



Praktikum

Grundlagen der Fertigungstechnik

Bachelorstudiengang Werkstoffwissenschaft

Versuch F1

Werkstoffeinfluss auf Abtrennvorgang und Oberflächenausbildung / Fertigungsverfahren mit geometrisch bestimmter Schneide

Versuchsziel

Fertigungsverfahren mit geometrisch bestimmter Schneide finden in der Praxis Anwendung zur Bearbeitung eines breiten Werkstoffspektrums und zur Erzeugung unterschiedlichster Formelemente an Werkstücken. Häufig bearbeitete Werkstoffe sind Kunststoffe und Metalle, die durch eine gewisse Duktilität gekennzeichnet sind. Unter bestimmten Bedingungen lassen sich jedoch auch ausgesprochen spröde Werkstoffe wie Keramiken, Gläser und Kristalle bearbeiten. Die Vielfalt der erzeugbaren Formelemente ergibt sich durch entsprechende formbildende Bewegungen und/oder durch die Anwendung von Profil-Werkzeugen. Die zu erfüllenden Genauigkeitsforderungen können von untergeordneter Bedeutung sein (Vorbearbeitung) oder bis an die gegenwärtigen technischen bzw. physikalischen Grenzen heranreichen (Ultrapräzisionsbearbeitung). Die Bearbeitungsqualität hängt wesentlich vom Werkstoffverhalten bei der Zerspanung (Zerspanbarkeit) ab und kann u.a. durch die geeignete Wahl der Werkzeuggeometrie und durch angepasste Stellgrößen im gewissen Rahmen beeinflusst werden.

Die Eignung technischer Funktionsflächen für bestimmte Anwendungen wird maßgeblich durch deren Mikrogeometrie bestimmt. Die Bearbeitungsversuche im Rahmen des Praktikums sollen werkstoff- und verfahrenstypische Einflüsse auf die Oberflächenausbildung veranschaulichen. Dazu werden Werkstoffe mit unterschiedlicher Verformbarkeit (duktil, spröde) bzw. Zerspanbarkeit mit verschiedenen Bearbeitungsverfahren (Drehen, Fräsen) bearbeitet.

Aus der unterschiedlichen Kinematik dieser Bearbeitungsverfahren resultieren auch bei vergleichbarer Schneidkeilgeometrie entsprechend unterschiedliche Entstehungsbedingungen für die Werkstückoberflächen.

Die bearbeiteten Werkstückoberflächen enthalten sowohl in der Oberflächengestalt (Geometrie) als auch in der Oberflächenbeschaffenheit (physikalisch-chemischer Zustand der Randzone) eine Vielzahl von Informationen über die Entstehungsbedingungen der Oberfläche während der Bearbeitung

(mechanische und thermische Einwirkungen, Wirkung von Störgrößen wie z.B. Schwingungen). Durch Oberflächenmessungen auf verschiedenen Messgeräten (Tastschnitt-Messgerät, Stereomikroskop) können qualitative bzw. quantitative Aussagen über die Oberflächen gewonnen werden.

1. Zur Verfügung stehende Technik

Für die Bearbeitungsversuche stehen folgende Werkzeugmaschinen zur Verfügung:

- Leit- und Zugspindeldrehmaschine (Hersteller: TOS)
- Universal-Fräsmaschine FP1 (Hersteller: Deckel)

Die bearbeiteten Werkstückoberflächen werden auf einem Tastschnitt-Meßgerät (Form Talysurf, Hersteller: Taylor Hobson) und mit einem Stereomikroskop (Hersteller: Zeiss) ausgemessen bzw. untersucht.

2. Aufgabenstellung

Zur Bearbeitung stehen Probewerkstücke aus metallischen Werkstoffen (Aluminiumlegierung, Stahl, Messing) sowie aus einer so genannten maschinell bearbeitbaren Glaskeramik (Ilmavit) zur Verfügung. Die Probewerkstücke werden mit den Verfahren Drehen und Fräsen mit Stellgrößen nach Vorgabe des Versuchsbetreuers bearbeitet. Die bearbeiteten Oberflächen der Probewerkstücke werden auf dem Tastschnitt-Meßgerät Form Talysurf ausgemessen. Die zur Verfügung stehende Auswertesoftware ermöglicht neben der Ermittlung standardisierter Oberflächenmeßgrößen die Berechnung spezieller Kennfunktionen zur umfassenden Bewertung. Eine qualitative Beurteilung der Oberflächen erfolgt mit einem auf dem Stereomikroskop. Die erhaltenen Ergebnisse sind abschließend zu diskutieren. Es ist der Bezug zu den Entstehungsbedingungen herzustellen und eine Einschätzung der Bearbeitungsverfahren hinsichtlich der Anwendbarkeit vorzunehmen.

