

WT

**Wissensspeicher
für die
Berufsbildung**

SPANUNGSTECHNIK

GOLZ

SPANUNGSTECHNIK

WISSENSSPEICHER FÜR DIE BERUFSBILDUNG

SPANUNGSTECHNIK

Wolf-Dietrich Golz



VEB VERLAG TECHNIK BERLIN

Als berufsbildende Literatur für verbindlich erklärt

22.9.1971

Ministerium für Verarbeitungsmaschinen -
und Fahrzeugbau

Einband: Kurt Beckert

Redaktionsschluß: 10.10.1971

Lektor: Günter Gottschlag

DK 621.91.07 · ES 20 G 3

VT 2/5/4772-1

Alle Rechte vorbehalten. Copyright 1972 by

VEB Verlag Technik, 102 Berlin

VLN 201 · Dg.-Nr. 370/135/72 Deutsche Demokratische Republik

Schreibsatz: VEB Verlag Technik, Berlin

Offsetrotation und buchbind. Verarbeitung: 52 Nationales Druckhaus,

VOB National, Berlin

Bestellwort: Golz, Spanungstechn.

2.50

Vorwort

Das Buch löst die im nicht mehr erscheinenden Lehrbuch „Grundausbildung Metall 2“ zu diesem Stoffgebiet enthaltenen Kapitel ab. Entsprechend den Forderungen nach Berufsschulliteratur mit einer hohen Effektivität für den Unterricht wurde die Form des Wissensspeichers gewählt. Der gebotene Stoff ist deshalb nicht immer als Erstinformation voll zu erfassen, sondern muß durch andere Medien, wie Lehrervortrag, Programm oder Film usw., vermittelt werden. Vielfach wird es allerdings auf Grund der zweifarbigen Bilder und der Darstellung in Übersichten für den Lernenden auch möglich sein, sich nur aus dem Wissensspeicher einen Überblick über die Problematik des Stoffes zu verschaffen. Weitere für die Ausbildung in spanenden Berufen zum Baukastensystem der Berufsbildung im VEB Verlag Technik erschienene und in der Entwicklung befindliche Literatur ist aus der nachfolgenden Übersicht zu ersehen. Die in Klammern gesetzten Zahlen geben bei Neu-entwicklungen das voraussichtliche Erscheinungsjahr an.

Grundwissen

Beyrodt: Tabellenbuch Metall

Hinzmann/Prüfer: Fachzeichnen Metall, Wissensspeicher

Muchau/Muchau: Aufgabenblätter Fachzeichnen Metall, Grundlehrgang

Wosnizok: Werkstoffe – kurz und übersichtlich

Kulke: Fertigungstechnik Metall, Wissensspeicher (1973)

Finze/Kulke: Einführung in Maßtoleranzen und Passungen, Lernprogramm

Fuchs: Allgemeine Maschinenlehre, Arbeitsblattsammlung (1972)

Fachwissen

Becker: Prüftechnik – Fertigungsmeßtechnik

Mesch/Heger: Aufgabensammlung Fertigungs- und Meßtechnik

Hintze: Automatisierung spanabhebender Werkzeugmaschinen

Stein: Aufgabenblätter Fachzeichnen für Zerspanerberufe

Autorenkollektiv: Spanende Werkzeuge

Spezialwissen

Autorenkollektiv: Schule des Drehers

Vach: Fräsen

Zur Information über weitere berufsbildende Literatur empfehlen wir den Literaturkatalog Berufsbildung, der vom Staatssekretariat für Berufsbildung herausgegeben wurde. Für kritische Hinweise, die uns helfen, das Buch oder das Baukastensystem berufsbildender Literatur zu verbessern, sind wir stets dankbar.

VEB Verlag Technik

Inhaltsverzeichnis

1.	Einführung in das Gebiet der Spanungstechnik	9
1.1.	Begriffsbestimmung	9
1.2.	Bedeutung der spanenden Formgebung	10
1.	Einflußgrößen auf den Spanungsvorgang	11
2.	Spanungsvorgang	12
2.1.	Bewegungen	12
2.1.1.	Allgemeines	12
2.1.2.	Arten	13
2.2.	Arbeitswerte	15
2.2.1.	Hilfsbegriffe	15
2.2.2.	Geschwindigkeiten	15
2.2.3.	Schnittgrößen	16
2.2.4.	Spanungsgrößen	19
2.3.	Spanbildung	20
2.3.1.	Vorgänge bei der Spanbildung	20
2.3.2.	Spanarten und -formen	21
2.3.3.	Spanungsvolumen	25
2.4.	Kräfte	26
2.4.1.	Kräfte beim Drehen	27
2.4.2.	Kräfte beim Hobeln und Stoßen	29
2.4.3.	Kräfte beim Bohren	30
2.4.4.	Kräfte beim Räumen	30
2.4.5.	Kräfte beim Fräsen	30
2.4.6.	Bestimmen der Größe der Kräfte	31
2.4.6.1.	Spezifische Schnittkraft k_S	32
2.4.6.2.	Einflußgrößen auf k_S	33
2.5.	Leistungen beim Spanen	35
2.5.1.	Spanungsleistung	35
2.5.2.	Antriebsleistung	36
2.6.	Erwärmung	37
2.7.	Ergänzungen	39
3.	Werkzeug	40
3.1.	Ausführungsformen und -arten	40
3.2.	Schneidengeometrie	41
3.2.1.	Flächen, Schneiden, Ecken und Fasen	41

3.2.2.	Bezugssysteme zur Bestimmung der Winkel am Schneidkeil	42
3.2.3.	Winkel am Werkzeug	44
3.3.	Schneidstoffe	49
3.4.	Verschleiß	52
3.4.1.	Allgemeines	52
3.4.2.	Standgrößen	55
3.4.3.	Maßnahmen zur Erhöhung des Standvermögens	57
3.5.	Ergänzungen	59
4.	Werkstück	60
4.1.	Werkstückoberflächen	60
4.2.	Gestaltabweichungen	61
4.3.	Oberflächencharakter der Werkstückoberfläche	62
4.4.	Rauhigkeiten	63
4.5.	Maßtoleranzen	65
4.6.	Ergänzungen	65
5.	Wirtschaftliches Spanen	66
5.1.	Auslastung der Maschine	66
5.2.	Auslastung des Werkzeugs	67
5.3.	Auslastung von Werkzeug und Maschine	69
5.4.	Grundzeit-Maschine	71
5.5.	Ergänzungen	73
	Sachwörterverzeichnis	77

0. Einführung in das Gebiet der Spanungstechnik

0.1. Begriffsbestimmung

Spanen ist Gestaltändern durch Abtrennen von Werkstoffteilchen auf mechanischem Weg.

Die abgetrennten Werkstoffteilchen, als Späne bezeichnet, entstehen durch mechanisches Eindringen der Werkzeugschneide in den zu zerspanenden Werkstoff.

Tafel 0.1. Überblick über die Verfahrensgruppe Spanen (Auswahl)

Spanen						
Drehen	Bohren	Fräsen	Schleifen	Sägen	Hobeln	Räumen
<u>Senken</u>			<u>Honen</u>		<u>Stoßen</u>	
<u>Reiben</u>			<u>Läppen</u>			
Lang-drehen	Auf-bohren	Stirn-fräsen	Flach-schleifen	Band-sägen	Lang-hobeln	Innen-räumen
Plan-drehen	Fein-bohren	Walz-fräsen	Außen-rund-schleifen	Kreis-sägen	Kurz-hobeln	Außen-räumen
Ein-stechen	Tief-loch-bohren	Schlag-zahn-fräsen	Innen-rund-schleifen	Bügel-sägen	Nachform-hobeln	Profil-räumen
Abstechen						
Innen-drehen	Mehr-kant-bohren	Pendel-fräsen	Profil-schleifen		Breit-schlicht-hobeln	
Gewinde-drehen	Ansenken	Tauch-fräsen	Spitzenlos-schleifen		Waagerecht-stoßen	
Nachform-drehen	Einsenken	Nachform-fräsen	Stirn-schleifen		Senkrecht-stoßen	
Hinterdrehen	Aufreiben	Stufen-fräsen	Einstech-schleifen		Nutstoßen	
Formdrehen						
Mehrkant-drehen						

0.2. Bedeutung der spanenden Formgebung

Spanen

- Erlaubt eine Bearbeitung auch von kompliziert gestalteten Werkstücken,
- ist als Fertigungsverfahren für die wirtschaftliche Bearbeitung kleiner Stückzahlen geeignet,
- ist wegen der Vielfalt der Verfahren vielfältig anwendbar,
- eignet sich für die Bearbeitung von schwer umformbaren Werkstoffen.

Entwicklungstendenzen

Der wissenschaftlich-technische Fortschritt hat selbstverständlich auch Auswirkungen auf die Wirtschaftlichkeit des Spanens. Folgende Maßnahmen tragen wesentlich dazu bei, die Arbeitsproduktivität des Spanens zu erhöhen:

- Automatisierung,
- Einführung der BMSR-Technik und Elektronik im Werkzeugmaschinenbau,
- Einsatz der elektronischen Datenverarbeitung,
- Anwendung rationellerer Technologien,
- Einsatz von Hochleistungsschneidstoffen,
- Entwicklung leistungsfähigerer Maschinen, Werkzeuge, Spannzeuge,
- Verkettung von Maschinensystemen,
- Einsatz wirksamerer Zerspanungshilfsstoffe.

Nachteile des Spanens

- ungünstigere Werkstoffausnutzung,
- lange Bearbeitungsdauer,
- große Investitionen,
- hoher Werkzeugverschleiß.

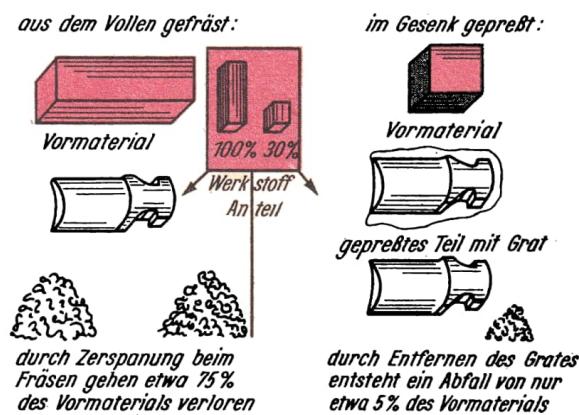


Bild 0.1. Vergleich zwischen Umformen und Spanen

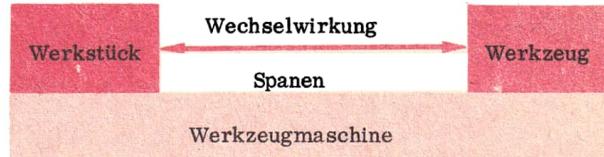
Das besagt nicht, daß die spanende Formgebung an Bedeutung verloren hat. Nur der Anteil der Grobzerspanung wird immer geringer, da viele Werkstücke durch Umformen ihre endgültige Form erhalten. Jedoch hat sich der Anteil des Feinzerspanens entsprechend erhöht.

1. Einflußgrößen auf den Spanungsvorgang

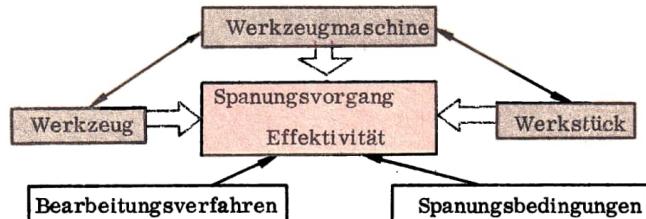
Elemente

Der maschinelle Spanungsvorgang erfordert drei Elemente: Werkstück, Werkzeug, Werkzeugmaschine. Die Maschine trägt und führt Werkzeug und Werkstück und ermöglicht den Eingriff beider.

Wechselwirkungen



Die Effektivität des Spanungsvorgangs wird durch die Wahl des Bearbeitungsverfahrens und die Spanungsbedingungen beeinflußt.



Werkstück, Werkzeug, Werkzeugmaschine, Bearbeitungsverfahren und Spanungsbedingungen stehen im Zusammenhang und in enger Wechselwirkung.

Folgende Komponenten wirken in den Elementen und Einflußgrößen:

Werkstück

Werkstoff (Festigkeit, Gefüge, Homogenität, Formänderungsvermögen), Abmessungen, Gestalt, Stabilität.

Werkzeug

Form, Art (ein-, zwei-, mehrschneidig), Schneidenwerkstoff, Anschliff, Verschleiß, Abmessungen, Starrheit.

Werkzeugmaschine

Spannelemente, Starrheit, Schwingungsverhalten, Zustand, Leistung, Genauigkeit.

Bearbeitungsverfahren

Fräsen – Hobeln – Schleifen, Gleichlauffräsen – Gegenlauffräsen.

Spanungsbedingungen

v, a, s, Wirkwinkel, Kühlung, Schmierung; Schruppen, Schlichten, Feinschlichten.

2. Spanungsvorgang

2.1. Bewegungen

2.1.1. Allgemeines

Aufgabe

Bewegungen zwischen Werkstück und Werkzeug führen dazu, daß

- das Werkzeug an das Werkstück herangeführt wird,
- die Werkzeugschneide in die Oberfläche des Werkstücks eindringt,
- Späne abgehoben werden.

Relativbewegungen

Für die Betrachtung des Zerspanungsvorgangs ist es belanglos, welches Teil die Bewegungen ausführt, entscheidend ist die Relativbewegung zwischen Werkzeug und Werkstück.

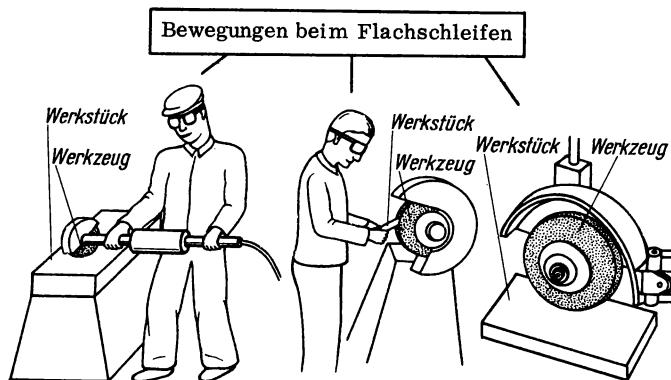


Bild 2.1
Handschleif-
maschine

Bild 2.2
Einfach-
Ständerschleif-
maschine

Bild 2.3
Waagerecht-
Flächenschleif-
maschine

Werkstück führt aus	keine Bewegung	Anstellbewegung, Zustellbewegung, Vorschub	Anstellbewegung (waagerecht), Vorschub
Werkzeug führt aus	Schnittbewegung, Vorschubbewegung, Anstellbewegung, Zustellbewegung	Schnittbewegung	Schnittbewegung, Zustellbewegung, Anstellbewegung (senkrecht)

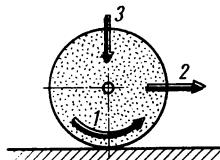


Bild 2.4. Bewegungen beim Verfahren Flächschleifen im Umfangschliff
 1 Schnittbewegung; 2 Vorschubbewegung;
 3 Zustellbewegung

2.1.2. Arten

Schnittbewegung

Um von der Vielfalt der möglichen Maschinenkonstruktionen abzusehen und zu vergleichbaren Aussagen zu gelangen, wurde vereinbart:

Die Relativbewegungen werden stets auf das ruhend gedachte Werkstück bezogen, d.h., nur das Werkzeug führt alle erforderlichen Bewegungen aus.

Sämtliche Begriffe beziehen sich auf den jeweils betrachteten Schneidenpunkt.

Bewirkt, wenn sie allein auftritt, die einmalige Abnahme eines Spanes während einer Umdrehung oder eines Hubes.

Die Verfahren werden z. B. nach der Art der Hauptbewegung unterschieden.

Verfahren mit rotatorischer (drehender) Schnittbewegung

Drehen;
 Fräsen, Sägen mit
 Kreissäge;
 Bohren, Senken, Reiben;
 Schleifen

Verfahren mit translatorischer (geradliniger) Schnittbewegung

Hobeln;
 Stoßen;
 Sägen mit Band- oder
 Bügelsäge;
 Räumen

Vorschubbewegung

Bewirkt im Zusammenhang mit der Schnittbewegung eine kontinuierliche Spanabnahme oder die Abnahme mehrerer Späne. Sie kann stetig oder schrittweise (z. B. nach jedem Hub) erfolgen, kann in einer Richtung oder, z. B. bei einer kurvenförmigen Sohlfläche, auch in mehreren Komponenten wirken. Die resultierende Vorschubbewegung gibt dann die Bewegungsrichtung der Schneide (Richtung des Arbeitsfortschritts) an.

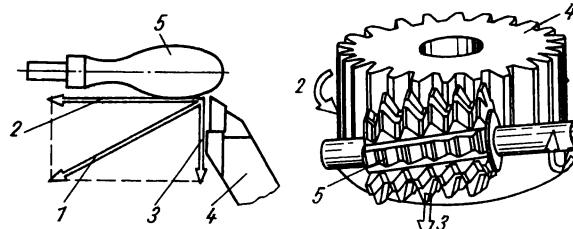


Bild 2.5. Bewegung beim Nachformdrehen
 1 resultierende Vorschubbewegung;
 2 Hauptvorschubbewegung; 3 Nebenvorschubbewegung; 4 Drehmeißel;
 5 Werkstück

Bild 2.6. Wälzfräsen von Zahnrädern als Beispiel für die Wirkung zusammengesetzter Bewegungen. Durch die Überlagerung von Schnittbewegung 1, Vorschubbewegung in Umfangrichtung (Wälzbewegung) 2 und Vorschub in axialer Richtung 3 entsteht im Werkstück 4 die evolventische Form der Zahnlängen; 5 Werkzeug

Wirkbewegung

Ist die Resultierende aus Schnitt- und Vorschubbewegung. Erfolgt keine gleichzeitige Vorschubbewegung, ist die Wirkbewegung gleich der Schnittbewegung. Für die Bestimmung der Richtung des Werkzeugeingriffs ist daher die Festlegung der Richtung der Wirkbewegung notwendig.

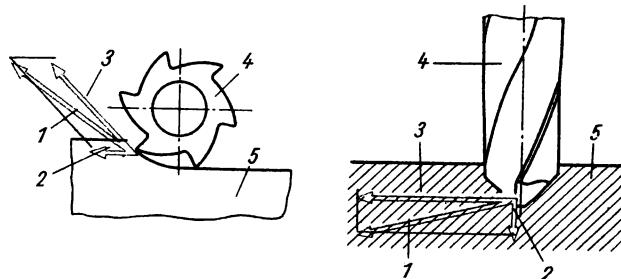


Bild 2.7. Bewegungen beim Fräsen
1 Wirkbewegung; 2 Vorschubbewegung;
3 Schnittbewegung; 4 Fräser; 5 Werkstück

Bild 2.8. Bewegungen beim Bohren
1 Wirkbewegung; 2 Vorschubbewegung;
3 Schnittbewegung; 4 Werkzeug; 5 Werkstück

Die genannten Bewegungen bewirken unmittelbar den Zerspanungsvorgang und bestimmen entscheidend die Wirtschaftlichkeit des Verfahrens.

Positionieren

Die folgenden Bewegungen führen zu keiner direkten Spanabnahme, sondern bewirken das Heranführen des Werkzeugs und die Maßhaltigkeit der herzustellenden Werkstücke (Positionieren).

Anstellbewegung

Führt das Werkzeug an die Stelle des Werkstücks, an der der Zerspanungsvorgang beginnen soll.

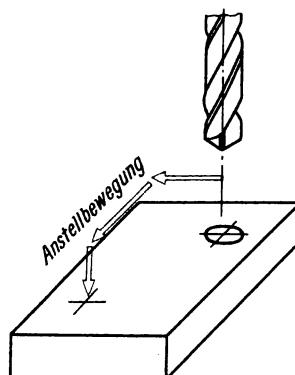


Bild 2.9. Anstellbewegung beim Bohren kann in drei Koordinaten erfolgen

Zustellbewegung

Bestimmt die Dicke der abzuspanenden Schicht im voraus. Sie kann je nach Verfahren rechtwinklig zur Arbeitsebene (s. S. 17) oder in Richtung der Arbeitsebene erfolgen. Die Dicke der abzuspanenden Schicht kann sowohl an der Maschine (z. B. beim Drehen durch Einstellen der Schnitttiefe) oder auch durch die Formgebung des Werkzeugs (z. B. beim Spiralbohrer entspricht $1/2 d$ der Zustellung) bestimmt werden.

