

Domnița FRĂȚILĂ

SPANENDE FERTIGUNG

**TEHNOLOGII DE PRELUCRARE PRIN
AȘCHIERE II**



**Editura UTPRESS
Cluj-Napoca, 2019
ISBN 978-606-737-352-3**



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 D. Câmpean

Recenzia: Prof.dr.ing. Popa Marcel
Ș.l.dr.ing. Conțiu Glad

Copyright © 2019 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 978-606-737-352-3

INHALTVERZEICHNIS / CUPRINS

KAPITEL 1. Technologischer Variantenvergleich / CAPITOLUL 1. Compararea variantelor tehnologice.... 3

- Qualitätsmerkmale gefertigter Teile im Überblick / Caracteristicile de calitate ale produselor
- Technologischer Variantenvergleich / Compararea variantelor tehnologice
- Gliederung von Trennverfahren / Clasificarea proceselor de prelucrare prin îndepărtare de material
- Zerspanprozess als System / Procesul de aşchiere ca sistem

KAPITEL 2. Allgemeine Begriffe beim Spanen mit geometrisch bestimmten Schneiden / CAPITOLUL 2. Noţiuni generale la aşchiera cu scule cu muchii aşchietoare definite.....11

- Kinematik und Geometrie des Zerspanvorganges / Cinematica și geometria procesului de aşchiere
- Werkzeuggeometrie für den Spanen mit geometrisch bestimmten Schneidplatten / Geometria scuelor cu muchii aşchietoare definite
- Verschleiß / Uzura
- Standzeit / Durabilitatea sculei
- Zerspanbarkeit von Werkstoffen / Aşchiabilitatea materialelor
- Spanbildung / Formarea aşchii
- Kräfte und Leistungen beim Spanen / Forţe și puteri la aşchiere
- Schneidstoffe / Materiale de scule
- Thermische Beanspruchung / Solicitări termice
- Chemische Beanspruchung / Solicitări chimice
- Kühlschmierstoffe / Lichide de aşchiere
- Trends in der spanenden Fertigung / Tendințe în domeniul aşchierii

KAPITEL 3. Spanende Fertigungsverfahren mit geometrisch bestimmten Schneiden / CAPITOLUL 3. Procese de aşchiere cu scule cu muchii aşchietoare definite....40

- Drehen / Strunjire
- Auswahl der Drehwerkzeuge / Alegerea scuelor aşchietoare
- Bohren. Senken. Reiben / Găurire. Adâncire. Alezare
- Fräsen / Frezare
- Hobeln. Stoßen / Rabotare longitudinală. Rabotare transversală
- Räumen / Broşare

KAPITEL 4. Spanende Fertigungsverfahren mit geometrisch unbestimmten Schneiden / CAPITOLUL 4. Procese de aşchiere cu scule cu muchii aşchietoare nedefinite92

- Schleifen / Rectificare
- Honen / Honuire
- Läppen / Lepuire

KAPITEL 5. Trockenbearbeitung und Minimalmenge Kühlschmierung / CAPITOLUL 5. Aşchiera uscată și ungerea-răcirea minimală....135

- Trockenbearbeitung / Prelucrarea uscată
- Minimalmengenschmierung (MMS) / Ungerea și răcirea minimală
- Dosiersysteme / Systeme de dozare
- Kühlschmierstoffe / Lichide de aşchiere
- Werkzeuge- Werkstoffe für TB und MKST / Scule- materiale la PU și PURM
- Einsatz der TB und MKST in der Praxis / Implementarea PU și a PURM în practică
- Werkzeugmaschinen und periphere Einrichtung / Maşini unelte și echipamente auxiliare
- Schlußfolgerungen / Concluzii

KAPITEL 1. Technologischer Variantenvergleich

1.1 Qualitätsmerkmale gefertigter Teile

Alle Merkmale, die ein Kunde (Anwender oder Verbraucher) von einem Erzeugnis erwartet, sind die (meßbaren und un meßbaren) **Qualitätsmerkmale**.

Er erwartet nicht allein **die Funktion** des Erzeugnisses, sondern Kriterien wie **Preis**, einfache **Bedienbarkeit**, **Sicherheit** für ihn und für die Umwelt oder wirtschaftliche **Einsatz**. Der Kunde hat an das Produkt auch **ästhetische Ansprüche** (Form, Farbe), **Genauigkeit / Toleranzen**. Bei der Konzeption eines Produktes wird der **Ingenieur** in Zusammenarbeit mit dem **Designer** auch an solche nicht meßbaren Qualitätsmerkmale denken.

Die entscheidenden Qualitätsmerkmale ergeben sich häufig aus den Zusammenwirken **sämtlicher Komponenten** eines Erzeugnisses:

- *mechanische Bauteile (Wellen, Zahnräder, Gehäuse),*
- *optischen und elektronischen Baugruppen und*
- *zunehmend Rechnerkomponenten und Software.*

Die Bewertungskriterien sind teilweise **quantifizierbar**; teilweise nur **qualitativ** zu beantworten. Einige Kriterien können Muß-Kriterien sein. Aufgabe des Ingenieurs ist es dagegen:

- den Zusammenhang zwischen den Eigenschaften aller Komponenten und der Funktion des Gesamtsystems zu ergründen und
- die Qualitätsanforderungen des Kunden auf die Qualitätsmerkmale sämtlicher Komponenten, Baugruppen und Einzelteile zu brechen.

CAPITOLUL 1. Compararea variantelor tehnologice

1.1 Caracteristicile de calitate ale produselor

Toate caracteristicile pe care un client (utilizator sau consumator) le aşteaptă din partea unui produs constituie **caracteristici de calitate** (cuantificabile sau necuantificabile).

Aşteptările vizează nu numai funcţionalitatea produsului, ci şi alte criterii cum ar fi: **preţul, uşoara deservire, siguranţa în exploatare pentru consumator şi pentru mediul înconjurător sau utilizarea eficientă**. Clientul are de asemenea aşteptări de natură estetică din partea produsului (**formă, culoare**), **precizie / toleranţe**. De aceea, în conceperea unui produs **inginerii** vor colabora cu **designerii** pentru luarea unor decizii cu privire la aceşti parametri de calitate cuantificabili.

Indicatorii de calitate definitorii ai unui produs rezultă adesea din efectul combinat al caracteristicilor **tuturor componentelor sale**:

- *Componente mecanice (axe, angrenaje, carcase),*
- *Subansambluri optice şi electronice,*
- *Componente software şi hardware.*

Criteriile de evaluare sunt parţial **cuantificabile**, parţial permit doar o evaluare **calitativă**. Unele criterii sunt obligatorii. Sarcina inginerului este de a:

- defini corelaţia dintre proprietăţile componentelor produsului şi funcţionalitatea sistemului (produsul),
- corela cerinţele de calitate ale clientului în ceea ce priveşte toate subansamblurile şi reperatele produsului.

1.2 Technologischer Variantenvergleich

Der Variantenvergleich hat die Aufgabe, aus der Vielzahl der zur Herstellung eines Werkstückes einsetzbaren Verfahrensvarianten diejenige auszuwählen, die eine unter Berücksichtigung verschiedener Kriterien **größte Wirtschaftlichkeit** bzw. **größte Rentabilität** gewährleistet.

Der Variantenvergleich ist bei folgenden **Entscheidungssituationen** durchzuführen:

- Aufnahme neuer Produkte in das Produktionsprogramm,
- Anpassung des Fertigungsablaufs an konstruktive Änderungen des Werkstückes,
- Erweiterung der Kapazität aufgrund gesteigerter Absatzerwartungen und
- Ersatz bestehender Verfahren aufgrund technischer Veralterung.

Die Variantenvergleich muß **systematisch** und möglichst **frei** von **intuitiven Entscheidungen** durchgeführt werden. Die verschiedenen Verfahrensvarianten werden unter Beachtung des gesamten ergebenden Fertigungsablaufs bewertet (Abb. 1.1).

1.2 Compararea variantelor tehnologice

Compararea variantelor tehnologice ale unui produs are drept scop alegerea, din multitudinea variantelor de prelucrare posibile, a celei care garantează îndeplinirea criteriilor de **eficiență** și **rentabilitate**.

Compararea variantelor tehnologice se realizează în următoarele **situații decizionale**:

- *Includerea unor noi produse în programul de producție,*
- *Adaptarea proceselor tehnologice la modificările constructive ale pieselor,*
- *Extinderea capacității de producție pe baza cerințelor tot mai mari ale pieței și*
- *Înlocuirea proceselor de fabricație existente datorită progresului tehnologic.*

Compararea variantelor tehnologice trebuie să fie realizată **sistematic** și **fără** a fi influențată de **decizii intuitive**. Diferite variante de fabricație sunt evaluate luând în considerare întregul proces tehnologic (Fig. 1.1).

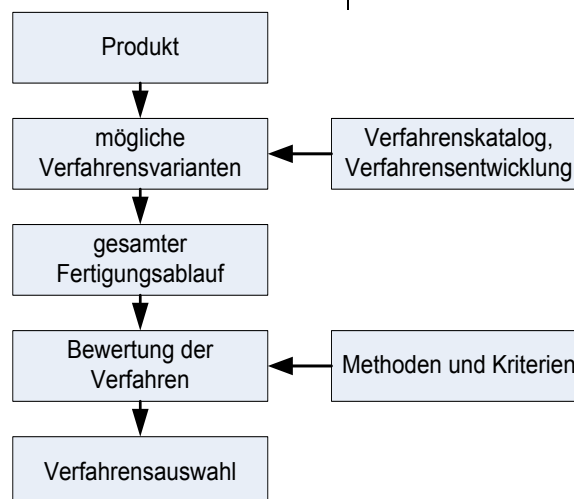


Abb. 1.1 Vorgehensweise bei der Verfahrensauswahl / Procedura de alegere a proceselor de prelucrare [WES 10]

Die Bewertung erfolgt mit Hilfe unterschiedlicher Methoden anhand vorher festzulegender **Bewertungskriterien**. (Abb 1.2)

Evaluarea se realizează cu ajutorul diferitelor metode, pe baza unor **criterii de evaluare** stabilite anterior. (Fig. 1.2)

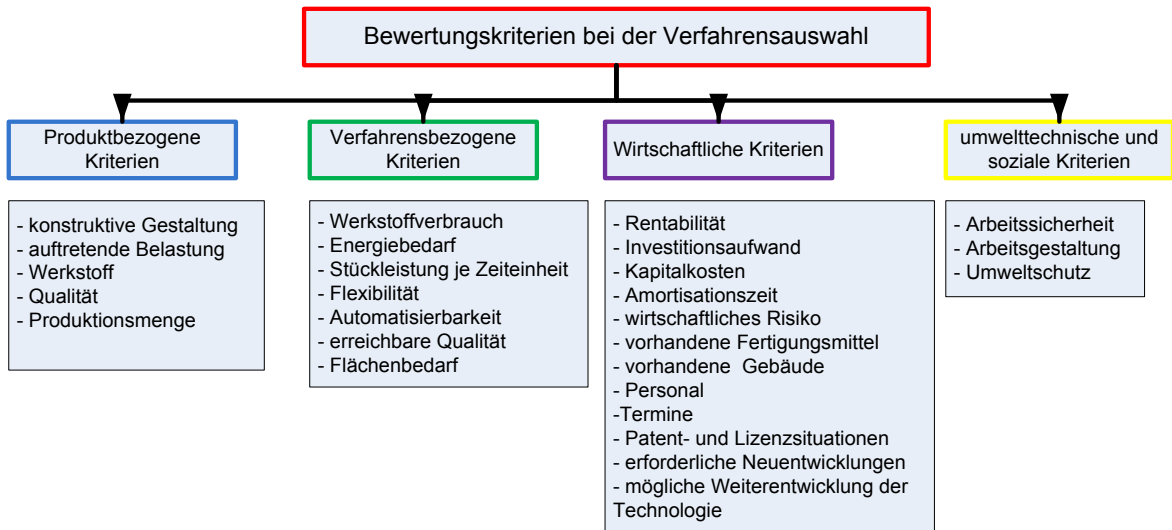


Abb.1.2 Bewertungskriterien bei der Verfahrensauswahl / Criterii de evaluare la alegerea proceselor [WIT 96]

1.3 Gliederung von Trennverfahren im Überblick

1.3 Clasificarea proceselor de prelucrare prin separare

| HAUPTGRUPPE 3 Trennen | | | | | | |
|-----------------------|---|---|------------|------------|------------|------------|
| Zerteilen | Spanen mit geometrisch bestimmten Schneiden | Spanen mit geometrisch unbestimmten Schneiden | Abtragen | Zerlegen | Reinigen | Evakuieren |
| Gruppe 3.1 | Gruppe 3.2 | Gruppe 3.3 | Gruppe 3.4 | Gruppe 3.5 | Gruppe 3.6 | Gruppe 3.7 |

Abb. 1.3 Unterteilung der Haputgruppe **Trennen** nach DIN 8589 / Clasificarea proceselor din grupa Separare cf. DIN 8589

Die **Gruppen 3.2** und **3.3** werden in der Vorlesung behandelt ([Abb. 1.3](#)).

Die Gruppe 3.1 Zerteilen wird unterteilt in

- *Scherschneiden*
- *Messerschneiden*
- *Spalten*
- *Brechen.*

Die Gruppe 3.4 Abtragen behandelt folgende Verfahren

- *Chemisches Abtragen*
- *Elektrochemisches Abtragen*
- *Abtragen durch elektrische Funkenentladung*
- *Thermisches Abtragen durch Strahl*
- *Thermisches Abtragen durch Gas*
- *Abtragen durch Flüssigkeitstrahl.*

Dintre aceste categorii, **grupele 3.2 și 3.3** vor fi tratate în detaliu în cadrul cursului ([Fig.1.3](#)).

Grupa 3.1 Separarea are următoarele subcategorii:

- *Tăiere cu foarfeci*
- *Tăiere cu cuțitul*
- *Despicare*
- *Rupere*

Grupa 3.4 Erodarea cuprinde categoriile:

- *Eroziune chimică*
- *Eroziune electrochimică*
- *Eroziune prin descărcări electrice*
- *Prelucrare cu fascicul de electroni*
- *Prelucrare cu plasmă*
- *Prelucrare cu jet de apă.*

Prinzipiell sind die **Klassifizierungsmerkmale**: *Automatisierungsgrad, Schneidengeometrie, Formelemente geometrie* und *Lage der Bearbeitungsstelle* für die Verfahrenseinteilung und –auswahl entscheidend:

În principiu pentru clasificarea și alegerea proceselor de prelucrare sunt relevante **criterii de clasificare** ca: *gradul de automatizare, geometria elementelor de formare (sucle), poziția zonei de prelucrare*:

▪ **nach Automatisierungsgrad:**

| maschinell | manuell |
|---------------|---|
| Automatisiert | Unbestimmte Relativbewegung zwischen Werkzeug und Werkstück |

▪ **nach geometrischer Art der Schneide:**

| geometrisch bestimmte Schneide | geometrisch unbestimmte Schneide |
|--|--|
| Schneidenanzahl, Geometrie der Schneidkeile und Lage der Schneiden zum Werkstück sind bekannt (z.B. Drehen, Bohren, Fräsen) | Schneidenanzahl, Geometrie der Schneidkeile und Lage der Schneiden zum Werkstück sind unbekannt (z.B. Schleifen, Honen, Läppen) |

Generell stehen die Fertigungsverfahren miteinander im **Anwendungswettbewerb**. Die besonderen **Vorteile des Spanens** liegen in der:

- *hohen Fertigungsgenauigkeit*
- *hohen Reproduzierbarkeit der Qualität (Tabelle 1.1)*
- *nahezu geometrisch unbegrenzten Bearbeitungsmöglichkeit und*
- *hohen auftrags- und stückzahlbezogenen Fertigungsflexibilität.*

Die **Nachteile** des Spanens sind vor allem:

- *der Materialverbrauch (Späneabfall)*
- *die relativ geringe Productivität und*
- *die Festigkeiteigenschaften des Endproduktes (unterbrochener Faserverlauf).*

Allgemein gesagt, hat die spanabhebende Bearbeitung überall dort ihre Berechtigung, wo sie unter Berücksichtigung der genannten Faktoren vorteilhafter als spanlose Formung anzuwenden ist. Daraus lassen sich die nachstehend genannten Einflussgrößen auf den Spanungsvorgang und somit auch auf die Werkstückqualität ableiten:

- **Bearbeitungsverfahren**
- **Werkstück** (Werkstoff, Ferstigkeit, Gefüge, Homogenität, Abmessungen, Gestalt, Stabilität)
- **Werkzeug** (Sorte, Anschliff, Verschleiß,

În general există o **competiție** în ceea ce privește selectarea și utilizarea proceselor de fabricație.

Avantajele aşchierii constau în:

- *Precizie de prelucrare ridicată,*
- *Reproductibilitate mare a calității (Tabel 1.1),*
- *Posibilități aproape nelimitate de prelucrare a unor geometrii complexe,*
- *Flexibilitate ridicată la modificarea cererii sau a volumului producției.*

Dezavantajele aşchierii sunt în primul rând:

- *Consumul mare de material (deșeuri sub formă de aşchii),*
- *Productivitatea relativ scăzută,*
- *Afectează proprietățile de rezistență ale produsului final (fibrelor de material sunt întrerupte).*

În general se poate spune că procesele de prelucrare cu îndepărtare de material își au aplicabilitatea în situațiile în care sunt mai avantajoase comparativ cu procesele de deformare plastică. Factorii de influență asupra procesului de aşchiere și asupra calității pieselor:

- **Procesul de fabricație**
- **Semifabricatul** (material, rezistență, compoziție, omogenitate, geometrie, stabilitate)
- **Scula** (tip, grad de ascuțire / uzură, dimensiuni, rigiditate)

Abmessungen, Starrheit)

- **Werkzeugmaschine** (Spannelemente, Starrheit und Schwingungsverhalten, Betriebszustand)
- **Spanungsbedingungen** (Schnittgeschwindigkeit, Schnitttiefe, Vorschub, Werkzeugwinkel, Kühlung, Schmierung).

- **Maşina-unealtă** (dispozitive de fixare, rigiditate și comportament la vibrații, stare de funcționare)
- **Condițiile de aşchiere** (viteza de aşchiere, adâncimea de aşchiere, avansul, geometria sculei, condiții de răcire și ungere).

Tabelle 1.1 Fertigungsverfahren im Qualitätsvergleich (Rz) nach DIN 4766

| Fertigungsverfahren | | Erreichbare gemittelte Rauhtiefe R_z in μm | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---------------------|------------------------|---|------|-----|------|------|-----|------|---|-----|-----|-----|-----|----|----|----|----|----|-----|-----|-----|-----|-----|------|--|
| Hauptgruppe | Benennung | 0,04 | 0,06 | 0,1 | 0,16 | 0,25 | 0,4 | 0,63 | 1 | 1,6 | 2,5 | 4,0 | 6,3 | 10 | 16 | 25 | 40 | 63 | 100 | 160 | 250 | 400 | 630 | 1000 | |
| Trennen | Schneiden | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Längsdrehen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Hobeln | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Schaben | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Bohren | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Reiben | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Umfangfräsen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Räumen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Rund-Längsschleifen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Flach-Umfangsschleifen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Polierschleifen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Langhubhonen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Flachläppen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | Polierläppen | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

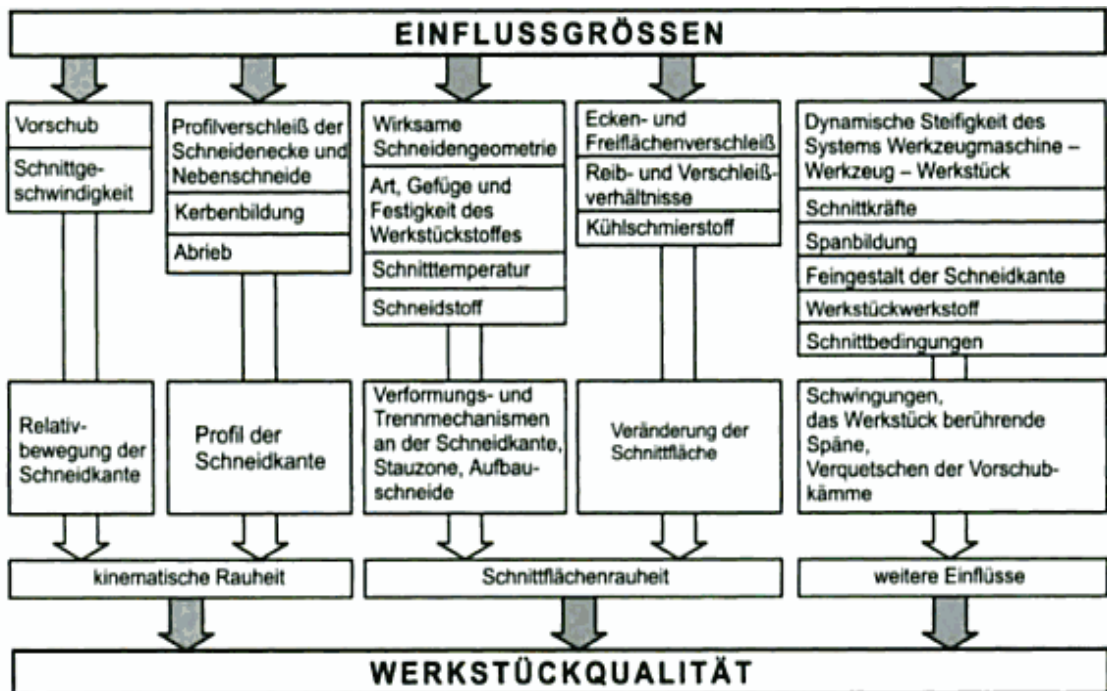


Abb. 1.4 Einflussgrößen auf die entstehende Werkstückoberfläche bei der Metallzerspanung / Parametrii care influențează calitatea suprafețelor la aşchiera metalelor [WES 10]

Der Gesamtzusammenhang zwischen Einflussgrößen und Werkstückqualität ist im **Bild 1.4** dargestellt. Die Werkstückqualität wird wesentlich vom System **Werkzeugmaschine - Werkzeug - Werkstück** bestimmt.

Die **Wettbewerbsfähigkeiten** der Zerspanungstechnik wird zukünftig vor allem durch folgende **Faktoren** beeinflusst:

- flexible Automatisierung der Werkstück- und Werkzeughandhabung
- einstellbare Werkzeugsysteme zur Minimierung der Rüst- und Nebenzeit
- hohe Standzeiten der Werkzeuge im HSC (High Speed Cutting) Bereich und in der Hartzerspannung durch verbesserte Schneidstoffeigenschaften
- automatisierte Prozess- und Fertigungsmittelüberwachung
- Komplettbearbeitung in einer Aufspannung
- kundegerechte Modularisierung der Fertigungsmittel durch Plattformstrategien
- wissenbasierte Programmiertechnologien

1.4 Zerspanprozess als System

Im systemtechnischen Sinne lässt sich der Zerspanprozess als **black box** darstellen, in den **Eingangsooperanden** hinein- und aus dem **Ausgangsooperanden** herausführen (**Abb. 1.5**).

Die **Eingangsooperanden** lassen sich nach **System- und Stellgrößen** unterscheiden. **Systemgrößen** beschreiben die Bedingungen des Prozesses, die unveränderlich oder jedenfalls über längere Zeit **invariant** sind. Sie sind von der **Maschine** (statische und dynamische Steifigkeit, Temperaturgang), dem **Werkstück** (Festigkeit, chemische Zusammensetzung, Gefügestand) und dem **Werkzeug** (Stoff, Form, mechanische Eigenschaften) abhängig.

Corelația între factorii de influență și calitatea produsului este prezentată în **figura 1.4**. Calitatea pieselor este determinată în mod considerabil de sistemul tehnologic **mașină unealtă - sculă - semifabricat**.

Competitivitatea tehnologiilor de prelucrare prin așchiere este influențată de următorii **factori**:

- Automatizarea flexibilă a manipulării sculelor și semifabricatelor,
- Scule reglabile, care permit reducerea timpilor de pregătire-încheiere și a timpilor auxiliari,
- Durabilități ridicate ale sculelor în domeniul așchierii cu viteze mari și al așchierii materialelor dure prin îmbunătățirea materialelor de scule,
- Supraveghere automatizată a proceselor și a mijloacelor de producție,
- Prelucrare completă dintr-o singură prindere,
- Modularizarea mijloacelor de producție conform cerințelor clienților prin strategii integrate,
- Tehnologii de programare pe baze științifice.

1.4 Procesul de așchiere ca sistem

Ca sistem tehnic, procesul de așchiere poate fi reprezentat ca "o **cutie neagră**" (**black box**) cu **parametrii de intrare și parametrii de ieșire** (**Figura 1.5**).

Parametrii de intrare se împart în **parametri de sistem și parametri variabili**. **Variabilele de sistem** definesc condițiile de proces, care nu pot fi schimbate sau **nu variază** o lungă perioadă de timp. Acestea depind de **mașina-unealtă** (rigiditatea statică și dinamică, temperatură), **semifabricat** (rezistența mecanică, compoziția chimică, geometria) și **sculă** (material, formă, proprietăți mecanice).

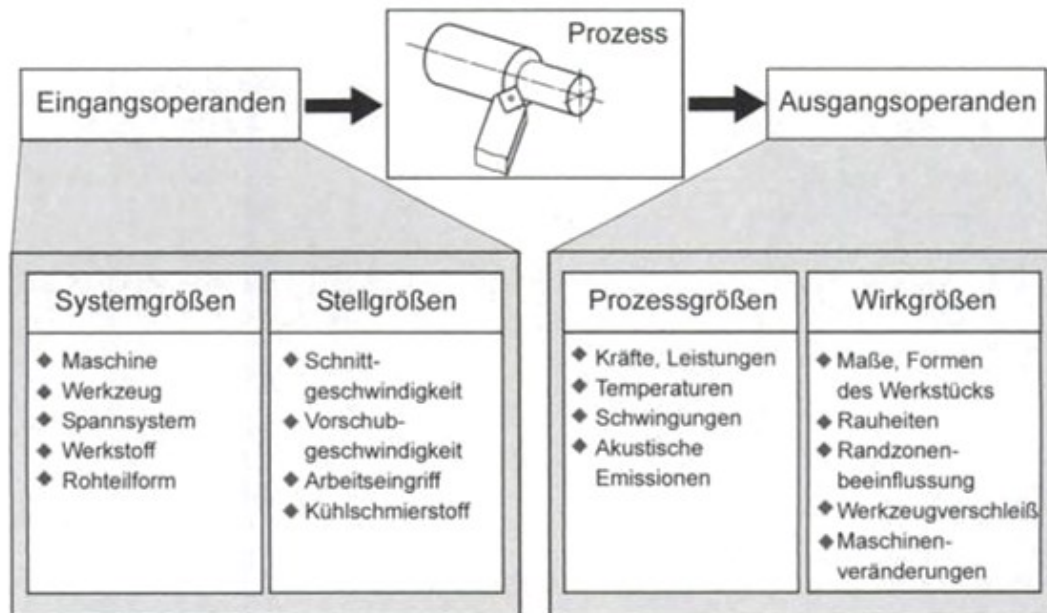


Abb. 1.5 Eingangs- und Ausgangsoperanden / Parametrii de intrare-ieşire [WES 10]

Die **Ausgangsoperanden** bestehen aus den **Prozess- und Wirkgrößen**. Prozessgrößen wie **Zerspankräfte, Leistungen, Temperaturen** in der Spanbildungszone, **Schwingungen**, die durch den Prozess verursacht sind, und **akustische Emissionen**, sind nur während des Prozesses wahrnehmbar. Sie können zur Überwachung oder Diagnose des Prozesses genutzt werden.

Wirkgrößen lassen sich am **Werkstück** (Maß, Form- und Lageabweichungen, Mikrogeometrie, Randzonenbeeinflussung), am Werkzeug (Verschleiß), an der **Maschine** (Erwärmung, Verschleiß) und an den **Hilfsstoffen** (Erwärmung, Verunreinigung und chemisch Veränderungen) ablesen.

Die **Eingangsoperanden** werden durch den **Prozess in Ausgangoperanden überführt**. Der Vergleich von Eingangs- und Ausgangsoperanden kennzeichnet das Übertragungsverhalten des Prozesses. Zur Bewertung eines Prozess sind **vier Kriterien** eingeführt:

1. *Zerspankraft,*
2. *Verschleiß des Werkzeugs,*
3. *Oberflächenausbildung des Werkstücks,*
4. *Spanform.*

Variablen de ieşire sind repräsentiert de **parametri de proces** și **mărimi rezultate**, cum sunt: **forțe de aşchiere, puteri, temperaturi** în zona de formare a aşchiei, **oscilații (vibrații)** cauzate de proces și **emisii acustice** și sunt perceptibile numai în timpul desfășurării procesului. Aceste mărimi pot fi folosite pentru supravegherea și diagnoza procesului.

Mărimile efective sunt corelate cu **semifabricatul** (abateri dimensionale, abateri de formă, abateri de poziție, microgeometrie, modificarea stratului superficial de material), cu **scula** (uzură), cu **maşina-unealtă** (încălzire, uzură), cu **materialele auxiliare** (încălzire, contaminare, modificări chimice).

Parametrii de intrare sunt convertiți în parametri de ieşire prin intermediul procesului de prelucrare. Compararea acestor mărimi de intrare și ieşire pune în evidență caracteristicile al procesului. Pentru evaluarea unui proces sunt utilizate **4 criterii**:

1. *Forțele de aşchiere,*
2. *Uzura sculei,*
3. *Formarea suprafeței semifabricatului,*
4. *Forma aşchiei.*

Die Zerspantechnologien zeichnen sich durch eine eindeutige Definition ihrer Basisgrößen aus. Im **Bild 1.6** ist dazu ein Überblick gegeben.

Tehnologiile de aşchiere se evidențiază printr-o definire clară a mărimilor de bază. În **figura 1.6** este dată o prezentare sumară a acestora.

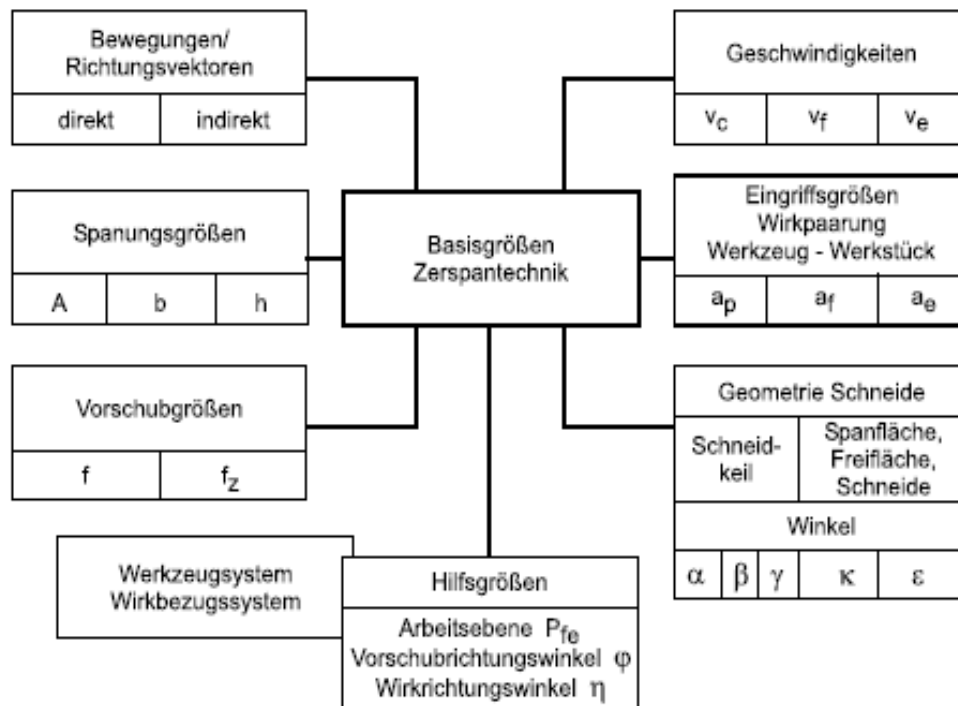


Abb. 1.6 Basisgrößen der Zerspantechnik / Mărimi de bază la prelucrarea prin aşchiere [PER 00]

Dabei wird davon ausgegangen, dass die Eingangsgrößen vorgegeben sind, dass also die Haupttechnologie und die Mengenleistung über das Verfahren, die Maschine und die Steuerung ihrer Bewegungen bestimmt sind. Zusätzlich zu diesen vier Kriterien ist die **Mensch-Umwelt-Technologie** zu berücksichtigen.

Rezultă că parametrii de intrare sunt aleși astfel încât simultan să fie stabilite și tehnologia de fabricație, consumul de putere în timpul procesului, mașina-unealtă și modul de realizare al mișcărilor. Pe lângă cele 4 criterii trebuie avută, suplimentar, în vedere interacțiunea **operator - mediu înconjurător-technologie**.

KAPITEL 2.

Allgemeine Begriffe beim Spanen mit geometrisch bestimmten Schneiden

Die Gliederung der spanenden Fertigungsverfahren ist im **Bild 2.1** und **Bild 2.2** dargestellt.

CAPITOLUL 2.

Noțiuni generale la așchiera cu scule cu muchii așchietoare definite

Clasificarea proceselor de prelucrare prin așchiere este prezentată în **figurile 2.1** și **2.2**.

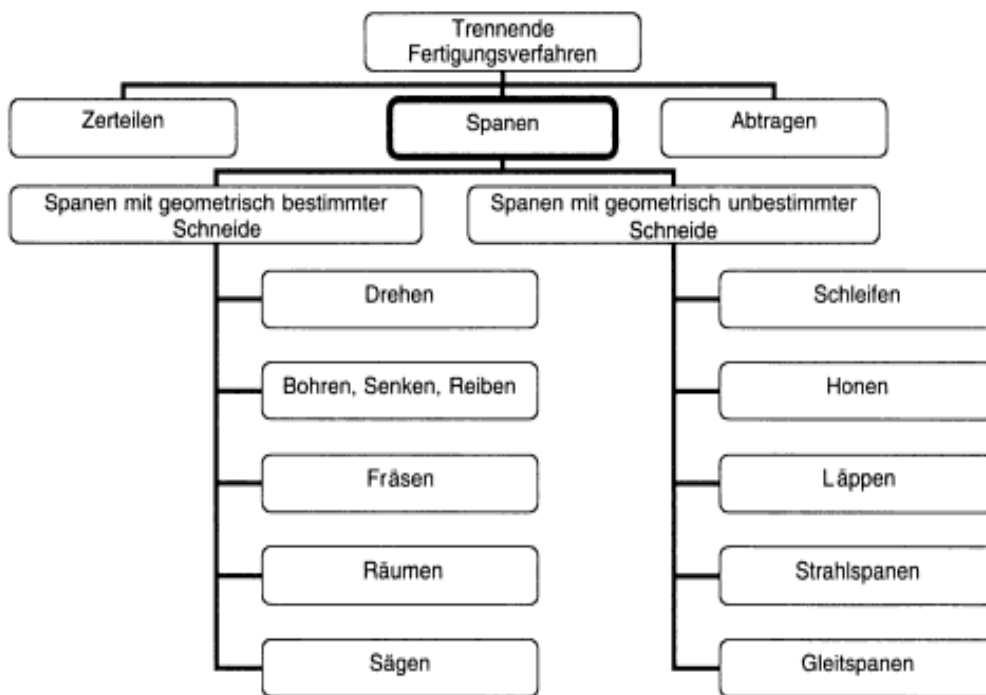


Abb. 2.1 Gliederung der spanenden Fertigungsverfahren / Clasificarea proceselor de prelucrare prin așchiere [Wes 10]

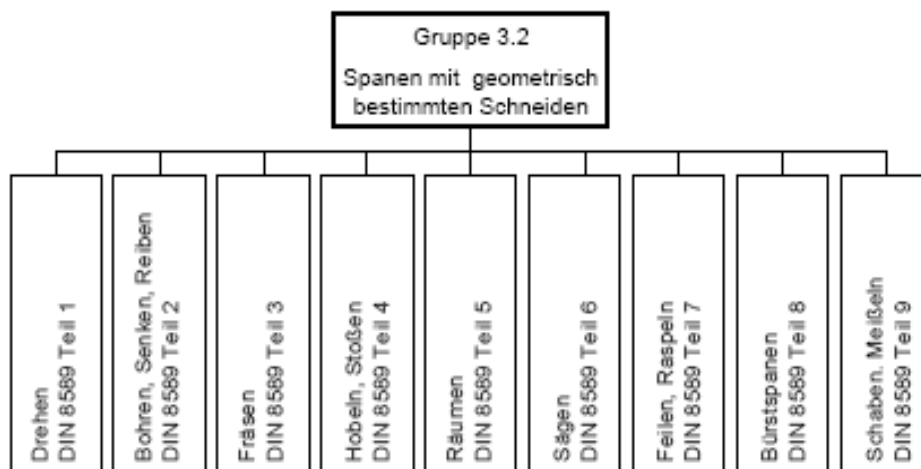


Abb. 2.2 Einteilung der Fertigungsverfahren Spanen mit geometrisch bestimmten Schneiden / Clasificarea proceselor de așchiere cu scule cu muchii așchietoare definite

Die Verfahren **des Spanens mit geometrisch bestimmten Schneiden** waren zur Fertigbearbeitung von Werkstücken **nach Ur- und Umformen** eingesetzt. Dabei sind geringe Form-, Lage- und Maßtoleranzen erreichbar.

Spanen mit geometrisch bestimmten Schneiden ist Spanen, bei dem ein Werkzeug verwendet wird, dessen *Schneideanzahl, Geometrie der Schneidkeile und Lage der Schneiden zum Werkstück* bestimmt sind. Hierbei waren, von einem Werkstück, Werkstoffschichten in Form von Spänen zur Änderung der Werkstückform und/oder der Werkstückoberfläche mechanisch abgetrennt.

2.1 Kinematik und Geometrie des Zerspanvorganges

Die Bewegungen bei einem Spanungsvorgang sind **Relativbewegungen** zwischen **Werkzeugschneide** und **Werkstück**. Dabei ist zu unterscheiden zwischen solchen Bewegungen, die **unmittelbar das Entstehen von Spänen** bewirken (*Wirkbewegung, Schnittbewegung und Vorschubbewegung*), und solchen, die **nicht unmittelbar** am Entstehen von Spänen beteiligt sind (*Anstell-, Zustell-, Nachstell-, Austell- und Rückstellbewegung*).

Die Bewegungen können **gerade, kreisförmig** oder **beliebig** sein. Es sind Bewegungen an der Wirkstelle, die durch die Werkzeugmaschine erzeugt werden.

Unmittelbar entstehen Späne durch die Wirkbewegung, die sich meist aus einer Schnittbewegung und einer Vorschubbewegung zusammensetzt, nach einer vorangegangenen Zustellbewegung. Die Bewegungsrichtungen sind dabei momentane Richtungen der Bewegungen im ausgewählten Schneidenpunkt (**Abb. 2.3**).

Procesele de prelucrare prin aşchiere cu scule cu muchii aşchietoare definite au fost implementate ca prelucrare finală a semifabricatelor după **semifabricare** și **deformare plastică**. Aceste procedee permit obținerea unor toleranțe dimensionale, de formă și de poziție mici.

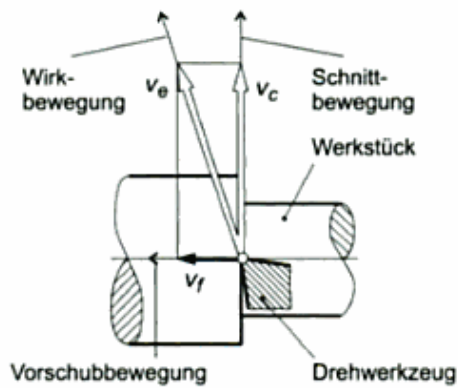
Aşchiera cu scule cu muchii aşchietoare definite este procesul de aşchiere la care se utilizează o sculă la care următoarele mărimi sunt bine definite: *numărul de muchii aşchietoare, geometria tăişurilor și poziția sculei în raport cu semifabricatul*. De pe suprafața semifabricatului sunt îndepărtate mecanic, sub formă de aşchii, straturi de material în scopul modificării formei (dimensiunilor) semifabricatului și/sau calității suprafeței.

2.1 Cinematica și geometria procesului de aşchiere

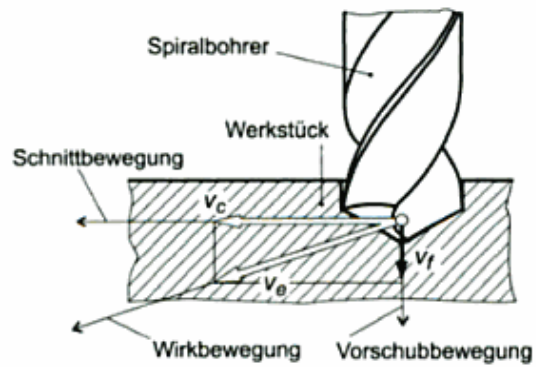
Mișcările realizate în timpul unui proces de aşchiere sunt **mișcări relative** între **tăişurile sculei** și **semifabricat**. Trebuie diferențiate în acest sens **acele mișcări care determină nemijlocit formarea aşchiilor** (*mișcarea rezultantă, mișcarea principală și mișcarea de avans*) și **acele mișcări care contribuie indirect** (*mișcarea de poziționare/ reglarea adâncimii de aşchiere, mișcarea de retragere*).

Mișcările pot fi **liniare, circulare** sau realizate pe o **direcție oarecare**. Mișcările obținute în zona de aşchiere sunt generate de mașina-unealtă.

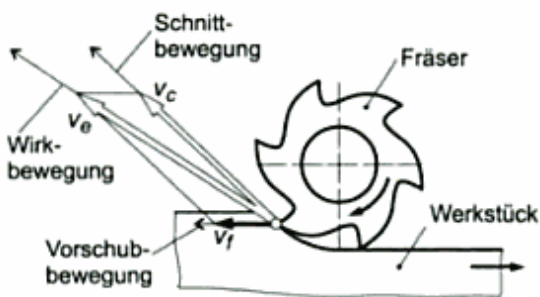
Aşchiile rezultă nemijlocit prin mișcarea rezultantă, obținută prin combinarea mișcării principale și a mișcării de avans, după reglarea adâncimii de aşchiere. Direcțiile de mișcare sunt direcțiile instantanee ale mișcărilor în punctul considerat de pe muchia aşchietoare (**Fig. 2.3**).



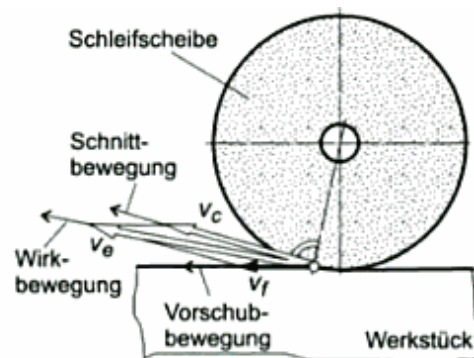
beim Drehen



beim Bohren



beim Gegenlauffräsen



beim Umfangsschleifen

Abb. 2.3 Bewegungen zwischen Werkzeugschneide und Werkstück (Richtungen der Schnitt-, Vorschub- und Wirkbewegungen) / Mișcări relative semifabricat – sculă așchietoare (Direcțiile mișcărilor de așchiere, de avans, rezultantă) [GYE 04]

Die **Wirkbewegung** ist die resultierende Bewegung aus Schnitt- und gleichzeitiger ausgeführter Vorschubbewegung. Erfolgt keine gleichzeitige Vorschubbewegung (z.B. beim Stoßen), dann ist die Schnittbewegung auch die Wirkbewegung. In diesem Zusammenhang sind folgende **Geschwindigkeiten** für den Spanungsvorgang von Bedeutung:

- *Schnittgeschwindigkeit v_c* ,
- *Vorschubgeschwindigkeit v_f* ,
- *Wirkgeschwindigkeit v_e* .

Beim Zerspanprozess werden Werkstückformen durch die **Geometrie des Werkzeuges** und/oder durch die **Relativbewegungen** zwischen Werkzeug und Werkstück erzeugt.

Mișcarea rezultantă se obține prin combinarea mișcărilor principale și de avans, realizate simultan. În cazul în care mișcarea de avans nu se realizează simultan (de ex. la rabotare), mișcarea principală de așchiere este totodată și mișcare rezultantă. Așadar, într-un proces de prelucrare prin așchiere sunt relevante următoarele **viteze**:

- *viteza de așchiere, v_c* ,
- *viteza de avans, v_f* ,
- *viteza rezultantă, v_e* .

La așchiere forma piesei este generată prin **geometria sculei** și/sau prin **mișcările relative** între sculă și semifabricat.

Folgende Begriffe der **Kinematik** des Zerspanvorganges werden nach DIN 6580 definiert:

- *Schnittbewegung,*
- *Schnittgeschwindigkeit,*
- *Schnittweg,*
- *Vorschubbewegung,*
- *Vorschubgeschwindigkeit,*
- *Vorschubweg,*
- *Wirkbewegung.*

Im **Bild 2.4.** sind die wichtigsten **Begriffe** der **Kinematik** und der **Geometrie** des Zerspanvorganges beim Drehen wiedergegeben.

Sie werden bei jedem Fertigungsverfahren wiederholt behandelt und in den Berechnungen integriert.

Următoarele noțiuni referitoare la **cinematica** procesului de așchiere sunt definite cf. DIN 6580:

- *mișcarea principală de așchiere,*
- *viteza de așchiere,*
- *traectoria mișcării de așchiere,*
- *mișcarea de avans,*
- *viteza de avans,*
- *traectoria mișcării de avans,*
- *mișcarea rezultantă.*

În **figura 2.4** sunt reprezentate cele mai importante **noțiuni** legate de **cinematica** și **geometria** procesului de așchiere în cazul strunjirii. Ulterior acești termeni sunt analizați în cazul fiecărui proces de prelucrare și integrați în calculele specifice.

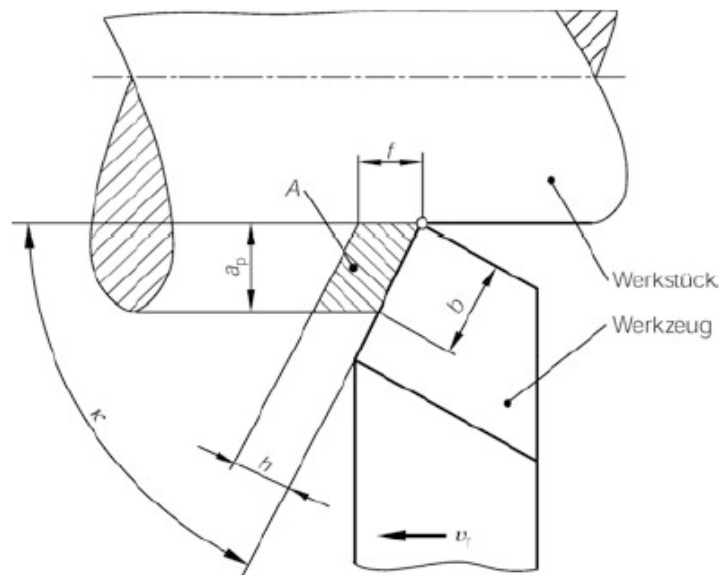


Abb. 2.4 Wichtigste Begriffe der Kinematik und der Geometrie des Zerspanvorganges beim Drehen / Noțiuni privind cinematica și geometria procesului de așchiere la strunjire [DEA 92]

Die Schnittfläche ist die am Werkstück von der Schneide momentan erzeugte Fläche.

Der Vorschub f ist der Vorschubweg je Umdrehung oder je Hub.

Der Zahnvorschub f_z ist der Vorschubweg zwischen zwei unmittelbar nacheinander entstehenden Schnittflächen, d.h. der Vorschub je Zahn oder je Schneide.

Die Schnitttiefe a_p ist die Tiefe des Eingriffs der

Suprafața de așchiere este suprafața instantanee generată cu ajutorul sculei.

Avansul f este distanța parcursă la fiecare rotație sau la fiecare cursă completă.

Avansul pe dinte f_z este distanța pe direcția mișcării de avans între două suprafețe generate consecutiv, așadar avansul pe dinte sau pe muchia așchietoare.

Adâncimea de așchiere a_p este adâncimea de

Hauptschneide, senkrecht zur Arbeitsebene gemessen.

Die **Spanbreite b** ist die Breite des abzunehmenden Spans senkrecht zur Schnittrichtung, gemessen in der Schnittfläche.

Die **Spanungsdicke h** ist die Dicke des abzunehmenden Spans senkrecht zur Schnittrichtung, gemessen in der Schnittfläche.

Der **Spanungsquerschnitt A** ist der Querschnitt des abzunehmenden Spans senkrecht zur Schnittrichtung.

2.2 Werkzeuggeometrie für den Spanen mit geometrisch bestimmte Schneidplatte

Die Begriffe über Bezugssysteme und Winkel am Schneidteil des Werkzeuges gelten für alle spanenden Fertigungsverfahren mit geometrisch bestimmten Schneide.

pätrundere a muchiei aşchietoare principale, măsurată perpendicular pe suprafața de lucru.

Lățimea de aşchiere b este lățimea aşchiei îndepărtate, perpendicular la direcția de aşchiere, măsurată pe suprafața aşchiată.

Grosimea aşchiei h este grosimea aşchiei îndepărtate perpendicular la direcția de aşchiere, măsurată pe suprafața aşchiată.

Secțiunea transversală a aşchiei A este secțiunea aşchiei măsurată perpendicular pe direcția de aşchiere.

2.2 Geometria sculei la aşchiera cu scule cu muchii aşchietoare definite

Noțiunile legate de sistemul tehnologic și geometria (unghiurile) muchiilor sculei sunt valabile pentru toate procesele de prelucrare cu scule cu muchii aşchietoare definite.

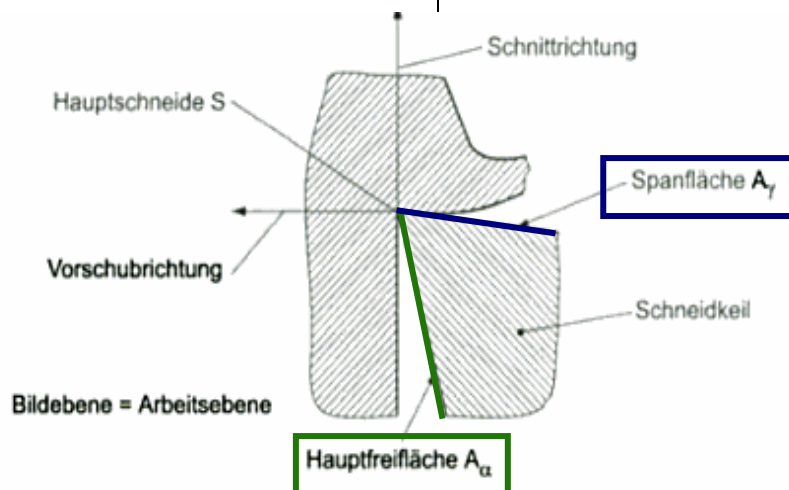


Abb. 2.5 Schneidkeil am Zerspanwerkzeug / Vârful sculei aşchietoare [DEA 92]

Schneidkeil ist ein durch **Spanfläche** und **Freifläche** gebildeter Keil am Schneidteil. Durch Relativbewegungen zwischen Werkzeug und Werkstück entstehen am Schneidkeil die Späne.

Tăişul sculei este format de **suprafețele de degajare** și **așezare** ale sculei. Prin mișcările relative dintre sculă și semifabricat se formează aşchiile pe tăişurile sculei.

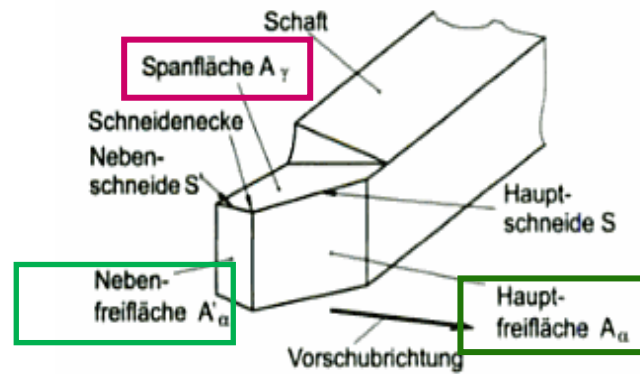


Abb. 2.6 Schneiden und Flächen am Schneidteil des Drehmeißels / Muchiile și suprafețele cuțitului de strunjit [DEA 92]

Spanfläche A_γ ist die Fläche am Schneidkeil, auf der der Span abläuft.

Freifläche A_α ist die Fläche am Schneidkeil, die der entstehenden Schnittfläche zugekehrt ist.

Standbegriffe. Unter den Standbegriffe werden die Standbedingungen, Standkriterien, Standgrößen und das Standvermögen verstanden (Tabelle 2.1)

Suprafața de degajare A_γ este suprafața sculei pe care are loc "curgerea" așchii.

Suprafața de așezare A_α este suprafața sculei opusă suprafeței prelucrate a semifabricatului.

Noțiunile de stare sunt acele noțiuni care se referă la condiții, criterii, mărimi de stare și posibilități de prelucrare (Tabelul 2.1).

Tabelle 2.1

| Standbedingungen | | | | |
|---|---------------------------------|---|---|---|
| am Werkzeug | am Werkstück | an der Werkzeugmaschine | beim Zerspanvorgang | der Umgebung |
| <i>z.B.: Form, Schneidengeometrie, Schneidstoff</i> | <i>z.B.: Gestalt, Werkstoff</i> | <i>z.B.: dynamische und statische Steifigkeit</i> | <i>z.B.: Kinematik, Schneideneingriff</i> | <i>z.B.: thermische Randbedingungen, Kühlschmierung</i> |

2.3 Werkzeugverschleiß

Beim Zerspanen nutzt sich die Schneide des Werkzeuges durch **Reibung** (Adhäsion, Abrasion), **Oxidation** und **Difussion** bei hohen Temperaturen ab.

Dadurch wird die Schneidengeometrie verändert. Oberflächengüte und Maßhaltigkeit des Werkstücks nehmen ab (Abb 2.7).

2.3 Uzura sculei

La așchiere se produce o uzare muchiilor așchieroare prin **frezare** (adeziune, abrazare), **oxidare** și **difuziune** la temperaturi înalte. Acest fenomen conduce la modificarea geometriei muchiei așchietoare iar calitatea suprafeței prelucrate și posibilitățile de menținere a preciziei dimensionale scad (Fig. 2.7).

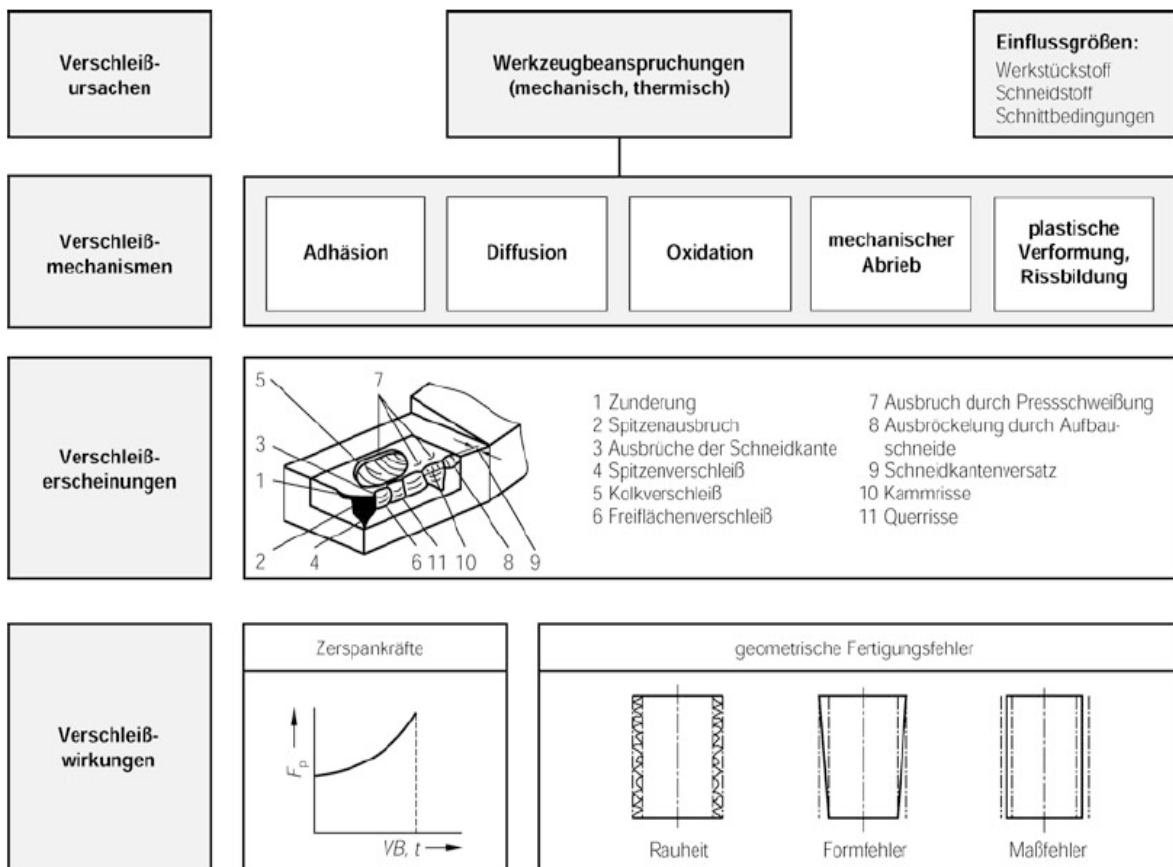
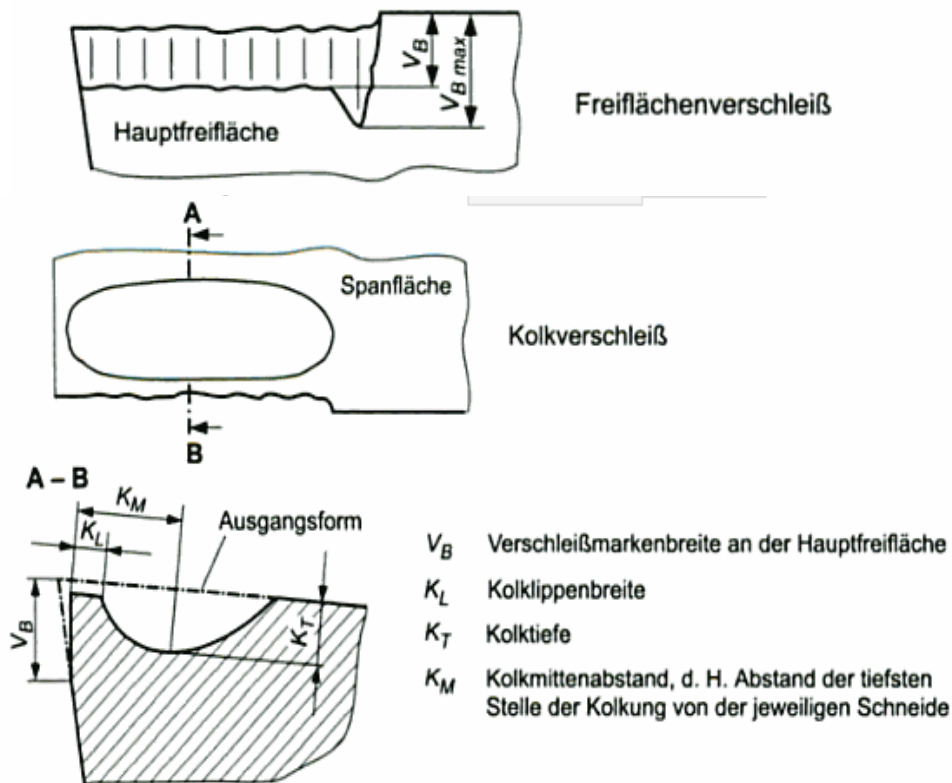


Abb. 2.7 Verschleißgrößen am Drehmeißel / Uzura cuțitului de strunjit [KOE 07]

Am einfachsten ist der Verschleiß an den Freiflächen von Haupt- und Nebenschneide messbar. Die Ausdehnung der Verschleißfläche in Schnittrichtung wird **Verschleißmarkenbreite VB** genannt. Als **Richtswerte** für maximal zulässigen Verschleiß in der Praxis Werte für VB von **0,2...1mm** empfohlen.

Sonstige Auswirkungen an der Schneidkante:

- *Ausbrüche (bei hoher v_c),*
- *Querrisse (bei unterbrochenem Schnitt, z.B. beim Fräsen),*
- *Kammrisse (thermische Beanspruchung),*
- *Plastische Verformung.*

2.4 Standzeit

Die Standzeit T ist die Zeit, die die Schneide bis zum nötigen Nachschleifen spanend im Eingriff ist. Sie ist z.B. erreicht, wenn durch die zunehmende Verschleißmarkenbreite VB die geforderte Rautiefe und die zulässige Maßtoleranz nicht mehr eingehalten werden können. Wichtige Einflussgrößen sind:

- *Schnittgeschwindigkeit v_c ,*
- *Werkstoff/ Schneidstoff-Paarung,*
- *Spanungsquerschnitt A,*
- *Kühlschmierung.*

Beispiel für die Standzeitangabe:

$$T_{VB0,2;150} = 45 \text{ min}$$

T - Standzeit = Standgröße (45 min)

VB – Verschleißmarkenbreite, Standkriterium (0,2 mm)

v_c - Schnittgeschwindigkeit, Standbedingungen (150 m/min)

In der betrieblichen Praxis werden auch **Kriterien, analog** zur Standzeit verwendet:

- **Standweg**, z.B. 2500 mm (bei langen Bearbeitungswegen) und,
- **Standmenge**, z.B. 80 Werkstücke

Cel mai ușor de determinat sunt uzura pe suprafețele de așezare ale muchiilor principale și secundare ale sculei. Mărimea uzurii în direcția de așchiere este denumită **lățimea zonei de uzură**. Ca **valori maxime admisibile** ale uzurii VB se recomandă în practică **0,2...1 mm**.

Alte efecte secundare ale uzurii, care se manifestă pe muchiile așchietoare, sunt:

- *rupere (la viteze mari de așchiere v_c),*
- *fisuri transversale (la așchiera discontinuă, de ex. la frezare),*
- *fisuri multiple (solicitări termice),*
- *deformații plastice.*

2.4 Durabilitatea sculei

Durabilitatea sculei T reprezintă timpul în care muchia așchietoare a sculei se găsește în așchiere până la următoarea reascuțire. Durabilitatea sculei este atinsă atunci când datorită creșterii uzurii sculei nu se mai pot obține nici rugozitatea dorită, nici precizia dimensională impusă suprafeței prelucrate. Principalii parametri de influență sunt:

- *viteza de așchiere v_c ,*
- *cuplul de materiale sculă-semifabricat,*
- *secțiunea transversală a așchiei A,*
- *ungere și răcire.*

Exemplu pentru indicarea durabilității:

$$T_{VB 0,2;150} = 45 \text{ min}$$

T - Durabilitatea, mărime de stare (45 min)

VB - mărimea uzurii, criteriu de stare (0,2 mm)

v_c - viteza de așchiere, condiție de stare 150 m/min.

În practică se utilizează și alte **criterii analoage** cu durabilitatea sculei:

- **distanța** parcursă de tăișul sculei, de ex. 2500 m (pentru lungimi mari de așchiere) și
- **volumul de piese** prelucrate, de ex. 80 semifabricate.

Standzeiten (auch Standwege, Standmengen) werden in der Praxis mit Zerspanungsversuchen ermittelt. Um günstige Werte zu erreichen, müssen Werkzeug, Werkstück, Werkzeugmaschine und die Umgebung aufeinander abgestimmt werden.

Zur rechnerischen Ermittlung der Standzeit wird eine mathematische Beziehung herangezogen:

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

C – Achsenabschnitt der Standzeitgeraden mit der Schnittgeschwindigkeit, bei der die Standzeit 1 Minute erreicht wird.

k – Steigung der Standzeitgeraden

T – Standzeit; die Bearbeitungszeit, bis ein bestimmtes Verschleißkriterium erreicht ist.

Diese mathematische Kurve wird im doppelt logarithmischen Maßstab zur Geraden (Taylorgeraden) aufgetragen. Sie berechnet sich aus:

$$\log v_c = \log C + 1/k \cdot \log T$$

Die Werte **k** und **C** müssen **experimentell** ermittelt werden. Diese Formel bietet ein mathematisches Modell, das die Zusammenhänge nicht exakt, aber für die Praxis einfach und ausreichend genau darstellt. Die ermittelten Werte gelten nur in einem eingegrenzten Schnittgeschwindigkeitsbereich.

2.5 Zerspanbarkeit von Werkstoffen

Eine gute **Zerspanbarkeit** ist die Eigenschaft eines Werkstoffs, sich unter gegebenen Bedingungen vorteilhaft spanend bearbeiten zu lassen. Man spricht von **einer guten Zerspanbarkeit**, wenn:

- die Zerspankraft und damit die erforderliche Antriebsleistung klein ist,
- die Schneide eine lange Standzeit aufweist,
- sich eine geeignete Spanform ergibt,

Toate aceste criterii de apreciere a uzurii se determină în practică prin încercări. Pentru a obține valori favorabile ale durabilității trebuie corelate alegerea sculei, a semifabricatului și a mașinii-unelte.

Pentru determinarea analitică a durabilității se utilizează următoarea ecuație:

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

C - intersecția axelor drepte durabilității cu viteza de așchiere, la care se atinge o durabilitate de 1 minut,

k – panta curbei durabilității,

T – durabilitatea; durata de prelucrare până la care este atins un anumit criteriu de uzură.

Această curbă matematică este trasată în scară dublu logaritmică. Se calculează astfel:

$$\log v_c = \log C + 1/k \cdot \log T$$

Valorile **k** și **C** trebuie determinate **experimental**. Această formulă oferă un model matematic, care nu prezintă corelația exactă dintre acei parametri, însă din punct de vedere practic este simplă și suficient de precisă. Valorile obținute sunt valabile doar într-un interval limitat al vitezelor de așchiere.

2.5 Așchiabilitatea materialelor

O bună **așchiabilitate** este o proprietate a unui material, care în anumite condiții date poate fi prelucrat avantajos (cu rezultate bune). Se vorbește de o **bună așchiabilitate** atunci când:

- forțele de așchiere și implicit puterea necesară sunt mici,
- muchiile sculei au o durabilitate îndelungată,
- rezultă o formă corespunzătoare a așchiilor,

- *die erzielte Oberfläche gut ist und*
- *in kurzer Zeit ein großes Materialvolumen zerspannt werden kann.*

✓ **Zerspanbedingungen**, resultierend aus den **Eigenschaften des Werkstücks**, sind:

- *chemische Zusammensetzung (Spanbruch),*
- *Wärmebehandlung (Gefügeart),*
- *Festigkeit und Härte (Korngröße und Form),*
- *Walzrichtung (Faserorientierung) und*
- *Oberflächenzustand (verzundert, verfestigt).*

✓ **Zerspanungsbedingungen**, resultierend aus dem **Zerspanungsprozess** sind:

- *Schneidengeometrie und Schneidstoff,*
- *Schnittgeschwindigkeit, Vorschub und Schnitttiefe,*
- *Kühlschmierung und Einspannung von Werkzeug und Werkstück.*

Je nach Einsatzfall hat eines oder anderes Merkmal eine höhere Bedeutung. Beim Schlichten z.B. interessiert mehr die Oberfläche, beim Schruppen mehr das Zeitspannungsvolumen, bei Drehautomaten mehr Spanform und damit der sichere Späneabtransport und die Standzeit.

- *calitatea suprafețelor prelucrate este bună și*
- *într-un interval scurt de timp este aşchiat un volum mare de material.*

✓ **Condițiile de aşchiere**, dictate de **proprietățile semifabricatului**, sunt:

- *compoziție chimică (fragmentarea așchiilor),*
- *tratament termic (structura materialului),*
- *rezistență și duritate (dimensiunea și forma grăunților),*
- *direcția de laminare (orientarea fibrelor de material) și*
- *starea suprafețelor (calită, durificată).*

✓ **Condițiile de aşchiere**, dictate de **procesul de aşchiere**, sunt:

- *geometria și materialul muchiei așchietoare,*
- *viteza, avansul, adâncimea de aşchiere,*
- *ungerea și răcirea, modul de fixare al sculei și al semifabricatului.*

În funcție de situația concretă, una sau alta dintre aceste condiții pot fi semnificative. De ex., la finisare este importantă calitatea suprafețelor, în timp ce la degroșare contează mai mult volumul de material îndepărtat, iar la echipamentele automate mai degrabă forma așchiilor, implicit un transport sigur al așchiilor și durabilitatea sculei.

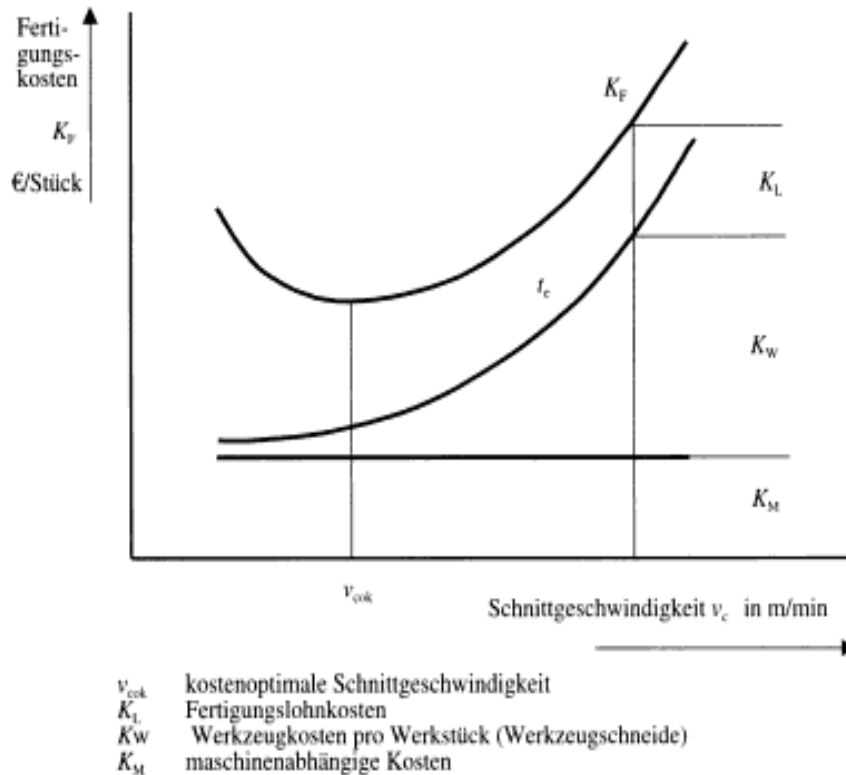


Abb. 2.8 Abhängigkeit der Fertigungskosten K_F je Werkstück von der Schnittgeschwindigkeit v_c /
Corelația costurilor de fabricație /bucată cu viteza de așchiere [WES 10]

Die kostenoptimale Standzeit T_{ok} berechnet sich:

$$T_{ok} = (-k - 1) \cdot [t_w + (K_W / K_{ML})]$$

K_W - Werkzeugkosten (pro Werkzeugschneide)

K_{ML} - Maschinen- und Lohnkosten pro Stunde

Die entsprechende kostenoptimale Schnittgeschwindigkeit v_{cok} errechnet sich mit Hilfe der Taylorgleichung:

$$v_{cok} = C \cdot T_{ok}^{1/k}$$

Bei dieser **Optimierung** sind nicht berücksichtigt:

- *Loßgrößen, Durchlaufzeiten*
- *Gestaltung des Werkzeugwechsels, Voreinstellung und*
- *fertigungsgerechte Konstruktion.*

Die wirtschaftliche Einsatz heutiger, meist teurerer, Bearbeitungszentren erfordert eine hohe Mengenleistung und damit hohe Schnittgeschwindigkeiten. Damit ergeben sich oft nur kurze Werkzeugstandzeiten.

Durabilitatea optimă a sculei din punct de vedere al costurilor se calculează astfel:

$$T_{ok} = (-k - 1) \cdot [t_w + (K_W / K_{ML})]$$

K_W - costul sculelor (pe muchie așchietoare)

K_{ML} - costurile mașinii și cu salariile pe oră

Viteza de așchiere corespunzătoare din punct de vedere al costurilor optime, v_{cok} se calculează cu ajutorul ecuației lui Taylor:

$$v_{cok} = C \cdot T_{ok}^{1/k}$$

În această optimizare nu au fost avute în vedere:

- *dimensiunea loturilor de fabricație,*
- *schimbarea sculelor, prereglare*
- *proiectare pentru fabricație.*

Utilizarea economică a centrelor de prelucrare, în prezent scumpe, necesită un consum mare de putere și, astfel, viteze de așchiere mari. Din aceasta cauză durabilitatea sculelor va fi adesea redusă.