3. Verfahrensbezogene Grundlagen

3.1 Grundlagen des Abtrennvorganges

Die Abtrennvorgänge bei Bearbeitungsverfahren mit geometrisch bestimmter Schneidenform werden maßgeblich durch die Schneidkeilgeometrie, die Reibverhältnisse zwischen Werkzeug und Werkstück-Werkstoff und durch das Verformungsverhalten des Werkstück-Werkstoffs beeinflusst. Verfahrensunabhängig sind Spanbildungsvorgänge zunächst dadurch gekennzeichnet, dass der Schneidkeil des Werkzeuges durch eine meist aus mehreren Komponenten (z.B. Schnitt- und Vorschubbewegung) bestehende Relativbewegung (Wirkbewegung) in den Werkstück-Werkstoff eindringt.

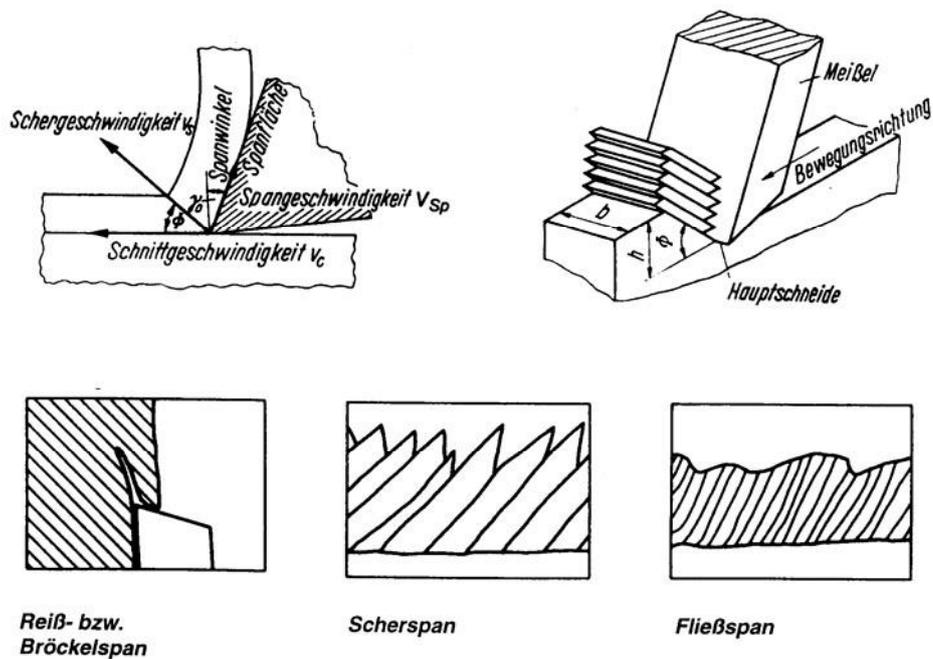


Bild 1: Schematische Darstellung der Spanbildung und der Spanarten (nach [1,2]).

Die daraufhin sich vollziehenden Abtrennmechanismen werden wesentlich durch das Verformungsvermögen des Werkstück-Werkstoffes bestimmt. Der Spanbildungsvorgang kann weitgehend als plastischer Vorgang angesehen werden. In Abhängigkeit vom Werkstoff und den Spanungsbedingungen werden prinzipiell 3 so genannte Spanarten unterschieden [1,2].

- **Reiß- bzw. Bröckelspan**

Charakteristisch ist diese Spanart für spröde Werkstoffe, die ein geringes plastisches Verhalten zeigen (z.B. Gußeisen, Gußbronze, Messing). Einzelne Spanteile reißen ab, ohne dass sie wesentlich verformt werden (Bild 1). Darüber hinaus ist diese Spanart auch bei eher zähen Werkstoffen (z.B. Baustahl) möglich, wenn mit kleinen Schnittgeschwindigkeiten ($v_c < 10$ m/min) und kleinen bis negativen Werkzeug-Spanwinkeln γ_0 gearbeitet wird.

