

A. Lümekemann, R. Zemlicka, Y. Li, P. Tapp, H. Bolvardi

Optimierung des Plasmaätzens von komplexen Geometrien dank des 3-D-Ätzindikator von PLATIT

■ Verschleißfeste Hartstoffschichten und innovative Präparationen der Schneidkante haben Schlüsselrollen bei der Optimierung von Präzisionswerkzeugen übernommen. Neben der Wahl der geeigneten Hartstoffschicht muss die Methode zur Kantenbehandlung ebenso an die Anwendung angepasst werden^[1]. Allerdings kann selbst die beste Hartstoffschicht ihr volles Potenzial nicht entfalten, wenn die Grundvoraussetzung, eine optimale Haftvermittlung auf dem Substratmaterial, nicht gegeben ist. Vor der Schichtaufbringung darf das Trägermaterial keinerlei Verunreinigungen auf atomarer Ebene aufweisen. Erreicht werden kann dies in Hochvakuum-PVD-Anlagen mittels Glimmentladungsverfahren. Dazu wird ein Plasma vor dem eigentlichen PVD- und/oder PECVD-Prozess direkt im Drehgestell der PVD-Anlage gezündet^[2,3,4].

Zur Vermeidung der für Glimmentladungsverfahren typisch inhomogenen Materialabtragsraten wurden bereits verschiedene Versuche unternommen^[5,6,7]. Gegenwärtig verwendete Methoden zur Abschätzung der Plasma-Ätzrate reichen jedoch nicht aus, um die sich daraus ergebende Homogenität hinreichend zu bewerten. Außerdem sind sie nur begrenzt auf Substrate mit ebener Oberfläche anwendbar^[6]. Bisher war eine zuverlässige Bewertung der Materialabtragsrate beim Plasmaätzen für die meisten realen Substrate, z. B. Schneidkanten von Präzisionswerkzeugen, gar nicht möglich. In diesem Artikel möchten wir unseren patentierten 3-D-Plasma-Ätzindikator vorstellen, der als bahnbrechend für die Darstellung von Plasmaätzprofilen angesehen werden kann. Mit diesem neuen Ansatz lässt sich ein visuelles 3-D-Profil der Plasmaätzleistung auf über mehrere Dutzend Zentimeter großen Oberflächen beliebiger Formen generieren. Dabei besteht die Möglichkeit, ein speziell auf die Substrate (Werkzeuge, Bauteile, ...) zugeschnittenes Plasma-Ätzprofil zu erreichen.

Um ein solches 3-D-Ätzprofil zu erzeugen, werden die betrachteten Proben (z. B. Schneidwerkzeuge) zunächst mit einer dünnen, transparenten Schicht versehen, die nur eine einzige Interferenzfarbe (z. B. Blau) gleichmäßig reflektiert. Anschließend werden selbige Proben in die Beschichtungskammer eingebracht und der Plasmaätzvorgang einer bestimmten Zeitspanne durchgeführt. Durch das Plasmaätzen wird die anfangs sehr gleichmäßige Interferenzschicht auf der 3-D-Probenoberfläche ungleichmäßig abgetragen. Da die Interferenzfarbe einer dünnen Schicht direkt mit ihrer Dicke zusammenhängt, lässt sich aus der resultierenden Farbe an jedem beliebigen Punkt der Oberfläche die Ätzwirkung an dieser bestimmten Stelle mit einer Auflösung von fünf bis zehn Nanometer bestimmen.

tur übernommen wurde^[8]. Bild 2 veranschaulicht die Verwendung des 3-D-Ätzindikators an einem Schneidrad zur Herstellung von Zahnrädern. Mithilfe der Skala aus Bild 1 lässt sich somit anhand der Farbänderung nach dem Ätzen eine Verringerung der Interferenzschichtdicke und damit die 3-D-Ätzwirkung auf der gesamten Substratoberfläche ausmachen.

Bei der Verwendung des 3-D-Plasmaätzindikators haben wir wichtige Informationen über den Charakter von Glimmentladungsparametern erarbeitet, die zur Optimierung der Haftvermittlung von Hartstoffschichten genutzt werden können:

1. Es wurde festgestellt, dass die Ätzratenmessung an ebenflächigen Teststücken für die Einschätzung der Ätzleistung an industriellen Proben mit 3-D-Geometrien nicht relevant ist.

