

Untersuchung des Planfräsverfahrens am Beispiel beschichteter Möbelteile (3. Teil)

Über das Prinzip des Planfräsverfahrens wurde in HOB [1], über den Einfluß des Einstellwinkels in [2] und über den des Neigungs-, Span- und Keilwinkels in [5] berichtet. Bei allen Winkeln, die die Schneidkeilgestalt beschreiben, konnten zum Teil erhebliche Wirkungen auf die Bearbeitungsqualität nachgewiesen werden. Wesentliche qualitätsverbessernde Effekte ergaben sich durch die entscheidend verringerte Spandicke, die durch Nutzung eines sehr kleinen Einstellwinkels möglich wurde. So konnten mit einer einzigen Schneide noch ausbruchfreie Schnittkanten bei einer Vorschubgeschwindigkeit von 18 m/min erzeugt werden. Die extrem geringe Spandicke erlaubte den Einsatz von Schneiden mit negativen Spanwinkeln und Keilwinkeln von $\beta = 90$ Grad, wodurch eine Stabilisierung des Schneidkeils erreichbar ist, d. h. die Bruchanfälligkeit von empfindlichen Schneidstoffen wie Diamant oder Schneidkeramik könnte künftig vermeidbar werden. – Von Prof. Dr.-Ing. Uwe Heisel, Dr. sc. techn. Johannes Tröger und Dr.-Ing. Miklos Lang¹⁾.

¹⁾ Prof. Heisel ist Direktor des Instituts für Werkzeugmaschinen der Universität Stuttgart mit dem Versuchsfeld für Holzbearbeitungsmaschinen. Dr. Tröger ist Leiter des Versuchsfeldes und Dr.-Ing. Lang ist Dozent der Universität Sopron/Ungarn.

Abb. 1: Zur Definition des Achsneigungswinkels (λ_A), des Maschineneinstellwinkels (λ_M) und des Maschineneinstellwinkels (χ_M).

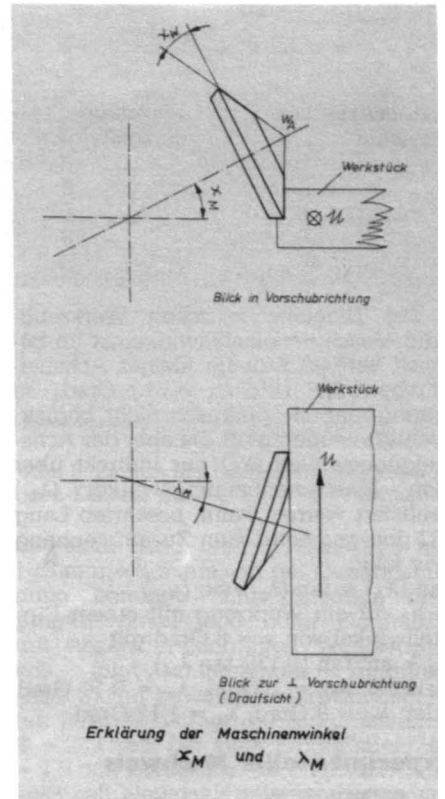
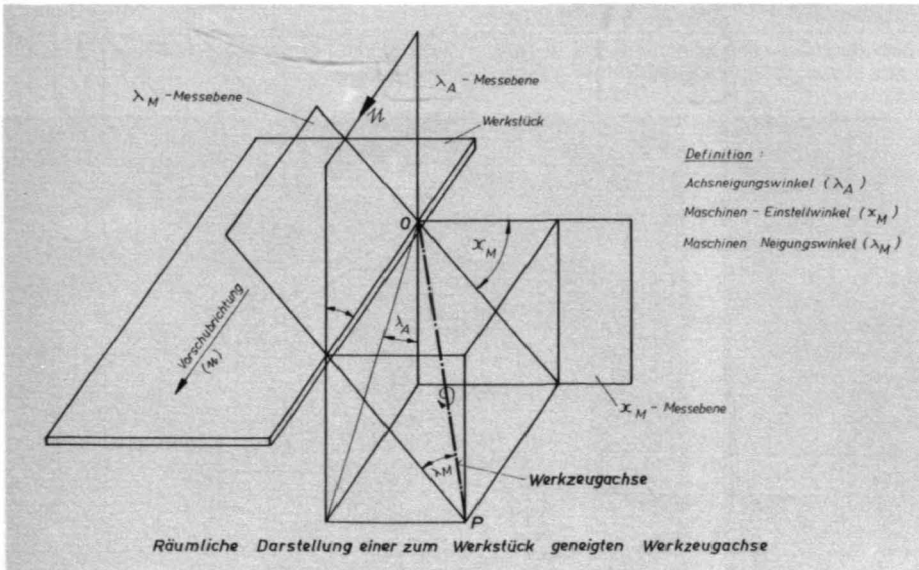