Bei den so genannten maschinell bearbeitbaren Glaskeramiken führt das Eindringen des Schneidkeiles zur Rissbildung und dem darauf folgenden Abtrennen von Kristallen bzw. Kristallgruppen mit anhängender Restglasphase. Die Risse pflanzen sich entlang der Fluorglimmerkristalle infolge der guten Basisspaltbarkeit fort (Bild 2). Quer zur Rissfortpflanzungsrichtung liegende Kristalle stoppen diese und lenken die Richtung um. Dadurch wird die Ausbildung von Tiefenrissen bedingt durch den charakteristischen Gefügebau vermieden und die Entstehung einer technisch brauchbaren Oberfläche ermöglicht.

- **Scherspan**

Bei höheren Schnittgeschwindigkeiten und leicht positiven Werkzeug-Spanwinkeln γ_0 ist bei duktilen Werkstoffen die Bildung von Scherspänen typisch. Diese Spanart ist dadurch gekennzeichnet, dass die Spanlamellen in der Scherzone nur in geringem Maße verformt und höchstens teilweise miteinander verschweißt sind (Bild 1). Die Entstehungsbedingungen für Scherspäne sind allgemein im Schnittgeschwindigkeitsbereich zwischen $v_c = 20 \dots 80$ m/min gegeben. Unter diesen Bedingungen ergeben sich an den Werkzeugen häufig so genannte Aufbauschneiden mit ungünstigen Auswirkungen auf die Werkzeugstandzeit, die Schnittkräfte und auf die Oberflächenqualität der Werkstücke.

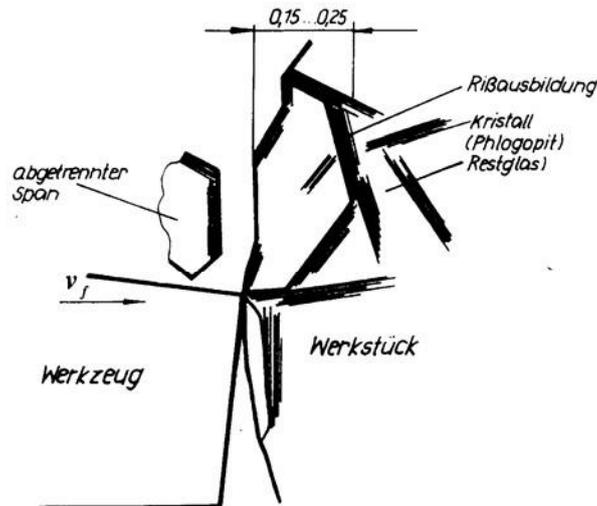


Bild 2: Schematische Darstellung der Spanbildung bei Glaskeramik.

- **Fließspan**

Bei höheren Schnittgeschwindigkeiten beginnt der Werkstoff beim Spanen in der Scherzone kontinuierlich zu fließen. Die einzelnen Spanlamellen werden in der Scherzone nicht mehr voneinander getrennt, sondern sind miteinander so stark verschweißt, dass sie mit bloßem Auge nicht mehr wahrnehmbar sind (Bild 1). Bei Stahlwerkstoffen ist die Fließspanbildung typisch bei Schnittgeschwindigkeiten $v_c \geq 80$ m/min. Aufgrund der kontinuierlichen Kraftverläufe ergeben sich unter diesen Bedingungen die Voraussetzungen für gute Werkstückoberflächen und Werkzeugstandzeiten.

3.2 Oberflächenausbildung

Die Oberflächenqualität umfasst einerseits die Oberflächengestalt (Mikro- und Makrogeometrie) sowie andererseits die Oberflächenbeschaffenheit, mit der der physikalisch-chemische Zustand gekennzeichnet wird. Die Oberflächenbeschaffenheit (surface integrity) nach der Bearbeitung resultiert aus der verfahrenstypischen mechanischen und thermischen Beanspruchung während der Deformations- und Abtrennvorgänge im Verlauf der Bearbeitung.

Anteile der Oberflächengestalt (Mikrogeometrie) lassen sich folgenden Komplexen zuordnen:

- **Kinematische Rauheit:** resultiert aus der Relativbewegung der Schneidkante sowie dem Profil der Schneidkante senkrecht zur Wirkbewegung
- **Schnittflächenrauheit:** resultiert aus den Deformationen und Abtrennmechanismen im Bereich unmittelbar vor bzw. an der Schneidkante oder im Bereich der in Kontakt kommenden Freifläche
- **geometrische Oberflächendefekte:** resultieren aus Störbewegungen (insbesondere Schwingungen senkrecht zur Arbeitsebene) oder Kratzern durch berührende Späne (Bild 3)

