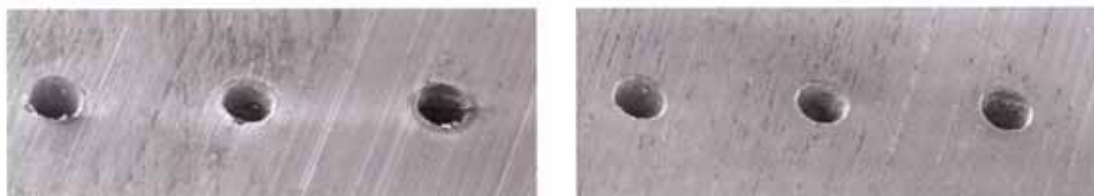


Bild 6. REM-Aufnahmen der Mikrobohrungen $D = 80 \mu\text{m}$



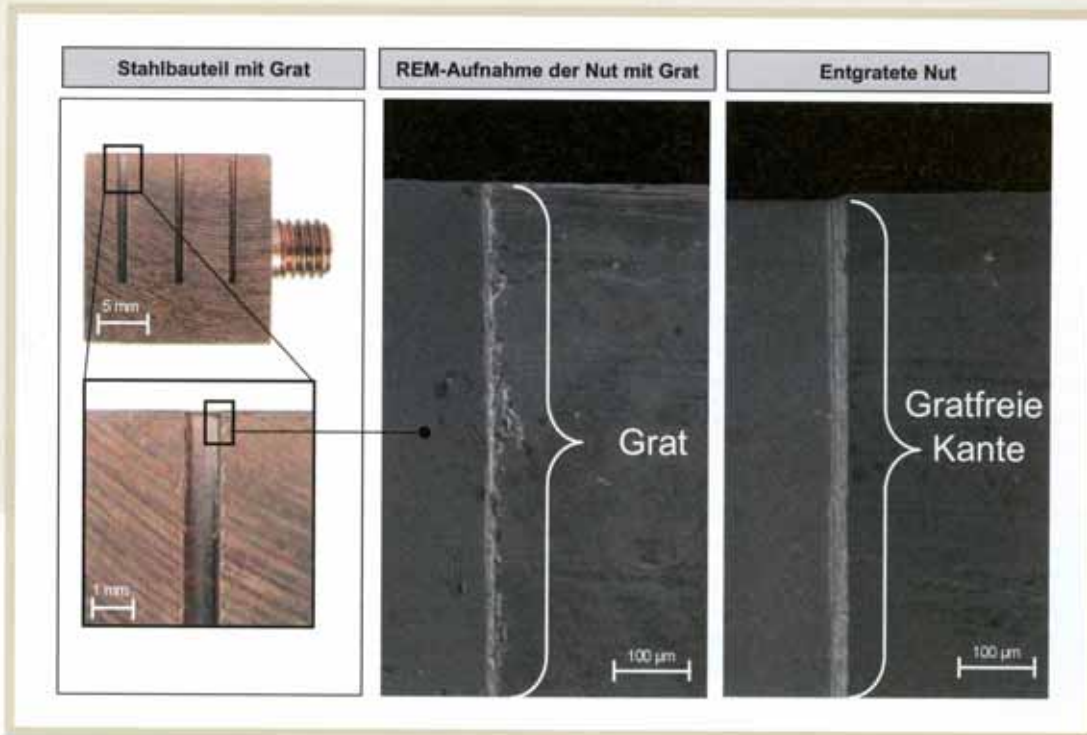


Bild 7. Entgraten von Nut-Strukturen aus Stahl »90MnCrV8«

maschinen und Fabrikbetrieb (IWF) der Technischen Universität Berlin [4, 5, 6]. In Zusammenarbeit mit dem Unternehmen Otec aus Straubenhardt-Feldrennach konnte am IWF die Erzeugung von gleichmäßigen Schneidkantenverrundungen im Bereich von $r_b = 6 \mu\text{m}$ an Mikrofräs Werkzeugen mit einem Nenndurchmesser von $D=0,5 \text{ mm}$ durch Schleppfinishing nachgewiesen werden.