Nachstellbewegung

Korrekturbewegung zum Ausgleich von Maßungenauigkeiten, wird z. B. durch Werkzeugverschleiß erforderlich.

2.2. Arbeitswerte

2.2.1. Hilfsbegriffe

Zur Bestimmung der Arbeitswerte, vor allem der Schnittgrößen, ist die Festlegung von Hilfsbegriffen erforderlich.

Arbeitsebene

Sie ist eine gedachte Ebene, die durch die Richtung der Schnittbewegung und Vorschubbewegung gebildet wird (s. Bilder 2.12 bis 2.18). In der Arbeitsebene vollziehen sich alle Bewegungen, die unmittelbar zur Spanentstehung führen.

Vorschubrichtungswinkel φ

Er ist der Winkel zwischen der Schnittrichtung und Vorschubrichtung. Bei vielen Verfahren (Drehen, Stoßen, Bohren) beträgt $\varphi = 90^\circ$, während z. B. beim Fräsen und Schleifen während des Schnittes eine ständige Änderung des Winkels φ erfolgt.

2.2.2. Geschwindigkeiten

Schnittgeschwindigkeit v

Ist die Geschwindigkeit der Schnittbewegung, eine wichtige Einflußgröße für den Spanungsvorgang.

$$v = \frac{s}{t} \quad (1)$$

v Geschwindigkeit
s Weg
t Zeit

Schnittgeschwindigkeit
bei rotatorischer
Schnittbewegung:

Schnittgeschwindigkeit
bei translatorischer
Schnittbewegung:

$$v = d \cdot \pi \cdot n \quad (2)$$

$$s = d \cdot \pi$$

$$s = 2L$$

(Rotation)

$$t = \frac{1}{n}$$

$$t = \frac{1}{n}$$

$$v = 2L \cdot n \quad (3)$$

$$v = \frac{d \cdot \pi \cdot n}{1000}$$

v	d, L	n
—	mm	1/min
—	—	—

$$v = \frac{2 \cdot L \cdot n}{1000}$$

v Schnittgeschwindigkeit

d Ausgangsdurchmesser

n Drehzahl,
Doppelhubzahl

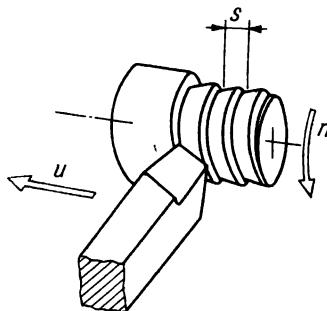
L Länge des Werkstücks
plus Zuschläge

Beim Schleifen wird die Umfangsgeschwindigkeit der Schleifscheibe in $\text{m} \cdot \text{s}^{-1}$ angegeben.

Wirkgeschwindigkeit v_e

Ist die Geschwindigkeit der Wirkbewegung. Mit wachsender Vorschubgeschwindigkeit wächst die Differenz zwischen Schnitt- und Wirkgeschwindigkeit. In den meisten Fällen genügt die Näherung $v_e \approx v$.

Vorschubgeschwindigkeit u



Ist die Geschwindigkeit des Werkzeugs in Vorschubrichtung (s. S. 13). Da an der Werkzeugmaschine der Vorschub je Umdrehung oder je Doppelhub eingestellt wird, bestimmt sich die Vorschubgeschwindigkeit aus Gl. 4.

Bild 2.10. Vorschub und Vorschubgeschwindigkeit beim Drehen

$$u = s \cdot n \quad (4)$$

u Vorschubgeschwindigkeit (angegeben in $\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$)
s Vorschub
n Drehzahl oder Hubzahl

2.2.3. Schnittgrößen

Vorschub s

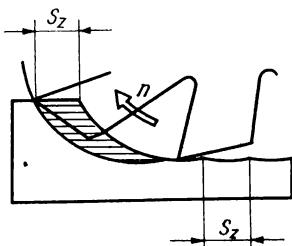
Ist der Weg des Werkzeugs in Vorschubrichtung (Vorschubweg) bei einer Umdrehung oder einem Hub (s. Bild 2.10).

Zahnvorschub s_z

Vorschub je Zahn; ist der Vorschubweg zwischen zwei unmittelbar nacheinander eingreifenden Schneiden.

$$s = s_z \cdot z \quad (5)$$

s Vorschub (angegeben in mm)
z Anzahl der Schneidenträger (Zähne)
 s_z Zahnvorschub



Hat das Werkzeug nur eine Schneide, z. B. beim Drehen ($z = 1$), so ist $s_z = s$.

Bild 2.11. Zahnvorschub beim Fräsen

Schnitttiefe bzw. Schnittbreite a

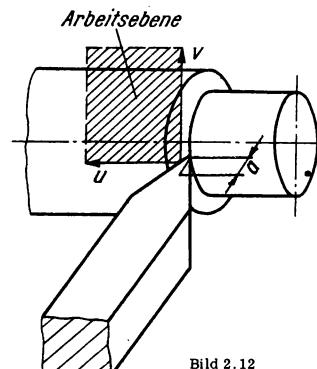
Ist die Tiefe bzw. Breite des Eingriffs der Hauptschneide, rechtwinklig zur Arbeitsebene gemessen.

Eingriffsgröße e

Bestimmt ebenfalls die Größe der abzuspanenden Schicht durch den Betrag des Eingriffs der Schneide rechtwinklig zur Schnitttiefe oder -breite. Sie wird im Gegensatz zu dieser in der Arbeitsebene und rechtwinklig zur Vorschubrichtung gemessen. Die Eingriffsgröße tritt vor allem beim Fräsen und Schleifen auf.

Schnitttiefe bzw. -breite und Eingriffsgröße bei verschiedenen Verfahren

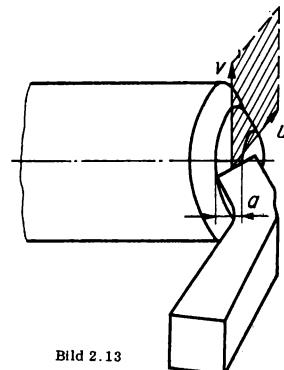
Langdrehen



a liegt an der Schneide rechtwinklig zur Arbeitsebene. Es ist die Schnitttiefe und entspricht der Zustellung

Bild 2.12

Plandrehen



a liegt an der Schneide rechtwinklig zur Arbeitsebene. Es ist die Schnitttiefe und entspricht der Zustellung

Bild 2.13

Stirnfräsen

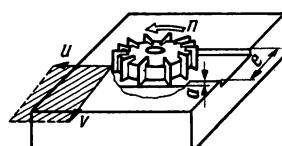
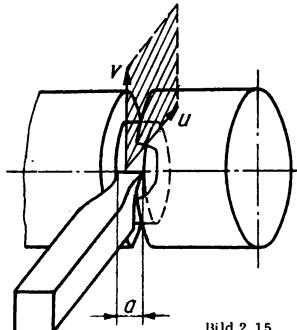


Bild 2.14

Rechtwinklig zur Arbeitsebene ergibt sich die Schnitttiefe a , in Richtung der Arbeitsebene die Eingriffsgröße e . Zustellbewegung ergibt die Schnitttiefe. Eingriffsgröße ist durch den Eingriff des Werkzeugs bestimmt

Ein- oder Abstechen



a liegt rechtwinklig zur Arbeitsebene. Es ist die Schnittbreite und wird durch den Werkzeugangusschliff bestimmt

Walzfräsen

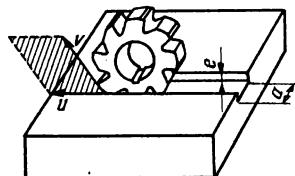


Bild 2.16

a ist die Schnittbreite und ist gleich dem Eingriff des Fräisers in Achsrichtung. Die Schnittbreite ist bestimmt durch die Werkzeugbreite (s. Bild 2.16) oder durch die Breite eines einzufräsenden Absatzes, bei schmalem Werkstück durch die Werkstückbreite. Die Zustellbewegung, da sie in Richtung der Arbeitsebene ausgeführt wird, bewirkt den Betrag der Eingriffsgröße

Räumen

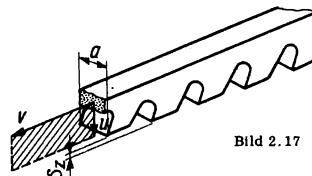


Bild 2.17

Der Vorschub je Zahn ist durch den Höhenunterschied von Schneide zu Schneide bestimmt. Die Schnittbreite a wird rechtwinklig zur Arbeitsebene gemessen. Sie ist durch die Werkzeugabmessung gegeben

Bohren

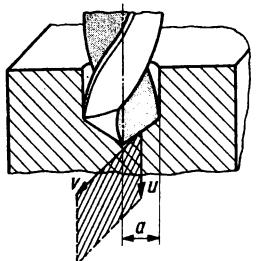


Bild 2.18

Die Schnittbreite a entspricht dem halben Bohrungsdurchmesser und ist ebenfalls werkzeugabhängig

2.2.4. Spanungsgrößen

Spanungsgrößen sind aus den Schnittgrößen abgeleitet. Sie charakterisieren Form und Größe des abzuspanenden Elements, des Spanungsquerschnitts im voraus. Sie sind nicht mit den Maßen der abgehobenen Späne (den Spangrößen) identisch.

Spanungsbreite b

Breite des abzunehmenden Spanes, gemessen rechtwinklig zur Richtung der Schnittbewegung (Schnittrichtung) und in der Schnittfläche (s. Bilder 2.19, 2.20).

Bei Werkzeugen mit geraden Schneiden und ohne Eckenrundung besteht die Beziehung Gl. (6) zwischen der Schnittgröße a und der Spanungsgröße b .

$$b = \frac{a}{\sin \alpha} \quad (6)$$

α Einstellwinkel der Hauptschneide (s. S. 45).

Spanungsdicke h

Dicke des abzunehmenden Spanes, senkrecht zur Schnittrichtung und rechtwinklig zur Schnittfläche gemessen (s. Bilder 2.19, 2.20).

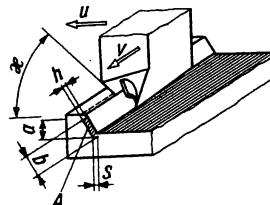


Bild 2.19. Spanungsgrößen beim Waagerechtstoßen

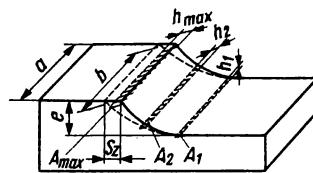


Bild 2.20. Spanungsgrößen beim Walzfräsen
Spanungsquerschnitt verändert sich in Abhängigkeit von der Stellung der Schneide

Zwischen s und h besteht im einfachsten Fall die Beziehung Gl. (7).

$$h = s \cdot \sin \alpha \quad (7)$$

α Einstellwinkel der Hauptschneide (s. S. 45).

Ist $\alpha = 90^\circ$, so ist $b = a$ und $h = s$ (s. Bild 2.21).

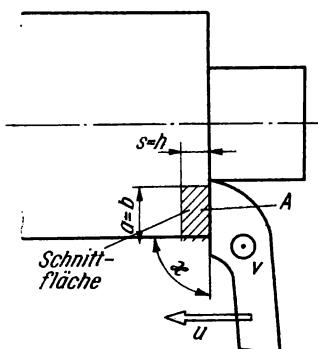


Bild 2.21. Spanungsquerschnitt beim Drehen mit einem Einstellwinkel $\alpha = 90^\circ$

Spanungsquerschnitt A

$$A = b \cdot h$$

(8)

Der Spanungsquerschnitt ist der Querschnitt des abzunehmenden Spanes senkrecht zur Schnittrichtung.

Die Bestimmung des Spanungsquerschnitts kann bei Werkzeugen mit gerader Schneide und ohne Eckenrundung nach nebenstehender Gleichung erfolgen.

Bei Verfahren, bei denen Vorschub- und Schnittrichtung einen Winkel von 90° bilden (z. B. Drehen und Hobeln), gilt außerdem $A = a \cdot s$.

Diese Beziehung stellt jedoch einen Spezialfall dar und gilt z. B. nicht für das Fräsen (s. Bild 2.20).

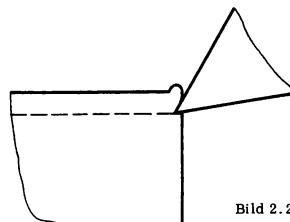
2.3. Spanbildung

2.3.1. Vorgänge bei der Spanbildung

Phasen

Die Entstehung eines Spanes erfolgt in vier Phasen, wobei sich der Span in Form von dünnen Lamellen fortlaufend bildet und sich die Phasen ständig wiederholen.

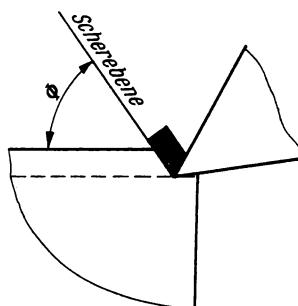
Anstauchen



Die keilförmige Werkzeuschneide beginnt in den Werkstoff einzudringen. Das Spanelement wird angestaucht.

Bild 2.22

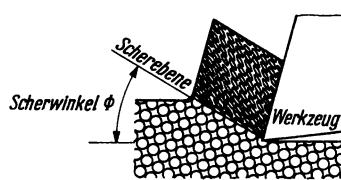
Abscheren



An der Schneidenspitze wachsen die auf den Werkstoff ausgeübten Druck- und Schubspannungen bis zur Bruchgrenze. Das Abscheren des Spanelements von der Oberfläche erfolgt am geometrischen Ort der maximalen Schubspannungen, der Scherebene, die mit der Werkstückoberfläche den Scherwinkel Φ bildet

Bild 2.23

Verschieben in Gleitebenen



Der unmittelbar an der Scherebene befindliche und weiter über die Spanebene abfließende Werkstoff wird umgeformt. Die Kristalle werden in Gleitebenen verschoben

Bild 2.24

Abfließen

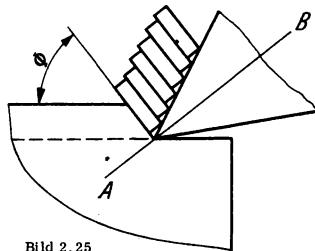


Bild 2.25

Der Span ist bestrebt, sich senkrecht zur Scherzone, auf der Ebene AB, zu bewegen. Wird er durch die Spanfläche gehindert, erfolgt eine weitere Stauchung. Der Span gleitet in Richtung des geringsten Widerstands über die Spanfläche ab

Spanstauchung

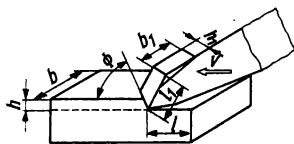


Bild 2.26 Spanstauchungen am idealisierten Rechteckspan

Als Folge der Stauchvorgänge bei der Spanbildung wird der Span höher, breiter und kürzer als die entsprechenden Spanungsgrößen.

Allgemein gilt:

$$\begin{aligned}
 \text{Spanngesdike} \quad & h < \text{Spanngesdike } h_1, \\
 \text{Spanngesbreite} \quad & b < \text{Spanngesbreite } b_1, \\
 \text{Spanngeslänge} \quad & l > \text{Spanngeslänge } l_1, \\
 \text{Spannges-} \quad & A < \text{Spannges-} \\
 \text{querschnitt} \quad & \text{querschnitt } A_1.
 \end{aligned}$$

Der Wert der Spanstauchung hängt vom Formänderungsvermögen des Werkstoffs und von den geometrischen Verhältnissen am Schneidkeil ab.

2.3.2. Spanarten und -formen

Spanarten

Nach der Auswirkung des Spanbildungsprozesses auf den sich bildenden Span unterscheidet man folgende Spanarten:

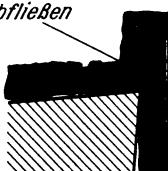
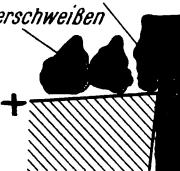
Spanart	Kennzeichen	Spanbildung	Bedingungen
<u>Fließspan</u> <u>abfließen</u> 	Spenelemente zusammenhängend; unterschiedliche Oberfläche; untere Seite immer glatt	kontinuierliches Abfließen des Werkstoffs; Spenelemente werden in Scherzone nicht getrennt, sondern kontinuierlich umgeformt	zäher Werkstoff bei günstigsten Spanbildungsbedingungen. (hohe Schnittgeschwindigkeit, großer Spanwinkel γ)
<u>Scherspan</u> <u>abscheren</u> <u>verschweißen</u> 	Einzelne zusammenhängende Spenelemente erkennbar; Oberfläche stark gezackt	Spanlamellen werden in der Scherebene nur gering umgeformt, voneinander getrennt, aber anschließend wieder verschweißt	Störform des Fließspans. Störungsursachen: Ungleichheit im Werkstoff, Schwingungen, zu kleiner Spanwinkel, große Schnittgeschwindigkeit

Bild 2.28

Spanart	Kennzeichen	Spanbildung	Bedingungen
Reißspan (Bröckelspan)	Einzelne, unzusammenhängende Spanteile; rauhe Oberfläche durch Bruchgefüge 	Spanteile lassen sich in Scherebene nicht verformen (spröder Werkstoff lässt Gleiten nicht zu); Werkstoff reißt vor der Schneide	Werkstoff mit geringem plastischem Verhalten, bei zähen Stoffen (Stahl) ungünstige Schnittbedingungen (niedrige Schnittgeschwindigkeit, zu kleiner Spanwinkel)

Bild 2.29

Die Grenzen der Spanarten sind fließend. Man kann bei der Bearbeitung eines Werkstoffs durch Veränderung einer oder mehrerer Bedingungen jede der drei Spanarten erreichen (s. Bild 2.30). Die Werte sind auf der Oberfläche des Reliefs abzulesen.

