

Grundlagen Zerspanung

1.1 Werkstoffe

1.1.1 Stähle

Stahlwerkstoffe werden nach ihren Legierungselementen, ihren Gefügebestandteilen und ihren mechanischen Eigenschaften in Gruppen eingeteilt.

Nach dem Legierungsgehalt wird unterschieden in:

- unlegierte Stähle (bei höherem Kohlenstoffanteil für Wärmebehandlung geeignet)
- niedriglegierte Stähle (mit bis zu 5% Legierungsbestandteilen)
- hochlegierte Stähle (mit mehr als 5% Legierungsbestandteilen)

Nach der Verwendung wird unterschieden in:

- Automatenstähle (gut zerspanbar mit Schwefelanteil)
- Einsatzstähle (mit bis zu 0,4%C)
- Vergütungsstähle (mit 0,3-0,8%C)
- Werkzeugstähle (härtbar mit 0,8 bis 2%C)
- Nichtrostende und säurebeständige Stähle (hochlegiert)

Zerspanbarkeit in Abhängigkeit vom Kohlenstoffgehalt

Untereutektoide Stähle (C-Anteil kleiner 0,83%) bestehen aus einer Mischung von Ferrit und Perlit.

Mit steigendem C-Gehalt nimmt dabei der Perlit Anteil linear zu. Eine gute Zerspanbarkeit weisen Kohlenstoffstähle bei einem C-Anteil von etwa 0,3% auf.

Eigenschaften des Ferrits:

- Neigung zum Verkleben mit dem Werkzeug, Aufbauschneidenbildung
- Bildung von unerwünschten Band- und Wirrspänen (hohe Verformungsfähigkeit)
- Schlechte Oberflächengüte und Gratbildung an den Werkstücken
- Zerspankräfte und Werkzeugverschleiß gering

Eigenschaften des Perlits:

- Starker abrasiver Verschleiß an der Werkzeugschneide, höhere Schneidentemperatur
- Höhere Zerspanungskräfte
- Gute Spanbildung



Bild 1
Gefüge aus Ferrit und Perlit

Zerspanbarkeit in Abhängigkeit der Legierungselemente

- Chrom, Molybdän, Nickel, Titan und Vanadium

Diese verbreiteten Legierungselemente erhöhen die Festigkeit und oft auch die Härte des Stahls. Die Zerspanbarkeit verschlechtert sich. Die Zerspankräfte steigen und die Standzeit der eingesetzten Werkzeuge wird reduziert.

- Schwefel und Phosphor

Geringe Gehalte begünstigen den Zerspanvorgang durch kurzbrüchige Späne. Andererseits leidet die Festigkeit des Werkstoffes unter der Beimengung dieser Elemente.

- Mangan

Begünstigt bei Stählen mit niedrigem Kohlenstoffanteil die Spanbildung und damit die Zerspanbarkeit. Bei höherem C-Anteil wird die Zerspannung durch steigende Festigkeit und höheren Werkzeugverschleiß negativ beeinflusst.

1.1.2. Eisengusswerkstoffe

Die Graphiteinlagerungen im Eisengusswerkstoff reduzieren zum einen die Reibung zwischen Werkzeug und Werkstoff und unterbrechen zum anderen das metallische Grundgefüge. Dies führt zu einer im Vergleich zu Stahl günstigeren Zerspanbarkeit, die sich durch kurzbrüchige Späne, niedrige Zerspankräfte und höhere Werkzeugstandzeiten auszeichnet.

- Grauguß

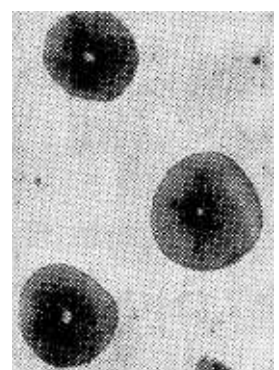
Die Graphitlamellen im stahlähnlichen Grundgefüge führen beim Zerspanvorgang zu einer Reißspanbildung. Es entstehen kurzbrüchige Späne bei niedrigen Zerspankräften. An den Werkstückkanten können Ausbrüche entstehen.

- Temperguß

Die gute plastische Verformbarkeit bewirkt die Entstehung von unerwünschten Fließspänen. Die Temperkohle und im Gefüge eingelagerte Mangansulfide bewirken jedoch eine Verbesserung des Spanbruchs. Die Werkzeugschneide wird aufgrund des hohen Zementitanteils im Gefüge stark beansprucht.

- Kugelgraphitguß

Das Gefüge besteht zum überwiegenden Teil aus gut zerspanbarem Ferrit. Die austretenden Wendespäne sind jedoch wegen der Graphiteinlagerungen leicht brüchig. Ein Problem kann der Freiflächenverschleiß werden, da die Späne zu einer Plastifizierung zwischen Freifläche und Werkstück neigen.



