

Einflußfaktoren auf die Werkstückqualität und Güte beim Feinstdrehen

Zur Bearbeitung hochpräziser Bauteile kommen neben Bearbeitungsverfahren mit unbestimmter Schneide wie Schleifen, Läppen und Polieren zunehmend auch Verfahren mit definierter Schneide wie Feinstdrehen und Feinstfräsen zum Einsatz. Weitgehend einfacher und meist deutlich preisgünstiger als bei Läpp- und Polierverfahren erlaubt das Feinstdrehen und Feinstfräsen auch die Herstellung komplexer Geometrien, wie z. B. asphärischer Spiegel oder Kugeln. Oberflächen-güte und Formgenauigkeit liegen, insbesondere beim Einsatz monokristalliner Diamantwerkzeuge durchweg im Sub- μm -Bereich. Das Feinstdrehen wird vorwiegend für Bauteile aus NE-Metallen und Kunststoffen eingesetzt, auch über die erfolgreiche Bearbeitung von Glas wird zunehmend berichtet. Der Einsatz von CBN ermöglicht heute auch die Bearbeitung ferritischer Werkstoffe (Abb. 1). Sehr gute Oberflächenqualitäten und hohe Maß- und Formgenauigkeit kennzeichnen die Bauteile. – Von Prof. Dr.-Ing. U. Heisel, Dr.-Ing. O. Novaski und Dipl.-Ing. G. Roth¹⁾.

Die Bearbeitungsgüte ergibt sich aus den Anforderungen bezüglich der Oberfläche sowie der Maß- und Formgenauigkeit. Die Fertigung sehr genauer Bauteiloberflächen setzt zunächst voraus, daß der Zerspanprozeß optimal abläuft. Dies wird durch den Einsatz der entsprechenden Werkzeuge, Schmiermittel und Prozeßparameter sichergestellt.

Neben den Prozeßparametern spielt der Aufbau der Maschinen eine wichtige Rolle. Die Formgenauigkeit der Bauteile wird weniger durch den Prozeß selbst als durch die Maschine beeinflusst. Führungungenauigkeiten, Nachgiebigkeiten und Spiele bilden sich direkt auf der Oberfläche ab. Nicht ausreichende Steifigkeiten in den Baugruppen führen leicht zu Schwingungen, die sowohl selbsterregt als auch fremderregt sein können. An alle Baugruppen von Feinstbearbeitungsmaschinen sind demzufolge sehr hohe Anforderungen zu stellen. Dies betrifft sowohl die Gestelle als auch die Antriebe, Führungen und Meßsysteme. Wenn die Form über CNC-Achsen hergestellt wird, muß auch die Steuerung Schrittweiten zu fahren erlauben, die diesen Anforderungen genügen.

Auch bei einem optimalen Prozeßablauf wird die Bearbeitungsgüte durch Einflüsse der Umgebung mitbestimmt. Diese verschlechtern das Bearbeitungsergebnis in fast allen Fällen und wirken sich sowohl auf die Feinstruktur der Oberfläche (z. B. durch Schwingungen) als auch auf die Maß- und Formgenauigkeit (z. B. durch Temperaturgang) aus. Die wichtigsten Umgebungseinflüsse sind Temperatureinflüsse und äußere Schwingungen. Luftverunreinigungen sind dagegen eher zweitrangig. Sie wirken sich, z. B. durch Verschmutzung der Maschinenkomponenten, aber ebenfalls negativ aus und sind daher zu vermeiden.

Den Umgebungseinflüssen kann durch den Maschinenaufbau nur bedingt be-

Einleitung

Zur Erzielung der hohen Bearbeitungsgüte müssen alle auf den Prozeß einwirkenden Parameter optimiert werden. Dies betrifft sowohl den Aufbau der Maschinen als auch äußere Einflüsse und die Einstellung geeigneter Prozeßparameter (Abb. 2).

¹⁾ Prof. Dr.-Ing. U. Heisel ist Leiter des Instituts für Werkzeugmaschinen der Universität Stuttgart; Dipl.-Ing. G. Roth war bis September 1992 Abteilungsleiter am selben Institut. Dr.-Ing. O. Novaski ist wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Universidade Estadual de Campinas. Die Untersuchungen wurde im Rahmen eines wissenschaftlichen Austausches zwischen der Universidade Estadual de Campinas/Brasilien und dem Institut für Werkzeugmaschinen der Universität Stuttgart durchgeführt.