Durch die Schneidkantenpräparation konnten im Vergleich zu unpräparierten Werkzeugen die Schartigkeit an der Schneidkante sowie die Oberflächenrauheit auf der Spanfläche deutlich reduziert werden (Bild 3). Darüber hinaus konnten durch umfangreiche Fräsversuche Potenziale zur Prozessoptimierung des Mikrofräsens mittels definierter Schneidkantenverrun-

dung an Mikrofräsern aufgezeigt werden. Als Versuchsmaschine wurde hierbei eine Hochpräzisionsfräsmaschine der Firma Wissner vom Typ »Gamma 303 High Performance« genutzt. Die Maschine ist mit einer Kraftmessplattform zur Aufnahme der dynamischen Zerspankräfte und mit einer integrierten hochauflösenden CCD-Kamera zur sequenziellen Bewertung des Freiflächenverschleißes ausgestattet. Bei der Zerspanung eines pulvermetallurgisch hergestellten, martensitischen Chromstahls (PM X190CrVMo20, 55 HRC) wiesen die durch Schleppfinishing präparierten Werkzeuge einen deutlich geringeren Werkzeugverschleiß auf. Im Vergleich zu unpräparierten Werkzeugen wurde die maximale Verschleißmarkenbreite an der Freifläche nach einem Standweg von

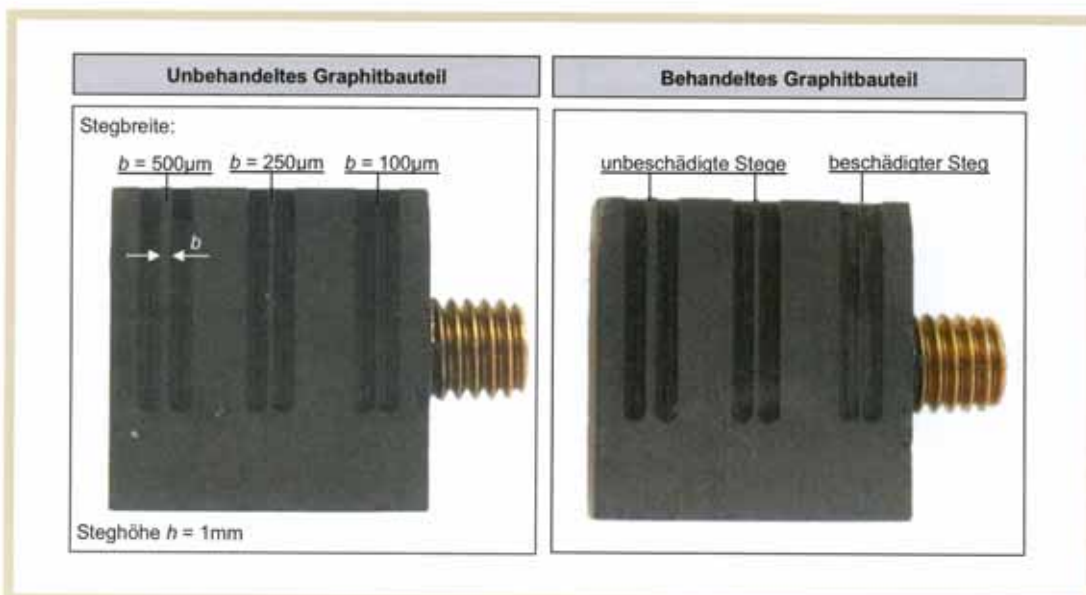


Bild 8. Bearbeitetes Bauteil aus Graphit »SGL R8500«

$L_{\text{fräs}} = 19,2 \text{ m}$ um 69 Prozent reduziert (**Bild 4**). Ein Vorteil des Schleppfinish-Verfahrens in diesem Zusammenhang ist, dass bei der Bearbeitung komplexer Rotationswerkzeuge keine aufwendige, mehrachsige Prozessführung notwendig ist.

Entgraten und Polieren von Mikrostrukturen

Neben der gezielten Präparation von Geometriemerkmalen kommt dem Entgraten und der Oberflächenbehandlung insbesondere bei Bauteilen mit filigranen Strukturen eine hohe Bedeutung zu, wie das Schleppfinish beim Entgraten von Mikrobohrungen beispielhaft zeigt. Im Rahmen der Untersuchungen wurden Versuchsplättchen mittels Schleppfinishing behandelt, um gezielt die Oberflächenqualität zu verbessern. Messungen zur Überprüfung der Oberflächenrauheiten wurden jeweils nach einer Bearbeitungszeit von $t=30 \text{ min}$ durchgeführt. Zum Messen des arithmetischen Mittenrauwertes R_a und der gemittelten Rautiefe R_z wurde ein Weißlichtinterferometer vom Typ »NewView 5010« des Herstellers Zygo verwendet.

