



Ultrapräzision mit Diamantwerkzeugen



© Paul Horn GmbH und Lt Ultra

22.01.2013

Ultrapräzision mit Diamantwerkzeugen

Matthias Oettle, Paul Horn GmbH, Tübingen

Oberflächengüten im einstelligen Nanometerbereich

Größen wie das Nanometer – ein millionstel Millimeter – sind für den „normalen“ Zerspaner keine alltäglichen Maßangaben. Das Erreichen und Einhalten der damit verbundenen Anforderungen an das System

Maschine/Werkzeug/Werkzeugspannung führt in Grenzbereiche, die nur sehr wenigen Herstellern zugänglich sind. Die Firmen Horn, LT Ultra und H10 konzentrierten deswegen ihr Know-how und konnten so Bearbeitungsanfragen aus unterschiedlichen Branchen in überzeugender Weise realisieren.

Kleinbauteile wie Mikrooptiken, Kontaktlinsen, Mikromischer oder Wärmetauscher werden seit einigen Jahren zunehmend mit Hilfe der Ultrapräzisionsbearbeitung hergestellt. Auch bei metalloptischen Komponenten, Laserspiegeln, Spiegeln, Laserteleskopen, Toroidspiegelflächen, mechanischen Präzisionskomponenten, Schmuck, Schreibgeräten und anderen technisch und optisch anspruchsvollen Gegenständen werden die Verfahrensvor-

teile wie hochglänzende Oberflächen, die nur mit geometrisch bestimmter Schneide herstellbar sind, gerne genutzt Dank der dabei gewonnenen Erfahrungen hat sich in jüngster Zeit der Anwendungsbereich dieses Verfahrens auch auf größere Flächen ausgedehnt, beispielsweise auf Abformwerkzeuge für die Herstellung mikrostrukturierter Folien.

Unabhängig von der Werkstückgröße sind höchste Genauigkeitsanforderungen vor allem hinsichtlich der Oberflächengüte und der Formgenauigkeit zu erfüllen. Die meist im einstelligen Nanobereich liegenden Vorgaben lassen sich nur mit kleinsten Zerspankräften erreichen. Um Maßabweichungen zu vermeiden, werden hohe Anforderungen an die mechanische Steifheit der an der Zerspanung beteiligten Werkzeugmaschine, der Werkzeuge und der Werkzeugträger gestellt. Zudem sind werkstoff- und strukturgeometrische Schnittparameter einzuhalten, um Deformationen und Gradbildungen zu vermeiden.

Ultrapräzision mit MKD-Diamant

Mit einem reduzierten Spanquerschnitt lassen sich die Zerspankräfte relativ einfach verringern. Da dafür notwendige scharfe Schneide mit Schneidkantenverrundungen ≤ 50 nm bietet der Diamant. Geringe Reibwerte, hohe Verschleißfestigkeit und Wärmeleitfähigkeit sind weitere Merkmale die diesen Werkstoff für die Ultrapräzisionsbearbeitung prädestinieren. Den synthetischen Diamanten in mono-

kristalliner Form stehen neben der höchsten Standzeit und den besterreichbaren Oberflächen aller Diamantwerkzeuge auch Nachteile bei der Herstellung und der Formgebung gegenüber. Letztere ist ausschließlich schleiftechnisch möglich. Die begrenzte Bestückungsgröße und die davon abhängige Zustellung erlauben nur relativ einfache Schneidengeometrien. Beim Schleifen von MKD-Diamantwerkzeugen – Schleifmittel ist in der Regel Diamantpaste – entstehen an der Wirkstelle Temperaturen bis 600° Celsius. Da der Diamant über eine hohe Leitfähigkeit verfügt, leitet er die Temperatur sofort an die Halter weiter: Der Diamant glüht rot, der Halter aus Stahl nimmt nacheinander alle Regenbogenfarben an.

Maschinen-, Diamant- und Werkzeugspezialist bündeln ihr Know-how

Einer der weltweit führenden Hersteller von Diamantwerkzeugen ist die Firma H10 in Engelsbrand bei Pforzheim. Das Unternehmen verarbeitet ungefähr fünf Prozent Naturdiamanten und 95 Prozent Industriediamanten, vor allem wegen ihrer gleichmäßig ausgebildeten Kristallstruktur. Mit dem zunehmenden industriellen Einsatz der synthetischen Diamanten, speziell für die Hochglanzbearbeitung, wuchs auch die Zahl der Anwendungen, die ein spezielles Know-how in der Werkzeughandhabung erfordern – ein Know-how, über das die Firma Horn verfügt. Der Tübinger Werkzeugspezialist liefert für die H10-Diamantschneidplatten die Träger und



Zukunftorientierte Zerspanung e.V. Holzgartenstraße 17 · 70174 Stuttgart

Eingetragener Verein, Sitz Stuttgart, Vereinsregister Stuttgart VR 720988

Geschäftsführer: Dr.-Ing. Michael Schaal

Vorstand: Matthias Oettle (Vorsitzender), Prof. Dr.-Ing. Uwe Heisel (Stellv. Vorsitzender)

Halter beispielsweise für die Werkzeugsysteme S117, Supermini 105 und ISO VCGW16 zum Innen und Außendrehen sowie zum Fräsen und S077 für die Bohrungsbearbeitung.