Abb. 1: Anwendungsbereiche von Feinstdrehmaschinen

Funktionen	Anwendungsbeispiele	Werkstoffe
Reflektierende Oberflächen	Scanneroptiken sphärische, asphärische und plane Optiken Polygonspiegel, Fresnellinsen Photokopier- und Laserspiegel- trommeln	Aluminium Kupfer Messing Bronze chem. Nickel Zinn
Transmittierende Oberflächen	Kontaktlinsen Germaniumlinsen für Infrarotlicht Fokussierlinsen	optische Kunst- stoffe Germanium Silizium Zinksulfid Zinkselenid Galliumarsenid
Mechanische Oberflächen	Magnetspeicherplatten Elektroden für Teilchen- beschleuniger Preßstempel für Glaslinsen Videoköpfe Luftlager-elemente Einspritzventile Hydraulikelemente	Aluminium Nickel Stahl ferritische Werkstoffe

gegnet werden. Wichtig ist hier die geeignete Aufstellung der Feinstdrehmaschinen, was bedeutet:

- schwingungsarme Aufstellung auf geeigneten Fundamenten,
- mit wenig Temperaturdifferenz (möglichst klimatisiert),
- Vermeidung direkter Sonneneinstrahlung und
- weitgehender Schutz vor Staub und anderen Luftverunreinigungen wie z. B. Ölnebel oder Wasserdampf.

Die Aufstellung von Feinstdrehmaschinen auf speziellen maschinengebundenen Fundamenten dient nicht nur der Abkopplung von externen Schwingungserregern, sondern auch der Dämpfung selbsterregter Schwingungen. Temperatureinflüsse können z. B. durch Sonneneinstrahlung, durch Heizkörper aber auch durch andere Maschinen (Hydraulikaggregate, starke Motoren usw.) entstehen. Einseitige Temperaturbeaufschlagung hat immer Verformungen der Maschinen zur Folge, die sich auf die Maß- und Formgenauigkeit auswirken. Anzustreben ist daher die Aufstellung derartiger Maschinen in klimatisierten Räumen auf eigenen, dämpfenden Fundamenten. In USA hat sich zu diesem Zweck seit Jahren die Methode bewährt, die kompletten Maschinen unter temperaturgesteuerter Öl-Duschen zu stellen. Feinstdrehmaschinen setzen auch die Beachtung grundsätzlicher Anforderungen an die Konstruktion der Maschine voraus.

Bei Produktionsdrehmaschinen werden im allgemeinen alle benötigten Aggregate ohne besondere Entkopplung in die Maschine integriert, der konstruktive Aufbau richtet sich häufig mehr nach Kriterien wie Zugänglichkeit, Späneentsorgung, Teilezuführung usw. Für den Aufbau von Feinstdrehmaschinen ist dagegen vor allem die Bearbeitungsgüte das maßgebende Kriterium. Dadurch ergeben sich andere Anforderungen an die Konstruktion der Maschinen.

Feinstbearbeitungsmaschinen zeichnen sich aus durch:

- statisch, dynamisch und thermisch steife Grundgestelle, vorwiegend aus Guß, Granit oder Polymerbeton, wobei Granit- und Polymerbetongestelle auch als Basis für Luftlager verwendet werden,
- hochpräzise Führungen und Spindeln, z. B. Luftlagerungen oder hydrostatische Lagerungen mit Bewegungsfehlern unter $0,1 \mu\text{m}$,
- hochpräzise Antriebe und Wegmeßsysteme,
- weitgehende Entkopplung schwingungserregender Baugruppen wie z. B. Motoren durch torsionssteife, querkraftfreie Kupplungen und schwingungsarme Aufhängung und
- weitgehende Entkopplung von Wärmequellen bzw. Kühlung wärmeabgebender Baugruppen.

Einflüsse auf die Bearbeitungsgenauigkeit

Bearbeitungsprozeß	Maschinenaufbau	Umgebungseinflüsse
<ul style="list-style-type: none"> - Werkzeuge - Einstellparameter - Schnittwerte - Schmierstoffe - Werkstoffe 	<ul style="list-style-type: none"> - statische, dynamische und thermische Steifigkeit - Positioniergenauigkeit der Vorschubantriebe - Genauigkeit der Spindel 	<ul style="list-style-type: none"> - Temperatur - äußere Schwingungen - Aufstellung/Fundament - Luftverunreinigungen

Zerspanuntersuchungen

Nachfolgend werden einige Versuchsergebnisse zum Einfluß verschiedener Prozeßparameter vorgestellt werden. Die Untersuchungen wurden auf einer Boley-Plattendrehmaschine Typ DW4-HD-P-A durchgeführt. Die Maschine ist eine Gußkonstruktion, aufgestellt auf Dämpferelementen mit weitgehender Entkopplung der Antriebe und Aggregate. Als Hauptspindel ist eine hydrodynamische Spindel eingebaut, als Spannmittel wurde ein Vakuumspannfutter mit einem Unterdruck von $P_v = -90 \text{ mbar}$ verwendet.