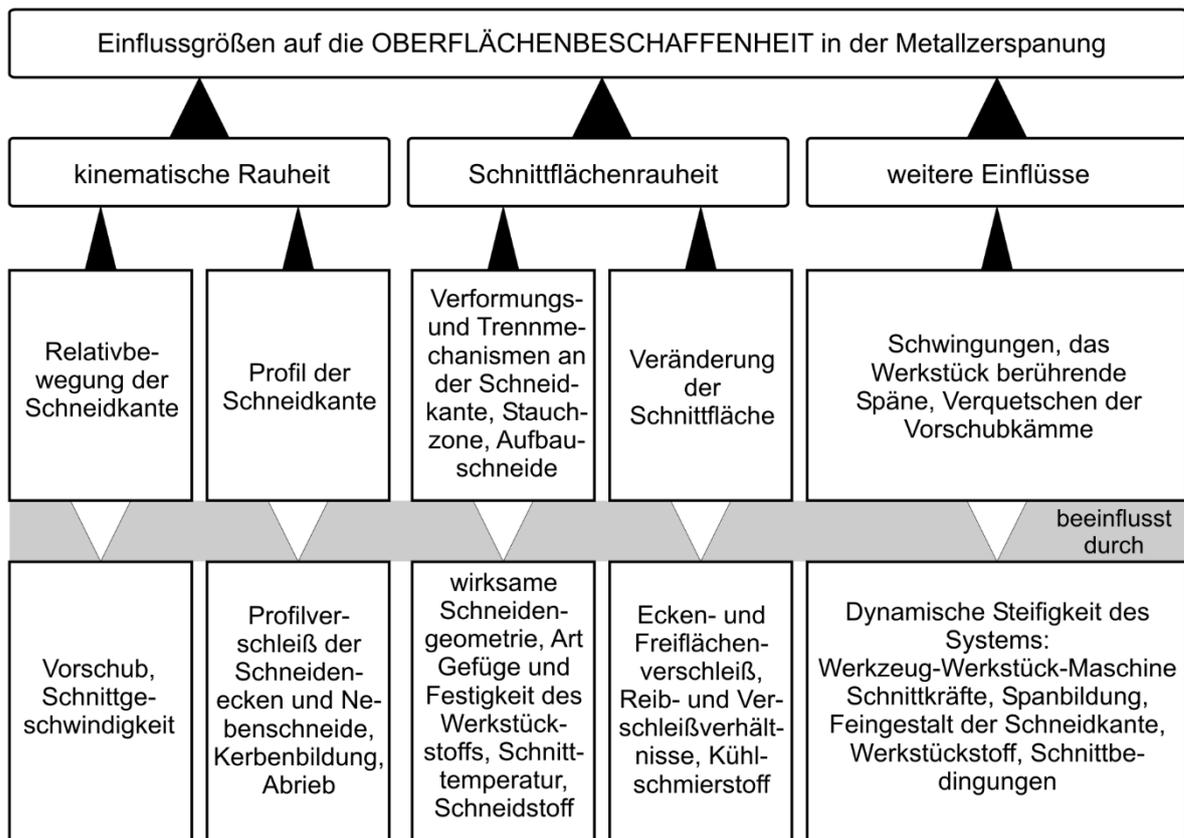


Bild 3: Einflüsse auf die Oberflächenausbildung bei der spanenden Bearbeitung (nach F. Betz [1]).

3.2.1 Oberflächenausbildung beim Drehen

Drehen ist „Spanen mit geschlossener, meist kreisförmiger Schnittbewegung und beliebiger, quer zur Schnittrichtung liegender Vorschubbewegung“. Eine Unterteilung der Drehverfahren wird in [6] vorgenommen. Sofern in Umfangsrichtung keine Unterbrechungen der Werkstückoberfläche vorhanden sind, ergibt sich eine ununterbrochene Spanabnahme. Der maßgebliche Anteil der Oberflächenrauheit ergibt sich beim Drehen aus der Kombination von Vorschub und Eckenradius des Werkzeuges (Bild 4). Eine Abschätzung der daraus resultierenden Rauheit ermöglicht die folgende Formel:

$$R_{max}^{theor} = \frac{f^2}{8r_\epsilon} \quad (Gl. 1)$$

Bei sehr kleinen Vorschüben kann es aufgrund einer Unterschreitung der Mindestspanungsdicke zu einem Anstieg der praktisch erzielbaren Rauheit gegenüber den rechnerischen Werten kommen. Weitere Einflüsse auf die Werkstückrauheit beim Drehen werden in [4] erläutert.