Bild 3 zeigt die Beladung einer Chargierebene der PVD-Anlage

Bild 1 stellt eine Skala der Interferenzfarben einer dünnen TiO₂-Schicht mit der dazugehörigen Dicke dar, die aus der Fachlitera-

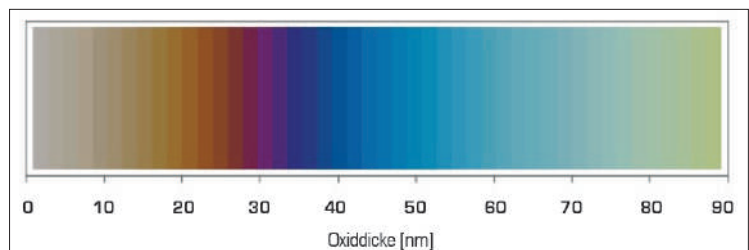


Bild 1 Skala der Interferenzfarben einer dünnen TiO₂-Schicht mit der dazugehörigen Dicke^[8].



Dr. Andreas Lümekemann
CTO, PLATIT AG

Dr. Radek Zemlicka
Research Scientist, PLATIT AG

Dr. Yuan Li
Research Scientist, PLATIT AG

Peter Tapp
Process Engineer, PLATIT AG

Dr. Hamid Bolvardi
Business Development Manager, PLATIT AG

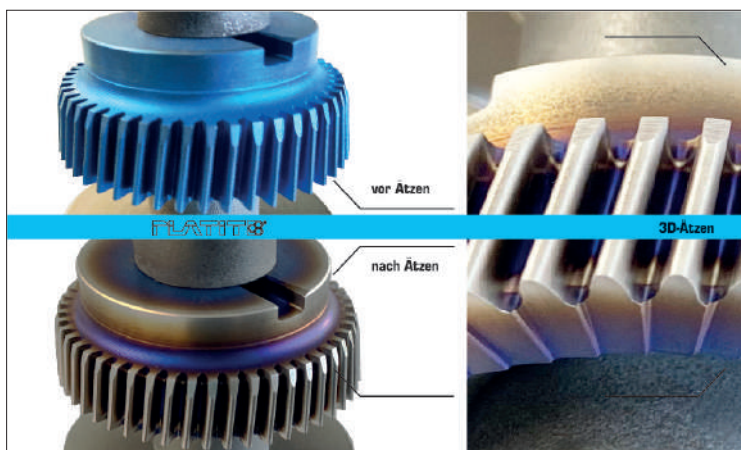


Bild 2 Ein Schneidrad, das vor dem Ätzevorgang mit einer homogenen Interferenzfarbschicht beschichtet wurde und die daraus resultierende Farbänderung nach dem Ätzevorgang. Die Farbänderung gibt Aufschluss über die 3-D-Ätzwirkung im Plasmaätzen.

mit einem HSS-Bohrer, einer dreieckigen Schneidplatte und einer Testronde. Alle drei Proben wurden mit einer homogenen, hellblauen Schicht versehen und anschließend mit demselben Plasma-Ätzeverfahren behandelt.

Bild 3A zeigt auf der linken Seite die homogene, 56 ± 5 nm dicke hellblaue Farbschicht (siehe Skala in Bild 1) auf zwei unterschiedlichen Proben. Die rechte Seite der Abbildungen stellt diese Proben nach dem Ätzevorgang dar. Während die dunkelblaue Farbe in der Probenmitte einer Dicke von 38 ± 5 nm entspricht, wurden die dem Plasma exponierten Kanten der Proben vollständig geätzt.

Bild 3B zeigt den Zustand des Bohrers vor und nach dem Ätzevorgang. Dieses Werkzeug wurde ungleichmäßig geätzt. Neben einem deutlichen Materialabtragsgradient von oben nach unten sind auch Rückstände von blauer Farbe an der Schneidkante zu erkennen, die darauf hinweisen, dass dieser wichtige Teil des Werkzeugs nicht ausreichend geätzt wurde.

Aus dem optischen Vergleich der Ätzprofile der Testproben mit dem HSS-Bohrer ist anzunehmen, dass die ebenflächigen Prüfkörper keine relevanten Informationen über die Ätzwirkung an komplexen 3-D-Proben liefern können. Daher können profilometrische Mes-

sungen des Ätzabtrages von teilweise abgedeckten ebenflächigen Proben nicht für 3-D-Proben herangezogen werden und sollten z. B. durch unseren 3-D-Plasma-Ätzindikator ersetzt werden.

