

Automation für Genauigkeiten im Sub- μm -Bereich

Sollen Abläufe zur Fertigung ultrapräziser Bauteile und Oberflächen mit höchsten Genauigkeiten in einer Aufspannung und ohne manuelles Eingreifen bewältigt werden, benötigen Ultrapräzisionsfräsmaschinen besondere Eigenschaften, zum Beispiel einen **AUTOMATISCHEN** Werkzeugwechsel und **INTEGRIERTE** Messmöglichkeiten.



Bild 1. MMC 900H-Ultrapräzisionsfräsmaschine mit 10-fach-Wechsler und seitlichem Blick in den Arbeitsraum einer Maschine mit Rundtisch

KAI SCHMIDT UND KURT HASKIC

Die Fertigung ultrapräziser Bauteile und Oberflächen hat in den letzten Jahren weiter an Bedeutung gewonnen. Vor allem durch den steigenden Bedarf an optischen Komponenten sind entsprechende Fertigungsverfahren verstärkt von Interesse.

Die Ultrapräzisionszerspanung mit bestimmter Schneide spielt dabei eine entscheidende Rolle. Sie bietet mittels verschiedener Dreh-, Fräs- oder Hobelverfahren, von der großflächigen Bearbeitung von Teleskopspiegeln bis hin zur Herstellung mikrostrukturierter Freiformflächen, eine Vielzahl von Fertigungsmöglichkeiten für optische Oberflächen. Formgenauigkeiten von weniger als 100 nm und Rauheiten von $R_a < 1 \text{ nm}$ sind erreichbar. Gleichzeitig werden diese Verfahren und Maschinen verstärkt in angrenzenden Disziplinen wie der Mikrozerspanung angewendet. Die Ultrapräzisionszerspanung und das



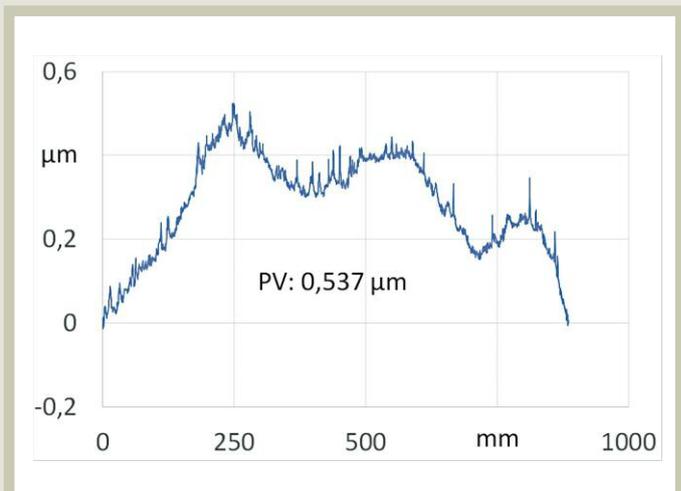
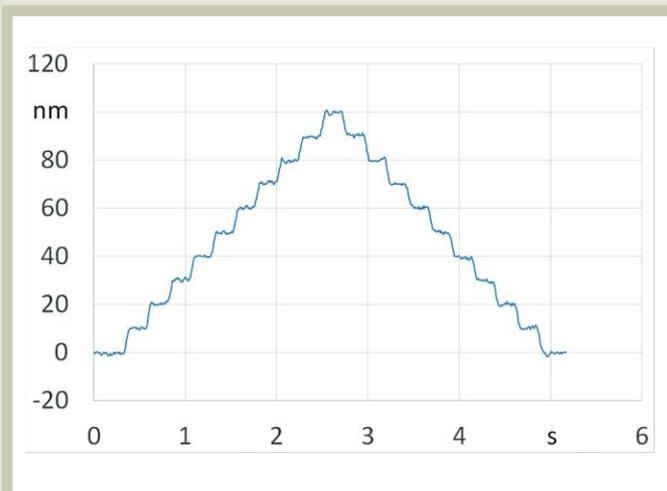
UP-Fräsen haben aufgrund der hohen erzielbaren Genauigkeiten einen besonderen Platz eingenommen und müssen sich dadurch neuen Anforderungen stellen.

