

Domnița FRĂȚILĂ

TEHNOLOGII DE FABRICAȚIE



**Editura UTPRESS
Cluj-Napoca, 2019
ISBN 978-606-737-353-0**



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: Conf.dr.ing. Alexandru Cărean
Ș.I.dr.ing. Cristina Miron Borzan

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 978-606-737-353-0

Capitolul 1. PROCESUL DE FABRICAȚIE

1.1. Procesul de fabricație

Procesul de fabricație cuprinde totalitatea acțiunilor și procedeele folosite pentru transformarea materiei prime și a semifabricatelor în produse finite. Procesul de fabricație al unui produs industrial poate fi împărțit în următoarele etape principale:

- obținerea semifabricatelor,
- prelucrarea mecanică a semifabricatelor,
- controlul tehnic,
- asamblarea pieselor prelucrate în produs finit,
- vopsirea,
- ambalarea și expedierea.

1.1.1. Procesul tehnologic este acea parte a procesului de fabricație, care cuprinde operațiile de modificare a formei, dimensiunilor, proprietăților materialului sau semifabricatului, în vederea obținerii piesei finite, în concordanță cu condițiile tehnice impuse.

În funcție de natura acțiunilor, procesul tehnologic poate fi :

a. Proces tehnologic de prelucrare mecanică, prin care se înțelege partea din procesul de fabricație legată de schimbarea formei geometrice, a dimensiunilor și calității suprafeței, pe care le suferă semifabricatul până la obținerea piesei finite.

La rândul său, procesul tehnologic de prelucrare mecanică poate fi:

- proces de prelucrare prin așchiere,
- proces de prelucrare prin deformare plastică,
- proces de prelucrare neconvențional,
- proces de prelucrarea rapidă a prototipurilor.

b. Proces tehnologic de tratamente termice, care este parte din procesul tehnologic de fabricație legată de modificarea structurii materialului din care se execută piesa, în scopul îmbunătățirii proprietăților fizico-mecanice ale acesteia.

Principalele procedee de tratament termic sunt: recoacerea, normalizarea, călirea, revenirea, îmbunătățirea, cementarea, nitrurarea, călirea cu curenți de înaltă frecvență.

c. Procesul tehnologic de asamblare, care reprezintă partea procesului de fabricație ce se referă la montarea pieselor în produsul finit, urmărindu-se realizarea condițiilor de funcționare impuse.

1.1.2. Elementele procesului tehnologic de prelucrare mecanică prin așchiere

Procesul tehnologic de prelucrare mecanică prin așchiere prezintă complexitatea cea mai mare și este cel mai des utilizat. El se împarte în: operații, faze, treceri, mânuiri și mișcări.

Operația este partea procesului tehnologic de prelucrare mecanică ce se execută la un loc de muncă și cuprinde totalitatea acțiunilor care se realizează la un loc de muncă, într-o stare de reglare bine determinată a utilajului. Această ultimă precizare, divizează sau concentrează diferitele părți componente ale procesului tehnologic, în funcție de posibilitățile de realizare din aceeași stare de reglare. Pentru exemplificare se consideră prelucrările de degroșare a arborelui din figura 1.1, din semifabricat laminat.

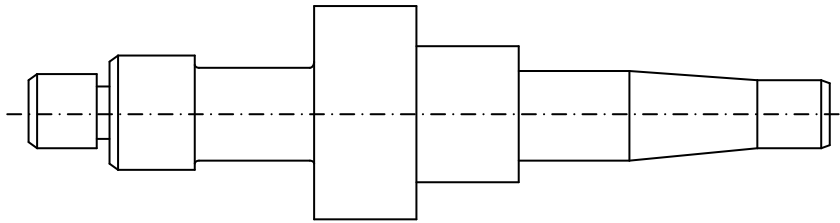


Fig.1.1. Desenul intermediar al unui arbore în stare degroșată [GYE 04]

Dacă se execută pe un strung universal, este suficientă o singură operație de degroșare, pe când dacă se prevede prelucrarea pe un strung de copiat cu comandă program, sunt necesare două operații pentru cele două extremități (Fig.1.2).

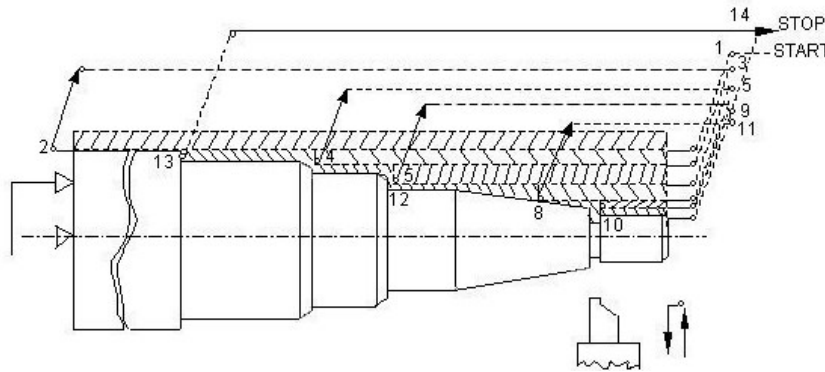


Fig.1.2. Ciclul de lucru la prima operație de degroșarea arborelui din figura 1.1 [GYE 04]

Faza este partea operației în cadrul căreia se realizează prelucrarea unei suprafețe sau a unui complet de suprafețe, cu o scula, sau un complet de scule, cu un anumit regim de așchiere.

Astfel, de exemplu, trecerea de finisare după șablon din figura 1.1. se poate realiza dintr-o singură fază (dacă nu se schimbă pe tot parcursul acesteia nici un parametru al regimului de așchiere), sau din două faze (12 și 13), cum este reprezentat pe figură.

În figura 1.3 este reprezentată prelucrarea simultană a trei suprafețe - care este considerată o fază compusă și se definește astfel: "strunjire d_1 și d_2 plus burghiere d_3 ".

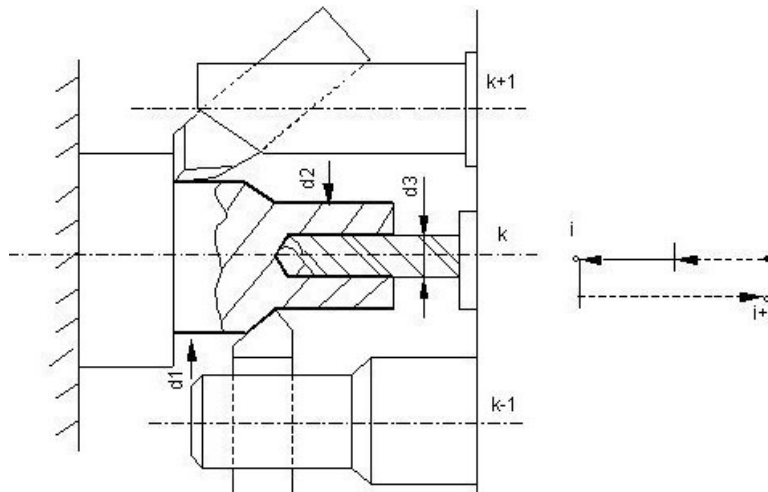


Fig.1.3. Exemplu de fază compusă [GYE 04]

După cum se observă din figură, între cele trei scule nu este nici o mișcare relativă, iar în timpul aşchierii acestea lucrează simultan.

Trecerea este acea parte a fazei, în cadrul căreia se îndepărtează un singur strat de material. Întrucât la prelucrările pe mașini-unelte automate sau cu comandă program, fiecare trecere constituie un subprogram, ele se programează ca o fază.

Mișcarea este deplasarea organului de lucru sau a celui auxiliar, cu o anumită mărime, timp în care arborele principal, se află într-o anumită stare de mișcare. Mișcarea constituie elementul de bază al programului - fiind denumită secvență și ocupând un rând de program. Astfel, pentru realizarea fazei din figura 1.3 sunt necesare patru mișcări:

- m_1 - rotirea tamburului port-scule în poziția k ,
- m_2 - apropierea rapidă longitudinală ,
- m_3 - avans de lucru longitudinal,
- m_4 - retragere rapidă longitudinală.

Mașinile-unelte cu comandă program moderne permit realizarea unor subprograme complexe pentru diferite prelucrări, nefiind necesară programarea fiecărei mișcări.

1.2. Caracteristicile procesului de producție

În general produsele din industria construcțiilor de mașini sunt formate din relativ multe repere, subansambluri, mecanisme complexe, instalații diverse.

În caz extrem, produsul poate fi format dintr-un singur reper (de exemplu un șurub, un burghiu, etc.), în cealaltă extremă, numărul de repere poate fi de ordinul milioane (de exemplu un portavion). În cazul general produsul este un sistem ierarhic tridimensional. Forma, dimensiunile, caracteristicile funcționale ale produsului sunt date în desenul de definire al acestuia.

Comanda numerică a mașinilor de prelucrat necesită definirea exactă a suprafețelor piesei, prin modelare geometrică. De regulă, piesa nu este un corp geometric ideal, suprafețele ei se realizează cu diferite abateri de formă, dimensionale, de poziție, cu o anumită rugozitate. Nici o dreaptă sau suprafață

reală nu poate fi identică cu una teoretică. Piesa este considerată bună dacă abaterile dintre suprafețele reale și cele teoretice se încadrează în câmpul de toleranță.

1.2.1. Modelul geometric al piesei

Pentru modelarea pieselor din construcția de mașini s-au elaborat trei metode de modelare : modelarea tip rețea de bare, modelarea corpului, modelarea prin suprafețe.

a. Modelul tip rețea

Principiul metodei constă în faptul că se construiește "scheletul de sârmă" al muchiilor piesei și pe acesta se întind plane. Este un model simplu, dar are două dezavantaje: nu poate opera cu suprafețe curbe (astfel, aceste tipuri de suprafețe le aproximează cu mulțimi de plane), și modelarea corpurilor complexe este dificilă. Acest tip de modelare s-a utilizat la începutul dezvoltării modelărilor pe calculator. În prezent se utilizează în cazul celorlalte metode, pentru reprezentarea muchiilor pieselor.

b. Modelul volumic

Acest model tratează piesa ca un corp real și îl construiește din suprafețe elementare cu ajutorul unei colecții de primitive (paralelipiped, plan, piramidă, cilindru, con, sferă, tor, etc.). Astfel, de exemplu, să considerăm modelarea unei piese simple (Fig.1.4) formată din porțiuni cilindrice cu parametri: H/d , l , unde d este diametrul și l - lungimea.

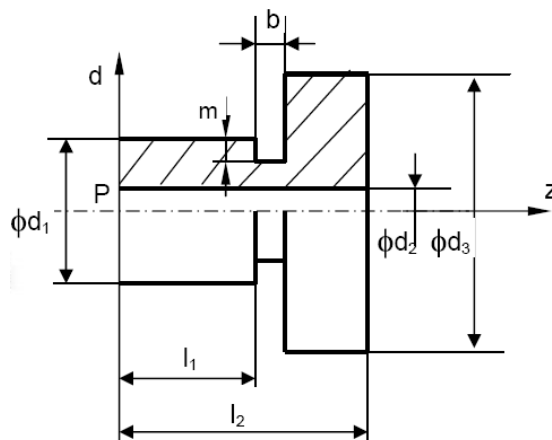


Fig.1.4. Reprezentarea unei piese simple [GYE 04]

În cadrul acestei metode, piesa se reprezintă prin definirea suprafețelor cilindrice elementare:

$$H_1 = H/d_1, l_1;$$

$$H_2 = H/d_1 - 2m, b;$$

$$H_3 = H/d_3, l_2 - l_1 - b;$$

$$H_4 = H/d_2, l_2.$$

Astfel definirea completă a piesei este:

$$A = H_1 \cup H_2 \cup H_3 / H_4.$$

Precum se observă din relația de mai sus s-au însumat cele două suprafețe cilindrice exterioare, plus degajarea, apoi, din această sumă, s-a scăzut suprafața cilindrică interioară.

Din acest exemplu rezultă că metoda modelului volumic este simplă, dar modelul obținut nu scoate în evidență aspectele constructive și tehnologice.

c. Modelarea cu suprafețe

Este metoda cea mai des utilizată în prezent datorită universalității ridicate. Are varianta plană 2D și varianta spațială 3D. Și pentru reprezentarea pieselor spațiale, în unele cazuri (cum este cel al pieselor de revoluție) există posibilitatea reprezentării 2D.

1.2.2. Părțile componente și caracteristicile produsului

Produsul este rezultatul procesului de producție și poate fi simplu (un șurub, un piston, un melc, o roată dințată, etc.), sau mai complex (un rulment, o mașină-unealtă, un autoturism, etc.). Elementul primar al produsului este piesa, sau reperul.

La elaborarea documentației constructive a unei piese, pe lângă aspectele constructiv-funcționale trebuie ținut cont și de o serie de aspecte tehnico-organizatorice:

- posibilitățile de recunoaștere și evidență;
- posibilitățile de repartizare a fabricației și de cooperare în această direcție;
- posibilitățile de asamblare și de întreținere;
- prețul de cost al fabricației, etc.

Aceste cerințe ne determină să divizăm produsul în subelemente, care să se poată realiza simultan (pe cât posibil) și să formeze un șir ierarhic (Fig.1.5).

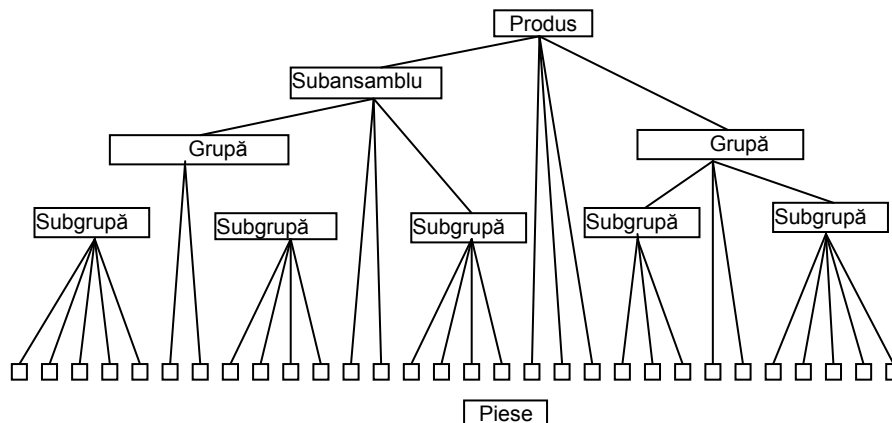


Fig.1.5. Structura arborelui genealogic al produsului [GYE 04]

Din figură se poate observa că și subansamblurile relativ simple ale produsului sunt formate din mai multe elemente și la rândul lor, se pot împărți în subdiviziuni. Astfel, se pot defini elementele produsului după cum urmează :

- **produsul** (de exemplu autoturismul);
- **subansambluri principale** (de exemplu diferențialul, motor și cutia de viteze, etc.);
- **grupa principală** (de exemplu cutia de viteze);
- **subgrupe** (de exemplu mecanismul de schimbare a vitezei);
- **piese** (de exemplu disc de ambreiaj).

Aceste elemente pot fi definite astfel:

Produsul - este rezultatul final al procesului de fabricație și este format din elementele componente care urmează:

Subansamblu principal - este o unitate formată din mai multe repere, care din punct de vedere constructiv sau al asamblării, poate fi considerat ca o unitate de sine stătătoare. Se caracterizează prin faptul că în cadrul produsului rezolvă o problemă bine determinată, se poate monta independent, se poate încerca și atesta independent.

Grupa principală - este acea grupă de repere componente ale unui subansamblu, care din punct de vedere constructiv și al asamblării se poate divide în elemente mai mici. Se caracterizează prin faptul că se poate asambla și controla independent.

Subgrupa - este o reuniune mai mică de piese care rezultă din divizarea grupei principale. Se caracterizează prin faptul că după asamblare se poate controla independent.

Piesa (reperul) - este acea parte a produsului care nu se mai poate diviza în continuare. Din punct de vedere tehnologic, organele de mașini sunt denumite, piese. Fabricarea pieselor este sarcina principală a construcției de mașini.

1.3. Aspectele economice ale procesului de fabricație

Pe parcursul unui proces de fabricație se urmărește obținerea unor produse competitive, care să satisfacă simultan condițiile de recuperare a cheltuielilor investite cât și condițiile de aliniere la piață. Din punct de vedere al procesului de fabricație deosebim următoarele cheltuieli directe:

- cheltuieli legate de semifabricat,
- cheltuieli legate de manoperă,
- cheltuieli legate de regie,
- cheltuieli legate de exploatarea mașinii-unelte,
- cheltuieli legate de dispozitivele de lucru folosite,
- cheltuieli legate de scule, etc.

Diferitele elemente ale prețului de cost se stabilesc fie analitic (de exemplu cheltuielile legate de manoperă), fie pe baza unor normative locale sau de ramură.

În cadrul economiei de piață fiecare producător are interesul să producă la un preț de cost cât mai redus, menținând pretențiile privind calitatea. În acest scop utilizează procedee tehnologice moderne, scule care permit viteze de așchiere ridicate, scheme de prelucrare optime, care reduc la minim mișcările auxiliare, etc.

1.4. Tipurile de producție și particularitățile lor tehnologice

În industria construcțiilor de mașini, în funcție de volumul de producție, există trei tipuri de producție:

- producția individuală sau de unicate,
- producția de serie,
- producția de masă.

Pentru stabilirea caracterului producției se iau în considerare mai mulți factori, printre care :

- cantitatea produselor fabricate,
- nomenclatura fabricației,
- ciclul de fabricație,
- caracterul utilajelor, sculelor și dispozitivelor,
- productivitatea fabricației,
- modul de amplasare a utilajelor,
- calificarea muncitorilor și
- economicitatea fabricației.

În cazul **producției individuale sau de unicate**, se execută un număr redus de produse, cu o nomenclatură foarte variată. Caracteristica principală a producției individuale o constituie executarea la locurile de muncă a unei foarte variate game de operații diferite, fără o repetare periodică a lor.

Produsele acestui tip de producție sunt mașini și utilaje complexe, care se execută pe bază de comenzi speciale. Trebuie remarcat că în ciuda avantajelor celorlalte două tipuri de producții, din volumul total de produse realizate în construcția de mașini, peste 50% se realizează în cadrul producției individuale, respectiv serii mici.

În cazul **producției de serie**, piesele se execută pe loturi sau serii, care se repetă cu regularitate, după un anumit interval de timp.

Nomenclatura fabricatelor este redusă și de regulă este formată din componente mai mult sau mai puțin normalizate. Amplasarea utilajelor se face după tipuri de mașini-unelte, după grupe de piese care se prelucrează, sau combinat. Produsele acestui tip de producții sunt utilaje de tipuri stabilizate, fabricate în cantități mai mari sau mai mici, ca de exemplu: mașini-unelte, motoare staționare, pompe, compresoare, utilaje pentru industria alimentară, etc.

În **producția de masă** produsele se execută în mod continuu, în cantități relativ mari și pe o perioadă relativ lungă de timp (1-3 ani). O caracteristică principală a acestui tip de producție este faptul că, în general, la fiecare loc de muncă se execută totdeauna aceleași operații sau faze care se repetă în mod continuu. Nomenclatura fabricației este extrem de uniformă, uneori reducându-se la un singur fabricat. În această categorie intră: fabricația de rulmenți, autoturisme, tractoare, aparate electrocasnice, bujii, armături, etc. Mașinile unelte sunt speciale, automatizate cu sisteme de transport interoperațional automat, iar muncitorii sunt cu pregătire redusă sau medie.

1.5. Sistemul tehnologic MDSP

În procesului de fabricație, executarea pieselor prin diferite metode (așchiere, deformare plastică, sau procedee neconvenționale) se realizează pe diferite tipuri de mașini-unelte în cadrul unui **sistem tehnologic**.

Un **sistem tehnologic** este alcătuit dintr-un complex de elemente, care contribuie la realizarea unei prelucrări asupra unui semifabricat. Un sistem tehnologic este alcătuit în general din:

- **Mașina-uneltă** pe care se realizează prelucrarea (MU),
- **Dispozitivul** de prindere al semifabricatului (D),

- **Scula așchietoare** care execută prelucrarea (S),
- **Dispozitivul** de prindere a sculei așchietoare (DS),
- **Semifabricatul** asupra căruia se execută prelucrarea (P).

Semifabricatul este fixat, de regulă, în dispozitiv, iar prelucrarea efectivă se realizează cu diferite scule (Fig. 1.6).

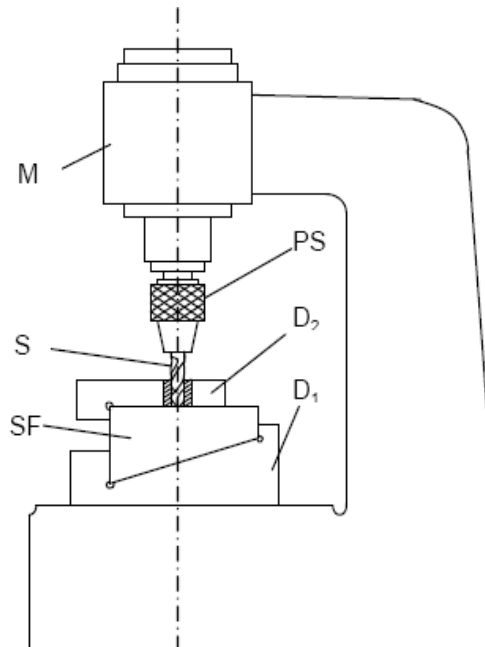


Fig.1.6. Elementele sistemului tehnologic MDSP [GYE 04]

În figură, cu **M** s-a notat mașina-uneltă, cu **PS**- portscula în care este fixată scula, cu **S**- scula, cu **D₁**- dispozitivul de fixare a semifabricatului **SF**, iar cu **D₂**- dispozitivul de conducere a burghiului.

Acest sistem este denumit **Sistem Tehnologic (MDSP)** și el constituie baza modelării procesului de prelucrare. Elementele acestui sistem sunt definite în sistemele lor de coordonate, iar deplasările relative dintre ele se calculăm cu ajutorul matricelor de transformare. Programele prin care se comandă mișcările relative ale mașinii-unelte se definesc, de regulă, în sistemul de coordonate al mașinii.

1.6. Procesele de realizare a formei pieselor

Condiția de bază a proceselor de desprindere de material, respectiv de deformare, este aceea că între sculă și semifabricat să se poată realiza mișcările relative necesare. Astfel, la așchiere deosebim două **tipuri caracteristice de mișcări**:

- **mișcarea principală de așchiere**, caracterizată prin viteza mișcării principale (**v** - m/s, m/min).

Această mișcare poate fi executată de către semifabricat sau de către sculă;

- **mișcarea secundară de avans**, care reprezintă de fapt deplasarea punctului de contact instantaneu dintre semifabricat și sculă, în direcția mișcării instantanee. Avansul se poate măsura în mm/rot (**f**), sau în mm/min (**v_f**), respectiv - la scule cu mai mulți dinți în mm/dinte (**f_z**). În general calitatea suprafeței prelucrate este determinată de geometria muchiei, sau muchiilor active ale sculei și de parametri mișcării relative.

Din punct de vedere al felului mecanismului de generare deosebim prelucrări de: **formare**, **profilare**, **generare geometrică** și **generare cinematică** (Fig.1.7).