1.1.3. Aluminium

- Zu den wichtigsten Legierungselementen zählen Silizium, Magnesium, Zink, Kupfer und Mangan
- Steigender Siliziumgehalt erhöht die Schnittkräfte, verbessert aber andererseits die Spanbrüchigkeit
- Die Spanform ist wegen des verhältnismäßig großen möglichen Spanvolumens ein wichtiges Kriterium
- Die auftretenden Schnittkräfte liegen verglichen mit Stahl geringerer Festigkeit bei ca.30%.
- Die entscheidende Verschleißgröße ist der Freiflächenverschleiß
- Die Trockenzerspannung ist nicht unproblematisch, da Aluminiumspäne leicht in den Spannuten der Fräser oder Bohrer haften bleiben und diese zusetzen.
- Bedingt durch geringere Schnittkräfte und ein höheres Spanvolumen, haben Werkzeuge für die Aluminiumbearbeitung veränderte Winkel an der Werkzeugschneide, einen reduzierten Werkzeugquerschnitt und tiefere Spannuten.

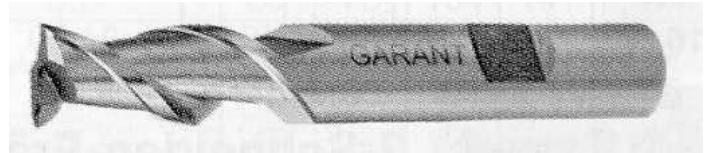


Bild 3

Schafffräser für Aluminium und Stahlbearbeitung

1.2. Zerspanwerkzeuge mit geometrisch bestimmter Schneide

- Werkzeugschneiden sind keilförmig ausgebildet.
- Sie bestehen aus einem harten, verschleißfesten und ausreichend zähen Werkstoff
- Die Hauptschneide des Schneidkeils weist in Vorschubrichtung und leistet den Großteil der Trennarbeit
- Schneiden, die nicht in Vorschubrichtung zeigen werden als Nebenschneiden bezeichnet
- Die Spanfläche ist die Fläche am Schneidkeil, auf der der Span abläuft
- Die Fläche am Schneidkeil, die der entstehenden Werkstückoberfläche gegenüber liegt, nennt man Freifläche

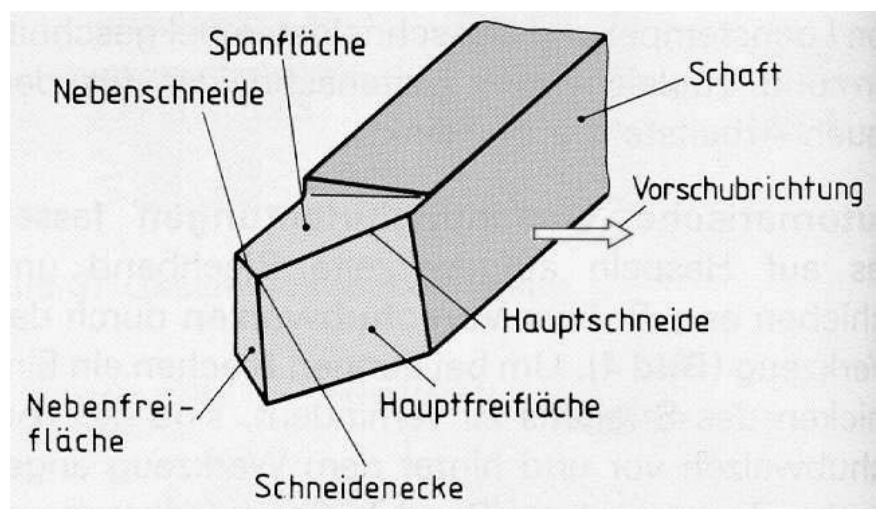


Bild 4

Flächen am Schneidkeil

1.2.1 Winkel am Schneidkeil

- Beim Schnitt durch das Werkzeug unterscheidet man zwischen Freiwinkel α , Keilwinkel β und Spanwinkel γ
- Die Summe aus Frei-, Keil- und Spanwinkel ergibt immer 90°
- Sind Frei- und Keilwinkel zusammen größer als 90° , spricht man vom negativen Spanwinkel
- Der Freiwinkel α verhindert eine zu starke Reibung zwischen Werkzeug und Werkstück
- Freiwinkel werden in der Regel $8-11^\circ$ groß gewählt
- Als Keilwinkel β wird der Winkel des eindringenden Schneidkeils bezeichnet
- Der Spanwinkel γ ist der Winkel zwischen der Spanfläche und einer zur Bearbeitungsfläche senkrecht gedachten Linie