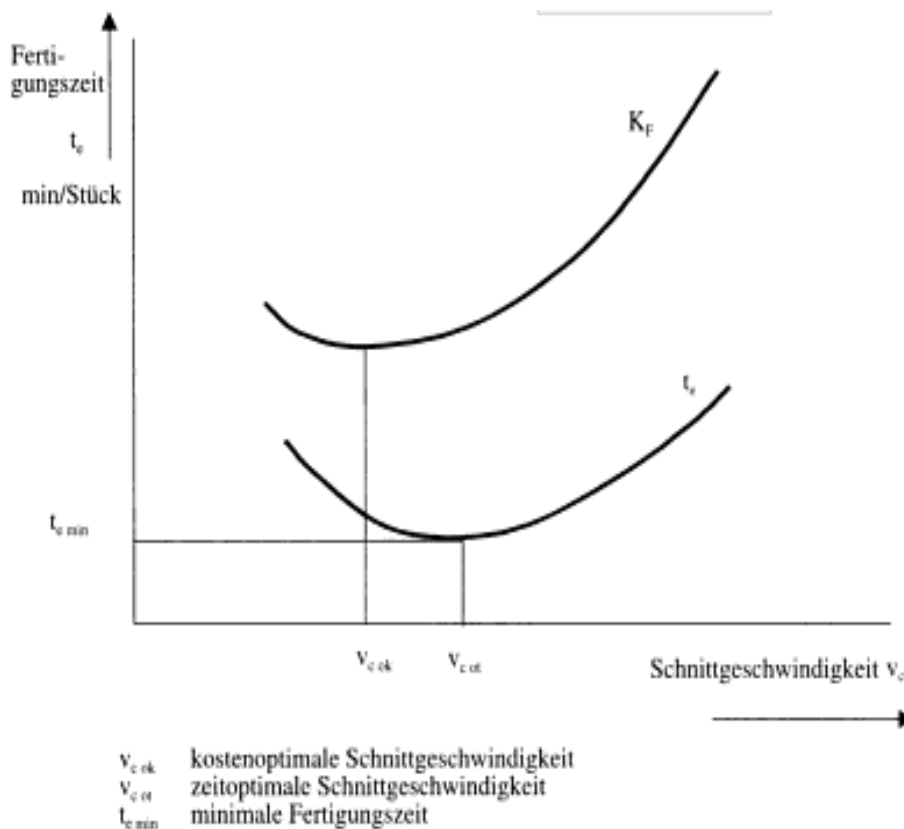


Abb. 2.9 Abhängigkeit der Fertigungszeit t_c und der Fertigungskosten K_F je Werkstück von der Schnittgeschwindigkeit v_c / Corelația timpului de prelucrare și a costurilor de fabricație/bucată cu viteza de așchiere [Wes 10]

2.6. Spanbildung

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

Die Kenntnis der Spanbildung ist für die Prozessautomatisierung und Verschleißbeherrschung eine wichtige ökonomische Größe.

Für die Beschreibung der komplexen Zusammenhänge existieren unterschiedliche Spanbildungstheorien. Die Beschreibung der Spanbildung nach Warnecke mittels 4 Zonen, ist eine Möglichkeit, die den wirklichen Verhältnissen sehr nahe kommt (**Abb. 2.10**).

2.6 Formarea așchiilor

Sub acțiunea **tăișurilor sculei**, materialul semifabricatului este mai întâi deformat, ecruisat, apoi îndepărtat sub formă de așchie. Aceasta alunecă pe fața de degajare a sculei.

Cunoașterea modului de formare a așchiilor reprezintă un aspect economic important pentru automatizarea procesului de prelucrare și pentru controlul fenomenului de uzare al sculei.

Pentru descrierea proceselor complexe există diferite teorii de formare a așchiilor. Descrierea formării așchiilor, conform Warnecke, cu ajutorul celor 4 zone, este una dintre modalități, care aproximează destul de exact comportamentul real al materialului (**Fig. 2.10**).

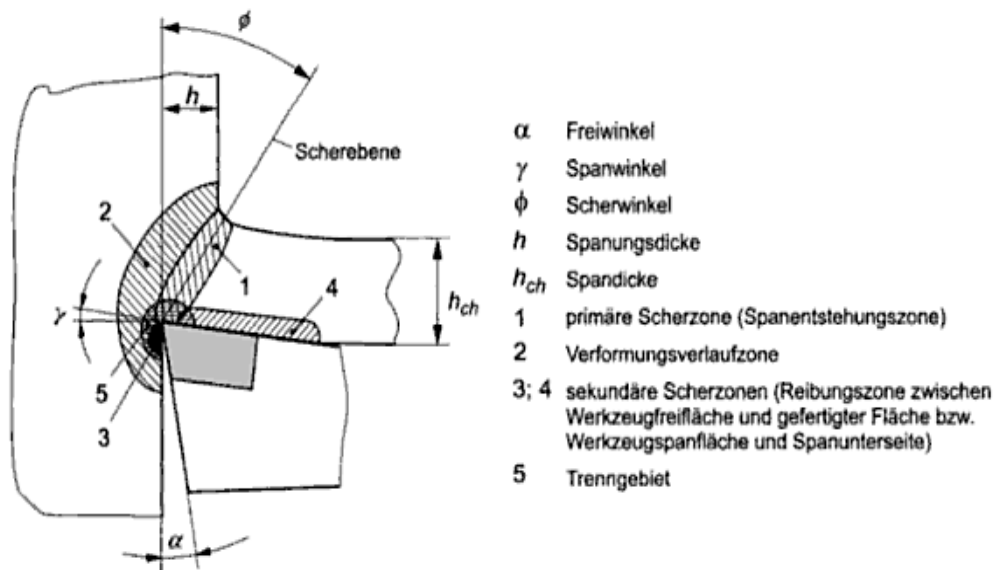


Abb. 2.10 Spanbildungsmodell / Modelul de formare a aşchii [TOE 11]

Günstige Spanformen, z.B. kurze Wendespäne, können durch Schneidplatten mit aufgesetztem Spanformer erreicht werden. Die Spanform und Spanablaufrichtung kann durch die Geometrie der Spanformstufe beeinflusst werden.

Die **Spanbildung** wird sehr stark von den Einflussgrößen wie **Werkstückwerkstoff**, **Schneidstoff**, **Spanwinkel**, **Zerspan-temperaturen** beeinflusst.

Nach ihrer Entstehung unterscheidet man im Wesentlichen gemäß **Abb. 2.11** und **Tabelle 2.2** vier Spanarten:

- *Reiß- oder Bröckelspäne*,
- *Scherspäne*,
- *Lamellenspäne*,
- *Fließspäne*.

Reiß- bzw. Bröckelspäne treten vorwiegend bei spröden Werkstückstoffen auf, z.B. bei Eisengusswerkstoffen und Bronzen, und haben meist sehr schlechte Oberflächen zur Folge. Beim Drehen mit einer Schnittgeschwindigkeit von $v_c < 10 \text{ m/min}$ und negativen Spanwinkeln können Reißspäne z. B. auch bei Baustählen entstehen.

Forme favorable ale aşchiilor, de ex. aşchii spirală scurte, pot fi obținute prin utilizarea unor plăcuțe cu fragmentator de aşchii. Forma aşchiilor și direcția lor de curgere pot fi influențate prin geometria fragmentatorului de aşchii.

Formarea aşchiilor este puternic influențată de diferiți factori ca: **materialul semifabricatului**, **materialul sculei**, **unghiul de degajare** și **temperaturile de aşchiere**.

După modul de formare, se disting în mod esențial patru tipuri de aşchii conform **figurii 2.11** și **tabelului 2.2**:

- *fragmentate*,
- *de forfecare*
- *lamelare*
- *de curgere*

Aşchiile fragmentate rezultă de regulă la prelucrarea materialelor fragile, de ex., fontă sau bronz, și rezultă, de obicei, suprafețe cu o slabă calitate. La strunjirea cu viteze de aşchiere de $v_c < 10 \text{ m/min}$ și unghiuri de degajare negative, pot rezulta de asemenea aşchii fragmentate, de ex. la prelucrarea oțelurilor de construcții.

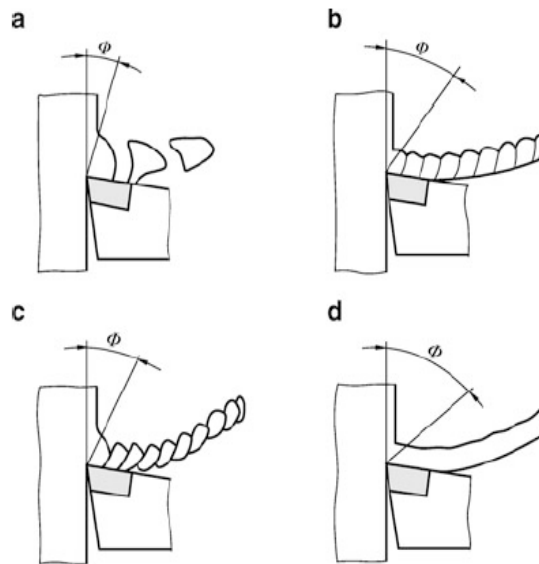


Abb. 2.11 Spanformen Spanarten: **a-** Reißspan, **b-**Scherspan, **c-**Lamellenspan, **d-**Fließspan / Forme de aşchii: a- fragmentate, b-de rupere c-lamelare d-de curgere [Wes 10]

Tabelle 2.2 Spanarten und ihre Auswirkungen

| Spanform | | Spanraum- zahl R | Beurteilung |
|----------------------|----------|-----------------------|-------------|
| Bandspäne | | | |
| Wirrspäne | | ≥ 90 | ungünstig |
| Wendel- späne | lang | ≥ 50 | brauchbar |
| | kurz | ≥ 25 | |
| Spiralspäne | | ≥ 8 | gut |
| Spanbruch- stücke | | ≥ 3 | brauchbar |

Scherspäne sind je nach Werkstückstoff in einem Schnittgeschwindigkeitsbereich von *20 bis 80 m/min* zu erwarten. Die Spanteile werden in der Scherzone vollkommen voneinander getrennt und verschweißen unmittelbar danach wieder.

Fließspäne entstehen beim Drehen von Baustählen mit einer Schnittgeschwindigkeit von ungefähr $v_c = 80 \text{ m/min}$. Der Werkstoff beginnt im Bereich der Scherzone kontinuierlich zu fließen. Die einzelnen Spanlamellen verschweißen sehr stark untereinander und sind i.Allg. mit bloßem Auge nicht mehr wahrnehmbar.

Lamellenspäne sind Fließspäne mit ausgeprägten Lamellen, die durch Verfestigung des Werkstückstoffs während des Schervorgangs entstehen. Sie entstehen bei nicht zu zähen Werkstückstoffen mit ungleichmäßigem Gefüge und größeren Spannungsdicken.

2.7 Spankräfte und -leistungen

Die Kräfte beim Spanen werden auf das Werkstück wirkend betrachtet und definiert. Sie sind in dem folgenden Bild (**Abb 2.12**) als Reaktionskräfte eingezeichnet, um die geometrischen Verhältnisse besser darzustellen.

Es gilt generell, dass gleichgroße Kräfte immer auch auf das Werkzeug wirken. Die Kräfte werden in einem Schneidepunkt angreifend angenommen. Das kann die Schneidenecke oder auch ein auf der Schneide angenommener Schneidebezugspunkt sein.

Die Zerspankräfte sind von Bedeutung für:

- die Auslegung der Maschinenantriebe,
- die Gestellauslegung bzw. die -verformungen,
- den Energie- und Leistungsbedarf,
- die elastischen Verformungen von Werkstück und Werkzeug,
- notwendige Werkstück- und Werkzeugspannungen.

În funcție de materialul semifabricatului, **așchii de forfecare** apar de regulă la prelucrarea cu viteze de așchiere cuprinse între *20 și 80 m/min*. Fragmentele de așchii sunt complet separate unele de cealaltă în zona de forfecare și se sudează imediat după aceea.

Așchiile de curgere se obțin la strunjirea oțelurilor de construcții cu viteze de așchiere de aproximativ $v_c = 80 \text{ m/min}$. Materialul începe să curgă continuu în zona de forfecare. Așchiile lamelare individuale sunt foarte apropiate unele de altele și, în general, nu mai sunt perceptibile cu ochiul liber.

Așchiile lamelare sunt așchii de curgere continue cu lamele pronunțate cauzate de ecruisarea materialului piesei de prelucrat în timpul procesului de forfecare. Acestea rezultă la prelucrarea materialelor ai puțin ductile, cu structură neuniformă și grosimi mari de așchiere.

2.7 Forțe și puteri de așchiere

Forțele de așchiere sunt analizate și definite din punct de vedere al acțiunii acestora asupra semifabricatului. În **figura 2.12** acestea sunt marcate ca forțe de reacție, pentru o mai bună reprezentare geometrică.

În general, forțe cu valori egale acționează întotdeauna și asupra sculei. Se consideră că forțele acționează într-un anumit punct al muchiei așchietoare. Acesta poate fi, fie vârful sculei, fie un alt punct pe muchia așchietoare.

Forțele de așchiere sunt importante pentru:

- Stabilirea modului de acționare al mașinii,
- Amplasarea plăcii de bază și deformațiile ei,
- Necesarul de energie și putere,
- Deformațiile elastice ale semifabricatului și sculei,
- Fixarea semifabricatului și a sculei.

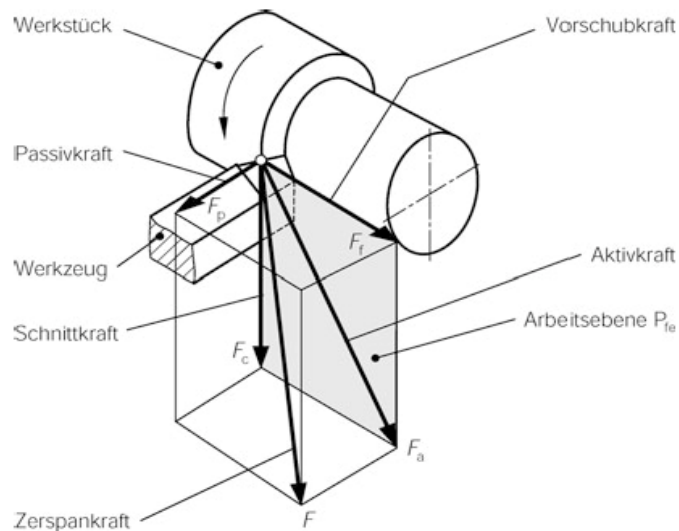


Abb. 2.12 Komponenten der Zerspankraft beim Drehen ($\varphi=90^\circ$) / Componentele forței de așchiere la strunjire [DEA 92]

• Zerspankraft F

Die **Zerspankraft** F ist die bei einem Zerspanungsvorgang von einem Schneidkeil auf das Werkstück wirkende Gesamtkraft. Sie kann in **verschiedene Komponenten** zerlegt werden. Von besonderer Bedeutung sind die auf die Arbeitsebene und auf die Schnitt- und Vorschubrichtung bezogenen Komponenten (**Abb. 2.12**).

Die Zerspankraft kann zunächst in Komponenten in der Arbeitsebene (**Aktivkraft** F_a) und senkrecht zur Arbeitsebene (**Passivkraft** F_p) zerlegt werden. Andere Zerlegung führt zur **Vorschubkraft** (F_f).

Aktivkraft F_a

Die **Aktivkraft** F_a ist die Komponente der räumlich wirkenden Zerspankraft F , die in der Arbeitsebene wirkt. Sie heißt Aktivkraft, weil mit ihren Komponenten die Leistungen beim Spanen erzeugt werden.

Passivkraft F_p

Die **Passivkraft** F_p ist die Komponente der Zerspankraft F , die senkrecht zur Arbeitsebene wirkt. Sie heißt deshalb Passivkraft, weil sie nicht an den Leistungen beim Spanen beteiligt ist.

• Forța de așchiere F

Forța de așchiere F este forța totală cu care în timpul unui proces de așchiere scula așchietoare acționează asupra semifabricatului. Aceasta poate fi descompusă în mai **multe componente**. Importante sunt acele componente, care acționează asupra suprafeței de lucru, pe direcția de așchiere și pe direcția mișcării de avans (**Fig. 2.12**).

Forța de așchiere poate fi mai întâi descompusă în două componente: **forța activă** (F_a) în planul de lucru și **forța pasivă** (F_p) într-un plan perpendicular. O altă descompunere este posibilă în direcția mișcării de avans (F_f **forța de avans**).

Forța activă F_a

Forța activă F_a este componenta forței de așchiere spațiale F , care acționează în planul de lucru. Are denumirea de forță activă deoarece prin componentele sale generează consumul de putere în timpul așchierii.

Forța pasivă F_p

Forța pasivă F_p este componenta forței de așchiere spațiale F , care acționează perpendicular pe planul de lucru. Ea se numește forță pasivă deoarece nu inflețează consumul de putere în timpul așchierii.

Für die kräftemäßige Auslegung von Werkzeug und Werkzeugmaschine ist sie allerdings ebenfalls wichtig.

Die Schnittkraft wird umso **größer** je:

- *größer die Schnitttiefe a_p*
- *größer der Vorschub f ,*
- *größer die spezifische Schnittkraft k_c (widerstandsfähiger der Schneidstoff)*
- *kleiner der Freiwinkel α*
- *kleiner Spanwinkel γ*
- *kleiner Neigungswinkel λ*
- *stärker der Werkzeugverschleiß und*
- *geringer die Schmierung.*

Außerdem ist die Schnittkraft F_c abhängig vom Zerspanungsverfahren (Drehen, Bohren, usw.) und vom Werkzeugschneidmaterial (HSS, Hartmetall, usw.)

• **Hauptnutzungszeit**

Die benötigten Bearbeitungszeiten in der Fertigung sind bedeutend hinsichtlich

- der **Werkzeugmaschinen** (hohe Kapazität-nutzung)
- des **Umlaufmaterials** in der Produktion (kurze Durchlaufzeit) und
- des **Menschen** (hoher Lohn und hohe Produktivität).

Dazu muss die **Bearbeitungszeit** für ein Werkstück t_e hinsichtlich ihrer Zeitanteile verkürzt werden:

- **Hauptnutzungszeit t_h** – Bearbeitung des Werkstücks, Werkzeug im Eingriff,
- **Nebennutzungszeit t_n** – Werkstückwechsel, Werkzeugschneidenwechsel, usw.
- **Rüstzeit t_t** – Vorbereitung der Maschine auf die Fertigung eines Loses, wie Vorrichtungeinbauen, Werkzeuge und Material bereitstellen. Die Rüstzeit erfordert besondere

Din punct de vedere al interpretării forțelor de aşchiere la sculă și maşina-unealtă sunt importante și forțele pasive.

Componenta principală a forței de aşchiere este cu atât **mai mare** cu cât:

- *adâncimea de aşchiere a_p este mai mare,*
- *avansul f este mai mare,*
- *forța de aşchiere specifică k_c este mai mare (rezistența materialului sculei),*
- *unghiul de aşezare α este mai mic,*
- *unghiul de degajare γ este mai mic,*
- *unghiul de înclinare λ este mai mic,*
- *uzura sculei este mai intensă,*
- *ungerea este mai puțin favorabilă.*

Suplimentar, componenta principală a forței de aşchiere F_c depinde de procesul de aşchiere (strunjire, găurire, etc.) și de materialul sculei (oțel rapid, metale dure, etc).

• **Timpul de bază**

Timpul de prelucrare necesar în procesele de fabricație este important pentru:

- **Maşinile-unele** (utilizare maximă a capacității),
- **Fluxul materialelor** în procesul de producție (cicluri scurte de producție) și
- **Muncitorii** (salarii și productivitate mari).

Astfel durata de prelucrare pentru un reper (**norma de timp** /semifabricat) t_e trebuie redusă prin diminuarea componentelor sale:

- **Timp de bază t_h** – prelucrarea propriu-zisă a semifabricatului, scula se găsește în aşchiere,
- **Timp auxiliar t_n** - schimbarea semifabricatului, schimbarea plăcuțelor sculelor etc.,
- **Timp de pregătire-încheiere** – pregătirea maşinii-unele pentru prelucrarea unui lot de fabricație, pregătirea dispozitivelor și echipamentelor auxiliare, a sculelor, materialelor. Trebuie să i se acorde o atenție

Beachtung, um flexibel auf Serien- und Losgrößenwechsel reagieren zu können.

• Leistungsbedarf

Die Schnittkraft und **die Schnittgeschwindigkeit** sind die Ausgangsgrößen zur:

- *Ermittlung der Schnittleistung,*
- *Berechnung der Antriebsleistung und*
- *Beurteilung der Produktivität für den Zerspanungsvorgang.*

Schnittleistung

$$P_c = F_c \cdot v_c \quad [kW]$$

F_c - Schnittkraft

v_c - Schnittgeschwindigkeit

Für die Berechnung von F_c wird ein arbeitsscharfes Werkzeug vorausgesetzt. Während der gesamten Eingriffs- bzw. Bearbeitungszeit tritt zunehmend Verschleiß auf. Ein verschlissenes Werkzeug erhöht die Schnittkraft um **30 bis 50%**.

Die Schnittleistung P_c wird umso **größer** je:

- *höher die Schnittgeschwindigkeit v_c*
- *kürzer die Hauptnutzungszeit t_h*
- *widerstandfähiger der Werkstoff und*
- *größer der Verschleiß.*

Antriebsleistung

$$P_a = P_c / \eta, \quad \eta = \eta_a \cdot \eta_{el}$$

η - Gesamtwirkungsgrad des Antriebs

η_a - mechanischer Wirkungsgrad des Getriebes $\approx 0,8$

η_{el} - Wirkungsgrad des Motors $\approx 0,9$

2.8 Schneidstoffe

- **Werkzeugstähle (WS)** sind **niedriglegierte Stähle** (bis 5% Legierungsbestandteile), sie werden wegen ihrer niedrigen Warmhärte von ca. **400 °C** nur für einfachste Werkzeuge (z.B. Heimwerkzeuge) eingesetzt.

- **Hochleistungsschnellstähle (HSS)** sind hochlegiert (**W-, Mo-, V-, Co-**) **Karbide**, zäh, haben

spezială pentru a asigura o flexibilitate corespunzătoare la modificarea mărimii seriilor și loturilor de fabricație.

• Puterea necesară

Forța de așchiere și **viteza de așchiere** sunt variabile de ieșire ale procesului de așchiere necesare pentru:

- *Determinarea puterii de așchiere,*
- *Calculul puterii utile de lucru și*
- *Evaluarea productivității procesului de prelucrare.*

Puterea de așchiere

$$P_c = F_c \cdot v_c \quad [kW]$$

F_c – forța de așchiere

v_c – viteza de așchiere

Pentru determinarea forței de așchiere F_c se folosește o sculă nouă (reascuțită). Pe durata prelucrării, când scula este în așchiere, se produce uzura sculei. O sculă uzată determină o creștere a forței de așchiere cu **30-50%**.

Puterea de așchiere va fi cu atât mai mare cu cât:

- *Viteza de așchiere v_c este mai mare,*
- *Timpul de bază t_h este mai scurt,*
- *Materialul semifabricatului este mai rezistent și*
- *Uzura sculei este mai mare.*

Puterea utilă

$$P_a = P_c / \eta, \quad \eta = \eta_a \cdot \eta_{el}$$

η – randamentul total al mașinii

η_a – randamentul mecanic al mașinii $\approx 0,8$

η_{el} – randamentul motorului electric $\approx 0,9$

2.8 Materiale de scule

- **Oțelurile de scule (WS)** sunt **oțeluri slab aliate** (până la 5% componente de aliere). Acestea pot fi utilizate doar pentru scule simple, datorită faptului că își mențin proprietățile (duritatea) până la temperaturi de aproximativ **400 °C**.

- **Oțelurile rapide (HSS)** sunt oțeluri înalt aliate cu **W, Mo, V, Co**, tenace, își mențin duritatea până

eine Warmhärte von ca. **600 °C** und lassen deshalb Schnittgeschwindigkeiten bis **60 m/min** zu. Beispiele sind: Fräser, Bohrer, Räumwerkzeuge.

la temperaturi de **600 °C** și permit astfel prelucrări cu viteze de până la **60 m/min**. Exemple: freze, burghie, broșe.

| Schneidstoffe | Eigenschaften | | | | | |
|----------------------|--------------------|-------------------------|-------------------|-------------------|--------------------|-----------------------------------|
| | Vickershärte HV 30 | Temperaturbeständigkeit | Druckfestigkeit | Biegefestigkeit | Dichte | Elastizitätsmodul |
| | | °C | N/mm ² | N/mm ² | kg/dm ³ | 10 ³ N/mm ² |
| Werkzeugstähle | 700 bis 900 | 200 bis 300 | 2000 bis 3000 | 1800 bis 2500 | 7,85 | 220 |
| Schnellarbeitsstähle | 750 bis 1000 | 600 bis 800 | 2500 bis 3500 | 2500 bis 3800 | 8,0 bis 8,8 | 260 bis 300 |
| Stellite | 670 bis 785 | 700 bis 800 | 2000 bis 2500 | 2000 bis 2500 | 8,3 bis 8,8 | 280 bis 300 |
| Hartmetalle | 1300 bis 1700 | 1100 bis 1200 | 4000 bis 5900 | 800 bis 2200 | 6,0 bis 15,0 | 430 bis 630 |
| Schneidkeramik | 1400 bis 2400 | 1300 bis 1800 | 2500 bis 4500 | 300 bis 700 | 3,8 bis 7,0 | 300 bis 400 |
| Bornitrid | 4500 | 1500 | 4000 | 600 | 3,45 | 680 |
| Diamant | bis 7000 | 700 | 3000 | 300 | 3,5 | 900 bis 1000 |

Abb 2.13 Einteilung der Schneidstoffe und einige wichtige Eigenschaften / Clasificarea materialelor de scule și proprietățile acestora [KOE 07]

- **Hartmetalle** sind gesinterte Legierungen auf **W-, Ti- oder Ta-Carbidsbasis** mit **Bindemetall** (meist **Co, Ni**). Hartmetalle weisen große Härte, Verschleißfestigkeit und Warmfestigkeit (**bis 1000 °C**) auf. Sie werden in die Zerspanungshauptgruppen **P, M, und K** eingeteilt und sind empfindlich gegenüber Temperaturschwankungen. Kühlschmierung wird deshalb nur selten eingesetzt. Schnittgeschwindigkeiten sind bis **350 m/min**. Beispiele sind: Bohrer, Fräser und Räumwerkzeuge.

Die Zähigkeit und der Vorschub bei jeder **Zerspangruppe (P, M, K)** steigen mit steigender Nummer an, die Verschleißfestigkeit und die Schnittgeschwindigkeit (Härte) nehmen ab. Alle Schneidstoffe **höherer Zerspangruppen (P30, M30, K30 und höher)** werden grundsätzlich für größere mechanische Belastungen, z.B. Schruppen oder Spanen mit unterbrochenem Schnitt eingesetzt. Die Schneidstoffe **niedrigerer Zerspangruppen (P10, M10, K10)** werden grundsätzlich für geringere mechanische Belastungen, z.B. Schlichten, bei geringerem Vorschub und höherer Schnittgeschwindigkeit eingesetzt.

- **Metalle dure** sunt aliaje sinterizate pe bază de carburi de **W, Ti, Ta** cu liant de **Co** sau **Ni**. Metalele dure au duritate mare, rezistență la uzură și stabilitate termică (**până la 1000 ° C**). Pot fi clasificate în trei grupe principale de așchiere **P, M și K** și au sensibilizate la oscilațiile de temperatură. Din acest motiv lichidele de așchiere se utilizează rar, iar vitezele de așchiere recomandate sunt de până la **350 m/min**. Exemple: burghie, freze, broșe.

Tenacitatea și avansul specifice fiecărei **grupe de așchiere (P, M, K)** cresc odată cu numărul din simbolul acestora, iar rezistența la uzură și vitezele de așchiere (duritatea) scad. Toate materialele de scule din **grupele superioare (P30, M30, K30 și mai sus)** se utilizează pentru solicitări mecanice mari, de ex. degroșări sau așchiere discontinuă. Materialele de scule din grupele inferioare (**P10, M10, K10**) se folosesc la prelucrări cu solicitări mecanice mai reduse, de ex. finisare, avansuri mici și viteze de așchiere mari.

▪ **Die Zerspangruppe P** wird hauptsächlich zum Spanen unlegierter, legierter und nichtrostender ferritischer und martensitischer Stähle und Stahlguß verwendet.

▪ **Die Zerspangruppe M** wird zum Spanen nichtrostender austenitischer Stähle und für Stahlguß verwendet.

▪ **Die Zerspangruppe K** wird zum Spanen von Grauguß, Kugelgraphitguß, von NE-Metallen und Kunststoff verwendet.

• **Schneidkeramik**

Bei der Schneidkeramik werden Keramiken auf **Aluminiumoxid-Basis Al_2O_3** - (englische Bezeichnung **ceramics**) und Mischkeramiken aus Aluminiumoxid mit einem relativ hohen Anteil an Metallkarbiden (englische Bezeichnung **Cermets**) unterscheiden.

Die Herstellung von Schneidkeramik erfolgt durch **Sintern**. Bei Verwendung von Schneidkeramik sind hohe Schnittgeschwindigkeiten möglich (bis über **1000 m/min**). Aufgrund der sehr geringen Wärmeleitfähigkeit bleibt die Schneidplatte während des Zerspanvorgangs nahezu kalt. Die entstehende Wärme wird über das Werkstück und die Späne abgeführt. Schneidkeramik ist stoßempfindlich. Es wird ohne Kühlschmierung gearbeitet.

• **Diamant**

Monokristalline (natürliche oder synthetische) Diamanten werden zur Feinbearbeitung von NE-Werkstoffen eingesetzt. Polykristalline Diamanten, als Schichten auf Hartmetallträgern aufgebracht, dienen zum Leistungszerspanen von NE-Werkstoffen.

• **Kubisch kristallines Bornitrid (CBN)** wird aus synthetischem Korn unter hohem Druck und hoher Temperatur hergestellt. Dieser Schneidstoff wird meist in dünnen Schichten auf Hartmetallplatten

• **Grupa de aşchiere P** se utilizează în principal la aşchiera oţelurilor nealiate, aliate, a oţelurilor feritice și martensitice și a oţelurilor turnate.

• **Grupa de aşchiere M** se recomandă pentru prelucrarea oţelurilor austenitice și a oţelurilor turnate.

• **Grupa de aşchiere K** se recomandă pentru prelucrarea fontelor cenuşii, fontelor cu grafit granular, metalelor neferoase și a materialelor plastice.

• **Materialele ceramice**

La materialele ceramice utilizate ca materiale de scule se diferențiază **materiale ceramice** pe bază de oxid de aluminiu (**Al_2O_3**) (**Ceramice**) și amestecuri ceramice din oxid de aluminiu și o proporție relativ mare de carburi metalice (**Cermets**).

Producerea sculelor din materiale ceramice se realizează prin **sinterizare**. Utilizarea acestor materiale permite folosirea unor viteze de aşchiere mari (până la **1000 m/min**). Datorită conductivității termice scăzute plăcuțele aşchietoare realizate din aceste materiale nu se încălzesc aproape deloc în timpul aşchierii. Căldura generată se propagă prin semifabricat și aşchii. Materialele ceramice sunt sensibile la șocuri mecanice. Prelucrările se realizează fără lichide de aşchiere.

• **Diamantul**

Diamantele monocristaline sintetice sau naturale se utilizează la prelucrarea fină a materialelor neferoase. Diamantele policristaline se folosesc ca straturi de acoperire pentru sculele din metale dure pentru prelucrarea eficientă a materialelor neferoase.

• **Nitrura cubică de bor (CBN)** se realizează din granule sintetice la presiuni și temperaturi ridicate. Acest material se aplică de regulă în straturi subțiri pe plăcuțele confecționate din metale dure.

aufgebracht. Schnittgeschwindigkeiten bis **350 m/min**. Geeignet für die Zerspanung harter Materialien mit kleinem Vorschub.

Viele Werkzeuge aus **HSS und Hartmetalle** werden mit dünnen **Karbid-, Oxid- und Nitridschichten** (wenige μm) zur Standzeiterhöhung überzogen. Durch **eine Beschichtung mit Hartstoffen** lassen sich die Verschleißigenschaften der Schneidplatten wesentlich verbessern. Mit physikalischen Aufdampfen bzw. chemischer Begasung der Oberflächen (**PVD-/CVD- Verfahren**) werden Schneidplatten und komplette Werkzeuge beschichtet. Zäh- / weiche Werkzeugschneiden werden so verschleißfest gemacht. Es lassen sich mehrlagige Schichten (aus **TiC, TiN**) aufbringen, z.B. eine harte Schicht auf eine zähe Schicht. Schichtdicke **3 bis 15 μm** (**Abb 2.14**).

Vitezele de aşchiere recomandate sunt de până la **350 m/min**. Acest material poate fi utilizat pentru aşchiera materialelor dure cu avansuri mici.

Pe multe dintre sculele realizate din **oțeluri rapide și metale dure** se aplică straturi subțiri de acoperiri din carburi, nitruți metalice sau oxizi (câțiva μm) în vederea creșterii durabilității. Prin asemenea **acoperiri cu materiale dure** se îmbunătățește considerabil rezistența la uzură a plăcuțelor aşchietoare. Acoperirea plăcuțelor sau acoperirea completă a sculelor se realizează prin **CVD** (Chemical Vapour Deposition) sau **PVD** (Physical Vapour Deposition). Astfel, scule realizate din materiale tenace sau moi devin rezistente la uzură. Se pot depune mai multe straturi (din **TiC, TiN**), alternând un strat dur, deșus pe un strat tenace. Grosimea unui strat variază între **3-15 μm** . (**Fig. 2.14**)

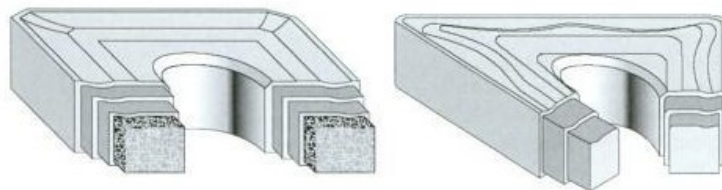


Abb. 2.14 Mehrfach beschichtete Schneidplatten (weich-hart-weich-hart) / Acoperiri metalice multistrat [PER 00]

Schneidstoffformen

- **Werkzeugstahl-** und **HSS-Werkzeuge** sind aus **Vollmaterial** hergestellt,
- **HSS-Werkzeuge** werden meist **beschichtet**,
- **Hartmetalle** und **Schneidkeramik** (unbeschichtet oder beschichtet) liegen beinahe ausschließlich als genormte **Positiv-** und **Negativplatten** vor,
- **Diamantwerkzeuge** werden „maßgeschneidert“ für den geplanten Verwendungszweck hergestellt.
- **Werkzeugsysteme** einschließlich Schneidplatten sind Baukastenwerkzeuge:

Moduri de utilizare a materialelor de scule

- Sculele din **oțeluri de scule și oțeluri rapide** sunt confecționate complet din aceste materiale.
- **Sculele din oțeluri rapide** au cel mai adesea **acoperiri metalice**.
- **Metalele dure și materialele ceramice** se folosesc în aşchiere aproape exclusiv sub formă de **plăcuțe pozitive sau negative** (cu sau fără acoperiri metalice).
- **Sculele din diamant** sunt realizate astfel încât geometria lor să corespundă scopului căruia îi sunt destinate.
- **Sistemele de scule** inclusiv plăcuțele sunt scule integrate:

Vorteil: einfacher, keine extra Werkzeugschleiferei, gute Verfügbarkeit.

Nachteil: geringere Stabilität des Werkzeugs durch zusätzliche Fügestellen

Avantaj: mai simple, nu este necesară ascuțirea suplimentară a sculei, disponibilitate bună

Dezavantaj: stabilitate scăzută a sculei.

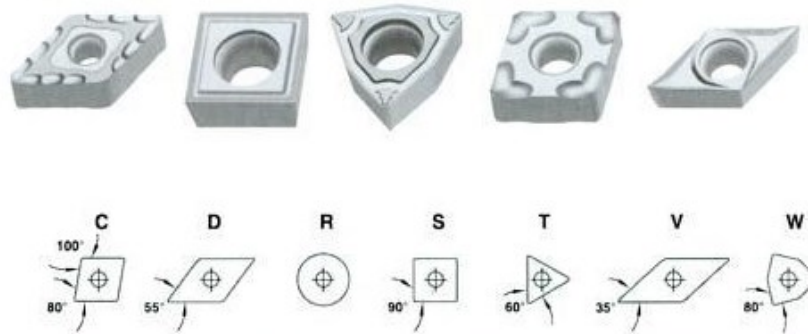


Abb. 2.15 Einige Wendeschneidplatten (unten: Plattenformen mit Eckenwinkeln) / Forme standardizate de plăcuțe amovibile / Tipuri de plăcuțe amovibile [www.sandvik.de]

Nach DIN ISO 513 werden bei **Hartmetalle**, **Schneidkeramik** und **Diamant** folgende **Schneidstoffgruppen** mit ihren **Kurzzeichen** unterscheiden:

- **HW** unbeschichtetes, vorwiegend aus W Karbid bestehendes Hartmetall, Korngröße $\geq 1 \mu\text{m}$
- **HF** unbeschichtetes, vorwiegend aus Wolframkarbid bestehendes Hartmetall, Korngröße $< 1 \mu\text{m}$
- **HT** unbeschichtetes, vorwiegend aus Titankarbid oder Titanitrid bestehendes Hartmetall (Cermet)
- **HC** beschichtetes Hartmetall
- **CA** vorwiegend aus Aluminiumoxid bestehende Keramik (Oxidkeramik)
- **CN** vorwiegend aus Siliziumnitrid bestehende Keramik (Nitridkeramik)
- **CR** vorwiegend aus Aluminiumoxid bestehende, verstärkte Keramik (Oxidkeramik)
- **CC** beschichtete Schneidkeramik
- **DP** polykristalliner Diamant
- **DM** monokristalliner Diamant.

Conform DIN ISO 513 **metalele dure**, **materialele ceramice** și **diamantul** sunt clasificate în următoarele **grupe de materiale de scule**, având **simbolurile** corespunzătoare:

- **HW** plăcuțe fără acoperire, predominant din carbură de W, granulație $\geq 1 \mu\text{m}$,
- **HF** plăcuțe fără acoperire, predominant din carbură de W, granulație $< 1 \mu\text{m}$,
- **HT** plăcuțe din carburi metalice, fără acoperire, predominant din carbură sau nitrură de Ti,
- **HC** plăcuțe cu acoperire din carburi metalice,
- **CA** plăcuțe predominant din materiale ceramice pe bază de aluminiu,
- **CN** materiale ceramice predominant din nitruri de siliciu,
- **CR** materiale ceramice durificate predominant din oxid de aluminiu,
- **CC** materiale ceramice cu acoperiri,
- **DP** diamant policristalin,
- **DM** diamant monocristalin.

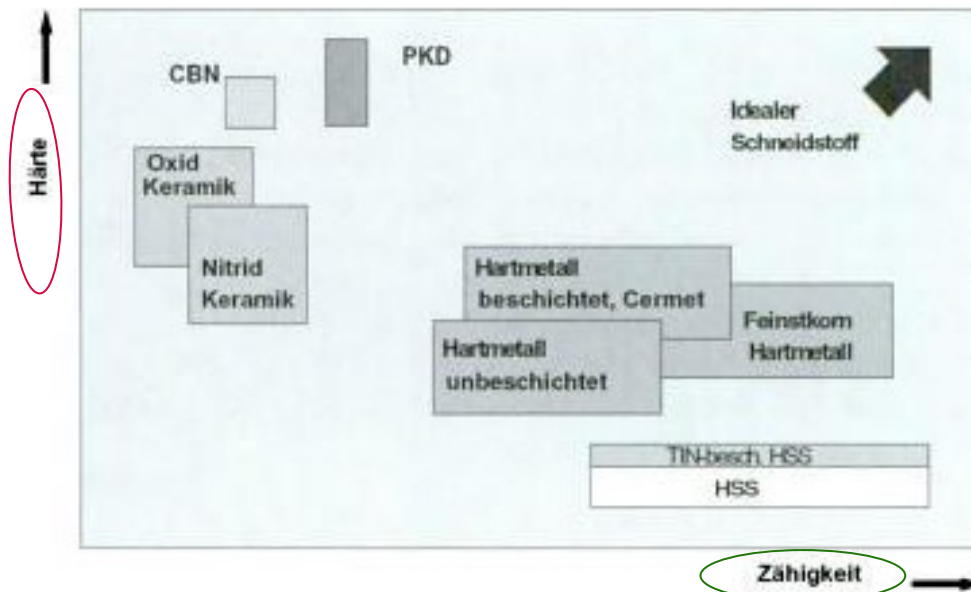


Abb. 2.17 Einordnung der Schneidstoffe bezüglich Härte (Verschleißfestigkeit, Schnittgeschwindigkeit) und Zähigkeit (Biegefestigkeit, Vorschub / Ordonarea materialelor de scule în funcție de duritate [Wes 10]

2.9 Thermische Beanspruchung

Die zum Zerspanen erforderliche **Leistung** wird überwiegend in **Wärmeenergie** umgewandelt und abgeführt. Beim Spanen treten insgesamt **4 Wärmequellen**, sie werden im **Bild 2.18** verdeutlicht. Diese **vier Wärmequellen** sind:

- **die Scherzone:** Wärmequelle 1, hier entsteht die Wärme auf Grund der Scherung,
- **das Trenngebiet:** Wärmequelle 2, der Trennvorgang erzeugt auch Wärme,
- **die Hauptfreifläche:** Wärmequelle 3, die Reibung der Werkzeugspitze an der erzeugten Werkstückoberfläche,
- **die Spanfläche:** Wärmequelle 4, die Reibung der Späne an der Spanfläche des Werkzeugs.

Die **Wärmequellen 1 und 4** erzeugen die meiste Wärme. Die entstehende Wärme wird abgeführt. Am besten wäre es, wenn der Span die gesamte Wärme abführen würde. Im **Bild 2.18** führt **der Span ca. 75%** der entstandenen Wärme ab, während **18% in das Werkzeug** eindringen und diesen Temperatur erhöhen. Das Werkstück nimmt

2.9 Solicități termice

Puterea consumată în procesul de așchiere este transformată preponderent **în energie termică** și transmisă mai departe. La așchiere se întâlnesc în total **4 surse de căldură**, așa cum este indicat în **figura 2.18**. Acestea sunt:

- **Zona de forfecare:** sursa de căldură 1, ca urmare a forfecării materialului.
- **Zona de separare:** sursa de căldură 2, datorită procesului de separare al materialului.
- **Fața de așezare principală a sculei:** sursa de căldură 3, ca urmare a frecării între vârful sculei și suprafața prelucrată .
- **Fața de degajare a sculei:** sursa de căldură 4, ca urmare a frecării între așchii și fața de degajare.

Cea mai mare parte a căldurii este generată de **sursele 1 și 4**. Căldura este în continuare disipată. Ideal ar fi dacă așchiile ar prelua în totalitate căldura generată, însă situația reală este prezentată în **figura 2.18**.

Așchiile conduc cca. **75%** din căldura rezultată, în

ca. **7% der Wärme** auf, wodurch sich dessen Randzone erwärmt, und es gegebenenfalls zu einer Gefügeänderung kommen kann. Bei der **Hochgeschwindigkeitsbearbeitung** führt der **Span** ca. **90%** der Wärme ab.

timp ce **18%** este înmagazinată în **sculă**, determinând creșterea temperaturii acesteia. **Semifabricatul** preia cca. **7%** din căldură, având loc o încălzire a stratului superficial al materialului și implicit o modificare a structurii acestuia. La **prelucrările cu viteze mari** de așchiere proporția căldurii preluate de așchii ajunge la **90%**.

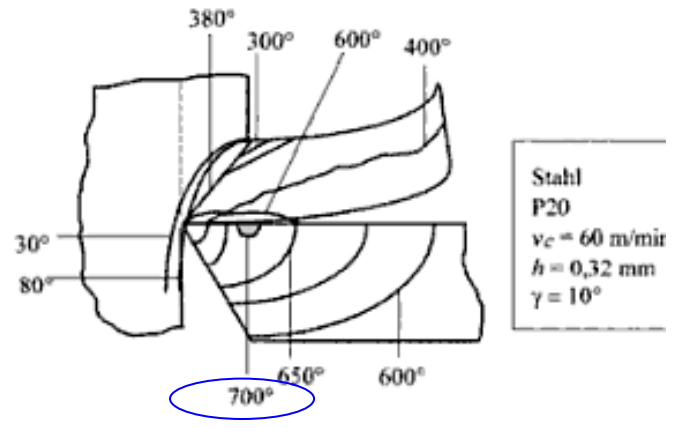
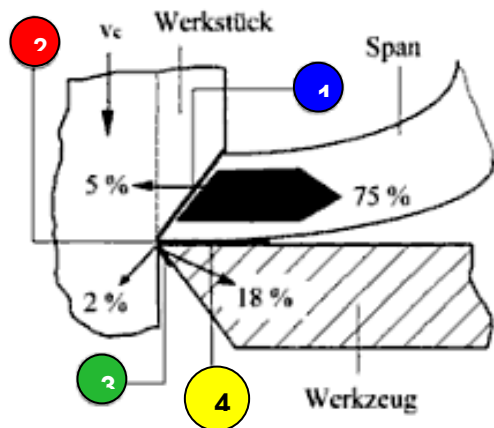


Abb. 2.18 Wärmequellen (links) und Temperaturverteilung (rechts) beim Spanen / Surse de căldură la așchiere [WES 10]

Die **höchsten Temperaturen** treten auf der **Spanfläche** an der Stelle auf, an der die Wärmequelle 4 durch Reibung eine zusätzliche Temperaturerhöhung bewirkt. Im Beispiel aus Abb. 2.18 (rechts) sind es **700 °C**.

Cele mai **mari temperaturi** se înregistrează pe **fața de degajare** a sculei, unde sursa numărul 4 de căldură datorată frecării determină o creștere suplimentară a temperaturii. În exemplul din figura 2.18 (dreapta) aceste temperaturi ajung la **700 °C**. Aceasta este zona unde de regulă apare uzura craterială a sculei. În cazurile în care se prelucrează materiale cu **rezistență mai mare**, cu **viteze de așchiere mai mari**, **temperaturile** pot să depășească **1000 °C**.

Das ist die Stelle, an der Kolkverschleiß auftritt. Werden Werkstoffe mit einer **höheren Festigkeit** bei noch **höheren Schnittgeschwindigkeiten** zerspant, können lokal Temperaturen von **über 1000°C** auftreten.

2.10 Chemische Beanspruchung

2.10 Procese chimice

Aufgrund der hohen Temperaturen und hohen Drücke finden beim Spanen chemische Reaktionen statt, die im **Bild 2.19** dargestellt sind, wie

Din cauza temperaturilor și presiunilor ridicate, în timpul așchierii au loc de asemenea și reacții chimice, așa cum este reprezentat în **figura 2.19**:

- **Oxidation und Verzundung:** Auf der heißen Werkzeugoberfläche bildet sich eine harte Oxidschicht.
- **Difussion:** mit zunehmender Temperatur nimmt die Beweglichkeit der Atome und Moleküle zu. Es kommt zu einem thermisch aktivierten

- **Oxidări și arderi:** pe suprafața fierbinte a semifabricatului se formează un strat dur de oxid.
- **Difuzie:** odată cu creșterea temperaturii crește mobilitatea atomilor și a moleculelor din materiale. Are loc o migrare activată termic a

Wandern der Atome sowohl vom Span in das Werkzeug als auch vom Werkzeug in den Span, wodurch sich die Werkzeugeigenschaften verändern.

- **Adhäsion:** Bei hohen Drücken nähern sich die Atome des Spans und des Werkzeugs so stark, dass starke atomische Bindungskräfte wirksam werden, die dazu führen, dass sich Spanpartikel auf dem Werkzeug ablagern oder Partikel aus dem Werkzeug herausgerissen werden

atomilor atât dinspre aşchii spre sculă, cât și dinspre sculă spre aşchii, ceea ce determină modificarea proprietăților sculei.

- **Adeziune:** la presiuni ridicate atomii din materialul aşchiilor și cel al sculelor se apropie atât de mult încât apar forțe interatomice foarte puternice și se produce o lipire a particulelor de aşchii pe sculă sau o desprindere a unor particule din materialul sculei.

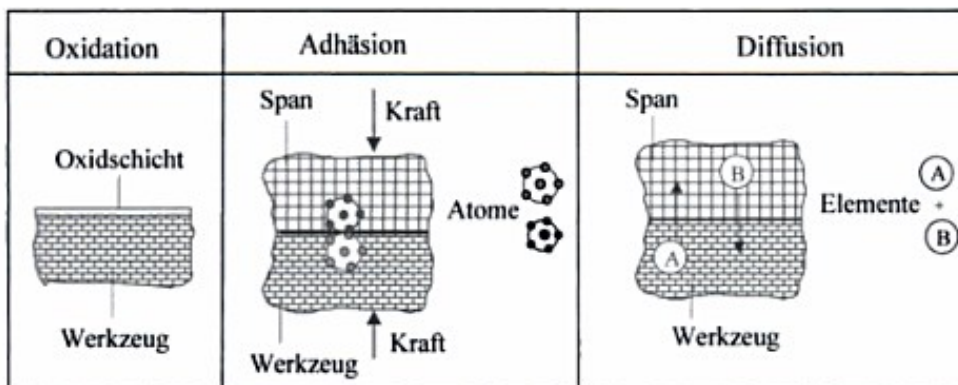


Abb. 2.19 Chemische Beanspruchung des Werkzeugs beim Spanen / Reacții chimice la aşchiere [DEA 92]

2.11 Kühlschmierstoffe (KSS)

Bei vielen Zerspanprozessen werden **Kühlschmierstoffe (Öle, Emulsionen und Lösungen)** eingesetzt. Die Art und Zusammensetzung des anzuwendenden Kühlschmierstoffes richtet sich nach **Faktoren** wie: bearbeitender **Werkstoff**, **Werkzeugwerkstoff**, **Schnittgeschwindigkeit**, **Zerspanungsvolumen** und zunehmend nach der **Umweltverträglichkeit**. Vereinfacht lassen sich **drei Hauptaufgaben** der Kühlschmierstoffe darstellen:

- **Kühlung** von Werkzeug und Werkstück,
- **Schmierung** zur Herabsetzung der Reibungswärme, der Schnittkräfte und Werkzeugverschleißes (Standzeiterhöhung),
- **Reinigung** des zu bearbeitenden Werkstückes sowie des Werkzeuges durch **Wegspülen** der Späne und Verunreinigungen.

2.11 Lichide de aşchiere

La multe procese de aşchiere se utilizează **lichide de aşchiere (uleiuri, emulsii și soluții)**. Alegerea tipului și compoziției lichidelor de aşchiere utilizate se face pe baza mai multor **factori** ca: **materialul semifabricatului**, **materialul sculei**, **vitezele de aşchiere**, **volumul de material aşchiat** și tot mai mult după **impactul asupra mediului înconjurător**. Simplificat, cele **trei sarcini principale** ale lichidelor de aşchiere sunt:

- **Răcirea** sculei și a semifabricatului,
- **Ungerea** pentru reducerea căldurii produse prin frecare, a forțelor de aşchiere și a uzurii sculei (creșterea durabilității sculei),
- **Curățarea** semifabricatului de prelucrat și a sculei prin îndepărtarea aşchiilor.

Neben dem technologischen Nutzen können Kühlschmierstoffe **eine Gefährdung** für **Mensch** und **Umwelt** sein. So wird der Ersatz von mineralölbasischen Kühlschmierstoffen durch unbedenklichere und umweltverträglichere Kühlschmierstoffe notwendig.

Die Entwicklungstendenzen bestehen aus:

- **Trockenzerspanung.**
- **Modifizierte KSS.**
- **Minimalmenge Kühlschmierung (MMKS).**

2.12 Trends in der spanenden Fertigung

Die Trends im Bereich der spanenden Fertigung liegen neben der Verkürzung der Hauptzeiten und der Verlängerung von Stanzeiten bei der

- *Hochgeschwindigkeitszerspanung*
- *Hartzerspanung*
- *Trockenzerspanung und*
- *Minimalmenge Kühlschmierung (MMKS)*

➤ **Hochgeschwindigkeitszerspanung (HSC – High Speed Cutting)** ist ein Arbeiten mit deutlich erhöhten Schnittgeschwindigkeiten bei relativ geringen Schnitttiefen. Schnittgeschwindigkeiten sind stets in Verbindung mit dem Bearbeitungsverfahren, aber auch mit dem zu bearbeitenden Werkstoff zu sehen. Durch die geringere Scherung des zu zerspanenden Werkstoffs entsteht in der Scherzone weniger Wärme. Außerdem kann durch die hohen Schnittgeschwindigkeiten mehr Wärme über die Späne abgeführt werden.

Vorteile der hohen Schnittgeschwindigkeiten sind:

- *erhebliche Reduzierung der Hauptzeiten,*
- *höheres Zeitspannungsvolumen um ca. 30%,*
- *Erhöhung der Vorschubgeschwindigkeit bis 120 mm/min,*
- *Reduzierung der Zerspankraft um mehr als 30%,*

Pe lângă utilitatea tehnologică a lichidelor de aşchiere, acestea pot simultan să producă **prejudicii pentru oameni și mediul înconjurător**. Astfel devine necesară o înlocuire a lichidelor de aşchiere pe bază de uleiuri minerale cu lichide de aşchiere neproblematică și ecologică.

Tendențele de dezvoltare sunt:

- **Aşchiera uscată,**
- **Lichide de aşchiere modificate,**
- **Ungerea și răcirea minimală.**

2.12 Tendințe în domeniul prelucrărilor prin aşchiere

Tendințe în domeniul prelucrărilor prin aşchiere vizează reducerea timpilor de prelucrare și prelungirea durabilității sculelor prin:

- *Aşchiere cu viteze mari de aşchiere,*
- *Aşchiera dură,*
- *Aşchiera uscată și*
- *Aşchiere cu ungere și răcire minimală.*

➤ **Aşchiera cu viteze mari de aşchiere (High Speed Cutting)** este prelucrarea cu viteze de aşchiere considerabil crescute, la adâncimi de aşchiere relativ scăzute. Vitezele de aşchiere sunt considerate permanent în corelație cu procesul de prelucrare, dar și cu materialul semifabricatului de prelucrat. Prin-o forfecare mai redusă a materialului care se aşchiază rezultă mai puțină căldură în zona de forfecare. Mai mult decât atât prin utilizarea unor viteze de aşchiere mari, o cantitate mai mare de căldură poate fi preluată de aşchii.

Avantajele aşchierii cu viteze mari sunt:

- *Creșterea considerabilă a productivității,*
- *Creșterea volumului de material aşchiat cu până la 30%,*
- *Creșterea vitezei de avans, max 120 mm/min*
- *Reducerea forțelor de aşchiere cu mai mult de 30%,*

- *Schwingungsarme Bearbeitung geometrisch komplizierter Bauteile möglich,*
- *spanende Endarbeitung durch HSC möglich (Oberflächenqualität nahezu Schleifqualität, verzugsfreie Bearbeitung durch Abführung der Prozesswärme vorwiegend über die Späne).*

Nachteile dagegen sind:

- *Reduzierung der Werkzeugstandzeit mit zunehmender Schnittgeschwindigkeit,*
- *Schneidstoffe und Beschichtungen sind den Gegebenheiten anzupassen,*
- *optimale Parameter sind noch nicht umfassend bekannt.*

Für den optimalen Einsatz des Gesamtsystems Werkzeugmaschine-Werkzeug-Werkstück sind folgende **Voraussetzungen** zu schaffen:

- *spiel- und schwingungsarme Arbeitsweise,*
- *hohe Steifigkeit des Gesamtsystems,*
- *Leichtbau der bewegten Massen,*
- *hohe Drehzahlen und höchste Rundlaufgenauigkeit der Spindel, Werkzeugaufnahme und Werkzeuge,*
- *Realisierung hoher Vorschübe,*
- *Hohe Standzeiten (spezielle Schneidengeometrie und Beschichtungen).*

Besonders bei HSC-Bearbeitung sind die **Fliehkräfte** von besonderer Bedeutung. Sie belasten die Spindellagerung (Zerstörung der Spindel), verursachen Vibrationen, die die Oberflächenqualität negativ beeinflussen, verschlechtern die Fertigungsgenauigkeit und verkürzen die Werkzeugstandzeit.

- *Este posibilă prelucrarea cu vibrații reduse a unor piese cu geometrie complexă,*
- *Prelucrarea finală (calitatea suprafețelor prelucrate comparabilă cu cea obținută prin rectificare, prelucrări fără întârzieri prin dirijarea căldurii preponderent spre așchii).*

Dezavantajele așchierii cu viteze mari sunt:

- *Reducerea durabilității sculei odată cu creșterea vitezei de așchiere,*
- *Materialele de scule și acoperirile metalice trebuie adaptate condițiilor concrete de lucru,*
- *Parametrii de lucru optimi nu sunt încă în totalitate cunoscuți.*

Pentru o implementare optimă a întregului sistem, mașină unealtă – sculă – semifabricat, trebuie asigurate următoarele **premize**:

- *Condiții de lucru fără jocuri și vibrații,*
- *Rigiditate ridicată a întregului sistem,*
- *Masele aflate în mișcare să fie ușoare,*
- *Turații ridicate și o bătaie radială scăzută a arborelui principal, a dispozitivelor de fixare a sculelor și a sculelor,*
- *Asigurarea unor avansuri mari,*
- *Durabilități mari ale sculelor (geometrii speciale ale muchiilor și acoperiri metalice).*

În special la prelucrarea cu viteze de așchiere mari o atenție deosebită trebuie acordată **forțelor centrifuge**. Ele solicită suplimentar lagărele arborelui principal, produc vibrații ce influențează negativ precizia de prelucrare și diminuează durabilitatea sculei.

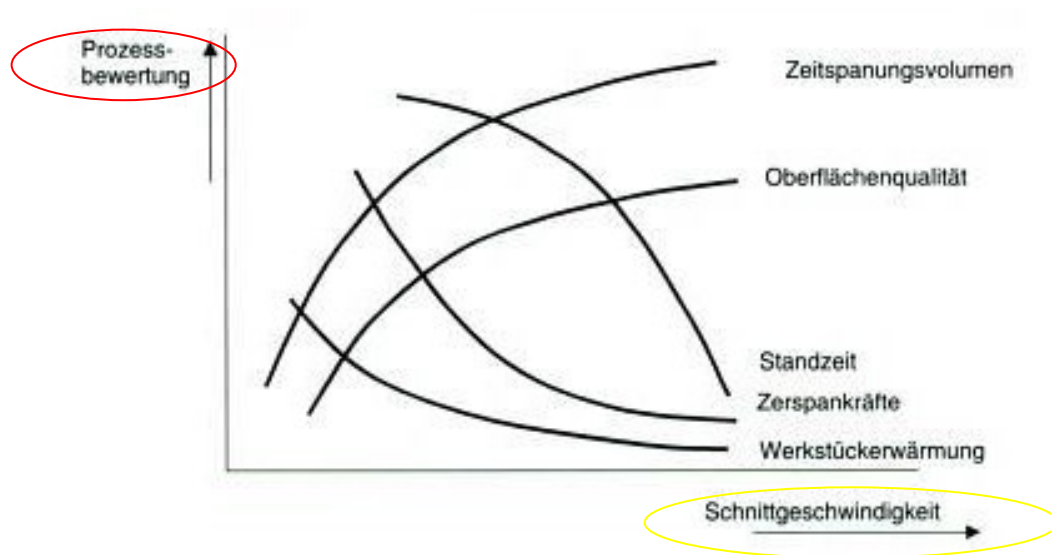


Abb. 2.20 Prozessanforderungen bei der HSC-Bearbeitung / Cerințe la prelucrarea cu viteze mari de aşchiere [TOE 11]

➤ Trockenzerspannung

Die Entwicklung der letzten Jahren gehen dahin, KSS weitestgehend zu vermeiden. Die Trockenzerspannung, bei der man ohne KSS arbeitet, ist bereits bei einigen Anwendungen wie die Gussbearbeitung Stand der Praxis.

Vorteile der Trockenbearbeitung:

- keine Gesundheitsbeeinträchtigung,
- umweltschonend,
- keine Entsorgung, dadurch keine Entsorgungskosten,
- kein Waschen der Werkstücke nach der Bearbeitung,
- Maschine ohne Kühlsystem, daher einfacherer Aufbau und billiger.

Nachteile der Trockenbearbeitung:

- längere Bearbeitungszeiten,
- Verringerung der Produktivität,
- hohe Wärmeentwicklung,
- geringere Maschinenlebensdauer,
- geringere Maßhaltigkeit, da sich heiße Werkstück verformt,
- schlechtere Oberflächen,
- Aufhärtung der Werkstück-Randschicht,
- Kein Späneabtransport durch KSS.

➤ Aşchiera uscată

Tendința de dezvoltare în ultimii ani se orientează spre reducerea considerabilă a consumului de lichide de aşchiere. Aşchiera uscată, la care prelucrarea se realizează fără lichide de aşchiere, este deja implementată în practică (la prelucrarea fontelor).

Avantajele aşchierii uscate:

- Fără prejudicii asupra sănătății,
- Ecologică,
- Nu mai este necesară tratarea lichidelor uzate, deci fără costuri în acest sens,
- Nu mai este necesară curățarea semifabricatelor după prelucrare,
- Mașinile-unelte nu mai necesită sistem de răcire, sunt mai simple și mai ieftine.

Dezavantajele aşchierii uscate:

- Timpuri de prelucrare mai mari,
- Scăderea productivității,
- Rezultă mai multă căldură,
- Reducerea duratei de viață a mașinii-unelte,
- Asigurarea preciziei dimensionale dificilă, datorită deformării termice a semifabricatelor,
- Calitate mai slabă a suprafețelor prelucrate,
- Durificarea stratului superficial al materialului
- Nu se asigură transportul așchiilor.

Um jedoch trocken zu zerspanen, benötigt man:

- *neue Schneidstoffe, wie Cermets, Nitridkeramik,*
- *neue Beschichtungen, wie TiAlNi,*
- *andere Werkzeuggeometrien,*
- *neue Maschinenkonzepte, da die heißen Späne vom KSS nicht mehr abgekühlt werden, die Maschine erwärmen, wodurch ihre Genauigkeit verringert wird. Präzisionsmaschinen besitzen eine Temperaturkompensation, um Temperatur bedingte Längenänderungen auszugleichen.*

➤ **Modifizierte KSS**

Der Trend zeichnet sich dahingehend ab, wassermischbare KSS durch nichtwassermischbare zu ersetzen. Andererseits setzt man synthetische, biologisch abbaubare Öle ein.

➤ **Mikrostahl- bzw. Minimalschmierung**

Da es zur Zeit noch nicht möglich ist, alle Zerspanungsprozesse ohne den Einsatz von KSS wirtschaftlich zu betreiben, hat man Minimalschmierungskonzepte erarbeitet, die mit einem Minimum an KSS auskommen.

Pentru a realiza aşchiera uscată este necesară:

- *Utilizarea unor materiale de scule noi (carburi, materiale ceramice),*
- *Noi acoperiri metalice (TiAlNi),*
- *Geometrii modificate ale sculelor,*
- *Noi concepte de maşini-unelte, pentru că aşchiile fierbinţi rezultate nu sunt răcite de către lichidele de aşchiere şi conduc la încălzirea componentelor maşinilor şi implicit la reducerea preciziei acestora. Maşinile-unelte de precizie dispun de sisteme de compensare a temperaturii.*

➤ **Lichide de aşchiere modificate**

Tendinţa este de a înlocui lichidele de aşchiere solubile în apă cu lichide de aşchiere insolubile. Pe de altă parte se recomandă utilizarea uleiurilor sintetice biodegradabile.

➤ **Tehnica de aşchiere cu ungere şi răcire minimală**

Pentru că în prezent nu toate procesele de prelucrare pot fi realizate în absenţa lichidelor de aşchiere, se implementează tehnica de aşchiere cu ungere şi răcire minimală, care utilizează o cantitate minimă de lichide de aşchiere.

KAPITEL 3.

Spanende Fertigungsverfahren mit geometrisch bestimmten Schneiden

Höhere Schnittgeschwindigkeiten und neue Schneidstoffe beim Spanen mit geometrisch bestimmten Schneiden ermöglichen heute eine Werkstückgenauigkeit, die die Anwendung von Fertigungsverfahren mit geometrisch unbestimmten Schneiden für die Endbearbeitung in vielen Fällen entbehrlich machen könnte.

Umgekehrt ist es durch die Fortschritte auf dem Gebiet der Schleiftechnologie gelungen, die Zeitspannungsvolumina in erheblichem Maße zu steigern, so dass Schleifverfahren in bestimmten Anwendungsfällen eine wirtschaftliche Alternative zu spanenden Fertigungsverfahren mit geometrisch bestimmten Schneiden bieten.

CAPITOLUL 3.

Procese de aşchiere cu scule cu muchii aşchietoare definite

Vitezele de aşchiere mai mari și materialele noi pentru scule la aşchiera cu muchii aşchietoare definite permit în prezent obținerea de precizii ale piesei, care în multe cazuri, ar putea face ca procesele de prelucrare cu scule cu muchii aşchietoare nedefinite geometric să nu mai fie necesare pentru prelucrarea finală.

Pe de altă parte, progresele înregistrate în domeniul tehnologiei de prelucrare prin rectificare au reușit să mărească în mod semnificativ productivitatea proceselor, astfel încât procesele de rectificare în anumite aplicații oferă o alternativă economică la procesele de prelucrare cu scule cu muchii aşchietoare definite geometric.

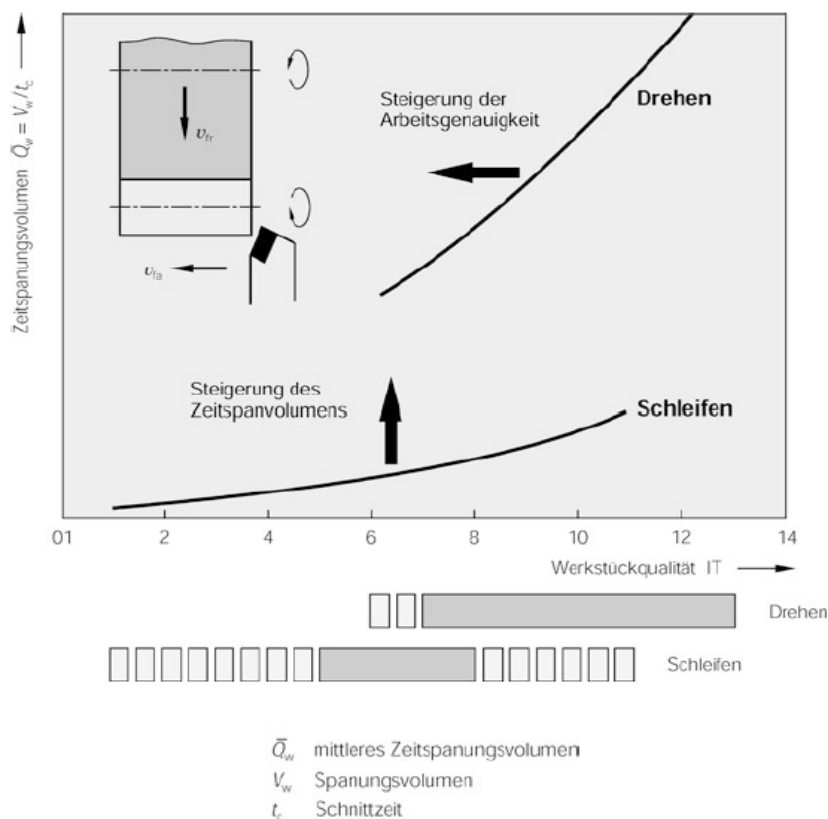


Abb. 3.1 Anwendungsbereiche und Tendenzen beim Drehen und Schleifen / Domenii de aplicare și tendințe la strunjire și rectificare [WES 10]

Abbildung 3.1 zeigt die heute unter Großserienbedingungen erreichbaren Werkstückqualitäten und Tendenzen in Abhängigkeit vom Zeitspannungsvolumen für die Fertigungsverfahren **Drehen** und **Schleifen**. Die genannten Tendenzen können Ursache von **Verfahrenssubstitutionen** sein, wobei sich entscheidende Produktionsvorteile dann ergeben, wenn die jeweiligen werkstückbezogenen Fertigungsanforderungen möglichst mit einem Fertigungsverfahren für die Vor- und Fertigbearbeitung erfüllt werden können.

Mit den Fortschritten hinsichtlich Produktivität, Flexibilität, Qualität und Umweltverträglichkeit beim Drehen und Schleifen wird immer wieder die Frage diskutiert, welche dieser Fertigungstechnologien insgesamt gesehen leistungsfähiger sei. Hierauf kann es jedoch keine allgemeingültige Antwort geben, da die werkstückseitigen Merkmale und Bearbeitungsanforderungen zu komplex und unübersichtlich geworden sind.

Um die ökonomischen und ökologischen Fertigungsbedingungen miteinander in Einklang zu bringen, wird die Hartbearbeitung zunehmend mit definierter Schneide praktiziert. Dabei ergeben sich Vorteile hinsichtlich der Kosten und der Verfahrensflexibilität. Außerdem kann in vielen Fällen auf Kühlschmierstoffe verzichtet werden. Inzwischen wurden auch Werkzeugmaschinen für das kombinierte Drehen und Schleifen in einer Aufspannung entwickelt.

Verfahrensmerkmale der wichtigsten Fertigungsverfahren sind im Folgenden beschrieben.

3.1. Drehen

Das Drehen ist ein spanendes Fertigungsverfahren mit **geschlossener**, meist **kreisförmiger Schnittbewegung** und **beliebiger, quer zur Schnittrichtung** liegender **Vorschubbewegung**. Die Drehachse der Schnittbewegung ist

Figura 3.1 prezintă calitatea piesei prelucrate și tendințele care se manifestă în prezent în cazul producție de serie mare și masă, în funcție de volumul de material îndepărtat, la **strunjire și rectificare**. Tendințele menționate pot determina **substituția metodelor prelucrare**, în care avantajele decisive ale proceselor de producției se valorifică atunci când cerințele de fabricație impuse piesei de prelucrat pot fi îndeplinite printr-un singur proces de fabricație pentru degroșare și finisare.

Odată cu progresele în ceea ce privește productivitatea, flexibilitatea, calitatea și compatibilitatea cu mediul, la strunjire și rectificare, se pune întrebarea care dintre aceste tehnologii de fabricație este mai eficientă per ansamblu. Nu poate exista un răspuns general valabil, deoarece caracteristicile piesei de prelucrat și cerințele de prelucrare au devenit prea complexe și dificil de anticipat.

Pentru a corela condițiile de producție economice și ecologice, prelucrarea dură se practică din ce în ce mai mult cu scule așchietoare cu muchii definite. Acest lucru are ca rezultat avantaje în ceea ce privește costul și flexibilitatea procesului. În plus, lichidele ade așchiere pot fi eliminate în multe cazuri. Între timp, au fost de asemenea dezvoltate mașini-unelte pentru prelucrări prin strunjire și rectificare combinate, într-o singură prindere.

Caracteristicile celor mai importante procese de fabricație sunt descrise în continuare.

3.1. Strunjirea

Strunjirea este un proces de prelucrare cu o **mișcare de așchiere continuă**, de obicei **circulară**, și o **mișcare de avans** pe direcție **transversală** sau o **altă direcție**, față de direcția mișcării principale. Axa de rotație a mișcării de

werkstückgebunden, d.H., sie behält ihre Lage zum Werkstück unabhängig von der Vorschubbewegung bei. Beim Drehen führt in der Regel das Werkstück die umlaufende Schnittbewegung aus und das Werkzeug die erforderlichen Vorschub- und Zustellbewegungen. Die Werkstücke sind **Rotationskörper**.

3.1.1 Drehverfahren

Drehverfahren zählen zu den am häufigsten angewendeten spanenden Fertigungsverfahren. Ausgehend von DIN 8589-1, werden die Drehverfahren nach Merkmalen der zu **erzeugenden Flächengestalt** entsprechend [Abb.3.2](#) unterteilt. Das Drehverfahren werden auch nach den: • **Richtung der Vorschubbewegung**, • **Werkzeugmerkmale** und • nach **der Art der Steuerung** beim Formdrehen unterteilt.

aşchiere este legată la piesă, îşi menţine poziţia faţă de piesa de prelucrat, independent de mişcarea de avans. În cazul strunjirii, de regulă, piesa de prelucrat efectuează mişcarea de aşchiere continuă, iar scula efectuează mişcările de avans şi de poziţionare necesare. Semifabricatele sunt **piese de revoluţie**.

3.1.1 Procedee de strunjire

Procese de strunjire se numără printre cele mai frecvent utilizate procese de prelucrare. Conform DIN 8589-1, procesele de strunjire sunt clasificate în funcţie de **caracteristicile suprafeţii** care se prelucrează, conform [Fig.3.2](#). Procedeele de strunjire sunt de asemenea clasificate în funcţie de: • **direcţia mişcării de avans**, • **caracteristicile sculei** şi în funcţie de **modul de realizare al mişcărilor** la strunjirea profilată.