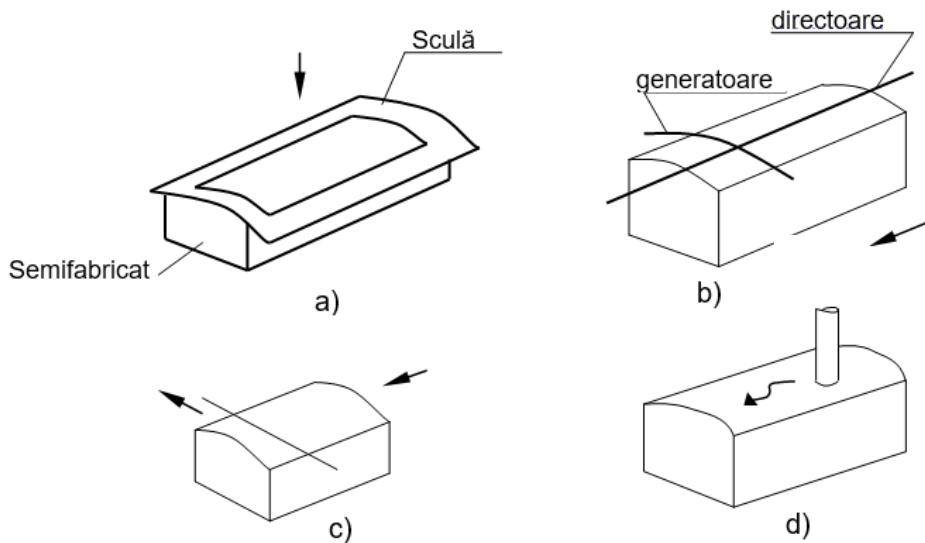


Fig.1.7. Metode de realizare a suprafețelor [GYE 04]

- În cazul **metodelor de formare** (Fig.1.7,a), suprafața care se obține pe semifabricat este negativul profilului activ al sculei. Metoda este caracterizată prin mișcări simple pe o singură direcție, scule cu suprafața activă netedă. Această metodă se folosește la matrițare și prelucrare prin electroeroziune cu electrod masiv;

- În cazul **metodelor de generare geometrică (profilare)** (Fig. 1.7,b), directoarea de regulă este dreaptă (dar poate fi și circulară sau elicoidală), iar muchia sculei care materializează generatoarea, profilează deodată întreaga secțiune transversală a piesei;

- În cazul **generării cinematice (rostogolire)** directoarea poate fi de asemenea dreaptă, circulară sau elicoidală, dar scula materializează suprafața piesei prin combinarea mișcării principale cu viteza v , cu mișcarea suplimentară, care poate fi cel de avans sau o altă mișcare (Fig.1.7, c);

- În cazul **generării spațiale** (3 D), suprafața piesei se obține prin programarea mișcărilor relative dintre sculă și semifabricat în direcția celor trei axe (X,Y,Z) - respectiv prin rotații în jurul acestor axe (A,B,C).

1.7. Semifabricate utilizate în construcția de mașini

Procesul tehnologic de prelucrare mecanică a pieselor de mașini este determinat, în mare măsură, și de felul semifabricatelor din care se realizează piesele. Structura procesului tehnologic de prelucrare și volumul de muncă necesar pentru obținerea piesei depinde de felul semifabricatului. Alegerea semifabricatului se efectuează în funcție de următorii factori:

- forma, dimensiunile și masa piesei;
- destinația, materialul și condițiile de funcționare a piesei;
- volumul producției;
- prețul de cost la care trebuie realizată piesa.

La alegerea tipului de semifabricat se poate opta între următoarele **două variante de bază**:

- semifabricate cu forme și dimensiuni cât mai apropiate de cele ale piesei finite - în acest caz, volumul de muncă la prelucrare, și ca urmare, prețul de cost al acestora, este relativ redus. Elaborarea unui asemenea semifabricat este însă costisitoare și devine rentabilă numai la serii de fabricație mari. În această categorie intră **semifabricatele turnate în forme de coji, turnate de precizie, forjate în matriță**, etc.;
- semifabricate cu un grad mai mic de apropiere de forma și dimensiunile piesei finite - din această categorie fac parte semifabricatele **lamine, forjate liber, turnate în forme de nisip**.

1.7.1. Semifabricate turnate

Turnarea se poate realiza prin următoarele metode :

- **turnarea în forme de nisip**,
- **turnarea în forme metalice**,
- **turnarea centrifugală**,
- **turnarea în modele ușor fuzibile**,
- **turnarea sub presiune**.

Modelele utilizate se pot fabrica din metal (în cazul fabricației de serie și de masă), din lemn sau prin metodele de prototipare rapidă - în cazul fabricației de serie mică sau unicate. Adaosul pentru prelucrările mecanice ulterioare este mai mic în cazul utilizării modelelor de metal și mai mari în cazul utilizării modelelor din lemn. Rugozitatea suprafețelor pieselor turnate în forme din nisip variază între $R_a = 25 - 50 \mu\text{m}$.

În **forme metalice** se pot turna semifabricate din aliaje neferoase și aliaje ușoare. În comparație cu turnarea în forme de nisip, turnarea în forme metalice asigură o productivitate de 2...3 ori mai mare și micșorarea adaosului de prelucrare cu 50 - 70%. Acest procedeu este economic pentru un număr de cel puțin 300 - 500 bucăți.

Turnarea centrifugală se utilizează pentru obținerea unor semifabricate care au forme pregnante de revoluție, cavitatea interioară obținându-se fără folosirea miezurilor. Avantajul principal al metodei este că se obțin structuri foarte uniforme pe circumferință. Prin acest procedeu se toarnă cămăși de cilindru, semifabricate tubulare pentru segmenti de piston, bușe, roți melcate, țevi, etc. Precizia semifabricatelor turnate din oțel și fontă prin acest procedeu, corespunde claselor **IT 8...9**, iar rugozitatea suprafețelor între $R_a = 25 - 50 \mu\text{m}$.

Turnarea cu modele ușor fuzibile (turnarea de precizie). Prin acest procedeu se pot obține semifabricate cu configurație complicată, cu adaosuri de prelucrare relativ mici. Utilizând asemenea semifabricate, volumul de prelucrări mecanice se reduce cu până la 90%.

Refractaritatea înaltă a formei permite turnarea oricăror aliaje, inclusiv a celor refractare cu masa între 1 și 50 kg. Precizia dimensională care se poate obține este între treptele **IT 6...7**, iar rugozitatea suprafețelor $R_a = 12,5 - 25 \mu\text{m}$.

Turnarea sub presiune se folosește pentru obținerea semifabricatelor complicate, cu pereți subțiri, cu cavități adânci, din aliaje de zinc, magneziu, aluminiu, alamă sau cupru. Semifabricatele se caracterizează

prin precizie dimensională ridicată (treptele IT 4...5) și rugozitate $R_a=1,6- 6,3 \mu\text{m}$. Semifabricatele realizate prin acest procedeu, necesită doar prelucrări de semifinisare și finisare. Masa semifabricatelor obținute prin acest procedeu este relativ redusă (sub 5 kg).

Costul formelor pentru turnare sub presiune este foarte ridicat, de aceea procedeul este rentabil numai pentru producția de serie mare și de masă (minim 1000- 2000 piese).

Turnarea în forme-coji. Metoda se bazează pe proprietatea unor amestecuri de nisip cuarțos și rășini termoreactive, de a lua forma unui model metalic încălzit și de a forma un înveliș relativ subțire, 5...8 mm. Prin acest procedeu se execută îndeosebi piese mici și mijlocii, cu forme complexe, din fontă, oțel și neferoase, cu masa până la 25...30 kg. Precizia dimensiunilor este în limitele claselor IT 8...9, iar rugozitatea suprafețelor, $R_a = 12,5- 25 \mu\text{m}$.

1.7.2. Semifabricate forjate liber și matrițate

a) **Semifabricate forjate liber.** Metoda de semifabricare prin forjare liberă se utilizează la producția individuală și serie mică. Prin acest procedeu se realizează, mai ales, semifabricate pentru piese mari care nu se pot realiza economic prin matrițare. Pentru ușurarea forjării libere semifabricatul se realizează la o formă simplificată față de forma piesei finite, fiind prevăzut cu un adaos de prelucrare relativ mare și neuniform (Fig. 1.8).

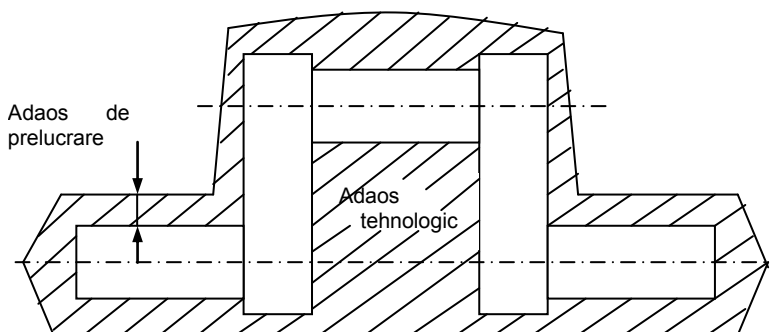


Fig.1.8. Forma semifabricatului forjat liber pentru un arbore cotit [GYE 04]

Întrucât în timpul forjării libere materialul se deformează plastic în mod neîngrădit (nu se limitează curgerea), nu se poate obține o precizie dimensională și de formă mare. Rugozitatea, de asemenea, este peste $R_a=100 \mu\text{m}$.

b) **Forjarea în matrițe libere.** Prin acest procedeu se pot forja piese cu forme relativ simple, direct din semifabricat laminat cu secțiune rotundă sau pătrată, dar și piese relativ complexe, prin profilare prealabilă folosind anumite matrițe universale. Forjarea în matrițe libere este convenabilă pentru obținerea semifabricatelor cu dimensiuni medii, cum sunt: flanșe, pinioane, bucșe, arbori în trepte, inele, etc.

c) **Matrițarea la cald.** Prin matrițarea la cald se asigură o precizie de formă și dimensiune mai mare, micșorându-se considerabil adaosurile pentru prelucrările următoare. Matrițarea la cald permite obținerea unor semifabricate cu precizie ridicată, practic pentru piese de orice configurație, se asigură o structură mai omogenă a materialului și o calitate mai bună a suprafeței. Desigur, costul matrițelor este relativ ridicat, element care face ca această metodă să fie rentabilă numai în producția de serie și de masă. La proiectarea

proceselor tehnologice de prelucrare a pieselor din semifabricate forjate sau matrițate trebuie să se țină seama de înclinațiile și rotunjirile necesare procesului de deformare și apoi de extragere a piesei din matriță.

1.7.3. Semifabricate laminate

În construcția de mașini se folosesc semifabricate laminate sub formă de bare laminate la cald, bare trase la rece, profile, benzi, țevi cu pereți groși, fără sudură.

Semifabricatele laminate se utilizează pentru piesele care au o secțiune și un profil apropiat acestora, când piesele nu prezintă diferențe mari între secțiunile lor transversale, pentru a nu se pierde cantități mari de metal prin așchiere.

1.7.4. Semifabricate matrițate și ștanțate la rece

Din această categorie fac parte semifabricatele și piesele obținute prin operații de prelucrare la rece a tablelor sau a benzilor, precum și operații de deformare în volum la rece, a materialului inițial sub formă de bare.

O particularitate caracteristică a procedurii de matrițare și ștanțare la rece, este aceea că în majoritatea cazurilor se obțin piese cu precizie dimensională și calitate a suprafeței ridicate, astfel de multe ori nici nu necesită prelucrări ulterioare prin așchiere.

Unul dintre procedeele cele mai productive de matrițare la rece este refularea la rece. Acesta face parte din grupa operațiilor de formare prin presare și se realizează prin deformarea locală a metalului, în scopul măririi parțiale a secțiunii transversale. Procedul se întrebuițează pentru executarea pieselor de fixare (buloane, șuruburi, nituri), pinioane cilindrice și conice, supape de motor. Precizia dimensională a porțiunilor refulate poate ajunge la treptele IT 4...5, iar calitatea suprafeței la $R_a = 6,3 - 12,5 \mu\text{m}$.

1.8. Pregătirea semifabricatelor în vederea prelucrărilor prin așchiere

După operația de semifabricare, semifabricatele sunt supuse unor operații pregătitoare în vederea prelucrării mecanice ulterioare.

1.8.1. Pregătirea semifabricatelor laminate

Ca operații pregătitoare pentru semifabricatele laminate se folosesc: **debitarea**, **îndreptarea**, **cojirea**.

a) **Debitarea** se face în scopul pregătirii semifabricatului la lungimea necesară. În cazul debitării barelor laminate pentru prelucrarea pe strunguri revolver sau automate, lungimea debitată trebuie să fie un multiplu al lungimii piesei finite, plus adaosul de prelucrare frontal. Debitarea barelor laminate se poate face prin: **așchiere** (cu ferăstraie mecanice circulare, alternative sau cu panglică), prin **forfecare**, cu **flacăra oxiacetilenică**, prin metode electrice. O metodă destul de des utilizată la debitarea barelor cu diametre mici și mijlocii este cea cu **discuri abrazive**.

b) **Îndreptarea semifabricatelor laminate** este necesară întrucât semifabricatele curbe sau strâmbe creează dificultăți la prelucrarea pe mașini-unelte. În funcție de felul producției și de posibilitățile locului de muncă, îndreptarea se face prin una din următoarele metode :

- **îndreptarea între vârfurile strungului**,

- îndreptarea la prese,
- îndreptarea la mașini de îndreptat și retezat,
- îndreptarea la mașini de calibrat și retezat.

Îndreptarea pe mașini de îndreptat și calibrat se face pentru ca, în afară de îndreptarea și calibrarea barelor, să se obțină și o microgeometrie mai bună a suprafețelor. Pentru îndreptare bara se trece printre trei perechi de role hiperboloidale 1, 2, 3 (Fig.1.9), așezate înclinat, realizând astfel și avansul barei.

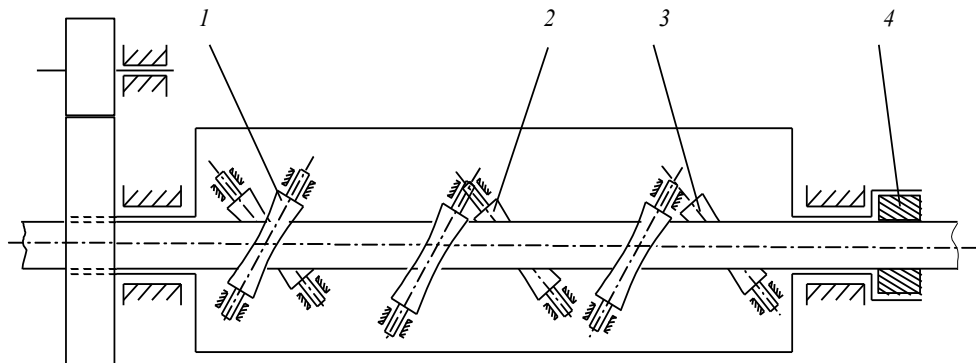


Fig.1.9. Schema mașinii de îndreptat și calibrat [GYE 04]

(1,2,3 role hiperbolice de îndreptat, 4, filiera de calibrat)

Precizia de îndreptare pe astfel de mașini este de $1...2\text{ mm}$ la 1 m lungime pentru bare brute și de $0,1...0,2\text{ mm}$ la 1m pentru bare degroșate în prealabil. Prin acest procedeu se pot îndrepta bare cu diametrul între 15...80 mm.

c) **Cojirea** barelor laminate se face pe mașini speciale de cojit, prevăzute cu cuțite rotitoare. Scopul operației de cojire este de a îndepărta crusta formată la laminare, sau stratul de material decarburat la laminare.

1.8.2. Pregătirea semifabricatelor turnate

După turnare, semifabricatele trebuie pregătite pentru operațiile următoare de prelucrare. Pregătirea constă în:

- tăierea maselotelor și a rețelelor de turnare,
- ajustarea bavurilor,
- curățirea suprafețelor.

Tăierea maselotelor și a **rețelelor de turnare**, la piesele din oțel se face cu flacără oxiacetilenică, iar la piesele din fontă prin rupere.

Ajustarea bavurilor se face cu ajutorul dălților manuale sau pneumatice, respectiv, la piese mici, pe polizoare statice.

Curățirea se poate face cu perii de sârmă, prin tobare, prin sablare cu aer comprimat, cu alice sau nisip, sablare cu proiectare de alice, sablare hidraulică.

Curățirea prin tobare se face în tobe cilindrice sau prismatice, în care, pe lângă piesele care trebuie curățate, se introduc și bucăți mici de fontă albă.

1.8.3. Pregătirea semifabricatelor matrițate

Pentru prelucrarea mecanică prin aşchiere care urmează să se aplice pieselor matrițate, acestea se supun unei operații pregătitoare care constau în:

- debavurare,
- curățire,
- îndreptare,
- tratament termic,
- calibrare.

Debavurarea constă în aceea că piesa matrițată se așează într-o matriță care are o muchie tăietoare corespunzătoare conturului piesei matrițate. Operația de debavurare se poate face la cald sau la rece.

Curățirea pieselor matrițate are ca scop îndepărtarea arsurilor și a defectelor superficiale. Operația se poate realiza prin tobare, sablare, decapare, etc. Curățirea în tobe se recomandă pentru piese mici sau mijlocii a căror masă nu depășește 5...6 kg. Curățirea cu jet de granule se folosește pentru piese mici și mijlocii, cu masa până la 10 kg. Decaparea se face pentru a îndepărta arsurile, oxidările, de pe suprafața pieselor, pe cale chimică.

Îndreptarea. În timpul procesului tehnologic de matrițare, debavurare, tratament termic, piesele pot să capete deformări inadmisibile pentru prelucrările mecanice ulterioare și este necesară îndreptarea, care se poate realiza la cald sau la rece.

Tratamentul termic se aplică în scopul de a reduce tensiunile interne după matrițare, de a îmbunătăți prelucrabilitatea prin aşchiere.

Capitolul 2. ASIGURAREA CALITĂȚII ÎN PROCESELE DE FABRICAȚIE

2.1. Caracteristicile de calitate ale produselor fabricate

Toate caracteristicile pe care un client (utilizator sau consumator) le așteaptă de la un produs constituie *caracteristici cuantificabile* sau *necuantificabile de calitate*. Acesta are așteptări nu numai în ceea ce privește funcționalitatea produsului, ci și în ceea ce privește alte criterii cum ar fi: *prețul, ușoara deservire, siguranța în exploatare pentru consumator și pentru mediul înconjurător* sau *utilizarea eficientă*. Clientul are de asemenea așteptări de natură estetică din partea produsului (*formă, culoare*), *precizie/toleranțe*. De aceea, în conceperea unui produs inginerii vor colabora cu designerii pentru luarea unor decizii cu privire la acești parametri de calitate cuantificabili.

Indicatorii de calitate definatorii ai unui produs rezultă adesea din efectul combinat al caracteristicilor elementelor sale componente:

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

Criteriile de evaluare sunt parțial cuantificabile și permit doar o evaluare calitativă. Unele criterii sunt obligatorii. În această privință sarcina inginerului este de a:

- defini corelația dintre proprietățile tuturor componentelor produsului și funcționalitatea sistemului rezultat (produsul),
- corela cerințele de calitate ale clientului în ceea ce privește caracteristicile de calitate ale tuturor componentele, subansamblurile și reperele produsului.

2.2. Compararea variantelor tehnologice

Compararea variantelor tehnologice ale unui produs are drept scop alegerea, din multitudinea variantelor de prelucrare posibile la prelucrarea unui produs, 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. 2.1).

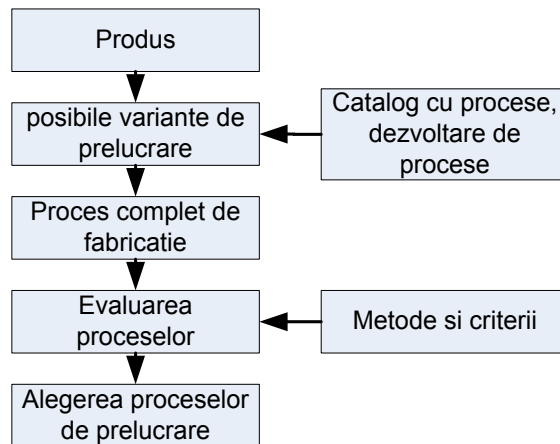


Fig.2.1. Selectarea proceselor de fabricație

Evaluarea se realizează cu ajutorul diferitelor metode, pe baza unor criterii de evaluare stabilite anterior (Fig. 2.2).

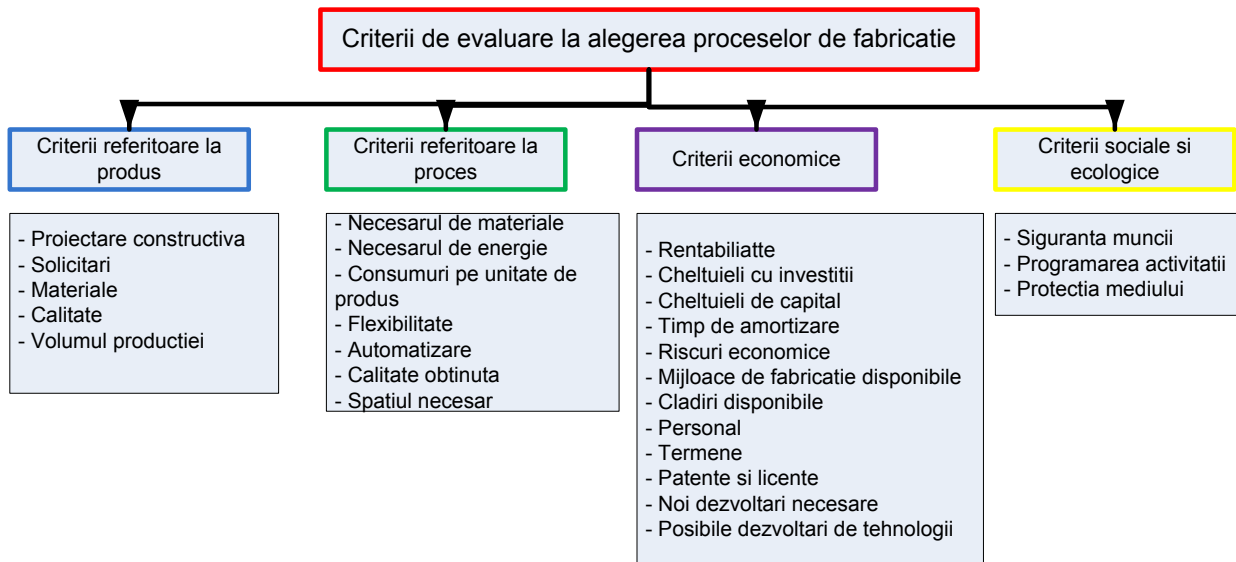


Fig. 2.2 Criterii de evaluare la alegerea proceselor de fabricație

2.3. Clasificarea generală a proceselor de fabricație

Este extrem de dificil de specificat numărul exact de procese de fabricație diferite existente, care sunt practicate în prezent pentru că până acum a fost dezvoltat un număr spectaculos de mare de procese.

Numărul lor este în creștere exponențială datorită cererilor pieței și progreselor rapide în domeniul științei și tehnologiei. În practică, există două tipuri de procese de fabricație (Fig. 2.3):

- Operații de prelucrare** prin care se transformă un material de lucru (semifabricat) de la o stare de procesare la o stare mai avansată. Aceste operații adaugă valoare prin schimbarea *geometriei, proprietăților* sau a *aspectului* materiei prime. În general operațiile de prelucrare sunt efectuate pe semifabricate distincte, dar unele operații de prelucrare sunt aplicabile, de asemenea, unor repere asamblate.
- Operații de asamblare** prin care se alătură două sau mai multe componente, în scopul de a crea o nouă entitate numită *ansamblu* sau *subansamblu*, sau alți termeni care se referă la procesul de asamblare.

