

Fertigungsverfahren 2

Grundlagen der Zerspanung

h_{ch} = Spandicke
 h = Spanungsdicke

Freiwinkel α

6.5

- stets positiv; 6-12°

zu kleiner Freiwinkel:

- großer Reibverschleiß an Freiflächen

zu großer Freiwinkel:

- schwacher Schneidkeil
- schlechte Wärmeableitung
- großer Schneidkantenversatz bei Verschleiß der Schneidkante

Keilwinkel β

- möglichst groß, um hinreichende Stabilität der Schneide zu gewährleisten

Spanwinkel γ

- kann positiv und negativ sein

großer Spanwinkel:

- geringe Schnittkräfte
- schwache Schneiden
- schlechte Spanbrechung

kleiner Spanwinkel:

- hohe Schnittkräfte
- stabile Schneiden

Hauptschneide

Schneide deren Schneidkeil in Vorschubrichtung zeigt

Nebenschneide

Schneide deren Schneidkeil senkrecht zur Vorschubrichtung steht

Eckenwinkel ε

Winkel zwischen den Werkzeugschneidenebenen zusammengehörender Haupt- und Nebenschneiden

Neigungswinkel λ

Winkel zwischen Hauptschneide und Werkzeugbezugsebene

Wirkwinkel

6.6, 6.7

auf Mitte $\alpha_e = \alpha$ $\gamma_e = \gamma$

über Mitte $\alpha_e < \alpha$ $\gamma_e > \gamma$

unter Mitte $\alpha_e > \alpha$ $\gamma_e < \gamma$

Einstellwinkel χ

Winkel zwischen Vorschubrichtung und Hauptschneide

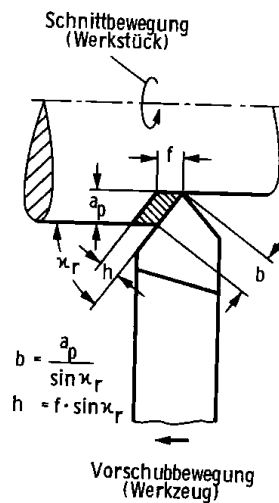
Variation von χ beeinflusst Produktivität nicht

Schnitttiefe a_p $a_p = \frac{D - d}{2}$

Schnittgeschwindigkeit $v_c = \pi \cdot D \cdot n$

Vorschub f [mm / U]

Vorschubgeschw. $v_f = f \cdot n$



- χ_r Einstellwinkel
- a_p Schnitttiefe
- f Vorschub
- b Spanungsbreite
- h Spanungsdicke
- $a_p \cdot f$
 $= b \cdot h$ Spanungsquerschnitt

Spanarten

6.8, 6.9

Fließspäne wenn

- gute Verformungseigenschaften
- keine Versprödung
- schwingungsarmer Prozess

Lamellenspäne

- bei großer Spanungsdicke
- ungleichmäßigem Werkstoffgefüge

Scherspäne

- bei extrem niedrigen Schnittgeschwindigkeiten
- spröden Material
- wenn die Verformung in der Scherzone das Verformungsvermögen des Werkstoffes überschreitet

Reißspäne

- bei Werkstoffen mit geringem Verformungsvermögen
- unregelmäßigem Verlauf der Trennstellen zwischen Span und Werkstück (schlechte Oberfläche)

Spanformen

6.9

Band- und Wirrspäne

- ungünstig bei der Entsorgung
- häufige Produktionsunterbrechungen nötig
- stellen Gefahr für Bediener dar

kurze Spiral- und Wendelspane

- gut zu entsorgen
- hohe Packungsdichte

Bröckelspäne

- höchste Packungsdichte
- nur in gekapselten Maschinen akzeptabel

Spanraumzahl R_z

$$R_z = \frac{Q'_z}{Q_z}$$

Q'_z = Schüttvolumen der pro Zeiteinheit entstehenden Spanmenge

Q_z = Zerspanvolumen pro Zeiteinheit

Wirrspäne $R_z = 50-100$

Kurze Spiral- $R_z = 5-25$

Und Wendelspäne

Bröckelspäne $R_z = 2$

Möglichkeiten der Spanformbeeinflussung

6.10

- Einsatz von Spanleitstufen
- Werkstückstoff
 - Zulegieren von S,P => Automatenstähle
- Schnittbedingungen

Aufteilung der Energie

15% Trennarbeit

75% Verformungsarbeit →

10% Reibung

75% Spanwärme

20% Werkstück

4% Werkzeug

1% Umgebung

Schneidstoffe in der ZerspanungAnforderungen:

- hohe Warmfestigkeit
- Härte, um abrasivem Verschleiß zu widerstehen
- hohe Druckfestigkeit
- hohe Biegefestigkeit
- Kantenfestigkeit
- Oxidationsbeständigkeit
- reproduzierbarer Verschleiß

Schneidstoffarten für Werkzeuge

6.11

Werkzeugstähle WS

- Anlassbeständigkeit bis ca. 300°C
- Schnittgeschwindigkeiten bei Metallzerspanung bis 0,3 m/s
- heute nur noch geringe Bedeutung

Schnellarbeitsstähle HSS

- Anlassbeständigkeit ca. 600°C
- Schnittgeschwindigkeit ca. 1 m/s beim Drehen von Stahl
- gut spanend zu bearbeiten im weichgeglühten Zustand
- komplizierte Werkzeuggeometrien kostengünstig herstellbar
- Werkzeuge mehrfach nachschleifbar
- hohe Zähigkeit und Biegefestigkeit erlauben großen Spanwinkel
- Standzeiten (T) der HSS-Werkzeuge kann durch Beschichtung (TiN, TiC) erhöht werden