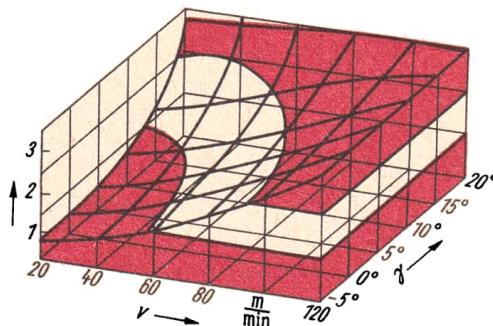
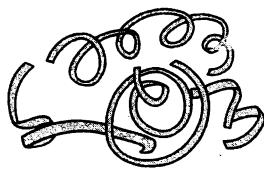
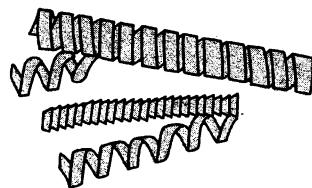
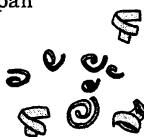
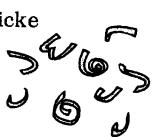


Bild 2.30. Einfluß von Schnittgeschwindigkeit v und Spanwinkel γ auf die Spanarten bei Stahl
 1 Reißspan; 2 Scherspan; 3 Fließspan

Spanformen

Nach der Form, mit der der Span, unabhängig von seiner kinematischen Entstehung, die Spanfläche des Werkzeugs verläßt, unterscheidet man die folgenden Spanformen:

<u>Spanform-klasse</u>	<u>Spanform</u>	<u>Schüttdichte</u> $t \cdot m^{-3}$ (bei Stahl)	<u>Beurteilung</u>
1	Bandspan  Bild 2.31	$\leq 0,09$	ungünstig; bilden Spanknäuel; gefährden die Arbeitssicherheit; beschädigen Werkstückoberflächen; behindern Spänefall; verhindern automatischen Spänetransport
2	Wirrspan  Bild 2.32	$\leq 0,09$	
3	Schraubenspan  Bild 2.33	$\leq 0,15$	befriedigend: gleiche Beurteilung wie bei Band- und Wirrspan mit geringerer Auswirkung
4	Schraubenbruchspan  Bild 2.34	$\leq 0,32$	günstig; da gut transportier- und lagerbar (auch durch automatischen Spänetransport); geringere Gefährdung des Arbeiters; keine Beschädigung der Werkstücke, Werkzeuge und Maschinen
5	Spiralbruchspan  Bild 2.35	$\leq 0,95$	
6	Spiralspanstücke  Bild 2.36	$\leq 0,95$	

Spanform-klasse	Spanform	Schüttdichte $t \cdot m^{-3}$ (bei Stahl)	Beurteilung
7	Spanbruchstücke 	$\leq 2,5$	befriedigend; durch das Umherspritzen Verstopfen und Verkratzen der Führungen; Gefährdung der Arbeitssicherheit

Bild 2.37

Erreichen günstiger Spanformen

- Verspröden langspanenden Werkstoff durch Legierungsbildung, z. B. durch Zulegieren von Phosphor (Automatenstahl),
- Spanbrechung durch eingeschliffene Spanleitstufe oder aufgesetzte Spanleitplatte,

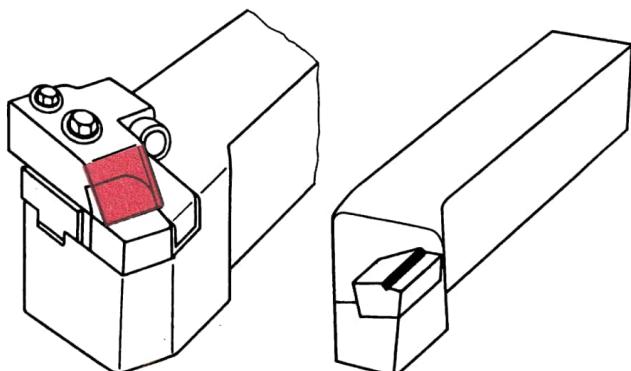


Bild 2.38. Meißel mit Spanleitplatte

Bild 2.39. Meißel mit eingeschliffener Spanleitstufe

- Verändern der Schnittbedingungen, so daß sich mit zunehmendem Vorschub der Span stärker krümmt und besser bricht. Mit wachsender Schnittgeschwindigkeit tendiert der Span zur Bildung von Wirr- oder Bandspänen. Im Bild 2.40 wird außerdem die Beeinflussung durch die weiteren Einflußfaktoren Schnitttiefe, Spanwinkel und Einstellwinkel angedeutet. (Die Bereiche sind an der Reliefoberfläche zu erkennen.)

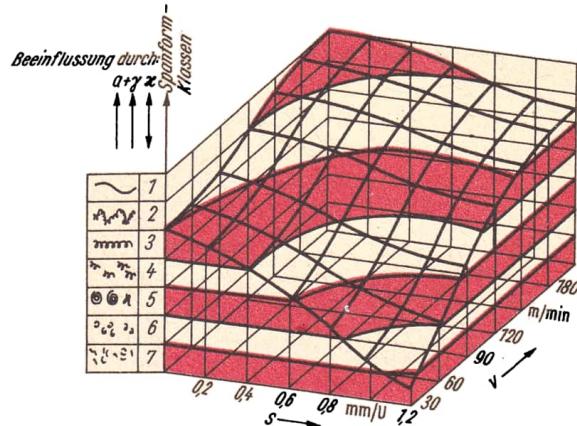


Bild 2.40. Einfluß von Vorschub s und Schnittgeschwindigkeit v auf die Bildung der Spanformen beim Drehen von Stahl ohne Spanleitstufe

2.3.3. Spanungsvolumen

Als Maß für die Effektivität des Zerspanungsvorgangs und die Produktivität der Werkzeugmaschine gilt das in der Zeiteinheit abgespante Volumen:

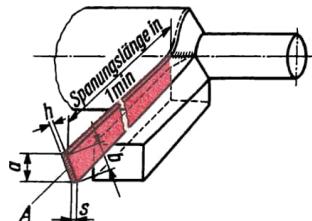


Bild 2.41. Spanungsvolumen beim Drehen

$$Q = \frac{V}{t} = A \cdot v \quad (9)$$

t erforderliche Zeit
 V abgespantes Volumen

Unter Beachtung der auf S. 20 getroffenen Aussagen ergibt sich:

$$A = b \cdot h \text{ oder } a \cdot s$$

A Spanquerschnitt

Dann gilt

$$Q = a \cdot s \cdot v \quad (10)$$

$$Q = b \cdot h \cdot v \quad (11)$$

Q Spanungsvolumen je Zeiteinheit
 (angegeben in $\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$)

- v Schnittgeschwindigkeit
- a Schnitttiefe
- s Vorschub
- b Spanungsbreite
- h Spanungsdicke

Beim Fräsen errechnet man Q einfacher aus dem Querschnitt der abzutragenden Schicht multipliziert mit der Vorschubgeschwindigkeit

$$Q = e \cdot a \cdot u$$

(12) oder als Zahlenwertgleichung

$$Q = \frac{e \cdot a \cdot u}{1000} \quad \begin{array}{c|c|c|c} e & a & u & Q \\ \hline \text{mm} & \text{mm} & \text{mm} \cdot \text{min}^{-1} & \text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1} \end{array}$$

Q Spannungsvolumen

e Eingriffsgröße

a Schnitttiefe

u Vorschubgeschwindigkeit

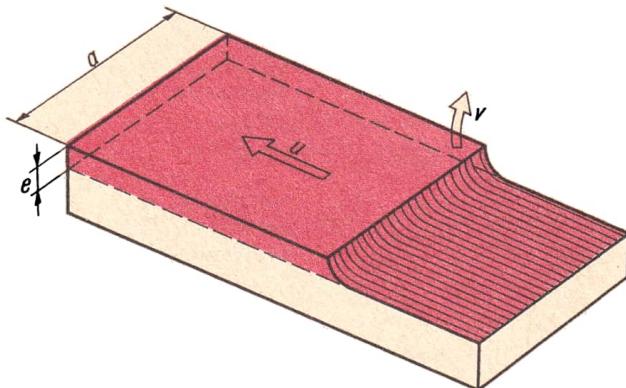


Bild 2.42. Bestimmung des Spannungsvolumens beim Fräsen

2.4. Kräfte

Spannungskraft F_z

Der zu bearbeitende Werkstoff setzt dem Eindringen des Schneidekeils einen seiner Festigkeit und Härte entsprechenden Widerstand entgegen.

Dieser kann nur überwunden werden, wenn eine Kraft – die Spannungskraft F_z – wirkt, die größer als der Werkstoffwiderstand ist.

Die Spannungskraft kann in verschiedene Einzelkomponenten zerlegt werden. Diese gewinnt man durch die Projektion der Spannungskraft auf die jeweiligen Kraftwirkungsrichtungen, die oft mit den Bewegungsrichtungen übereinstimmen.

Zur Vereinfachung wird angenommen, daß die flächenhaft verteilten Kräfte an einem Punkt der Schneide angreifen. Die auf das Werkstück wirkende Spannungskraft übt ihrerseits auf das Werkstück eine gleich große, entgegengesetzt gerichtete Kraft aus, die in die möglichen Kraftaufnahmerrichtungen zerlegt werden kann. Die Gesamtheit der Kraftkomponenten muß sich im Gleichgewicht befinden.

Spanneinrichtungen

Die Kräfte müssen durch geeignete Spanneinrichtungen aufgenommen werden. Andernfalls können Arbeitsaus- schuß oder Unfallgefahren auftreten.

2.4.1. Kräfte beim Drehen

<u>Bezeichnung</u>		<u>Definition</u>	<u>Ursache</u>	<u>Wirkung (Beanspruchung) auf</u>	
<u>alt</u>	<u>neu</u>			<u>Werkzeug</u>	<u>Werkstück</u>
F, F_{ges} Gesamt- kraft	F_Z Spanungs- kraft	auf Schneid- keil wirkende Gesamt- kraft	Spanab- nahme, Summe der Einzel- kräfte	s. Einzelkomponenten	
F_H Hauptschnitt- kraft	F_S Schnitt- kraft	Projektion von F_Z auf Schnitt- richtung	Schnitt- bewegung	Biegung	Torsion und Biegung
F_V Vorschub- kraft	F_V Vorschub- kraft	Projektion von F_Z auf Vorschub- richtung	Vorschub- bewegung	Biegung	Druck
—	F_A Aktivkraft	Projektion von F_Z auf Arbeits- ebene, s. S. 15	Wirk- bewegung (Resultierende aus F_S und F_V)	Biegung	Torsion und Biegung
—	F_D Drangkraft	Projektion von F_Z senkrecht zur Schnitt- fläche	Widerstand des Werk- stoffs	Druck	Druck; Bestreben, Schneidekeil aus dem Ein- griff zu drängen
F_R Rückkraft, auch Abdräng- oder Schaftkraft	F_P Passivkraft	Projektion von F_Z senkrecht zur Arbeits- ebene, ist an Spanungs- leistung un- beteiligt, weil sie auf sämtlichen Bewegungs- richtungen senkrecht steht	Zustell- bewegung	Druck	Biegung

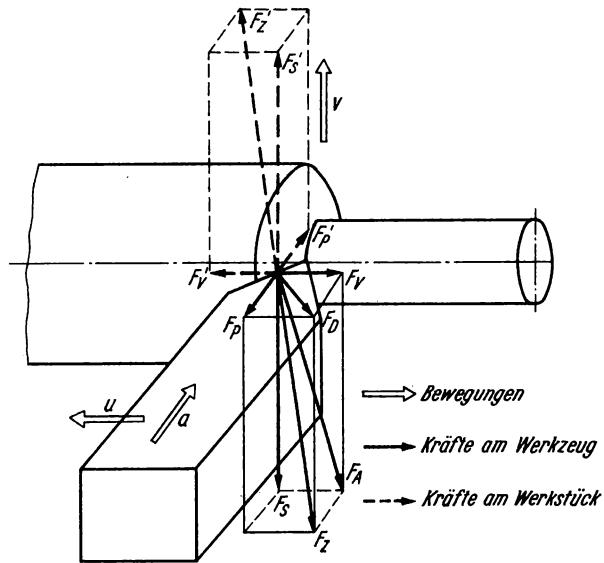


Bild 2.43. Kräfte beim Drehen

Beeinflussung der Passivkraft

Zunehmende Passivkraft (durch große Schnitttiefen) birgt Gefahr des Durchbiegens langer Wellen in sich. Dem dabei entstehenden Arbeitsausschub kann durch sachkundiges Spannen (z. B. Verwendung von Setzstöcken) begegnet werden. Die Größe der Passivkraft ist durch den Einstellwinkel α beeinflußbar.

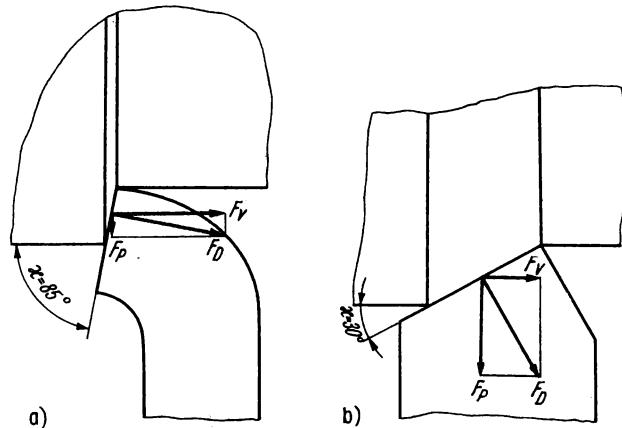


Bild 2.44a und b. Zerlegung der Drangkraft F_D in Abhängigkeit vom Einstellwinkel α

Die Zerlegung der Drangkraft in die Komponenten Vorschub- und Passivkraft ist vom Einstellwinkel α abhängig. Je größer α , desto kleiner wird die Passivkraft zugunsten der Vorschubkraft.

Beim Bearbeiten von schlanken langen Wellen großen Einstellwinkel wählen (Bild 2.45).

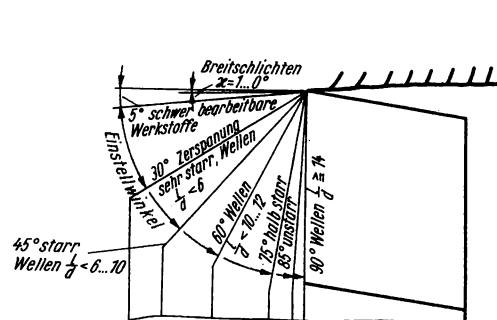


Bild 2.45. Wahl des richtigen Einstellwinkels α

2.4.2. Kräfte beim Hobeln und Stoßen

Drehen sowie Hobeln und Stoßen ähneln sich, das Hobeln entspricht der Bearbeitung eines unendlich großen Drehdurchmessers.

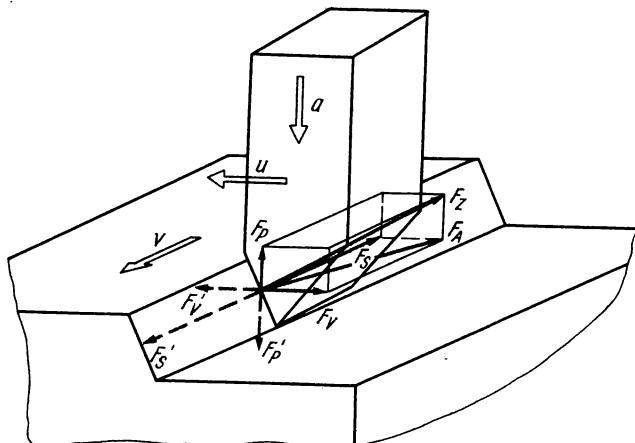


Bild 2.46. Kräfte beim Stoßen

Auf das Werkstück gerichtete Komponente Passivkraft bedarf hier keiner besonderen Beachtung, da sie nach unten in Richtung der Werkstückaufnahme gerichtet ist.

2.4.3. Kräfte beim Bohren

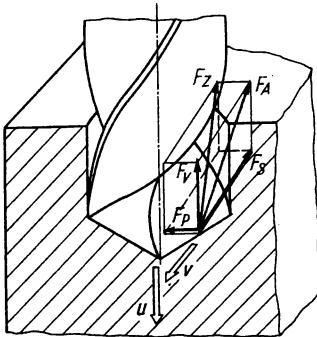


Bild 2.47. Kräfte am Spiralbohrer für eine Hauptschneide betrachtet

Im Bild 2.47 ist die Kraftzerlegung beim Bohren mit Spiralbohrer dargestellt.

Die Kräfte wirken an jeder Hauptschneide und treten somit paarweise auf. Dabei wird die Passivkraft (da gleich groß und entgegengesetzt gerichtet) aufgehoben.

Spannungskraft	Beanspruchungsart	Wirkung
<u>Vorschubkraft</u>	Axialkraft im Bohrerschaft	Aufbäumen der Maschine
<u>Schnittkraft</u>	Torsionskraft im Werkzeug	Herumschlagen des Werkstücks

2.4.4. Kräfte beim Räumen

An geradverzahnten Räumwerkzeugen (s. Bild 2.48) ist die Passivkraft Null.

Schnitt- und Vorschubkraft müssen durch geeignete Spanneinrichtungen aufgenommen werden.

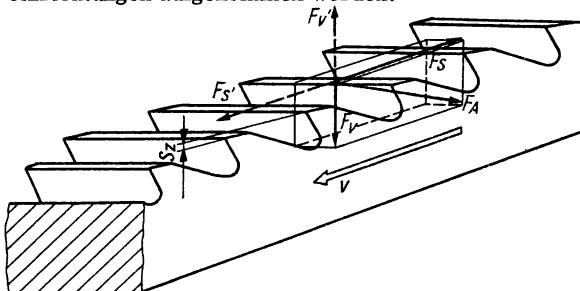


Bild 2.48. Kräfte beim Räumen

2.4.5. Kräfte beim Fräsen

Die Untersuchung der beim Fräsen auftretenden Kräfte ist durch die komplizierten geometrischen und kinematischen Verhältnisse dieses Verfahrens erschwert. Je nach der Lage des Eingriffs des untersuchten Schneidenpunktes ändern die Kräfte ihre Wirkungsrichtung und in Abhängigkeit von der momentanen Spanungsdicke ihre Größe.

Am geradverzahnten Walzfräser

Die Passivkräfte sind ebenfalls Null. F_Z liegt damit in der Arbeitsebene und ist mit der Aktivkraft identisch. Die übrigen Kräfte ergeben sich durch die Projektion der Spannungskraft auf die jeweilige Kraftwirkungsrichtung.

An-schrägverzahnten Fräsern

Die Passivkraft wird als Komponente in axialer Richtung wirksam (s. Bild 2.49). Sie soll stets auf das Spindellager gerichtet sein.

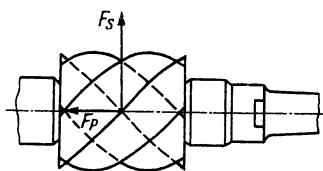


Bild 2.49. Kräfte am schrägverzahnten Walzfräser

Gegen- und Gleichlaufräsen

Vor allem hinsichtlich der Kraftwirkungen am Werkstück unterschieden.

Tafel 2.1. Wirkung der Kräfte beim Fräsen

	Gegenlauf	Gleichlauf
F_W <u>Waagerechtkraft</u>	Biegung des Fräsdorns	Werkstück wird in Fräser hineingezogen – Gefahr des Werkzeugbruchs
F_{Senk} <u>Senkrechtkraft</u>	Werkstück wird von Unterlage abgehoben, Rattenneigung; schlechte Oberfläche; Quetschen beim Anschnitt	Werkstück wird auf Frästisch gedrückt; Verdichtung der Oberfläche; ruhiger Schnitt

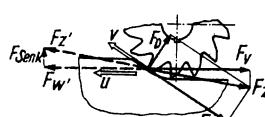


Bild 2.50. Kräfte beim Gegenlaufräsen

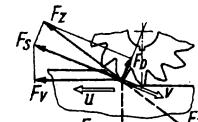
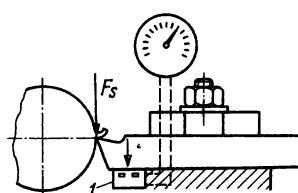


Bild 2.51. Kräfte beim Gleichlaufräsen

2.4.6. Bestimmen der Größe der Kräfte

Für die Praxis ist nicht nur die Lage und Richtung der Kraftkomponenten von Bedeutung, sondern vor allem auch ihre Größe.

Kraftmessung



Die Kräfte am Werkzeug können mit einem Schnittkraftmesser unmittelbar aus dem Spanungsversuch bestimmt werden. Die Meßeinrichtung wird am Meißelhalter befestigt und ermöglicht eine hydraulische oder elektrische Meßwerterfassung.

Je nach Konstruktion können eine oder mehrere Kraftkomponenten gleichzeitig gemessen werden.

Bild 2.52. Prinzip eines Einkomponenten-schnittkraftmessers
1 Meßgeber

Berechnung

Die Schnittkraft wird berechnet, und nach der Beziehung

$$F_S : F_P : F_V = 5 : 2 : 1$$

wird auf die Größen der übrigen Kraftkomponenten geschlossen.

Diese Relation ist nur eine Faustformel, sie gilt für die Bearbeitung von Stahl bei $\alpha = 45^\circ$. F_V kann z. B. größer als F_P werden, wenn α größer gewählt wird (s. Bild 2.44).

Die Größe der Schnittkraft ist abhängig:

- von der Größe und Form des Spanungsquerschnitts;
- vom Werkstoff des Werkstücks;
- von der Schneidengeometrie, vor allem von den Winkeln;
- von der Schnittgeschwindigkeit;
- vom Spanungsverhältnis $a : s$;
- von den Reibungsverhältnissen auf der Spanfläche, d. h. Werkstoff-Schneidstoff-Paarung, Einsatz von Schmiermitteln.

Die fünf letzten Einflußfaktoren werden in der spezifischen Schnittkraft k_S berücksichtigt.