Die Maschine hat drei Drehzahlen von $1340, 1750$ und 2500 min^{-1} und Festanschläge für die Schnitttiefe von $a_p = 15, 25$ und $100 \mu\text{m}$. Als Versuchsmaterial wurde Aluminium AlMg3 mit einem geringen Siliziumanteil verwendet. Untersucht wurde der Einfluß der Schnittgeschwindigkeit, des Anstellwinkels χ , der Schnitttiefe a_p , des Vorschubs f und des Kühlschmiermittels.

Als Werkzeuge werden üblicherweise monokristalline Diamantwerkzeuge in

Abb. 3: Oberflächenmeßgerät DEKTAK 3030 ST (Bildnachweis: Veeco Instruments GmbH)



Abb. 2: Wesentliche Einflußfaktoren auf die Form- und Oberflächengüte beim Feinstdrehen

facettierter Ausführung mit einem Spanwinkel von $\nu = 0^\circ$ und einem Freiwinkel von $\alpha = 5^\circ$ eingesetzt. Derartige Werkzeuge werden in großem Umfang zur Herstellung von Datenspeicherplatten aus Aluminiumsubstrat verwendet. Die Facetten gelten als „gerade“. Hierbei übernimmt eine Facettenkante als Hauptschneide den Schnitt ins Volle. Die übliche Einstellung geht von einer zum Vorschub parallelen Facettenkante als Nebenschneide aus. Diese führt den Feinschnitt aus. Geht man von einem Vorschub von 5 bis $20 \mu\text{m}$ und einer Facettenbreite zwischen 1 und 2 mm aus, so wird jede Spur mehrere hundert mal überstrichen. R_a ist damit von der Facetten-Justage bzw. dem Anstellwinkel abhängig. Für die folgenden Ausführungen wird der Anstellwinkel als Winkelabweichung der Nebenschneide von der Vorschubrichtung definiert.

Die Auswertung der Oberflächen erfolgte mit einem mechanischen Präzisions-Oberflächenmeßgerät Dektak 3030 ST (Abb. 3). Das Oberflächenmeßgerät wird mit einer Auflösung von einem Angstrom angegeben, Kontrollmessungen am IfW haben diese Genauigkeit bestätigt. Für die Messungen wurde eine Sub- μ -Nadel benutzt. Alle Messungen erfolgten quer zu den Drehriefen. Aufgrund der geometrischen Verhältnisse zwischen Vorschub, Schnitttiefe, Werkzeugabmessungen und Nadelabmessungen, kann die Oberflächenstruktur sehr gut erfaßt werden. Feinste Riefen im Nanometerbereich sind aber nicht zu erfassen.

Die parametrischen Untersuchungen erfolgten an Scheiben aus AlMg3 mit $d_a = 130 \text{ mm}$ und $d_f = 40 \text{ mm}$. Der Einfluß der Schnittgeschwindigkeit wurde zwischen 200 m/min und 942 m/min untersucht. Die Einstellung der Schnittgeschwindigkeit erfolgte über zwei fest eingestellte Drehzahlen. In Abhängigkeit vom Drehdurchmesser ergaben sich weitere Abstufungen der Schnittgeschwindigkeit. Neben der Schnittgeschwindigkeit wurde der Vorschub, die Schnitttiefe, der Anstellwinkel und das Kühlmittel variiert.

Abb. 4 zeigt den Einfluß der Schnitt-

geschwindigkeit bei einem Anstellwinkel $\chi = 0,46^\circ$ und Kühlung mit Rotorol-Plus bei verschiedenen Schnittiefen und Vorschüben. Sowohl bei einem Vorschub $f = 5 \mu\text{m}/\text{U}$ als auch bei $f = 40 \mu\text{m}/\text{U}$ zeigt sich ein Anstieg der Rauheit mit zunehmender Schnittgeschwindigkeit. Insbesondere bei kleinen Schnittiefen und großem Vorschub ist dieser Anstieg deutlich zu erkennen. Bei großen Vorschüben und niedrigen Schnittiefen wurden bei $v_c = 942 \text{ m/min}$ R_a -Werte von bis zu $R_a = 47 \text{ nm}$ gemessen. Bei niedrigeren Schnittgeschwindigkeiten gelten etwa die gleichen Zusammenhänge, auch wenn die R_a -Werte auf einem geringfügig niedrigeren Niveau liegen. Etwas abweichende Ergebnisse wurden bei Kühlung mit Superfinishöl und anderen Einstellwinkeln erzielt.