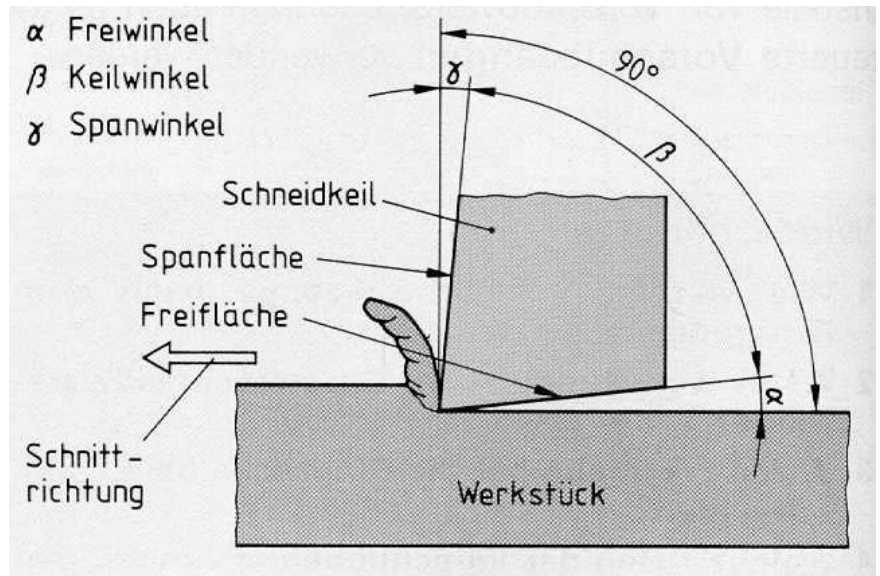


Bild 5
 Winkel am Schneidkeil

1.2.2 Winkel am Schneidkeil bei unterschiedlichen Werkstoffen

- Ein kleiner Keilwinkel erleichtert das Eindringen der Werkzeugschneide in den Werkstoff
- Ein großer Keilwinkel gewährleistet einen stabileren Schneidkeil und eine bessere Wärmeabfuhr
- Der Spanwinkel beeinflusst die Spanbildung, kleine Spanwinkel werden bei weichen Werkstoffen eingesetzt
- Bei der Zerspanung harter Werkstoffe mit spröden Schneidstoffen arbeitet man mit negativen Spanwinkeln

für weiche Werkstoffe z.B. Al und Al-Leg.	für mittelharte, feste Werkstoffe z.B. Stahl	für harte und spröde Werkstoffe z.B. Hartguß
großer Freiwinkel kleiner Keilwinkel großer Spanwinkel	mittlerer Freiwinkel großer Keilwinkel mittlerer Spanwinkel	kleiner Freiwinkel sehr großer Keilwinkel negativer Spanwinkel
<p>Beispiel: $\alpha = 12^\circ$ $\beta = 53^\circ$ $\gamma = 25^\circ$ $\alpha + \beta + \gamma = 12^\circ + 53^\circ + 25^\circ = 90^\circ$</p>	<p>Beispiel: $\alpha = 10^\circ$ $\beta = 70^\circ$ $\gamma = 10^\circ$ $\alpha + \beta + \gamma = 10^\circ + 70^\circ + 10^\circ = 90^\circ$</p>	<p>Beispiel: $\alpha = 8^\circ$ $\beta = 97^\circ$ $\gamma = -15^\circ$ $\alpha + \beta + \gamma = 8^\circ + 97^\circ + (-15^\circ) = 90^\circ$</p>

Bild 6
 Winkel am Schneidkeil bei unterschiedlichen Werkstoffen

1.2.3. Einstellwinkel κ , Vorschub und Passivkraft

- Der Einstellwinkel κ bezeichnet den Winkel zwischen der Werkzeugschneide und der Vorschubrichtung
- Die Vorschubkraft ist der Vorschubrichtung entgegengesetzt und im Vergleich zur Schnittkraft verhältnismäßig klein
- Bei einem Einstellwinkel kleiner 90° entsteht zusätzlich eine Passivkraft, die in Längsrichtung des Meißelschaftes wirkt
- Der Einstellwinkel und die Vorschubkraft beeinflussen Form und Größe des Spanquerschnitts