Automatischer Werkzeugwechsel

Aufgrund des komplexen und empfindlichen Herstellungsprozesses ist die UP-Bearbeitung nach wie vor personalintensiv. Von der Einrichtung des Werkzeugs bis zur finalen Reinigung und Prüfung des Werk-

> KONTAKT

HERSTELLER
LT Ultra-Precision Technology GmbH
 88634 Herdwangen-Schönach
 Tel. +49 7552 40599-0
 Fax +49 7552 40599-50
www.lt-ultra.de



stücks ist ein manuelles Eingreifen oft unumgänglich. Eine verstärkte Automatisierung lohnt sich meist nur bei Prozessen, die hohe Stückzahlen versprechen, wie bei der Kontaktlinsenfertigung. Mit steigenden Stückzahlen von UP-gefertigten Teilen und durch neu erschlossene Anwendungsfelder für UP-Maschinen ergeben sich jedoch zunehmend andere Rahmenbedingungen und Ansprüche.

Zu den wichtigsten Anforderungen, die lange Zeit eher stiefmütterlich behandelt wurden, gehört der automatische Werkzeugwechsel. Der Wechsel von stehenden Werkzeugen zum Beispiel auf UP-Drehmaschinen kann relativ einfach und dennoch mit hoher Genauigkeit realisiert werden: indem mehrere Werkzeuge auf dem Werkzeugschlitten entlang einer Linearachse angeordnet werden oder durch hochgenaue Rundtische, die als Werkzeugrevolver dienen. Wechselgenauigkeiten im Sub- μm -Bereich sind so bei geeigneter Temperierung der Maschine problemlos realisierbar.

Bei angetriebenen Werkzeugen, wie bei der Fräsbearbeitung, verhält sich dies allerdings anders. Um hohe Oberflächenqualitäten zu erreichen, sollten der Rundlauf des Werkzeugs beziehungsweise Error Motion der verwendeten Spindel unter $1\ \mu\text{m}$ beziehungsweise unter $100\ \text{nm}$ liegen. Deshalb kommen nur luftgelagerte Spindeln infrage. Gleichzeitig muss eine Schnittstelle für den automatischen Werkzeugwechsel vorgesehen sein, was besondere Anforderungen an die verwendete Spindel stellt.

Einmessen und Vermessen in der Maschine

Jeder Werkzeugwechsel erzeugt zudem Störgrößen, die sich auf die Maschinengenauigkeit und die Position des Werkzeugs beziehungsweise dessen Rundlauf auswirken. In erster Linie sind hier die Temperaturschwankungen zu nennen, die sich durch das Start-/Stopp-Verhalten der Spindel ergeben. Außerdem können unterschiedliche Drehzahlen, die

Bild 2. Treppentest und Geradheitsmessung der X-Achse (in Y-Richtung) einer MMC-900H-Ultrapräzisionsfräsmaschine



ULTRA-PRECISION MEETS

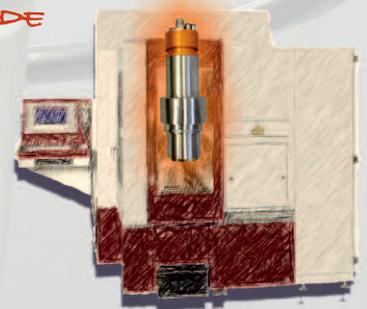
INDUSTRIAL GRADE



Ultra-precision...