- $T_{\text{TiN}} = 5T$ bei $v_C = \text{const}$
- $T_{\text{TiN}} = T$ bei $v_{\text{CtiN}} = 2v_C$

Hartmetalle

6.12, 6.13

- hohe Härte
- hohe Warmfestigkeit
- hohe Druckfestigkeit
- hohe Abriebfestigkeit
- geringe Zugfestigkeit
- geringe Biegefestigkeit
- bei Sinterprozess Eigenschaftsprofil gut beeinflussbar

Einteilung der Hartmetalle in Zerspanungsanwendergruppen

Gruppe P hohe Warmfestigkeit

Gruppe K hohe Verschleißfestigkeit

Gruppe M Kompromiss zwischen P und K

Cermets

- ähnlich Hartmetalle, kein WC (Wolfram-Carbid)
- aufgebaut auf Basis TiC, TiN mit Ni, Co als Binder

Vorteile gegenüber Hartmetallen:

- geringerer Diffusionsverschleiß
- geringere Klebneigung

Nachteil:

- empfindlich gegenüber Temperaturwechselbeanspruchung

Beschichtete Hartmetalle

Effekte der Beschichtung

- geringere Reibung auf der Spanfläche
- Ausbildung einer Diffusionssperre

Nomenklatur der Hartmetalle

- unbeschichtete Hartmetalle HW
- Cermets HT
- beschichtete Hartmetalle HC

Anforderungen an Werkzeugmaschinen wenn Hartmetall, Keramik zum Einsatz kommen soll:

- schwingungsarme Antriebe
- hohe Spindeltriebsleistung
- Maschinengestelle hoher stat. und dyn. Steifigkeit

Keramische Schneidstoffe

6.14, 6.15

- Reine Oxidkeramik Al_2O_3 , $\text{Al}_2\text{O}_3+\text{ZrO}_2$
- Mischkeramiken Al_2O_3 , TiC
- Nichtoxidische Keramik Si_3N_4 +Zusätze

Vorteile:

- hohe Druckfestigkeit
- hohe chemische Beständigkeit
- hohe Schmelztemperatur

- hohe Warmhärte

Nachteile:

- Neigung zu Sprödbbruch
- geringe Zugfestigkeit (ausschließlich negative Spanwinkel einsetzbar)
- thermoschockempfindlich

Hochharte, nichtmetallische Schneidstoffe

Einsatzbereich der Diamantschneidstoffe

- Leichtmetalllegierungen Al, Mg (Motorblöcke)
- Glasfaserverstärkte Kunststoffe
- Glas, Gestein
- ungeeignet zur Bearbeitung von Eisenwerkstoffen

Vorteile:

- hohe Maßhaltigkeit der Bauteile, da geringster Verschleiß
- geringe Klebneigung
- keine Aufbauschneidenbildung bei Al-Bearbeitung

6.17

Werkzeugsysteme beim Drehen

6.18

Vollstahlwerkzeuge

- Rundformdrehmeißel

Werkzeuge mit aufgelöteten Schneidplatten

- Holzbearbeitung
- Sägeblätter

Werkzeuge mit geklemmten Schneidplatten

6.19, 6.20, 6.21

Anforderungen an Klemmsysteme

- reproduzierbare Klemmung
- sichere Fixierung auch unter Zerspankraft
- ebene Spannfläche
- gute Wärmeableitung in Werkzeughalter
- Integration von Spanformsystemen

Verschleiß ist die Kombination folgender Effekte

6.22

1. mechanisch + thermische Überbeanspruchung

- Ausbrüche an der Schneide
 - Eckenwinkel, Keilwinkel zu klein
 - Schnittunterbrechungen
- Querrisse
 - meist auf Freifläche
 - parallel zur Hauptschneide
 - Schnittunterbrechungen, Druckschwellbeanspruchung

6.23

- Kammrisse

Ursache: - Temperaturwechselbeanspruchung
 - Fräsen, Drehen in unterbrochenem Schnitt

Abhilfe: - Hartmetallsorte höherer Zähigkeit

- ohne Kühlschmiermittel (KSM)

2. mechanischer Abrieb

Ursache:

- Relativgeschwindigkeit und Anpresskraft zw. Span und Spanfläche, bzw. Werkstückoberfläche und Freifläche
- gefördert durch harte Einschlüsse im Werkstück (Karbide)

3. Adhäsionsverschleiß (Aufbauschneide)

6.24, 6.25

Aufbauschneidenbildung:

- Partikel schweißen auf der Schnittkante fest, werden verfestigt und laufen periodisch über Frei- und Spanfläche ab
- ausgeprägt bei geringen Schnittgeschwindigkeiten
- führt zu schlechter Oberflächengüte
- bei höheren Schnittgeschwindigkeiten kommt es aufgrund der Rekristallisation nicht mehr zur Verfestigung und daher unterbleibt die Aufbauschneidenbildung

4. Diffusionsverschleiß

6.26

- ausgeprägt bei Hartmetallschneidstoffen
- Mischkristallbildung zwischen Fe und Co
- Diffusion von C aus WC in Fe → Auflösung des WC

6.27

Standzeit

Standzeit T ist die Zeit, die ein Werkzeug, bzw. eine Schneide bis zum Erreichen eines gewählten Standkriteriums im Einsatz ist.