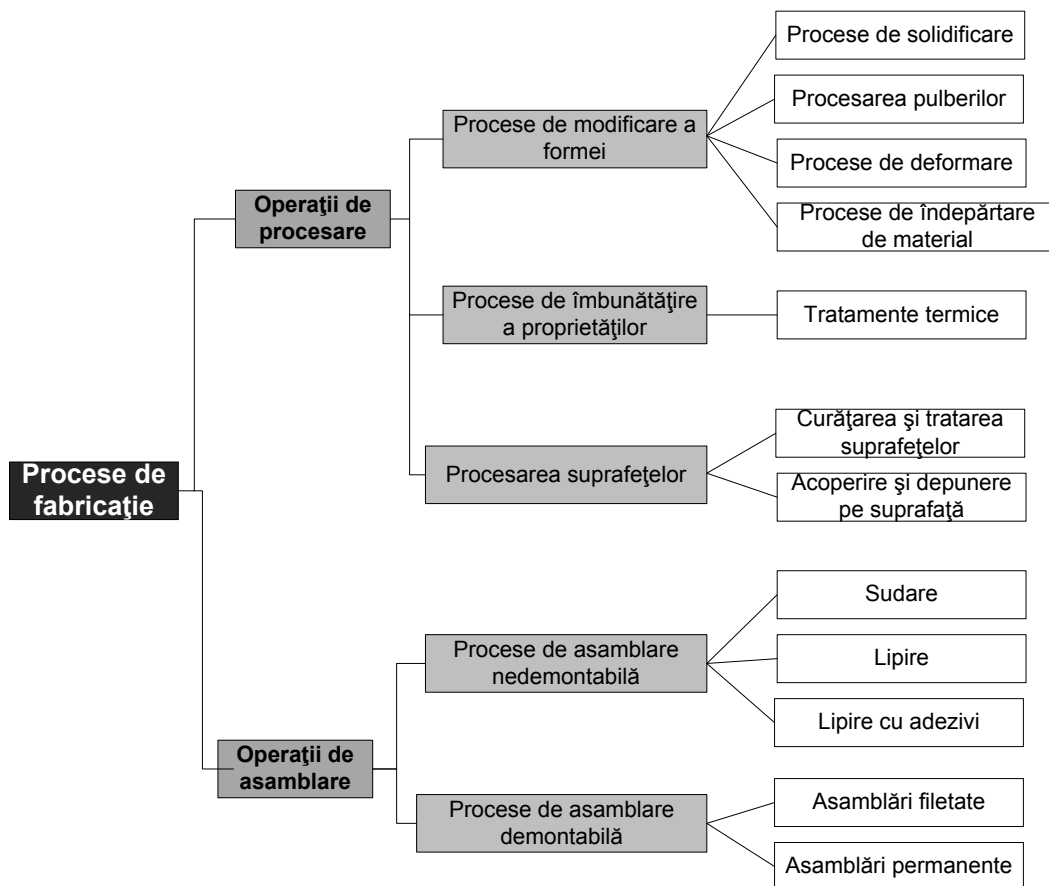


Fig. 2.3. Clasificarea proceselor de fabricație [GRO 10]

2.4. Clasificarea proceselor de prelucrare

Între numeroasele etape ale procesului de producție, etapa de fabricație are o importanță deosebită. Scopul acesteia este de a realiza piese cu o geometrie și proprietăți bine definite. Criteriul care stă la baza clasificării proceselor de prelucrare este *transformarea* materialului (Fig. 2.4).

Acesta trebuie mai întâi obținut (*semifabricare*): structura sa poate fi menținută sau ușor modificată (*deformare, modificarea proprietăților materialului*), poate fi micșorată (*separare*) sau poate fi mărită (*adăugare, acoperire*). Acest mod de sistematizare permite preluarea în timp a unor noi procese de

prelucrare și servește ca bază pentru standardizarea internațională, cuprinsă în DIN 8580. În continuare procesele de prelucrare sunt clasificate în 6 grupe principale, alcătuite la rândul lor din grupe și subgrupe.

Obținerea formei	Modificarea formei				Modificarea proprietăților materialului
	Realizarea structurii materialului	Menținerea structurii materialului	Mișorarea structurii materialului	Mărirea structurii materialului	
Grupa principală 1	Grupa principală 2	Grupa principală 3	Grupa principală 4	Grupa principală 5	Grupa principală 6
Semifabricare	Deformare	Separare	Adăugare	Acoperire	Modificarea proprietăților materialului

Fig. 2.4 Clasificarea proceselor de prelucrare (DIN 8580) [WES 01]

Semifabricarea este prelucrarea unui corp prin realizarea compoziției acestuia. În această etapă sunt importante proprietățile materialului.

Deformarea reprezintă procesul de prelucrare prin modificarea (plastică) a formei unui corp solid. În acest fel se mențin atât masa cât și compoziția materialului. Pentru ordonarea celor mai mult de 200 de procese de deformare plastică (fiecare cu numeroase variante de realizare) se ia în considerare modul de solicitare al materialului. Continuarea clasificării în subgrupe se face pe baza unor criterii ca direcția de curgere a materialului, geometria sculei și a semifabricatului.

Separarea este procesul de prelucrare prin modificarea formei unui corp solid, cu modificarea locală stării-structurii acestuia (în ansamblu se micșorează). Forma finală a semifabricatului este considerată forma de ieșire a acestuia. Din această grupă fac parte și demontarea corpurilor asamblate și curățarea.

Adăugarea reprezintă realizarea unor legături de durată sau a altor conexiuni între două sau mai multe repere cu o formă geometrică definită sau a unor asemenea semifabricate cu alte materiale. Astfel, starea piesei este modificată local sau în ansamblu mărită.

O conexiune realizată prin adăugare poate fi temporară (demontabilă) sau permanentă. Legăturile temporare permit anularea acestora fără deteriorarea reperelor componente. În cazul legăturilor permanente, pentru eliminarea acestora trebuie avută în vedere deteriorarea sau distrugerea elementelor constitutive. Subclasificarea proceselor din grupa principală Adăugare se face în funcție de tipul structurii materialului, ținând cont de modul de generare.

Adăugarea nu se confundă cu montajul. Montajul presupune utilizarea unor operații de asamblare și implică suplimentar operații de manipulare, măsurare și control.

Acoperirea reprezintă adăugarea și fixarea unui strat dintr-un material, fără o geometrie definită, pe suprafața semifabricatului. Decisivă este starea materialului utilizat pentru realizarea acoperirii. Clasificarea proceselor din această grupă se face pe baza procedeele tehnice utilizate, respectiv după starea de agregare a materialului acoperirii. Ca materiale de acoperire se utilizează materiale metalice, materiale anorganice nemetalice (de ex email, ceramică) sau materiale organice (lacuri).

Modificarea proprietăților materialului reprezintă prelucrarea prin modificarea proprietăților materialului din care un semifabricat este confecționat. Au loc modificări domeniul submicroscopic și atomic de exemplu prin difuzia atomilor, generarea sau deplasarea unor rețele atomice în urma unor reacții chimice.

Alegerea unui anumit procedeu de prelucrare pentru procesarea unui semifabricat depinde de precizia dimensională, calitatea suprafeței impuse, mijloacele de producție disponibile și de volumul producției. Cu cât mărimea unui lot de fabricație este mai mare cu atât posibilitățile de automatizare a producției sunt mai mari. Limitele posibilităților de automatizare nu sunt dictate de posibilitățile tehnice ci de considerente economice.

2.5. Procese de prelucrare

Sunt acele operații prin care se modifică **forma, proprietățile fizice** și/sau **aspectul** semifabricatului, în scopul adăugării de valoare materialul prelucrat. Există trei categorii principale de procese de prelucrare:

➤ **Procesele de modelare (formare)** modifică geometria semifabricatului inițial. Operațiile de modelare pot fi la rândul lor împărțite în **patru categorii**:

a) Procese de solidificare - materialul de bază este **un lichid încălzit** sau **un semilichid** care se solidifică sub forma/geometria semifabricatului. Materia primă este încălzită suficient pentru a se transforma într-o stare lichidă sau pentru a ajunge într-o stare extrem de plastică. **Exemple:** turnarea metalelor, injectarea materialelor plastice.

În cazul multor produse industriale se folosesc procesele de turnare pentru obținerea unei prime forme a piesei. Turnarea permite proiectantului o anumită libertate în ceea ce privește proiectarea formei. Astfel, devine posibilă fabricarea eficientă a unor piese cu configurație geometrică complicată. Clasificarea proceselor de turnare se face în procese de turnare în modele fuzibile respectiv în forme solide, în funcție de utilitatea formelor respective ale sculelor.

Materialele care se pot turna se clasifică în metalice (feroase și neferoase) și nemetalice. Cele mai importante materiale feroase care se toarnă sunt: **fonte cu grafit lamelar** (GGL), **fonte cu grafit nodular** (GGG), **fonte albe și cenușii** (GTW und GTS), ca și **oțelurile de turnare**. Dintre materialele neferoase se remarcă **alumiul**, datorită proprietăților foarte bune de turnare.

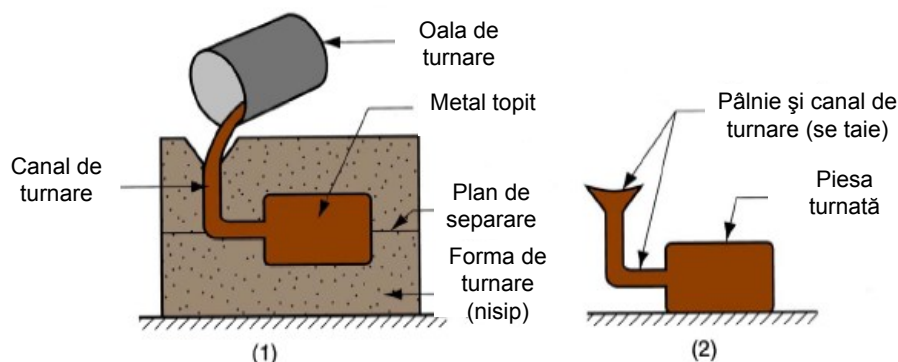


Fig. 2.5 Procesul de solidificare (turnare) [GRO 10]

b) Procesarea pulberilor (particulelor) - materialul de pornire este *o pulbere metalică* sau *ceramică*, care este formată în geometria dorită și apoi sinterizată pentru a se întări (Fig. 2.5). Procesarea implică, de obicei, etapele de presare și sinterizare, în care pulberile sunt mai întâi introduse într-o matriță, care apoi se încălzește pentru ca particulele individuale să se topească și să se unească prin recristalizare, rezultând semifabricatul propriu-zis. Prin sinterizare materialele își schimbă proprietățile. Fabricația pieselor sinterizate se realizează în mai multe etape, cele mai importante fiind prezentate în figura 2.6.

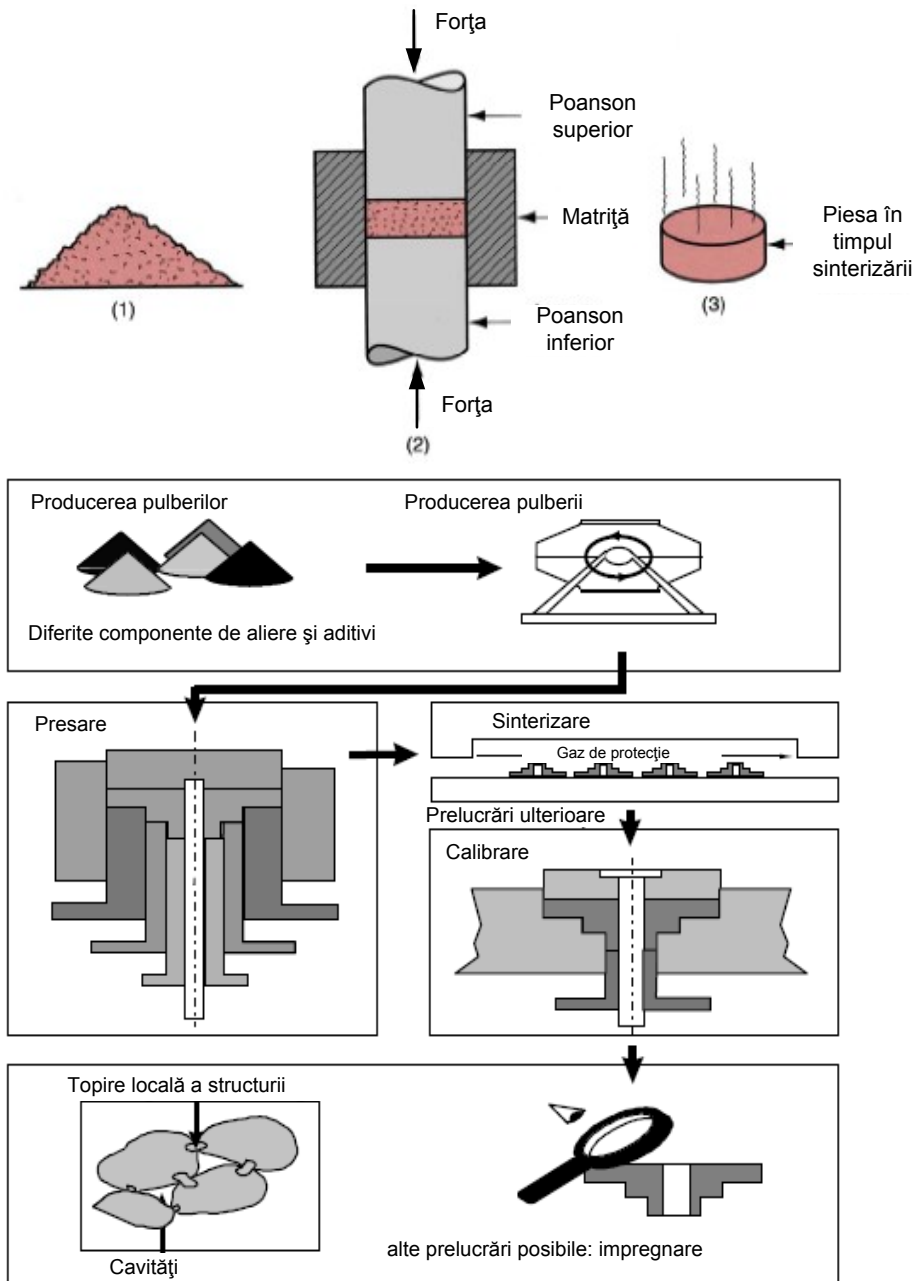


Fig. 2.6 Procesarea pulberilor [WES 01]

c) **Procese de deformare** - materia primă este în acest caz **un solid ductil** (de obicei un metal), care este deformat (Fig. 2.7). Semifabricatul inițial este modelat prin aplicarea unor forțe care depășesc limita de curgere a materialului. Exemple: laminare, forjare (a), extrudare (b). Procesul se desfășoară în domeniul plastic.

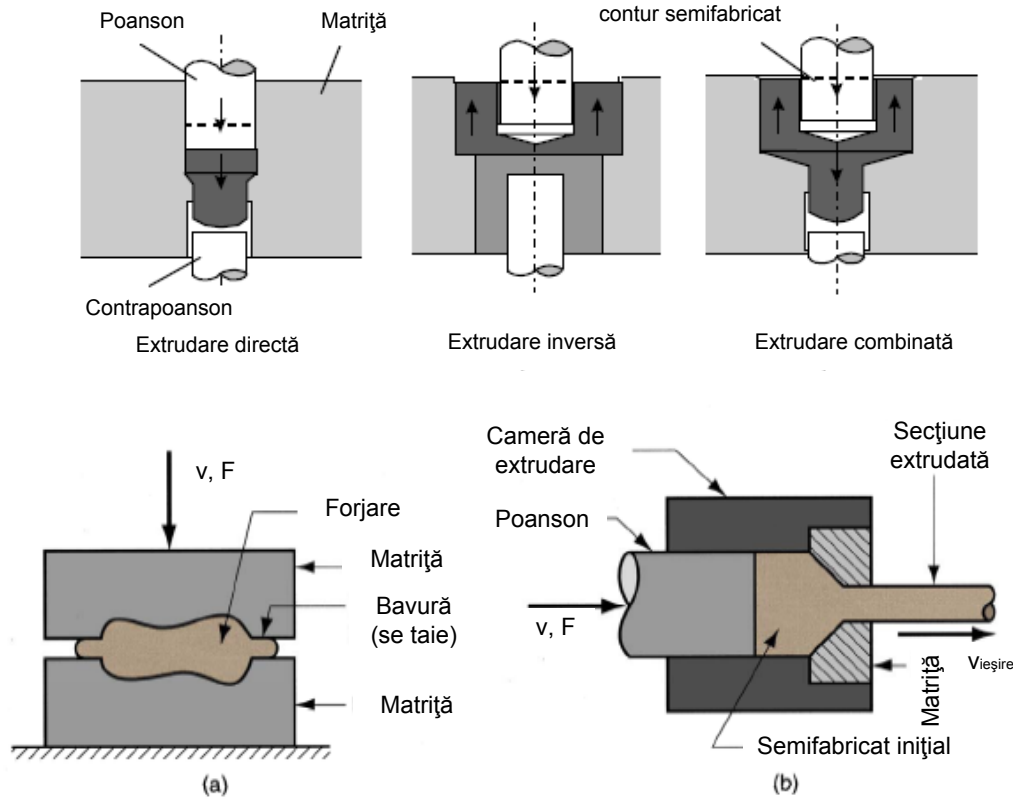


Fig. 2.7. Procese de deformare [GRO 07]

Procesele de deformare se deosebesc de celelalte procese de fabricație prin forțele mari necesare pentru prelucrare, prin includerea întregii piese în procesul de prelucrare, prin timpii de procesare în general scurți și un consum mare de energie.

d) **Procese de separare a materialului** - materialul inițial este **un solid (ductil sau fragil)**, din care este eliminat materialul în exces astfel încât să rezulte o piesă cu geometria dorită (Fig. 2.8). Procesul propriu-zis se desfășoară în zona de lucru unde scula acționează asupra materialului. Scula și semifabricatul sunt considerate un cuplu. În timpul desfășurării procesului au loc mișcări relative între semifabricat și sculă (mișcarea principală, mișcări de avans, mișcări de pătrundere) realizate de una sau de ambele componente ale sistemului tehnologic. Energia și puterea necesare procesului de separare este transformată în căldură prin deformarea materialului, forfecare și frecare.

Exemple: ștanțare, procese de așchiere (cum ar fi de strunjirea, găurirea, frezarea, rectificarea) și de asemenea procesele neconvenționale.

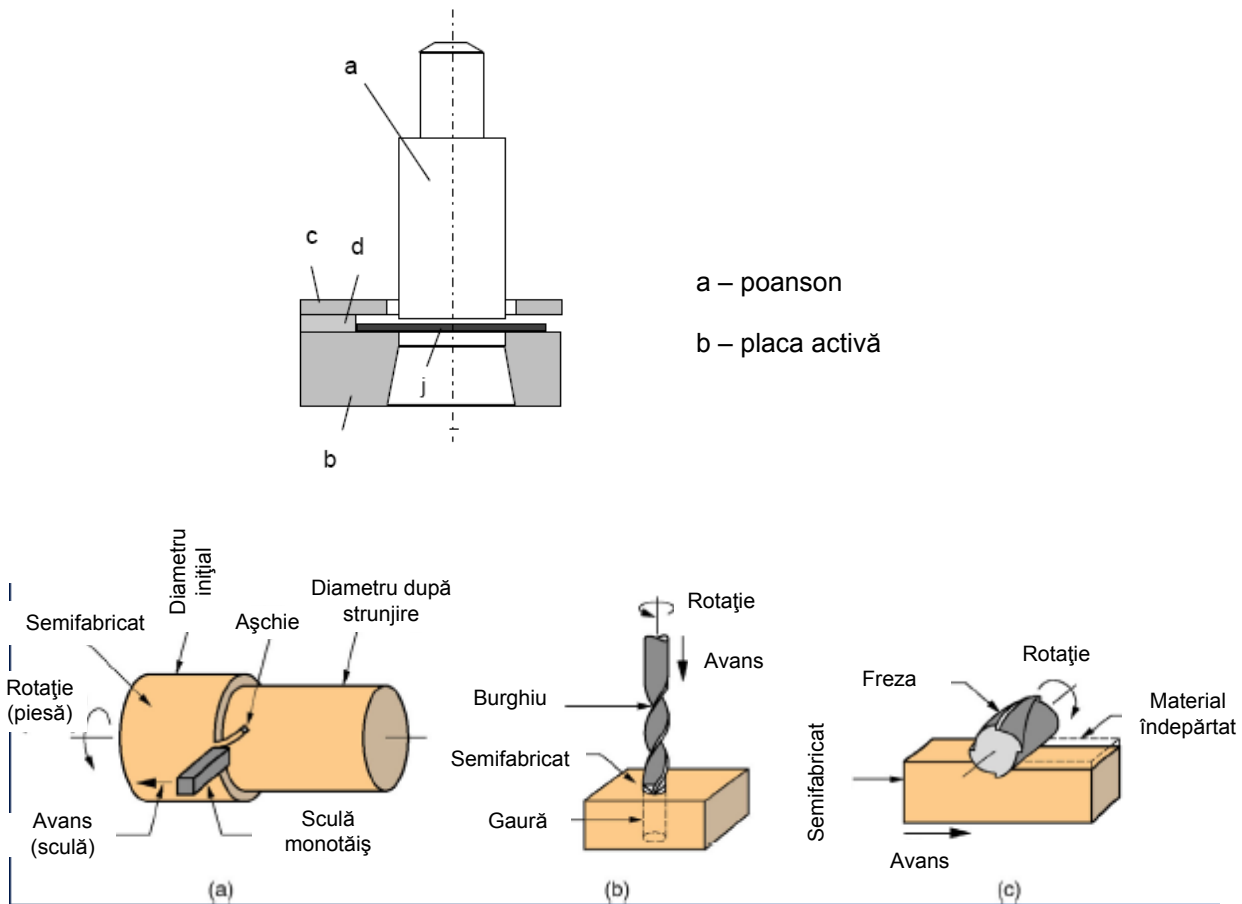


Fig. 2.8. Procese de îndepărtare a materialului [GRO 10]

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

- după gradul de automatizare

<i>Mecanizat</i>	<i>Manual</i>
automatizat	Mișcări relative nedefinite între sculă și semifabricat

- după tipul geometriei muchiei așchietoare

<i>Muchie așchietoare definită</i>	<i>Muchie așchietoare nedefinită</i>
Sunt cunoscute: numărul de muchii așchietoare, geometria tăișului și poziția acestuia în raport cu semifabricatul (de ex. strunjire, găurire, frezare)	Nu sunt cunoscute: numărul de muchii așchietoare, geometria tăișului și poziția acestuia în raport cu semifabricatul (de ex. rectificarea, honuire, lepuire)

➤ **Procesele de schimbare a proprietăților** sunt operații prin care se modifică proprietățile materialului fără a-i schimba forma. Aceste operații sunt efectuate pentru a îmbunătăți proprietățile mecanice sau fizice ale materialului semifabricatului. Forma semifabricatului nu se modifică, cu excepția cazurilor când aceasta se întâmplă neintenționat. Exemple: tratamente termice ale metalelor și sticlei, sinterizarea pulberilor metalice sau ceramice.

➤ **Operațiile de procesare a suprafețelor** sunt efectuate pentru a curăța, trata, acoperi sau adăuga material pe suprafața exterioară a semifabricatului. Multe operații de procesare a suprafețelor sunt utilizate pentru fabricarea circuitelor integrate.

Pe suprafețele semifabricatelor sunt impuse adesea condiții pe care materiile prime nu le pot îndeplini. Acoperirile suprafețelor pot îndeplini aceste sarcini. Astfel se pot analiza separat proprietățile de suprafață ale pieselor și cele care vizează întregul volum al materialului piesei respective. Avantajul care rezultă este, în fiecare caz, o alegere optimă a materialului semifabricatului. Condiția este o tratare preliminară corespunzătoare fie a materialului de bază, fie a stratului superficial de material.

a) **procesele de curățare** sunt procese mecanice sau chimice realizate în scopul de a îndepărta murdăria, uleiul și alte impurități de pe suprafața piesei.

b) **tratamente de suprafață** sunt acțiuni mecanice, cum ar fi sablarea sau procese fizice, cum ar fi difuzia.

c) **acoperiri și depuneri de filme subțiri** reprezintă acoperirea suprafețelor exterioare ale semifabricatului.

Diferitele procedee de acoperire pot fi apreciate pe baza mai multor criterii: **reproductibilitate**, **uniformitate**, **lipsa defectelor** în stratul depus, **posibilitățile de control** al desfășurării procesului, **asigurarea proprietăților** fizice, chimice și optice și, în ultimul timp, **ecologicitatea** acestor procese.