Abb. 3.2. Einteilung der Drehverfahren nach DIN 8589, Teil 1 / Clasificarea proceselor de strunjire

Mit **Plandrehen** bezeichnet man Drehverfahren zur Erzeugung einer senkrecht zur Drehachse liegenden ebenen Fläche. [Abbildung 3.3](#) verdeutlicht die **drei Verfahrensvarianten**: *Quer-Plandrehen*, *Längs-Plandrehen* und *Quer-Abstech-Plandrehen*.

Beim **Quer-Plandrehen** erfolgt der Vorschub senkrecht zur Drehachse des Werkstücks, während beim **Längs-Plandrehen** der Vorschub parallel zur Drehachse des Werkstücks gerichtet ist. Das **Quer-**

Strunjirea plană reprezintă procesul de strunjire prin care se generează o suprafaţă plană, perpendiculară pe axa de rotaţie. [Figura 3.3](#) ilustrează cele **trei variante de proces**: *strunjire plană cu avans transversal*, *strunjire plană cu avans longitudinal* şi *retezare*.

În cazul **strunjirii plane cu avans transversal**, mişcarea de avans este perpendiculară pe axa de rotaţie a piesei de prelucrat, în timp ce la **strunjirea plană cu avans longitudinal** mişcarea

Abstechdrehen wird zum Abtrennen eines Werkstücks oder von Werkstückteilen angewendet.

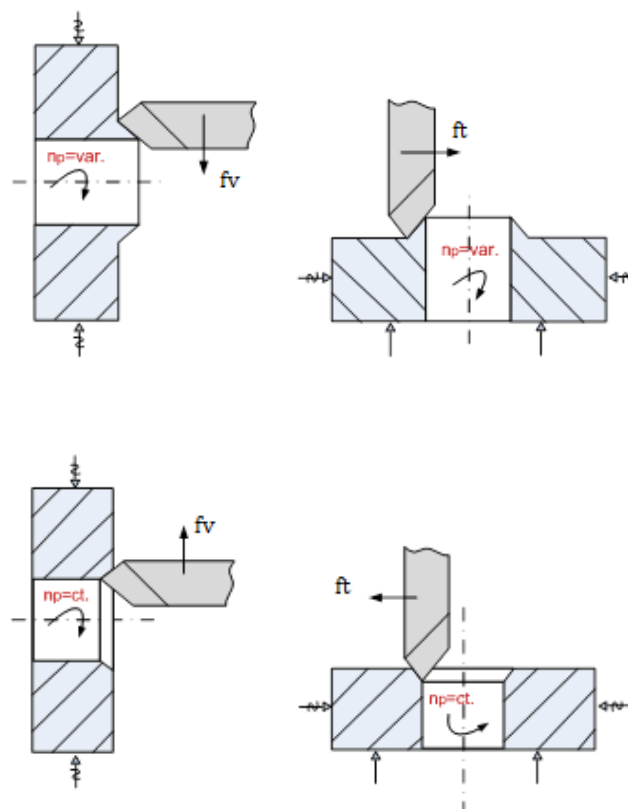
de avans este direcționată paralel cu axa de rotație a piesei de prelucrat. Prelucrarea prin **retezare** este utilizată pentru separarea unui semifabricat sau a pieselor de prelucrat.

| 3 | 2 | 1 | 1 | Plandrehen | | |
|-----------------|---|---|---|-------------------------|--|------------------|
| | | | | | | |
| 3.2.1.1.1 Quer- | | | | 3.2.1.1.2 Quer-Abstich- | | 3.2.1.1.3 Längs- |

Abb. 3.3 Plandrehverfahren / Procedee de strunjire plană [WES 10]

Bei allen **Plandrehverfahren** mit senkrecht zur Drehachse des Werkstücks gerichteter Vorschubbewegung ist zu beachten, dass sich die Schnittgeschwindigkeit mit zunehmendem Vorschubweg (abnehmendem Drehdurchmesser) ändert, wenn nicht ein Anpassen der Werkstückdrehzahl an den jeweiligen Drehdurchmesser erfolgt.

Pentru toate procedeele de **strunjire plană** cu mișcare de avans direcționată perpendicular pe axa de rotație a piesei de prelucrat, trebuie remarcat faptul că viteza de așchiere se modifică odată cu creșterea cursei de avans (diminuarea diametrului semifabricatului), în cazul în care turația piesei de prelucrat nu este adaptată la diametrul de rotație respectiv.



Runddrehen ist Drehen zum Erzeugen von zur Drehachse des Werkstücks koaxial liegenden kreiszylindrischen Flächen. Einige wichtige Runddrehverfahren zeigt **Abb. 3.4**.

Strunjirea cilindrică este procedeul prin care se obțin suprafețe cilindrice coaxiale cu axa de rotație a piesei de prelucrat. Cele mai relevante procedee de strunjire cilindrică sunt prezentate în **figura 3.4**.

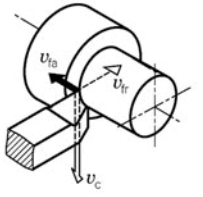
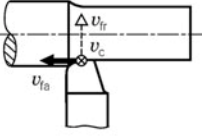
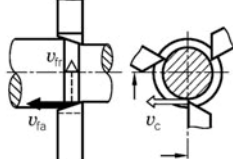
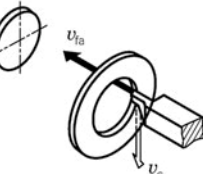
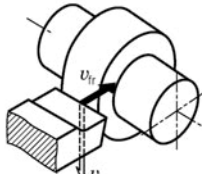
| 3 | 2 | 1 | 2 | Runddrehen | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|
|  | | | |  | | | |  | | | |
| 3.2.1.2.1 Längs- | | | | 3.2.1.2.2 Breitschicht- | | | | 3.2.1.2.3 Schäl- | | | |
|  | | | |  | | | | | | | |
| 3.2.1.2.4 Längs-Abstech- | | | | 3.2.1.2.5 Quer- | | | | | | | |

Abb. 3.4 Runddrehverfahren / Prozedee de strunjire cilindrică [WES 10]

Das **Längs-Abstechdrehen** dient zum Abstechen runder Scheiben aus plattenförmigen Rohteilen. **Quer-Runddrehen** erfolgt mit senkrecht zur Drehachse gerichteter Vorschubbewegung; hierbei muss die Werkzeugschneide mindestens so breit wie die zu fertigende Kreiszylinderfläche sein.

Canelarea cu avans longitudinal este utilizată pentru separarea discurilor din piesele în formă de plăci. **Strunjirea cilindrică cu avans transversal** se efectuează cu o mișcare de avans direcționată perpendicular pe axa de rotație; muchia așchietoare a sculei trebuie să fie cel puțin la fel de lată ca suprafața cilindrică care urmează să fie prelucrată.

Gegenüber dem herkömmlichen **Längs-Runddrehen** mit parallel zur Drehachse gerichteter (axialer) Vorschubbewegung haben besonders die Runddrehverfahren **Breitschichtdrehen** und **Schäldrehen** in bestimmten Anwendungsfällen zu wichtigen Verfahrensalternativen geführt.

Comparativ cu **strunjirea cilindrică cu avans longitudinal** cu mișcare de avans (axială) direcționată paralel cu axa de rotație, procedeele de **strunjire cu cuțite late și strunjire cu capete de strunjit**, reprezintă, în anumite aplicații, metode alternative de prelucrare.

Breitschichtdrehen ist ein Längs-Runddrehen mit großem Vorschub unter Verwendung eines Werkzeugs mit sehr großem Eckenradius und sehr kleinem Einstellwinkel der Nebenschneide. Der Betrag des Vorschubs ist bei diesem Verfahren stets kleiner als die Länge der Nebenschneide zu wählen.

Strunjirea cu cuțite late este un procedeu de strunjire cilindrică cu avans longitudinal mare, utilizând o sculă cu o rază foarte mare la vârful și un unghi de atac foarte mic al muchiei așchietoare secundare. La această metodă de strunjire, valoarea avansului este întotdeauna mai mică decât lungimea muchiei secundare.

Beim **Schäldrehen** verwendet man meist umlaufende Werkzeuge mit mehreren im Eingriff

În cazul **strunjirii cu capete de strunjit**, se utilizează de obicei o sculă rotativă cu mai multe

befindlichen Schneiden bei kleinem Einstellwinkel der Hauptschneide und großem Vorschub.

Beide Verfahren ermöglichen im Vergleich zum Längs-Runddrehen jeweils eine erhöhte axiale Vorschubgeschwindigkeit und damit auch eine erhöhte *Flächenleistung* P_A .

Durch Erhöhen des Vorschubs nimmt beim Längs-Runddrehen die *theoretische Rautiefe* ($R_{t.th}$) der gefertigten Werkstückoberfläche mit dem Quadrat des Vorschubs zu. In Abhängigkeit vom Vorschub f und der Eckenrundung r errechnet sich die theoretische Rautiefe in erster Näherung nach:

$$R_{t.th} \approx \frac{f^2}{8r} \quad (3.1)$$

Die mit größerem Vorschub zu erwartende erhöhte Werkstückrautiefe kann beim Breitschlichtdrehen durch die Verwendung eines Werkzeugs mit verhältnismäßig großer Nebenschneide und einem Einstellwinkel k_n im Bereich von $0^\circ-1^\circ$ umgangen werden. **Abbildung 3.5** zeigt einen Vergleich der Eingriffsverhältnisse beim Längs-Rund- und Breitschlichtdrehen.

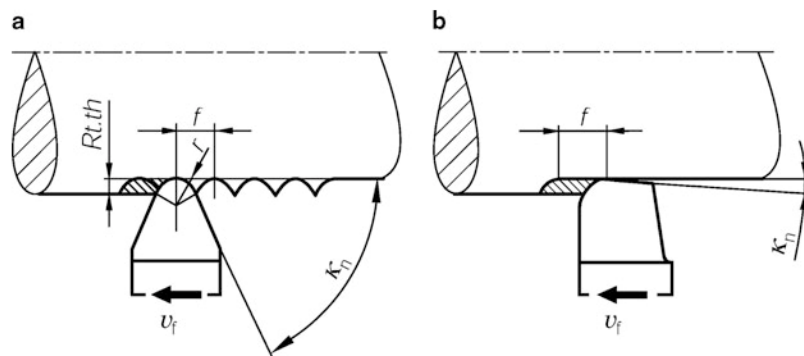


Abb. 3.5 Eingriffsverhältnisse beim **a** Längs-Runddrehen und **b** Breitschlichtdrehen.

$R_{t.th}$ theoretische Rautiefe, r Eckenrundung, f Vorschub, v_f Vorschubgeschwindigkeit, k_n Einstellwinkel der Nebenschneide /Condiții de așchiere la **a** Strunjirea cilindrică exterioară cu avans longitudinal și **b** strunjirea cu cuțite late [GYE 91]

Beim **Schraubdrehen** gemäß **Abb.3.6** werden schraubenförmige Flächen mittels Profilwerkzeugen gefertigt. Die Steigung der Schraube entspricht dabei dem Vorschub je Umdrehung. Man unterscheidet nach der Art des verwendeten Werkzeugs:

- **Gewindedrehen**,
- **Gewindestrehlen** und
- **Gewindeschneiden**.

muchii aflate simultan în așchiere, un unghi de atac mic al muchiei principale și avans mare.

Ambele metode permit o viteză de avans axială mare și, astfel, o creștere a *puterii specifice* P_A comparativ cu strunjirea cilindrică cu avans longitudinal.

Prin creșterea avansului, *rugozitatea teoretică a suprafeței prelucrate* ($R_{t.th}$) a crește cu pătratul avansului. În funcție de avansul f și raza la vârf a sculei r , adâncimea teoretică a rugozității este aproximată astfel:

$$R_{t.th} \approx \frac{f^2}{8r} \quad (3.1)$$

Rugozitatea mare a piesei de prelucrat, care este de așteptat odată cu creșterea avansului, poate fi evitată la strunjireac cu cuțite late prin utilizarea unei scule cu o muchie secundară relativ mare și un unghi de atac k_n de la $0^\circ-1^\circ$. **Figura 3.5** prezintă o comparație a condițiilor de așchiere la strunjirea cilindrică cu avans longitudinal și strunjirea cu cuțite late.

În cazul **strunjirii filetelor** conform **Fig.3.6**, suprafețele elicoidale sunt produse cu ajutorul unor scule profilate. Pasul șurubului corespunde avansului pe rotație. În funcție de sculele utilizate se diferențiază:

- **filetarea prin strunjire cu scule monopofil**,
- **filetarea prin strunjire cu scule multipofil** și
- **filetarea cu filiera**.

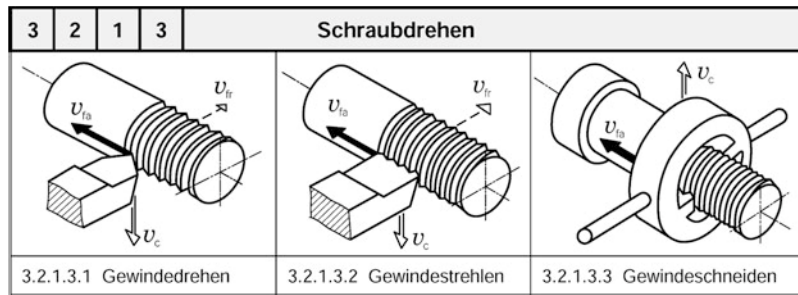


Abb. 3.6 Schraubdrehverfahren / Procedee de prelucrare a filetelor exterioare prin strunjire [WES 10]

Das **Gewindedrehen** ist ein Schraubdrehen mit einem einprofiligen Gewinde-Drehmeißel, während beim **Gewindestrehlen** das Gewinde mit einem Werkzeug erzeugt wird, das in Vorschubrichtung mehrere mit zunehmender Schnitttiefe gestaffelte Schneidenprofile aufweist (Gewindestrehler) und das Gewinde in einem Überlauf zu erzeugen vermag.

Das **Gewindeschneiden** ist dagegen ein Schraubdrehen zum Erzeugen eines Gewindes mit einem mehrschneidigen Gewindeschneideisen oder Gewindeschneidkopf.

Unter **Profildrehen** versteht man das Drehen mit einem werkstückgebundenen Werkzeug (Profilwerkzeug) zum Erzeugen rotations-symmetrischer Flächen. **Abbildung 3.7** vermittelt eine Übersicht.

Strunjirea filetelor reprezintă prelucrarea unui șurub cu un cuțit de filetat monoprofil, în timp ce **filetarea cu cuțite multiprofil** filetul este generat cu ajutorul unei sculei care, în direcția avansului, are mai multe tășuri profilate decalate pe adâncime așchiere, ceea ce permite prelucrarea filetului dintr-o singură trecere.

Pe de altă parte, **filetarea cu filiera** este un proces de strunjire pentru obținerea unui filet, utilizând o sculă multităiș, filiera sau un cap de filetat.

Prin **strunjirea profilată** se înțelege strunjirea cu o sculă având profilul conjugat cu cel al piesei care se prelucrează (scule profilate) pentru prelucrarea unor suprafețe de revoluție simetrice. **Figura 3.7** oferă o prezentare generală a acestor procese.

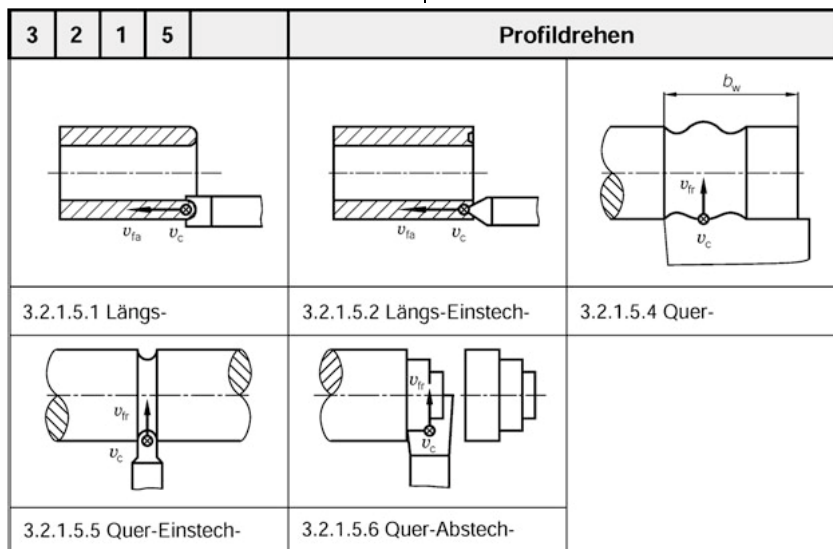


Abb. 3.7 Profildrehverfahren / Procedee de strunjire profilată prin copiere [WES 10]

Längs-Profildrehen ist Profildrehen mit Vorschub parallel zur Drehachse des Werkstücks; hierbei ist die Schneide des Profildrehmeißels mindestens so breit wie das zu erzeugende Profil.

Beim **Längs-Profileinstechdrehen** wird mit einem Profildrehmeißel ein ringförmiges Profil (Einstich), z.B. eine Nut, an der Stirnfläche eines Werkstückes eingestochen.

Mit Hilfe des **Quer-Profildrehens** mit Vorschub senkrecht zur Drehachse des Werkstücks können rotationssymmetrische Profile auf der ganzen Breite erzeugt werden. Um jedoch bei Quer-Profildrehoperationen ein Rattern aufgrund von Instabilitäten der Werkzeugeinspannung zu vermeiden, sind Profile auf eine Breite von $b_w = 1-5 \text{ mm}$ (in Sonderfällen bis zu **30 mm**) zu begrenzen.

Beim **Quer-Profileinstechdrehen** wird mit einem Profildrehmeißel ein ringförmiger Einstich an der Umfangsfläche des Werkstücks erzeugt.

Als **Quer-Profilabstechdrehen** bezeichnet man einen Drehvorgang, bei dem ein Profildrehmeißel gleichzeitig das Werkstück oder Teile des Werkstücks absticht.

Formdrehen ist Drehen, bei dem durch die Steuerung der Vorschub- bzw. Schnittbewegung (z.B. Unrunddrehen) die Form des Werkstücks erzeugt wird. Nach der Art der Steuerung von Bewegungen kann zwischen • *Freiformdrehen*, • *Nachformdrehen*, • *Kinematisch-Formdrehen* und • *NC-Formdrehen*, unterschieden werden, wie aus **Abb. 3.8** hervorgeht.

Beim **Freiformdrehen** wird die Vorschubbewegung von Hand gesteuert. *Nachformdrehen* (Kopierdrehen) ist Formdrehen, bei dem die Vorschubbewegung über ein zweidimensionales Bezugsformstück gesteuert wird.

Strunjirea profilelor cu avans longitudinal este strunjirea profilată cu avans paralel cu axa de rotație a semifabricatului; muchia așchietoare a cuțitului profilat este cel puțin la fel de lată ca profilul care urmează a fi prelucrat.

În cazul unei **strunjiri de canelare cu avans longitudinal** se prelucrează un profil inelar cu ajutorul unui cuțit profilat (de ex. o degajare), pe suprafața frontală a semifabricatului.

Prin **strunjire profilată cu avans transversal**, cu avans perpendicular pe axa de rotație a piesei de prelucrat, se pot prelucra profiluri de rotație simetrice pe întreaga lățime. Cu toate acestea, pentru a evita vibrațiile datorită instabilității fixării sculei, lățimea profilurilor trebuie să fie limitată la **1-5 mm** (în cazuri speciale de până la **30 mm**).

În cazul **strunjirii canelurilor cu avans transversal**, se prelucrează o degajare inelară cu ajutorul unui cuțit profilat pe circumferința a piesei de prelucrat.

Retezarea prin strunjire cu avans transversal este o operație de strunjire la care un cuțit profilat separă piesa de prelucrat sau părți ale piesei de prelucrat.

Strunjirea profilată este procedeul la care forma piesei este generată prin controlul mișcării de avans sau mișcării principale de așchiere (de ex, la strunjirea necirculară). După tipul de control al mișcărilor se disting: • *strunjire prin copiere după șablon*, • *strunjire profilată cinematică* și • *strunjire profilată NC*, așa cum se arată în **Fig. 3.8**.

La **strunjirea profilată liberă**, mișcarea de avans este controlată. **Strunjirea profilată după șablon** este o metodă de strunjire la care mișcarea de avans este controlată de un model de referință bidimensional.

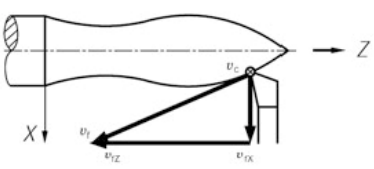
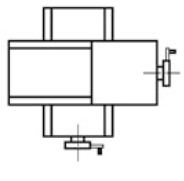
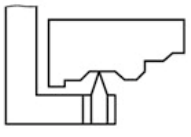

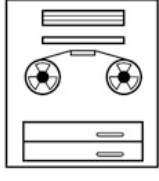
| 3 | 2 | 1 | 6 | Formdrehen |
|---|---|---|---|---|
|  | | | | |
|  | |  | |  |
| 3.2.1.6.1 Frei- | | 3.2.1.6.2 Nach- | | 3.2.1.6.3 Kinematisch- |
|  | | | | |
| 3.2.1.6.4 NC- | | | | |

Abb. 3.8 Formdrehverfahren / Procede de strunjire profilată cinematică [Wes 10]

Beim **Kinematisch-Formdrehen** erfolgt die Steuerung der Vorschubbewegung kinematisch mit Hilfe eines mechanischen Getriebes. Eine weitere Alternative ist das NC-Formdrehen, bei dem die Werkstückform durch Steuerung der Vorschubbewegung mittels eingegebener Daten und Verwenden einer numerischen Steuerung erzeugt wird.

3.1.2 Drehwerkzeuge

Die **Form** und die **Abmessungen** der Werkzeuge zum Drehen sind abhängig von der **Bearbeitungsaufgabe**. Moderne Werkzeuge für die spanende Bearbeitung mit definierten Schneiden sind aus verschiedenen Komponenten aufgebaut. Allgemein kann man zwischen

- *Schneidensystem,*
- *Befestigungs- bzw. Klemmsystem und*
- *Werkzeuggrundkörpersystem unterscheiden.*

Der Hauptvorteil einer Aufteilung in mehrere Teilsysteme besteht dabei in einer verbesserten Anpassung des Werkzeugsystems an die jeweilige Bearbeitungsaufgabe.

Werkzeugformen für verschiedene Bearbeitungsaufgaben beim Drehen mit aufgelöteten Schneidplatten aus Hartmetall zeigt **Abb. 3.9**.

La **strunjirea profilată cinematică**, mișcarea de avans este controlată cinematic prin intermediul unei transmisii mecanice. O altă alternativă este strunjirea profilată NC, caz în care forma piesei de prelucrat este generată prin controlul mișcării de avans cu ajutorul datelor de intrare și prin utilizarea controlului numeric.

3.1.2 Scule de strunjit

Forma și dimensiunile sculelor de strunjire depind de **tipul prelucrării**.

Sculele așchietoare moderne cu geometrie definită sunt alcătuite din diferite componente. În general, se pot diferenția:

- *partea activă,*
- *sistem de prindere și fixare și*
- *corpul de bază al sculei.*

Principalul avantaj al acestei divizări în mai multe subsisteme este îmbunătățirea posibilităților de adaptare a sistemului de scule la fiecare operație de prelucrare.

Posibile *geometrii de scule* cu plăcuțe din carburi metalice pentru diverse operații de prelucrare la strunjire sunt prezentate în **Fig. 3.9**.

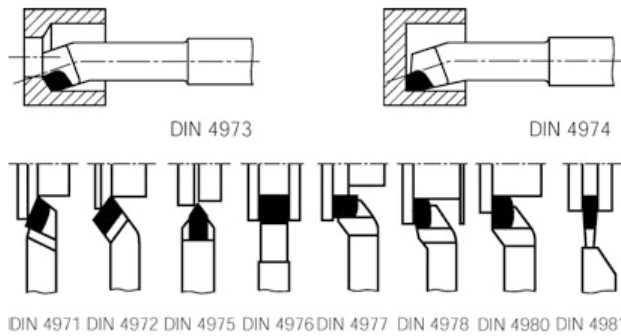


Abb. 3.9 Werkzeugformen beim Drehen für verschiedene Bearbeitungsaufgaben / Geometria sculelor de strunjit cu plăcuțe din carburi metalice

Bei der **Schneidenbefestigung durch Löten** besteht die Gefahr von Rissbildungen, besonders durch unterschiedliche Wärmeausdehnungskoeffizienten von Schneidplatte und Werkzeuggrundkörper sowie infolge unsachgemäßen Nachschleifens.

Mechanische Befestigungs- bzw. Klemmsysteme vermeiden diese Nachteile und gestatten durch das Verwenden genormter Wendeschneidplatten nach DIN ISO 1832 einen schnelleren Schneidenwechsel unter Wegfall der Kosten für Nachschleifarbeiten.

În cazul **plăcuțelor fixate prin lipire**, există riscul de apariție a fisurilor, în special din cauza coeficienților de dilatare termică diferiți al plăcuței și al corpului sculei, precum și din cauza reascuțirii necorespunzătoare.

Sistemele mecanice de prindere și fixare a plăcuțelor evită aceste dezavantaje și permit o schimbare mai rapidă a plăcuței amovibile, eliminând în același timp costurile de reascuțire, utilizând plăcuțe standard conform DIN ISO 1832.

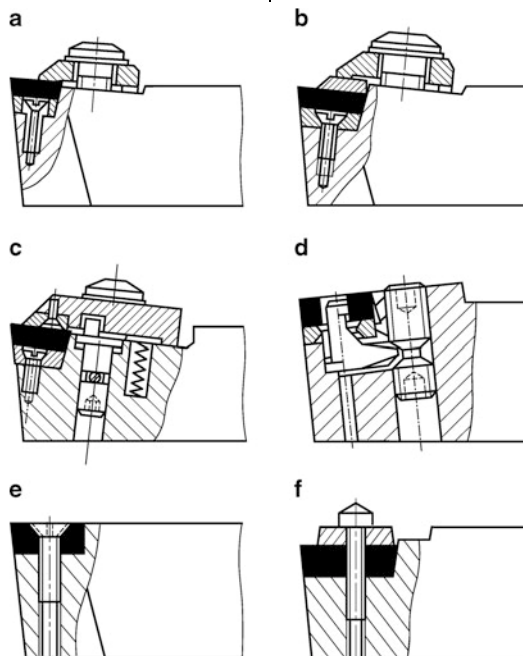


Abb. 3.10 Klemmsysteme für Wendeschneidplatten (nach Krupp-Widia): **a** mit Klemmfinger, **b** mit Klemmfinger und Spanformplatte, **c** mit Klemmpratte und über Exzenter verstellbarer Spanformstufe, **d** mit Winkelhebel, **e** mit Schraubenbefestigung ohne Spanformstufe, **f** mit Schraubenbefestigung und Spanformstufe / Sisteme de fixare a plăcuțelor amovibile [WES 10]

Weiterhin können Positiv- oder Negativplatten eingesetzt werden. **Positivplatten** besitzen einen Keilwinkel $<90^\circ$ und ermöglichen in Klemmsystemen positive Spanwinkel in **Abb. 3.10a, b und c**, während **Negativplatten** einen Keilwinkel von 90° aufweisen und negative Spanwinkel in **Abb. 3.10d** ergeben.

Die Anzahl der verwendbaren Schneiden ist bei Negativplatten doppelt so groß wie bei Positivplatten gleicher Grundform.

3.1.3 Auswahl der Drehwerkzeuge

➤ Werkzeuge für Außenbearbeitung

Schneidplatten / Wendeschneidplatten werden in Klemmhaltern aufgenommen. Für Drehwerkzeuge sind die **Schneidplatten** und **Klemmhalter** genormt.

• Schneidplatten und deren Bezeichnung

Im nächsten Bild kann man eine kleine Auswahl unterschiedlicher Schneidplatten sehen, die sich in der Plattenform, der Spanflächengeometrie und den Schneidstoffen unterscheiden.

Mai mult, pot fi utilizate **plăcuțe pozitive** sau **negative**. **Plăcuțele pozitive** au un unghi $<90^\circ$ și permit unghiuri de degajare pozitive în sistemele de prindere în **figurile 3.10a, b și c**, în timp ce **plăcuțele negative** au un unghi de 90° și prezintă unghiuri negative de așchiere (**figura 3.10d**).

Numărul de muchii așchietoare care pot fi utilizate este de două ori mai mare pentru plăcuțele negative, comparativ cu cele pozitive având aceeași formă de bază.

3.1.3 Alegerea cutitelor de strung

➤ Scule pentru prelucrări exterioare

Plăcuțele / Plăcuțele amovibile sunt fixate în suport (corpul cuțitului). Pentru cuțitele de strung **plăcuțele și suporturile** sunt standardizate.

• Plăcuțe și descrierea acestora

În figura următoare se pot vedea diverse tipuri de plăcuțe/ plăcuțe amovibile, care diferă prin formă, geometria feței de degajare și materialul din care sunt confecționate.

Schneidplattenform / Forme de plăcuțe



Die Bezeichnung/Benennung der Schneidplatten / Wendeschneidplatten ist in der DIN 4867 genormt. Anhand des Beispiels aus Bild wird weiter die Bezeichnung von Schneidplatten verdeutlicht werden.

Descrierea plăcuțelor fixe / amovibile este standardizată prin DIN 4867. Prin intermediul exemplului din figura de mai jos este detaliată în continuare descrierea plăcuțelor cuțitelor de strung.

Beispiel für die Bezeichnung von Schneidplatten / Exemplu descriere cod plăcuțe cuțit de strung

| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
|---|---|---|---|----|----|----|---|---|-----|
| S | N | M | R | 12 | 04 | 08 | T | R | P05 |

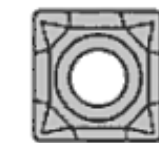
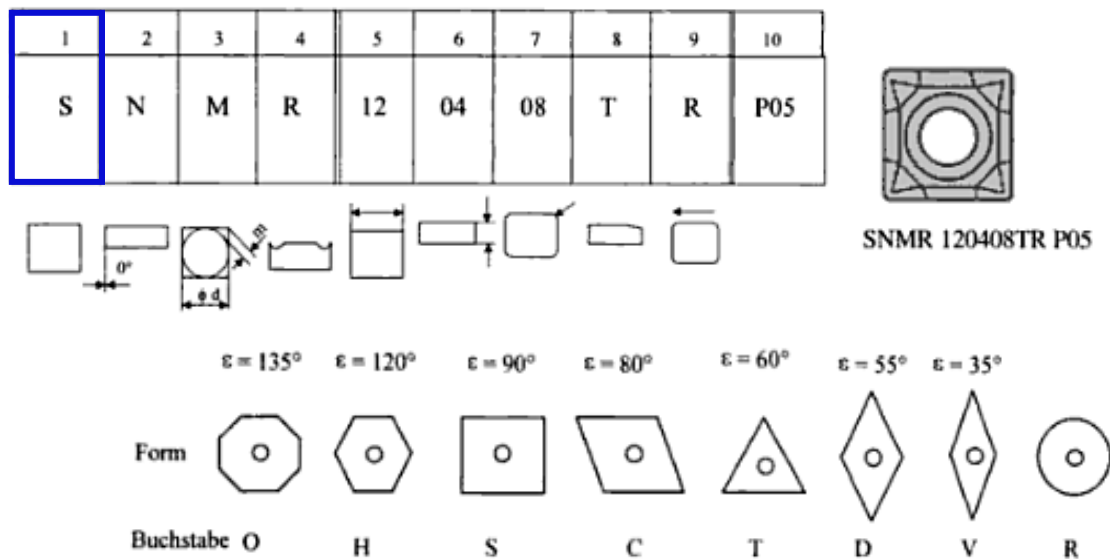
SNMR 120408TR P05

Die einzelnen Bezeichnungspositionen sind numeriert und entsprechen den Nummern der folgenden Aufzählung:

1. Schneidplattenform: S ist eine quadratische Platte. Weitere Plattenformen rund, achteckig, sechseckig, rhombisch mit einem Eckenwinkel $\epsilon = 35-80^\circ$, dreieckig können in unten im Bild entnommen werden.

Fiecare poziție din codul de descriere al plăcuțelor este numerotată și corespunde numerelor din enumerarea următoare:

1. Forma plăcuței: S reprezintă o plăcuță pătrată. Alte posibile forme de plăcuțe sunt rotundă, octogonală, hexagonală, rombică cu un unghi la vârf de $\epsilon = 35-80^\circ$, triunghiulare sunt prezentate în figura de mai jos.



SNMR 120408TR P05

2. Freiwinkel α der Platte: das N entspricht einem Freiwinkel $\alpha=0^\circ$. Weitere Freiwinkel-Buchstaben: A für $\alpha=3^\circ$, B für $\alpha=5^\circ$, C für $\alpha=7^\circ$, D für $\alpha=15^\circ$.

3. Toleranz der Platte: die meisten Schneidplatten haben die Toleranzklasse M mit $\phi d \pm (0,05-0,13)$ mm, $m \pm (0,08-0,18)$ mm und Plattendicke $s \pm 0,13$ mm.

4. Plattentyp mit Befestigungsart und Spanformer: R kennzeichnet eine Platte ohne Bohrung, jedoch mit einseitigem Spanformer. N kennzeichnet eine Platte ohne Bohrung und ohne Spanformer, A eine Platte mit zylindrischer Bohrung ohne Spanformer, M eine Platte mit zylindrischer Bohrung und einseitigem Spanformer, G wie M, jedoch mit beidseitigem Spanformer, und T eine Platte mit Bohrung mit Befestigungsschraube und einseitigem Spanformer.

2. Unghiul de așezare al plăcuței α : N corespunde unui unghi de așezare $\alpha=0^\circ$. Alte litere pentru descrierea unghiurilor de așezare: A pentru $\alpha=3^\circ$, B pentru $\alpha=5^\circ$, C pentru $\alpha=7^\circ$, D pentru $\alpha=15^\circ$.

3. Toleranța plăcuței: cele mai multe plăcuțe au toleranțe corespunzătoare clasei M cu $d \pm (0,05-0,13)$ mm, $m \pm (0,08-0,18)$ mm și grosimea plăcuței $s \pm 0,13$ mm.

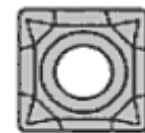
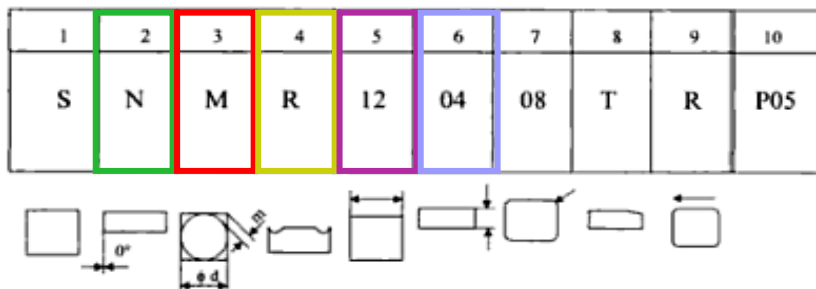
4. Tipul plăcuței cu modul de fixare și forma sfărâmătorului de așchii: R descrie o plăcuță fără gaură de fixare cu sfărâmător de așchii pe o singură muchie. N descrie o plăcuță fără gaură de fixare și fără sfărâmător de așchii, A o plăcuță cu gaură de fixare cilindrică și fără sfărâmător de așchii, M o plăcuță cu gaură de fixare cilindrică și sfărâmător de așchii pe o singură muchie, G și M cu sfărâmător de așchii pe două muchii și T o plăcuță cu alezaj pentru fixare cu șurub și fragmentator de așchii pe o muchie.

5. Schneidkantenlänge: hier **12** entspricht einer Schneidkantenlänge von 12,6mm. Die Schneidkanten haben eine Länge zwischen 3,97- 32 mm.

6. Plattendicke (abgerundete Angaben): hier **04** entspricht einer Dicke von 4,76 mm. Platten haben eine Dicke zwischen 1,59- 9,52 mm.

5. Lungimea muchiei plăcuței: în exemplul dat **12** corespunde unei lungimi a muchiei plăcuței de 12,6 mm. Muchiile plăcuțelor au de regulă lungimi cuprinse între 3,97- 32 mm.

6. Grosimea plăcuței: în exemplul dat **04** corespunde unei grosimi de 4,76 mm. Plăcuțele au de regulă grosimi cuprinse între 1,59- 9,52 mm.



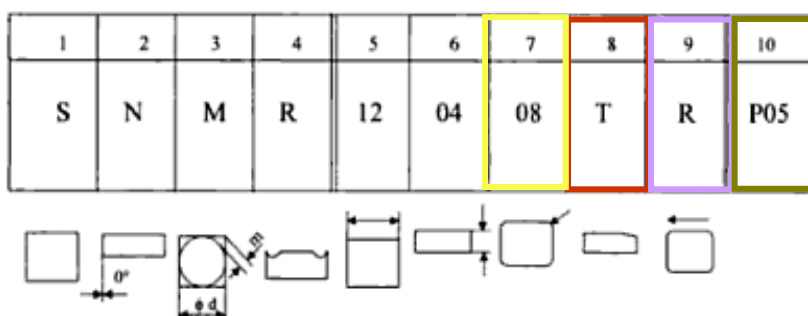
SNMR 120408TR P05

7. Eckenradius/Schneidenradius r_e (Faktor 10): die **08** besagt, dass der Eckenradius der Platte 0,8 mm beträgt. Der Schneidenradius nimmt Werte zwischen 0-3,2 mm an.

8. Schneidkantenausführung: hier **T** kennzeichnet eine Schneidkante mit Fase. Der Buchstabe **F** kennzeichnet eine scharfe Schneidkante, **E** eine gerundete und **S** eine gerundete mit zusätzlicher Fase. Die Fasenbreite beträgt zwischen $b_{fy} = 0,2-2$ mm und der Fasenwinkel $\gamma_f = 10-30^\circ$.

7. Raza la vârf a plăcuței r_e : 08 indică faptul că raza la vârf a plăcuței este de 0,8 mm. Raza la vârf a plăcuței are valori cuprinse între 0-3,2 mm.

8. Forma muchiei așchietoare a plăcuței: în exemplul prezentat litera **T** descrie o muchie așchietoare cu teșitură. Litera **F** descrie o muchie ascuțită, **E** o muchie rotunjită, iar litera **S** o muchie rotunjită și cu teșitură suplimentară. Lățimea teșiturii poate avea valori de $b_{fy} = 0,2-2$ mm, unghiul de înclinare al teșiturii $\gamma_f = 10-30^\circ$.



SNMR 120408TR P05

9. Schnitttrichtung. Sie ist in diesem Beispiel rechts **R**.

10. Schneidstoff (häufig herstellerspezifische Bezeichnung): hier Anwendergruppe **P05**.

9. Direcția de așchiere. În exemplul prezentat direcția de așchiere este spre dreapta **R**.

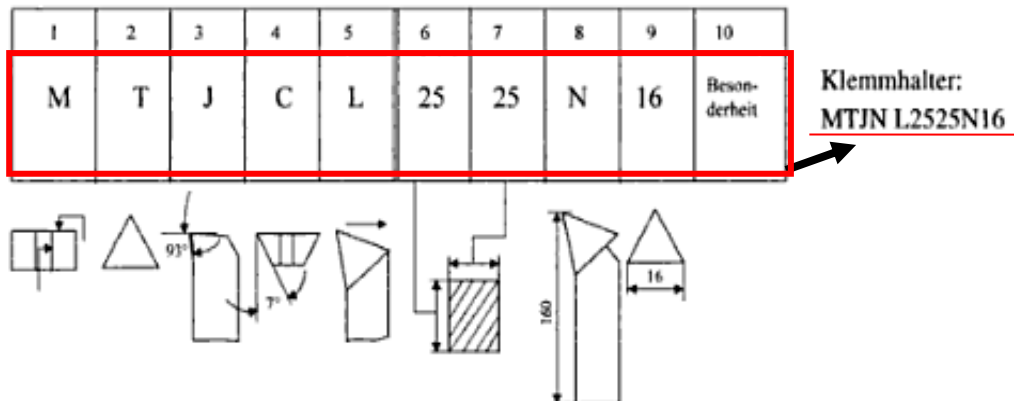
10. Materialul plăcuței (acesta este de cele mai multe ori o specificație a producătorului). În exemplu: carburi metalice din grupa **P05**.

• **Bezeichnung der Klemmhalter für die Außenbearbeitung**

Im Bild ist eine kleine Auswahl von Klemmhaltern für die Außenbearbeitung dargestellt, deren Einteilung und Bezeichnung im folgenden Beispiel verdeutlicht wird.

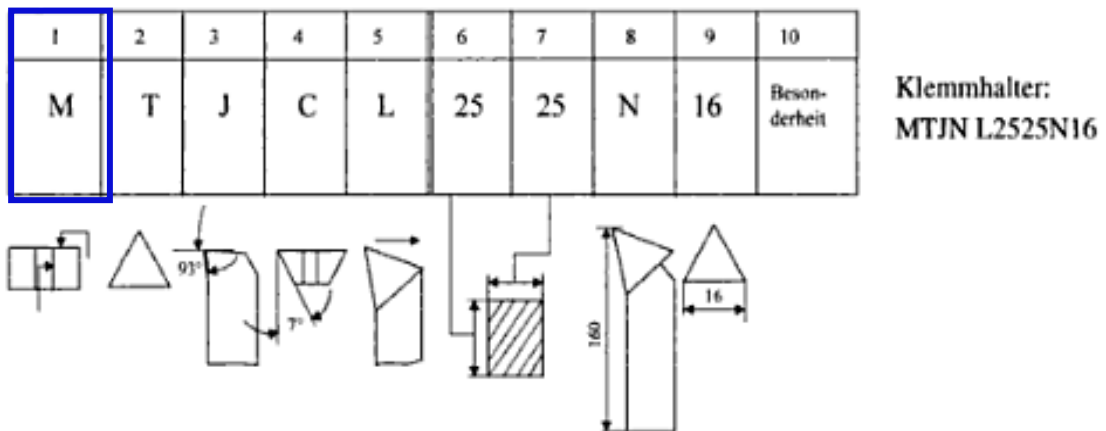
• **Descrierea suportului pentru prelucrări exterioare**

În figura este prezentat un exemplu de codificare a suportului pentru plăcuță, în cazul prelucrărilor exterioare.



Die einzelnen Bezeichnungspositionen sind numeriert und entsprechen den Nummern der folgenden Aufzählung:

Fiecare dintre pozițiile acestui cod este numerotată și corespunde numerelor din următoarea enumerare:



1. Art der Klemmung: M – Klemmung über die Bohrung der Schneidplatte und mit Spannfinger. Weitere Klemmart von Schneidplatte können vom **Bild 3.15** entnommen werden.

- **Klemmart C:** von oben über Spannfinger
- **Klemmart M:** von oben über Spannfinger und über Bohrung
- **Klemmart P:** nur über die Bohrung
- **Klemmart S:** über die Bohrung mit einer Spanschraube.

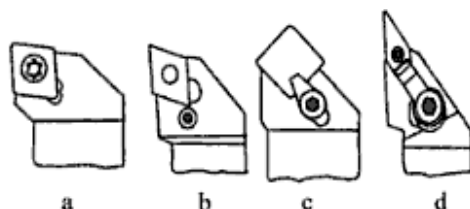
1. Modul de fixare: M fixarea plăcuței prin gaură și pârghie. Alte sisteme de fixare ale plăcuțelor sunt reprezentate în **figura 3.15**.

- **Mod de fixare C:** pe partea superioară prin intermediul pârghie
- **Mod de fixare M:** pe partea superioară prin gaură și prin intermediul pârghie
- **Mod de fixare P:** numai prin gaură
- **Mod de fixare S:** prin gaură prin intermediul șuruburilor

Wendeschneidplatten können mit einem Spannfinger oder Kniehebel oder durch eine Schraube befestigt werden. Die Befestigung durch eine Schraube setzt eine Bohrung in der Schneideplatte voraus, die sie schwächt, aber andererseits sehr einfach aufgebaut ist. Der Plattenwechsel dauert hier länger als bei der Ausführung mit einem Kniehebel. Weder die Kniehebel- noch die Schraubenausführung behindern die Spanabfuhr. Der Spannfinger könnte die Spanabfuhr behindern, andererseits kann in dieses Spannsystem auch ein verstellbarer Spanformer integriert werden, um so eine günstige Spanform zu erreichen.

Plăcuțele interschimbabile pot fi fixate prin intermediul pârghiilor, clemelor sau cu șuruburi. Fixarea cu șuruburi presupune că plăcuța este prevăzută cu o gaură care îi slăbește rezistența, dar totodată asigură o fixare foarte simplă. În acest caz fixarea plăcuței durează mai mult decât în cazul fixării cu pârghie. Cele două modalități de fixare a plăcuțelor pot reprezenta un impediment în îndepărtarea așchiilor, care poate fi eliminat prin integrarea unui sistem de formare a așchiilor, care să permită generarea unor așchii cu formă favorabilă.

Klemmsysteme für Wendeschneidplatten / Sisteme de fixare ale plăcuțelor



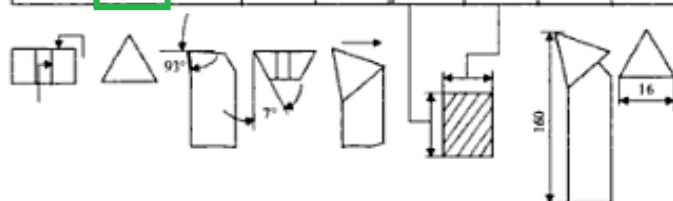
- a Klemmung über Bohrung mit Schraube
- b Klemmung über Bohrung mit Kniehebel
- c Klemmung über Spannfinger
- d Klemmung über Bohrung und Spannfinger

2. Plattenform: Buchstabe *T* kennzeichnet eine dreieckige Plattenform mit einem Eckenwinkel $\epsilon=60^\circ$. Plattenform *S* ist quadratisch, *O* ist rund, *L* ist rechteckig usw. wie oben gezeigt ist.

2. Forma plăcuței: litera *T* descrie o plăcuță triunghiulară cu un unghi la vârf de $\epsilon=60^\circ$. *S* descrie o formă pătrată a plăcuțelor, *O* rotundă, *L* dreptunghiulară etc., așa cum a fost prezentat anterior.

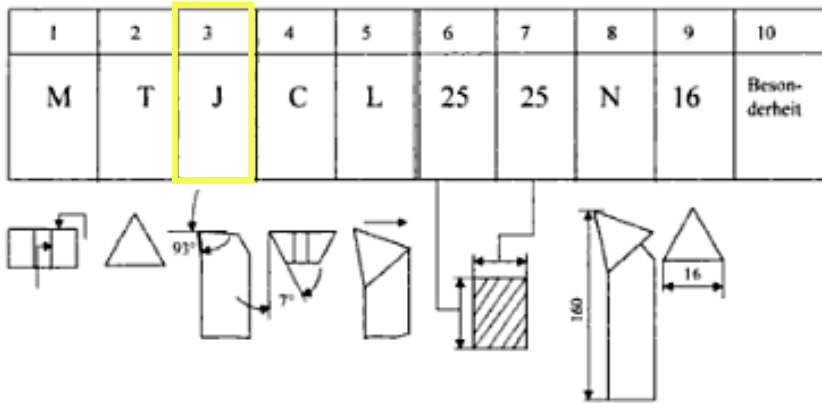
| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|----|----|---|----|--------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| M | T | J | C | L | 25 | 25 | N | 16 | Besonderheit |

Klemhalter:
MTJN L2525N16



3. Halterform: der Buchstabe *J* besagt, dass der Halter einen Einstellwinkel $\kappa=93^\circ$ hat. Halterformen zum Längsdrehen: *A* für 90° , *B* für 75° , *E* für 60° , *D* für 45° . Halterformen zum Plandrehen: *J* für $\kappa=93^\circ$, *F* für $\kappa=90^\circ$, *K* für $\kappa=75^\circ$.

3. Forma suportului plăcuței: litera *J* indică faptul că suportul are un unghi de atac principal de $\kappa=93^\circ$. Forme de suport pentru strunjirea longitudinală: *A* - 90° , *B* - 75° , *E* - 60° , *D* - 45° . Forme de suport pentru strunjirea plană: *J* - 93° , *F* - 90° , *K* - 75° .

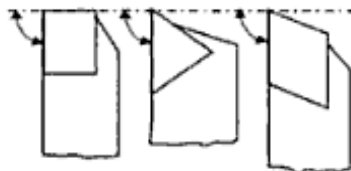


Klemmhalter:
MTJN L2525N16

Der Einstellwinkel κ nimmt Werte von **45-107,5°**, zur Vorschubrichtung (axial oder/und radial) an. Die einzelnen Klemmhalterformen werden mit Buchstaben von A bis W gekennzeichnet. Die Halterformen werden von den Schneidplattenformen getrennt, da man beispielweise einen Einstellwinkel $\kappa=90^\circ$ mit unterschiedlichen Schneidplatten erreichen kann, wie Bild deutlich macht.

Unghiul de atac principal κ ia valori cuprinse între **45-107,5°** pe direcția mișcării de avans (axial sau/și radial). Fiecare formă a suportului plăcuței este descrisă prin litere de la A la W. Forma suportului este considerată separat de forma plăcuței, astfel că un unghi de atac principal de $\kappa=90^\circ$ poate fi obținut cu diferite tipuri de plăcuțe, așa cum se arată în figura următoare.

Gleicher Halterform A mit $\kappa=90^\circ$ mit unterschiedlichen Schneidplatten / Același $\kappa = 90^\circ$ obținut cu diferite tipuri de plăcuțe

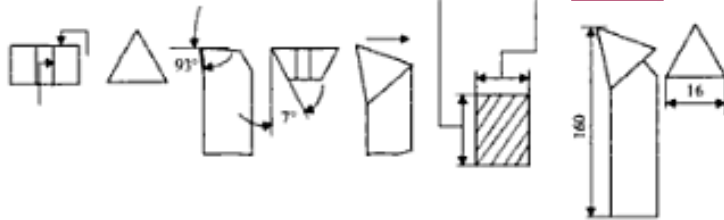


- Freiwinkel der Platte:** der Buchstabe **C** kennzeichnet eine Platte mit einem Freiwinkel $\alpha=7^\circ$. Weitere Freiwinkel Buchstaben: A für 3° , B für 5° , D für 15° , N für 0° .
- Schnittrichtung:** **L** besagt, dass er für die Schnittrichtung links geeignet ist.
- Schafthöhe:** sie beträgt in diesem Beispiel **25 mm**.
- Schaftbreite:** sie beträgt **25 mm**.
- Werkzeuflänge:** der Buchstabe **N** kennzeichnet einen Klemmhalter mit einer Gesamtlänge von 160 mm. Weitere Werkzeuflängen Buchstaben: A für 32 mm, C für 50 mm, H für 100 mm, M für 150 mm, R für 200 mm.

- Unghiul de așezare al plăcuței:** litera **C** descrie o plăcuță cu un unghi de așezare de $\alpha=7^\circ$. Alte exemple de litere pentru descrierea unghiului de așezare: **A-3°**, **B-5°**, **D 15°** și **N-0°**.
- Direcția de așchiere:** litera **L** indică faptul că direcția de așchiere este spre stânga.
- Înălțimea suportului (corpului cuțitului):** în exemplu înălțimea suportului este de 25 mm.
- Lățimea suportului (corpului cuțitului):** în exemplu lățimea suportului este de 25 mm.
- Lungimea sculei:** litera **N** descrie un suport cu lungimea totală de 160 mm. Alte exemple de litere care descriu lungimea sculei așchietoare sunt: **A** pentru 32 mm, **C** pentru 50 mm, **H** pentru 100 mm, **M** pentru 150 mm, **R** pentru 200 mm.

| | | | | | | | | | |
|---|---|---|---|---|----|----|---|----|--------------|
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 |
| M | T | J | C | L | 25 | 25 | N | 16 | Besonderheit |

Klemmhalter:
MTJN L2525N16



9. Schneidkantenlänge: die Schneidplatte hat eine Länge von 16 mm.

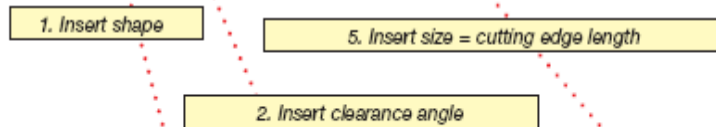
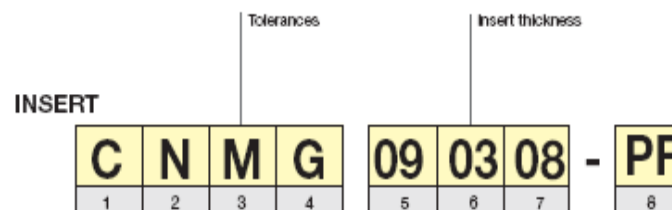
9. Lungimea muchiei plăcuței: muchia plăcuței are lungimea de 16 mm

10. Sonderformen, auch herstellerbezogen oder höhere Genauigkeit.

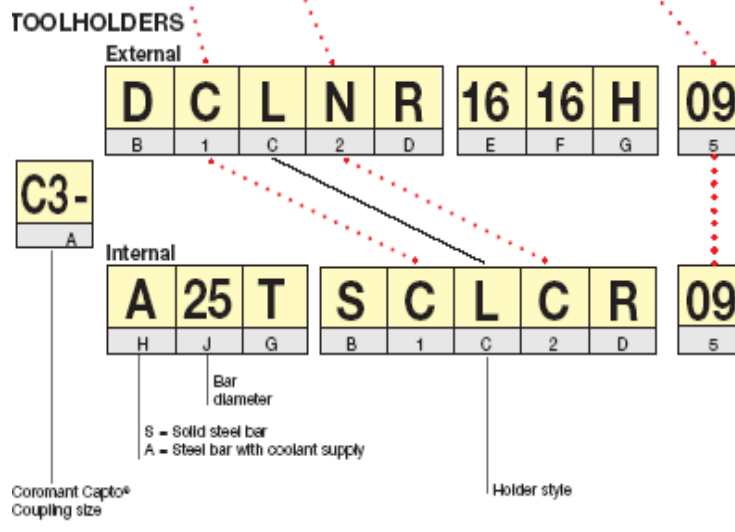
10. Forme speciale, specificații ale producătorului sau o precizie superioară.

Korelation der Benennunkode / Corelația codurilor descriere plăcuță - cod descriere suport

Schneidplatte



Klemmhalter



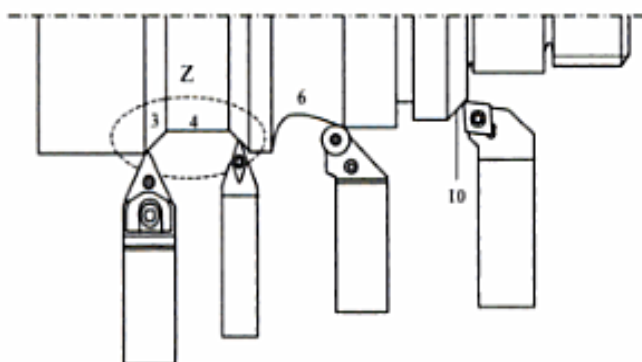
Werkzeuge zum Formdrehen/Kopierdrehen

Da ein längeres, zusammenhängendes Werkstückprofil früher ausschließlich mittels einer Schablone auf Werkstück übertragen /kopiert wurde, wird das Formdrehen auf NC-Maschinen in der Praxis **Kopierdrehen** oder **Kurzkopieren** genannt. Das klassische Kopierdrehen wird mit einer profilierten Schneide durchgeführt.

Scule pentru strunjirea profilată

Dacă inițial un semifabricat lung cu profil complex era prelucrat exclusiv cu ajutorul unui șablon a cărui geometrie era copiată pe suprafața sa, strunjirea profilată se realizează în prezent pe strunguri NC și se numește în practică **strunjire de copiere** sau simplu **copiere**, chiar dacă din punct de vedere al terminologiei exprimarea nu este corectă. Strunjirea profilată se realizează cu ajutorul unei scule profilate.

Werkzeuge zum Profildrehen im Einsatz / Scule pentru strunjire profilată

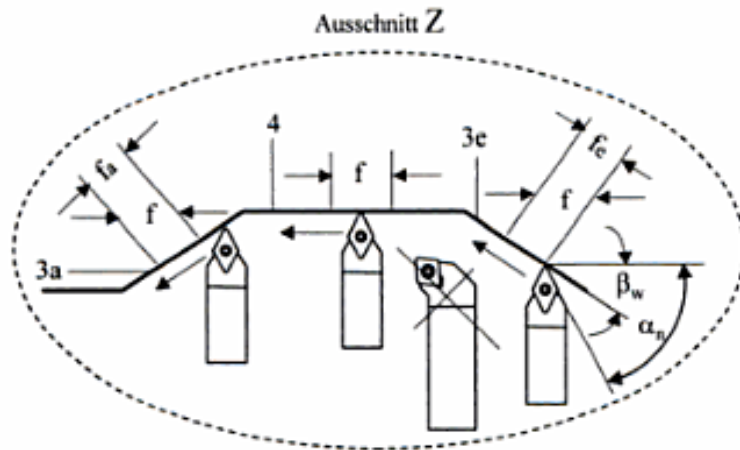


Beim **Formdrehen** unterscheidet es sich nicht mehr zwischen Plan- und Längsdrehen, sondern, wie der Begriff bereits aussagt, bezieht es auf eine Form, eine zusammenhängende, beliebige Kontur mit unterschiedlichen Durchmessern.

Beim Formdrehen ändern sich die **Spannungsbreite b , der effektive Vorschub f und der Einstellwinkel κ** . Um dennoch einen sicheren Spanbruch zu erreichen, werden an die Plattengeometrie hohe Anforderungen gestellt. Bild zeigt die Teilkonturen 3 und 4 des Beispielwerkstücks im Ausschnitt Z

La **strunjirea formelor** nu se mai face diferențierea între strunjire plană și longitudinală ci, așa cum reiese din denumire, rezultă o formă, un contur complex cu diferite diametre pe lungime.

La strunjirea formelor se modifică continuu **lățimea de așchiere, avansul efectiv și unghiul de atac principal**. Pentru a se asigura totuși o fragmentare sigură a așchiilor se impun cerințe suplimentare ale geometriei plăcuței. Figura prezintă contururile 3 și 4 în detaliul Z.



$$\Delta = \alpha_n - \beta_w \geq 2^\circ$$

Ein- und Auswärtskopieren / Strunzjire de copiere

Das im **Bild 3.21** durchgestrichen dargestellten Werkzeug eignet sich nicht für das Formdrehen des Konturabschnittes 3e, da dessen Freiwinkel α_n , an der Nebenschneide kleiner ist als der Konturwinkel β_w des Werkstücks. In diesem Fall wäre $\Delta < 0^\circ$, d.h. die Werkstückkontur mit dem Konturwinkel β_w , kann nicht hergestellt werden.

Gewindedrehen

Beim Gewindedrehen ist es zu beachten, dass die:

- Schneidenspitze auf Drehmitte eingestellt wird
- Zustellung rechtwinkelig zur Drehachse erfolgt.

Die Herstellung eines Gewinde ist **zeitintensiv**, da ein Gewinde in **mehreren Schnitten** erzeugt wird. Bei einer Steigung $p=1 \text{ mm}$, sind es 6-10 Schnitte und bei der Steigung p von 3 mm ca. 15-30 Schnitte.

Bild zeigt drei Möglichkeiten der Zustellung bei der Gewindeherstellung auf NC-Maschinen:

- a. **radiale Zustellung:** sie ist am gebräuchlichsten. Beide Schneidenflanken werden gleichmäßig beansprucht
- b. **Flankenzustellung:** besserer Spanablauf, allerdings reibt das Werkzeug an der rechten nichtschneidenden Flanke. Sie wird bei großen

Die Scula aşchiitoare marcată în **figura 3.21** nu este corespunzătoare pentru strunzjirea conturului 3e, deoarece unghiul de aşezare α_n al acesteia pe tăişul secundar este mai mic decât unghiul de înclinaţie al conturului β_w . În acest caz $\Delta < 0^\circ$, ceea ce înseamnă că porţiunea de contur a semifabricatului cu înclinaţia β_w nu poate fi prelucrată.

Strunzjirea filetelor

La strunzjire trebuie avut în vedere că:

- vârful sculei trebuie reglat pe axa de rotaţie,
- scula se poziţionează perpendicular pe axă.

Strunzjirea filetelor este o operaţie cu **productivitate mică**, deoarece filetele se prelucrează din **mai multe treceri**. La un pas $p=1 \text{ mm}$ sunt necesare 6-10 treceri, iar la prelucrarea unui filet cu pasul $p = 3 \text{ mm}$ circa 15-30 treceri.

Figura indică trei posibilităţi de divizare a adaosului de prelucrare la strunzjire a filetelor pe strunguri NC:

- a. **pe direcţie radială:** este cea mai frecvent utilizată metodă. Ambele flancuri ale filetelui sunt generate simultan.
- b. **pe flanc:** asigură o mai bună degajare a aşchiilor, însă apar frecări mari între flancul drept al filetelui şi muchia sculei care nu

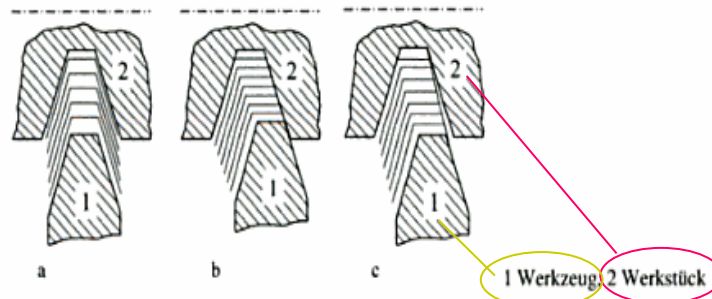
Gewindesteigungen eingesetzt

c. **modifizierte Flankenzustellung**: kein Reiben an der rechten Flanke und dadurch bessere Gewindeoberflächen.

așchiază. Metoda se aplică la prelucrarea filetelor cu pas mare.

c. **pe flanc modificat**: se elimină frecările pe flancul drept rezultând astfel o mai bună calitate a suprafețelor filetelor.

Zustellung beim Gewindedrehen (a) radiale Zustellung (b) Flankenzustellung, (c) modifizierte Flankenzustellung / Divizarea adaosului la strunjirea filetelor: (a) pe direcție radială, (b) pe flanc, (c) pe flanc modificat



Um die Anzahl der Durchgänge zu verringern setzt man auch **mehrzahnige (zwei- oder dreischneidige)** Gewindeschneidplatten ein. Beim Gewindestrehen, nimmt die radiale Zustellung vom ersten bis zum letzten Zahn zu und das Gewinde wird in einem Durchgang gefertigt.

Der erforderliche Gewindeauslauf ist hierbei größer, er entspricht der Länge der Gewindeplatte. Bei **mehrgängigen Gewinde** werden die einzelnen Gewidengänge meistens nacheinander gefertigt, d.h. zuerst wird der erste Gewidengang in mehreren Schnitten gefertigt und danach der zweite usw.

➤ **Werkzeuge für Innenbearbeitung**

Bei der Innenbearbeitung liegen die zu bearbeitenden Flächen im Werkstück. Für die Innenbearbeitung werden in der Reihenfolge Bohrstangen verwendet.

• **Schneidplatten für Innenbearbeitung**

Für die Innenbearbeitung verwendet es die gleichen Schneidplatten wie für die Außenbearbeitung, deren Bezeichnung und Ausführung kennengelernt ist.

Pentru a diminua numărul de treceri se folosesc **plăcuțe multitaieș** pentru strunjirea filetelor (cu două sau trei tăișuri). În acest caz avansul radial al tăișurilor crește de la primul până la ultimul dinte, filetul fiind astfel prelucrat într-o singură trecere.

În acest caz lungimea de ieșire din așchiere este mai mare, corespunzător lungimii tăișurilor sculei. La **filetele cu mai multe începuturi**, se prelucrează de cele mai multe ori succesiv fiecare început, fiecare din mai multe treceri.

➤ **Scule pentru prelucrări interioare**

La prelucrările interioare suprafețele care se prelucrează sunt mai puțin accesibile. La aceste prelucrări se utilizează de regulă bare de strunjit.

• **Plăcuțe pentru prelucrări interioare**

Pentru prelucrările interioare se utilizează aceleași plăcuțe ca și pentru cele exterioare, a căror descriere a fost făcută anterior.

• **Klemmhalter für Innenbearbeitung**

Din einzelnen Bezeichnungspositionen sind numeriert und entsprechen den Nummern der folgenden Aufzählung:

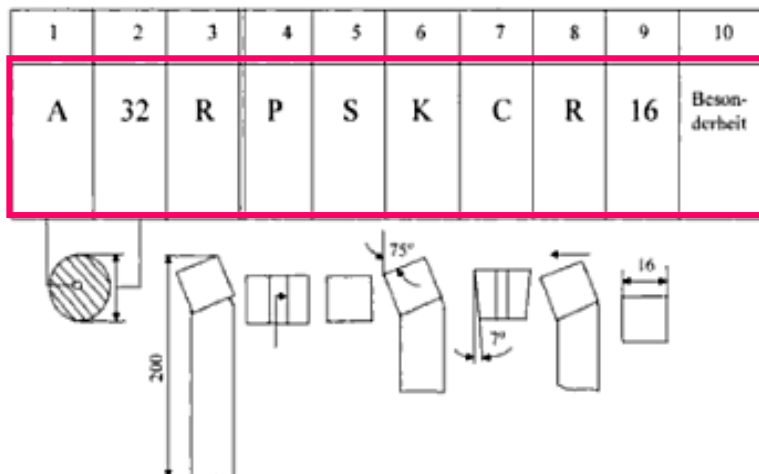
1. **Schaftausführung:** der Buchstabe *A* steht für Stahlschaft mit Kühlbohrung, *B* für Stahlschaft mit Dämpfung, *C* - Hartmetallschaft mit Stahlkopf, *S* - Stahlschaft.
2. **Schaftdurchmesser:** D=32 mm
3. **Werkzeuglänge:** der Buchstabe *R* kennzeichnet einen Klemmhalter mit einer Gesamtlänge vom 200 mm
4. **Art der Klemmung:** *P* = Klemmung über die Bohrung
5. **Plattenform:** der Buchstabe *S* kennzeichnet eine quadratische Platte mit einem Eckenwinkel $\epsilon=90^\circ$
6. **Halterform:** der Buchstabe *K* besagt, dass der Halter einen Einstellwinkel $\kappa=75^\circ$ hat
7. **Freiwinkel der Platte:** der Buchstabe *C* kennzeichnet eine Platte mit einem Freiwinkel $\alpha=7^\circ$
8. **Schnittrichtung:** *R* besagt, dass der Halter für die Schnittrichtung rechts geeignet ist
9. **Schneidkantenlänge:** die Schneidplatte hat eine Länge von 16 mm
10. **Sonderformen** oder höhere Genauigkeit.

• **Suporturi de plăcuță la prelucrările interioare**

Fiecare poziție din codul de descriere al corpului cuștitului pentru prelucrări interioare este numerotată și corespunde numerelor din enumerarea următoare:

1. **Modul de realizare al corpului:** litera *A* corespunde unui corp din oțel cu canal de răcire, *B* pentru corp din oțel cu amortizor, *C* pentru corp din metale dure, *S* corp din oțel.
2. **Diametrul corpului:** D = 32 mm
3. **Lungimea sculei:** litera *R* descrie un corp al sculei cu lungimea totală de 200 mm
4. **Tipul de fixare a plăcuței:** *P* = fixare prin gaură
5. **Forma plăcuței:** litera *S* descrie o plăcuță pătrată cu un unghi la vârf $\epsilon = 90^\circ$
6. **Forma corpului:** litera *K* descrie un corp cu un unghi de atac principal $\kappa = 75^\circ$
7. **Unghiul de așezare al plăcuței:** litera *C* indică o plăcuță cu un unghi de așezare $\alpha = 7^\circ$
8. **Direcția de așchiere:** *R* indică faptul că suportul corespunde așchierii pe dreapta
9. **Lungimea muchiei plăcuței:** muchia plăcuței are o lungime de 16 mm
10. **Forme speciale** sau precizii superioare

Beispiel für die Bezeichnung von Klemmhaltern für die Innenbearbeitung / Exemplu de descriere a suportului pentru plăcuță la prelucrări interioare



**Innenklemmhalter
A32R PSKCR16**

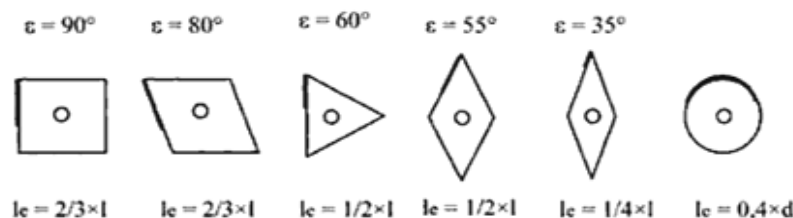
3.1.4. Richtlinien zur Werkzeugauswahl

- **Schaftabmessungen:** möglichst großen Schaftquerschnitt und geringe Schaftlänge, um das Auftreten von Schwingungen zu vermeiden- verringern.
- **Klemmhaltersysteme:** für Schruppen die stabile Klemmung mit Spannfinger oder Kniehebel bevorzugen, während zum Schlichten die Schraubenspannung ausreicht.
- **Halterform:** der Einstellwinkel κ sollte so klein wie möglich gewählt werden. Bei labilen, schlanken Werkstücken muss der Einstellwinkel groß gewählt werden, bis 90° , um die Passivkraft zu verringern, die das Werkstück radial abdrängt.
- **Plattenform:** sie bestimmt den Eckenwinkel ε . Je größer der Eckenwinkel ist, um so stabiler ist die Schneide, so dass die Belastungen durch Vorschub und Schnitttiefe erhöht werden können. Zum Schruppen einen möglichst großen Eckenwinkel wählen. Ein kleiner Eckenwinkel bedingt eine bessere Zugänglichkeit zum Werkstück und einen vielseitigeren Einsatz. Zum Formdrehen werden Platten mit einem Eckenwinkel zwischen $35-60^\circ$ eingesetzt.
- **Plattengröße:** ist die maximale Schnitttiefe festgelegt, kann daraus die erforderliche Plattengröße/Schneidkantenlänge ermittelt werden, wie Bild zeigt.

3.1.4. Recomandări pentru alegerea sculelor

- **Dimensiunea corpului sculei:** pe cât posibil se alege un corp cu secțiune mare și lungime mică pentru a elimina sau diminua apariția vibrațiilor.
- **Sistemul de fixare:** la degroșare se recomandă fixarea plăcuțelor cu pârghie în timp ce la finisare este suficientă fixarea cu șurub.
- **Forma corpului:** unghiul de atac principal κ trebuie ales cât mai mic posibil. La semifabricatele zvelte se recomandă însă alegerea unor unghiuri de atac mari, până la 90° , pentru diminuarea forței pasive, care respinge scula pe direcție radială.
- **Forma plăcuței:** definește unghiul la vârf ε . Cu cât unghiul ε este mai mare cu atât stabilitatea tăișurilor plăcuței va fi mai mare iar încărcarea (solicitările) datorită avansului și adâncimii de așchiere pot fi mai mari. La degroșare se alege un unghi la vârf cât mai mare posibil. Un unghi mai mic necesită o accesibilitate mai mare la suprafața semifabricatului. La strunjirea profilată se recomandă utilizarea plăcuțelor cu unghiuri la vârf de $35-60^\circ$.
- **Dimensiunea plăcuței:** Odată determinată adâncimea de așchiere maximă, se pot stabili dimensiunea plăcuței respectiv lungimea muchiei așchietoare, așa cum se arată în figură.

Einfluss der Schneidelänge / Eingriffslänge l_c auf die Plattengröße
(l_c – Länge der im Eingriff befindlichen Schneide, l – Plattenlänge, d - Durchmesser) / **Influența lungimii muchiei așchietoare / lungimii muchiei aflată în așchiere asupra grosimii plăcuței**



- **Eckenradius r_ε** verbindet die Hauptschneide mit der Nebenschneide und ist beim Spanen an der zentralsten Stelle. Ein großer Eckenradius erhöht die Stabilität der Schneide, verbessert die

- **Raza la vârf a plăcuței r_ε :** face conexiunea între tăișul principal și cel secundar al plăcuței și are un rol important în așchiere. O rază la vârf mare crește stabilitatea tăișurilor, îmbunătățește

Oberflächenrauheit und erhöht die Vibrationsgefahr. Der Eckenradius begrenzt den zulässigen Vorschub:

$f \approx 0,3 r_\epsilon$ beim Schlichten

$f \approx 0,5 r_\epsilon$ beim Schrappen

Runde Schneidplatten haben einen sehr großen Eckenradius und eignen sich daher für starkes Schrappen auch im unterbrochenen Schnitt, der beispielweise beim Überdrehen einer Längstnut entsteht.