Standzeitermittlung nach Taylor siehe Skript

c = Schnittgeschwindigkeit die zu einer Standzeit von T = 1min führt

$$v_c \cdot T^{-\frac{1}{k}} = c$$

Bestimmung der Taylorkoeffizienten

siehe Aufgabe 1

$$v_{c1} \cdot T_1^{-\frac{1}{k}} = v_{c2} \cdot T_2^{-\frac{1}{k}} = c$$

$$\frac{v_{c1}}{v_{c2}} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^{-\frac{1}{k}}$$

$$\log\left(\frac{v_{c1}}{v_{c2}}\right) = -\frac{1}{k} \cdot \log\left(\frac{T_2}{T_1}\right)$$

$$k = -\frac{\log\left(\frac{T_2}{T_1}\right)}{\log\left(\frac{v_{c1}}{v_{c2}}\right)}$$

Berechnung der kostenoptimalen Standzeiten bzw. Schnittgeschwindigkeiten

K_F = Fertigungskosten pro Bauteil

K_{ML} = Maschinen-, Lohn-, Neben- und Gemeinkosten (DM/h)

t_{eB} = Belegungszeit der Maschine für den Bearbeitungsvorgang

K_{WT} = Werkzeugkosten pro Schneide in DM

n_{WT} = Anzahl der Werkstücke die pro Schneide zerspant werden können

t_h = Hauptzeit, auch t_c = Schnittzeit

t_n = Nebenzeit

t_V = Verweilzeit für alle unregelmäßigen auftretenden Vorgänge

t_W = Werkzeugwechselzeit

$$T_{OK} = (-1 - k) \cdot \left(t_w + \frac{K_{WT}}{K_{ML}} \right)$$

$$v_{c,OK} = c \cdot T_{OK}^{\frac{1}{k}} \quad v_{c,OK} = v_{c1} \cdot \left(\frac{T_{OK}}{T_1} \right)^{\frac{1}{k}}$$

siehe Aufgabe 2

Zerspankräfte und Leistungen

6.28

Zerspankraft ist die vektorielle Summe von

- Schnittkraft F_c
- Vorschubkraft F_f
- Passivkraft F_p

$$F_c = b \cdot h \cdot K_C$$

K_C = spezifische Schnittkraft um einen Spanungsquerschnitt von 1 mm² abzuspannen.

K_C ist abhängig von:

- Werkstoff
- Schnittgeschwindigkeit
- Werkzeugwinkel (Spanwinkel)
- Spanungsdicke

$$F_c = b \cdot h^{1-m_C} \cdot K_{C1.1}$$

$K_{C1.1}$ = Hauptwert der spezifischen Schnittkraft ($b=1\text{mm}$, $h=1\text{mm}$)

$1 - m_C$ = Anstiegswert der spez. Schnittkraft

$K_{C1.1}$, m_C sind Konstanten für:

- bestimmte Werkstoff – Schneidkombinationen
- bestimmte Werkzeugwinkel
- bestimmten Schnittgeschwindigkeitsbereich
- bestimmten Verschleißzustand

Einfluss von Spanwinkel γ auf $K_{C1.1}$:

Je ° Zunahme des Spanwinkels fällt $K_{C1.1}$ um ca. 1,5 %.

Schnittkraftberechnung wichtige Formeln

siehe Aufgabe 3

$$b = \frac{a_p}{\sin \chi}$$

$$h = f \cdot \sin \chi$$

$$P = F_c \cdot v_c$$

$$v_f = n \cdot f = \frac{v_c}{\pi \cdot d} \cdot f$$

$$t_h = \frac{l}{f}$$

Rauhtiefe in Abhängigkeit des Vorschubes

$$f = \sqrt{8 \cdot R_a \cdot r_e}$$

Randbedingungen zur Bestimmung von Schnittwerten

6.29

- verfügbare Spindelantriebsleistung
- Vorschubkräfte
- Werkstückstabilität (Passivkräfte, Spannmöglichkeiten)
- Schneidstoff
- mechanische Eigenschaften
- geforderte Oberflächengüte

Fertigungszeitberechnung beim Längs- und Plandrehen

6.31

siehe Aufgabe 4

Längsdrehen

$$t_h = \frac{l_f}{v_f} = \frac{l_f}{f \cdot n}$$

$$t_\chi = \frac{l_\chi}{v_f} = \frac{a_p}{\tan(\chi) \cdot v_f}$$

Plandrehen

$n = \text{const.}$

$$t_h = \frac{l_f}{v_f} = \frac{r_a - r_i}{f \cdot n}$$

$v_c = \text{const.}$

$$t_h = \frac{\pi}{f \cdot v_c} \cdot (r_a^2 - r_i^2)$$

Gewindewirbeln

6.31, 6.32

- hohe Zerspanleistung (Messerkopf mit mehreren Schneiden einsetzbar)
- gute Spanabfuhr (unterbrochener Schnitt)
- gute Oberfläche (hohe v_c)
- hochwertige Gewinde ohne Schleifvorgänge

Fräsen

Verfahrensmerkmale

- vielschneidige Werkzeuge mit geometrisch bestimmten Schneiden
- rotierende Hauptbewegung
- Erzeugung von ebenen Flächen und Freiformflächen
- unterbrochener Schnitt
- ungleichmäßige Spanungsdicke

Stirnfräsen

6.35

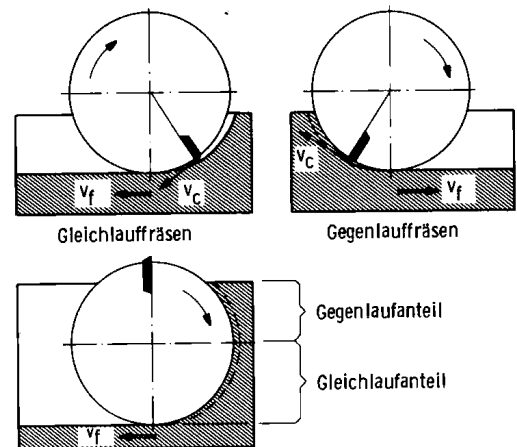
- Oberfläche von Nebenschneide erzeugt
- Fräserachse senkrecht zur Oberfläche