2.6. Operații de asamblare

Al doilea tip de bază de operații de fabricare este constituit de operațiile de asamblare, în care două sau mai multe piese/repere separate sunt unite pentru a forma o nouă entitate. Componentele noului ansamblu sunt conectate **permanent** sau **semi-permanent**. Procesele de asamblare permanentă includ: sudare, brazare, lipire și lipirea cu adezivi. Ele formează un corp comun între componente, care nu pot fi ușor deconectate. Câteva tipuri de operații de asamblare sunt:

- **procesele de contopire** – creează o asamblare permanentă. Exemple: sudare, brazare, lipire și lipire cu adezivi.
- **asamblare mecanică** - fixare prin metode și elemente mecanice de montaj. Exemple: folosirea de șuruburi, buloane, piulițe, alte organe de asamblare, fittinguri, elemente expandabile.

Metodele de asamblare mecanică sunt disponibile pentru a fixa două (sau mai multe) piese împreună într-un montaj care poate fi demontat convenabil. Utilizarea de **șuruburi** și a altor elemente de prindere filetate sunt metodele tradiționale importante de asamblare din această categorie. Alte tehnici mecanice care formează o legătură semipermanentă includ: **nituri**, **fitinguri** și **elemente de expandare**. Metode speciale de fixare sunt utilizate în asamblarea produselor electronice. Unele dintre metodele sunt identice sau sunt adaptări ale proceselor menționate anterior (de exemplu, lipirea).

În general există o *competiție* în ceea ce privește alegerea și utilizarea proceselor de fabricație. Așchiera are cea mai mare pondere în cadrul proceselor de prelucrare și prezintă la rândul său o serie de avantaje și dezavantaje.

Avantajele așchierii constau în special din:

- Precizie de prelucrare ridicată,
- Reproducibilitate mare a calității,
- Posibilități aproape nelimitate de prelucrare a unor geometrii complexe,
- Flexibilitate ridicată la modificarea cererii sau a volumului producției.

Dezavantajele așchierii sunt în primul rând:

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

În general se poate spune că procesele de prelucrare cu îndepărtare de material își au aplicabilitatea în toate situațiile în care acestea sunt mai avantajoase comparativ cu procesele de deformare plastică. Astfel rezultă o serie de factori de influență asupra procesului de așchiere și asupra calității pieselor prelucrate:

- *Procesul de fabricație*
- *Semifabricatul* (material, rezistență, compoziție, omogenitate, geometrie, stabilitate)
- *Scula* (tip, grad de ascuțire / uzură, dimensiuni, rigiditate)
- *Mașina-unealtă* (dispozitive de fixare, rigiditate și comportament la vibrații, stare de funcționare)
- *Condițiile de așchiere* (viteza de așchiere, adâncimea de așchiere, avansul, geometria sculei, condiții de răcire și ungere).

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

Caracteristicile de competitivitate ale tehnicii de prelucrare prin așchiere sunt influențate 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.

2.7. Procesul de aşchiere ca sistem

Ca sistem tehnic, procesul de aşchiere 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. Aceștia depind de *mașina-unealtă* (rigiditatea statică și dinamică, temperatură), *semifabricat* (rezistența mecanică, preformare, compoziția chimică, geometrie) și *sculă* (material, formă, proprietăți mecanice).

Variabilele de ieșire sunt reprezentate 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*, sunt perceptibile numai în timpul desfășurării procesului. Aceste mărimi pot fi folosite pentru supravegherea și diagnoza procesului. *Mărimile rezultate* sunt corelate cu *semifabricatul* (abateri dimensionale, abateri de formă, abateri de poziție, microgeometrie, influențarea stratului superficial de material), cu *scula* (uzura), cu *mașina-unealtă* (încălzire, uzură), cu *materialele auxiliare* (încălzire, contaminare, modificări chimice).

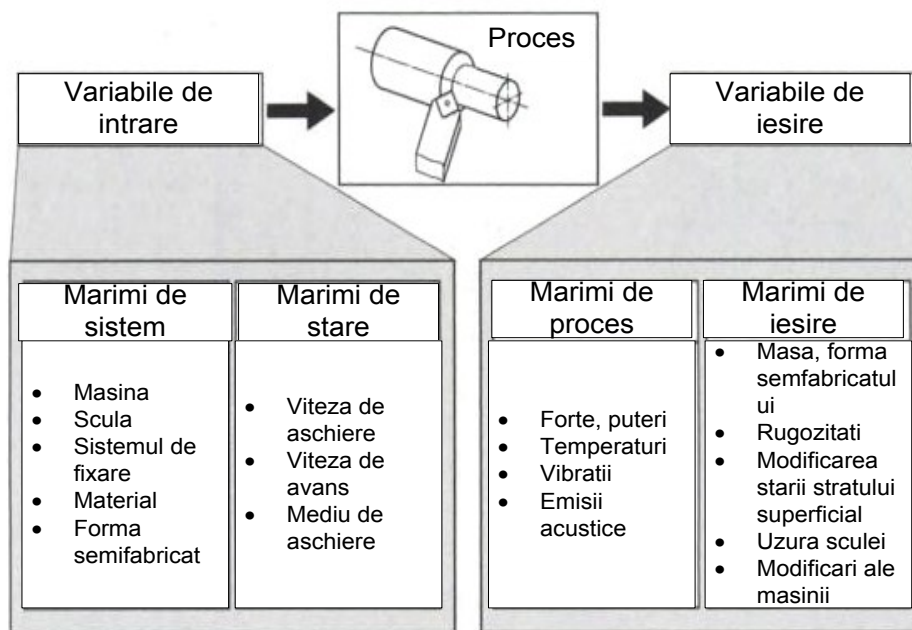


Fig. 2.9. Variabilele de intrare și ieșire ale procesului de prelucrare

Parametrii de intrare sunt transpuși în parametri de ieșire prin intermediul procesului de prelucrare. Compararea acestor mărimi de intrare și ieșire pune în evidență comportamentul de transformare al procesului. Pentru evaluarea unui proces sunt utilizate **4 criterii**:

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

Așadar parametri de intrare sunt aleși astfel încât să fie stabilite de asemenea 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 - tehnologie**.

Tehnologiile de așchiere se evidențiază printr-o definiție clară a mărimilor de bază. În figura 2.10 este dată o prezentare sumară a acestora. Alte explicații ale acestor parametri sunt prezentate preponderent în cazul procesului de strunjire.

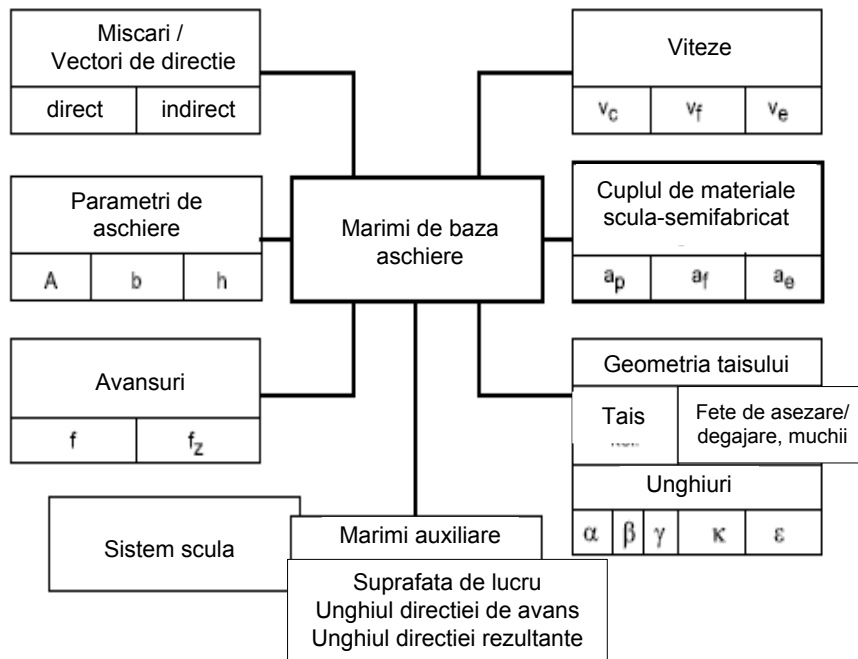


Fig. 2.10 Mărimi de bază în așchiere

Capitolul 3. PRECIZIA DE PRELUCRARE ȘI FACTORII DE INFLUENȚĂ

3.1. Precizia de prelucrare

Precizia de prelucrare este cel mai important indice de calitate într-un proces de prelucrare. **Precizia** prescrisă unei piese este reprezentată de totalitatea condițiilor tehnice impuse de proiectant în desenul de execuție. Piesa din desenul de execuție constituie un **model geometric ideal**, care în general, nu poate fi executată la dimensiunile nominale prescrise din cauza unui complex de factori care influențează funcționalitatea sistemului tehnologic.

Performanțele prelucrărilor mecanice se determină prin **măsurare**, efectuată fie de operatorul uman fie prin includerea mijloacelor de măsurare în cadrul sistemului tehnologic.

Mărimea dimensională rezultată în procesul de prelucrare evidențiată prin măsurare este denumită **dimensiune efectivă**. **Precizia de prelucrare** poate fi definită ca fiind **gradul de concordanță** între:

- *dimensiunile,*
- *calitatea suprafeței,*
- *forma geometrică,*
- *precizia de poziție relativă,*
- *starea stratului superficial*

ale **piesei rezultate** în urma **procesului de fabricație** și cele ale **piesei proiectate**, prevăzute în **desenul de execuție**. Precizia de prelucrare prescrisă în faza de proiectare depinde de rolul funcțional al piesei.

O precizie de prelucrare mare înseamnă un preț de cost foarte ridicat. Așadar trebuie evitată impunerea unei precizii de prelucrare mari, atunci când rolul funcțional al piesei nu impune acest fapt, deoarece aceasta va conduce la creșterea nejustificată a prețului de cost al piesei.

În industria construcțiilor de mașini precizia de prelucrare se referă la **precizia dimensională**, **precizia de formă** și **precizia de poziție reciprocă a suprafețelor**.

Abaterile admise ale:

- dimensiunilor,
- calității suprafeței,
- formei geometrice,
- preciziei de poziție relativă,
- stării stratului superficial

ale piesei proiectate se numesc **toleranțe**.

Abaterile efective rezultate în procesul de prelucrare se numesc **erori**. Un proces tehnologic se consideră că este corect **proiectat, realizat** și **condus** dacă: erorile totale rezultate sunt **mai mici** decât toleranțele admise.

În același timp **toleranța instrumentului de măsură** trebuie să fie **mai mică** decât **toleranța impusă piesei** și pe de altă parte **suma erorilor** ce influențează procesul de prelucrare trebuie să fie **mai mică** decât **erorile admise**.

Eroarea totală de prelucrare reprezintă **diferența** dintre valoarea efectivă și valoarea proiectată a parametrului considerat (**dimensiune, formă sau poziție a suprafeței**). Eroarea totală poate fi considerată ca o funcție de mai mulți factori:

- Eroarea de orientare a semifabricatului,
- Eroarea de fixare (sau strângere),
- Eroarea de reglare,
- Eroarea de prelucrare (la rândul său influențată de mai mulți factori),
- Eroarea de măsurare.

Factorii ce influențează precizia de prelucrare pot fi clasificați în **două categorii**:

- cu influență **aleatorie**:
 - Neuniformitatea adaosului de prelucrare și a structurii materialului,
 - Rigiditatea sistemului tehnologic,
 - Erorile de așezare și fixare ale semifabricatului,
 - Erori de măsurare,
 - Vibrații.
- cu influență **sistematică**:
 - Erorile de mers în gol ale mașinii-unelte,
 - Uzura sculei așchietoare,
 - Deformațiile termice ale sculei, mașinii-unelte, piesei,
 - Erorile dispozitivului de fixare a semifabricatului,
 - Erorile de profil ale sculelor așchietoare.

Factorii cu influență aleatorie au cele mai nefavorabile efecte, fiind greu de determinat, Analiza influenței acestor factori se face prin analiză statistică și teoria probabilităților.

3.2. Eroarea de orientare

Erorile de orientare reprezintă erorile (liniare sau unghiulare) ce apar datorită lipsei coincidenței dintre bazele de orientare și cele de măsurare. Mărimea erorilor de orientare este determinată de **mărimea variației bazelor de măsurare** în raport cu **cele de orientare** pe direcția de măsurare.

Calculul erorii de orientare

- **Identificarea elementului fix** (baza de orientare) al dimensiunii pentru care se efectuează calculul erorii;
- Stabilirea **cotei de reglare CR**, unind elementul fix cu suprafața de prelucrat;
- **Stabilirea lanțului de dimensiuni**, în care vor intra obligatoriu cota de reglare **CR** și dimensiunea pentru care se calculează eroarea de orientare;

- După stabilirea lanțului de dimensiuni acesta se explicitează astfel încât dimensiunea de calcul L să rezulte ca o funcție de restul elementelor lanțului:

$$L = f(l) = \sum_{i=1}^{n-1} l_i;$$

n – numărul elementelor din lanțul de dimensiuni

ΔL – abaterea dimensiunii L

$$\Delta L = f(\Delta l) = \sum_{i=1}^{n-1} \Delta l_i;$$

$$\varepsilon_0 = f(T_i) = \sum T_i;$$

ε_0 – eroarea de orientare

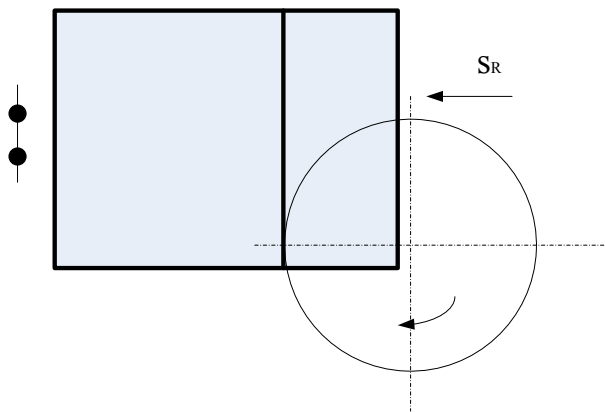
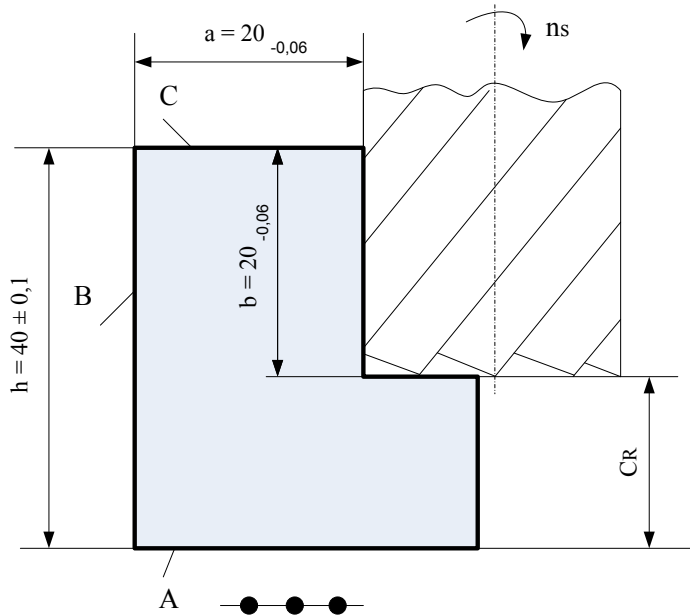
T_i – toleranța dimensiunii l

$$\varepsilon_0 = \sqrt{\sum_{i=1}^{n-1} (T_i)^2};$$

(însurare probablistică)

$$\varepsilon_0 < \varepsilon_{0 adm} \quad \varepsilon_{0 adm} = \frac{1}{3} \cdot T$$

EXEMPLU: Frezarea cilindro-frontală a unei piese prismatice [ANC 03]



$$C_R + b = h$$

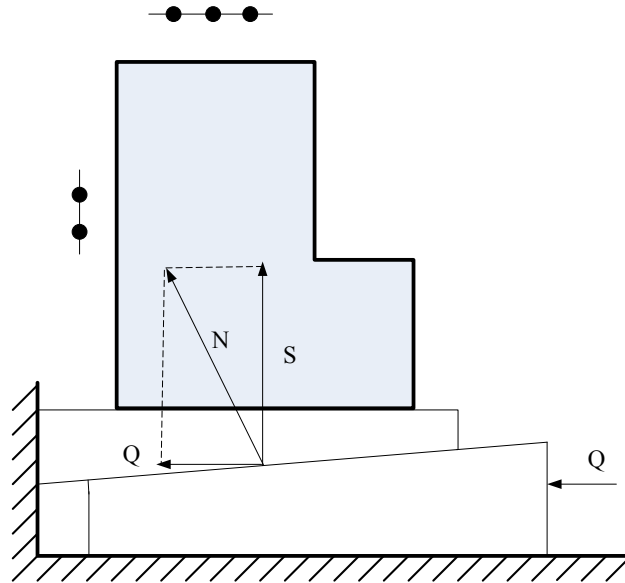
$$\Delta C_R + \Delta b = \Delta h \quad \Delta C_R = 0$$

$$\Delta b = \Delta h - C_R$$

$$\varepsilon_{0b} = T_{(h)} = 0,2 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_{0 \text{ adm } b} = \frac{1}{3} \cdot T_b = \frac{1}{3} \cdot 0,06 = 0,02 \text{ mm}$$

$$\varepsilon_{0 \text{ adm } b} \angle \varepsilon_{0(b)}$$



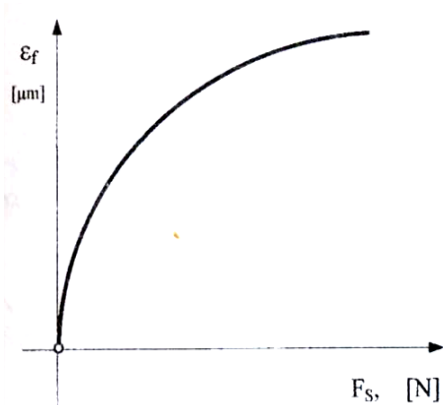
Soluție: Se schimbă baza de orientare A cu C. În acest caz, dispozitivul de orientare și fixare este mai complicat deoarece strângerea se face de jos în sus.

3.3. Eroarea de fixare (de strângere)

Eroile de fixare sunt cauzate de deformările elastice ale semifabricatelor ca urmare a fixării în dispozitiv prin intermediul unor forțe de fixare mari. Forțele de fixare mari sunt necesare pentru a asigura imobilitatea piesei în timpul prelucrării. Dacă semifabricatul este rigid, deformările elastice apar la suprafața de contact dintre semifabricat și reazemele de așezare). Se aplică la început o forță de poziționare (valori mici) și când semifabricatul este corect fixat în dispozitiv se aplică forța de strângere (valori mari).

Pentru un lot de piese se înregistrează o dispersie mare a valorilor deformărilor elastice de contact, ceea ce determină o influență mare a erorilor de strângere și fixare asupra preciziei de prelucrare.

În cazul semifabricatelor mai puțin rigide (de exemplu: semifabricate tubulare cu pereți subțiri), în afara deformărilor de contact apar inevitabil și deformări elastice locale. Diagrama de variație a deformății de contact în funcție de valoarea forței de strângere este prezentată în figura 3.1.



$$\varepsilon_f = C \cdot F_s^n$$

C - constantă a cărei valoare depinde de materialul semifabricatului

F_s - valoarea forței de strângere

n - exponent subunitar

Fig. 3.1 Diagrama de variație a deformății de contact în funcție de valoarea forței de strângere [ANC 03]

La eliberarea din dispozitiv forțele de strângere dispar, semifabricatul revine elastic, ceea ce determină apariția erorilor de formă ale piesei prelucrate.

3.4. Stabilirea preciziei de lucru a mașinilor-unelte universale

Parametrii care definesc **precizia geometrică a mașinii-unelte** sunt următorii:

- rectilinitatea și paralelismul ghidajelor mașinii-unelte pe diferite direcții,
- planeitatea meselor,
- bătaia radială a arborilor principali,
- coaxialitatea diferitelor organe de lucru,
- perpendicularitatea diferitelor organe de lucru.

Factorii care influențează **precizia mașinilor-unelte** pot fi:

- cu acțiune sistematică,
- cu acțiune întâmplătoare:
 - uzura elementelor active,
 - imprecizia mecanismele de reglaj și poziționare,
 - precizia și mărimea diviziunilor sistemului de reglaj al mașinii-unelte,
 - atenția operatorului care realizează reglajul,
 - factori cu influență accidentală (șocuri), care intervin din exterior sau din zona de lucru.

3.5. Influența uzurii sculei și a deformațiilor termice asupra preciziei de prelucrare

Solicitările dinamice ale sculei așchietoare datorită forțelor și momentelor mari din timpul așchierii, la care se adaugă efectele temperaturii generate în zona de așchiere, asigură condițiile ideale pentru apariția uzurii. **Uzura sculei** are drept consecințe **înrautățirea calității suprafeței prelucrate** și **creșterea vibrațiilor**. În momentul atingerii durabilității sculei se recomandă înlocuirea sau reascuțirea sculei. **Durabilitatea sculei T [min]** reprezintă durata până la înlocuirea sculei sau timpul între două reascuțiri succesive ale sculei, stabilită pe criterii economice în funcție de complexitatea sculei și prețul de cost.

Factorii care influențează procesul de uzare sunt:

- *Solicitările mecanice și termice,*
- *Abraziunea mecanică,*
- *Depunerile pe tăiș,*
- *Fenomenele de difuziune,*
- *Arderile și oxidările,*
- *Curenții termoelectrice.*

La așchiere „consumul” muchiilor așchietoare se produce prin **frezare** (adeziune, abrazare), **oxidare** și **difuziune** la temperaturi înalte. Acest fenomen conduce la modificarea geometriei muchiei așchietoare. Astfel, calitatea suprafeței prelucrate și posibilitățile de menținere a preciziei dimensionale scad.

