

# Einflußfaktoren auf die Werkstückoberflächenqualität beim Feinstdrehen von Aluminium mit monokristallinem Naturdiamant

Prof. Dr.-Ing. U. Heisel, Dipl.-Ing. U. Eggert, Stuttgart\*)

## Einleitung

Für die Feinstbearbeitung wird der Einsatz von Zerspanverfahren mit geometrisch bestimmter Schneide diskutiert [1], [2]. Hierbei spielt das Diamantieren eine wichtige Rolle. Die erzielbare Oberflächengüte und Formgenauigkeit liegen für das Feinstdrehen und Feinstfräsen mit monokristallinem Diamantwerkzeug im Sub- $\mu\text{m}$ -Bereich. Zur Erzielung einer hohen Bearbeitungsgüte müssen alle auf den Prozeß einwirkenden Parameter optimal sein. Dazu gehören sowohl die Maschinen- und Umgebungs-Einflüsse [3], als auch das Werkzeug [4] und die Prozeßparameter selbst. Der Schwerpunkt der in diesem Beitrag wiedergegebenen Untersuchungen liegt darin, die Schneidengeometrie und die Schnittdaten sowie den Anstellwinkel  $\chi$  für das Drehen von Speicherplatten-Substraten aus AlMg<sub>3</sub> zu optimieren [5] und das für die Bearbeitung geeignete Kühlschmiermittel zu ermitteln.

## Versuchsaufbau

Die Untersuchungen wurden auf einer Plattendrehmaschine durchgeführt. Die Maschine ist eine Gußkonstruktion, die auf Dämpferelementen mit weitgehender Entkopplung der Antriebe und Aggregate aufgestellt ist. Die Hauptspindel ist hydrodynamisch gelagert und mit einem Vakuumspannfutter ( $p_v = -90$  mbar) ausgestattet. Als Versuchsmaterial standen Scheiben aus Aluminium AlMg<sub>3</sub> mit einem geringen Siliziumanteil zur Verfügung.

Wie Bild 1 zu entnehmen ist, ist die erzeugte Oberfläche abhängig vom Anstellwinkel  $\chi$ . Die Oberflächenstruktur und Rauheit, die im folgenden mit dem Mittenrauhwert  $R_a$  dargestellt wird, ist damit durch die Facetten-Justage bestimmt. Außerdem ist zu erkennen, daß der Spannungsquerschnitt eine Funktion von  $\chi$  ist.

Die Auswertung der Oberflächen erfolgte mit dem Präzisions-Oberflächenmeßgerät DEKTAK 3030 ST, das eine Auflösung von einem Angström wiedergeben kann. Für die Messungen wurde eine Sub- $\mu\text{m}$ -Nadel benutzt. Alle Messungen erfolgten quer zu den Drehriefen. Aufgrund der erzeugten Oberfläche kann bei den gegebenen Nadelabmessungen die Oberflächenstruktur sehr gut erfaßt werden. Feinste Riefen im Bereich eines Nanometers sind aufgrund der endlichen Ausdehnung des Nadelkopfes jedoch nicht zu erfassen.

---

\*) Prof. Dr.-Ing. U. Heisel ist Direktor des Instituts für Werkzeugmaschinen der Universität Stuttgart, Dipl.-Ing. U. Eggert ist wissenschaftlicher Mitarbeiter am selben Institut.