Umfangsräsen

- Oberfläche wird mit Hauptschneide erzeugt
- Fräserachse steht parallel zur erzeugten Oberfläche

Gegenlaufräsen

- Schnitteintritt bei Spanungsdicke D
- schlechte Spanbildung im Anschnittbereich bis eine Mindestspanndicke erreicht ist
- hoher Schneidenschleiß
- labile Werkstücke neigen zum Abheben (Ratterneigung)
- günstig bei der Bearb. von Werkstücken mit harter Gusschutt
- geringe Anforderungen an die Steifigkeit der Vorschubantriebe

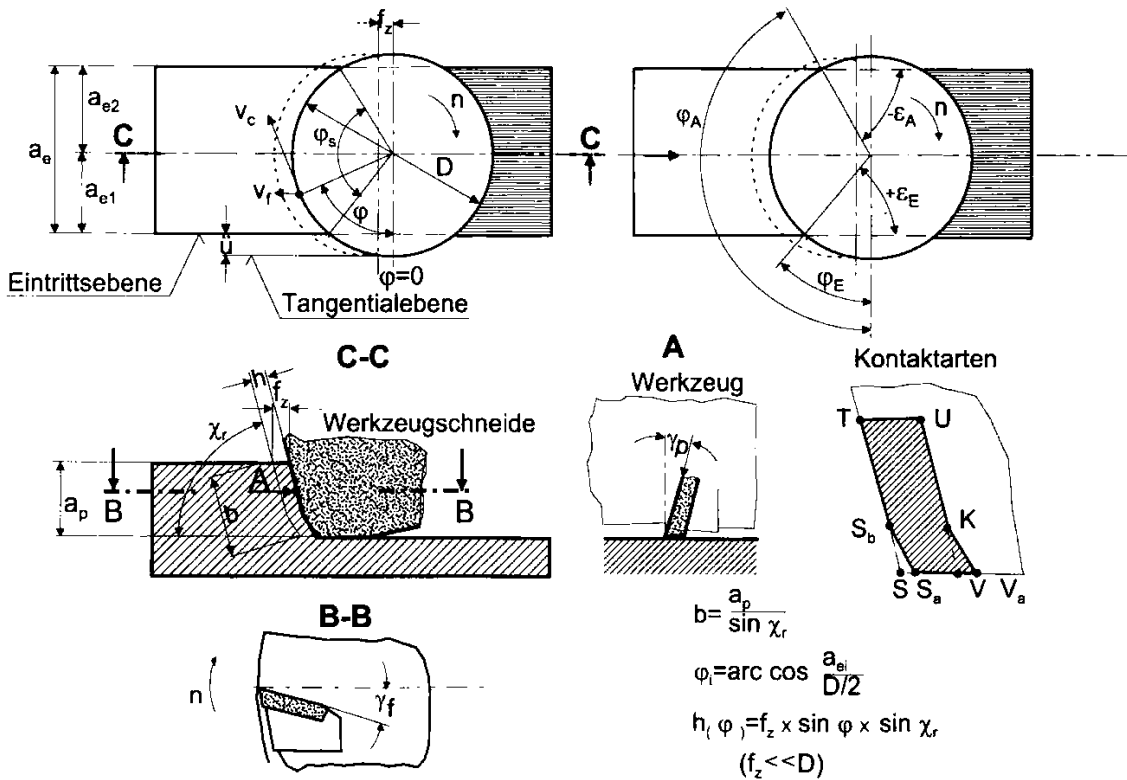


Gleichlaufräsen

- Schneideneintritt bei maximaler Spanungsdicke
- steife spielfreie Vorschubantriebe notwendig
- geringerer Verschleiß

Eingriffsverhältnisse beim Fräsen; Spanungsdicke beim Fräsen

6.36



Schnittkräfte und Leistungen beim Fräsen

siehe Aufgabe 5

Schnittkraft- und Schnittleistungsberechnung über die Mittenspannungsdicke

$$F_{cm,ges} = \frac{Z}{2 \cdot \pi} \cdot b \cdot f_z \cdot \sin \chi \cdot (\cos \varphi_1 - \cos \varphi_2) \cdot k_c(h_m)$$

$$h_m = \frac{180}{\pi \cdot \varphi_e} \cdot f_z \cdot \sin \chi \cdot (\cos \varphi_1 - \cos \varphi_2)$$

