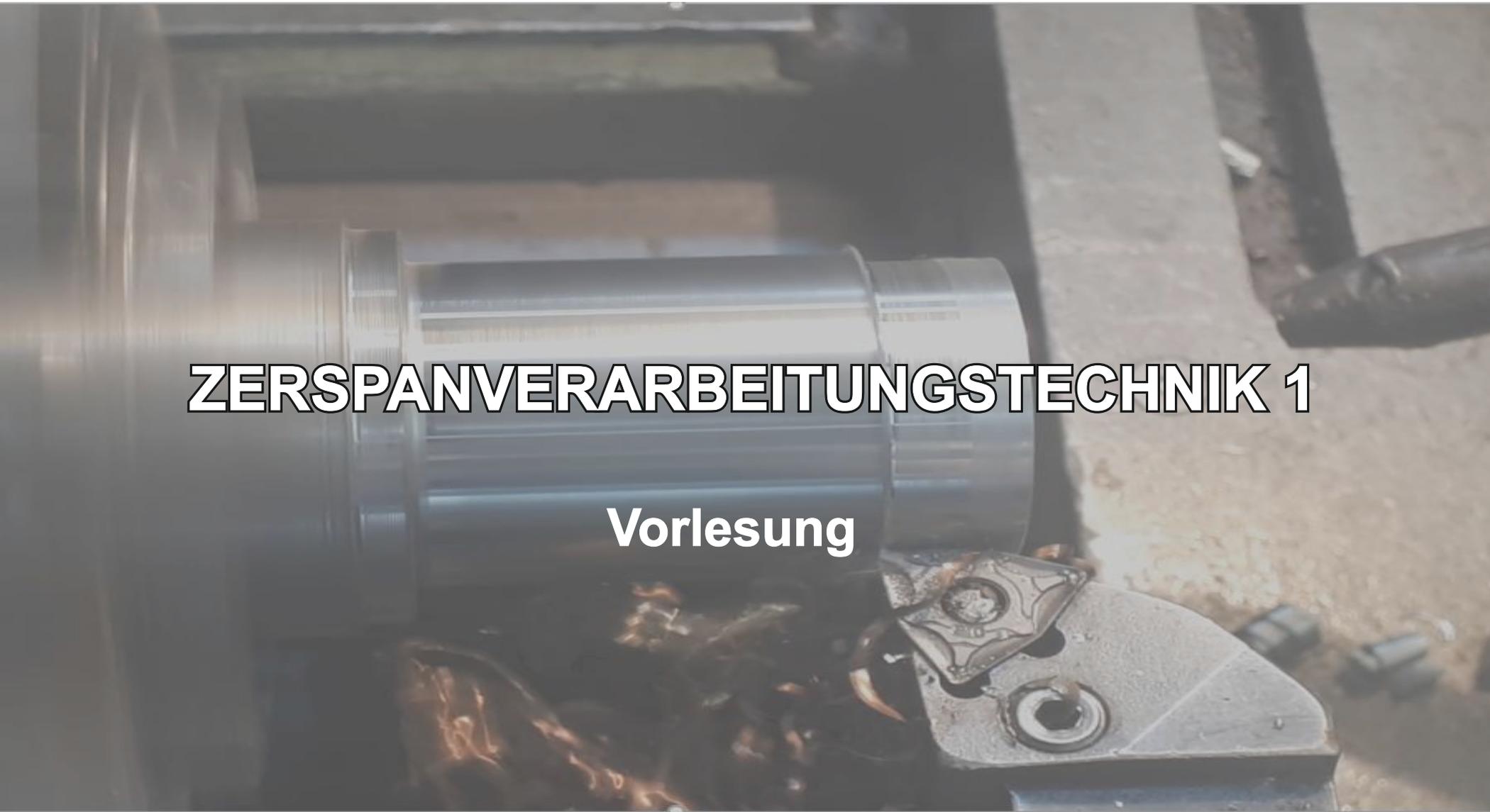


Glad CONȚIU



ZERSPANVERARBEITUNGSTECHNIK 1

Vorlesung

**UTPRESS
Cluj-Napoca, 2020
ISBN 978-606-737-468-1**

Glad CONȚIU



ZERSPANVERARBEITUNGSTECHNIK 1

Vorlesung



UTPRESS
Cluj - Napoca, 2020
ISBN 978-606-737-468-1



Editura U.T.PRESS
Str. Observatorului nr. 34
C.P. 42, O.P. 2, 400775 Cluj-Napoca
Tel.:0264-401.999
e-mail: utpress@biblio.utcluj.ro
<http://biblioteca.utcluj.ro/editura>

Director: ing. Călin Câmpean

Recenzia: Conf. dr. ing. Domnița Frățilă
Ș.I. dr. ing. Vlad Bocăneț

Copyright © 2020 Editura U.T.PRESS

Reproducerea integrală sau parțială a textului sau ilustrațiilor din această carte este posibilă numai cu acordul prealabil scris al editurii U.T.PRESS.

ISBN 978-606-737-468-1

Bun de tipar: 21.07.2020



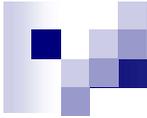
■ Inhalt des Vorlesung:

1. Einführung

- 1.1. Herstellung von Produkten
- 1.2. Produktionsarten

2. Zerspanungsprozess

- 2.1. Bildung von Span und Kräften im Schneidprozess
- 2.2. Zersetzung der Schneidkraft
- 2.3. Diagramm der Kräfte im Schneidprozess von Ernst und Merchant
- 2.4. Spannungen im Scherprozess
- 2.5. Berechnung der Schnittkräfte, spezifische Energie und Leistung
 - 2.5.1. Schnittkraft und deren Komponenten
 - 2.5.2. Spezifische Schneidenergie



3. Verarbeitungsfehler aufgrund von Abweichungen bei der Ausführung des technologischen Systems

4. Einfluss auf die Genauigkeit der Bearbeitungsfähler durch Werkzeugmaschinenverschleiß

5. Einfluss des Verschleißes von Schneidwerkzeugen auf die Verarbeitungsgenauigkeit

5.1. Die wichtigsten Mechanismen für den Verschleiß von Schneidwerkzeugen

5.2. Haltbarkeit von Schneidwerkzeugen

5.2.1. Technologische Maßnahmen zur Reduzierung des Verschleißes von Schneidwerkzeugen

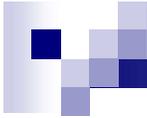
5.3. Materialien, die beim Bau von Schneidwerkzeugen verwendet werden

6. Verarbeitungsfehler durch elastische Verformungen der technologischer Systeme

6.1. Bestimmung der Steifheit des Drehmaschine

6.2. Maßnahmen zur Reduzierung von Fehlern aufgrund mangelnder Steifheit von

Werkzeugmaschine



- 7. Verarbeitungsfehler aufgrund mangelnder Steifheit des Werkstück**
- 8. Einfluss der Werkzeug Steifheit auf die Verarbeitungsgenauigkeit**
- 9. Interne Spannungen im Werkstück**
- 10. Einfluss von Vibrationen im Zerspanungsprozess auf die Genauigkeit**
 - 10.1. Maßnahmen zur Reduzierung oder Beseitigung von Vibrationen
- 11. Einfluss der thermischer Verformungen des technologischen Systems auf die Bearbeitungsgenauigkeit**
 - 11.1. Thermische Verformungen von Werkzeugmaschinen
 - 11.2. Thermische Verformungen des Schneidwerkzeugs
 - 11.3. Thermische Verformungen des Werkstück
 - 11.4. Maßnahmen zur Reduzierung von thermische Verformungsabweichungen

Bibliographie

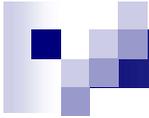


1. Einführung

- Die Technologie des Maschinenbaus erfordert durch die Komplexität technologischer Prozesse und gleichzeitig durch die Vielfalt der Methoden/Technologien, die sie derzeit kennt, die Etablierung gut strukturierter Schritte in Bezug auf die Herstellung eines Produktes.

Schritte:

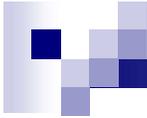
- Definition von Design und Ausführung Thema;
- Durchführung der technisch-ökonomischen Studie;
- Genehmigung der technisch-ökonomischen Studie;
- Vorbereitung des technischen Projekts;



- Beratung des Projekts;
- Herstellung von Prototypen(wenn nötig ist);
- Zulassung des Produkts;
- Erstellung einer gründlichen Dokumentation für die Nullserie der Herstellung;
- Endgültige Genehmigung;
- Fertigstellung der Dokumentation und ihrer Einzelheiten für die letzte Stufe;
- Start in die Produktion des Produktes.



Z.B.: Die Vorbereitung des technischen Projekts muss zusätzlich zur eigentlichen Konstruktion der Teile durch die Erstellung *eines kinematischen Diagramms* des Produkts ergänzt werden. Für einen sicheren Betrieb muss das Produkt entsprechend den Anforderungen, denen es im konkreten Betrieb ausgesetzt ist, dimensioniert werden, so dass eine Reihe von Festigkeitsberechnungen durchgeführt werden. Nach Berechnungen und der Bestimmung der Umweltbedingungen, unter denen dieses Erzeugnis betrieben wird, werden die Materialien bestimmt, aus denen es hergestellt wird.



- Die Betriebsbedingungen erfordern die Festlegung von *Toleranzen* der Teile und Unterbaugruppen und die Möglichkeit der Montage, das ordnungsgemäße Funktionieren der beweglichen Elemente, die Verschleißfestigkeit und nicht zuletzt das Aussehen des Produkts impliziert die Etablierung von *Rauheit*. In der Phase des technischen Projekts sind mehrere vorgesehen: - die Gestaltung der elektrischen Systeme;
- die Wahl oder Konstruktion von Hilfselementen oder Geräten;
- die Wahl der Motoren;
- Zeichnen als Ganzes;



1.1. Herstellung von Produkten

- Die kontinuierliche Entwicklung der Industrie in allen Bereichen und die Globalisierung erzeugt die Notwendigkeit für Unternehmen, eine Politik der kontinuierlichen Modernisierung zu üben. Der Aufwand ist auf die Notwendigkeit zurückzuführen, zuverlässige Produkte in relativ kurzer Zeit auf den Markt zu bringen.

- 
- Produktions- und Herstellungsprozesse werden in den meisten Fällen computergestützt. Software für assistiertes Design (**C**omputer **A**ided **D**esign - CAD) wird für die Entwurfsphase verwendet. Herstellungsverfahren (Schneiden, plastische Verformung, unkonventionelle Bearbeitung, additive Fertigung), aufgrund der Komplexität der Werkstückformen, erfordern den Einsatz von CAM (Computer Aided Manufacturing) Software. Mit Hilfe von Finite-Elemente-Simulationsprogrammen (FEM) können die Bauteile so dimensioniert werden, dass sie ihr Gewicht reduzieren, den Werkstoffverbrauch reduzieren oder die maximalen Anforderungen bestimmen, bei denen das Produkt verwendet werden kann.

- **Mechanische Bearbeitung:**
- Zerspan Prozessen;
- plastische Verformung;
- nichtkonventionelle Verarbeitung;



Plastische Verformung

Quelle: [<https://www.blechnet.com/wie-funktioniert-das-umformen-von-blech-a-778980/>]

- schnelle Produktion von Prototypen (additive Fertigung – Rapid Prototyping);



Zerspan Prozessen



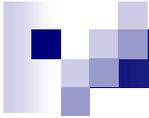
LASER Schweißen



3D Printing [1]

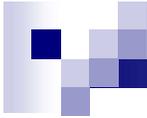
[1] Cosmin COSMA, Catalin MOLDOVAN, Ian CAMPBELL, Andrei COSMA, Nicolae BALC, THEORETICAL ANALYSIS AND PRACTICAL CASE STUDIES OF POWDER-BASED ADDITIVE MANUFACTURING, ACTA TECHNICA NAPOCENSIS Series: Applied Mathematics, Mechanics, and Engineering Vol. 61, Issue III, September, 2018

- 
- **Thermische oder thermochemische Behandlungen** - notwendig, um die kristalline Struktur des Materials, aus dem das Stück hergestellt wird, und die physikalisch-mechanischen Eigenschaften zu ändern. Diese können sein: Temperierung, Rebounding, Normalisierung, Zementierung, Verbesserung (Temperierung und hohe Rendite), Nitrid, etc.
 - **Die Montage** ist die Phase der Montage der Teile für die Gewinnung von Unterbaugruppen und anschließend Baugruppen und schließlich das fertige Produkt.



Produktionsprozesse

- **Def.:** Übersicht über die regelmäßigen und organisierten Tätigkeiten, geführt und ausgeführt durch Menschen, die mit Mitteln und natürliche Prozesse im Zusammenhang mit der Transformation der Arbeit in den folgenden Produkten und Dienstleistungen stattfinden. (soziale Natur)



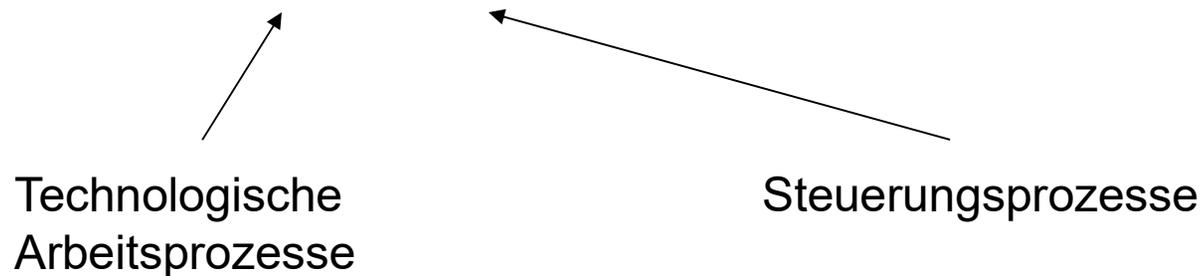
- Materialien bestimmt, aus denen es hergestellt wird. Die Betriebsbedingungen erfordern die Festlegung von *Toleranzen* der Teile und Unterbaugruppen und die Möglichkeit der Montage, das ordnungsgemäße Funktionieren der beweglichen Elemente, die Verschleißfestigkeit und nicht zuletzt das Aussehen des Produkts impliziert die Etablierung von *Rauheit*.

- In der Phase des technischen Projekts sind mehrere vorgesehen:
 - die Gestaltung der elektrischen Systeme;
 - die Wahl oder Konstruktion von Hilfselementen oder Geräten;
 - die Wahl der Motoren;
 - Zeichnen als Ganzes;

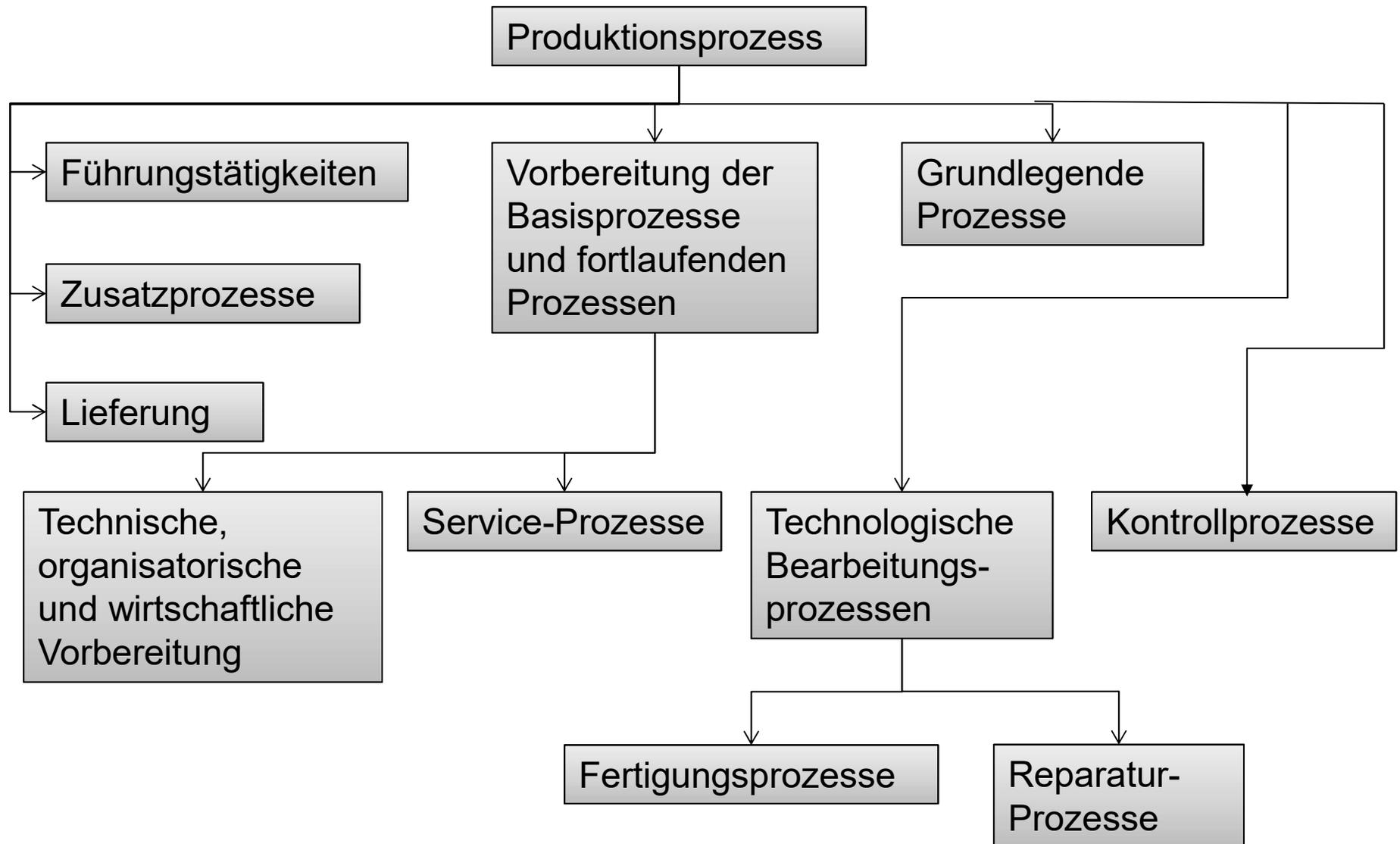
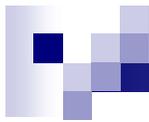
- 
- **Derzeit gibt es Kategorien von technologischen Fertigungsprozessen:**
 - *Veraltete* Technologien, die nicht mehr in der Lage sind, eine wettbewerbsfähige Leistung in Bezug auf Herstellungskosten oder Qualität der erhaltenen Fertigerzeugnisse zu gewährleisten;
 - *Technologien im Niedergang* werden von anderen Technologien in Bezug auf die Qualität als veraltet angesehen, und ihre Anwendung hat keine wirtschaftlichen Vorteile;
 - *Ausgereifte Technologien* – die bekannt sind und ihre Anwendung führt zu guten Ergebnissen;
 - *Evolutionär* – sind bekannte Technologien, deren Anwendung Gewinnsteigerungen generiert, aber nicht allgemein in das Unternehmen eingeführt wurde;
 - *Aufkommende Technologien* – werden von weniger getesteten Technologien belegt, die keine nachgewiesenen Qualitäten oder Defekte aufweisen. Diese Technologien beinhalten hohe wirtschaftliche Risiken und warten darauf, validiert zu werden.

- Die P.P. umfassen:

- **Grundlegende Prozesse**— Herstellung der Produkte;



- **Anhangsprozesse**— (z.B. Abfallverwertung);
- **Produktion und Herstellungsverfahren;**
- **Führungsaktivitäten;**
- **zusätzliche Beteiligungen;**
- **Lieferung von Produkten.**





Die Entstehung und Entwicklung des Fertigungsprozesses

- Ausbau des weltweiten Wettbewerbs auf dem Markt (Globalisierung des Wettbewerbs auf dem Markt)
- die Einführung von fortschrittlichen Technologien in allen Bereichen - Aided Manufacturing (Computergestützte Fertigung), Rapid Prototyping (Rapid-Prototyping-Herstellung) usw.;
- Neue Strukturen, Strategien und Management der Fertigungssysteme, - Entwicklung eines Fertigungssystems das in der Lage ist, Kunden in kürzester Zeit zu beliefern.

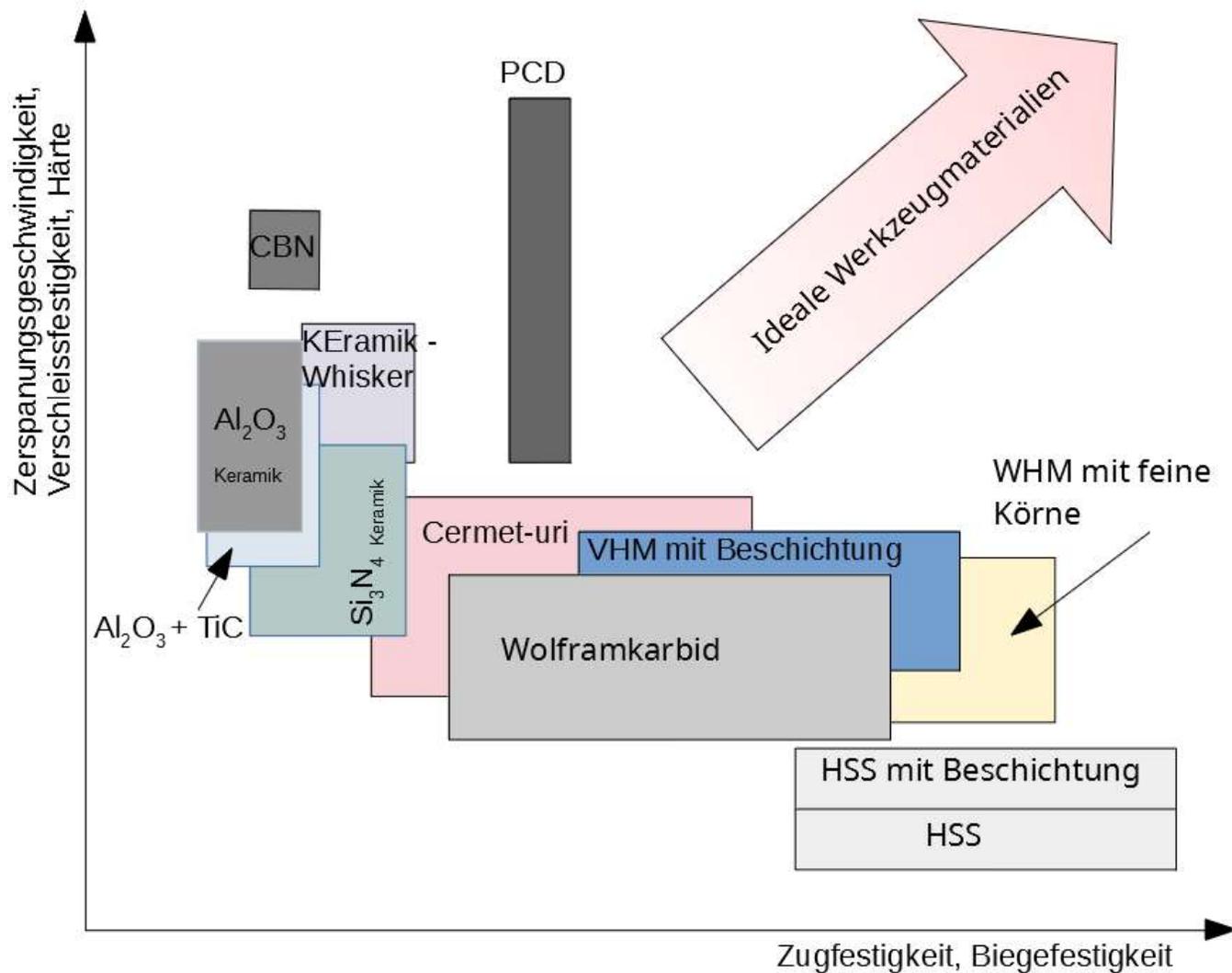


Fig. 1.2. Entwicklung der anwendbaren Schnittgeschwindigkeiten beim Drehen mit verschiedenen Schneidstoffen im Lauf der Jahrzehnte

Quelle: B. Awirus, J. Bast, H. Dürr & K.-J. Matthes (Hrsg.), Grundlagen der Fertigungstechnik, 5 ed., Leipzig: Fachbuchverlag Leipzig, 2012, p. 395.

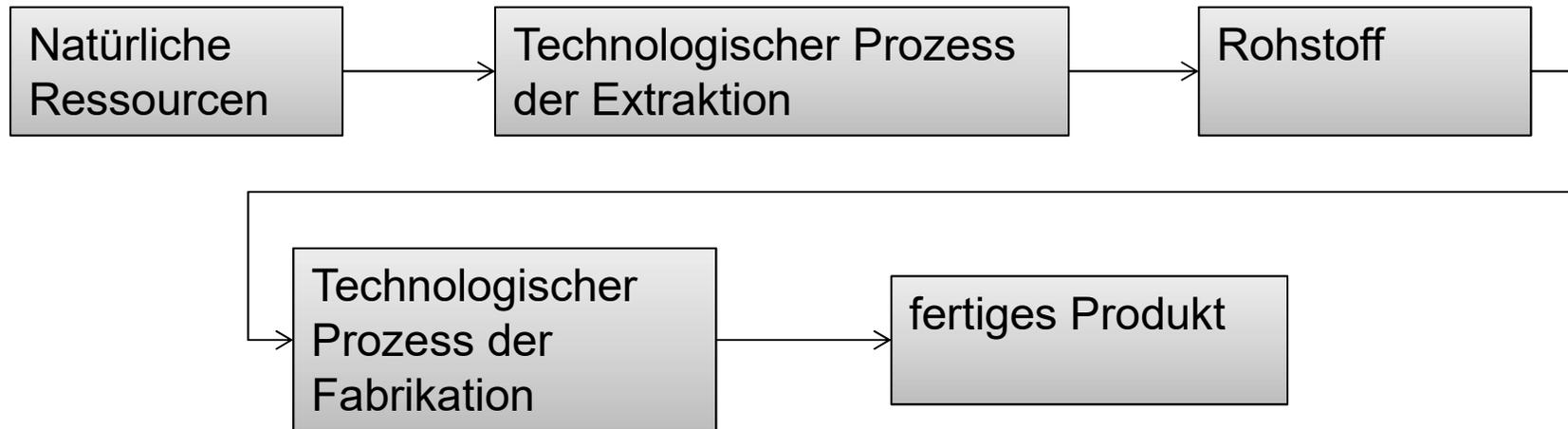
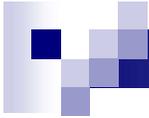
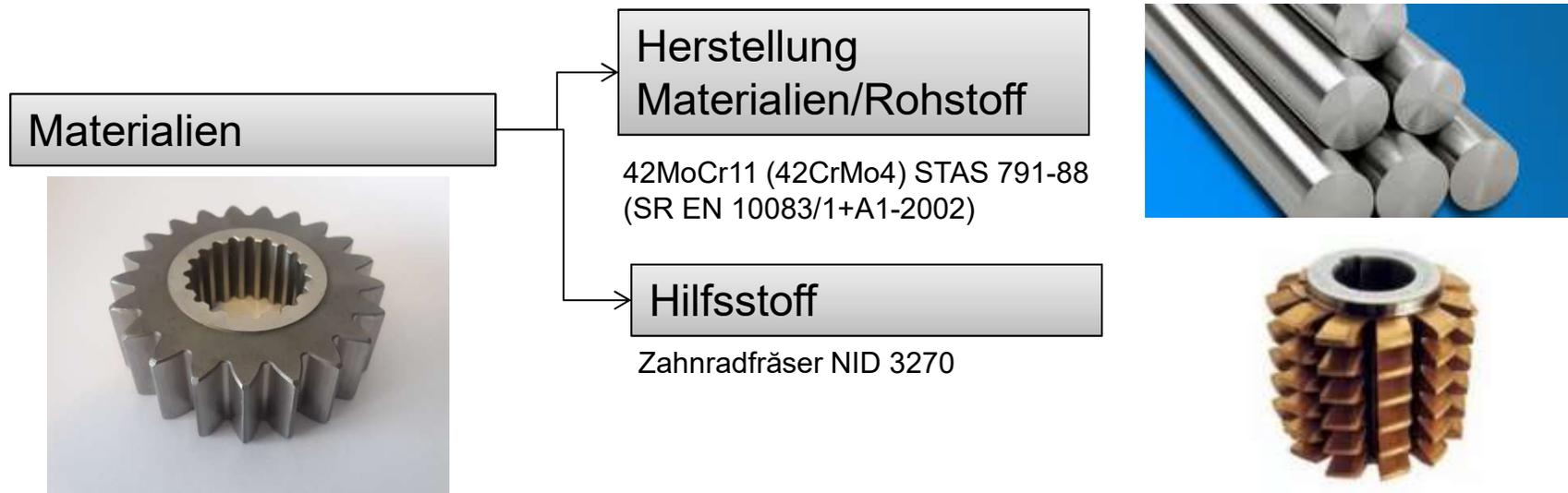
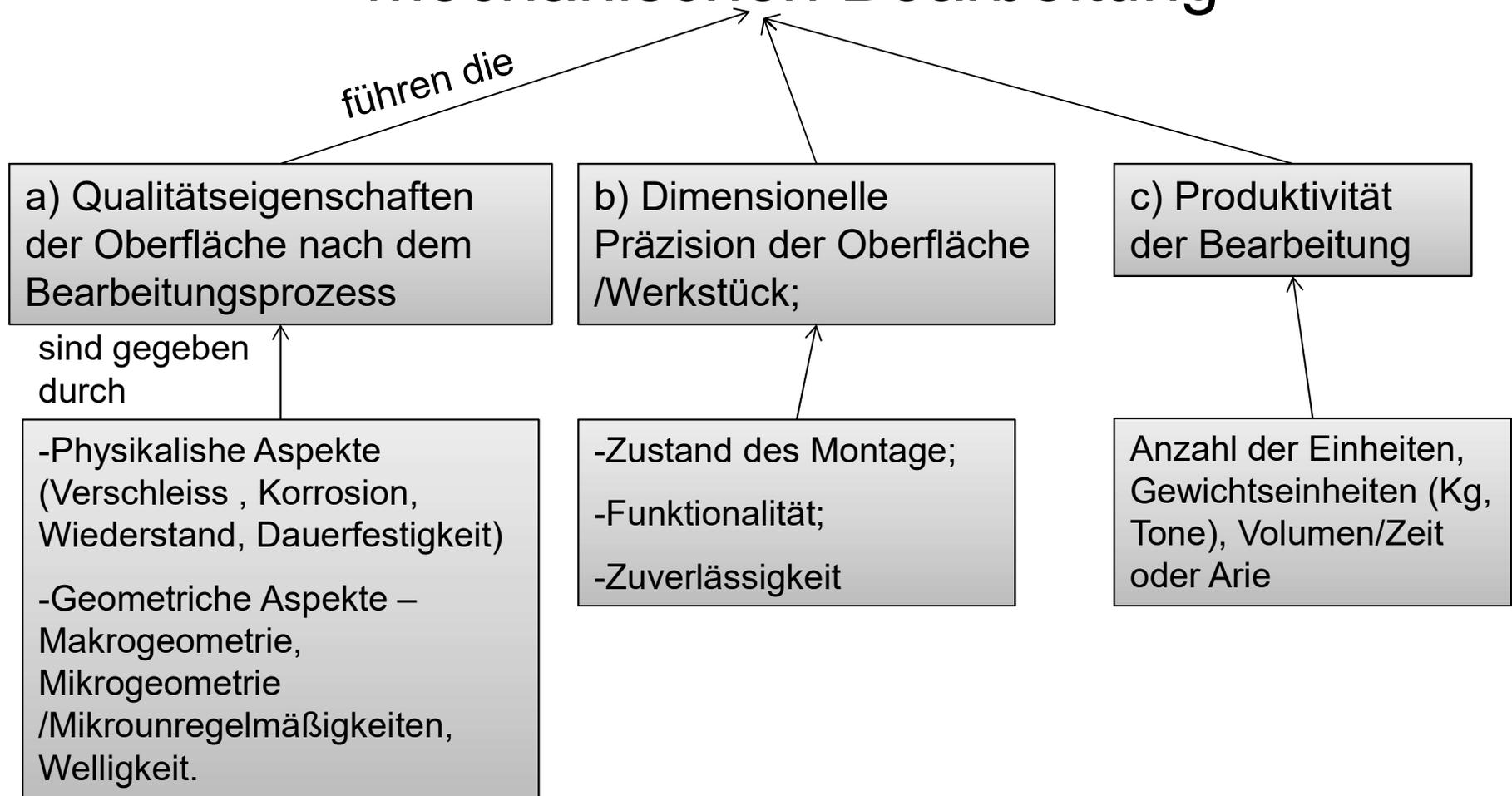


Abb. XX Produkte aus natürlichen Rohstoffen bis hin zum fertigen Produkt



Die technologischen Prozesse der mechanischen Bearbeitung





- **Fertigungsprozesses**

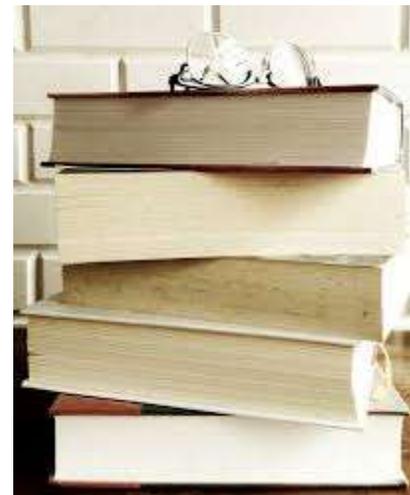
- **A) Der technologische Prozess der mechanischen Bearbeitung** beinhaltet die Teile des Produktionsprozesses, die sich unmittelbar auf die geometrische Form, die Abmessungen, physikalische und mechanische Eigenschaften und auf die Qualität der Oberfläche des zu fertigenden Werkstücks beziehen.
- **B) Technologischer Prozess der Montage** – Montage von Bauteilen, Baugruppen und Endprodukt.

- 
- Bestandteile von Fertigungsprozessen:
 - *Das Verfahren* – Bearbeitungsprogramm;
 - *Die Etappe* – Teil des Programm;
 - *Der Durchgang* - Unterteil des Programm;
 - *Die Bewegung* – Die Sequenz;

- 
- **Das Verfahren / Operation** = die Gesamtheit der Bearbeitung oder Montage, die an einem Arbeitsplatz, ausgeführt wird, mit einer bestimmten Maschine, in der Regel mit dem gleichen Gerät und die Einstellung der Maschine.
 - **Die Etappe** = Teil der Verfahre, wo die Bearbeitung von einer Oberfläche oder Oberflächen, komplett mit einem Werkzeug gemacht ist.
 - **Der Durchgang** = ist Teil einer Phase, wo es eine Schicht des Mnaterial entfernt wird.
 - **Die Bewegung** = ist die Bewegung des Körpers oder der Hilfs-, in gewisser Weise mit einer bestimmten Geschwindigkeit mit einer bestimmten Größe, während die Hauptwelle in den gleichen Zustand der Bewegung befindet.

1.2. Produktionsarten

- A) Massenproduktion
- B) Serienproduktion
- C) Einzelteilproduktion



1.2. Produktionsarten

A) *Die Massenproduktion* zeichnet sich durch die Herstellung einer reduzierten Produktnomenklatur über einen langen Zeitraum kontinuierlich und in großen Mengen aus.



Quelle: Triton, „<https://www.triton.com.ro/produs/342265-surub-cap-hexagonal-m-8-0x-40-din-933-10-9-negru>“.

Funktionen:

- Es führt die gleiche Operation in den meisten aufeinander folgenden Arbeitsplätze;
- spezielle Maschinen (spezialisierte Linien);
- Spezielle Festigkeitsgeräte;
- Geringere Qualifikation für Arbeiter;
- detaillierte Ausarbeitung des technologischen Prozesses.

B) *Serienfertigung* – zeichnet sich durch die Herstellung einer großen Produktnomenklatur immer wieder aus. Große, mittlere oder kleine Produktionschargen können hergestellt werden.

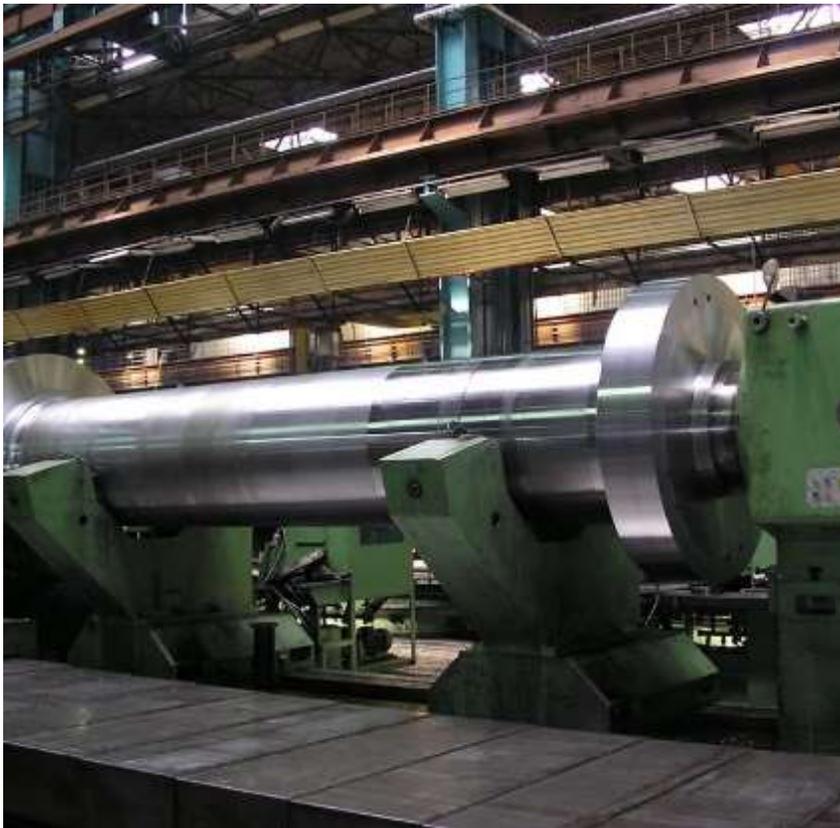


Quelle: <https://www.dacia.ro/>

- Funktionen:
- universelle und teilweise spezielle Werkzeugmaschinen;
- anstelle der vollständigen Austauschbarkeit wird die Montageanpassungsmethode verwendet;
- Werkzeugmaschinen sind in der Reihenfolge des technologischen Flusses der Teilegruppen angeordnet;
- die technologische Dokumentation ist recht detailliert;
- kombinierte Normung: analytisch und Timing.

C) *Die Herstellung von einzigartigen Produkten* – zeichnet sich durch eine sehr hohe Nomenklatur von Produkten (und in einigen Fällen einzigartig).

Drehbearbeitung eines Welle



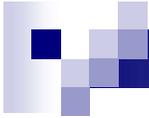
All.Biz, "<https://all.biz/ro-ro/componente-turbine-hidro-g57923>".