2. Wir haben eine Möglichkeit zur Visualisierung von unterschiedlichen Glimmentladungsprozessen erarbeitet, die zu sehr unterschiedlichen Plasma-Ätzwirkungen führen.

Während bei Messverfahren zur Ätzwirkung auf ebenflächigen Teststücken verschiedene Plasma-parameter nur auf einer eindimensionalen Skala verglichen werden, unterscheidet sich der tatsächliche 3-D-Charakter des Ätzprofils bei verschiedenen Plasmaparame-

tern doch erheblich. Bild 4 veranschaulicht ein Beispiel für drei Werkzeuge, die mit einer homogenen hellblauen, 56 ± 5 nm dicken Schicht beschichtet und anschließend zehn Minuten lang geätzt wurden. Jedes Werkzeug wurde separat unter verschiedenen Argon-Plasma-Ätzbedingungen geätzt, die als B), C) und D) bezeichnet wurden. Bild 4A zeigt ein Werkzeug vor dem 10-minütigen Ätzen.

Die Wirkungsweise des Ätzens mit den Parametern B) ist in Bild 4B dargestellt. Es ist zu erkennen, dass zwar die Interferenzschicht an den Schneidkanten vollständig entfernt wurde, aber mehr als 60 % der Interferenzschicht in der Spannutt und auf Freiflächen verbleiben. Mit einer solchen Glimmentladung können scharfe Kanten sicher geätzt werden. Auf einer ebenen Oberfläche wäre dieses Verfahren jedoch äußerst unwirksam. Bild 4C zeigt ein Ätzeverfahren deutlich effizienter auf den Freiflächen, wobei jedoch etwa 50 % der ursprünglichen Interferenzschicht in der Spannutt verbleiben. Das in Bild 4D dargestellte Ätzeverfahren mit den Parametern D) zeigt ein gänzlich anderes Ätzprofil. Im Gegensatz zu den vorherigen Beispielen ist hier eine inhomogene Ätzwirkung von oben nach unten zu erkennen. Außerdem ist das Ätzprofil an der Spannutt und an der Schneidkante sehr unterschiedlich. Während die Spannutt effizient geätzt wurde, ist direkt an der Schneidkante ein blauer Saum an Rückständen zu erkennen (rote Kreise in der Abbildung). Dies zeigt, dass die Spannutt zwar mit diesen Parametern erfolgreich gereinigt werden kann, der wichtigste Teil, die Schneidkante, jedoch nahezu unbehandelt bleibt.

3. Ladungsabhängigkeit der Materialabtragsrate beim Plasmaätzen.

Unser 3-D-Ätzindikator zeigt eine signifikante Abhängigkeit der Ätzleistung von der Beladung der Werkzeuge in der Beschichtungskammer auf. Während der Ätzindikator bei Bohrern $\varnothing 6$ mm (mit Standardwerkzeughalter, Standardätzverfahren) eine relativ hohe Ätzwirkung bestätigt, erfahren im Mikrowerkzeughalter eingesetzte Mikrowerkzeuge bei selbigem Ätzeverfahren kaum eine Wirkung. Dies erscheint zunächst widersinnig, da zu erwarten wäre,