Tool Spindles,
Workholding Spindles &
Tool Holding

...Made in Germany



LEVICRON GmbH
www.levicron.com
info@levicron.com

Tel.: +49 (0) 6301 - 66800 - 0



Bild 3. Werkzeugwechsel und Vermessung eines MKD-Fräswerkzeugs

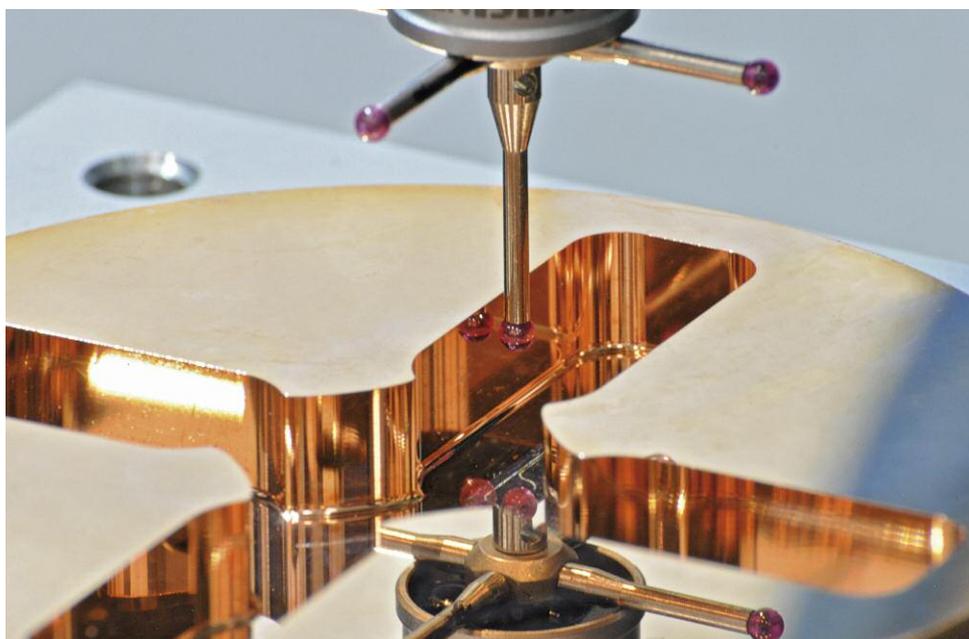
auf tretenden Kräfte beim Wechseln sowie die Winkel- lage des neuen Werkzeugs Einfluss auf die Lage der Drehachse und des Werkzeugs unter Drehzahl sowie auf den Wuchtzustand des Systems nehmen.

Um Sub- μm -Genauigkeiten zu erreichen, muss daher ein System für die Werkzeugvermessung integriert werden. Diese Vermessung kann direkt erfolgen, zum Beispiel durch Laserlichtschranken oder Kamerasysteme, oder indirekt durch die Fertigung und Vermessung eines Probebauteils. Das Einmessen und Vermessen von Bauteilen in der Maschine ist daher ein weiterer Schritt in Richtung Automatisierung, stellt aber auch eine wichtige Maßnahme für hohe Genauigkeiten nach einem Werkzeugwechsel dar.

Mehrachsige und ultrapräzise Fräsbearbeitung

Der Ultrapräzisionsfräsmaschine ›MMC 900H‹ des baden-württembergischen Unternehmens LT Ultra-Precision Technology liegt ein Konzept zugrunde, das einerseits für höchste Genauigkeit steht, andererseits

Bild 4. Bauteilvermessung mittels 3D-Taster



aber automatischen Werkzeugwechsel und Vermes- sung, In-situ-Vermessung der Werkstückgeometrie sowie eine 5-Achs-Bearbeitung erlaubt (**Bild 1**).

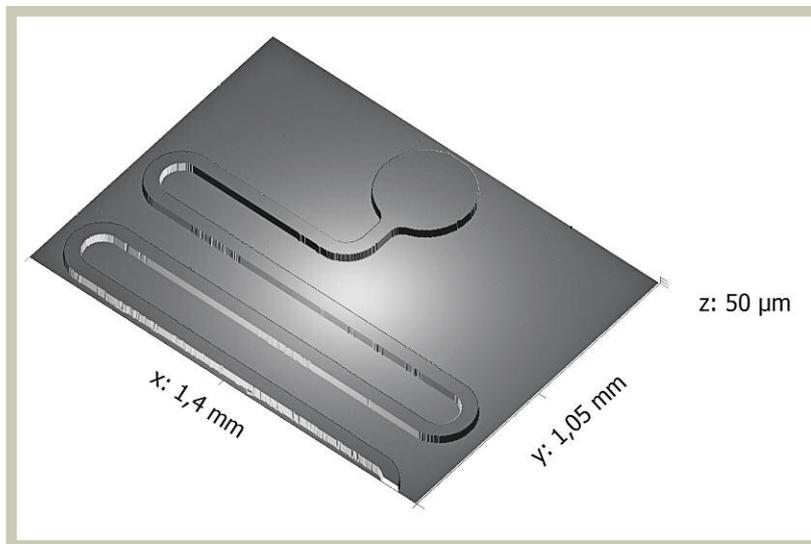
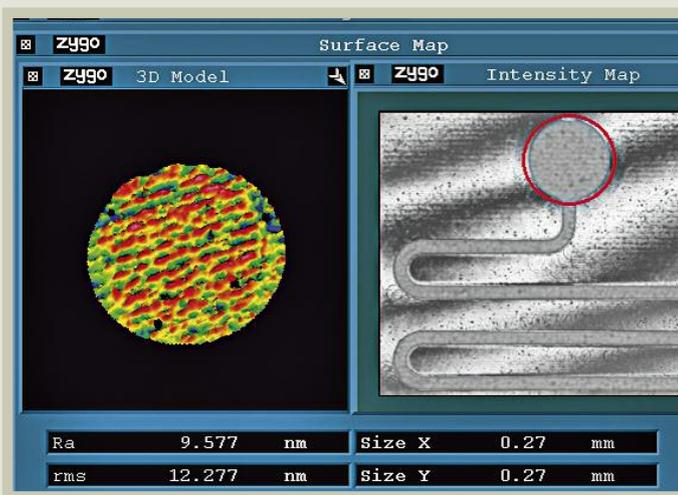
Neben dem Schafffräsen ist die Maschine auch für das Hobeln sowie das Flycutting geeignet. Letzteres ist neben dem Raster-Flycutting zur Erzeugung asphärischer oder strukturierter Optiken auch für das Planfräsen interessant. So kann die Vorbearbeitung planer Substrate, vor der anschließenden Mikrostruk- turierung, direkt auf der Maschine erfolgen.