- die Wiederholbarkeit der Herstellung der Erzeugnisse ist nicht vorgesehen;
- Universelle Werkzeugmaschinen;
- Arbeitskräfte sind hoch qualifiziert;
- die Beladung der Maschinen ist ohne Regelmäßigkeit;
- Universelle Messgeräten und Spannvorrichtungen;
- Werkzeugmaschinen nach Typen und Dimensionen ordnet; [3]
- Reduzierte technologische Dokumentation, nur technologische Zeichnungen;
- Arbeitsregulierung auf der Grundlage von Statistiken nach Ähnlichkeit.



2. Zerspanungsprozess

- Das physikalische oder mechanische Prinzip der Schneidbearbeitung besteht darin, das Material aus der Werkstück mit Schneidwerkzeugen zu entfernen, um das Fertigteil zu erhalten.
- Es ist ein komplexer Prozess, der sowohl Vor- als auch Nachteile mit sich bringt.
- Als *Vorteile* können aufgelistet werden: hohe Verarbeitungsgenauigkeit, Reproduzierbarkeit der erhaltenen Qualität, Verarbeitung komplexer und sehr komplexer Geometrien, hohe Flexibilität.



- *Nachteile:* - Hoher Materialverbrauch (Material, das für die Halbfabrikatsteilproduktion entfernt werden soll), relativ geringe Produktivität (im Vergleich zu anderen Verarbeitungsprozessen), schwierige Verarbeitung von Materialien wie Verbundwerkstoffen, harten oder sehr harten Materialien, die Notwendigkeit von Verbindungselemente und Orientierungsvorrichtungen bei hochkomplexen Teilen zu bauen oder zu kaufen.
- Der Span ist ein wichtiges Element des Schneidprozesses, der Entladung, der Art und Weise wie er gebildet wird, die Temperatur die er durch plastische Verformung erreicht und die Reibung mit der Spanfläche des Werkzeugs und der Menge an Wärme, die es speichert, während er immer noch ein wichtiges Forschungs- und Studienthema ist.

- 
- Als **Vorteile** können aufgelistet werden: hohe Verarbeitungsgenauigkeit, Reproduzierbarkeit der erhaltenen Qualität, Verarbeitung komplexer und sehr komplexer Geometrien, hohe Flexibilität.
 - **Nachteile:** - Hoher Materialverbrauch (Material, das für die Halbfabrikatteilproduktion entfernt werden soll), relativ geringe Produktivität (im Vergleich zu anderen Verarbeitungsprozessen), schwierige Verarbeitung von Materialien wie Verbundwerkstoffen, harten oder sehr harten Materialien, die Notwendigkeit von Verbindungselemente und Orientierungsvorrichtungen bei hochkomplexen Teilen zu bauen oder zu kaufen.

■ *Fließspanbildung:*

- lange bandförmige Aspekt mit glatter und glänzender Oberfläche;
- Der Span gleitet mit gleichmäßiger Geschwindigkeit in stationärem Fluss über die Spanfläche ab.

■ Materialie:

- gleichmäßiges und feinkörniges Gefüge;
- hohe Duktilität;
- Messing, weiches Stahl (0,1 ÷ 0,25 %C);

■ Prozess Eigenschaft:

- hohe Schnittgeschwindigkeit;
- geringe Reibung auf der Spanfläche;
- positive Spanwinkel;
- geringe Spanungsdicke;

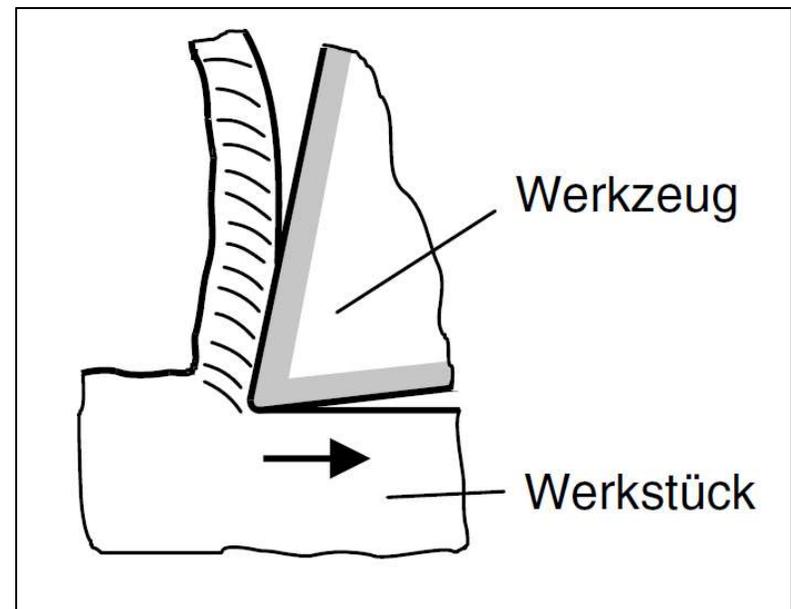


Abb. 2.1. Fließspanbildung

■ *Lamellenspanbildung:*

- ähnelt der Fließspanbildung;
- bilden sich Formänderungsschwankungen;
- konzentrierte Scherbänder sichtbar werden lassen;
- aufweist durch thermische und elasto-mechanische Vorgänge gebildeten Lamellen (mit hoher Bildungsfrequenz im kHz- Bereich);

■ Materialien:

- gleichmäßiges und feinkörniges Gefüge;
- gut verformbaren Werkstoffen;
- höhere Festigkeit;
- weiches Stahl (0,25 ÷ 0,60 %C);

■ Prozess Eigenschaften:

- hohe Schnittgeschwindigkeiten;
(Hochgeschwindigkeitszerspannung)
- hohe Reibung (hohe Temperatur)
auf der Spanfläche;

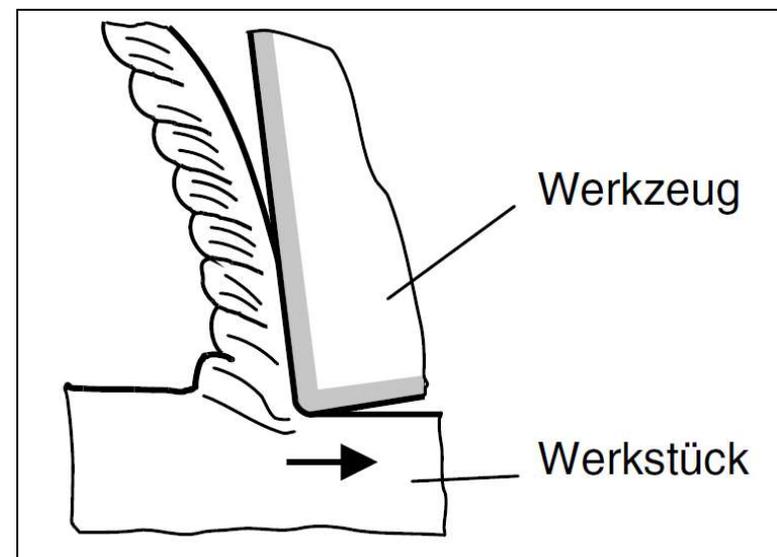


Abb. 2.2. Lamellenspanbildung₃₃

■ *Scherspanbildung:*

- diskontinuierliche Entstehung eines noch zusammenhängenden Spanes;
 - bilden sich Formänderungsschwankungen;
 - konzentrierte Scherbänder sichtbar werden lassen;
 - aufweist durch thermische und elasto-mechanische Vorgänge gebildeten Lamellen (mit hoher Bildungsfrequenz im kHz- Bereich);
- Materialien:
- gleichmäßiges und feinkörniges Gefüge;
 - gut verformbaren Werkstoffen;
 - höhere Festigkeit;
 - weiches Stahl (0,25 ÷ 0,60 %C);
- Prozess Eigenschaften:
- negativen Spanwinkeln;
 - geringeren Schnittgeschwindigkeiten;

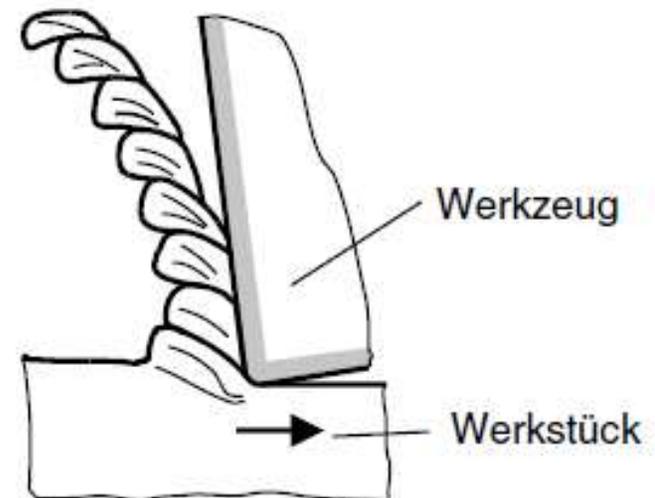


Abb. 2.3. Scherspanbildung

■ *Reißspanbildung:*

- Die Oberfläche des Werkstücks wird dann weniger durch die Spuren des Werkzeugs als durch die Reißvorgänge während der Spanbildung bestimmt;

■ Materialie:

- wenig plastische verformbare Werkstoffe;
- starken Inhomogenitäten (Gusseisen mit Lamellengraphit);
- hat schon vorgegebene Gleitsysteme;

■ Prozess Eigenschaften:

- kleine Spanwinkel;
- hohe Werten von Vorschub;
- geringere Schnittgeschwindigkeiten;

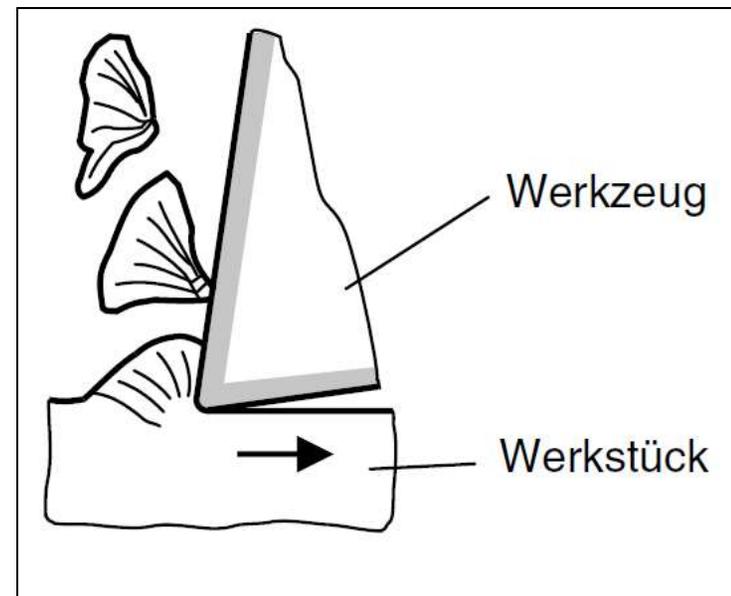
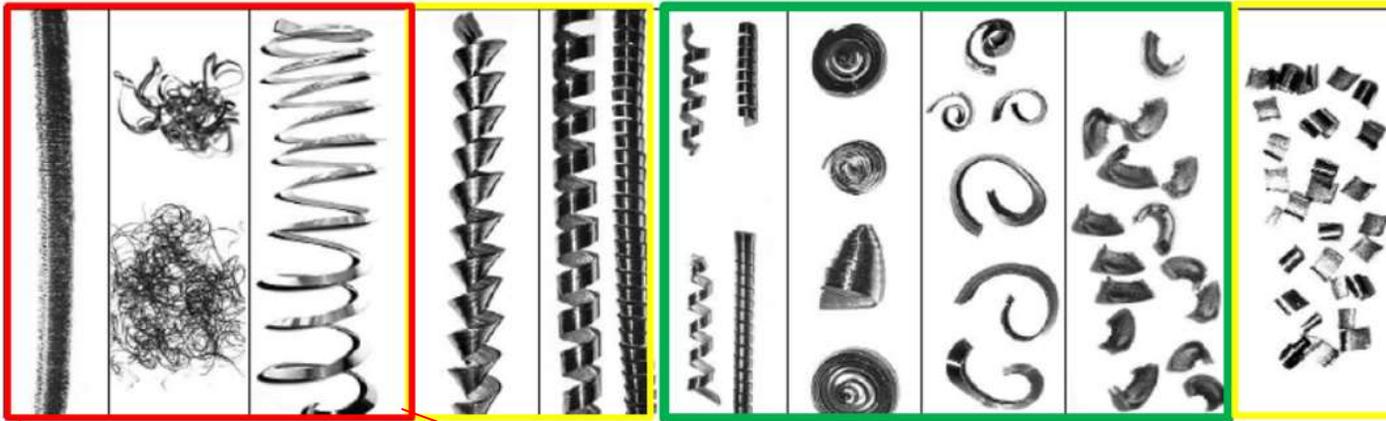


Abb. 2.4. Reißspanbildung



Nicht brauchbar

brauchbar

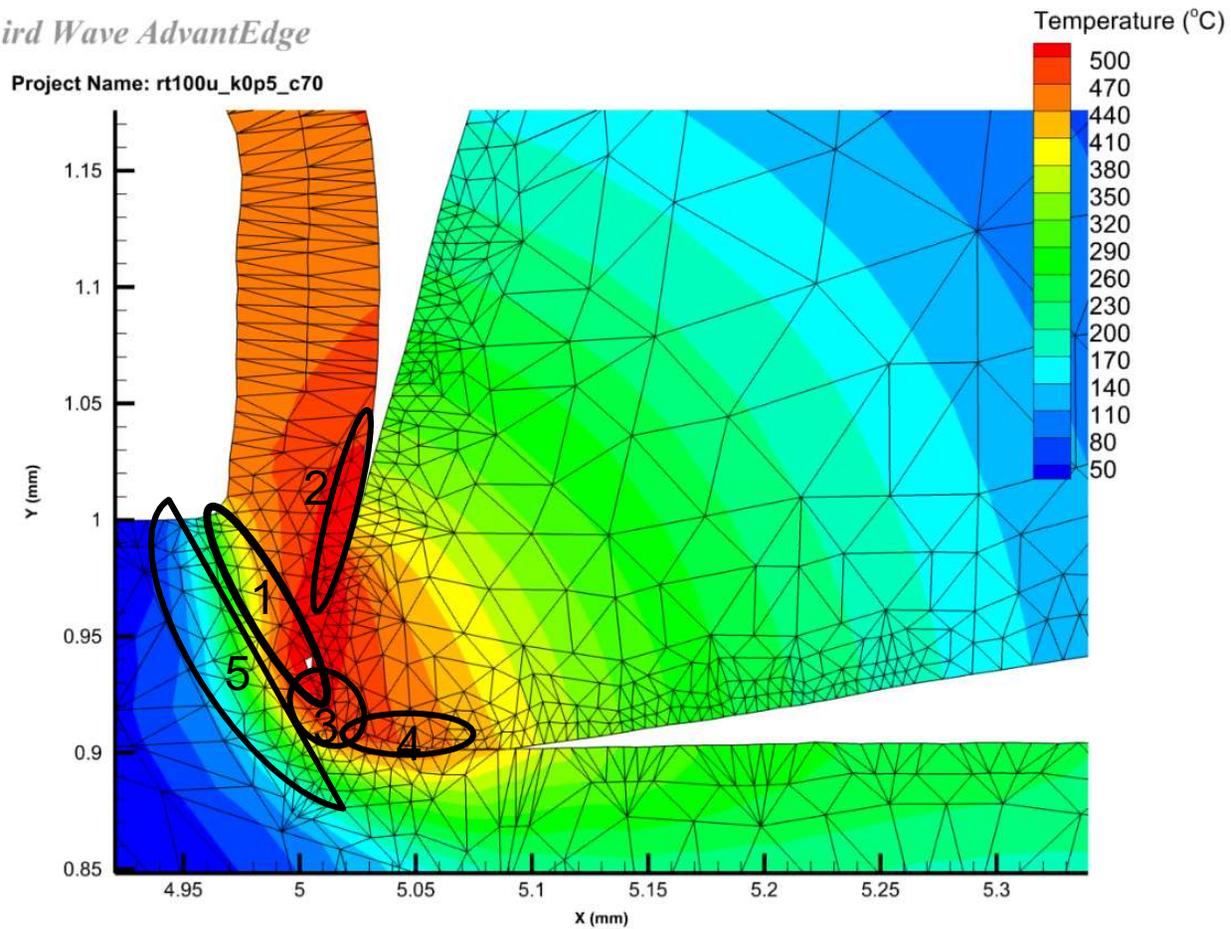
gut

brauchbar

Spanformen beim Drehen und ihre Beurteilung



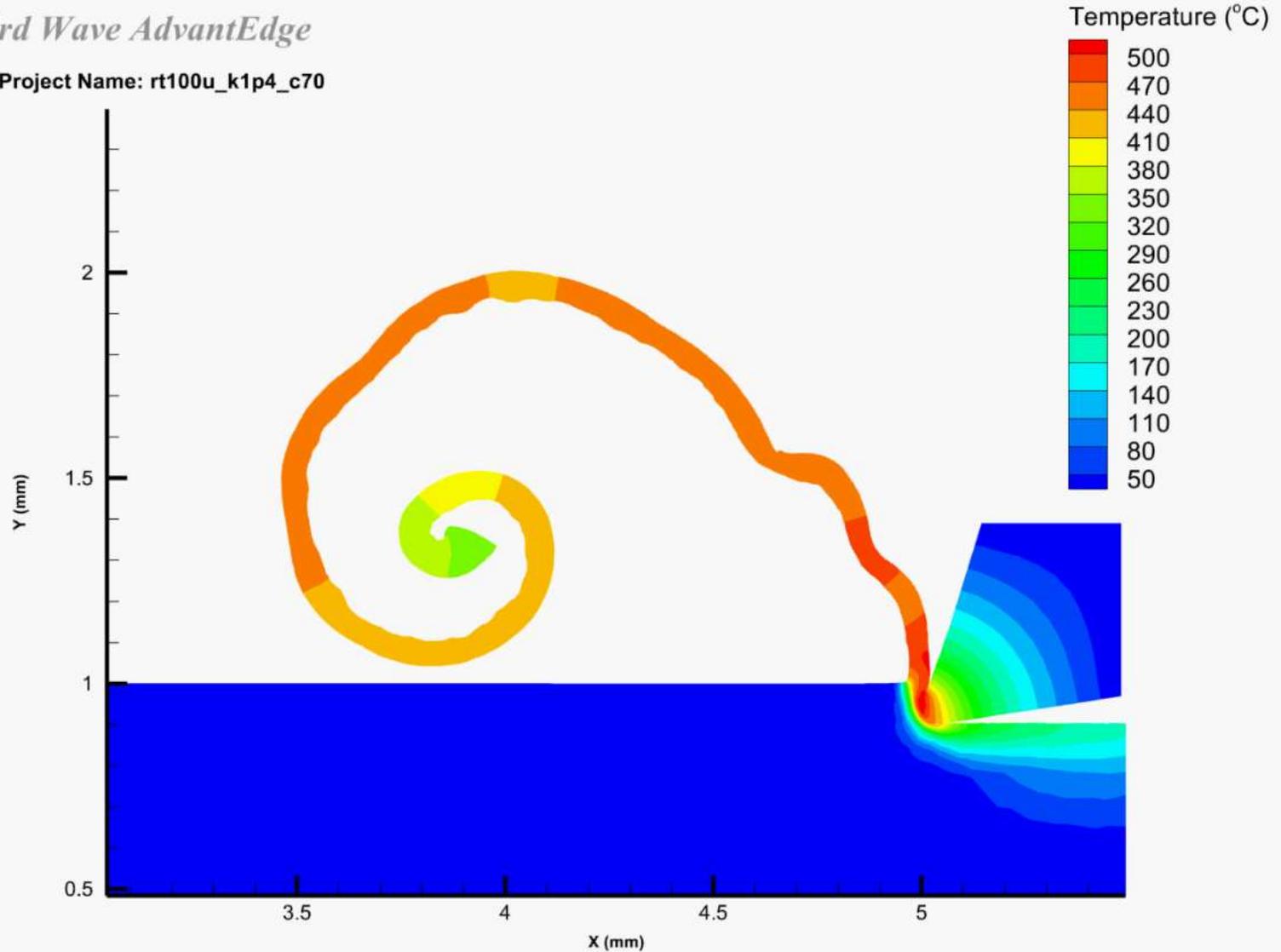
Quelle: B. Denkena și H. K. Tönshoff, Spanen. Grundlagen, 3 ed., Heidelberg: Springer, 2011, pp. XXII, 426.



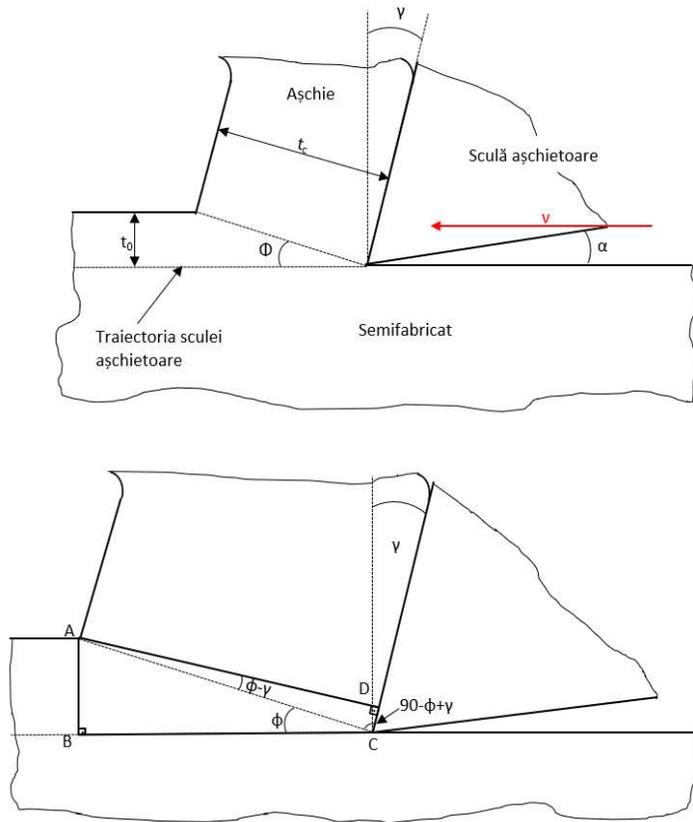
- 1- Primäre Scherzone;
- 2 - Sekundäre Scherzone an der Spnafläche;
- 3 - Sekundäre Scherzone an der Stau- und Trennzone;
- 4- Sekundäre Scherzone an der Freifläche;
- 5 - Verformungsvorlaufzone

Third Wave AdvantEdge

Project Name: rt100u_k1p4_c70



Bildung von Span und Kräften im Schneidprozess



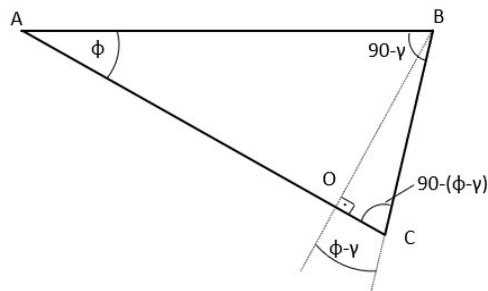
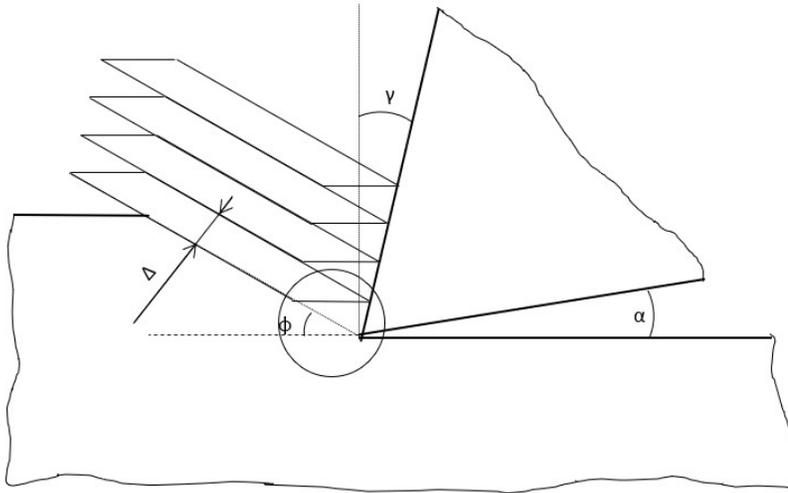
Ablösen des Span vom Werkstück und Verdickung in das orthogonale Schnittmuster [5]

$$\frac{t_0}{t_c} = \frac{\sin(\phi)}{\cos(\phi-\gamma)} = r$$

r- Verdickungskoeffizient des Span. [5]

Das Schnittbildungsmodell ist beim Fräsen, Bohren, Drehen usw. komplex, kann aber aus der Sicht von elementare Prozesse auf ein zweidimensionales Modell reduziert werden, bei dem die Schneidkante als senkrecht zur Bewegungsbahn des Schneidwerkzeugs betrachtet wird. Das orthogonale Schnittmuster beschreibt, wie der Splitter gebildet wird, und kann damit die Kräfte bestimmen, die im Schneidprozess auftreten, und die Größe der Schnittdeformitäten.

Bildung von Span und Kräften im Schneidprozess



In Abb. 2.4 ist ein Schermuster der Späne im Schneidprozess dargestellt, wo sie als Elemente des Grundmaterials betrachtet werden, die während der Ablösung von der halbfabrizierten von einander in die Scherebene rutschen.

In ΔABC $\varepsilon = \frac{AC}{OB} = \frac{AO}{OB} + \frac{OC}{OB}$, äquivalent zu

$\varepsilon = ctg(\Phi) + tg(\Phi - \gamma)$ - "spezifische Scherverformung". Bestimmte

Scherverformungen haben hohe Werte, wenn der Scherwinkel ϕ klein ist und der Freiwinkel γ mit einem niedrigen positive Werten hat oder negativ ist. [5]

Abb. 2.4 Splitterbildungsmechanismus bei orthogonaler Verarbeitung
– Dicke des Scherstreifens [5]

Geschwindigkeitsdiagramm im orthogonalen Schneidprozess

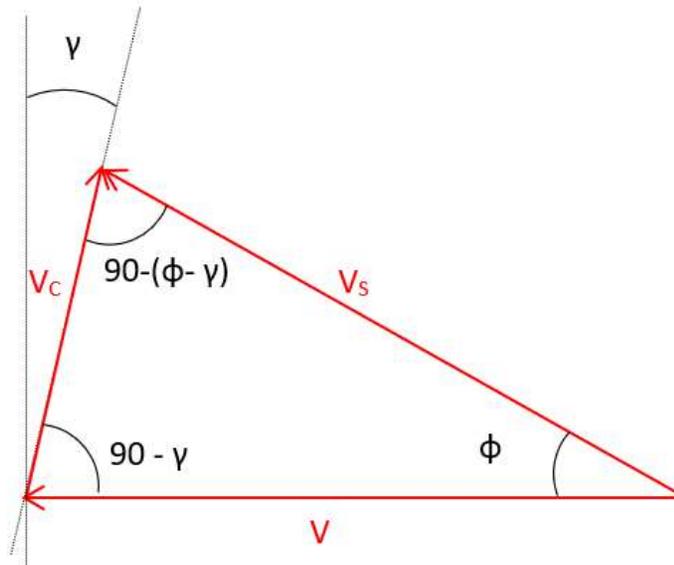


Abb. 2.5 Geschwindigkeitsdiagramm im orthogonalen Schneidprozess
[5]

Die Schnittgeschwindigkeit v ist die Geschwindigkeit, mit der sich das Werkzeug in Bezug auf den Werkstück bewegt; v_c – die Geschwindigkeit, mit der das Span auf der Spanfläche des Schneidwerkzeugs fließt und v_s – die Schergeschwindigkeit. Diese 3 Geschwindigkeiten bilden ein zufälliges Dreieck, in dem die Winkel und Seiten bekannt sind. Aus dem Sinussatz kann man die Gl.bekommen:

$$\frac{v}{\cos(\gamma)} = \frac{v_c}{\sin(\phi)} = \frac{v_s}{\cos(\phi - \gamma)}$$

Bildung von Splittern und Kräften im Schneidprozess

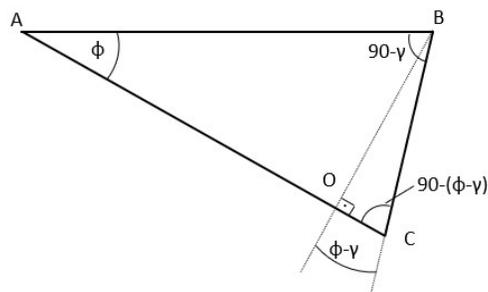
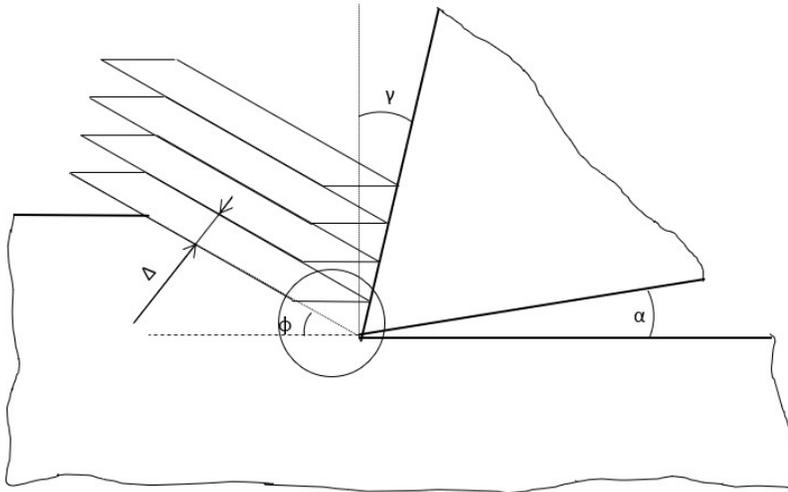


Abb. 2.4 Splitterbildungsmechanismus bei orthogonaler Verarbeitung
– Dicke des Scherstreifens [5]

In Abb. 2.4 ist ein Schermuster der Späne im Schneidprozess dargestellt, wo sie als Elemente des Grundmaterials betrachtet werden, die während der Ablösung von der halbfabrizierten Form von einander in die Scherebene rutschen.

In $\triangle ABC$ $\varepsilon = \frac{AC}{OB} = \frac{AO}{OB} + \frac{OC}{OB}$, äquivalent

zu $\varepsilon = ctg(\Phi) + tg(\Phi - \gamma)$ -

"spezifische Scherverformung".

Bestimmte Scherverformungen haben hohe Werte, wenn der Scherwinkel ϕ klein ist und der Freiwinkel γ mit einem niedrigen positive Werten hat oder negativ ist. [5]

2.2 Zersetzung der Schneidkraft

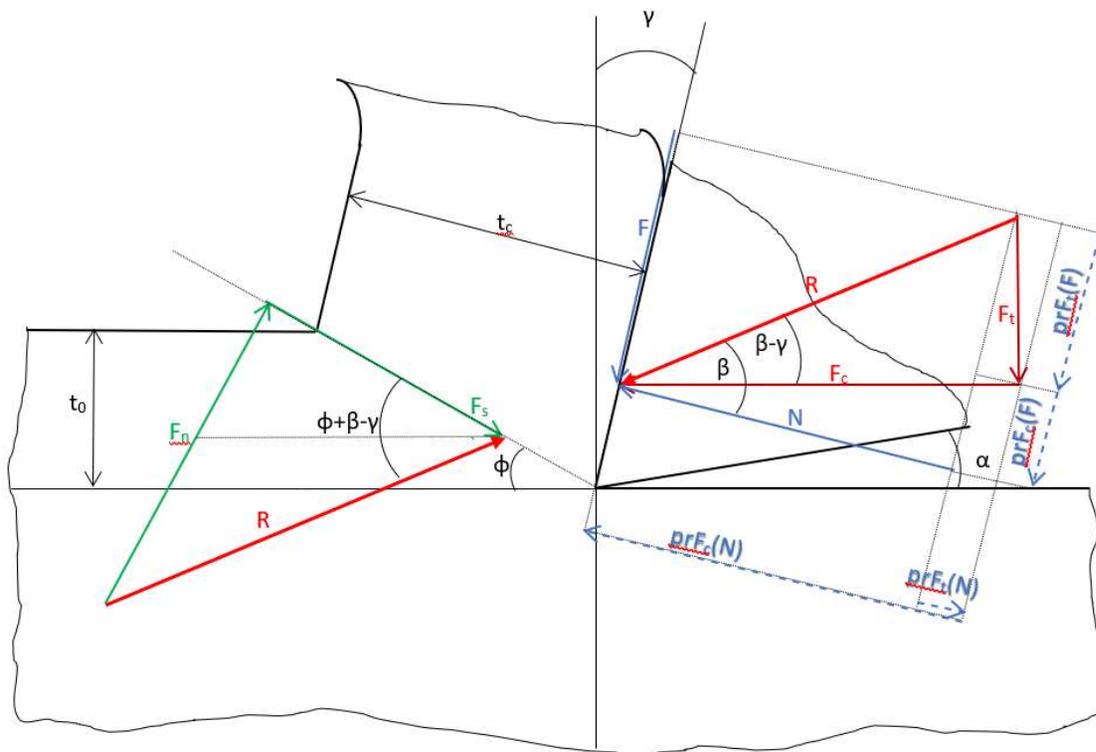


Abb. 2.6 Zersetzung der Kräfte im Prozess des orthogonalen Schneidens [5] [4]

F_c – die Hauptschnittkraft;

F_t – Tangentialkraft (F_p – Pasivkraft)

R – resultierende Kraft;

F – Reibungskraft (zwischen Material und Spanfläche);

N – Normalkraft auf die Reibungskraft;

F_s – Scherkraft;

F_n – normale Kraft (an der Scherkraftebene);

$prF_c(F)$ – Projektion von F_c in der Ebene der Reibungskraft;

$prF_t(F)$ – Projektion von F_t in der Ebene der Reibungskraft;

$prF_c(N)$ – Projektion von F_c in der Ebene von Normalkraft;

$prF_t(N)$ – Projektion von F_t in der Ebene von Normalkraft;

β – Reibungswinkel;

ϕ - Scherwinkel;



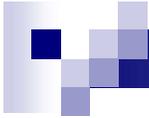
Mit Abb. 2.6 können durch Zersetzung des Parallelogrammregel alle Kräfte bestimmt werden, die den orthogonalen Schneidprozess definieren. Ihr Wissen ist erforderlich, da die mechanische Arbeit, die im Schneidprozess verbraucht wird, hauptsächlich verwendet wird, um die Reibungskräfte zu überwinden und das Material aus dem Werkstück zu scheren.

$$R = \sqrt{F_c^2 + F_t^2} \quad (2.4)$$

Die Kräfte F und N können nach F_c und F_t bestimmt werden durch Zersetzung wie folgt:

$$F = prF_c(F) + prF_t(F) = F_c \sin(\gamma) + F_t \cos(\gamma) \quad (2.5)$$

$$N = prF_c(N) - prF_t(N) = F_c \cos(\gamma) - F_t \sin(\gamma) \quad (2.6)$$



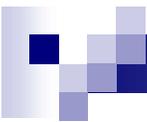
Folglich ist der Reibungswinkel mit der Formel:

$$\beta = \operatorname{arctg}(\mu) = \operatorname{arctg} \frac{F_c \sin(\gamma) + F_t \cos(\gamma)}{F_c \cos(\gamma) - F_t \sin(\gamma)} \quad (2.7)$$

Mit der Beziehung (2.7) kann man den Scherwinkel bestimmen. [5]

$$F_s = R \cdot \cos(\Phi + \beta - \gamma) \quad (2.8)$$

$$F_n = R \cdot \sin(\Phi + \beta - \gamma) \quad (2.9)$$



2.3. Diagramm der Kräfte im Schneidprozess von Ernst und Merchant

Ernst und Merchant entwickelten 1941 eine Theorie der Splitterbildung und basieren auf mehreren vereinfachten Ideen des Modells [4]:

- Die Asche bildet sich orthogonal, d.h. nur in der Ebene;
- Die Hauptschneidekraft wirkt senkrecht zum Verarbeitungsplan;
- Formänderung tritt in der Scherebene auf;
- Die Scherspannung ist in der Scherebene konstant.