Abb. 2: Zur Definition der Maschinenwinkel (λ_M) und (χ_M)

Untersuchung zum Einfluß des Achsneigungswinkels

Der Achsneigungswinkel ist definitionsgemäß der Winkel der Projektion der Werkzeugachse auf eine die Vorschubrichtung enthaltene, senkrecht zur Werkstückebene stehende Ebene, die einen Vektor enthält, der senkrecht zur Vorschubrichtung steht (Abb. 1). Im einfachsten Fall, z. B. beim Schrägfräsen, ist der Achsneigungswinkel der Winkel zwischen Werkzeugachse und der Senkrechten. Soll der Einfluß des Achsneigungswinkels bei kegelförmigen Fräswerkzeugen untersucht werden, so können zur Einstellung eines bestimmten Winkels die maschinenspezifischen Winkel, der Maschineneinstellwinkel (χ_M) und der Maschineneinstellwinkel (λ_M), verändert werden (Abb. 2).

Bei einem Neigungswinkel der Achse des Werkzeugträgers von $\lambda_A = 0$ Grad stimmen Einstellwinkel des Werkzeuges (χ_W) und Maschineneinstellwinkel (χ_M) überein. Bei Vorhandensein eines Achsneigungswinkels (λ_A) muß allerdings der Maschineneinstellwinkel korrigiert werden, wenn bei gleichbleibendem Werkzeugeinstellwinkel (χ_W) noch ein rechtwinkliger Schnitt zur Plattenebene gewährleistet werden soll. Die geometrischen Zusammenhänge hierfür sind in Abb. 3 dargestellt.

Nach Lang [1] sind Werkzeugeinstellwinkel (χ_W), Maschineneinstellwinkel (χ_M) und Achsneigungswinkel (λ_A) wie folgt verknüpft: $\tan(\chi_W) = \tan(\chi_M) / \cos(\lambda_A)$. Für die Bedingungen eines rechtwinkligen Schnittes verändert sich der Maschineneinstellwinkel wie folgt:

Achsneigungswinkel	Werkzeugeinstellwinkel	Maschineneinstellwinkel	Differenz (Grad)
0	8	8	0,0000
1	8	7,9988	0,0019
8	8	7,9231	0,0769
16	8	7,6900	0,3100
45	8	5,7000	2,3000

Die Differenz zwischen Werkzeug- und Maschineneinstellwinkel ist im Bereich verhältnismäßig kleiner Achsneigungswinkel (bis $\lambda_A = 16$ Grad) so gering, daß sie praktisch nicht berücksichtigt werden muß. Da aber der Achsneigungswinkel (λ_A) nur indirekt über den Maschineneinstellwinkel (λ_M) realisiert werden kann, beschrieb Lang [1] den geometrischen Zusammenhang wie folgt:

$$\tan(\lambda_A) = \tan(\lambda_M) / \sin(\chi_M)$$

d. h., für ein Werkzeug mit einem Einstellwinkel von $\chi = 8$ Grad gilt

$$\lambda_A = \arctan(0,139 \tan \lambda_M)$$

Beispiel: $\lambda_M = 1$ Grad, $\lambda_A = 0,14$ Grad oder: $\lambda_M = 8$ Grad, $\lambda_A = 1,12$ Grad

Experimenteller Nachweis

Der experimentelle Nachweis des Einflusses des Achsneigungswinkels erfolgte durch Variieren des Maschineneinstellwinkels (λ_M). Die Untersuchungen wurden unter folgenden Bedingungen durchgeführt:

Einstellwinkel	= 8 Grad
Keilwinkel	= 70 Grad
Spanwinkel	= 10 Grad
Neigungswinkel	= 20 Grad
Achsneigungswinkel	= variabel
Bearbeitungszugabe	= 1,5 mm
Eingriffstiefe	= 17 mm
Vorschubgeschwindigkeit	= 18 m/min
Vorschubrichtungswinkel	Gegenlauf
Drehzahl	= 3000 min ⁻¹
Schneidenanzahl	= 1
Flugkreisdurchmesser der Schneidenecke	= 200 mm
Spanungswerkstoff: Spanplatte	Dicke = 16 mm
Beschichtung:	Melamin (einlagig)