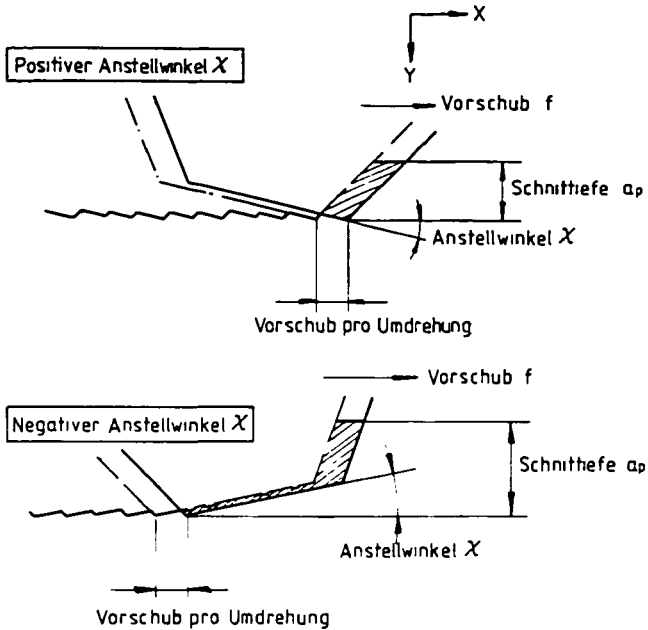


Bild 1: Einfluß des Anstellwinkels  $\chi$  auf den Spanungsquerschnitt und die erzeugte Oberfläche beim Diamantieren, nach [6]

### Versuchsparameter

Die Untersuchungen wurden an 5 1/4-Zoll-Platten durchgeführt, deren Außendurchmesser  $d_a = 130$  mm und deren Innendurchmesser  $d_i = 40$  mm betrug. Die Einstellung der Schnittgeschwindigkeit  $v_c$  erfolgte über fest eingegebene Drehzahlen. Sie wurde im Bereich von  $v_c = 200$  mm/min bis  $v_c = 942$  mm/min variiert. Hierbei handelt es sich um die mittlere Schnittgeschwindigkeit, d.h. die Geschwindigkeit am mittleren Plattendurchmesser. Als weitere Parameter wurden der Vorschub  $f$ , die Schnitttiefe  $a_p$ , der Einstellwinkel  $\chi$  sowie das Kühlmittel variiert.

Bild 2 zeigt das Beispiel einer durch Feinstdrehen erzeugten Oberfläche in 200-facher Vergrößerung.

### Versuchsergebnisse

Den Einfluß der Schnittgeschwindigkeit bei einem Anstellwinkel  $\chi = 0,46^\circ$  bei verschiedenen Schnitttiefen und Vorschüben von  $f = 20 \mu\text{m}$  und  $f = 40 \mu\text{m}$  zeigt Bild 3. Ein Anstieg des Mittenrauhwerts  $R_a$  mit zunehmender Schnittgeschwindigkeit zeigt sich bei beiden Vorschüben. Hohe Werte von bis zu  $R_a = 47$  nm sind insbesondere bei kleinen Schnitttiefen und großem Vorschub deutlich zu erkennen. Bei geringerem Vorschub liegen die  $R_a$ -Werte auf einem geringfügig niedrigeren Niveau.

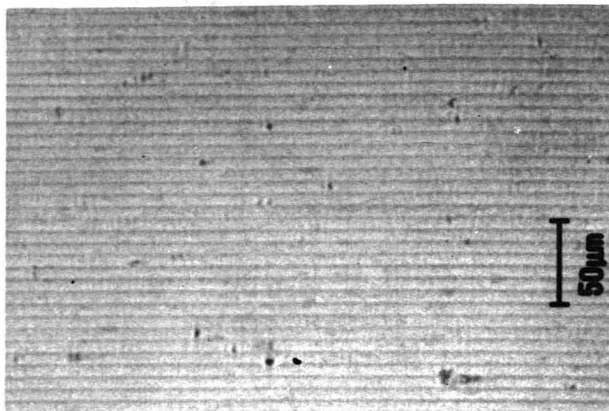


Bild 2: Durch Feinstdrehen erzeugte Oberfläche, 200-fach vergrößert, Schneidkantenlänge 1,5 mm, Anstellwinkel  $\chi = 0,5^\circ$ , Vorschub  $f = 7,2 \mu\text{m}$ , Schnitttiefe  $a_p = 15 \mu\text{m}$ , Drehzahl  $n = 2650 \text{ min}^{-1}$

Wie Bild 4 zeigt, erhält man für den Anstellwinkel  $\chi = 0,34^\circ$  mit zunehmender Schnittgeschwindigkeit tendenziell eine Abnahme der Rauheit. Die zunehmende Schnittgeschwindigkeit verursacht einen Anstieg der Rauheit jedoch bei allen anderen Anstellwinkeln, vor allem bei kleinen Schnitttiefen und hohen Vorschüben. Bei günstiger Wahl der Parameter ist der Einfluß der Schnittgeschwindigkeit hingegen von geringerer Bedeutung.