Die mit diesen Systemen erreichbaren Genauigkeiten fanden auch das Interesse der Firma LT Ultra-Precision Technology aus Herdwangen-Schönach. Das im nördlichen Bodenseeumland beheimatete Unternehmen ist ein führender Hersteller von Hochleistungs-Metalloptiken, Ultrapräzisionsmaschinen, aero- und hydrostatischen Lagerungen sowie von Strahlführungskomponenten. Für die speziellen Werkstückcharakteristiken im Nanometerbereich entwickelte man unter anderem werkstückorientierte Ultrapräzisionsmaschinen für die Halbleiter- und Optikindustrie – Maschinen, auf denen heute bei zahlreichen Anwendungen Produkte der Firmen Horn und H10 zum Einsatz kommen.

Maschinensysteme im Nanobereich

Um die hohe Arbeitsgenauigkeit für die ebenen, gleichmäßigen und hochglänzenden Oberflächen zu erreichen, müssen die Dreh-/Fräsmaschinen und ihre Teilsysteme herausragende dynamische, statische, thermische, geometrische und kinematische Eigenschaften aufweisen. Grundvoraussetzungen sind deshalb unter anderem hydrostatische Achsen, luftgelagerte Spindeln, Maßstabauflösungen ≤ 1 nm, vibrationsfreie Antriebe, konstante Vorschubbewegungen sowie verschiedene Messoptionen. Für die Geradheitsabweichungen der Führungsbahnen werden deshalb etwa $0,1 \mu\text{m}$ pro 100 mm oder Rundlaufabweichungen unter $0,1 \mu\text{m}$ gefordert.

Werkzeugträger, Garant für Genauigkeit und Wirtschaftlichkeit

TiN-beschichtete Standardhalter schließen dabei viele Spanprobleme aus und senken die Rüstzeiten deutlich. Höchste Wechselgenauigkeiten erlauben das Wechseln der Diamantbestückten Hartmetallschneideinsätze direkt in der Maschine ohne aufwendiges neu Ausrichten des Zerspanprozesses.

1000 Teleskopspiegel à 500 x 500 mm

Auf La Palma steht „Magic“, das weltweit größte Teleskop zum Erfassen von Gammastrahlen. Es besteht aus fast 1.000 einzelnen Spiegeln aus Aluminium, jeweils 500×500 mm groß. Der Spiegeldurchmesser beträgt 17 m, die Spiegelfläche fast 240 m^2 . Zum Herstellen der Spiegel entwickelte LT Ultra eine Sphärenfräsmaschine auf der Spiegel bis zu einer Diagonalen von 950 mm gefertigt werden können.

Bei der Bearbeitung bewegt sich das Diamantwerkzeug auf einem großen Flugkreis um die Drehachse der Frässpindel während sich das Werkstück auf einem von LT Ultra eigens entwickelten Spannsystem unter der Werkzeugspindel hindurchbewegt (Abbildung 2).

Technische Daten:

Werkzeugdiameter 800 mm mit zwei Hornkassetten Typ NH105, Bestückung:

Schruppen mit PKD Spantiefe $40 \mu\text{m}$ bis $80 \mu\text{m}$

Schlichten mit MKD Spantiefe $1 \mu\text{m}$ bis $3 \mu\text{m}$

Werkzeugradialen R 50 und R100

Drehzahl: $800 \text{ 1/min} \sim v_c = 2.000 \text{ m/min}$

Vorschubgeschwindigkeit $v_f = 35 \text{ mm/min}$

Oberflächengüte: $R_a < 10 \text{ nm}$ (Nanometer)

Formabweichung pro 100 mm $< 0,3 \mu\text{m}$ und auf der Gesamtläche $1 \mu\text{m}$



Abbildung 1: Matthias Oettle, Paul Horn GmbH (links) und Richard Widemann, Geschäftsführer von LT Ultra (rechts) bei der Herstellung eines Segementes vom Cherenkov-Spiegel, Bildnachweis: Fa. Paul Horn GmbH, Lt Ultra

Polygone für Scanneranlagen

Leichtgewichts-Scanspiegel und Polygonräder werden aus Aluminium hergestellt. Eine der Stärken von LT Ultra ist die Herstellung dieser Polygonräder in hoher Stückzahl auf vollautomatisierten, eigen entwickelten Spezialmaschinen.

Material: Aluminium AlMg4,5

1.000 bis 1.500 Stück werden pro Monat gefräst mit Horn MKD Fräs Werkzeugen Typ NH105 auf einer LT Ultra Maschine MMC 900

Ebenheit pro Fläche: 100 nm ($0,1 \mu\text{m}$), Oberflächengüte $R_a < 3 \text{ nm}$

Hier wird mit MKD vorbearbeitet und wegen dem speziellen Streulichverhalten wird mit Naturdiamant geschlichtet (Abbildung 2).