Gemessen wurde der Kantenausbruch bei scharfer Schneide in Abhängigkeit vom Maschineneinstellwinkel. Die Ergebnisse sind in Abb. 4 dargestellt:

Bei einem negativen Maschineneinstellwinkel (Drehung in Vorschubrichtung) ist sehr schnell eine Verschlechterung der Bearbeitungsqualität zu beobachten. Mit wachsendem positiven Maschineneinstellwinkel wird auch eine Verschlechterung der Bearbeitungsqualität beobachtet, die allerdings viel langsamer in Abhängigkeit von (λ_M) steigt. Bei negativen Maschineneinstellwinkeln wird die Krümmung des Spanbogens klein, so daß der Kantenausbruch der Schneidenecke nicht mehr von den nachfolgenden Schneiden beseitigt werden kann. Bei positiven Winkeln erfolgt der Austritt der Schneide aus dem Werkstoff nicht mehr senkrecht unter der Werkzeugachse, sondern danach; d. h. der Spanbogen wird

länger und der Austrittswinkel (ϑ_E) steiler, wodurch es wieder zu einer Qualitätsverschlechterung kommt. Bei positiven Neigungswinkeln wird aber auch ein günstiger Effekt erreicht, die Krümmung des Spanbogens wird tiefer, ohne daß der Einstellwinkel vergrößert werden müßte. Damit wäre der Weg zu noch geringeren Einstellwinkeln offen. Der optimale Maschineneinstellwinkel liegt nach den Ergebnissen gemäß Abb. 4 bei $\lambda_M = 0$ Grad.

Zum Einfluß der Bearbeitungszugabe

Die Bearbeitungszugabe ist das vom Werkzeug abzarbeitende Übermaß, die Differenz von Roh- zu Fertigmaß. Ist die Bearbeitungszugabe größer als die Krümmung des Hyperbelbogens [2, Abb. 6], so ist die Nebenschneide mit am Zerspanungsvorgang beteiligt. Trifft beim Spanen die Schneidenecke nicht auf das Beschichtungsmaterial auf, so entsteht auch nicht der große Kantenausbruch, der durch die nachfolgenden Schneiden wieder beseitigt werden muß.

Die Untersuchungen wurden unter folgenden Bedingungen durchgeführt:

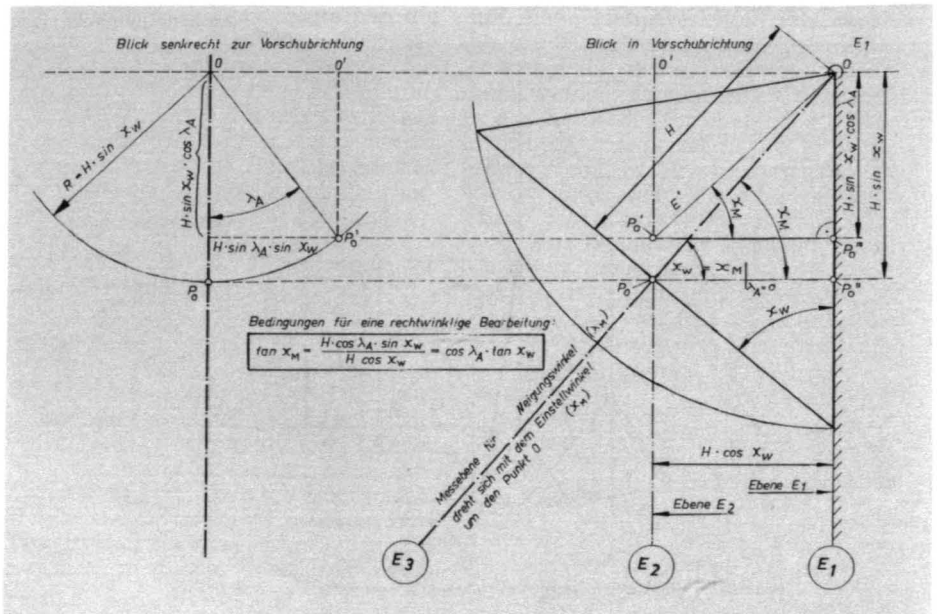
Keilwinkel	= 70 Grad
Spanwinkel	= 10 Grad
Neigungswinkel	= 20 Grad
Achsneigungswinkel	= 0 Grad
Bearbeitungszugabe	= variabel
Vorschubgeschwindigkeit	= 18 m/min
Eingriffstiefe	= 17 mm
Vorschubrichtungswinkel	Gegenlauf
Drehzahl	= 3000 min ⁻¹
Schneidenanzahl	= 1