Zunächst wurden die geschliffenen Halbzeuge bearbeitet. **Bild 5** zeigt die Verbesserung der Oberflächenqualität der Proben in Abhängigkeit von der Polierzeit beim Schleppfinishing. Bereits nach einer Bearbeitungszeit von 30 min verbessern sich die Rauheitswerte R_a um 26 Prozent und R_z um 38 Prozent. In den darauf folgenden Bearbeitungsschritten nähert sich die Oberflächengüte asymptotisch den Grenzwerten $R_a=0,13 \mu\text{m}$ und $R_z=1,1 \mu\text{m}$ an. Ausschlaggebend für die erreichten Rauheitswerte sind zum einen die Eigenschaften des verwendeten Verfahrensmittels »HSC 1/300« (**Bild 2**) und zum anderen die Prozessparameter, welche einen signifikanten Einfluss auf die Bearbeitungsergebnisse haben. Im Anschluss an die Oberflächenbehandlung wurden Bohrungen mit einem Durchmesser von $D=80 \mu\text{m}$ mittels Funkenerosion eingebracht. Die Aufnahmen des Rasterelektronenmikroskops zeigen anhaftende Abtragpartikel und minimale Gratspuren am Bohrungsaustritt. Auch die Oberfläche wurde durch den funkenerosiven Prozess leicht verunreinigt. Zur Gratentfernung und zur Reinigung der Oberfläche wurden die Versuchsplättchen daher erneut mittels Schleppfinishing behandelt. In **Bild 6** sind die gereinigten Oberflächen und die vollständig entgrateten Bohrungsaustritte zu sehen. Die Wahl der Prozessparameter wurde auf eine besonders schonende Bearbeitung ausgelegt, um den Bohrungsein- und -austritt dabei nicht unerwünscht zu verrunden. Eine Bearbeitungsdauer von nur zwei Minuten hat sich bei dieser Anwendung als günstig erwiesen.

Neben den Mikrobohrungen wurde der Einfluss des Schleppfinishings auch auf kleine Stege und Kavitäten aus Kupfer, Stahl und Grafit untersucht. Hierbei zeigte sich, dass sich das Verfahren ebenfalls zum Entgraten von Mikrobauteilen eignet. Die bearbeiteten

Stege und Kavitäten konnten bei Stahl und Kupfer prozesssicher entgratet werden, ohne die Strukturen negativ zu beeinflussen oder zu beschädigen (**Bild 7**).

Wie **Bild 8** zeigt, müssen Mikrostrukturen aus Grafit bestimmte geometrische Anforderungen erfüllen, um bei der Bearbeitung nicht beschädigt zu werden. Die Kombination aus geringer Festigkeit und hoher Sprödigkeit macht Grafitbauteile besonders anfällig gegenüber Bearbeitungskräften. Die Untersuchungen zeigten, dass Mikrostege erst ab einem Aspektverhältnis von weniger als vier (Steghöhe / Stegbreite) prozesssicher durch das Schleppfinishing bearbeitet werden können. Bei allen untersuchten Bauteilen konnte die Oberflächengüte durch das Schleppfinishing verbessert werden. ■ MI110098

AUTOREN

Prof. Dr. h.c. Dr.-Ing. ECKART UHLMANN ist Leiter des Instituts für Werkzeugmaschinen und Fabrikbetrieb (IWF) der Technischen Universität Berlin; uhlmann@iwf.tu-berlin.de

Dr.-Ing. DIRK OBERSCHMIDT ist Abteilungsleiter der Mikroproduktionstechnik am Fraunhofer-Institut für Produktionsanlagen und Konstruktionstechnik (IPK); dirk.oberschmidt@ipk.fhg.de

Dipl.-Ing. ARMIN LÖWENSTEIN ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am IWF der TU Berlin; loewenstein@iwf.tu-berlin.de

Dipl.-Ing. FREDERIK MAHR ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am IWF der TU Berlin; mahr@iwf.tu-berlin.de

Dipl.-Ing. MALTE LANGMACK ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am IWF der TU Berlin; langmack@iwf.tu-berlin.de

LITERATUR

- 1 Tikal, F.; Gegenheimer, H.: Schneidkantenpräparation – Ziele, Verfahren und Messmethoden. Unidruckerei der Universität Kassel, 2009, S. 98-115
- 2 Risse, K.: Einflüsse von Werkzeugdurchmesser und Schneidkantenverrundung beim Bohren mit Wendelbohrern in Stahl. Dissertation, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, 2006
- 3 Uhlmann, E.; Richarz, S.; Mihotovic, V.: Oberflächenbehandlung und Kantenpräparation von Hartmetallwerkzeugen. wt Werkstattstechnik 99 (2009) H. 1/2, S. 17-24
- 4 Schauer, K.: Entwicklung von Hartmetallwerkzeugen für die Mikrozerspanung mit definierter Schneide. Dissertation, Technische Universität Berlin, 2006
- 5 Uhlmann, E.; Oberschmidt, D.; Schauer, K.: Innovative Fräswerkzeuge für die Mikrozerspanung. wt Werkstattstechnik 96 (2006) H. 1/2, S. 2-5
- 6 Uhlmann, E.; Wacinski, M.: Vollkeramische Fräswerkzeuge prozesssicher einsetzen. MM Maschinenmarkt, 12/2010