- **Spanflächengeometrie:** Häufig Schneidengeometrie oder Plattentyp genannt: um einen sicheren Spanbruch zu erreichen, werden die Spanflächen mit einer bestimmten Geometrie erzeugt.

rugozitatea suprafeței prelucrate și crește riscul de apariție a vibrațiilor. Raza la vârf limitează mărimea avansului:

$f \sim 0,3 r_\epsilon$ la finisare

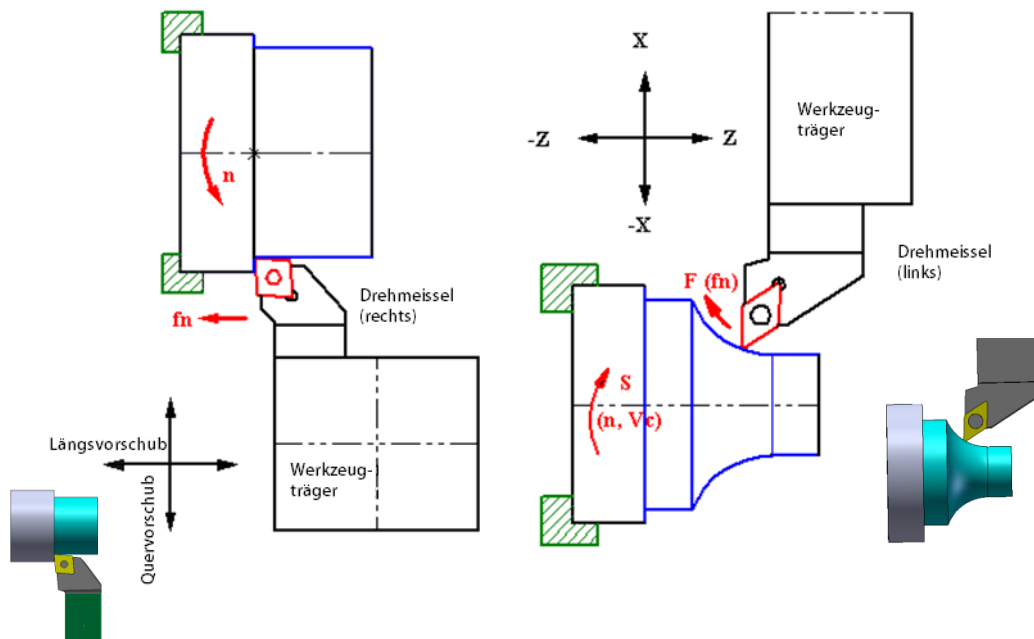
$f \sim 0,5 r_\epsilon$ la degroșare

Plăcuțele rotunde au o rază la vârf foarte mare și sunt recomandate pentru degroșări chiar și la prelucrări discontinue, de exemplu la prelucrarea unui canal longitudinal.

- **Geometria feței de degajare:** adesea geometria tășurilor sau tipul plăcuței sunt definatorii pentru fragmentarea corespunzătoare a așchiilor.

Ähnlichkeiten und Unterschiede: konventionell/CNC / Asemănări și deosebiri: convențional/CNC

[Car 18]



3.2 Bohren.Senken. Reiben

Bohren ist Spanen mit kreisförmiger Schnittbewegung, bei dem die Drehachse des Werkzeugs und die Achse der zu erzeugenden Innenfläche identisch sind und die Vorschubbewegung im Vergleich zum Innendrehen

3.2 Găurirea. Lamarea. Alezarea

Găurirea este procesul de așchiere la care mișcarea principală este o mișcare de rotație, axa de rotație a sculei și axa suprafeței interioare care urmează să fie prelucrată sunt identice și mișcarea de avans poate fi numai în direcția acestei axe de

nur in Richtung dieser Drehachse verlaufen darf.

Senken ist Bohren zum Erzeugen von senkrecht zur Drehachse liegenden Planflächen oder symmetrisch zur Drehachse liegenden Kegelflächen bei meist gleichzeitigem Erzeugen von zylindrischen Innenflächen.

Reiben ist ein Aufbohren zwecks Erhöhung der Oberflächengüte bei geringen Spannungsdicken.

3.2.1 Bohrverfahren

Die Einteilung der Bohrverfahren nach DIN 8589, zeigt **Abb. 3.13**. Unter *Plansenken* versteht man Senken zur Erzeugung von senkrecht zur Drehachse der Schnittbewegung liegenden ebenen Flächen, wie **Abb. 3.14** zeigt.

Es kann zwischen dem **Planansenken** und dem **Planeinsenken** unterschieden werden. Durch Planansenken werden am Werkstück hervorstehende Planflächen gefertigt. Das Planeinsenken dient zum Erzeugen von im Werkstück vertieften Planflächen; hierbei entsteht gleichzeitig eine kreiszylindrische Innenfläche.

rotație, spre deosebire de strunjirea interioară.

Lamarea este utilizată pentru a produce suprafețe plane perpendiculare pe axa de rotație sau suprafețe conice simetrice față de axa de rotație, cu generarea simultană a suprafețelor interioare cilindrice.

Alezarea este o operația de lărgire cu scopul de a crește calitatea suprafeței la grosimi mici ale așchiilor.

3.2.1 Procedee de găurire

Clasificarea procedeelor de găurire conform DIN 8589, este prezentată în **figura 3.13**. Prin *lamare plană* se înțelege prelucrarea suprafețelor plane, perpendiculare pe axa de rotație a mișcării de așchiere, așa cum se arată în **figura 3.14**.

Trebuie să se facă distincția între **planarea suprafețelor exterioare** și **interioare**. Primul procedeu se obțin suprafețe plane amplasate pe proeminente (bosaje). Al doilea procedeu este utilizat pentru a crea suprafețe plane încastrate în piesa de prelucrat fiind simultan prelucrată o suprafață interioară cilindrică (lamaje).

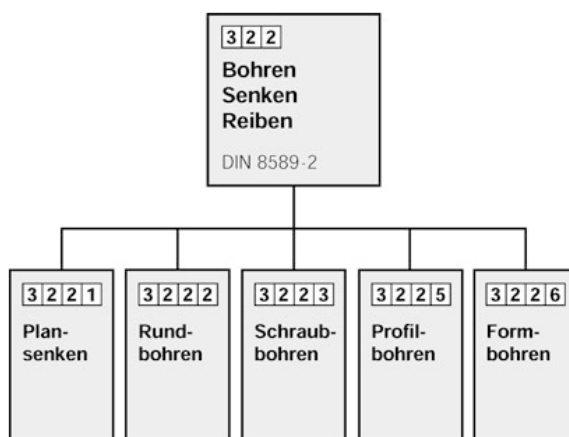


Abb. 3.13 Einteilung der Bohrverfahren (nach DIN 8589-2) / Clasificarea procedeelor de găurire

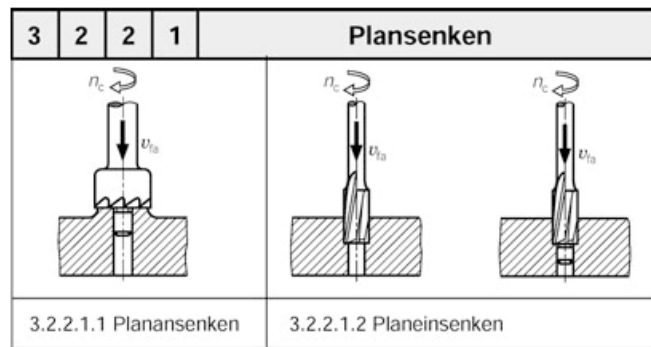


Abb. 3.14 Plansenkenverfahren / Lărgire și adâncire

Rundbohren kennzeichnet einen Bohrvorgang zum Erzeugen einer kreiszylindrischen, coaxial zur Drehachse der Schnittbewegung gelegenen Innenfläche. Nach DIN werden Rundbohrverfahren nach Merkmalen des Werkzeugeingriffs unterteilt. Man unterscheidet zwischen:

- Bohren ins Volle,
- Kernbohren,
- Aufbohren und
- Reiben.

Beispiele für das Rundbohren mit symmetrisch angeordneten Hauptschneiden zeigt **Abb. 3.15**. Beim Rundbohren ins Volle wird mit dem Werkzeug ohne Vorbohren in den Werkstückstoff gebohrt.

Găurirea este o operație de găurire cu scopul de a prelucra o suprafață interioară circulară coaxială cu axa de rotație a mișcării de așchiere. Conform DIN, metodele de găurire sunt împărțite în funcție de caracteristicile sculei.

Se diferențiază între:

- Găurirea în plin,
- Găurirea inelară,
- Lărgirea
- Alezarea.

Exemple de procedee de găurire cu scule cu muchii așchietoare dispuse simetric sunt prezentate în **figura 3.15**. Pentru găurirea în plin, scula pătrunde în material fără o pregătire prealabilă a materialului.

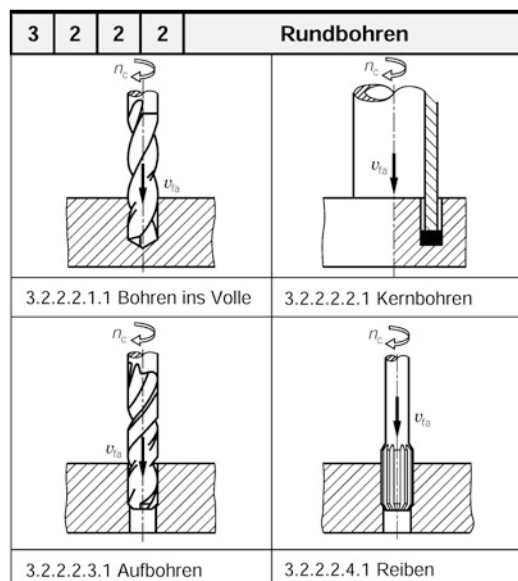


Abb. 3.15 Rundbohrverfahren / Procedee de prelucrare a găurilor [WES 10]

Kernbohren ist Bohren, bei dem das Bohrwerkzeug den Werkstückstoff ringförmig zerspant und gleichzeitig mit der Bohrung ein kreiszylindrischer Kern entsteht bzw. übrig bleibt.

Mit **Aufbohren** bezeichnet man solche Bohrverfahren, die zur Vergrößerung einer bereits vorgefertigten Bohrung (z.B. durch Gießen oder Vorbohren) dienen.

Reiben ist als weitere Untergruppe des Rundbohrens definiert. Beim **Rundreiben** werden maß und formgenaue, kreiszylindrische Innenflächen mit hoher Oberflächengüte durch Aufbohren mit geringer Spanungsdicke erzielt. Es kann dabei je nach Art des verwendeten Reibwerkzeugs zwischen mehrschneidigem Reiben und einschneidigem Reiben unterschieden werden.

Gäurirea inelară (cu miez) este procedeul de găurire la care burghiul aşchiază inelar materialul semifabricatului și formează simultan cu prelucrarea găurii un miez cilindric.

Lărgirea este cunoscută sub numele de metode de găurire care se utilizează pentru a mări diametrul unei găuri deja existente (de ex., prin turnare sau pregăurire).

Alezarea este o altă subgrupă a burghierii. În cazul alezării cilindrice, se urmărește îmbunătățirea preciziei dimensionale, de formă și a rugozității suprafețelor cilindrice interioare, adaosul de prelucrare fiind mic. În funcție de tipul de sculelor utilizate se distinge prelucrarea cu alezor mono- sau multitaș.

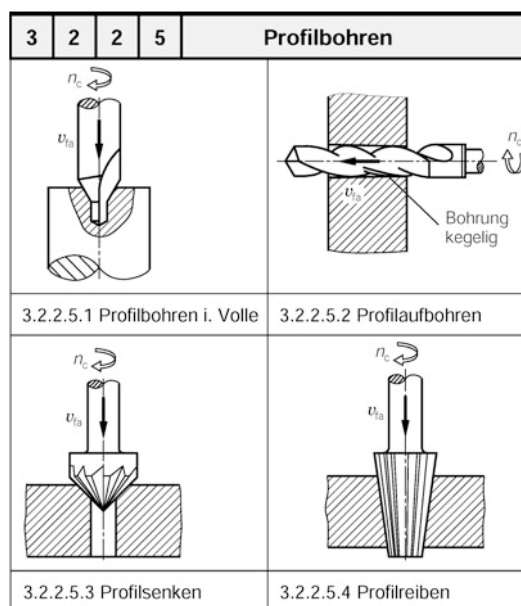


Abb. 3.16 Profilbohrverfahren / Procede de găurire profilată [WES 10]

Einige ausgewählte Profilbohrverfahren sind in **Abb. 3.16** dargestellt. **Profilbohren ins Volle** ist Bohren in den vollen Werkstückstoff zum Erzeugen von rotationssymmetrischen Innenprofilen, die durch das Hauptschneidenprofil des Bohrwerkzeugs bestimmt sind (z.B. Profilbohren mit Zentrierbohrer).

Câteva procedee de găurire profilată sunt prezentate în **figura 3.16**. **Prelucrarea în plin a găurilor profilate** reprezintă operația prin care se prelucurează suprafețe de rotație interioare profilate rezultate prin copierea profilului sculei pe suprafața semifabricatului (de ex. găuri de centrare).

Beim **Profilaufbohren** wird das jeweilige Innenprofil durch Aufbohren hergestellt (z.B. Aufbohren einer kegeligen Innenfläche für Kegelstifte). Weitere Profilbohrverfahren sind das *Profilsenken* und das *Profilreiben*.

Lărgirea suprafețelor profilate permite realizarea unor suprafețe interioare conice. Alte metode de găurire profilată sunt *lamarea conică* și *alezarea profilată*.

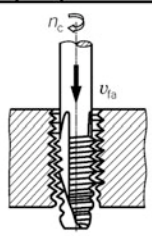
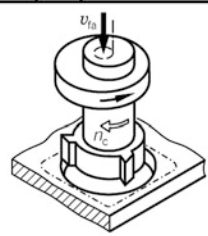
| 3 | 2 | 2 | 3 | Schraubbohren | 3 | 2 | 2 | 6 | Formbohren |
|---|---|---|---|---------------|--|---|---|---|------------|
|  | | | | |  | | | | |
| 3.2.2.3.1 Gewindebohren | | | | | 3.2.2.6.1 Unrundbohren | | | | |

Abb. 3.17 Schraub- und Formbohren / Tarodarea și prelucrarea găurilor necirculare [WES10]

Schraubbohren ist Bohren mit einem Schraubprofilwerkzeug in ein vorhandenes bzw. Vorgebohrtes Loch, hierbei entstehen koaxial zur Schnittbewegung liegende Innenschraubflächen, gemäß **Abb. 3.17**.

Formbohren sind Bohrverfahren mit gesteuerter Schnitt- bzw. Vorschubbewegung zur Erzeugung von Innenflächen, die von der kreiszylindrischen Form abweichen. **Abbildung 3.17** zeigt das Unrundaufbohren eines gegossenen oder vorgebohrten Loches.

3.2.2 Bohrwerkzeuge

Die Bauformen von Bohrwerkzeugen sind äußerst vielfältig. Trotz der Vielzahl von standardisierten Bohrwerkzeugen nimmt der Anteil von an die jeweilige Bearbeitungsaufgabe angepassten Sonderwerkzeugen ständig zu.

Für die Fertigungsverfahren Bohren lassen sich zeitlich aufeinanderfolgende Fertigungsstufen unterscheiden. In **Abb. 3.18** sind den nach DIN 8589-2 definierten Fertigungsverfahren und den daraus abgeleiteten Fertigungsstufen für bestimmte zu erzeugende Formelemente typische Bohrwerkzeuge zugeordnet.

Tarodarea este procedeul de prelucrare a unui filet interior într-o gaură existentă, coaxial cu mișcarea de așchiere, conform **Fig. 3.17**.

Prelucrarea găurilor prin generare cinematică este o metodă de găurire la care mișcarea de așchiere și cea de avans sunt combinate pentru a produce suprafețe interioare care se abat de la forma cilindrică circulară. **Figura 3.17** prezintă găurirea necirculară a unei găuri turnate sau pregăurite.

3.2.2 Scule pentru găurire

Forma constructivă a burghiilor este extrem de diversă. În ciuda numărului mare de burghie standardizate, proporția sculelor speciale adaptate la operația de prelucrare este în continuă creștere.

În cadrul procesului de fabricație, operațiile de prelucrare a alezajelor pot fi ordonate în funcție de succesiunea de realizare. În **figura 3.18**, sculele de găurit tipice sunt asociate proceselor de prelucrare definite în conformitate cu DIN 8589-2 și etapelor de producție derivate din acestea pentru anumite tipuri de suprafețe.

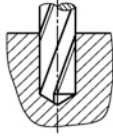
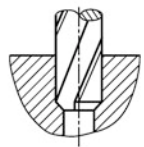
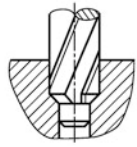
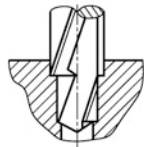
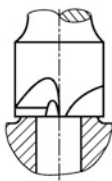

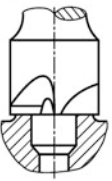

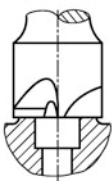


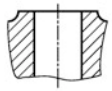

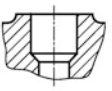
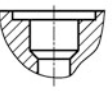
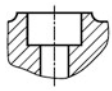
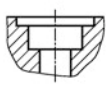
| Fertigungsstufen | Beispielwerkzeuge | | | | | |
|--|--|--|---|---|--|--|
| Bohren ins Volle | 3.2.2.2.1  | | | | | |
| Aufbohren, Profilsenken, Profilaufbohren | 3.2.2.2.3  | | 3.2.2.5.1  | | 3.2.2.5.3  | |
| Planansenken Planeinsenken | 3.2.2.1.1  | 3.2.2.1.2  | 3.2.2.1.1  | 3.2.2.1.2  | 3.2.2.1.1  | 3.2.2.1.2  |
| Reiben | 3.2.2.2.4  | | | | | |
| erzeugtes Formelement |  |  |  |  |  |  |

Abb. 3.18 Werkzeuge für verschiedene Fertigungsstufen beim Bohren / Scule pentru prelucrarea găurilor [WES 10]

Der *Wendelbohrer* zählt zu den am meisten verwendeten Bohrwerkzeugen. Je nach der Größe des *Seitenspanwinkels* γ (Drallwinkel) und des *Spitzenwinkels* σ können verschiedene Wendelbohrertypen unterschieden werden, wie **Abb. 3.19** verdeutlicht.

Mit Wendelbohrern lassen sich i.Allg. Bohrungen mit einem Verhältnis Bohrtiefe / Bohrungsdurchmesser $l_w/d_w < 5$ ohne Schwierigkeiten erzeugen. Mit speziellen Tiefbohrwerkzeugen können heute l_w/d_w Verhältnisse im Bereich von **150 bis 200** erreicht werden.

Spitzenwinkel und Querschneide

Praktisch gibt es keine Querschneide bei Vollhartmetallbohrern. Die axiale Schnittkraft wird deutlich reduziert, da praktisch keine Querschneide

Burghiul elicoidal este una dintre cele mai utilizate scule pentru găurire. În funcție de mărimea *unghiului lateral* γ și *a unghiului la vârf* σ , se pot distinge diferite tipuri de burghie elicoidale, așa cum este ilustrat în **figura 3.19**.

Cu burghiele elicoidale pot fi prelucrate fără dificultate găuri cu un raport *adâncime de găurire / diametrul găurii* $l_w/d_w < 5$. Prin intermediul burghielor pentru găuri adânci se pot prelucra în prezent găuri având rapoartele l_w/d_w cuprinse între **150 și 200**.

Unghiul la vârf și tăișul transversal

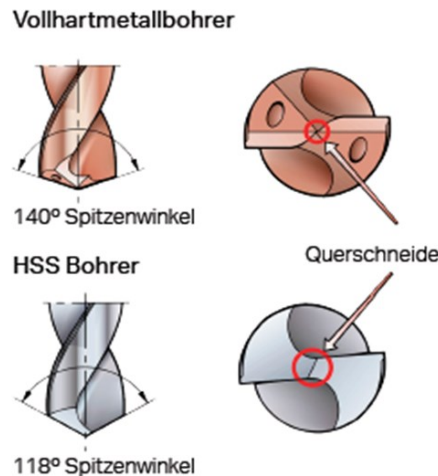
Burghiele monobloc din carburi metalice nu au practic un tăiș transversal. Din acest motiv, forța de așchiere pe direcție radială este diminuată

bei Vollhartmetallbohrern angeschliffen ist. Dies sorgt für längere Standzeit und höhere Produktivität.

Das Ergebnis ist eine bessere Zentrierung. Außerdem werden die Späne enger an der Bohrspitzenmitte geschnitten. Dadurch besteht kein Bedarf für Zentrierbohrer [www.sandwik.de].

considerabil. De asemenea este asigurată astfel o mai mare durabilitate a sculei și o productivitate mai mare.

Un alt efect constă într-o mai bună centrare a burghiului. Așchiile se formează mai aproape de vârful burghiului, ceea ce face să nu mai fie necesară o centruire prealabilă [www.sandwik.de].

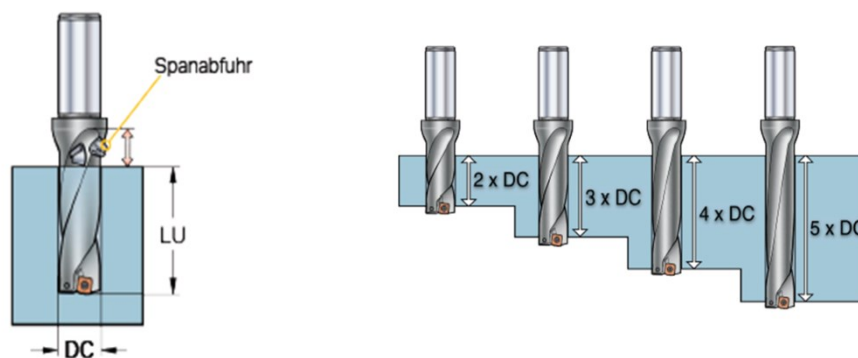


Maximale Bohrungstiefe

Die Bohrungstiefe (LU) bestimmt die Wahl des Werkzeuges. Die maximale Bohrungstiefe ist eine Funktion des Bohrungsdurchmessers DC und der Bohrungstiefe (z.B.: Max. Bohrungstiefe LU = 3 x DC) [www.sandwik.de].

Adâncimea maximă de găurire

Adâncimea maximă găurii (LU) influențează alegerea burghiului. Adâncimea maximă a găurii este determinată de diametrul găurii DC și adâncimea acesteia (de ex: adâncimea max de găurire LU= 3 x DC) [www.sandwik.de].



Tiefbohrwerkzeuge finden heute aber auch zum Fertigen von Bohrungen mit höheren Anforderungen an die Maßgenauigkeit (**IT 7 bis IT 10**) und an die Form- und Lagegenauigkeit Anwendung. Werkzeuge zum Tiefbohren sind:

- Einlippenbohrwerkzeuge,
- Bohrköpfe (**Abbildung 3.20**).

Sculele pentru prelucrarea găurilor adânci sunt de asemenea utilizate pentru găurile cu cerințe mai mari privind precizia dimensională (**IT 7 la IT 10**), precizia formei și poziției. Sculele pentru găurirea adâncă sunt:

- Scule cu un singur tăiș,
- Capete de găurit (**Figura 3.20**).

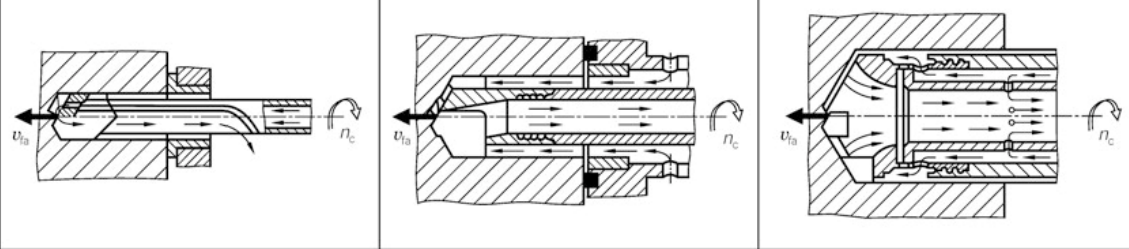
| 3 | 2 | 2 | 2 | 1 | Rundbohren ins Volle | | | | | | | | | |
|--|---|---|---|---|---|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
|  | | | | | | | | | | | | | | |
| 3.2.2.2.1.3 Einlippenbohrer | | | | | 3.2.2.2.1.4 Bohrkopf nach Einrohrsystem | | | | | 3.2.2.2.1.5 Bohrkopf nach Doppelrohrsystem | | | | |

Abb. 3.20 Anwendung von Tiefbohrwerkzeugen beim Rundbohren ins Volle / Utilizarea sculelor pentru prelucrarea găurilor adânci [WES 10]

3.3 Fräsen

Fräsen ist ein spanendes Fertigungsverfahren, das mit meist mehrzahnigen Werkzeugen bei kreisförmiger Schnittbewegung und senkrecht oder auch schräg zur Drehachse gerichteter Vorschubbewegung nahezu beliebig geformte Werkstückflächen zu erzeugen vermag.

Wesentliche Verfahrensmerkmale sind die im Gegensatz zu anderen Verfahren (z. B. Drehen und Bohren) sich stetig verändernden Eingriffsverhältnisse.

Unterbrochener Schnitt und die in Abhängigkeit vom Vorschubrichtungswinkel nicht konstanten Spannungsdicken und damit verbundenen Schnittkraftschwankungen erfordern ein gutes dynamisches Verhalten des Systems Werkstück – Werkzeug – Werkzeugmaschine.

3.3.1 Fräsverfahren

Fräsverfahren werden nach DIN 8589-3 in *Plan-, Rund-, Schraub-, Wälz-, Profil- und Formfräsen* unterteilt, wie aus **Abb. 3.22** hervorgeht.

Nach Art des Werkzeugeingriffs kann zwischen:

- *Umfangsfräsen*,
- *Stirnfräsen* und
- *Stirn-Umfangsfräsen*

unterschieden werden.

3.4 Frezarea

Frezarea este un proces de prelucrare care permite realizarea aproape oricărei geometrii a suprafeței, cu ajutorul unor scule multitaieș cu o mișcare de așchiere circulară și mișcări de avans perpendiculare sau oblice față de axa de rotație.

Caracteristica principală a frezării este faptul că prelucrarea este discontinuă, spre deosebire de alte metode (de ex. strunjire sau găurire).

Așchiera discontinuă și grosimea variabilă a așchiei, care depinde de direcția mișcării de avans și fluctuațiile forței de așchiere, necesită un comportament dinamic bun al sistemului tehnologic sculă - semifabricat - mașina unealtă.

3.3.1 Procedee de frezare

Procedeele de frezare sunt împărțite în conformitate cu DIN 8589-3 în: *frezare plană, frezare circulară, frezare filetelor, frezare prin rulare, frezare profilată*, așa cum se arată în **figura 3.22**. În funcție de tipul de sculei utilizate se disting:

- *Frezarea cilindrică*,
- *Frezarea frontală* și
- *Frezarea cilindro-frontală*.

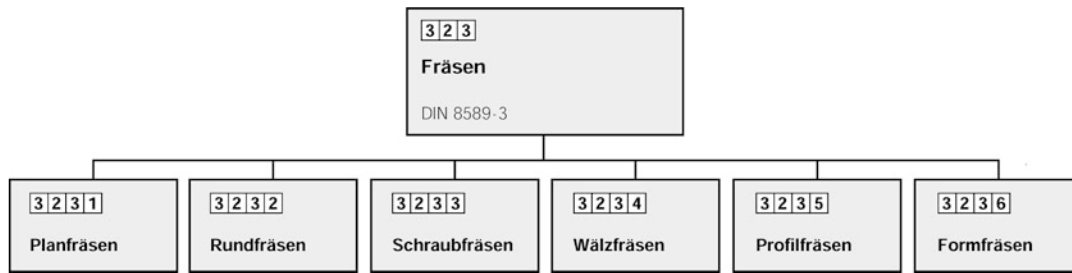


Abb. 3.22 Einteilung der Fräsverfahren (nach DIN 8589-3) / Clasificarea procedeeilor de frezare

Hierbei erzeugen jeweils die am Umfang liegenden Hauptschneiden, die an der Stirnseite des Fräswerkzeugs liegenden Nebenschneiden oder die am Umfang bzw. der Stirnseite wirkenden Haupt- und Nebenschneiden gleichzeitig die gewünschte Werkstückform.

Planfräsen ist Fräsen mit geradliniger Vorschubbewegung zur Erzeugung ebener Flächen. **Verfahrensvarianten des Planfräsens** sind in **Abb. 3.23** gezeigt.

După caz, prelucrarea este realizată fie de muchiile așchietoare principale de pe circumferința frezei, muchiile așchietoare secundare situate pe partea frontală a acestuia, fie simultan de muchiile așchietoare principale și secundare de partea frontală și de pe circumferință.

Frezarea plană este prelucrarea prin frezare cu o mișcare de avans liniară, rezultând firește suprafețe plane. **Variantele procesului de frezare plană** sunt prezentate în **figura 3.23**.

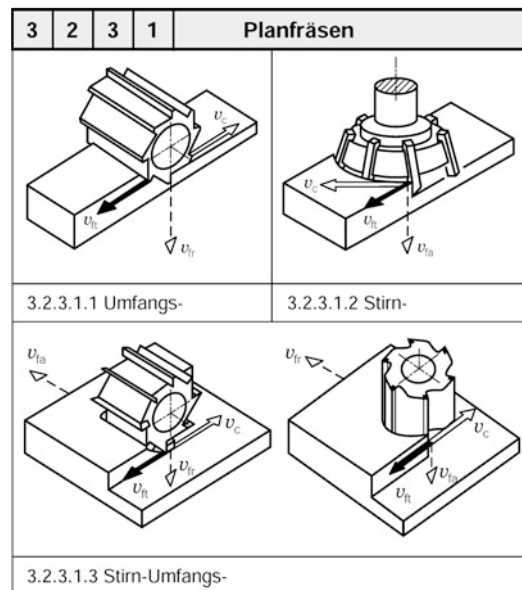


Abb. 3.23 Planfräsverfahren [WES 10]

Beim **Rundfräsen** lassen sich kreiszylindrische Flächen. Werkzeug- und Werkstückdrehachse stehen bei üblichen Rundfräsverfahren parallel zueinander.

Als wirtschaftliche Alternative zum Drehen haben sich in bestimmten Anwendungsfällen Rundfräsverfahren entwickelt, bei denen die

Prin **frezare circulară** pot fi prelucrate suprafețe cilindrice. Axele de rotație a sculei și a semifabricatului sunt paralele.

Ca o alternativă economică la strunjire, au fost dezvoltate procese de frezare circulară în anumite aplicații, în care axa de rotație a sculei este

Werkzeugdrehachse annähernd senkrecht zur Werkstückdrehachse angeordnet ist, **Abb. 3.24**.

dispusă perpendicular pe axa de rotație a piesei de prelucrat, **Fig.3.24**.

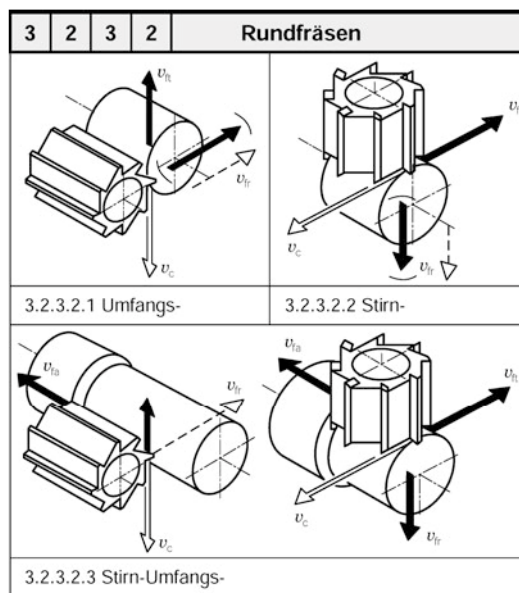


Abb. 3.24 Rundfräsverfahren / Frezarea circulară [WES 10]

Mit **Schraubfräsen** bezeichnet man Fräsverfahren, bei denen unter wendelförmiger Vorschubbewegung schraubenförmige Flächen am Werkstück entstehen (z.B. Gewinde und Zylinderschnecken).

Zum Schraubfräsen gehören gemäß **Abb. 3.25** das **Langgewindefräsen** und das **Kurzgewindefräsen**. **Langgewindefräsen** ist Schraubfräsen mit einem einprofiligen Gewindefräser, dessen Achse in Richtung der Gewindesteigung geneigt ist und dessen Vorschub der Gewindesteigung entspricht.

Das **Kurzgewindefräsen** erfolgt dagegen mit einem mehrprofiligen Gewindefräser, dessen Achse zur Werkstückachse parallel liegt und dessen Vorschub der Gewindesteigung entspricht. Zur Herstellung des Gewindes ist dabei lediglich etwas mehr als eine Werkstückumdrehung erforderlich.

Wälzfräsen ist eines der wichtigsten Fertigungsverfahren zur Herstellung von Verzahnungen. Beim Wälzfräsen führt ein Fräser mit Bezugsprofil eine mit der Vorschubbewegung simultane Wälzbewegung aus. Dabei wälzen Werkzeug und Werkstück ähnlich wie eine Schnecke in einem

Frezarea filetelor este o metodă de frezare prin care se prelucrează suprafețe elicoidale (de ex. șuruburi și melci cilindrici) utilizând o mișcare de avans elicoidal.

Prin acest procedeu pot prelucrate **filete scurte** sau **lungi**, conform **figurii 3.25**. **Frezarea filetelor lungi** se realizează cu freze mono-profil, a căror axă este înclinată în direcția de înclinare a filetului și al cărei avans longitudinal corespunde pasului filetului.

Pe de altă parte, **frezarea filetelor scurte** este realizată cu o freză multiprofil, a cărei axă este paralelă cu axa piesei de prelucrat și al cărei avans corespunde pasului filetului. Pentru realizarea filetului este necesar doar ceva mai mult de o rotație a semifabricatului.

Frezarea prin rulare este cel mai important procedeu de prelucrare a roților dințate. În timpul frezării, o freză melcată efectuează o mișcare de rulare prin combinarea mișcării principale și a mișcării de avans. Dantura roții dințate rezultă prin rularea sculei și a semifabricatului (similar unui

Schneckenradgetriebe während des angnenaj melcat), turațiile acestora fiind corelate Zerspanvorgangs gegeneinander ab (Abb. 3.25). (Figura 3.25).

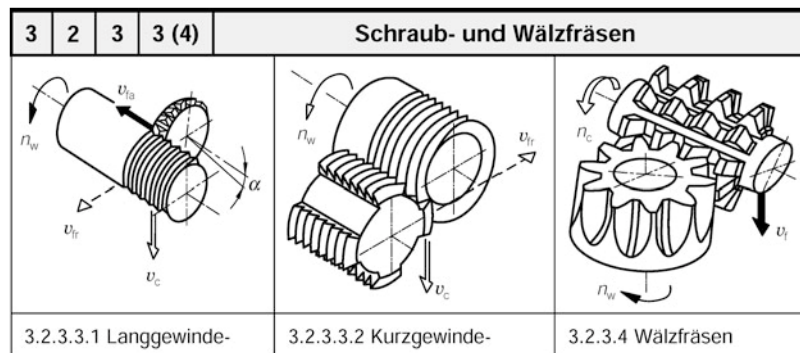


Abb. 3.25 Schraub- und Wälzfräsverfahren / Frezarea filetelor și a roților dințate [WES 10]

Profilfräsen ist Fräsen unter Verwendung eines Werkzeugs mit werkstückgebundener Form. Es dient zur Erzeugung gerader (geradlinige Vorschubbewegung), rotationssymmetrischer (kreisförmige Vorschubbewegung) und beliebig in einer Ebene gekrümmte Profilflächen (gesteuerte Vorschubbewegung). Einige Beispiele für das Profilfräsen zeigt Abb. 3.26.

Frezarea profilată prin copiere este frezarea cu ajutorul unei scule al cărui profil este corelat cu geometria suprafeței care se prelucrează. Se utilizează pentru a genera o suprafață profilată liniară (mișcarea de avans liniară), de rotație simetrică (mișcare de avans circulară) sau a unor suprafețe profilate curbate arbitrar (mișcare de avans controlată). Câteva exemple de frezare a profilelor sunt prezentate în figura 3.26.

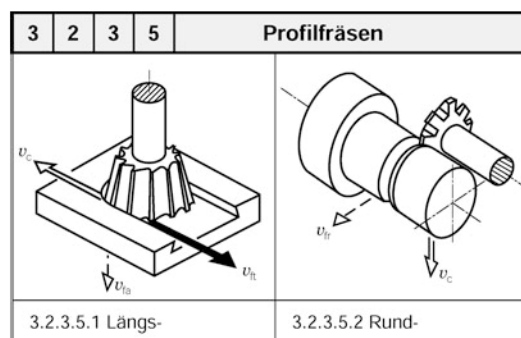


Abb. 3.26 Profilfräsverfahren / Frezare prin copiere [WES 10]

Formfräsen ist Fräsen, bei dem die Vorschubbewegung in einer Ebene oder räumlich gesteuert ist und dadurch die gewünschte Form des Werkstücks erzeugt wird. Zu dieser Verfahrensgruppe gehören die in Abb. 3.27 dargestellten Prozesse:

- Freiformfräsen,
- Nachformfräsen,
- Kinematisch-Formfräsen und
- NC-Formfräsen.

Frezarea suprafețelor profilate este procedeul la care mișcarea de avans este controlată într-un plan sau spațial, producând astfel forma dorită a piesei. Acest grup de procese include procedeele prezentate în figura 3.27:

- Frezare profilată liberă,
- Frezare profilată după șablon,
- Frezare profilată cinematică
- Frezare profilată NC.

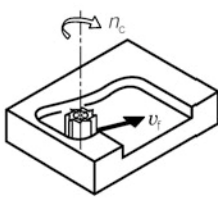
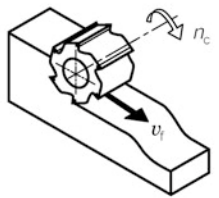
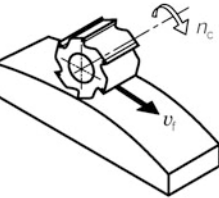
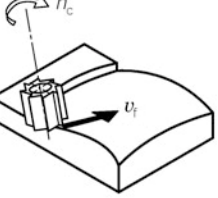
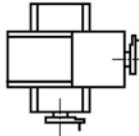
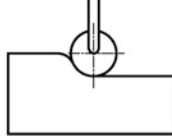
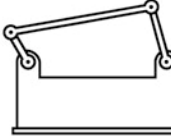
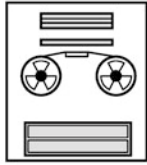
| 3 | 2 | 3 | 6 | Formfräsen |
|---|---|--|---|------------|
|  |  |  |  | |
|  |  |  |  | |
| 3.2.3.6.1 Frei- | 3.2.3.6.2 Nach- | 3.2.3.6.3 Kinematisch- | 3.2.3.6.4 NC- | |

Abb. 3.27 Formfräsverfahren / Frezare profilată [WES 10]

Ein weiterer **Gesichtspunkt** für die Unterscheidung von Fräsverfahren ist die Richtung der Vorschubbewegung gegenüber der Schnittbewegung. Man unterscheidet zwischen **Gleichlauf** - und **Gegenlaufräsen**. Die beiden Fräsarten sind in **Abb. 3.28a** schematisch dargestellt.

Beim **Gegenlaufräsen** sind die Drehrichtung des Fräasers und die Vorschubrichtung des Werkstückes **entgegengerichtet**. Der **Vorschubrichtungswinkel** nimmt Werte zwischen $0^\circ \leq \varphi \leq 90^\circ$ an. Der Span wird am dünnen Ende angeschnitten (theoretische Spanungsdicke $h=0$). Dies führt zu einem Gleiten der anschneidenden Schneide und zu einer Verfestigung im Werkstück. Der Reibvorgang erzeugt Wärme und Verschleiß am Fräser. Der Fräser versucht das Werkstück vom Maschinentisch abzuheben.

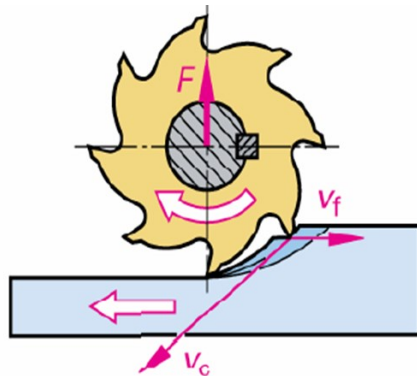
Beim **Gleichlaufräsen** sind die Drehrichtung des Fräasers und die Vorschubrichtung des Werkstückes **gleichgerichtet**. Der **Vorschubrichtungswinkel** nimmt Werte zwischen $90^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ$ an. Die Zespannung beginnt mit der **maximalen Spanungsdicke**, was beim Bearbeiten härterer Oberflächen zum erhöhten Fräserverschleiß führt. Die Ratterneigung

Un alt **aspect** pentru diferențierea metodelor de frezare este direcția mișcării de avans în raport cu direcția mișcarea principală de așchiere. Astfel, se face o distincție între **frezarea în sensul avansului** și **frezarea în sens invers avansului**. Cele două tipuri de frezare sunt prezentate schematic în **figura 3.28a**.

La **frezarea în sens invers avansului**, **mișcarea** de rotație a sculei și **mișcarea** de avans a semifabricatului se realizează în **sensuri opuse**. **Unghiul direcției mișcării de avans (φ)** are valori cuprinse între 0° și 90° . Așchia se formează începând cu **secțiunea minimă** (grosimea teoretică a așchiei în momentul respectiv $h=0$). Aceasta determină o alunecare a tăișurilor care intră în așchiere și la o ecruisare a materialului semifabricatului. Procesul de frecare intensă determină producerea căldurii și uzarea sculei. Scula are tendința de a desprinde piesa de pe masa mașinii.

La **frezarea în sensul avansului** **direcția** de rotație a sculei și **direcția** de deplasare a semifabricatului sunt **indentice**. **Unghiul direcției mișcării de avans (φ)** are valori cuprinse între 90° și 180° . Așchiera începe cu o **secțiune maximă a așchiei**, ceea ce în cazul prelucrării materialelor dure conduce la o uzare intensă a sculei. Tendința de producere a vibrațiilor este mai redusă

ist geringer als beim Gegenlaufräsen. Das Gleichlaufräsen wird hauptsächlich zur Bearbeitung dünner, leicht verformbarer Werkstücke (kein Anheben) angewendet. Der Vorschubantrieb muß bei diesem Fräsverfahren spielfrei sein.



comparativ cu frezarea în sens invers avansului. Frezarea în sensul avansului se utilizează în special la prelucrarea semifabricatelor subțiri ușor deformabile. În acest caz trebuie eliminate jocurile din lanțul cinematic al mașinii de frezat.

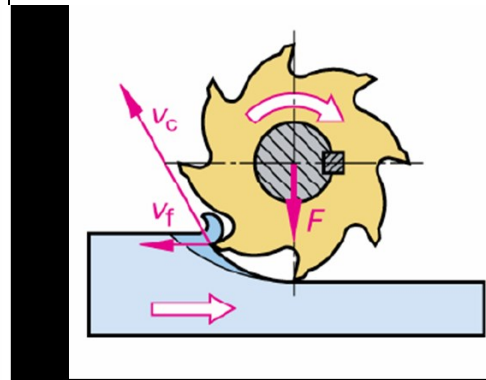


Abb. 3.28a Werkzeug- und Werkstückbewegungen beim Umfangfräsen (nach DIN 6580): links - Gleichlaufräsen ($\varphi > 90^\circ$), rechts - Gegenlaufräsen ($\varphi < 90^\circ$) / Mișcările la frezarea în sensul avansului și în sens invers avansului [SCH 18]

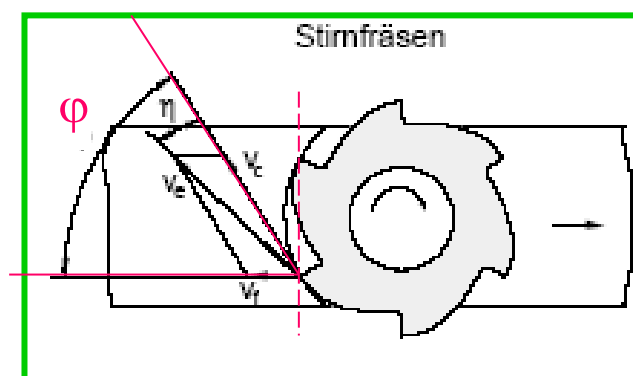
Beim **Stirnfräsen** erfolgt gleichzeitiges **Gegenlauf- und Gleichlaufräsen** (sofern der Fräser bederseits seiner Drehachse im Eingriff ist). Der **Vorschubrichtungswinkel** kann Werte zwischen $0^\circ \leq \varphi \leq 180^\circ$ annehmen. (Abb. 3/28b)

Die Maschinenbelastung ist gleichmäßiger als beim Walzenfräsen, was zu einem ruhigen Lauf, besserer Maßhaltigkeit (IT8 beim Wälzfräsen, IT6 beim Stirnfräsen), besserer Oberflächengüte und höherer Standzeit der Fräser führt.

La **frezarea frontală** are loc simultan **frezare în sensul avansului și în sens invers avansului** (atâta timp cât se găsesc în așchiere tăișuri de pe ambele părți ale frezei în raport cu axa de rotație).

Unghiul direcției mișcării de avans (φ) are valori cuprinse între 0° și 180° . (Fig. 3/28b)

Solicitățile mașinii-unelte sunt mai uniforme decât cele de la frezarea cilindrică, ceea ce conduce la o desfășurare mai cursivă a procesului, la o mai bună constanță a preciziei de prelucrare (IT8 la frezarea cilindrică, IT6 la frezarea frontală), o mai bună calitate a suprafeței prelucrate și o mai bună durabilitate a sculei.



- v_f – Vorschubgeschwindigkeit
- v_e – Wirkgeschwindigkeit
- v_c – Schnittgeschwindigkeit
- φ – Vorschubrichtungswinkel
- η – Wirkrichtungswinkel

Abb. 3.28b Stirnfräsen / Frezare frontală [SCH 18]

3.3.4 Fräswerkzeuge

Die Bezeichnungen der einzelnen Fräser entstehen aus verschiedenen Kriterien, diese sind zum einen **die geometrische Form, die Art der Aufnahme** (Aufsteck- oder Schaftfräser) und zum anderen die **Ausführung der Schneiden** (HSS-Fräser bzw. Fräser mit eingesetzten Schneidplatten). Folgende Tabellen gibt einen Überblick über die am häufigsten verwendeten Fräser.

| Fräswerkzeuge | |
|-------------------|----------------|
| Aufsteckfräser | Schaftfräser |
| Walzenfräser | Langlochfräser |
| Walzenstirnfräser | Schaftfräser |
| Scheibenfräser | T-Nutenfräser |
| Profilfräser | Winkelfräser |

Abbildung 3.29 zeigt, dass grundsätzlich vier verschiedene *Fräswerkzeugtypen* definiert werden können. Demnach lassen sich die hauptsächlich angewendeten Fräswerkzeuge in *Umfangs-, Stirn-, Profil- und Formfräser* unterteilen.

3.3.4 Scule pentru frezare

Descrierea fiecărui tip de freză se realizează pe baza mai multor criterii, care se referă pe de o parte la **forma geometrică și la modul de fixare** (freze cu alezaj sau freze cu coadă), iar pe de altă parte la **modul de realizare al tășurilor** (freze confecționate în întregime din oțeluri rapide, respectiv freze cu plăcuțe din materiale dure). În tabelele următoare sunt enumerate cele mai frecvent utilizate tipuri de freze.

| Scule pentru frezare | |
|-------------------------|--------------------------------|
| Freze cu alezaj | Freze cu coadă |
| Freze cilindrice | Freze pentru prelucrări adânci |
| Freze cilindro-frontale | Freze cu coadă |
| Freze disc | Freze pentru canale T |
| Freze profilate | Freze unghiulare |
| | Freze cilindro-frontale |

Figura 3.29 arată faptul că în principiu pot fi definite patru *tipuri diferite de scule de frezat*. În consecință, sculele de frezat utilizate pot fi împărțite *freze cilindrice, freze frontale, freze profilate și freze pentru prelucrare profile*.

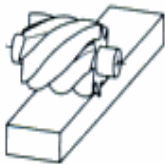
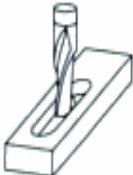
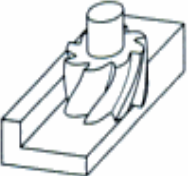
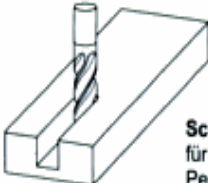
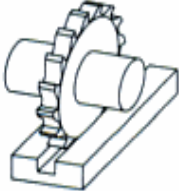
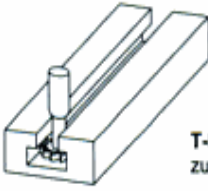
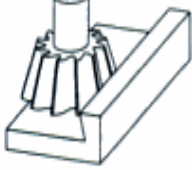
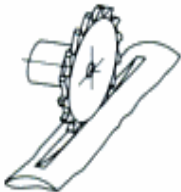
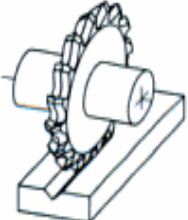
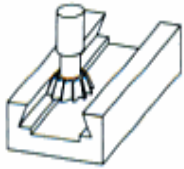
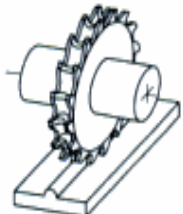
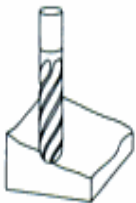
| | |
|---|---|
|  <p>Walzenfräser zum Fräsen von Planflächen</p> |  <p>Langlochfräser (2- oder 3-Schneider) für Keilnuten und Taschen</p> |
|  <p>Walzenstirnfräser zum Fräsen von Ecken und Planflächen</p> |  <p>Schafffräser für tiefe Nuten und Peripheriefasen</p> |
|  <p>Scheibenfräser zum Fräsen von Nuten</p> |  <p>T-Nutenfräser zum Fräsen von T-Nuten</p> |
|  <p>Winkelstirnfräser zum Fräsen von Winkelführungen</p> |  <p>Schlitzfräser zum Fräsen von Scheibfedernuten</p> |
|  <p>Prismenfräser zum Fräsen von Prismenführungen</p> |  <p>Winkelfräser zum Fräsen von Winkelführungen</p> |
|  <p>Halbrundprofilfräser zum Fräsen von Halbrundführungen</p> |  <p>Gesenkfräser (Kugelkopf) zum Fräsen von Taschen und Umrissfasen</p> |

Abb. 3.29a Fräswerkzeuge und einige typische Anwendungen / Freze și domenii de utilizare [WES 18]

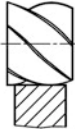
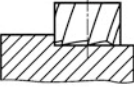
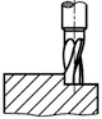

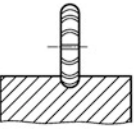
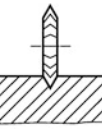
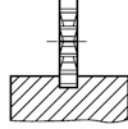
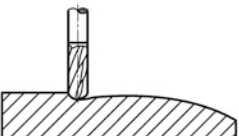
| Fräsertyp | Wirkprofil | Wirkfläche | Beispiele |
|-------------------------------------|----------------------|-----------------------------------|---|
| 1 Umfangs-(walzen-)fräser | werkstück-ungebunden | Umfangsfläche (kreisförmig) |  Walzenfräser |
| 2 Stirnfräser | werkstück-ungebunden | Seiten(-Stirn)- u. Umfangaflächen |  Walzenstirnfräser  Schaftfräser  Messerkopf |
| 3 Profilfräser | werkstück-gebunden | Profilfläche |  Halbkreisfräser  Prismenfräser  Scheibenfräser |
| 4 Formfräser | werkstück-ungebunden | Formfläche beliebig |  Gesenkfräser |

Abb. 3.29b Fräswerkzeuge und einige typische Anwendungen / Freze și domenii de utilizare [WES 10]

Außer den Fräswerkzeugen aus **Schnellarbeitsstahl** werden zunehmend **Hartmetallwerkzeuge** angewendet. Zum Fräsen von Gusswerkstoffen werden inzwischen auch **Wendeschnidplatten** aus weniger stoßempfindlichen Mischkeramiksarten häufiger eingesetzt.

Bei der Bearbeitung von Nichteisenmetallen können Schneidplatten aus polykristallinem Diamant erfolgreich verwendet werden. Schneidplatten aus polykristallinem Bornitrid bieten beim Fräsen von schwer zerspanbaren Eisenwerkstoffen aber eine wirtschaftliche Fertigungsalternative.

Moderne Fräsmethoden

Moderne 4 bis 5-achsige Maschinen

Heute geht die Entwicklung der Maschinen in unterschiedlichste Richtungen. Drehzentren haben die Fähigkeit zum Fräsen durch angetriebene Werkzeuge, ebenso lassen sich auf Bearbeitungszentren Drehbearbeitungen durchführen. Mit den CAM geht die Zunahme des Einsatzes von fünfachsigem Maschinen einher [www.sandwik.de].

Pe lângă frezele din **oțel rapid**, sunt folosite din ce în ce mai mult cele din **carburi metalice**. De asemenea, pentru frezarea materialelor turnate se utilizează frecvent freze cu **plăcuțe amovibile** din amestec de materiale ceramice, mai puțin sensibile la impact.

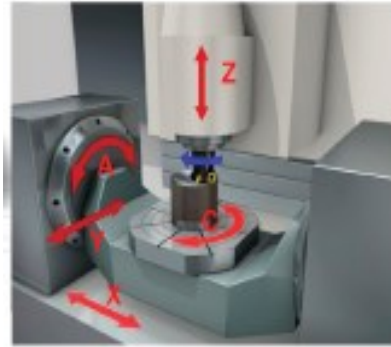
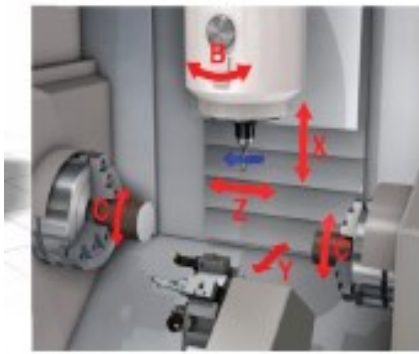
La prelucrarea metalelor neferoase, se pot utiliza cu succes plăcuțe policristaline cu diamant. Cu toate acestea, plăcuțele policristaline din nitrură de bor reprezintă o alternativă pentru procesarea eficientă, din punct de vedere al costurilor, a materialelor cu așchiabilitate redusă.

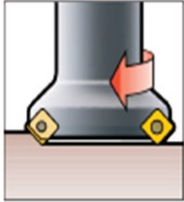
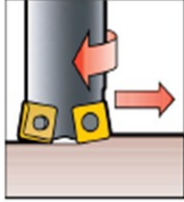
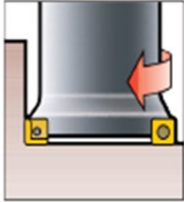
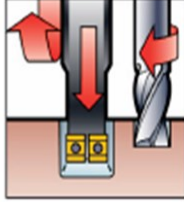
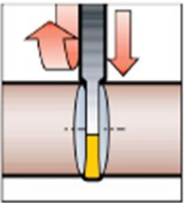
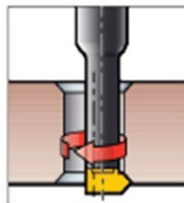
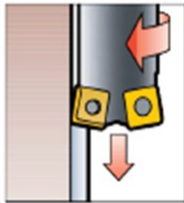
Metode noi de frezare


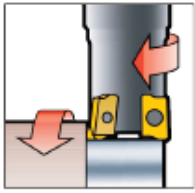
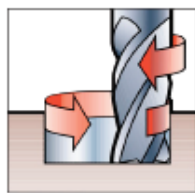
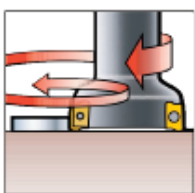
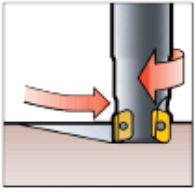
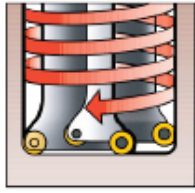
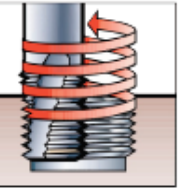
Mașini de frezat în 4 sau 5 axe

În prezent mașinile unelte înregistrează o evoluție semnificativă. Centrele de prelucrare au posibilitatea de realizare atât a operațiilor de strunjire și frezare cu scule antrenate.

Prin utilizarea aplicațiilor CAM este posibilă implementarea echipamentelor în 5 axe [www.sandwik.de].



| Planfräsen | Hochvorschubfräsen | Eckfräsen | Nutenfräsen |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
| Abstechen | Fasen | Tauchfräsen | |
|  |  |  | |

| Profilfräsen | Drehfräsen | Trochoidfräsen | Zirkularfräsen |
|---|---|--|---|
|  |  |  |  |
| Schrägeintauchen, linear | Spiralinterpolation | Gewindefräsen | |
|  |  |  | |

3.4 Hobeln und Stoßen

Hobeln und **Stoßen** ist Spanen mit wiederholter meist geradliniger Schnittbewegung und schrittweiser, senkrecht zur Schnittrichtung liegender Vorschubbewegung. Hobel- und Stoßverfahren unterscheiden sich lediglich in der Aufteilung von Schnitt- und Vorschubbewegung auf Werkstück und Werkzeug. Beim Hobeln wird die Schnittbewegung vom Werkstück, beim Stoßen durch das Werkzeug ausgeführt.

Große Fortschritte beim Fräsen bewirkten, dass das Hobeln auf vielen Gebieten durch das Fräsen ersetzt wurde. Die Anwendungsgebiete des Hobeln und Stoßens beschränken sich heute auf das Herstellen von Werkstückflächen, die durch andere spanende Fertigungsverfahren nur schwer oder nicht wirtschaftlich zu fertigen sind.

3.4.1 Hobel- und Stoßverfahren

Hobel- und Stoßverfahren sind wegen der gleichen Kinematik beim Zerspanvorgang in DIN 8589-4 zusammengefasst worden, wie dies **Abb. 3.32** zeigt.

3.4 Rabotarea longitudinală și transversală

Rabotarea longitudinală și transversală sunt procese de prelucrare prin aşchiere cu mişcări principale de aşchiere rectilinii-alternative repetate și mişcări de avans intermitente perpendiculare pe direcția de aşchiere. Procesele de rabotare longitudinală și transversală se deosebesc numai prin mişcările principală și de avans ale semifabricatului și a sculei. La rabotarea longitudinală, mişcarea principală este efectuată de piesa de prelucrat, în timp ce la rabotarea transversală de către sculă.

Progresele mari în domeniul frezării au determinat înlocuirea rabotării cu frezarea în cazul multor aplicații. Domeniile de aplicare ale rabotării longitudinale și transversale se limitează în prezent la producția de piese care sunt dificil sau imposibil de fabricat prin alte procese de prelucrare.

3.4.1 Procedee de rabotare longitudinală și transversală

Procedeele de rabotarea longitudinală și transversală au fost incluse conform DIN 8589-4 în aceeași grupă datorită pentru cinematicii similare a proceselor, așa cum se arată în **figura 3.32**.

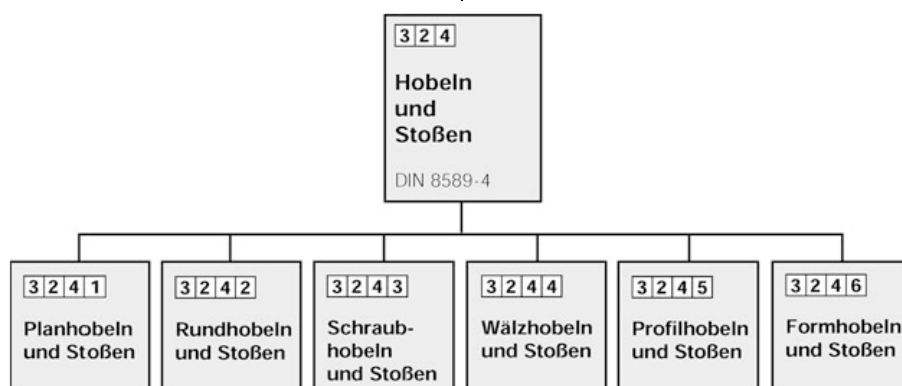


Abb. 3.32 Einteilung der Hobel- und Stoßverfahren (nach DIN 8589-4) / Clasificarea procedeele de rabotare longitudinală și transversală

Nach der Art der zu erzeugenden Flächen, kinematischen und werkzeugbezogenen Gesichtspunkten ergeben sich für das Hobeln und

În funcție de tipul de suprafeței prelucrate, al cinematicii și al sculelor utilizate se disting următoarele procedee de rabotare longitudinală

Stoßen: *Plan-, Rund-, Schraub-, Wälz-, Profil und Formverfahren*. **Abbildung 3.33** zeigt die Kinematik einiger wichtiger Hobel- bzw. Stoßverfahren.

sau transversală: *plană, rotundă, a filetelor, a roților dințate și profilată*. **Figura 3.33** prezintă cinematica unora dintre cele mai cunoscute procedee de rabotare.

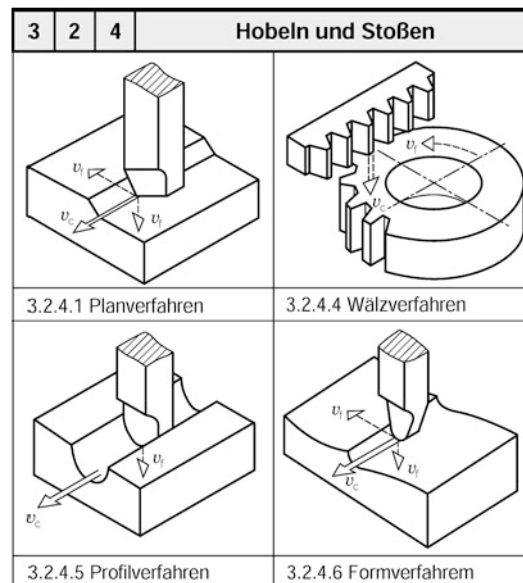


Abb. 3.33 Plan-, Wälz-, Profil- und Formverfahren beim Hobeln und Stoßen / Rabotare plană, roți dințate, profilată [WES 10]

3.4.2 Hobelwerkzeuge

Die Werkzeuge entsprechen in ihrem Aufbau den Werkzeugen zum Drehen. Als Schneidstoffe werden vorwiegend Schnellarbeitsstähle verwendet. Infolge des unterbrochenen Schnittes bleibt die Anwendung von Hartmetallwerkzeugen beim Hobeln und Stoßen auf die zähen Anwendungsgruppen beschränkt.

Hobelwerkzeuge werden überwiegend zur Bearbeitung von langen, schmalen Plan- und Profilflächen eingesetzt. Ein typisches Beispiel ist das Bearbeiten von Führungen an Werkzeugmaschinen gemäß **Abb. 3.34**.

3.4.2 Scule pentru rabotat

Cuțitele de rabotat sunt similare celor utilizate la strunjire. Materialele de scule folosite pentru confecționarea cuțitelor de rabotat sunt preponderent oțelurile rapide. Din cauză că așchieră este discontinuă, utilizarea cuțitelor de rabotat din carburi metalice este limitată la prelucrarea materialelor tenace.

Cuțitele de rabotat longitudinal sunt utilizate în principal pentru prelucrarea suprafețelor plane sau profilate lungi și înguste. Un exemplu tipic este prelucrarea ghidajelor mașinilor-unelte, așa cum se arată în **figura 3.34**.

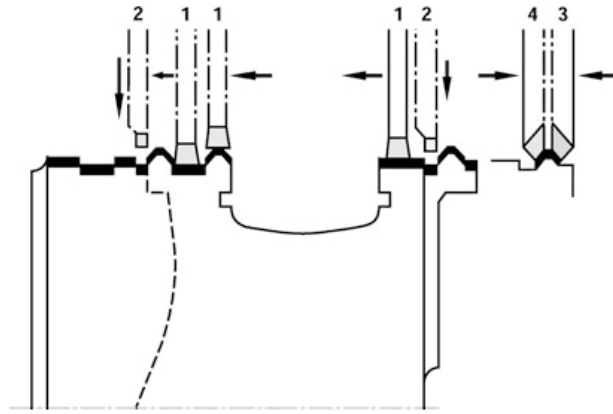


Abb. 3.34 Hobelwerkzeuge für typische Bearbeitungen: 1 Breitschlichhobelmeißel 2 Nuten- oder Nutenhobelmeißel 3 gerader Hobelmeißel 4 gerader Hobelmeißel / Scule de rabotat longitudinal pentru prelucrări tipice [WES 10]

3.5 Räumen

Räumen ist Spanen mit einem mehrzahnigen Werkzeug, dessen Schneidzähne hintereinander liegen und jeweils um eine Spanungsdicke gestaffelt sind. Die Vorschubbewegung wird durch die Staffelung h der Schneidzähne ersetzt. Die letzten Zähne stellen das am Werkstück gewünschte Profil her. Der Arbeitsvorgang ist nach einem Durchlauf des Räumwerkzeuges beendet und die Werkstückoberfläche fertig bearbeitet.

Typische Teile: Innenprofile, Außenplanflächen

Einsatzbereich: Mittel- bis Großserienfertigung

Räumwerkzeuge gestatten es, eine komplizierte Fertigteilgeometrie meist in einem Durchgang zu erzeugen. Die dadurch gegenüber anderen Fertigungsverfahren wesentlich kürzeren Schnittzeiten kennzeichnen das Räumen als typisches Fertigungsverfahren in der Massenfertigung.

Die mit Räumverfahren erreichbaren Schnittgeschwindigkeiten liegen i.Allg. im Bereich von $v_c=1m/min$ bis $v_c=15m/min$.

Beim Hochgeschwindigkeitsräumen können heute bereits Schnittgeschwindigkeiten bis zu $v_c = 50 m/min$ verwirklicht werden.

3.5 Broşarea

Broşarea este procedeul de prelucrare prin aşchiere realizat cu o sculă multităiş, ai cărei dinţi sunt poziţionaţi unul după altul, decalaţi pe înălţime cu adâncimea de aşchiere. Mişcarea de avans este realizată prin supraînălţarea dinţilor h . Ultimii dinţi ai broşei au profilul dorit al piesei prelucrate. Procesul de prelucrare este finalizat dintr-o singură trecere a sculei de broşat, piesa fiind complet prelucrată.

Piese tipice: profile interioare, suprafeţe plane exterioare

Domeniu de aplicare: producţia de serie mijlocie şi serie mare

Broşele se caracterizează printr-o geometrie complicată a părţii active, ceea ce permite prelucrarea dintr-o singură trecere. Durata prelucrării este semnificativ mai scurtă comparativ cu alte procese de aşchiere, motiv pentru care broşarea se recomandă în cazul producţiei de masă.

Vitezele de aşchiere specifice broşării se situează în general în domeniul $v_c=1m/min$ până la $v_c=15m/min$. În cazul broşării de mare viteză, viteza de aşchiere poate ajunge până la $v_c= 50 m/min$.

3.5.1 Räumverfahren

Je nach Art der zu erzeugenden Werkstückfläche lässt sich das Räumen in *Plan-, Rund-, Schraub-, Profil- und Formräumen* unterteilen, wie aus **Abb. 3.36** hervorgeht. Weiterhin kann je nach Lage der zu bearbeitenden Werkstückflächen zwischen *Außenräumen* und *Innenräumen* unterschieden werden. Das Außenräumen ist vorwiegend beim Plan- und Profilräumen gebräuchlich.

3.5.1 Procedee de broșare

În funcție de tipul suprafeței prelucrate procesele de broșare pot fi clasificate în următoarele categorii: *broșare plană, broșare rotundă, broșare filete și broșare profilată* (**Fig. 3.36**). După amplasarea suprafeței prelucrate se disting procedee de *broșare exterioară și broșare interioară*. În principiu broșarea exterioară se referă la prelucrarea suprafețelor plane și a celor profilate.

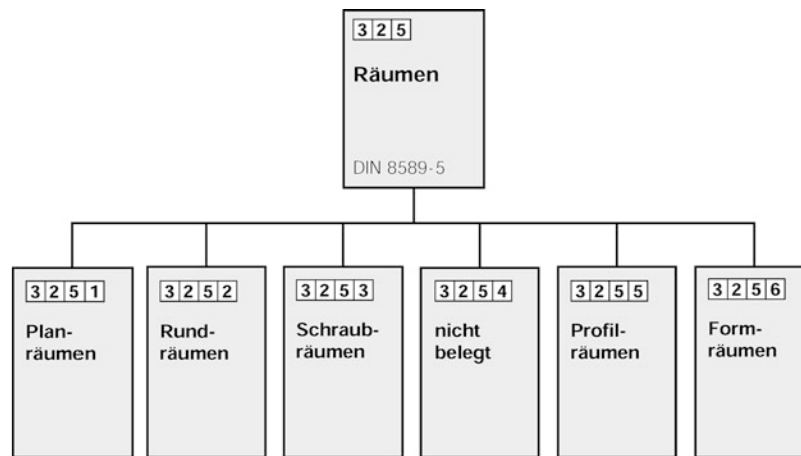


Abb. 3.36 Einteilung der Räumverfahren (nach DIN 8589-5) / Clasificarea procedeeleor de broșare

Das Profilräumen wird zum Herstellen von komplizierten Innen- und Außenprofilen angewandt. Einige typische Profile für das Außen- und Innenräumen zeigt **Abb. 3.37**.

Broșarea profilată este utilizată pentru prelucrarea unor profile complexe interioare și exterioare. Câteva profile tipice pentru broșarea exterioară și interioară sunt prezentate în **figura 3.37**.

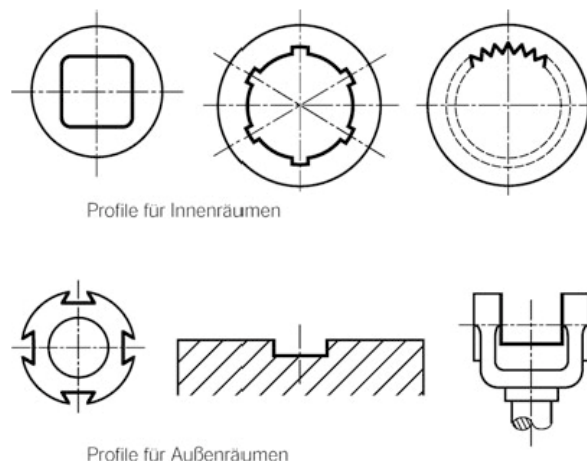


Abb. 3.37 Herstellbare Profile beim Außen- und Innenräumen / Broșare profile interioare sau exterioare [WES 10]

Beim Räumen von ebenen und kreiszylindrischen Flächen oder Profilen entsprechend **Abb. 3.38** führt das Werkzeug oder das Werkstück eine geradlinige Schnittbewegung aus.

La broșarea suprafețelor plane sau cilindrice sau a suprafețelor profilate, scula sau semifabricatul execută o mișcare liniară, așa cum se arată în **figura 3.38**.

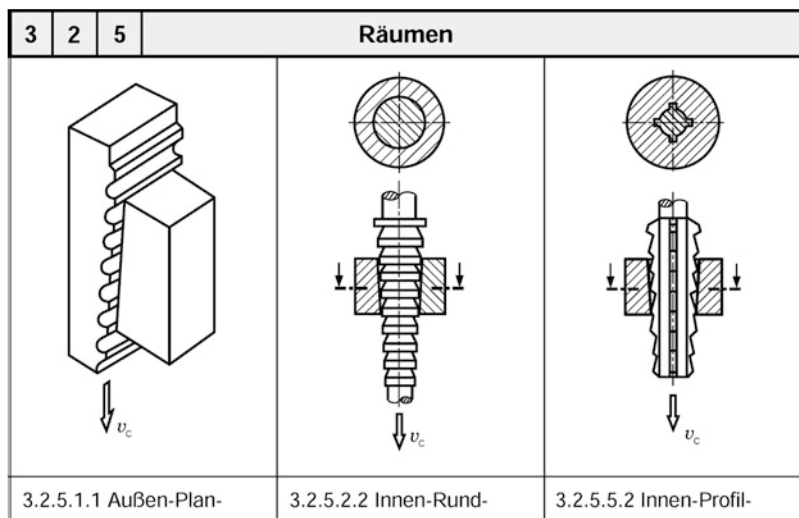


Abb. 3.38 Plan-, Rund- und Profilräumverfahren / Procedee de broșare plană, cilindrică, profilată [WES 10]

Wenn der geradlinigen Schnittbewegung zusätzlich eine Drehbewegung des Werkstücks oder Werkzeugs überlagert wird, lassen sich schraubenförmige Flächen fertigen. Das Erzeugen einer Formfläche ist mit einer gesteuerten, kreisförmigen Schnittbewegung möglich. Formräumverfahren sind das Schwenkräumen (ohne Werkstückbewegung) und das Drehräumen (mit rotierender Werkstückbewegung).

3.5.2 Räumwerkzeuge

Innenräumwerkzeuge sind meist einteilig ausgeführt und werden bevorzugt aus Schnellarbeitsstahl hergestellt. Bei der Bearbeitung von Grauguss werden auch mit Hartmetallschneiden bestückte Räumwerkzeuge eingesetzt. Bei größeren zu räumenden Volumen kann der Zahnungsteil auch aus mehreren auswechselbaren Räumbuchsen bestehen.