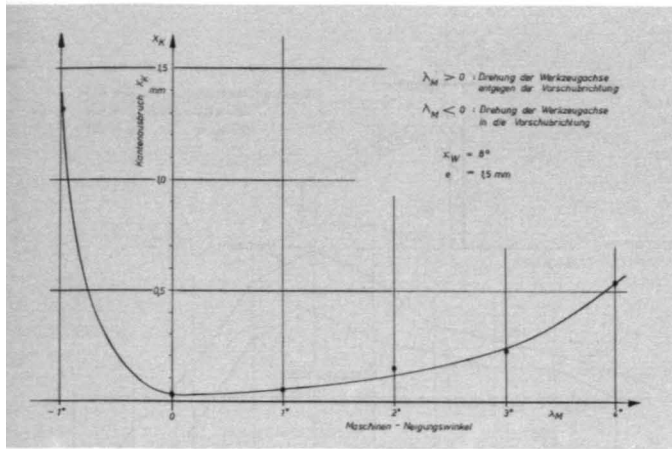
Flugkreisdurchmesser der Schneidenecke = 200 mm
Spanungswerkstoff: Spanplatte
Dicke = 16 mm
Beschichtung: Melamin (einlagig)

Die Untersuchungsergebnisse sind in Abb. 5 dargestellt. Mit zunehmender Bearbeitungszugabe ist zunächst ein geringer Kantenausbruch um 0,03 bis 0,05 mm feststellbar. Nach Überschreiten eines bestimmten Schwellwertes treten plötzlich unerwartet große Kantenausbrüche auf. Die Krümmung des Spanbogens beträgt unter den gewählten Versuchsbedingungen etwa 2,4 mm; d. h. die Nebenschneide war im Bereich des Schwellwertes bei einer Bearbeitungszugabe von $b = 1,5$ mm noch nicht im Eingriff; d. h. der auftretende Kantenausbruch kann nicht von der Schneidenecke hervorgerufen worden sein. Interessant ist, daß bei einem Maschineneinstellwinkel größer 0,5 Grad der Schwellwert von $b = 1,5$ mm auf $b = 3,5$ mm verschoben wird; d. h. der Maschineneinstellwinkel hat einen erheblich qualitätsverbessernden Einfluß. Für eine spätere Verfahrensentwicklung hat diese Gesetzmäßigkeit eine erhebliche Bedeutung. Dies heißt aber nicht, daß keine größere Bearbeitungszugabe gewählt werden darf, da auch dieser Schwellwert vom Zahnvorschub direkt beeinflusst wird. Dieser betrug bei den Untersuchungen 6 mm. Einen Blick auf den Spanbogen des Versuchswerkzeuges in Stillstand zeigt Abb. 6, während des Spanungsvorganges Abb. 7.

Gut zu erkennen sind die Kantenausbrüche am Beginn des Spanbogens beim Spanen. Im Stillstand sind diese Ausbrüche nicht mehr nachweisbar, da beim Ausschalten der Maschine das

Abb. 3: Darstellung der geometrischen Verhältnisse beim Planfräsen mit kegelstumpfförmigen Werkzeugen bei Vorhandensein eines Achs- bzw. Maschineneinstellwinkels





Werkstück noch ausläuft, wodurch die Späne immer feiner werden und dadurch Kantenausbrüche verschwinden.

In diesem Zusammenhang interessiert zur Klärung der Qualitätsbildung, in welchem Bereich des Spanbogens die Bearbeitungsqualität gebildet wird. Zur Lösung des Problems soll experimentell wie folgt vorgegangen werden: Eine zunächst scharfe Schneide wird auf einer definierten Länge definiert abgestumpft (im speziellen Fall 10,3 mm), so daß im stumpfen Schneidenbereich Kantenausbrüche entstehen müssen. Wird nun diese Schneide von außen nach innen in das Werkstück verschoben, so kommt ein scharfes Schneidengebiet zum Eingriff. Die Kantenausbrüche verschwinden dann, wenn das scharfe Schneidengebiet die Qualität bestimmt. Zum experimentellen Nachweis wurden folgende Bedingungen gewählt:

Verschleißfasenbreite	=	0,1 mm
Verschleißfasenlänge	=	10,3 mm
Keilwinkel	=	55 Grad
Spanwinkel	=	10 Grad
Neigungswinkel	=	0 Grad
Maschinenneigungswinkel	=	0,5 Grad
Bearbeitungszugabe	=	1,5 mm
Vorschubgeschwindigkeit	=	18 m/min
Vorschubrichtungswinkel	=	Gegenlauf
Drehzahl	=	3000 min ⁻¹
Schneidenanzahl	=	1
Flugkreisdurchmesser der Schneidenecke	=	200 mm

Abb. 6: Darstellung des Werkzeugeingriffes im Stillstand

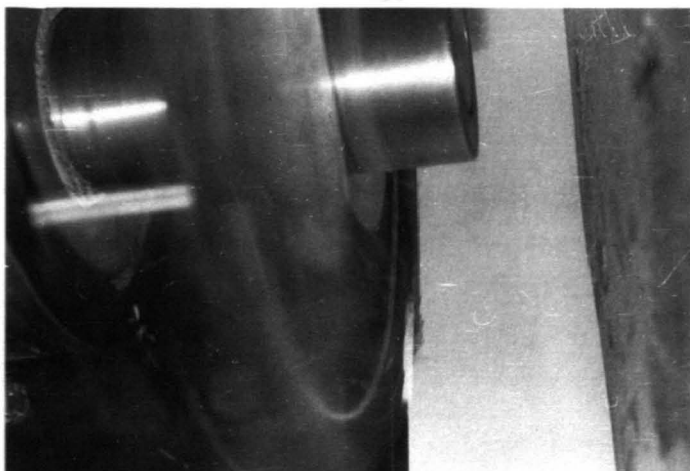


Abb. 4: Einfluß des Maschinenneigungswinkels auf den Kantenausbruch bei scharfer Schneide

Spanungswerkstoff: Spanplatte
Dicke = 16 mm
Beschichtung: Melamin (einlagig)
Bei der gewählten Vorschubgeschwindigkeit von 18 m/min traten zunächst Kantenausbrüche in der Größenordnung eines Millimeters bis zu einer Eingriffstiefe von „e“ = 11,7 mm auf. Bei einer Eingriffstiefe von „e“ = 11,8 mm verschwanden die Kantenausbrüche vollkommen; d. h. die Schneide ist unter den gewählten Bedingungen

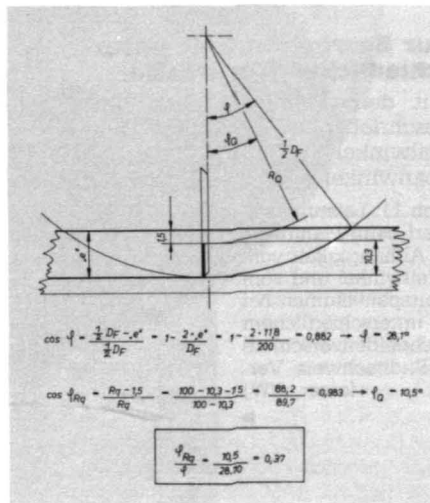


Abb. 8: Zur Ermittlung des qualitätsbildenden Eingriffgebietes der Schneide beim Planfräsen

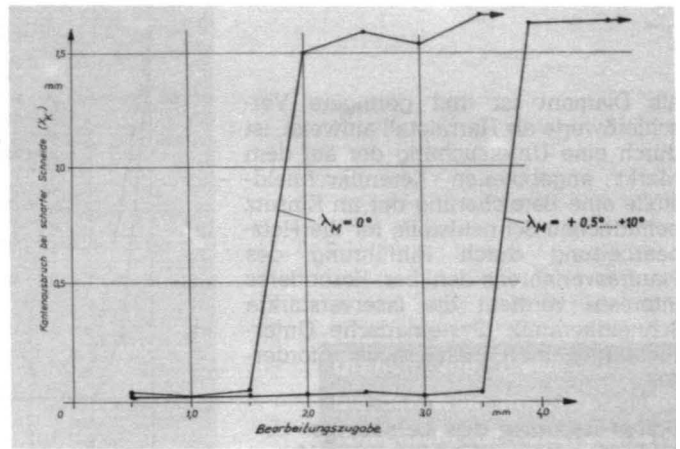


Abb. 5: Einfluß der Bearbeitungszugabe auf den Kantenausbruch bei scharfer Schneide