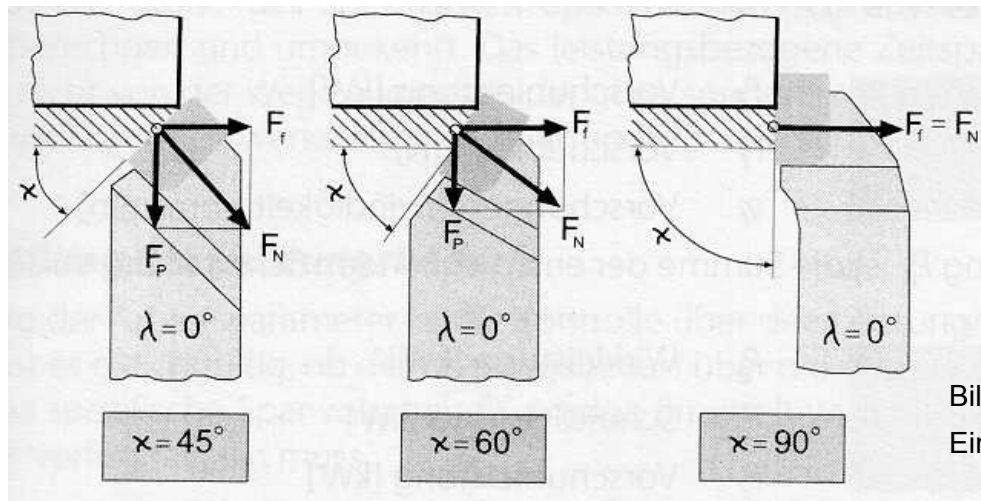


Bild 7
Einstellwinkel beim Drehen

1.2.4. Schnittkraft und spezifische Schnittkraft

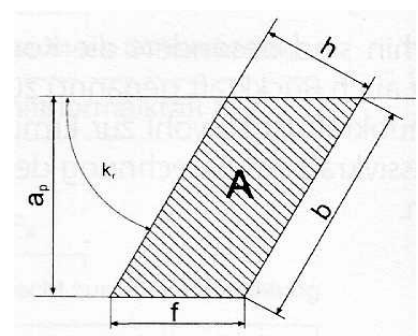
Die Schnittkraft F_c ist die bedeutendste Kraft bei der Zerspaltung und zusammen mit der Schnittgeschwindigkeit für die Berechnung der Antriebsleistung der Werkzeugmaschine ausschlaggebend.

Die Schnittkraft hängt in erster Linie vom Werkstoff und den Prozessbedingungen ab. Sie wird deshalb verfahrensspezifisch ermittelt.

Die spezifische Schnittkraft ist eine reine Rechengröße und abhängig vom zerspannten Werkstoff und der Spanungsdicke

Grundgleichung: $F_c = A \cdot k_c = b \cdot h \cdot k_c$

- F_c Schnittkraft
- A Spanungsquerschnitt [mm^2]
- k_c Spezifische Schnittkraft
- b Spanungsbreite
- h Spanungsdicke



Im Versuch ermittelte Werte für die spezifische Schnittkraft k_c

Werkstoff	Festigkeit [N/mm^2]	$h=0,1\text{mm}$	$h=0,5\text{mm}$	$h=2,5\text{mm}$
Baustahl St37	bis 500	2633	2003	1523
Automatenstahl	bis 850	1775	1350	1027
Vergütungsstahl CK 45	700 – 850	3064	2446	1953
Legierter Einsatzstahl 16MnCr5	bis 1000	3821	2515	1655
Grauguß GG20	bis 250	1814	1213	811
Kugelgrafitguß GGG40	bis 500	1787	1195	799
Aluminium AlMg3	bis 400	1325	821	632

Bild 8
Spanquerschnitt

1.2.4.1 Übungsaufgabe

Berechnen Sie die Schnittkraft und die Schnittgeschwindigkeit für den folgenden Anwendungsfall:

Gegeben:

Werkstückdurchmesser:	d=80mm	Zustelltiefe:	a=2mm
Spindeldrehzahl:	S=500 1/min	Einstellwinkel:	$\chi=45^\circ$
Vorschub pro Umdrehung:	f=0,2 mm/Umdr.	Werkstoff:	Automatenstahl

Schnittkraft:

$$h = f \cdot \sin \chi = 0,2 \text{ mm/Umdr.} \cdot \sin 45^\circ = 0,141 \text{ mm} \qquad b = a / \sin \chi = 2 \text{ mm} / \sin 45^\circ = 2,83 \text{ mm}$$

$$A = h \cdot b = 0,141 \text{ mm} \cdot 2,83 \text{ mm} = 3,99 \text{ mm}^2$$

$$F_c = A \cdot k_c = 3,99 \text{ mm}^2 \cdot 1700 \text{ N / mm}^2 = 6780 \text{ N} = 6,78 \text{ kN}$$

Schnittgeschwindigkeit:

$$V_c = \pi \cdot d \cdot n = \pi \cdot 0,08 \text{ m} \cdot 500 \text{ 1/min} = 40 \text{ m/min}$$