Abb. 5 zeigt den Einfluß der Schnittgeschwindigkeit bei einem Vorschub von $f = 40 \mu\text{m}/\text{U}$, einem Anstellwinkel $\chi = 0,34^\circ$ und Kühlung mit Superfinish-Öl. Es zeigt sich, daß nur bei geringen Schnittiefen ein Anstieg der Rauheit mit der Schnittgeschwindigkeit festzustellen ist. Bei größeren Schnittiefen ($a_p = 25 \mu\text{m}$ und $a_p = 100 \mu\text{m}$) bleibt die Rauheit mit zunehmender Schnittgeschwindigkeit eher konstant bzw. nimmt sogar ab.

Dasselbe trifft auf den Einfluß der Schnittgeschwindigkeit bei einem Vorschub von $f = 20 \mu\text{m}/\text{U}$ zu. Hierbei erhält man durchgängig eine tendenzielle Abnahme der Rauheit bei steigender Schnittgeschwindigkeit. Insbesondere bei geringen Schnittiefen, bei denen bisher immer eine Zunahme der Rauheit mit zunehmender Schnittgeschwindigkeit zu verzeichnen war, ist in diesem Fall der umgekehrte Effekt festzustellen. Damit ist der Einfluß der Schnittgeschwindigkeit aber sehr stark abhängig von den übrigen Parametern.

Einen Anstieg der Rauheit verursacht die zunehmende Schnittgeschwindigkeit vor allem bei hohen Anstellwinkeln, kleinen Schnittiefen und hohen Vorschüben. Bei günstiger Wahl der übrigen Parameter ist der Einfluß der Schnittgeschwindigkeit hingegen kaum von Bedeutung.

Die Schnitttiefe wurde bei der Versuchsmaschine über Festanschläge mit Schnittiefen von $a_p = 15, 25$ und $100 \mu\text{m}$ variiert. Es war festzustellen, daß, bei $\chi = 0,34^\circ$, mit zunehmender Schnitttiefe eine tendenzielle Verbesserung der Oberfläche zu erzielen ist. Dabei zeigte sich unabhängig vom Kühlmittel und Vorschub der gleiche Effekt. Bei einem Anstellwinkel von $\chi = 0,46^\circ$ hatte eine zunehmende Schnitttiefe hingegen, abhängig vom Vorschub, sowohl eine Verschlechterung als auch eine Verbesserung zur Folge. Auch bei den übrigen, hier nicht näher erläuterten Versuchen, war kein eindeutiger Einfluß der Schnitttiefe festzustellen. Zu vermuten ist, daß sich die Schnitttiefe in Abhängigkeit von verschiedenen Parametern wie z. B. der dynamischen Steifigkeit der Maschine,