2.4.6.1. Spezifische Schnittkraft k_S

Definition

Die spezifische Schnittkraft ist die Kraft, die benötigt wird, um ein Spannelement von der Größe 1 mm^2 abzutrennen.

$$k_S = \frac{F_S}{A} \quad (13)$$

k_S spezifische Schnittkraft in $\text{kp} \cdot \text{mm}^{-2}$
 F_S Schnittkraft
 A Spanungsquerschnitt

Die Werte für k_S wurden in einer Vielzahl von Versuchen unter den verschiedensten Spanungsbedingungen ermittelt und in Form von Richtwertdiagrammen oder Tabellen veröffentlicht. Hieraus lässt sich die Größe der Schnittkraft berechnen.

$$F_S = k_S \cdot A$$

$$F_S = k_S \cdot b \cdot h \quad (14)$$

Durch Einsetzen des Spanungsquerschnitts (s. Abschn. 2.2.3 S. 20) ergeben sich je nach Verfahren die nebenstehenden Gleichungen:

b Spannungsbreite

h Spanungsdicke

a Schnitttiefe oder -breite

s Vorschub

2.4.6.2. Einflußgrößen auf k_S

Werkstückwerkstoff

Mit zunehmender Festigkeit muß ein größerer Werkstoffwiderstand überwunden werden, zum Umformen des abgehobenen Spanes ist eine höhere Kraft aufzuwenden. k_S steigt demnach.

Spanungsdicke, Vorschub

Beim Abheben eines Spanes mit größerer Spanungsdicke wächst die Schnittkraft nicht proportional mit der Zunahme des Spanungsquerschnitts, sondern um einen geringeren Betrag.

Mit zunehmender Spanungsdicke (durch Wahl eines größeren Vorschubs) nimmt die spezifische Schnittkraft ab.

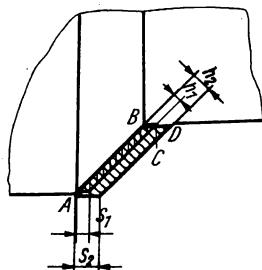


Bild 2.53. Längen der Linien \overline{ABCD} trennen des jeweiligen Spanteils. Obwohl $s_2 = 2 \cdot s_1$, \overline{ABD} nur wenig länger als \overline{ABC}

Ursache: Maßgebend für die Größe der aufzubringenden Kraft bei der Spanbildung sind die Winkelverhältnisse am Schneidekeil, insbesondere die Größe des Spanwinkels. Im Bereich der Schneidkantenrundung wird der Spanwinkel negativ, entsprechend steigt der Kraftbedarf an. Da der Anteil der Schneidkantenrundung mit größer werdender Spanungsdicke proportional abnimmt, muß sich die spezifische Schnittkraft verringern. Außerdem ist bei gleicher Spanungsbreite und größerer Spanungsdicke die im Eingriff befindliche Schneidkantenlänge nur wenig größer, so daß der Kraftanteil für das Abtrennen des Spanteils nur gering ansteigt (s. Bild 2.53). Im Versuchsfeld des Zentralinstituts für Fertigungstechnik, Karl-Marx-Stadt, ergaben sich unter den Bedingungen $v = 100 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$, $\alpha = 60^\circ$ und $\gamma = 60^\circ$ beim Drehen die in Tafel 2.2 gegebenen Werte.

Tafel 2.2. k_S -Werte beim Drehen

Vorschub s in mm	0,063	0,08	0,1	0,16	0,25	0,4	0,63	0,8	1,0	1,6	2,5
k_S bei St 50 in $\text{kp} \cdot \text{mm}^{-2}$	421	400	378	332	294	260	229	216	205	180	161
k_S bei GG 18 in $\text{kp} \cdot \text{mm}^{-2}$	206	192	182	162	145	129	115	108	102	92	80

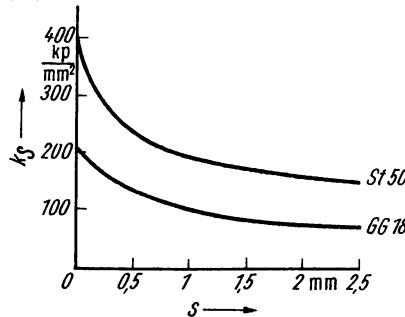
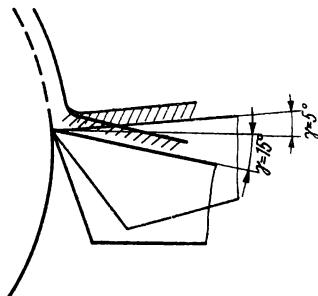


Bild 2.54. Grafische Darstellung des Vorschubeinflusses auf k_S

Stehen bei Schrupparbeit mehrere Vorschübe zur Verfügung, so ist es wirtschaftlicher, mit dem größeren Vorschub zu arbeiten.

Spanwinkel γ



Je kleiner γ , desto stärker muß der ablaufende Span abgebogen werden. Die erhöhte Umformarbeit bedingt eine größere Schnittkraft. Diese Einflußgröße kann im Korrekturfaktor K_γ erfaßt werden.

Aus ähnlichen Überlegungen lassen sich Abhängigkeiten für die anderen Winkel ableiten.

Bild 2.55. Spanwinkel einfluß

Schneidenverschleiß

Eine scharfe Werkzeugschneide dringt leichter in den Werkstoff ein als eine bereits abgestumpfte, bei der k_S um 30 ... 50% höher liegt (s. auch Erläuterungen zum Spanungsdickeinfluß). Auch das kann durch den Korrekturfaktor K_{ver} berücksichtigt werden.

Verfahren

Die k_S -Werte wurden ursprünglich für das Drehen ermittelt. Um jedoch mit diesen Tafelwerten die Schnittkräfte auch bei anderen Verfahren berechnen zu können, wurde ein weiterer Faktor, der Verfahrensfaktor, ermittelt, der die verfahrenstypischen Werkzeugformen, die Bedingungen des Spanablaufs und weitere den Spanungsprozeß positiv oder negativ beeinflussenden Faktoren, z. B. beim Räumen, Fräsen, Bohren, berücksichtigt.

Weitere Einflußgrößen

- Schnitttiefe,
 - Spanungsverhältnis $a : s$,
 - Schnittgeschwindigkeit,
 - Schneidenwerkstoff,
 - Kühlung und Schmierung
- können ebenfalls durch die Wahl von Korrekturfaktoren oder direkt bei der Aufstellung der k_S -Werte erfaßt werden.

Erfassen der Einflußgrößen

Unter Beachtung der vielfältigen Einflüsse ergibt sich folgende Beziehung für die Berechnung der Schnittkraft:

$$F_S = b \cdot h \cdot k_S \cdot K_\gamma \cdot K_v \cdot K_{\text{sch}} \cdot K_{\text{ver}} \cdot f; \quad (16)$$

F_S Schnittkraft

b Spanungsbreite

h Spanungsdicke

k_S spezifische Schnittkraft

K_γ Korrekturfaktor Spanwinkel

K_v Korrekturfaktor Schnittgeschwindigkeit

K_{sch} Korrekturfaktor Schneidstoff

K_{ver} Korrekturfaktor Verschleiß

f Verfahrensfaktor

2.5. Leistungen beim Spanen

2.5.1. Spanungsleistung

Die zum Spanen erforderliche Leistung ist aus der allgemeinen Leistungsgleichung ableitbar.

$$P = \frac{W}{t} \quad (17)$$

$$P = \frac{F \cdot s}{t} \quad (18)$$

$$P = F \cdot v \quad (19)$$

P Leistung
 W Arbeit
 t Zeit
 F Kraft
 s Weg
 v Geschwindigkeit

Somit läßt sich die beim Spanen wirksame Leistung aus dem Produkt der Kraft und der in Kraftrichtung wirkenden Geschwindigkeit berechnen. Bei Verwendung der üblichen Größen ergibt sich die Zahlenwertgleichung (20).

$$P_S = \frac{F_S \cdot v}{60 \cdot 102} \quad (20)$$

P_S	F_S	v
kW	kp	$\frac{m}{min}$

P_S Schnitt- oder Spanungsleistung (auch effektive Leistung P_e genannt)
 F_S Schnittkraft
 v Schnittgeschwindigkeit

Für Verfahren, bei denen mehrere Schneiden im Eingriff stehen, muß die Gleichung mit der Zähnezahl multipliziert werden.

$$P_S = \frac{F_S \cdot z_{iE} \cdot v}{60 \cdot 102} \quad (21)$$

P_S	F_S	v
kW	kp	$\frac{m}{min}$

z_{iE} Anzahl der gleichzeitig im Eingriff befindlichen Zähne

Für die meisten Fälle ist es ausreichend, die aus der Schnittkraft und der Schnittgeschwindigkeit resultierende Leistung P_S zu ermitteln. Weitere Leistungskomponenten zeigt Bild 2.56.

2.5.2. Antriebsleistung

Antriebsleistung > Schnittleistung

Der Antriebsmotor der Werkzeugmaschine muß die zum Spanen notwendigen Leistungen aufbringen. Diese Antriebs- oder Motorleistung muß größer als die erforderliche Schnittleistung sein, da ein Teil der Motorleistung zum Überwinden der Getriebe- und Reibungsverluste benötigt wird. Außerdem werden vom Hauptmotor oftmals noch Drehmomente für den Vorschubantrieb oder Schmiermittelkreislauf abgezweigt. Diese Verluste werden durch den Maschinenwirkungsgrad η erfaßt.

$$P_A = \frac{P_S}{\eta} \quad (22)$$

η schwankt je nach Antriebsverhältnissen, Alter und Zustand der Maschine zwischen 0,7 und 0,85. Demnach gilt Gl. (22):

P_S Schnittleistung
 P_A Antriebsleistung
 η Maschinenwirkungsgrad

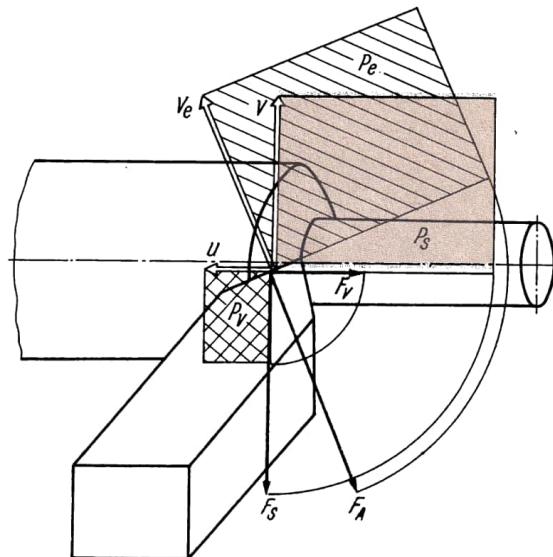


Bild 2.56. Grafische Darstellungen der Leistungen beim Drehen

- $F_S \cdot v_e$ = Schnittleistung
- $F_A \cdot v_e$ = Aktivleistung
- $F_V \cdot u$ = Vorschubleistung

2.6. Erwärmung

Fast die gesamte bei der Zerspanung aufgewandte Energie wird durch die äußere und innere Reibung in Wärme umgewandelt.

Wärmequellen	Wärmequelle	Ursache
	I	innere Reibung durch Formänderungsarbeit beim Trennen, Scheren und Umformen des Spans
	II	Reibung des ablaufenden Spans auf der Spanfläche des Meißels
	III	Reibung der Werkzeugfreifläche am Werkstück

Bild 2.57. Wärmequellen beim Spanen

Temperaturen

Die entstandene Wärmemenge führt zur Temperaturerhöhung der Schnittstelle und ihrer Umgebung. In Abhängigkeit von der Schnittgeschwindigkeit sind unterschiedliche Temperaturen am Werkzeug, Werkstück und im Span feststellbar (s. Bild 2.58).

Die Temperatur verteilt sich auch nicht gleichmäßig am Werkzeug, sondern sie ist in der Nähe der Schneidenspitze am höchsten und nimmt zum Schaft hin ab (s. Bilder 2.59 und 3.19).

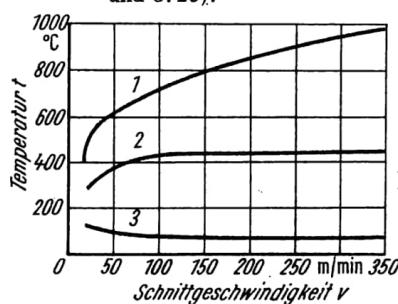


Bild 2.58. Temperaturen in Abhängigkeit von der Schnittgeschwindigkeit
1 Schneidentemperatur; 2 mittlere Spantemperatur; 3 Werkstücktemperatur

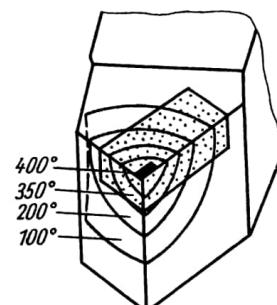


Bild 2.59. Temperaturfelder am Drehmeißel

Wärmeausbreitung



Die erhöhte Temperatur führt zu einem Wärmeaustausch mit der Umgebung. Die weitaus größte Wärmemenge wird vom Span abgeführt (s. Bild 2.60). Die hier dargestellten Prozentangaben sind Mittelwerte bei einer Schnittgeschwindigkeit von $100 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.

Bild 2.60. Wärmeausbreitung beim Spanen

Erwärmung

Auswirkung	<u>Wärme- ausdehnung</u>	<u>Gefüge- veränderung</u>	<u>Unfall- gefährten</u>
Folge	Fehl- messungen; Verformung an Werk- stück oder Maschine	verstärkter Verschleiß am Werk- zeug; Rand- schicht des Werkstücks verändert sich unter Umständen ungünstig	Verbrennun- gen und Augen- verletzungen des Arbeiters besonders bei Feinspänen (Drehen sprö- der Werkstoffe, Schleifen); ge- schlossene Arbeitskleidung und Augenschutz sind notwendig

Verminderung der Erwärmung

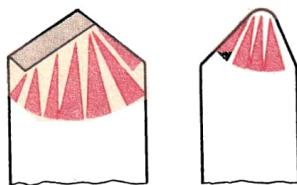


Bild 2.61. Breiter Schneidekeil begünstigt die Wärmeableitung

Wärmeentstehung wird verringert durch:

- Wahl der richtigen Arbeitswerte, vor allem der Schnittgeschwindigkeit (s. Bild 2.58),
- scharfe Werkzeugschneide,
- richtige Schneidengeometrie,
- Herabsetzen der äußeren Reibung durch Schmiermittel.

Verbesserung der Wärmeableitung ist möglich durch:

- großen Schneidekeil,
- langen Schneideneingriff,
- Kühlung oder Anwendung der Kühlsschmierung.

2.7. Ergänzungen

Leitbegriff	Bemerkungen

Leitbegriff	Bemerkungen

3. Werkzeug

3.1. Ausführungsformen und -arten

Die Forderung nach hoher Ökonomie des Spanungsvorgangs wird entscheidend durch das Werkzeug beeinflußt. Es besteht aus dem Werkzeugkörper mit dem Einspannteil und den Schneiden.

Werkzeugkörper

Trägt die Werkzeugschneiden, wird mit der Werkzeugspanneinrichtung in der Maschine befestigt. Je nach Bearbeitungsverfahren und Maschinenart sind unterschiedliche Ausführungsformen möglich.

Tafel 3.1. Beispiele für Einspannteile von Werkzeugen

Werkzeuge	Dreh- und Stoßmeißel	Bohrer, Stirnfräser, Fräser kleiner Durchmesser, Senker, Reibahlen	umlaufende Werkzeuge großer Durchmesser (Walzenfräser, Schleifscheiben, Kreissägeblätter)
Ausführung	quadратischer, rechteckiger oder runder Querschnitt	zylindrischer Schaft, Werkzeugkegel mit und ohne Anzugs gewinde	Bohrung zur Aufnahme von Dornen oder Spindeln

Schneidenform

Die Grundform der Werkzeugschneide ist der Keil. Unter Beibehaltung der Keilform ist das Werkzeug den verschiedensten Anforderungen angepaßt worden. Die Formenvielfalt der Werkzeuge wird durch die Schneidengeometrie erfaßt.

Anzahl der Schneiden

Nach der Anzahl der Hauptschneiden wird in ein-, zwei- und mehrschneidige Werkzeuge eingeteilt. Ein Drehmeißel, obwohl er eine Haupt- und Nebenschneide hat, kann nur jeweils einen Span abheben. Er zählt deshalb zu den einschneidigen Werkzeugen.

Einschneidig	Zweischneidig	Mehrschneidig
Drehmeißel, Hobel- bzw. Stoßmeißel, Gravierfräser	Spiralbohrer, Spitzbohrer, Zentrierbohrer, T-Nutenfräser, Langlochfräser,	Walzen- und Walzenstirnfräser, Messerköpfe, Reibahlen, Gewindebohrer, Sägeblätter, Schleifscheiben

Werkzeuge mit eingesetzten Schneiden

Häufig fertigt man den Werkzeugkörper aus Baustahl an und setzt die Schneide ein, um

- wertvollen Schneidstoff zu sparen
- die geringe Biegefestigkeit der modernen Schneidstoffe zu berücksichtigen
- ein schnelles Auswechseln unbrauchbarer Schneiden zu ermöglichen.

Schneidenbefestigung

Werkstoff	Befestigungsart
Schnellarbeitsstahl	Schweißen, Löten, Klemmen
Keramik	Kleben, Klemmen
Schneiddiamant	Klemmen, Kitten, Kleben

3.2. Schneidengeometrie

Die Schneidengeometrie umfasst die Untersuchung der Form und Lage der einzelnen Flächen, Ecken, Kanten und Winkel am Werkzeug sowie ihre gegenseitigen Beziehungen.

Geometrisch unbestimmte Schneiden

Die Untersuchung der Werkzeugschneide setzt voraus, daß der Schneidkeil eine regelmäßige geometrische und damit bestimmte Form hat. Das gilt für alle spanenden Werkzeuge mit Ausnahme des Schleif-, Hon- und Läppkorns. Seine Form ist, durch die Herstellung bedingt, unregelmäßig – sie ist geometrisch unbestimmt.

3.2.1. Flächen, Schneiden, Ecken und Fasen

Spanfläche

Fläche des Schneidkeils, auf der der Span abläuft.

Freifläche

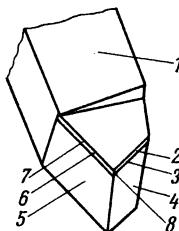
Fläche am Schneidkeil, die der im jeweiligen Moment entstehenden Schnittfläche zugekehrt ist. Bei Werkzeugen mit Haupt- und Nebenschneide treten zwei Freiflächen auf.

Hauptfreifläche Nebenfreifläche

Man unterscheidet demnach in Freifläche der Hauptschneide (Hauptfreifläche) und Freifläche der Nebenschneide (Nebenfreifläche).

Fasen

Ist die Span- oder Freifläche an der Schneidkante abgewinkelt, so spricht man von der Span- bzw. Freiflächenfase (s. Bild 3.1).



Schneiden

Kanten (Linien), die durch eine Span- und Freifläche gebildet werden.

Hauptschneide

Jede Schneide, die bei normalem Gebrauch des Werkzeugs in Vorschubrichtung weist. Sie wird von der Spanfläche und der Hauptfreifläche gebildet.

Die Hauptschneide leistet die hauptsächliche Spanungsarbeit, zerlegt die Bearbeitungszugabe und schneidet ein.

Nebenschneide

Jede Schneide am Werkzeug, die nicht in Vorschubrichtung weist. Bezeichnungen und Winkel erhalten den Index n.

Die Nebenschneide trennt das Spanelement ab (s. Bild 3.2) und beeinflusst in der Regel die Mikroform der entstehenden Oberfläche.

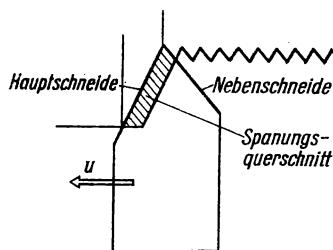


Bild 3.2. Wirkung von Haupt- und Nebenschneide

Schneidenecke

Der Punkt, an dem Haupt- und Nebenschneide zusammentreffen.