Bei dieser klassischen Bearbeitung mit mono- kristallinen Diamantwerkzeugen sind Formgenauig- keiten von circa 100 nm je 100 mm Bauteildurch- messer und Rauheiten R_a bis unter 2 nm realisierbar. Diese Werte werden in verschiedenen NE-Metallen oder auch Kunststoffen erreicht. Stähle können nur eingeschränkt bearbeitet werden, da die Verwendung von Diamantwerkzeugen nicht möglich ist.

Zugunsten der Temperatur- und Langzeitstabilität besteht die Maschine zu großen Teilen aus Naturgranit. Die Linearführungen arbeiten hydrostatisch, was

zusammen mit dem formstabilen Bett eine Geradheit der Bewegung von kleiner 190 nm je 100 mm Verfahrweg ermöglicht (**Bild 2**). Weiterhin sorgt die hydrostatische Lagerung für hohe Steifigkeiten, gute Dämpfungseigenschaften und eine Stick-Slip-freie Bewegung der Achsen. Alle Linear- achsen sind mit Linearmotoren ausgestattet, wodurch in Kombi- nation mit der hydrostatischen Lagerung und den hochauflösen- den Linearmaßstäben ein sehr gutes Positionierverhalten erreicht wird (**Bild 2**). Die Verfahrwege liegen bei 900 mm, 350 mm und 250 mm (X, Y, Z). Die Achs- anordnung kann durch eine zweite Z-Achse, einen hydrostatischen Rundtisch beziehungsweise eine

Bild 5. Vermessung einer mit VHM-Werkzeug (D = 60 µm, 60 000 min⁻¹, in Messing) gefrästen Fluidikstruktur, R_a = 10 nm



Dreh-/Schwenkeinheit erweitert werden. Kundenspezifische Anpassungen, wie ein spezielles Vakuumfutter, Beladeroboter oder die Integration eines Bearbeitungslasers, sind ebenfalls möglich.

Werkzeugvermessung mit Laserlichtschranke

Als Frässpindel dient eine luftgelagerte Hochfrequenzspindel (Bild 3). Sie ist in verschiedenen Ausführungen mit einer Direktspannzange oder einer HSK-25-Schnittstelle und einer maximalen Drehzahl von 60 000, 80 000 oder 90 000 min⁻¹ verfügbar. Zusammen mit dem Werkzeugwechsler wird ein automatischer, hochgenauer Werkzeugwechsel ermöglicht. Die Maschine kann dazu mit verschiedenen Werkzeugwechslern ausgestattet werden, die Platz für zehn beziehungsweise 35 HSK-25-Werkzeugaufnahmen bieten (Bild 3). Die Vermessung der Werkzeuge erfolgt mittels Laserlichtschranke.