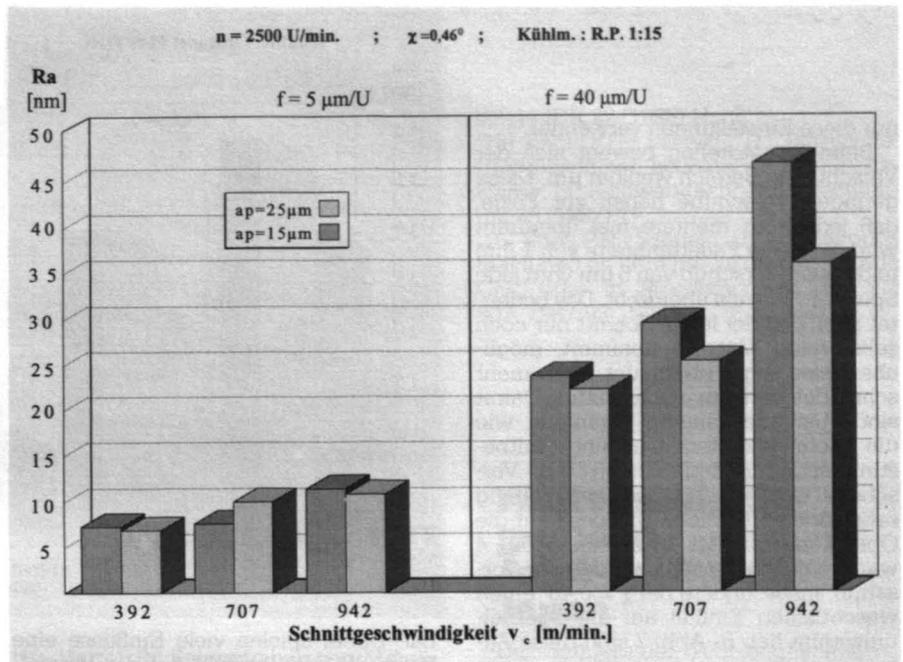


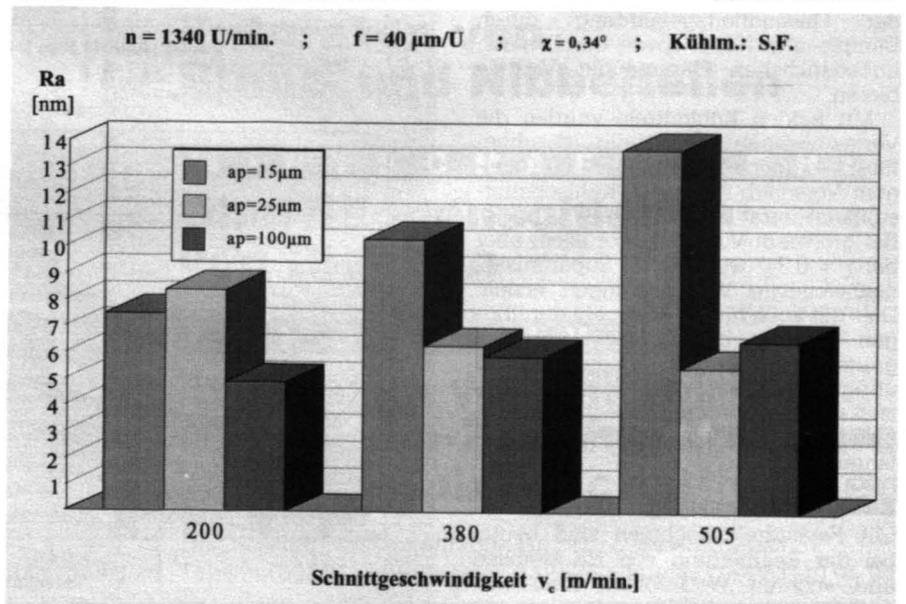
Abb. 4: Rauheit in abhängig von der Schnittgeschwindigkeit, dem Vorschub und der Schnitttiefe

der Einspannung des Werkzeuges und dem Verschleiß bzw. dem Zustand der Schneide sehr unterschiedlich auswirkt. Im Falle der Versuchsmaschine bewirkt eine Erhöhung der Schnitttiefe offensichtlich eine „Beruhigung“ des Prozesses und damit tendenziell eine Verbesserung der Oberfläche. In der Literatur [2] sind jedoch Hinweise zu finden, daß, bei anderen Systemeigenschaften, mit Schnittiefen von wenigen μm die besten Oberflächen zu erzielen sind.

Im Gegensatz zu der Schnittgeschwindigkeit und der Schnitttiefe ist der Werkzeuganstellwinkel ein Parameter, der in allen Versuchen in sehr starker Beziehung zur erzielbaren Oberflächen-güte stand. Aus diesem Umstand resultiert in der Branche die notwendige Einstellung jedes neuen Werkzeuges. Dies führt soweit, daß neben der Produktionsmaschine eine zweite Maschine für Einstellzwecke zur Verfügung steht und die Werkzeuge samt Werkzeughalter getauscht werden. In den Versuchsreihen

hat sich gezeigt, daß mit einem Anstellwinkel von $\chi = 0,34^\circ$ bis $0,46^\circ$ die besten Oberflächengüten erreicht werden. Abb. 6 zeigt den Einfluß der Anstellwinkels bei $f = 5 \mu\text{m}$, dem Kühlmittel Rotorol Plus, einer Schnitttiefe von $a_p = 15 \mu\text{m}$ und zwei Drehzahlen. 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 Verschlechterung der Oberflächen festzustellen, während bei $\chi = 0,34^\circ$ und $\chi = 0,46^\circ$ die besten Oberflächen erzielt wurden. Diese Ergebnisse haben sich durch alle Versuchsreihen durchgezogen, für die Untersuchung der Einflüsse der übrigen Parameter wurden daher

Abb. 5: Rauheit in Abhängigkeit von der Schnittgeschwindigkeit und der Schnitttiefe



nur diese Einstellungen verwendet.