3.2.2. Bezugssysteme zur Bestimmung der Winkel am Schneidkeil

Bestimmungsebenen

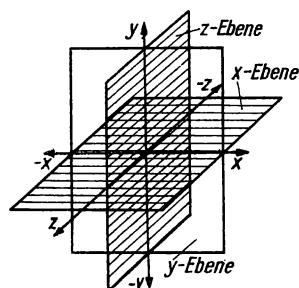


Bild 3.3. Dreidimensionales Koordinatensystem

Die Schneiden, Flächen und ihre Winkel müssen exakt mess-, berechen- und herstellbar sein. Deshalb ist es erforderlich, die Werkzeugschneide in einem gedachten System von Ebenen zu betrachten. Da zur Bestimmung der Lage eines Punktes im Raum drei Koordinaten (x-, y- und z-Richtung) erforderlich sind, wurden drei Bezugsebenen gebildet, die rechtwinklig aufeinanderstehen (Bild 3.3). In Abweichung von der mathematischen Begriffsbestimmung bezeichnet man die Ebenen nicht mit x, y und z, sondern nach ihrer Funktionsbestimmung als:

- Bezugsebene,
- Schneidenebene,
- Keilmeßebene.

Bezugssysteme

In der Spanungsforschung wird unterschieden:

- Werkzeugbezugssystem
für das nicht arbeitende Werkzeug;
- Wirkbezugssystem
für das im Eingriff befindliche Werkzeug.

Die Winkel im Wirkbezugssystem werden durch den Index e (effektiv) unterschieden, die übrigen Begriffe durch Voranstellen des Wortes „Wirk“ kenntlich gemacht. Beide Bezugssysteme unterscheiden sich in ihrer Lage durch den Winkel zwischen Schnitt- und Wirkrichtung (s. S. 14).

Ebenen im Werkzeugbezugssystem

Bezugsebene

Bei vielen Verfahren ist dieser Winkel vernachlässigbar klein, daher werden alle weiteren Aussagen auf das Werkzeugbezugssystem bezogen.

Sie ist Ausgangspunkt für die Bestimmung des Werkzeugbezugssystems. Sie wird so durch den betrachteten Schneidenpunkt gelegt, daß sie senkrecht zur angenommenen Schnittrichtung steht. Die Bezugsebene wird nach einer Hauptachse oder Kante des Werkzeugs ausgerichtet.

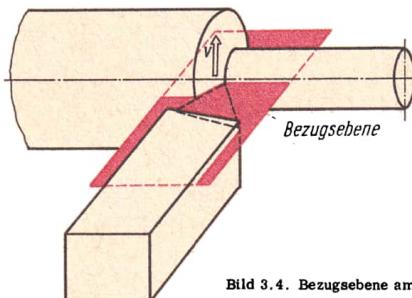


Bild 3.4. Bezugsebene am Drehmeißel

Bei umlaufenden Werkzeugen verläuft die Werkzeugbezugsebene durch den betrachteten Schneidenpunkt und die Mittelachse.

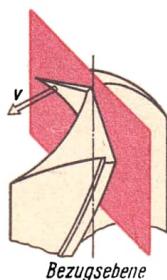


Bild 3.5. Bezugsebene am Spiralbohrer

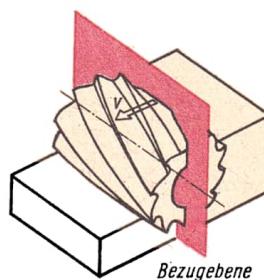


Bild 3.6. Bezugsebene am Walzfräser

Schneidenebene

Rechtwinklig zur Bezugsebene errichtet, verläuft in Richtung der Schnittbewegung. Sie berührt die entstehende Schnittfläche.

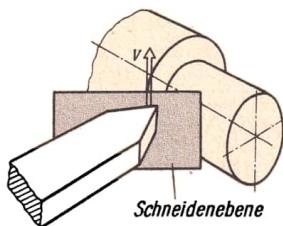


Bild 3.7. Schneidenebene am Drehmeißel

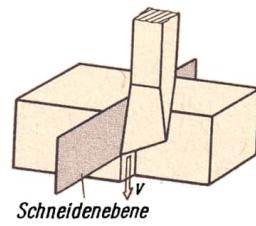


Bild 3.8. Schneidenebene am Stoßmeißel

Keilmeßebene

Steht senkrecht auf der Schneidenebene und der Bezugsebene. In ihr werden die Hauptwinkel des Schneidkeils gemessen.

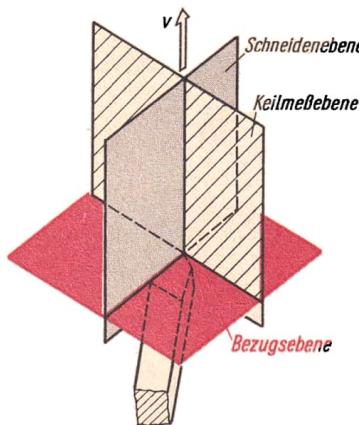


Bild 3.9. Bezugssystem beim Drehen

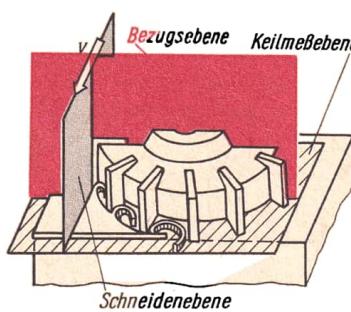


Bild 3.10. Bezugssystem beim Stirnfräsen

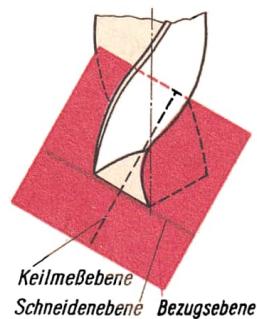


Bild 3.11. Bezugssystem beim Bohren

3.2.3. Winkel am Werkzeug

Freiwinkel α

Winkel zwischen der Freifläche des Werkzeugs und der Schneidenebene. Da die Schneidenebene mit der Schnittfläche zusammenfällt oder sie tangiert, lässt sich der Freiwinkel auch als Winkel zwischen der Freifläche und der Schnittfläche beschreiben.

Keilwinkel β

Winkel zwischen Spanfläche und Freifläche.

Spanwinkel γ

Winkel zwischen Spanfläche des Werkzeugs und Bezugsebene.

Schnittwinkel δ

Winkel zwischen Schneidenebene und Spanfläche des Werkzeugs. Er ergibt sich als Summe des Freiwinkels und Keilwinkels.

$$\delta = \alpha + \beta$$

(23)

Beziehungen

Die genannten Winkel werden in der Keilmeßebene bestimmt. Sie lassen sich daher alle in ihr abbilden.

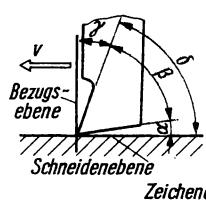


Bild 3.12. Winkel in der Keilmeßebene am Stoßmeißel

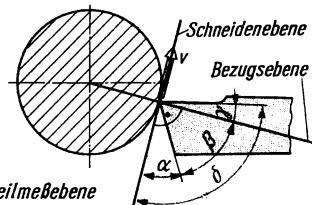


Bild 3.13. Winkel in der Keilmeßebene am Drehmeißel beim Einstechdrehen

Durch die Definition der Ebenen müssen die drei Winkel α , β und γ , die zwischen der Schnittebene und der Bezugsebene liegen, die Winkelsumme von 90° ergeben.

$$\alpha + \beta + \gamma = 90^\circ \quad (24)$$

Bei der Wahl besonderer Werkzeuge kann sich der Schnittwinkel δ größer als 90° ergeben, der Spanwinkel γ wird dann negativ.

In diesem Fall, wie Bild 3.13 zeigt, gilt
 $\alpha + \beta + (-\gamma) = 90^\circ$.

Spitzenwinkel ε

Winkel zwischen Haupt- und Nebenschneide. Er gibt die Schlankheit des Schneidkeils an.

Einstellwinkel φ

Winkel zwischen Arbeitsebene und Schnittebene. Die Winkel φ und ε werden in der Werkzeugbezugsebene gemessen, sie können daher gemeinsam in einer Ansicht abgebildet werden (s. Bild 3.14).

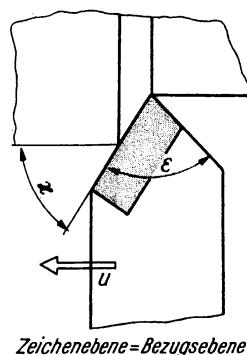


Bild 3.14. Winkel in der Bezugsebene

Neigungswinkel λ

Winkel zwischen der Hauptschneide und der Bezugsebene. λ wird in der Schneidenebene gemessen. Bei einer in Richtung der Bezugsebene ausgerichteten Schneide ist er daher Null (s. Bild 3.15).

Schneidet die Schneidenecke der übrigen Schneide voraus, ist λ positiv.

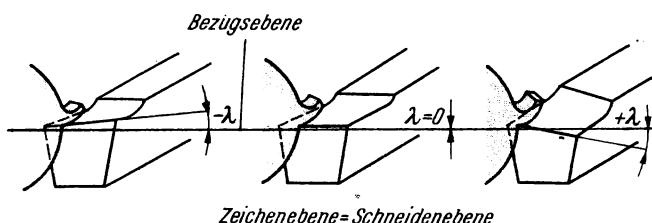


Bild 3.15. Neigungswinkel λ beim Drehen

Werkzeugwinkel

Die Winkel β und ϵ werden von Werkzeugflächen oder -kanten gebildet. Sie werden daher nur vom Anschliff des Werkzeugs bestimmt und sind vom Spanungsprozeß nicht beeinflußbar. β und ϵ sind Werkzeugwinkel.

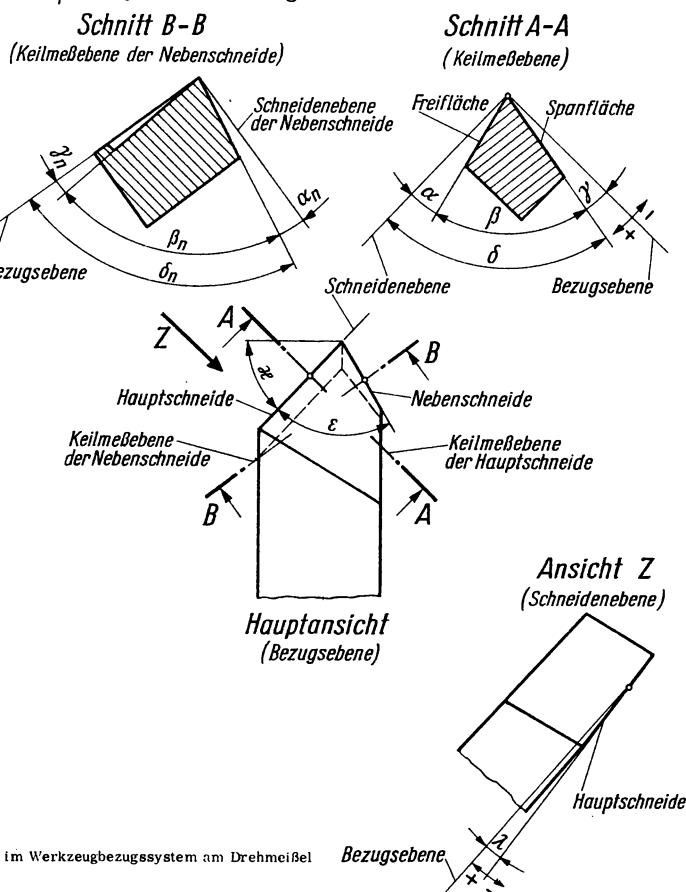


Bild 3.16. Winkel im Werkzeugbezugssystem am Drehmeißel

Arbeitswinkel

Die Winkel α , γ , δ , φ und λ werden einerseits von einer Kante oder Fläche des Werkzeugs und andererseits von einer Ebene des Bezugssystems begrenzt. Sie ändern ihre Größe mit der Lage des Werkzeugs im Bezugssystem und hängen somit von der jeweiligen Einstellung ab. Man nennt sie daher auch Arbeitswinkel.

Einfluß der Winkelgröße auf den Spanungsprozeß

<u>Winkel</u>	<u>Vergrößerung</u>	<u>Verkleinerung</u>
Freiwinkel α	hat oberhalb eines Mindestbetrags nur geringen Einfluß auf die Reibung zwischen Werkzeug und Werkstück; <u>Anwendung bei rauher Oberfläche</u>	<u>Anwendung bei hoher Oberflächengüte</u>
Keilwinkel β	bewirkt erschwertes Eindringen des Schneidekeils, aber größere Standfestigkeit, bessere Wärmeableitung; <u>Anwendung bei festen Werkstoffen</u>	bewirkt sinkende Schnittkräfte, aber geringere Standfestigkeit, erschwere Wärmeableitung; <u>Anwendung bei weichen Werkstoffen</u>
Spanwinkel γ	ermöglicht verbesserte Spanabfuhr und Fließspanbildung, ergibt sinkende k_s -Werte; <u>Anwendung bei Bearbeitung zäher Werkstoffe, zur Erzielung hoher Oberflächengüten</u>	führt zu wachsenden k_s -Werten; bei negativem Spanwinkel dringt Schneidenspitze als letzter Punkt der Schneide ein (hohes Standvermögen); <u>Anwendung bei sprödem Schneidstoff und schwerem oder unterbrochenem Schnitt</u>
Spitzenwinkel δ	bewirkt größere Widerstandsfähigkeit der Schneidenecke; bei Vorliegen einer Eckenrundung geringe Furchung des Werkstücks, hohe Oberflächengüte; <u>Anwendung zur Erhöhung des Standvermögens; bei Verwendung als Breitschlichtmeißel: Schleppschneide zum Glätten</u>	ergibt Erhöhung des Eckenverschleißes; <u>Anwendung s. Einstellwinkel</u>
Einstellwinkel φ	bewirkt Anwachsen der Vorschubkraft, kurzen Schneideingriff, hohe spezifische Beanspruchung der Schneidkante; <u>Anwendung bei instabilen Werkstücken</u>	bewirkt Anwachsen der Passivkraft bei Verkleinerung der Vorschubkraft, größeren Eingriff der Schneidkante; <u>Anwendung bei stabilen Werkstücken</u>

Winkel

Neigungswinkel λ

Vergrößerung

Schneidenecke kommt zuerst zum Eingriff, Gefahr des Bruchs;

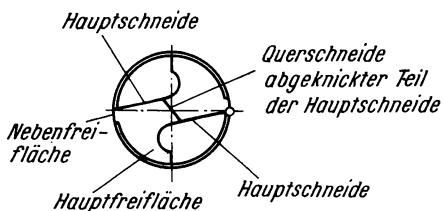
Verkleinerung

fördert bei negativem Neigungswinkel Entstehen von Wendelspänen, günstigen Spanablauf; führt zu Voraus-eilen der Schneide gegenüber der Schneidenecke; schützt die Schneidenecke;

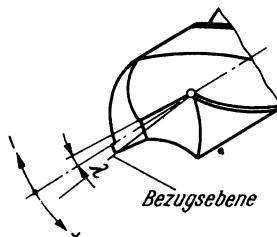
Anwendung bei kontinuierlichem Schnitt und Schlichten

Anwendung bei unterbrochenem Schnitt (Fräsen mit Fräsköpfen) und ungünstiger Spanbrechung

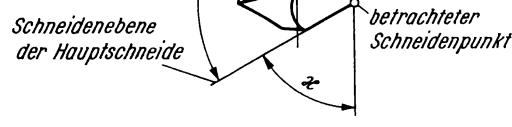
Ansicht y



Ansicht x
(Schneidenebene)



Hauptansicht (Bezugsebene)



Ansicht z
(Keilmeßebene)

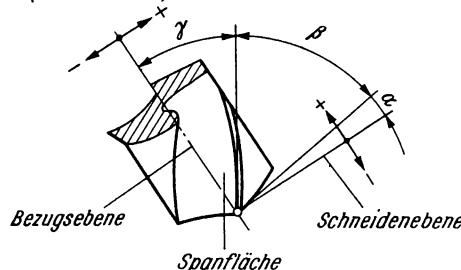


Bild 3.17. Winkel im Werkzeugbezugssystem am Spiralbohrer

3.3. Schneidstoffe

Definition.

Als Schneidstoff (auch Schneidenwerkstoff bzw. Werkzeugwerkstoff) wird der Werkstoff bezeichnet, aus dem der Schneideckel hergestellt ist.

Anforderungen

Möglichst hohe Werte bei:

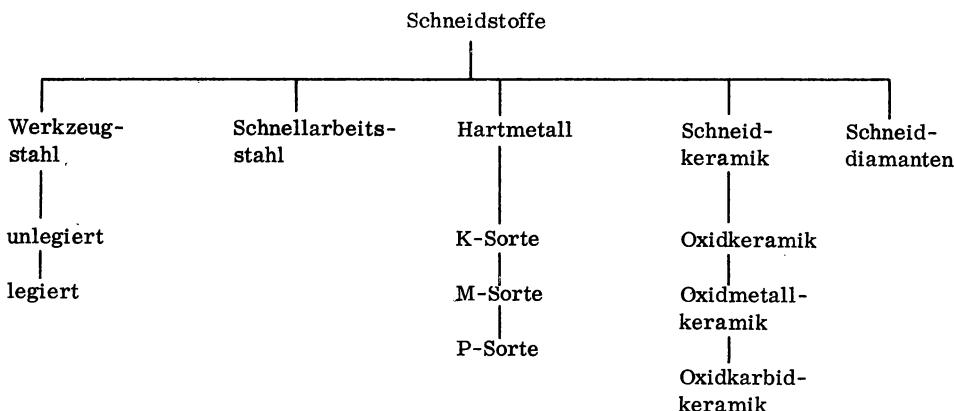
- Härte und Druckfestigkeit,
- Biegefestigkeit und Zähigkeit,
- Kantenfestigkeit,
- innerer Bindefestigkeit,
- Warmfestigkeit,
- Zunderbeständigkeit,
- Wärmeleitfähigkeit.

Möglichst geringe Werte bei:

- Diffusion,
- Klebneigung gegenüber den zu bearbeitenden Werkstoffen,
- spezifischer Wärme,
- Wärmedehnung.

