

Mikrowerkzeugherstellung mittels Stoffaufwuchsverfahren

Prof. Dr.-Ing. Jens P. Wulfsberg, Dipl.-Ing. Gregor Brudek, Dipl.-Ing. Jörg Lehmann

Helmut-Schmidt-Universität / Universität der Bundeswehr Hamburg

Institut für Konstruktions- und Fertigungstechnik / Laboratorium Fertigungstechnik

Holstenhofweg 85, 22043 Hamburg

Tel.: +49(0)40-6541-2720 / -3073 / -2610

Fax.: +49(0)40-6541-2839

e-Mail: jens.wulfsberg@hsu-hh.de, gregor.brudek@hsu-hh.de, joerg.lehmann@hsu-hh.de

Internet: <http://laft.hsu-hh.de>

Inhalt

Mikrozerspanwerkzeuge können mit den heutigen Verfahren oftmals nicht in der erforderlichen Qualität hergestellt werden. Bei der Entwicklung von neuen Herstellungsverfahren bilden das Ion Beam Machining oder auf CVD (Chemical Vapor Deposition) basierende Prozesse vielversprechende Ansätze. Am Beispiel eines Diamantaufwuchsverfahrens wird im weiteren die Entwicklung und Erprobung von Diamant-Mikroscheibenfräsern für den Einsatz in der Mikrotechnik beschrieben.

Generative methods for microtool design

Abstract

The requirements on qualities for milling tools used in micromanufacturing increasingly become more difficult to fulfill with conventional manufacturing processes. Alternative methods, for example Ion Beam Machining or Chemical Vapor Deposition (CVD) based procedures, could offer advantages. As an example of a diamond growth process the development and testing of diamond side milling cutters for application in microtechnology are described.

1. Einleitung

Elektronische, mechanische, optische oder fluidische miniaturisierte Systeme finden eine zunehmende Verwendung in der Biotechnologie, Medizintechnik, Sensorik oder auch im Maschinenbau und im Fahrzeugbau. Dabei ist einerseits eine Verkleinerung der Bauteile und andererseits eine Erhöhung der Funktionsdichte gefordert. Beides wird heute durch die Kombination von Verfahren der Mikroelektronik/Mikrosystemtechnik und skalierten Verfahren der Feinwerktechnik, die wesentlich auf der DIN 8580 beruhen, erreicht. Eine Grenze der Skalierbarkeit stellt dabei heute in der letztgenannten Verfahrensgruppe zum Beispiel die Herstellbarkeit skalierten Werkzeuge für die Umformung und, wie in diesem Beitrag betrachtet, für die Zerspanung dar. Üblicherweise werden dafür zur Herstellung der Endkontur abtragende Verfahren, wie z.B. das Schleifen verwendet, die ihrerseits wieder Größeneffekten unterliegen. Hierdurch wird die weitere Miniaturisierung der Zerspanwerkzeuge behindert. Abhilfe schaffen heute schon abtragende Verfahren mit höherer Auflösung und Genauigkeit, wie z.B. die Funkenerosion oder die Ionenstrahlbearbeitung.

Eine weitere Alternative stellen generative Verfahren dar, bei denen die Geometrie durch einen Stoffaufwuchs erzeugt wird. Beispiele für solche Verfahren sind die verschiedenen Varianten der CVD-Verfahren. Die um Größenordnungen höhere Auflösung und Genauigkeit bei der Geometrieerzeugung in den durch diese Prozessfamilie beeinflussbaren Achsen sollen bei der Herstellung von Mikro-Zerspanwerkzeugen aus Volldiamant genutzt werden. [1 – 4]

2. Technologie

Da es sich bei den heute verfügbaren CVD-Prozessen in der Regel um Beschichtungsverfahren handelt, ist zunächst die Entwicklung und Herstellung 2½ dimensionaler, scheibenförmiger Werkzeuge durchgeführt worden. Hierzu wurden Mikroscheibenfräser mit einem Durchmesser von 2 mm und einer Stärke (Dicke) von 30 µm konstruiert und als CAD-Datei verfügbar gemacht. Die Zähnezahl wurde zwischen 4 und 10 variiert. Frei- und Spanwinkel wurde in diesem ersten Versuch in Anlehnung an Makrowerkzeuge festgelegt. Sie betragen $\alpha = 13^\circ$ und $\gamma = 8^\circ$. Die Daten für den erprobten Fräser sind in **Bild 1** zusammengefasst. Die CAD-Daten wurden beim Projektpartner GFD (Gesellschaft für Diamantprodukte GmbH, Ulm, Germany) für die Herstellung einer Maske genutzt, in der 12 Fräserarten mit unterschiedlichen Schneidengeometrien abgebildet wurden. Mit Hilfe der Maske wurden dann durch den CVD-Prozess die Fräsergeometrien auf Siliziumsubstrat abgeschieden. Die laterale Geometrie wird also durch die Maske bestimmt, während die Stärke (Dicke) der Fräser durch die Prozesszeit mit hoher Auflösung hergestellt werden konnte. [5]