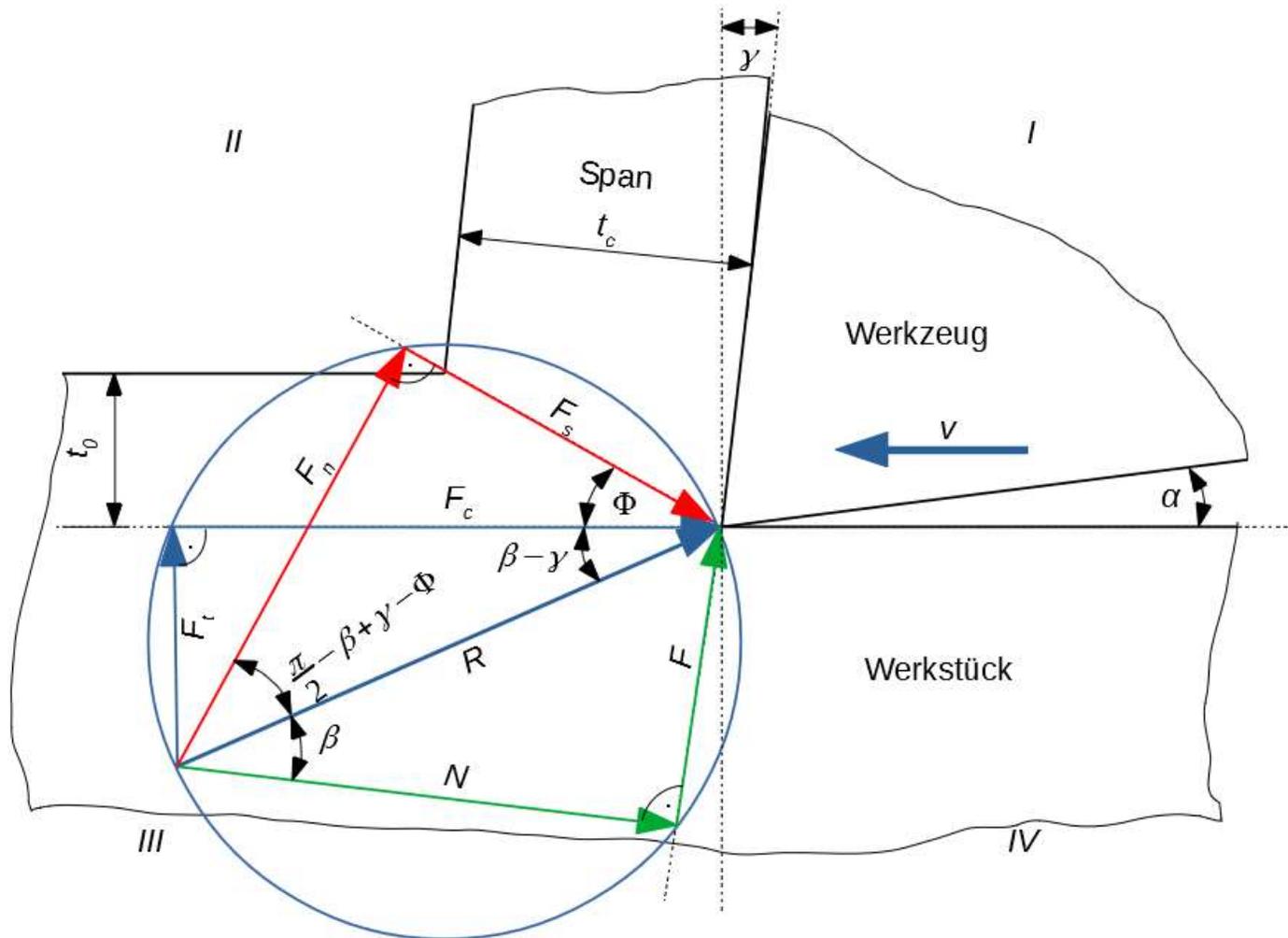


Abb. 2.7 Grafische Darstellung von Schneidkräften nach Ernst und Merchant



Darstellungsmodus:

- Ein kartesisches Koordinatensystem (halbseitig – zentriert) wird grafisch dargestellt;
- Im Quadrant I zeichnet man die Werkzeug mit Spanwinkel γ und Freiwinkel α ;
- Von der Mitte O aus und in Bewegungsrichtung des Schneidwerkzeugs wird die Hauptschneidkraft F_c dargestellt. Senkrecht zu F_c und zu Quadrant III wird die tangentielle Schneidkraft F_t dargestellt; t ;
- Durch die Verbindung des Spitze von F_c mit der Spitze von F_t wird die resultierende Kraft R erhalten, die in Ernst und Merchant den Wirkungspunkt (wie sich auch aus der Darstellung ergibt) an der Spitze des Schneidwerkzeugs hat;
- Teilt man das R -Segment in zwei gleiche Segmente und zeichnet man den Kreis mit dem Mittelpunkt in der Mitte von R und Radius $R/2$;

- 
- Erweitert man die Spur der Spanfläche in Richtung des Quadrants *III* des kartesischen Koordinatensystems, bis man ein zweites Mal den Kreis zuschneidet. Durch die Verbindung des Zentrums *O* und des Schnittpunkts erhält man *Vektor F* (Reibungskraft). Durch die Verbindung zwischen Spitze des Vektors *F* mit der Spitze des Vektors *R* erhält man Vektor *N*;
 - Von der Mitte *O* und bis zum zweiten Schnittpunkt des Kreises mit dem Ende der Scherebene resultiert die Scherkraft F_s . Durch Verbinden des Spitze des Vektors F_s mit der Spitze des Vektors *R* wird die Kraft F_n erhalten;
 - Die Oberfläche des Werkstück, d. h. aussende Oberfläche der Span, ist zu zeichnen. Durch Die Verbindung der Mitte des kartesischen Koordinatensystems *O* mit der äußere Startpunkt des Spanflusses in Richtung der Freiraumbene erhält man im Quadrant *II* die Spur des Scherplans. Für einer korrekten Darstellung sind die Werte der Schnitttiefe t_o bzw. der Spandicke t_c zu berücksichtigen.

2.4. Spannungen im Scherprozess

Die Verformung des Spanes bedeutet einen intensiven Scherprozess, der von dem Material durchgeführt wird, das von der Oberfläche des Materials entfernt wird. Das Scheren beginnt mit Abb. 2.8 Schermodus der Schere im Bohrprozess (Bild SEM-Firma Gühring). So kann auch die Schlussfolgerung gezogen werden, dass im Allgemeinen 75 % der im Schneidprozess freigesetzten Wärmemenge auf die plastische Verformung des Materials zurückzuführen ist und die restlichen 25 % auf die Reibung des Werkzeugs mit dem Splitter bzw. der Siedlungsfläche mit der verarbeiteten Oberfläche des Materials zurückzuführen sind.

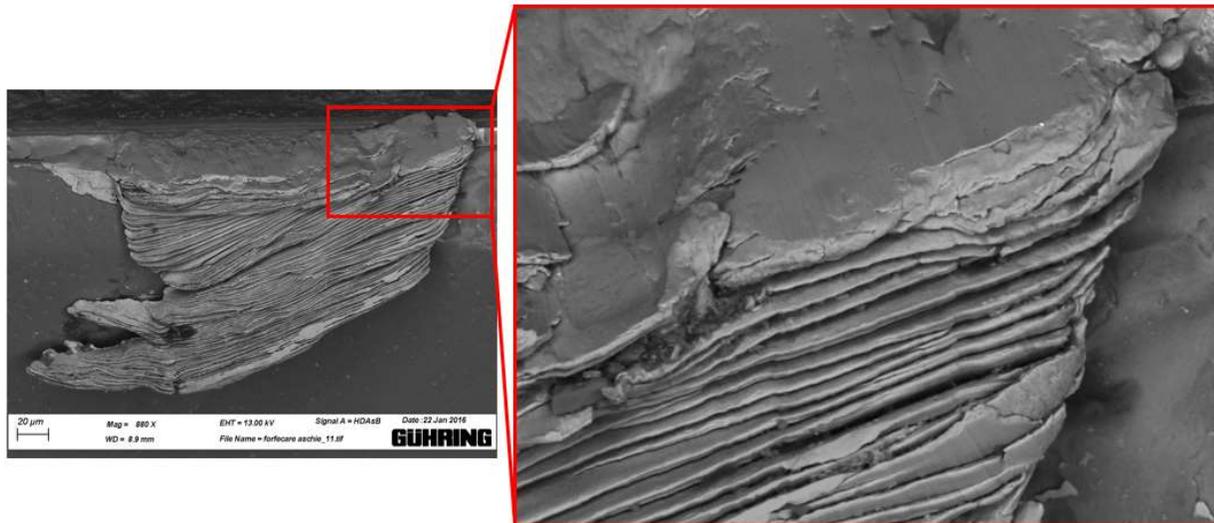


Abb. 2.8 Schermodus der Schere im Bohrprozess (Bild SEM-Firma Gühring)

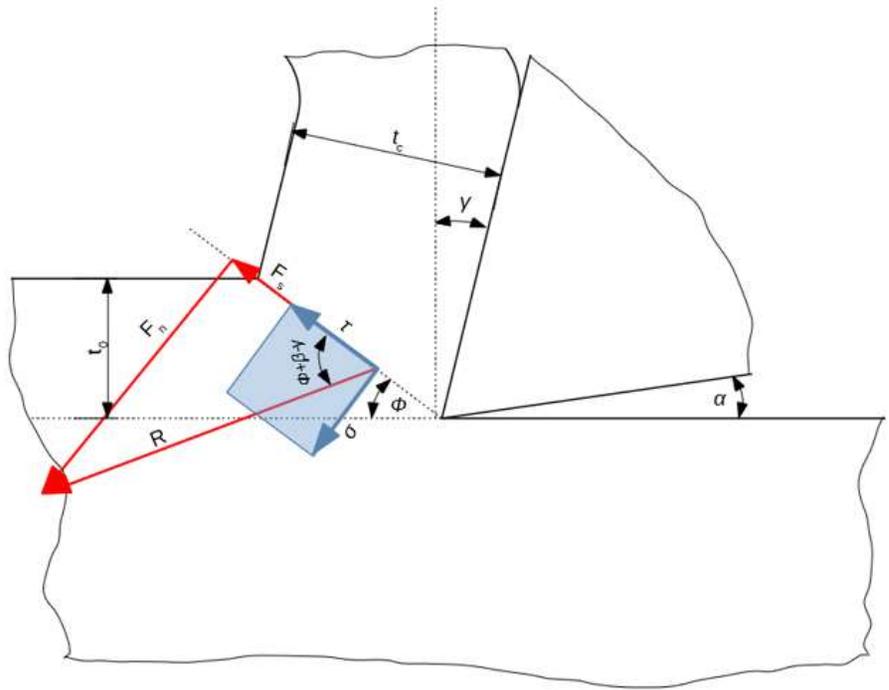


Abb. 2.9 Darstellung der Scherspannungen im orthogonalen Schneideprozess

Die Scherebene erscheint unter dem Winkel, in dem die tangentielle Spannung τ maximal ist. Der charakteristische Scherwinkel wird durch Ausgleich des Derivats erster Ordnung mit 0 bestimmt.

$$\frac{d\tau}{d\Phi} = 0 \quad (2.10)$$

Die Kräfte im Scherplan können nach tangentialen und normalen Spannungen ausgedrückt werden.

- Die Kräfte im Scherplan können nach tangentialen und normalen Spannungen ausgedrückt werden.

$$F_s = \tau \cdot A_s \quad (2.11)$$

$$F_n = \sigma \cdot A_s \quad (2.12)$$

- Wo
$$A_s = w \cdot \frac{t_0}{\sin(\Phi)} \quad (2.13)$$

- und stellt den Bereich des Abschnitts der Schere in der Scherebene dar (t_0 – die Spantiefe und w – Spanbreite);

- Ausdruck von Kräften
$$F_s = R \cdot \cos(\Phi + \beta - \gamma) \quad (2.14)$$

$$F_n = R \cdot \sin(\Phi + \beta - \gamma) \quad (2.15)$$

- In dem Wissen, dass σ keinen Einfluss auf die tangentielle Spannung hat, kann der *minimale Scheransträngung an dem Punkt erreicht werden wo die tangentielle Spannung minimal ist*. Aus mathematischer Sicht kann dieser Ausdruck wie folgt dargestellt werden (Diese Hypothese kann unter Berücksichtigung der Tatsache geschrieben werden, dass die tangentielle Spannung nicht durch den Freisetzungswinkel und den Reibungswinkel beeinflusst wird):
- $\tau = \frac{F_s}{A_s}$ wird ausgedrückt durch der Verwandung der Kraft und der Fläche A_s und erhalet man:

$$\tau = \frac{F_c \cdot \sec(\beta - \gamma) \cdot \cos(\Phi + \beta - \gamma) \cdot \sin(\Phi)}{w \cdot t_0} \quad (2.16)$$

- Von (2.11) und (2.16) die tangentielle Spannung τ entsprechend dem Scherwinkel Φ ableitet, kann geschrieben werden:

$$\frac{d\tau}{d\Phi} = \frac{F_c \cdot \sec(\beta - \gamma)}{w \cdot t_0} [\cos(\Phi + \beta - \gamma) \cdot \cos(\Phi) - \sin(\Phi + \beta - \gamma) \cdot \sin(\Phi)] = 0 \quad (2.17)$$

Teilt man die(2.17)mit $\frac{F_c \cdot \sec(\beta - \gamma)}{w \cdot t_0}$ und erhaltet:

$$\cos(\Phi + \beta - \gamma) \cdot \cos(\Phi) - \sin(\Phi + \beta - \gamma) \cdot \sin(\Phi) = 0 \quad (2.18)$$

Teilt man(2.18) mit $\cos(\Phi + \beta - \gamma)$ und es kommt zu den Ergebniss

$$\cos(\Phi) - \operatorname{tg}(\Phi + \beta - \gamma) \cdot \sin(\Phi) = 0 \quad (2.19)$$

- 
- Oder in einer anderen Form:

$$\operatorname{tg}(\Phi + \beta - \gamma) = \operatorname{ctg}(\Phi) \quad (2.20)$$

- Unter Berücksichtigung (2.20) wird:

$$\operatorname{tg}(\Phi + \beta - \gamma) = \operatorname{tg}\left(\frac{\pi}{2} - \Phi\right) \quad (2.21)$$

- Aus der Beziehung (2.21) kann man den Ausdruck des Scherwinkels, die *Ernst* und Merchant bestimmten, erhalten:

$$\Phi + \beta - \gamma = \frac{\pi}{2} - \Phi \quad (2.21)$$

$$\Phi = \frac{\pi}{4} + \frac{\gamma - \beta}{2} \quad (2.22)$$

- 
- Lee und Schafer, basierend auf der Hypothese des gesamten plastischen Verhaltens des Schneidmaterials, bestimmen den Scherwinkel mit dem Wert: [6]

$$\Phi = \frac{\pi}{4} - (\beta - \gamma) \quad (2.24)$$

- Der Scherwinkel wird von Hucks wie folgt bestimmt:

$$\Phi = \frac{\pi}{4} - \frac{\arctan 2\mu}{2} + \gamma \quad (2.25)$$

- wobei der Reibungskoeffizient ist und hat den Wert:

$$\mu = \frac{F_t}{F_n} \quad (2.26)$$

2.5 Berechnung der Schnittkräfte, spezifische Energie und Leistung, die erforderlich sind, um das Span zu entfernen

■ 2.5.1 Schnittkraft und deren Komponenten

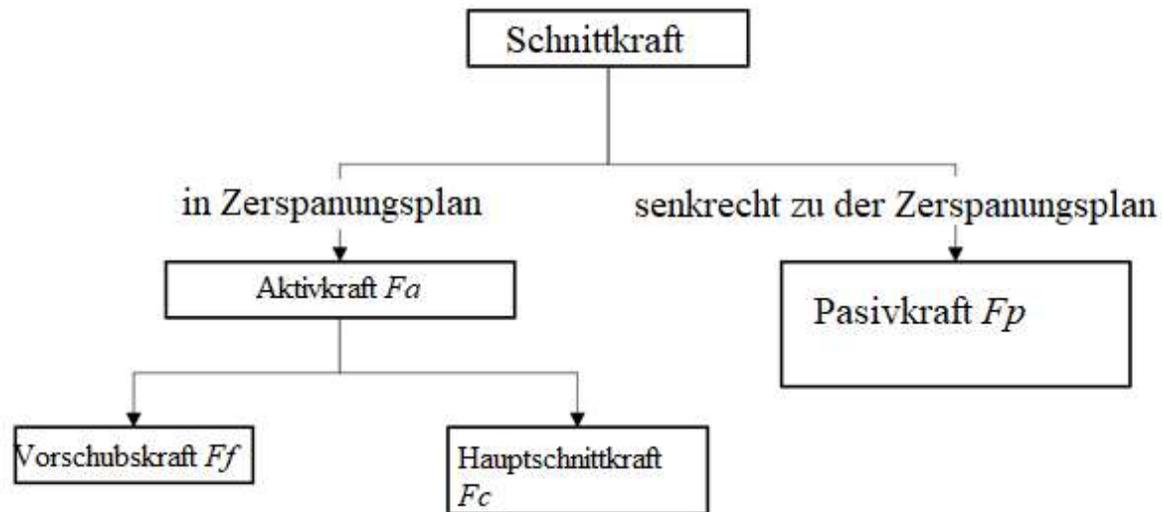
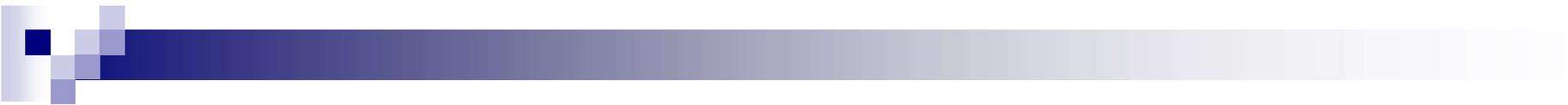
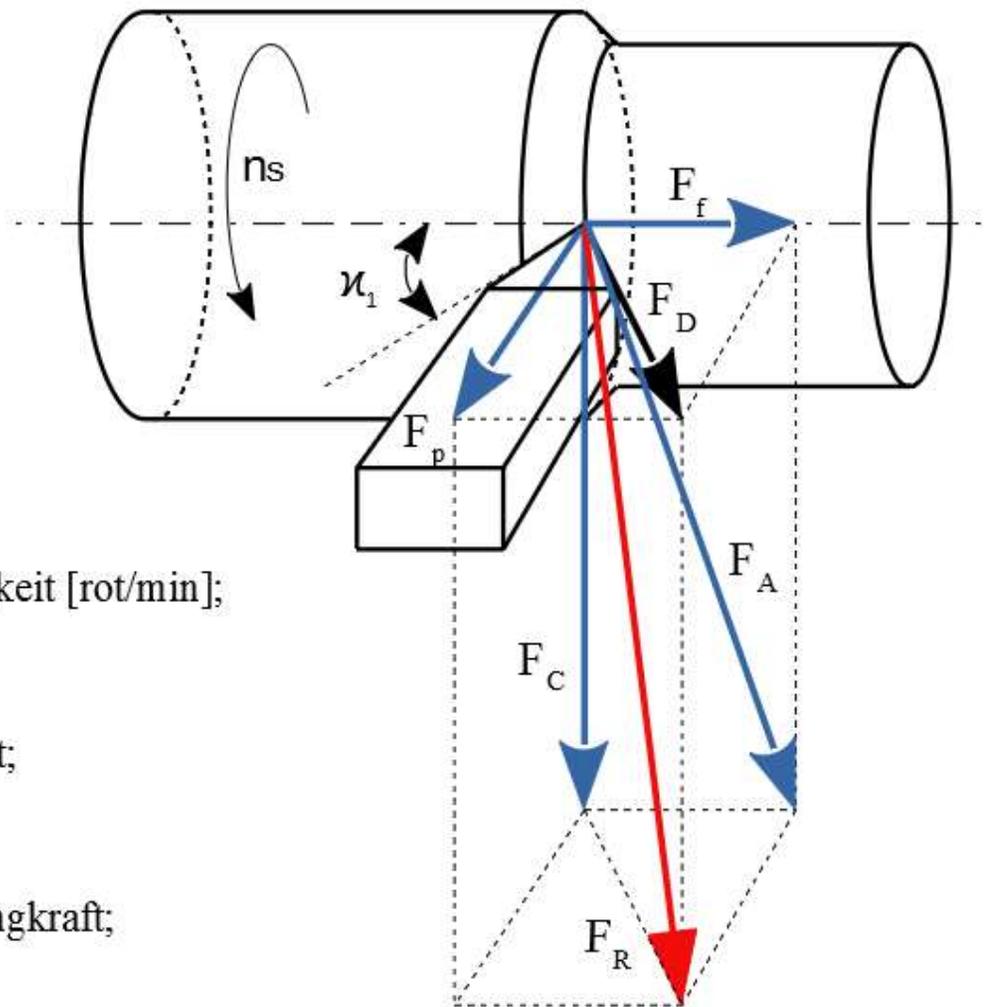


Abb. 2.10 Zersetzung der Schnittkraft auf Bauteilen

- 
- Die Hauptkomponente der Schnittkraft ist sehr wichtig bei der Bestimmung der spezifischen Schnittenergie und implizit die Leistung benötigt, um das Span aus dem Werkstück zu entfernen ist F_c . Von den anderen Komponenten der Schneidkraft sind die Vorschubskraft F_f und die radiale Komponente F_p -Pasivkraft (im Falle des orthogonalen Drehprozesses übereinstimmt mit F_t – tangentielle Kraft) auch als passive Kraft F_t bekannt. Angrenzend an die Dimensionierung des Motors ermöglicht das Wissen (durch Berechnung oder Messung) der Vorschubskraft und der horizontalen Schnittkraftkomponente ermöglicht der Design der anderen Komponente wie die Schneidwerkzeug und Messerhalter. Die Zersetzung der Kräfte ist in Abb. 2.11 Hauptkomponenten der Schneidkraft und Abb. 2.13.



- n_s – Drehgeschwindigkeit [rot/min];
 α_1 – Einstellwinkel;
 F_R - Zerspankraft;
 F_C – Hauptschnittkraft;
 F_p / F_t – Pasivkräfte;
 F_f – Vorschubkraft;
 F_D – Nebenkraft/ Drangkraft;

Abb. 2.11 Hauptkomponenten der Schneidkraft

- 
- Bei der Verwendung kleiner Einstellwinkel ($< 10^\circ$) ist die radiale Komponente der Schneidkraft sehr groß und ihre Tendenz ist, das Werkstück zu biegen, daher werden kleine Winkel nur bei der Verarbeitung sehr steifen Wellen wie Kalandervalzen.
 - Bei der Verarbeitung von Werkstücke, die als stabil gelten, werden durchschnittliche Einstellwinkel $45^\circ \leq \chi_1 \leq 70^\circ$ verwendet. Ein Werkstück ist stabil, wenn:

$$l \leq 6 \cdot d \quad (2.27)$$

- Wo: – l – Länge des Werkstück
 d – Durchmesser des Werkstück.

- Große Einstellwinkel zwischen 70 und 90° verwendet man bei langen labilen Werkstücken. Diese Werkstücke treffen die Bedingung (2.28)

$$l > 6 \cdot d \quad (2.28)$$

- Mit der *Erhöhung des Einstellwinkel* nimmt der Pasivkraft ab, biss es 0 wird.

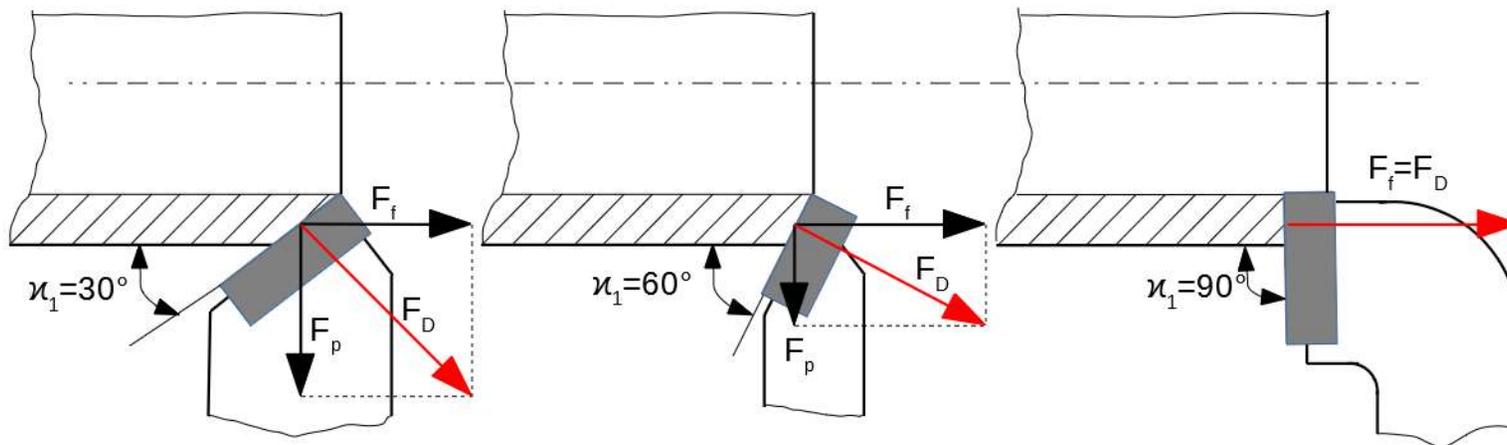


Abb. 2.12 Einfluss des Hauptangriffswinkels auf die horizontale Komponente der Schneidkraft F_p und auf die Vortriebskraft F_f

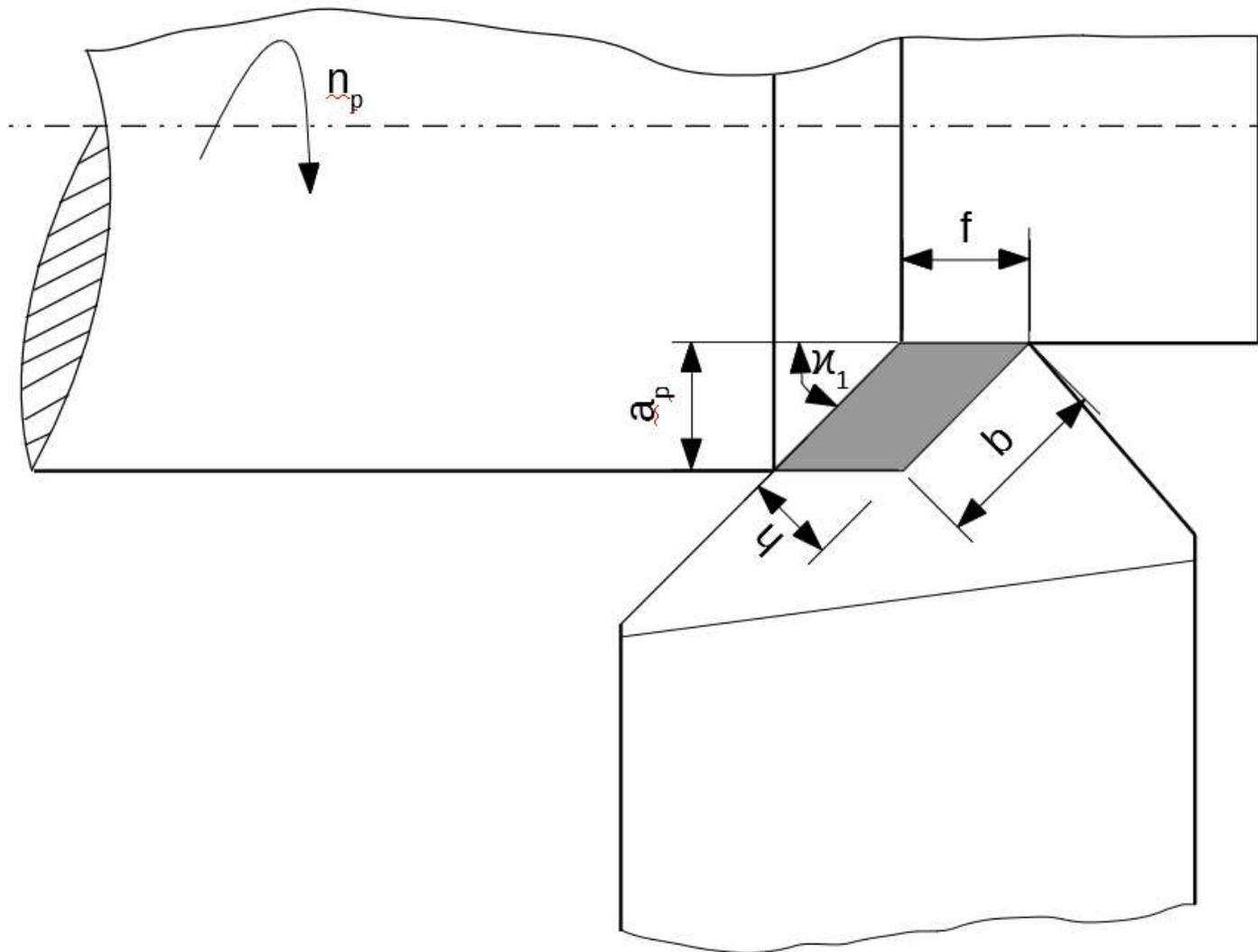


Abb. 2.13 Abschnitt des Spanes, f - vor, a_p – Schnittiefe; b – die Spanbreite; h – Schnittiefe



Spanbreite b/w

- Ist die Breite des Spanes das, der senkrecht zur Schnittrichtung, in der Ebene der Schnittgeschwindigkeit, gemessen wird.

$$b = \frac{a_p}{\sin \chi_1} \quad (2.29)$$

a_p – Schnitttiefe;

$b(w)$ – Spanbreite;

χ_1 – Einstellwinkel.

Abb. 2.13



Spanungsbreite h

- ist die Breite des abzunehmenden Spanes senkrecht zur Schnittrichtung gemessen und senkrecht zur Schnittgeschwindigkeitsplan.

$$h = f \cdot \sin \chi_1 \quad (2.30)$$

- f – der Vorschub;
- h – Spanungsbreite;
- Abb. 2.13

Spanungsquerschnitt A

- Ist die Querschnitt des Spanes, gemessen senkrecht zur Schnittrichtung .

$$A = a_p \cdot f = b \cdot h \text{ [mm}^2\text{]} \quad (2.31)$$



Zerspankraft

- Die Zerspankraft wird in zwei Komponente geteilt, die Hauptschnittkraft F_c (die radiale Komponente) und die Vorschubkraft F_f .

- Die Zerspankraft F_R :
$$\vec{F}_R = \vec{F}_c + \vec{F}_p + \vec{F}_f \quad (2.32)$$

- Oder
$$F_R = \sqrt{F_c^2 + F_p^2 + F_f^2} \quad (2.33)$$



Hauptschnittkraft F_c :

- Nach Kienzle Bestimmung hängt die Schnittkraft von mehreren Faktoren ab.
- *Werkstückmaterial;*
- *Vorschub f ;*
- *Schnitttiefe a_p ;*
- *Verhältnis $b:h$ oder $p:f$;*
- *Spanwinkel γ ;*
- *Freiwinkel α ;*
- *Einstellwinkel χ_1 ;*
- *Schnittgeschwindigkeit v_c ;*
- *Werkzeugmaterial;*
- *Kühlschmierstoff;*
- *Verschleiß des Werkzeug VB oder u_z .*



Nach Kienzle

$$F_c = A \cdot k_c \cdot \prod K [N] \quad (2.34)$$

- A ist die Fläche des Querschnitts der Spane
- k_c – spezifische Schnittkraft;
- $\prod K$ – das Produkt der Korrekturkoeffizienten;
- $k_c \left[\frac{N}{mm^2} \right]$ – spezifische Schnittkraft.

$$\prod K = K_v \cdot K_\gamma \cdot K_{U_z} \cdot K_{msc} \cdot K_{cmp} \quad (2.35)$$

- In die Gleichung (2.35) wird das Produkt der Korrekturfaktoren für die Berechnung der Hauptschnittkraft erläutert. [7]

Schnitttiefe Beeinflussung

- Experimentell wurde festgestellt, dass die **Schnitttiefe** den Korrekturfaktor der Kraftberechnung nicht beeinflusst, so dass von den Schnittparametern, der Geschwindigkeit v , der Dicke der Spane $h = f \cdot \sin \chi_1$ Schneidens und der Schnitttiefe a_p nur die ersten 2 Faktoren beeinflussen die Schnittkraft. Grundsätzlich hat ein_p keinen Einfluss auf die Schnittkraft nach. [7]

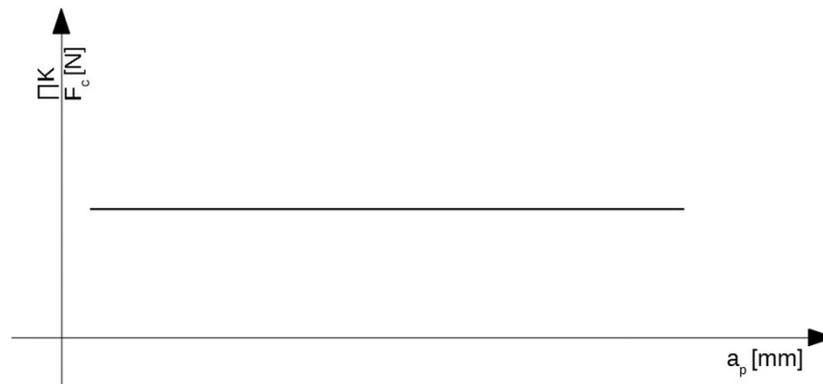


Abb. 2.14 Einfluss der Verarbeitungstiefe auf die Schnittkraft [7]

Einfluss der Spanbreibweite des h auf die spezifische Schneidkraft

- Im vorliegenden Abb. 2.14 Einfluss der Verarbeitungstiefe auf die Schnittkraft und der (2.30) von der Geometrie des Werkzeugs und dem Arbeitsfortschritt des erforderlichen Prozesses ab.

$$K_c = \frac{k_{c1.1}}{h^m} \quad (2.36)$$

Wo: $k_{c1.1} \left[\frac{N}{mm^2} \right]$ - der Wert der Schnittkraft für einen Teil des Bandes $A = 1 mm^2$ ($b=1$ mm und $h=1$ mm);

h - die Dicke des Splitters (Gl.(2.4))

$$h = f \cdot \sin \chi_1$$

m - ist eine Konstante des Materials stellt die Steigung der Rechten (2.36). [7]

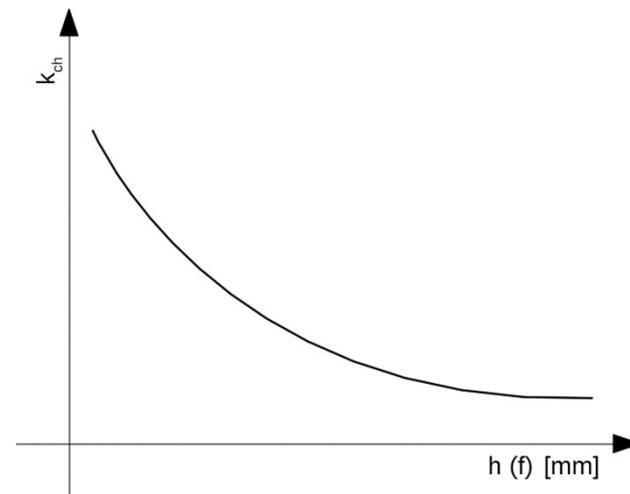
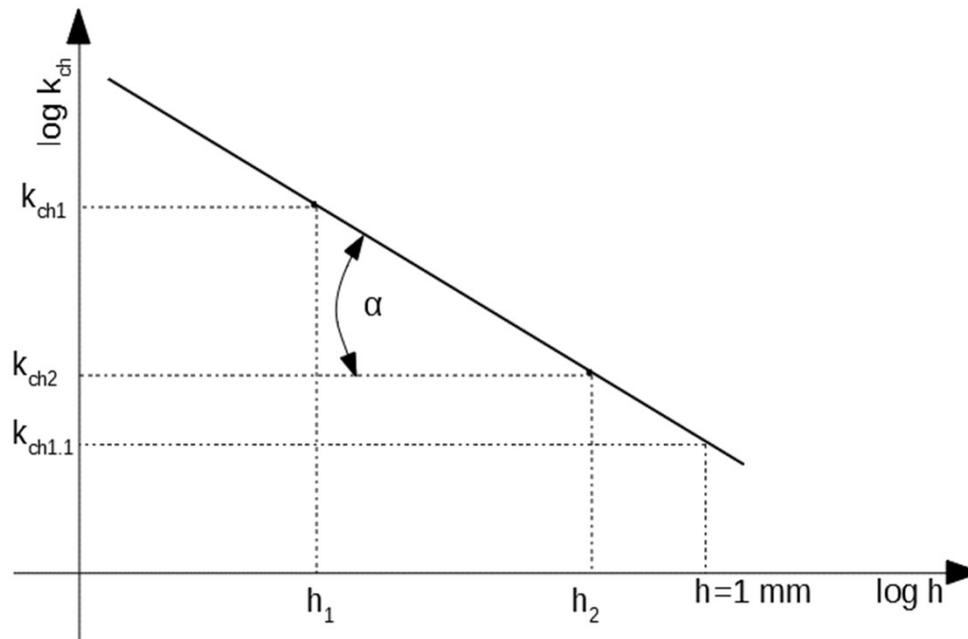


Abb. 2.15 Die Beeinflussung der Asche/Vorschubbreite auf die spezifische Schnittkraft [7]

- Es kann mit dem Abb. 2.16 Abhängigkeit der spezifischen Schnittkraft der Materialkonstante m der Materialkonstante m bestimmt werden.



$$m = \tan \alpha = \frac{\log \frac{k_{ch}}{k_{ch2}}}{\log \frac{h_2}{h_1}} \quad (2.37)$$

Abb. 2.16 Abhängigkeit der spezifischen Schnittkraft der Materialkonstante m [7]

Der Entriegelungswinkel γ

- Der Korrekturkoeffizient unter Berücksichtigung des (2.38) berechnet. [8]

$$K_{\gamma} = 1 - \frac{\gamma - \gamma_0}{66,7} \quad (2.38)$$

- Wobei γ - den Entlösewinkel des Werkzeugs darstellt, mit dem die Verarbeitung durchgeführt wird;

– γ_0 – spezifischer Winkel (- für Stahl $\gamma_0 = +6^{\circ}$ und - für Gusseisen $\gamma_0 = +2^{\circ}$).



Schnittgeschwindigkeit v

- Schnittgeschwindigkeit bei der Hartmetallwerkzeugbearbeitung ist laut H. Tschätsch [7] sehr gering und kann daher bei Geschwindigkeiten von mehr als 80 m/min vernachlässigt werden. Es besteht jedoch die Möglichkeit, hohe Verarbeitungsgeschwindigkeiten zu berechnen, und wir beziehen uns hier auf Geschwindigkeiten zwischen $v=80 \dots 250$ m/min nach der Beziehung (2.39). [7]

$$K_v = 1,03 - \frac{3 \cdot v}{10^4} \quad (2.39)$$

- 
- Wenn niedrigere Geschwindigkeiten $v=30 \dots 60$ m/min, charakteristisch für die Verarbeitung mit schnellen Stahlwerkzeugen, kann der Korrekturfaktor als der Wert der Beziehung (2.40) angesehen werden.

$$K_v = 1,15 \quad (2.40)$$

- Bei der Verarbeitung mit Keramikmaterialien oder Werkzeugen, die mit Platten aus CBN (kubisches Bornitrid) oder PCD (polykristalliner Diamant) verstärkt sind, können die Geschwindigkeiten 2500 m/min erreichen. Für die Berechnung des Korrekturfaktors K_v kann nach B. Awirzus usw. [8] die Beziehung (2.41) verwendet werden.

$$K_v = \left(\frac{100}{v} \right)^{m_v} \quad (2.41)$$

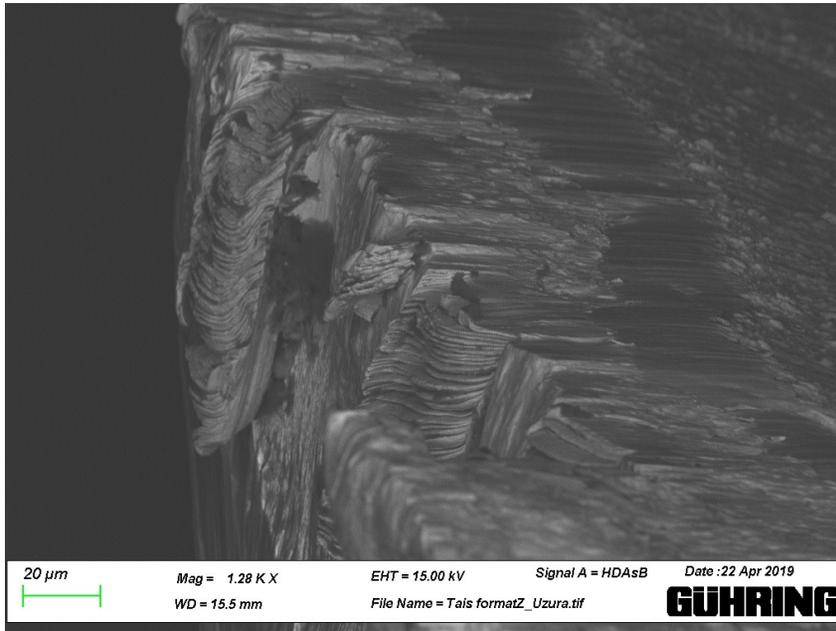
- Wo $m_v = 0,071$ für $v \geq 100$ m/min. [8]



Kompression des Späne

- Während der Entfernung des Splitters von der Oberfläche des Stückes wird das entfernte Material durch den intensiven Schervorgang verdickt. Der Faktor, der die Schneidkraft beeinflusst, hat Werte, die von der Art des Verarbeitungsprozesses abhängen:
 - $K_{cmp} = 1$ bei externem Drehen;
 - $K_{cmp} = 1,2$ – Innendrehen, Bohren und Fräsen;
 - $K_{cmp} = 1,3$ – Rohr und Schneiden,
 - $K_{cmp} = 1,1$ – Raboting, Mortising und Broausing.