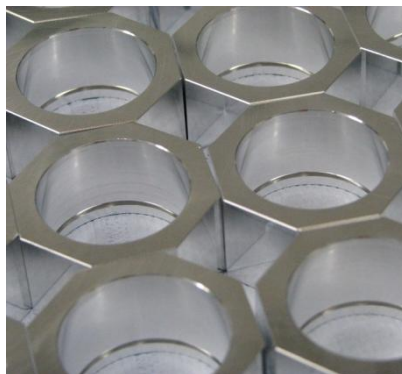


Abbildung 2: Hochpräzisionsgefärbte Polygone für Scanneranlagen, Bildnachweis: Fa. Paul Horn GmbH, Lt Ultra

Abformwerkzeug für Nickelspiegel von Satelliten

Ende 2012 wird ein russischer Satellit in einen L2 Orbit starten um den Himmel im mittleren Röntgenbereich bis 10 keV mit noch nie dagewesener spektraler und räumlicher Auflösung zu durchmustern.

Hauptinstrument ist eROSITA, ein vom Max-Planck-Institut für extraterrestrische Physik entwickeltes Spiegelteleskop mit 7 Spiegeln. Die Spiegelflächen aus Aluminium 5083 werden auf einer Drehmaschine von LT Ultra mit Horn Sonderbohrstangen Typ B105 bearbeitet.

Im Pflichtenheft sind die Genauigkeiten der Innenbearbeitung mit einer Formgenauigkeit $< 0,3 \mu\text{m}$ und einer Oberflächengüte $R_a < 8 \text{ nm}$ vorgegeben, beim Innendurchmesser ist $R_a = 3 \text{ nm}$ und eine Toleranz von $3 \mu\text{m}$ einzuhalten. Außerdem gilt für die Aussenbearbeitung der optische Fläche $R_a = 3 \text{ nm}$.

Nach der Ultrapräzisionsbearbeitung erhalten die Spiegel eine Nickelschicht mit einer Endrauigkeit von $10\text{-}20 \text{ \AA}$ (Ångström) (Abbildung 3).

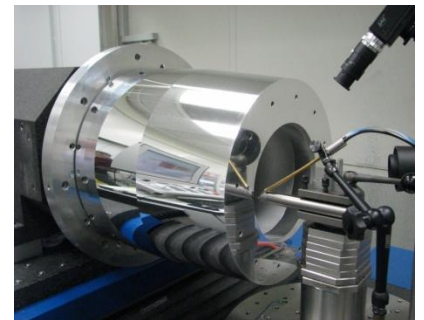


Abbildung 3: eROSITA Abformwerkzeug für Nickelspiegel von Satelliten, Bildnachweis: Fa. Paul Horn GmbH, Lt Ultra

Mikrostrukturierte Prägewalzen zum Herstellen von Kunststofffolien

Folien werden in der Regel in Abformprozessen hergestellt. Dabei bietet die Ultrapräzisionszerspanung durch Drehen der Formwerkzeuge gegenüber dem Fräsen zahlreiche Vorteile, vor allem hinsichtlich der Strukturmöglichkeit großer Flächen sowie der Qualität der erzeugten Oberflächen. Diese Vorteile wollte ein Hersteller von Folien nutzen und beauftragte Firma LT Ultra mit der Konzeption einer Maschine zum Hochpräzisionsdrehen von verkupferten Stahlwalzen mit Durchmessern von 460 bis 600 mm und Längen bis 1.500 mm . In die bis zu 2 Tonnen schweren Werkstücke mussten $200 \mu\text{m}$ bis $1.000 \mu\text{m}$ tiefe Strukturen mit $R_a \leq 2\text{-}3 \text{ nm}$ eingebracht werden (Abbildung 4).

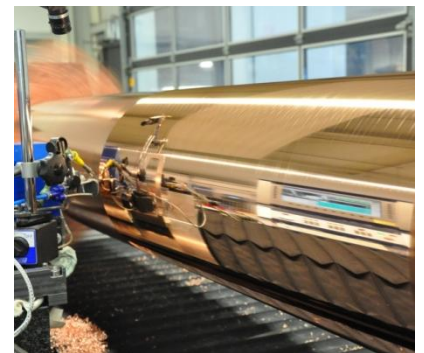


Abbildung 4: Fertigung einer Strukturwalze zum Prägen von Kunststofffolien, Bildnachweis: Fa. Paul Horn GmbH, Lt Ultra



Zukunftorientierte Zerspanung e.V. Holzgartenstraße 17 · 70174 Stuttgart

Eingetragener Verein, Sitz Stuttgart, Vereinsregister Stuttgart VR 720988

Geschäftsführer: Dr.-Ing. Michael Schaal

Vorstand: Matthias Oettle (Vorsitzender), Prof. Dr.-Ing. Uwe Heisel (Stellv. Vorsitzender)