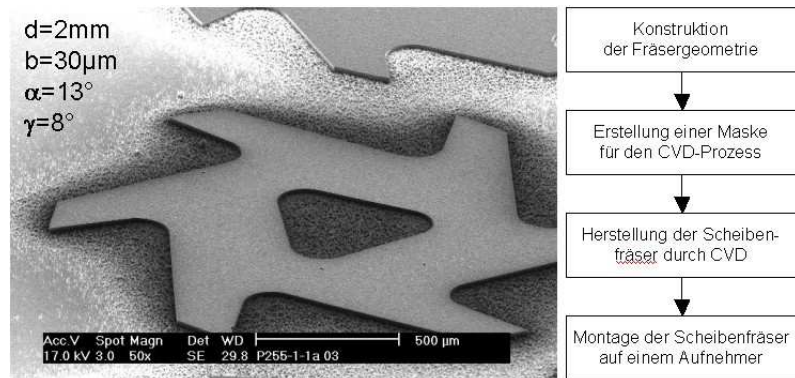


Bild 1: Durch CVD-basierte Verfahren hergestellter Diamant-Mikroscheibenfräser

Während des CVD Prozesses entstehen polykristalline Diamantschichten höchster Dichte aus einer Gasphase (Wasserstoff-Methan Gasmischung) und durch Zugabe von hohen Energien. Mit dieser Methode

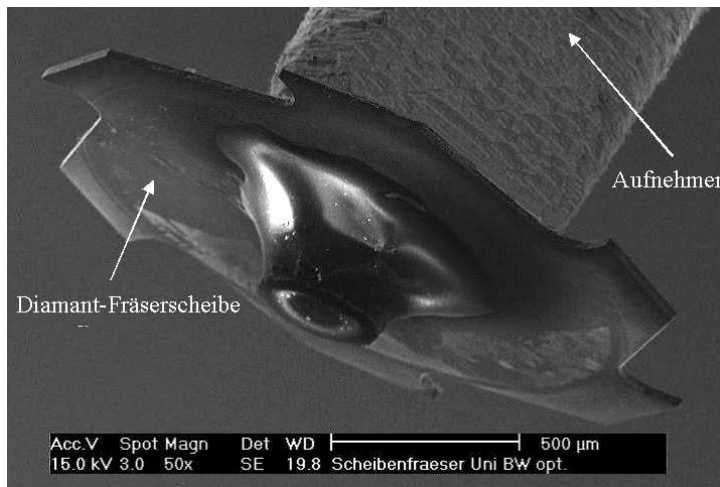


Bild 2: Montierter Diamant-Mikroscheibenfräser

einen Klebeprozess. **Bild 1** zeigt einen durch einen CVD-Prozess erzeugten Diamant-Scheidenfräser und verdeutlicht den Ablauf des Herstellungsprozesses. Weiter ist in **Bild 2** ein fertig montierter Diamant-Mikroscheibenfräser zusehen.

können Schichten bis zu einem Durchmesser von ca. 15 cm (6 Zoll) hergestellt werden. GFD greift dabei auf verschiedene CVD-Verfahren zurück, die in Abhängigkeit von der Schichtqualität und dem zu beschichtenden Substrat ausgewählt werden. Eines dieser Verfahren ist das PECVD (Plasma Enhanced Chemical Vapor Deposition), bei dem trotz geringer Temperaturen eine gute Schichtbildung möglich ist. Nach Abschluss des Wachstumsprozesses wird durch die aus der Mikroelektronik bekannten Ätzverfahren das Siliziumsubstrat entfernt, so dass die Mikroscheibenfräser einzeln vorliegen. [6 – 8]

Abschließend erfolgt die Montage des Fräasers auf einen Aufnehmer durch

3. Versuchsreihen mit ersten Prototypen der Diamant-Mikroscheibenfräser

Am LaFT (Laboratorium Fertigungstechnik der Helmut-Schmidt-Universität) wurden die ersten Prototypen der Diamant-Mikroscheibenfräsern in einem Mikrobearbeitungszentrum der Firma Kugler getestet. Es ist mit seinen luftgelagerten Linearachsen, einem bis auf 10 nm auflösenden Wegmesssystem und einer relativen Positioniergenauigkeit von 0,3 µm und einer Hochfrequenzspindel mit einer maximalen Drehzahl von 160000 min^{-1} speziell auf die Anforderungen in der Mikrobearbeitung ausgelegt.

Stahl- und Eisenwerkstoffe können wegen ihrer chemischen Affinität zum Kohlenstoff nur schlecht bzw.

[4] Wenda, A. ; Beck, M.; Hüntrup, V.; Meisel, M.; Rothenburg, M.; Rübenach, O.; Schmütz, J.; Schwietering, C.; Gäbler, J.: Möglichkeiten und Grenzen der Mikrozerspanung. F&M Jahrgang 107 (1999), S.64-67.

[5] GFD Homepage – Technology. http://www.gfd-diamond.com/technolo/index_en.htm, Juli 2004

[6] Flöter, A.: Synthetic diamond blade for microsurgery hits the market - A Worldwide First in Cutting Technology. Press Release (2003). http://www.gfd-diamond.com/presse/presse_1.pdf

[7] Delzeit, L.; Nguyen, C.V.; Stevens, R.M.; Han, J.; Meyyappan, M.: Growth of Carbon Nanotubes by Thermal and Plasma Chemical Vapor Deposition Processes. Nanotechnology 13 (2002), S. 280-284.

[8] Dobkin, D.M.; Zuraw, M.K.: Principles of Chemical Vapor Deposition - What's Going on Inside the Reactor. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht Hardbound (2003), S.288ff.