1.2.5. Spannungsgrößen beim Bohren

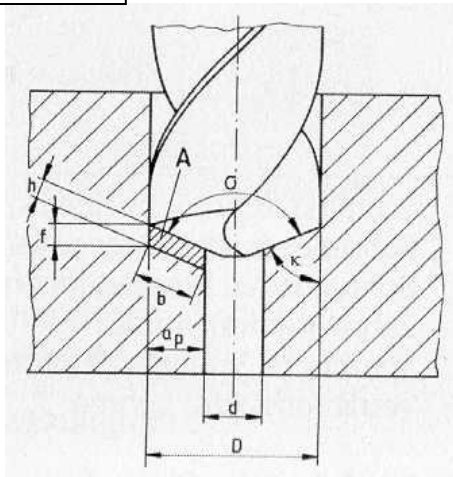
$$f_z = \frac{f}{Z}$$

$$b = \frac{a_p}{\sin \frac{\sigma}{2}}$$

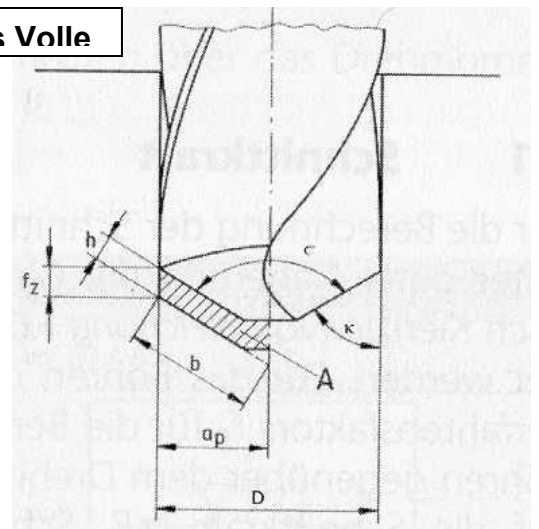
$$h = f_z \cdot \sin \frac{\sigma}{2} \Rightarrow A = f_z \cdot a_p$$

- | | | | |
|----------|-------------------------------|----------------|-------------------|
| f | Vorschub [mm / Umdr.] | a _p | Schnitttiefe [mm] |
| Z | Anzahl der Schneiden | h | Spannungsdicke |
| σ | Spitzenwinkel des Bohrers [°] | f _z | Vorschub pro Zahn |
| b | Spannungsbreite [mm] | | |

Aufbohren



Bohren ins Volle



$$a_p = \frac{d}{2}$$

$$f_z = \frac{f}{2}$$

\Rightarrow

$$A = \frac{(D-d) \cdot f_z}{2}$$

$$A = \frac{D \cdot f}{4}$$

1.2.5.1 Schnittkraft und spezifische Schnittkraft beim Bohren

Die spezifische Schnittkraft k_c wird in der Praxis ermittelt und berücksichtigt die verschiedenen Einflußfaktoren des Zerspanungsprozesses. Sie läßt sich näherungsweise auch auf das Bohren übertragen. Die veränderten Einflüsse werden mit der Einführung eines Verfahrensfaktors f_B berücksichtigt.

Bohren ins Volle

$$F_{CZ} = \frac{D}{2} \cdot f_z \cdot k_c \cdot f_B$$

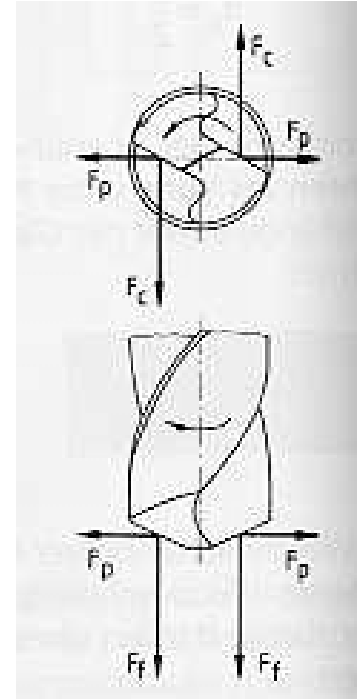
Aufbohren

$$F_{CZ} = \frac{(D-d)}{2} \cdot f_z \cdot k_c \cdot f_B$$

F_{CZ}	Schnittkraft pro Schneide [N]
D	Bohrungsdurchmesser [mm]
d	Bohrungsdurchmesser - Vorbohren [mm]
f_z	Vorschub pro Zahn
k_c	spezifische Schnittkraft [N/mm ²]
f_B	Verfahrensfaktor Bohren Bohren ins Volle $f_B = 1$ - Aufbohren $f_B = 0,95$

$$k_c = \frac{k_{c1.1}}{h^m}$$

$$h = f_z \cdot \sin(\sigma/2)$$



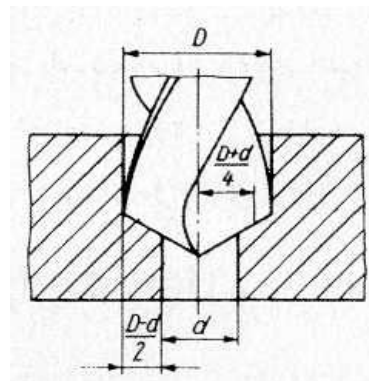
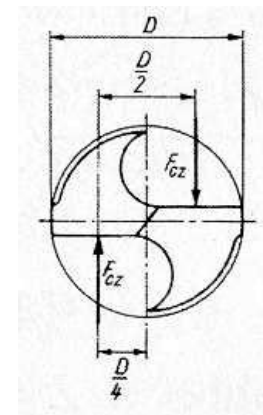
1.2.5.2 Drehmoment und Leistung beim Bohren