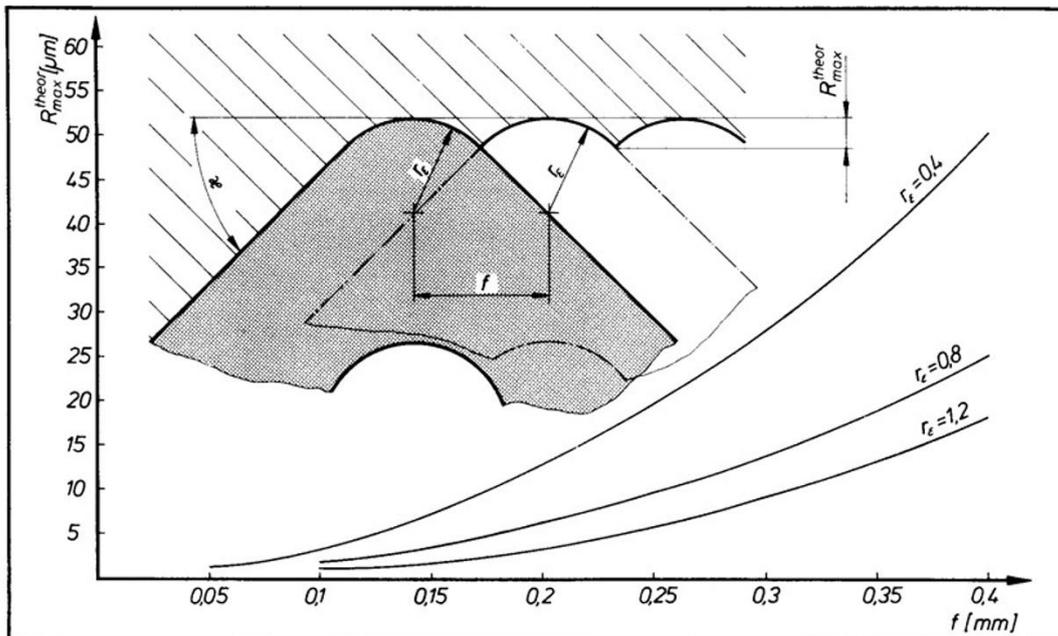


Bild 4: Theoretische Rauhtiefe R_{max}^{theor} in Abhängigkeit vom Vorschub [4].

3.2.2 Oberflächenausbildung beim Fräsen

Fräsen ist „Spanen mit kreisförmiger, einem meist mehrzahnigen Werkzeug zugeordneter Schnittbewegung und mit senkrecht oder auch schräg zur Drehachse des Werkzeuges verlaufender Vorschubbewegung zur Erzeugung beliebiger Werkstückoberflächen“. Eine Unterteilung der Fräsverfahren wird in [7] vorgenommen. Resultierend aus der Werkzeuggeometrie und der Kinematik bzw. der räumlichen Zuordnung von Werkzeug und Werkstück gibt es beim Fräsen die Varianten

- Umfangfräsen im Gleichlauf
- Umfangfräsen im Gegenlauf
- Stirnfräsen.

Im einfachsten Fall sind während eines Bearbeitungsschrittes die dafür charakteristischen Verhältnisse unveränderlich. Beim Einsatz des Fräsens zur Bearbeitung komplexer 3D-Geometrien werden i.a. Radius- bzw. Torusfräser eingesetzt und aus mehreren Komponenten zusammengesetzte Vorschubbewegungen ausgeführt, woraus zeitlich und örtlich spezifische Eingriffsverhältnisse und Bedingungen für die Oberflächenausbildung resultieren, die den o. g. Varianten entsprechen. Ein wesentliches Merkmal der Fräsverfahren ist der unterbrochene Schnitt.

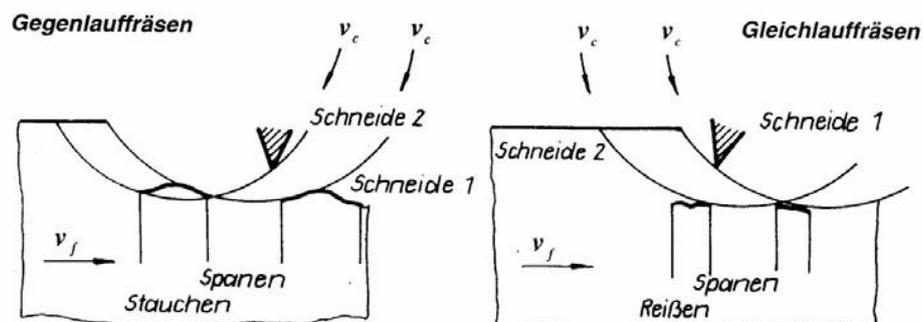


Bild 5: Schematische Darstellung der Oberflächenausbildung beim Gleich- und Gegenlaufräsen (nach [8]).