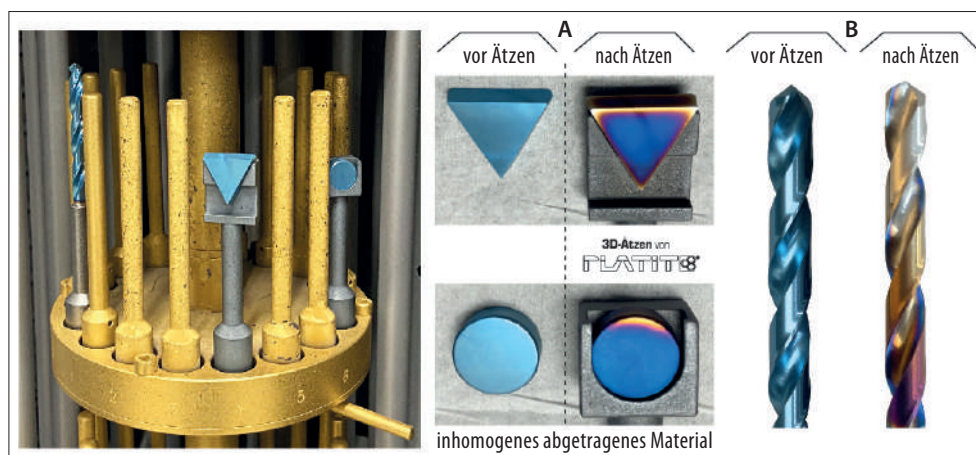


Bild 3 Beladung einer Chargierebene mit einem Bohrer und zwei unterschiedlich geformten Testproben. A) Links: zwei homogen beschichtete Testproben; rechts: selbige Proben nach dem Plasmaätzprozess. B) Bohrer vor und nach dem Ätzevorgang.

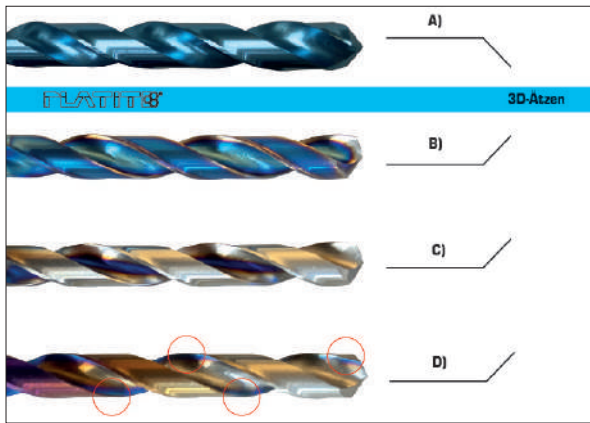


Bild 4 Drei Werkzeuge beschichtet mit einer homogenen hellblauen, 56 ± 5 nm dicken TiO_2 -Schicht und anschließend zehn Minuten lang geätzt. Jedes Werkzeug wurde separat in einer Argon-Entladung mit drei verschiedenen Parametern geätzt.

dass Mikrowerkzeuge ein milderes Plasmaätzen erfordern als relativ große Werkzeuge mit einem Durchmesser von 6 mm.

Diese Erkenntnis hat wesentlich zur Entwicklung eines Beschichtungsverfahrens beigetragen, das vor allem für Mikrowerkzeuge eingesetzt wird. Die Beschichtung auf TiSi-Basis wurde auf einen Hartmetallfräser mit einem Durchmesser von 0,5 mm aufgebracht (siehe Bild 5) und bei der Nassbearbeitung von Titanlegierungen mit einer Schnittgeschwindigkeit von 50 m/min getestet. Die Zerspantests mit Mikrowerkzeugen führte die Firma Louis Bélet durch. Als Qualitätsmerkmal wurde bei der Zerspaltung die Grathöhe am Werkstück herangezogen.

Das Diagramm in Bild 6 zeigt das Ergebnis der gezielten Optimierung des Plasma-Ätzens an Mikrowerkzeugen. Im Vergleich zum üblicherweise angewandten Standard-Plasma-Ätzen (rote Kurve) wurde im Falle von optimiertem Plasma-Ätzen ein wesentlich geringeres Maß an Grathöhe festgestellt (blaue Kurve). Mit Hilfe des 3-D-Ätzindikator kann unmittelbar nach dem Plasma-Ätztest mit bloßem Auge bereits die Ätzwirkung sichtbar gemacht werden. Ohne 3-D-Ätzindikator hätte die Optimierung