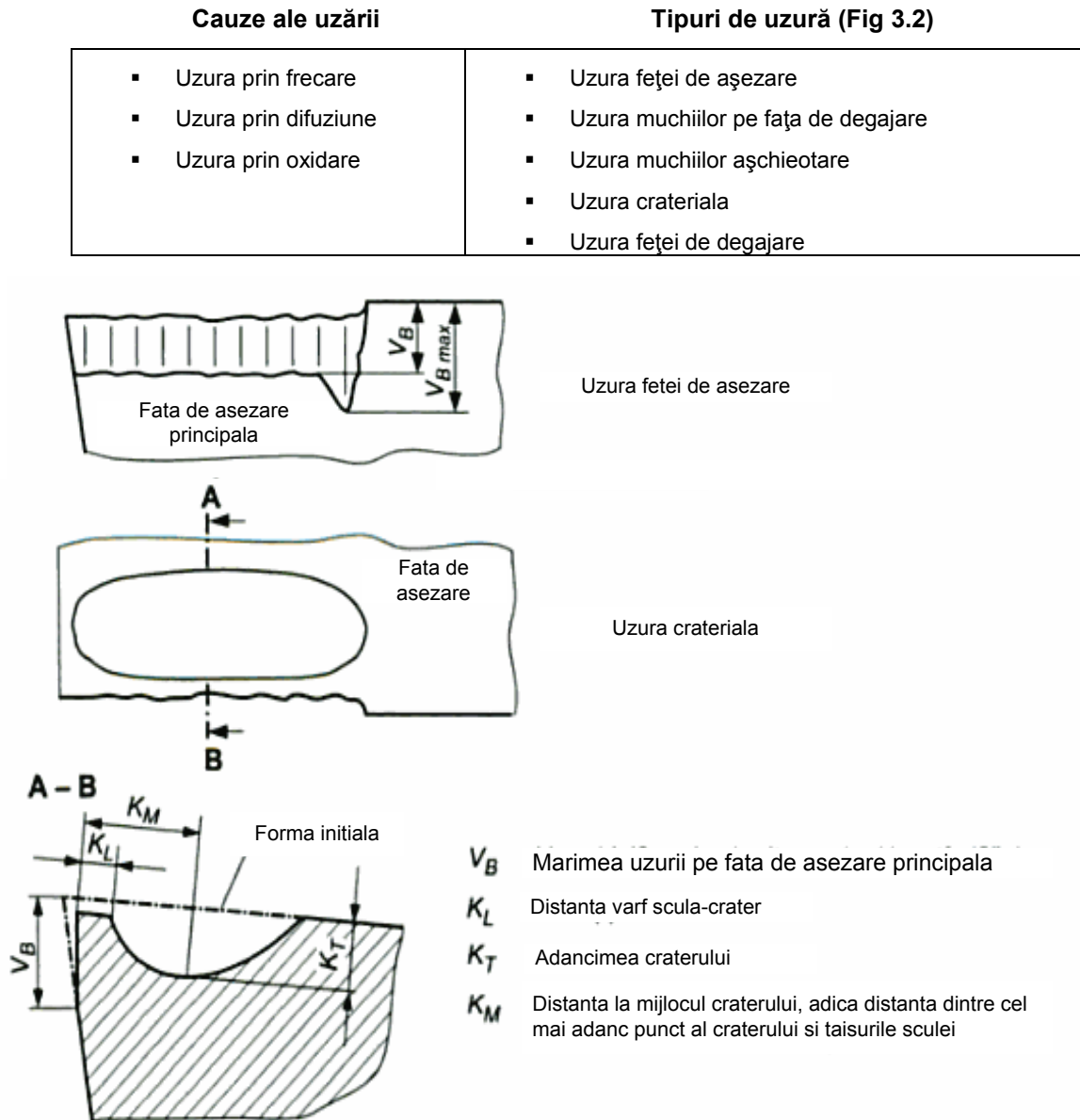


Fig. 3.2. Uzura la cuțitul de strung

Cel mai simplu este să se determine uzura pe suprafețele de așezare ale muchiilor principale și secundare ale sculei. Dimensiunea suprafeței de uzură în direcția de așchiere este denumită lățimea zonei de uzură. Ca **valori maxime admisibile** ale uzurii 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.*

Uzura sculei așchietoare se compune din:

u_α – uzura pe fața de așezare,

u_y – uzura pe fața de degajare,

u_r – uzura radială.

Uzura pe fața de așezare se datorează **frecărilor** care au loc între aceasta și suprafața prelucrată, care revine elastic în urma muchiei așchietoare. Frecarea poate fi de natură **adezivă** sau **abrazivă** în funcție de tipul materialului prelucrat. Totodată căldura înmagazinată în sculă în timpul prelucrării determină diminuarea performanțelor parametrilor fizico-mecanici ai materialului acesteia.

Relația dintre viteza de așchiere și durabilitatea sculei este dată de relația:

$$v \cdot T^n = C$$

v – viteza de așchiere

n – exponent care depinde de condițiile de așchiere

C – constantă.

Fiecărei combinații de materiale sculă-piesă, respectiv condiții de așchiere le corespund propriile valori ale exponentului n și constantei C .

Uzura pe fața de degajare este generată în special de frecarea puternică produsă de așchie în traiectoria sa ascendentă, temperatura, gradul de afinitate chimică între materialul sculei și cel al semifabricatului. Factorii care determină uzura pe fața de așezare influențează în același timp și uzura pe fața de degajare.

Graficul variației uzurii sculei în funcție de timp sau de lungimea drumului parcurs de scula așchietoare (Fig.3.3.) are trei zone distincte: **zona uzurii inițiale** (u_i), **zona uzurii normale** (u_n) și **zona uzurii catastrofale** (u_c).

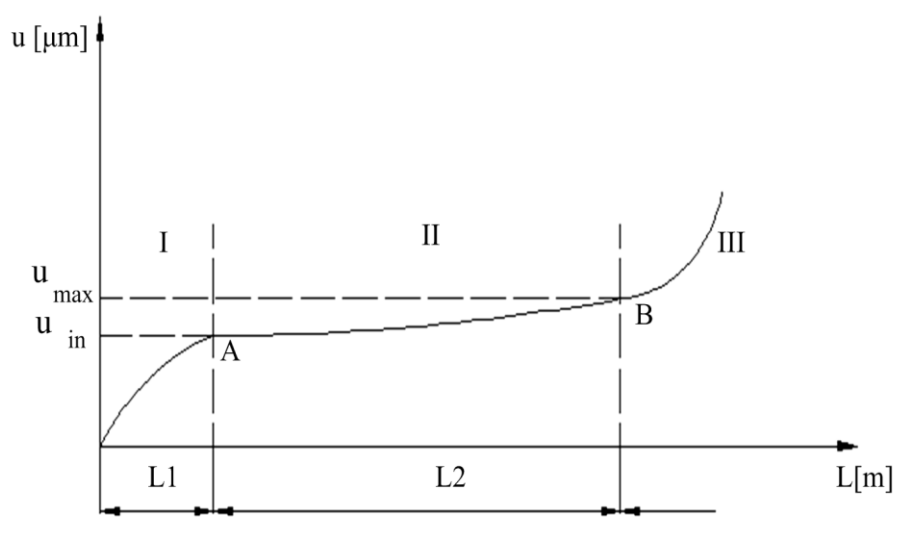


Fig. 3.3. Variația uzurii sculei în timp (I – zona de rodaj, II – zona de exploatare normală, III- zona uzurii intensive [GYE 91]

Uzura sculei așchietoare depinde de mai mulți factori ca: **materialul de prelucrat**, **materialul părții active** a sculei, **geometria sculei**, **viteza de așchiere**, **adâncimea de așchiere**, **avansul sculei**, **timpul de bază**. Dintre

parametrii regimului de așchiere influența cea mai mare asupra uzurii sculei o are **viteza de așchiere**, apoi **avansul** și **adâncimea de așchiere**.

Uzura sculei așchietoare influențează **precizia dimensională**, **de formă** și **rugozitatea suprafeței** prelucrate. Dintre cele trei tipuri de uzură (pe fața de așezare, pe fața de degajare, în direcție radială = direcție perpendiculară pe suprafața de prelucrat), influența cea mai mare asupra preciziei dimensionale o are uzura în direcție radială.

Datorită uzurii radiale diametrul final d_f rezultă mai mare decât diametrul de reglare inițial d_i la prelucrările exterioare (și mai mic la prelucrările interioare). Eroarea de prelucrare este egală cu dublul valorii uzurii radiale.

$$d_f = d_i \pm 2 \cdot h$$

Simultan cu fenomenul de uzare al sculei au loc și **procesele termice** în timpul procesului de prelucrare. **Temperatura în zona de așchiere** (Fig. 3.4) crește pe de o parte din cauza **frecărilor** dintre fața de așezare a sculei și suprafața prelucrată și dintre fața de degajare și așchiile desprinse de pe semifabricat, iar pe de altă parte din cauza **deformării plastice** a materialului.

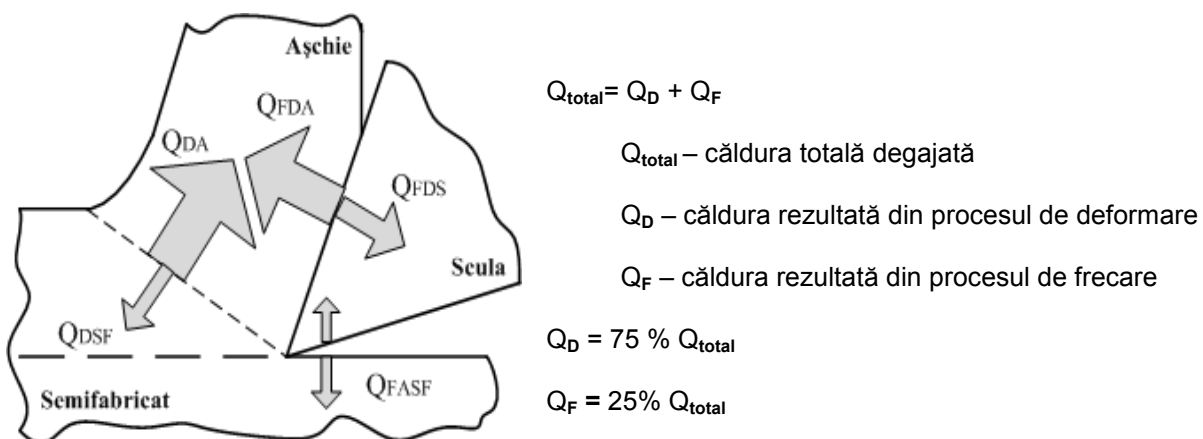


Fig. 3.4. Distribuția căldurii la așchiere [FRA 03]

3.6. Influența rigidității sistemului tehnologic asupra preciziei de prelucrare

În timpul proceselor de prelucrare, **elementele sistemului tehnologic se deplasează** în raport cu poziția lor inițială (corespunzătoare stării de repaus) sub acțiunea **forțelor de așchiere**. Valorile acestor deplasări depind de **mărimea** și **direcția solicitării** și de **capacitatea elementelor sistemului tehnologic** de a se **opune** acestor solicitări.

Rigiditatea sistemului tehnologic se definește ca fiind capacitatea acestui sistem de a se opune / de a rezista solicitărilor care tind să-l deformeze. Același sistem solicitat pe direcții diferite poate opune rezistențe diferite, ceea ce înseamnă că rigiditatea este **dependentă de direcția solicitării**.

Din punct de vedere **matematic** rigiditatea se definește ca:

$$R = \frac{F}{y} \left[\frac{N}{mm} \right]$$

De exemplu, pentru cele 3 subansambluri ale unui strung paralel (p_f - păpușa fixă cu arborele principal, p_m - păpușa mobilă, s_l - sania longitudinală) **rigiditatea parțială** poate fi definită astfel:

$$R_{pf} = \frac{F_r}{y_{pf}} \left[\frac{N}{mm} \right] \quad R_{pm} = \frac{F_r}{y_{pm}} \left[\frac{N}{mm} \right] \quad R_{sl} = \frac{F_r}{y_{sl}} \left[\frac{N}{mm} \right]$$

Rigiditatea totală se determină astfel:

$$R_{T\ pf} = \frac{F_r}{y_{pf} + y_{sl}} \left[\frac{N}{mm} \right] \quad R_{T\ pm} = \frac{F_r}{y_{pm} + y_{sl}} \left[\frac{N}{mm} \right]$$

Se definește **gradul de cedare (W)** ca invers al rigidității:

$$W = \frac{y}{F} \left[\frac{mm}{N} \right]$$

Exemplu: Determinarea **rigidității statice totale** a subansamblurilor unui strung (prelucrarea unui arbore fixat între vârfuri prin strunjire (Fig. 3.5)

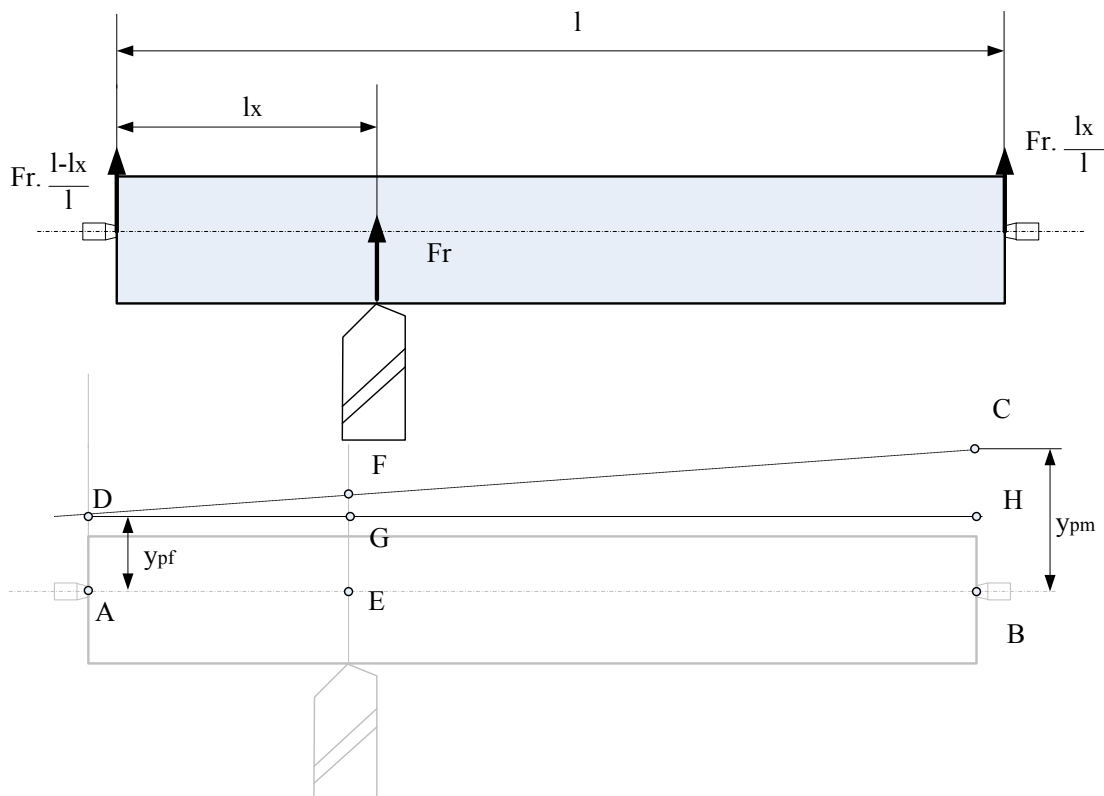


Fig. 3.5. Schema generală de determinare a rigidității totale (caz general) [ANC 03]

$$\frac{FG}{CH} = \frac{DG}{DH} \Rightarrow \frac{FG}{y_{pm} - y_{pf}} = \frac{l_x}{l}$$

$$FG = \frac{l_x}{l} \cdot (y_{pm} - y_{pf})$$

$$EF = FG + y_{pf} = \frac{l_x}{l} (y_{pm} - y_{pf}) = \dots = \frac{l_x}{l} y_{pm} + \frac{l-l_x}{l} y_{pf}$$

$$y_{T(x)} = \frac{l_x}{l} y_{pm} + \frac{l-l_x}{l} y_{pf} + y_{sl}$$

$$\left. \begin{aligned} y_{pf} &= \frac{l-l_x}{l} W_{pf} \cdot F_r \\ y_{pm} &= \frac{l_x}{l} W_{pm} \cdot F_r \\ y_{sl} &= W_{sl} \cdot F_r \end{aligned} \right\}$$

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

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

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

Precizia de prelucrare mecanică este influențată de rigiditatea tuturor elementelor componente ale sistemului tehnologic.

$$\frac{1}{R_{ST}} = \frac{1}{R_{MU}} + \frac{1}{R_{DPSF}} + \frac{1}{R_{SF}} + \frac{1}{R_{DPSA}} + \frac{1}{R_{SA}}$$

R_{ST} – rigiditatea sistemului tehnologic,

R_{MU} – rigiditatea mașinii-unelte,

R_{DPSF} - rigiditatea dispozitivului de prindere al semifabricatului,

R_{SF} – rigiditatea semifabricatului,

R_{DPSA} - rigiditatea dispozitivului de prindere a sculei așchietoare,

R_{SA} - rigiditatea sculei așchietoare.

Pentru că inversul rigidității este **cedarea specifică** (*gradul de cedare - W*), rezultă:

$$W_{ST} = W_{MU} + W_{DPSF} + W_{SF} + W_{DPSA} + W_{SA}$$

Pentru fiecare element al sistemului tehnologic se poate calcula rigiditatea atât în regim static cât și dinamic. În funcție de aceste condiții de determinare se definesc noțiunile de **rigiditate statică** și **rigiditate dinamică**.

Valorile rigidității statice nu se folosesc în evaluarea preciziei de prelucrare, dar se utilizează la aprecierea elementelor sistemului tehnologic. **Rigiditatea dinamică** se determină în condițiile concrete de prelucrare, cu forțe și deformații reale din timpul funcționării.

Rigiditatea mașinilor-unelte se poate determina atât **analitic** cât și pe **cale experimentală**. Determinarea rigidității pe cale analitică se face pe baza teoriei elasticității și a rezistenței materialelor. Rezultatele sunt acceptabile doar pentru cazul pieselor cu forme geometrice simple (arbori netezi sau în trepte), nu și în cazul celor cu formelor geometrice complexe sau a subansamblurilor.

Măsuri tehnologice pentru reducerea erorilor datorate lipsei de rigiditate a mașinilor-unelte

Creșterea rigidității mașinilor-unelte este posibilă prin luarea următoarelor măsuri:

- Reproiectare,
- Reglarea jocurilor din lagăre, ghidaje, etc la valori minime admisibile,
- Determinarea mărimii deformației elastice a mașinii-unelte în regim dinamic și corectarea reglării prin includerea mărimii deformației elastice în calculul cotei de reglare,
- Determinarea regimului de așchiere optim pentru care mărimea valorii deformației elastice în timpul prelucrării să nu depășească o valoare admisibilă (*procent din toleranța T_p a piesei*).

3.7. Rigiditatea semifabricatului

Rigiditatea semifabricatului este o componentă a rigidității sistemului tehnologic care influențează valoarea erorii totale a prelucrării (în special la prelucrarea arborilor cu lungime mare în comparație cu diametrul lor).

Sub acțiunea forțelor de așchiere, semifabricatul se deformează elastic, **mărimea deformațiilor (y_{sf})** este cu atât mai mare cu cât **rigiditatea** acestuia este mai mică. Rigiditatea semifabricatului influențează atât **precizia dimensională** cât și **precizia formei geometrice**.

3.7.1 Calculul rigidității semifabricatului la prinderea între vârfuri (Fig. 3.6)

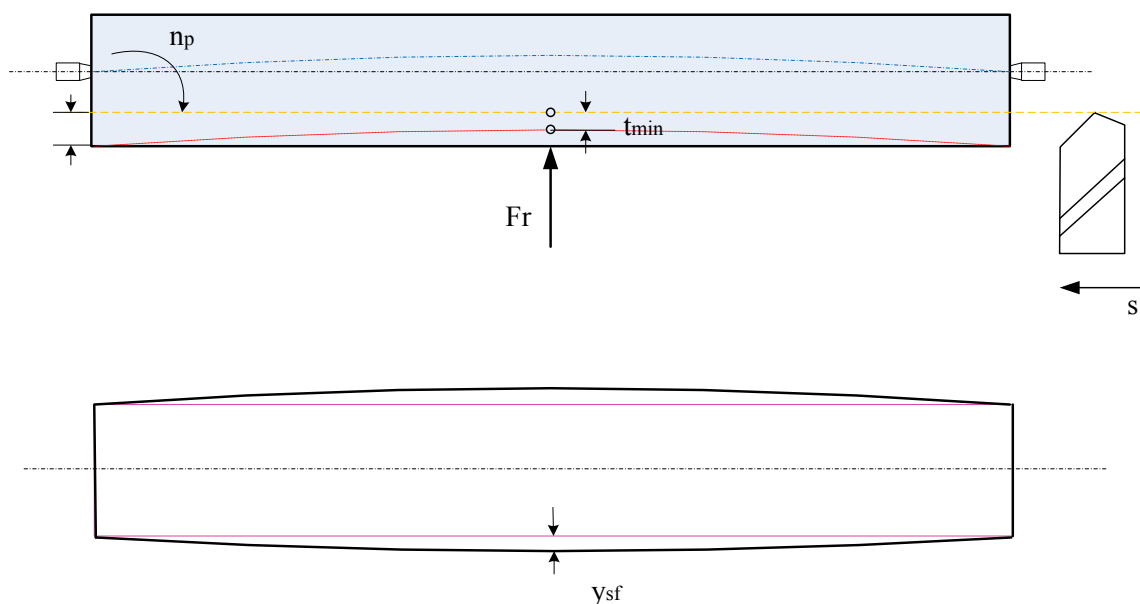


Fig. 3.6. Semifabricat fixat între vârfuri [ANC 03]

Săgeata maximă:

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

Rigiditatea semifabricatului:

$$R_{sf} = \frac{F_r}{y_{sf}} = \frac{48 \cdot E \cdot I}{l^3}$$

F_r – componenta radială a forței de așchiere [N]

l – lungimea semifabricatului prins între vârfuri [mm]

E – modulul de elasticitate al materialului semifabricatului [N/mm²]

I – momentul de inerție al semifabricatului [mm⁴]

3.7.2 Calculul rigidității semifabricatului la prinderea în consolă (Fig. 3.7)

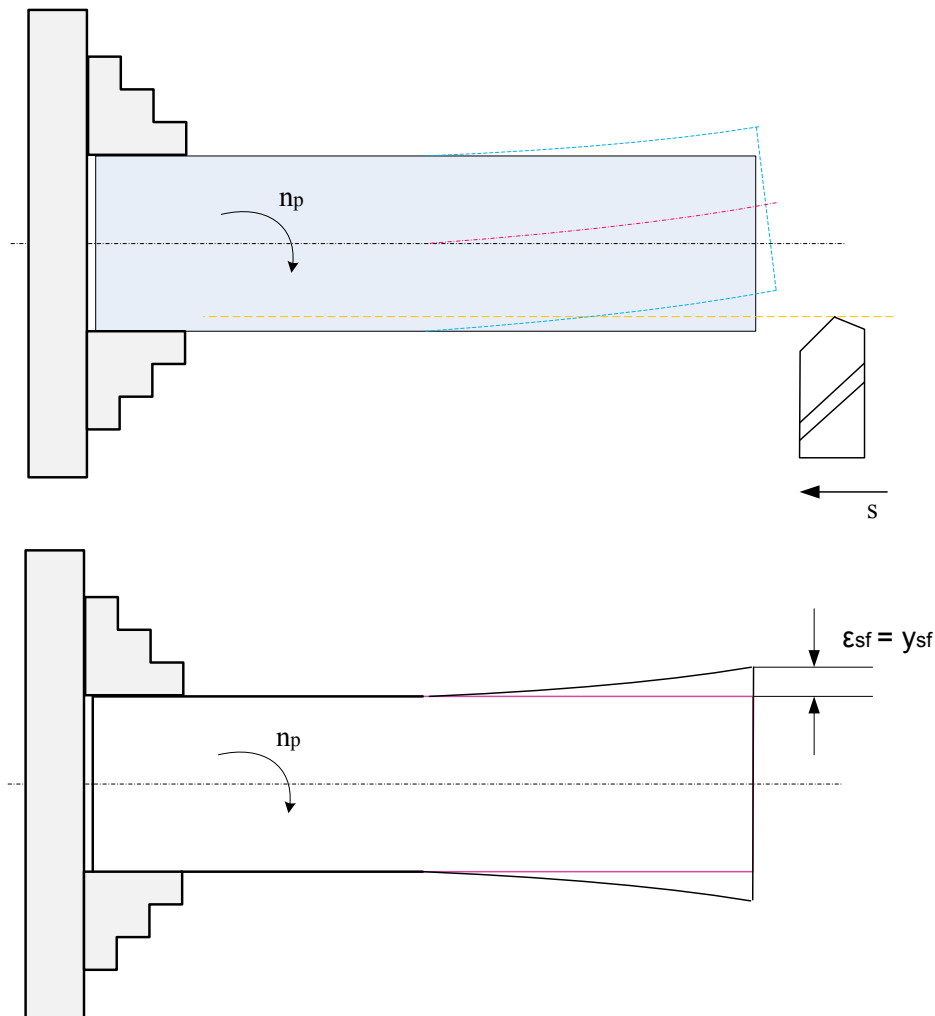


Fig. 3.7. Semifabricat fixat în consolă [ANC 03]

Săgeata maximă:

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

Rigiditatea semifabricatului:

$$R_{sf} = \frac{F_r}{y_{sf}} = \frac{3 \cdot E \cdot I}{l^3}$$

F_r – componenta radială a forței de așchiere [N]

l – lungimea semifabricatului fixat în consola [mm]

E – modulul de elasticitate al materialului semifabricatului [N/mm²]

I – momentul de inerție al semifabricatului [mm⁴]

3.8. Rigiditatea sculei și a dispozitivului de prindere a sculei

Sculele și dispozitivele de fixare ale acestora sunt elemente ale sistemului tehnologic, care se schimbă frecvent în funcție de necesitățile tehnologice și determină modificarea rigidității sistemului tehnologic (Fig. 3.8, Fig. 3.9).