Beim Feinstdrehen bewegt sich der Vorschub im Bereich weniger μm . Diese geringen Vorschübe haben zur Folge, daß jede Spur mehrere mal überdreht wird. Bei einer Facettenbreite von 1 mm und einem Vorschub von $5 \mu\text{m}$ wird jede Spur z. B. 200 mal überdreht. Das bedeutet aber, daß der letzte Schnitt nur noch sehr wenig Material abnimmt, möglicherweise sogar überhaupt nicht mehr schneidet und nur noch glättet. Damit sind aber auch andere Parameter wie die Schneidkantenausbildung mitbestimmend für den Einfluß des Vorschubs. Dies führt dazu, daß sich häufig sehr widersprüchliche Einflüsse auf die Oberflächenqualität einstellen. Abb. 4 war bereits zu entnehmen, daß der Vorschub, insbesondere bei $\chi = 0,46^\circ$ einen wesentlichen Einfluß auf die Bearbeitungsgüte hat. In Abb. 7 sind diese Zusammenhänge nochmals zusammengestellt. Bei $\chi = 0,46^\circ$ und einer Schnitttiefe von $a_p = 15 \mu\text{m}$ hat die Erhöhung des Vorschubes von $f = 5 \mu\text{m/U}$ auf $f = 40 \mu\text{m/U}$ etwa eine Verdreifachung der R_a -Werte zur Folge. Bei einem Anstellwinkel von $\chi = 0,34^\circ$ kann hingegen kein wesentlicher Einfluß des Vorschubes festgestellt werden. Insgesamt hat sich gezeigt, daß der Vorschub möglichst gering zu halten ist, um zuverlässig gute Ergebnisse zu erzielen, wobei mit zunehmender Facettenbreite auch der Vorschub zunehmen kann. Ein zu geringer Vorschub hat zur Folge, daß bei der Hauptschneide ein undefinierter Zustand eintritt, der das Werkzeug zu Schwingungen erregt. Ein Vorschub von ca. $5 \mu\text{m}$ scheint dies aber zu verhindern.

Als Kühlschmierstoff findet häufig leichtes Petroleum oder Alkohol (z. B. Isopropanol) Verwendung. Die vorliegenden Untersuchungen wurden hingegen mit dem Kühlschmierstoffkonzentrat Rotorol HSS Extra und einem Superfinishöl durchgeführt, die bezüglich der Gesundheitsgefährdung durch Dämpfe und Nebel sowie durch einen unbedenklichen Flammpunkt Vorteile bieten.

Mit beiden Kühlmitteln wurden die Versuchsreihen vollständig durchgeführt. Lediglich bei $\chi = 0,46^\circ$ und kleinem Vorschub hatte das Kühlschmierstoffkonzentrat leichte Vorteile (Abb. 8). Bei größerem Vorschub, vor allem aber bei $\chi = 0,34^\circ$ wurden mit Superfinishöl nachweisbare Verbesserungen erzielt. Dies gilt auch für die Mehrzahl der übrigen Versuche. Immer dann, wenn aufgrund der optimalen Einstellung der übrigen Parameter, gute Oberflächen erzielt wurden, konnten diese mit Superfinishöl nochmals eine Verbesserung erfahren.

Zusammenfassung

Mit Feinstdrehmaschinen sind heute, bei der Bearbeitung von NE-Metallen und anderen Werkstoffen, Rauheiten weit unter einem Mikrometer erreich-