Bohren ins Volle

$$M = \frac{F_{CZ} \cdot Z \cdot \frac{D}{4}}{1000}$$

Aufbohren

$$M = \frac{F_{CZ} \cdot Z \cdot (D+d)}{4000}$$



F_{CZ}	Schnittkraft pro Schneide [N]
Z	Anzahl der Schneiden
D	Bohrungsdurchmesser [mm]
d	Bohrungsd. Vorbohren [mm]
M	Drehmoment [Nm]
P_C	Schnittleistung [kW]
P_a	Antriebsleistung [kW]
n	Drehzahl [1/min]
v_c	Schnittgeschwindigkeit [m/min]
η	Wirkungsgrad

$$P_C = \frac{M \cdot n}{9554}$$

$$P_a = \frac{P_C}{\eta}$$

$$P_C = \frac{F_{CZ} \cdot v_c}{60000}$$

$$P_C = \frac{F_{CZ} \cdot v_c \left(1 + \frac{d}{D}\right)}{60000}$$

1.2.5.3 Übungsaufgabe

Mit einem Vollhartmetallbohrer sollen in Baustahl Bohrungen ins Volle eingebracht werden. Berechnen Sie die Drehzahl des Bohrers, die Schnittkraft, das Moment und die Schnittleistung:

Gegeben:

Bohrerdurchmesser	D=20mm
Schnittgeschwindigkeit	$v_c=110$ m/min
Vorschub pro Umdrehung	$f=0,5$ mm/Umdr.
Anzahl der Schneiden	2
Steigung	$m=0,17$ (siehe Tabelle)
Spitzenwinkel	$\sigma=140^\circ$
Verfahrensfaktor Bohren	$f_B=1$
Nach Tabelle für St37:	
Spezifische Schnittkraft	$k_{c1.1}=1780$ N/mm ²

Drehzahl des Bohrers:

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{D \cdot \pi} = \frac{110 \cdot 1000}{20 \cdot \pi} = 1750 \frac{1}{\text{min}}$$

Spezifische Schnittkraft:

$$h = f_z \cdot \sin(\sigma/2) = 0,25 \cdot \sin 70^\circ = 0,24$$

$$k_C = \frac{k_{C1.1}}{h^m} = \frac{1780}{0,24^{0,17}} = 2268 \text{ N/mm}^2$$

Schnittkraft:

$$F_{CZ} = \frac{D}{2} \cdot f_z \cdot k_C \cdot f_B = 10 \cdot 0,25 \cdot 2268 \cdot 1 = 5670 \text{ N}$$

Schnittleistung:

$$P_C = \frac{F_{CZ} \cdot v_c}{60000} = \frac{2268 \cdot 110}{60000} = 4,16 \text{ kW}$$

Moment:

$$M = \frac{F_{CZ} \cdot Z \cdot \frac{D}{4}}{1000} = \frac{5670 \cdot 2 \cdot 5}{1000} = 56,7 \text{ Nm}$$

1.2.5.4 Übungsaufgaben Drehen und Bohren:

1. Ihre Werkzeugtabelle läßt für den ausgewählten Drehmeißel eine Schnittgeschwindigkeit von 90m/min zu. Welche Drehzahl müssen sie an der Maschine einstellen, wenn Sie einen Rohling mit 80mm Durchmesser bearbeiten wollen?
2. Bestimmen Sie die Schnittkraft beim Drehen wenn folgende Prozessparameter vorgegeben werden:

Spindeldrehzahl	S=2000 1/min
Vorschub	f=500 mm/min
Zustelltiefe	a=1,5mm
Einstellwinkel	$\chi=60^\circ$
Werkstoff	CK45

3. Berechnen Sie die Spannungsdicke eines Spiralbohrers für Baustahl ($\sigma=118^\circ$) mit 15mm Durchmesser, wenn beim aufbohren eines 6mm Loches an der Bohrmaschine ein automatischer Vorschub von 0,25mm/Umdr. eingestellt wird.
4. Berechnen Sie die Schnittkraft, das Moment und die benötigte Antriebsleistung der Maschine, wenn Sie mit dem Bohrer aus Aufgabe 3 Vergütungsstahl CK45 zerspanen. Die folgenden Einsatzwerte werden vorgegeben:

Vorschub	f=0,16mm/Umdr.
Spindeldrehzahl	S=660 1/min
Wirkungsgrad	$\eta=0,85$

1.2.5.5 Lösungen der Übungsaufgaben Drehen und Bohren:

Aufgabe 1:

$$v_c = \pi \cdot d \cdot n \Rightarrow n = v_c / \pi \cdot d = 90 \text{ m/min} / \pi \cdot 0,08 \text{ m} = \underline{358 \text{ 1/min}}$$

Aufgabe 2:

Vorschub pro Umdrehung: $f = f_m / S = 500 \text{ mm/min} / 2000 \text{ 1/min} = \underline{0,25 \text{ mm/Umdr.}}$

Querschnittslänge Span: $h = f \cdot \sin \chi = 0,25 \text{ mm/Umdr.} \cdot \sin 60^\circ = \underline{0,22 \text{ mm}}$

Querschnittsfläche Span: $A = f \cdot a = 0,25 \text{ mm} \cdot 1,5 \text{ mm} = \underline{0,375 \text{ mm}^2}$