Verschleiß der Kante des Schneidwerkzeugs



Quelle: Gühring Cluj-Napoca

- Der Einfluss des Verschleißes des Schneidwerkzeugs wird bei der Berechnung der Schneidkraft durch den Faktor K_{U_z} berücksichtigt. Bei der Installation eines (2.12)den Wert 1 an. Wenn sich die Klinge dem maximal zulässigen Verschleiß nähert, nimmt der Faktor Werte zwischen 1,3 und 1,5 an. Es versteht sich von selbst, dass die Kraft, wenn die Kraft abnimmt, zunimmt K_{U_z} .



Verwendung von Kühlschmierstoff

- $K_{msc} = 1,2$ – bei der Verarbeitung mit Werkzeugen aus HSS (schneller Stahl);
- $K_{msc} = 1$ – Hartmetall-Werkzeuge,
- $K_{msc} = 0,9 \dots 0,95$ – bei der Verwendung von Bornitridplatten aus Bor oder Keramik.

Tabelle 2.1 Spezifische Schnittkraft k_{ch} je nach Material und Schnitttiefe [7]

Material	$k_{c1.1}$ [N/m ²]	M	Spezifische Schnittkraft k_{ch} [N/mm ²] für h[mm]						
			0,1	0,16	0,25	0,40	0,63	1,0	1,6
S 275 JR	1780	0,17	2630	2430	2250	2080	1930	1780	1640
E 295	1990	0,26	3620	3210	2850	2530	2250	1990	1760
E335	2110	0,17	3120	2880	2670	2470	2280	2110	1950
E 360	2260	0,30	4510	3920	3430	2980	2600	2260	1960
C 15	1820	0,22	3020	2720	2470	2230	2020	1820	1640
C 35	1860	0,20	2950	2680	2450	2230	2040	1860	1690
C45, Ck45	2220	0,14	3070	2870	2700	2520	2370	2220	2080
Ck60	2130	0,18	3220	2960	2730	2510	2320	2130	1960
16 MnCr5	2100	0,26	3820	3380	3010	2660	2370	2100	1860
18CrNi6	2260	0,30	4510	3920	3430	2980	2600	2260	1960
34CrMo4	2240	0,21	3630	3290	3000	2720	2470	2240	2030
EN-GJL-200	1020	0,25	1810	1610	1440	1280	1150	1020	910
EN-GJL-250	1160	0,26	2110	1870	1660	1470	1310	1160	1030
GE 260	1780	0,17	2630	2430	2250	2080	1930	1780	1640
Messing	780	0,18	1180	1090	1000	920	850	780	720



2.5.2. Spezifische Schneidenergie

- Die spezifische Schneidenergie wird durch das Verhältnis der im Schneidprozess verbrauchten mechanischen Arbeit zum Volumen des entfernten Schneidens gegeben:

$$e_c = \frac{L_c}{v} \quad (2.42)$$

- Beim orthogonalen Schneiden wird die mechanische Arbeit, die erforderlich ist, um den Splitter aus dem halbfertigen zu entfernen, durch die Beziehung gegeben:

$$L = F \cdot l \quad (2.43)$$

- 
- Durch Division (2.42) können die Begriffe vom Zähler und vom Nenner durch t (Zeit) wie folgt geschrieben werden:

$$e_c = \frac{F_c \cdot v}{b \cdot t_0 \cdot v} = \frac{F_c}{b \cdot t_0} \quad (2.44)$$

- Spezifische Scherenergie hat die Beziehung:

$$e_s = \frac{F_s \cdot v_s}{b \cdot t_0 \cdot v} \quad (2.45)$$

- 
- Und die spezifische Energie der Reibung hat die Beziehung:

$$e_f = \frac{F \cdot v_c}{b \cdot t_0 \cdot v} \quad (2.46)$$

- Die Verschiebung in Ft Richtung ist gleich 0, daraus folgt, dass die gesamte Schnittenergie der Energie entspricht e_c .

$$e_t = e_c = e_s + e_f \quad (2.47)$$



Benötigte Leistung für Werkzeugmaschinenmotor

- Das Verhältnis der Berechnung der Macht im Allgemeinen wird durch die Beziehung Nr. (2.48) gegeben. (2.48).

$$P = \frac{F \cdot v}{60 \text{ sec/min} \cdot 1000 \text{ W/kW}} \text{ [kW]} \quad (2.48)$$

- Die Kraft, die benötigt wird, um die Hauptschneidekraft zu besiegen, ist:

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{60 \text{ sec/min} \cdot 1000 \text{ W/kW}} \text{ [kW]} \quad (2.49)$$

- Bei tangentialer Kraft/ Psivkraft:

$$P_t = \frac{F_t \cdot v_t}{60 \text{ sec/min} \cdot 1000 \text{ W/kW}} \text{ [kW]} \quad (2.50)$$

- Und im Falle der Vortriebskraft:

$$P_f = \frac{F_f \cdot v_f}{60 \text{ sec/min} \cdot 1000 \text{ W/kW}} \text{ [kW]} \quad (2.51)$$

- Somit ist die Gesamtleistung, die für den Schneidprozess benötigt wird:

$$P_{tot} = P_c + P_t + P_f \quad (2.52)$$

- 
- **Beispiel:** Zur *Veranschaulichung* wird ein Längsdrehprozess einer Welle mit einem Durchmesser von 50 mm, Schnittgeschwindigkeit $v=120$ m/min, Vorschub $f=0,2$ mm/min und Hauptschnittkraft $F_c=1100$ N berücksichtigt. c
 - Die Geschwindigkeit, die erforderlich ist, um die Schnittgeschwindigkeit aufzuerlegen, kann sein:

$$n_p = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot d} = 764 \left[\frac{\text{rot}}{\text{min}} \right] \quad (2.53)$$

- Die Vorgeswindigkeit wird mit der Beziehung bestimmt

$$v_f = \frac{f \cdot n_s}{1000} = 0,1528 \left[\frac{\text{m}}{\text{min}} \right] \quad (2.54)$$

- 
- H. Tschätsch beträgt das Kräfteverhältnis in einem *Einstellwinkel* $\chi_1=45^\circ$ ist ungefähr:

$$F_c : F_f : F_p = 5 : 2 : 1 \quad (2.55)$$

- So $F_f=440$ N und $F_t=220$ N.
- Anhand (2.49) (2.50) und (2.51) erhalten wir folgende Befugnisse:
- $P_c=2,2$ kW;
- $P_f=0,001121$ kW;
- $P_t=0$ kW (Radialgeschwindigkeit ist null).

- 
- Es wird darauf hingewiesen, dass das Verhältnis zwischen dem Fürstlich charakteristischen Kraftcharakteristik und dem Fürstlich charakteristischen Kraftcharakter ist etwa 2000.
 - Die Größenberechnung des Werkzeugmaschinenmotors erfolgt über die Beziehung:

$$P_{min} = \frac{F_c \cdot v}{60 \text{ sec/min} \cdot 1000 \text{ W/kW} \cdot \eta_m \cdot \eta_{lc}} [\text{kW}] \quad (2.56)$$

- Wobei η_m die Motoreffizienz darstellt ($\eta_m \cong 0,98$);
- Und η_{lc} die Ausbeute der kinematischen Kette von MU ($\eta_{lc} \cong 0,85 \dots 0,9$).
- Für das oben erwähnte Beispiel $P_{min} = 2,64 \text{ kW}$.

- 
- Kienzles Modell, das 1952 vorgestellt wurde [7], bleibt in der Literatur ein Referenzmodell, das durch die Leichtigkeit und Einfachheit, mit der Kräfte anhand von Annäherungen und Wertetabellen bei der Berechnung der Kräfte bestimmt werden können, erfolgreich angewandt wird.
 - Die Bestimmung der Kräfte im Schneidprozess ist notwendig für:
 - die korrekte Auslegung der Fertigungstechnik der Teile;
 - Angemessene Auswahl der Verbindungselemente;
 - Bestimmung der Kraft zur Befestigung des Teils;
 - Bestimmung von Verformungen, die durch Schneidkräfte erzeugt werden, die auf Halbzeuge wirken;
 - Bestimmen Sie die korrekte Fahrleistung des Prozesses auf der ausgerüsteten Werkzeugmaschine.



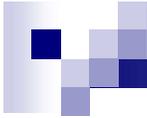
3. Verarbeitungsfehler aufgrund von Abweichungen bei der Ausführung des technologischen Systems

- Die Werkzeugmaschine besteht naturgemäß aus mehreren Baugruppen bzw. Baugruppen, die aufgrund ihrer Genauigkeit der Ausführung und Montage kumulative Fehler verursachen. Geometrische Fehler der Maschine beeinflussen die Form und die gegenseitige Position der bearbeiteten Flächen des Bauteils.
- Zusätzlich zu den MU-Fertigungsfehlern kann der Verschleiß der Führungen und einiger seiner Unterbaugruppen im Laufe der Zeit Zugewinne verursachen. Die Präzision der Werkzeugmaschinenbearbeitung kann auch durch die jeweilige Montage durch die korrekte oder falsche Positionierung und Fixierung auf dem Fundament beeinflusst werden.



a) Mangelnde geometrische Genauigkeit der Drehmaschine

- Von der Konstruktion und Montage, die Fehler der Drehmaschine kann in der Hauptwelle identifiziert werden (radiale Schlag der Spitze der festen Spindelkasten, Vibrationen der Hauptwelle), Abweichung von der Flugbahn der Spitze des Drehmessers, Abweichung von der Achse der Oberseite der Arbeitsstock, Schlagen der Spitze der Reitstock, etc.
- Schwingungen, die durch die radiale Abweichungen der Hauptwellenlager und Untestützung - Oberflächen in das technologische System eingebracht werden, erzeugen die Ovalisierung des resultierenden Stückes.



- Aufgrund des radialen Schlagen des ersten Spitze des Arbeitsspindel und der Abstraktion anderer möglicher Fehler des Arbeitsspindel, der Drehmaschine erzeugt das resultierende Oberfläche (nach einer zylindrischen Drehung) einen Kegel mit der Spitze zur Reitstock.
- Ursachen, die zum radialen Schlagen der ersten Spitze an der Drehmaschine führen (in diesem Fall hat die Hauptwelle eine korrekte Position): - das Schlagen der Achse des konischen Lochs der Spindelstock:
 - - Abweichung von der Koaxialität der verschiedenen vorderen Spitzenpunkte;
 - - Unsachgemäße Ausrichtung des Spitzenkegels in der Hauptwelle;

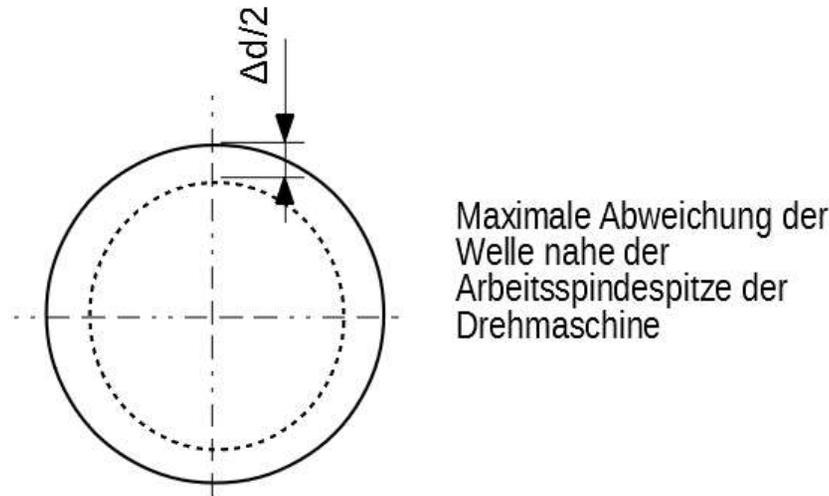
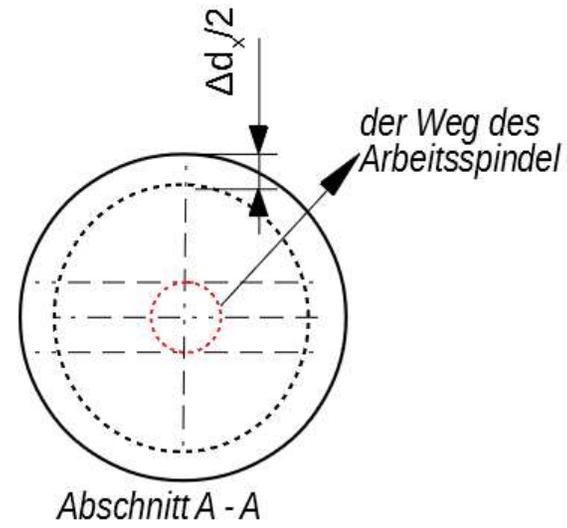
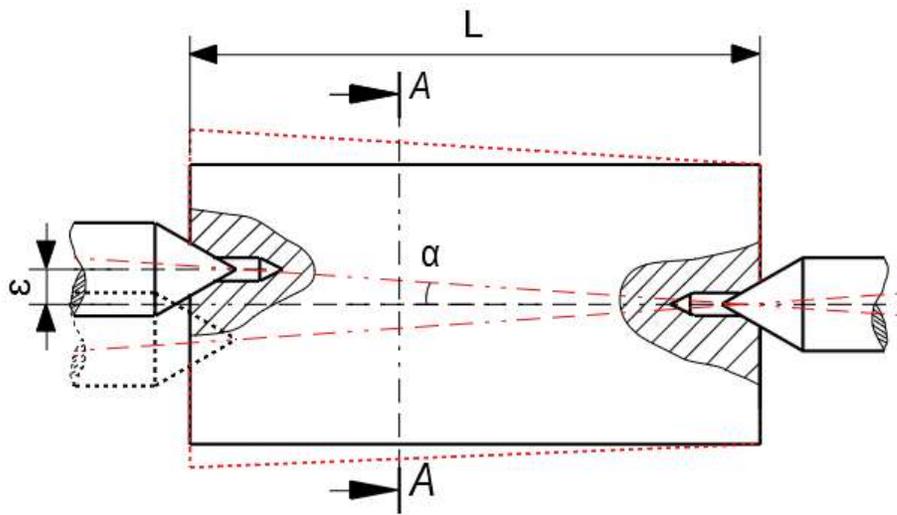


Abb. 3.1 Radiale Abweichungen der linken Spitze der Drehmaschine

- 
- Bei der Bearbeitung der Welle in Schritten ist der Einfluss des radialen Schlagens der linken Spitze ein wichtiger Faktor, um die Maßgenauigkeit und die Oberflächenpositionen zu erreichen, die mehr Fang erfordern.
 - Der durch die theoretische Achse gebildete Winkel und die tatsächliche Verarbeitungsachse des Halbherstellers können wie folgt berechnet werden:

$$\alpha = \operatorname{arctg} \frac{\varepsilon}{L} [^\circ] \quad (3.1)$$

- Wobei L – die Länge der Werkstücke,
- ε – die maximale Exzentrizität der vorderen Spitze der Drehmaschine.

Fehler aufgrund der horizontalen Abweichung

- der horizontalen Drehmesserbahn im Vergleich zu ihrer theoretischen Flugbahn (bei Drehen von zylindrischen oder konische Oberflächen ist dies eine gerade Linie) können erzeugen: Konizität (bei zylindrischen Drehungen) oder Konizitätsabweichungen, wenn die verarbeitete Oberfläche ein Kegel ist.
- Die theoretische Abb. 3.2 Vertikale Verschiebungsfehler der vf-Trajektorie. Drehmesser. Aufgrund der horizontalen Abweichung der Flugbahn des Messers mit dem Winkel $\Delta\alpha_0$. Das Werkzeug hat am Ende der Durchmesser den Wert $2(r+r)$ d.h. $2 \cdot BB'$.
- Der tatsächliche Reiseweg AB' stellt den Hypothesenanspruch im rechten Dreieck ABB' dar.
- In Kenntnis der Winkelabweichung $\Delta\alpha_0$, ist es möglich den Durchmesser zu bestimmen, der in jeder Position auf dem Halbfabrikat verarbeitet wird:

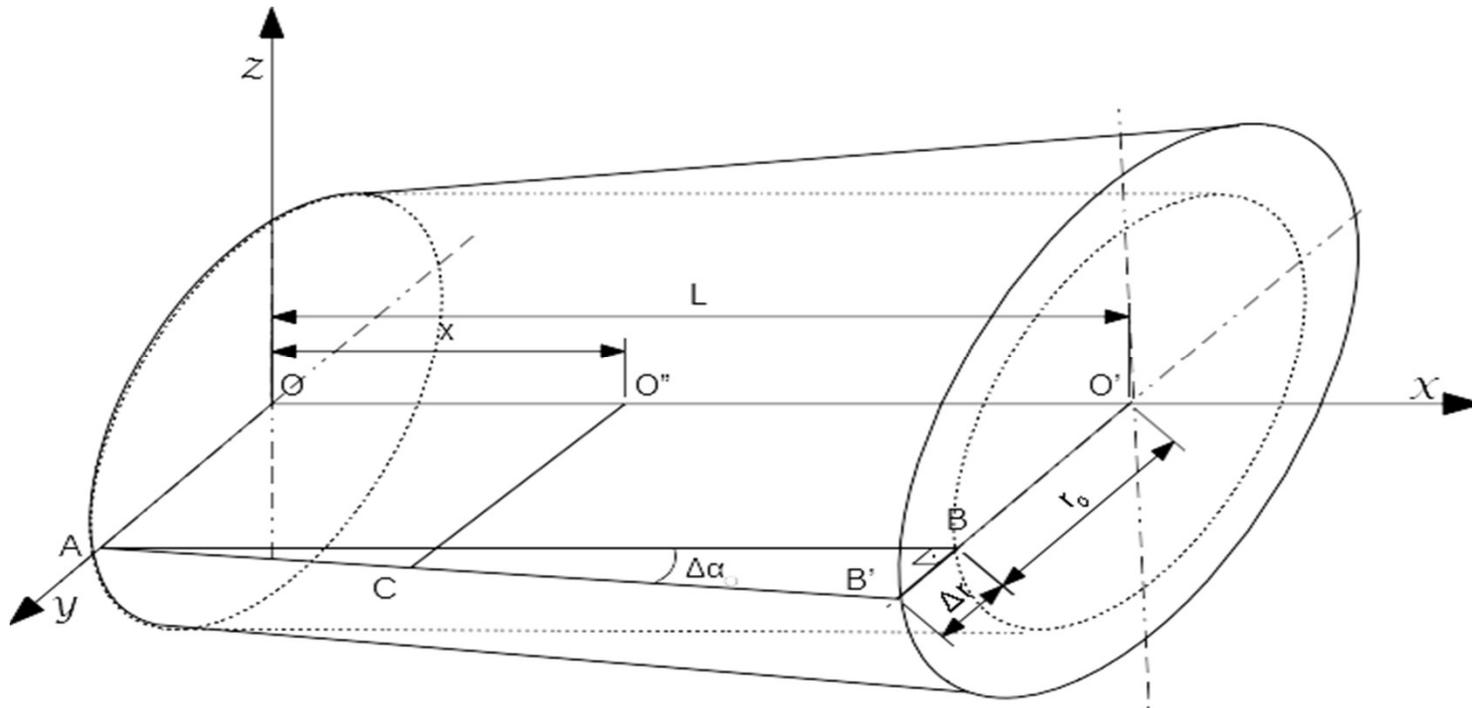


Abb. 3.2 Vertikale Verschiebungsfehler der Drehmeisselweg

$$d_x = 2(r_0 + x \cdot \operatorname{tg} \Delta \alpha_0) \quad (3.2)$$

Fehler durch vertikale Abweichungen

- der Spitze des Drehmessers erzeugen theoretisch zylindrische Suporafets, Oberflächen in Form eines Hyperboloids (Abb. 3.3.)

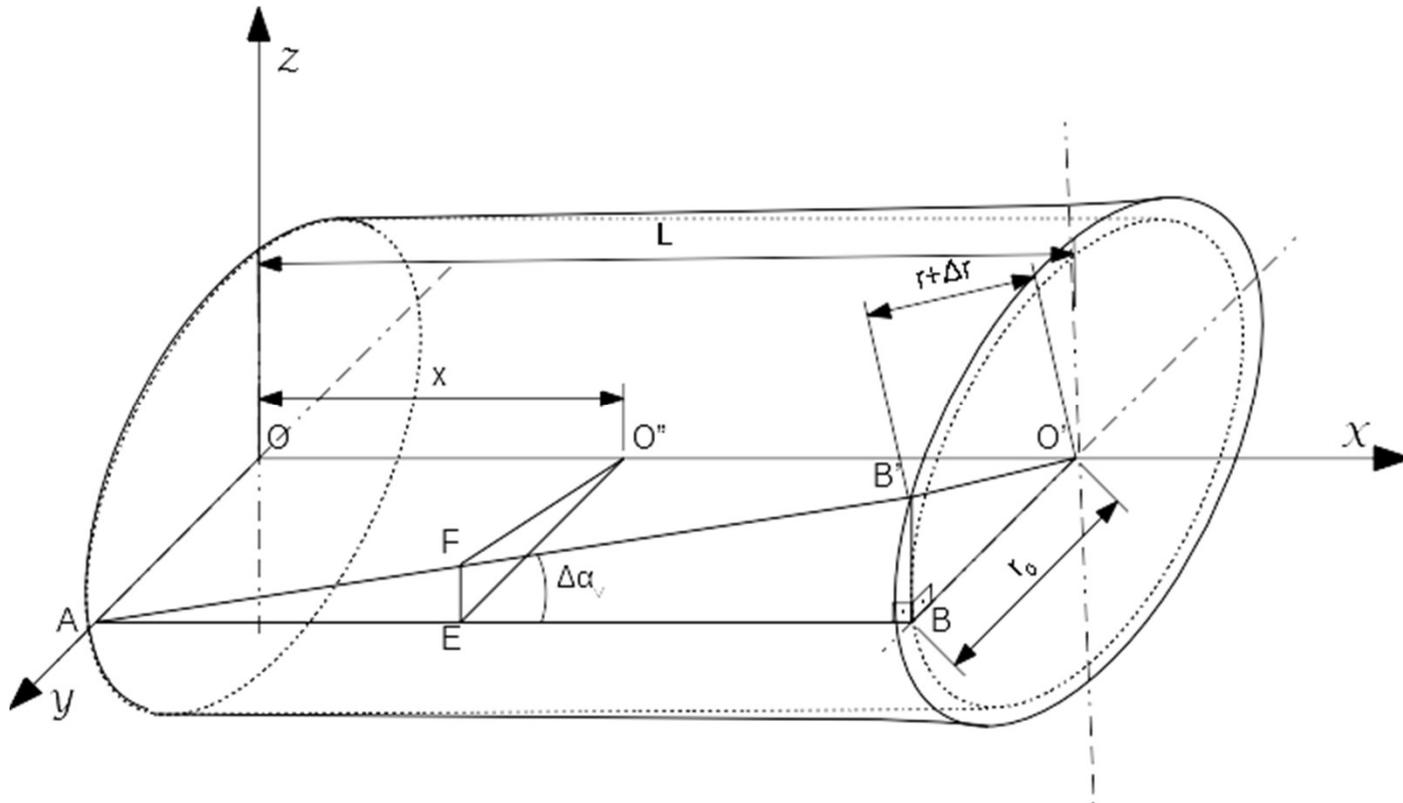


Abb. 3.3 Vertikale Abweichung der Weg des Drehmeißel

- 
- In Abb. 3 wird mit r_0 der Radius der Wendefläche im Abstand $x=0$ vom linken Ende der Werkwelle notiert. Im rechten Dreieck ABB' mit dem rechten Winkel in B kann man die Beziehung $BB' = L \cdot \operatorname{tg} \Delta\alpha_v$ schreiben, wo $\operatorname{tg} \Delta\alpha_v$ für jedes Maschine bestimmt werden kann.
 - Der Radius der bearbeitetes Teil bei maximalen Lenge L kann man aus dem rechtwinkligen Dreieck $OB'B$, mit B' rechtwinklig, so bestimmen:

$$OB' = \sqrt{OB^2 + BB'^2} \quad (3.3)$$

- Die Ersetzung von OB' , (3.3) führt zu der Beziehung:

$$r_0 + \Delta r = \sqrt{r_0^2 + L^2 \cdot \operatorname{tg}^2 \Delta\alpha_v} \quad (3.3)$$

- 
- Die Erhöhung (3.4) zur Quadrat führt zu:

$$r_0^2 + 2r_0 \cdot \Delta r + \Delta r^2 = r_0^2 + L^2 \cdot \text{tg}^2 \Delta \alpha_v \quad (3.5)$$

- Durch die Tatsache dass Δr Herstellungsfehler betrachtet wird und einen kleinen Wert hat, kann sein Quadrat als null betrachtet werden, so dass die Beziehung (3.5) zu:

$$\Delta r = \frac{L^2 \cdot \text{tg}^2 \Delta \alpha_v}{2r_0} \quad (3.6)$$

- In einer Position x vom rechten Ende des Wellen hat der Wellendurchmesserfehler den Wert:

$$\Delta d_x = \frac{x^2 \cdot \text{tg}^2 \Delta \alpha_v}{r_0} \quad (3.7)$$

- 
- Es wird darauf (3.4) r_0+r durch y ersetzen und die Beziehung zu quadratischen Ergebnissen erhöhen kann:

$$y^2 \frac{1}{r_0^2} - x^2 \frac{tg^2 \Delta \alpha_v}{r_0^2} - 1 = 0 \quad (3.8)$$

- Die Gleichung (3.8) ist eine Gleichung, die für die hyperbolische Kurve charakteristisch ist, wobei die resultierende verarbeitete Oberfläche gemäß Abb. 3.3 die Form eines Hyperboloids hat.

- Bei der Länge des Halbherstellerradius wird der Radius des Halbherstellers als das O'B-Segment betrachtet." Auf diese Weise können Sie schreiben:

$$O'B'' = \sqrt{O'B'^2 + B'B''^2} \quad (3.9)$$

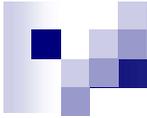
- Wo OB' je nach Beziehung geschrieben werden kann (3.2)

$$O'B' = r_0 + l \cdot \operatorname{tg} \Delta \alpha_o \quad (3.10)$$

- Und
$$B'B'' = \frac{l}{\cos \Delta \alpha_o} \operatorname{tg} \Delta \alpha_v \quad (3.11)$$

- Beziehung 3.9 kann mit Beziehungen (3.10) und (3.11) geschrieben werden:

$$r = \sqrt{(r_0 + l \cdot \operatorname{tg} \Delta \alpha_o)^2 + \left(l \frac{\operatorname{tg} \Delta \alpha_o}{\cos \Delta \alpha_v} \right)^2} \quad (3.12)$$



- Der Fehler auf dem Durchmesser des Halbherstellers in Position x zum Ursprung O des Halbherstellers ist (aus der Beziehung (3.12) ermittelt):

$$\Delta d_x = 2 \left(\sqrt{(r_0 + l_x \cdot \operatorname{tg} \Delta \alpha_o)^2 + \left(l_x \frac{\operatorname{tg} \Delta \alpha_o}{\cos \Delta \alpha_v} \right)^2} - r_0 \right) \quad (3.13)$$

- Der Generator der Wicklungsfläche wird in diesem Fall eine Hyperbole sein.



4. Einfluss auf die Bearbeitungsenaugigkeit der Fehlerbearbeitung durch Verschleiß der Werkzeugmaschine

- Fehler bei der Maschinenfertigung beeinflussen direkt die Verarbeitungsgenauigkeit der auf dieser Maschine zu verarbeitenden Teile. Die Führungen der Maschinen spielen eine große Rolle. Sie sollen auf genau definierten Wegen der Meißel und die Fräse usw. führen.
- Zusätzlich zu dem Fehler ihrer Verarbeitung können Fehler im Laufe der Zeit aufgrund des Verschleißes der Werkzeugführungen auftreten. Im Falle der Drehmaschine wird der Verschleiß der Führungen die Flugbahndest Wendepunkts beeinflussen. Der Fehler kann auch aufgrund der Querabweichung der Führungen eingegeben werden. Abb. 4.1

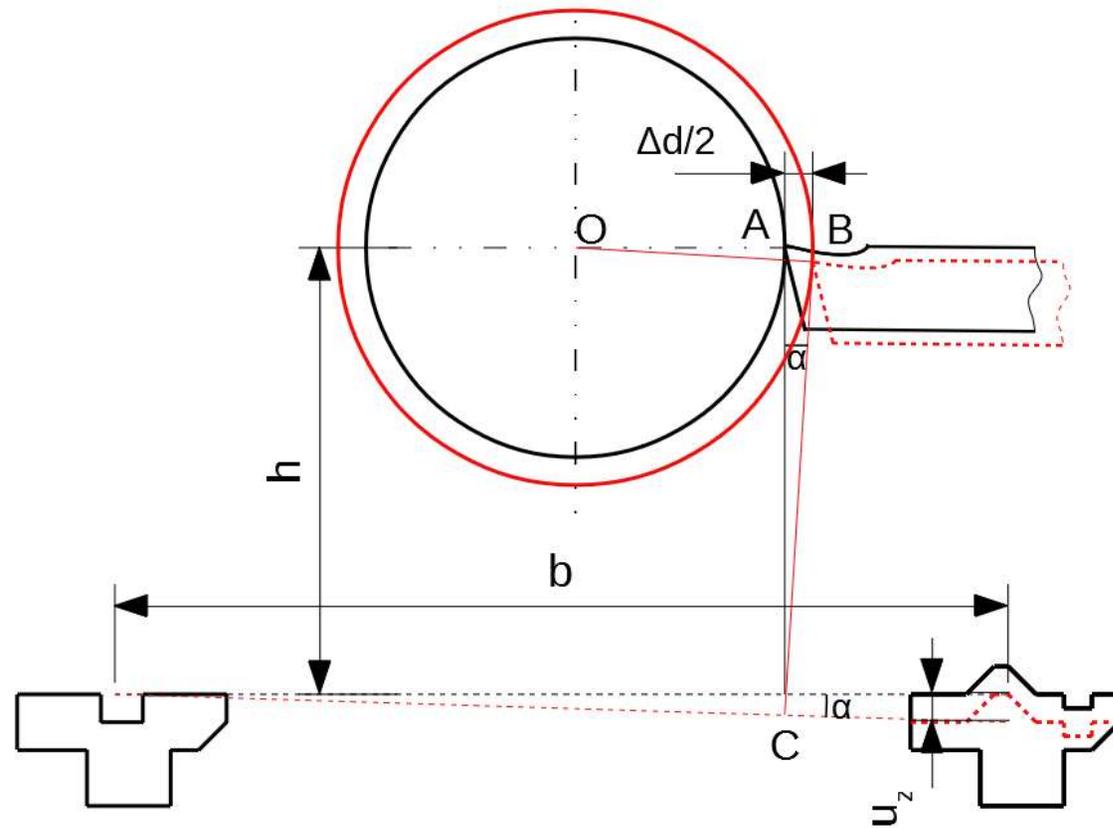


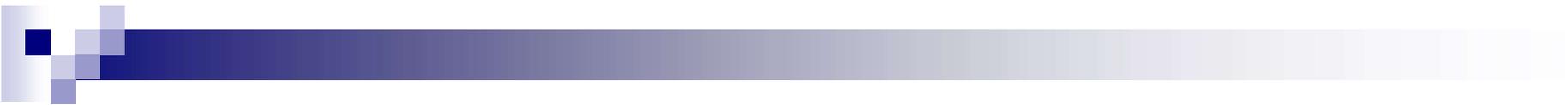
Abb. 4.1 Fehler aufgrund einer Querschnittsabweichung der Führungen aufgrund von Verarbeitungsfehlern oder ungleichmäßiger Verschleiß der Führungen [5]

- 
- Der Winkel, der durch die Querbahn der Drehmeißel gebildet wird, und die horizontale Ebene, in der sich die Werkzeugmaschinenführungen befinden sollen, sind durch α notiert.

$$U_z^2 = d_{real} \cdot \frac{\Delta d}{2} - \frac{\Delta d^2}{4} \quad (4.2)$$

- Durch Falten mit dem *Winkel der* Querbahn der Drehmaschine wird die Werkzeugstütze nach Abb. 4.1 in Richtung des Bediener bewegt, wodurch ein Fehler des *Durchmeißel* Höhe des AB-Segments des ΔABC erreicht wird.
- Δd ist:

$$\frac{\Delta d}{2} = BC \cdot \operatorname{tg} \alpha \quad (4.3)$$

- 
- Die bekannten Elemente in der Konstruktion der Drehmaschine sind h , b (Abstand zwischen den Drehleitern) und u_z (Abweichung der Führungen in Bezug auf die theoretische Querweg des Drehwerkzeugs).

$$\Delta d = \frac{2 \cdot h \cdot u_z}{b} \quad (4.4)$$



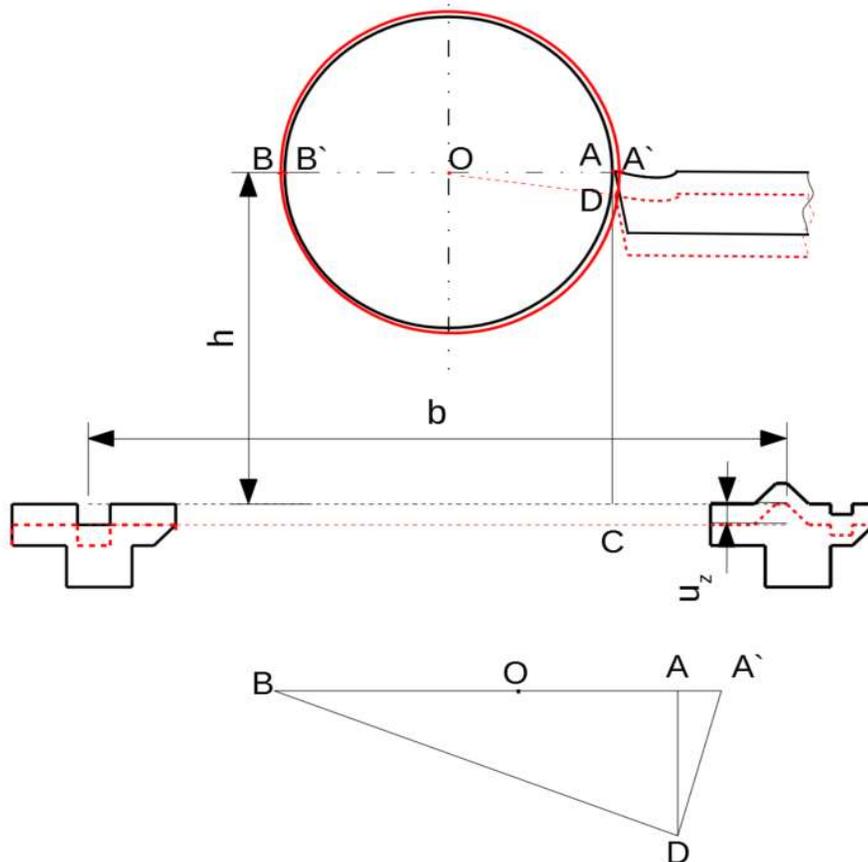
gleichmäßiger Abnutzung

- Bei ***gleichmäßiger Abnutzung*** (beide Führungen – sowohl der Bediener als auch die gegenüberliegende Seite verschleifen gleichmäßig) der Führungen, gemäß Abb. 4.2, wird der Verarbeitungsfehler im Radius Segment AA' sein.
- Aus Abb. 4.2, wo das Segment und stellt die Höhe im rechten Dreieck ADA', $AD = U_z$, mit dem Höhensatz, kann geschrieben werden, dass , Gleichheit, die auch in der Form geschrieben werden kann: $AD^2 = AB \cdot AA'$

$$U_z^2 = (d_{real} - \Delta r) \cdot \Delta r \quad (4.5)$$

Durch Öffnen der Klammer in der Beziehung (4.5) und

Ersetzen von r wird ermittelt: $\Delta r = \frac{\Delta d}{2}$



$$U_z^2 = d_{real} \cdot \frac{\Delta d}{2} - \frac{\Delta d^2}{4} \quad (4.6)$$

Abb. 4.2 Fehler aufgrund eines symmetrischen Verarbeitungsfehlers oder des symmetrischen Verschleißes in der horizontalen Ebene der Universaldrehleiter [5]

- 
- In der Beziehung (4.6), der Wert $\frac{\Delta d^2}{4}$ ist sehr klein, kann es vernachlässigt werden und von hier aus können wir den Wert des Verarbeitungsfehlers erhalten wie:

$$\Delta d = \frac{2U_z^2}{d_{real}} \quad (4.7)$$

- Aus den Beziehungen (4.4) und (4.7), die den mathematischen Ausdruck von Verarbeitungsfehlern für die beiden Fälle – ungleichmäßiger Verschleiß und gleichmäßiger Verschleiß – gegeben, ist der nachteiligste Fall die ungleichmäßige Abweichung von W.M.-Führungen. [5]

- 
- Die Maßnahmen zur Verringerung von Fehlern aufgrund der geometrischen Abweichungen der Drehmachineschlitten müssen darin bestehen, diese zu korrigieren und das Werkzeug nach Möglichkeit an das die für die Zeichnung erforderliche anzupassen.
 - Es können jedoch auch Maßnahmen ergriffen werden, um das vorzeitige Auftreten von Verschleiß der Führungen zu verhindern, nämlich:
 - 1) Richtiger Fehler von MU-Führungen;
 - 2) Vermeidung der Verlegung von Pfählen auf Führungen;
 - 3) Verwendung der entsprechenden Emulsionskonzentration.



5. Einfluss des Verschleißes von Schneidwerkzeugen auf die Verarbeitungsgenauigkeit

- Der Verschleiß von Schneidwerkzeugen ist ein komplexer Prozess, der in zwei Formen kommt: *mechanischer Verschleiß* und *thermischer Verschleiß*, der unabhängig von der Art des Prozesses gleichzeitig stattfindet. Bei der Verwendung niedrigerer Schnittgeschwindigkeiten und der Verarbeitung von leicht schneidenden Materialien werden mechanische Verschleißprozesse besonders hervorgehoben, während bei der Verarbeitung von schwer schneidenden Materialien bei hohen Geschwindigkeiten der Verschleiß durch thermische Prozesse überwiegt.

[6]

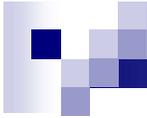


5.1 Die wichtigsten Mechanismen für den Verschleiß von Schneidwerkzeugen

- *Mechanischer Verschleiß* bedeutet das Entfernen von Material aus dem Werkzeug durch mechanische Prozesse und das Brechen der Schneidwerkzeugkante. Diese Verschleißmechanismen sind das Ergebnis der Überwindung der mechanischen Festigkeit des Schneidwerkzeugs aufgrund der intensiven Reibung zwischen dem Werkzeugmaterial bzw. dem verarbeiteten Material des abgetrennten Splitters und den plastischen Verformungen, die durch das Abwerfen des Materials des Stückes und die Verformung des Bandes entstehen. Der Verschleiß erfolgt sowohl makroskopisch (mit bloßem Auge wahrnehmbar) als auch mikroskopisch, wobei spezielle Apparate (Mikroskope) zur Identifizierung benötigt werden.