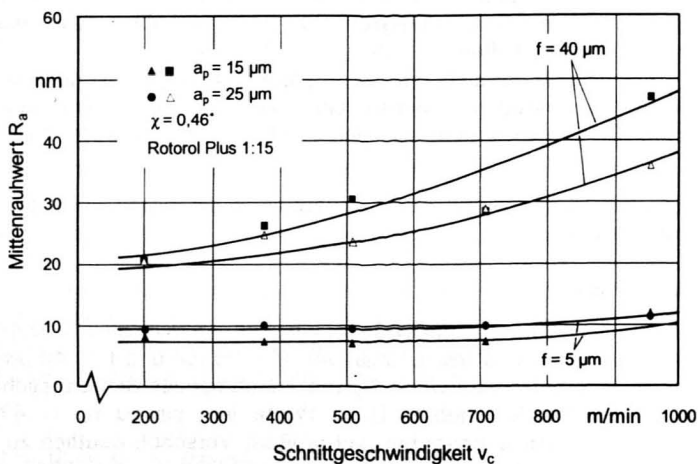


Bild 3: Einfluß der Schnittgeschwindigkeit auf den Mittenrauhwert

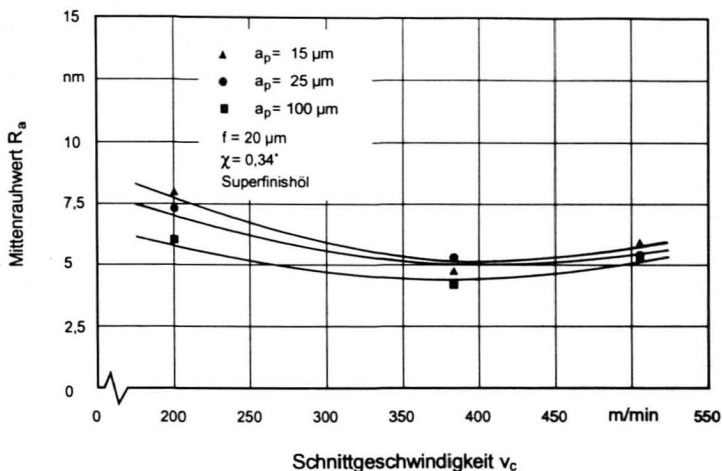


Bild 4: Einfluß der Schnittgeschwindigkeit auf den Mittenrauhwert bei  $f = 20 \mu\text{m}$

Die Schnitttiefe  $a_p$  wurde bei der Versuchsmaschine über Festanschläge auf  $a_p = 15 \mu\text{m}$ ,  $a_p = 25 \mu\text{m}$  und  $a_p = 100 \mu\text{m}$  eingestellt. Wie Bild 5 zeigt, ist bei  $\chi = 0,34^\circ$  festzustellen, daß mit zunehmender Schnitttiefe tendenziell eine Abnahme des Mittenrauhwertes zu erzielen ist. Dieser Effekt tritt unabhängig vom verwendeten Kühlmittel und eingestellten Vorschub ein.