Einteilung

Tafel 3.2. Schneidstoffe



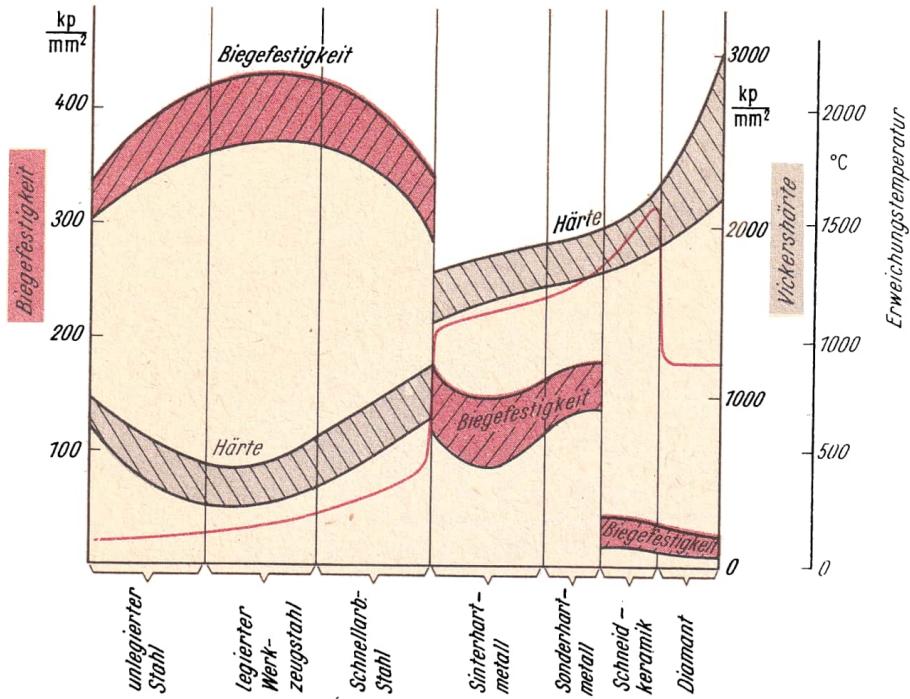


Bild 3.18. Eigenschaften der gebräuchlichsten Schneidstoffe

Eigenschaften, Zusammensetzung und Einsatz der Schneidstoffe

Werkstoff	Eigenschaften	Zusammensetzung	Einsatz
Werkzeugstahl unlegiert	Warmhärte etwa 200 °C gleichmäßiges Härteverhalten geringe Anlaß- beständigkeit große Verschleiß- festigkeit gute Schlag- festigkeit	0,6 ... 1,3% C C > 1% C < 1%	bei geringer Erwärmung handgeführte Werkzeuge Werkzeuge mit großer Verschleißbeanspruchung
legiert	Warmhärte etwa 300 °C bessere Anlaß- beständigkeit als bei unlegiertem WS; Warmfestigkeit und Verschleißfestigkeit steigen	C, Legierungs- elemente W, Cr, Co, V	stoß- und schlagbean- spruchte Werkzeuge Handarbeitswerkzeuge Werkzeuge zum Bear- beiten von Holz und Gestein

Werkstoff	Eigenschaften	Zusammensetzung	Einsatz
Schnellarbeitsstahl (SS oder HSS)	Warmhärte etwa 600 °C gutes Härteverhalten gute Anlaßbeständigkeit	C, Legierungs-elemente Cr, W, Mo, V, Co	für v_{max} etwa 40 m · min ⁻¹ bei Stahl Kühlung notwendig für mehrschneidige Werkzeuge (Fräser, Räumwerkzeuge usw.) Formdrehmeißel Stechmeißel
Hartmetall (HM) (Sinter-hartmetall)	Warmhärte etwa 1000 °C hart, spröde, schlagempfindlich mit steigendem Karbidanteil wächst Härte und Sprödigkeit	Wolframkarbide, Titan- und Tantal-karbide Bindemittel Co, Fe, Ni geringe Mengen von Tantal, Niob	ohne Kühlung und Schmierung
K-Sorte	große Verschleißfestigkeit	niederer Kobaltgehalt	Bearbeitung von kurzspanenden Werkstoffen Gußeisen Plasten
M-Sorte	Kombination zwischen K- und P-Sorte	großer Tantal-karbidgehalt	Bearbeitung von lang- und kurzspanenden Werkstoffen
P-Sorte	große Zähigkeit und Schneidkantenfestigkeit	großer Titankarbidgehalt	Bearbeitung von langspanenden Werkstoffen
Schneidkeramik (SK)	Warmhärte über 1000 °C große Härte hohe Verschleißfestigkeit geringer Kolkverschleiß geringe Zähigkeit Sprödigkeit nimmt mit Al_2O_3 -Gehalt zu schwingungs- und stoßempfindlich schlechte Wärmeleitfähigkeit	Al_2O_3 (Aluminium-oxid) als Basis	Feinbearbeitung v_{max} 500 m · min ⁻¹ nicht für unterbrochene Schnitte für kleine Schnittkräfte keine Kühlung notwendig

Fortsetzung der Tafel auf Seite 52

Fortsetzung der Tafel von Seite 51

Werkstoff	Eigenschaften	Zusammensetzung	Einsatz
Oxidkeramik	wie oben	Al_2O_3	Mehrzwecksorte für Stahl und Guß
Oxidmetall-keramik		Al_2O_3 Zusätze von Molybdän Titan	Bearbeitung von langspanenden Werkstoffen
Oxidkarbid-keramik	Zähigkeit nimmt zu	Al_2O_3 Zusätze von Wolframkarbid Titankarbid Molybdänkarbid	Bearbeitung von kurzspanenden Werkstoffen
Schneiddiamanten (SD)	Warmhärte < 800 °C große Härte und Sprödigkeit große Stoßempfindlichkeit hohe Verschleißfestigkeit geringe Reibung in den Kontaktzonen	reiner Kohlenstoff	Fein- und Feinstbearbeitung an schwungssarmen Maschinen zur Bearbeitung von Schwermetallen, Lagermetallen, Edelmetallen, Leichtmetallen, Hartgummi, Weichgummi, Kunststoffen aller Art, Glas Glas Stahl Stahlguß Gußeisen } nur bedingt

3.4. Verschleiß

3.4.1. Allgemeines

Begriff

Verschleiß ist die allmähliche, unbeabsichtigte Oberflächenveränderung durch das Abtragen von kleinsten Werkstoffteilchen.

Ursachen

Mechanische Beanspruchung

Durch Flächenpressung und Relativbewegung zwischen Werkstück und Freifläche des Werkzeugs sowie durch den Druck des ablaufenden Spanes auf die Spanfläche entsteht Reibung.

Chemische Beanspruchung

Zwischen Kühlmittel, Kühlmitteldämpfen, Luftsauerstoff, Span und Schneidwerkstoff treten chemische Reaktionen auf.

Elektrochemische Beanspruchung

Temperaturdifferenzen zwischen den Kontaktstellen unterschiedlicher Werkstoffe führen zu Thermospannungen. Schneide und Werkstück weisen elektrochemisch ein verschiedenes Potential auf.

Es bilden sich geschlossene Stromkreise, die eine Magnetisierung der Schneide hervorrufen und Werkstoffveränderungen bewirken.

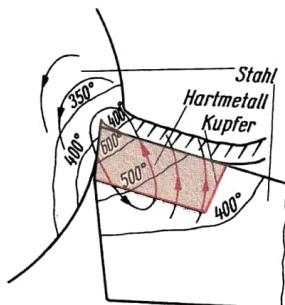


Bild 3.19. Entstehung von Thermoströmen

Diffusion

Atome bestimmter Schneidstoffanteile dringen durch Lösungsvorgänge in den Span oder Werkstückwerkstoff ein.

Thermische Beanspruchung

Bei hohen Temperaturen erweicht der Schneidstoff. Außerdem bedingen Temperaturunterschiede zwischen Werkzeugschneide und Werkzeugschaft Wärmespannungen. Bei erhöhter thermischer Beanspruchung werden alle genannten Verschleißursachen in verstärktem Maß wirksam (s. Abschn. 2.6.).

Preßschweißung

Festsetzen von Metallstaub durch Sintern und Verschweißen kleinstster Spanteilchen auf der Spanfläche.

Verschleißformen

<u>Formen</u>	<u>Ursachen</u>	<u>Auswirkung</u>
Freiflächenverschleiß	Reibung am Werkstück	Versatz der Meißelschneide (Maßgenauigkeit des Werkstücks)

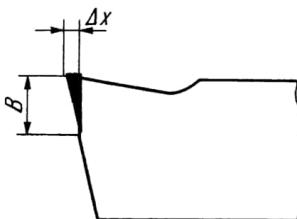


Bild 3.20
 Δx Versatz der Meißelschneide
 B Verschleißmarkenbreite

Fortsetzung auf Seite 54

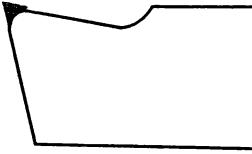
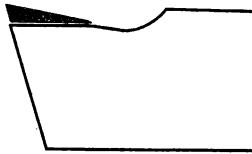
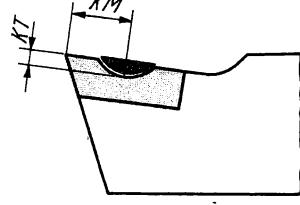
<u>Formen</u>	<u>Ursachen</u>	<u>Auswirkung</u>
<p>Schneidkantenrundung</p> 	<p>mechanische Beanspruchung der Schneiden spitze</p>	<p>Veränderung der Schneiden geometrie; wachsender Keilwinkel; höhere Schnittkräfte erforderlich; Anstieg der Erwärmung; schlechte Oberflächengüte</p>
<p>Spanflächenverschleiß</p> 	<p>Abrieb der Spanfläche</p>	
<p>Kolkverschleiß</p> 	<p>Legierungsbestandteile des Schneidstoffes diffundieren in den Span; Bindfestigkeit des Schneidstoffes wird geschwächt</p>	<p>Veränderung der Spanfläche; Querschnitt der Schneide geschwächt; Schneidenausbruch möglich; Hartmetall zersetzt sich und bröckelt aus</p>

Bild 3.23

$$K = \frac{K_T}{K_M} \quad (25)$$

K Kolkzahl
 K_T Koltiefe
 K_M Kolkmittenabstand

Die folgenden Vorgänge sind nicht auf unmittelbaren Verschleiß zurückzuführen, beeinträchtigen aber ebenfalls die Schneidfähigkeit des Werkzeugs.

Erweichung

Stahl wird bei Erwärmung über die Erweichungstemperatur durch Gefügeveränderungen weich

keine Schneidfähigkeit;
plastische Formänderung der Werkzeugschneide;
sprunghafter Verschleiß

Fortsetzung auf Seite 55

<u>Formen</u>	<u>Ursachen</u>	<u>Auswirkung</u>
<u>Verzunderung</u>	thermische Überlastung des Werkzeugs	Zunderschicht am Werkzeug
<u>Schneidenausbruch</u>	zu hohe Schnittkräfte; unsachgemäße, vor allem stoßweise Belastung	völlige Unbrauchbarkeit des Werkzeugs
<u>Aufbauschneide</u>	Metallstaub sinternt auf Schneidenspitze fest, Schneidenaufbau wächst rasch und wird vom Werkstück mitgerissen	unsaubere Werkstückoberfläche; Wärmestau in der Schneide

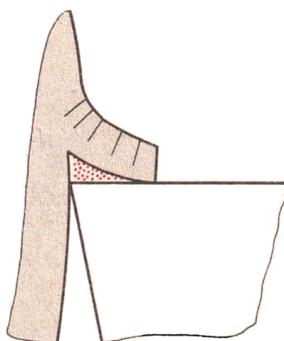


Bild 3.24. Entstehung der Aufbauschneide

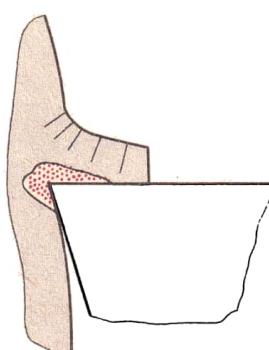


Bild 3.25. Schneidenaufbau drückt sich ins Werkstück ein

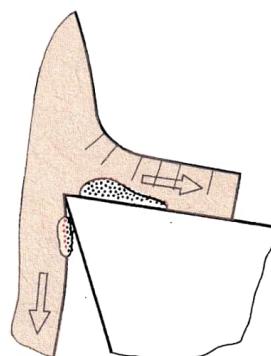


Bild 3.26. Abwandern der Aufbauschneide

Alle Verschleißformen können sowohl einzeln als auch kombiniert mit anderen Verschleißformen oder den weiteren Erscheinungen am Werkzeug auftreten.

3.4.2. Standgrößen

Begriff

Standgrößen sind Normative für das Standvermögen der Werkzeuge. Sie stellen ein Maß für die Leistungsfähigkeit dar, die ein Werkzeug bis zu seiner durch den Verschleiß bedingten Abstumpfung erreicht.

Je nach Werkzeugart wird das Standvermögen durch unterschiedliche Standgrößen beurteilt:

Standzeit

Reine Schnittzeit vom Eingriff eines scharfen Werkzeugs bis zu dessen Wiederanschliff.
Die Standzeit ist bei einschneidigen Werkzeugen (Dreh-, Stoßmeißel) sowie bei Fräsköpfen das Maß für das Standvermögen.

Standweg

Weg, den ein scharfes Werkzeug bis zu seinem Wiederanschliff schneidend im Einsatz sein kann. Der Standweg, in Vorschubrichtung gemessen (auch Standlänge genannt), wird für die meisten mehrschneidigen Werkzeuge (Fräser, Bohr- und Gewindeschneidwerkzeuge) ermittelt.

Standmenge

Diejenige Anzahl von Werkstücken, die von einem Werkzeug mit einem Anschliff bearbeitet werden können. Die Standmenge wird vor allem bei automatischen Maschinenfließreihen als Maß für das Standvermögen benötigt.

Standkriterien

Das Ende des Standvermögens wird von bestimmten für den Verschleiß typischen Merkmalen bestimmt. Als Kriterium hierfür gelten das Anwachsen der Rückkraft und vor allem das Erreichen bestimmter Verschleißgrößen.

Zulässige Verschleißgrößen

- Freiflächenverschleiß
- $B_{zul} = 0,2 \dots 0,4 \text{ mm}$ bei Schlichtbearbeitung
 $0,6 \dots 1,2 \text{ mm}$ bei Schrubbearbeitung

- Kolkverschleiß (s. Bild auf Seite 54)

$K_T \text{ zul} = 1,0 \dots 1,5 \text{ mm}$ und

B_{zul} zulässige Verschleißmarkenbreite der Freifläche
 K_T Kolktiefe

$K_T \text{ zul}$ zulässige Kolktiefe

K_M Kolkmittenabstand

K Kolkzahl

Eine das Standkriterium übersteigende Belastung des Werkzeugs führt zu:

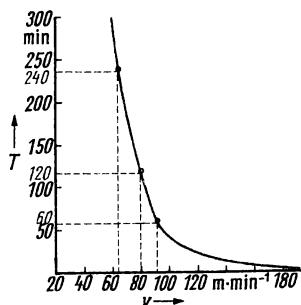
- starkem Anwachsen der Schnittkräfte,
- erhöhtem Leistungsbedarf,
- Qualitätsmängeln des Werkstücks,
- steigender Wärmeentwicklung und somit zu immer rascherem Verschleiß (Wechselwirkung).

Einflußgrößen

Das erreichbare Standvermögen ist abhängig von:

- Schneidstoff,
- Schneidengeometrie,
- Werkstoff des Werkstücks,
- Größe evtl. auftretender Erschütterungen,
- Spanungsquerschnitt,
- Kühlung und Schmierung sowie
- Schnittgeschwindigkeit.

Standzeitschnittgeschwindigkeit



Erfäßt die Auswirkung der leicht zu verändernden Einflußgröße Schnittgeschwindigkeit auf die Standzeit.
Bei wachsender Schnittgeschwindigkeit entsteht durch Zunahme der Erwärmung ein stärkerer Verschleiß, wodurch die Standzeit abnimmt (s. Bild 3.27).
Die dargestellte Kurve ist eine Exponentialfunktion.

Bild 3.27. T-v-Diagramm

$$T = C_1 \cdot v^2 + C_2 \quad (27)$$

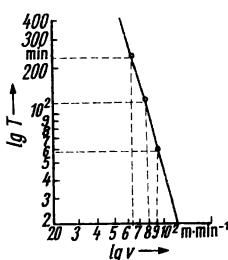


Bild 3.28. T-v-Diagramm bei logarithmischer Koordinateneinteilung

Standwegschnittgeschwindigkeit

T Standzeit
v Schnittgeschwindigkeit
 C_1, C_2 Konstanten (von den übrigen Einflüssen abhängig)

Die $T;v$ -Beziehung ergibt im logarithmischen Koordinatensystem eine Gerade (s. Bild 3.28).

Zur Erfassung dieses Zusammenhangs dient der Begriff der Standwegschnittgeschwindigkeit. Im Bild 3.27 erreicht das Werkzeug bei $v = 64 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ eine Standzeit von 240 min.

Die Standwegschnittgeschwindigkeit lautet:

$$v_{240} = 64 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}, \text{ dem entspricht}$$

$$v_{120} = 80 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}.$$

Wird mit v_L bezeichnet, z. B.
 $v_L = 18 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$,

gibt die Schnittgeschwindigkeit an, bei der ein Bohrer eine Standlänge von 5000 mm erreicht. Die Wahl der wirtschaftlichen Standwegschnittgeschwindigkeit hängt von unterschiedlichen Bedingungen ab (s. Abschn. 5.2.).

3.4.3. Maßnahmen zur Erhöhung des Standvermögens

Ein Grundsatz der modernen Spanungstechnik ist:
möglichst hohe Standgrößen bei großen Spanungsleistungen.

Man erzielt das vor allem auf dem Weg über die Verminderung der Erwärmung (s. S. 38), aber auch durch Behandlung der Werkzeuge, die durch geeignete Maßnahmen eine höhere Verschleißfestigkeit erhalten.

<u>Maßnahme</u>	<u>Wirkung</u>	<u>Anwendung</u>
Breiter Schneidkeil	gute Wärmeableitung	bei einfachen Werkzeugen, oft konstruktiv nicht möglich
Schmieren mit Schneidöl	Verringerung der Wärmeentstehung durch Verminderung der Reibung	bei teuren Werkzeugen und geforderter hoher Oberflächengüte (Reiben, Gewindestchneiden, Automatenarbeit)
Kühlen mit Wasser oder Petroleum	Ableiten der entstandenen Wärme	Schleifen; Bearbeiten von Leichtmetallen
Schmierkühlen mit Bohrölemulsion	Verminderung der Wärmeentstehung und verbesserte Wärmeableitung	allgemeine Bearbeitung von Stahl (Drehen, Bohren)
Sprühkühlen	Kühlnebelräpfe benetzen die bei üblichem Schmierkühlen trockenen Werkzeugteile (Freifläche, Spanfläche unterhalb des Spanes)	Drehen

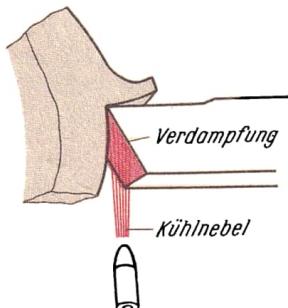


Bild 3.29. Hochdruckkühlung

Phosphatieren	Phosphatschicht auf Werkzeugen lässt sich gut mit Öl tränken; dadurch bessere Gleiteigenschaften, verbessert Spanablauf, kein metallischer Kontakt und damit verringelter Verschleiß	besonders bei neuen Werkzeugen (Sägen, Spiralbohrer)
Hartverchromen	harte Chromschicht schützt Werkzeug vor Verschleiß	bei teuren Werkzeugen wie Fräsern, Räumwerkzeugen
Elysieren (elektrolytisches Abtragen)	riß- und schartenfreie Schneidkanten; sehr gute Oberfläche und Verringerung der Reibung	Hartmetalle

3.5. Ergänzungen

Leitbegriff	Bemerkungen

4. Werkstück

Ziel der spanenden Formgebung ist die Erzeugung des Werkstücks. Verfahren, Werkzeug und Werkzeugmaschine sind nur Mittel zur Erreichung dieses Ziels. Grundforderung ist dabei:

Das Werkstück soll mit den aus den Zeichnungsangaben geforderten Gütemerkmalen bei minimalen Kosten in kürzester Zeit hergestellt werden.

4.1. Werkstückoberflächen

Wirkliche Oberfläche

Begrenzung eines festen Körpers, durch die dieser vom umgebenden Raum getrennt ist.

Istoberfläche

Meßtechnisch erfaßte Oberfläche. Sie stellt das angenähere Abbild der wirklichen Oberfläche dar. Die Genauigkeit der Erfassung hängt vom Meßverfahren ab.

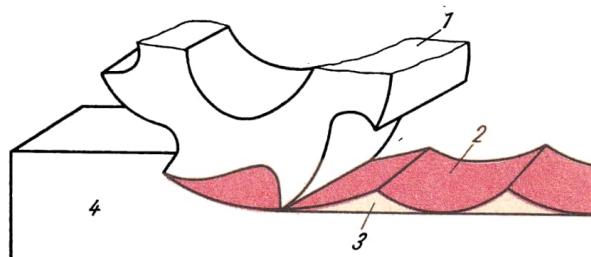


Bild 4.1. Istoberfläche beim Fräsen
1 Fräser; 2 Istoberfläche; 3 Solloberfläche; 4 Werkstück

Geometrisch-ideale Oberfläche

Begrenzung des geometrisch vollkommen gedachten Körpers.