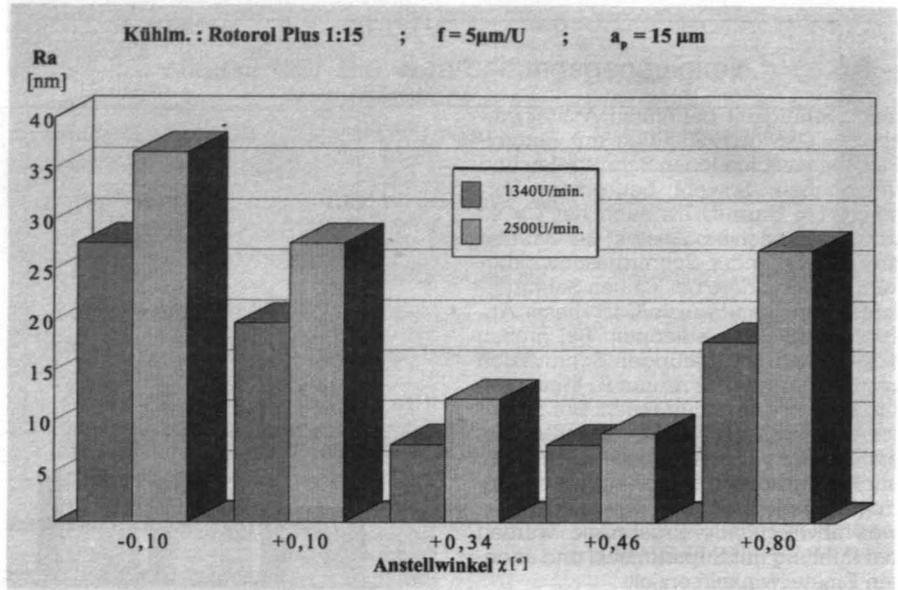


Abb. 6: Einfluß des Anstellwinkels auf die Rauheit

bar. Dabei spielen viele Einflüsse eine Rolle, die sich sowohl auf die Vermeidung von Umwelteinflüssen als auch auf den Aufbau der Maschinen und ihre Aufstellung beziehen. Die optimale Einstellung der Prozeßparameter hat dabei ebenfalls einen wesentlichen Anteil. Bei der Bearbeitung von Aluminium mit monokristallinem Diamant (Naturdiamant) wurden die wichtigsten Parameter wie Schnittgeschwindigkeit, Vorschub, Schnitttiefe, Anstellwinkel und Kühlmittel untersucht. Es hat sich gezeigt, daß sich die einzelnen Prozeßparameter zum Teil gegenseitig stark beeinflussen und daß nur dann, wenn alle Parameter optimal eingestellt sind, zuverlässig gute Oberflächenqualitäten erzielt werden können.

Als für diesen Bearbeitungsfall optimale Parameter wurden ermittelt: Anstellwinkel $\chi = 0,34^\circ$, Schnittgeschwindigkeit $V_c = 200$ bis 500 m/min , Vorschub $f = 5$ bis $20 \mu\text{m/U}$, Schnitttiefe $a_p = 25 \mu\text{m}$ und Kühlmittel Superfinishöl.

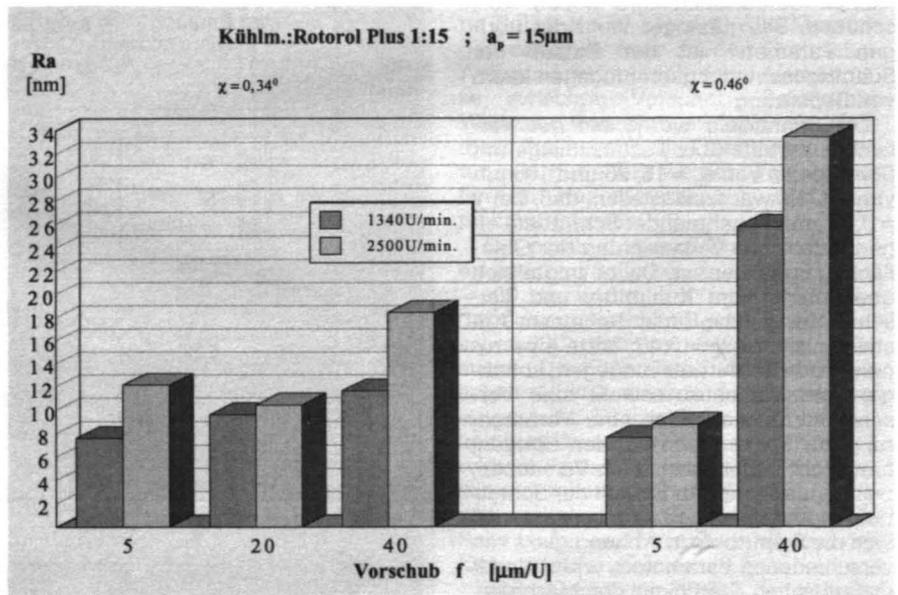
Bei Einstellung dieser Parametern wa-

ren zuverlässig sehr gute Oberflächen zu erzielen.

Literatur

- [1] Langenbeck, P.; Müller, D.: Smooth, low scatter metal optics by repeted machining on a „no growth“ machine. In: precision Engineering, October, 1985, Vol 7, No 4.
- [2] Experimental Measurements of Optimum Depth of Cut. In: Proceedings of the International Congress for Ultraprecision Technology Ma 1988, Aachen, FRG, Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg, New York, London, Paris, Tokyo.
- [3] Langenbeck, P.: Precision Diamond Machining of Metal Optic – A Review. In: Laser und Optoelektronik, Heft 4/84.
- [4] 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.