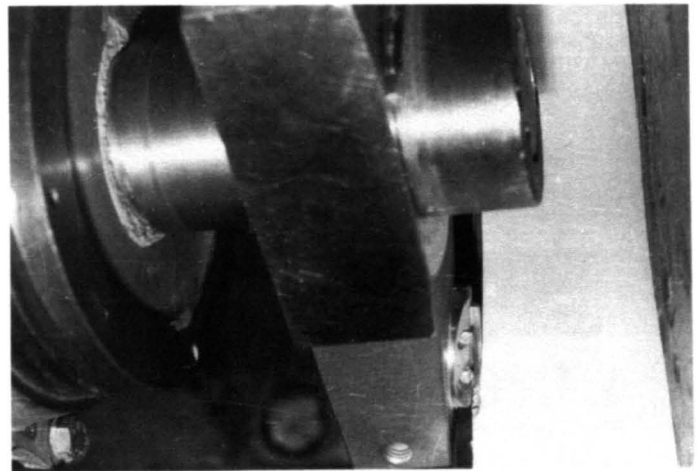
mit einer Länge von 1,5 mm (11,8 bis 10,3 mm = 1,5 mm) an der Qualitätsbildung beteiligt. Schneidenlänge und Eingriffswinkel sind beim Planfräsen mit kegelstumpfförmigen Werkzeugen wie folgt miteinander verknüpft (Abb. 8). Im gewählten und untersuchten Beispiel beträgt der Eingriffswinkel $\Phi = 28$ Grad. Der einer Eingriffstiefe „e“ = 1,5 mm zuzuordnende Eingriffswinkel beträgt 10,5 Grad. Damit ist experimentell bewiesen, daß die Bearbeitungsqualität etwa im letzten Drittel des Spanbogens gebildet wird.

Test unterschiedlicher Schneidstoffe

Die nachgewiesene Stabilität eines sehr schlanken Keilwinkels bei Hartmetall [5, Abb. 18] läßt vermuten, daß infolge der sehr geringen Schneidkeilbelastung auch bislang für die Holzbearbeitung nicht geeignete Schneidstoffe, wie z. B. Schneidkeramik, beim Planfräsenverfahren mit kegelstumpfförmigen Werkzeugen einsetzbar sein könnten. Ein diesbezüglicher orientierender Test ergab, daß auch Schneidkeramik unter den in Abb. 9 dargestellten Versuchsbedingungen nicht ausbrach. Die untersuchte Keramikschneide ist in Abb. 10 gezeigt, erkennbar sind die Einsatzspuren.

Da Schneidkeramik erheblich billiger

Abb. 7: Darstellung des Werkzeugeingriffes beim Spanen



als Diamant ist und geringere Verschleißwerte als Hartmetall aufweist, ist durch eine Untersuchung der auf dem Markt angebotenen Keramikschnidstoffe eine Bereicherung der im Einsatz befindlichen Schneidstoffe für die Holzbearbeitung durch Einführung des Planfräsverfahrens denkbar. Besonderes Interesse verdient die faserverstärkte Schneidkeramik. Systematische Untersuchungen sind hierzu noch erforderlich.

Untersuchung des Leistungsbedarfes beim Planfräsen mit kegelstumpfförmigen Werkzeugen

Die Untersuchung der aufgenommenen Motorleistung erfolgte an einem einschneidigen Versuchswerkzeug unter folgenden Versuchsbedingungen:

Keilwinkel	= 70 und 55 Grad
Spanwinkel	= 10 Grad
Neigungswinkel	= 20 Grad
Achseigungswinkel	= 0 Grad
Bearbeitungszugabe	= variabel
Vorschubgeschwindigkeit	= variabel
Vorschubrichtungswinkel	Gegenlauf
Drehzahl	= 3000 min ⁻¹
Schneidenanzahl	= 1
Flugkreisdurchmesser der Schneidenecke	= 200 mm
Spanungswerkstoff: Spanplatte	
Dicke	= 16 mm
Beschichtung	Melamin (einlagig)
Leerlaufleistung Werkzeugträgermotor	= 0,4 kW

Ein Leistungsschreiber wurde in den Stropfad des Werkzeugträgermotors eingeschleift und für jeden Meßpunkt die Schnittleistung bestimmt. Die Versuchsergebnisse sind in Abb.11 dargestellt.