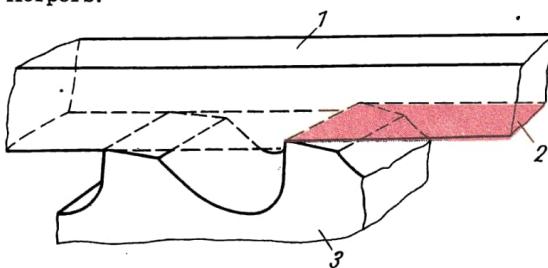


Bild 4.2. Geometrisch-ideale Oberfläche beim Räumen
1 Werkstück; 2 geometrisch-ideale Oberfläche; 3 Räumwerkzeug

Solloberfläche

Technologisch vorgeschriebene Oberfläche.
In technischen Zeichnungen ist sie durch standardgemäße Angaben festgelegt.

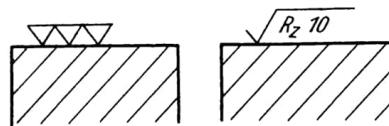


Bild 4.3. Solloberfläche beim Drehen

Schnittfläche

Am Werkstück unmittelbar während des Schnittvorgangs erzeugte Oberfläche.

Im Bild 4.5 sind Istfläche, geometrisch-ideale Oberfläche und Schnittfläche beim Bohren dargestellt.

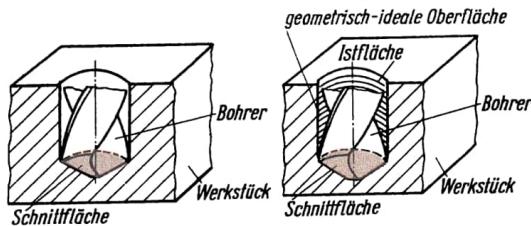
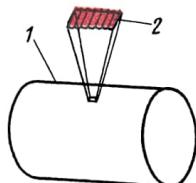


Bild 4.4. Schnittfläche beim Bohren Bild 4.5. Istfläche, geometrisch-ideale Oberfläche und Schnittfläche beim Bohren

4.2. Gestaltabweichungen

Unter Gestaltabweichungen versteht man die Gesamtheit aller Abweichungen der Istoberfläche von der geometrisch-idealen Oberfläche (Formtoleranz).



Es wird bei der Beurteilung der Oberfläche zwischen feinen und groben Abweichungen unterschieden (s. Bild 4.6). Die Einteilung wird in Ordnungsgruppen vorgenommen.

Bild 4.6. Ausschnitt aus der Oberfläche zur Beurteilung der Gestaltabweichung
1 geometrische Idealoberfläche; 2 vergrößerter Ausschnitt aus der Istoberfläche

Tafel 4.1. Beispiele zur Gestaltabweichung 1. bis 4. Ordnung

Art der Abweichung

Formabweichung von der Ebene

Gestaltabweichung (im Profil dargestellt)

1. Ordnung



Bild 4.7

Entstehungsursachen

Fehler in der Führung der Werkzeugmaschine
Durchbiegung des Werkstücks
falsche Einspannung
Verschleiß des Werkzeugs
Verzug durch Härteverfahren

Fortsetzung der Tafel auf Seite 62

<u>Art der Abweichung</u>	<u>Gestaltabweichung</u> (im Profil dargestellt)	<u>Entstehungsursachen</u>
Wellen	2. Ordnung	außermittige Einspannung Formfehler eines Fräzers Schwingungen der Werkzeugmaschine oder des Werkzeugs
Rauheit als Rillen oder Narben	3. Ordnung	Form der Schneide Vorschub Zustellbewegung spanlose Formung
als Riefen	4. Ordnung	Spanbildung Schneidwerkstoffverformung

Die in der Tafel 4.1 dargestellten Abweichungen 1. bis 4. Ordnung überlagern sich in der Regel zu der Istoberfläche, wie sie im Bild 4.11 im Schnitt dargestellt ist.



Bild 4.11. Überlagerung der Gestaltabweichung 1. bis 4. Ordnung

4.3. Oberflächencharakter der Werkstückoberfläche

Narbiger Oberflächencharakter



Spanlos erzeugte Form der Rauheit ohne bevorzugten Richtungsverlauf.
Hierunter fallen Mulden, Poren, Kuppen, Schuppen.

Bild 4.12

Mulden

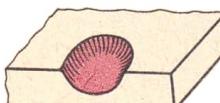


Bild 4.13
herstellungsbedingte, meist runde oder eckige Vertiefungen der Oberfläche

Poren



Bild 4.14
herstellungs- und werkstoffbedingte Hohlräume in der Werkstückoberfläche, deren Tiefenausdehnung im Verhältnis zum Querschnitt größer ist

Kuppen



Bild 4.15
herstellungsbedingte Erhöhungen der Werkstückoberfläche

Schuppen



Bild 4.16
Überschichtungen der Werkstückoberfläche

Rilliger Oberflächencharakter

Spanend erzeugte Form der Rauheit mit einem dem Herstellungsverfahren typischen Verlauf der Bearbeitungsspuren (s. Bilder 4.17 und 4.18).

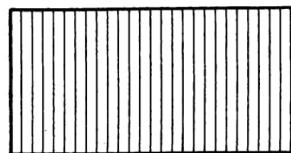


Bild 4.17. Oberfläche (geordnet – rillig)

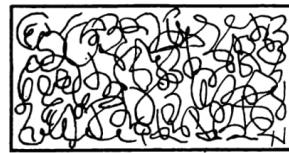


Bild 4.18. Oberfläche (ungeordnet – rillig)

Riefen

Zufällig entstandene grabenförmige Bearbeitungsspuren des Werkzeugs.

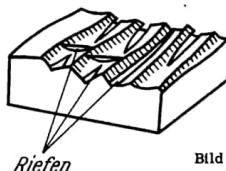


Bild 4.19. Rillen mit Riefen

Grat

Eine durch den Spanungsvorgang hervorgerufene scharfkantige Erhöhung der geometrisch-idealen Oberfläche.

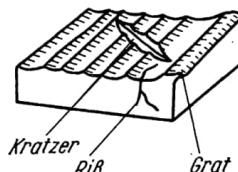


Bild 4.20. Rillen mit Kratzer, Grat und Riß

Beschädigungen

Risse, Kratzer und Dellen (s. Bilder 4.13 und 4.20).

4.4. Rauhigkeiten

Querrauheit

Gestaltabweichung, die senkrecht zur Richtung der Bearbeitungsspuren ermittelt wird.

Längsrauheit

Gestaltabweichung, die längs zur Richtung der Bearbeitungsspuren ermittelt wird.



Bild 4.21. Querrauheit und Längsrauheit

Rauheitsmaße

Zur meßtechnischen Erfassung der Rauheiten sind zahlenmäßige Angaben erforderlich.

Mittlere Rauheit R_z

Mittlerer Abstand zwischen den fünf höchsten und fünf tiefsten Punkten des Istprofils innerhalb einer festgelegten Bezugsstrecke (s. Bild 4.22).

Rauhtiefe R_t

Abstand des Grundprofils vom Rauheitsbezugsprofil (s. Bild 4.22). Für praktische Anwendung ist R_t und R_z annähernd gleich.

Rauheitsbezugsstrecke 1

Teil der Prüflänge, der zur Auswertung benutzt wird.

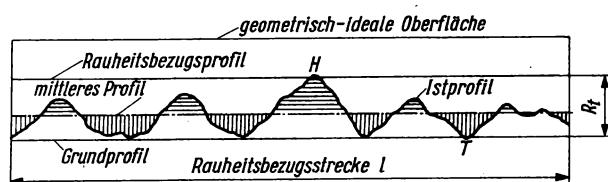


Bild 4.22. Rauheitsbezugsprofil
H höchster Punkt; T tiefster Punkt

Tafel 4.2. Rauheiten und deren Anwendung

Mittlere Rauheit R_z \equiv Rauhtiefe R_t in μm	Bezeichnungen in technischen Zeichnungen	Bearbei- tungs- verfahren	Qualität	Anwendung	
0,05 0,1 0,2 0,4 0,8 1,6 3,2 6,3 10	veraltet Bild 4.23 Bild 4.25	gültig Bild 4.24 Bild 4.26	Feinstbearbeitung wie Läppen, Ziehschleifen Schleifen	IT 1 ... IT 4 IT 5 ... IT 7	Lehren, optische Geräte, Präzisionsmaschinenbau, allgemeiner Maschinenbau (höhere Genauigkeitsanforderungen)
20 40	Bild 4.27	Bild 4.28	Feindrehen, Schlichten	IT 7 ... IT 10	allgemeiner Maschinenbau, Fahrzeugbau
80 160 320	Bild 4.29	Bild 4.30	Drehen (Schruppen)	IT 11 ... IT 16	Grobmaschinenbau, Landmaschinenbau

4.5. Maßtoleranzen

Neben den Formtoleranzen (s. Abschn. 4.1.) sind für die ökonomische Fertigung eines Werkstücks auch die Maßtoleranzen von Bedeutung.

Maßtoleranz T

$$T = D_g - D_k \quad (28)$$

Unterschied zwischen Größtmaß D_g und Kleinstmaß D_k . (s. dazu auch „Tabellenbuch Metall“ und „Aufgabensammlung Prüftechnik – Fertigungsmeßtechnik“)

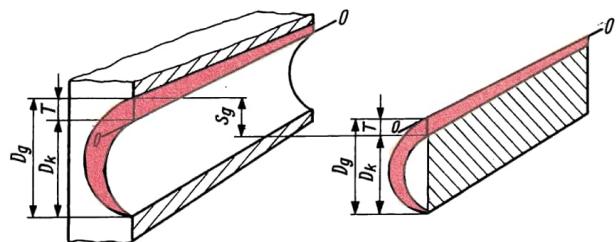


Bild 4.31. Begriffe der Maßtoleranzen bei Bohrungen und Wellen
 T Maßtoleranz; D_g Größtmaß; D_k Kleinstmaß; S_g Größtspiel

4.6. Ergänzungen

Leitbegriff	Bemerkungen

5. Wirtschaftliches Spanen

Die Wirtschaftlichkeit des Produktionsprozesses lässt sich im Verhältnis von aufgewandten Kosten zum erzielten Gewinn erfassen.

Hauptkosten

Die Wirtschaftlichkeit wird beeinflusst von:

- Lohnkosten (einschließlich der Zuschläge, SV-Anteile, Krankengeld),
- Materialkosten,
- Maschinenkosten (Abschreibungskosten),
- Werkzeugkosten,
- Energiekosten,
- Maschineninstandhaltungskosten,
- Abteilungs- und Betriebsgemeinkosten.

Die Wirtschaftlichkeit des Spanungsprozesses ist demnach von einer Vielzahl von Faktoren abhängig. Die Forderung für die Produktion muß immer lauten:

Grundforderung

Werkstücke sind in kürzester Zeit und mit geringsten Kosten herzustellen.

Gegen diese Forderung wird verstoßen, wenn hochproduktive Maschinen aus technischen oder organisatorischen Gründen (z. B. bei nur einschichtigem Einsatz) nicht ausgelastet werden oder Hochleistungsschneidstoffe für untergeordnete Zwecke eingesetzt werden.

5.1. Auslastung der Maschine

Eine Werkzeugmaschine ist hinsichtlich ihrer technischen Parameter dann ausgelastet, wenn die verfügbare Schnittleistung gleich der benötigten Schnittleistung ist.

$$P_S = P_A \cdot \eta \quad (29)$$

$$P_A = \frac{k_S \cdot a \cdot s \cdot v}{\eta \cdot 60 \cdot 102} \quad (30)$$

P _A	k _S	a	s	v
kW	$\frac{kp}{mm^2}$	mm	mm	$\frac{m}{min}$

- P_S Schnittleistung
P_A Antriebsleistung
η Maschinenwirkungsgrad
k_S spezifische Schnittkraft
a Schnitttiefe
s Vorschub
v Schnittgeschwindigkeit

Umstellen der letzten Gleichung für die Wahl der Schnittgrößen nach der Einflußgröße v ergibt Gl. (31):

$$v = \frac{P_A \cdot \eta \cdot 60 \cdot 102}{k_S \cdot a \cdot s} \quad (31)$$

v	P_A	k_S	a	s
$\frac{m}{min}$	kW	$\frac{kp}{mm^2}$	mm	mm

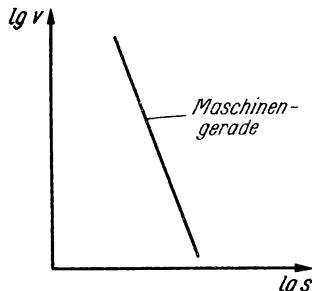


Bild 5.1. Maschinengerade für P_A , k_S , η , $a = \text{konstant}$

Den Ausdruck

$$\frac{P_A \cdot \eta \cdot 60 \cdot 102}{k_S \cdot a} +$$

als Konstante C zusammengefaßt, ergibt

$$v = \frac{C}{s} .$$

Diese Gleichung wird logarithmiert:

$$\lg v = \lg C - \lg s$$

und auf doppeltlogarithmischem Papier dargestellt (s. Bild 5.1). Die Maschinengerade stellt die verfügbare Schnittleistung dar. Hiervon abhängig sollte v und s so gewählt werden, daß die Schnittpunkte auf der Maschinengerade liegen.

5.2. Auslastung des Werkzeugs

Optimale Verschleißmarkenbreite

Ein wirtschaftlicher Werkzeugeinsatz erfordert u. a. möglichst geringe Instandhaltungskosten.

Instandhaltungskosten und deren Abhängigkeit von der Verschleißmarkenbreite B

<u>Kostenart</u>	<u>B klein</u>	<u>B groß</u>
Kosten für Werkzeugwechsel (Kurve 1 im Bild 5.2)	häufiges Wechseln, hohe Lohnkosten, viel Produktionsausfall wegen Maschinenstillstand	seltenes Wechseln, niedrigere Lohnkosten, kurze Maschinenstillstandzeiten
Werkzeugschleifkosten (Kurve 2 im Bild 5.2)	häufiges Schleifen, aber nur geringe Zeittdauer	Schleifvorgang je Werkzeug dauert länger
Schneidstoffverlustkosten (Kurve 3 im Bild 5.2)	nur geringes Nachschleifen erforderlich, nur wenig wertvoller Schneidstoff wird abgeschliffen, dafür öfter	zur Werkzeugwiederherstellung viel Schneidstoff abgeschliffen
Werkzeugbruchkosten (Kurve 4 im Bild 5.2)	keine Bruchgefahr gegeben	Risiko des Werkzeugbruchs, damit völlige Unbrauchbarkeit (besonders bei Kolkverschleiß hoch)

Die minimalen Gesamtkosten ergeben sich durch Addition der Einzelkosten (s. Bild 5.2) bei der optimalen Verschleißmarkenbreite.

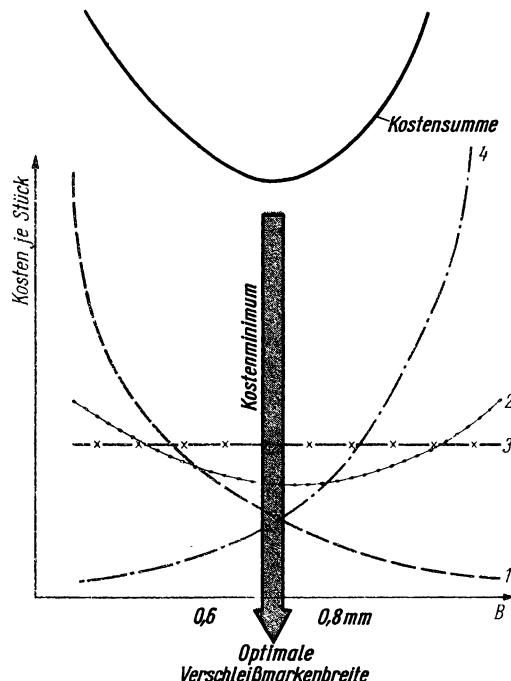


Bild 5.2. Kosten für Werkzeuginstandhaltung in Abhängigkeit von Verschleißmarkenbreite B
 1 Werkzeugwechselkosten; 2 Werkzeugschleifkosten; 3 Schnidstoffverlustkosten;
 4 Werkzeugbruchkosten

Wirtschaftliche Standzeit-schnittgeschwindigkeit

Bestimmt den Zeitpunkt, zu dem die optimale Verschleißmarkenbreite erreicht ist und bei dem der Werkzeugwechsel erfolgen sollte (s. S. 55).

Wegen der durch die niedrige Schnittgeschwindigkeit bedingten langen Fertigungszeiten ist die höchste Standzeit nicht die wirtschaftlichste.

<u>Bearbeitungs- verfahren</u>	<u>Werkzeuge</u>	<u>Standzeit</u>
Drehen, Stoßen, Bohren	einfach herstellbar, leicht zu schärfen	hohe Schnittgeschwindigkeit T = 60 min
Räumen, Fräsen, Zahnradbearbeitung	teuer, mehrschneidig, schwierig zu schärfen	lange Standzeiten T = 240 min oder T = 480 min,
Automatenarbeit	oft einfach, aber hohe Werkzeugwechselkosten	geringe Schnittgeschwindigkeit

Werkzeuggerade

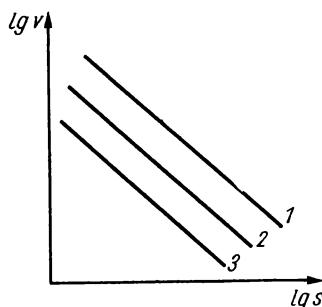


Bild 5.3. Werkzeuggerade für $a, T = \text{konstant}$ bei gleicher Schneidengeometrie
1 Hartmetall; 2 Schnellarbeitsstahl;
3 Werkzeugstahl

Die Werkzeugstandzeit hängt neben der Schnittgeschwindigkeit auch von den übrigen Arbeitswerten ab. Mit steigendem Vorschub und wachsender Schnitttiefe sinkt die Standzeit, oder mit wachsender Schnittgeschwindigkeit muß der Spanungsquerschnitt verkleinert werden, um die gleiche Standzeit zu erhalten.

Die grafische Darstellung dieses Sachverhalts im logarithmischen Netz ergibt bei konstanter Schnitttiefe die Werkzeuggerade für verschiedene Schneidstoffe (s. Bild 5.3).

Das Werkzeug ist ausgelastet, wenn v und s so gewählt werden, daß die Schnittpunkte auf der Werkzeuggeraden liegen. Überlastung bedeutet eine Verminderung der Standzeiten, Unterbelastung eine Verlängerung der Standzeit, bei allerdings verminderter Produktivität.