- 
- *Thermischer Verschleiß* entsteht bei der Verarbeitung mit hohen Schnittgeschwindigkeiten und Werkzeugtemperaturen über 400 - 500°C. Wenn das Werkzeugmaterial diese Temperaturen erreicht, treten Oxidations- und Diffusionsprozesse beim Kontakt zwischen der Platzierungsfläche des Schneidwerkzeugs und dem Material des Bauteils, d.h. der Freisetzung und der Schnittfläche, auf. Dies führt zu strukturellen Veränderungen im Material des Schneidwerkzeugs, Schweißnähten zwischen Werkzeugmaterial und Bauteilmaterial, der Abnahme der Härte, gefolgt von plastischen Verformungen und elektrochemischen Prozessen. So wird der physikalische Prozess der Werkzeugbekleidung beschleunigt.

[6]



- Verschleiß sind die Veränderungen, die durch mechanische und thermische Prozesse auf der Schneidkante vorgenommen werden. Dies führt zu einer Abnahme der Oberflächenqualität, einer Maßabnahme des Schneidwerkzeugs und damit zu Dimensionsänderungen im Stück.

Tabelle 5.1 Faktoren, die den Schneidprozess beeinflussen

Faktoren, die die Nachhaltigkeit beeinflussen				
<i>Werkzeug:</i> - Form; - das Material, aus dem es hergestellt wird, und die Metallbeschichtung; - Geometrie / Mikrogeometrie	<i>Werkstück:</i> - Form; - das Material.	<i>W.M.:</i> - statische Steifheit, - dynamische Steifheit.	<i>Bearbeitungsprozess:</i> - Kinematik; - Angajment des Werkzeugs in Bearbeitung	<i>Umweltbedingungen:</i> - thermische Bedingungen des Prozesses; - die Verwendung von Kühlmitteln/Kühlflüssigkeiten.

- **Verschleißmechanismen:**

- Verschleiß durch Abrieb und Haftung;
- Oxidationverschleiß;
- Diffusionsverschleiß.

- **Verschleißformen(Abb. 5.1):**

- Verschleiß auf dem Gesicht der Siedlung;
- Tragen Sie auf dem Release-Gesicht;
- Bildung des Zermübnungskraters;
- Verschleiß der Hauptkante und der Sekundärkante;
- Werkzeugspitzenverschleiß;
- Risse in Hartmetallwerkzeugen oder Werkzeugen, die mit abnehmbaren Platten bewaffnet sind.

KT - Kolkentiefe;
 KM – Kolkmittenabstand;
 KB – Kolkbreite;
 KL – Kolkklippenbreite;
 VB – Verschleissmarkenbreite and der Freifläche
 KM - Kolkmittelstand

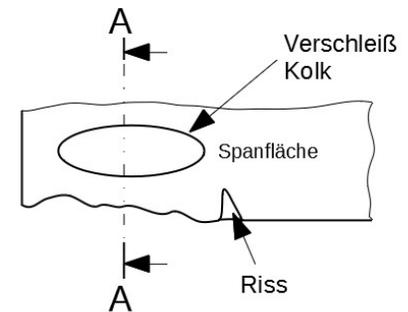
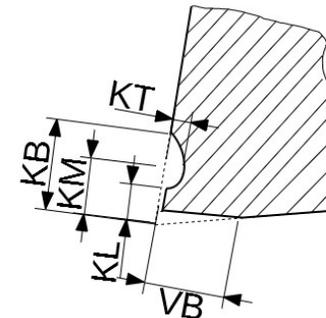
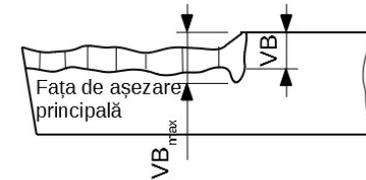
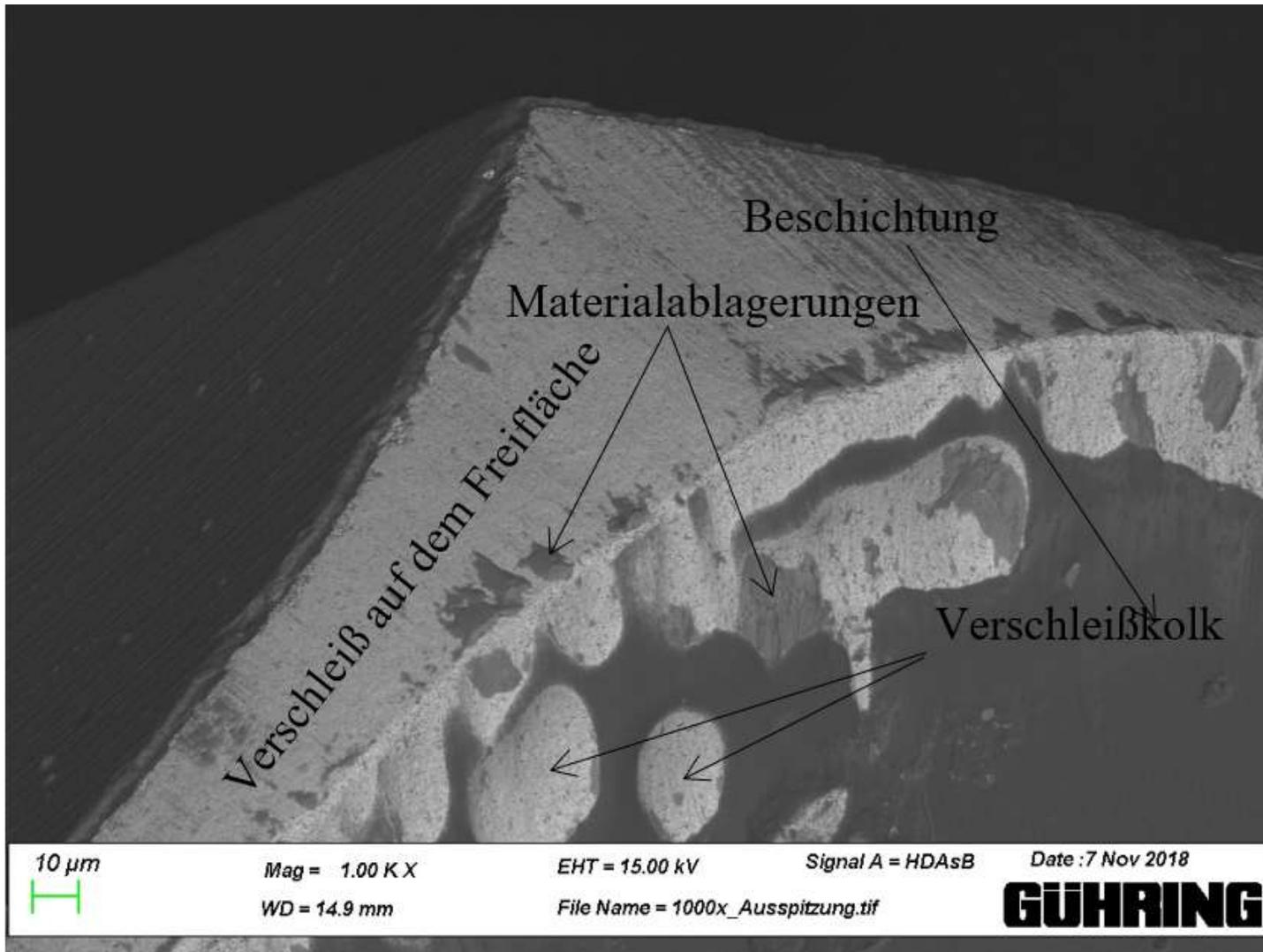
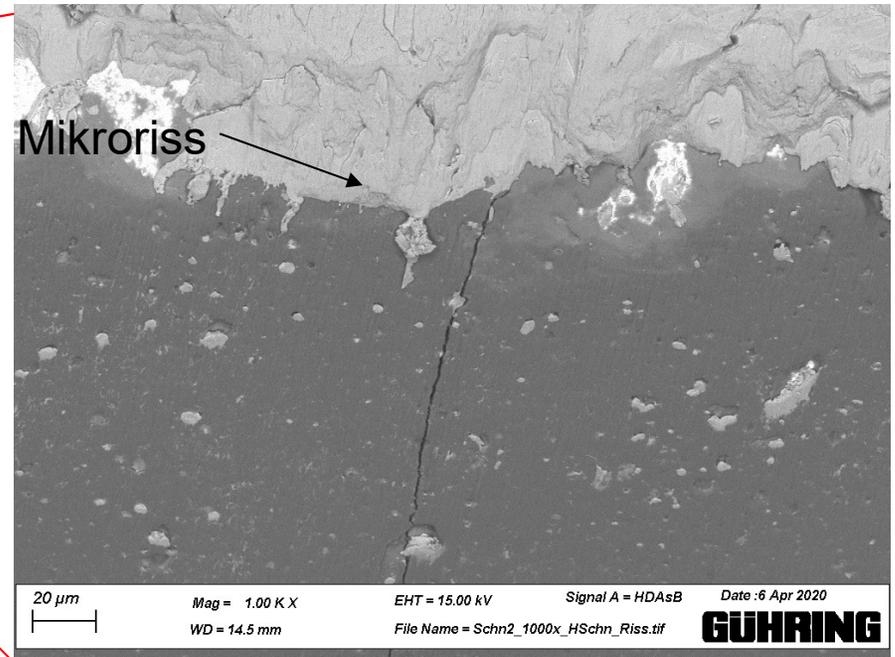
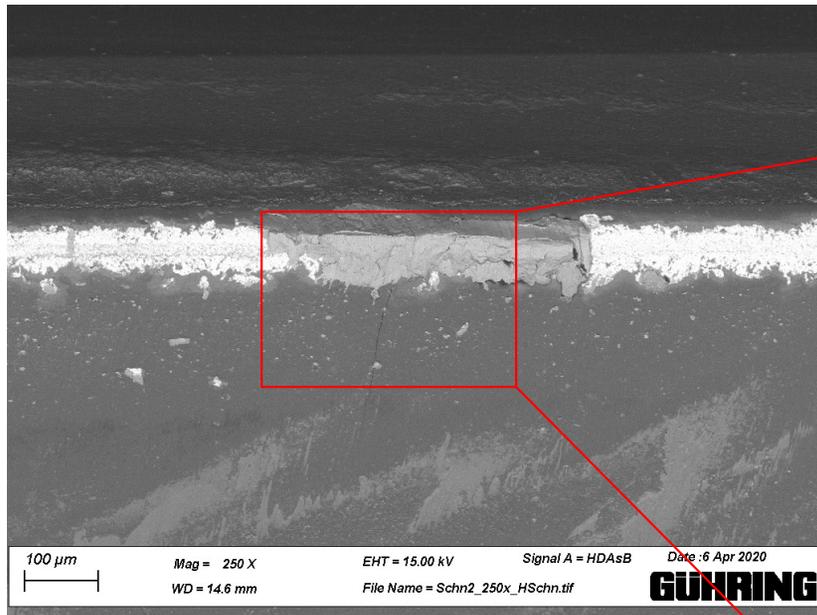
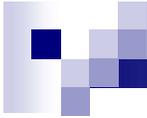


Abb. 5.1 Verschleißgrößen am Rand des Schneidwerkzeugs

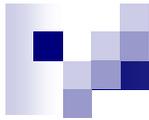


*Abb. 5.2. Die Wirkung von Verschleiß an der Spitze eines Tiefbohrers
(Bild SEM -elektronisches Mikroskop von Firma Gühring)*

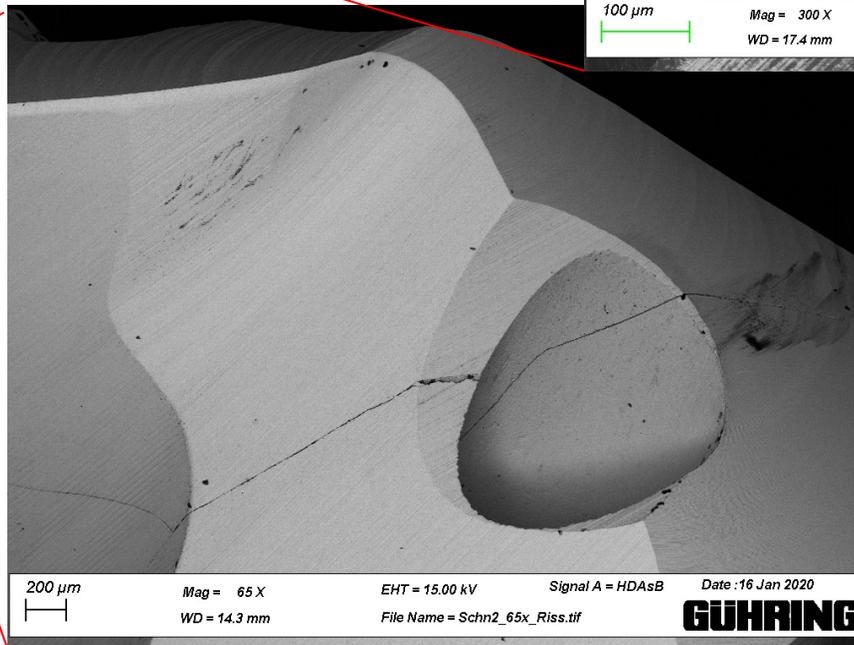
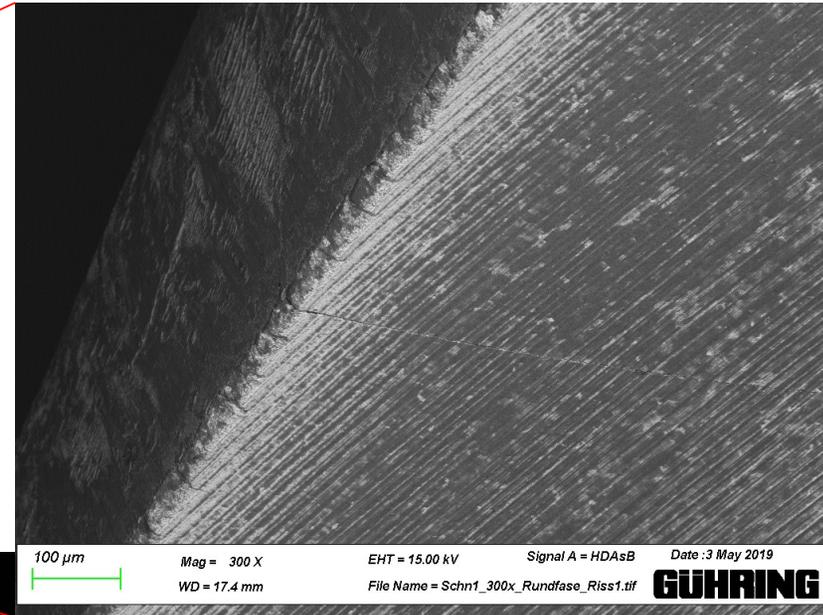
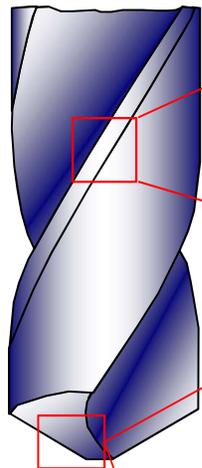


Mikroriss auf dem Kante einem Borhwerkzeug

Quelle: Gühring F&E – Cluj-Napoca



Mikroriss auf dem Rundfase



Mikroriss auf dem Ausspitzung und Nutt der Bohrwerkzeug

Quelle: Gühring F&E – Cluj-Napoca



5.1 Haltbarkeit von Schneidwerkzeugen

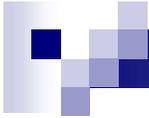
- *Die Haltbarkeit T* der Schneidwerkzeugen ist die Zeit in welche das Werkzeug oder die Werkzeugkante ihre Schneideigenschaften stabil bleiben. Wenn z. B. der Verschleiß an der Verlegefläche die zulässige Grenze erreicht, Risse in der Schneidkante, Absplitterungen oder das Stück aus dem auf der Zeichnung vorgeschriebenen Toleranzfeld hervorgehen, ist davon auszugehen, dass das Werkzeug/die Kante des Schneidwerkzeugs seine maximale Lebensdauer erreicht hat und gegebenenfalls gekühlt oder ersetzt werden muss.



- **Faktoren, die einen großen Einfluss auf die Haltbarkeit des Schneidwerkzeugs haben:**

- Schnittgeschwindigkeit v_s ;
- Paar Werkzeug/Stück Materialien;
- Abschnitt des Bandes A (Vorschub f und Tiefe des Schneidens);
- Flüssigkeit/Schnittflüssigkeit.
- Die Bedeutung des Einflusses der Faktoren, die die Haltbarkeit des Schneidwerkzeugs bestimmen, wird durch Taylors Beziehung beschrieben (Friedrich Winslow Taylor USA, 20. März 1856 – 21. März 1915)

$$v \cdot T^n = C \quad (5.1)$$



- Wo v stellt die Schnittgeschwindigkeit und C eine Konstante und n ein Exponent dar, die von den Bedingungen abhängt, unter denen der Prozess durchgeführt wird, und dem Werkzeugmaterial - Stück. So die Kenntnis der Konstanten und die Bestimmung der wirtschaftlichen Verarbeitungsgeschwindigkeit, mit der der Prozess durchgeführt wird.



■ *Beispiel 1:*

- Es ist ein Drehvorgang zu berücksichtigen, bei dem die empfohlene Schnittgeschwindigkeit von $v=100$ m/min und die wirtschaftliche Haltbarkeit $T=45$ min. Die Konstante $C=400$ und der Exponent $n=0,4$ bekannt sind.
- Es ist erforderlich, die Geschwindigkeit einzustellen, damit das Werkzeug 50 % mehr Material entfernen kann.
- Unter den ursprünglichen Bedingungen ist der Weg, den der Werkzeug nehmen kann, $L_i = 4500$ m. Die Bearbeitungslänge, die erreicht werden muss, ist $L_f = L_i \cdot 1,5 = 6750$ m.

- 
- *Lösung:*
 - Es schreibt Taylors Beziehung für die beiden Geschwindigkeiten:

$$\begin{cases} v_1 \cdot T_1^n = C \\ v_2 \cdot T_2^n = C \end{cases} \quad (5.2)$$

- Aus den Initialdaten kann man schreiben:

$$v_1 \cdot T_1 \cdot 1,5 = v_2 \cdot T_2 \quad (5.3)$$

- Aus dem System (5.2) und der Beziehung (5.3) kann man schreiben:

$$v_2 \cdot T_2 \cdot T_2^{(n-1)} = C \quad (5.4)$$

- Der Austausch in der Beziehung (5.4) führt zu $v_2 \cdot T_2 = v_1 \cdot T_1 \cdot 1,5$

$$T_2^{n-1} = \frac{C}{1,5 \cdot v_1 \cdot T_1} \quad (5.5)$$

- Aus der Beziehung (5) ergibt sich, dass:

$$T_2 = \left(\frac{C}{1,5 \cdot v_1 \cdot T_1} \right)^{\frac{1}{n-1}} \quad (5.6)$$

- In diesem Fall:

$$T_2 = \left(\frac{400}{6750} \right)^{-1,(6)} = 111,021 \text{ min} \quad (5.7)$$

- Auf diese Weise können Sie die Geschwindigkeit als:

$$v_2 = \frac{C}{T_2^n} = 60,88 \text{ m/m in} \quad (5.8)$$

- Aus dem vorherigen Beispiel können wir eine Steigerung der Nachhaltigkeit um 147,71 % feststellen, aber der technologische Prozess unter den aktuellen Marktbedingungen muss wettbewerbsfähig sein. Wie man sieht, nimmt die Menge des in der Zeiteinheit entfernten Materials, d.h. die Produktivität des Prozesses deutlich ab.
- Für Beispiel 1, Produktivität mit v_1 Geschwindigkeit $Q_1 = \frac{f \cdot a_p \cdot L_1}{T_1} \left[\frac{\text{mm}^3}{\text{min}} \right]$ und Produktivität mit Verarbeitungsgeschwindigkeit v_2 ist $Q_2 = \frac{f \cdot a_p \cdot L_2}{T_2} \left[\frac{\text{mm}^3}{\text{min}} \right]$. Der Produktivitätsrückgang $x = \frac{(Q_1 - Q_2) \cdot 100}{Q_1} \%$ im Beispiel 1, da die Verarbeitungsgeschwindigkeit verringert wurde, erreicht eine Verringerung der Produktivität um 39,2 %.

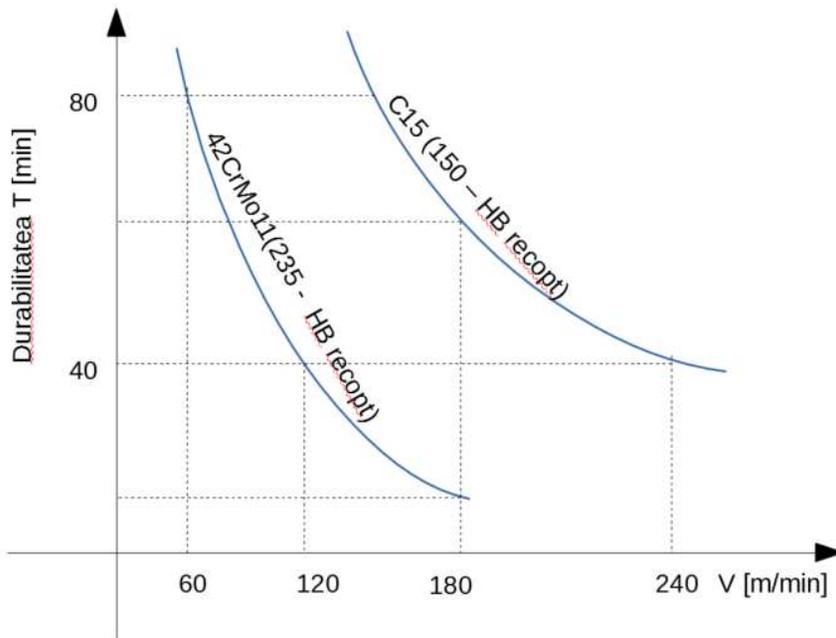


Abb. 5.3 Veränderung der Werkzeughaltbarkeit in Bezug auf Die Art des verarbeiteten Materials und Verarbeitungsgeschwindigkeit [5]

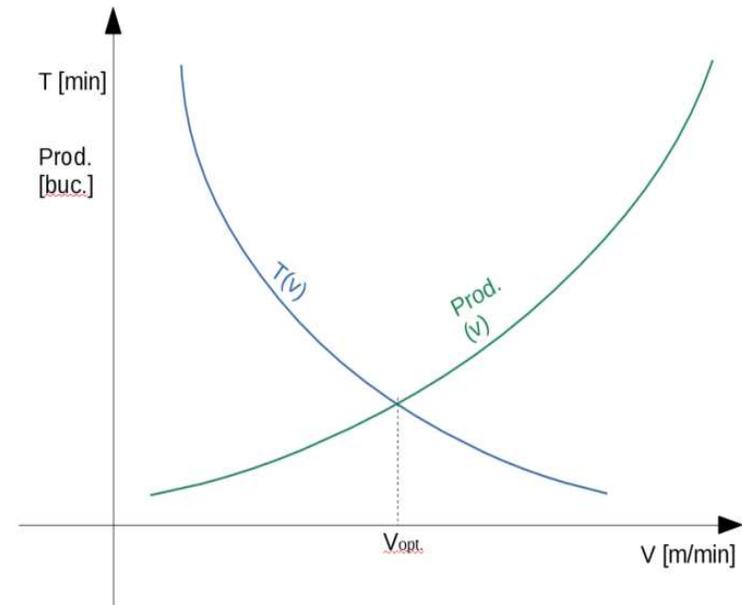


Abb 5.4 Produktivitätsdiagramm (Prod. (v)) je nach Schnittgeschwindigkeit oder Haltbarkeit ($T(v)$) je nach Schnittgeschwindigkeit [5]

- 
- Wie in Abb. 5.4. zu sehen ist, führen die Exzesse in beide Richtungen, sowohl zur Maximierung als auch zur Minimierung der Eigenschaften der Haltbarkeit bzw. Haltbarkeit bzw. deren Minimierung zu einem wirtschaftlich ineffizienten Prozess. Wenn die Geschwindigkeit erhöht wird, um die höchste Produktivität zu erreichen, wird die Anzahl der Werkzeuge (oder die Anzahl der Werkzeugschleifen), die für die Verarbeitung einer Charge von Teilen benötigt werden, erhöht, und wenn die übermäßige Geschwindigkeit verringert wird, um die Haltbarkeit zu erhöhen, wird die Zeit, die für die Herstellung der Teilecharge erforderlich ist, zu hoch sein und die Effizienz wird wieder abnehmen. Die Grafik in 5.4 zeigt die optimale Geschwindigkeit (v), um eine hohe Produktivität bei gleichzeitig relativ niedrigen Kosten der benötigten Werkzeuge zu erreichen.

*Tabelle 5.1 2 Konstanten für Taylors Beziehung in verschiedenen Paaren von
Werkzeugstückmaterialien*

Taylors Funktion	Metallcarbide nicht abgedeckt		Bedecktes Metallcarbide		Keramische Oxide (Stahl) Keramik auf Basis von Nitrid (Schriftart)	
	C	N	C	N	C	N
E295 (IN 10025 -93)	299	0,26	385	0,22	1210	0,36
360 (IN 10025 – 93)	226	0,22	306	0,23	1040	0,36
C45E	299	0,26	385	0,22	1210	0,36
16MnCrS5 (verletzte Mikrostrukturura perlita)	478	0,32	588	0,28	1780	0,47
20MnCr5 (Perlita Wunde Mikrostrukturura)	478	0,32	588	0,28	1780	0,47
20CrMoS4V	177	0,19	234	0,16	830	0,41
X155CrVMoV5-1 (Erweichung)	110	0,13	163	0,12	570	0,38
X40CrMoV5-1 (Erweichung)	177	0,19	234	0,16	830	0,41
EN-GJL-300 (GG30)	97	0,16	184	0,16	2120	0,40
EN-GJS-400-15 (GG40)	53	0,10	102	0,10	1275	0,36

- Der Verschleiß auf der Sitzfläche kann vorgegebene Werte erreichen, die gemäß Tabelle Nr. 3 zulässig sind.



Tabelle 5.2 Zulässiger Verschleiß für Schneidwerkzeuge

Vb	HSS/ Vollhartmetall	Keramikmaterial
Schrupen	0,8 x 1,0 mm	0,3 mm
Schlichten	0,2 x 0,4 mm	0,3 mm

- Seine Entwicklung folgt eine Kurve wie in Abb 5.5. identifiziert in der Grafik 3 Etapen (Zeiträume der Verarbeitungszeit) des Verschleißes.

- 
- *Stufe I* – gekennzeichnet durch einen scharfen Verschleiß mit einer schnellen Entwicklung, aber mit einer kurzen Dauer in Bezug auf totaler Verschleiß – wird auch als initialer verschleiß oder Einfahrverschleiß bezeichnet;
 - *Stufe II* - ist gekennzeichnet durch Verschleiß mit einer relativ linearen Entwicklung über einen langen Zeitraum im Verhältnis zum ursprünglichen Verschleiß und wird als normaler Verschleiß bezeichnet;
 - *Stufe III* – Werkzeugverschleiß tritt in eine unkontrollierbare beschleunigte Entwicklung ein, die zu unbeabsichtigten Folgen für schneidwerkzeug, Werkzeugmaschine oder Teile führen kann – daher der Name katastrophaler Verschleiß. [5] [9]

- 
- In Stufe I des Verschleißes werden die Asperitäten und Mikrounregelmäßigkeiten an der Schneidkante, der Trennfläche und der Siedlungsfläche aus dem Verarbeitungsmaterial entfernt, wobei die Stufe kurz mit ihrer Entfernung überwunden wird. Die für diese Etappe benötigte Zeit, nach 1000 - 2000 m. Bei der Fertigstellung der jeweiligen Freiflächen nach der Umsiedlung kann die Stufe I überschritten werden.[5]
 - Stufe II, Abb 5.5. Entwicklung der Verwendung des Schneidwerkzeugs aus maßvoller Sicht relativ zur Arbeitszeit oder zur Länge der Schneidkante [5] , zeichnet sich durch eine Neigung mit dem Winkel der Verschleißentwicklung s aus. So können Sie anhand [9] und [5] die Intensität des Verschleißes (in einige wissenschaftliche Arbeit relative Verschleiß oder spezifischen Verschleiß) definiert als die Tangente des Winkels α .

$$U_r = \operatorname{tg} \alpha = \frac{U_n}{l_n \cdot 10^6} \quad (5.9)$$

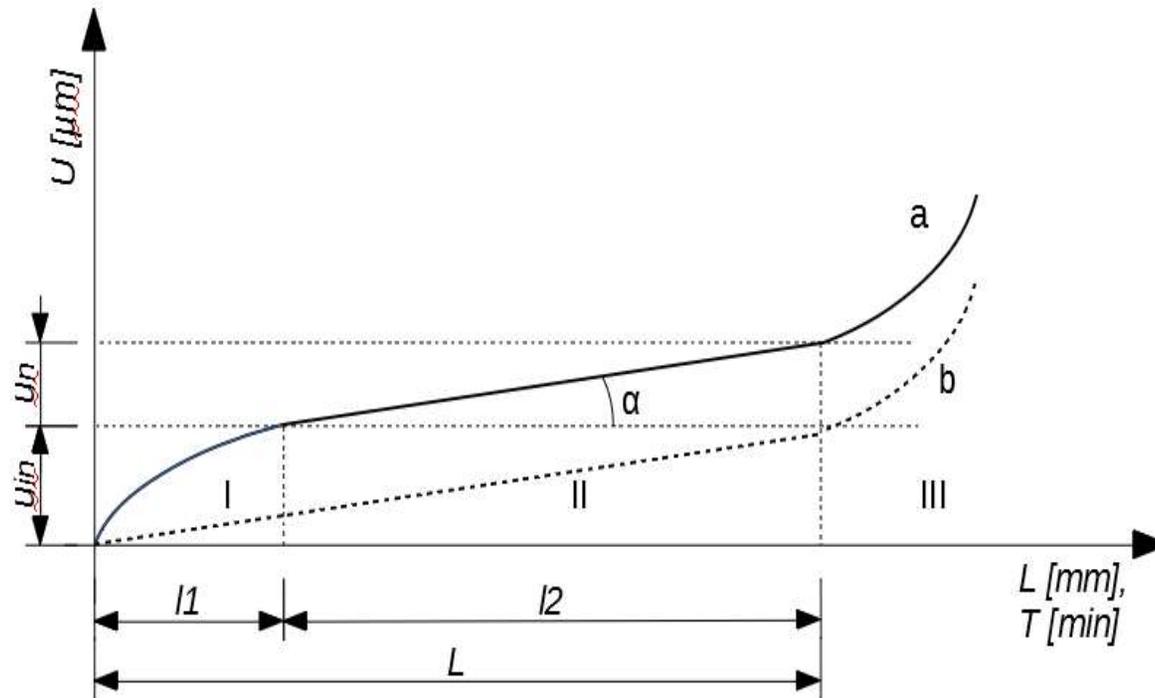


Abb 5.5. Entwicklung der Verwendung des Schneidwerkzeugs aus maßvoller Sicht relativ zur Arbeitszeit oder zur Länge der Schneidkante [5]

- In Kenntnis des relativen Verschleißes kann nach dem Überqueren eines bestimmten Weges in der Scherbe durch das Schneidwerkzeug festgestellt werden, dass er zu einem bestimmten Zeitpunkt oder nach einer bestimmten Länge, die vom Werkzeug zurückgelegt wird, getragen wird, wenn der Verschleiß nicht das kritische Stadium erreicht.


$$U_{T,L} = U_i + U_r \cdot l \cdot 10^{-6} \text{ } \mu\text{m} \quad (5.10)$$

- Der Weg, den das Werkzeug im Swether einschlägt, kann nach der Art der Verarbeitung bestimmt werden wie folgt:
- Für Drehen:

$$l = \frac{\pi \cdot d \cdot l_p}{1000 \cdot f} \quad (5.11)$$

- Bohren:

$$l = \frac{\pi \cdot d \cdot L}{1000 \cdot f} \quad (5.12)$$

- 
- wo L stellt die Länge des Arbeitslochs und f ist der Rotationsvorsprung des Bohrers. In diesem Fall gilt der größte Verschleiß als an der Ecke des Bohrers, es gibt auch die maximale Schnittgeschwindigkeit beim Bohrvorgang.
 - Die Vorhersage des Verschleißes bis zum Abschluss der Verarbeitung hilft dem Bediener oder Technologen, den Austausch des verwendeten Werkzeugs zu planen, um den Eintritt in die kritische Verschleißstufe zu vermeiden.
 - Beispiel: Unter Berücksichtigung eines Prozesses des äußeren zylindrischen Drehens einer Welle mit einem 120 mm Durchmesser über eine Länge von 300 mm mit einem Arbeitsvorsprung von $f=0,2$ mm/Rot. Der anfängliche Verschleiß des Messers ist bekanntermaßen $3 \mu\text{m}$, um den endgültigen Verschleiß des Drehmessers zu bestimmen, wenn der relative Verschleiß (Verschleißintensität) $1,9 \cdot 10^{-9}$.

- Laut Anmerkung 5.11 hat der Weg, den das Drehmesser im Schneidprozess eingeschlagen hat, den Wert:

$$l = \frac{\pi \cdot d \cdot l_p}{1000 \cdot f} = \frac{\pi \cdot 120 \cdot 300}{1000 \cdot 0,2} = 565,5 \text{ m} \quad (5.12)$$

- Das Drehmeißel wird am Ende der Operation (wenn in einem einzigen Durchgang getan wird) einen Verschleiß tragen von:

$$U_z = U_i + U_r \cdot l \cdot 10^6 = 3 + 1,9 \cdot 10^{-9} \cdot 565,5 \cdot 10^6 = 4,074 \mu\text{m} \quad (5.13)$$

- Der Einsatz neuer Scharfwerkzeuge ist bei präzisionsgefertigter Verarbeitung zu vermeiden. Bei der Messung des Werkzeugs und der Anpassung seiner Positionierung an den Werkstücken werden Mikrorauen auf der Frei- und Spanfläche bzw. der Schnittkante berücksichtigt, aber in den ersten paar hundert Metern schnell vom Werkzeug entfernt. Es ist daher notwendig, dass kurz nach Beginn des technologischen Prozesses gestoppt und die Positionierung des Werkzeugs in Richtung des Halbzeugs korrigiert wird. Um diese Situation zu verhindern, können die Freifläche und die Spanfläche des Werkzeugs fertig gestellt werden, wodurch Unregelmäßigkeiten beseitigt werden.

- 
- Faktoren, die den Verschleiß des Schneidwerkzeugs beeinflussen, sind:
 - Werkzeugmaterial;
 - Werkstückmaterial;
 - das Materialpaar im Werkzeug und Stück;
 - die Geometrie des Schneidwerkzeugs;
 - Parameter des Schneidprozesses (Schnittgeschwindigkeit, Vorschub und Verarbeitungstiefe);
 - die Umgebung, in der die Verarbeitung durchgeführt wird (Emulsion, Öl, minimale Schmierung, Luft usw.);
 - Starrheit des technologischen Systems;
 - Etc.

- Der Verschleiß U_z beeinflusst das Werkstückdurchmesserbearbeitung, nach Abbildung 5.6 mit dem Wert:

$$d_f = d_i + 2 \cdot U_z \quad (5.13)$$

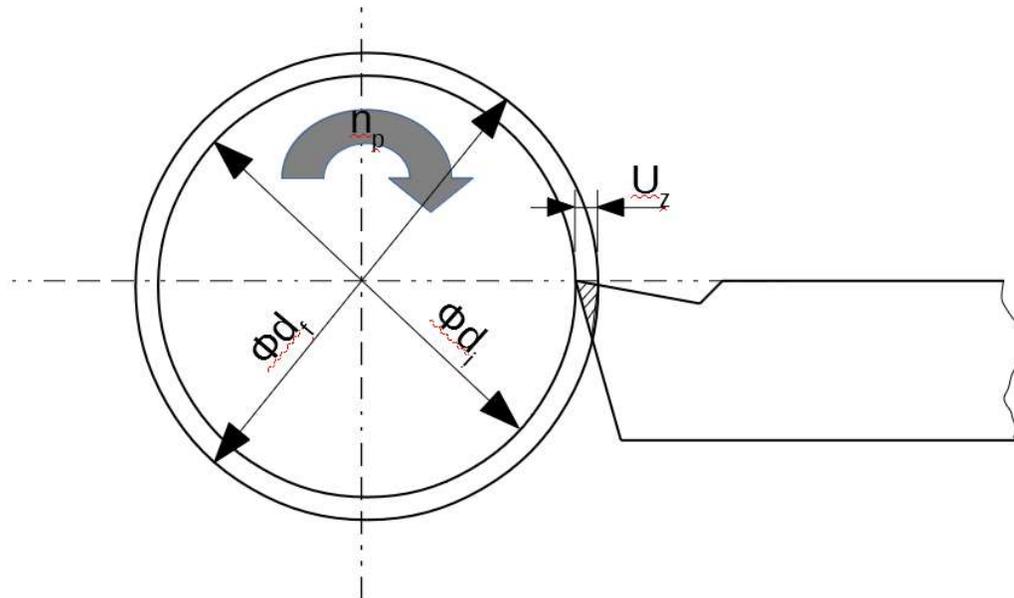
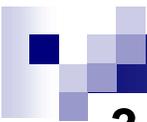


Abb 5.6 Einfluss von Verschleiß auf die Baumgröße bei externem Wendeprozess [5]

- Radialverschleiß U_z auf der Werkzeug beeinflusst die Größe der Welle durch Durchmesser mit dem doppelten Wert.



3.1.1. Technologische Maßnahmen zur Reduzierung des Verschleißes von Schneidwerkzeugen

- Als technologische Maßnahmen zur Verringerung des Verschleißes und zur Verlängerung der Haltbarkeit des Schneidwerkzeugs wären:
 - geeignete Verwendung von Kühlmitteln (Druck, Durchfluss, Emulsionskonzentration usw.);
 - die Wahl des Werkzeugmaterials nach dem Material des Teils;
 - Anwendung von thermischen Erweichungsbehandlungen bei der Verarbeitung gehärteter Materialien;
 - die Praxis der Geometrien, die der Art des zu verarbeitenden Materials entsprechen;
 - die Wahl geeigneter Schneidverfahren;
 - bei der Verarbeitung mit Werkzeugen, die mit Metallhartmetallplatten oder sogar mit Werkzeugen aus Metallcarbiden bewaffnet sind, wird empfohlen, die Beschichtungen auszuwählen, die dem zu verarbeitenden Material entsprechen. In diesen Fällen können die Beschichtungen aus den Werkzeugkatalogen der Fertigungsunternehmen ausgewählt werden. Gegebenenfalls können Sie auch die Arten von Carbiden auswählen, die bei der Herstellung von Werkzeugen verwendet werden.
 - Bei Vibrationen wird empfohlen, die Verarbeitungssysteme anzupassen, um sie zu reduzieren.