Charakteristisch für das Umfangsfräsen ist zunächst das Merkmal, dass die betragsmäßig größten Komponenten der Zerspanungskraft F (Schnittkraft, Vorschubkraft) in der Arbeitsebene und senkrecht zur entstehenden Werkstückoberfläche wirken. Dynamische Anteile in diesen Kraftkomponenten führen unter Beachtung der Nachgiebigkeit des Systems Werkzeugmaschine-Werkzeug-Werkstück zu entsprechenden Abweichungen der Werkstück-Oberflächengeometrie (Fehler 1. Ordnung).

Für das Gegenlaufräsen ergibt sich als weiteres Merkmal, dass im Anschnittpunkt theoretisch eine Spannungsdicke $h = 0$ vorliegt und sich kurz vor dem Ausschnittpunkt die maximale Spannungsdicke ergibt. Bedingt durch reale Werkzeuggeometrien (u.a. Schneidkantenradius $r_n > 0$) und reale Eigenschaften des Werkstückwerkstoffes (elastisch-plastische Eigenschaften) gibt es einen Versatz gegenüber dem theoretischen Anschnittpunkt und sind praktisch die Spannungsdicken im Anschnittpunkt $h > 0$.

Im Anschnittsbereich zwischen theoretischem und realem Anschnitt sind geglättete und verfestigte Oberflächenabschnitte zu verzeichnen. Demgegenüber vollzieht sich der Abtrennvorgang beim Gleichlaufräsen in der Weise, dass der Anschnitt bei nahezu maximaler Spannungsdicke und der Ausschnitt bei einer theoretischen Spannungsdicke $h = 0$ erfolgt, wobei das Abtrennen des Spanes praktisch einem Herausreißen nahe kommt.

Beim Stirnfräsen wirken die betragsmäßig größten Kraftkomponenten (Schnittkraft, Vorschubkraft) in der Arbeitsebene P_{fe} und parallel zur entstehenden Werkstückoberfläche. Dynamische Anteile dieser Kräfte und Rundlauffehler der Spindel bzw. des Werkzeuges wirken sich lediglich als Fehler 2. Ordnung auf die Gestalt der Werkstückoberfläche aus. In diesem Fall ergibt sich die Werkstück-Oberflächengestalt maßgeblich durch die axiale Staffelung der Schneidenecken bedingt durch die begrenzte Einstellgenauigkeit bzw. durch ungleichmäßigen verschleißbedingten Schneidkantenversatz in axialer Richtung.

Das Problem der Schneidenstaffelung in axialer Richtung kann praktisch durch die Verwendung einschneidiger Werkzeuge umgangen werden, allerdings mit entsprechenden Reduzierungen der Vorschubgeschwindigkeiten.

Beim Stirnfräsen mit einem einschneidigen Fräser ergeben sich hinsichtlich der Oberflächenausbildung quantitativ ähnliche Verhältnisse wie beim Drehen (Gl. 1).

4. Literatur

- [1] König, W. : Fertigungsverfahren Band 1; VDI-Verlag, Düsseldorf, 1998.
- [2] Degner, W.; Lutze, H.; Smejkal, E.: Spanende Formung, Theorie, Berechnung, Richtwerte; Hanser-Verlag, München, Wien, 1993.
- [3] Sander, M.: Oberflächenmeßtechnik für den Praktiker; Mahr GmbH, Göttingen, 1993.
- [4] Storf, R.: Drehen - Grundlagen und Anwendungstechnik, Hrsg.: Plansee TIZIT GmbH, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1987.
- [5] v. Weingraber, H.; Abou-Aly, M.: Handbuch Technische Oberflächen; Vieweg, Braunschweig, 1989.
- [6] DIN 8589 Teil 1: Fertigungsverfahren Spanen / Drehen / Einordnung, Unterteilung.
- [7] DIN 8589 Teil 3: Fertigungsverfahren Spanen / Fräsen / Einordnung, Unterteilung, Begriffe.
- [8] Warziniak, W.: Fertigungsverfahrenstechnik für Gerätetechniker, 4. Lehrbrief, Lehrbriefe für das Hochschulfernstudium, Dresden, 1978.