Außenräumwerkzeuge sind besonders bei schwierigen Werkstückformen aus mehreren Zahnungsteilabschnitten zusammengesetzt. Sie lassen sich dadurch leichter herstellen, nachschleifen.

Den Aufbau eines Innenräumwerkzeugs zeigt **Abb. 3.39**. Es besteht aus Schaft, Aufnahme, Zahnungsteil, Führungsstück und Endstück. Am Schaft wird das Werkzeug eingespannt, damit es

Dacă peste mișcarea de translație se suprapune o mișcare de rotație a piesei sau a sculei, pot fi prelucrate suprafețe elicoidale. Prelucrare unei suprafețe profilate complexe este posibilă printr-o mișcare de așchiere circulară controlată. Procedeele de broșare a suprafețelor profilate se realizează fie fără deplasarea piesei sau cu rotirea piesei.

3.5.2 Scule de broșat

Sculele pentru broșarea interioară sunt de obicei concepute dintr-o singură bucată și sunt de preferință produse din oțel rapid. În procesul de prelucrare a fontei cenușii, se folosesc și broșe din carburi metalice. În cazul în care se impune broșarea unor volume mai mari de material, este posibil ca zona cu dinți a broșei poate fi realizată din mai multe părți interschimbabile.

Sculele pentru broșarea exterioară sunt compuse din mai multe secțiuni, în special în cazul unor semifabricate cu forme dificil de prelucrat. Prin urmare, acestea sunt mai ușor de realizat, finisat.

Figura 3.39 prezintă construcția unei scule broșat interior. Se compune din coadă, partea de fixare, partea dințată și partea de ghidare. Scula se fixează pe coadă astfel încât să poată fi trasă prin

durch das Werkstück gezogen werden kann. Der Aufnahme- oder Einführungsteil hat die Aufgabe, die Werkstücke zu zentrieren.

piesa de prelucrat. Părțile de fixare și dirijare au sarcina de centrare a pieselor.

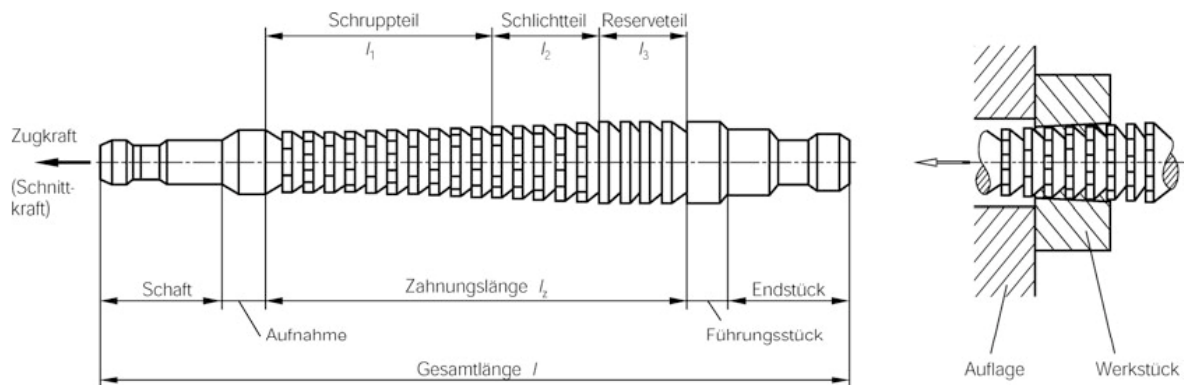


Abb. 3.39 Aufbau eines Innenräumwerkzeugs / Construcția unei broșe pentru prelucrări interioare [GYE 91]

Die Zahnungslänge setzt sich aus Schrupp-, Schlicht- und Reserveteil zusammen, die nacheinander zum Eingriff kommen. Die Reservezahnung dient zur Kompensation der durch Nachschleifen bewirkten Maßänderungen (Kalibrieren). Die Schneidengeometrie eines Räumwerkzeugs ist nach DIN 1416 in Abhängigkeit von der Zahnteilung t festgelegt. **Abbildung 3.40** zeigt hierzu Einzelheiten.

Lungimea pe care sunt amplasați dinții are mai multe zone, fiind alcătuită din: zona dinților de degroșare, zona dinților de finisare și zona dinților de rezervă (calibrare), care sunt amplasate și intră în așchiere progresiv, una după alta. Zona dinților de rezervă este utilizată pentru a compensa modificările dimensionale cauzate de reascuțire (calibrarea). Geometria broșelor este definită conform DIN 1416 în funcție de pasul dinților t . **Figura 3.40** prezintă detalii ale configurației unei broșe.

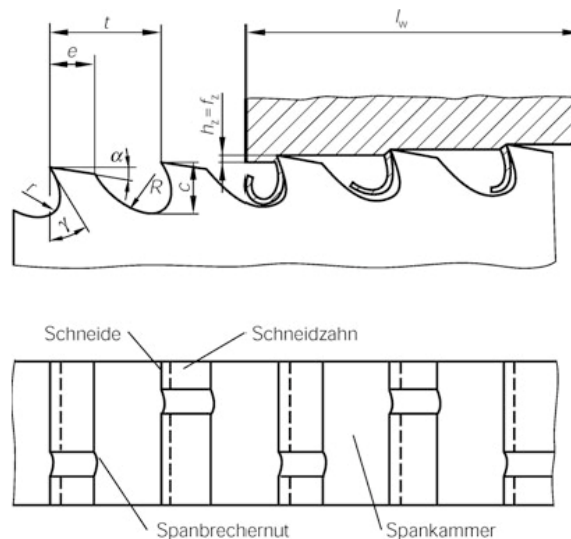


Abb. 3.40 Eingriffsverhältnisse und Schneidengeometrie beim Räumen (nach DIN 1416): α Freiwinkel, γ Spanwinkel, c Spankammertiefe, e Zahnrückene, t Zahnteilung, R ; r Spanflächenradien, h_z Spanungsdicke je Zahn, l_w Spanungslänge / Așchiera și geometria tăișului la broșare [WES 10]

Das Spanraumvolumen der Spankammer ist so zu bemessen, dass diese den Span während des Schnitts aufnehmen kann. Die Größe der

Volumul spațiilor dintre dinți trebuie să fie dimensionat astfel încât să poată înmagazina așchiile în timpul prelucrării. Dimensiunea spațiului

Spannkammer ist abhängig von der Spanungsdicke h_z , die beim Räumen dem Vorschub je Zahn f_z entspricht, der Spanungs- bzw. Werkstücklänge l_w und der Spanraumzahl R .

Die Spanraumzahl ist werkstückstoffabhängig. Als vorteilhaft haben sich für die Spanraumzahl R beim Räumen für spröde, bröckelnde Werkstückstoffe Werte von 3 bis 6 und für zähe, langspanende Werkstückstoffe, Werte von 4 bis 8 erwiesen. Die Angaben beziehen sich auf das Profilräumen. Die unteren Werte gelten für das Schruppen, die oberen für das Schlichten.

Die *Zahnteilung* t kann nach der empirischen Gleichung ermittelt werden.

$$t = (2,5 \text{ bis } 3) \cdot \sqrt{h l_w R} \quad \text{in mm} \quad (3.11)$$

Beim Schruppen und Schlichten ergeben sich aufgrund der unterschiedlich anfallenden Spanmengen auch variierende Zahnteilungen. Damit für die jeweilige Bearbeitungsaufgabe günstige Spanformen zu erhalten sind, werden in die einzelnen Schneiden Spanbrechernuten eingebracht. Die Anordnung der aufeinanderfolgenden Schneiden bezeichnet man als *Zahnstaffelung*. Nach DIN 1415 lassen sich verschiedene Staffelungsarten definieren, wie aus **Abb. 3.41** hervorgeht.

dintre dinți depinde de grosimea așchii h_z , care la broșare depinde de avansul pe dinte f_z , lungimea piesei de prelucrat l_w și numărul spațiilor dintre dinți R .

Numărul de spații dintre dinți depinde de materialul semifabricatului. S-a stabilit că este eficient un număr de 3-6 la prelucrarea pieselor din materiale fragile și valori de la 4 la 8 pentru piesele din materiale tenace, care formează cu așchii lungi. Datele se referă la broșarea profilată. Valorile mai mici corespund degroșării, iar cele superioare pentru finisare.

Pasul dinților t poate fi determinat conform ecuației empirice.

$$t = (2,5 \text{ bis } 3) \cdot \sqrt{h l_w R} \quad \text{in mm} \quad (3.11)$$

Datorită volumului diferit de așchii rezultate, rezultă pași diferiți ai dinților de degroșare și finisare. Pentru a obține forme favorabile ale așchiilor pentru fiecare prelucrare, sunt prevăzute pe muchiile așchietoare ale fiecărui dinte canale de rupere a așchiilor.

Amplasarea tăișurilor dinților succesivi este definită prin supraînălțare. În conformitate cu DIN 1415, pot fi definite diferite tipuri de decalare, așa cum se arată în **figura 3.41**.

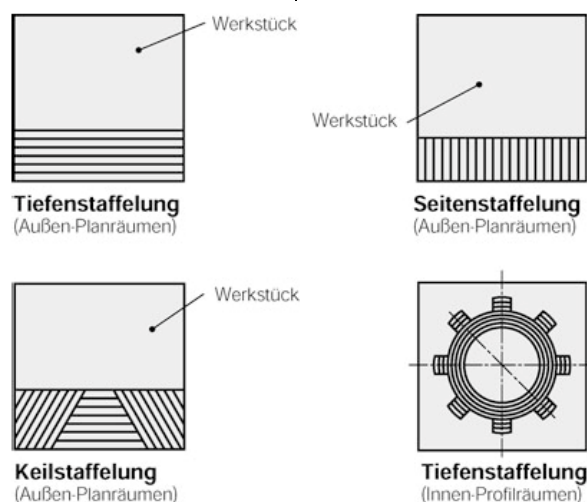


Abb. 3.41 Staffelungsarten und Zerspanschemata beim Räumen (nach DIN 1415) / Divizarea adaosului de prelucrare la broșare

Bei der *Tiefenstaffelung* dringen die Schneiden senkrecht zu der zu fertigenden Werkstückfläche in ganzer Schneidenbreite in den Werkstückstoff ein und spanen diesen bei geringen Spannungsdicken ab.

Bei der *Seitenstaffelung* dringen die Schneiden parallel (tangential) zu der zu fertigenden Werkstückfläche in den Werkstückstoff ein und spanen diesen streifenweise bei großer Spannungsdicke ab.

3.6 Auswahl spanender Fertigungsverfahren

Die Auswahl von Fertigungsverfahren wird von den geometrischen und technologischen Merkmalen und Kenngrößen einer Bearbeitungsaufgabe bestimmt. Exemplarisch seien diese für wellenförmige Bauteile betrachtet, die mit 75% einen erheblichen Anteil des Werkstückspektrums darstellen, und anhand eines Beispiels aus der Großserienfertigung beurteilt.

Ausgangspunkt sind zunächst die werkstückseitigen Fertigungsanforderungen. Wellenförmige Bauteile werden beschrieben durch die Werkstückkontur (Komplextteil), die zu fertigenden Teilformelemente, die Abmessungen von Roh- und Fertigteil und den hieraus abgeleiteten geometrischen und technologischen Kenngrößen sowie den formelementspezifischen Toleranzen und Oberflächenmerkmalen, dem Werkstückstoff und den verlangten Stoffeigenschaften, [Abb. 3.43](#).

În cazul *decalării pe adâncime*, muchiile aşchietoare pătrund în material perpendicular pe suprafaţa piesei, pe întreaga lăţime a muchiei aşchietoare şi cu grosimi mici ale aşchiilor.

În cazul *decalării laterale*, muchiile aşchietoare pătrund paralel (tangenţial) cu suprafaţa piesei în materialul şi se prelucrează o grosime mare a aşchiei.

3.6 Selectarea proceselor de prelucrare

Selecţia proceselor de prelucrare este determinată de caracteristicile şi parametrii geometrice şi tehnologici ai unei suprafeţe. Un exemplu poate fi cazul pieselor tip arbore, care reprezintă o parte considerabilă a spectrului pieselor de prelucrat (aproximativ 75%). Această categorie de piese este analizată printr-un exemplu din producţia de serie.

Un prim aspect vizează cerinţele referitoare la piesele de prelucrat. Piesele tip arbore sunt descrise prin contur (piesă complexă), suprafeţele componente ale piesei, dimensiunile semifabricatului şi ale piesei finite şi caracteristicile geometrice şi tehnologice derivate din acestea, precum şi toleranţe, caracteristicile de suprafaţă, materialul piesei şi proprietăţile materialelor auxiliare necesare, [Fig. 3.43](#).

| | | | | | |
|--|---|------|------|---------|----------------------|
| Kontur der Welle | | | | | |
| Art der Formelemente | | | | | |
| Abmessungen von Roh- und Fertigteil | | | | | |
| Geometrische Kenngrößen | $\lambda = \frac{b_w}{\sum_i d_{wi}}$ $D = \frac{d_{wmax}}{d_{wmin}}$ | | | | |
| Formelement-spezifische Toleranzen und Oberflächenmerkmale | Maß | Form | Lage | Rauheit | Oberflächencharakter |
| Werkstückstoff, Stoffeigenschaften | <p>--- randschichtgehärtet</p> | | | | |

Abb. 3.43 Auswahl spangebender Fertigungsverfahren abhängig von der Werkstückkontur, den Formelementen, dem Zerspanvolumen und der Oberflächengüte / Alegerea proceselor de fabricație în funcție de conturul piesei, formă, volumul așchiilor îndepărtat și calitatea suprafețelor [WES 10]

Technologische Merkmale, die die Auswahl spangebender Fertigungsverfahren bestimmen, betreffen die Art des Rohteils, die realisierbaren Zeitspanvolumina, die Spanbildung und Zerspankräfte, den Verschleiß, die Temperatur, Oberflächengüte und die Einhaltung vorgegebener Maß-, Form- und Lagegenauigkeiten, **Abb. 3.44**.

Die Einhaltung der verlangten Werkstückqualität und die damit verbundene Prozess-Sicherheit ist besonders für die Serienfertigung ein entscheidendes Beurteilungskriterium. So werden beispielsweise beim messgesteuerten Drehen kleinerer Werkstückdurchmesser Maß- und Formgenauigkeiten von IT 8 bis IT 7 problemlos eingehalten.

Anhand eines typischen Bearbeitungsbeispiels aus der Großserienfertigung für die Automobilindustrie wird deutlich, wie die Varianz von Werkstückkontur und die formelementbezogenen Konstruktionsmerkmale wichtige geometrische und technologische Kenngrößen für die Verfahrensauswahl bestimmen, **Abb. 3.45**.

Caracteristicile tehnologice care determină alegerea proceselor de fabricație sunt: *tipul semifabricatului, volumul de așchii îndepărtat în unitatea de timp, formarea așchii și forțele de așchiere, uzura sculei, temperatura, calitatea suprafeței și respectarea preciziei dimensionale, de formă și de poziție* impuse, **Fig. 3.44**.

Respectarea calității piesei și siguranța procesului este un criteriu decisiv pentru evaluarea proceselor de prelucrare, în special pentru producția de serie. De exemplu, precizia dimensională și de formă corespunzătoare claselor IT 8 la IT 7 sunt ușor la strunjirea diametrelor mici ale pieselor.

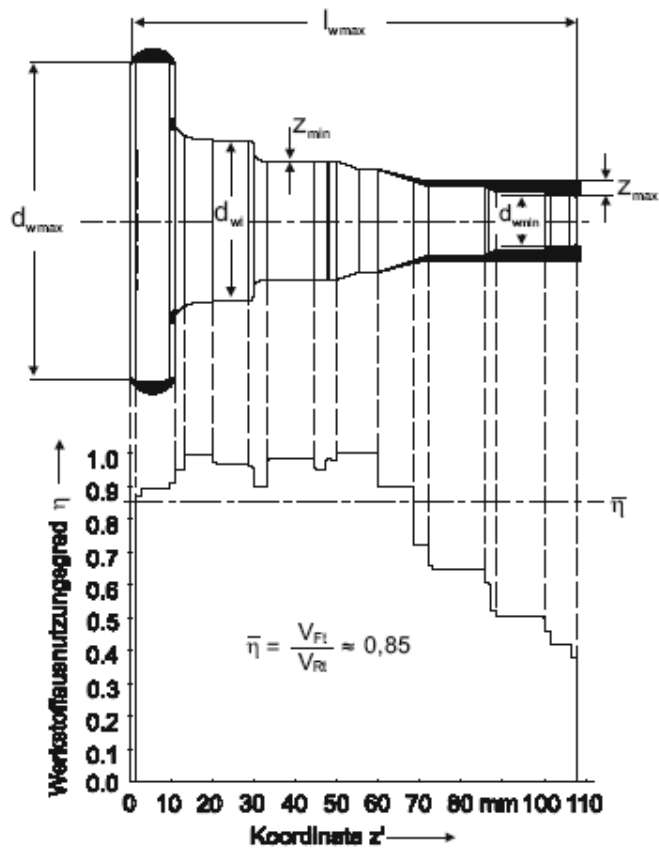
Folosind un exemplu tipic de procesare din producția de serie mare pentru industria de automobile, devine clar modul în care variația conturilor pieselor de prelucrat și a caracteristicilor de proiectare legate de forma geometrică, determină parametrii geometrici și tehnologici importanți pentru selectarea proceselor de prelucrare, **Fig.3.45**.

So sind z. B. das Verhältnis der Bearbeitungszugaben Z oder der Stabilitätsgrad λ wichtige Kenngrößen, die die Auswahl von Fertigungsverfahren beeinflussen.

De exemplu, raportul adaosurilor de prelucrare min și max Z sau gradul de stabilitate λ sunt parametri importanți care influențează alegerea proceselor de prelucrare.

| | | | | |
|------------------------------|---|------------------|---------------------|----------|
| Rohteil | Stange | Stangenabschnitt | Urform-, Umformteil | Fügeteil |
| Zeitspanvolumen | $t_{cl} = \frac{V_{wl}}{\bar{Q}}$ <p>Forderung: $\bar{Q} \uparrow, V_{wl} \downarrow$</p> | | | |
| Spanbildung | <p>z.B. Spanformen</p> <p>Bandspäne Wirrspäne Wendelspäne Spiralspäne Spanbruchstücke Schleifspäne</p> | | | |
| Kräfte | | | | |
| Verschleiß | | | | |
| Temperatur | | | | |
| Oberflächengüte | | | | |
| Maß-, Form-, Lagegenauigkeit | | | | |

Abb. 3.44 Technologiebezogene Auswahlkriterien beim Spanen wellenförmiger Teile, wie z. B. Zeitspanvolumen, Spanbildung, Zerspankräfte sowie Oberflächengüte und Maß-, Form- und Lagegenauigkeit [SCH 18]



Geometrische und technologische Kenngrößen:

Mittl. Werkstoffausnutzungsgrad $\bar{\eta}_i = \frac{V_{Fl_i}}{V_{Rl_i}} \approx 0,85$

Durchmesserverhältnis $D = \frac{d_{wmax}}{d_{wmin}} \approx 5,6$

Verhältnis der Bearbeitungszugaben $Z = \frac{Z_{max}}{Z_{min}} \approx 26,6$

Längenverhältnis $\frac{l_{wmax}}{d_{wmax}} \approx 1,4$

Stabilitätsgrad $\lambda = \frac{l_{wmax}}{\sum \frac{d_{wi}}{i}} \approx 3,2$

Abb. 3.45 Bearbeitungsbeispiel aus der Automobilindustrie: Einfluss der Werkstückkontur auf die geometrischen und technologischen Kenngrößen / Exemplu de prelucrare din industria de automobile [SCH 18]

Die Anforderungen an die Fertigung für diese Bearbeitungsaufgabe sind in **Abb. 3.46** den jeweiligen Formelementen zugeordnet. Neben der Beurteilung anwendbarer Fertigungsverfahren gestattet die formelementbezogene Analyse der Fertigungsanforderungen eine Überprüfung von Gestaltungsbereichen hinsichtlich ihrer Fertigungsgerechtigkeit.

Können z.B. Formelemente wie Einstiche oder Fasen vereinheitlicht werden oder gar entfallen?

Cerințele de fabricație pentru procesarea acestui reper sunt asociate elementelor sale geometrice **Figura 3.46**. Pe lângă evaluarea proceselor de fabricație aplicabile, analiza în funcție de formă a cerințelor de prelucrare permite o revizuire a configurației geometrice a suprafețelor în ceea ce privește fiabilitatea lor în fabricație.

De exemplu, suprafețe profilate ca degajările sau teșiturile, ar putea fi uniformizate sau chiar eliminate? Este posibil ca volumele de materiale

Können abzutrennende Zerspanvolumina durch konstruktive Maßnahmen reduziert oder Forderungen an die Werkstückgenauigkeit weiter minimiert bzw. vereinheitlicht werden?

care urmează să fie aşchiate să fie reduse prin măsuri constructive sau cerințele privind precizia pieselor de prelucrat pot fi diminuate sau uniformizate?

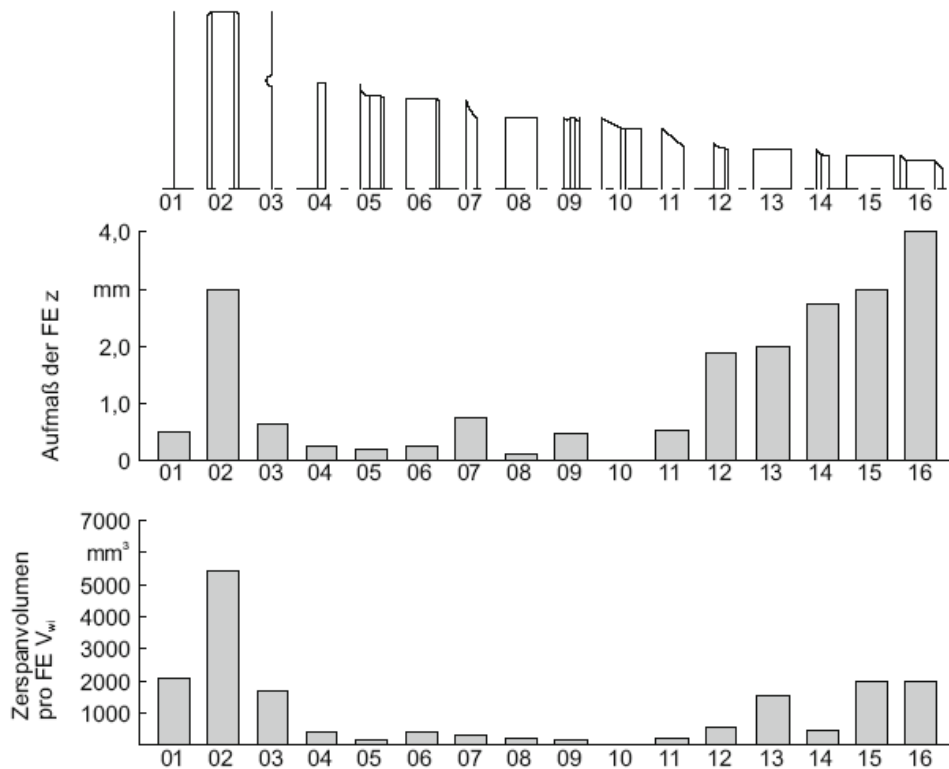


Abb. 3.46 Fertigungsanforderungen für verschiedene Formelemente, gemäß Beispiel in [Abb. 3.45](#) [SCH 18]

In Weiterführung der auf das Formelement bezogenen Betrachtungsweise lassen sich alle nach DIN 8580 bekannten Fertigungsverfahren, die geeignet sind, die geometrischen und technologischen Fertigungsanforderungen zu erfüllen, in einer Verfahrensmatrix darstellen, wie sie in [Abb. 3.47](#) dargestellt ist.

Sie zeigt die Verfahrensalternativen, die in einer ersten Schätzung zusammenhängende Konturbereiche (Formelementkomplexe) erstellen können und eine minimale Anzahl von Fertigungsverfahren zum Erzeugen der gesamten Werkstückkontur benötigen.

Procesele de fabricație cunoscute conform DIN 8580, care sunt adecvate pentru îndeplinirea cerințelor de fabricație geometrică și tehnologică, pot fi reprezentate într-o matrice, așa cum se arată în [figura 3.47](#).

Acesta matrice prezintă alternativele de procedee care permit prelucrarea într-o primă estimare a suprafețelor profilate (complex de suprafețe) și necesită un număr minim de faze de prelucrare pentru generarea întregului contur al piesei de prelucrat.

| Formelement Fertigungs- verfahren | | | | | | | | | | | | | | | | |
|---|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|----|
| | 01 | 02 | 03 | 04 | 05 | 06 | 07 | 08 | 09 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 | 15 | 16 |
| Plandrehen | ● | | | | | | | | | | | | | | | |
| Runddrehen | | | | ● | | | | ● | | | | | ● | | ● | |
| Profildrehen | | | | | | | ● | | | | ● | ● | | ● | | |
| Formdrehen | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Planfräsen | ● | | | | | | | | | | | | | | | |
| Rundfräsen | | | | ● | | | | ● | | | | | ● | | ● | |
| Profilfräsen | | | | | ● | | | | | ● | ● | ● | | ● | | |
| Formfräsen | ● | | | ● | | | ● | ● | | | ● | | ● | | ● | |
| Hobeln, Stoßen | ● | | | | | | | | | | | | | | | |
| Räumen | ● | | | | | | | | | | | | | | | |
| Abtrennsägen | ● | | | | | | | | | | | | | | | |
| Planschleifen | ● | | | | | | | | | | | | | | | |
| Rundschleifen | | | | ● | | | | ● | | | | | ● | | ● | |
| Profilschleifen | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● | ● |
| Formschleifen | ● | | | ● | | | ● | ● | | | ● | | ● | | ● | |
| Bandschleifen | ● | ● | | | | ● | | | | | ● | | ● | | ● | |

● normal erfüllbar ● durch Sondermaßnahmen

Abb. 3.47 Verfahrensmatrix für die Abschätzung zusammenhängender Konturbereiche (Formelementkomplexe) zwecks Minimierung der Anzahl von Fertigungsverfahren zum Erzeugen der gesamten Werkstückkontur. Im vorliegenden Fall sind das die Fertigungsverfahren Formdrehen und Profilschleifen / Matricea proceselor [SCH 18]

Im vorliegenden Fall sind das die Fertigungsverfahren **Formdrehen** und **Profilschleifen**, **Abb.3.47**. Für beide Verfahrensalternativen ließe sich nun eine feinere Unterteilung nach den die Produktivität bestimmenden Faktoren Zeiten, Kosten, Qualität, Prozess-Sicherheit sowie Umweltverträglichkeit optimierte Fertigungsfolge ermitteln.

În cazul de față, acestea sunt procesul de **strunjire profilată** și **rectificare profilată prin copiere**, **Fig.3.47**. Pentru ambele alternative de proces, o subclasificare mai exactă a fazelor de prelucrare ar putea fi bazată pe factorii ca: timpul (productivitatea), costurile, calitatea, siguranța procesului și compatibilitatea cu mediul înconjurător.

KAPITEL 4.

Spanen mit geometrisch unbestimmten Schneiden

Die Bezeichnung „*Spanen mit geometrisch unbestimmten Schneiden*“ soll darauf hinweisen, dass einerseits die Schneidengeometrie bei der Herstellung der Werkzeuge nicht fest vorgegeben werden kann und andererseits die Werkzeuge mehrere Schneiden gleichzeitig zum Einsatz bringen.

Die Anordnung der Schneiden und die für die Zerspanung wichtigen Winkel an den einzelnen Schneiden sind also nicht bekannt.

Als Schneidwerkstoff werden verschiedene **Hartstoffe** in **Kornform** mit Durchmessern im Bereich von **0,5 bis 350 μm** eingesetzt. Diese sog. Schneidkörner können je nach Bearbeitungsverfahren in **gebundener oder loser Form** eingesetzt werden. Zu den gebundenen Werkzeugen gehören **Schleifscheiben, Schleifbänder und Honsteine**.

Die **losen Schneidkörner** werden beim **Läppen** und **Polieren** als **Suspension** eingesetzt. Untersuchungen der Topografie an Schleifscheiben und Honsteinen ergaben, dass der Großteil der Schneidkörner vorwiegend negative Spanwinkel aufweist.

Aufgrund der geometrischen Ausbildung der Werkzeuge und der verwendeten Kinematik ergeben sich **vier Wirkprinzipien der Schneidkörner** an der Werkstückoberfläche (**Abb. 4.1**). Das Wirkprinzip bestimmt die spätere Oberflächentextur des Werkstücks.

Beim **Schleifen** werden die Schneiden auf einer fest vorgegebenen Bahn durch den Werkstoff geführt, woraus sich **geradlinig angeordnete Schnittspuren** ergeben. Die Schneiden haben (auf ihre Bahnkurve

CAPITOLUL 4.

Așchiera cu scule cu muchii așchietoare nedefinite

Noțiunea de "*așchiere cu scule cu muchii așchietoare nedefinite*" indică faptul că, pe de o parte, geometria muchiei așchietoare nu poate fi precizată la producerea sculelor și, pe de altă parte, mai multe muchii așchietoare se găsesc simultan în așchiere.

Disponerea tășurilor și unghiurile care definesc geometria sculei nu sunt cunoscute pentru fiecare muchie așchietoare.

Ca materialele de scule sunt utilizate diverse **materiale dure** sub formă de **granule** cu diametre cuprinse între **0,5-350 μm** . Aceste granule abrazive pot fi utilizate în formă **compactă** sau în **stare liberă**, în funcție de procedeul de prelucrare. Granulele abrazive în formă compactă includ discurile abrazive, benzi abrazive și baretele de honuire.

Granulele abrazive în stare liberă sunt folosite sub formă de **suspensii** la procesele de lepuire și lustruire. Studiile privind topografia corpurilor abrazive și a barelelor de honuit au arătat că majoritatea granulelor abrazive au predominant unghiuri de degajare negative.

Datorită configurației geometrice a sculelor și cinematicii folosite, patru mecanisme de lucru ale granulelor abrazive se manifestă pe suprafața piesei de prelucrat (**Fig. 4.1**). Mecanismul de acțiune determină textura ulterioară a suprafaței piesei.

La **rectificare**, muchiile așchietoare sunt ghidate prin material pe o traiectorie fixă predeterminată, rezultând **urme dispuse liniar**. Muchiile așchietoare (în raport cu traiectoria lor curbilinie)

bezogen) nur einen kurzen Kontakt mit dem Werkstoff und sind sonst nicht im Schnitteinsatz.

Sind die Schneiden ständig im Eingriff und werden ebenso zielgerichtet geführt, dann wird von **Honen** gesprochen.

au doar un contact scurt cu semifabricatul, iar în rest nu se găsesc în aşchiere.

În situația în care granulele abrazive sunt permanent în contact cu semifabricatul și sunt ghidate în aceeași direcție, se vorbește despre procesul de **honnire**.

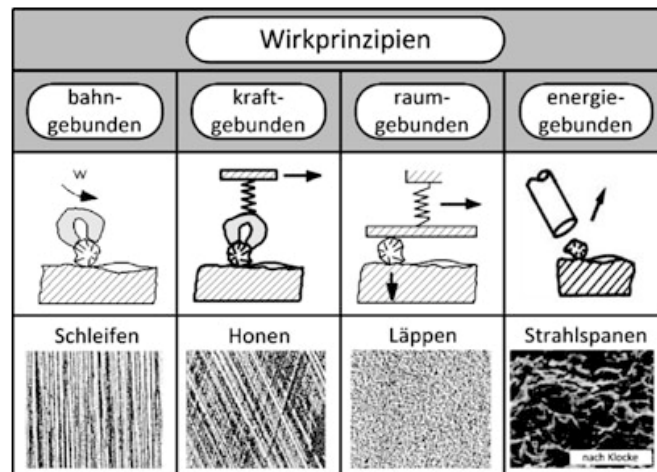


Abb. 4.1 Kinematisches Wirkprinzip und Oberflächenausbildung beim Schleifen, Honen, Läppen und Strahlspanen / Mecanismul cinematic și formarea suprafeței la rectificare, honuire, lepuire și prelucrare cu fascicul abraziv [WES 10]

Wegen des ständigen Anpressdrucks, der für die Zerspanung eine wichtige Einflussgröße darstellt, wird das Wirkprinzip als kraftgebunden bezeichnet. Aufgrund der zeitgleichen Überlagerung einer rotatorischen und translatorischen Schnittbewegung der Schneidkörner entstehen **sich kreuzende, geradlinige Schnittspuren** auf der Werkstückoberfläche.

Das **Läppen** zählt zu den raumgebundenen Verfahren. Hier können sich die Schneidkörner zwischen der Andruckplatte und dem Werkstück unter Druckbelastung beliebig bewegen. Die Schneidkörner können eine rollende oder auch ziehende bzw. schiebende Bewegung durchführen.

Die Druckquotienten und die Bewegung von Werkstück und Andruckplatte sowie die Werkstoffpaarung zwischen Werkstück, Andruckplatte und Schneidkorn entscheiden, wie sich die Schneidkörner vorwiegend bewegen. Wenn es sich um eine vorwiegend rollende Bewegung der Schneidkörner handelt, entsteht eine matte Oberfläche mit sehr kleinen Eindrücken.

Datorită presiunii de contact constante, care este un factor important de influență pentru prelucrare, principiul de acțiune este descris ca fiind legat de forță. Datorită suprapunerii simultane a unei mișcări de aşchiere rotative și translaționale a granulelor abrazive, se formează **urme intersectate drepte (striații)**, pe suprafața piesei de prelucrat.

Lepuirea este un procedeu de aşchiere la care granulele abrazive se pot deplasa liber între placa de presiune și piesa de prelucrat. Granulele abrazive pot efectua o mișcare de rulare, tragere sau împingere.

Coeficienții de presiune, mișcarea semifabricatului și a plăcii de presiune, precum și cuplul de materiale piesă-placă de presiune- material abraziv determină predominant modul în care se deplasează granulele abrazive. Dacă predominant este realizată o mișcare de rulare granulelor abrazive, rezultă o suprafață mată cu urme foarte vagi.

Neben der Zerspanung an der Oberfläche tritt dabei auch eine Randzonenverfestigung am Werkstück ein. Ein Läppprozess mit einer **Korngröße kleiner 3 µm** wird auch als **Polieren** bezeichnet. Der Begriff Polieren ist nicht genormt.

Zu den energiegebundenen Wirkprinzipien gehört das **Strahlspanen**, bei dem die Schneidkörner mit einer großen Geschwindigkeit auf die Werkstückoberfläche geströmt werden. Dies ergibt eine ähnliche Oberflächenstruktur wie beim Läppen, jedoch ist der Ebenheitsfehler erheblich größer.

3.1 Schleifen

In vielen Anwendungsfällen ist **Schleifen** das **letzte Bearbeitungsverfahren** in der Prozesskette. In diesen Fällen wird durch das Schleifen die Werkstückqualität am Werkstück erzeugt. Heutige Schleifverfahren verfügen über eine große Anwendungsbreite.

Es gibt kaum einen Werkstoff, der nicht durch Schleifen zu bearbeiten wäre. Während früher ausschließlich gehärtete Werkstoffe geschliffen wurden, so ist es heute auch möglich, weiche und lang spanende Werkstoffe zu bearbeiten. Das Schleifen besitzt fertigungstechnische Vorteile gegenüber anderen Fertigungsverfahren, wenn geometrische Genauigkeit und feinste Oberflächenzustände (Rauheit, Randzonenzustand usw.) gefordert sind.

Der Werkstoff wird mit sehr **hohen Schnittgeschwindigkeiten** zerspannt. Der Schnittgeschwindigkeitsbereich für die konventionellen Schleifscheiben umfasst **20 - 80 m/s**. Mit hochharten Schleifscheiben werden Schnittgeschwindigkeiten bis etwa **300 m/s** gefahren. Für die meisten Anwendungsfälle werden aber **200 m/s** nicht überschritten, weil sich keine nennenswerten fertigungstechnischen Vorteile mehr ergeben in Bezug auf den maschinellen Aufwand, der dafür erforderlich ist.

Pe lângă aşchiere, pe suprafața piesei se produce și o durificare a stratului superficial de material. Un procedeu de lepuire, utilizând un material abraziv cu o **granulație mai mică de 3 µm**, este denumit **lustruire**. Procedeu de lustruire nu este standardizat.

Un procedeu care se bazează pe mecanismul de operare legat de transferul de energie este **finisarea cu fascicul abraziv**, în care granulele abrazive sunt dirijate pe suprafața piesei de prelucrat cu o viteză mare. Acest lucru oferă o structură de suprafață similară lepuirii, dar eroarea de planeitate este semnificativ mai mare.

3.3 Rectificarea

În multe situații practice, rectificarea este **ultimul proces** din lanțul de procesare, prin care se obține calitatea impusă piesei. Metodele de rectificare au în prezent o gamă largă de aplicații.

Nu există aproape nici un material care nu poate fi prelucrat prin rectificare. Dacă în trecut doar materialele dure puteau fi rectificate, acum este posibilă și prelucrarea materialelor moi și ductile. Rectificarea are avantaje față de alte procese de prelucrare, atunci când sunt necesare o precizie geometrică bună și condiții de suprafață (rugozitate, starea stratului superficial al materialului etc.).

Materialul este prelucrat cu **viteze foarte mari**. Viteza de aşchiere pentru corpurile abrazive convenționale este de aproximativ **20 - 80 m/s**. Cu așa-numitele corpuri abrazive foarte dure, rectificarea poate fi realizată cu viteze de aşchiere de până la aproximativ **300 m/s**. Cu toate acestea, pentru cele mai multe aplicații, viteza de **200 m/s** nu este depășită, deoarece nu sunt obținute avantaje tehnologice semnificative în ceea ce privește efortul mecanic necesar.

Der **Energiebedarf** ist beim Schleifen **höher** als bei vielen anderen Zerspanprozessen. Dabei wird nur ein geringer Anteil der Schnittleistung für die Zerspannung eingesetzt, der Rest wird durch **Reibung in Wärme** umgewandelt. Aus diesem Grund ist für das Schleifen eine **effektive Kühlung** der Kontaktzone erforderlich. Bisherige Versuche zu Alternativen, wie Minimalmengenschmierung oder gar trocken schleifen, waren bisher nicht erfolgreich.

Vom Prinzip ist es möglich, mit einer Minimalmengenschmierung zu schleifen, dabei bleibt aber das Zeitspanvolumen deutlich unter den bisher erreichten Werten, woraus eine unwirtschaftliche Schleifbearbeitung resultiert. Ohne wirkungsvolle Kühlung des Schleifprozesses besteht die Gefahr, dass die Werkstücke thermisch geschädigt werden.

Die heutigen Schleifmaschinen erlauben in vielen Fällen eine Komplettbearbeitung der Werkstücke in einer Aufspannung, so dass Nebenzeiten reduziert und Umspannfehler vermieden werden können. Dies und die hohe Leistungsfähigkeit moderner Schleifprozesse bei Erfüllung der Qualitätsanforderungen führen zu einer hohen Wirtschaftlichkeit des Schleifens mit geringen Fertigungszeiten und einer hohen Ausbringung an Werkstücken.

Ohne die Schleifscheiben auf der Maschine zu konditionieren sollte allerdings nicht mit dem Schleifen begonnen werden. Diese Vorbereitung der Schleifscheiben sorgt für den erforderlichen Rundlauf, das Profil und die gewünschte Schnittfähigkeit der Schleifscheiben. Durch die Konditioniermöglichkeit auf der Maschine lässt sich die Profilveränderung durch den Schleifscheibenverschleiß einfach korrigieren.

Abweichungen vom optimalen Schleifprozess werden teilweise durch Sensoren oder Messverfahren erkannt, um frühzeitig reagieren zu können und Ausschuss sowie Nacharbeit zu vermeiden.

Consumul de energie este mai mare în timpul rectificării decât în cazul multor altor procese de prelucrare. Numai o mică parte din puterea de aşchiere este utilizată pentru prelucrare, restul este transformat în căldură prin frecare. Din acest motiv, răcirea eficientă a zonei de contact este necesară pentru rectificare. Încercările de implementare a rectificării cu ungere și răcire minimală sau uscată s-au dovedit ineficiente.

În principiu, este posibil să se realizeze rectificarea cu cantitate minimă de lubrifianți, dar volumul de aşchii îndepărtat în unitatea de timp rămâne în mod clar sub valorile realizabile în condiții normale, ceea ce duce la realizarea ineficientă a prelucrării. Fără răcirea eficientă în timpul procesului de rectificare există riscul ca semifabricatele să fie deteriorate.

În prezent mașinile de rectificat permit în multe cazuri o prelucrare completă a pieselor dintr-o prindere, astfel încât să se reducă timpii auxiliari de prelucrare și să se evite erorile de fixare. Acest aspect și performanțele mari ale proceselor de rectificare moderne, atunci când cerințele de calitate sunt îndeplinite, au ca rezultat o eficiență ridicată a rectificării, cu timpi de producție scurți și o productivitate ridicată.

Cu toate acestea, nu se recomandă începerea operației de rectificare fără corectarea în prealabil a corpurilor abrazive. Pregătirea corpurilor abrazive asigură centrarea necesară, profilul și capacitatea de aşchiere a corpurilor abrazive. În funcție de sculele și procedeul de rectificare selectate, trebuie să fie aleasă și metoda corectă. Datorită posibilității de îndreptare pe mașina de rectificat, profilul modificat prin uzură al corpului abraziv poate fi ușor corectat.

Abaterile de la procesul optim de rectificare sunt detectate parțial de senzori sau prin metode de măsurare, pentru a putea reacționa la timp și pentru a evita apariția rebuturilor și necesitatea reprocessării pieselor.

4.1.1 Kinematik und Kennwerte des Schleifens

Die Schnittgeschwindigkeit ist eine **Überlagerung** von **Schleifscheiben-Umfangsgeschwindigkeit** und **Vorschubgeschwindigkeit des Werkstücks**. Dabei können das Schleifwerkzeug und das Werkstück rotatorische und/oder translatorische Bewegungen durchführen.

Wenn es sich nicht um spezielle Verfahren, wie z.B. das Schnellhubschleifen handelt, dann ist die Schleifscheiben-Umfangsgeschwindigkeit deutlich größer als die Werkstückvorschub-geschwindigkeit, so dass die Schnittgeschwindigkeit v_c normalerweise mit der Schleifscheiben-Umfangsgeschwindigkeit v_s gleich gesetzt wird:

$$v_c = v_s = d_s \cdot \pi \cdot n_s \quad (4.1)$$

mit d_s = Schleifscheibendurchmesser,
 n_s = Schleifscheibendrehzahl.

Die Vorschubbewegung ist je nach Schleifverfahren translatorisch (Planschleifen) oder eine Kombination aus translatorischer und rotatorischer Bewegung des Werkstücks oder des Werkzeugs (Innenrund- oder Außenrundscheifen). Die Vorschubgeschwindigkeit wird mit dem Index „f“ gekennzeichnet und erhält weitere Indizes, je nach Bewegungskomponente (Tischvorschubgeschwindigkeit v_{ft} , Werkstückgeschwindigkeit v_{fw} oder radiale Einstechgeschwindigkeit v_{fr}).

Eine sehr wichtige Kenngröße zur Beurteilung des Schleifprozesses ist das Zeitspanvolumen Q_w :

$$Q_w = v_{ft} \cdot A_D \quad (4.2)$$

mit v_{ft} =Vorschubgeschwindigkeit, in Umfangsrichtung der Schleifscheibe wirkend, A_D = Spanungsquerschnitt der Schleifscheibe.

Für das Flachsleifen ist v_{ft} die Tischvorschubgeschwindigkeit und für das Rundscheifen die Umfangsgeschwindigkeit des Werkstücks v_w . **Der Spanungsquerschnitt A_D**

4.1.1 Cinematica și mărimile caracteristice ale rectificării

Viteza de aşchiere rezultă printr-o suprapunere a vitezei periferice a corpului abraziv și a vitezei de avans a semifabricatului, scula și semifabricatul putând executa o mișcare de rotație și / sau translație.

Cu excepția unor procedee de rectificare speciale, viteza periferică a discului abraziv este semnificativ mai mare decât viteza de avans a semifabricatului, astfel încât viteza de aşchiere v_c este în mod normal echivalentă cu viteza periferică a corpului abraziv v_s :

$$v_c = v_s = d_s \cdot \pi \cdot n_s \quad (4.1)$$

unde d_s = diametrul corpului abraziv
 n_s = turația sculei.

Mișcarea de avans depinde de procedeul de rectificare, fiind transversală (la rectificarea plană) sau o combinație a mișcării de translație și rotație a semifabricatului sau a sculei (la rectificarea cilindrică interioară sau exterioară).

Viteza de avans este dată de indicele "f" și alte indicatori suplimentari în funcție de componenta de mișcare (de exemplu, viteza de avans a mesei v_{ft} , viteza piesei v_{fw} sau viteza de avans radial v_{fr}).

O caracteristică foarte importantă pentru evaluarea procesului de rectificare este volumul de aşchii îndepărtat în unitatea de timp Q_w :

$$Q_w = v_{ft} \cdot A_D \quad (4.2)$$

cu v_{ft} =viteza de avans, acționând în direcția periferică a corpului abraziv, A_D = secțiunea transversală a aşchii discului abraziv.

Pentru rectificarea plană, viteza de avans a mesei și pentru rectificarea rotundă a vitezei periferice a piesei de prelucrat v_w . **Secțiunea transversală a**

errechnet sich aus der **Zustelltiefe** a_e und der **Zustellbreite** a_p :

$$A_D = a_e \cdot a_p \quad (4.3)$$

Häufig wird das Zeitspanvolumen auf **1 mm** der Zustellbreite bezogen. Daraus ergibt sich das sogenannte bezogene Zeitspanvolumen Q'_w :

$$Q'_w = \frac{Q_w}{a_p}$$

bzw. (4.4)

$$Q'_w = a_e \cdot v_f$$

Die Größe der Späne beim Schleifen kann rechnerisch ermittelt werden. Es handelt sich dabei natürlich nur um einen Mittelwert, der aber zur Interpretation der Zerspanungsvorgänge herangezogen wird. Für keramische Werkstoffe darf z.B. die äquivalente Spandicke einen werkstoffabhängigen kritischen Wert nicht überschreiten.

Die äquivalente Spandicke (auch der mittlerer Spanquerschnitt genannt) berechnet sich aus dem bezogenen Zeitspanvolumen und der Schnittgeschwindigkeit:

$$h_{eq} = \frac{Q'_w}{v_c} \quad (4.5)$$

Je nach Schleifverfahren stellen sich unterschiedlich große Kontaktlängen zwischen der Schleifscheibe und dem Werkstück ein (**Abb. 4.2**).

aşchii A_D se calculează în funcție de **adâncimea de aşchiere** a_e și de **lățimea de aşchiere** a_p :

$$A_D = a_e \cdot a_p \quad (4.3)$$

Volumul de aşchii îndepărtat în unitatea de timp este adesea raportat la o lățime de aşchiere de **1 mm**. De aici rezultă volumul de aşchii specific Q'_w :

$$Q'_w = \frac{Q_w}{a_p}$$

bzw. (4.4)

$$Q'_w = a_e \cdot v_f$$

Dimensiunea aşchiilor rezultate în timpul rectificării poate fi determinată prin calcul. Aceasta este, desigur, doar o valoare medie, folosită pentru interpretarea proceselor de prelucrare. Pentru materiale ceramice, de ex. grosimea echivalentă a aşchii nu poate depăși o valoare critică dependentă de material.

Grosimea echivalentă a aşchii (numită și secțiunea medie a aşchii) se calculează pornind de la volumul specific de aşchii îndepărtat în unitatea de timp și viteza de aşchiere:

$$h_{eq} = \frac{Q'_w}{v_c} \quad (4.5)$$

În funcție de procedeul de rectificare, lungimea de contact dintre corpul abraziv și semifabricat este diferită (**Fig. 4.2**).

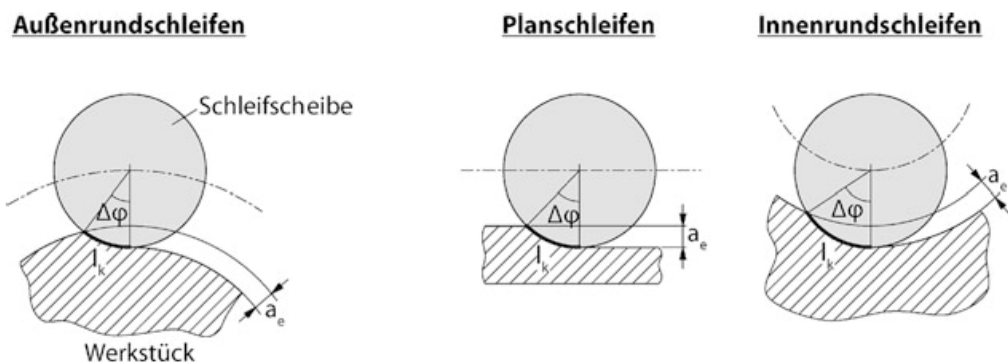


Abb. 4.2 Kontaktlängen beim Rund- und Plansleifen / Lungimile de contact la rectificarea cilindrică și plană [SCH 18]

Je größer die Kontaktlänge und damit der Umschlingungswinkel ist, desto schlechter sind die Bedingungen für eine effiziente Kühlschmierstoffzufuhr und desto höher ist damit die Gefahr der thermischen Überlastung des Werkstücks. Die Kontaktlänge lässt sich aus der Zustellung und dem äquivalenten Werkstückdurchmesser, der mit folgender Näherungsgleichung berechnen:

$$l_{eq} = \sqrt{a_e \cdot d_{eq}} \quad (4.6)$$

Durch den äquivalenten Schleifscheibendurchmesser d_{eq} lassen sich die Schleifverfahren untereinander vergleichen und die Kontaktlänge für die Verfahren leicht berechnen:

$$d_{eq} = \frac{d_s \cdot d_w}{d_w \pm d_s} \quad (4.7)$$

mit d_s =Schleifscheibendurchmesser, d_w =Werkstückdurchmesser.

Für das Außenrundsleifen ist (+) und für das Innenrundsleifen das negative Vorzeichen (-) zu verwenden. Für das Plansleifen ist der äquivalente Schleifscheibendurchmesser gleich dem realen Schleifscheibendurchmesser.

Die Kontaktbogenlänge (**Abb. 4.2**) wird sehr stark durch die Krümmungsquotienten der Schleifscheibe und des Werkstücks beeinflusst und ist für das Außenrundsleifen am kleinsten, nimmt über dem Plansleifen zu und erreicht für das Innenrundsleifen den größten Wert.

Die Schneidkörner nehmen bei der Herstellung der Schleifwerkzeuge eine beliebige Position in der Bindung ein. Dennoch ist davon auszugehen, dass die Spanwinkel vorwiegend negativ sind. Die Eindringtiefe des Schneidkorns beträgt abhängig von der Körnung (je nach Einstellparameter) nur einige zehntel Mikrometer (**Abb. 4.3**).

Aufgrund der Wirkkräfte ergibt sich zu Beginn des Schnittvorgangs eine elastische Verformung an der Werkstückoberfläche, die sich dann zu einer

Cu cât lungimea de contact este mai mare și deci și unghiul de înfășurare, cu atât sunt mai nefavorabile condițiile de acces eficient al lubrifiantului în zona de prelucrare și cu atât este mai mare riscul suprasolicității termice a semifabricatului. Lungimea de contact poate fi calculată în funcție de adâncimea de așchiere și diametrul echivalent al semifabricatului, care se calculează folosind următoarea relație de aproximare:

$$l_{eq} = \sqrt{a_e \cdot d_{eq}} \quad (4.6)$$

Prin intermediul diametrului echivalent al corpului abraziv d_{eq} , procedeele de rectificare pot fi comparate, iar lungimea de contact poate fi ușor calculată:

$$d_{eq} = \frac{d_s \cdot d_w}{d_w \pm d_s} \quad (4.7)$$

cu d_s = diametrul corpului abraziv, d_w = diametrul semifabricatului.

Semnul (+) se utilizează pentru rectificarea exterioară iar semnul (-) pentru rectificarea interioară. Pentru rectificarea plană, diametrul echivalent al corpului abraziv este egal cu diametrul real al sculei.

Lungimea arcului de contact (**Fig. 4.2**) este foarte influențată de coeficienții de curbură ai corpului abraziv și ai piesei, având cea mai mică valoare pentru rectificarea exterioară, crește la rectificarea plană și atinge cea mai mare valoare pentru rectificarea interioară.

La fabricarea corpurilor abrazive, granulele abrazive au poziții oarecare în liant. Cu toate acestea, se presupune că unghiurile de degajare sunt predominant negative. Adâncimea de penetrare a granulelor abrazive este de doar câteva zecimi de micrometru, în funcție de granulație (**Fig. 4.3**).

Din cauza acțiunii forțelor de prelucrare, așchiera începe cu o deformare elastică a suprafeței semifabricatului, care apoi se transformă într-o

plastischen Umformung mit Grataufwürfen wandelt. Ab einer bestimmten Grenzspandicke werden die Festigkeitswerte im Werkstoff überschritten und es kommt zum sogenannten Scheren des Werkstoffs mit der Ausbildung eines Spans.

In **Abb. 4.3** wird nur das Schneidkorn gezeigt, so dass der Einfluss der Bindung hier nicht deutlich hervortritt. Die Körner sind etwa 2/3 ihres Durchmessers tief in der Bindung gefasst, so dass auch ein Kontakt zwischen Bindung und Werkstück entsteht, der zu der schon erwähnten Reibung beim Schleifen führt.

deformație plastică. De la o anumită grosime limită, rezistența materialului este depășită și apare forfecarea materialului, însoțită de formarea așchii.

În **figura 4.3** este prezentată doar o singură granulă abrazivă, neglijându-se astfel influența liantului. Pe aproximativ 2/3 din diametrul lor, granulele se găsesc în liant, astfel că în timpul prelucrării se produce și un contact între liant și semifabricat, ceea ce conduce la frecarea intensă deja menționată.

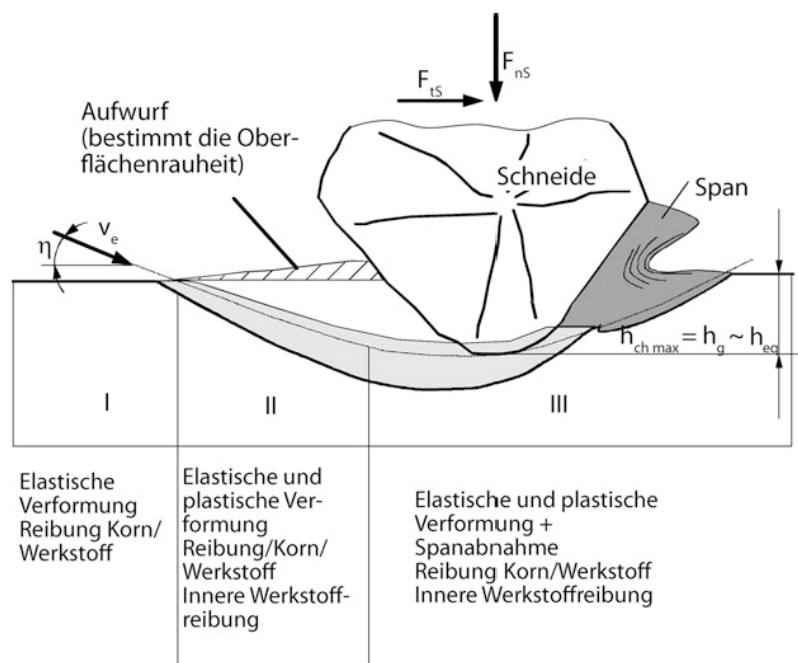


Abb. 4.3 Spanbildung beim Schleifen (nach König) / Formarea așchii la rectificare [WES 10]

Die Schneidkörner befinden sich nicht alle auf demselben Flugkreis zur Drehachse der Schleifscheibe, so dass aufgrund der Schleifscheibentopografie ganz unterschiedliche Schneidenpositionen vorliegen (**Abb. 4.4**). Jedes einzelne Schneidkorn wird nun auf der Schnittbahn durch den Werkstoff geführt und zerspannt unterschiedlich bezüglich der Schnitttiefe und der Schnittbreite.

Granulele abrazive nu sunt amplasate toate pe aceeași traiectorie circulară în raport cu axa de rotație a sculei, astfel încât datorită topografiei corpului abraziv sunt disponibile poziții de așchiere foarte diferite (**Figura 4.4**). Fiecare granulă abrazivă este ghidată individual de-a lungul traseului de așchiere prin material și așchiază diferit în funcție de adâncimea și lățimea de așchiere.

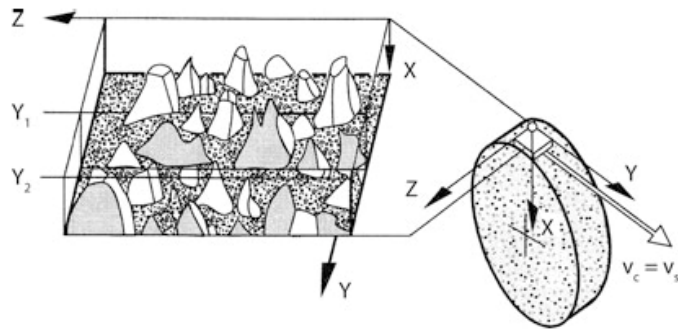


Abb. 4.4 Prinzipielle Schleifscheibentopografie (nach Saljé) / Topografia discurilor abrazive [WES 10]

Dies führt je nach Belastung zu unterschiedlichen Verschleißmechanismen, wie der Schneidkornabflachung, der Schneidkornsplitterung und dem Schneidkornausbruch. Die Schleifscheibentopografie ändert sich ständig und somit unterliegt auch die erzeugte Werkstückrautiefe einer zeitlichen Veränderung.

4.1.2 Aufbau der Schleifwerkzeuge

Die Schleifscheiben können je nach Schneidkorn in **konventionelle** und **hochharte Schleifscheiben** eingeteilt werden. Zu den **konventionellen** Schneidkörnern zählen verschiedene Arten von **Elektrokorund** und **Siliziumkarbid**. Als **hochharte Schneidstoffe** werden **natürliche** und **synthetische Diamanten** und **kubisch kristallines Bornitrid (CBN)** bezeichnet.

Der **konventionelle Schleifscheibenaufbau** besteht aus einem **Dreistoffsystem**: **dem Schneidkorn, der Bindung** und **den Poren**. Die Schneidkörner müssen von ihren Werkstoffkennwerten (**Härte** und **Zähigkeit**) in der Lage sein, den Werkstückstoff zu zerspanen. **Die Bindung** hat die Aufgabe, die Schneidkörner zu halten und zu stützen. **Die Poren** sollen die Schleifspäne aufnehmen und aus der Kontaktzone heraus transportieren sowie den Kühlschmierstoff in die Kontaktzone hinein befördern.

Die **hochharten Schleifscheiben** besitzen einen **Grundkörper** aus **Keramik, Kunstharz** oder **Metall**, auf dem **Schleifsegmente** mit **CBN** oder **Diamant** aufgeklebt werden. Die Segmente mit

În funcție de solicitările care apar, se produc diferite mecanisme de uzură, cum ar fi aplatizarea granulelor abrazive, fragmentarea sau ruperea acestora. Topografia discului de rectificare se schimbă în mod constant, astfel încât rugozitatea piesei este modificată în timpul procesului.

4.1.2 Construcția corpurilor abrazive

În funcție de tipul granulelor abrazive din care sunt realizate, corpurile abrazive pot fi clasificate în **convenționale** și **foarte dure**. Corpurile abrazive convenționale includ diverse tipuri de **corindon** și **carbura de siliciu**. **Diamantele naturale și sintetice** și **nitrura cubică cristalină de bor (CBN)** definesc sculele de rectificare cu duritate ridicată.

Din punct de vedere al conținutului, **corpurile abrazive convenționale** constau din **trei elemente**: **material abraziv, liant și pori**. Granulele abrazive prin caracteristicile lor (**duritate și tenacitate**) trebuie să poată prelucra semifabricatul. **Liantul** are sarcina de a susține și de a menține coeziunea granulelor abrazive. **Porii** au rolul de a prelua așchiile rezultate, să le îndepărteze din zona de contact și să transporte lichidul de răcire în zona de așchiere.

Sculele abrazive cu duritate mare au **bază** din **rășină, ceramică** sau **metal**, pe care se lipesc **segmente** de rectificare din **CBN** sau **diamant**. Segmentele din materiale ceramice au pori; lianții

keramischer Bindung verfügen über Poren; die Kunstharzbindungen besitzen keine Poren und müssen daher vor dem Schleifeinsatz geschärft werden. Die galvanischen Bindungen halten nur eine einzige Schneidkornlage und lassen sich nur begrenzt konditionieren.

Konventionelle Schleifscheiben arbeiten teilweise im sog. **Selbstschärfbereich**, bei dem die Körner kontinuierlich splintern oder ausbrechen, um ihr Schneidvermögen beizubehalten. Für die hochharten Schleifscheiben wird dies vermieden, weil die Schneidkornkosten deutlich höher sind.

• **Schneidstoffe und Bindung**

Die heute vorwiegend **eingesetzten Schneidstoffe** sind *Edelkorund (Elektrokorund)*, *Siliziumkarbid*, *kubisches Bornitrid (CBN)* sowie *synthetischer und natürlicher Diamant*. Dabei ist der Diamant der härteste Schneidstoff, gefolgt von CBN, Siliziumkarbid und Edelkorund als weichster dieser Schneidstoffe.

Der Elektrokorund wird mit zunehmendem Reinheitsgehalt als *Normalkorund*, und *Edelkorund* (weiß oder rosa) bezeichnet.

Das Siliziumkarbid ist härter und scharfkantiger als Korund und wird für die *Hartmetall-, Keramik- und Glasbearbeitung* eingesetzt.

Das kubisch kristalline Bornitrid (CBN) wird trotz seines höheren Preises insbesondere beim Hochgeschwindigkeitsschleifen mehr und mehr eingesetzt. Es ist zwar nicht so hart wie Diamant, jedoch lassen sich mit CBN nahezu *alle Werkstoffe* problemlos schleifen. Die einzige **Ausnahme** bilden die *Nickel-, Titan- und Kobaltbasislegierungen* wegen des hohen abrasiven Verschleißes der Körner.

Diamantschneidkörner eignen sich hervorragend für die Schleifbearbeitung von nichteisenhaltigen Werkstoffen. Aufgrund der hohen chemischen Affinität des Kohlenstoffs zum Eisen in Stahlwerkstoffen kommt es zu einem starken

din rășini sintetice nu au pori și, prin urmare, trebuie ascuțite înainte de rectificare. Lianții galvanici constau doar dintr-un singur strat de granule abrazive, acest tip de scule putând fi corectat doar în anumite limite.

Corpurile abrazive convenționale funcționează parțial în așa-numita zonă de **autoascuțire**, în care în mod continuu granulele sunt fisurate sau rupte pentru ca scula să-și mențină capacitatea de așchiere. Acest lucru este evitat pentru corpurile abrazive dure, deoarece costurile acestor materiale abrazive sunt semnificativ mai mari.

• **Materiale abrazive și lianți**

Materialele abrazive utilizate în prezent sunt *corindon (alumină topită)*, *carbura de siliciu*, *nitrură cubică de bor (CBN)*, precum și *diamante sintetice și naturale*. Diamantul este cel mai dur material urmat de CBN, carbura de siliciu, iar corindonul este cel mai moale dintre aceste materiale.

Electrocorindonul este desemnat cu o puritate mai mare ca corindonul standard și corindonul **nobil** (alb sau roz).

Carbura de siliciu este mai dură și cu muchii mai ascuțite decât corindonul, fiind utilizată pentru prelucrarea *metalelor dure, materialelor ceramice și a sticlei*.

În ciuda prețului său superior, **nitrura cubică cristalină de bor (CBN)** este folosită din ce în ce mai mult la rectificarea rapidă. Deși nu este la fel de dură ca diamantul, aproape toate materialele pot fi ușor rectificate cu CBN. Singura excepție sunt aliajele de Ni, Ti și Co, datorită uzurii abrazive intense a granulelor.

Granulele abrazive din diamant sunt ideale pentru rectificarea materialelor neferoase. Datorită afinității chimice ridicate a carbonului cu fierul din oțeluri, se produce o uzură chimică puternică. Ar trebui să fie luată în considerare și reducerea

chemischen Verschleiß. Dazu ist noch der starke Rückgang der Härte ab Temperaturen von ca. 800°C zu berücksichtigen. Typische Einsatzgebiete für Diamantschneidkörner sind Schleifaufgaben an *Gestein, Keramik, Glas* sowie *speziellen Kunststoffen* und *Aluminiumlegierungen*.

Die Bindungen stellen das Gerüst des Schleifkörpers dar. Sie halten die Schneidkörner in Position und stellen je nach Bindungstyp mehr oder weniger Poren zum Kühlschmierstoff- und Spänetransport zur Verfügung. Es wird in **anorganische und organische Bindungen** unterteilt.

Zu den anorganischen Bindungen zählen die **keramische** und die **metallische** Bindung. **Kunstharz** und **Gummibindungen** sind typische Vertreter organischer Bindungen.

Bestandteile **keramischer Bindungen** sind **Ton, Kaolin** und **Quarz**. Schleifscheiben mit keramischer Bindung sind spröde.

Metallische Bindungen sind entweder gesintert und bestehen aus Bronze, Stahl oder Hartmetall oder sie können auch durch einen galvanischen Abscheidungsprozess aufgebracht werden. Metallische Bindungen lassen sich schwerer konditionieren und müssen nach der Herstellung des Profils oft noch geschärft werden.

Gummibindungen aus synthetischem Kautschuk sind nachgiebiger als Kunstharzbindungen, jedoch dürfen sie nicht zu hohen Schleiftemperaturen ausgesetzt werden. Sie werden deshalb für Schlichtschleifen eingesetzt.

accentuată a durtății la temperaturi de cca. **800°C**. Domeniile tipice de aplicare pentru granulele abrazive din diamant sunt rectificarea pieselor din *roci, ceramică, sticlă, precum și materiale plastice speciale și aliaje de aluminiu*.

Lianții reprezintă elementul structural de bază al corpurilor de rectificat. Ei mențin granulele în corpul abraziv și creează mai mulți sau mai puțini pori pentru transportul lichidului de așchiere și al așchiilor. Se diferențiază **lianți organici și anorganici**.

Lianții anorganici includ materialele **ceramice și metalele**. **Rășinile sintetice și cauciucul** sunt reprezentanți tipici ai lianților organici.

Componentele **lianților ceramici** sunt **argila, caolinul și cuarțul**. Discurile abrazive cu liant ceramic sunt fragile.

Lianții metalici sunt obținuți fie prin sinterizare (bronz, oțel sau metale dure), fie printr-un proces de depunere galvanică. Corpurile abrazive cu lianți metalici pot fi corectate greu și de multe ori trebuie să fie suplimentar ascuțite după realizarea profilului.

Lianții din cauciuc, realizați din cauciuc sintetic, sunt mai convenabili decât lianții din rășină, dar nu trebuie expuși la temperaturi de rectificare ridicate. Prin urmare, corpurile abrazive cu lianți din cauciuc sunt utilizate pentru rectificarea de finisare.

F 400 x 100 x 127 DIN 69 126 A-60-K-8-V45

| | | | |
|----------------------------|-----|----------------------------|----|
| Randform | F | Körnung | 60 |
| Außendurchmesser | 400 | Härtegrad | K |
| Breite | 100 | Gefüge | 8 |
| Bohrungsdurchmesser | 127 | Bindung | V |
| Schleifmittel | A | zul. Umfangsgeschw. | 45 |

| Schleifmittel | |
|----------------|---|
| Korund | A |
| Siliciumcarbid | C |

| Körnung | | | | |
|-----------|-----|-----|-----|------|
| grob | 6 | 8 | ... | 24 |
| mittel | 30 | 36 | ... | 60 |
| fein | 70 | 80 | ... | 180 |
| sehr fein | 220 | 280 | ... | 1200 |

| Härtegrad | | | | |
|---------------|---|---|---|---|
| äußerst weich | A | B | C | D |
| sehr weich | E | F | G | |
| weich | H | I | J | K |
| mittel | L | M | N | O |
| hart | P | Q | R | S |
| sehr hart | T | U | V | W |
| äußerst hart | X | Y | Z | |

| Gefüge | | | | | | | | | | | | | | |
|--------|---|---|---|---|---|---|---|----------|---|----|----|----|----|----|
| 0 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | 13 | 14 |
| | | | | | | | | | | | | | | |

| Bindungstyp | |
|-------------|--|
| V | Keramische Bindung |
| S | Silicatbindung |
| R | Gummibindung |
| RF | Gummibindung faserstoffverstärkt |
| B | Kunsthartzbindung |
| BF | Kunsthartzbindung faserstoffverstärkt |
| E | Schellackbindung |
| M | Magnetitbindung |

Abb. 4.5 Schleifscheibenspezifikation nach DIN ISO 525 für konventionelle Schleifscheiben / Specificații tehnice pentru corpurile abrazive convenționale [TOE 11]

Aus der Bezeichnung können die Abmessungen, die Schneidkornart, die Härte, das Gefüge, die Bindungsart und die zulässige Umfangsgeschwindigkeit entnommen werden. Die grundsätzlichen Bezeichnungen sind im **Abb. 4.5** zusammengestellt.

Die Kennzeichnung für hochharte Schleifscheiben unterscheidet sich in einigen Punkten von der konventioneller Schleifscheiben, **Abb. 4.6**.

Din codul de descriere al corpurilor abrazive rezultă dimensiunile, tipul granulelor abrazive, duritatea, structura, tipul liantului și viteza periferică admisă. Descrierea generică este prezentată în **figura 4.5**.

Marcajul pentru corpurile abrazive dure diferă în unele privințe față de corpurile abrazive convenționale, **Fig. 4.6**.

| | | | |
|--|-----|--|--|
| 1A1-500-15-2-305-B 151-KSS-TYB-V240 | | | |
| Schleifscheibenform | 1A1 | | |
| Außendurchmesser | 500 | | |
| Belagsbreite | 15 | | |
| Belagshöhe | 2 | | |
| Bohrungsdurchmesser | 305 | | |
| Kornart | B | | |

| | | | |
|----------------------|------|--|--|
| Korngröße | 151 | | |
| Bindungstyp | KSS | | |
| Bindungshärte | T | | |
| Einsatzgebiet | Y | | |
| Grundkörper | B | | |
| Konzentration | V240 | | |

| | |
|----------------|---|
| Kornart | |
| Diamant | D |
| CBN | B |

| | |
|----------------------|---|
| Bindungshärte | |
| sehr hart | T |
| hart | R |
| mittel | N |
| weich | J |

| | | | | |
|------------------|-----|-----|-----|------|
| Korngröße | | | | |
| 46 | 91 | 181 | 356 | 711 |
| 54 | 107 | 213 | 426 | 851 |
| 64 | 126 | 251 | 501 | 1001 |
| 76 | 151 | 301 | 601 | 1181 |

| | |
|--------------------|---|
| Grundkörper | |
| Aluminum | A |
| Kunstharz | B |

| | | |
|----------------------|-------------|--------------------|
| Konzentration | | |
| Bezugssystem I | Bezeichnung | Kt/cm ³ |
| | C 25 | 1,1 |
| | C 30 | 1,65 |
| | C 50 | 2,2 |
| | C 75 | 3,3 |
| | C 100 | 4,4 |
| | C 125 | 5,5 |
| Bgs. II | Bezeichnung | Vol. % |
| | V 120 | 12 |
| | V180 | 18 |
| | V240 | 24 |

| | | |
|--------------------|-----|--------------|
| Bindungstyp | | |
| Diamant | BZ | Bronze |
| | G | Galv. Metall |
| | M | Sintermetall |
| | K | Kunstharz |
| CBN | GSS | Galv. Metall |
| | KSS | Kunstharz |
| | MSS | Sintermetall |
| | VSS | Keramik |

Abb. 4.6 Schleifscheibenspezifikation nach DIN ISO 6104 für hochharte CBN- und Diamantschleifscheiben / Specificații tehnice ale corpurilor abrazive dure [TOE 11]

- **Schleifscheibenverschleiß**

Die Schleifscheibentopografie verändert sich durch die Beanspruchung beim Schleifen. Dabei sind die **Einstellbedingungen** wie **das Zeitspannvolumen**, die **Schnittgeschwindigkeit**, die **Zustelltiefe** und **der Vorschub** maßgeblich für den späteren Schleifscheibenverschleiß.

Generell nimmt der Schleifscheibenverschleiß mit höherem Zeitspannungsvolumen zu. Es ist wichtig, die Konditionierbedingungen so zu wählen, dass die Einschleifzeit möglichst gering ist und somit die richtige Rautiefe gleich beim ersten Werkstück erzielt wird. Zu jeder Schleifbelastung passt eine Wirktopografie der Schleifscheibe, die sich über einen langen Zeitraum immer wieder regeneriert.

- **Uzura corpurilor abrazive**

Topografia corpurilor abrazive se modifică din cauza solicitărilor care apar în timpul rectificării. Condițiile de prelucrare, cum ar fi volumul de aşchii îndepărtat în unitatea de timp, viteza de aşchiere, adâncimea de aşchiere și avansul, sunt decisive pentru uzura ulterioară sculei.