3.2. Materialien, die beim Bau von Schneidwerkzeugen verwendet werden

- Die Entwicklung der Technik basiert auf der kontinuierlichen Verbesserung der Materialien. Dies führt zu der Notwendigkeit, die Eigenschaften der Materialien zu verbessern, mit denen diese Materialien verarbeitet werden. Gleichzeitig zielt sie darauf ab, die Produktivität als Determinant für die Effizienz eines Unternehmens zu verbessern.
- Ideale Schneidmaterialien Abb. 5.7 , die Schnittgeschwindigkeit zu erhöhen, um die Produktivität zu erhöhen und den Werkzeugverschleiß zu verringern, was als Notwendigkeit zur Steigerung der Produktivität erforderlich ist.

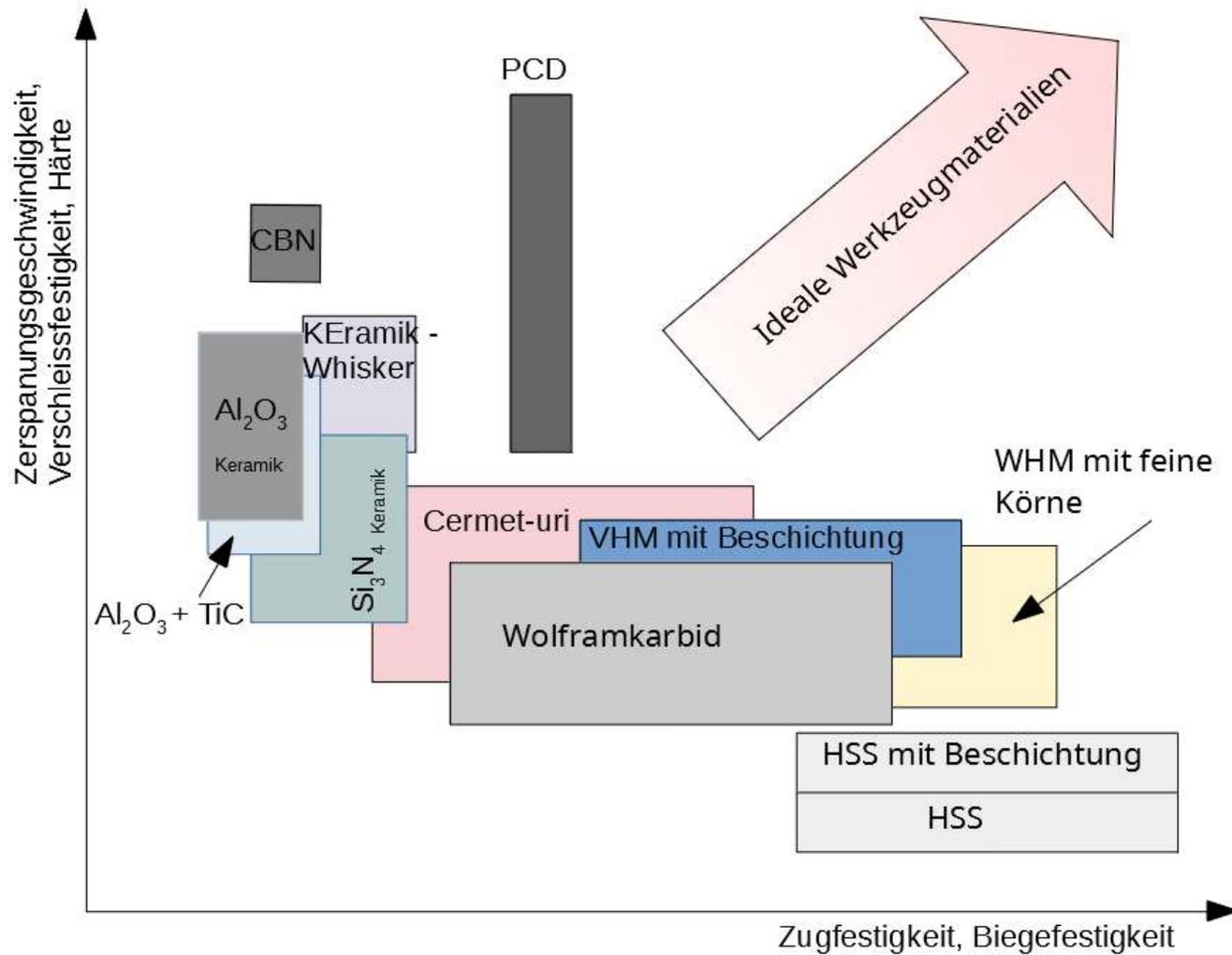


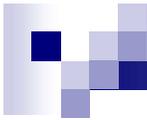
Abb. 5.7 8 Schneiden von Materialeigenschaften [8]

Tabelle 5.4 [8]

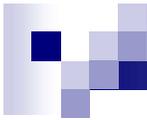
Material	Zusammensetzung / Eigenschaften	Einsatzgebiete
<p>Werkzeugstahl und Schnell Stahl (HSS) Nr. 1900</p>	<p>Hochlegierter Stahl, der seine mechanischen Eigenschaften und bei hohen Verarbeitungsgeschwindigkeiten (und implizit bei hohen Temperaturen – 6000C) behält. Typische Zusammensetzung von schnellen Stählen: C =0,75 ; W=18,0; Cr =4.0; V =1,0; Mn =0,6 (in %).</p>	<p>Sie nimmt einen Prozentsatz von ca. 36% des Wertes der Herstellung von Schneidwerkzeugen und wird in der Herstellung von profilierten Werkzeugen wie Taros, Beißwerkzeugen (Scheibenmodulschneider, Modulschneckenschneider, etc.), Bohrern, Taros, Broschen, Werkzeugen für automatische Maschinen verwendet. Verarbeitungsgeschwindigkeiten $v_c = 50..60$ m/min</p>

Material	Zusammensetzung / Eigenschaften	Einsatzgebiete
<p style="text-align: center;">Metallhartmetall</p> <p>Materialgruppen nach DIN ISO 513: P, M, K, N, S und H. 1923 patentiert und 1927 als WIDIA verwendet.</p>	<p>Stellt ein sintertes Material von W, Ti, Ta, Nb, etc. Hartmetall mit Bindemittel Co, Ni dar; thermischer Widerstand bis 1000 °C, mit Traktionsbeständigkeit und Härte variabel je nach Einsatzbereich. Die Leistung von Metallhartmetallwerkzeugen wird durch das Üben von pvD- und CVD-Metallbeschichtungen wie: TiN, TiCN, TiC, Al₂O₃ verbessert. Mechanische Eigenschaften können auch durch die Verwendung von Flossen- und Ultrafeinkarbidkörnern (<0,5 µm) verbessert werden.</p>	<p>Von der mechanischen Verarbeitungsindustrie nimmt es 54% der verwendeten Werkzeuge ein. Es wird bei der Herstellung von Werkzeugen mit einfacheren Formen verwendet. Schraub- oder Zaumplatten werden auf Schneidwerkzeugen hergestellt, aber Werkzeuge mit komplexeren Geometrien werden hergestellt (Kunststoffverformungstarozes, profilierte Platten, Bohrer mit unterschiedlicher Geometrie an der Spitze, Hartmetallschneider für die Verarbeitung von Stahl, Holz und Verbundwerkstoffen, etc. Sie werden sowohl mit Kühlmitteln als auch ohne verwendet.</p> <p style="text-align: right;">$v_c = 50 \dots 350 \text{ m/min}$</p>

Material	Zusammensetzung / Eigenschaften	Einsatzgebiete
<p>Cermets</p> <p>Keramik+Metall wird seit 1955 mit Ni und Co Bindemittel enthält auch W, Ta, Nb, mgO, BeO und Al₂O₃ verwendet, einige mit hervorragenden mechanischen Eigenschaften bei hohen Temperaturen.</p>	<p>Metallhartmetall auf Basis von TiN, TiC und TiCN mit Ni und Co Bindemittel enthält auch W, Ta, Nb, Mo. Hartmetall bietet hohe Kantenstabilität, hohe Härte, Korrosionsbeständigkeit, aber geringe Bruchfestigkeit.</p>	<p>Es dauert etwa ein Jahr. 2 % der Verdickung und Veredelung von Stahl und Gusseisen, insbesondere für Dreh- und Fräsvorgänge.</p> <p>$v_c = 100 \dots 450 \text{ m/min}$</p>
<p>Keramikmaterial</p> <ul style="list-style-type: none"> -Oxidkeramik (weiss) -Keramik-Whisker -Keramik (nicht oxidiert) 	<p>Feste anorganische nichtmetallische Materialien 60 .. 95% Al₂O₃, der Rest zrO₂;</p> <p>-sehr hart und zerbrechlich;</p> <p>60.. 95% Al₂O₃, Rest TiC, TiN,</p> <p>-sehr hart und zerbrechlich, werden hartnäckig durch die Erhöhung des Inhalts von ZrO₂, TiCN Al₂O₃ +20 .. 40% SiC Whisker,</p> <p>-eine bis zu 60% Erhöhung der Bruchfestigkeit durch Siliziumnitrid und 3N₄ + Sinterzusätze + SiAlON + TiN, TiC;</p> <p>Beläge können aufgebracht werden, hohe Kompressionsbeständigkeit, hohe Schmelztemperatur, behält seine Härte bis zu 1500 °C, aber sind zerbrechlich.</p>	<p>7 % der Produktion verwendet keramische Materialien, hauptsächlich in der Massenproduktion zum Drehen und Fräsen von Eisenwerkstoffen.</p> <p>Es eignet sich für die Trockenverarbeitung. In der Regel werden Platten verwendet, die mit Gurten oder Schrauben befestigt sind. Für die Verarbeitung von Gusseisen verwendet und 3N₄.</p> <p>$v_c = 600 \dots 1500 \text{ m/min}$, in einigen Fällen diese Werte zu überschreiten.</p>

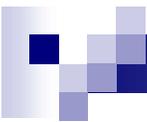


Material	Zusammensetzung / Eigenschaften	Einsatzgebiete
<p>CBN (PCBN sau PKB) – Nitrué kubcé de bor policristalin Gebraucht seit ' 1965</p>	<p>Das zweite harte Material, das beim Schneiden mit chemischer Beständigkeit gegen Eisenwerkstoffe verwendet wird, hat eine gute thermische Stabilität bis 2000 0C, hohe Biege- und Kompressionsbeständigkeit. CBN-Konzentration (60 .. 95%) und das Liegendmaterial (TiC, AtiAlN) bestimmt verschiedene Qualitäten und Einsatzbereiche. Als Nachteil ist der hohe Einstandspreis.</p>	<p>Ca. 0,5% der Schneidprozesse verwenden CBN-Werkzeuge. Sie werden in Dreh-, Fräs- und Bohrvorgängen in der Massenproduktion eingesetzt. Das kubische Bornitrid wird auf Motherboards (in der Regel aus Metallcarbid) abgelagert und durch Löten oder Befestigen mit Werkzeugbändern fixiert. $v_c=80 \dots 350 \text{ m/min}$</p>



Material	Zusammensetzung / Eigenschaften	Einsatzgebiete
<p>PCD – Polychristalin-Diamant Polykristalliner Diamant (synthetisch) € 1955</p>	<p>Bis heute gilt es als das härteste Schneidmaterial, hat aber eine sehr hohe Affinität zu Fe, so dass Eisenmaterialien nicht verarbeitet werden können. Es hat eine sehr hohe Stabilität und behält seine mechanischen Eigenschaften bis zu einer Temperatur von 800 0C. Es hat einen sehr hohen Preis.</p>	<p>Ungefähr 0,5% der Produktion verwendet PCD als Schneidmaterial, ausschließlich für die Veredelung von Al, Al-Si, Ti, Grafite, Cu, Zn, Platin, Au, Ag, Keramik, Glas, etc. Aufgrund des hohen Preises findet sich in der Massenproduktion.</p> <p>$v_c \geq 2000$ m/min im Falle der Verarbeitung von Legierungen von Al. Es wird bei der Verarbeitung von Al-Legierung Motorblöcke, Getriebegehäuse, etc. verwendet, erhalten (aufgrund der Stabilität der Schneidkante und sehr hohe Verarbeitungsgeschwindigkeiten) Oberflächen von sehr guter Qualität.</p>

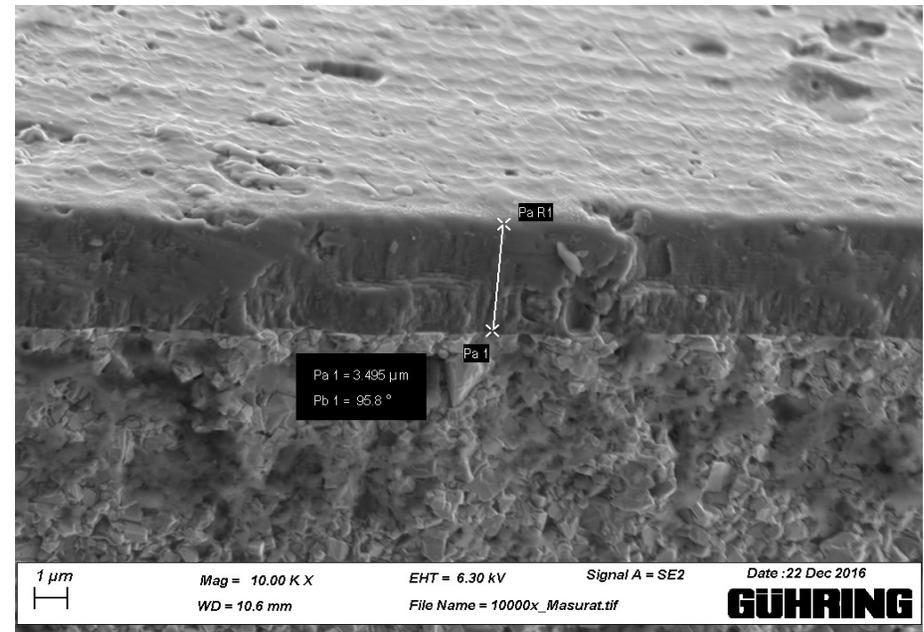
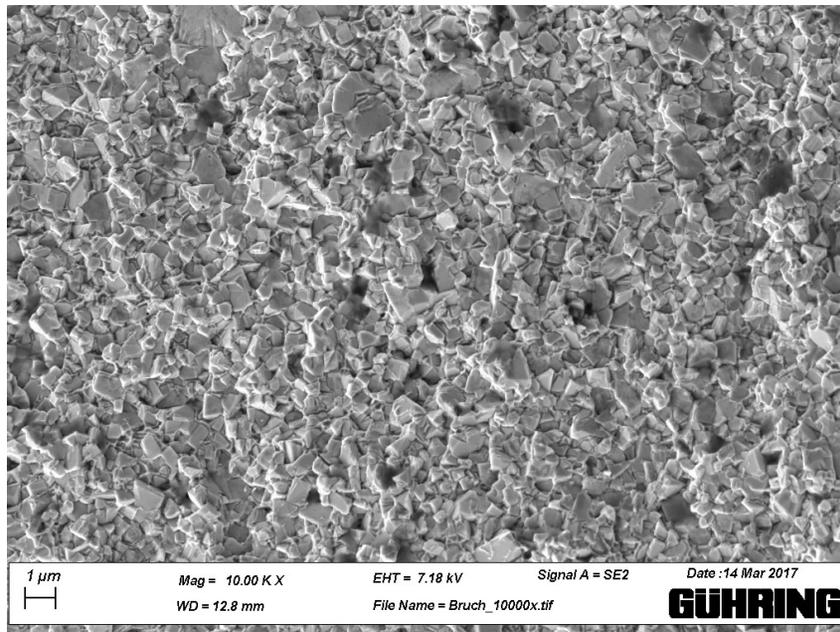
- 
- **Werkzeugstahl** kann als legierungs- oder nichtlegierte Stähle gefunden werden. Die Nichtlegierungen weisen einen Kohlenstoffgehalt zwischen 0,6 und 1,3 % auf. Es behält seine Härte und Verschleißfestigkeit aufgrund der martensitischen Struktur nach der Wärmebehandlung gebildet. Legierungswerkzeugstähle, die für intensivere Spannungen verwendet werden, haben einen Gehalt von bis zu 5% Legierungsmaterialien wie Cr, W, Mo und V. Im Gegensatz zu nichtlegierten Stählen haben sie eine höhere Abriebfestigkeit (aufgrund der Kohlenhydrate aus Legierungswerkstoffen), höhere Zähigkeit durch Legierungselemente und höhere Härte aufgrund von Kohlenstoff. Aufgrund thermischer Einschränkungen ist die Verarbeitung mit diesen Materialien bei niedrigen Geschwindigkeiten zulässig, so dass sie in geringerem Umfang in der Fertigungsindustrie eingesetzt werden. Sie werden hauptsächlich bei der Herstellung von Handwerkzeugen und in Holzbearbeitungswerkzeugen verwendet. [4]

- 
- **Hochgeschwindigkeitsstahl (HSS)** sind hochlegierte lydeburitische Stähle mit einem Legierungsanteil von bis zu 35 %. Im Gegensatz zu Werkzeugstählen behalten sie ihre Zähigkeit und Wärme Steifheit bis zu einer Temperatur von 600°C. Diese Eigenschaften sind auf Legierungsmatrizen zurückzuführen. Die Härte- und Verschleißfestigkeit ist auf die martensitische Struktur in Kombination mit den Kohlenhydraten von W, W und Mo, Cr und V zurückzuführen. Im Vordergrund stehen die Eigenschaften von schnellen Stählen W und Mo.
 - Legierungselemente verbessern die Eigenschaften des Materials wie folgt:
 - C – ist für das Anheben der Härte des Materials und notwendig für die Bildung von Kohlenhydraten von wesentlicher Bedeutung;
 - W – Wolfram bildet Karbiden und verbessert die Zähigkeit und Verschleißfestigkeit;
 - Mo – Molybdän verbessert die Fähigkeit und Widerstandsfähigkeit gegen Bruch; kann den Wolfram ersetzen;
 - V – ähnlich wie Wolfram, bildet Karbiden und verbessert die Verschleißfestigkeit des Materials;
 - Co – Kobalt erleichtert die Erhöhung der Temperiertemperatur, so dass ein höherer Hartmetallgehalt erreicht werden kann. Dies führt zu erhöhter Härte und Hartnäckigkeit.

- 
- Schnelle Stähle werden durch Gießen gewonnen und die Härtetemperatur liegt je nach Legierungsmaterial zwischen 1180 und 1280 °C. Die Kühlung erfolgt so, dass möglichst viele Kohlenhydrate erhalten werden, aber dennoch hat das Material keine kristalline Struktur mit großen Körnern. Die austenitische Struktur kann durch die Rückkehr zu Temperaturen von 540 – 580 °C eliminiert werden.
 - Schneller Stahl kann auch mit Hilfe von Metallpulvern erreicht werden, wodurch feinere kristalline Strukturen mit einer höheren Kantenfestigkeit erhalten werden.
 - Um die Haltbarkeit zu verbessern, können die Werkzeuge mit TiN mit einer Dicke zwischen 2 und 7µm beschichtet werden, was zu einer reduzierten Reibung zwischen Arbeitsmaterial und Schneidwerkzeug führt. Dadurch wird die Energie, die benötigt wird, um die Reibungskraft zu besiegen, um bis zu 20 % reduziert. Die Abriebfestigkeit steigt auch durch deutlich höhere Zinnhärte (HV=2400) im Vergleich zu Stahl (HV=900). [4] Schnelle Stähle werden bei der Herstellung von Werkzeugen zum Bohren, Fräsen, Riemen, Drehen, usw. verwendet.

- 
- **Hartmetall** ist ein Material, das aus zwei oder mehr Phasen erhalten wird, die durch metallurgische Pulvertechnologie gewonnen werden. Ein Material ist das Bindemittel (Phase β), d.h. Wolframcarbid (WC – Phase α), Titancarbid, Titan und Niob (Phase γ). Das erste Patent wurde 1923 von K. Schröter veröffentlicht. Mit den besten Eigenschaften von Härte und Bruchfestigkeit erwies es sich als die Kombination von Wolframcarbid und Co (Phase β) Leinenmaterial. Der Anteil von Co wird zwischen 5% - was eine sehr hohe Abriebfestigkeit verleiht und 15% - verwendet, was einen hohen Bruchwiderstand verleiht. [4]
 - Zur Verbesserung der Schnitteigenschaften sind auf der Oberfläche von Schneidwerkzeugen Schutzbeschichtungsschichten vorgesehen. Die Abscheidungsprozesse sind PVD (physikalische Dampfabcheidung) und CVD (chemische Dampfablagerung).
 - Die bekanntesten und geübtesten Beschichtungen sind TiC Titancarbid, TiN Titanitrid, Titancarbonitrid TiCN und Titanitrid TiAlN.
 - Das PVD-Verfahren ermöglicht die Kombination mehrerer TiN- und TiAlN-Beschichtungen und in den letzten Jahren hat die Entwicklung zur Ablagerung von Nanostrukturen wie TiSiN, TiAlN, TiAlSiN oder TiAlBN geführt. Abdeckungen wie CrAlN, CrAlSiN oder Al₂O₃ wurden ebenfalls entwickelt. [8]

Vollhartmetallstruktur und Beschichtung



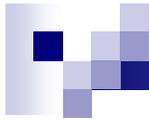


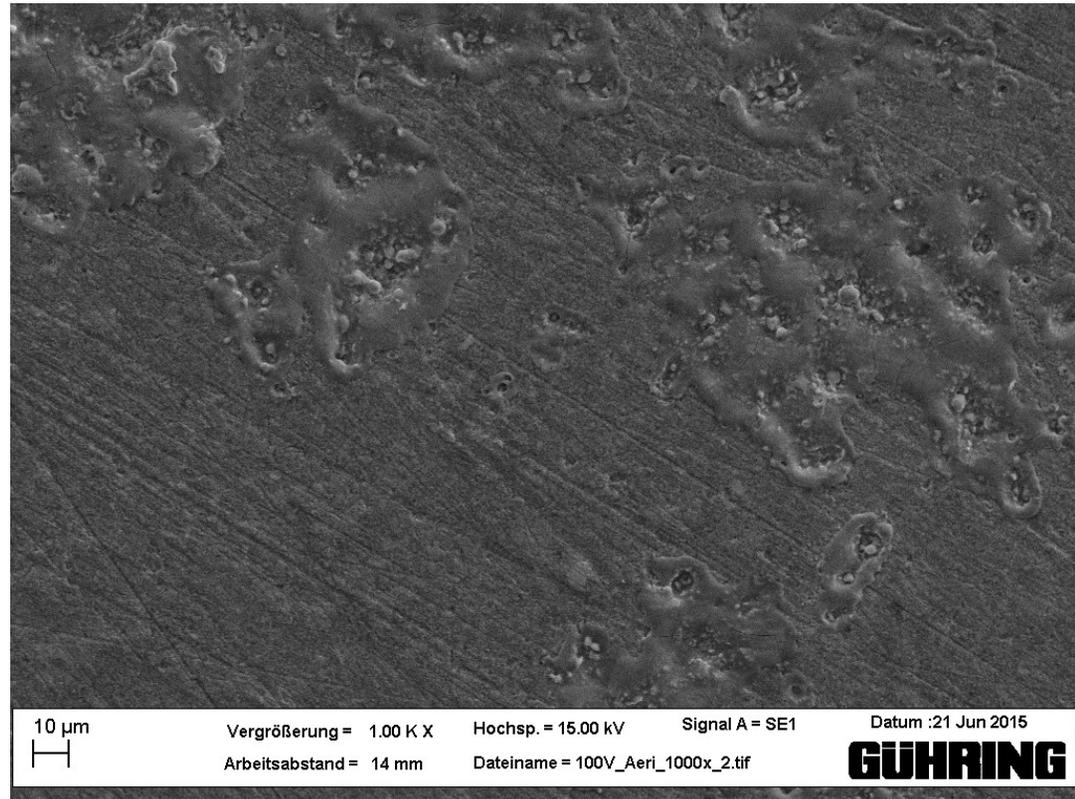
Tabelle 5.5. Eigenschaften von Metallbeschichtungen [4]

	WC	Tic	Zinn	TiCN	Tialn	2₂oder₃
Härte HV0.05 temp 20 0C	1800	3000	2400	3000	2800	2200
Härte HV0.05 temp 1000 0C	800	400	450	790	1250	1100
Modul de elasticitate E - GPa	690	450	256	372	390	410
Verschleiß des Siedlungsgesichts		+	das	+	+	+
Widerstandsfähigkeit gegen Kraterbildung		das	das	das	das	+
Reduzierung der Reibung		+	+	das	das	das

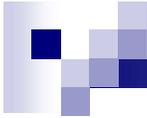
- 
- **Cermets "Keramik" und "Metalle" [4]** sind Materialien auf Basis von Titancarbonitrid mit Tantal, Niob und Vanadium als hartes Material und als Bindemittel Nickel und Kobalt verwendet werden. Aluminium, Molybdän und Titan finden sich ebenfalls in der festen Lösung, was zu einer erhöhten Verschleißfestigkeit führt. Im Gegensatz zu Metallcarbiden haben Cermets chemische Stabilität bei hohen Temperaturen, so dass sie beim Schneiden keinen Diffusions- und Oxidationsmechanismen ausgesetzt sind. Die Schneidkanten haben eine erhöhte Festigkeit und ermöglichen eine Verarbeitung bei höheren Geschwindigkeiten als bei der Metallhartmetallwerkzeugbearbeitung. [4]

Keramische Materialien werden in Keramische und nichtoxid-keramische Oxide gruppiert. Die oxid-keramischen sind Aluminium- und Zirkonoxid. Die nichtoxid-keramischen sind Siliziumnitrid, Titancarbid und Titanitrid. Die Mischung zwischen ihnen ermöglicht kombinierte Eigenschaften wie SiAlON zu erhalten.

Zu den Vorteilen dieser Materialien gehören eine hohe Härte und Verschleißfestigkeit. Die Härte nimmt mit dem Temperaturanstieg weniger ab als bei Metallhartmetall. Dies kann mit höheren Geschwindigkeiten erfolgen und die chemische Beständigkeit verhindert die Bildung von Ablagerungen am Rand und die Bildung von Verschleißkratern. Als Nachteil kann die Fragilität des Materials erwähnt werden, das die Verarbeitung von Materialien, in denen es Herstellungs- oder Gussfehler gibt, nicht zulässt. Auch Schwankungen der Schnittkräfte oder Unterschiede in der Dicke des Schneidens sind nicht zulässig.

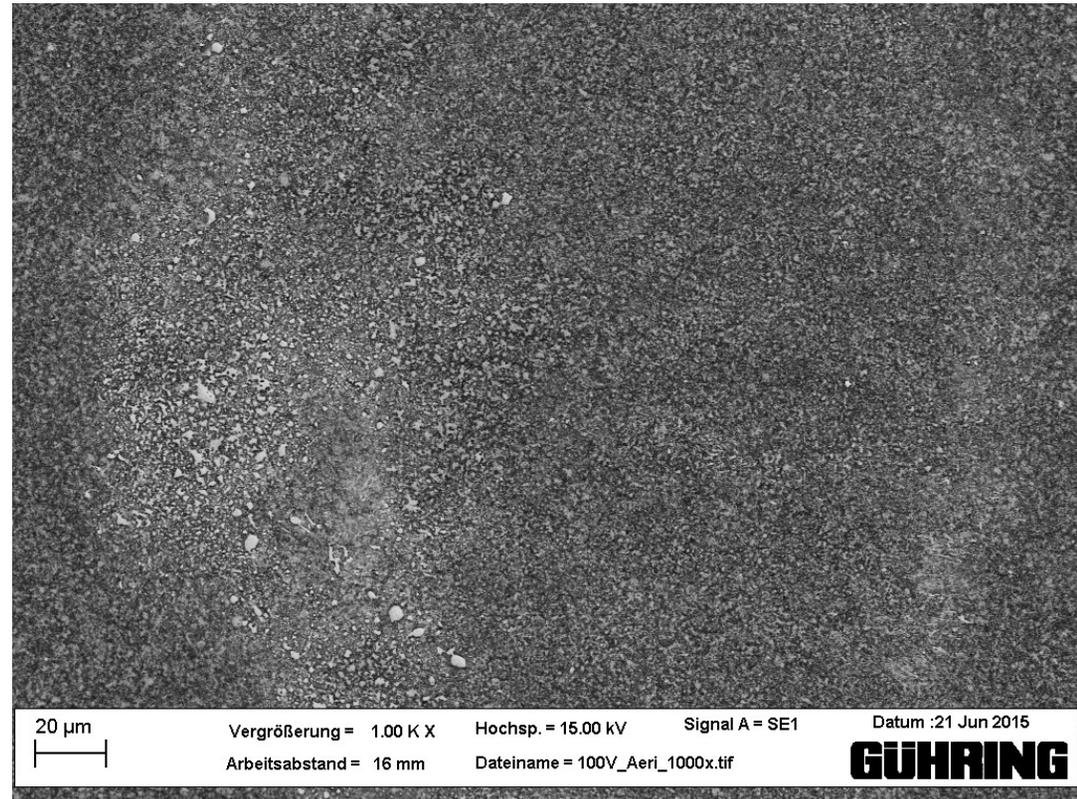


Keramische Materialien Oberfläche
Quelle: Gühring F&E Cluj Napoca



CBN – Kubisches Bornitrid stellt das zweithartste Material nach dem Diamanten dar. In der normalen Oberflächenatmosphäre bildet sich Boroxid B_2O_3 bis zu einer Temperatur von $1300\text{ }^\circ\text{C}$, was die Verarbeitung von gehärteten Materialien wie gehärteten Stählen, Hartguss, Nickellegierungen oder durch Metallspritz gewonnenen Oberflächen, gehärtet Guss und Stahl oder geschweißten Werkstücken ermöglicht.

Das kubische Nitrid von Bor wird mit sehr hohen Kosten erhalten, wobei die Tendenz der Bildung in der Umgebung unter der sechseckigen Struktur (ähnlich wie Graphit) liegt. Es werden Temperaturen zwischen 1500 und $2000\text{ }^\circ\text{C}$ und Drücke bis zu 9 GPa benötigt. Als Katalysatoren werden alkalische Materialien (Lithium) verwendet. Das kubische Bornitrid verschleißt schwieriger als das Metallcarbid und ermöglicht so höhere Geschwindigkeiten für die gleiche Werkzeughaltbarkeit.

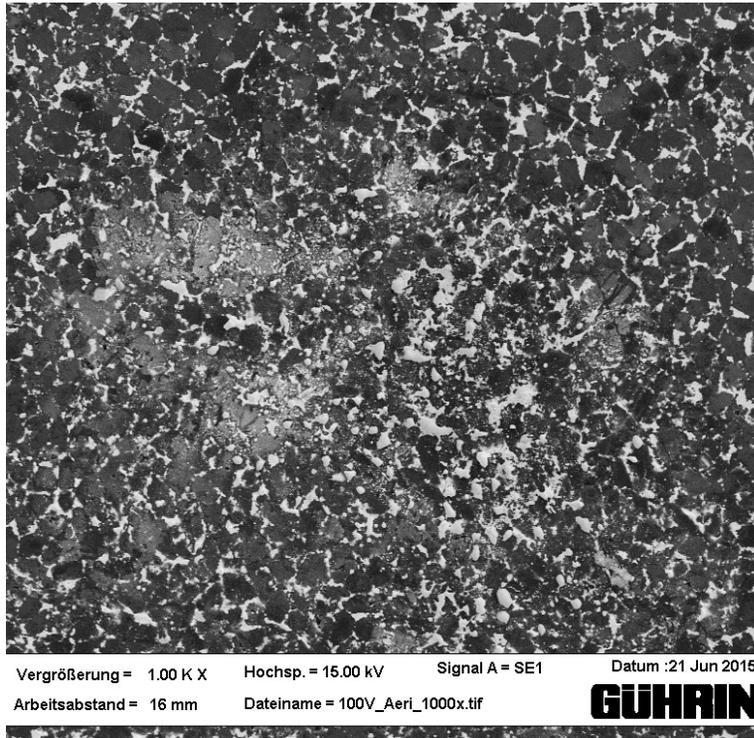


CBN Oberfläche

Quelle Gühring F&E Cluj Napoca;

<https://academy.guehring.de/en/>

PCD Oberfläche



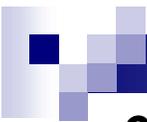
- **PCD – polykristalliner Diamant** – kam nach 1960 in der Industrie zum Einsatz. Die Entdeckung wurde 1953 in Schweden von Der ASEA(Allmänna Svenska Elektriska Aktiebolaget - General Swedish Electrical Limited Company) (Erwerb von synthetischem Diamanten) gemacht. Die Bedingungen für die Beschaffung sind 3000 °C und 10 GPa direkt aus Graphit. Durch den Einsatz von Katalysatoren wie Ni, Co, Si, B, Be und Fe werden die Synthesebedingungen auf 6 GPa und 1500 °C reduziert. Die Größe der Diamantkristalle liegt zwischen 2 und 60 µm, die Verschleißfestigkeit steigt mit der Erhöhung der Partikelgrößen, verringert aber die Verarbeitungsqualität. Es kann bei der Verarbeitung von nicht Eisenhaltigematerialien mit sehr hohen Verarbeitungsgeschwindigkeiten eingesetzt werden, ist aber aufgrund der Graphitreaktion des Diamanten ab einer Temperatur von 900 °C als Temperatur auf 800 °C begrenzt. Es eignet sich sehr gut für die Verarbeitung von Aluminium und Aluminiumlegierungen, Kupfer, Nickellegierungen, Kunststoffen, aber auch für die Verarbeitung von Holzwerkstoffen oder Verbundwerkstoffen Kohlenstofffaserverstärkter oder Glasfaserverstärkter Kunststoff (GFK oder CFK). [4]



PKD Oberfläche

Quelle Gühring F&E Cluj Napoca

<https://academy.guehring.de/en/>



6. Verarbeitungsfehler durch elastische Verformungen der technologischer Systeme

- Der Schneidprozess erfordert von Natur aus eine gewisse Kraft seitens des Werkzeugs, um den Splitter zu entfernen. Je nach Art des Prozesses, Schlichten oder Schruppen, und je nach Art der Operation: Schleifen, Hobeln, Bohren, Fräsen, etc. oder die Größe der Teile, werden die Kräfte unterschiedliche Werte haben. Selbstverständlich wirkt die Reaktion des Teils über die Unterbaugruppen des Bauteilverschlusses, auf das Schneidwerkzeug und auf die Werkzeugmaschine. Die Verformungen, die während des Schneidprozesses auftreten, beeinflussen die Genauigkeit der Verarbeitung und die Qualität der Oberfläche. Die Elastizität des technologischen Systems wird auch die Produktivität des Betriebs durch die Unmöglichkeit der Anwendung intensiver Regime im Verarbeitungsprozess beeinflussen.
- Die Fähigkeit des technologischen Systems, den Verformungen zu trotzen, die durch die auf sie wirkenden Kräfte erzeugt werden, wird als Steifheit bezeichnet. [9]

- 
- Die große Bedeutung im Hinblick auf die Genauigkeit der Verarbeitung ist die Verformung, die in der Axialebene des Teils erzeugt wird, die auf die Einwirkung der Radialkraftkomponente F_r (F_p oder F_t) zurückzuführen ist. Der Einfluss von F_c - bzw. F_f -Kräften ist in den meisten Fällen vernachlässigbar.
 - Die Steifheit des technologischen Systems wird mathematisch definiert als das Verhältnis zwischen der radialen Komponente der Schneidkraft und der Verformung des in der gleichen Richtung y gemessenen technologischen Systems.

$$R = \frac{F_r}{y} \text{ [daN/mm]} \quad (6.1)$$

- Die Proportionalität zwischen der Lastkraft und der im System dadurch erzeugten Verschiebung ist in Abb. 6.1.

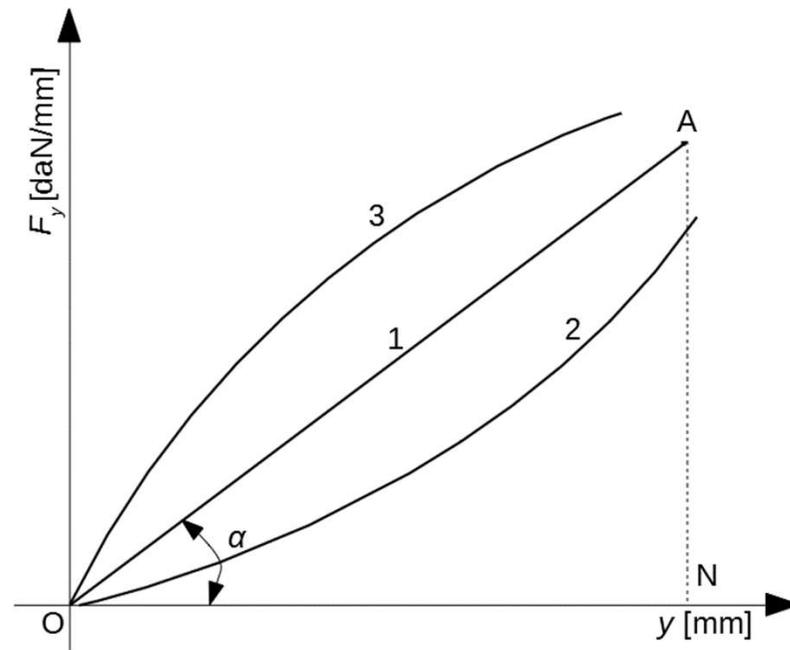


Abb. 6.1 Form der Ladekurve

- Kurve Nr. 1 von Abb. 6.1, stellt die ideale Kurve dar und ist sehr selten anzutreffen. Kurve 2 charakterisiert eine Werkzeugmaschine, bei der mit der Erhöhung der Lastkraft die Kontaktflächen der Gelenke zunehmen, was zu einer allmählichen Abnahme der Verformungen führt. Diese Kurve kann auch das Ergebnis von ersten Spielverbindungen in Werkzeugmaschinenkomponenten sein. [9]

- 
- Die konvexe Kurve 3 ergibt sich aus der Belastung von Baugruppen aus der Werkzeugmaschinekonstruktion, die zuvor mit der Schraube angezogen wurden.

$$R_{med} = \frac{AO}{AN} = \tan \alpha \quad (6.2)$$

- Die Fakteure, die die Steifheit der Werkzeugmaschine beeinflussen, sind wie folgt:
 - Menge-Spiele;
 - Der Grad der Verschärfung der Federn;
 - Verschleiß von zusammengeführten Oberflächen;
 - Thermische Arbeitsbedingungen von W-M;
 - Komponentenabschnitte in Richtung Derformationsmessung;
 - Die Geschwindigkeit, mit der die Messungen durchgeführt werden;
 - Schnittkraft.