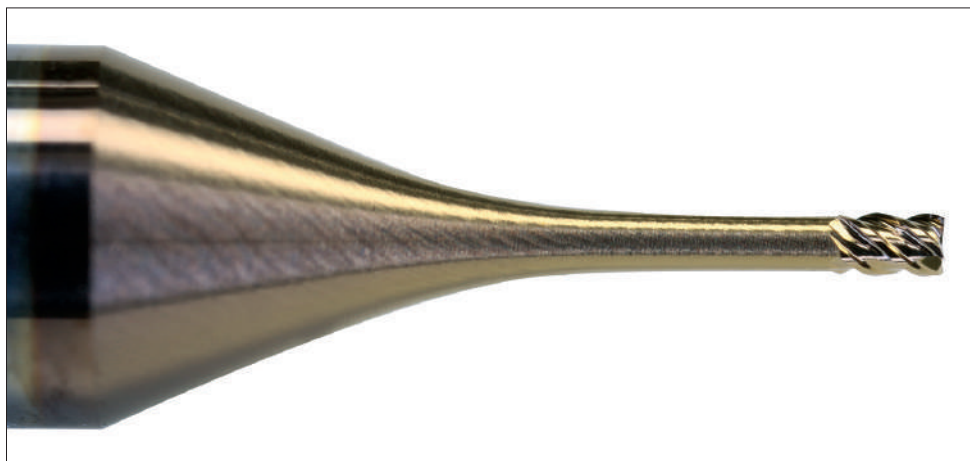


Bild 5 0,5 mm Hartmetallfräser. (Quelle: Louis Bélet)

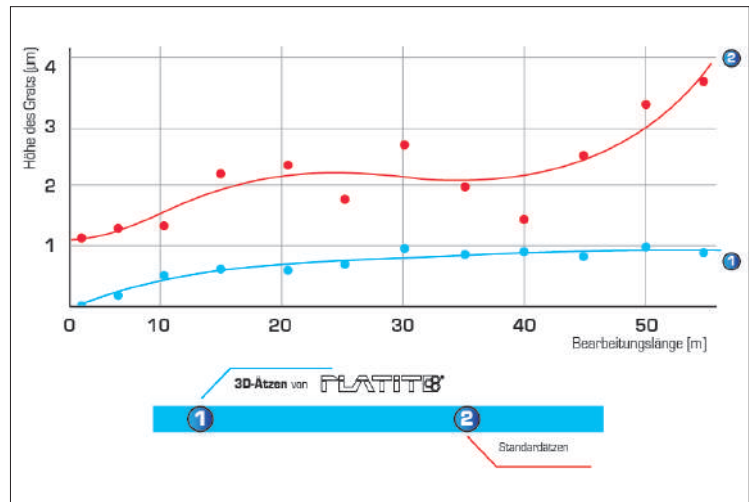


Bild 6 Entwicklung der Schnittgrathöhe in Abhängigkeit von der Fräslänge. (Quelle: Louis Bélet)

des Plasmaätzens für jeden einzelnen Parametersatz einen separaten Werkzeugtest erfordert.

Somit bietet der hier vorgestellte 3-D-Plasmaätzindikator ein Instrument zur Auswahl der richtigen Kombination von Ätzparametern und ermöglicht speziell an die zu beschichtenden Geometrien angepasste Ätzprozesse. Dies konnte bisher in der PVD-Industrie so einfach nicht überprüft und angepasst werden. Obgleich der Branche bewusst ist, dass das Ätzverfahren für Schaftwerkzeuge anders ablaufen sollten als für ein Verzahnungswerkzeug oder eine segmentierte Matrize, fehlte bisher jedoch dieses relativ einfach umsetzbare Verfahren zur Bestimmung eines 3-D-Ätzprofils direkt am Substrat.

Weitere Infos: www.platit.com

Danksagung:

Wir danken Louis Bélet für die Bereitstellung der Testergebnisse der Schneidversuche.

Literaturnachweis:

- [1] Luemkemann A., et al. Schneidkantenpräparation und Beschichtung. XIII. Internationales Oberflächenkolloquium (2012)
- [2] Mattox D. M., Handbook of physical vapor deposition (PVD) processing. William Andrew, 2010. Kapitel 13.11.2 – Sputter Cleaning
- [3] Vossen J. L., „The preparation of substrates for film deposition using glow discharge techniques.“ Journal of Physics E: Scientific Instruments 12.3 (1979): 159.
- [4] Chapman B. N., Glow discharge processes: sputtering and plasma etching. Wiley, 1980. Kapitel 7 – Plasma etching
- [5] Foller M., et al. „Process for plasma-chemical cleaning prior to pvd or pecvd coating.“ U.S.-Patent Nr. 5,135,775. 4 Aug. 1992.
- [6] Vetter J., et al. „Arc-enhanced glow discharge in vacuum arc machines.“ Surface and Coatings Technology 59.1 – 3 (1993): 152 – 155.
- [7] Cselle, T., et al. „Glow Discharge Apparatus and Method with Lateral Rotating Arc Cathodes.“ EP2705522 (B1), 2017.
- [8] Antończak, A. J., et al. (2014). The influence of process parameters on the laser-induced coloring of titanium. Applied Physics A, 115(3), 1003 – 1013.