$$k_c(h_m) = k_{c1.1} \cdot h_m^{-m_c}$$

$$P = F_{cm,ges} \cdot v_c$$

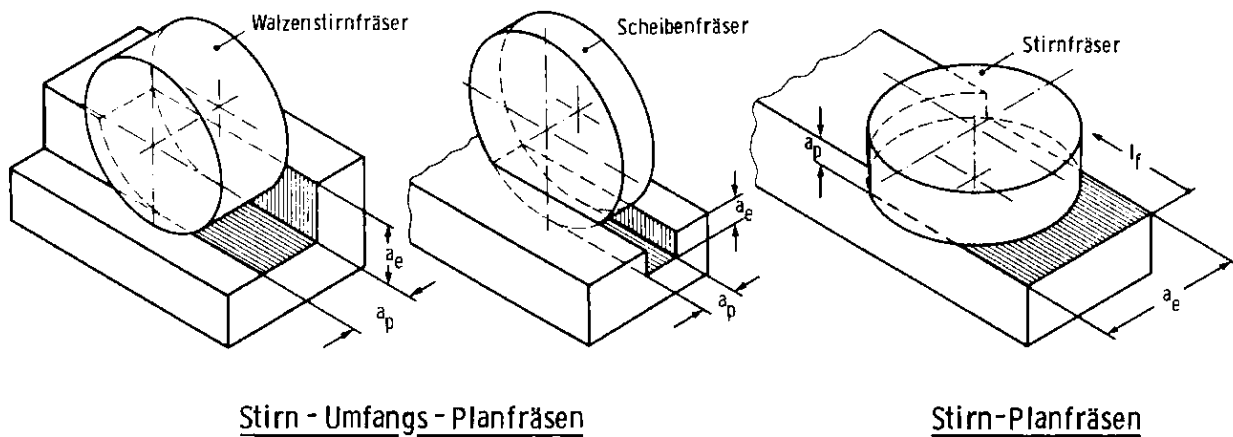
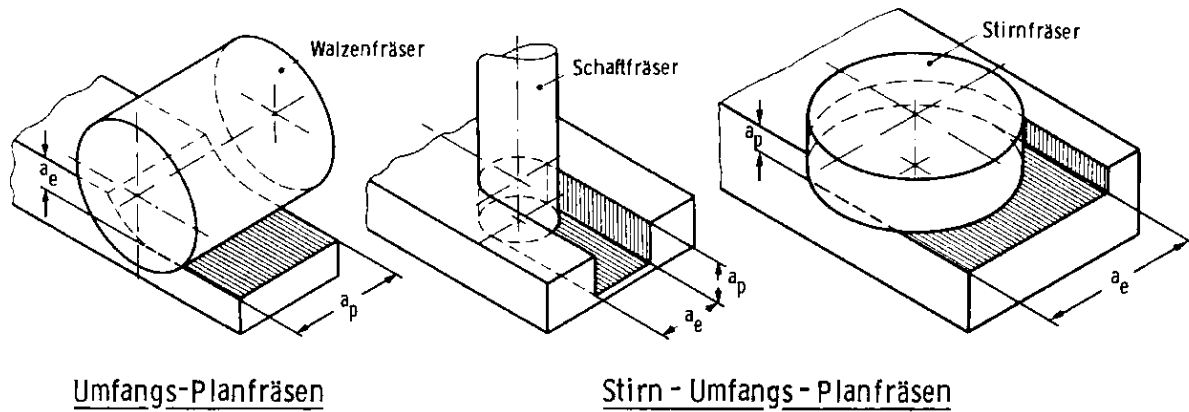
siehe Aufgabe Nr. 6

Sonderfall Umfangsfräsen

$$\varphi_1 = 0^\circ \Rightarrow \cos \varphi_1 = 1$$

$$\varphi_2 = \varphi_e$$

$$\cos \varphi_2 = \frac{\frac{D}{2} - a_e}{\frac{D}{2}}$$



Kontaktarten beim Fräsen

6.37

S – Kontakt

- weiche, zähe Werkstoffe
- Schneidstoffe hoher Biegefestigkeit

U – Kontakt

- harte, spröde Werkstoffe
- Schneidstoffe hoher Druckfestigkeit

Fräsen mit Sturz

$$\delta = 0,1^\circ - 0,5^\circ$$

$$\tan \delta = \frac{f}{y} \quad y = r - x \quad x = \sqrt{r^2 - \left(\frac{a_e}{2}\right)^2}$$

$$f = \frac{\tan \delta}{2} \cdot (D - \sqrt{D^2 - a_e^2})$$

Breitschichtfräsen

6.38

- ebene Oberfläche
- hohe Oberflächengüte
- Fräser mit mehreren Schneiden, von denen eine Schneide axial vorsteht und eine breite Nebenschneide aufweist
- Nebenschneidenlänge > z · fz

Gewindefräsen

- ähnlich Gewindewirbeln
- kann auf BAZ durchgeführt werden

Bewegungsarten:

- Rotationsbewegung des Fräasers; v_C hoch
- Zirkularbewegung der Fräsermittelpunktsbahn
- Zustellbewegung zur Realisierung der Gewindesteigung

Drehfräsen

6.39

- schnelle Fräserumdrehung
- geringe Werkstückdrehzahl
- hoher Vorschub des Fräasers pro Werkstückumdrehung
- hohe Zerspanleistung
- sicherer Spanbruch
- geeignet um unwuchtige Teile zu bearbeiten

Wälzfräsen – Zahnradherstellung

6.40, 6.41

Kinematik:

- starre Kopplung zwischen Drehbewegung des Wälzfräasers und der Rotation des Werkrades
- Achse des Wälzfräasers muss bei Geradverzahnungen um den Schneckensteigungswinkel eingeschwenkt werden
- Axialvorschub parallel zur Werkstückachse
- Shiften (Versetzen des Fräasers) um gleichmäßigen Verschleiß und optimale Ausnutzung des Fräasers zu erreichen

Bohren

Besonderheiten der Bohrbearbeitung:

- auf Null abfallende Schnittgeschwindigkeit in der Bohrmitte
- schwieriger Transport der Späne aus der Bohrung
- Reibung der Führungsphasen an der Bohrungswand

Bohren mit Wendelbohrern

6.43, 6.44

Wichtige Werkzeugwinkel:

$$\alpha > \eta = \arctan\left(\frac{2 \cdot f_z}{\pi \cdot D}\right)$$

Spanwinkel γ

- nimmt von außen nach innen ab
- schlechte Zerspanbedingungen an der Querschneide
- negative γ bis -50°
- geringe Schnittgeschwindigkeit an der Querschneide

Spitzenwinkel σ

6.45

Großer Spitzenwinkel:

- neigt zum Bohrergeradeverlauf
- Bohrungen werden zu groß
- Gute Spanabfuhr

Kleine Spitzenwinkel

- gute Zentriereigenschaften
- gute Maßgenauigkeit
- große Reibung an Bohrungswand

übliche Spitzenwinkel ca. 120°

Bohrer mit innerer Kühlschmiermittelzufuhr

- KSM kühlt und schmiert Bohrer Spitze
- schwämmt Späne durch Spannuten nach außen
- Druckbereich des KSM ca. 20-60bar
- Durchflussmenge 8-25 l/min ($\varnothing 10 - 25\text{mm}$)