Abb. 7: Rauheit in Abhängigkeit vom Vorschub



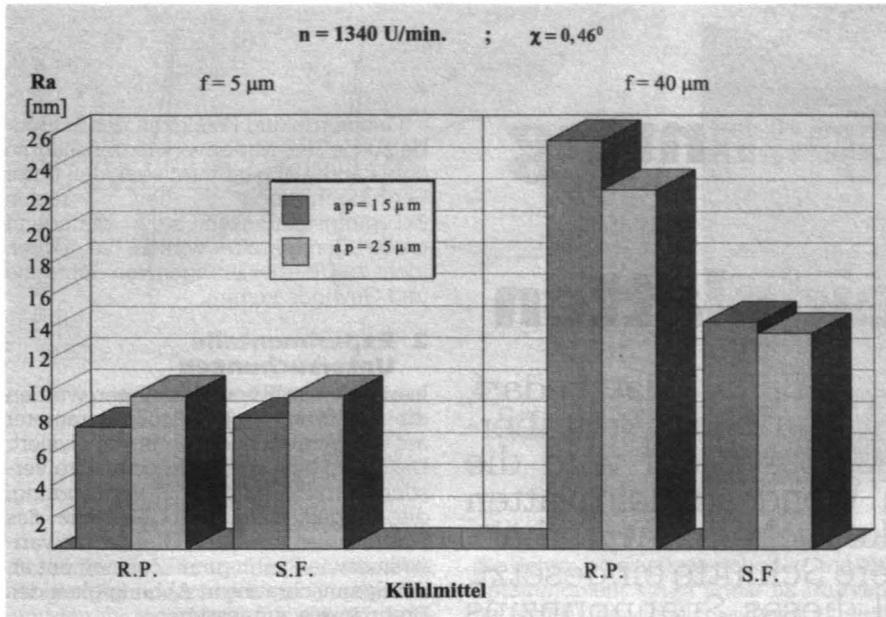


Abb. 8: Einfluß des Kühlschmiermittels auf die Rauheit (Bildnachweis: übrige IFW)

[5] McClure, E.R.: Research and Development Trends in Ultraprecision Machining. In: Lawrence Livermore National Laboratory, W-7405-Eng-48/1982.
 [6] Kobayashi, A.: Recent Development of Ultraprecision Diamond Cutting Machines in Japan. In: Bulletin of the Japan Society of Precision Engineering, Vol. 17, No. 2, June 1983.
 [7] Becker, W.: Glanzdrehen und -fräsen mit Naturdiamant-Werkzeugschneiden. In: wt-Zeitschrift für industrielle Fertigung 71, 1985.
 [8] Church, E. L.: Models for the finish of precision machines optical surfaces. In: Proceedings of SPIE, Vol 676/23, 1986.
 [9] Becker, K.; Heynacher, E.: Bearbeitung optischer Flächen mit Einzeldiamantwerkzeugen. In: Feinwerktechnik & Meßtechnik 95 (1987) 4, S. 233.

[10] Hartel, R.: Feinstdrehen von Metall-optiken – Einflüsse des Maschinenverhaltens auf die Oberflächengüte. Dissertation, Aachen, 1988, Rheinisch Westfälische Technische Hochschule Aachen.
 [11] Ikawa, N.; Skimada, S.; Moroaka, H.: Technology of Diamond Tool for Ultraprecision Metal Cutting. In: Bulletin Japan Soc. of Prec. Eng., Vol. 21, No.4 (dec. 1987).
 [12] Jung, A.: Zusammenhänge zwischen Tastergeometrie, Profilgeometrie und Berührkraft bei Oberflächenmeßgeräten. In: Feinwerktechnik & Meßtechnik 94 (1986) 6.
 [13] Modemann, K.: Schwingungsbedingte Werkstückoberflächenmodulation bei der Ultrapräzisionsdrehbearbeitung. Dissertation, Aachen, 1989, Rheinisch Westfälische Technische Hochschule Aachen.
 [14] Knol, P.H.; Szepesi, D.: Diamantdrehen von Präzisionsbauteilen. In: Sonderdruck aus Industrie Diamanten Rund-

schau IDR 22 (1988) Nr. 2.
 [15] Knol, P.H.; Szepesi, D.: Präzisions-Drehmaschinen höchster Genauigkeitsklasse. In: Feinwerktechnik & Meßtechnik 95 (1987) 1.
 [16] Knol, P.H.; Szepesi, D.: Air bearings machined on ultra precision, hydrostatic CNC-lathe. In: Proceedings of SPIE Vol 803, 1987/93.

Walter und OSG gründen Joint-Venture in Japan

Der Schnellstahl-Werkzeughersteller OSG traf vor zehn Jahren die Entscheidung, auch auf dem Gebiet der Hartmetallwerkzeuge aktiv zu werden. Seither verkauft das Unternehmen Walter-Hartmetallwerkzeuge in Japan und produziert diese teilweise selbst unter Walter-Lizenz. Um auf dem Hartmetall-Werkzeugsektor noch erfolgreicher zu sein, haben Walter und OSG die Gründung einer paritätischen Joint-Venture beschlossen. Diese beinhaltet sowohl den gemeinsamen Vertrieb als auch die Fertigung von Walter-Hartmetallwerkzeugen in Japan und Asien. Für die Walter AG, die in Europa in fast allen wichtigen Ländern eigene Vertriebsgesellschaften besitzt, ist das ein weiterer strategisch bedeutender Schritt, um auch auf dem zur Zeit größten Wachstumsmarkt der Welt präsent zu sein.