Exemplu: Strunjirea cilindrică interioară

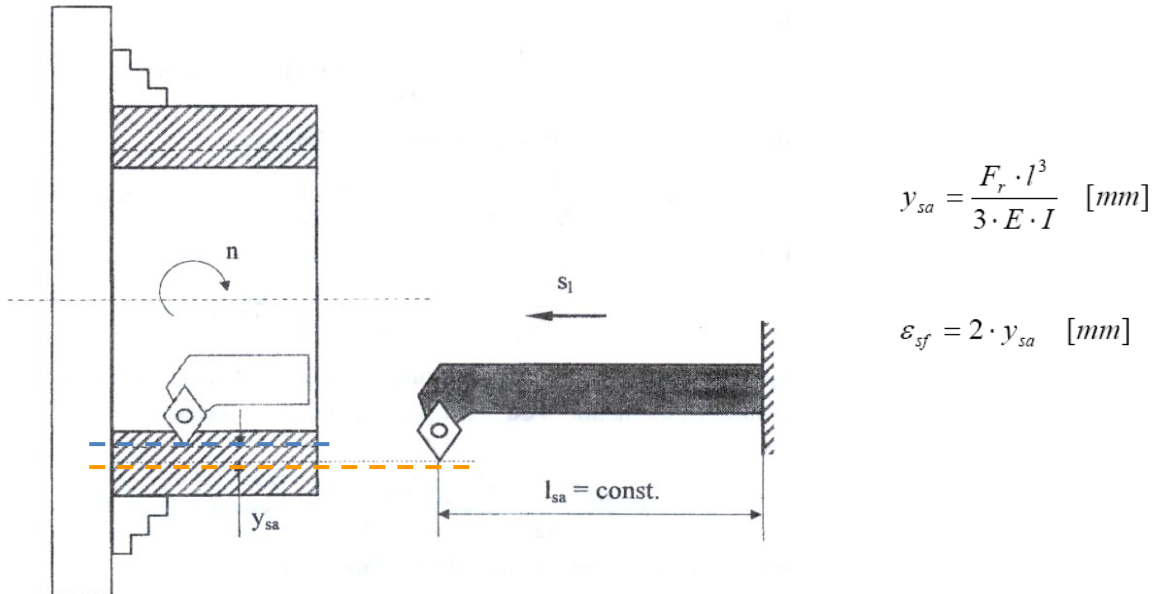


Fig. 3.8. Deformarea corpului sculei așchietoare la prinderea în consolă [ANC 03]

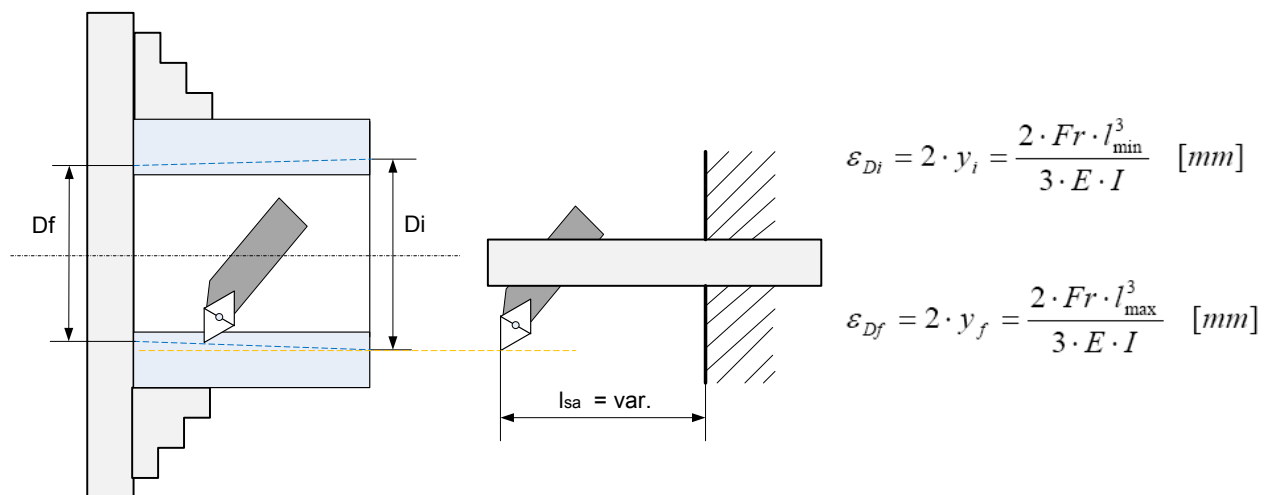


Fig. 3.9. Variația erorilor datorate deformației sculei la prelucrarea alezajelor cu cuțit-bară de alezat [ANC 03]

3.9. Deformațiile termice ale sistemului tehnologic

Deformațiile termice ale sistemului tehnologic includ:

- Deformațiile termice ale mașinii-unelte,
- Deformațiile termice ale sculei așchietoare,
- Deformațiile termice ale semifabricatului.

3.9.1. Deformațiile termice ale mașinii-unelte

În timpul funcționării mașinilor-unelte, **lucrul mecanic de frezare** din subansamblurile acestora (cutia de viteze, cutia de avansuri, motorul electric) cât și o mare parte din **lucrul mecanic consumat în procesul de așchiere** se transformă în căldură. Căldura generată de **surse externe** de căldură (radiații solare, radiații termice datorate surselor de încălzit) produc și ele încălzirea subansamblurilor mașinilor-unelte.

Deformațiile termice ale subansamblurilor mașinilor-unelte pot afecta precizia prelucrării mecanice, cea mai mare influență având-o deformațiile arborelui principal (Fig. 3.10):

- Precizia dimensională,
- Precizia de poziție a suprafețelor.

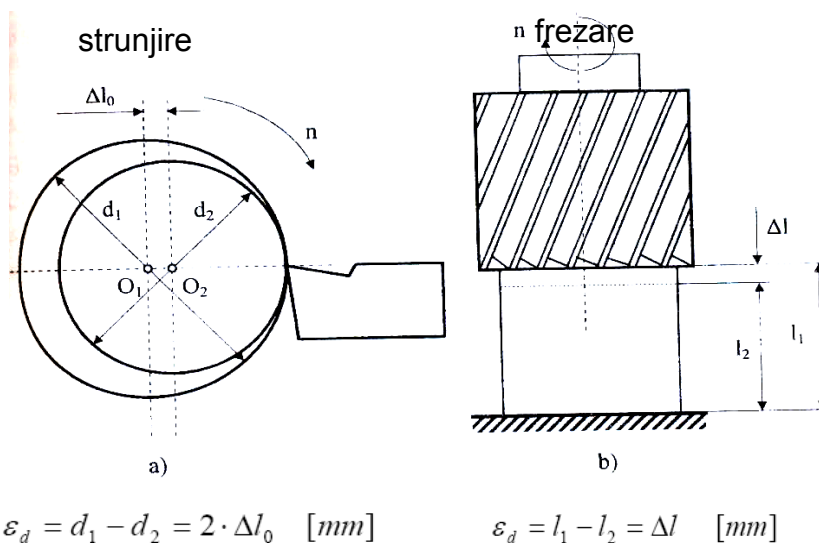


Fig. 3.10. Deformațiile termice ale arborelui principal: (a) la strunjire, (b) la frezare [ANC 03]

$\Delta L = L_0 \cdot \alpha \cdot \Delta t$ - dilatații liniare

$\Delta V = V_0 \cdot \gamma \cdot \Delta t$ - dilatații volumice

α, γ – coeficienți specifici de dilatare liniară / volumică

ε_d – eroare dimensională

3.9.2. Deformațiile termice ale sculei așchietoare

Energia consumată în procesul de așchiere se transformă în căldură. Modul de variație al temperaturii este important de cunoscut deoarece:

- Afectează drastic rezistența, duritatea și durabilitatea sculei așchietoare,
- Generează modificări dimensionale ale sculei în timpul prelucrării îngreunând controlul preciziei dimensionale,
- Poate provoca deteriorări ale muchiei sculei așchietoare.

Deformațiile termice ale sculei așchietoare se datorează lucrului mecanic de forfecare al materialului piesei și apariției frecării dintre fața de degajare a sculei și așchie, respectiv fața de așezare a sculei și suprafața prelucrată a piesei.

Principalele surse generatoare de căldură sunt: **zona de forfecare primară** a așchiei și **interfața sculă-așchie**. Gradientul maxim de temperatură nu se află la vârful sculei ci puțin deasupra acestuia (Fig. 3.11). În cazul strunjirii, valoarea medie a temperaturii degajate în procesul de așchiere poate fi determinată cu relația:

$$T \cong v^a \cdot f^b$$

a, b – constante,

v - viteza de așchiere,

f – avansul.

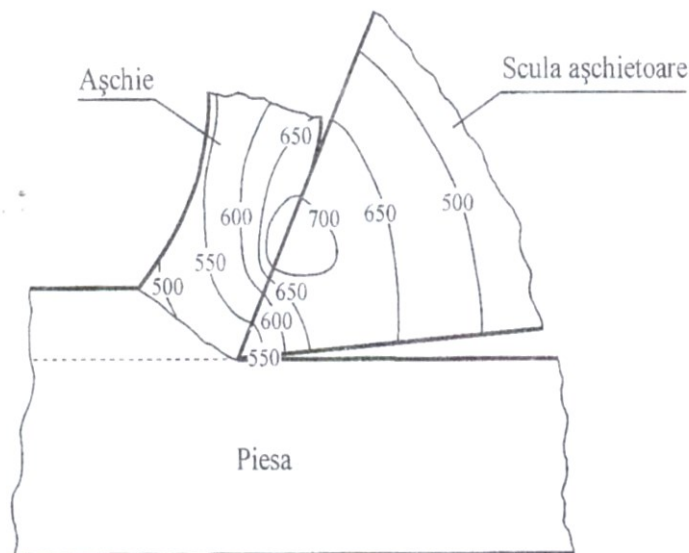


Fig.3.11. Distribuția temperaturii în corpul sculei așchietoare și în așchie [FRA 03]

Căldura degajată în planul de forfecare al așchiei depinde de energia specifică de forfecare și, respectiv, de căldura specifică a materialului. **Creșterea temperaturii** este **maximă** în cazul așchierii materialelor cu **rezistență mare la forfecare** și **căldură specifică mică**. Creșterea căldurii în zona de contact dintre fața de degajare a sculei și așchie depinde de **coeficientul de frecare**.

Temperatura este influențată major de **viteza de așchiere**. La creșterea vitezei de așchiere scade timpul în care căldura ar putea fi disipată, ceea ce determină creșterea temperaturii.

O mare parte din căldura generată este preluată de așchie. Repartizarea cantității de căldură între așchie, semifabricat și sculă depinde de procesul de prelucrare și condițiile în care are loc așchiera (Tabel 3.1). Deși procentul de căldură preluat de scula așchietoare este mic (în raport cu cantitatea de căldură preluată de semifabricat și așchii) are o deosebită importanță, dată fiind masa sculei mult mai mică în raport cu cea a semifabricatului.

Tabel 3.1

Operația	Așchie [%]	Semifabricat [%]	Scula așchietoare [%]
Strunjire ($v=100\text{m/min}$)	75	20	4 – 4,5
Găurire	25	54	20

Deformația termică mai mare în cazul plăcuțelor amovibile (Fig. 3.12) se datorează faptului că această cantitate de căldură se propagă în masa a plăcuței, mică în raport cu masa cuțitului monobloc. Totodată transmiterea căldurii de la plăcuță la corpul sculei se face cu pierderi, în mod diferit față de cazul în care sculele așchietoare fac corp comun cu plăcuța.

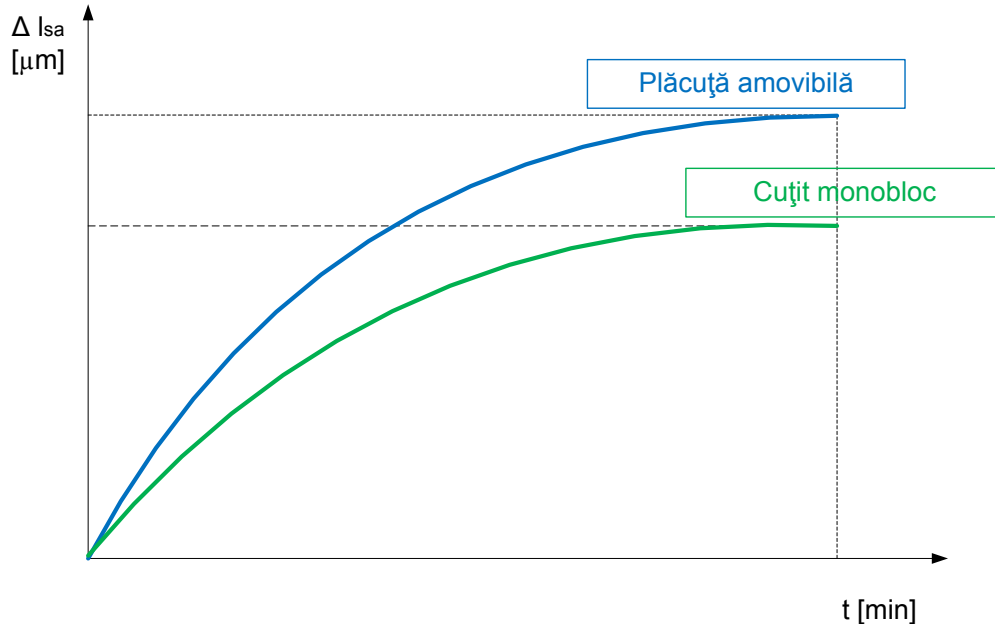


Fig.3.12. Variația deformației termice a sculei așchietoare [ANC 03]

În cazul prelucrării prin strunjire a unei suprafețe cilindrice de lungime mare, deformația termică a cuțitului de strung poate afecta precizia dimensională și de formă a suprafeței (Fig. 3.13).

După un anumit timp, schimbul de căldură dintre sculă și mediul înconjurător ajunge la un regim staționar, în care deformațiile termice se mențin în anumite limite aproximativ constante. Cea mai eficientă metodă de reducere a deformațiilor termice ale sculei așchietoare este reducerea temperaturii în zona de așchiere, utilizând lichide de așchiere.

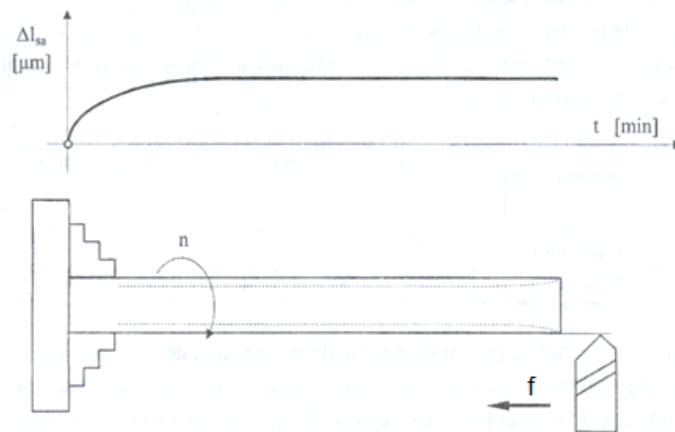


Fig. 3.13. Variația diametrului piesei datorită deformației termice a sculei așchietoare [ANC 03]

3.9.3. Deformațiile termice ale semifabricatului

Parametrii care influențează deformațiile termice ale semifabricatului sunt:

- Parametrii regimului de așchiere (avans, turație, adâncime de așchiere),
- Masa semifabricatului,
- Coeficientul de dilatare termică (liniar & volumic),
- Rezistența la rupere a materialului semifabricatului.

Deformația termică a semifabricatului afectează în primul rând **precizia dimensională**, în special în cazul semifabricatelor de dimensiuni mici (masă mică) sau în cazul operațiilor de finisare.

La frezare și rectificarea plană apare o repartizare neuniformă a căldurii în secțiunea transversală a semifabricatului, care conduce la apariția **erorilor dimensionale variabile**, cu consecințe asupra **preciziei de formă** a suprafețelor.

Pentru reducerea erorilor de prelucrare datorate deformațiilor termice ale semifabricatelor se recomandă, ca și în cazul sculelor așchietoare, **răcirea continuă** cu lichide de așchiere.

În cazul prelucrărilor de precizie mare, se impune suplimentar determinarea prin calcule a deformațiilor termice în scopul **compensării** lor prin reglarea prealabilă a sculei așchietoare.

Deformațiile termice ale **dispozitivelor de prindere** ale sculelor și semifabricatelor sunt suficient de **mici** pentru a putea fi neglijate în calculul erorii totale de prelucrare.

3.10. Influența vibrațiilor sistemului tehnologic asupra preciziei de prelucrare

Așa cum deja a fost menționat, **rigiditatea sistemului tehnologic** este unul dintre factorii care influențează menținerea și controlul valorilor preciziei dimensionale și a calității suprafețelor prelucrate prin așchiere. În același timp este necesară analiza **lipsei de rigiditate**, care conduce la **creșterea nivelului vibrațiilor** sistemului tehnologic. Mișcarea vibratorie este caracterizată prin amplitudine (ce crește simultan cu viteza) și frecvență. **Vibrațiile** au consecințe asupra următoarelor **aspecte**:

- Calitatea suprafețelor prelucrate,
- Scăderea preciziei dimensionale,
- Uzura rapidă sau chiar ruperea sculelor realizate din material cu fragilitate mare (diamante, materiale ceramice, unele carburi metalice),
- Defectarea unor componente ale mașinii-unelte din cauza vibrațiilor,
- Generarea unor zgomote peste limitele admise.

Principalele cauze generatoare de vibrații în sistemul tehnologic provin din:

- **Surse interne** procesului de prelucrare:
 - Neuniformitatea adaosului de prelucrare și a structurii materialului,
 - Batăile radiale ale dornului portsculă,
 - Intrarea neuniformă a muchiiilor sculei așchietoare în material,
 - Fenomene interne procesului de așchiere (formarea și evacuarea elementelor de așchii).
- **Surse externe** procesului de prelucrare:
 - Vibrații transmise prin fundație de la utilaje apropiate,
 - Vibrații cauzate de masele dezechilibrate aflate în mișcare de rotație,
 - Vibrații produse de diferite șocuri.

În timpul operațiilor de prelucrare în sistemul tehnologic apar **trei tipuri de vibrații**:

1. **Vibrații forțate,**
2. **Autovibrații (vibrații autoexcitate),**
3. **Vibrații de relaxare.**

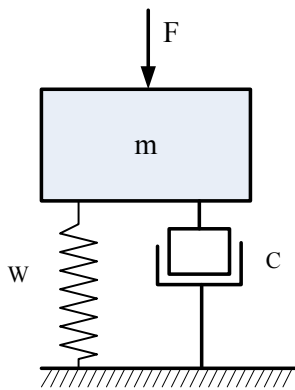
3.10.1. Vibrații forțate

Vibrațiile forțate sunt cauzate de forțe ce acționează periodic asupra mașinii-unelte, cum sunt cele de la cutiile de viteze sau avansuri ale mașinii-unelte, de la componente neechilibrate ale mașinii-unelte aflate în mișcare de rotație, pompe etc. Un alt exemplu de generare a vibrațiilor forțate este intrarea și ieșirea periodică a sculei din material la operația de frezare, rabotare sau la strunjirea unor suprafețe discontinue.

Pentru reducerea vibrațiilor forțate o soluție de bază este reducerea factorului perturbator. Dacă frecvența factorului perturbator și a componentelor sistemului tehnologic sunt apropiate se recomandă micșorarea sau mărirea uneia dintre aceste frecvențe. Amplitudinea mișcării vibratorii poate fi diminuată prin creșterea rigidității sistemului tehnologic.

Trebuie menționat faptul că modificarea valorii parametrilor de așchiere nu influențează semnificativ vibrațiile forțate ale sistemului tehnologic. O influență benefică o poate avea în anumite situații modificarea vitezei și a geometriei sculei așchietoare.

Analiza influenței vibrațiilor forțate asupra preciziei de prelucrare se realizează apelând la modelarea sistemului tehnologic, asemenea sistemelor mecanice (Fig. 3.14).



$$\left. \begin{aligned} F_{el} + F_{am} &= 0 \\ F_{el} &= \frac{1}{W} \cdot y \\ F_{am} &= C \cdot \frac{dy}{dt} \end{aligned} \right\} \begin{aligned} m \cdot \frac{d^2 y}{dt^2} + C \cdot \frac{dy}{dt} + \frac{1}{W} \cdot y &= 0 \\ m \cdot \frac{d^2 y}{dt^2} + \frac{1}{W} \cdot y &= 0 \end{aligned}$$

$$y = A \cdot \cos \omega t + B \cdot \sin \omega t$$

$$y = B \cdot \sin \omega t$$

$$f = \frac{\omega}{2 \cdot \pi} = \frac{1}{2 \cdot \pi} \cdot \sqrt{\frac{1}{W \cdot m}}$$

Fig. 3.14. Sistem mecanic

m - masă

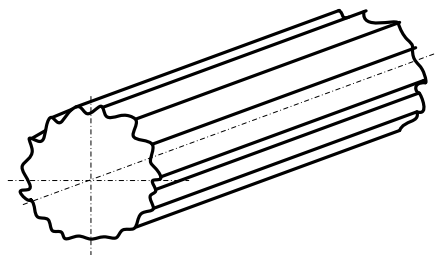
C – coeficient de amortizare (amortizor)

W – cedare relativă arc

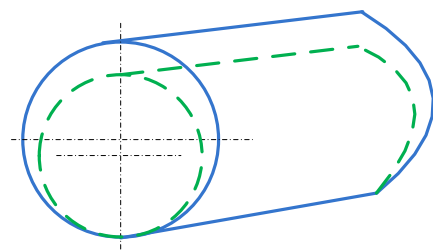
F – forță exterioară

În funcție de raportul (μ) dintre frecvența vibrațiilor și frecvența mișcării de rotație (a sculei /semifabricatului) apar **3 situații distincte** [GYE 91]:

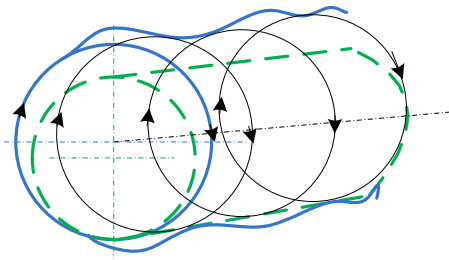
- $\mu > 1$ => erori în secțiunea transversală



- $\mu = 1$ => erori în secțiunea transversală (piesa ovală în secțiune transversală)



$\mu < 1 \Rightarrow$ erori în secțiune transversală și longitudinală, la rectificarea cilindrică interioară a alezajelor cu diametre mici și foarte mici.



3.10.2. Autovibrații

Vibrațiile autoexcitate sunt generate în urma interacțiunii dintre procesul de așchiere și structura mașinii-unelte. De regulă au amplitudine **mică** și frecvență **mare**. Apar din cauza unor **neregularități** în zona de așchiere, ca de exemplu:

- neomogenități structurale ale materialului piesei de prelucrat,
- neuniformități ale grosimii stratului așchiat,
- modificarea tipului așchiilor produse,
- schimbarea condițiilor de frecare la interfața sculă-așchie,
- efectul ineficient al lichidelor de așchiere.

Datorită faptului că o mașină-unelte prezintă valori diferite ale rigidității în funcție de frecvența vibrațiilor, **schimbarea parametrilor** regimului de așchiere **influențează** vibrațiile autoexcitate. Tendința de a genera vibrații autoexcitate în timpul procesului de așchiere este proporțională cu **mărimea forțelor de așchiere** și implicit cu **secțiunea așchiei**. Forțele de așchiere cresc odată cu duritatea materialului piesei, iar tendința de apariție a autovibrațiilor crește odată cu creșterea rezistenței materialului prelucrat.