Schnittkraftberechnung beim Bohren

6.46

$$F_c = b \cdot h^{1-m_c} \cdot k_{c1.1}$$

$$b = \frac{a_p}{\sin \chi} = \frac{D-d}{2 \cdot \sin \frac{\sigma}{2}} \quad \chi = \frac{\sigma}{2}$$

$$h = f_z \cdot \sin \chi = f_z \cdot \sin \frac{\sigma}{2} = \frac{f}{2} \cdot \sin \frac{\sigma}{2}$$

$$F_c = \frac{D-d}{2 \cdot \sin \frac{\sigma}{2}} \cdot \left(\frac{f}{2} \cdot \sin \frac{\sigma}{2} \right)^{1-m_c} \cdot k_{c1.1} = \text{Schnittkraft für eine Schneide}$$

$$M_d = F_c \cdot 2 \cdot \frac{D+d}{4}$$

$$P = M_d \cdot \omega = 2 \cdot \pi \cdot n \cdot M_d$$

Tieflochbohrer

6.47, 6.48, 6.49

Einlippenbohrer

- KSM-Zufuhr durch den Schaft
- Abfuhr der Späne in der V-förmigen Aussparung am Umfang
- Durchmesserbereich 1 – 40mm
- exakte Anbohrführung erforderlich
- Führungsleisten führen den Bohrkopf und glätten die Bohrungswand
- KSM-Druck ca. 120bar

BTA-Verfahren

- gute Oberflächen an Bohrungswand
- problematisch ist die Zuführung des KSM und Späneabfuhr durch die Spindel

Ejektorverfahren

- doppelwandige Bohrröhre
- KSM-Druck 5-15bar
- Durchmesserbereich

Räumen

- spanendes Fertigungsverfahren zur Verbesserung von Form, Maß, Lage, Oberfläche
- Werkzeug mehrschneidig, aber nicht alle Schneiden gleichzeitig im Eingriff
- Hauptbewegung meist geradlinig
- Vorschub im Werkzeug eingebaut
- Komplettbearbeitung in einem Hub
- hohe Mengenleistung trotz geringer Spanungsdicke, jedoch große Spanungsbreite + mehrere Schneiden im Eingriff
- gute Oberflächen $R=6\mu\text{m}$
- Toleranzklasse IT7
- teure Werkzeuge
- Werkzeuge in der Regel nur für eine bestimmte Bauteilgeometrie
- Verfahren der Großserie
- Schnittgeschwindigkeiten 1 – 30 m/min

3 – Zonen des Räumwerkzeuges

- Schrappzahnung
- Schlichtzahnung
- Kalibrierungszahnung

Spanvolumen

6.51

$$V_{sp} = b \cdot h \cdot l \cdot R \quad h = f_z \quad R = \text{Spanraumzahl} = \frac{\text{Schüttvolumen}}{\text{Zerspannvolumen}}$$

$$V = \frac{1}{2} \cdot (t - e) \cdot c \cdot b \quad V_{sp} < V$$

$$\Rightarrow t > \sqrt{\frac{h \cdot l \cdot R \cdot 2}{\frac{c}{t} \cdot \left(1 - \frac{e}{t}\right)}} \quad \text{mit} \quad \frac{c}{t} = 0,36 \quad \frac{e}{t} = 0,32 \Rightarrow t > 3 \cdot \sqrt{h \cdot l \cdot R}$$

Staffelungsarten beim Räumen

Staffelung gibt an, in welcher Richtung der Vorschub am Bauteil wirksam wird.

Tiefenstaffelung

- Vorschubrichtung senkrecht zur Werkstückoberfläche
- Spanungsdickenbereich $h=0,005 - 0,1 \text{ mm}$

Vorteile:

- große Spanungsbreite
- große Spanungsquerschnitte
- kurze Werkzeuge
- einfacher Nachschliff

Nachteile:

- bei Guss- und Schmiedehaut großer Verschleiß der ersten Schneiden
- große Schnittkräfte
 h klein \rightarrow großes k_c
 b groß $\rightarrow F_c$ groß

Seitenstaffelung

Vorteile:

- harte Guss-Schneidenhäute werden unterschritten

Nachteil:

- Werkzeuge bauen lang da große Anzahl von Schneiden benötigt werden

Außenräumen

6.53

- ebene, profilierte Außenkonturen (Gabelschlüssel, Bremssättel)
- Werkzeuge nachstellbar (Keillusten, Unterlegen des Werkzeuges)
- Hohe Abdrängkräfte $F_f \sim 0,5 F_c$

Innenräumen

- zylindrische, profilierte Bohrungen
- Innenverzahnung in einem Räumhub

Zerspankraft beim Räumen

siehe Aufgabe 7

$$F_c = b \cdot h^{1-m_c} \cdot k_{c1.1} \cdot z_{ie}$$

$$z_{ie} = \frac{l}{t} = \frac{\text{Bohrungslänge}}{\text{Teilung}}$$

Varianten des Räumens

Tubusräumen

Kettenräumen

- umlaufende Kette mit Spannvorrichtung für Werkstücke
- kein Leerhub
- hohe Produktivität
- gut automatisierbar
- Massenartikel, Pleuel, Bremssättel

Schleifen

6.54, 6.55

Verfahren mit geometrisch unbestimmten Schneiden

Ziel des Schleifens:

Verbesserung von Form, Maß, Lage, Oberflächengüte

Aufbau der Schleifwerkzeuge:

- Schleifkorn = Werkzeugbaustoff
- Bindung = Halter für Körner

Anforderung an Schleifkorn:

- hohe Härte
- thermische Beständigkeit
- chemische Beständigkeit

Natürliche Schleifkörper

- Granate
- Quarze
- Schmirgel
- Korund
- Diamant

Künstliche Schleifmittel

- Elektrokorund
- Siliziumkarbid
- Synthetische Diamanten

Eigenschaften und Einsatzfälle

Korunde:

- relativ hohe Zähigkeit
- eingesetzt bei Schleifen von Stahl (gehärtet, vergütet)

Siliziumkarbid:

- höhere Härte, geringere Zähigkeit
- Grauguss, Hartmetall, Glas, Keramik

Diamanteinsatz beim Schleifen von:

- Keramik
- Glas
- Hartmetall
- keine Eisenwerkstoffe
- hohe Zerspanleistung bei geringstem Verschleiß
- geringe Werkstücktoleranzen
- gute Wärmeleitung führt zu geringen Temperaturen an der Werkstückoberfläche

Bindungsarten

Aufgabe der Bindung

- Festhalten der Schleifkörper bis sie abgestumpft sind
- Bereitstellung eines ausreichenden Spanraumes

Anorganische Bindungen

Keramische Bindungen

- häufigste Bindungsart
- hohe Porosität
- spröde und stoßempfindlich
- temperaturbeständig
- dynamisch beständig gegen Öle und H₂O

Mineralische Bindungen

Silikatbindungen

- offene Gefüge
- „weiche“ Schleifscheiben
- großer Porengehalt führt zu kühlem Schliff (weil großer Spanraum)

Metallische Bindungen

- eingesetzt bei Diamantschleifscheiben
- Diamantkörner werden in alle Oberflächen eines metallischen Grundkörpers eingewalzt und durch Sintern fixiert

Galvanische Bindungen

- Diamantschleifscheiben
- Einwalzen der Körner
- Fixieren durch Ni-Abscheidung aus galvanischem Bad

Organische Bindungen

- Kunstharzbindung
- Hohe Elastizität + Festigkeit
 - Umfangsgeschwindigkeit bis 80 m/s
 - gewebeverstärkt bis 120 m/s

Schleifen harter Werkstoffe mit weichen Scheiben

- verschlissene Körner brechen leichter aus
- Selbstschärfeeffekt

Kühlschmiermittel beim Schleifen

6.56

Aufgabe:

Reibung reduzieren zwischen:

- Schleifkorn und Werkstück
- Bindung und Werkstück

Durch Bildung eines Schmierfilms:

- Kühlung von Werkstück- und Werkzeugoberfläche
- Reinigung und Benetzung der Schleifscheibe
- Korrosionsschutz von Werkstück + Maschine

Abrichten von Schleifscheiben

6.58, 6.59

- verschlissene Körner aus der Bindung herausbrechen
- Späne die sich in den Poren festgesetzt haben lösen
- Formgebung der Scheibe

Profilieren von Diamantschleifscheiben (Crushieren)

- kein Schneiden des Korns möglich
- gezieltes Auflösen der Bindung so, dass profilfälschende Körner freigesetzt werden

Zerspanvolumen

$$V_w = \pi \cdot d_w \cdot \frac{\Delta d}{2} \cdot b_d$$

 b_d = SchleifscheibenbreiteZeitspanvolumen

$$Q_w = \frac{dV_w}{dt} = \frac{\pi \cdot d_w \cdot \Delta d \cdot b_d}{t_c \cdot 2}$$

Bezogenes Zeitspanvolumen

$$Q'_W = \frac{Q_W}{b_d}$$

Einfluss der Schnittgeschwindigkeit auf den Schleifprozess

6.60, 6.61

- steigende Schnittgeschwindigkeit und abnehmendes Zeitspanvolumen verbessern die Oberfläche
- Schleifscheibenverschleiß nimmt mit zunehmender Schnittgeschwindigkeit ab

Flachschleifen

Flächenschleifen

Schnittbedingungen:

$$v_c = \text{ca. } 80 \text{ m/s}$$

$$v_f = \text{ca. } 10 - 30 \text{ m/min}$$

$$b_d/a_p = 1,2 - 1,5 \text{ Vorschleifen}$$

$$b_d/a_p = 4 - 8 \text{ Fertigschleifen}$$

Zustellung der Schleifscheibe

$$a_e = 0,02 - 0,1 \text{ Vorschleifen}$$

$$a_e = 0,002 - 0,01 \text{ Fertigschleifen}$$

Umfangsschleifen

- geschlossene Oberflächen
- geringe Kontaktfläche zwischen Schleifscheibe und Werkstück
- gute Spanabfuhr

Stirnschleifen

- geringe Zerspankraftschwankungen auch bei offenen Querschnitten
- lange Eingriffsdauer
- hohe Temperaturen in der Kontaktzone (Brenngefahr)

Durchgangsschleifen

Einstechschleifen

$$v_f \text{ hoch, ca. } 10 - 30 \text{ m/min}$$

$$a_e \text{ gering ca. } 0,1 \text{ mm}$$

Kontaktlänge gering

Schnittkräfte gering

Tiefschleifen

6.65

- v_f gering 10 – 50 m/min
- a_e groß bis 15mm
- große Kontaktlänge
- hohe Schnittkräfte, hoher Leistungsbedarf

Bandschleifen

Rundschleifen

6.64

Rotation von Schleifscheibe und Werkstück

$$\text{Geschwindigkeitsverhältnis } v_s/v_w = 60$$

Schrägeinstechschleifen

6.65, 6.66

- geringer Schaltverschleiß
- kürzere Taktzeiten

Spitzenloses Schleifen

6.68

$$v_{\text{Durchlauf}} = \pi \cdot d_r \cdot n_r \cdot \sin \alpha$$

Einsparung von Spannzeiten

Massenartikelfertigung

- Kugellagerringe
- Ventilführungen
- Stoßdämpferstangen

Längsvorschub durch Neigung der Regelscheibe

Hohe Genauigkeit, da Zustellung der Schleifscheibe der Durchmesserabnahme entspricht