- 
- Es gibt Fälle, in denen die Komponenten der Schneidkraft auf allen 3 Achsen bei der Berechnung der Steifheit berücksichtigt werden müssen.

$$R = \frac{F}{y} = \frac{\sqrt{F_x^2 + F_y^2 + F_z^2}}{y} \left[\frac{daN}{mm} \right] \quad (6.3)$$

- Die Steifheit von W.M. erhöht sich zusammen mit der Erhöhung der Arbeitsgeschwindigkeit aufgrund der gyroskopischen Wirkung, die von den Massen der Hauptbewegung gegeben wird. Gleichzeitig gibt es auch Widerstand durch die Ölschicht in den Lagern, die der radialen Verschiebung der Hauptspindel entgegensteht. [9]

- 
- Die Eigenschaft unter-Teile und M-U-Baugruppen unter dem Einfluss von Kräften nachzugeben, die dazu neigen, sie zu verformen, wird Grad der Entsprung oder Flexibilität genannt. [2]

$$W = \frac{1}{R} = \frac{y}{F} \left[\frac{mm}{daN} \right] \quad (6.4)$$

- Oder

$$y = W \cdot F \quad (6.5)$$

6.1. Bestimmung der Steifheit des Drehmaschine

- Im Falle des Drehvorgangs wirkt die Radialkraft direkt auf die Drehbaugruppen und verursacht eine y-Verschiebung jeder Unterbaugruppe entsprechend dem Wert der darauf wirkenden Kraft gemäß Abb. 6.2.
- Sie können für jede Komponente des Systems ihre Teil Steifheit schreiben:

$$R_{pf} = \frac{F_{rpf}}{y_{pf}} \quad (6.6)$$

$$R_{pm} = \frac{F_{rpm}}{y_{pm}} \quad (6.7)$$

$$R_{sl} = \frac{F_r}{y_{sl}} \quad (6.8)$$

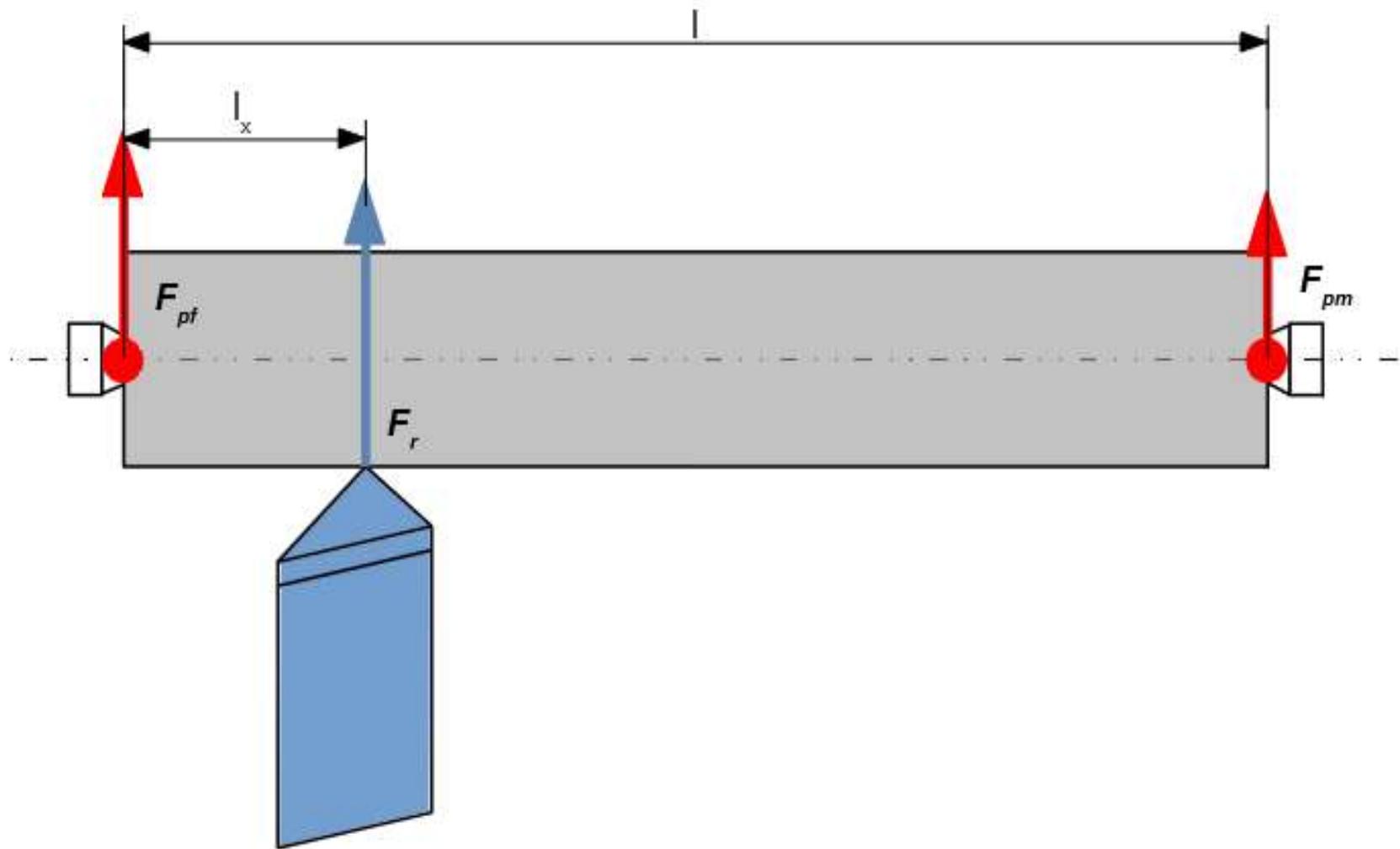


Abb. 6.2 Bestimmung der Gesamtdrehsteifheit im allgemeinen Fall, wenn die Kraft in einem bestimmten Abstand l_x von der festen Arbeitsspindel wirkt [5]

- 
- Im Falle des normalen Drehprozesses, das Verhältnis zwischen der radialen Komponente der Schneidkraft und der relativen Verschiebung zwischen der Spitze des Drehmessers und der Achse der Drehleiter Hauptwelle (in diesem Fall durch aufzwingende Hypothese, dass die Werkwelle eine viel höhere Steifheit der Drehleiter unter Baugruppen hat, können wir die Achse der Hauptwelle der Drehmaschine identisch mit der des Teils betrachten), die in der Querebene gemessen wird, definiert die Gesamt Steifheit.

- Bei festen Arbeitsspindel:

$$R_{pf} = \frac{F_{rpf}}{y_{pf} + y_{sl}} \quad (6.9)$$

- Und bei mobilen Reitstock:

$$R_{pm} = \frac{F_{rpm}}{y_{pm} + y_{sl}} \quad (6.10)$$

- Im allgemeinen Abb. 6.3.

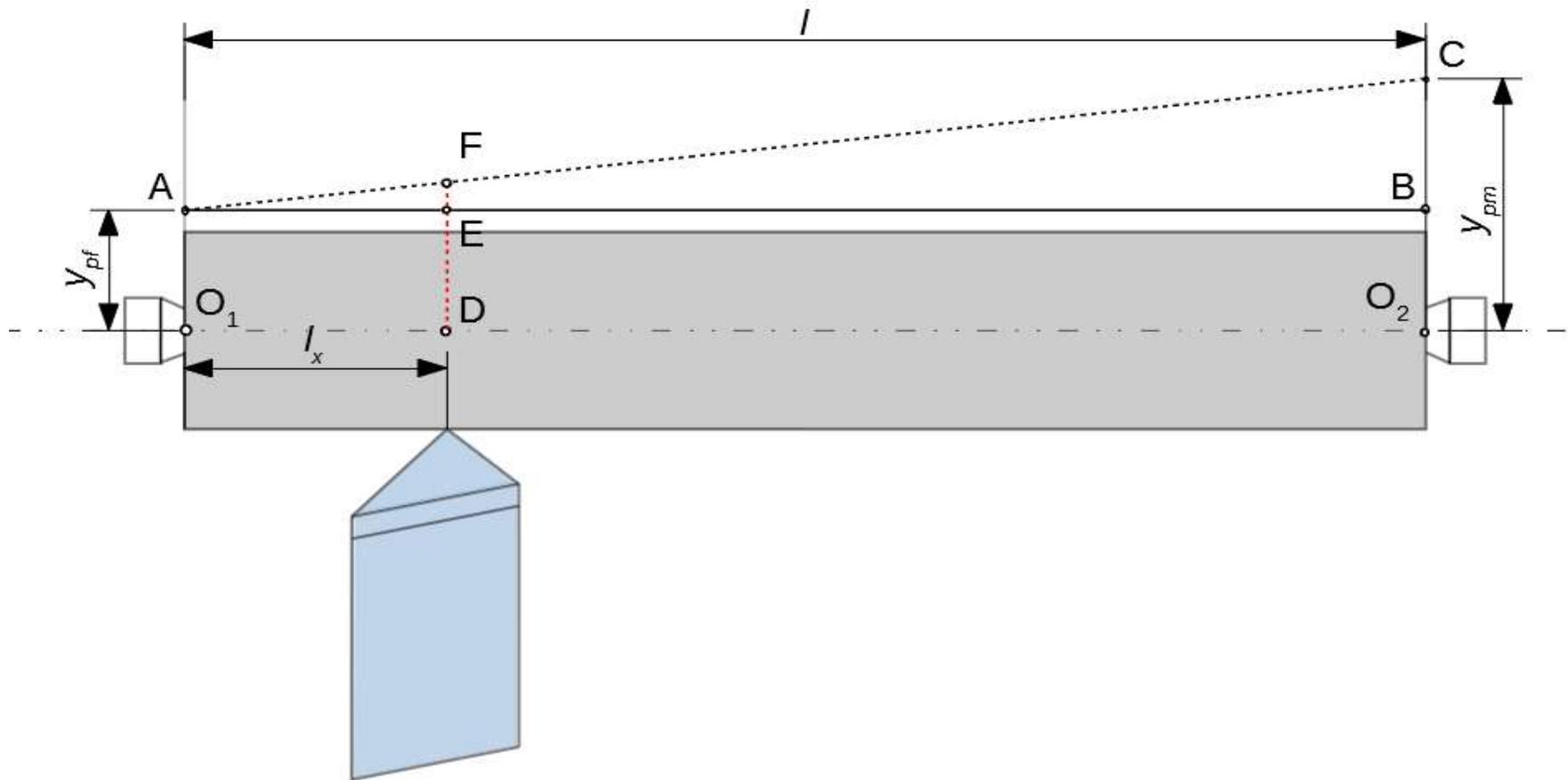


Abb 6.3 Verschiebung der Hauptwelle der Drehmaschine von der Spitze des Schneidwerkzeugs in Bezug auf die Position l_x des Schneidwerkzeugs in Bezug auf dem Spindelstock [5]

- 
- Kraft F_{pf} , die auf die Arbeitsspindel und F_{pm} bzw. auf die mobile Reitstock einwirkend, kann in Bezug auf Kraft F_r geschrieben werden, wobei zu berücksichtigen ist, dass die Momente der beiden Kräfte in Bezug auf den Wirkungspunkt der Kraft F_r gleich sein müssen, wie folgt:

$$M_{F_{pf}(D)} = M_{F_{pm}(D)} \quad (6.11)$$

- Gleichungssystem:

$$\begin{cases} F_{pf} + F_{pm} = F_r \\ F_{pf} \cdot l_x = F_{pm} \cdot (l - l_x) \end{cases} \quad (6.12)$$

- Die Lösung des Systems (6.12) führt zu:

$$\begin{cases} F_{pf} = F_r \frac{l - l_x}{l} \\ F_{pm} = F_r \frac{l_x}{l} \end{cases} \quad (6.13)$$

- 
- Ab Abb. 6.3 kann beobachtet werden, daß die relative Verschiebung der Spitze des Drehmessers in Bezug auf die Achse des Halbherstellers (der Hauptwelle der Drehleiter) gleich DF ist, da die Verschiebung des Längsschlittens y_{sl} hinzugefügt wird. Bedeutend:

$$y_{tot}(l_x) = DF + y_{sl} \quad (6.14)$$

- Wo:

$$DF = y_{pf}(l_x) + EF \quad (6.15)$$

- Aus Abb. 6.3 kann geschrieben werden (basierend auf der Ähnlichkeit von $\triangle AEF$ zu $\triangle ABC$), dass:

$$\frac{EF}{BC} = \frac{AE}{AB} \quad (6.16)$$

- 
- Ersetzen in der Beziehung (6.16) $AE = l_x$, $AB = l$ und $BC = y_{pm(l_x)} - y_{pf(l_x)}$ folgt, dass:

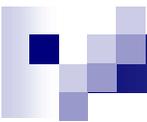
$$EF = \frac{l_x \cdot (y_{pm(l_x)} - y_{pf(l_x)})}{l} \quad (6.17)$$

- Ersetzen in der Beziehung (6.15) ergibt:

$$DF = y_{pf(l_x)} + \frac{l_x \cdot (y_{pm(l_x)} - y_{pf(l_x)})}{l} = \frac{l - l_x}{l} \cdot y_{pf(l_x)} + \frac{l_x}{l} \cdot y_{pm(l_x)} \quad (6.18)$$

- Aus der Beziehung (6.14) und (6.18) ergibt sich, dass die Gesamtverschiebung der Spitze des Drehmessers von der Achse des Halbherstellers in Position l_x geschrieben werden kann:

$$y_{tot(l_x)} = \frac{l - l_x}{l} \cdot y_{pf(l_x)} + \frac{l_x}{l} \cdot y_{pm(l_x)} + y_{sl} \quad (6.19)$$

- 
- Unter Berücksichtigung *des Entsorgungsgrades* und der Bewegungen jeder Unterbaugruppe der Drehmaschine kann das System geschrieben werden:

$$\begin{cases} y_{pf(l_x)} = W_{pf} \cdot F_r \frac{l - l_x}{l} \\ y_{pm(l_x)} = W_{pm} \cdot F_r \frac{l_x}{l} \\ y_{sl} = W_{sl} \cdot F_r \end{cases} \quad (6.20)$$

- Es kann geschrieben werden, indem in der Beziehung (6.19) die Gleichungen im System (6.20) ersetzt werden, die:

$$y_{tot(l_x)} = \left(\frac{l - l_x}{l} \right)^2 \cdot W_{pf} \cdot F_r + \left(\frac{l_x}{l} \right)^2 \cdot W_{pm} \cdot F_r + W_{sl} \cdot F_r \quad (6.21)$$

- Durch Division der Beziehung (21) mit F_r , der Ausdruck des Grades des Versagens des Systems in Position l_x mit dem Ausdruck:

$$W_{tot(l_x)} = \left(\frac{l - l_x}{l}\right)^2 \cdot W_{pf} + \left(\frac{l_x}{l}\right)^2 \cdot W_{pm} + W_{sl} \quad (6.22)$$

- Unter Berücksichtigung der Beziehung (6.4) kann die Beziehung (6.22) geschrieben werden:

$$\frac{1}{R_{tot(l_x)}} = \left(\frac{l - l_x}{l}\right)^2 \cdot \frac{1}{R_{pf}} + \left(\frac{l_x}{l}\right)^2 \cdot \frac{1}{R_{pm}} + \frac{1}{R_{sl}} \quad (6.23)$$

- Im Allgemeinen:

$$\frac{1}{R_{tot}} = \frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} + \dots + \frac{1}{R_n} \quad (6.24)$$

- Wobei R_i die Steifheit der Komponenten des technologischen Systems darstellt:
 - W-M Steifheit;
 - Steifheit des Schneidwerkzeugbefestigungssystems;
 - Steifheit des Schneidwerkzeugs;
 - Steifheit der Befestigung des Teils;
 - Steifheit des Halbherstellers;
 - Uzw.

6.2. Maßnahmen zur Reduzierung von Fehlern aufgrund mangelnder Steifheit von Werkzeugmaschine

- Es gibt zwei Möglichkeiten, die resultierenden Verarbeitungsfehler aufgrund der fehlenden Steifheit von W-M zu reduzieren, nämlich:
 - technologische Maßnahmen,
 - Maßnahmen zur Versteifung von W-M.
- Bei der Verarbeitung ist die T_p -Toleranz des Teils zu berücksichtigen, und die Schneidregelung ist so zu bemessen, dass die Größe der maximalen elastischen Verformung des technologischen Systems es ermöglicht, die Nenngröße in das auf der Zeichnung vorgeschriebene Kontingent einzustufen.
- Spiele in W-M Führungen und Lagern tragen aufgrund der Reaktionen, die im Schneidprozess auf sie wirken, wesentlich zur relativen Verschiebung des Werkzeugs im Verhältnis zur Halbmanufaktur bei. Es ist auch möglich, die Versteifungssysteme mit Schrauben und Verbindungselementen zu ergänzen. Ihre relative Verschiebung kann reduziert werden, indem Spiele auf minimal zulässige Werte reduziert werden und gegebenenfalls bis zur Neugestaltung des gesamten W.M. erreicht werden.[5]

7. Verarbeitungsfehler aufgrund mangelnder Steifheit des Halbherstellers

- Die Steifheit der Werkstück, in der Maschinenbau Industrie, hat einen wichtigen Einfluss auf die Maß- und Formgenauigkeit der verarbeiteten Teile.
- Im Falle des Drehvorgangs sorgen 3 Fälle der Befestigung des Teils an der Drehmaschine, die jeweils eine andere Steifheit gegenüber dem Halbhersteller verleiht, und sorgen implizit für eine differenzierte Verarbeitungsgenauigkeit. Solche:
 - A) – Verarbeitung von Welle mit *Griff im Arbeitsspindelspitze und Reitstockpinole*
- Unter Anwendung der Verarbeitungskraft F_r muss sich die Welle im Sinne der Einwirkung der Kraft biegen und einen maximalen s_{sf} Pfeil in der Mitte ihrer Länge zeigen, d. h. einen minimalen Pfeil auf den Extremitäten gemäß (Abb. 7.1).

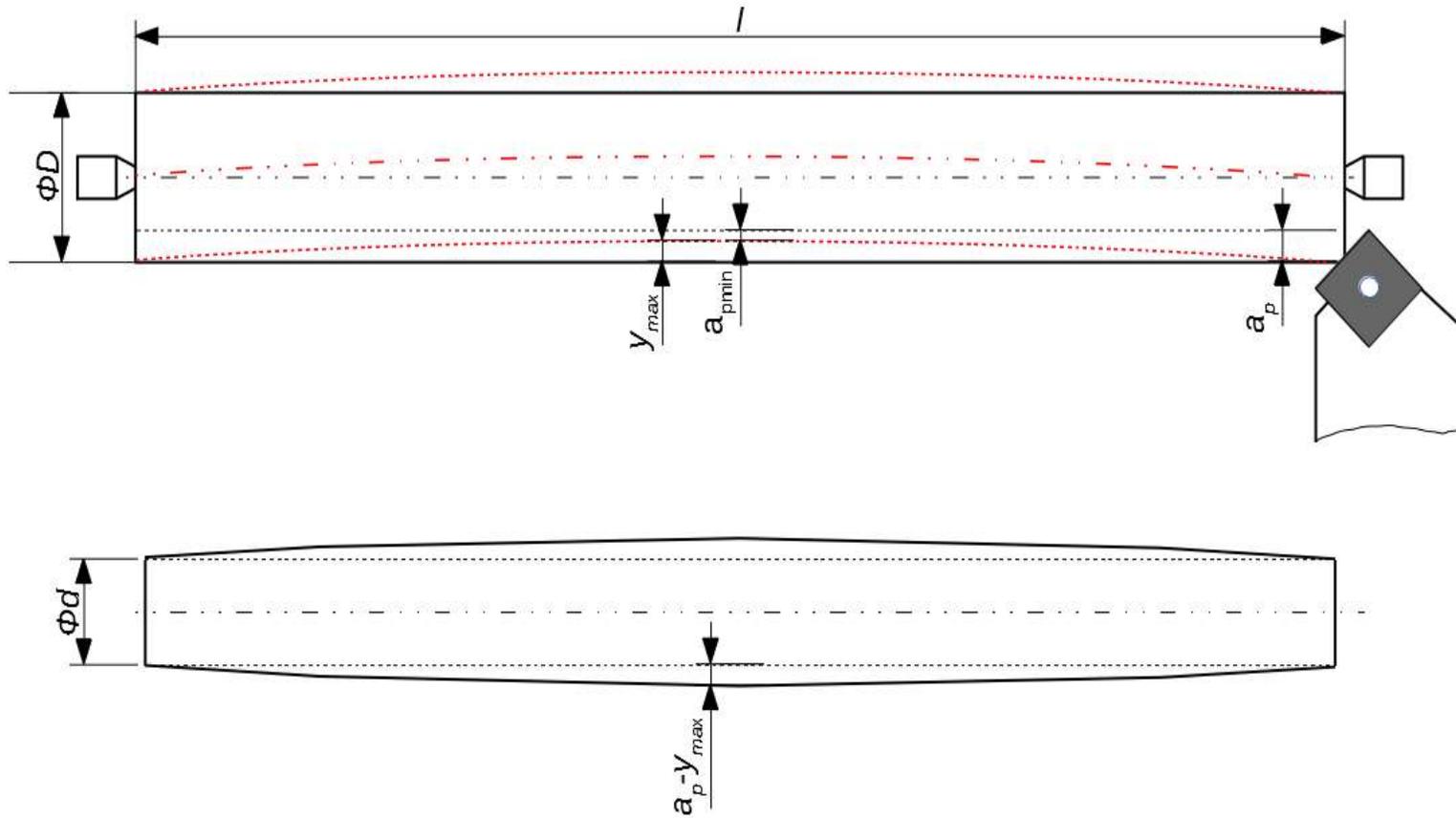


Abb. 7. 1 Vorarbeitsfehler beim Fangen des Welle zwischen den Antriebsspindel und Reifstock [5]

- 
- Das Befestigungsschema ist mit dem eines Doppelbalkens verbunden und die Formel für die Berechnung des Pfeils kann in folgender Form geschrieben werden:

$$y_{sf} = \frac{F_r \cdot l^3}{48 \cdot E \cdot I} \text{ [mm]} \quad (7.1)$$

- Wobei F_r die radiale Komponente der Schneidkraft ist, l – die Länge zwischen den Reasemes (in diesem Fall sogar die Länge des Halbherstellers), E – Youngs Modul ($E = 2,1 \cdot 10^5 \left[\frac{N}{mm^2} \right]$ für Stahl) und I – Trägheitsmoment.

$$R_{sf} = \frac{F_r}{y_{sf}} = \frac{48 \cdot E \cdot I}{l^3} \text{ [da N/m m]} \quad (7.2)$$

- 
- Das Trägheitsmoment wird nach der Form des zu bearbeitenden Profils berechnet.
 - Bei vollen zylindrischen Teilen ist es:

$$I = \frac{\pi \cdot d^4}{32} [mm] \quad (7.3)$$

- Und für röhrenförmige zylindrische Teile:

$$I = \frac{\pi \cdot (D^4 - d^4)}{32} [mm] \quad (7.4)$$

- B) Verarbeitung von Wellen mit *Griff in der Arbeitsspindelfutter* [5]
- Wenn der Halbhersteller in der Konsole gefangen ist, nimmt seine Steifigkeit deutlich ab, wobei die Maßabweichung am rechten Ende der Welle erreicht wird.

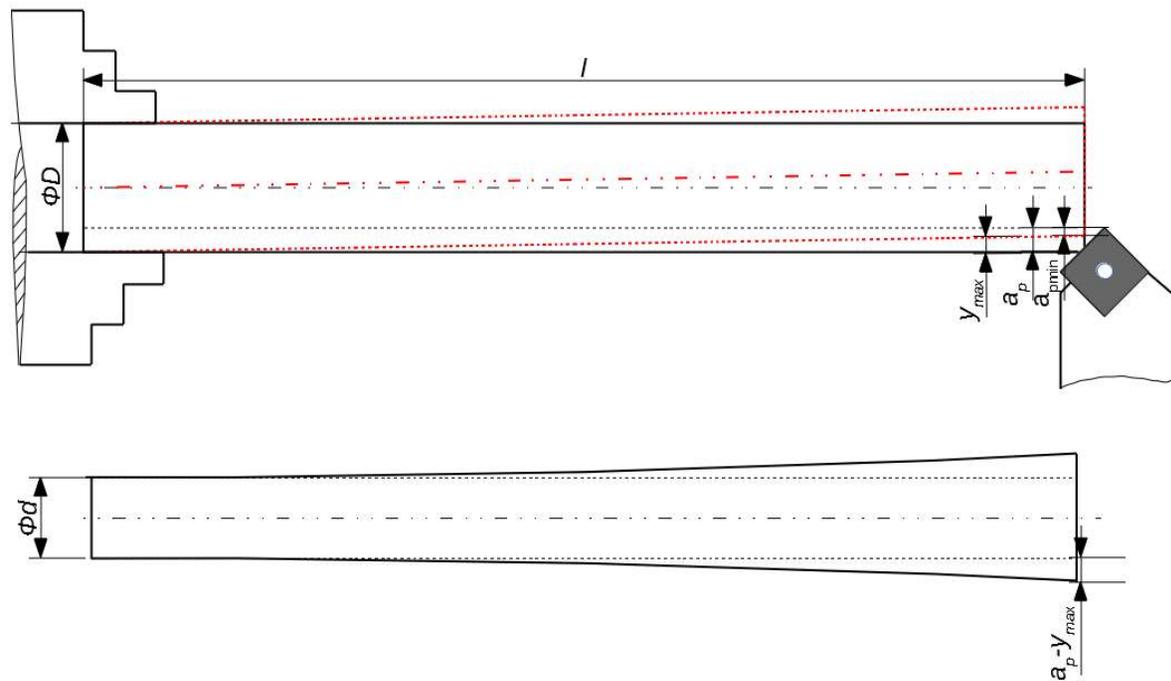


Abb. 7. 2 *Verarbeitungsfehler bei Futtergriffbefestigung* [5]

$$y_{sf} = \frac{F_r \cdot l^3}{3 \cdot E \cdot I} \text{ [mm]} \quad (7.5)$$

- Die Steifheit des Stückes in diesem Fall ist:

$$R_{sf} = \frac{F_r}{y_{sf}} = \frac{3 \cdot E \cdot I}{l^3} \text{ [da N/m m]} \quad (7.6)$$

- C) Befestigung der Welle *in der Arbeitsspindelfutter und im Zentrierspitze der Reitstock*

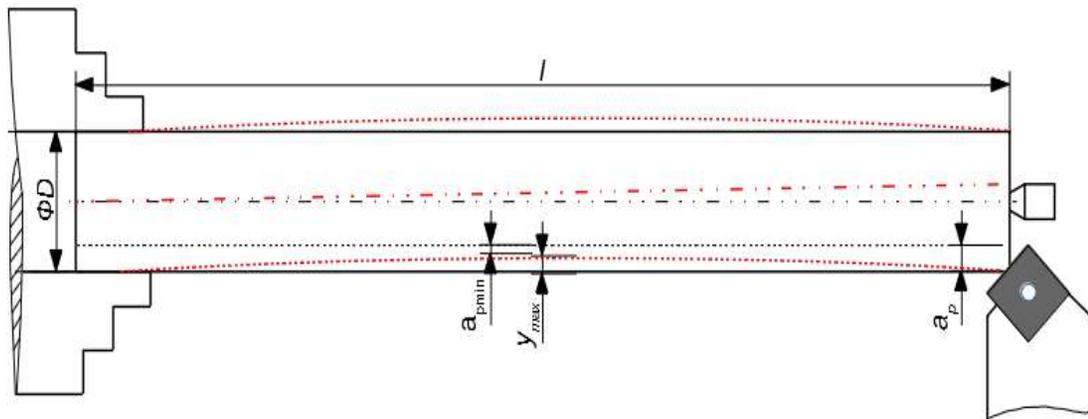


Abb. 7.2 Fangen in der Spindelstockfutter und Unterstütz ein in der mobilen Reitstock


$$y_{sf} = \frac{F_r \cdot l^3}{110 \cdot E \cdot I} \text{ [mm]} \quad (7.7)$$

- Die Steifheit des Teils bei diesem Fang ist:

$$R_{sf} = \frac{F_r}{y_{sf}} = \frac{110 \cdot E \cdot I}{l^3} \text{ [da N/m m]} \quad (7.8)$$

- Der Formfehler ist in diesem Fall ähnlich wie in Fall A) mit dem Hinweis, dass er stark verringert ist, was leicht durch vergleichende Beziehungen (7.1) und (7.8) zu beobachten ist.
- Daraus kann geschlossen werden, dass das Fehlerverhältnis in den 3 Fällen der fixierung des Halbhersteller:

$$\varepsilon_{sf A} : \varepsilon_{sf B} : \varepsilon_{sf C} = 2,3 : 36,66 : 1 \quad (7.9)$$

- Wo:

$$\varepsilon_{sf} = 2 \cdot y_{sf} \text{ [mm]} \quad (7.10)$$

- Fehler in den 3 Fällen werden durch Änderung des Durchmessers entlang der Achse des Halbherstellers manifestiert. Wenn die auf der Zeichnung auferlegten Toleranzen dies zulassen, ist die universelle Fangoption zu wählen, um die Orientierungs- und Befestigungszeiten des Halbherstellers zu verkürzen.
- Bei Wellen mit geringer Steifheit muss ihre Versteifung durch zusätzliche Reasemes erreicht werden. Solche Reasemes werden bei Drehmaschinen als Lünette bezeichnet und können nach ihrer Konstruktion feststehende Lünette oder mitlaufende Lünette sein.



Abb. 7.4 Befestigungssystemen für Drehbearbeitung a) – feststehende Lünette, b) mitlaufende Lünette [11]

- 
- Wenn die Toleranz des Teils dies zulässt, kann eine technologische Maßnahme getroffen werden, die die Quotenanpassung unter Berücksichtigung der Größe der elastischen Verformungen berücksichtigt, die sich aus dem Verarbeitungsprozess ergeben.
 - Um die Form und die Maßabweichungen des Teils zu verringern, können die Schnittregime so angepasst werden, dass die Abweichungen zu minimalen Abweichungen führen. (Abnahme der Schnitttiefe, Verwendung von Hauptangriffswinkeln größer als 90°).

8. Einfluss der Werkzeug Steifheit auf die Verarbeitungsgenauigkeit

- Bei der Verarbeitung von inneren zylindrischen Flächen mit einem Bohrwerkzeuge können Dimension Abweichungen aufgrund des Biegepeil y_s auftreten, der durch der Wirkung der Radialkraft F_r gebildet wird. Wenn das Werkzeug konstant ist und das Werkzeugantriebssystem auf die Spur bewegt (der Fall in Abb. 8.11), bleibt der behaftete Fehler am Durchmesser der Bohrung relativ konstant.

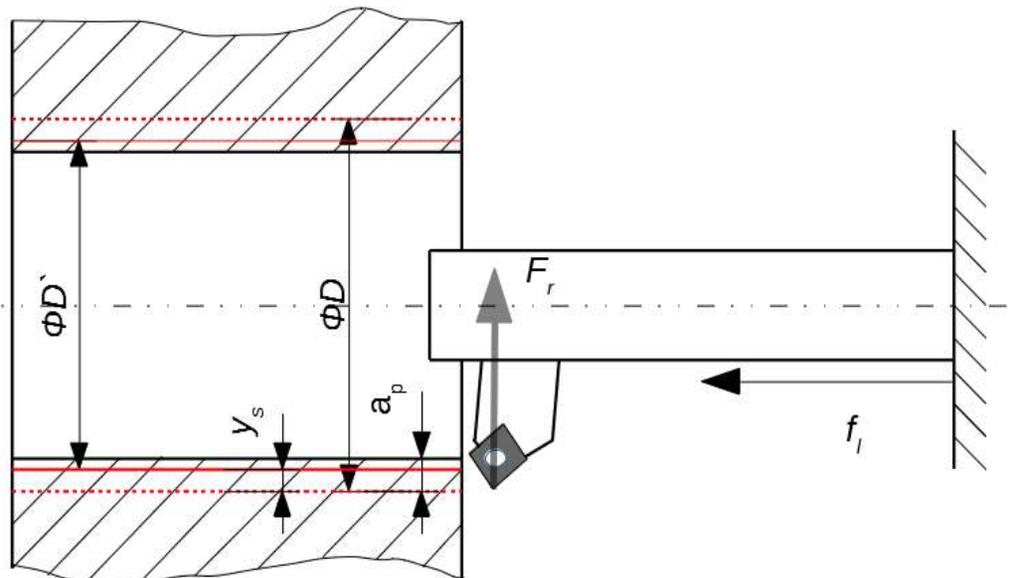


Abb. 8.1 Verarbeitung von Bohrungen mit Werkzeug mit konstanter Länge [5]

$$\varepsilon_D = \varnothing D - \varnothing D' = 2 \cdot y_s = \frac{2 \cdot F_r \cdot l_s^3}{3 \cdot E \cdot I} [mm] \quad (8.1)$$

- Wenn jedoch die Bohrwerkzeug oder die Pinole der gewählten Maschine eine variable Länge haben, dann stellt die Bohrung, die sich aus der Verarbeitung ergibt, zusätzlich zum Meßfehler von ε_D , auch einen Formfehler ε_F
- Der maximale Meßfehler kann in diesem Fall mit dem:

$$\varepsilon_D = 2 \cdot y_s = \frac{2 \cdot F_r \cdot l_{smax}^3}{3 \cdot E \cdot I} [mm] \quad (8.2)$$

- Und der Formfehler:

$$\varepsilon_f = \varnothing D - \varnothing D' = 2 \cdot (y_{si} - y_{sf}) = \frac{2 \cdot F_r \cdot l_{si}^3}{3 \cdot E \cdot I} - \frac{2 \cdot F_r \cdot l_{sf}^3}{3 \cdot E \cdot I} [mm] \quad (8.3)$$

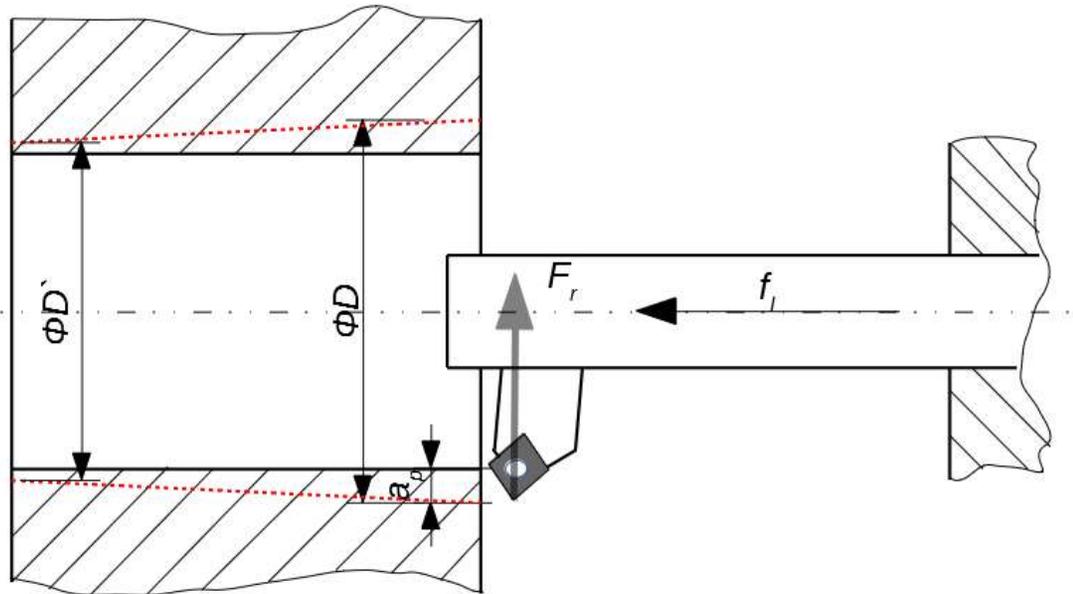


Abb.. 8.2 Verarbeitung von Bohrungen mit variable Länge des Werkzeug [5]

- Um die im Bohrprozess festgestellten Fehler zu korrigieren, können die elastischen Verformungen des Schneidwerkzeugs berechnet und mit den anfänglichen Anpassungen korreliert werden, um innerhalb der Toleranzen der Bohrungsdurchmesser oder ihrer Form zu erhalten. (Fehlerkompensation).

- 
- Bei Bedarf kann das Werkzeug oder der Verbindungselement bei der Bearbeitung an Bohrmaschinen zusätzlich in Antriebsbuchsen (an normalen Drehmaschinen, Drehautomaten, Fräs- und Fräsmaschinen) oder Führungsstücken zurückgelehnt werden.
 - Es ist notwendig, zuerst das Werkzeug oder das Werkzeugs Halter zu versteifen, in dem man robuste Körper wählt, ohne den Material- oder Energieverbrauch zu übertreiben, dann sie mit zusätzlichen Befestigungselementen zu versteifen und schließlich. Wenn die vorherigen Maßnahmen nicht anwendbar sind, wird es geübt die Schneidregime zu wählen, so dass die resultierenden Verformungsschnittkräfte abnehmen, die groß genug sind, um die Abmessungen oder die Form der hergestellten Teile in den Toleranzen anzupassen.



9. Interne Spannungen im Werkstück

- Interne Spannungen bleiben bei den Halbfabrikaten auch wenn keine externe Forderungen gegen den Werkstück bestehen. In der Literatur werden drei Arten von internen Spannungen angegeben:
 - I - solche, die in großen Mengen von Material gebildet sind, vergleichbar mit den Abmessungen der Werkstücken;
 - II – solche, die sich zwischen den kristallinen Körnern des Materials bilden;
 - III – ultramikroskopische Spannungen.
- Die Dimensionen, die das Stück aus dimensionaler Sicht beeinflussen können, sind die des Typs I. So werden die Hauptfaktoren, die das Entstehen interner Spannungen bestimmen, die konstruktiven und technologischen.

- 
- *Konstruktive innere Spannungen* werden durch die entworfene/konstruktive Form des Werkstücks verursacht oder ausgearbeitet. *Interne technologische Spannungen* werden durch den technologischen Verarbeitungsprozess verursacht.

 - Die Hauptursachen, die zur Entstehung von inneren Spannungen in der Halbfabrikat führen, sind:
 - Veränderung des Volumen des Werkstück unter Einwirkung von ungleichmäßiger Erwärmung und Kühlung;
 - Volumenänderung infolge ungleichmäßiger elastisch-plastischer Verformungen;
 - Volumenänderungen während Phasenänderungen.

- Bei ungleichmäßigem Heizen und Kühlen des Materials dehnt es sich aus und zieht sich im Laufe der Zeit ungleichmäßig zusammen, was zu Volumenunterschieden führt. Wir betrachten ein prismatisches Stück in° Abschnitt einem Erwärmungsprozess bis zu einer Temperatur von 700 °C unterzogen und dann abkühlen gelassen. Das Material draußen neigt dazu, schneller als der Kern des Ausgangs zu kühlen, so wird es dazu neigen, Kompression des Kerns von innen zu erfordern(noch im Plastischen Zustand). Da das Material nicht komprimierbar ist, wird die äußere Schicht beim Dehnen benötigt Abb. 9.3-a). Wenn der Kern zu kühlen beginnt, beginnt er sich zusammenzuziehen und wird bei der Kompression benötigt und die äußere Materialschicht wird bei der Kompression benötigt Abb. 9.3-b) .