Schnittkraft: $F_c = A \cdot k_c = 0,375 \text{ mm}^2 \cdot 2780 \text{ N/mm}^2 = 1042 \text{ N} = \underline{1,04 \text{ kN}}$
(k_c nach Tabelle S.10)

Aufgabe 3:

Vorschub pro Zahn: $f_z = f / Z = 0,25 \text{ mm/Umdr.} / 2 = 0,125 \text{ mm/Umdr.}$

Querschnittsfläche Span: $A = \frac{(D-d) \cdot f_z}{2} = \frac{(15 \text{ mm} - 6 \text{ mm}) \cdot 0,125 \text{ mm}}{2} = \underline{0,56 \text{ mm}^2}$

Aufgabe 4:

Vorschub pro Zahn: $f_z = f / Z = 0,16 \text{ mm/Umdr.} / 2 = \underline{0,08 \text{ mm/Umdr.}}$

Querschnittslänge Span: $h = f_z \cdot \sin(\sigma/2) = 0,08 \text{ mm} \cdot \sin 59^\circ = \underline{0,069 \text{ mm}}$

Spezifische Schnittkraft: nach dem Wert „h“ aus Tabelle S.10 $k_c = \underline{3250 \text{ N/mm}^2}$

Schnittkraft: $F_{cz} = (D-d) / 2 \cdot f_z \cdot k_c \cdot f_b = (15 \text{ mm} - 6 \text{ mm}) / 2 \cdot 0,08 \text{ mm/Umdr.} \cdot 3250 \text{ N/mm}^2 \cdot 0,95 = \underline{1112 \text{ N}}$

Drehmoment: $M = F_{cz} \cdot Z \cdot (D+d) / 4000 = 1112 \cdot 2 \cdot (15+6) / 4000 = \underline{11,6 \text{ Nm}}$

Schnittleistung: $P_c = M \cdot n / 9554 = 11,6 \cdot 660 / 9554 = 800 \text{ W} = \underline{0,8 \text{ kW}}$

Antriebsleistung: $P_a = P_c / \eta = 0,8 \text{ kW} / 0,85 = \underline{0,94 \text{ kW}}$

1.3. Schneidstoffe

Anforderungen:

Härte	Die Härte des Schneidstoffs muß wesentlich über der des Werkstoffs liegen
Temperaturbeständigkeit	die Härte des Schneidstoffes sollte auch bei hohen Temperaturen nicht wesentlich nachlassen
Verschleißfestigkeit	Widerstand des Schneidstoffs gegen Abtragen von Schneidstoffteilchen durch den Werkstoff
Biegefestigkeit und Zähigkeit	Die Werkzeugschneide ist wechselnden Biegebelastungen ausgesetzt, die zu Schneidkantenausbrüchen führen können.

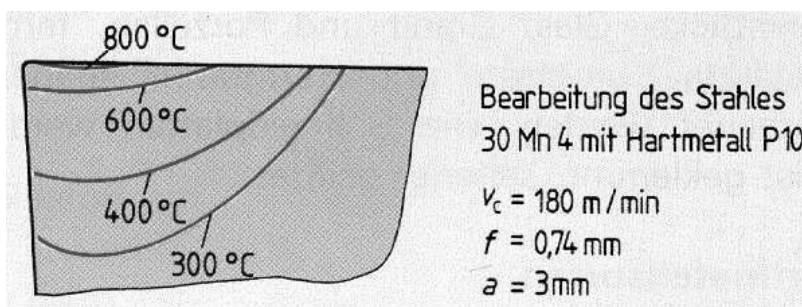


Bild 9
Temperaturverteilung
am Schneidkeil eines
Drehmeißels

1.2.3.1 Schnellarbeitsstahl (HSS)

Schnellarbeitsstähle sind hochlegierte Werkzeugstähle. Höhere Qualitäten werden als HSS-E bezeichnet. Ein typischer HSS-Stahl für die Fräsbearbeitung besitzt folgende Legierungselemente:

0,9% Kohlenstoff – 6,5% Wolfram – 5% Molybdän – 2% Vanadium – 8% Cobalt – 4,2% Chrom

Einsatzbedingungen:

- Geringere Schnittgeschwindigkeiten
- Arbeitstemperaturen von bis zu 600°C, daher Kühlung der Schneide notwendig
- Vergleichsweise niedrige Verschleißfestigkeit
- Hohe Warm- und Biegebruchfestigkeit
- Geringer Preis

Anwendungsbereiche:

Bohren, Senken, Reiben und Räumen bei normalen bis mittleren Anforderungen

Für Formfräser oder Formdrehmeißel

Für Stanzwerkzeuge

Zur Bearbeitung von Leichtmetallen und Thermoplasten

1.2.3.2 Hartmetall (HM)

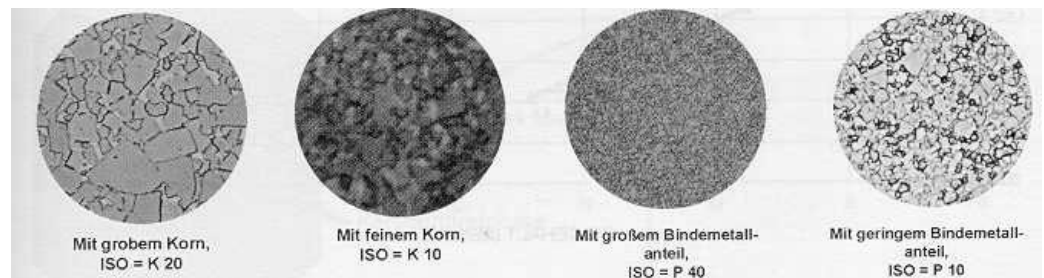
In der Zerspanung spielen Sinterhartmetalle, die aus einer Reihe unterschiedlicher Karbide und einem Bindemetall hergestellt werden, eine wesentliche Rolle. Sie werden im heutigen Zerspanungsprozess weitverbreitet eingesetzt und haben die HSS-Stähle weitgehend abgelöst.

Man unterteilt die Hartmetalle in drei Spannungshauptgruppen:

- **P** für Bearbeitung langspanender Werkstoffe wie Stahl, Stahlguß, rostfreier Stahl und Temperguß
- **M** Sorte für lang- und kurzspanende Werkstoffe, wie austenitischer rostfreier Stahl, Manganstähle, legierte Gußsorten
- **K** für Bearbeitung kurzspanender Werkstoffe, wie Grauguß, gehärteter Stahl, Aluminium, Bronze, Kunststoff

Einsatzbedingungen:

- Mittlere bis hohe Schnittgeschwindigkeiten
- Arbeitstemperaturen von bis zu 800°C
- Hohe Verschleißfestigkeit
- Hohe Warm- und Biegebruchfestigkeit
- Spröde und schlagempfindlich



1.3. Spanbildung

Durch den eindringenden Schneidkeil wird der Werkstoff zunächst gestaucht und dadurch verfestigt und dann als Span abgetrennt. Er gleitet über die Spanfläche ab.

Spanformen und Einflußfaktoren:

Schnittgeschwindigkeit -

Mit zunehmender Schnittgeschwindigkeit verschlechtert sich die Spanform

Vorschub -

Ein größerer Vorschub verbessert die Spanbrechung

Spanwinkel -

Ein negativer Spanwinkel bedingt gute Spanbrechung

Einstellwinkel -

Je größer der Einstellwinkel, desto besser die Spanbrechung

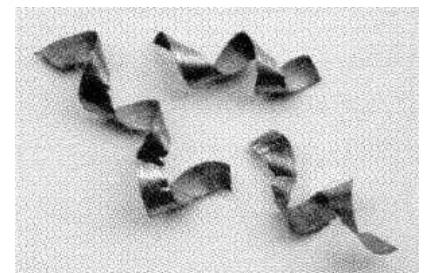
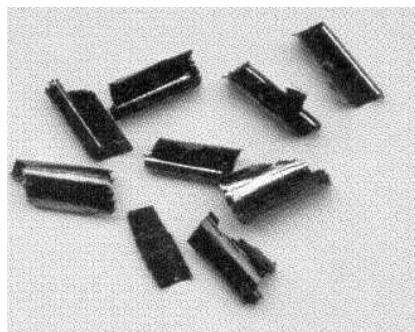
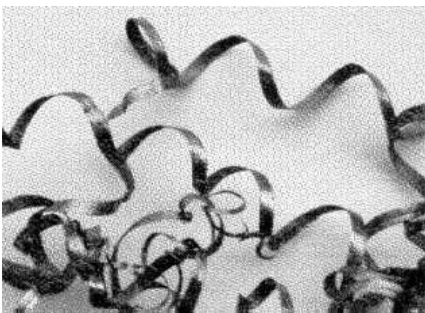
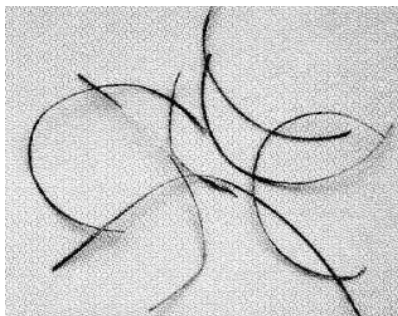


Bild 10

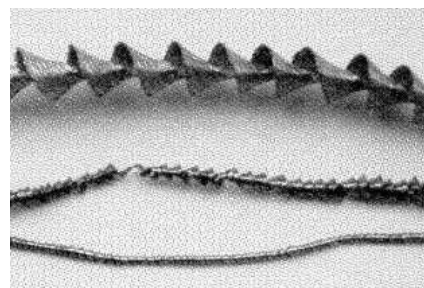
Wirrspan

Brökelspan

Spiralspan



Bandspan



Spiralwendelspan