În general, uzura copurilor abrazive crește odată cu volumul de aşchii. Este important să se selecteze condițiile de corectare a sculelor, astfel încât timpul de rodaj să fie cât mai scurt și să se obțină rugozitatea dorită încă de la prima piesă prelucrată. Pentru fiecare prelucrare este specifică o anumită topografie a corpului abraziv, care se reface după un anumit interval de timp.

Diesen Zustand nennt man **Selbstschärfefekt**. Für einfache Profilgeometrien ist dieser Zustand erwünscht. Beim Profilschleifen kann jedoch sehr schnell ein Formfehler entstehen, weshalb dort der Selbstschärfefekt gering gehalten werden muss.

Generell wird bei Schleifscheiben zwischen **Makro- und Mikroverschleiß** unterschieden. Der **Makroverschleiß** beinhaltet den **Radialverschleiß** und den **Kantenverschleiß** und damit die **Form** und **Profilgenauigkeit** der Schleifscheibe. Makroverschleiß der Schleifscheibe führt also zu Profilfehlern und Maßabweichungen am Werkstück und Rundlaufabweichungen an der Schleifscheibe (**Abb. 4.8**).

Acest fenomen se numește efect de **auto-ascuțire**. Pentru geometrii simple ale profilului aceasta stare este de dorit. Cu toate acestea, o eroare de formă poate apărea foarte repede în timpul rectificării profilelor, motiv pentru care efectul de auto-ascuțire trebuie menținut la un nivel scăzut în aceste situații.

În general la discurile abrazive, se face distincție între **macro și micro uzură**. Macro-uzura include uzura radială și uzura muchiilor care influențează precizia de formă și a profilului discului abraziv. Macro-uzura corpului abraziv conduce deci la erori de profil și la abateri dimensionale ale piesei, precum și la abateri de circularitate ale sculei (**Fig. 4.8**).

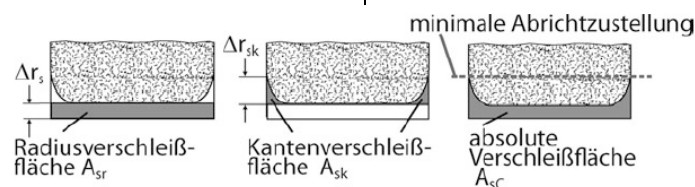


Abb. 4.8 Makroverschleiß der Schleifscheibe / Macro uzura discurilor abrazive (CIRP Keynote STC-G 2011)

Neben dem Makroverschleiß unterliegt die Schleifscheibe auch einem **Mikroverschleiß**, der sich auf die **Schnittfähigkeit** der Schleifscheibe auswirkt. Es werden **vier Mikroverschleißmechanismen** unterschieden, **zwei Mechanismen des Kornverschleißes** und **zwei des Bindungsverschleißes**. Kornverschleiß tritt aufgrund der Reibung zwischen Korn und Werkstück im Schleifprozess auf. Je nach Kornspezifikation und Prozessparametern überwiegt der abrasive Verschleiß, der durch Mikrobrüche im Korn und einer daraus resultierenden Kornanflachung charakterisiert ist oder Makrobrüche, durch die neue Schneidkanten entstehen (**Abb. 4.9**).

Pe lângă macro uzură, scula este de asemenea supusă unei **micro uzuri**, ceea ce afectează **capacitatea de așchiere** a corpului abraziv. Se disting patru mecanisme de producere a micro-uzurii, **două mecanisme de uzură a granulelor abrazive** și **două de uzură a lianților**. Uzura granulelor abrazive se datorează fricțiunii dintre acestea și semifabricat în timpul procesului de rectificare. În funcție de caracteristicile granulelor și de parametrii de proces, uzura abrazivă, caracterizată prin micro-fisuri ale grăunților abrazivi și aplatizarea muchiilor acestora sau macro-fracturi, care au ca rezultat muchii așchietoare noi (**Fig. 4.9**).

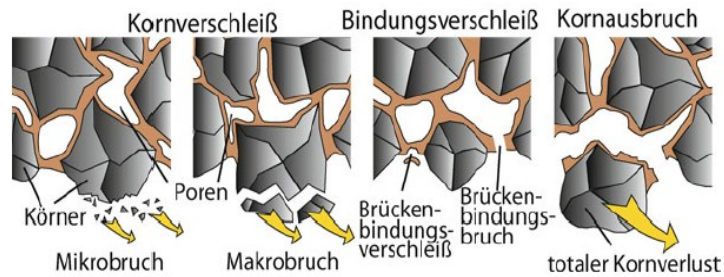


Abb. 4.9 Mikroverschleißmechanismen / Mecanisme de producere a uzurii corpurilor abrazive (CIRP Keynote STC-G 2011)

Alle Verschleißmechanismen treten im Prozess parallel auf. Daher sollten Schleifscheibe und Prozessparameter so ausgewählt werden, dass der Verschleiß möglichst minimiert wird. Insbesondere bei Anwendungen, die eine sehr hohe Profilgenauigkeit erfordern, sollen härtere Schleifscheiben verwendet werden, die eine höhere Verschleißbeständigkeit aufweisen.

Das **Verschleißverhalten** der Schleifscheiben wird über den **Verschleißquotienten G** , der sich aus zerspantem Werkstückvolumen V_w und Schleifscheibenverschleißvolumen V_s zusammensetzt, definiert:

$$G = \frac{V_w(t)}{V_s(t)} = \frac{\text{zerspantes Werkstoffvolumen}}{\text{Scheibenverschleißvolumen}} \quad (4.9)$$

Der Verschleißquotient liegt im Bereich von **$G = 20-60$** bei Edelmetall und Siliziumkarbid und bei **über 500** für hochharte Schleifscheiben.

• Konditionieren von Schleifwerkzeugen

Die Aufgabe des Konditionierens ist, dem Schleifwerkzeug die für das Schleifen erforderliche Profilgenauigkeit und Schnittfähigkeit wiederzugeben. Es wird unterteilt in **Abrichten** und **Reinigen** der Schleifscheibe. Das **Abrichten** umfasst sowohl **das Profilieren**, als auch **das Schärfen** der Schleifscheibe. Das Profilieren beinhaltet die Herstellung der Makrogeometrie und des Profils in axialer und radialer Richtung.

Neben Formfehlern wird so auch der rundlauffehler reduziert. Schärfen ist erforderlich, um die Mikrogeometrie der Schleifscheibe an den Prozess

Toate mecanisme de uzură apar simultan în proces. Prin urmare, corpul abraziv și parametrii de proces trebuie selectați astfel încât uzura să fie minimizată cât mai mult posibil. În special în aplicațiile care necesită o precizie foarte bună a profilului, trebuie utilizate discuri abrazive care au o rezistență mai mare la uzură.

Comportamentul la uzură al sculelor abrazive este definit de **rația G** , care este determinată de raportul dintre volumul de material așchiat de pe semifabricat V_w și volumul de material pierdut de pe sculă V_s :

$$G = \frac{V_w(t)}{V_s(t)} = \frac{\text{zerspantes Werkstoffvolumen}}{\text{Scheibenverschleißvolumen}} \quad (4.9)$$

Rația G se situează în intervalul **$G = 20-60$** pentru corindon și carbura de siliciu și **peste 500** pentru corpurile abrazive dure.

• Corecția corpurilor abrazive

Corecția corpurilor abrazive are drept scop asigurarea profilului sculei și a proprietăților așchietoare ale acesteia. Procesul are două etape: **îndreptare** și **curățare**. **Îndreptarea** include atât **profilarea** cât și **ascuțirea corpului** abraziv. Profilarea implică producerea macrogeometriei și a profilului sculei în direcție axială și radială.

Pe lângă erorile de formă se reduce și bătaia

anzupassen. Dies erfolgt, indem die Bindung zurückgesetzt wird, so dass verschlissene Körner entfernt und neue Schneidkanten freigelegt werden. **Die Reinigung** der Schleifscheibe hat die Aufgabe, Zusetzungen der Schleifscheibe durch Späne zu entfernen, ohne die Bindung und die Schneidkörner zu beeinflussen (Abb. 4.10, Abb. 4.11).

radială a sculei abrazive. Ascuțirea este necesară pentru a se asigura microgeometria corpului abraziv corespunzătoare procesului. Acest lucru se face, astfel încât granulele abrazive uzate să fie îndepărtate și muchii aschietoare noi să intre în așchiere. **Curățarea** corpului abraziv are rolul de a înlătura așchiile impregnate pe sculă, fără a afecta liantul și granulele abrazive (Fig. 4.10, Fig. 4.11).

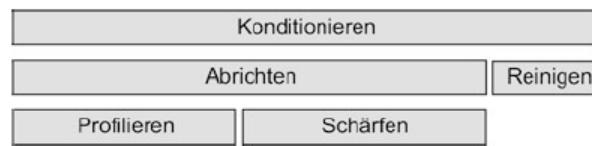


Abb. 4.10 Konditionieren / Corecția corpurilor abrazive (CIRP Keynote STC-G 2011)

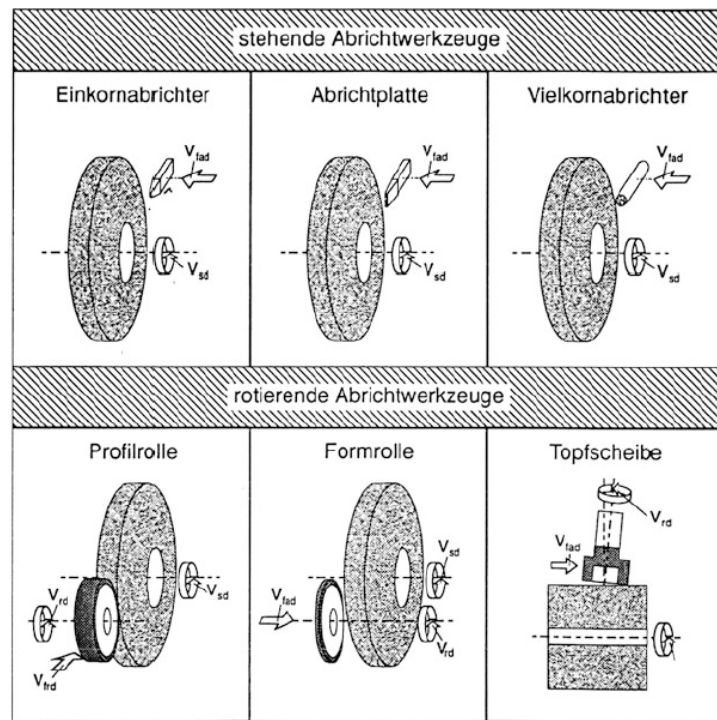


Abb. 4.11 Kinematik häufig eingesetzter Abrichtverfahren / Cinematica proceselor de corecție a corpurilor abrazive [WES 10]

Bei den stehenden Abrichtwerkzeugen werden Einkornabrichter, Abrichtplatten und Vielkornabrichter unterschieden (Abb. 4.12).

Ca instrumente pentru corectarea corpurilor abrazive se utilizează: vârfuri sau plăcuțe de diamant (Fig.4.12).

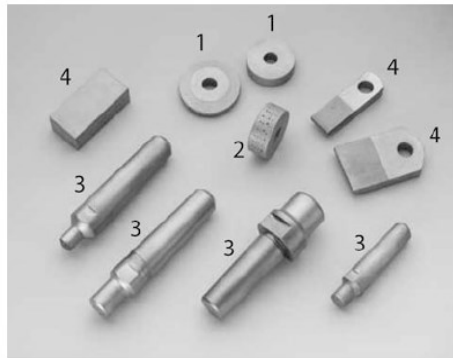


Abb. 4.12 Übersicht stehender Abrichtwerkzeuge (1 Abrichtrad, 2 Abrichtrolle, 3 Abrichtigel, 4 Abrichtplatte) / Instrumente pentru corectarea corpurilor abrazive [Weinz GmbH & Co]

- **Schleiftemperatur und Kühlung**

Beim Schleifen tritt ein hoher Anteil an Reibung zwischen den Körnern und dem Werkstück, der Bindung und dem Werkstück sowie innere Reibung im Werkstück auf. Daher werden bis zu **90%** der Leistung P_c , die für das Schleifen benötigt werden, in Wärme umgewandelt. Ein großer Teil dieser Energie fließt in das Werkstück und kann so zu Gefügeumwandlungen und thermischen Schädigungen führen. Daher sollte ein möglichst hoher Anteil der Wärme über den Kühlschmierstoff und die Späne abgeführt werden.

Insbesondere beim Tiefschleifen mit hohen Zustellungen besteht die Gefahr der thermischen Schädigung. Wird mit identischem bezogenen Zeitspanvolumen im Pendelschliff mit geringen Zustellungen geschliffen, ist die Temperatur zwar ebenfalls hoch, aber die Dauer der Wärmeeinwirkung ist deutlich geringer und damit auch die thermische Belastung des Werkstücks. Eine thermische Schädigung des Werkstücks kann bereits aufgetreten sein, ohne dass es zu Brandflecken kommt, die optisch erfasst werden können.

Je nach Anwendungsfall werden als Kühlschmierstoffe meist Mineralöl oder Öl-in-Wasser-Emulsionen oder Lösungen auf Wasserbasis eingesetzt. Die Hauptaufgaben des Kühlschmierstoffs sind:

- **Reduktion der Reibung** zwischen Korn und

- **Temperatura de rectificare și răcirea**

În timpul rectificării, se produce o frecare intensă între granule și piesă, liant și piesă, precum și frecare internă în semifabricat. Prin urmare, până la **90%** din puterea necesară pentru rectificare P_c este transformată în căldură. O mare parte din această energie este acumulată în piesă și poate duce la modificări structurale și deteriorări termice. Prin urmare, cea mai mare parte din căldură ar trebui să fie disipată prin intermediul lichidelor de așchiere sau să fie preluată de așchii.

În special la rectificarea dintr-o singură trecere, când adâncimea de așchiere este mare, există pericolul de deteriorare termică. Dacă același volum de material se îndepărtează prin rectificare din mai multe treceri, temperatura este de asemenea ridicată, dar durata efectului termic este semnificativ mai mică la fel ca și solicitarea termică a piesei. O deteriorare termică a piesei poate să se producă fără apariția unor arsuri pe suprafața prelucrată, care pot fi detectate optic.

În funcție de aplicație sunt utilizate ca lichide ungere și răcire, uleiurile minerale sau emulsiile ulei-în-apă sau soluțiile pe bază de apă. Principalele sarcini ale lichidului de așchiere sunt:

- **reducerea frecării** între granulele abrazive și piesă,

Werkstück,

- Späneabfuhr,
- Werkstückkühlung,
- Schleifscheibenreinigung,
- Korrosionsschutz.

Durch eine Reduktion der Reibung werden die Schleifkraft und die Schleiftemperatur reduziert. Dies führt auch zu einem geringeren Werkzeugverschleiß und es können zudem geringere Rauheiten erzielt werden. Die höchste Reibungsreduktion wird bei Einsatz von Öl erreicht, dadurch sind auch die Schleiftemperaturen geringer, obwohl Emulsion eine höhere Kühlwirkung hat (Abb. 4.19).

- îndepărtarea aşchiilor,
- răcirea piesei,
- curăţarea corpului abraziv,
- protecţia împotriva coroziunii.

Prin reducerea frecării, forţa de rectificare şi temperatura de rectificare sunt reduse. Acest lucru conduce, de asemenea, la o uzură mai redusă a sculei şi, de asemenea, la o rugozitate mai mică. Cea mai mare reducere a frecării este obţinută prin utilizarea uleiului, ceea ce înseamnă că temperaturile de rectificare sunt de asemenea mai mici, deşi emulsiile au un efect de răcire mai mare (Fig. 4.19).

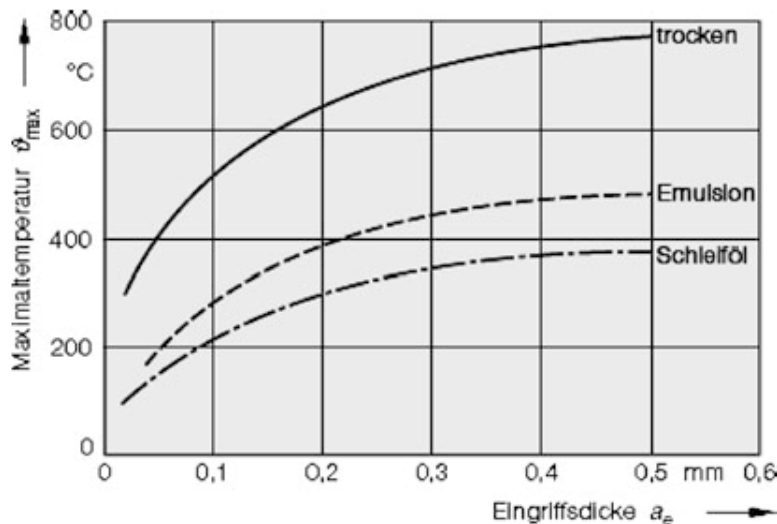


Abb. 4.19 Maximale Schleiftemperatur in Abhängigkeit von der Zustelltiefe und verschiedenen Kühlungsarten (nach König) / Temperatura de rectificare în funcţie de metoda de răcire şi adâncimea de aşchiere [KOE 07]

4.1.4 Schleifverfahren

Die Schleifverfahren mit rotierendem Werkzeug wurden in der DIN 8589-1 zusammengestellt. Es kann in **Rund- und Planschleifen** sowie in **Außen- und Innenschleifen** unterschieden werden. In Kombination mit der Relativbewegung zwischen Spindelachse und Schleifscheibe ergeben sich die Verfahrensbezeichnungen (Abb. 4.21). Beim Seitenschleifen bildet die Planseite der Schleifscheibe mit dem Werkstück die Kontaktzone. In diesem Fall ist es besonders schwierig, das Kühlmittel in den gesamten Kontaktbereich zu

4.1.4 Procedee de rectificare

Metodele de rectificare cu scule rotative au fost clasificate în DIN 8589-1. Se pot distinge următoarele procedee: **rectificare rotundă şi rectificare plană**, dar şi **rectificare exterioară** respectiv **rectificare interioară**. În funcţie de mişcarea relativă dintre axul arborelui şi corpul abraziv, se face o altă clasificare, așa cum este prezentat în figura 4.21. În cazul rectificării laterale, partea plană a sculei intră în contact cu piesa, fiind deosebit de dificil ca lichidul de răcire să ajungă în întreaga zonă de contact. Acest proces de

fördern. Dieses Schleifverfahren wird auf Maschinen mit vorwiegend vertikaler Spindelanordnung durchgeführt.

rectificare se realizează predominant pe mașini rectificat cu ax vertical.

| | Außenrund- | Innenrund- | Plan- | Dreh- |
|----------------------------|------------|------------|-------|-------|
| Umfangs- Querschleifen | | | | |
| Umfangs- Längsschleifen | | | | |
| Seiten- Querschleifen | | | | |
| Seiten- Längsschleifen | | | | |

Abb. 4.21 Einteilung und Bewegungsabläufe der Schleifverfahren / Clasificarea procedeeilor de rectificare [WES 10]

Die Schnittgeschwindigkeit wird bei allen Verfahren durch die Umfangsgeschwindigkeit der Schleifscheibe bestimmt. Die Vorschub-geschwindigkeiten können sowohl auf der Werkstückseite als auch auf der Schleifscheibenseite liegen. Je nach Schleifaufgabe werden sowohl kontinuierliche als auch diskontinuierliche Vorschubbewegungen durchgeführt.

• **Planschleifen**

Von den Planschleifverfahren werden hier das *Längs-Umfangs-Planschleifen* und das *Längs-Seiten-Planschleifen* näher vorgestellt (Abb. 4.21).

Die Vorschubbewegung ist beim Längs-Umfangs-Planschleifen translatorisch und kann sowohl durch die Schleifscheibe als auch durch das Werkstück ausgeführt werden. In den meisten Fällen erfolgt

Viteza de aşchiere este determinată de viteza periferică a discului de rectificat la toate procedeele de rectificare. Vitezele de avans și mișcările de avans corespunzătoare pot fi realizate atât de piesă cât și de scula abrazivă.

În funcție de metoda de rectificare, mișcările de avans pot fi atât continue cât și discontinue.

• **Rectificarea plană**

Dintre procedeele de rectificare plană sunt prezentate mai detaliat *rectificarea cu suprafața periferică a corpului abraziv și avans longitudinal* și *rectificarea plană cu partea frontală a corpului abraziv și avans longitudinal* (Fig. 4.21).

La rectificarea cu avans longitudinal și partea periferică a discului abraziv, mișcarea de avans este o mișcare de translație și poate fi executată atât de sculă cât și de piesă. În cele mai multe cazuri, se

dies über die Tischbewegung der Schleifmaschine und damit über das Werkstück.

Das Längs-Seiten-Planschleifen kann mit translatorischer oder rotatorischer Vorschubbewegung durchgeführt werden. Beide Möglichkeiten, Längstischbewegung und Rundtischbewegung, stehen maschinenseitig zur Verfügung.

Beim Längs-Umfangs-Planschleifen, je nach Drehrichtung der Schleifscheibe zur Tischvorschubgeschwindigkeit wird im *Gegenlauf* oder im *Gleichlauf* geschliffen.

Es gibt widersprüchliche Empfehlungen zum Einsatz von *Gegen-* oder *Gleichlaufschleifen*. Überwiegend wird das Schruppschleifen im *Gegenlauf* und das Schlichtschleifen im *Gleichlauf* ausgeführt.

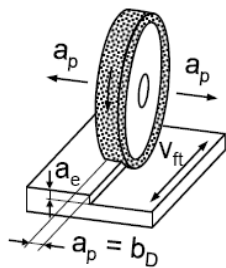
realizeaza prin mișcarea mesei mașinii de rectificat, pe care este fixată piesa.

La rectificarea cu partea laterală a corpului abraziv și avans longitudinal mișcarea de avans poate fi o mișcare de translație sau rotație. Ambele posibilități de mișcare sunt asigurate de masa longitudinală sau rotativă a mașinii de rectificat.

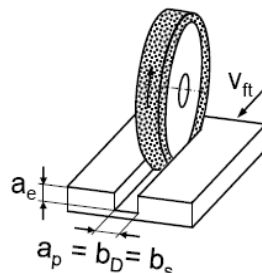
La rectificarea cu partea periferică a sculei și avans longitudinal, în funcție de direcția de rotație a corpului abraziv în raport cu direcția mișcării de avans a mesei mașinii se disting: *rectificarea în sensul avansului*, respectiv *rectificare în sens invers avansului*.

Există recomandări contradictorii cu privire la utilizarea rectificării în sensul sau invers avansului. În cele mai multe situații rectificarea de degroșare se realizează în sens invers avansului, iar rectificarea de finisare în sensul avansului.

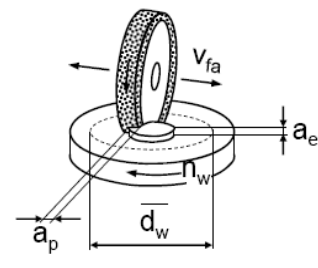
Planschleifen



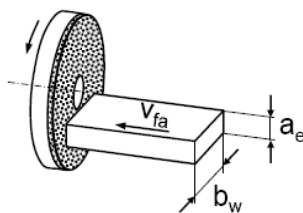
Längs-Umfangs-Planschleifen (Pendelschleifen)



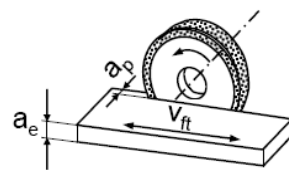
Längs-Umfangs-Planschleifen (Tiefschleifen)



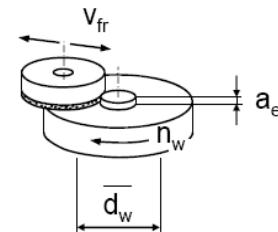
Quer-Umfangs-Planschleifen mit kreisförmiger Vorschubbewegung



Quer-Seiten-Planschleifen



Längs-Seiten-Planschleifen



Quer-Seiten-Planschleifen mit kreisförmiger Vorschubbewegung

- **Rundschleifen zwischen Spitzen**

Das **Außenrundschleifen** wird unterteilt in:

- **Rectificarea cilindrică între varfuri**

Procedeele de **rectificare cilindrică exterioară**:

- **Längs-Umfangs-Außen-Rundschleifen,**
- **Quer- Umfangs-Außen-Rundschleifen,**
- **Längs-Seiten- Außen-Rundschleifen und**
- **Quer-Seiten-Außen- Rundschleifen,**

wobei die beiden ersten am häufigsten verwendet werden.

Beim Längs-Umfangs-Außen-Rundschleifen erfolgt zunächst die Zustellung a_e der Schleifscheibe und anschließend eine Längsbewegung der Schleifscheibe parallel zur Werkstückachse. Die Zustellung erfolgt entweder an beiden Seiten nach jedem Hub oder an einer Seite nach jedem Doppelhub.

Um die Formgenauigkeit der Kanten des Werkstücks zu gewährleisten, sollte die Schleifscheibe an jeder Seite überlaufen. Am Ende des Schleifprozesses erfolgen mehrere Leerhübe ohne Zustellung beim sog. Ausfunken, um den Rundlauf des Werkstücks zu verbessern. Häufig wird das Verfahren auch als *Längsschleifen* bezeichnet.

Beim Quer-Umfangs-Außen-Rundschleifen, auch bezeichnet als Einstechschleifen, erfolgt eine kontinuierliche, radiale Zustellung der Schleifscheibe ohne Längsvorschub. In diesem Verfahren können auch (über den Einsatz profilierter Schleifscheiben) Profile auf dem Werkstückumfang erzeugt werden. Zudem können über einen Satz von Schleifscheiben mehrere Umfangsflächen parallel bearbeitet werden. Bei langen Werkstücken erfolgt eine Abstützung durch Lünetten, um Formfehler durch Ausbiegungen zu vermeiden. Um die Prozessdauer zu verkürzen, kann das Schruppen in mehreren Quer-Umfangs-Außen-Rundschleifprozessen ausgeführt werden und das Schlichten als Längs-Umfangs-Außen-Rundschleifprozess.

- **cu partea periferică a discului abraziv și avans longitudinal**
- **cu partea periferică a discului abraziv și avans transversal**
- **cu partea frontală a discului abraziv și avans longitudinal**
- **cu partea frontală a discului abraziv și avans transversal**

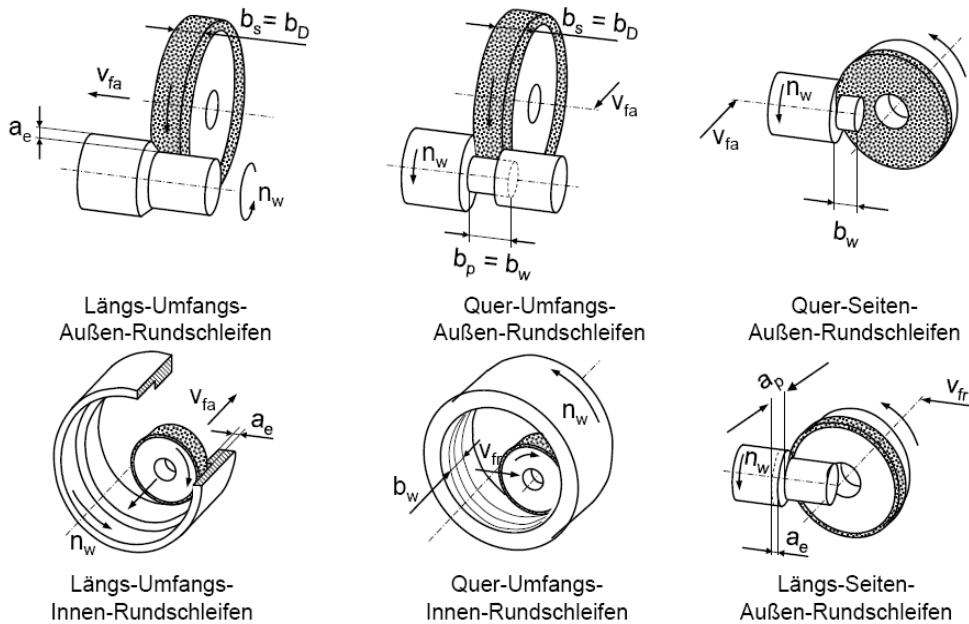
primele două fiind cel mai frecvent utilizate.

În cazul **rectificării cilindrice exterioare cu partea periferică a discului abraziv și avans longitudinal** se reglează mai întâi adâncimea de aşchiere a sculei a_e (avansul transversal) și apoi mișcarea de avans longitudinală sculei, paralelă cu axa piesei. Avansul transversal se realizează fie la sfârșitul fiecărei curse sau după fiecare cursă dublă.

Pentru a asigura precizia formei muchiilor piesei, corpul abraziv trebuie să depășească extremitatea semifabricatului la fiecare capăt de cursă. La sfârșitul procesului de rectificare se efectuează mai multe curse în gol, fără avans transversal, așa-numitele treceri de scânteiere, pentru a îmbunătăți concentricitatea piesei. Procesul este adesea denumit *rectificare longitudinală*.

În cazul **rectificării cilindrice exterioare cu partea periferică a corpului abraziv și avans transversal**, avansul este continuu pe direcție radială, fără deplasare pe direcție longitudinală. Prin acest procedeu pot fi prelucrate suprafețe profilate (utilizând corpuri abrazive profilate). În plus, pot fi prelucrate simultan mai multe suprafețe de revoluție prin utilizarea unui set (pachet) de corpuri abrazive. În cazul pieselor lungi, sprijinul suplimentar este asigurat prin intermediul unor suporturi fixe (lunete) pentru a evita deformarea semifabricatului. Pentru creșterea productivității, se poate realiza degroșarea din mai multe treceri cu avans de pătrundere iar finisarea cu avans longitudinal.

Rundscheifen



Beim **Innenrundscheifen** werden **das Längs-Umfangs-Innenrundscheifen** und **das Quer-Umfangs-Innen-Rundscheifen** unterschieden. Am häufigsten werden zylindrische oder kegelige Bohrungen geschliffen.

Verfahren sind prinzipiell äquivalent zum Außenrundscheifen. Allerdings kann nur mit geringeren Vorschüben gearbeitet werden. Ein Problem des Innenrundscheifens ist die große Kontaktlänge zwischen Schleifscheibe und Werkstück, die zu einer gesteigerten Gefahr der thermischen Schädigung des Werkstücks führt.

Zudem ist die Zuführung des Kühlschmierstoffs erschwert. Die Schleifscheibe zum Innenrundscheifen ist in der Regel auf einem Dorn befestigt, der aufgrund seiner Auskraglänge und des geringen Durchmessers nur eine geringe Steifigkeit aufweist. Daher erfolgt durch die Prozesskräfte eine Ausbiegung des Schleifdorns, die zu Form- und Maßfehlern führen kann. Üblicherweise sollten die Durchmesser von Schleifscheibe d_s und Werkstück d_w den Quotienten $d_s/d_w = 0,65 - 0,75$ aufweisen.

În cazul **rectificării cilindrice interioare**, se disting **rectificarea cilindrică interioară cu partea periferică a sculei și avans longitudinal** și **rectificarea cilindrică interioară cu partea periferică a sculei și avans longitudinal**. Suprafețele rectificate cel mai frecvent sunt găurile cilindrice sau conice.

Procedeele sunt practic echivalente cu cele de la prelucrările exterioare. Cu toate acestea, la prelucrările interioare avansurile de lucru sunt mai mici. O problemă care apare la rectificarea interioară este lungimea mare de contact dintre corpul abraziv și semifabricat, ceea ce duce la un risc crescut de deteriorare termică a piesei.

Mai mult, dirijarea lichidului de așchiere este mai dificilă. Discurile abrazive pentru rectificarea interioară sunt în general montate pe un dorn, care are o rigiditate scăzută datorită lungimii sale mari și a diametrului mic. Are loc o deviere a dornului din cauza forțelor de așchiere, ceea ce duce la apariția unor erori de formă și dimensionale. De obicei, raportul diametrelor sculei d_s și al piesei d_w ar trebui să fie $d_s/d_w = 0,65-0,75$.

▪ Spitzenlosschleifen

Das Spitzenlosschleifen eignet sich sehr gut für die Massenfertigung, da hohe Zerspanraten und große Stückzahlen bei geringen Durchlaufzeiten erreicht werden. Beim Spitzenlosschleifen ist das Werkstück nicht gespannt, sondern liegt auf einer Auflageschiene. Es wird dann zwischen **Auflageschiene, Schleifscheibe und Regelscheibe** geführt.

Der Abstand zwischen der Schleifscheibe und der Regelscheibe, die im Gleichlauf rotieren, bestimmt den Werkstückdurchmesser. Die Regelscheibe weist eine **zylindrische Form** für das Quer-Umfangs-Schleifen und eine **hyperbolische Form** für das Durchlaufschleifen auf. Sie besteht in der Regel aus Hartgummi oder Kunstharz.

Das Durchlaufschleifen kann nur für *glatte, zylindrische Werkstücke* eingesetzt werden. Das Quer-Umfangs-Spitzenlos-Schleifen wird eingesetzt, wenn *angestuften oder profilierten* Werkstücke gefertigt werden sollen.

Für das Durchlaufschleifen ist die Regelscheibe schräg gestellt, so dass eine Axialkraft resultiert, durch die das Werkstück nach vorne geführt wird. Der Winkel der Schrägstellung bestimmt daher die Durchlaufgeschwindigkeit. Die Regelscheibe rotiert etwas langsamer als die Schleifscheibe und bremst das Werkstück damit ab, so dass eine Spanabnahme entsteht. Beim Quer-Umfangs-Spitzenlosschleifen ist das Werkstück kürzer als die Schleifscheibenbreite und die Regelscheibe führt neben der Rotation auch noch eine Zustellbewegung aus (**Abb. 4.24**).

Beim Quer-Umfangs-Spitzenlosschleifen ist das Werkstück kürzer als die Schleifscheibenbreite und die Regelscheibe führt neben der Rotation auch noch eine Zustellbewegung aus.

• Rectificarea fără centre

Rectificarea fără centre este un procedeu specific pentru producția de masă, deoarece se lucrează cu viteze mari, un număr mare de piese putând fi realizate într-un timp scurt. În timpul prelucrării semifabricatul nu este fixat, ci doar sprijinit cu o riglă de susținere. Acesta este apoi ghidat între **riglă, discul abraziv și discul conducător**.

Distanța dintre discul de rectificat și cel conducător, care se rotesc în același sens, determină diametrul piesei de prelucrat. Discul conducător are formă **cilindrică** pentru rectificarea cu avans transversal și o formă **hiperbolică** pentru rectificarea cu avans longitudinal. Se confecționează, în general, din cauciuc dur sau rășină sintetică.

Rectificarea fără centre cu avans longitudinal poate fi utilizată numai pentru *piese cilindrice netede*. Rectificarea fără centre cu partea periferică a corpului abraziv și avans transversal este utilizată atunci când urmează să fie prelucrate *piese cilindrice în trepte sau profilate*.

La rectificarea fără centre cu avans longitudinal, axa de rotație a discului conducător este înclinată astfel încât rezultă o componentă axială a forței, care asigură avansul axial al semifabricatului. Unghiul de înclinare al axei discului conducător determină, prin urmare, viteza de transfer a piesei printre cele două discuri. Discul conducător se rotește mai încet decât discul abraziv și frânează piesa astfel încât să se realizeze îndepărtarea materialului sub formă de așchii (**Fig. 4.24**).

La rectificarea fără centre cu avans transversal, piesa este mai scurtă decât lățimea discului abraziv și discul conducător realizează pe lângă mișcarea de rotație și o mișcare de avans transversal.

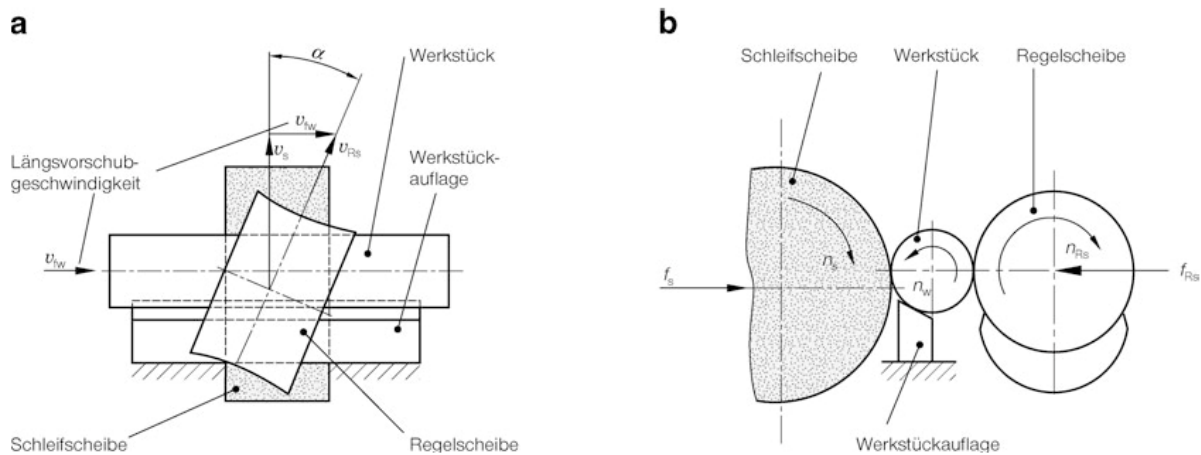


Abb. 4.24 Spitzenloses Außenrundscheifen, **a** Seitenansicht, **b** Ansicht in Achsenrichtung / Rectificarea fără centre cu avans longitudinal [WES 10]

Das Spitzenlosschleifen ist besonders dann von Vorteil, wenn lange, zylindrische Bauteile zu fertigen sind, da auch ohne Einsatz von Lünetten keine Durchbiegung des Werkstücks erfolgt. Zudem entfällt das Einspannen und Zentrieren der Bauteile.

▪ Wälzschleifen

Oberflächenrauheit und geometrische Genauigkeit werden für die Herstellung von Zahnrädern nur durch die Schleifbearbeitung erreicht. Dabei ist das Wälzschleifen die effektivste Schleifbearbeitung von größeren gerad- und schrägverzahnten Außenstirnrädern. Das Schleifscheibenprofil besitzt das Negativprofil des Werkstücks. Während des Schleifens wälzt das Schleifscheibenprofil auf der Werkstückoberfläche ab (**Abb. 4.25**). (Mehr zu diesem Thema im nächsten Studiumsemester).

Rectificarea fără centre este deosebit de avantajoasă atunci când se prelucrează arbori netezi lungi, deoarece chiar și fără utilizarea de lunete nu se produce o deformare a piesei. În plus, se elimină fixarea și centrarea semifabricatelor

• Rectificarea prin rulare

Rugozitatea suprafețelor și precizia geometrică a roților dințate pot fi obținute doar prin rectificarea. Rectificarea prin rulare este metoda cea mai eficientă pentru finisarea angrenajelor exterioare cu dinți drepți și înclinați. Profilul corpului abraziv are profilul negativ al piesei. În timpul rectificării, profilul corpului abraziv rulează pe suprafața piesei de prelucrat (**Fig. 4.25**). (Mai multe detalii, în semestrul următor).

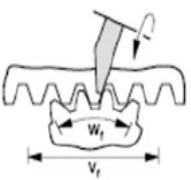
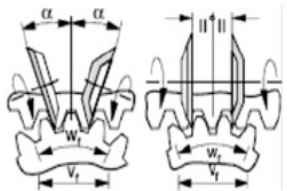


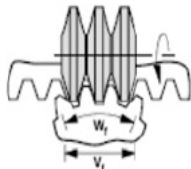

| | | | | | |
|--------------------|------------------------------------|-------------------------------|---|--|---|
| Wälzsleifen | Im Teilvorgang (diskontinuierlich) | Teller-(Plan-) Schleifscheibe |  |  | |
| | | | mit einer Stirnschleifscheibe | mit 2 Stirnschleifscheiben | |
| | | Doppelkegel Schleifscheibe |  |  |  |
| | | mit Doppelkegelscheibe | mit Kegelmantelscheiben | mit mehreren Doppelkegelscheiben | |
| | Kontinuierlich | Schleifschnecke |  | | |
| | | mit Schleifschnecke | | | |

Abb. 4.25 Wälzsleifen / Rectificarea roților dințate [WES 10]

▪ **Profilschleifen**

Für das Profilschleifen wird vor der Schleifbearbeitung das Negativprofil in die Schleifscheibe durch Profilabrichten eingebracht. Dies kann mit Formdiamanten, Diamantformrollen und Diamantprofilrollen erfolgen. Besitzt die Schleifscheibe schon das Negativprofil des Werkstücks, dann wird nur noch eine Vorschubbewegung bei der eigentlichen Schleifbearbeitung benötigt.

Wenn der Profilradius durch den Schleifscheibenverschleiß seine geforderte Kontur verliert, dann muss wieder profiliert werden.

Schleifscheiben mit CBN- oder Diamantschneidkörnern können das Profil länger halten als konventionelle Schleifscheiben. Allerdings müssen die hochharten Schleifscheiben konditionierbar sein, weil sonst der einmal verschlissene Profilradius nicht mehr regeneriert

• **Rectificarea suprafețelor profilate**

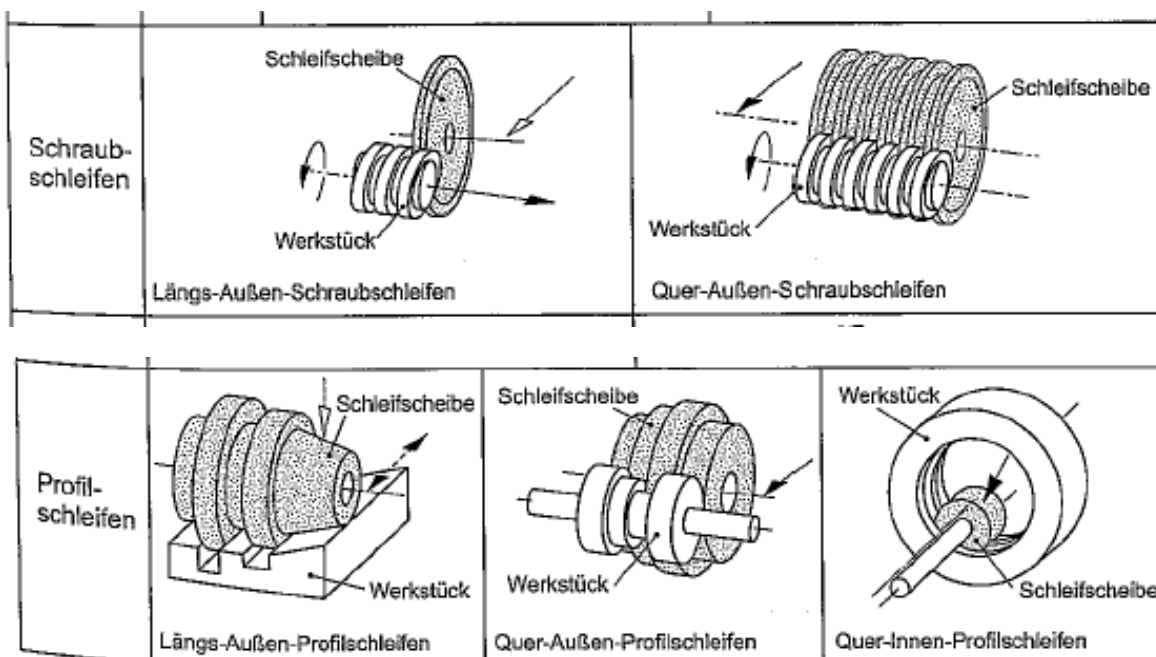
Pentru rectificarea suprafețelor profilate, profilul negativ este reprodus pe corpul abraziv prin profilarea acestuia înaintea procesului de rectificare. Acest lucru se poate face cu vârfuri de diamant, role de modelare din diamant și role de profilare din diamant. Dacă corpul abraziv are deja profilul negativ al piesei de prelucrat, mai este necesară o singură mișcare de avans în timpul procesului de rectificare real.

Dacă corpul abraziv își pierde conturul corect din cauza uzurii, atunci scula trebuie să fie profilată din nou.

Discurile abrazive din CBN sau diamant pot să își mențină profilul un timp mai îndelungat decât corpurile abrazive convenționale. Cu toate acestea, corpurile abrazive cu duritate mare trebuie să permită corecția deoarece, în caz contrar, raza profilului nu poate fi regenerată în

werden kann. Das Profilschleifen kann auf Planschleifmaschinen sowohl im Pendelschliff als auch im Tiefschliff erfolgen [WES 10].

urma uzării. Rectificarea profilelor poate fi efectuată pe mașinile de rectificat plan atât prin procedeul de rectificare în mai multe treceri cât și dintr-o singură trecere [WES 10]



▪ Tiefschleifen

Der Tiefschliff erfolgt mit der gesamten Profiltiefe und einer langsamen Vorschubgeschwindigkeit. Dabei entstehen je nach Zeitspanvolumen sehr hohe Schleifkräfte. Eine gute Kühlung ist erforderlich, damit kein Schleifbrand auf dem Werkstück entsteht. Für die Endbearbeitung kann der letzte Schliff auch mit einer geringen Zustellung und einer hohen Tischvorschubgeschwindigkeit erfolgen.

Gerade das Tiefschleifen kann z.B. Substituierend für das Fräsen eingesetzt werden. Der Einsatz von *CBN-* und *Diamantschleifscheiben* beim Tiefschleifen erweitert das Anwendungsgebiet für die Massenfertigung technisch hochwertiger Werkstücke. Das Tiefschleifen hat sich insbesondere beim Schleifen von Profilen als gängiges Verfahren etabliert.

• Rectificarea dintr-o singură trecere

În cazul acestui procedeu întregul adaos de prelucrare se îndepărtează într-o singură trecere a corpului abraziv, cu viteze de avans mici. În funcție de volumul de așchii îndepărtat în unitatea de timp, se produc forțe foarte mari de rectificare. Este necesară o răcire intensă, astfel încât să nu apară arsuri pe suprafața piesei. Trecerea finală poate fi realizată cu o adâncime de așchiere redusă și cu o viteză mare de avans a mesei.

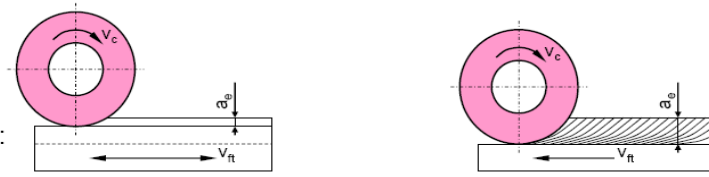
Rectificarea dintr-o singură trecere poate, de exemplu, să înlocuiască frezarea. Utilizarea discurilor abrazive din *CBN* și *diamant* pentru rectificarea dintr-o singură trecere extinde domeniul de aplicare al acestui procedeu pentru producția de masă a pieselor de înaltă calitate. Rectificarea într-o singură trecere a devenit o metodă comună, în special în cazul rectificării profilurilor [KOE 07].

Verfahrensvarianten beim Planschleifen

Verfahrensvergleich

Vorteile des Pendelschleifens:

- geringere Temperaturen
- geringere Schleifkräfte



Vorteile des Tiefschleifens:

- bessere Oberflächengüten
- kürzere Schleifzeiten
- geringerer Schleifscheibenverschleiß

| Pendelschleifen | | Tiefschleifen |
|-----------------|----------------------------|---------------|
| größer | mittlere Spannungsdicke | kleiner |
| kleiner | mittlere Spannungslänge | größer |
| kleiner | mittlere Schleiftemperatur | größer |
| kleiner | Schleifkräfte | größer |
| kleiner | vertikale Formabweichung | größer |
| größer | Rautiefe | kleiner |
| größer | Kantenverschleiß | kleiner |

4.2 Honen

Honen ist Spanen mit geometrisch unbestimmten Schneiden. Die vielschneidigen Werkzeuge führen eine aus zwei Komponenten bestehende Schnittbewegung aus.

Beim Honen wird mit einem Werkzeug aus gebundenem Korn unter ständiger Flächenberührung Werkstückstoff zerspannt. Das Honen dient der Endbearbeitung von meist zylinderförmigen Innen- und Außenflächen und ist aufgrund des hohen Traganteils der gehonten Oberflächen sowie der erreichbaren Maß- und Formgenauigkeiten besonders für tribologisch stark beanspruchte Bauteile oder Flächen mit Dichtungsfunktion geeignet.

Die Hauptanwendungsfälle liegen daher im Motorenbau und der Fertigung von Lager und Hydraulikkomponenten (Einsatzbereich: Klein- und Großserienfertigung). Durch die Verwendung verschiedener Schneid- und Kühlschmierstoffe sind fast alle technisch relevanten Werkstoffe heutzutage honbar. Bearbeitbar sind u.a. Stahl (weich und gehärtet), Gusseisen, Bronze, Messing, Glas, Graphit.

4.2 Honuirea

Honuirea este un proces de aşchiere cu scule cu muchii aşchietoare nedefinite. Prelucrarea se face cu scule multităiş (barete abrazive), care realizează o mişcare de aşchiere cu două componente.

La honuire excesul de material de pe semifabricat este îndepărtat cu ajutorul unor scule abrazive aflate în contact permanent cu suprafaţa de prelucrat. Honuirea se aplică pentru suprafinisarea suprafeţelor interioare şi exterioare, în principal cilindrice şi este adecvată datorită portanţei mari a suprafeţelor şi a preciziilor dimensionale şi de formă mari realizabile în special pentru componentele foarte solicitate din punct de vedere tribologic sau suprafeţele cu funcţie de etanşare.

Principalele aplicaţii sunt, prin urmare, în construcţia motoarelor şi producţia de lagăre şi de componente hidraulice (Domenii de aplicare: fabricaţie de serie mică şi masă). Prin utilizarea diferitelor lichide de răcire, în prezent aproape toate materialele relevante din punct de vedere tehnic pot fi prelucrate prin honuire. Sunt prelucrabile prin acest procedeu oţeluri (moi sau dure), fonte, bronz, alamă, sticlă, grafit.

Beim Honen sind alle Werkzeuge gleichzeitig im Eingriff. Infolge der ziehenden und drehenden Bewegungen zwischen Honsteinen und Werkstück weisen die gehonten Flächen kreuzende Bearbeitungsriefen auf und sind matt bis glänzend.

Durch die niedrigen Schnittgeschwindigkeiten, bis ca. **30 m/min**, findet nur eine geringe Randzonen-erwärmung statt. Das Honen wird meist zum Fertigbearbeiten von einzelnen Funktionsflächen am Werkstück verwendet. Die Werkstücke sollen möglichst formgenau und mit geringen Bearbeitungszugaben (**0,05-0,1 mm**) vorbearbeitet werden.

Honen dient zur Verbesserung (bzw. Änderung) von:

- *Form*, • *Maßgenauigkeit* und • *Oberflächengüte des Werkstücks* unter ständiger Flächenberührung des Werkzeugs. Es wird im allgemeinen im Anschluss an eine vorhergehende Feinbearbeitung zur Endbearbeitung angewandt.

Ziel: Verbesserung der Rauheit, der Rundheit, Zylindrizitätskorrektur, Maßkorrektur, Beseitigung der thermisch oder mechanisch beeinflusster Randzonen.

4.2.1 Kinematik beim Honen

Die Kinematik des Honverfahrens setzt sich aus einer axialen, einer tangentialen und einer radialen Komponente zusammen. Die axiale Komponente verläuft oszillierend und wird durch gleichmäßige Hub- und Senkbewegungen des Werkzeugs erreicht. Die tangentielle Bewegungskomponente resultiert aus der gleichmäßigen Werkzeugrotation.

In radialer Richtung erfolgt die kraft- oder weggebundene Zustellung des Werkzeugs auf das Werkstück. Anhand der Kinematik lässt sich das Honen in **Außenrund-, Innenrund- und Planhonen (auch als Flachhonen bezeichnet)** unterteilen, **Abb. 4.26.**

La honuire toate sculele se găsesc simultan în aşchiere. Ca urmare a mişcărilor de rotaţie şi translaţie între baretele abrazive şi semifabricat apar striiaţii încrucişate pe suprafaţa prelucrată, care poate fi de la **mată** până la **lucioasă**.

Datorită vitezelor de aşchiere mici de până la **30 m/min** are loc doar o încălzire superficială a materialului. Honuirea este cel mai frecvent utilizată ca operaţie finală de prelucrare a unor suprafeţe funcţionale ale semifabricatului. Semifabricatele trebuie să fie prelucrate în prealabil şi aduse la o formă precisă cu adaosuri de prelucrare mici (**0,05-0,1 mm**).

Honuirea se aplică în scopul îmbunătăţirii (modificării): • *formei*, • *preciziei dimensionale*, • *calităţii suprafeţei prelucrate* în urma contactului continuu cu semifabricatul. Se aplică ca prelucrare finală după finisare.

Scop: îmbunătăţirea rugozităţii, circularităţii, corectarea cilindricităţii, îmbunătăţirea preciziei dimensionale, eliminarea stratului superficial de material afectat termic sau mecanic.

4.2.1 Cinematica procesului de honuire

Cinematica procesului de honuire are 3 componente: axială, tangenţială şi radială. Componenta axială este oscilantă fiind realizată prin mişcări uniforme de ridicare şi coborâre ale sculei. Componenta tangenţială rezultă din rotirea uniformă a sculei.

În direcţie radială, avansul sculei se realizează prin presiune sau prin deplasarea semifabricatului. Din punct de vedere cinematic, procedeele de honuire pot fi clasificate în: **honuire cilindrică exterioară, honuire cilindrică interioară şi honuire plană, Fig. 4.26.**

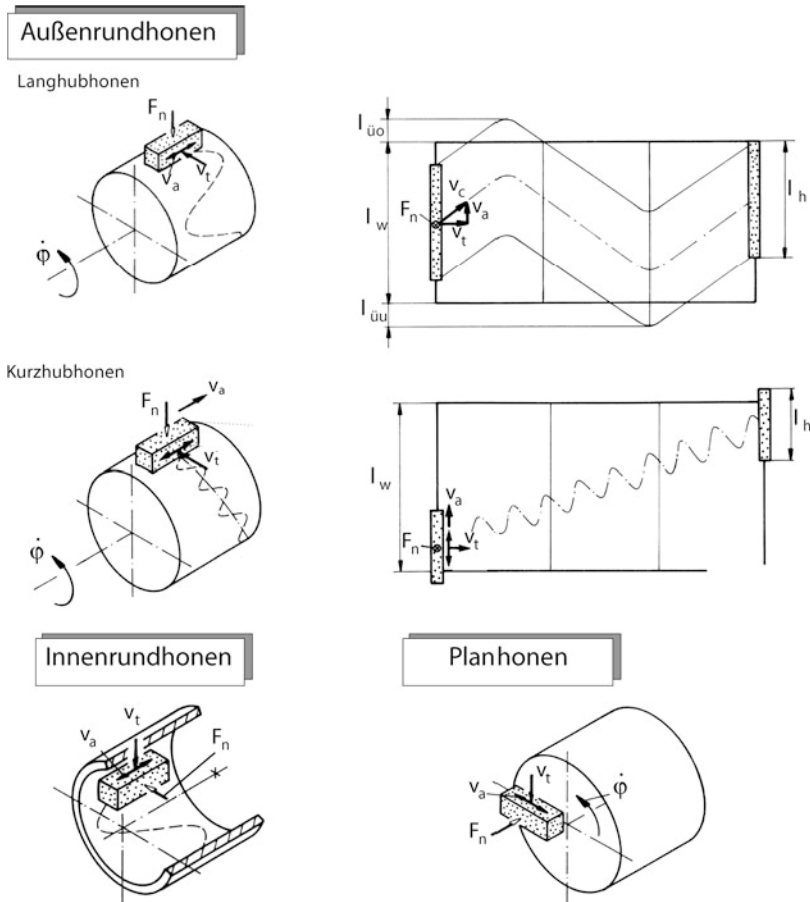


Abb. 4.26 Kinematik und Verfahren beim Honen / Cinematica procesului și procedee de honuire [WES 10]

Nach der Länge der Hubbewegung werden auch **das Langhub-** und **das Kurzhubhonen** unterschieden.

Beim **Langhubhonen** führt das Werkzeug die erforderliche Rotations- und Translationsbewegung aus. Die dabei entstehenden Riefen sind erwünscht, da sie das Haften eines Schmierfilms begünstigen.

Beim **Kurzhubhonen (Feinhonen, Superfinishen)** wird der rotierenden und translatorischen Bewegung noch eine Schwingbewegung mit **Frequenzen bis 250 Hz** und **geringer Amplitude** überlagert. Mit dem Kurzhubhonen werden z.B. Gleitlagerzapfen, Dichtflächen und Wälzlagerteile bearbeitet.

Die weiterführenden Betrachtungen beziehen sich auf das Langhub-Innenrundhonen.

În funcție de lungimea cursei mișcării oscilatorii pe direcție axială, se disting, de asemenea două procedee, **honuirea și vibrohonuirea**.

La **honuirea** propriu-zisă scula execută cele două mișcări de rotație și de translație. Striațiile care rezultă sunt utile, favorizând o mai bună aderare a filmului de ulei.

La **vibrohonuire (honuire fină, superfinishare)** peste mișcarea clasică de roto-translație a sculei se suprapune o mișcare vibratorie cu **amplitudine mică și frecvență mare (până la 250 Hz)**. Prin acest procedeu se prelucrează de ex. fusurile lagărelor de alunecare, suprafețe de etanșare și componente ale lagărelor de rostogolire.

Explicațiile următoare se referă la metoda de honuire cilindrică interioară.

Viteza de așchiere rezultantă se obține din

Die resultierende Schnittgeschwindigkeit ergibt sich aus dem Betrag der Vektorsumme der einzelnen Geschwindigkeitskomponenten, wobei die radiale Vorschubgeschwindigkeit im Vergleich zu den anderen Komponenten vernachlässigt werden kann (**Abb. 4.26**):

$$v_c = \sqrt{v_a^2 + v_t^2} . \quad (4.20)$$

Durch die oszillierende Hubbewegung und die gleichmäßige Rotation entstehen auf der Werkstückoberfläche die für das Honen charakteristischen kreuzförmigen Riefen. Der Kreuzungswinkel („Honwinkel“) α ist von der axialen und tangentialen Geschwindigkeit abhängig:

$$\alpha = 2 \arctan \frac{v_a}{v_t} . \quad (4.21)$$

combinarea vectorială a componentelor vitezei, în care viteza de avans radială poate fi neglijată în raport cu celelalte componente (**Fig. 4.26**):

$$v_c = \sqrt{v_a^2 + v_t^2} . \quad (4.20)$$

Datorită mișcării oscilante axiale și a rotației uniforme se formează pe suprafața urme intersectate (striații) caracteristice prelucrării prin honuire. Unghiul de intersecție („unghiul de honuire“) α depinde de vitezele axială și tangențială:

$$\alpha = 2 \arctan \frac{v_a}{v_t} . \quad (4.21)$$

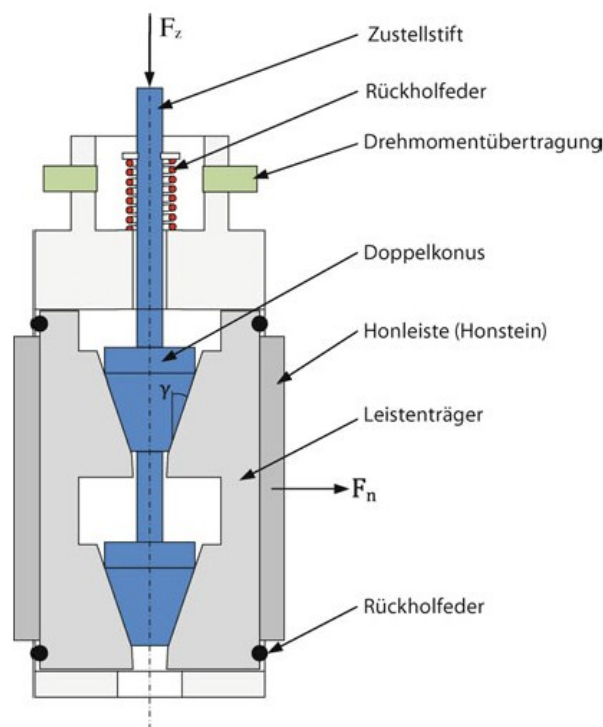


Abb. 4.28 Schnittdarstellung eines Honwerkzeugs zur Bohrungsbearbeitung / Cap de honuit pentru prelucrarea alezajelor [SCH 18]

Für die Aufbringung der Zustellkraft werden kraft- und formschlüssige Zustellsysteme eingesetzt (**Abb. 4.29**). Bei der kraftabhängigen Zustellung wird ein Kolben mit der Kolbenfläche A_k mit einem Zustelldruck p_z beaufschlagt.

Pentru aplicarea forței de avans, se folosesc sisteme de presare prin forță și formă (**Fig. 4.29**). În cazul presării prin forță, un piston este acționat de suprafața A_k cu o presiune p_z .

Die formschlüssige Zustellung erfolgt durch die Umsetzung des Zustellmoments M_z eines Schrittmotors über ein Gewindegetriebe und wird auch als elektro-mechanische Zustellung bezeichnet.

Presiunea prin formă se efectuează prin transformarea cuplului de avans M_z al unui motor pas cu pas printr-o transmisie filetată fiind, menționată ca acționare electromecanică.

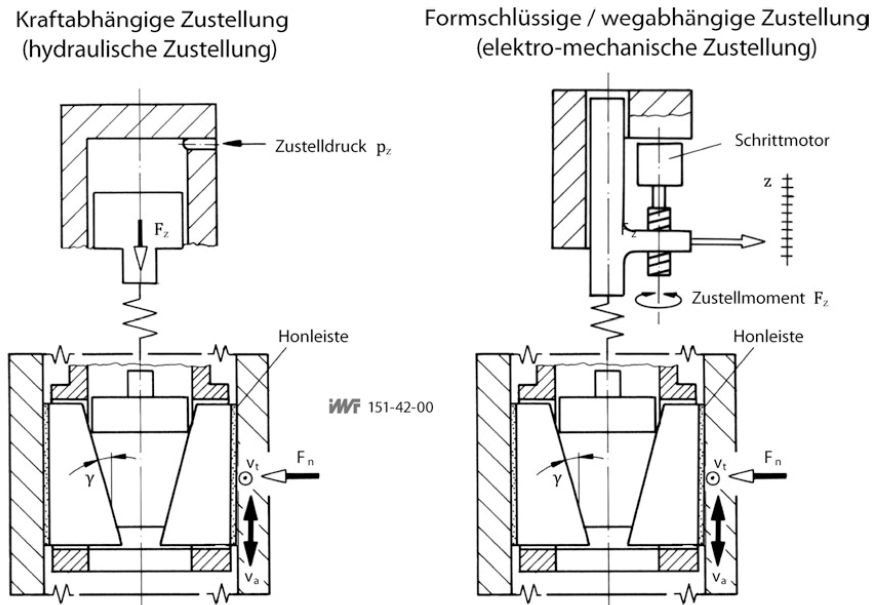


Abb. 4.29 Kraft- und formschlüssige Zustellsysteme / Sisteme de presiune prin forță și formă [TOE 11]

4.2.2 Werkzeuge beim Honen

Die beim Honen eingesetzten Werkzeuge können in aufweitbare (Durchmesser von ca. **5 mm bis 1000 mm**) und nicht aufweitbare Werkzeuge (Durchmesser **kleiner 5 mm**) unterteilt werden. Bei den aufweitbaren Werkzeugen findet während des Zerspanvorgangs eine kontinuierliche Aufweitung statt, bis der Solldurchmesser der Bohrung erreicht ist. Je nach Bohrungsdurchmesser können Werkzeuge mit einer oder mit mehreren Schneidleisten (vgl. **Abb. 4.30**) zum Einsatz kommen.

Bei kleineren Bohrungen kommt oft das sog. Dornhonen zum Einsatz. Hierbei wird ein vollflächig mit Schneidbelag besetztes Werkzeug, das eine konische Schneidzone und eine auf den Solldurchmesser eingestellte zylindrische Kalibrierzone aufweist eingesetzt, **Abb. 4.30**. Da sich der auftretende Schneidbelagverschleiß direkt auf das Endmaß der Bohrung auswirkt, weisen Dornhonwerkzeuge oft einen Aufweite-

4.2.2 Scule pentru honuit

Sculele utilizate pentru honuire pot fi împărțite în scule expandabile (cu diametre cuprinse între **5-1000 mm**) și ne-expandabile (diametru **mai mic de 5 mm**). În cazul sculelor extensibile, are loc o expansiune continuă în timpul procesului de așchiere până la atingerea diametrului dorit al găurii. În funcție de diametrul găurii, pot fi utilizate unelte cu una sau mai multe barete abrazive (vezi **Fig. 4.30**).

Pentru prelucrarea găurilor mai mici este adesea folosit procedeul de honuire cu dorn. În acest caz, se folosește o sculă cu o zonă de așchiere conică și o zonă de calibrare cilindrică ajustată la diametrul dorit, **Fig. 4.30**. Deoarece uzura sculei afectează în mod direct dimensiunea finală a găurii, sculele de honuit tip dornuri au adesea un mecanism de expandare pentru compensarea uzurii. În cazul honuirii cu dorn, scula efectuează

mechanismus auf. Beim Dornhonen führt das Werkzeug nur wenige Doppelhübe aus, da der Hauptanteil der Zerspanungsarbeit bereits beim ersten Abwärtshub geleistet wird.

numai câteva curse duble, deoarece partea principală a prelucrării este deja efectuată în timpul primei curse a sculei.

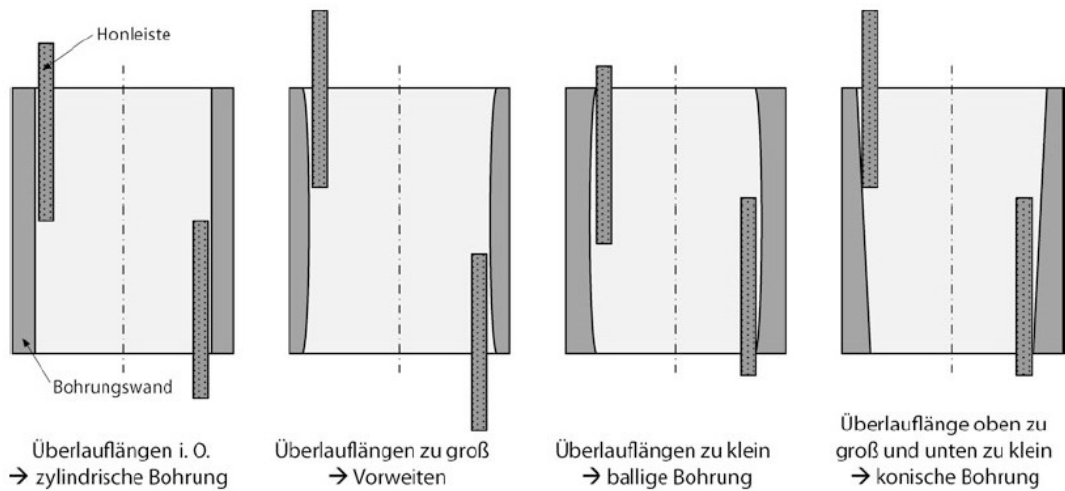


Abb. 4.30 Einfluss des Honleistenüberlaufs auf die Bohrungsform / Influența lungimii cursei axiale asupra preciziei de formă [WES 10]

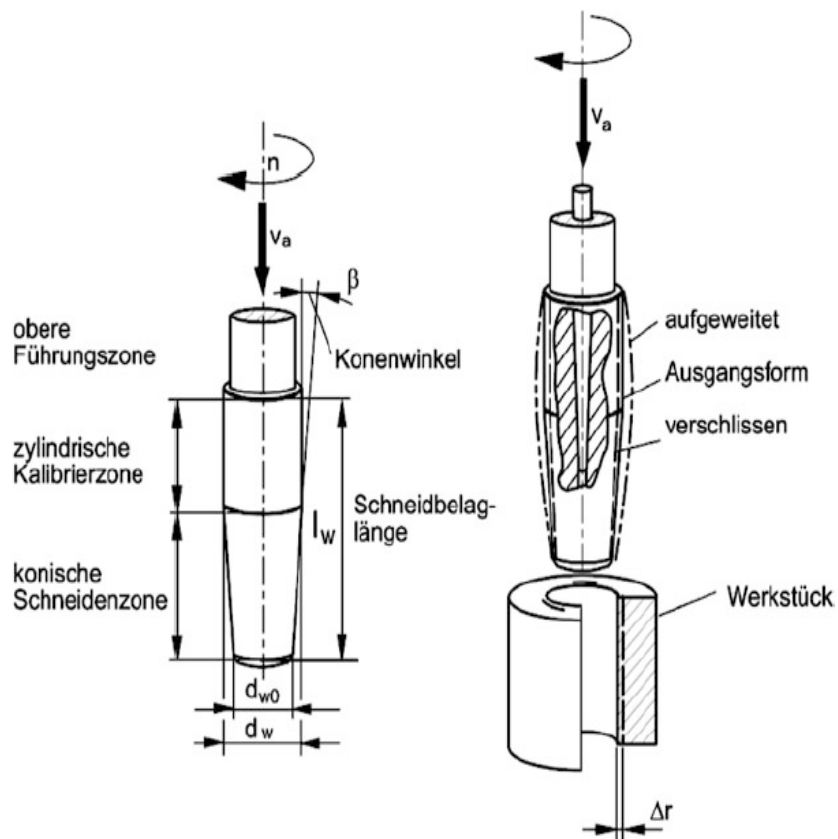


Abb. 4.31 Prinzipieller Aufbau eines Dornhonwerkzeugs mit konischer Schneidzone / Construcția unui dorn de honuit [WES 10]

Die beim Honen verwendeten Schneidstoffe sind (wie auch beim Schleifen), *Aluminiumoxid (Korund – Al_2O_3)*, *Siliziumkarbid (SiC)*, *kubisches Bornitrid (CBN)* und *Diamant*. Ebenfalls analog zum Schleifen kommen keramische Bindungen und pulvermetallurgisch oder galvanisch hergestellte metallische Bindungen zum Einsatz. Die auftretenden Verschleißformen bei metallischer Bindung können in Bindungs- und Kornverschleiß unterteilt werden, **Abb. 4.32**.

Materialele de scule utilizate în procesul de honuire sunt (ca și la rectificare) *alumină (corindon Al_2O_3)*, *carbură de siliciu (SiC)*, *nitrură de bor cubică (CBN)* și *diamant*. Similar cu rectificarea, sunt utilizați lianții ceramici și cei obținuți prin metalurgia pulberilor sau depunere galvanică. Tipurile de uzură care apar în cazul lianților metalici pot fi clasificate în: uzura liantului și uzura granulelor abrazive, **Fig. 4.32**.

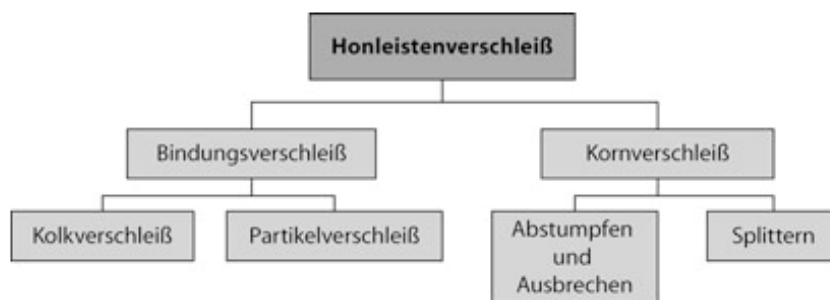


Abb. 4.32 Verschleißmechanismen an Honleisten / Mecanisme de uzură a baretelor de honuit

Durch die richtige Abstimmung von Schneidstoff und Bindungshärte kann ein Selbstschärfeffekt der Honleisten erzielt werden, wodurch die Schneideigenschaften der Honleiste über die gesamte Standzeit konstant bleiben. In diesem Fall wird ein Schneidkorn solange in der Bindung gehalten, bis es abgestumpft ist und durch die steigende Schnittkraft am Korn aus der Bindung bricht.

Dadurch kommen neue Schneidkörner zum Einsatz. Für die Schruppbearbeitung werden häufig Schneidkörner mit starker Splitterneigung eingesetzt, da durch die Kornsplitterung viele scharfe Schneidkanten am Korn vorhanden sind und sich dadurch ein hohes Zeitspanvolumen erzielen lässt.

4.2.3 Honprozess

Beim Honen werden hohe Anforderungen an die Prozesssicherheit gestellt. Ausschuss ist daher mit hohen Kosten verbunden, weil gehonte Oberflächen meist Funktionsoberflächen darstellen. So können

Efectul de auto-ascuțire al baretelor abrazive de honuit poate fi asigurat prin alegerea corectă a materialului abraziv și a durității liantului, astfel încât proprietățile așchietoare ale baretelor să rămână constante pe întreaga durată de utilizare. În acest caz, o granulă abrazivă este menținută în liant până când își pierde proprietățile așchietoare și se desprinde datorită forțelor mari de așchiere.

Astfel, noi granule abrazive intră în așchiere. Pentru prelucrări de degroșare, se folosesc adesea materiale abrazive cu o tendință mare de rupere, deoarece oferă multe muchii ascuțite și permite astfel îndepărtarea unui volum mare de așchii în unitatea de timp.