Innenrundscheifen

Große Kontaktlänge

Ungünstiger Spänetransport

Schlechte Kühlung

- Scheiben offener Struktur notwendig
- Scheiben geringer Härte

Nur relativ geringe Schnittgeschwindigkeiten möglich

Lange Ausfeuerzeiten

Geringe Wirtschaftlichkeit

CD-Scheifen

6.69

Schleifen mit kontinuierlichem Abrichten

Honen

Verbesserung von Form, Maß und Oberflächengüte

- geringe Schnittgeschwindigkeiten ca. 0,5 m/s
- kleinste Spanabnahme
- geringe Wärmeeinbringung
- geringe Rauhtiefe

Langhubhonen

- großer Hub, geringe Hubfrequenz

Kurzhubhonen

- Amplituden 1 – 8 mm
- Anpressdruck 1 – 10 bar
- Frequenzen 20 – 100 Herz
- geringer Hub, hohe Frequenz

Verfahrensmerkmale

- Werkzeug ist nicht an ein bestimmtes Bohrungsmaß gebunden
- Werkzeug ist über kardanische Lagerung mit der Maschinenspindel verbunden
- Große Kontaktflächen (ca. 1000·A_{Schleifen})
- Anpressdrücke 5 – 20 bar

Ziele des Honens

Oberflächenverbesserung

6.72, 6.73, 6.74

- glätten der Riefen durch Abtragen und Umformen
- Profile mit definiertem Traganteil herstellbar

- Formverbesserung
- Großer Honsteinüberlauf führt zu:
- Aufweitung der Bohrungsenden
 - Materialmehrabtrag durch steigende Flächenpressung
- Geringer Honsteinüberlauf
- Verjüngung der Bohrungsenden
 - Wirksame Leistenlänge reduziert sich

Erodieren

Abtragsprinzip beim Erodieren

5.31, 5.32, 5.33

- Werkstück + Werkzeug in Dielektrikum; als Kathode bzw. Anode geschaltet
- Stromfluss beginnt bei Erreichen der Durchschlagsspannung
 - negative Ionen zur Anode
 - positive Ionen zur Kathode
- Stromfluss zum Plasmakanal
- Temperaturen im Plasmakanal führen zu lokalem Aufschmelzen und Verdampfen der Werkstückoberfläche
- Abschalten des Stromes führt zum Zusammenbruch der Gasblase und Schmelze wird aus dem Krater herausgeschleudert

Senkerodieren ist ein abbildendes Formgebungsverfahren, bei dem sich die Werkzeugelektrode in der Werkstückelektrode abbildet.

Prozessparameter beim Erodieren

t_p = Periodendauer $U=60...300V$ $I=1...500A$

W_v = bis 3000 mm³/min

t_i = Impulsdauer

t_0 = Pausendauer

$t_i/t_p=T$ Tastverhältnis

Erodierspalt 0,5 mm - 0,5 mm

Relativer Verschleiß

$$g = \frac{V_{Wkz}}{V_{Wst}}$$

Folgen des Erodierprozesses

- Gefügeänderungen in den Randzonen
- Mikrorissbildung (HM)
- Ausbildung von Zugeigenspannungen

Erreichbare Oberflächengüten:

R_a ca. 0,4 – 20 μm

Vorschub beim Senkerodieren

Vorschubsystem muss Elektrode so nachführen, dass trotz

- Werkstückabtrag
- Elektrodenverschleiß

Kein Kurzschluss, keine Fehlentladung, keine Leerlaufimpulse entstehen

→kein konstanter Vorschub möglich

Aufgabe des Dielektrikums

- Entfernen der Abtragspartikel
- Kühlung der Bearbeitungsstelle

- Isolation zwischen Werkstück und Werkzeug
- Ionisation des Arbeitspaltes

Dielektrika

Kohlenwasserstoffe

Nachteile:

- entflammbar
- gesundheitsschädliche Dämpfe können entstehen
- problematische Entsorgung

Vorteile:

- keine Korrosion
- hohe Abtragsrate
- geringer Verschleiß

deionisiertes H₂O

Nachteil:

- Korrosionsgefahr an Maschine und Werkstück

Vorteil:

- nicht brennbar
- einfach entsorgbar

Fertigung mit einer Elektrode

- teure Elektroden
- ein Arbeitsvorgang
- lange Fertigungszeit
- hohe Verschleißrippen

Fertigung mit mehreren Elektroden

- Elektrodenwechsel
- Kurze Fertigungszeit
- Geringer Verschleiß an Rippenelektroden

Planetärerodieren

5.34, 5.37

Formelsammlung FV2

$$v_c \cdot T^{-\frac{1}{k}} = C$$

$$T = T_{oK} = (-1-k) \cdot \left(t_w + \frac{K_{WT}}{K_{ML}} \right)$$

$$F_c = b \cdot h^{1-m_c} \cdot k_{c1.1}$$

$$h_m = \frac{180^\circ}{\pi \cdot \varphi_e} \cdot f_z \cdot \sin \kappa \cdot (\cos \varphi_1 - \cos \varphi_2)$$

$$K_F = K_{ML} \cdot \left(\frac{l_c}{C \cdot T^{\frac{1}{k}}} + t_n + t_v \right) + \frac{(t_w \cdot K_{ML} + K_{WT}) \cdot l_c}{C \cdot T^{1+\frac{1}{k}}}$$

$$t = 3 \cdot \sqrt{h \cdot l \cdot R}$$