Apariția autovibrațiilor poate fi explicată pe baza mai multor **teorii/ipoteze**:

1. Ipoteza lui Taylor. Cauza apariției autovibrațiilor este variația forței de așchiere pe durata celor 4 etape de formare a așchiei: deformare elastică, deformare plastică, ecruisare, rupere.

2. Teoria lui Kașirin. Cauza apariției autovibrațiilor este variația forțelor de frecare pe fața de degajare a sculei.

3. Teoria lui Sokolovsky. Cauza apariției autovibrațiilor este variația continuă a parametrilor geometrici efectivi în timpul parcurgerii neregularităților suprafeței prelucrate.

4. Teoria lui Harnis și Grig. Cauza apariției autovibrațiilor este variația continuă a adâncimii de așchiere între neregularitățile prelucrării precedente și oscilațiile prelucrării curente ceea ce determină variația forței de așchiere și implicit apariția unui efect autovibrator.

5. Teoria lui Tobias. Cauza apariției autovibrațiilor este variația forțelor de așchiere în momentul intrării sculei în materialul nedeformat și momentul respingerii sale de către materialul ecruisat.

3.10.3. Vibrații de relaxare

Vibrațiile de relaxare sunt cauzate de forțe cu acțiune instantanee (de exemplu forțele de impact). Fac parte din categoria **vibrațiilor forțate amortizate**. Acest tip de vibrații apare de exemplu la: rabotare, mortezare, strunjire interioară, rectificarea suprafețelor cilindrice exterioare și interioare (Fig. 3.15).

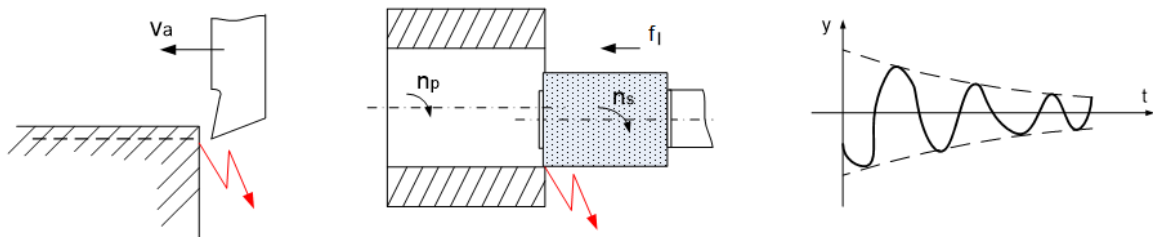


Fig. 3.15. Vibrații forțate amortizate [GYE 91]

Pentru **reducerea efectului vibrator** pot fi luate următoarele **măsuri**:

1. **Îmbunătățirea rigidității elementelor sistemului tehnologic** prin: scoaterea jocului din îmbinări, folosirea de reazeme suplimentare, suporturi portsculă rigide, reparația și recondiționarea unor subansambluri.
2. **Folosirea unor sisteme elastice suplimentare** care să preia o parte din energia vibratorie (amortizoare de vibrații).
3. **Prelucrarea cu cuțite întoarse** (cu fațetă).
4. **Alegerea corespunzătoare a parametrilor regimului de așchiere** (de exemplu: viteze mici sau foarte mari, adâncimi de așchiere mici și avansuri mari).

3.11. Influența tensiunilor interne asupra preciziei de prelucrare

Tensiunile interne sunt eforturi unitare ce acționează în materialul semifabricatului chiar și atunci când asupra sa nu acționează nici un efort exterior. Tensiunile interne pot apărea în:

- *Etapa de elaborare a semifabricatului (tensiuni structurale),*
- *Etapa de prelucrări mecanice (tensiuni tehnologice),*
- *Etapa de tratament termic (tensiuni interne termice).*

O cauză a apariției tensiunilor interne în timpul prelucrărilor mecanice este ecruisarea suprafeței prelucrate. Mărimea tensiunilor interne din stratul superficial depinde de o serie de factori, crescând odată cu:

- *Micșorarea unghiului de așezare al sculei așchietoare,*
- *Creșterea razei la vârf a muchiei sculei așchietoare,*
- *Creșterea avansului de lucru,*
- *Creșterea vitezei de așchiere la peste 300 m/min,*
- *Prezența vibrațiilor.*

Efectele prezenței tensiunilor interne se manifestă prin apariția **erorilor dimensionale, de formă și de poziție reciprocă** a suprafețelor. Câteva **modalități de reducere** a tensiunilor interne constau în:

- Elaborarea corectă a formelor geometrice ale semifabricatelor,
- Respectarea tehnologiei de fabricație,
- Tratamente termice (îmbătrânire naturală/artificială),

- Detensionare artificială (metode mecanice, vibrații).

La prelucrările mecanice pe lângă **detensionările naturale sau artificiale** se mai pot lua următoarele **măsuri**:

- Adoptarea unor regimuri de așchiere ușoare (adâncimi de așchiere și avansuri mici, în special la prelucrările de finisare);
- Operațiile de finisare să se realizeze cu scule neuzate, cu unghiuri de așezare suficient de mari, raze la vârf mici pentru a nu genera vibrații,
- Când deformațiile termice sunt mari se recomandă răcirea cu lichide de ungere și răcire.

Capitolul 4. NOȚIUNI GENERALE PRIVIND PROCESELE DE AȘCHIERE CU SCULE CU MUCHII AȘCHietoARE DEFINITE

Clasificarea proceselor de prelucrare prin așchiere este prezentată în figurile 4.1 - 4.2.

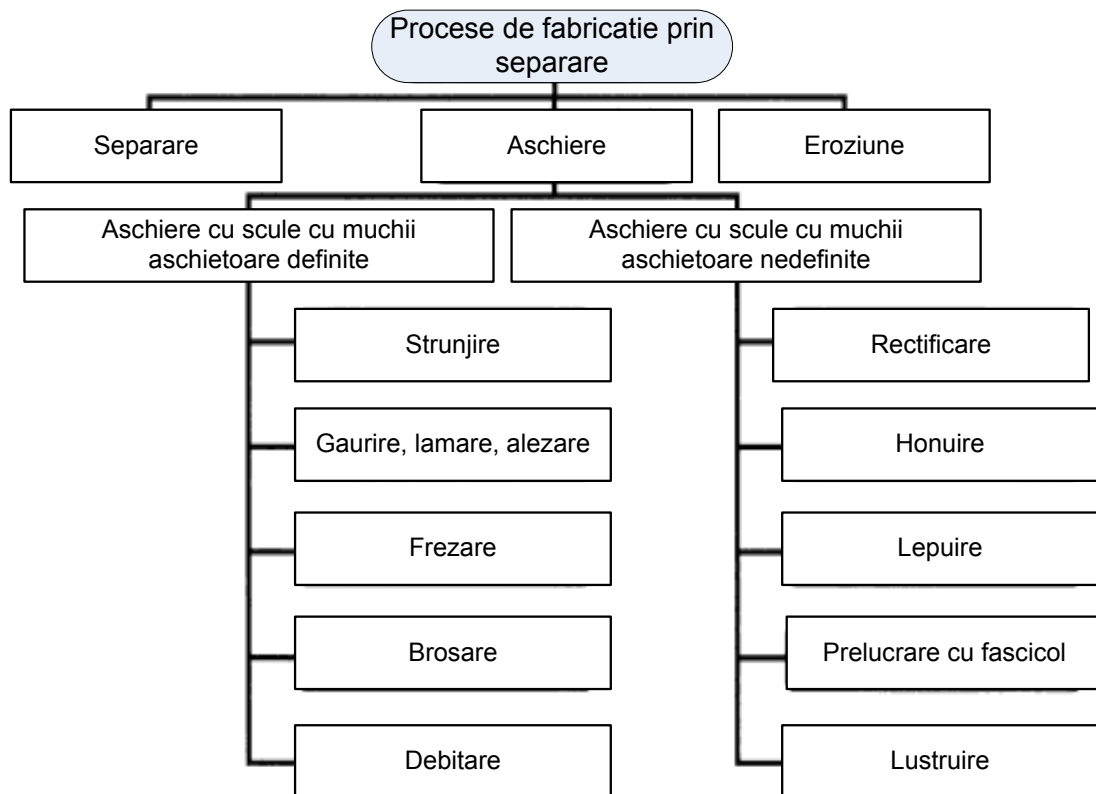


Fig. 4.1. Clasificarea proceselor de prelucrare prin așchiere

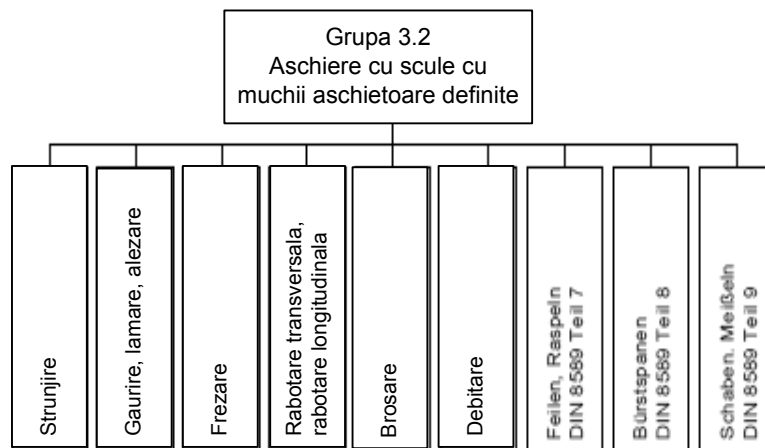


Fig. 4.2. Clasificare proceselor de așchiere cu scule cu muchii așchietoare definite

Procesele de prelucrare prin așchiere cu scule cu muchii așchietoare definite au fost implementate ca prelucrare finală a semifabricatelor după **semifabricare** și **deformare plastică**. Prin aceste procedee este posibilă obținerea unor toleranțe dimensionale, de formă și de poziție mici.

Așchiera cu scule cu muchii așchietoare definite este procesul de așchiere la care se utilizează o sculă la care următoarele mărimi sunt bine definite: numărul de muchii așchietoare, geometria tășurilor și poziția sculei în raport cu semifabricatul.

Astfel, de pe suprafața semifabricatului sunt îndepărtate pe cale mecanică, sub formă de așchii, straturi de material în vederea modificării formei (dimensiunilor) semifabricatului și/sau modificării calității suprafeței.

4.1 Cinematica și geometria procesului de așchiere

Mișcările realizate în cadrul unui proces de așchiere sunt **mișcări relative** între **tășurile sculei** și **semifabricat**. Trebuie diferențiate în acest sens acele mișcări care determină **nemijlocit** formarea așchiilor (**mișcarea rezultantă, mișcarea principală de așchiere și mișcarea de avans**) și acele mișcări care contribuie **indirect** (**mișcarea de poziționare/adâncimea de așchiere, mișcarea de retragere**).

Mișcările pot fi **liniare, circulare**, sau realizate pe **o direcție oarecare**. Mișcările obținute în zona de așchiere sunt generate de mașina-unealtă. Așchiile rezultă nemijlocit prin mișcarea rezultantă, obținută prin combinarea mișcării principale și a mișcării de avans, după reglarea adâncimii de așchiere. În principiu, sunt posibile următoarele mișcări:

- Mișcări care **pregătesc** îndepărtarea așchiilor,
- Mișcări care **determină** nemijlocit îndepărtarea așchiilor (mișcarea principală de așchiere, mișcarea de avans, mișcarea rezultantă).

Mișcarea rezultantă se obține prin combinarea mișcării principale de așchiere și a celei de avans, realizate simultan. În cazul în care mișcarea de avans nu se realizează simultan (de exemplu la rabotare), mișcarea principală de așchiere este totodată și mișcare rezultantă. În acest context 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 .

Direcțiile de mișcare sunt direcțiile instantanee ale mișcărilor în punctul considerat de pe muchia așchietoare (Fig. 4.3).

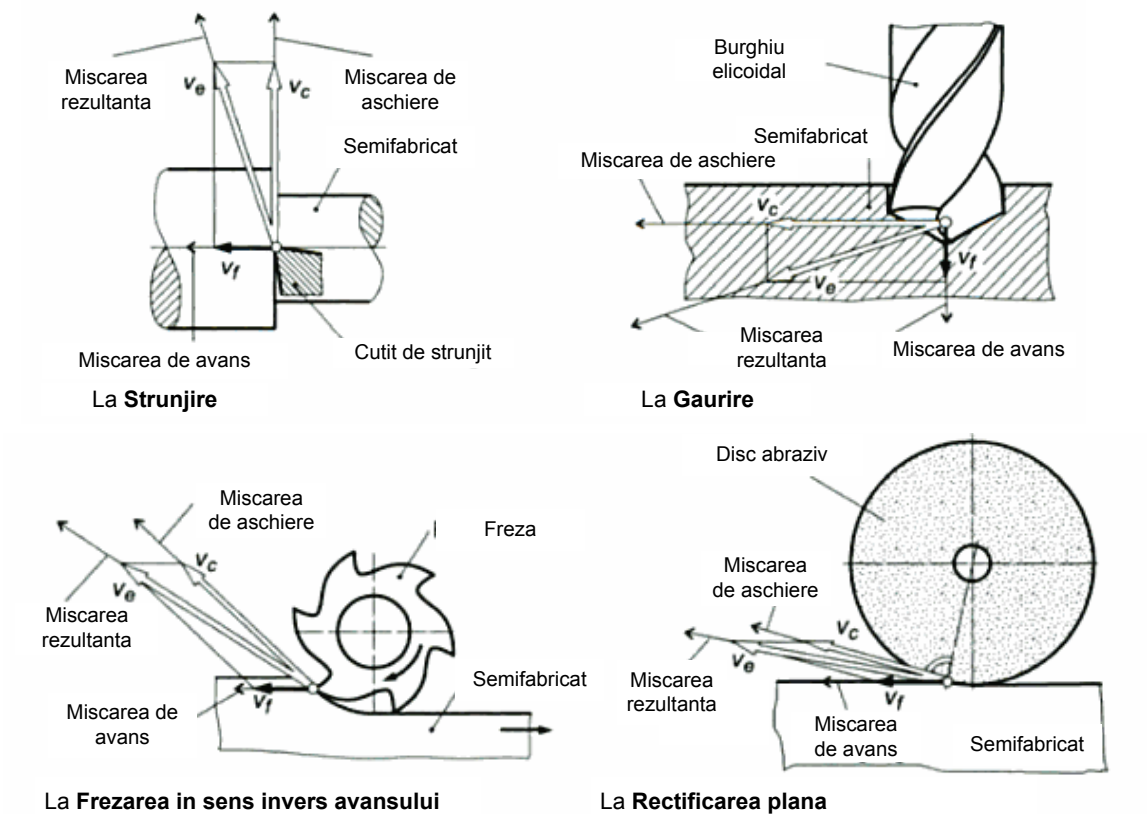


Fig. 4.3. Mișcări relative între muchia așchietoare a sculei și semifabricat (direcțiile mișcării de așchiere, de avans și a mișcării rezultante)

La așchiere forma piesei este generată prin geometria sculei și prin mișcările relative între sculă și semifabricat. Următoarele noțiuni referitoare la **cinematica** procesului de așchiere sunt definite în 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 4.4 sunt reprezentate cele mai importante noțiuni legate de cinematica și geometria procesului de așchiere în cazul strunjirii. Acești termeni sunt interpretați în mod repetat în cazul fiecărui proces de prelucrare și integrați în calculele specifice.

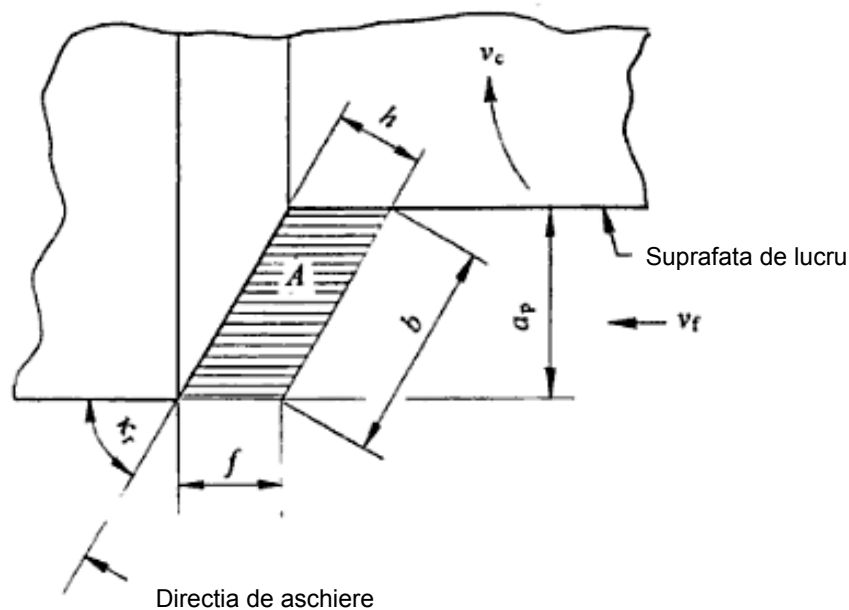


Fig. 4.4. Noțiuni legate de cinematica și geometria procesului de așchiere la strunjire

Suprafața de așchiere este suprafața instantanee generată pe semifabricat 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 fiecărui dinte sau fiecărei muchii așchietoare.

Avansul rezultat reprezintă distanța dintre două suprafețe generate consecutiv, măsurată pe suprafața de lucru, perpendicular pe direcția mișcării rezultante.

Adâncimea de așchiere a_p este adâncimea de pătrundere a muchiei așchietoare principale, măsurată perpendicular pe suprafața de lucru.

Lățimea de așchiere b este lățimea așchii îndepărtate, perpendicular la direcția de așchiere, măsurată pe suprafața așchiată.

Grosimea așchii h este grosimea așchii îndepărtate perpendicular la direcția de așchiere, măsurată pe suprafața așchiată.

Secțiunea transversală a așchii A este secțiunea transversală a așchii perpendicular la direcția de așchiere.

4.2. Geometria sculei la așchieră cu scule cu muchii așchietoare definite

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

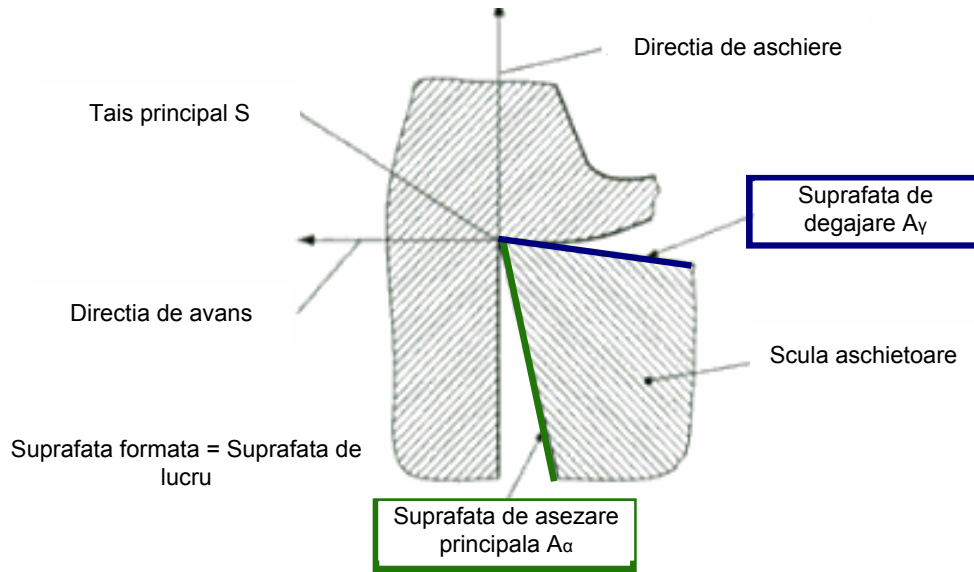


Fig. 4.5. Partea activă a sculei așchietoare

Tăișul sculei este format de suprafețele de degajare și așezare ale sculei. Prin mișcările relative dintre sculă și semifabricat se formează așchiile pe tăișurile sculei.

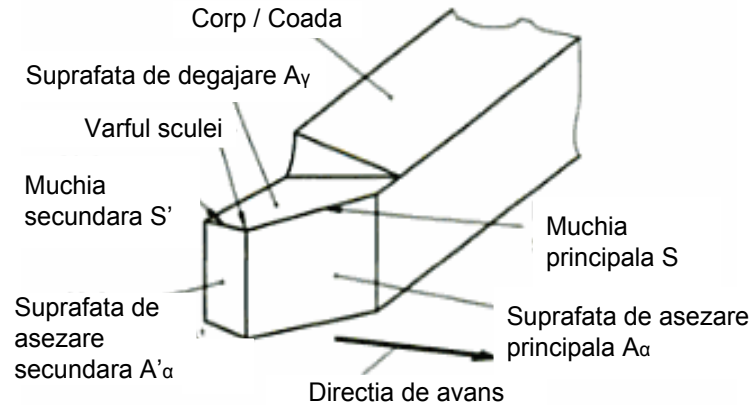


Fig. 4.6. Muchii și suprafețe ale părții active ale cuțitului de strung

Suprafața de degajare A_γ este suprafața sculei pe care are loc curgerea (îndepărtarea) așchiei.

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 4.1).

Tabelul 4.1

CONDIȚII DE STARE				
la sculă	la semifabricat	la mașina-unealtă	la procesul de prelucrare	Mediul de așchiere
de ex.: forma, geometria tășurilor, material	de ex.: geometrie, material	de ex.: rigiditatea statică și dinamică	de ex.: cinematica, modul de intrare în așchiere al tășurilor	de ex.: condiții termice limită, lichide de așchiere

4.3. Durabilitatea sculei

Durabilitatea sculei T este corelată cu uzura acesteia și 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 poate obține rugozitatea dorită a suprafeței prelucrate, nici precizia dimensională impusă. 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 tășul sculei, de ex. 2500 m (pentru lungimi mari de așchiere) și
- volumul de piese prelucrate, de ex. 80 semifabricate.

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 formulă:

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

C - intersecția axelor dreptei 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 exact corelația dintre acei parametri, însă din punct de vedere practic este simplu și suficient de precis. Valorile obținute sunt valabile doar într-un interval limitat al vitezelor de așchiere.

4.4. 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 necesarul de putere sunt mici,
- muchiile așchietoare ale sculei au o durabilitate îndelungată,
- se obține o formă corespunzătoare a așchiilor,
- calitatea suprafețelor prelucrate corespunde cu cea prescrisă și
- într-un interval scurt de timp este așchiat un volum mare de material.

Condițiile de așchiere, rezultate din **proprietățile semifabricatului**, sunt:

- compoziția chimică (fragmentarea așchiilor),
- tratament termic (structura materialului),
- rezistența și duritatea (dimensiunea și forma grăunților),
- direcția de laminare (orientarea fibrelor de material) și
- starea suprafețelor (calită, durificată).

Condițiile de așchiere, rezultate din **procesul de așchiere**, sunt:

- geometria și materialul muchiei așchietoare,
- viteza de așchiere, avansul, adâncimea de așchiere,
- 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 exemplu, la finisare este importantă calitatea suprafețelor, în timp ce la degroșare contează mai mult volumul de material îndepărtat prin așchiere, iar la strungurile automate, forma așchiilor și implicit un transport sigur al așchiilor și durabilitatea sculei (Fig. 4.7).

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 se calculează cu ajutorul ecuației lui Taylor:

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

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 (Fig. 4.8). Din aceasta cauză durabilitatea sculelor va fi adesea scurtă.