Maschinensteuerung für UP- und Mikrofertigung

Der Verfahrenweg der Maschine in X-Richtung beträgt 900 mm. Dadurch können nicht nur große Werkstücke bearbeitet, sondern auch zusätzliche Prozesse in der Maschine umgesetzt werden. Hierzu wird eine zweite Z-Achse integriert, die mit spezieller Messtechnik oder mit Werkzeugen ausgestattet werden kann. 3D-Taster oder chromatrische Punktsensoren können ebenfalls integriert werden (Bild 4). Dadurch können sowohl das Werkstück als auch Mikrostrukturen ohne Umspannen auf der Maschine vermessen werden.

Bild: LT Ultra-Precision Technology



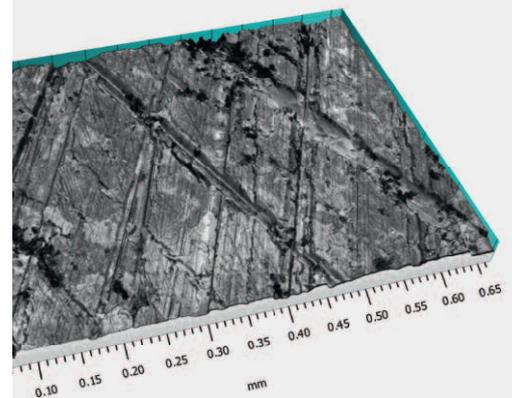
confovis

Optische 3D-Messtechnik



Zur Messung von:

- › Form und Kontur
- › Schneidkanten
- › Normgerechte Rauheit inkl. Rvk, Rpk, Rk
- › 3D-Rauheit (S-Parameter) inkl. Vmp, Vmc, Vvc, Vvv



Confovis GmbH
Hans-Knöll-Str. 6 | 07745 Jena | Germany
Tel: 03641/27 410 00
Email: info@confovis.com

www.confovis.com

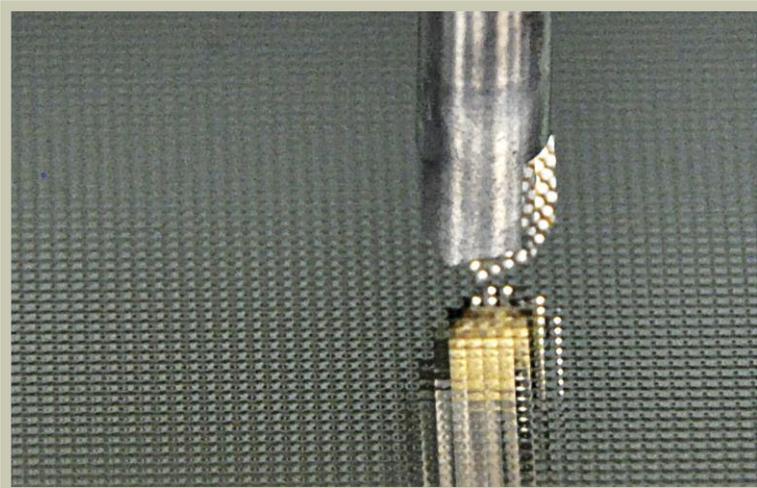
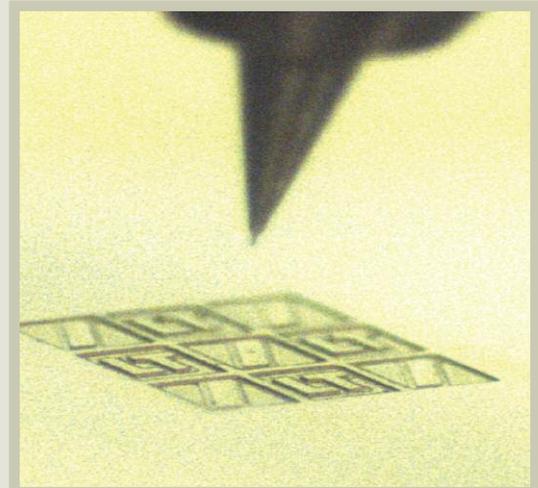


Bild 6. UP-Fräsen eines Linsenarrays mit monokristallinem Diamantwerkzeug und Mikrofräsen mit zylindrischen VHM-Werkzeug, $D = 60 \mu\text{m}$

Dies spielt eine wichtige Rolle, um den aktuellen Fräsdurchmesser oder auch die Abdrängung von Mikrowerkzeugen zu berücksichtigen. Da sich der Fräsdurchmesser je nach Spindeldrehzahl und Einspannlage leicht verändern kann, ist dies für Genauigkeiten weniger hundert Nanometer entscheidend.