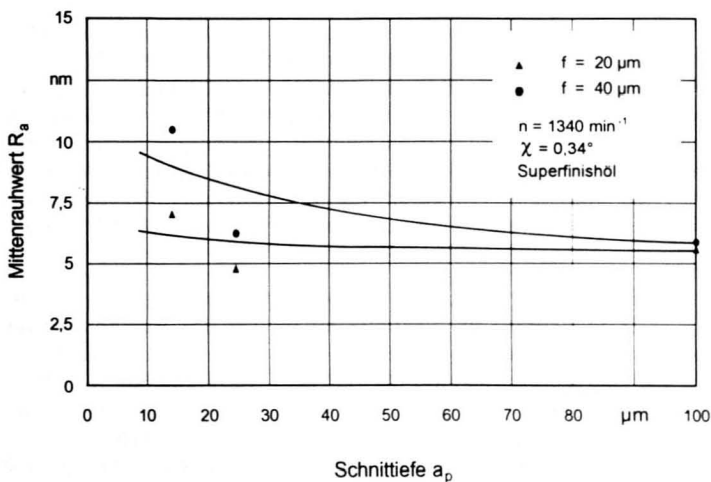


Bild 5: Einfluß der Schnitttiefe auf den Mittenrauhwert

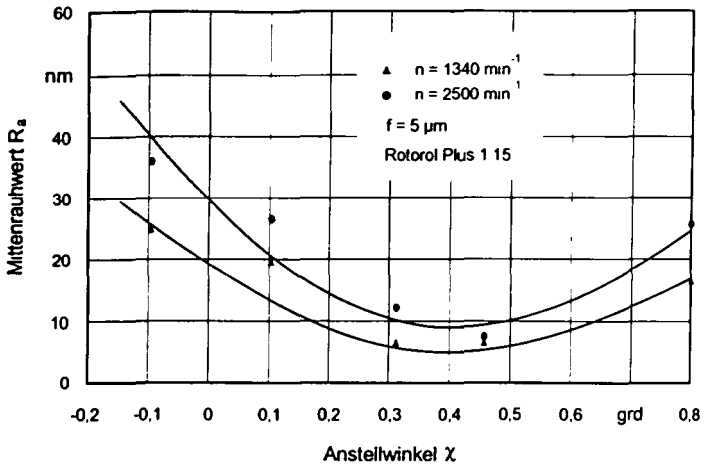


Bild 6: Einfluß des Anstellwinkels auf den Mittenrauhwert

Bei einem Anstellwinkel von  $\chi = 0,46^\circ$  war hingegen bei zunehmender Schnitttiefe je nach Vorschub eine Verschlechterung oder eine Verbesserung der Oberfläche festzustellen. Zu vermuten ist, daß sich die Schnitttiefe in Abhängigkeit von verschiedenen anderen Einflußgrößen wie z.B. der dynamischen Steifigkeit der Maschine, der Einspannung des Werkzeuges und dem Verschleiß bzw. dem Zustand der Schneide sehr unterschiedlich auswirkt. Bei den vorliegenden Versuchsbedingungen bewirkt eine Erhöhung der Schnitttiefe offensichtlich ähnlich den bekannten Effekten eine "Beruhigung" des Prozesses und damit eine Verbesserung der Oberfläche.

Bild 6 zeigt den Einfluß des Anstellwinkels bei  $f = 5 \mu\text{m}$ , dem Kühlmittel Rotorol Plus, einer Schnitttiefe von  $a_p = 15 \mu\text{m}$  und zwei Drehzahlen als Parameter. Die angegebenen Werte sind Durchschnittswerte über alle Messungen. Variiert wurde der Anstellwinkel zwischen  $\chi = -0,10^\circ$  und  $\chi = 0,80^\circ$ . Dabei war in beiden Extremen eine sehr deutliche Erhöhung des Mittenrauhwertes festzustellen, während im Bereich von  $\chi = 0,4^\circ$  ein Optimum erzielt wurde. Dieser Einfluß hat sich bei allen Versuchsreihen gezeigt. Für die Untersuchung der Einflüsse der übrigen Parameter wurden daher nur die Einstellungen  $\chi = 0,34^\circ$  und  $\chi = 0,46^\circ$  verwendet.