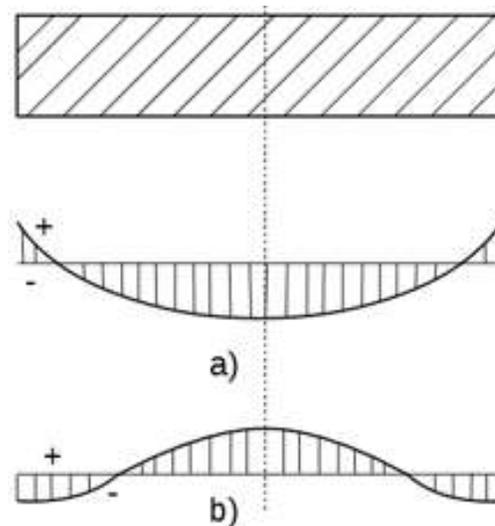


Abb. 9.3 Verteilung der inneren Spannungen beim Abkühlen des Stückes [9]

- 
- Bei Abhängig von der Fertigungstechnologie des Werkstück, können interne Spannungen in Teilen auftreten bei:

- Gießen;
- Schmieden oder Warmformen;
- Schweissen;
- Härten;
- Zerspanen;
- Umformen;
- elektrostatische Beschichtungen.

- 
- Beim *Gießenentstehen* die Spannungen durch die ungleichmäßige Kühlung der verschiedenen Teile des Werkstück, die entweder durch die große Streuung in der Größe des Teils in einigen Bereichen oder durch die unterschiedlichen Kühlbedingungen der Teilebereiche verursacht wird. Die Hauptursache für die Bildung von Innenspannungen in Gussteilen ist die thermische Bremsung der Kontraktion durch partielle Erstarrung von variablen Schnittteilen. [9] Wenn die Erstarrung eingeleitet wird, verhindern die dicken Wände/dicken Bereiche des Stückes die Kontraktion der Wände/dünnen Bereiche und es besteht die Anforderung, letztere zu dehnen, und dann, nach dem Abkühlen der dünnen Wände, die Erstarrung der dicken Wände, die Anforderungen an die Umkehr, d.h. die dünnen Wände, die aufgrund der Kontraktion der dicken Wände für die Kompression erforderlich sind, und die dicken, die an der Dehnung erforderlich sind. Eine Bremsung der Kontraktion bestimmter Bereiche kann auch durch die Form verursacht werden, wenn sie mit unterschiedlichen Projektionen oder Rippen ausgestattet ist.



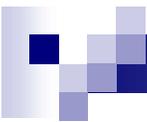
- Technologische Maßnahmen zur Vermeidung oder Beseitigung interner Spannungen beim Gießen:

- rationale Gestaltung der Teile durch Verwendung von Formen, um Spannungen in den Funktionsbereichen der Teile zu verhindern;

- Verwendung geeigneter Materialien (Chromschriff, Perlitische, Bronze, usw.)

- Optimierung von Gießverfahren.

- Interne Spannungen treten in heißen Kunststoffverformungsteilen wie Schmiede- und Formvorgängen auf. Die Hauptursache ist in diesem Fall eine ungleichmäßige Kühlung der Materialien. Spannungen sind höher, wenn nicht-rationale Formen oder Formen mit geringer Steifheit verarbeitet werden.

- 
- Nach der Anwendung von *Wärmebehandlungen* auf die Teile treten ungleichmäßige Abkühlung und sogar strukturelle Veränderungen auf. Diese Spannungen können zu Verformungen der Teile und in einigen Fällen sogar zu deren Rissbildung führen.
 - Der *Schweißvorgang* umfasst das Erwärmen einiger Bereiche des Teils zum Schmelzpunkt, dann das Kühlen und Erstarren. Dieser schnelle Prozess führt zur Ausdehnung des Materials in den thermisch betroffenen Bereichen und während der Kühlung wird die Kontraktion des Materials durch das Material in den angrenzenden Bereichen verhindert. In der Ladefläche der Schweißnaht entstehen während der Kühlung Spannungsstöße der Dehnung des Materials. Das Auftreten von Innenspannungen im Schweißprozess kann durch die korrekte Konstruktion des Teils und durch die korrekte Ausführung des Schweißvorgangs durch die Annahme eines rationellen Schweißregimes verhindert werden.
 - Die kalte plastische Verformung der Materialien erfordert die Anwendung des Materials in einigen Randbereichen an der Dehnung, und das Material im Inneren ist bei der Kompression erforderlich. Interne Spannungen treten durch die Ecrusierung des Materials auf und werden als Ecrusierungsspannungen bezeichnet.

- 
- Interne Spannungen treten *durch den Schneidprozess* aufgrund mehrerer Faktoren auf:

- Das Material in der Oberflächenschicht ist verformter Kunststoff und wird somit gehärtet, und seine Volumenzunahme wird durch das Material in den inneren Schichten des unverzerrten Stückes behindert. Das Material von außen unterliegt Kompressionsanforderungen, und das Innenmaterial wird gedehnt;

- ein weiterer Mechanismus zum Umformen von Innenspannungen ist die große Wärmemenge, die während des Schneidprozesses durch die Verformung des zersplitterten Materials, das Material im Stück, das durch das Schneidwerkzeug zurückgelassen wird, die Reibung des Materials im Werkzeugschneiden und die Reibung zwischen der Werkzeugverlegungsfläche und dem Werkstück freigesetzt wird. Bei Operationen wie Drehen kann das Oberflächenmaterial im Stück Temperaturen bis 800 °C erreichen oder bei Korrekturen Werte bis 1200 °C erreichen.

- 
- Bei Schneidprozessen gehärteter Materialien basiert die Streuung des Materialvolumens neben dem Erhitzen und Kühlen des Bauteils und Phasentransformationen, die aufgrund der erreichten hohen Temperaturen in den Oberflächenschichten des Stückes auftreten können. So kann auftreten: - Zersetzung der Restaustenitisch; - die Umwandlung von tetragonalen Martensit in kubischen Martensit, die Bildung mechanischer Mischungen von Ferrit und Karbiden; - Bügeln, d.h. Rückführung des Materials durch wiederholtes Erhitzen und Kühlen in der Luft, Emulsion, Wasser oder Ölnebel – bei minimaler Schmierung. Spezifische Maßnahmen zur Beseitigung oder Bewältigung des interner Spannungen sind:

- die Verwendung von Vorhaben, die kleine Abschnitte des Schneidens erfordern, und besondere Aufmerksamkeit auf den Vorschuss zu legen;

- die Verwendung von ungetragenen Werkzeugen, die kleine Spitzenstrahlen zeigen (um das Auftreten von Vibrationen und großen Sitzwinkeln zu vermeiden, um Reibung zwischen der Verlegefläche und dem Material im Stück zu vermeiden;

- die Verwendung von Kühlmitteln bzw. Schmierung.

- 
- Um das Wegwerfen von Teilen durch übermäßige Verformung durch innere Spannungen zu vermeiden, die zu der Unmöglichkeit der Montage oder sogar des Risses oder Brechens führen können, sollten zusätzliche Maßnahmen durchgeführt werden, um interne Spannungen (teilweise oder wenn möglich vollständig) zu beseitigen oder wenn sie nicht entfernt werden können, um sie zu standardisieren.
 - Natürliche Alterung beinhaltet einen Zeitrahmen in der Größenordnung von Wochen oder sogar Monaten zwischen dem Gießprozess und dem Verarbeitungsprozess durch Schneiden oder zwischen der Verarbeitung von Verdickung und Veredelung. Sie gilt in der Regel für Stöcke, Werkzeugmaschinentische und Motorblöcke (große Teile).
 - Vibrationen sind eine weitere Methode der Entspannungen und werden auf Tischen mit Vibrationsdruckmechanismen oder mit Hilfe von Ultraschall durchgeführt.
 - Andere künstliche mechanische Methoden sind Hämmern und Schleifen.

- 
- Bei geschweißten Teilen erfolgt die Entspannung der Schweißbänder durch Beladen des Schweißbandes mit mehreren Schichten, so dass die Erwärmung des Kabelkerns nach dem Auftragen jeder Schicht so langsam wie möglich durchgeführt werden kann.
 - Die teilweise oder vollständige Entspannung von Stahl- oder Gusseisenteilen erfolgt durch eine Deeskalations-Re-Cooking-Behandlung, bei der das Teil unter die kritische Temperatur A1 geheizt wird, die Temperatur für 4-6 Stunden erhalten bleibt und langsam gekühlt wird, in der Regel im Ofen mit Geschwindigkeiten von bis zu 30 °C/Stunde.
 - Die Beseitigung der inneren Spannungen beginnt mit dem Erreichen von Temperaturen von 450 °C. Fast vollständig werden Spannungen bei einer Temperatur von 600-650 °C eliminiert. Hohe Rückkehr auf 600 °C begünstigt die Erlangung in der Metallstruktur des Sorbit (Mischung aus Ferrit und kugelförmiger Zementits), wodurch der Stahl gewinnt Festigkeit und Biegezugfestigkeit Eigenschaften. [10]

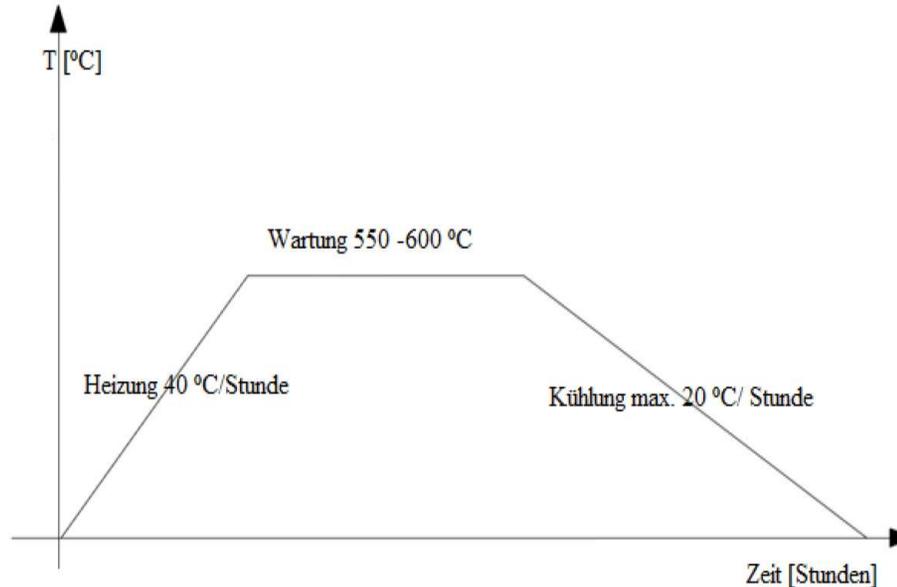
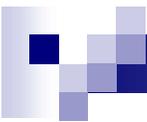


Abb. 9.4 Wärmebehandlung Entspannungen [2]

- Die Entspannung bei niedrigeren Temperaturen 150 -250 °C erfolgt bei Teilen, die einer wärmehärtenden Behandlung unterzogen werden und deren Härte durch den aus tetragonalen Martensit dem gewonnenen kubischen Rücklaufmartensit gegeben wird. Nach dem geringen Rücklauf ist kubischer Martensit hart, aber weniger zerbrechlich. [10] Je nach erforderlicher Genauigkeit können die Entspannungen sukzessive durchgeführt werden, so oft wie nötig, indem die Temperatur auf 150-170 °C gesenkt wird, durchsetzt mit den Veredelungsvorgängen. Dies ist notwendig, da sich das Stück nach jeder Entspannungsoperation aufgrund der Beseitigung von inneren Spannungen verformen kann und dies die Maßgenauigkeit beeinflussen kann. [2]

- 
- Eine hohe Rendite auf 600 °C begünstigt die Herstellung von Sorben in der Metallstruktur (Mischung aus Ferrit und kugelförmiger Zementit).
 - **Thermische Behandlung zur Verbesserung**
 - Die Wärmebehandlung, durch die sowohl die Härtung als auch die Entspannung (teilweise oder vollständig der Teile) durchgeführt wird, ist die der *Verbesserung*.
 - Bei Teilen mit einem Kohlenstoffgehalt zwischen 0,25 und 0,8 % wird die Temperatur um 50 °C über dem kritischen Punkt A1 angehoben, und bei Stählen mit einem Kohlenstoffgehalt von >0,8 % wird die Temperatur um 500 °C über dem Punkt A3 erhöht. Die Wärmehaltung muss für einen Zeitraum von 20 bis 30 min durchgeführt werden und die Kühlung erfolgt in Wasser, Öl oder Luft. Um das Auftreten von Rissen zu vermeiden, können die Kätzchen gegebenenfalls abkühlen und im Salzbad. Offensichtlich begünstigt die Wärmebehandlung der Temperierung aufgrund der in der kurzen Zeit erreichten schnellen Abkühlung das Auftreten von inneren Spannungen aufgrund der Strukturen kristalliner Körner. Die Härte des Materials erhöht sich auf den Wert. $HRC \approx 20 + 60 \cdot (\%C)^{1/2}$.

- 
- Die Rückkehr erfolgt bei einer Temperatur unter A1, wobei bei dieser Temperatur gehalten wird und im Ofen nach dem Diagramm in Abb. 9.4.

- Rücklauftemperaturen für verschiedene Teiletymen:

- Verbesserung Stähle oder Oberflächenwärmehhandlung – 150 ...220 °C;

- Bügelstähle nach dem Härten – 150 ... 220 °C;

- Einlagerziel – 150 ... 220 °C;

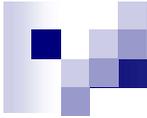
- Stahlwerkzeuge für die Kaltverarbeitung – 100 ... 300 °C;

- Stahlwerkzeuge für die Warmverarbeitung – 350 ... 700 °C;

- Schnelle Stähle – 530 .. 580 °C (2 bis 4 Zyklen);

- Bogenstahl – 400 ... 500 °C;

- Verbesserungsstähle – 530 ... 670 °C.



- Rückführung können sein: - *geringe Rückführung* – 150 ... 250 °C;
 - Durchschnittliche Rückführung – 250 ... 500 °C;
 - Hohe Rückführung – 500 ... 680 °C.

- Gekaufte Materialzertifikate werden von Empfehlungen (einschließlich Diagrammen) für die Wärmebehandlung begleitet, die auf das Material angewendet werden können.



10. Einfluss von Schwingungen im Zerspanungsprozess auf die Genauigkeit

- Das Vorhandensein von Vibrationen im Schneidprozess ist üblich und beeinflusst die Produktivität und Verarbeitungsgenauigkeit negativ. Das Auftreten von Schwingungen ist auf das periodische Auftreten von erregenden Kräften im Prozess und auf die relativ elastische Natur des technologischen Systems zurückzuführen.
- Je nach Art können Vibrationen sein:
- *eigenen Schwingungen*: haben eine Oszillationscharakteristik des technologischen Systems und treten in der Regel als Folge von Schocks auf, jedoch werten sie relativ schnell ab;
- *Erzwungene Schwingungen*: resultieren aus der Wirkung auf das technologische System periodischer langanhaltender Schwingkräfte. Diese Schwingungen drücken am Ende ihre eigene Schwingungsfrequenz auf das Verarbeitungstechniksystem;
- *Selbstschwingungen*: treten im Schneidprozess auf, auch wenn es keine Schwingungen der Verarbeitungskraft beinhaltet oder das Stück kein dynamisches Ungleichgewicht aufweist.



- *Eigene Schwingungen* sind auf die Existenz von *Frequenzen*, die für das technologische System (Werkzeugmaschine, System-Befestigung - Werkzeug - Stück) der Schwingung spezifisch sind. In der Literatur sind sie auch als natürliche *Frequenzen bekannt*. Ein wichtiges (relativ vorteilhaftes) Merkmal von ihnen ist, dass ihre eigene Frequenz relativ stabil ist und so identifiziert werden kann, dass sie im Falle der Präzisionsverarbeitung vermieden werden kann. Sie haben eine kurze Zeit, wenn sie nicht im Resonanzbereich von W-M sind.

- *Erzwungene Vibrationen* verursacht von:

1) - *Periodische Kräfte*, die von außen durch die M-U-Stiftung übertragen werden – ist der Fall, wenn man sich dem Arbeitssystem einem anderen W-M- oder technologischen System nähert, das starke Schwingungen erzeugt, die in das Fundament übertragen werden. Die Verstärkung dieser Schwingungen kann in einigen Fällen auch auf die Koinzidenz zwischen der Schwingungsfrequenz der Störmaschine mit der Frequenz des eigenen technologischen Systems von Interesse zurückzuführen sein.



2) Diese Schwingungen können durch Elemente *in der Ungleichgewicht* in das System eingesetzt werden, wie: - das Getriebe des M-U, die Vortriebsbox, Pumpen, Elektromotoren, Werkzeuge von erheblichen Abmessungen nicht dynamisch ausbalanciert oder das Werkstück. Als Maßnahme zur Vermeidung des Auftretens dieser Schwingungen wird ein dynamisches Auswuchten rotierender Komponenten empfohlen.

3) *Diskontinuierliche Schneidprozesse* wie Räumen, Fräsen oder *Diskontinuität von Arbeitsflächen*, die z.B. für Bruchkronen oder Oberflächen mit Schwingungsspuren aus früheren Operationen oder Phasen charakteristisch sind.

- Selbstschwingungen werden durch die Schwingung der Kraft erzeugt, die sie erzeugt.



- Sie sind auf folgenden Anlieger zurückzuführen:

- Variable Anstrengungen durch Schneiden des Schneidens im Schneidprozess;

- Änderung der Reibungsbedingungen zwischen dem Werkzeug und dem halbfertigen Schneiden oder Schneiden (wenn die Zufuhr von Schneidflüssigkeiten oder Schneidflüssigkeit unterbrochen wird, hat keine ausreichenden Eigenschaften mehr;

- Wertänderung der Schnittkraft durch Variation der Schnitttiefe oder Nichthomogenität des Schneidmaterials. Wird die Verarbeitung auf einer zuvor verarbeiteten Oberfläche durchgeführt und Werden Unregelmäßigkeiten systematisch auf der Oberfläche des Halbherstellers verteilt, so können sie durch ihre sich wiederholende Natur kontinuierliche, sich wiederholende Schwingungen erzeugen. Diese Schwingungen werden *als regenerativ bezeichnet*.

- Variation der Schnittwinkel (Abrechnung und Clearance) während des Verarbeitungsprozesses, die in den meisten Fällen Änderungen der Schnittkraft mit sich bringt;

- Mangelnde Starrheit des technologischen Systems.



10.1. Maßnahmen zur Reduzierung oder Beseitigung von Vibrationen

- Sowohl auf technologischer als auch auf Prozessebene sollten Maßnahmen zur Vermeidung oder Verringerung von Vibrationen im Schneidprozess ergriffen werden.

- Aus der Sicht von *das technologischen Systems*:
 - Erhöhung der Steifheit des technologischen Systems;
 - Abnahme der schwingenden Massen (Anwendung moderner Technologien wie SLS oder SLM beim Bau von Schneidwerkzeugkörpern);
 - Verringerung der Geschwindigkeit des Werkzeugs oder Teils, die exzentrisch zur Verringerung der Fliehkräfte darstellt;
 - Isolierung von präzise W-M durch unabhängige Fundamente;
 - Versteifung der Elemente mit zusätzlichen Unterstützungen.

■ Aus *technologischer* Sicht wird empfohlen:

- Die Verwendung von Werkzeugen mit hohen Angriffswinkeln ($\chi_1 > 75^\circ$, wodurch die radiale Komponente der Schnittkraft nach Abb. 2.12. reduziert wird);

- Verwendung von Werkzeugen mit positiven Abstandswinkeln und Fasen mit negativen Spanwinkeln oder Rundungen aus der Werkzeugkonstruktion der Schneidkante (Kantenrundungsradius – 3- 15 μm);

- Vermeidung der Verwendung von gebrauchten Werkzeugen;

- Verkleinern der Konsolenlänge von Werkzeugen;

- Verwendung von gebogenen Meißel bei Hobeln;

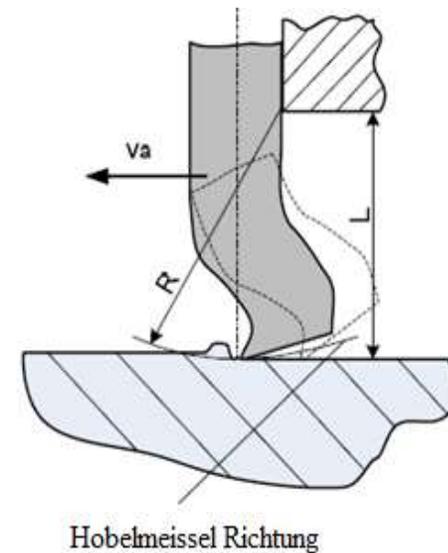


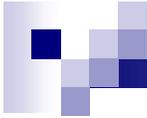
Abb. 10.19



11. Einfluss der thermischer Verformungen des technologischen Systems auf die Bearbeitungsgenauigkeit

11.1. Thermische Verformungen von Werkzeugmaschinen

- Thermische Instabilität entsteht durch Erhitzen verschiedener Komponenten der Werkzeugmaschinen unter dem Einfluss von Wärmequellen. Diese Quellen können wie folgt kategorisiert werden:
 - *Innenräume*: Antriebsmotoren, Zahnräder, Wälz- oder Gleitlager, Kupplungen, Pumpen, hydraulische oder pneumatische Systeme usw. und sogar die durch den Schneidprozess selbst erzeugte Wärme;
 - *Außen*: sind solche, die unabhängig von der konstruktiven Lösung der Werkzeugmaschinen oder Parameter des Schneidprozesses existieren. Zu diesen Quellen gehören: - Sonneneinstrahlung, Heißluftströme (Heizungen), Heizkörper.



- Der Grad der Beeinträchtigung der Genauigkeit der Verarbeitung wird durch die Beziehungen angegeben:

$$\Delta l = l_0 \cdot \alpha \cdot \Delta t [mm] \quad (11.1)$$

$$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta t [mm^3] \quad (11.2)$$

- Wie sich auch aus den Gl. (11.1) und (11.2) ohne lineare und volumetrische thermische Dilatationskoeffizienten ersehen lässt, werden die großen Bauteile, insbesondere in Richtung der Messung der Abmessungen des bearbeiteten Teils, maßgeblich zur Verarbeitungsgenauigkeit beitragen.

11.2. Thermische Verformungen des Schneidwerkzeugs

- Die mechanische Arbeit, die notwendig ist, um den Splitter aus dem Halbfabrikat zu entfernen, um die Reibungskraft zwischen dem Splitter und dem Schneidwerkzeug und die Reibungskraft zwischen dem Werkzeug und dem halbfertigen Werkzeug zu überwinden und die zum Scheren des Materials notwendige in Wärme umgewandelt wird.

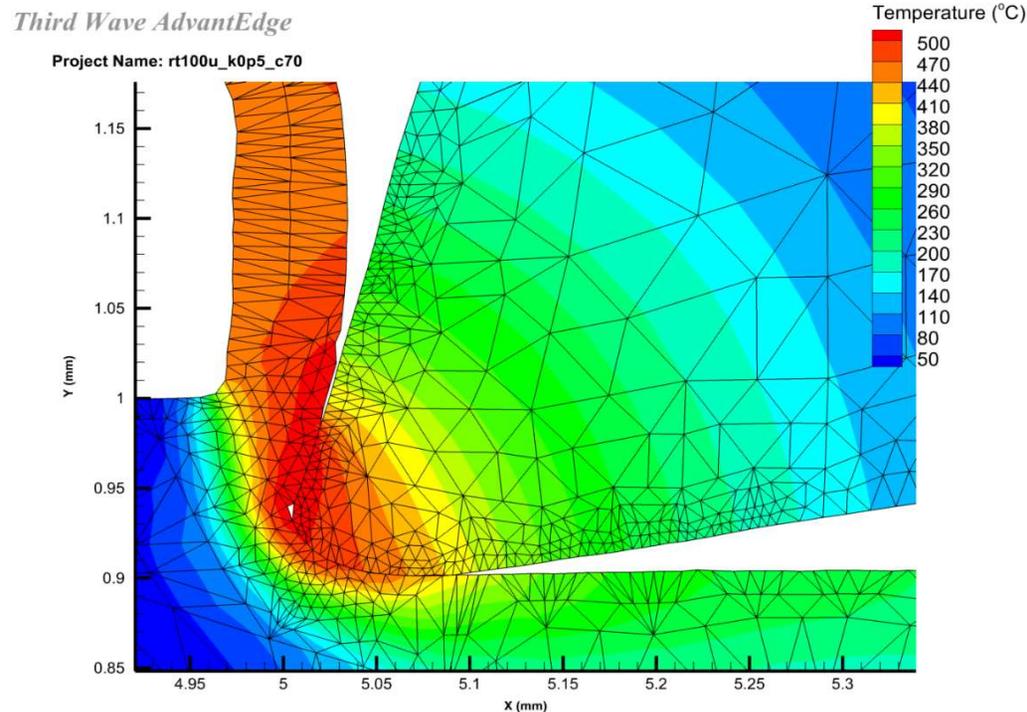


Abb. 11. 1 Temperaturverteilung in der Werkzeug durch den Zerspanungsprozess [13]

- Die hohe Temperatur (in einigen Fällen über 600 °C und manchmal mehr als 1000 °C), bei der das Werkzeugspitze erreicht, führt zu:
 - Reduzierung der physikalischen und mechanischen Eigenschaften des Materials, aus dem es hergestellt ist, wodurch Festigkeit, Härte, Verschleißfestigkeit beeinträchtigt werden;
 - die Verwendung von Kühlmitteln wird der Oxidations- und Diffusionsprozess beschleunigt;
 - Erhöhung des Risikos von Rissen durch Temperaturschocks;

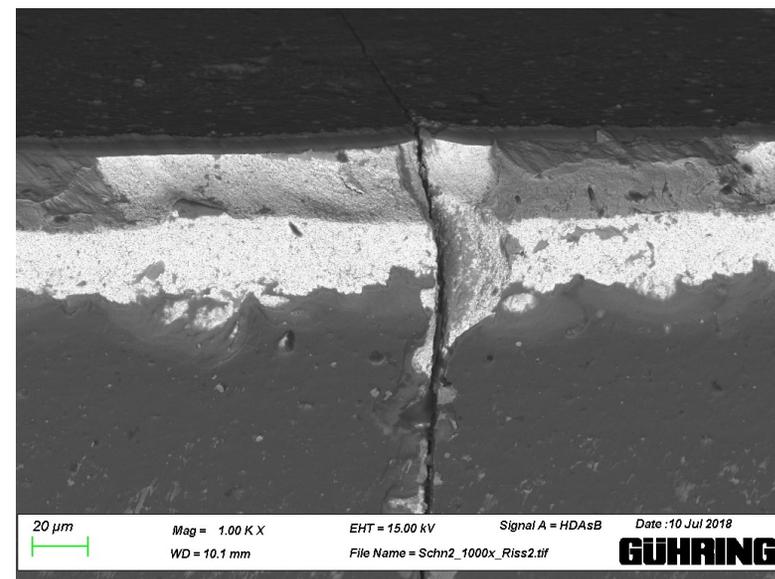
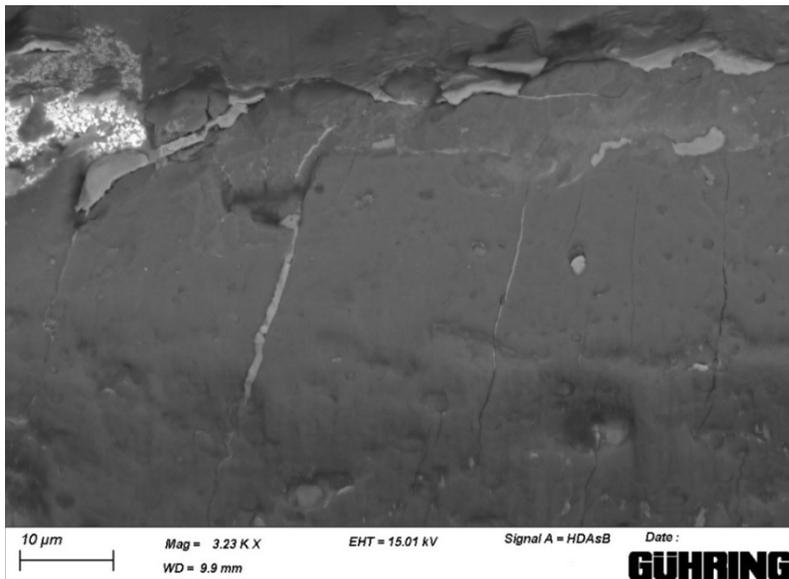


Abb. 11.2 Mikrorisse in der Werkzeugbeschichtung (Quelle : Gühring Cluj Napoca)

- Beschädigung der Schneidkante des Werkzeugs;

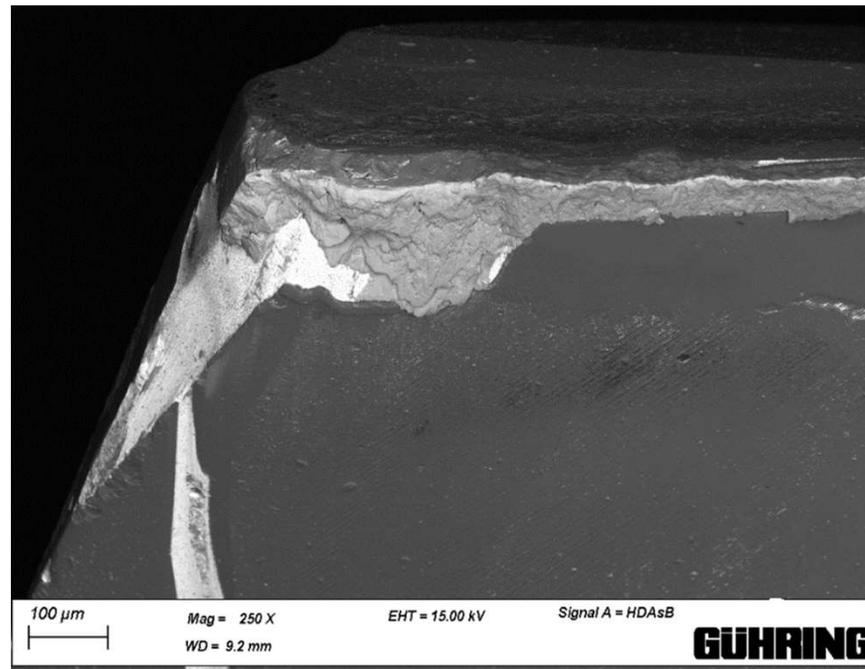


Abb. 11.3 Beschädigung der Kante des Bohrer (Quelle : Gühring Cluj Napoca)

- Die im Schneidprozess freigesetzte Wärme ist das Ergebnis des Energieverbrauchs (je nach Beziehung (2,48), und hängt daher von *der Schnitkraft* und *der Geschwindigkeit* ab, mit der der Prozess stattfindet. Wenn die Geschwindigkeit zunimmt, wird die Zeit, in der Wärme in den Span und die Umgebung abzuleiten kann.

- 
- Gleichzeitig hängt die Temperatur, im Schneidprozess, vom Wärmeleitfähigkeitskoeffizienten des Werkstück Material ab. Somit ist ein Material mit geringer Wärmeleitfähigkeit (der Fall von rostfreien Stählen $\lambda=15$ [W/m·K] oder solche, die mit Ni verbündet sind, wobei $n=19$ [W/m·K]), nimmt die im Schneidprozess freigesetzte Wärme nicht im Gegensatz zu einem Material mit höherer Wärmeleitfähigkeit (Stahl = 43 [W/m·K] oder Gusseisen =49 [W/m·K]).
 - Nach [5] ist die Wärmemenge des Werkzeugs gering (bei Drehen 4 .. 4,5 % und 20 % bei Bohren) ist sie unter Berücksichtigung der Massenanteile zwischen dem Werkzeug und dem Werkstück von besonderer Bedeutung.

11.3. Thermische Verformungen des Werkstück

- Die thermische Verformung des Halbherstellers ist besonders wichtig bei der Bestimmung der Genauigkeit der Bearbeitung Prozess. Dies wird durch die Verarbeitungsparameter des Prozesses, die Wärmeleitfähigkeit des Materials, die Masse des Werkstück, der linearen und volumischen Thermischeausdehnungskoeffizient, die mechanische Festigkeit des Verarbeitungsmaterials bestimmt. Man kann das Stück in Bezug auf die Größen oder in Bezug auf Form und relative Positionsgenauigkeit beeinflussen.

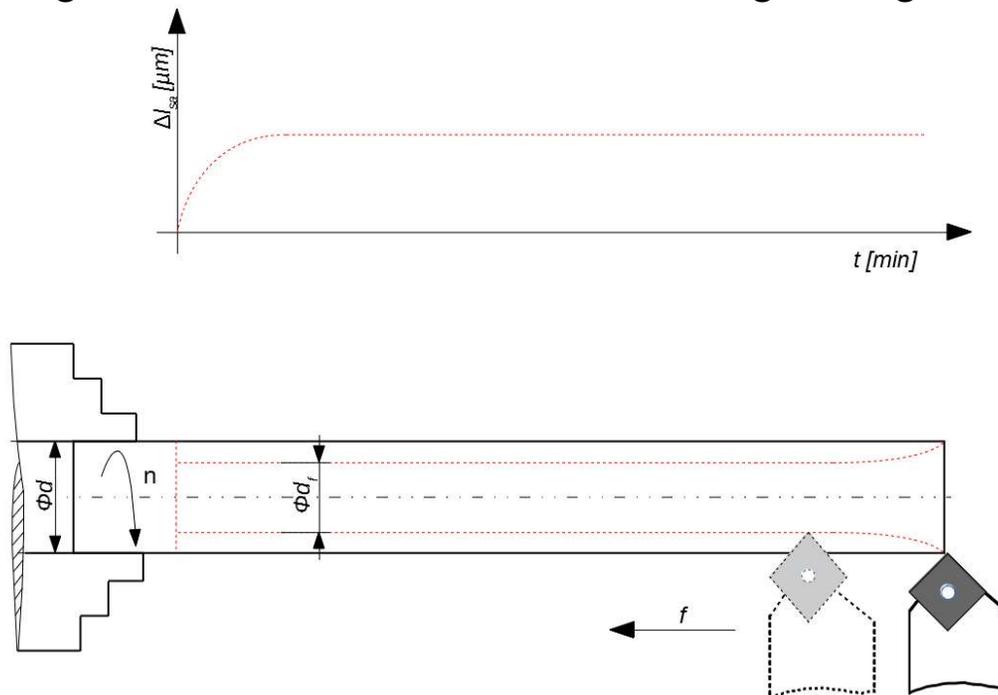


Abb. 11. 3 Einfluss der thermischen Dilatation des Schneidwerkzeugs auf den Außendurchmesser [5]

9.4. Maßnahmen zur Reduzierung von thermische Verformungsabweichungen

- Um die Temperaturen im Schneidprozess zu reduzieren, wird empfohlen, emulgierende *Kühlschmierstoff* mit hohem Durchfluss oder mineralischen oder synthetischen Ölen zu verwenden. Es hat eine doppelte Rolle – Kühlung und Schmierung der Kontaktfläche zwischen dem Werkzeug und dem Werkstück und dem Zerspanungsprozess. Diese Flüssigkeiten haben auch die Rolle, den Span aus dem Bearbeitungsbereich zu entleeren (eine Funktion, die bei *Tiefenbohr-* oder *Gewindebohren* als wesentlich erachtet wird). Nach der Anwendung kann der Modus mit hohem *Durchfluss* und *Druck* oder in Form von *Nebel* zum Bearbeitungsbereich transportiert werden. Nach dem Konstruktion der Schneidmaschine bzw. des Werkzeugs kann die Kühlung durch die Düsen der Maschine (außen) oder durch die Kühlkanäle des Schneidwerkzeugs (Innenkühlung) erfolgen. Gleichzeitig schützt die Verwendung von Kühlmitteln die W-M Elemente, das Werkzeug und das Werkstück vor Korrosion.

- 
- Wenn der **Verarbeitungsprozess** keine hohen **Berarbeitungsgeschwindigkeiten** vorsieht, dann ist die **Hauptrolle** der **Schneidflüssigkeit** **Reibungen** zu **reduzieren** und es wird empfohlen, das **Öl** zu verwenden. **MQL** (**Minimum Quantity Lubrication**) oder **MMS** (**Minimalmengeschmierung**) **Technologie** wird verwendet, um die **Schnittkräfte** und den **Kontakt** zwischen dem **Werkzeug** und dem **Schneiden** zureduzieren.
 - Fälle, in denen keine **Kühlung** empfohlen wird, sind Fälle, in denen der **Kontakt** zwischen der **Schneidkante** und dem **Arbeitsmaterial** **periodisch** unterbrochen wird (bei **Fräsvorgang**). Die Verwendung von **Kühlmitteln** würde **wiederholte** **Zyklen** des **plötzlichen Erhitzens** und **Kühlens** beinhalten, und dies würde zum **Auftreten** von **Mikrorissen/Rissen** im **aktiven Bereich** des **Schneidwerkzeugs** führen.

■ Bibliographie

- [1] Triton, „<https://www.triton.com.ro/produs/342265-surub-cap-hexagonal-m-8-0x-40-din-933-10-9-negru>“.
- [2] Dacia, "<https://www.dacia.co.uk/vehicles/our-range/logan-mcv.html>", 2020.
- [3] All.Biz, "<https://all.biz/ro-ro/componente-turbine-hidro-g57923>“.
- [4] B. Denkena și H. K. Tönshoff, Spanen. Grundlagen, 3 ed., Heidelberg: Springer, 2011, pp. XXII, 426.
- [5] M. Ancău, Tehnologie fabricației, Cluj-Napoca: Casa cărții de știință, 2003.
- [6] W. Degner, H. Lutze și E. Smejkal, Spanende Formung. Theorie, Berechnung, Richtwerte, 9 ed., P. D. s. t. W. Degner, Ed., Berlin: VEB Verlag Technik, 1979.
- [7] H. Tschätsch, „Grundlagen der Zerspanung am Beispiel Drehen,“ în Praxis der Zerspantechnik, Braunschweig/Wiesbaden, Vieweg, 1999, pp. 12-28.
- [8] B. Awirzus, J. Bast, H. Dürr și K.-J. Matthes(Hrsg.), Grundlagen der Fertigungstechnik, 5 ed., Leipzig: Fachbuchverlag Leipzig, 2012, p. 395.
- [9] C. Picoș, Tehnologia construcției de mașini, Editura didactică și pedagogică, București, 1974, S. 560.
- [10] H.Colan, V. Candea, G.Arghir und andere, Studiul Metalelor - Indrumator pentru lucrari de laborator, Ed. Institutului Politehnic Cluj Napoca, 1988.
- [11] CUT-TOOL, "<http://cut-tools.eu/mitlaufende-l%C3%BCnette-drehmaschinen-p-3983.html?osCsid=b46cdafc2bb0d7f5a45ce8ffa510fda5>“.
- [12] Domnița Frățilă ș.a., Tehnologii de fabricație. Îndrumător de lucrări de laborator, U.T. Press Cluj Napoca, 2011.
- [13] V-B. Tomoiagă, Cercetări asupra influenței microgeometriei burghiilor din carburi metalice cu diferiți factori K, Teza de doctorat 2018.
- [14] A. Vlase, Probleme generale ale tehnologiei construcțiilor de masini, <https://www.slideshare.net/roxanapopescu7503/curs-fpvlase-1>