4.2.3 Procesul de honuire

Atunci când se realizează o prelucrare prin honuire, se impun cerințe ridicate în ceea ce privește fiabilitatea și siguranța procesului. Prin urmare, orice rebut este asociat unor costuri ridicate,

Fehler in der Prozessführung beim Honen der Zylinderlaufbahnen von Verbrennungsmotoren z.B. zu unzulässig hohem Ölverbrauch oder schlimmstenfalls sogar zu Motorschäden führen.

Daher ist das Wissen um die Einflüsse einzelner Prozesseingangs- und Störgrößen auf das Honergebnis von besonderer Bedeutung. Für die wirtschaftliche Bewertung des Verfahrens sind zudem die Auswirkungen einzelner Größen z.B. auf die Honzeit (erreichbare Taktzeit) und den Honleistenverschleiß zu bewerten. Die Eingangsgrößen des Honprozesses können nach Einstellgrößen, Werkzeugeigenschaften, Werkstückeigenschaften und Kühlschmierung unterteilt werden (Abb. 4.33).

deoarece de cele mai multe ori suprafețele honuite sunt de cele mai multe ori suprafețe funcționale. Astfel, erorile de proces în timpul honurii cilindrilor motoarelor cu combustie, poate duce la un consum inadmisibil de mare de ulei sau, în cel mai rău caz, chiar la deteriorarea motorului.

Prin urmare, informațiile despre influența diferiților parametri și variabile perturbatoare asupra rezultatelor obținute prin honuire sunt deosebit de importante. Pentru evaluarea eficienței economice a procesului de honuire, trebuie analizat timpul de prelucrare (durata ciclului realizabil) și uzura baretelor de honuire. Parametrii de intrare ai procesului de honuire pot fi împărțiți în variabilele de reglare, proprietăți ale sculelor, proprietăți ale semifabricatelor și condiții de ungere și răcire (Fig. 4.33).

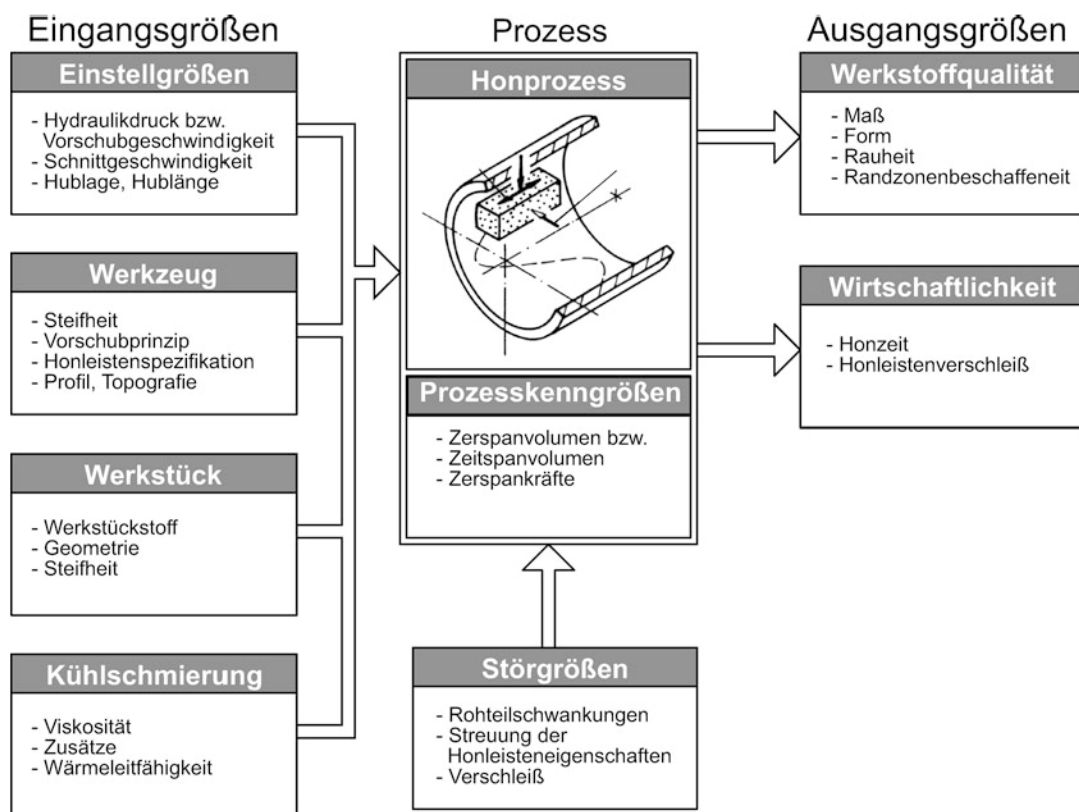


Abb. 4.33 Systemdarstellung des Honprozesses (nach v. See) / Reprezentarea procesului de honuire ca sistem {WES 10}

Die ebenfalls steigenden Zerspanungskräfte bewirken eine zunehmende elastische Verformung des Werkstücks während der Bearbeitung, was zu

Forțele de așchiere mari determină o deformare elastică proporțională a semifabricatului în timpul prelucrării, ceea ce duce la o precizie de formă și

einer verringerten Form- und Maßgenauigkeit führt. Neben den Maschineneinstellgrößen wird der Honprozess maßgeblich durch das verwendete Honwerkzeug beeinflusst. Sowohl die konstruktiven Eigenschaften, wie die Zustellkraftübersetzung durch den Konuswinkel oder Reibungsverluste durch die mechanischen Kraftübertragungselemente, als auch die Beschaffenheit der Honleiste wirken sich auf das Honergebnis aus.

Neben der bereits erwähnten Selbstschärfung müssen die Honleisten eine auf den zu honenden Bohrungsdurchmesser abgerichtete Geometrie aufweisen, um die geforderte Maß- und Formgenauigkeit zu erzielen.

Das Werkstück beeinflusst den Honprozess in erster Linie durch die Härte der zu honenden Fläche. Mit zunehmender Härte sinkt die Korneindringtiefe bei gegebenem Honleistenanpressdruck. In der Folge nehmen das erzielbare Zeitspanvolumen und die Rauheit der gehonten Oberfläche ab. Durch die Geometrie und die damit verbundenen lokalen Nachgiebigkeiten des Werkstücks können über die Bearbeitungsfläche unterschiedliche Anteile zerspannkraftbedingter elastischer Verformungen während des Honens auftreten. Mögliche Folgen sind Maß- und Formfehler des gehonten Werkstücks.

Des Weiteren kann das Honergebnis auch durch die Eigenschaften des eingesetzten Kühlschmierstoffs beeinflusst werden. Verwendet werden sowohl wasserbasierte Emulsionen als auch spezielle Honöle. Da die Schnittgeschwindigkeiten beim Honen im Vergleich zum Schleifen sehr gering sind, spielt die Kühlfunktion eine untergeordnete Rolle. Die Hauptaufgabe des Kühlschmierstoffes besteht somit in der Schmierung und der Späneabfuhr, um ein Zusetzen der Honleiste mit Honspänen zu verhindern.

Durch die Verwendung höherviskoser Öle bildet sich ein dickerer Schmierfilm zwischen Werkstück und Honleiste, wodurch die Korneindringtiefe

dimensional reduziert. Pe lângă parametrii de reglaj ai mașinii, procesul de honuire este influențat decisiv de sculele folosite. Atât caracteristicile de proiectare, cum ar fi presiunea creată de unghiul conului capului de honuit sau pierderile prin frecare, prin elementele de transmisie a puterii mecanice, precum și natura baretelor abrazive afectează rezultatul procesului de honuire.

Pe lângă mecanismul de auto-ascuțire baretele menționate mai sus trebuie să aibă o geometrie adaptată diametrului alezajului prelucrat, astfel încât să se poată obține precizie dimensională și de formă dorite.

Semifabricatul influențează în principal procesul de honuire prin duritatea suprafeței care urmează să fie prelucrată. Pe măsură ce crește duritatea, adâncimea de penetrare a granulelor abrazive scade pentru o aceeași presiune a capului de honuit. Ca urmare, volumul de așchii realizabil scade și rugozitatea suprafeței se înrăutățește. Datorită geometriei și configurației locale a piesei, pot apărea deformări elastice induse de forțele de prelucrare în timpul procesului. Consecințele posibile sunt erorile dimensionale și de formă ale piesei.

Rezultatul procesului de honuire poate fi, de asemenea, influențat de proprietățile lichidului de așchiere folosit. Sunt utilizate atât emulsii pe bază de apă, cât și uleiuri speciale de honuit. Deoarece vitezele de așchiere în timpul honuirii sunt foarte scăzute în comparație cu rectificarea, funcția de răcire joacă un rol mai puțin important. Sarcina principală a lichidului de așchiere este de a lubrifia și de a îndepărta așchiile, pentru a preveni impregnarea așchiilor pe baretele abrazive.

Prin utilizarea unor uleiuri cu viscozitate ridicată se formează un film de lubrifianț mai gros între piesă și piatra de honuit, prin care adâncimea de penetrare

abnehmen. Emulsionen kommen häufig in der Großserienfertigung zum Einsatz. Zu den wichtigsten Störgrößen zählen Rauheits- und Aufmaßschwankungen des Rohteils.

4.3 Läppen

Bei Werkstücken, an die höchste Anforderungen hinsichtlich Oberflächenqualität sowie Form und Maßgenauigkeit gestellt werden, wird in der Regel das **Läppen** oder immer häufiger auch das Feinschleifen mit Läppkinematik eingesetzt.

4.3.1 Grundlagen

Läppen ist ein Spanen mit losem (in einer Flüssigkeit oder Paste) verteiltem Korn (Läppgemisch). Das wird auf einem meist formtragenden Gegenstück (Läppwerkzeug) bei möglichst ungerichteten Schneidbahnen der einzelnen Körner geführt.

Läppen ist ein **Fein- und Feinstbearbeitungsverfahren**, bei dem

- *hohe Oberflächengüten (bis $0,1 \mu\text{m}$)*
- *extreme Formgenauigkeiten*
- *enge Maßtoleranzen (bis IT 1)*

unabhängig von der Werkstoffhärte erreicht werden können.

Beim Läppen werden im Gegensatz zum Schleifen und Honen die Schneiden von losen Körnern gebildet. Der Werkstoffabtrag erfolgt durch zwei gleichzeitig ablaufende Vorgänge (**Abb. 3.34**):

- **Spanprozess** durch Relativbewegung zwischen Läppplatte (mit eingedrückten Läppkörnern) und Werkstück,
- **Verfestigungsprozess** an der Werkstückoberfläche durch Rollbewegung beweglicher Läppkörner zwischen Läppplatte und

a granulelor abrazive se micșorează. Emulsiile sunt adesea folosite pe scară largă în producția de serie mare și masă. Cele mai importante perturbări care pot interveni în procesul de honuire includ fluctuațiile excesive dimensionale și de rugozitate ale semifabricatului.

4.3 Lepuirea

Lepuirea este prevăzută pentru prelucrarea pieselor cu cele mai înalte cerințe în ceea ce privește calitatea suprafeței și precizia dimensională și de formă.

4.3.1 Noțiuni de bază

Lepuirea este procesul de așchiere cu scule așchietoare cu muchii nedefinite, care utilizează granule abrazive în stare liberă (amestec de lepuire sub formă de suspensie sau pastă). Acesta se depune pe o piesă complementară (scula de lepuir) pe direcția de așchiere neorientată a granulelor.

Lepuirea este o **prelucrare fină** sau **ultrafină** prin care se pot obține:

- *foarte bună calitate a suprafeței ($<0,1 \mu\text{m}$)*
- *foarte bună precizie a formei,*
- *toleranțe dimensionale mici ($< IT 1$)*

independent de duritatea semifabricatului.

Spre deosebire de rectificare și honuire la lepuire muchiile așchietoare sunt materializate de granulele abrazive aflate în suspensie sau sub formă de pastă. Îndepărtarea materialului de pe semifabricat se produce prin două mecanisme care se desfășoară simultan (**Fig. 3.34**):

- **proces de așchiere** prin deplasarea relativă între placa de lepuir (pe care sunt presate granulele abrazive),
- **procesul de durificare** a suprafeței semifabricatului prin mișcarea de rulare (rostogolire) a granulelor abrazive aflate între

Werkstück.

Dabei drücken sich einzelne Kornspitzen in Werkstück und Läppwerkzeug ein und hinterlassen kraterförmige, ungerichtete Bearbeitungsspuren und Mikrorisse.

placa de lepuit și semifabricat.

Astfel vârfulurile fiecărei granule se presează în semifabricat și scula de lepuit și creează urme (striații) sub formă de cratere neorientate și microfisuri.

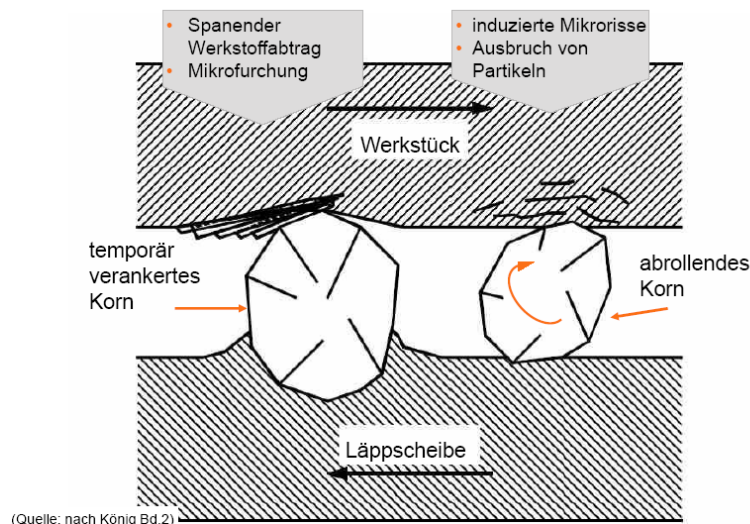


Abb. 4.34 Materialabtragmechanismen beim Läppen / Mecanisme de îndepărtare a materialului la lepuire [WES 10]

Beim Läppen wird im Gegensatz zum Honen und Schleifen mit losem Korn gearbeitet. Es können nahezu alle Werkstoffe bearbeitet werden, z.B. alle Metalle, Keramiken, Gläser, Halbleiter und Kunststoffe, aber auch andere Stoffe wie z.B. Graphit. Die Voraussetzung für die Bearbeitungsfähigkeit ist ein homogenes Gefüge.

Zudem dürfen sich die Werkstoffe nicht durch ihr Eigengewicht oder eine Belastung elastisch oder plastisch verformen. Die beim Läppen erreichbaren Qualitäten liegen bei einem arithmetischen Mittenrauwert $Ra=0,02$ bis $16 \mu m$, einer Planparallelität zwischen 1 bis $2 \mu m$ und einem Ebenheitsfehler unter $0,6 \mu m$.

Hauptvorteile des Verfahrens sind die Werkstückbearbeitung ohne Einspannung, die Möglichkeit auch kleinste Bauteile mit einer Dicke unter $0,1 mm$ zu fertigen sowie die Vermeidung von Wärme- und Spannungsverzug an der geläppten Oberfläche.

În cazul lepuirii, spre deosebire de honuire și rectificare materialul abraziv utilizat este în stare liberă. Aproape toate materialele pot fi prelucrate prin lepuire: toate metalele, ceramică, sticlă, semiconductori și materiale plastice, dar și alte substanțe, cum ar fi grafitul. Premisa pentru prelucrabilitate este o structură omogenă.

Mai mult, nu se acceptă ca materialele să se deformeze elastic sau plastic sub acțiunea propriei greutate sau a altor solicitări. Calitatea realizabilă prin procesul de lepuire este $Ra=0,02 - 16 \mu m$, un paralelism între $1 - 2 \mu m$ și o eroare a planeității mai mică de $0,6 \mu m$.

Principalele avantaje ale procesului constau în faptul că prelucrarea piesei se face fără fixarea acesteia, posibilitatea de a prelucra piese mici cu grosime sub $0,1 mm$ precum și prevenirea producerii căldurii și tensionarea suprafeței prelucrate.

Beim Läppen treten zwei parallele **Mechanismen** auf, die zur Entfernung von Werkstückstoff führen. Das Läppkorn wird in einer Flüssigkeit oder Paste in den Arbeitsspalt zwischen Werkstück und Werkzeug gebracht. Hier wird ein Teil der Körner im Werkzeug eingebettet. Das wirkt ähnlich wie gebundene Körner. Es kommt zu einer Spanbildung am Werkstück.

Die restlichen Körner rollen zwischen dem Werkzeug und dem Werkstück ab. Dabei drücken sie sich so in das Werkstück ein, dass eine Kraterstruktur entsteht. Dies ist mit einer ständigen plastischen Verformung des Werkstücks verbunden, wodurch die Werkstückrandzone bis zu einer Tiefe von **4 bis 24 µm** verfestigt wird.

Die Einteilung der Läppverfahren in **Planläppen, Rundläppen, Schraubläppen** und **Profilläppen** erfolgt nach DIN 8589. Zusätzlich existieren Sonderläppverfahren, durch die jedoch nur die Oberflächenqualität verbessert werden kann, während die Maß- und Formgenauigkeit nicht beeinflusst wird. Am häufigsten werden die Verfahren **Planläppen, Außenrundläppen mit Linienberührung** und **Innenrundläppen** eingesetzt.

4.3.2 Einfluss von Prozesskenngrößen auf das Läppergebnis

Neben der Läppscheibe, dem Läppmittel und dem Werkstückstoff wird das Läppergebnis auch durch die an der Maschine einstellbaren Prozesskenngrößen Läppdruck und Läppdauer beeinflusst. Mit steigender Läppgeschwindigkeit steigt auch die Zerspanrate. Aufgrund des Einsatzes von losem Korn führt eine überhöhte Drehzahl jedoch dazu, dass das Läppkorn durch die Zentrifugalkraft aus dem Arbeitsspalt gefördert wird. Daher sollte die Läppgeschwindigkeit zwischen **0,1-0,5 m/s** liegen.

Läppkorn und Läppflüssigkeit bilden das **Läppmittel**, das einen Läppfilm zwischen Werkzeug und Werkstück erzeugt. Dieser hat die Aufgabe,

in dem Fall der Läppung, gleichzeitig zwei **mechanismen** auftreten, die zur Entfernung des Werkstückmaterials führen. Die abrasive Läppkörner werden in einer Flüssigkeit oder Paste in den Spalt zwischen Werkstück und Werkzeug gebracht. Hier wird ein Teil der Körner im Werkzeug eingebettet. Dies wirkt ähnlich wie gebundene Körner. Es kommt zu einer Spanbildung am Werkstück.

Die übrigen Körner rollen zwischen dem Werkzeug und dem Werkstück ab. Dabei drücken sie sich so in das Werkstück ein, dass eine Kraterstruktur entsteht. Dies ist mit einer ständigen plastischen Verformung des Werkstücks verbunden, wodurch die Werkstückrandzone bis zu einer Tiefe von **4-24 µm**.

Die Klassifizierung der Verfahren erfolgt so: **lepuire plană, lepuire cilindrică, lepuire filete** und **lepuire profilată**, gemäß DIN 8589. In der Regel gibt es spezielle Verfahren der Läppung, durch die jedoch nur die Oberflächenqualität verbessert werden kann, während die Maß- und Formgenauigkeit nicht beeinflusst wird. Am häufigsten werden die Verfahren **Planläppen, Außenrundläppen mit Linienberührung** und **Innenrundläppen** eingesetzt.

4.3.2 Einfluss der Parameter des Läppprozesses auf das Ergebnis

Neben der Läppscheibe, dem Läppmittel und dem Werkstückstoff wird das Läppergebnis auch durch die an der Maschine einstellbaren Prozesskenngrößen Läppdruck und Läppdauer beeinflusst. Mit steigender Läppgeschwindigkeit steigt auch die Zerspanrate. Aufgrund des Einsatzes von losem Korn führt eine überhöhte Drehzahl jedoch dazu, dass das Läppkorn durch die Zentrifugalkraft aus dem Arbeitsspalt gefördert wird. Daher sollte die Läppgeschwindigkeit zwischen **0,1-0,5 m/s** liegen.

Läppkorn und Läppflüssigkeit bilden das **Medium der Läppung**, das einen Läppfilm zwischen Werkzeug und Werkstück erzeugt. Dieses hat die Aufgabe,

neue Läppkörner in den Prozess zu führen. Höhere Läppdrücke führen dazu, dass die Läppkörner ständig splintern und somit neue Schneiden entstehen. Darüber hinaus bestimmen der Mischungsquotient von Läppkorn und Läppflüssigkeit sowie die zugeführte Menge an Läppmittel das Zerspanverhalten. Das Mischungsverhältnis sollte etwa zwischen **150 und 200 g/l** betragen. Ein zu dicker Läppfilm bei kleinen Körnungen würde eine Werkstoffzerspannung verhindern, so dass hier eine dünnflüssigere Läppsuspension erforderlich ist.

Am häufigsten werden Läppkörner mit einem mittleren Korndurchmesser **unter 20 µm** eingesetzt. Es existieren jedoch auch Körnungen zwischen 0,1 µm für feinste Oberflächen und bis zu 150 µm für die Schruppbearbeitung. Um die Gefahr der Kratzerbildung zu senken, sollten die Korndurchmesser innerhalb einer Korngröße möglichst identisch sein.

aduce permanent noi granule abrazive în proces. Presiunile mari exercitate asupra mediului de lepuire determină apariția unor noi muchii aşchiitoare. În plus, raportul de amestecare al granulelor și lichidului de lepuire, precum și cantitatea de mediu de lepuire alimentat în zona de prelucrare determină comportamentul de aşchiere. Raportul de amestecare trebuie să fie între **150 și 200 g/l**. Un film de mediu de lepuire prea dens, cu granulație mică, ar împiedica aşchiera materialului, astfel încât este necesară doar o suspensie cu densitate redusă.

Cel mai frecvent sunt utilizate granulele cu diametru mediu **sub 20 µm**. Cu toate acestea, există și granule de între 0,1 µm pentru cele mai fine suprafețe până la 150 µm pentru prelucrări de degroșare. Pentru a reduce riscul de apariție a zgârieturilor pe suprafața prelucrată, diametrele granulelor trebuie să fie pe cât posibil identice.

Tab. 4.4 Günstige Kombinationen von Läpppulver und Werkstückstoff (nach Wolters und Klocke) /Combi-nații recomandate de materiale abrazive și semifabricate

| Läppkornspezifikation | Bearbeiteter Werkstoff |
|-----------------------|---|
| Korund | Weiche Stähle, Leicht- und Buntmetalle (Kupfer, Bronze), Grafit, Halbleiterwerkstoffe (Silizium, Germanium), Grauguss |
| Siliziumkarbid | Vergütete und legierte Stähle, Grauguss, Glas, Porzellan |
| Borkarbid | Hartmetalle, technische Keramiken |
| Diamant | Hartmetalle, technische Keramiken |

Abhängig vom zu bearbeitenden Werkstoff werden meist **Siliziumkarbid** oder **Edelkorund** als Kornwerkstoff eingesetzt, aber auch Diamant und Bornitrid finden Anwendung, wenn harte Werkstoffe wie Keramiken oder Hartmetall bearbeitet werden sollen (**Tab. 4.4**).

Insbesondere bei weichen Werkstoffen führen große Läppkörner und höhere Läppdrücke zu

În funcție de materialul care urmează să fie prelucrat, **carbura de siliciu** sau **corindonul nobil** sunt utilizate în general ca materiale abrazive la lepuire, dar se utilizează, de asemenea, **diamant și nitrură de bor** atunci când se prelucrează materiale dure, cum ar fi materiale ceramice sau metalele dure, (**Tab. 4.4**).

În special la lepuirea materialelor moi, granulele

großen Riefen und tiefen Eindrücken auf der Oberfläche und damit auch zu einer höheren Rauheit (Abb. 4.35).

de lepuit mari și presiunile ridicate duc la apariția unor striții și urme adânci pe suprafață, deci la o rugozitate mai mare (Fig. 4.35).

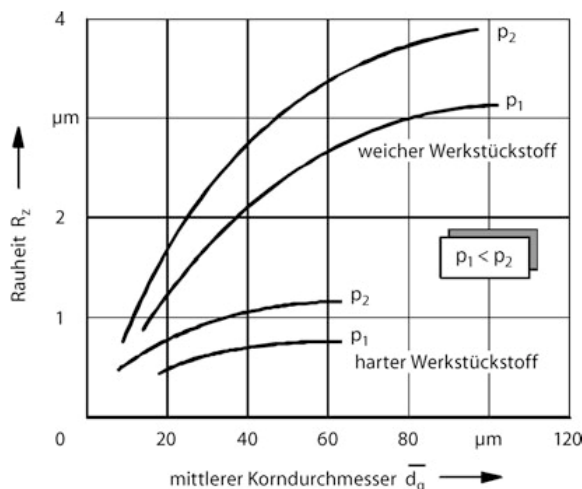


Abb. 4.35 Rauheit in Abhängigkeit vom Läppdruck und mittleren Korndurchmesser (nach Lichtenberg) / Variația rugozității în funcție de presiunea de lepuire și diametrul mediu al granulelor

Das Zeitspanvolumen lässt sich zudem über eine Erhöhung der Kornkonzentration steigern, da immer mehr Körner am Läppprozess beteiligt werden. Ist die Zahl der Läppkörner hingegen zu hoch, so hindern sich die Körner gegenseitig an ihrer Bewegung und das Zeitspanvolumen sinkt (Abb. 4.36).

Volumul de așchii îndepărtat poate fi mărit printr-o creștere a concentrației granulelor abrazive, deoarece tot mai multe granule sunt implicate în procesul de așchiere. Dacă, numărul de granule este prea mare, acestea interferează și volumul de material așchiat scade (Fig.4.36).

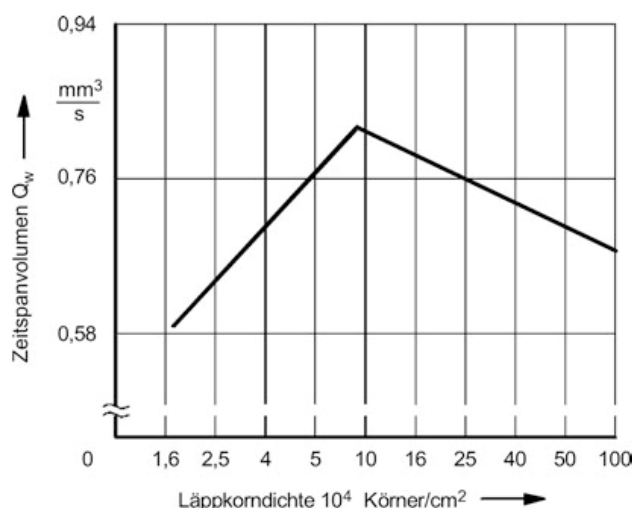


Abb. 4.36 Einfluss der Läppkorndichte auf das Zeitspanvolumen (nach Lichtenberg) / Influența densității granulelor asupra volumului de așchii îndepărtat

In der Praxis werden meist Läppscheiben mit einer Härte zwischen **140–220 HB** eingesetzt, da diese einen geringen Formverschleiß aufweisen.

În practică sunt de obicei folosite discuri de lepuire cu o duritate cuprinsă între **140 și 220 HB**, deoarece acestea au o rezistență mai mare la uzură.

4.3.3 Läppverfahren

4.3.3 Procedee de lepuire

▪ Planläppen

Am häufigsten wird das Läppen ebener Bauteile auf Ein- und Zweischeibenmaschinen durchgeführt. Dabei liegen die Werkstücke in sog. Käfigen, die wiederum von Laufringen gehalten werden, die wie die Planeten eines Planetengetriebes um das Zentrum der Läppscheibe abrollen. Bei Einscheibenmaschinen erfolgt der Antrieb meist über Reibungskopplung. Die Drehbewegung der Laufringe bewirkt, dass die Läppscheibe kontinuierlich abgerichtet wird und daher plan bleibt. Um den erforderlichen Läppdruck aufzubringen, werden die Werkstücke über Gewichte oder eine pneumatisch arbeitende Belastungseinheit **belastet** (Abb. 4.37).

• Lepuire plană

Lepuirea suprafețelor plane este cel mai frecvent efectuată pe mașini cu un singur disc sau cu două discuri. Piesele de prelucrat sunt ampalsate în așa-numitele cuști, care, la rândul lor, sunt ținute de căi de rulare și se rostogolesc în jurul centrului discului de presiune. În cazul mașinilor cu un singur disc, mecanismul este acționat de obicei prin cuplul de frecare. Mișcarea rotativă a inelelor de rulare face ca discul de presiune să fie îndreptat în mod continuu și, prin urmare, rămâne plat. Pentru a aplica presiunea de lepuire necesară, semifabricatele sunt încărcate cu greutate sau presate printr-un sistem pneumatic de încărcare (Fig.4.37).

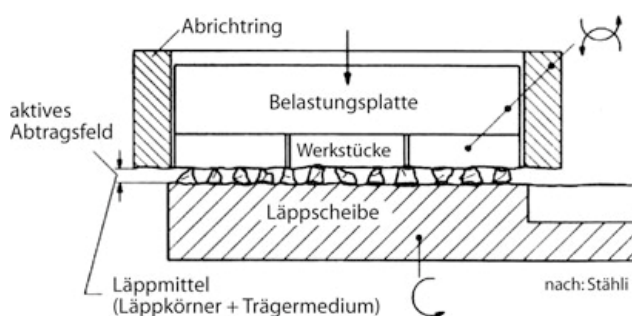


Abb. 4.37 Prinzip des Läppens / Principiul procesului de lepuire [WES 10]

Die Zweischeibenmaschinen haben den Vorteil, dass beide Seiten der Werkstücke parallel bearbeitet werden. Die Läufferringe haben hierbei einen Zahnkranz, der an einem äußeren Zahnkranz abrollt und von einem inneren Zahnkranz angetrieben wird. Wie auch beim Einscheiben-system ergeben sich hierdurch zykloide Bahnformen der Werkstücke (Abb. 4.38).

Mașinile de lepuire cu două discuri au avantajul că ambele părți ale pieselor sunt prelucrate în paralel. În acest caz, inelele rotorului au coroană dințată, care se rotește pe un coroană exterioară dințată. Ca și în cazul sistemului cu un singur disc, se obțin, forme cicloide ale traiectoriilor pieselor de prelucrat (Fig.4.38).

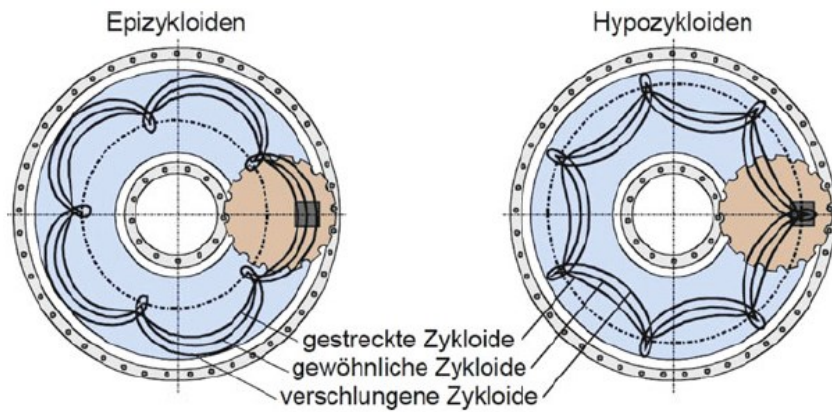


Abb. 4.38 Bahnkurven der Werkstücke beim Läppen (nach Ardelt) / Traiectoria pieselor la lepuire [TOE 11]

Die Drehrichtung und Rotationsgeschwindigkeit der Läuferinge müssen daher so an die Läppscheibengeschwindigkeit angepasst werden, dass ein möglichst gleichmäßiger Läppscheibenverschleiß auftritt und die Läppscheiben eben bleiben. So kann gewährleistet werden, dass die Werkstücke eine hohe Planparallelität und Maßgenauigkeit aufweisen.

▪ Rundläppen

Das Außenrundläppen wird äquivalent zum Planläppen auf Zweischeibenmaschinen durchgeführt, wobei mehrere Werkstücke zeitgleich bearbeitet werden. Auch hier erfolgt die Führung der Werkstücke über Käfige, die in den Laufringen liegen.

Beim Innenrundläppen kann der Durchmesser des Läppwerkzeugs wie beim Honen über einen Kegel innerhalb eines begrenzten Bereichs eingestellt werden. Auch die Kinematik besteht wie beim Honen aus einer Überlagerung einer Drehbewegung mit einer Oszillation in axialer Richtung.

Das sogenannte Läppgemisch wird zwischen die Berührungsflächen von Werkstück und dem formübertragenden Werkzeug gebracht.

Durch die ungeordneten Schneidbahnen der einzelnen Körner besitzen geläppte Oberflächen ungerichtete Bearbeitungsspuren.

Die Richtung und die Rotationsgeschwindigkeit des Rotors müssen daher so an die Läppscheibengeschwindigkeit angepasst werden, dass ein möglichst gleichmäßiger Läppscheibenverschleiß auftritt und die Läppscheiben eben bleiben. So kann gewährleistet werden, dass die Werkstücke eine hohe Planparallelität und Maßgenauigkeit aufweisen.

• Lepuirea cilindrică

Lepuirea cilindrică exterioară se efectuează în același mod ca și lepuirea plană pe mașinile cu două discuri, în care mai multe semifabricate sunt prelucrate simultan. Și aici, piesele de prelucrat sunt ghidate prin intermediul unor cuști care se află pe canalele de rulare.

La lepuirea interioară, diametrul sculei poate fi reglat prin intermediul unui ax conic în anumite limite, ca și la honuire. Cinematica constă, ca la honuire, din suprapunerea unei mișcări de rotație cu o mișcare rectilinie-alternativă pe direcție axială.

Așa numitul amestec de lepuire este pus între suprafețele de contact ale semifabricatului și plăcii de lepuire. Prin mișcări de așchiere neregulate fiecare granulă abrazivă participă la lepuirea suprafeței prin crearea unor urme pe diferite direcții.

- **Innenrundläppen**

Es ist das Läppen von Bohrungen mittels Läpphülsen, die eine Dreh- und Hubbewegung ausführen. Typische Beispiele für dieses Verfahren sind Bauteile wie Einspritzpumpenteile oder Hydraulikzylinder (**Abb. 4.39**)

Das Läppmittel (eine Mischung aus Läppflüssigkeit und Läppmittel) muss vor allem druck- und verschleißfest sein. Die Korngröße liegt zwischen **5 und 100 μm** . Als Läppflüssigkeiten haben sich Wasser mit 2-3 % Läppkonzentrat, Gemische aus Öl, Petroleum oder anderen Beimengungen bewährt. Ihre Aufgabe ist es, für den Späneabtransport und für Kühlung zu sorgen.

- **Formläppen.** Das Werkzeug weist die entsprechende Negativgestalt der herzustellenden Form auf. Dabei steht meist die Verringerung eines Formfehlers im Vordergrund.

- **Lepuirea cilindrică interioară**

Permite prelucrarea a alezajelor cu ajutorul unor manșoane de lepuit, care execută o mișcare de rotație și o cursă longitudinală intermitentă. Exemple tipice de piese care se prelucrează prin acest procedeu sunt componentele pompelor de injecție sau cilindrii hidraulici (**Fig. 4.39**).

Amestecul de lepuit (un amestec de lichid și material abraziv) trebuie să fie rezistent la presiune și uzură. Dimensiunile granulelor abrazive variază între **5 și 100 μm** . Ca lichide de lepuire se recomandă apă cu 2-3% concentrat de lepuire, amestec de ulei, petrol sau alți aditivi. Rolul lor este transport al așchiilor și de a asigura răcirea zonei de așchiere.

- **Lepuirea profilată.** Scula are forma complementară a suprafeței piesei care se prelucrează. În acest caz primordială este reducerea erorilor de formă.

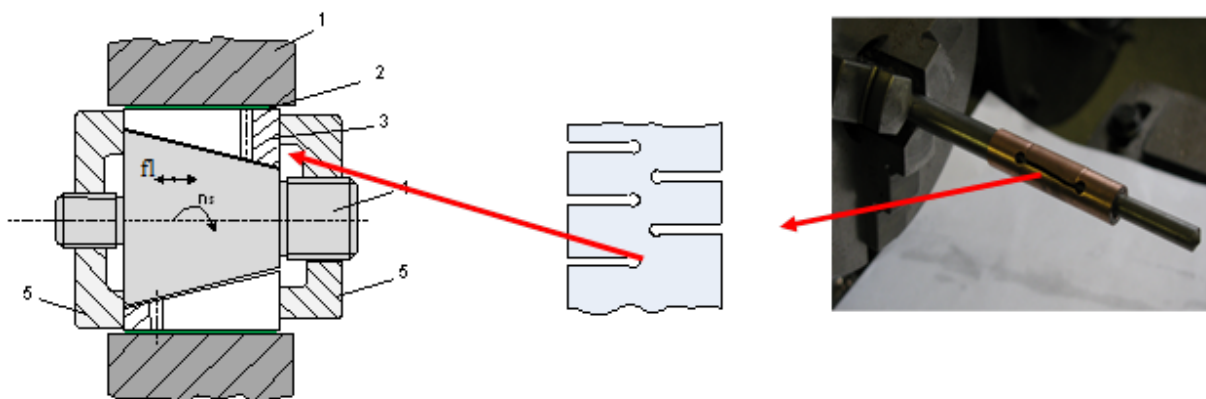


Abb.4.39 Innerrundläppen / Lepuirea cilindrică interioară [GYE 91]

KAPITEL 5.

Trockenbearbeitung und Minimalmengekühl schmierung

Moderne Fertigungsverfahren stellen ununterbrochenen den Kostendruck und hohe Qualitätserwartungen gegenüber. Konkurrierend zu bleiben muss eine Firma:

- *Kostenverminderungsgelegenheiten in der Produktion fortwährend kennzeichnen,*
- *die ökonomische Gelegenheiten ausnutzen und*
- *ununterbrochen Produktionsprozesse verbessern.*

Seit dem Anfang voriges Jahrhunderts sind die innerhalb der Fertigungsverfahren auftreten Umweltproblemen systematisch und wissenschaftlich analysiert gewesen. In vielen Fällen ist es versucht worden, um eine maximale Leistungsfähigkeit in Verbindung mit ökonomischen Herstellungszuständen zu erzielen.

Die Herstellung eines Produktes, indem es Prozessmaterialien, Energie und Rohstoffen hinzufügt, läuft unvermeidlich in Konflikt mit Argumenten über die resultierenden Umweltbelastungen (**Abb. 5.1**).

Auf der Suche nach Lösungen, um Bearbeitungsprozesse zu verbessern, versucht man die erzielen minimale Umweltverschmutzung in Verbindung mit den verwendbaren Technologien zu erlauben.

CAPITOUL 5.

Prelucrarea uscată și tehnica de aşchiere cu ungere și răcire minimală

Procesele de fabricație moderne se confruntă neîntrerupt cu presiunea costurilor și cu cerințele de calitate. Pentru a rămâne competitivă o companie trebuie să:

- *Identifice constant posibilitățile/oportunitățile de reducere a costurilor de producție,*
- *Utilizeze oportunitățile economice,*
- *Îmbunătățească neîncetat procesele de producție.*

De la începutul secolului XIX problemele ecologice apărute în cadrul proceselor de fabricație au fost sistematic și științific analizate. În multe cazuri s-a încercat obținerea unei eficiențe maxime corelată cu cerințele economice.

Fabricația unui produs în care este inclus consumul de material, energie, materii prime se desfășoară inevitabil în conflict cu poluarea mediului înconjurător (**Fig. 5.1**).

În căutarea soluțiilor de îmbunătățire a proceselor de fabricație se încearcă asigurarea unui poluări minimale a mediului înconjurător în corelație cu tehnologiile utilizate.

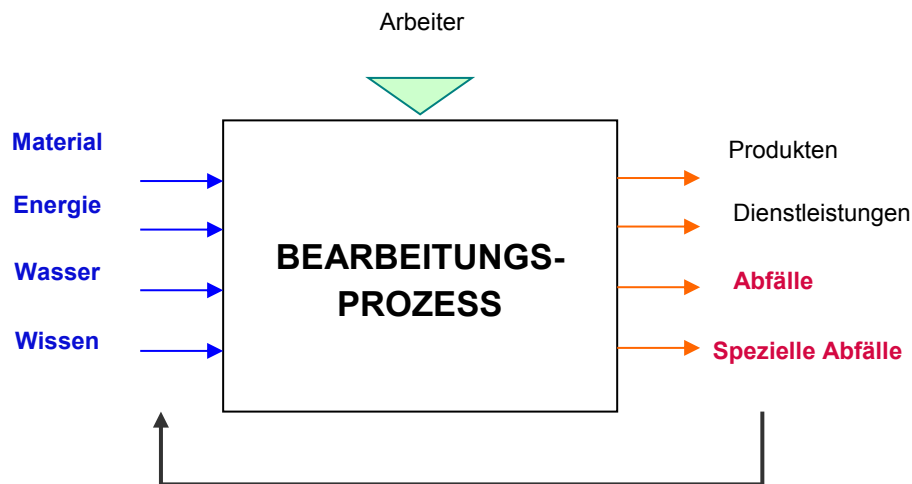


Abb. 5.1 Eingang- und Ausgangparameter / Parametrii de intrare și ieșire [ROS 00]

Von den zahlreichen Produktionsverfahren lasst sich diese Vorlesung auf den Zerspanung konzentrieren. Das Werkzeug, das Werkstück, die Prozessmaterialien und die Energie werden als Prozesseingang Variablen betrachtet. Einerseits ergibt der Arbeitsprozess ein Produkt, das die erfordernten Eigenschaften zeigt, die in Qualität, ökonomischer Leistungsfähigkeit und Recycling ausgedrückt werden. Andererseits ergibt der Prozess die Abfälle und Emissionen.

Din numeroasele procese de fabricație existente, cursul se concentrează în continuare asupra proceselor de așchiere. În acest caz scula, semifabricatul, materialele auxiliare ale procesului și energia sunt considerate variabile de intrare ale procesului. Pe de o parte, procesul de lucru conduce la obținerea unui produs cu caracteristici corespunzătoare, exprimate prin calitate, eficiență și reciclabilitate. Pe de altă parte în urma procesului rezultă, de asemenea, deșeuri și emisii.

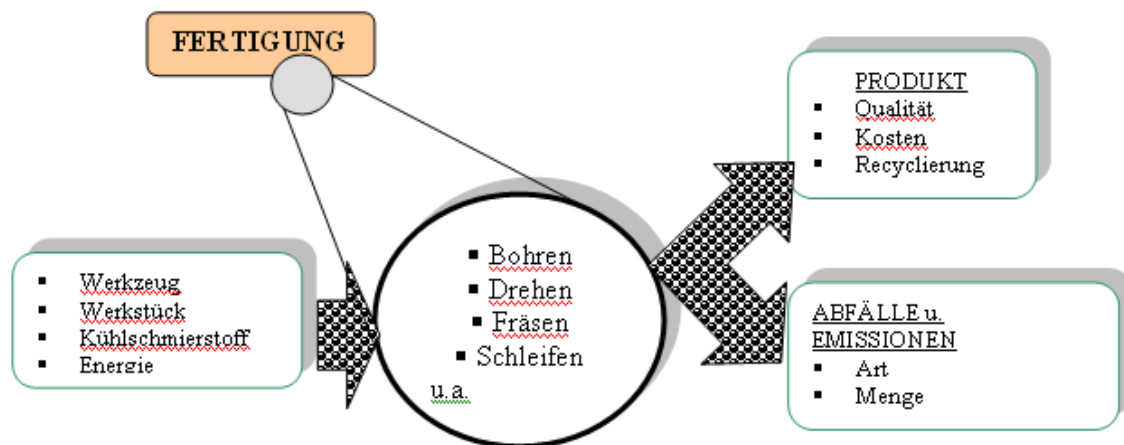


Abb. 5.2 Fertigungsprozess / Procesul de fabricație [FRA 08]

Im Maschinenbau heutzutage entstehen die größten Probleme als Ergebnis dem Gebrauch der

în prezent în construcția de mașini apar numeroase probleme legate de consumul de

Kühlschmierstoffen. Mit der Verwendung von Kühlschmierstoffe als Hilfsstoff in der Zerspantechnik sind die Kosten und Probleme der Vermeidung von Gesundheitsschädigungen und Umweltbelastungen verbunden.

Steigende Kosten für Abfallentsorgung jedoch zwingen jetzt alle Firmen, die Kühlschmierungsstrategien einzuführen, die angepasst werden, um ihrer eigenen Herstellungsstruktur zu entsprechen.

Analyse der Beschädigungsfaktoren im Bereich der Maschinenbauindustrie und dank den erhaltenen Ergebnissen, ermutigt man den Einsatz der modernen **umweltfreundlichen Spanmethoden** in der Praxis.

Beim Einsatz von HSS-Werkzeugen wurde früher vor allem eine Wasser-in-Öl-Emulsion oder Schneidöle verwendet. Bei der Verwendung von modernen Hartmetallwerkzeugen mit neuen Verschleißschutzschichten wird mit sehr hohen Schnittgeschwindigkeiten zerspant, was bewirkt, dass in der Schnittzone Temperaturen bis 900 C° auftreten.

Eingesetzte Kühlmittel würden, auf Grund der hohen Umfangsgeschwindigkeit der Schneide, nicht bis in die Schnittzone vordringen und somit nur die nicht im Eingriff befindlichen Schneiden kühlen. Die thermische Wechselbelastung der Scheiden würde verstärkt, was sich negativ auf die Standzeit auswirken würde. Deshalb geht der Trend in Richtung **Trockenbearbeitung**.

5.1 Trockenbearbeitung

Eine Lösungstechnologie bezüglich der Kühlschmierung, die Kosteneinsparungs-

lichide de aşchiere. Utilizarea lichidelor de ungere și răcire în procesele de aşchiere este corelată cu o serie de costuri și probleme legate de poluarea mediului și probleme de sănătate.

Costurile tot mai ridicate pentru tratarea deșeurilor obligă toate firmele să utilizeze acele lichide de aşchiere care corespund structurii de fabricație a companiilor respective.

Analiza factorilor poluanți în domeniul industriei construcțiilor de mașini și rezultatele obținute încurajează implementarea metodelor ecologice de aşchiere în practică.

În cazul utilizării sculelor din oțel rapid se utilizau emulsii pe bază de apă și ulei sau uleiuri de aşchiere. Odată cu utilizarea în practică a sculelor din carburi metalice cu acoperiri metalice rezistente la uzură este posibilă aşchieră cu viteze foarte mari, ceea ce face ca temperaturile în zona de aşchiere să ajungă până la 900°C.

Din cauza vitezelor periferice foarte mari ale tășurilor sculei, mediile de ungere și răcire nu pătrund până în zona de contact dintre sculă și semifabricat asigurând răcirea doar a muchiilor aşchietoare neantrenate în aşchiere. Solicitățile termice oscilante ale muchiilor aşchietoare se intensifică având un efect negativ asupra durabilității sculelor. Din acest motiv tendința este de implementare a **aşchierii uscate**.

5.1 Prelucrarea uscată (PU)

O tehnică care rezolvă problema lichidelor de aşchiere și rezolvă problema economiei

gelegenhaiten darstellt, ist die **Trockenbearbeitung**. Die Beseitigung oder die bedeutenden Verkleinerungen der Kühlschmiermittel beeinflussen alle Bestandteile eines Produktionssystems. Eine ausführliche Analyse und eine Anpassung der **Schnittparameter**, der **Werkzeuge**, der **Werkzeugmaschinen** und des **Umwelt** sind vorgeschrieben, um einen leistungsfähigen Prozess sicherzustellen und der Trockenbearbeitung erfolgreich zu ermöglichen.

Bei Verwendung thermisch isolierender Verschlesschutzschichten wird ein Großteil, der bei der Zerspanung entstehenden Wärme, über den Span abgeleitet. Für ein reibungsloses Entfernen der Späne wird oft Druckluft verwendet, die auch gekühlt sein kann. Unter ökologischen und wirtschaftlichen Gründen wird die Trockenbearbeitung zudem bevorzugt (siehe Diagramm).

costurilor asociate consumului acestora este **prelucrarea uscată**. Eliminarea sau deminuarea considerabilă a consumului de lichide de achiere influențează toate componentele sistemului de producție. O analiză detaliată i o alegere corectă a **parametrilor de achiere**, a **suclei**, a **mainii-unelte** i a **mediului de lucru** sunt necesare în prealabil pentru a putea desfura un process eficient i a face posibilă utilizarea prelucrării uscate.

n cazul utilizării sculelor cu acoperiri metalice termoizolante o mare parte din căldura generată în timpul procesului de achiere va fi dirijată spre achii. Pentru îndepărtarea fără frecare a achiilor se utilizează adesea aer comprimat, care poate fi de asemenea i rcit. Prelucrarea uscată este preferată din motive economice i ecologice.

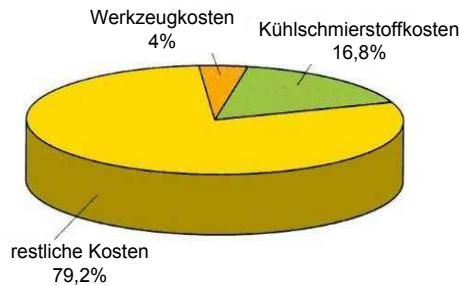


Abb. 5.3 Kostenanteile bei der Fertigung von Leichtmetallteilen / Distribuia costurilor de fabricaie [FRA

08]

| Vor- und Nachteile der Trocken- sowie Nassbearbeitung | |
|--|--|
| Vorteile | Nachteile |
| Trockenbearbeitung | |
| <ul style="list-style-type: none"> • keine Kosten für Kühlschmierstoff-Wartung / Pflege • keine Kosten für Kühlschmierstoff-Entsorgung • bei MMS-Technologie permanent unverbrauchter Schmierstoff an der Wirkstelle Werkzeug-Werkstück | <ul style="list-style-type: none"> • höhere thermische und mechanische Belastung des Werkzeugs • schlechter Spanbruch bzw. erschwerte Spanabfuhr • staubförmige Emissionen (verfahrensspezifische Absauganlagen) |
| Nassbearbeitung | |
| <ul style="list-style-type: none"> • geringe Prozesstemperaturen • guter Spänetransport • Korrosionsschutz der Werkstücke | <ul style="list-style-type: none"> • umwelt- und gesundheitsbelastende Kühlschmierstoff-Inhaltsstoffe • Emission von Kühlschmierstoff-Nebel / -Dampf • Wartung und Pflege der Kühlschmierstoffe (z.T. aufwendige Anlagen notwendig) |

Abb.5.4 Vorteile und Nachteile der Trocken- und Nassbearbeitung / Avantajele și dezavantajele prelucrării uscate și a aşchierii cu răcire convențională [SCH 00]

Einflussgrößen auf der Trockenbearbeitung

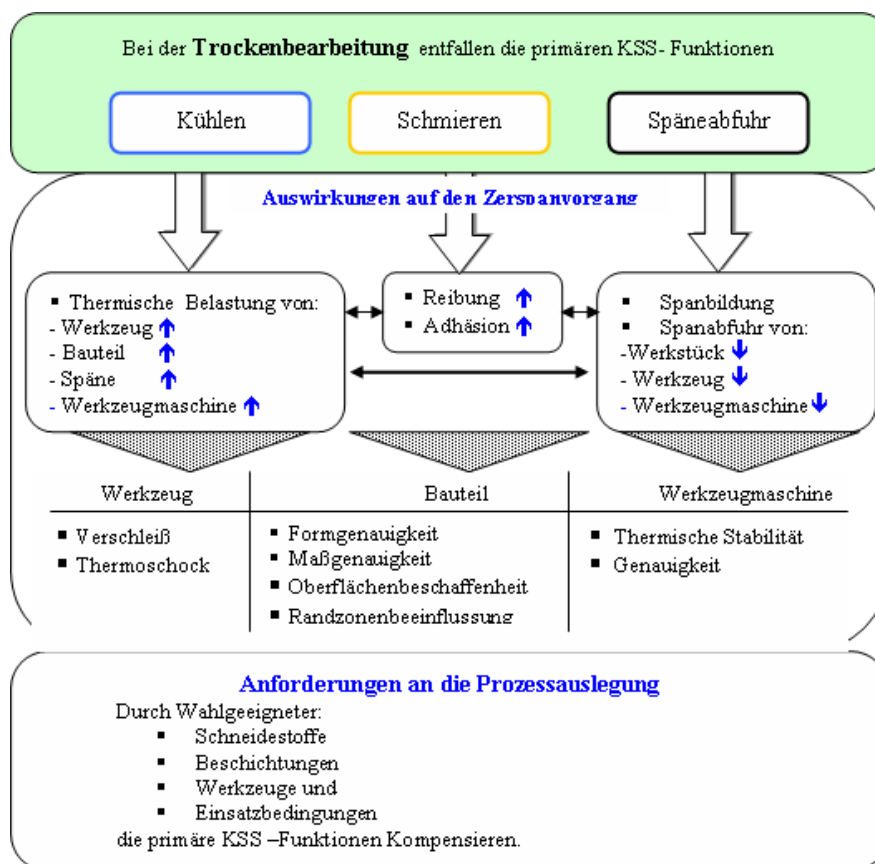




Abb.5.6 Technologische Voraussetzungen für Trockenbearbeitung / Premize tehnologice la aşchierea uscată [FRA 08]

Die Zielsetzung muss es sein, funktionsfähige Bauteile wirtschaftlich herzustellen. Es erfordert, dass in Abhängigkeit von Werkstoff, Geometrie, Anforderungen an Genauigkeit, Oberflächenausbildung sowie der durchzuführenden Bearbeitungsoperationen die Machbarkeit einer Trockenbearbeitung mit den zur Verfügung stehenden Werkzeugen und Werkzeugmaschinen zu prüfen.

Grundsätzlich kann die Trockenbearbeitung eingesetzt werden, wenn an die Genauigkeit der Bauteile keine so hohen Anforderungen gestellt werden. Dies gilt für die Vorarbeitung von Werkstücken, die zum Erlangen ihrer Endkontur und -genauigkeit noch einem weiteren Bearbeitungsschritt unterzogen werden müssen.

Der Werkstoff beeinflusst in Abhängigkeit von dem Bearbeitungsverfahren durch seine thermomechanischen Eigenschaften und seine Zerspanbarkeit in starkem Masse die Machbarkeit und die Wirtschaftlichkeit der Trockenbearbeitung. Von Vorteil sind eine geringe Wärmeleitfähigkeit,

Scopul prelucrării trebuie să fie fabricația unor componente funcționale. Este necesară verificarea posibilității realizării unor prelucrări uscate în funcție de: materialul semifabricatului, geometrie, cerințele de precizie, modul de generare a suprafeței și operațiile de prelucrare.

În principiu, prelucrarea uscată se poate implementa dacă în privința preciziei reperelor prelucrate nu se impun cerințe foarte mari. Acest lucru este valabil în cazul prelucrărilor preliminare ale semifabricatelor, care ulterior necesită etape de prelucrări de finisare pentru obținerea geometriei și a preciziei finale.

Materialul semifabricatului, prin proprietățile sale termomecanice și aşchiabilitate în funcție de procesul de prelucrare care se realizează, influențează în mare măsură realizarea și eficiența prelucrării uscate. Sunt avantajoase

eine hohe Wärmekapazität sowie eine hohe Dichte des Werkstoffes.

materialele cu conductibilitate termică scăzută și capacitate termică mare ca și cele cu o densitate mare a materialului.

Überwindung der Trockenbearbeitungsgrenzen

Die Ansatzpunkte zur Überwindung technologischer Grenzen in der Trockenbearbeitung stellen die Optimierung der Werkzeuge, der Einsatz einer Minimal- oder Mindermengenkühlschmiertechnik sowie Verfahrenssubstitution dar.

Depășirea limitelor așchierii uscate

Punctul de plecare în depășirea limitelor tehnologice ale prelucrării uscate este optimizarea sculelor, implementarea tehnicilor de așchiere cu ungere și răcire minimală ca și înlocuirea proceselor de prelucrare.

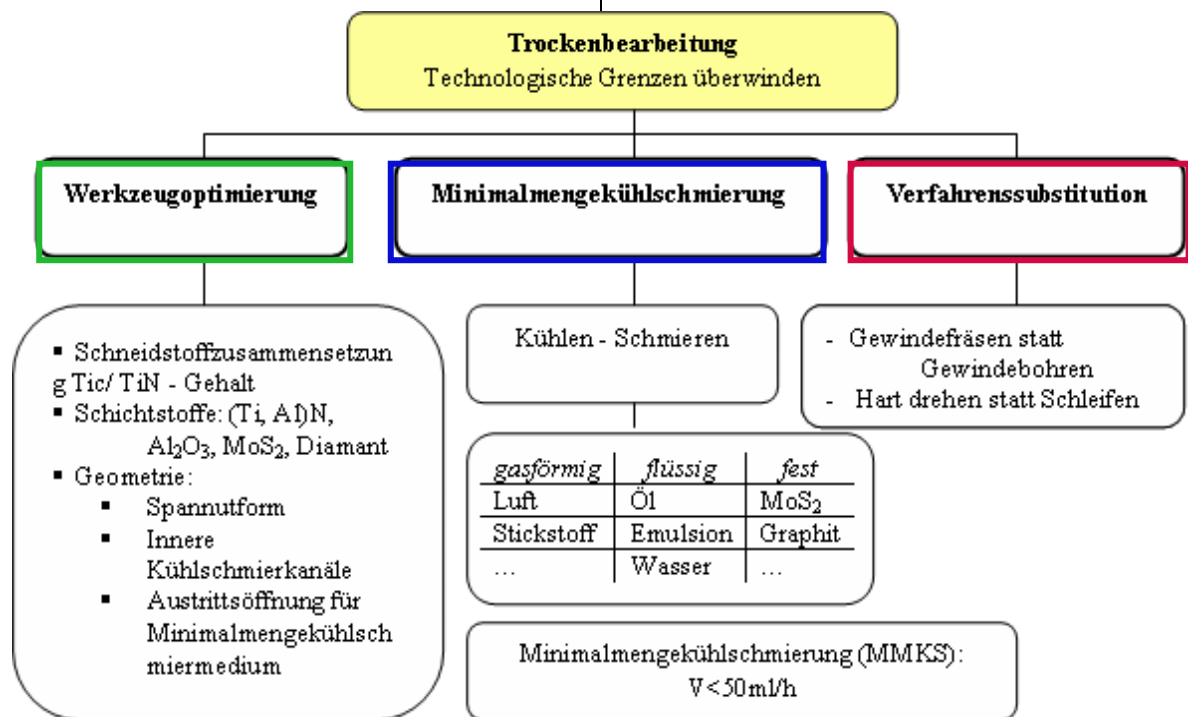


Abb. 5.8 Überwindung der technologischen Grenzen bei Trockenbearbeitung / Depășirea barierelor tehnologice la prelucrarea uscată [WAL 95]

5.2. Minimalmengenschmierung (MMS)

Grundlagen der Minimalmengekühlschmier-technik

Stand der Technik zeigt, dass einer vollständiger Verzicht auf Kühlschmierstoff für viele Zerspanungsprozesse nicht möglich ist. In solchen Fälle bietet sich häufig als Kompromiss die

5.2 Prelucrarea cu ungere și răcire minimală (PURM)

Noțiuni de bază la prelucrarea cu ungere și răcire minimală

Studiile în domeniu arată ca o eliminare completă a lichidelor de așchiere nu este posibilă în cazul multor procese de așchiere. În

Minimalmengekühlschmierung an.

Wenn eine reine Trockenbearbeitung technologisch nicht zu realisieren ist, bietet die Minimalmengeschmierung in der Regel eine Alternative an (**Abb. 5.9**). In vielen Bearbeitungsprozessen ist die Minimalkühlschmier-technik der Schlüssel zur erfolgreichen Trockenbearbeitung. Von Minimalmengeschmierung als Quasi-Trockenbearbeitung spricht man bei einem kleinen Schmiermittelverbrauch (**0-150 ml pro Stunde**).

Schmiermittel wird in **Druckluft** gelöst und gelangt als Aerosol an das Werkzeug/Werkstück auch bei höheren Umfangsgeschwindigkeiten. Von allen anderen beeinflussen seine einzelnen Bestandteile (**die Kühlschmiermittel, die Parametereinstellungen, die Werkzeuge und die Werkzeugmaschinen**) den Prozess.

Alle Bestandteile im MMKST System müssen sehr sorgfältig koordiniert werden, um das gewünschte Resultat (**technologisch und ökonomisch optimal**) zu erzielen.

asemenea situații soluția de compromis este **prelucrarea cu ungere și răcire minimală**.

În cazurile în care aşchierea uscată pură nu este realizabilă din punct de vedere tehnologic, prelucrarea cu ungere și răcire minimală reprezintă o alternativă (**Fig. 5.9**). Așadar la multe procese de prelucrare ungerea și răcirea minimală reprezintă elementul cheie spre prelucrarea uscată. Se vorbește de ungere și răcire minimală sau prelucrare cvasi-uscată la un consum redus de lichid de aşchiere (**0-150 ml/oră**).

Lichidul de aşchiere este pulverizat cu ajutorul aerului comprimat și dirijat ca aerosol către zona de contact sculă/semifabricat chiar și în cazul vitezelor periferice mari. În cea mai mare măsură influențează parametrii de proces (**lichidele de aşchiere, reglarea parametrilor de aşchiere, sculele și mașina-unealtă**). Toate componentele unui sistem de ungere și răcire minimală trebuie să fie atent coordonate pentru a obține rezultatele scontate (**optime din punct de vedere tehnologic și economic**).

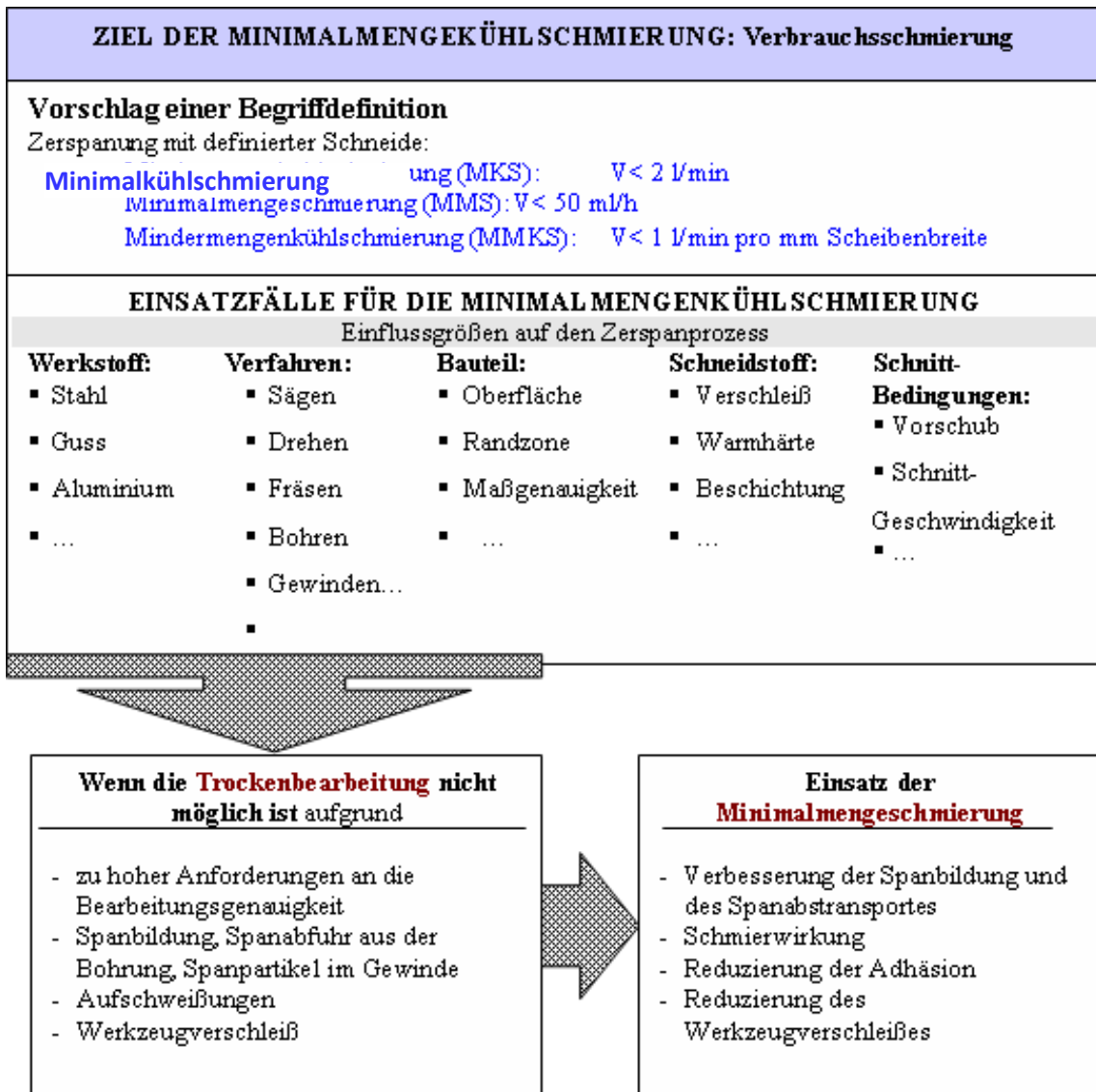


Abb. 5.9 Einsatzfälle der MMST / Implementarea MMST [FRA 08]

Während beim konventionellen Kühlschmierstoffeinsatz die Bearbeitungsstelle **großflächig überflutet** wird, ist es bei MMS das Ziel, die Kontaktstelle Werkzeug-Werkstück mit einer **geringen Menge** KSS möglichst verlustfrei zu erreichen.

5.2.1 MMKST Philosophie

Die Philosophie der Minimalmengenschmierung - auch oft bezeichnet als **Minimalmengenkühlschmierung** oder **Sprühnebelschmierung** - kann beschrieben werden als eine Abkehr von dem Grundsatz: "*Viel hilft*

În timp ce la procesele de aşchiere cu ungere și răcire convențională **zona de aşchiere** este **abundent răcită**, la ungerea și răcirea minimală scopul este de a asigura zona de contact sculă-semifabricat cu o **cantitate minimă** de lichid de aşchiere, fără pierderi dacă este posibil.

5.2.1 Filozofia PURM

Filozofia prelucrării cu ungere minimală (PUM), adesea definită și ca **prelucrare cu cantitate minimală de lichid de aşchiere** sau ungere **cu pulverizare de lichid de**

viel" hin zu der Erkenntnis: "Soviel wie nötig, nicht mehr als notwendig".

Wenn Öle als das flüssige Mittel benutzt werden, ist das Hauptgewicht auf ihren guten **Schmierungseigenschaften**. Ihre Funktion ist, die Reibung und die Adhäsion zwischen dem Werkstück, dem Span und dem Werkzeug zu verringern.

Infolgedessen wird die Menge von Reibung erzeugten Hitze auch verringert und deswegen werden das Werkzeug und das Werkstück zu weniger Hitze ausgesetzt, als sie würden sein, wenn der Bearbeitungsprozess vollständig trocken durchgeführt war.

aşchiere, poate fi descrisă ca o renunțare la principiul "Mult ajută mult" și adoptarea principiului " Atât cât este necesar, nu mai mult decât trebuie".

Când se utilizează **uleiurile** ca medii de aşchiere, importante sunt **proprietățile de ungere** ale acestora. Principala funcție a acestora este de reducere a frecării între sculă-semifabricat și aşchii.

Ca urmare se reduce și cantitatea de căldură generată ca urmare a frecării și, implicit, este preluată de sculă și semifabricat mai puțină căldură decât în cazul prelucrării complet uscate.

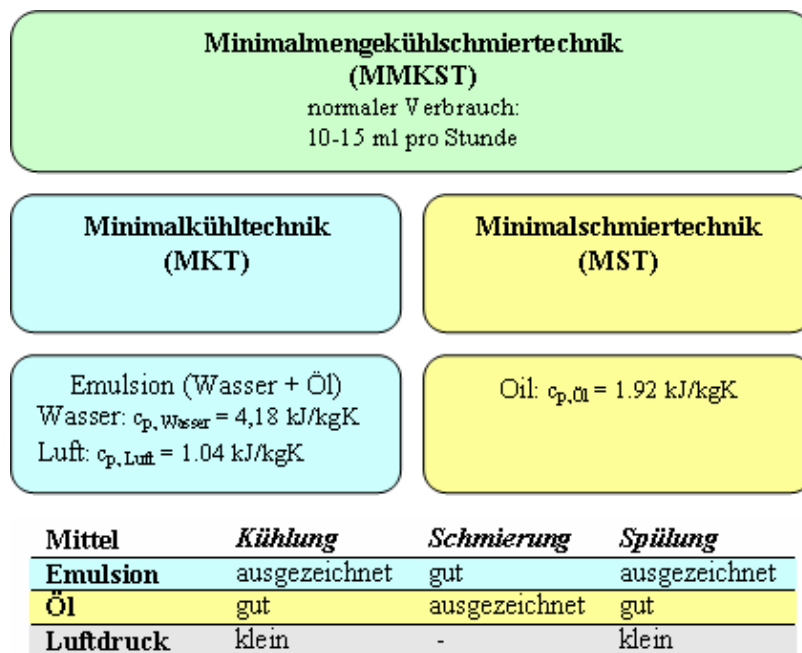


Abb.5.10 Ökologische Techniken / Metode ecologice de prelucrare [MUL 98]

5.2.2 Definitionen der MMKST

Die Emulsionen und das Wasser werden seltener als Öl im Minimalkühlschmiertechnik verwendet. Allgemeines sprechend, werden sie benutzt, nur wenn die Werkzeug- oder die Teilabkühlung leistungsfähiger als mit Öl möglich ist.

2 Definiția PURM

Emulsiile și apa sunt mai rar utilizate ca medii de aşchiere la prelucrarea cu ungere și răcire minimală. În general acestea se utilizează numai când răcirea piesei și a sculei sunt mai eficiente decât cu ulei.

Die Prozesse, in denen die Emulsion, das Wasser oder die Luft (kalte oder flüssige Luft) benutzt werden, gekennzeichnet als Minimal Kühltechnik (MKT), da die Emulsion ein beträchtlich niedriger Schmierungs niveau als Öl liefert, dennoch mehr als Wasser und Luft, die keine Schmierung an allen liefern.

Im Gegensatz zu MST ist MKT bis jetzt selten verwendet gewesen, und folglich ist MKT ein großer nicht erforschter Bestandteil der MKST.

Mit Hilfe **moderner Dosiertechnik** wird die eingesetzte Schmierstoffmenge auf das unbedingt notwendige Maß reduziert. Sie wird in sehr kleinen Mengen der Wirkstelle direkt oder fein zerstäubt in einem Pressluftstrom mit Hilfe von Düsensystemen zugeführt. Auf dem Werkzeug- oder dem Werkstück - wird ein feiner Schmiermittelfilm gebildet.

Ziel ist es, durch **effiziente Schmierung, die Reibung** und somit die **Wärmeentwicklung zu minimieren**. Die Minimalmengenschmierung ist eine **Verlust- oder Verbrauchsschmierung**, das heißt: der eingesetzte Kühlschmierstoff wird während der Bearbeitung nahezu vollständig verdampft.

Die an der Wirkstelle entstehende Wärme wird dem System durch die kühlende Wirkung des Pressluftstromes und durch die Verdampfung des Schmiermittels weitgehend entzogen.

Im Vergleich zur Verwendung herkömmlicher Kühlschmierstofföle und Emulsionen führt die nahezu reststofffreie Verflüchtigung der verwendeten Medien im Bearbeitungsprozess zu einer Reihe von **ökologischen und ökonomischen Vorteilen** der MST. Das **Sonderabfallaufkommen** wird **vermieden** und **Kosten** für ein Kühlschmierstoffshandling **entfallen**.

Die folgende Aufzählung gliedert die **Vorteile**:

Procesele în care se utilizează emulsiile, apa sau aerul ca medii de aşchiere sunt cunoscute și sub denumirea de prelucrare cu răcire minimală (PRM). Emulsia asigură un nivel considerabil mai mic de ungere decât uleiul, dar totuși mai mare decât apa și aerul care nu asigură efectul de răcire.

În comparație cu PUM, PRM este până în prezent mai puțin utilizată, fiind așadar o componentă importantă și insuficient analizată a PURM.

Cu ajutorul **sistemelor moderne de dozare** se reduce în mod considerabil cantitatea de lichid de aşchiere utilizată în timpul proceselor de aşchiere. Mediile de aşchiere sunt dozate în cantități extrem de mici, direct sau pulverizate fin în forma unui jet de ceață cu ajutorul sistemelor de dozare, și dirijate înspre zona de aşchiere. Astfel se formează pe sculă sau pe semifabricat un film subțire de lichid de aşchiere.

Scopul este ca printr-o **ungere eficientă** să se reducă **frecările** și astfel să se **diminueze** și **cantitatea de căldură** dezvoltată în timpul procesului de aşchiere. Ungerea minimală este o ungere cu pierdere sau cu consum total al lichidului de aşchiere. Asta înseamnă că întreaga cantitate de lichid de aşchiere utilizată se consumă prin evaporare. Căldura care rezultă în zona de aşchiere este transferată prin jetul de aer sub presiune și prin evaporarea lichidului de aşchiere.