Bild 7 zeigt den Einfluß des Vorschubs auf den Mittenrauhwert. Bei einem Anstellwinkel von  $\chi = 0,34^\circ$  kann kein wesentlicher Einfluß des Vorschubes festgestellt werden, wogegen bei  $\chi = 0,46^\circ$  eine Erhöhung des Vorschubes von  $f = 5 \mu\text{m}$  auf  $f = 40 \mu\text{m}$  etwa eine Verdreifachung der  $R_a$ -Werte zur Folge hat. Wie in Bild 1 und Bild 2 zu erkennen ist, entstehen durch den radialen Vorschub Rillen, die sich im Mittenrauhwert wiederfinden lassen. Die mit verändertem Anstellwinkel entstehenden Auswirkungen des Vorschubs können aus den geometrischen Bedingungen alleine nicht erklärt werden, müssen also von bei der Zerspanung auftretenden Nebeneffekten herrühren.

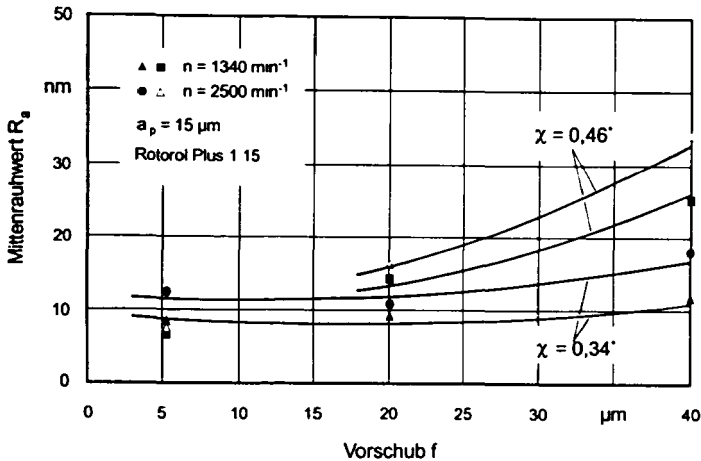


Bild 7: Einfluß des Vorschubs auf den Mittenrauhwert

Als Kühl-Schmierstoff wird häufig leichtes Petroleum oder Alkohol (z.B. Isopropanol) verwendet. Die vorliegenden Untersuchungen wurden mit dem Kühlschmierstoffkonzentrat ROTOROL HSS EXTRA und einem Superfinishöl durchgeführt, die bezüglich der Gesundheitsgefährdung durch Dämpfe und Nebel sowie durch einen unbedenklichen Flammpunkt vorteilhaft sind. Zum Vergleich sind Messungen beim Einsatz von Wasser gemacht worden. Dies bringt jedoch durch die Entstehung von Rost Nachteile für die Maschine mit sich, sodaß Wasser als Kühlschmiermittel nicht verwendet werden kann.

Bei  $\chi = 0,46^\circ$  und kleinem Vorschub bot das Kühlschmierstoffkonzentrat gegenüber dem Superfinishöl Vorteile. Bei allen anderen Versuchsbedingungen, vor allem aber bei  $\chi = 0,34^\circ$  wurden dagegen mit Superfinishöl die besten Ergebnisse erzielt (Bild 8). Generell ist festzustellen, daß bei optimaler Parameter-Einstellung mit Superfinishöl geringere Mittenrauhwerte als beim Einsatz von Kühlschmierstoffkonzentrat erreicht werden können. Mit Wasser konnten annähernd die Ergebnisse erreicht werden, die mit Superfinishöl möglich waren, Wasser bereitet als Kühlschmierstoff allerdings die oben erwähnten Schwierigkeiten.