Mit wachsendem Keilwinkel, größer werdender Verschleißfase und steigendem Zeitspanvolumen steigt der Leistungsbedarf des Werkzeugträgermotors. Abzüglich der Leerlaufleistung werden je Schneide bei 700 cm³/min und einer Verschleißfase von 0,2 mm, die erfahrungsgemäß schon keine gute Bearbeitungsqualität mehr zuläßt, eine Leistung von etwa 1 kW benötigt. Ein abgestumpftes Werkzeug mit z = 4 wird etwa 4,5 kW bei einem Zeitspanvolumen von 2800 cm³/min erfordern (dies entspricht einer Vorschubgeschwindigkeit von 35 m/min bei einer Bearbeitungszugabe von 5 mm und einer Werk-

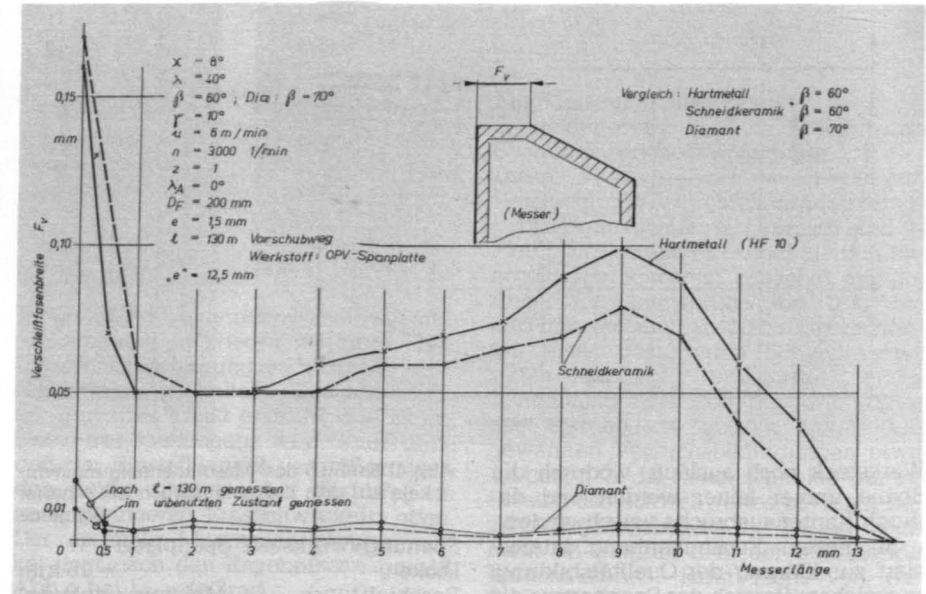
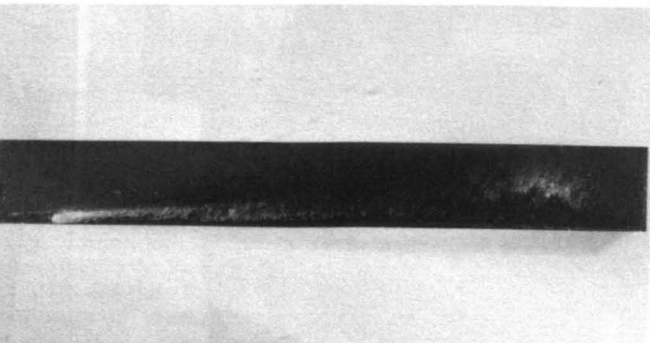


Abb.9: Vergleich von Hartmetall (HF10), Schneidkeramik und PKD (Verschleißfasenbreite über der Schneidenlänge)

Neigungswinkel = 40 Grad
 Achseigungswinkel = 0 Grad
 Bearbeitungszugabe = 1,5 mm
 Vorschubgeschwindigkeit = 18 m/min
 Vorschubrichtungswinkel Gegenlauf
 Drehzahl = 3000 bzw. 6000 min⁻¹
 Schneidenanzahl = 1
 Flugkreisdurchmesser der Schneidenecke = 200 mm
 alle vorkommenden Werkstoffe wie Spanplatten, MDF und Verbundwerkstoffe mit den bekannten Beschichtungswerkstoffen wie Furnier (auch quer zur Faserrichtung), matte und hochglänzende Melaminbeschichtung