Um bei langen Bearbeitungsprozessen eine hohe Formgenauigkeit zu erreichen, ist eine langzeitstabile Maschine von großer Bedeutung. Die dafür notwendige Temperaturstabilität wird durch das zusätzliche Temperieren der einzelnen Maschinenmedien erreicht. Somit werden entstehende Wärmelasten aus der Maschine abgeführt, bevor ein messbarer Einfluss auftritt. Bodenvibrationen werden durch passive oder aktive Dämpfungs- beziehungsweise Schwingungs-isolationssysteme ausgekoppelt. Dies ist wichtig, wenn optische Oberflächen erzeugt werden sollen.

Die Maschinensteuerung ist speziell an die Bedürfnisse der UP- und Mikrofertigung angepasst. Im Vergleich zu anderen Steuerungssystemen stellen Programmieraufösungen von deutlich unter einem Nanometer kein Problem dar. Kurze Servozeiten und eine schnelle Blockverarbeitung sorgen für ein verzögerungsfreies Fertigen von hochkomplexen Strukturen oder Formen mit hohen Auflösungen bei



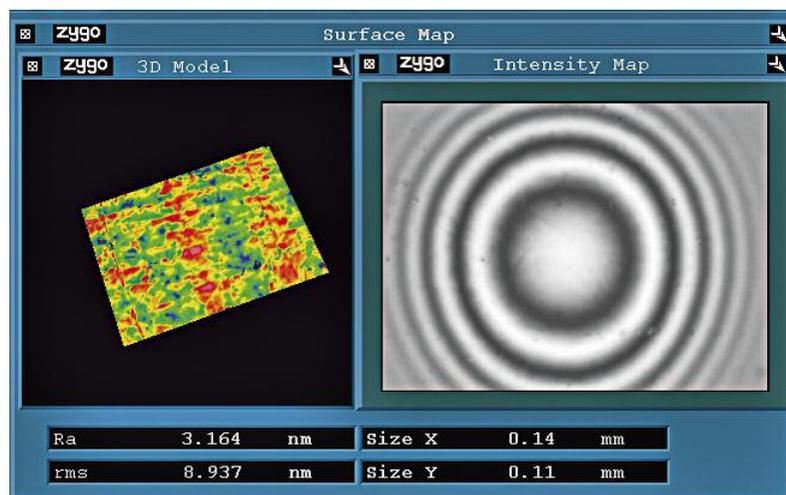
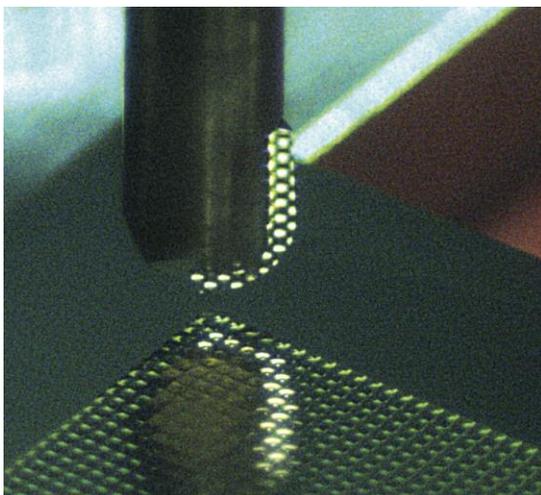
Verarbeitungsgeschwindigkeiten von einigen Tausend Zeilen G-Code pro Sekunde.

Mikrofluidiken, Mikrolinsen, komplexe Oberflächen

Ein Beispiel für das Mikrofräsen ist die Fertigung von Mikrofluidiken. Hierbei werden Formen in verschiedenen Materialien, wie Messing, chemisch abgetriebenem Nickel oder Stahl, gefertigt, die dann für eine wirtschaftliche Replikation der Bauteile mittels Spritzgießen oder Heißprägen eingesetzt werden. In **Bild 5** ist eine Fluidikform dargestellt, die mit Mikro-Hartmetallfräsern in Messing gefertigt wurde. Sie wurde mit einem VHM-Schaftfräser mit einem Durchmesser von $60 \mu\text{m}$ bei einer Drehzahl von $60\,000 \text{ min}^{-1}$ hergestellt. Die gemessenen arithmetischen Flächenrauhigkeiten der gezeigten Struktur betragen je nach Messort zwischen $9,5$ und $13 \text{ nm } R_a$ (Sa). Nach der Korrektur der Werkzeuggeometrie können die Stegbreiten und -höhen mit einer Genauigkeit im Sub- μm -Bereich eingehalten werden.