### Zusammenfassung

Für die durch Feinstdrehen mit Naturdiamanten erzielbare Bearbeitungsqualität spielt neben der Beherrschung der äußeren Störeinflüsse die optimale Einstellung der Zerspanungsparameter eine große Rolle. Die für den Einsatz von monokristallinem Diamant (Naturdiamant) für die Zerspanung von Aluminium wichtigsten Parameter wurden untersucht. Die optimalen Werte für Schnittgeschwindigkeit, Vorschub, Schnitttiefe, Anstellwinkel und Kühlmittel sind:

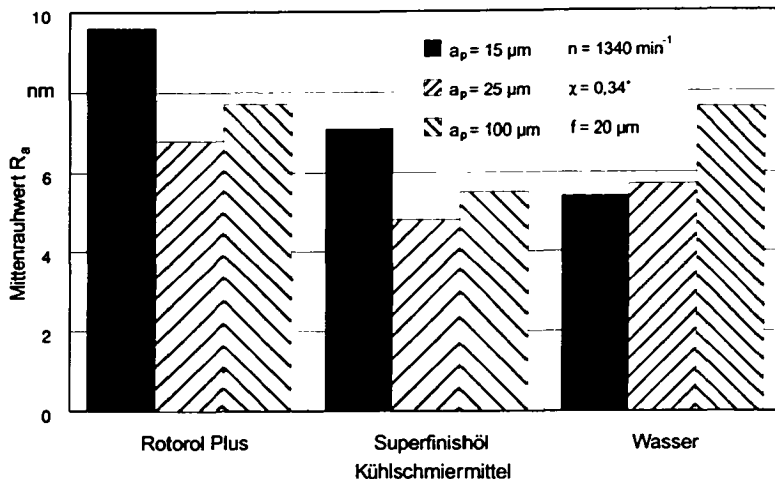


Bild 8: Einfluß des Kuhlsmiermittels auf den Mittenrauhwert

Anstellwinkel:  $\chi = 0,34^\circ$  bis  $0,46^\circ$

Schnittgeschwindigkeit:  $v_c = 200 - 500 \text{ m/min}$

Vorschub:  $f = 5 - 20 \mu\text{m}$

Schnitttiefe:  $a_p = 25 \mu\text{m}$

Kühlmittel: Superfinishöl

Mit diesen Einstellungen konnten Mittenrauhwerte  $R_a$  im Bereich von 6 nm erzielt werden. Es hat sich gezeigt, daß sich die einzelnen Prozeßparameter zum Teil gegenseitig stark beeinflussen und Mittenrauhwerte im nm-Bereich nur bei optimaler Einstellung aller Parameter zu erzielen sind.

#### Schrifttum

- [1] König, W.; Droese, A.: Feinzerspanung mit geometrisch bestimmten Schneiden - eine Alternative zum Schleifen?. In: Jahrbuch Schleifen, Honen, Läppen und Polieren, o. Prof. Dr.-Ing. E. Saljé, 53. Ausgabe, Vulkan-Verlag, Essen, 1985.
- [2] Knol, P. H.; Szepesi, D.: Diamantdrehen von Präzisionsbauteilen. In: Sonderdruck aus Industrie Diamanten Rundschau IDR 22 (1988) Nr. 2.
- [3] Hartel, R.: Feinstdrehen von Metalloptiken - Einflüsse des Maschinenverhaltens auf die Oberflächengüte. Dissertation, RWTH Aachen, 1989.
- [4] Yuan, Z. J.; He, J. C.; Hao, Y. X.: The Optimum Crystal Plane of Natural Diamond Tool for Precision Machining. In: Annals of the CIRP Vol. 41/1/1992, pp.605-608.
- [5] Heisel, U.; Roth, G.; Mariolani, J.: Influência da Geometria da Ferramenta e das Condições de Usinagem no Torneamento de Alumínio com Diamante monocristalino. In: RBCM-J. of the Braz. Soc. Mech. Sc., Vol. XIV, 1992, pp. 57-74.
- [6] Nishiguchi, T.; Maeda, Y.; Masuda, M.; Sawa, M.: Mechanism of Micro Chip Formation in Diamond Turning of Al-Mg Alloy. In: Annals of the CIRP, Vol.37/1/1988, pp. 117-120.