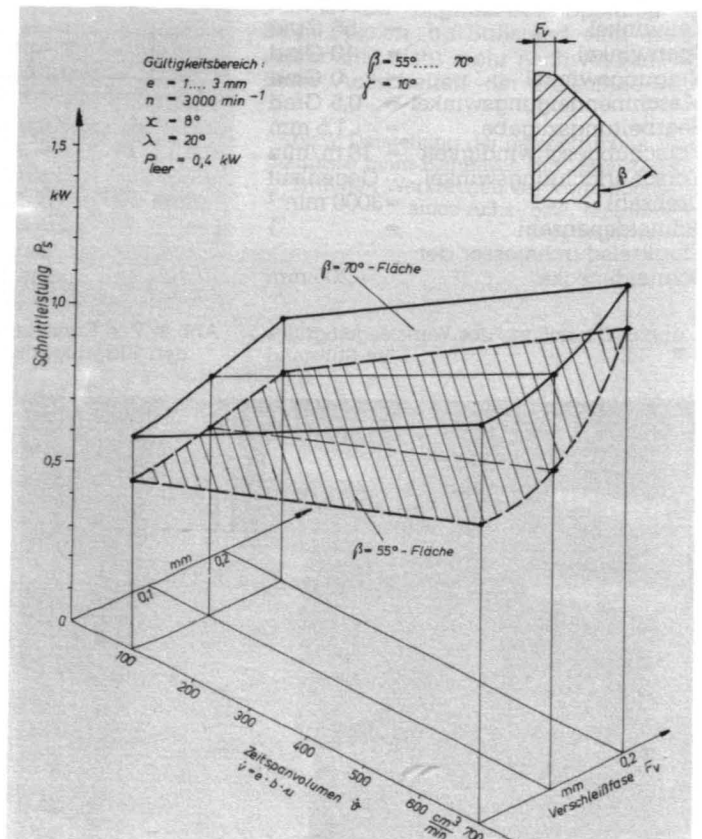
stückdicke von 16 mm). Übersichtlich betrachtet, scheint das Fräsen mit kegelstumpfförmigen Werkzeugen energetisch ein günstiges Bearbeitungsverfahren zu sein. Die Untersuchungen können diesbezüglich allerdings noch nicht als abgeschlossen betrachtet werden, da Vergleichsuntersuchungen mit z. B. abgestumpften Umfangsfräs Werkzeugen mit identischem Material noch nicht durchgeführt wurden.

Zur Bearbeitbarkeit unterschiedlicher Werkstoffe

Mit dem Planfräsen sind unter den beschriebenen Bedingungen wie Keilwinkel = 70 bzw. 90 Grad Spanwinkel = 10 bzw. -10 Grad

Abb.11: Leistungsbedarf beim Planfräsen in Abhängigkeit vom Keilwinkel und vom Zeitspanvolumen bei unterschiedlichem Schneidverschleiß (Bildnachweis: Verfasser, JFW)

Abb.10: Untersuchtes Messer aus Schneidkeramik. Die hellen Stellen sind Verschmutzungsrückstände aus Harz und Staub.



gen (wie empfindliche Einlagenbeschichtungswerkstoffe), weiche PVC-Beschichtungen, Gummibelag auf Einlegeböden für Küchen, ungesättigte Polyesterfolien, Harnstoffolien sowie Lackbeschichtungen sehr gut bearbeitbar. Aus der Beschichtungswerkstoffpalette von extrem hart bis weich wurde noch kein Werkstoff gefunden, bei dem keine einwandfreie Schnittkante erzeugt werden konnte. (Wird fortgesetzt.)

Literatur

- [1] Tröger, J. Lang, M.: Hobelfräsen mit verhindertem Wellenschlag, HOB 11/90, S.: 43-49.
- [2] Heisel, U., Tröger, J., Lang, M.: Untersuchung des Planfräsverfahrens am Beispiel beschichteter Möbelteile (1. Teil), HOB 3/91, S.: 48-52.
- [3] Tröger, J.: Einfluß des Neigungswinkels beim Umfangs- und Stirnfräsen, HOB 6/90, S. 34-43.
- [4] Fischer, R.: Die rechnergestützte Simulation von Vorgängen der mechanischen Bearbeitung von Holzwerkstoffen, Holztechnologie, Leipzig 30(1989)2.
- [5] Heisel, U., Tröger, J., Lang, M.: Untersuchung des Planfräsverfahrens am Beispiel beschichteter Möbelteile (2. Teil), HOB 4/91.

HOB-KENNZIFFER **55**