Um das Mikrolinsen-Array möglichst schnell zu bearbeiten, muss eine große Anzahl kleinster Strukturen innerhalb kürzester Zeit mit optischen Oberflächenanforderungen diamantgefräst werden (**Bild 6**). Je

Bild 7. Fräsen eines Mikrolinsenarrays und Messung einer Linse; $16 \mu\text{m}$ tief, $r = 350 \mu\text{m}$



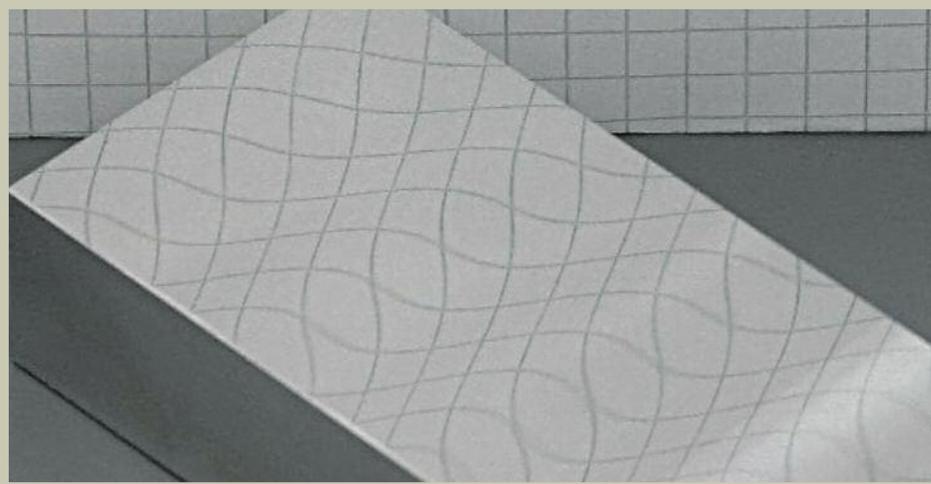


Bild 8. Gehobelte Optik mit sinusoidaler Form mit arithmetischer Flächenrauheit R_a (Sa) < 3 nm

nach Größe der Strukturen und der zu strukturierenden Fläche kann eine solche Bearbeitung Stunden oder auch Tage in Anspruch nehmen. Trotz der hohen Fertigungsgeschwindigkeit von über 16 Mikrolinsen/Sekunde in dem hier gezeigten Anwendungsbeispiel beträgt die arithmetische Flächenrauheit R_a (Sa) \approx 3 nm (Bild 7).

Mittels Hobel-/Stoßprozessen lassen sich analog zur Fast-Tool-Bearbeitung beim UP-Drehen Freiformflächen in optischer Qualität erzeugen. Im Beispiel aus Bild 8 folgt die Zustellachse dem Sinusverlauf, während eine andere für die Hobelbewegung in Längsrichtung zuständig ist. Je nach Komplexität der Oberfläche können auch mehrere Linear- und Schwenkachsen an der Bewegung beteiligt sein. Die in Bild 8 gezeigte, sinusoidale Oberfläche wurde mit insgesamt drei Achsen erzeugt und weist eine Flächenrauheit von R_a (Sa) < 3 nm auf. ■

MI110398

AUTOREN

Dr. KAI SCHMIDT ist im Bereich F&E beim Unternehmen LT Ultra-Precision Technology in Herdwangen-Schönach tätig;

kai.schmidt@lt-ultra.com

Dr. KURT HASKIC ist ebenfalls im Bereich F&E bei LT Ultra-Precision Technology tätig;

kurt.haskic@lt-ultra.com



Wo Präzision Massstäbe setzt.

Sphinx Werkzeuge AG
Gewerbstrasse 1
CH-4552 Derendingen

Phone +41 32 671 21 00
Fax +41 32 671 21 11
www.sphinx-tools.ch

SPHINX
+ Swissmade tools
Your partner