5.3. Auslastung von Werkzeug und Maschine

Gemeinsame Auslastung

Überlagerung der Maschinengerade (s. Bild 5.1) und der Werkzeuggeraden (s. Bild 5.3) in einem gemeinsamen Koordinatensystem (s. Bild 5.4) zeigt die gleichzeitige Auslastung von Werkzeug und Werkzeugmaschine an. Im Schnittpunkt S haben Werkzeug und Maschine gemeinsam ihre wirtschaftliche Auslastung. Wenn genaue Einstellung dieser Werte nicht möglich, Korrektur innerhalb des schraffierten Bereiches in zwei Richtungen:

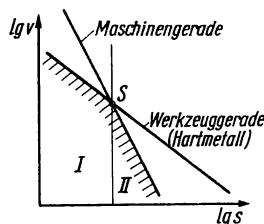


Bild 5.4. Gleichzeitige Auslastung von Werkzeug und Maschine

Bereich I

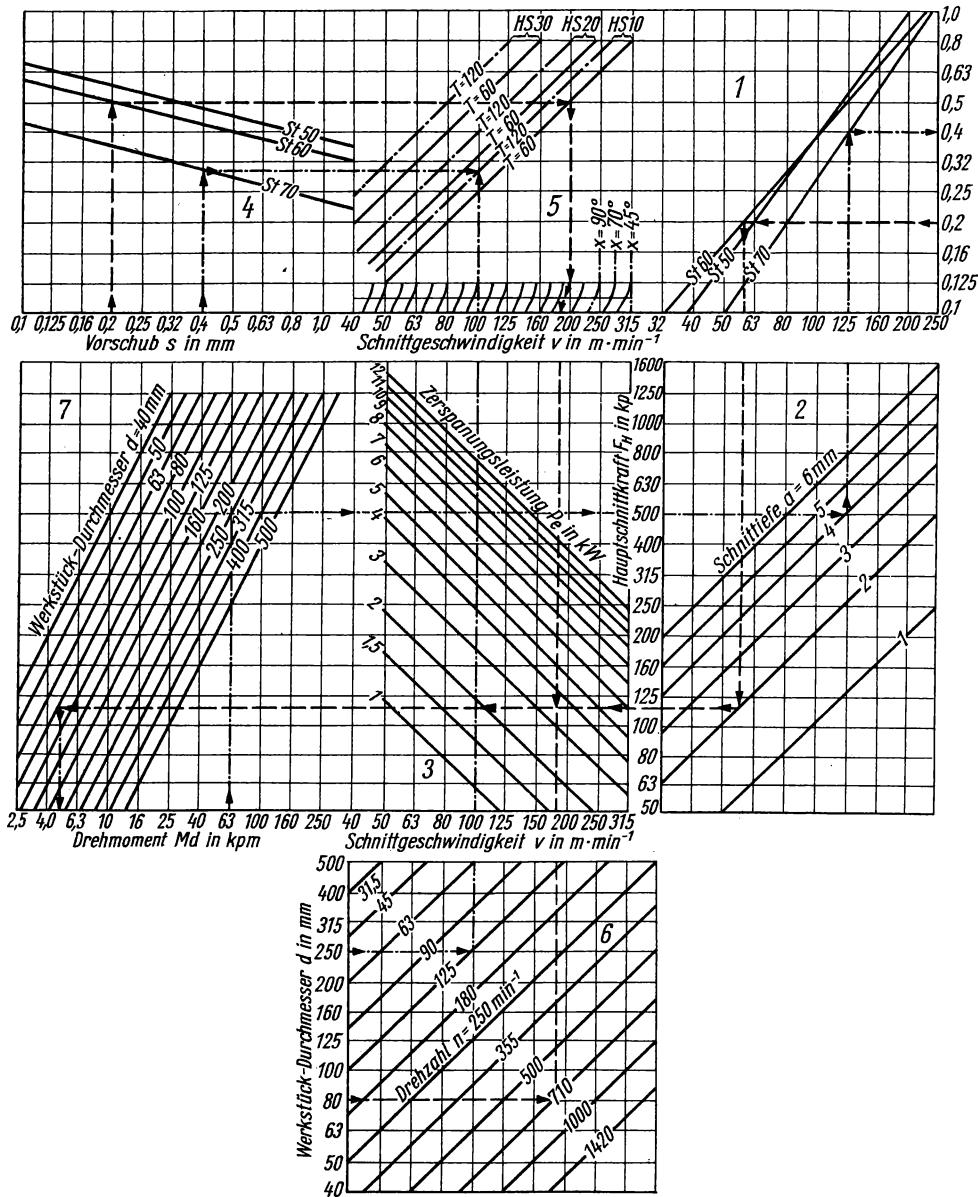
Auslastung des Werkzeugs, Maschine wird nicht ausgelastet. Überschreiten der Werkzeuggeraden wäre möglich, führt aber zu Verkürzung der Standzeiten und zur Verschlechterung der Wirtschaftlichkeit

Bereich II

Auslastung der Maschine, Werkzeug ist nicht ausgelastet. Hierbei ergeben sich längere Standzeiten. Dieser Bereich für Korrekturen bevorzugt

Maschinenauslastungsdiagramme

Ermöglichen die Wahl der optimalen Arbeitswerte bei bestmöglichster Auslastung einer bestimmten Werkzeugmaschine (s. Bild 5.5).



5.4. Grundzeit – Maschine

Begriffsbestimmung

Die Grundzeit – Maschine t_{Gm} ist der Anteil der Arbeitszeit, in der unmittelbar am Werkstück eine Veränderung im Sinne der Bearbeitungsaufgabe vorgenommen wird bzw. während der die Maschine im Spanungsprozeß läuft.

Berechnung

Die t_{Gm} wird berechnet oder aus Leitertafeln abgelesen. Für die Berechnung sind das produktivste Fertigungsverfahren und die optimalen technologischen Arbeitswerte zugrunde zu legen.

Es gilt bei allen Fertigungsverfahren nebenstehende Grundgleichung:

$$t_{Gm} = \frac{L \cdot i}{s \cdot n} \quad (32)$$

L Länge des Werkzeugweges in Vorschubrichtung (Werkstücklänge und Zuschläge)

i Anzahl der Schnitte

s Vorschub

n Drehzahl

Änderungen treten lediglich bei der Berechnung der zu spanenden Länge (L) auf.

Berechnung der Gesamtlängen beim

Langdrehen

$$L = l + l_a + l_u$$

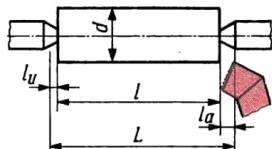


Bild 5.6.

Plandrehen

$$L = \frac{d}{2} + l_a$$

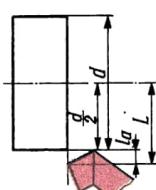


Bild 5.7.

Plandrehen eines Kreisrings

$$L = \frac{D-d}{2} + l_a + l_u$$

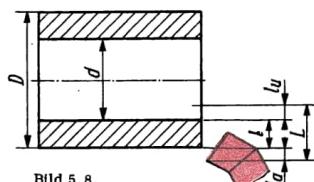


Bild 5.8.

Bohren einer Dicke

$$L = 1 + l_A + l_u + l_a$$

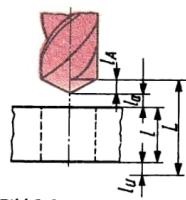
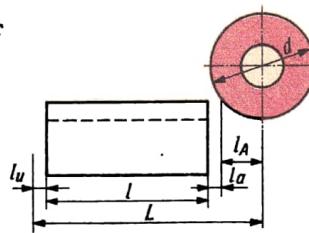


Bild 5.9.

l_A richtet sich nach dem zu spanenden Werkstoff und dem davon abhängigen Spitzensinkel φ (s. dazu auch „Tabellenbuch Metall“)

Fräsen mit Walzenfräser

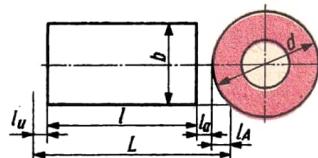


$$L = l + l_A + l_u + l_a;$$

l_A ausschlaggebend
Fräserdurchmesser

Bild 5.10.

Fräsen mit Stirnfräser

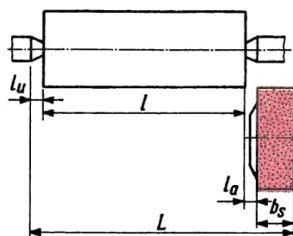


$$L = l + l_A + l_u + l_a;$$

l_A abhängig von
Fräserdurchmesser

Bild 5.11.

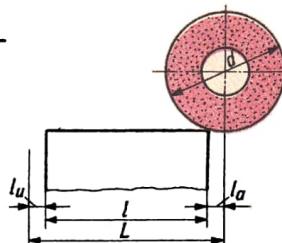
Rundschleifen



$$L = l + l_a + l_u + b_s$$

Bild 5.12.

Flächenschleifen mit Umfangschleifscheibe

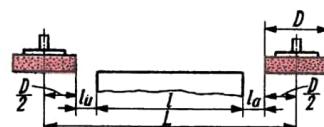


$$L = l + l_a + l_u$$

l_A entfällt wegen des
geringen Anschnitts

Bild 5.13.

Flächenschleifen mit Stirnschleifscheibe



$$L = l + l_a + l_u + D$$

D Durchmesser der
Schleifscheibe

Bild 5.14.

Hobeln und Stoßen

$$L = l + l_a + l_u$$

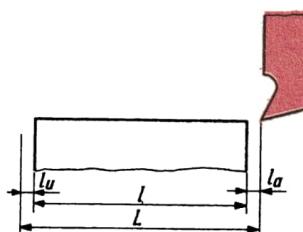


Bild 5.15.

In den Gleichungen bedeuten:

- L Länge des Werkzeugwegs
- b_s Breite der Schleifscheibe
- l Werkstücklänge
- l_a Anlauf des Werkzeugs oder Werkstücks bis zum Schnitt
- l_u Überlauf des Werkzeugs oder Werkstücks über l hinaus
- l_A Anschnitt

5.5. Ergänzungen

Leitbegriff	Bemerkungen

Leitbegriff

Bemerkungen

Leitbegriff	Bemerkungen

Bildquellennachweis

Bild 0.1. Früngel: Fertigungstechnik Grundausbildung Metall, Teil I; Bilder 2.5., 2.7. und 2.8.: TGL 29-6580; Bilder 2.24., 2.30. und 2.40.: Degener, Lutze, Smejkal: „Spanende Formung“; Bilder 2.38., 2.39., 2.58., 3.9., 3.10. und 3.29.: Fertigungstechnik Grundausbildung Metall II; Bilder 2.59. und 5.5.: Das Fachwissen des Ingenieurs Band I/2; Bild 2.60.: Düniß, Neumann, Schwartz: „Trennen“; Bild 3.15.: Schule des Dreher; Bild 4.6.: TGL 0-4760; Bilder 4.7. bis 4.11.: TGL 0-4760; Bilder 4.12. bis 4.20.: TGL 0-4761.

Sachwörterverzeichnis

- Abdrängkraft 28
Abfließen 21
Abscheren 20
Abstechen 18
Aktivkraft 27
Aluminiumoxid 51
Anstauchen 20
Anstellbewegung 14
Antriebsleistung 36
Arbeitsebene 15, 17, 30
Arbeitswinkel 47
Aufbauschneide 55
Automatenarbeit 68
Automatenstahl 24
Axialkraft 30
- Bandspan 23f.
Beanspruchung
 chemische 53
 elektrochemische 53
 mechanische 52
 thermische 53
Bearbeitungsverfahren 11
Bestimmungsebene 42
Bewegung 12
 Anstell- 14
 Nachstell- 15
 Vorschub- 13
 Wirk- 14
 Zustell- 15
Bezugsebene 43
Bezugssysteme 43, 47
Bohren 9, 18, 30, 34, 68, 71
Bohrölemulsion 58
Breiter Schneidekeil 58
- Chemische Beanspruchung 53
Chemische Reaktionen 53
- Diffusion 53
Doppelhubzahl 16
Drangkraft 28
Drehdurchmesser 29
Drehen 9, 20, 68
Drehende Schnittbewegung 13, 15
- Drehmeißel 40f.
Drehzahl 16
- Ecken 41
Einflussgröße 11, 34, 56
Eingriffsgröße 17
Einspannteile 40
Einstechen 18
Einstellwinkel 45, 47
Elektrische Meßwerterfassung 31
Elektrochemische Beanspruchung 53
Elemente 11
Elysiieren 58
Entwicklungstendenzen 10
Erwärmung 38
Erweichung 54
Exponentialfunktion 57
- Fasen 41f.
Flächen 41
Flächenschleifen 72
Flachschleifen
 Bewegungen 12
Fließspan 21
Fließspanbildung 47
Formgebung, spanende 10
Formtoleranz 61, 65
Fräsen 9, 26, 34, 68, 72
 Kräfte beim 30
 mit Stirnfräser 72
 mit Walzenfräser 72
Fräser, schrägverzahnte 31
Freifläche 41
Freiflächenverschleiß 53
Freiwinkel 44, 47
- Gefügeveränderung 38
Gegenlauf 31
Gegenlaufräsen 31
Geometrisch-ideale Oberfläche 60f., 63
Geometrisch unbestimmte Schneiden 41
Gerade Schneide 20
Geradlinige Schnittbewegung 13, 15
Geradverzahnte Walzfräser 30
Gesamtkosten 68

- Gesamtkraft 27
 Geschwindigkeit 15, 35
 Schnitt- 15
 Umfangs- 16
 Vorschub- 16
 Gestaltabweichungen 61
 Gleichlauf 31
 Gleichlaufräsen 31
 Gleitebene 20
 Grat 63
 Grundforderung 66
 Grundzeit-Maschine 71
 Hartmetall 49, 51
 Hartverchromen 58
 Hauptbewegung 13
 Hauptfreifläche 41
 Hauptkosten 66
 Hauptschneide 19, 30, 40f., 45
 Hauptschnittkraft 27
 Hobeln 9, 20, 29, 73
 Honen 9
 Hubzahl 16
 Hydraulische Meßwerterfassung 31
 Instandhaltungskosten 67
 Istoberfläche 60f.
 Keil 40
 Keilmeßebene 44
 Keilwinkel 44, 47
 Kolkverschleiß 54
 Kraft
 Aktiv- 27
 beim Drehen 27
 Drang- 28
 Passiv- 28
 Schnitt- 27
 Spanungs- 27
 Vorschub- 27
 Kraftmessung 31
 Kühlen 58
 Kühlnebdämpfe 58
 Kuppen 62
 Lamellen 20
 Langdrehen 17, 71
 Längsrauheit 63
 Läppen 9
 Legierungsbildung 24
 Leistung 35
 Antriebs- 36
 Motor- 36
 Schnitt- 36
 Magnetisierung 53
 Maschinenauslastung 66f., 69
 Maschinenauslastungsdiagramme 69
 Maßtoleranzen 65
 Mechanische Beanspruchung 52
 Mehrschneidige Werkzeuge 56
 Meßwerterfassung
 elektrische 31
 hydraulische 31
 Mittlere Rauheit 64
 Motorleistung 36
 Mulden 62
 Nachstellbewegung 15
 Narbiger Oberflächencharakter 62
 Nebenfreifläche 41
 Nebenschneide 40f., 45
 Neigungswinkel 46, 48
 Oberfläche
 geometrisch-ideale 60f., 63
 wirkliche 60
 Oberflächencharakter
 narbiger 62
 rilliger 63
 Optimale Verschleißmarkenbreite 67
 Oxidkarbidkeramik 52
 Oxidkeramik 52
 Oxidmetallkeramik 52
 Passivkraft 28, 30
 Phosphatieren 58
 Phosphor 24
 Plandrehen 17, 71
 Poren 62
 Positionieren 14
 Preßschweißung 53
 Querrauheit 63
 Rauheit 62, 64
 mittlere 64
 Rauheitsbezugsstrecke 64
 Rauheitsmaße 64
 Rauhigkeiten 63
 Rauhtiefe 64
 Räumen 9, 18,*34, 68
 Kräfte beim 30
 Reiben 9
 Reißspan 22
 Relativbewegung 12f.
 Riefen 63
 Rilliger Oberflächencharakter 63

Rotation 15
 Rotatorische Schnittbewegung 13, 15
 Rückkraft 28
 Rundschleifen 72
 Sägen 9
 Schaffkraft 28
 Scherebene 20f.
 Scherspan 21
 Scherwinkel 20
 Schleifen 9
 Schmieren 58
 Schmierkühlen 58
 Schneiden 41f.
 gerade 20
 Schneidenausbruch 55
 Schneidenbefestigung 41
 Schneiddiamanten 49, 52
 Schneidenebene 44
 Schneidenecke 42
 Schneidenform 40
 Schneidengeometrie 40f.
 Schneidenträger 16
 Schneidenverschleiß 28
 Schneidenwerkstoff 49
 Schneidkantenrundung 54
 Schneidek 21, 42
 breiter 58
 Schneidkeramik 49, 51
 Schniedstoffe 49f.
 Schneidstoffverlustkosten 67
 Schnellarbeitsstahl 49, 51
 Schnittbedingungen 24
 Schnittbewegung 13, 15, 19, 44
 drehende 13, 15
 rotatorische 13, 15
 translatorische 13, 15
 Schnittbreite 17f., 32
 Schnittfläche 19, 61
 Schnittgeschwindigkeit 15f., 24
 Schnittgrößen 16, 19
 Schnitttiefe 17, 32
 Schnittkraft 27, 30, 32ff.
 Berechnung 32
 spezifische 32
 Schnittleistung 36, 66
 Schnittrichtung 19f.
 Schnittwinkel 44
 Schrägverzahnte Fräser 31
 Schraubenbruchspan 23
 Schraubenspan 23
 Schuppen 62
 Schüttdichte 23
 Senken 9
 Senkrechtkraft 31
 Solloberfläche 61
 Span
 Band- 23
 Reiß- 22
 Scher- 21
 Schrauben- 23
 Schraubenbruch- 23
 Spiralbruchspan- 23
 Wirr- 23
 Spanabnahme 13f.
 Spanarten 21f.
 Spanbildung 20ff., 33
 Vorgänge 20
 Spanbrechung 24
 Spanbruchstücke 24
 Spanebene 20
 Spanelemente 21, 32
 Spanen 9ff.
 Arbeitsproduktivität 10
 Leistungen 35
 Nachteile 10
 wirtschaftliches 66
 Spanende Formgebung 10
 Spanfläche 41
 Spanflächenverschleiß 54
 Spanformen 21ff.
 Spanformklasse 23
 Spangrößen 19
 Spanleitplatte 24
 Spanleitstufe 24
 Spanneinrichtungen 27
 Spanstauchung 21
 Spanungsbedingungen 11
 Spanungsbreite 19, 32
 Spanungsdicke 19, 32f.
 Spanungsgröße 19, 21
 Spanungskraft 26f., 30
 Spanungsquerschnitt 19f., 32f.
 Spanungsvolumen 25
 Spanungsvorgang 11f.
 Aufgabe 12
 Spanwinkel 33f., 44, 47
 Spezifische Schnittkraft 32
 Spiralbruchspan 23
 Spiralspanstücke 23
 Spitzenwinkel 45
 Sprühköhlen 58
 Standgrößen 55, 57
 Standkriterien 56
 Standmenge 56
 Standweg 56

- Standwegschnittgeschwindigkeit 57
 Standzeit 55, 69
 Standzeitschnittgeschwindigkeit 57, 68
 Stauchvorgänge 21
 Stirnfräsen 17
 Stoßen 9, 29, 68, 73
 Stoßmeißel 41

 Temperaturdifferenzen 53
 Temperaturen 37
 Thermische Beanspruchung 53
 Thermospannungen 53
 Torsionskraft 30
 Translation 16
 Translatorische Schnittbewegung 13, 15

 Umfangsgeschwindigkeit 16
 Unfallgefahren 38

 Waagerechtkraft 31
 Walzfräsen 18
 Walzfräser, geradverzahnte 30
 Wärmeableitung 38
 Wärmeausbreitung 37
 Wärmeausdehnung 38
 Wärmeentstehung 38
 Wärmemenge 37
 Wärmequellen 37
 Wechselwirkungen 11
 Weg 15
 Wellen 62
 Wendelspäne 48
 Werkstoff 11
 Werkstoff-Schneidstoff-Paarung 32
 Werkstoffveränderungen 53
 Werkstück 11f., 60
 Länge 16
 Werkstückoberflächen 60, 62
 Werkstückwerkstoff 33
 Werkzeug 11f., 40
 einschneidig 40f.
 mehrschneidig 40f., 56
 mit eingesetzten Schneiden 41
 zweischneidig 40f.
- Werkzeugauslastung 67, 69
 Werkzeugbezugssystem 43
 Werkzeugbruch 31
 Werkzeugbruchkosten 67
 Werkzeuggerade 69
 Werkzeugkörper 40
 Werkzeugmaschine 11
 Werkzeugschleifkosten 67
 Werkzeugschneide 42
 Werkzeugstahl 49f.
 Werkzeugverschleiß 15
 Werkzeugwerkstoff 49
 Werkzeugwinkel 46
 Winkel 44
 Span- 33f.
 Wirkbewegung 14
 Wirkbezugssystem 43
 Wirkgeschwindigkeit 16
 Wirkliche Oberfläche 60
 Wirrspan 23f.
 Wirtschaftliches Spanen 66

 Verschleiß 52
 Freiflächen- 53
 Kolk- 54
 Spanflächen 54
 Verschleißformen 53
 Verschleißgrößen 56
 Verzunderung 55
 Vorschub 16, 18, 32
 Zahn- 16
 Vorschubbewegung 13
 Vorschubgeschwindigkeit 16, 26
 Vorschubkraft 27, 30
 Vorschubrichtung 15f., 20
 Vorschubrichtungswinkel 15
 Vorschubweg 16

 Zahnradbearbeitung 68
 Zahnvorschub 16
 Zeit 15
 Zerspanungsvorgang 12
 Zustellbewegung 15, 17