Comparativ cu metoda convențională de ungere și racire cu uleiuri și emulsii, volatilizarea aproape completă a mediului de aşchiere utilizat în timpul procesului de prelucrare conduce la o serie de **avantaje economice și ecologice** ale PUM. **Cheltuielile pentru tratarea deșeurilor** sunt **evitate**, iar **costurile** pentru manipularea lichidelor de aşchiere uzate sunt **eliminate**.

Avantajele sunt enumerate în continuare:

- keine Entsorgung verbrauchter Kühlschmierstoffe,
- problemloseres Recycling und gesteigerter Wiederverkaufswert der Späne, da kaum anhaftendes Öl,
- es entstehen keine Kosten für die Pflege und Überwachung der Kühlschmierstoffsbäder,
- es ist in der Regel keine Reinigung (Entfettung etc.) der Werkstücke notwendig.

Das heißt:

- keine Entsorgung verschmutzter Reiniger,
- Einsparung der Anlagentechnik zur Entfettung,
- Optimierung des Fertigungsablaufes (Einsparung von Zeit und Arbeitskraft),
- Erhöhung der Werkzeugstandzeiten um ca. 10%.

5.2.3 Dosiersysteme

Vollstrahlkühlung

Die **Hauptfunktionen** eines Kühlschmiermittels in der Vollstrahlkühlungsfertigung sind **Abkühlung**, **Schmierung** und **Spänentfernung**. Als Regel werden **Emulsionen** oder **Öle** im Allgemeinen benutzt, abhängig von der betroffenen Herstellungsverfahren- und Fertigungsaufgabe.

Die **Wärmeübertragungseigenschaften** der **Emulsionsgruppen** sind ausgezeichnet, wegen ihres hohen Wassergehalts. Gerade die **Öle** übertreffen, wenn ein hoher **Schmierfähigkeitsgrad** angefordert wird. Die **beiden Mittel** garantieren leistungsfähiger **Spantransport**. Wenn komprimierte Luft statt einem Kühlschmiermittel benutzt wird, ist der Schmierungsvorteil der Flüssigkeit verloren.

- nu se mai face tratarea lichidelor de aşchiere uzate,
- reciclarea fără probleme și creșterea nivelului de valorificare al aşchiilor, care nu mai sunt aproape deloc impregnate cu ulei,
- sunt eliminate costurile cu alimentarea și supravegherea rezervoarelor cu lichide de aşchiere ale mașinilor-unelte,
- nu mai este necesară curățarea (degresarea) pieselor prelucrate.

Alte avantaje secundare:

- nu se mai face tratarea soluțiilor de curățare,
- economii din eliminarea instalațiilor de degresare,
- optimizarea procesului de fabricație (economie de timp și forță de muncă),
- creșterea durabilității sculelor aşchietoare cu aproximativ 10%.

.2.3 Sisteme de dozare

Răcire convențională cu jet continuu

Principalele funcții ale lichidelor de aşchiere în cazul metodei convenționale de ungere și răcire sunt răcirea, ungerea și transportul aşchiilor. De regulă se folosesc emulsii și uleiuri, în funcție de procesul de fabricație la care se utilizează și în funcție de procedeul de prelucrare.

Proprietățile de preluare a căldurii ale diferitelor tipuri de **emusii** sunt foarte bune datorită conținutului mare de apă. Se folosesc **uleiuri de aşchiere** atunci când sunt necesare caracteristici mai bune de **ungere**. Ambele medii de aşchiere asigură un **transport eficient al aşchiilor**. Utilizarea aerului comprimat în locul lichidelor de aşchiere conduce la pierderea efectului de ungere.

-
-

Minimal Kühlschmierung

Beim MKST werden die flüssigen Mittel zum **Werkzeug** und/oder zum **Bearbeitungspunkt** in den kleinen Quantitäten eingezogen.

Dieses wird **mit** oder **ohne** die Unterstützung eines Transportmittels, z.B. Luft, getan. Im Fall der so genannten "airless" Systeme, liefert eine Pumpe das Werkzeug mit dem Mittel, normalerweise Öl, in Form einer schnellen Reihenfolge der präzisionsgemessenen Tröpfchen.

Im Fall vom Druckluftsysteme wird das Mittel in einer Düse atomisiert, um extrem feine Tröpfchen zu bilden, die dann zum Bearbeitungspunkt in der Form eines Aerosolsprays eingezogen werden. Die Geräte sind einfach und kompakt aufgebaut. In der Folge sind die Wirkprinzipien der verschiedenen Dosiersysteme kurz dargelegt.

▪ Außen Dosiersysteme

Der Flussmittel wird über die **Düsen** (die separat in den Maschinebereich gepasst werden) geleitet. Das Aerosol wird auf das Werkzeug von der Außenseite über **eine oder mehrere Düsen** gesprüht.

Die **Zahl und die Richtung** den Düsen in Verbindung mit der Strahlbildung, das von der Düsenanordnung abhängt, spielen eine wichtige Rolle in der Ergebnisqualität.

Diese Technik wird beim **Sägen, Stirn-** und **Planfräsen** und **Drehen** verwendet. Im Fall der Prozesse wie **Bohrung, Reiben** oder **Senken**, ist der außen Dosiersysteme nur bis Länge/Durchmesser zu den Verhältnissen von $L/d < 3$ angebracht.

Die **Außendosiersysteme** können auch **Probleme** erzeugen, im Fall der Bearbeitungsaufgaben, die den Gebrauch der mehrfachen Werkzeuge mit breiten unterschiedlichen Längen und

Ungerea și răcirea minimală

În cazul tehnicii de aşchiere cu ungere și răcire minimală mediile lichide de aşchiere sunt dirijate fie spre **sculă** fie spre zona de **prelucrare** în cantități reduse. Acest lucru se face **cu** sau **fără** ajutorul unui mediu de transport (de ex. aer). Sistemele de dozare fără aer dispun de o pompă care dozează mediul de aşchiere (de obicei ulei) pe sculă, sub forma unei succesiuni rapide de picături mici de dimensiuni constante.

În cazul sistemelor de dozare cu aer comprimat, lichidul de aşchiere este atomizat printr-o duză, pentru a crea picături extrem de fine, care sunt dirijate apoi spre zona de aşchiere sub forma unui jet de aerosol. Asemenea sisteme au o construcție simplă și compactă. În continuare sunt prezentate principiile de funcționare ale diferitelor sisteme de dozare.

• Sisteme de dozare cu alimentare externă

Mediul de aşchiere lichid este dirijat prin **duze** care sunt amplasate în zona de lucru a mașinii-unelte. Jetul de aerosol ajunge pe sculă din exterior prin **una sau mai multe duze**.

Numărul și direcția duzelor corelate cu modul de formare al jetului de aerosol (care depinde de poziționarea duzelor) joacă un rol important în ceea ce privește calitatea rezultatelor prelucrării.

Acest tip de sisteme se aplică la procesele de **debitare, frezare plană, frezare frontală și strunjire**. În cazul unor procese ca **găurire, alezare** sau **lamare**, sistemele de dozare cu alimentare externă sunt recomandate pentru prelucrarea alezajelor scurte la care $L/d < 3$.

Sistemul de dozare cu alimentare externă poate ridica și o serie de **probleme** în cazul

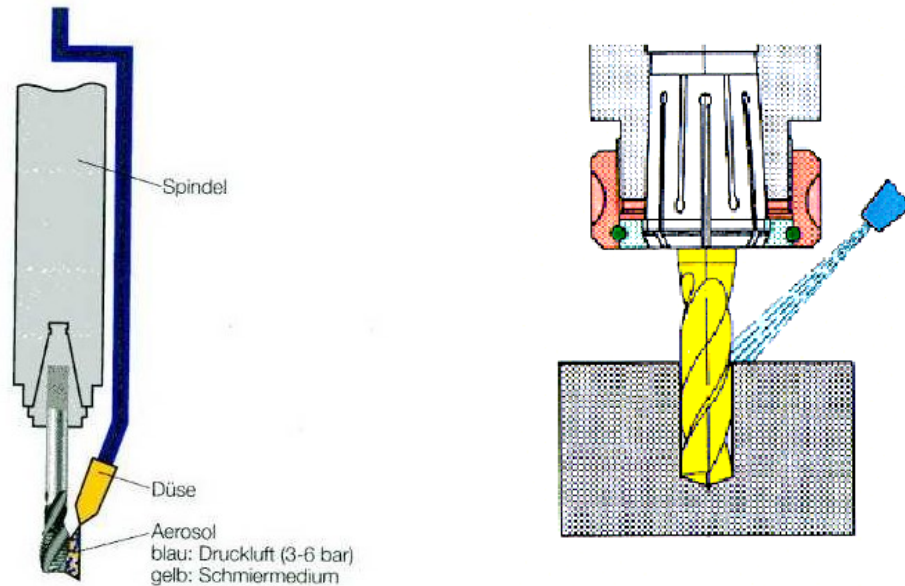


Abb. 5.11. Dosiersystem mit externer Schmierung / Sistem de dozare cu alimentare externă [EIS 97]

▪ Innen Dosiersysteme

Ein Innendosiersystem über Spindel und Werkzeug ist bei der Bohrung, dem Reiben und Senken mit größeren l/d Verhältnissen vorteilhaft, so lange das Mittel ständig nah an der Schneide vorhanden ist, unabhängig von der Werkzeugposition.

Aus ähnlichen Gründen trifft dieses auch auf Werkzeuge mit sehr unterschiedlichen Maßen zu. In der tiefen Bohrung bildet die große l/d Zuteilung einen internen MQL Dosiersystem unentbehrlich.

Es gibt zusätzliche Vorteile eines internen MQL Dosiersystem bestehen dadurch, dass die Düsenpositionierungsfehler beseitigt werden und die Integration der MQL Vorrichtung innerhalb der Maschineumfeld bedeutet, dass der Bearbeitungsbereich nicht durch die Dosiersystemsrohre durcheinander geworfen wird.

• Systeme de dozare cu alimentare internă

Un sistem de dozare cu alimentare internă prin ax și corpul sculei este avantajos în cazul prelucrării alezajelor cu lungime mai mare ($L/d > 3$) prin găurire, alezare sau lamare, atâta timp cât lichidul de aşchiere ajunge constant pe tăişurile sculei indiferent de poziția acesteia.

Acest lucru se întâmplă și în cazul sculelor cu dimensiuni foarte diferite. În cazul prelucrării găurilor adânci, raportul L/D foarte mare face ca utilizarea unui sistem de dozare cu alimentare internă să fie indispensabilă.

Acest tip de sisteme de dozare are și alte avantaje suplimentare, constând în eliminarea eventualelor erori de poziționare a duzelor, respectiv din integrarea echipamentelor de ungere și răcire minimă în perimetrul mașinii astfel încât în zona de lucru să nu existe furtunuri ale sistemului de dozare.

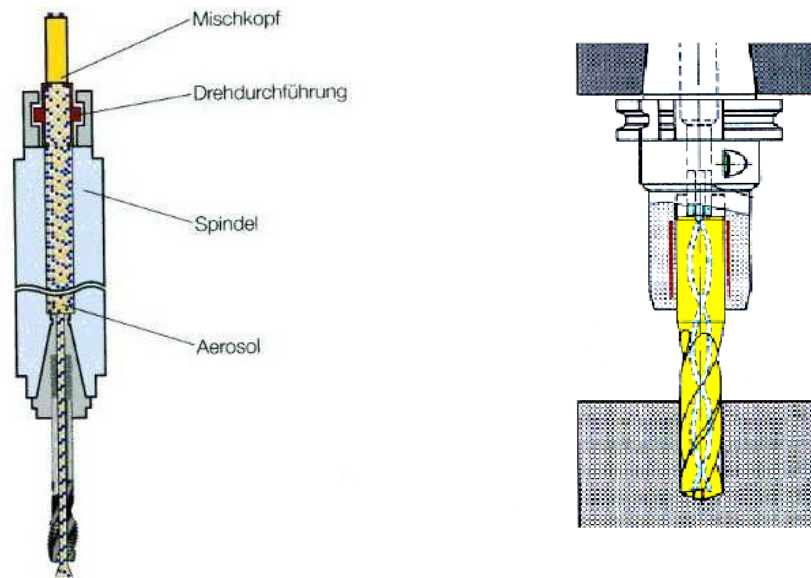


Abb. 5.12. Dosiersystem mit interner Schmierung / Sistem de dozare cu alimentare internă [EIS 97]

1. Niederdruck-Sprühsystem

Nach dem Injektor-Prinzip arbeitende Sprühdüsen werden mit sehr geringen **Luftdrücken, <1 bar**, beschickt. Der Schmierstoff wird aufgrund der Düsenform angesaugt und tröpfchenweise zerstäubt.

1. Sistem de pulverizare cu joasă presiune

În acest caz duzele de pulverizare care funcționează conform principiului injectorului sunt alimentare cu o **presiune foarte mică a aerului (<1 bar)**. Mediul de aşchiere este absorbit datorită formei duzelor și pulverizat sub formă de picături.

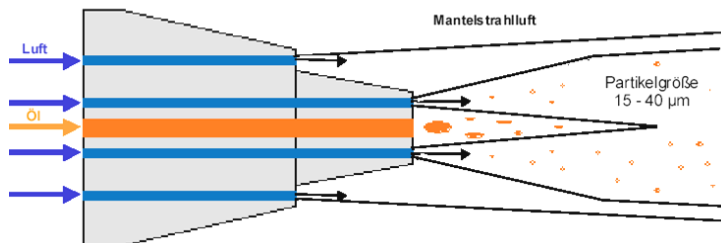


Abb.5.13 Niederdruck – Sprühsystem / Sistem de dozare cu presiune joasă [FRA 08]

2. Überdruck-Sprühsysteme

Die Überdruck-Sprühsysteme arbeiten mit Systemdrücken von ca. **4-6 bar**. Zur Förderung des Schmierstoffes im System werden zwei Techniken angewendet:

- Förderung des Schmiermittels durch einen mit **Druckluft** beaufschlagten Bevorratungsbehälter.
- Förderung des Schmiermittels durch die Verwendung von **Dosierpumpen**, z.B. **Kolbenpumpen**.

2. Sisteme de dozare cu presiune înaltă

Sistemele de dozare cu suprapresiune funcționează la presiuni de circa **4-6 bar**. Pentru alimentarea sistemului cu lichid de aşchiere se utilizează două metode:

- Alimentarea lichidului de aşchiere dintr-un rezervor de stocare cu ajutorul **aerului comprimat**.
- Alimentarea lichidului de aşchiere cu ajutorul unor pompe de dozare (de ex. **pompe cu piston**).

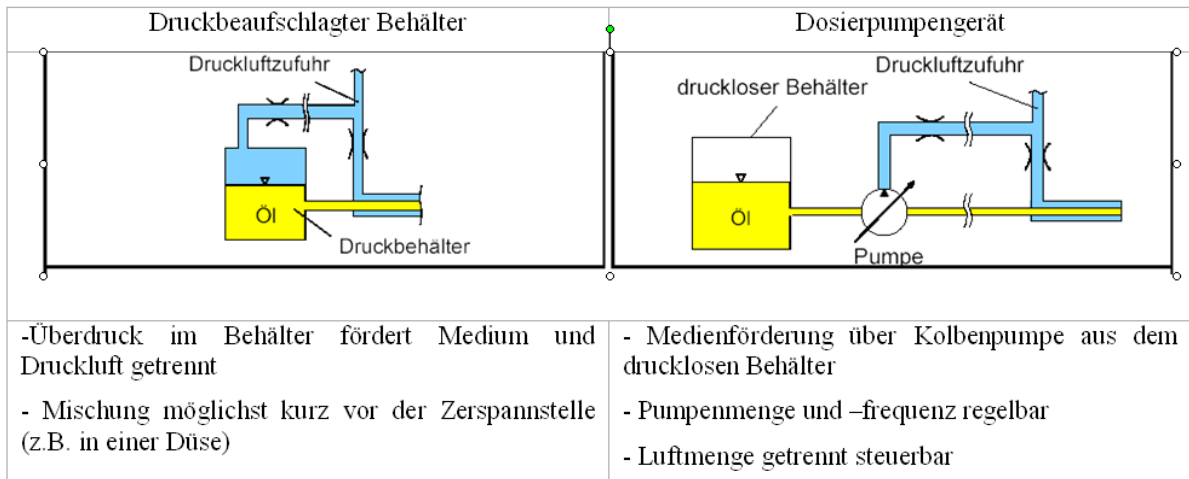


Abb.5.14 Überdruck-Sprühsysteme [a], [b] / Sistem de dozare cu suprapresiune [EIS 97]

In Bezug auf internes MQL Dosiersysteme wird eine weitere Unterscheidung zwischen so genannte 1-Zuführung und 2-Zuführungen Systeme gezeichnet. Wenn 1-Führung System (**Abb.5.16**) verwendet wird, wird die Aerosolmischung außerhalb der Spindel gebildet und die Einfachkanäle dienen als ein Zufuhrweg für die Mischung.

Referitor la sistemele de dozare cu alimentare internă se face încă o distincție între sistemele cu un canal, respectiv cu două canale de alimentare. Când se utilizează un sistem cu un singur canal de alimentare (**Fig. 5.16**), amestecul de aerosol se formează în exteriorul dispozitivului, iar canalul de alimentare servește drept cale de alimentare pentru amestec.

Axiale Mischung, bzw. Zuführung von Luft und Schmierstoff

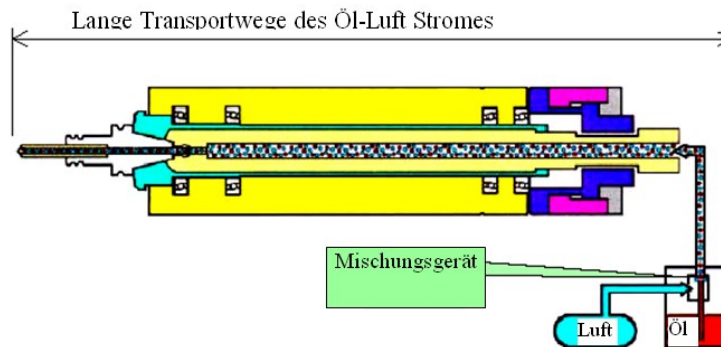


Abb.5.16 System mit axiale Mischung / Sistem de dozare cu amestecare axială [EIS 97]

Zu beachten ist bei diesem Verfahren, dass die Vermischung von Luft- und Schmiermittelstrom möglichst unmittelbar vor Eintritt in die Düse erfolgt, um ein gleichmäßiges Sprühbild garantieren zu können. Lange Transportwege des Gemischstromes können zu Ungleichmäßigkeiten im Sprühbild führen.

La acest tip de procese trebuie avut în vedere că amestecul fluxurilor de aer și de lichid de aşchiere să se realizeze imediat înaintea intrării în duze, astfel încât să se poată garanta o formare uniformă a jetului de aerosol. O lungime mare a canalelor de transport al fluxului de amestec (aer-lichid de aşchiere)

poate să conducă la neuniformități în formarea jetului de aerosol.

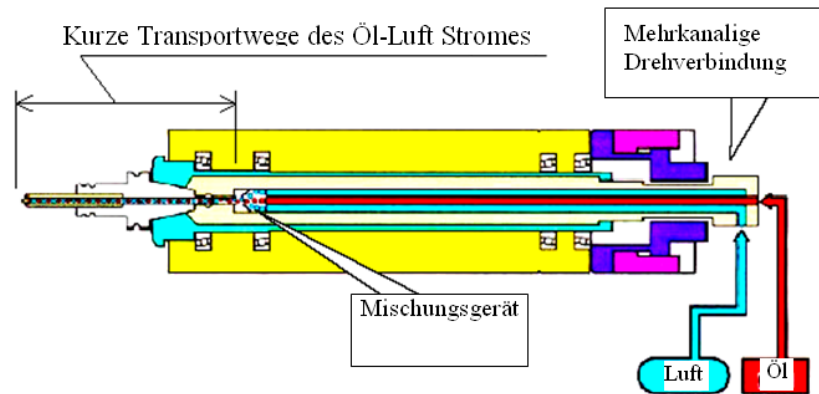


Abb.5.17 System mit koaxiale Mischung / Sistem de dozare cu alimentare coaxială [EIS 97]

Im Fall von 2 Zuführungen Systemen (Abb.5.17), werden Öl und Luft separat durch die Spindel eingezogen. Das Schmiermittel und die Luft werden in zwei koaxial angeordneten, d.h. ineinander geschobenen Zuführungsschläuchen zum Düsensystem geleitet.

Die Luft-Öl Mischung wird dann direkt vor dem Werkzeug produziert. Die Hauptanforderung in jeder dieser Veränderungen ist, dass eine genügende Quantität des Mittels am Bearbeitungspunkt vorhanden ist, wenn der Zerspanprozess anfängt.

Die **Vorteile** der inneren Spindel Mischungsmethode sind:

- Weil der Abstand von der Spindelumdrehung kurz ist, ist die Entladung Antwort von der Werkzeugspitze gut,
- Weil die Flüssigkeit durch die konstante Volumenpumpe fließen kann, ist es einfach, die Entladungsquantität von KSS zu steuern. Die Schmiermittelvoreinstellungen für jedes Werkzeug sind vorhanden,
- Weil größere Tröpfchen leicht gebracht werden können, wird weniger entgehender Nebel erzeugt,

În cazul sistemelor de dozare cu două canale de alimentare (Fig. 5.17) uleiul de aşchiere și aerul comprimat sunt dirijate separat prin dispozitiv. Lichidul de aşchiere și aerul comprimat sunt alimentate prin două furtunuri dispuse coaxial (unul în altul) și dirijate astfel spre zona de prelucrare.

Amestecul aer-ulei de aşchiere este realizat direct înainte de a intra în contact cu scula. Cerința principală este ca o cantitate suficientă de lichid de aşchiere să ajungă în punctul de prelucrare când procesul de aşchiere începe.

Avantajele metodei de ungere și răcire internă sunt:

- Pentru că distanța față de axa de rotație a sculei este mică, descărcarea pe vârfului sculei este bună.
- Pentru că lichidul de aşchiere poate curge prin pompă cu volum constant este ușor de controlat cantitatea de lichid de aşchiere dispersată. Presetări ale volumului lichidelor de aşchiere dozate sunt disponibile.
- Pentru că picăturile de dimensiuni mai mari pot fi utilizate mai ușor, o mică parte a ceții formate (aerosol) este neutilizată în timpul prelucrării.

- Es ist einfach zwischen MKS und herkömmliches Kühlmittel zu schalten. Die Lagerspindel braucht nicht ersetzt werden.

5.3 Kühlschmierstoffe

Gebrauch von Kühlschmierflüssigkeiten erhöht die **Werkzeugstandzeit**, trägt zu einer **ökonomischeren Schnittgeschwindigkeit** bei und verbessert im Allgemeinen die **Leistungsfähigkeit** der Produktionssysteme.

Wegen der Vielfältigkeit der **Umweltbelastungen**, den die Kühlschmierstoffe (flüssige Abfälle) auf Menschgesundheit und die Umwelt bewirken, ist in der modernen Produktion eine **zunehmende Aufmerksamkeit** zum sorgfältig Vorwählen leistungsfähige Ausschnittflüssigkeiten gewesen.

Außer den üblichen **tribologischen Anforderungen** müssen die Kühlschmiermittel den **Anforderungen des Umweltschutzes** gerecht werden.

Die **Entsorgung** verbrauchter Kühlschmierstoffe verursacht hohe Kosten. Die durch den Kühlschmierstoff verursachten Kosten gliedern sich auf in:

- Anschaffungskosten (KSS - Konzentrat und Wasser; Lagerhaltung),
- Entsorgungskosten (inklusive Abfallabgabe),
- Aufwendungen für Peripherie-Geräte (Zuleitungen, Pumpen etc.) sowie
- Kosten für Wartung, Pflege und Personal

Die **Kostenreduktion** ist möglich durch einen optimierten Kühlschmierstoffeinsatz: dieser kann mit Hilfe abfallarmer Produktionsverfahren, wie der Anwendung der Minimalmengen Kühlschmierung realisiert werden

- Se poate trece ușor la ungerea și răcirea minimală de la metodele convenționale, fără a fi necesară schimbarea axului principal.

5.3 Lichide de aşchiere

Utilizarea lichidelor de aşchiere conduce la **creșterea durabilității sculelor**, permite folosirea unor **viteze de aşchiere economice** și îmbunătățește în general **performanțele** sistemelor de producție.

Din cauza numeroaselor și diverselor **probleme de mediu** pe care lichidele de aşchiere (deșeuri lichide) le cauzează asupra sănătății oamenilor și asupra mediului înconjurător, în cadrul metodelor de fabricație moderne se acordă o **atenție tot mai sporită** alegerii cu grijă a unor lichide de aşchiere performante.

În afara **cerințelor tribologice** obișnuite, lichidele de aşchiere trebuie să corespundă și **cerințelor legate de protecția mediului înconjurător**.

Tratarea lichidelor de aşchiere uzate cauzează costuri suplimentare semnificative. Acestea se pot clasifica astfel:

- Costuri de achiziție (medii de aşchiere concentrate, apă, depozitare/stocare)
- Costuri de tratare (inclusiv livrarea deșeurilor)
- Cheltuieli pentru echipamente auxiliare periferice (furtunuri, pompe) ca și
- Costuri de întreținere, îngrijire și cu personalul.

Reducerea acestor costuri este posibilă printr-o utilizare optimizată a lichidelor de aşchiere, care se poate realiza cu ajutorul proceselor de fabricație ecologice (generatoare de cantități reduse de deșeuri) și a tehnicilor de ungere și răcire minimală.

5.3.1 Kühlschmierstoffe für die Minimalmenge Kühlschmierung

Verschiedene Probleme werden mit dem Gebrauch von Kühlschmierstoffe angeschlossen. Die Aufmerksamkeit wird weiter auf den **ökologischen und ökonomischen Aspekten** des Verwendens der Ausschnittflüssigkeiten und auf dem **Kontakt** mit ihnen am Arbeitsplatz gerichtet.

Die Kühlschmierstoffe haben nach Art des Zerspanprozesses (in Abhängigkeit von den Bearbeitungsbedingungen, den Schneidstoffen und den bearbeitenden Werkstoffen) **2 Hauptaufgaben**:

- Reibungsverminderung zwischen Werkzeug und Werkstück, beziehungsweise zwischen Werkzeug und Späne (**Schmierung**),
- Wärmeabfuhr aus Werkstück, Werkzeug und Span (**Kühlung**)

Weitere Aufgaben sind die Spanabfuhr (**Spanspüllung**) und der **Korrosionsschutz**, der besonders bei wassermischbaren Kühlschmierstoffen eine große Rolle spielt.

5.3.2 Komposition (Einteilung und Aufbau)

Entsprechend Standards (DIN 51385) werden die Kühlschmierstoffe in den folgenden Gruppen eingeteilt:

- **Nichtwassermischbaren** Kühlschmierstoffe,
- **Wassermischbaren** Kühlschmierstoffe,
- **Wassergemischten** Kühlschmierstoffe.

Bezüglich des materiellen Aufbaus muss eine Unterscheidung zwischen die **Primärmaterialien** und die **Sekundärmaterialien** gezeichnet werden.

- Die **Primärmaterialien** werden normalerweise auf Mineralölen basiert und sie stellen sich in den Ausschnittflüssigkeiten auf Anlieferung dar.
- Die **Sekundärmaterialien** bilden sich während des Gebrauches.

5.3.1 Lichide de aşchiere pentru ungerea și răcirea minimală

Diverse probleme ce apar în timpul aşchierii sunt corelate cu consumul de lichide de aşchiere. Atenția este concentrată în continuare asupra **aspectelor ecologice și economice** ale utilizării acestor materiale și asupra **contactului** operatorilor cu acestea la locul de muncă.

Lichidele de aşchiere au, în funcție de procesul de prelucrare (condiții de prelucrare, materialului sculei, materialul semifabricatului)

două roluri principale:

- Reducerea frecării între sculă și semifabricat, respectiv între sculă și aschii (**Ungere**),
- Îndepărtarea căldurii din semifabricat, sculă și aşchie (**Răcire**).

Alte roluri suplimentare ale lichidelor de aşchiere sunt **îndepărtarea aşchiilor (spălarea aşchiilor)** și **protecție anticorozivă** în special în cazul lichidelor pe bază de apă.

5.3.2 Compoziție (clasificare și structură)

Conform standardului DIN 51385, lichidele de aşchiere se împart în următoarele grupe:

- Lichide de aşchiere **solubile în apă**
- Lichide de aşchiere **insolubile în apă**
- Lichide de aşchiere **în amestec cu apa**.

În ceea ce privește structura materială a lichidelor de aşchiere trebuie făcută o diferențiere între **materialele primare și cele secundare**.

- **Materialele primare** se bazează în mod normal pe uleiuri minerale și se livrează ca lichide de aşchiere,
- **Materiale secundare** se prepară în timpul consumului.

Zusätze (Additiven)

Jeder Kühlschmierstoff besteht aus einem **Grundstoff** (Grundöl), dem dann die entsprechenden **Zusätze** zugegeben werden.

Um die Kühlschmierstoffe sowie ihre Anwendungsmöglichkeiten anzupassen, werden solche Mittel addiert, die **den physische** und **den chemischen Eigenschaften** der Kühlschmierstoffe ändern.

Die Gruppen der Substanzen, die den Kühlschmiermitteln hinzugefügt werden, sind:

- **Verschleißschutz Zusätze** (die einen schmierenden Film bilden): polare Stoffe, Hochdruckadditive (so genannte EP Zusätze), Antiwear-additive (AW Zusätze);
- **Sonstige Additive**: Korrosionsschutz-zusätze, Schauminhibitoren, Antinebeladditive, Emulgatoren, etc.

Suplimente (aditivi)

Fiecare lichid de aşchiere constă dintr-un **material de bază** (ulei) la care se adaugă ulterior **aditivi** corespunzători. Pentru a adapta lichidele de aşchiere și posibilitățile de utilizare ale acestora, se adaugă de asemenea materiale suplimentare, care modifică **proprietățile fizice și chimice** ale acestora.

Grupele de substanțe care se adaugă lichidelor de aşchiere sunt:

- **Aditivi impotriva uzării** (aditivi AW-favorizeaza formarea unui film de ungere): materiale polare, aditivi de suprapresiune (aşa numiții aditivi EP)
- **Alți aditivi**: aditivi anticoroziune, aditivi antispumare, aditivi care reduc tendința de formare a ceții, emulgatori etc.

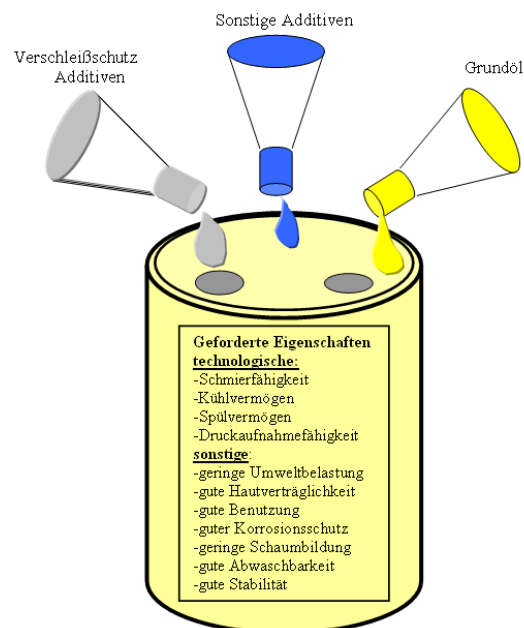


Abb.5.18 Eigenschaften der Kühlschmierstoffe / Proprietățile lichidelor de aşchiere [FRA 08]

Die Kühlschmierstoffe ändern sich während des Gebrauches bei der Fertigung. Wenn er neu ist, stellt die Ausschnittflüssigkeit nur eine geringfügige Gefahr dar. Dieses ändert im Verlauf seiner Nutzungsdauer. Offenbar ist der materielle Aufbau

Lichidele de aşchiere se modifică atunci când sunt folosiți în timpul proceselor de prelucrare. Când acestea sunt noi, consumul lor prezintă un pericol mai redus. Dar compoziția acestora se schimbă pe parcursul utilizării lichidelor.

der Kühlschmierstoffe extrem kompliziert.

Die Benutzer der Kühlschmierstoffe jedoch finden es häufig unmöglich, Informationen über den Aufbau der benutzten Produkte und über alle möglichen Gesundheits-Hindernden Eigenschaften einzuholen.

Die Kühlschmierstoffe können nach Gebrauch entweder innerhalb der Firma oder außen durch eine Abfallentsorgungsfirma entledigt sein. Abhängig von der Qualität und dem Entsorgungsart wird das Ergebnis auch die Wasser- und/oder Luftverschmutzung bewirken.

Structura materială a lichidelor de aşchiere este extrem de complicată.

Utilizatorii lichidelor de aşchiere dispun adesea de puține informații în ceea ce privește compoziția acestora și asupra proprietăților care pot cauza probleme de sănătate.

După utilizare, lichidele de aşchiere pot fi eliminate fie în cadrul companiei care le-a produs, fie în exterior în cadrul unei firme specializate pe tratarea deșeurilor. În funcție de calitatea și tipul proceselor de tratare aplicate se poate produce poluarea apei și/sau a aerului.

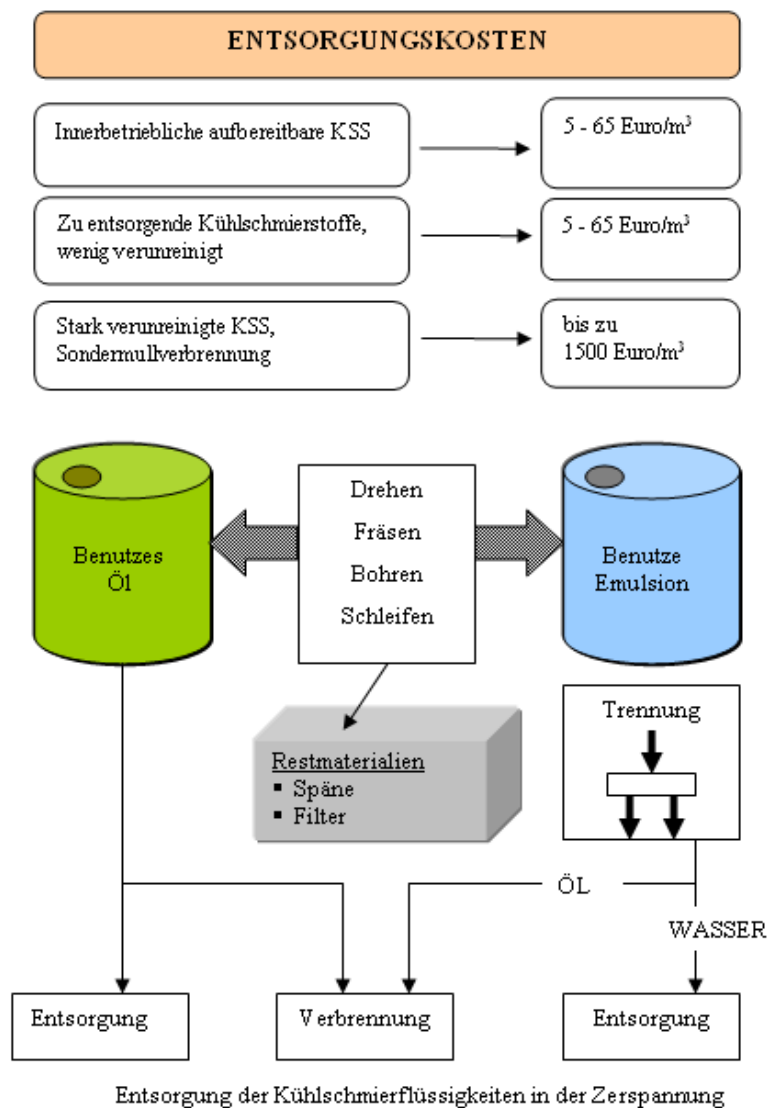


Abb.5.19 Entsorgung der KSS / Neutralizarea lichidelor de aşchiere uzate [WEI 95]

Mit genügender Sorgfalt brauchen die **nichtwassermischbaren Kühlschmierstoffe**, nicht ersetzt zu werden. Die Nachfüllungsmenge, die durch Verlust über Späne und Werkstücke erfordert wird, ist genügend, sicherzugehen, dass die Qualitäten groß beibehalten werden.

Die **wassergemischten Kühlschmierstoffe** verursachen viel größere Probleme. Hier muss die Emulsion in der Maschine regelmäßig geändert werden (3-20mal im Jahr). Das bedeutet, dass es eine enorme Flüssigkeitsmenge wegwerfen soll. Um das Wasser zu recyklieren, werden die beiden Wasser- und Ölphasen zuerst durch Ultrafiltration getrennt.

Auswertung der ökologischen Parameter

Fast ganze technologische Umgebung ist vom Gebrauch eines Kühlschmierstoffs mit seinem grundlegenden Funktionen (Abkühlen, Schmierung und Spülung) beeinflusst. **Die Zielfunktionen** sind:

- Zunahme von Produktivität,
- Verbesserung der Wirksamkeit,
- Garantie der Prozesssicherheit,
- Sicherung und Zunahme der Bearbeitungsqualität.

Für die Auswertung der ökologischen Parameter der Kühlschmierstoffe benötigt es alle Informationen, die von der Analyse des Lebenszyklus einer bestimmten Flüssigkeit eingeholt werden.

Die Kriterien für die Anwendung und die Auswertung der Kühlschmierstoffe sind:

- die Bearbeitungsergebnisse (geometrische Oberflächengenauigkeit),
- Energieverbrauch (Schnittkräfte),
- Wirksamkeit der Bearbeitung (min.

Dacă se acordă suficientă atenție utilizării lor, **lichidele de aşchiere imiscibile în apă** nu trebuie înlocuite. Cantitățile cu care se completează lichidele de aşchiere care se pierd (rămân pe aşchii și pe semifabricat) sunt suficiente pentru a asigura calitatea produselor prelucrate.

Lichidele de aşchiere pe bază de apă cauzează probleme mult mai mari. În acest caz emulsiile trebuie schimbate periodic (3-20 ori anual), ceea ce înseamnă că se aruncă o cantitate enormă de lichide de aşchiere uzate. Pentru ca apa conținută în aceste lichide să poata fi reciclată este necesară în prealabil o separare a fazelor apă-ulei prin ultrafiltrare.

Evaluarea parametrilor ecologici

Aproape tot mediul tehnologic este influențat de utilizarea lichidelor de aşchiere cu cele trei funcțiuni de bază (răcire, ungere și transport aşchii). **Scopurile** sunt:

- Creșterea productivității,
- Îmbunătățirea eficacității,
- Garantarea siguranței procesului,
- Asigurarea și creșterea calității.

Pentru evaluarea parametrilor ecologici ai lichidelor de aşchiere sunt necesare toate informațiile care se obțin din analiza ciclului de viață al unui asemenea lichid.

Criteriile pentru utilizarea și evaluarea lichidelor de aşchiere sunt:

- Rezultatele prelucrării (precizia dimensională și geometrică a suprafețelor prelucrate),
- Consumul de energie (forțele de aşchiere),
- Eficacitatea prelucrării (uzura minimă a sculei),
- Productivitatea (durata aşchierii),

Werkzeugverschleiß),

- Produktivität (min. Schnittzeit),
- Prozesssicherheit.

Herangehensmöglichkeiten von ökologische Problemen

Außer den Problemen, die in der Einleitung in Zusammenhang mit dem Gebrauch von Kühlschmierstoffe erwähnt werden, gibt es auch andere Probleme zu betrachten wie:

- flüssige Verluste des Ausschnitts während des Bearbeitungsprozesses,
- Wasser für die Reinigung des Werkstückes und
- der Ablagerung der benutzten Kühlschmierstoffe.

Um einige der oben genannten Probleme zu vermeiden, kann man einer der folgenden gebrauchen:

- **Trockenbearbeitung** (Bearbeitung ohne die Kühlschmierstoff zu verwenden)
- **Minimal Kühlschmierung**
- **Werkzeugbeschichtungen** (mit harten Schichten)
- **ökologische Fertigung:**
 - Gebrauch der biodegradierbaren Ökoausschnittflüssigkeiten;
 - Entwicklung und Anwendung der Ausschnittflüssigkeiten mit verringertem Inhalt der Verschmutzungsstoffe;
- **Anwendung der Multifunktionsöle** (hydraulisch, Kühlschmierstoffe).

5.4 Werkzeuge / Werkstoffe für TB und MKST

Die besonderen Anforderungen an Schneidstoffe und Beschichtungen für die Trockenbearbeitung sind: hohe Warmhärte, geringer Reibwert, geringe Wärmeleitfähigkeit und geringe Eigenspannungen. Diese Anforderungen stellen entgegengesetzte

- Siguranța procesului.

Oportunități de abordare a problemelor ecologice

În afara problemelor menționate în legătură cu consumul de lichide de aşchiere, există și alte aspecte care trebuie avute în vedere:

- Pierderile de lichide de aşchiere în timpul procesului de prelucrare,
- Apa utilizată pentru curățarea semifabricatelor,
- Depozitarea lichidelor de aşchiere uzate.

Pentru a evita apariția unora dintre problemele amintite anterior se poate opta pentru una dintre următoarele soluții:

- **Prelucrarea uscată** (prelucrare fără utilizarea de lichide de aşchiere),
- **Prelucrarea cu ungere și răcire minimală,**
- **Utilizarea de scule cu acoperiri metalice** (straturi dure),
- **Fabricația ecologică:**
 - Utilizarea de lichide de aşchiere ecologice biodegradabile
 - Dezvoltarea și utilizarea de lichide de aşchiere cu conținut redus de materiale poluante
- **Utilizarea de uleiuri multifuncționale** (hidraulic, lichide de aşchiere).

5.4 Scule/ Materiale pentru PU și PURM

Cerințele speciale în ceea ce privește materialul sculei și acoperirile metalice ale acestuia în cazul prelucrării uscate sunt: duritate ridicată, uzura redusă, conductivitate

Eigenschaften dar, damit ein optimales und universales Ausschnittmaterial nicht von einem technologischen Gesichtspunkt realisierbar ist.

scazută, tensiuni reziduale reduse. Aceste cerințe reprezintă însă proprietăți opuse (contradictorii), astfel că din punct de vedere tehnologic nu este posibil de realizat un material de scule optim și universal.

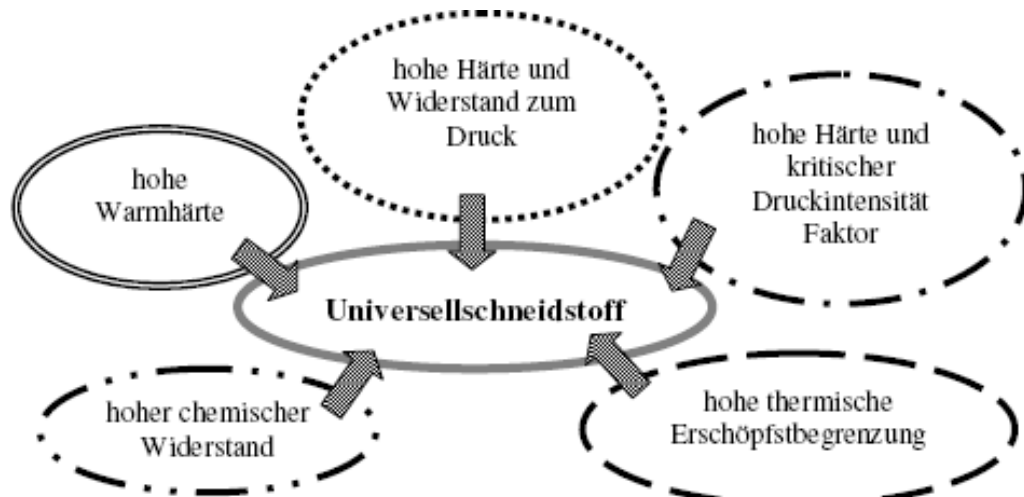


Abb.5.20 Optimale Schneidstoffe für die Trockenbearbeitung / Materiale de scule optime pentru prelucrarea uscată [FRA 08]

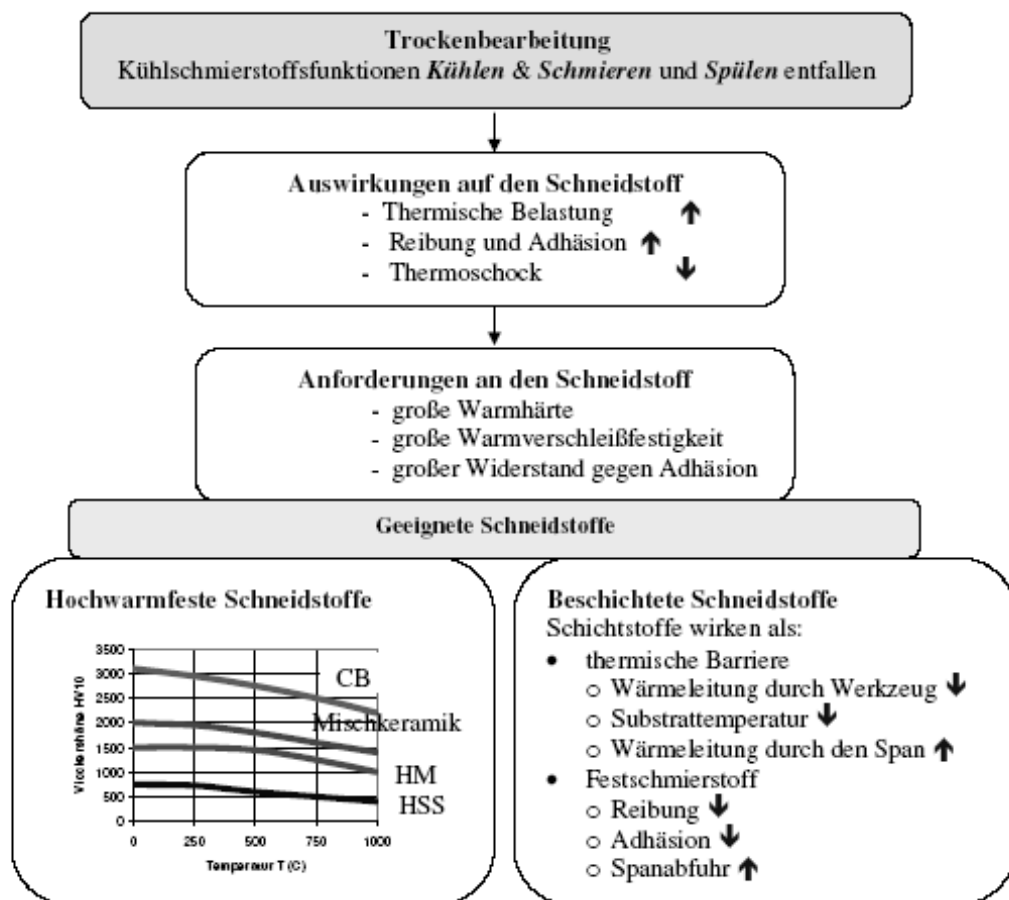


Abb.5.21 Schneidstoffe für Trockenbearbeitung / Materiale de scule la prelucrarea uscată [[WEI 97]

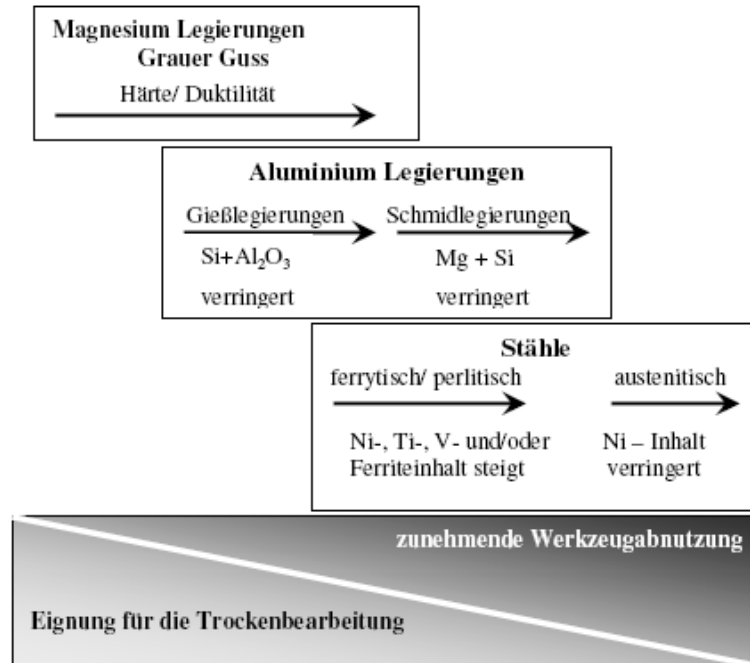


Abb.5.22 Eingang der unterschiedlichen Werkstückmaterialien für die Trockenbearbeitung / Materiale prelucrabile uscat [FRA 08]

5.5. Einsatz der TB und MKST in der Praxis

Der Einsatz der Minimalkühlschmiertechnik und Trockenbearbeitung wird in den folgenden für die Prozesse mit geometrisch bestimmter Schneide und geometrisch unbestimmter Schneide dargestellt.

Die **unterschiedlichen Bearbeitungsprozesse** stellen die **verschiedenen Nachfragen auf der Menge der Kühlschmierstoffe** ein, die für die sicheren und zufriedenstellenden Bearbeitungsergebnisse benötigt werden.

Bei dem Einsatz der Trockenbearbeitung, wenn man den Prozess entwirft, müssen die **Hitzeerzeugung, die Entfernung der Späne** und **kinematische Bedingungen** betrachtet werden.

5.5 Implementarea PU și PURM în practică

Implementarea PU și PURM va fi analizată în continuare în cazul proceselor de prelucrare care utilizează scule cu muchii așchietoare definite respectiv nedefinite.

Diferite procese de prelucrare necesită o **adaptare a consumului de lichide de așchiere necesare** pentru a obține rezultate sigure și satisfăcătoare ale prelucrării.

În cazul proiectării procesului în condițiile prelucrării uscate trebuie avute în vedere: **generarea de căldură, îndepărtarea așchiilor și condițiile cinemate.**

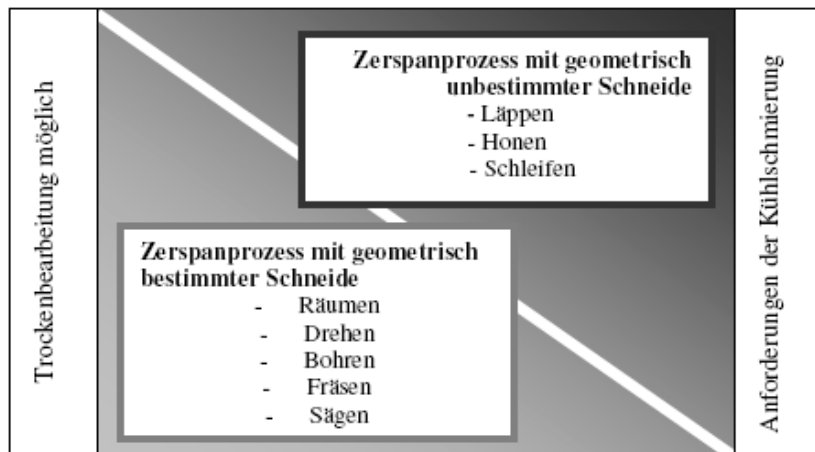


Abb.5.23 Einfluss des Zerspanprozesses an der Kühlschmiertechnik / Ungerea și răcirea la diferite procese de aşchiere [FRA 08]

Um die MKST und die Trockenbearbeitung für das Fertigungsverfahren realisieren zu können, gilt es, **eine ganze Systembetrachtung** des Fertigungsprozesses durchzuführen. Dabei sind unter anderen **die folgenden Fragen** zu berücksichtigen, die durch den Verzicht auf den KSS- Einsatz ergeben:

- Wie wirkt sich die fehlende Kühlfunktion des KSS auf den Prozess aus?
- Kann die fehlende Schmierung kompensiert werden?
- Müssen zusätzliche Konzepte zur Spanabfuhr aus der Werkzeugmaschine entwickelt werden?
- Ist die Prozesssicherheit bei der Trockenbearbeitung gewährleistet?
- Ergeben sich Änderungen für Werkzeugmaschine und ihr Umfeld?
- Ist ein bestehender Prozess auf die Trockenzerspannung umzustellen oder ist ein neuer Prozess ohne KSS- Einsatz zu planen?

Pentru ca PURM și PU să poată fi realizate la procesele de fabricație este necesară o **monitorizare completă** a sistemului tehnologic. Printre altele trebuie luate în considerare **următoarele întrebări** care apar atunci când se renunță la utilizarea lichidelor de aşchiere:

- Cum afectează absența funcțiilor lichidelor de aşchiere desfășurarea procesului?
- Poate fi compensată absența efectului de ungere?
- Trebuie dezvoltate noi concepte suplimentare referitor la îndepărtarea aşchiilor de pe mașina-unealtă?
- Este garantată siguranța procesului de prelucrare uscată?
- Se impun modificări ale mașinii-unealte și a spațiului de lucru?
- Poate fi adaptat un proces existent astfel încât să poate fi realizat prin PU sau trebuie planificat un proces fără utilizarea de lichide de aşchiere?

5.6 Werkzeugmaschinen und periphere Einrichtung

Die Implementierung der Trockenbearbeitung kann nicht durch die einfache Ausschaltung vom Kühlschmiermitteldosiersystem vollendet werden. Tatsächlich führt das Kühlmittel einige wichtige Funktionen durch, die, in seiner Abwesenheit, durch andere Bestandteile im Bearbeitungsprozess übernommen werden müssen.

Die Trockenbearbeitung erfordert nicht nur eine technologische Anpassung des Bearbeitungsprozesses aber auch neue Standards für Werkzeugmaschinen und Ausrüstung, die die Werkzeugmaschine stützt.

Die Auslassung des Kühlschmierstoffsfunktionen, wie Schmieren, Kühlen, Temperieren, Spülen, Transport der Späne, Reinigung, und das Konservieren, erfordert Alternativlösungen, die nur durch passendes Design der Werkzeugmaschinen und des Umfeldes erzielt werden können.

5.6.1 Werkzeugmaschine Design

In Bezug auf Spanabbau ist es wichtig, dass heiße Späne kinetische und thermische Energie nicht auf Werkstück-, Befestigungs- und Werkzeugmaschinenbestandteile bringen. Ein Grundbedarf ist ein modulares Design des Arbeitsraums und einen wirkungsvollen Spanabfuhr vom Bearbeitungsraum zu haben.

Zusätzlich gibt es **viele unterschiedliche Absaugungsanlage**, um die Späne so schnell wie möglich zu entfernen. Die erforderlichen Änderungen, um von Trockenbearbeitungsprozess unterzubringen, beeinflussen nicht nur die Innenarchitektur der Werkzeugmaschinen.

5.6 Mașini-unelte și echipamente /dispozitive periferice auxiliare

Implementarea prelucrării uscate nu poate fi realizată prin simpla deconectare a sistemului de dozare a lichidelor de aşchiere. Lichidul de aşchiere își îndeplinește funcțiile specifice, care în absența sa trebuie preluate de alte componente ale sistemului tehnologic.

Prelucrarea uscată nu necesită o adaptare tehnologică a procesului de prelucrare ci și alte standarde pentru mașinile-unelte și echipamentele acestora, care să asigure protecția mașinilor-unelte.

Absența funcțiilor lichidelor de aşchiere (ungere, răcire, spălare, transport aşchii, curățare și conservare) necesită soluții alternative care pot fi obținute numai printr-un design corespunzător al mașinii-unelte și al mediului de lucru.

5.6.1 Design-ul mașinii-unelte

Referitor la îndepărtarea aşchiilor este important ca energia cinetică și termică a aşchiilor fierbinți să nu fie transferată asupra semifabricatului, dispozitivelor de fixare, subansamblurilor mașinii-unelte. O cerință de bază este existența unui design modular al spațiului de lucru și o îndepărtare eficientă a aşchiilor din zona de prelucrare.

Suplimentar există diverse **instalații de absorbție** care asigură îndepărtarea cât mai rapidă a aşchiilor. Aceste modificări necesare pentru implementarea aşchierii uscate influențează nu numai arhitectura internă a mașinilor-unelte.

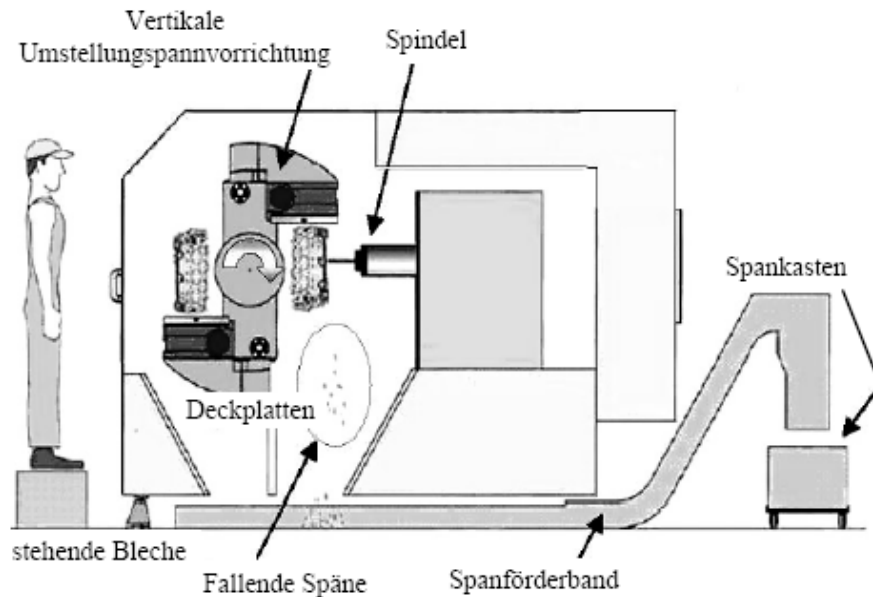


Abb.5.24 Werkzeugmaschinen-Design für die Verbesserung der Spanentfernung / Design-ul mașinii unelte pentru facilitarea evacuării așchiilor [FRA 08]

Andere Bestandteile eines Fertigungssystems müssen geändert werden und Zusatzausrüstung muss den spezifischen Notwendigkeiten angepasst werden. Außer der Unterbringung für das Bearbeitungsraum und die Extraktion der Späne, des Staubes und anderer Partikel, muss **die Behandlung der Emissionen** betrachtet werden. **Die Filter- und Trennungssysteme** sind aus den Trennenden- und Reinigungsgründen erforderlich.

Einige **kommerzielle Werkzeugmaschinen** sind entwickelt worden, so dass sie den Notwendigkeiten der trockenen Fertigung angepasst werden. Typische Eigenschaften sind **eine automatische Behandlung des Werkstückes** und **die Integration der mit innen Dosiersysteme MKST**.

5.6.2 Spanabfuhr

Die konsequente Anwendung der Minimalkühlschmiertechnik erfordert, über die MMKS- Zufuhr, Maßnahmen zur Abfuhr der Späne und der Prozessemissionen aus der

Și alte componente ale sistemului tehnologic trebuie modificate, iar echipamentele suplimentare utilizate trebuie adaptate nevoile specifice de prelucrare. În afara pregătirii spațiului de lucru și asigurarea extragerii așchiilor, prafului și a altor particule din zona respectivă, trebuie avute în vedere și **emisiile rezultate**. Sunt necesare în acest sens **sisteme de filtrare și de separare** care să asigure separarea și curățarea emisiilor.

Au fost concepute câteva **mașini-unelte** care să corespundă cerințelor prelucrărilor uscate și a celor cu ungere minimală. Caracteristicile tipice ale acestora sunt: **manipularea automată a semifabricatelor și integrarea unor sisteme de dozare minimală a lichidelor de așchiere și a unor sisteme de compensare a deformațiilor termice**.

5.6.2 Îndepărtarea așchiilor

Utilizarea consecventă a tehnicii de așchiere cu ungere și răcire minimală necesită alimentarea cu lichide de așchiere, dar și măsuri suplimentare de îndepărtare a așchiilor

Bearbeitungsraum, da insbesondere der Spantransport durch den Kühlschmierstoff-Volumenstrom nicht mehr gegeben ist.

și a emisiilor din spațiul de lucru, pentru că în special transportul așchiilor nu mai este asigurat de volumul redus de lichide de așchiere folosit.

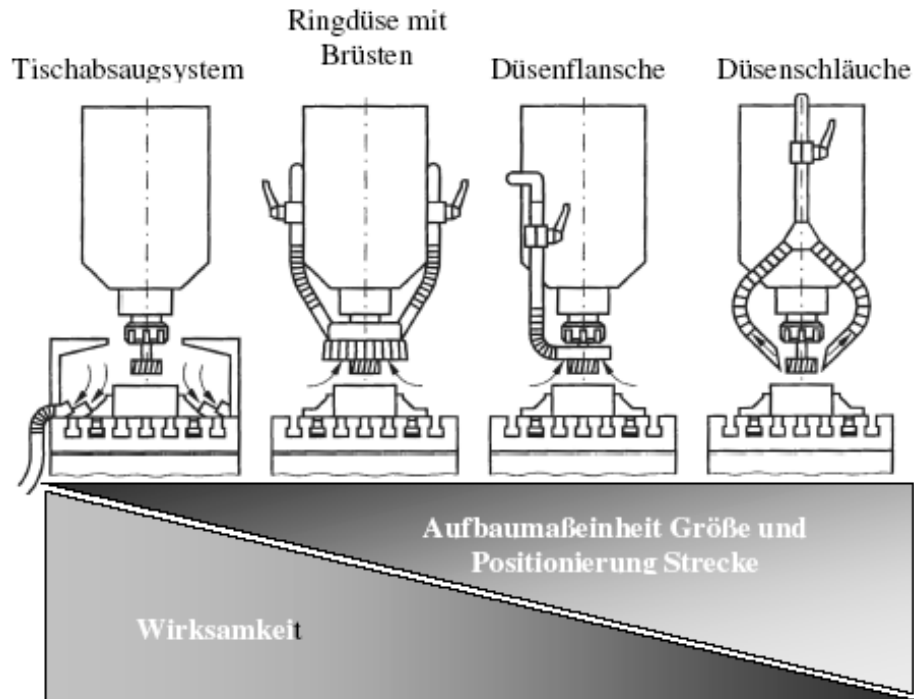


Abb.5.25 Verschiedene Möglichkeiten zur Absaugung der Späne aus dem Arbeitsraum beim Fräsen / Posibilități de evacuare a așchiilor la frezare [FRA 08]

5.6.3 Temperaturkontrolle

Wenn die Wärmeübertragung nicht vermieden werden kann, ist es wichtig, die Menge von der während des Bearbeitungsprozesses erzeugten Wärme zu kennen. Bedeutende thermische Ausdehnungen des Werkstückes und der Werkzeuge müssen ermittelt werden, z.B. integrierte Laser messende Systeme, und Ausgleichs führten sofort durch das numerisches Steuersystem ein. Diese Ausgabe und verbundenen Systemveränderungen stehen nicht nur mit der Trockenbearbeitung in Verbindung. Sie treffen gleichmäßig gut auf praktisch alle Bearbeitungs-systeme zu.

5.6.3 Controlul temperaturii

Când transmiterea căldurii nu poate fi evitată, este importantă cunoașterea cantității de căldură rezultate în timpul procesului de prelucrare.

Deformațiile termice semnificative ale semifabricatului și sculei trebuie să fie studiate, de exemplu cu ajutorul unor sisteme integrate cu laser, și realizate o serie de comparații prin sistemul de comandă al mașinii-unelte. Această sarcină și modificările corespunzătoare asociate sistemului sunt necesare nu numai în cazul așchierii uscate. Ele sunt prezente practic în egală măsură în toate sistemele de fabricație.

Schlussfolgerungen

- Die Verkleinerung der Kühlschmierstoffe in den modernen Zerspantechnologien von Trockenbearbeitung und von MKST hat zu bedeutende Förderungen in Bearbeitungstechnologie geführt.
- Heute, viele Bearbeitungsprozesse und Werkstückmaterialien werden produziert, indem man moderne Schnittwerkzeuge und Beschichtungen anwendet, angepasste Werkzeuge und Fertigungsstrategien, sowie optimierte Werkzeugmaschinen entwerfen.
- Diese leistungsstarken Systemsbestandteile stellen die ökonomischen und in hohem Grad produktiven Prozesse sicher, verringern etwas die Produktionszeit von Prozess mit der konventionellen Vollstrahlkühlung und verbessern erheblich die Werkstückqualität.
- Das Trockenbearbeitung, hauptsächlich angewendet in der Großserie und Großindustrien, wie Automobilherstellung, erfordern noch spezielle Lösungen.

Concluzii

- Diminuarea cantității de lichide de aşchiere în cadrul tehnologiilor de aşchiere prin implementarea tehnicilor de prelucrare uscată și de aşchiere cu cantitate minimală de lichid de aşchiere a condus la progrese semnificative în domeniul tehnologiilor de fabricație.
- În prezent sunt dezvoltate multe procese de prelucrare și materiale, în cazul cărora se concep scule moderne cu acoperiri metalice, scule adecvate și strategii de fabricație.
- Aceste componente ale sistemului tehnologic asigură economicitatea și productivitatea procesului, reduc într-o oarecare măsură timpul de prelucrare comparativ cu metoda convențională de ungere și răcire și îmbunătățesc considerabil calitatea pieselor prelucrate.
- Implementarea aşchierii uscate, în special în cadrul producțiilor/industriilor de serie și masă, cum este de exemplu industria automobilelor, necesită încă alte soluții speciale.

Referenzen / Bibliografie

- [ABE 93] Abel, R. Kostensenkung und Leistungssteigerung mit neuen Schneidstoffen. Dima 47 (1993) 8/9, p. 52-55.
- [ADA 97] Adams, F.-J.; Schulte, K. Bohren von Stahl mit unterschiedlichen Kühlschmierstoff-Konzepten. In: Weinert, K. (Hrsg.): Spannende Fertigung. 2. Ausg. Essen: Vulkan-Verlag 1997, p.98-109.
- [AUT 98] Autorenkollektiv: Trockenbearbeitung prismatischer Teile, VDI Berichte 1375, VDI Verlag Düsseldorf 1998, p.4-12.
- [BIR 96] Birkhofer, H., Schot, H. Entwicklung umweltgerechter Produkte – eine Herausforderung für die Konstruktionwissenschaft. In Konstruktion 48, nr. 12/1996, p. 386-396.
- [BRI 96] Brinksmeier, E., Walter, A., Einsatzbeispiele für Minimalmengenschmierung und Trockenbearbeitung, Tribologie und Schmierungstechnik. Bericht Nr. 13/14 – 1996.
- [CAD 97] Caduff, G., Züst, R. Steigerung der Öko-Performance in der Produktentwicklung. In Konstruktion, nr. 49, 1997, p. 40-44.
- [CAR 18] Carean A. Tehnologii de prelucrare prin aschiere. Suport de curs 2018.
- [CSE 97] Cselle, T., Eichler, R., Zielasko, W., Thamke, D. Reduzierung des Kühlschmierstoffeinsatzes beim Tiefbohren mit Einlippenbohrern. In: Weinert, K. (Hrsg.): Spannende Fertigung. 2. Ausg. Essen: Vulkan-Verlag 1997, p. 141-154.
- [DEA 92] Deacu, L., Kerekes, L., Julean, D., Carean, M., Bazele aschierii și generarii suprafetelor. Universitatea Tehnica din Cluj-Napoca, Facultatea Constructii de Masini, 1992.
- [DIN 02] Diniz, E.,A., Micaroni, R., Cutting conditions for finish turning process aiming: the use of dry cutting. In International Journal of Machine Tools & Manufacture 42 (2002) p.899-904.
- [DOE 97] Doerfel, O.: Applikationstechnologie Minimalmengenschmierung. Vortrag und interner Bericht beim Abschluß-Meeting zum BMBF-Projekt „Trockenzerspannung von Alu-Knetlegierungen - Teilprojekte Fräsen, Bohren und Reiben“, Daimler-Benz Forschungszentrum Ulm, 16.-17. Juni 1997, p.144-153.
- [DOR 99] Doerr, J., Sahm, A., Erfahrungen mit Minimalmengen-Schmierung. In Werkstatt und Betrieb. 132 (1999). p. 38-49.
- [EIS 97] Eisenblätter, G., Thamke, D. Gerätetechnik zur Minimalmengen Kühlschmierung. Vortrag und interner Bericht zur Abschlußpräsentation des BMBF-Vorhabens „Trockenbearbeitung prismatischer Teile - Teilprojekt Trockentiefbohren“, Stuttgart, 4-5. November 1997.
- [FRA 08] Fratila D. Umweltfreundliche Zerspanung. UTPRESS, 2008
- [FRE 98] Freiler, C. Ökologische und Ökonomische Aspekte beim Einsatz von Esterölen. In: Bartz, W.J. (Hrsg.): „ 11 International Colloquim Industrial and Automotive Lubrication ", 13.-15. Januar 1998, Ostfildern: Technische Akademie Esslingen, 1998 Band II, p.1137-1152.
- [GYE 91] Gyenge Cs., Ros O., Popa M. Tehnologia fabricării mașinilor. UTC-N, 1991
- [GYE 04] Gyenge Cs.,Fratila D. Ingineria Fabricatiei, Editura Alma Mater, 2004.

- [HEI 93] Heisel, U.; Lutz, M. Probleme der umwelt- und humanverträglichen Fertigung am Beispiel der Kühlschmierstoffe. Dima 47 (1993) 10, p.35-40.
- [KOE 07] Koether R., Rau W. - Fertigungstechnik für Wirtschaftsingenieure. Taschenbuch: 457 Seiten, Verlag: Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG; Auflage: 3., aktualisierte (6. Dezember 2007), ISBN-10: 3446412743, ISBN-13: 978-3446412743.
- [MUL 98] Mueller, J., Arbeits- und umweltverträglich wassermischbare Kuehlschmierstoffe –ein Beitrag zur Oekologie und Oekonomie. In 11th International Colloquium Industrial and Automotive Lubrication. 13-15 Januar 1998. Band II, p. 1121-1135.
- [PER 00] Perovic B. Spanende und Abtragende Fertigungsverfahren. Verlag: expert; Auflage: 1 (1. Januar 2000). 291 Seiten. ISBN-10: 3816919111, ISBN-13: 978-3816919117.
- [RIN 96] Rinker, U.; Christoffel, K.: Trockenbearbeitung entlastet die Umwelt. Werkstatt und Betrieb 129 (1996) 6, p. 574-576.
- [ROS 00] Ros, O., Frățiță, D. Proiectare pentru mediu, Casa Cărții de Știință, Cluj 2000, ISBN 973-686-113-9.
- [SCH 18] Schoenherr H. - Spanende Fertigung. Walter de Gruyter GmbH & Co KG, 19 mar. 2018 - 510 seiten.
- [SCH 00] Schmidt, J., Dyck, M. Einstieg in die Trockenbearbeitung. In Werkstatt und Betrieb. 2 (2000). p. 68-70.
- [TOE 11] Toenshoff H., Denkena B.- Spanen. Springer-Verlag, 12 Aug. 2011, 426 Seiten.
- [WAL 95] Walter, A. Minimalschmiertechnik und Trockenbearbeitung – Moegliche Einsatzgebiete. DIF Seminar, 9-10 Oktober 1995, Bremen, 1995.
- [WEI 95] Weinert, K., Adams, F.-J., Thamke, D. Was kostet Kühlschmierung? - Erfassung der Kosten für den Kühlschmierstoffeinsatz in der Großserienfertigung. Technica 44 (1995) 7, p.19-23.
- [WEI 97] Weinert, K., Schulte, K., Thamke, D., Grenzen der Trockenbearbeitung – In Maschinen - Anlagen - Verfahren.1995, p. 108-109.
- [WEI 99] Weinert,K. Trockenbearbeitung und Minimalmengeuhlschmierung, Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1999, p.230.
- [WES 01] Wessel, G. Technologiesprung von der Minimalmengenschmierung zur Trockenbearbeitung beim spanabhebenden Trennen. In Fertigungstechnisches Seminar WS 2000/2001, p.1-19.
- [WES 10] Westkaemper E., Warnecke H.J. Einfuehrung in der Fertigungstechnik. Fertigungstechnik und Produktionslehre: Grundlagen und Dokumentation des aktuellen Wissensstandes aus erster Hand. Springer 2010.
- [WIT 96] Witt G. Taschenbuch der Fertigungstechnik. Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG Verlag: (6. Oktober 2005), 448 Seiten, ISBN-10 3446225404, ISBN-13: 978-3446225404.
- [*** 96] Projektbericht- Einsatz der Minimalmengeschmierung in der Zerspanung. Institut für Fertigungstechnik der Universität Magdeburg, Hannover 1996.
- Web Sites http://www.accu-lube.com/html/hauptteil_firma.html

<http://www.menzel-metallchemie.de/startd.htm>

<http://www.uni-magdeburg.de/ifq/forschung/vortrag97.htm>

www.ifu.com

<http://www.iwt-bremen.de/ft/service/vortraege-1996.html>

<http://www.sandwik.de>