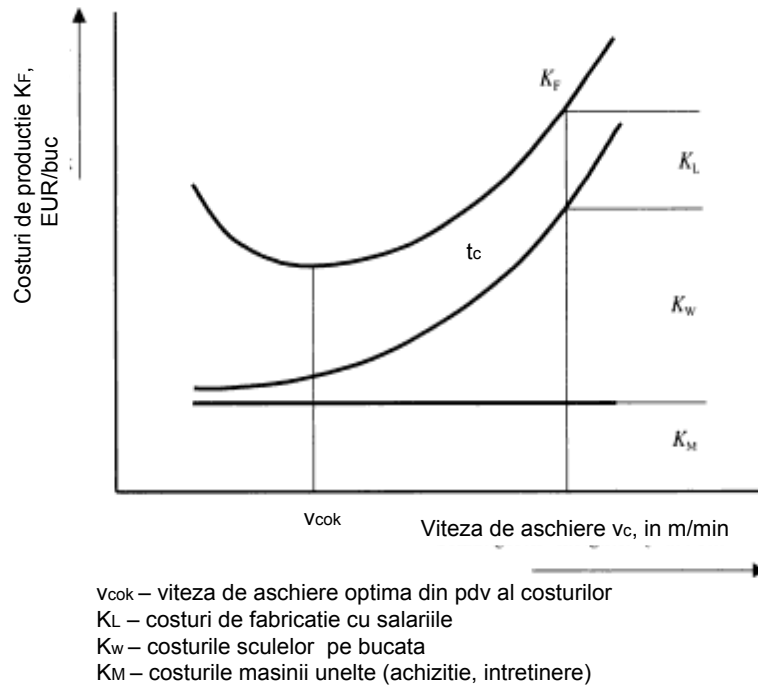


Fig. 4.7. Corelația costurilor de fabricație K_F pe bucată și viteza de așchiere

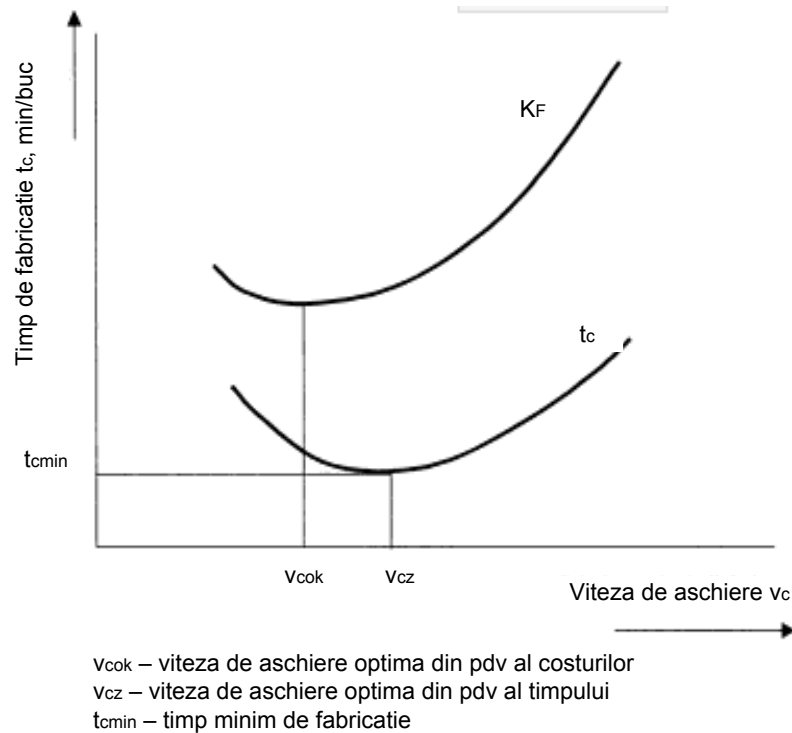


Fig. 4.8 Corelația dintre timpul de fabricație t_c , respectiv costurile de fabricație K_F pe bucată, și viteza de așchiere v_c

4.5. 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 care au loc, 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.

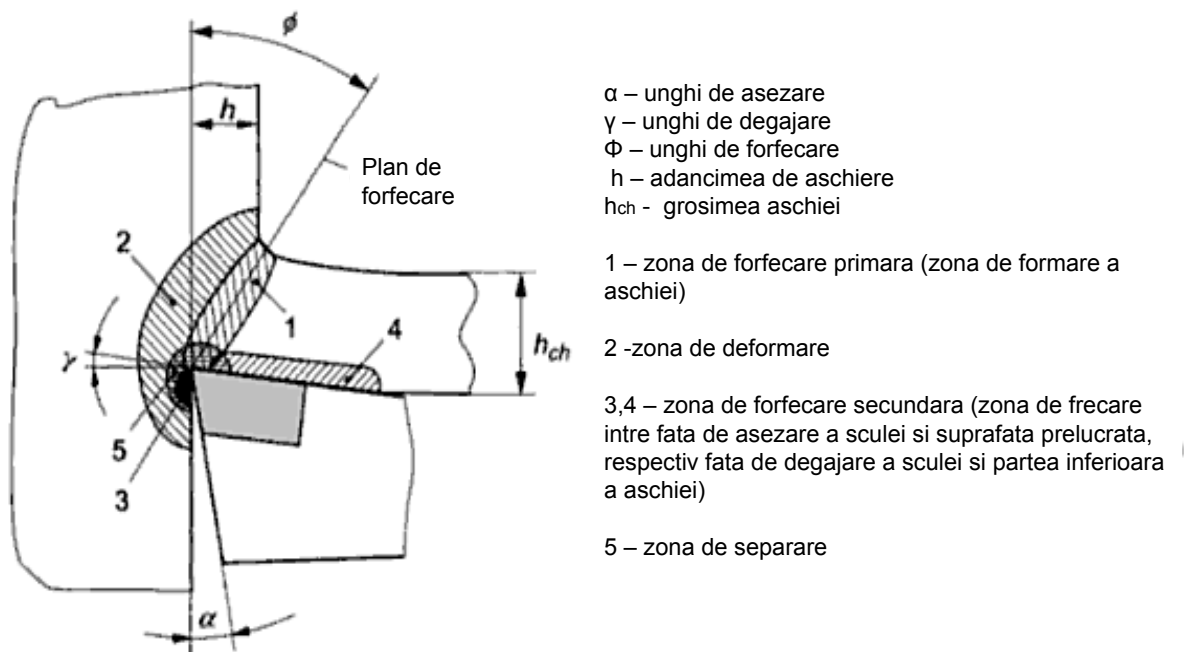


Fig. 4.9. Model de formare a așchiilor

Tipuri de așchii.

Formarea așchiilor este puternic influențată de diferiți factori ca: materialul semifabricatului, materialul sculei, unghiul de așchiere și temperaturile de așchiere. În principiu pot fi diferențiate **trei tipuri principale de așchii** (Tabelul 4.2).

Așchiile de curgere dorite pot fi obținute în diferite moduri de așchiere. Forme favorabile ale așchiilor (Fig. 4.10), de exemplu așchii spirală scurte, pot fi obținute prin utilizarea unor plăcuțe cu formator de așchii sau cu fragmentare a așchiilor. Forma așchiilor și direcția de curgere a acestora pot fi influențate prin geometria fragmentatorului de așchii.

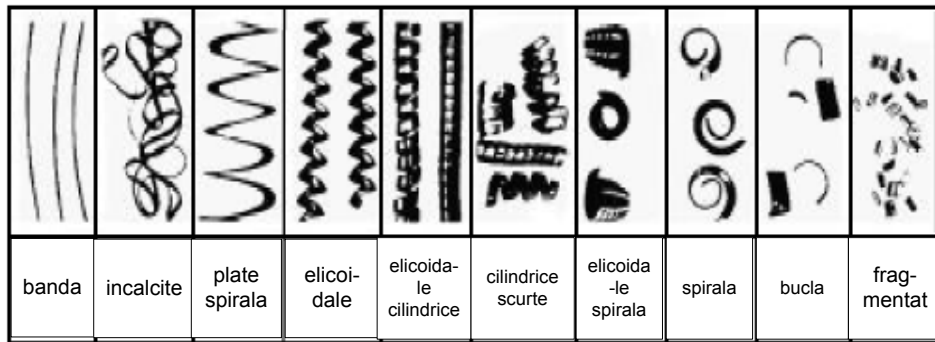


Fig. 4.10. Tipuri de așchii

Tabelul 4.2 Tipuri de așchii și efectele acestora

Aschii fragmentate	Aschii de rupere	Aschii de curgere
<p>Se formeaza la aschiere materialelor casante, cu adancimi de aschiere mari, viteze de aschiere reduse si unghiuri de forfecare mici</p> <p>Rezultat: suprafete prelucrate rugoase</p>	<p>Se formeaza la aschiere materialelor tenace, de oțeluri cu rezistența medie, cu unghiuri de forfecare medii și viteze de aschiere reduse</p> <p>Rezultat: suprafete prelucrate cu aspect de solzi</p>	<p>Se formeaza la prelucrarea materialelor cu aschiabilitate mare, cu viteze de aschiere mari și unghiuri de forfecare mari</p> <p>Rezultat: suprafete cu calitate foarte buna, din cauza dificultatilor de indepartare a aschiilor apar deranjamente in desfasurarea procesului pe masinile unelte CNC</p>
<p>Unghi de forfecare</p>		

4.6. Forțe și puteri de așchiere

Forțele care intervin în procesul de așchiere acționează, atât asupra sculei, semifabricatului, dispozitivelor de fixare ale sculei și piesei, cât și asupra mașinii-unelte, determinarea componentelor forței de așchiere fiind astfel utilă la calculul elementelor sistemului M-U.S.D.P (mașină unealtă – sculă – dispozitiv – piesă).

Cunoașterea forțelor de așchiere este importantă pentru:

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

Forțele de așchiere sunt analizate și definite din punct de vedere al acțiunii acestora asupra semifabricatului. În figura 4.11 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.

Forța totală $F(R)$ se consideră aplicată într-un singur punct al muchiei așchietoare, această forță fiind orientată asupra sculei, însă o forță egală și de sens contrar va acționa asupra semifabricatului. Rezistența totală R are o mărime și o direcție variabile în timp, motiv pentru care în practică ea nu prezintă interes. Din acest motiv la proiectarea constructivă și tehnologică se folosesc componentele forței de așchiere R după direcțiile sistemului de referință cinematic $OXYZ$. Pentru operația de strunjire s-a convenit asupra următoarelor componente ale forței de așchiere (Fig. 4.11):

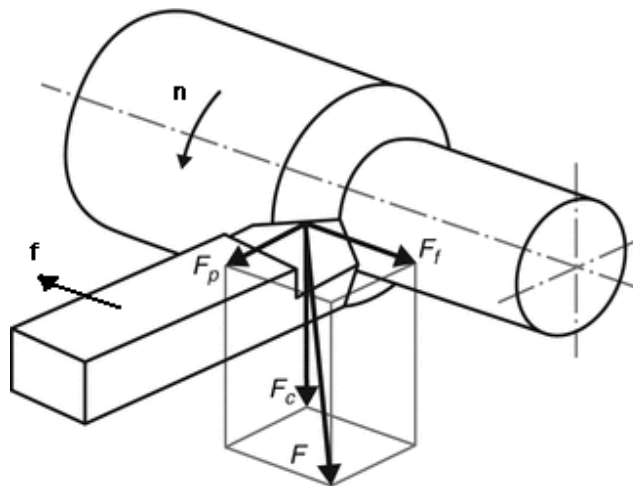


Fig. 4.11. Componentele forței de așchiere în cazul prelucrărilor mecanice

• **Componenta principală $F_c (F_z)$** , reprezentată prin proiecția forței $F (R)$ după axa OZ , orientată în direcția mișcării de așchiere, fiind apropiată ca valoare forța totală $F (R)$. Constituie forța consumată pentru învingerea rezistenței la deformare a stratului de material așchiat. Această componentă constituie forța cu care stratul de material de așchiat apasă pe fața de degajare a sculei. Componenta $F_c (F_z)$ determină mărimea cuplului rezistent al arborelui principal al mașinii-unelte și constituie forța pentru calculul de dimensionare al principalelor elemente active ale mașinii-unelte și al sculelor așchietoare. Precizia dimensională și de formă geometrică a piesei prelucrate este influențată datorită deformației sistemului tehnologic și a vibrațiilor produse sub acțiunea acestei componente;

• **Componenta de avans F_f (F_x)**, reprezentată prin proiecția forței $F(R)$ după axa OX , orientată în direcția mișcării de avans, constituie forța de învingere a rezistenței la deformare plastică opusă de stratul de așchiat acțiunii de pătrundere a tăișului sculei în adaosul de prelucrare. Această componentă acționează în sens opus avansului longitudinal de așchiere și reprezintă forța pentru calculul de dimensionare al corpului sculei așchietoare și a elementelor din structura mecanismului de avans al mașinii-unelte;

• **Componenta pasivă (radială sau de respingere) F_p (F_y)**, reprezentată prin proiecția forței R după o direcție perpendiculară pe planul de lucru, constituie forța necesară pentru învingerea rezistenței de deformare a stratului de material așchiat, manifestată după direcția menționată. Această componentă constituie forța de respingere a tăișului sculei din stratul de material așchiat și reprezintă principala sursă de abateri dimensionale și de formă geometrică a suprafeței prelucrate, împreună cu componenta F_c (F_z), această forță generând vibrații întreținute în sistemul tehnologic. Prin intermediul sculei așchietoare, componenta F_p (F_y), solicită sistemul de ghidare al mecanismului de avans, ceea ce determină amplificarea abaterilor dimensionale, de formă geometrică și a rugozității suprafeței prelucrate.

În anumite cazuri, componenta F_f se poate confunda cu componenta radială F_p , sau componenta normală F_p poate să capete rolul componentei de avans F_f (Fig. 4.12)

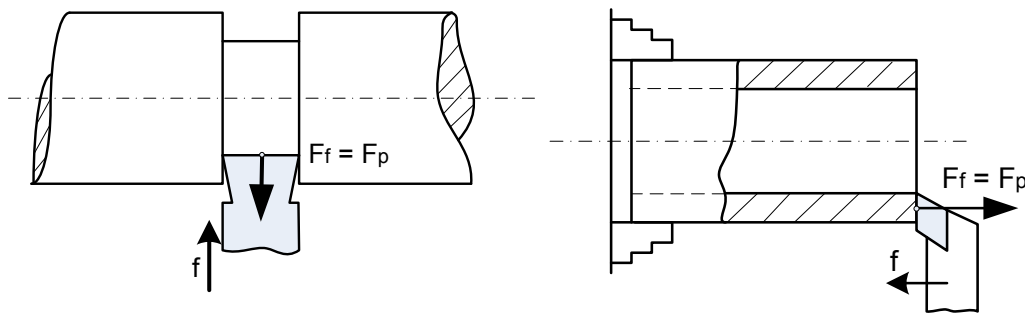


Fig. 4.12. Componentele forței de așchiere la strunjirea transversală și frontală

Forța rezultantă de așchiere R se poate determina cu relația:

$$R = \sqrt{F_c^2 + F_f^2 + F_p^2} \quad (1)$$

Valorile relative ale componentelor forței de așchiere depind de mărimea unghiului de atac κ și de materialul prelucrat. În tabelul 4.3 sunt prezentate câteva exemple.

Tabelul 4.3. Valori relative ale componentelor forței rezultante

Unghi de atac	Oțeluri			Fonte		
	F_f	F_p	F_c	F_f	F_p	F_c
κ [°]						
30	0.20	0.80	1	0.30	1.40	1
45	0.30	0.50	1	0.50	1.14	1
60	0.40	0.35	1	0.55	1.00	1
72	0.45	0.30	1	0.60	1.90	1
90	0.50	0.20	1	0.65	0.80	1

4.6.1. Factorii care influențează mărimea forțelor de așchiere

Utilizarea relațiilor de calcul ale componentelor forței de așchiere necesită cunoașterea influenței parametrilor procesului de așchiere asupra acestora. Principalii factori care influențează mărimea forțelor de așchiere sunt: • **materialul prelucrat (σ_r sau HB)**; • **adâncimea de așchiere a_p și avansul f** ; • **viteza de așchiere v_c** ; • **geometria părții active a sculei**; • **uzura tăișului sculei**; • **lichidele de așchiere**.

În practică, pentru calculul componentelor forței de așchiere se utilizează relații de tip exponențial, elaborate pe baza unei metodei cvasiempirice. Metoda are la bază ipoteza conform **căreia componenta principală (F_c)** a forței de așchiere depinde de **proprietățile materialului semifabricatului** și **parametrii tehnologici ai secțiunii așchiei**: adâncimea de așchiere a_p [mm], avansul f [mm/rot], lățimea așchiei nedetașate b [mm]; grosimea așchiei nedetașate a [mm]. Dacă se ține cont numai de influența parametrilor regimului de așchiere, componentele forței de așchiere se pot determina pe baza următoarelor relații matematice:

$$F_f = C_{Ff} \cdot a_p^{x_{Ff}} \cdot f^{y_{Ff}} \cdot v^{z_{Ff}} \quad (2)$$

$$F_p = C_{Fp} \cdot a_p^{x_{Fp}} \cdot f^{y_{Fp}} \cdot v^{z_{Fp}} \quad (3)$$

$$F_c = C_{Fc} \cdot a_p^{x_{Fc}} \cdot f^{y_{Fc}} \cdot v^{z_{Fc}} \quad (4),$$

în care C_{Ff} , C_{Fp} , C_{Fc} sunt coeficienți caracteristici materialului prelucrat, iar x_F , y_F , z_F sunt exponenți ai căror valori se determină pe cale experimentală pentru anumite condiții de lucru (material prelucrat, geometria sculei, lichide de răcire-ungere) și exprimă influența adâncimii, avansului și vitezei asupra mărimii componentelor forței de așchiere.

În general exponenții adâncimii de așchiere sunt mai mari decât exponenții avansului, ceea ce înseamnă, de fapt, o influență mai mare a adâncimii de așchiere asupra mărimii forței.

4.6.2. Influența materialului prelucrat

În practică este foarte important să se stabilească influența materialului prelucrat asupra componentei principale F_c a forței de așchiere. În funcție de **rezistența la rupere σ_r** sau **duritatea HB** a materialului semifabricatului, relațiile de calcul ale componentelor forței de așchiere sunt:

$$F_c = C \cdot \sigma_r^{n_{Fc}} \text{ sau } F_c = C_1 \cdot (HB)^{n_{Fc}} \quad (5),$$

în care $n_{Fc} = 0.35$ pentru oțeluri cu $\sigma_r < 60$ daN/mm² sau $n_{Fc} = 0.75$ pentru oțeluri cu $\sigma_r > 60$ daN/mm².

Din aceste relații rezultă că forța de așchiere crește odată cu creșterea rezistenței sau a durității materialului prelucrat. Relațiile (5) pot fi utilizate pentru determinarea componentei F_c , însă pentru aceasta trebuie cunoscute σ_r și HB și determinate constantele C și C_1 . Pentru aceasta se pot utiliza datele cunoscute sau determinate pentru un material de referință (de exemplu pentru oțel OLC 45, iar pentru fontă Fc 200). În acest caz ecuațiile (5) devin:

$$\frac{F_c}{\sigma_r^n} = \frac{F_{c0}}{\sigma_{r0}^n} = C \text{ sau } \frac{F_c}{(HB)^{0.35}} = F_{c0} \cdot \left(\frac{HB}{HB_0}\right)^{0.55} \quad (6)$$

unde F_{c0} , σ_{r0} și HB_0 caracterizează materialul de referință iar prelucrarea se va realiza în aceleași condiții pentru ambele materiale.

4.6.3. Influența adâncimii de așchiere și a avansului

Dependența forțelor de așchiere de adâncimea de așchiere a_p și de avansul f este reprezentată grafic în diagramele din Figura 4.13 a-b. Ținând cont de faptului că $F_f > F_p$, se poate concluziona că influența adâncimii de așchiere este mai mare decât a avansului.

Aceasta se explică prin faptul că la creșterea grosimii așchiei, unghiul de forfecare φ (Fig. 4.13 c) crește, ceea ce determină o diminuare a deformațiilor plastice din zona de așchiere. Pe de altă parte, tensiunile nu sunt repartizate uniform pe toată grosimea așchiei (Fig. 4.13 c), fapt pentru care forța nu crește proporțional cu avansul f . Fenomenul este similar și în cazul adâncimii de așchiere a_p .

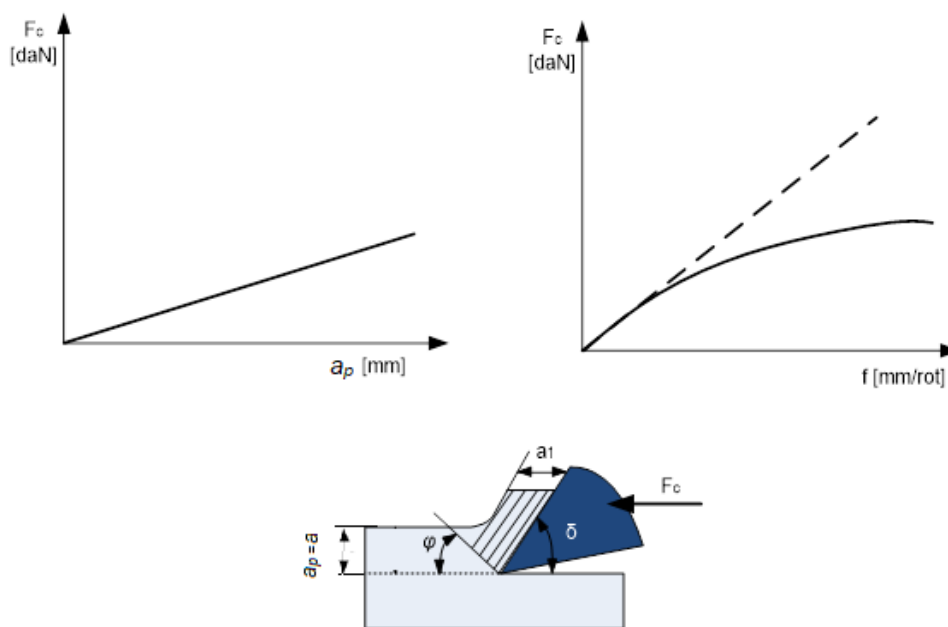


Fig 4.13. Influența adâncimii de așchiere și a avansului asupra mărimii componentelor forței de așchiere

Adâncimea de așchiere a_p , influențează asupra componentelor forțelor de așchiere prin *aria secțiunii transversale a așchiei* ($f \times a_p$), *coeficientul de frecare la interfața sculă/așchie* μ , *coeficientul de comprimare al așchiei* k_f , *aria feței de degajare active a sculei* și *temperatura la așchiere* (Fig. 4.14).

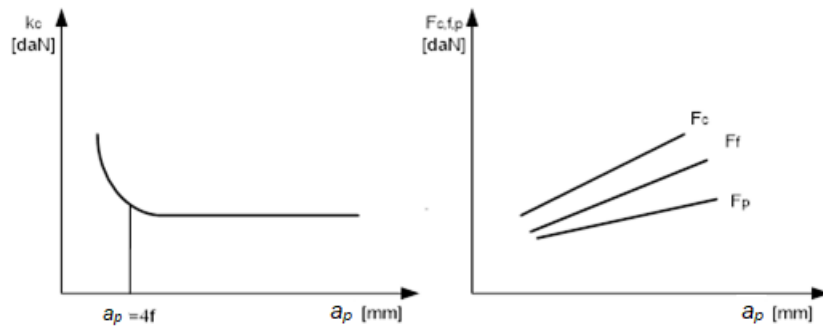


Fig. 4.14. Influența adâncimii de așchiere asupra forței specifice și a componentelor forței de așchiere

Prin creșterea adâncimii de așchiere, aria secțiunii transversale a așchiei și aria feței de degajare active cresc, μ și k_c scad relativ puțin, iar temperatura la așchiere crește ușor. Forța specifică de așchiere scade vizibil în domeniul adâncimilor mici de așchiere ($a_p < 4f$), deoarece în acest domeniu influențează raza de ascuțire a tăișului r_n .

Avansul f influențează prin aceleași mărimi și fenomene ca și adâncimea de așchiere a_p , numai că **efectul termic** al creșterii avansului este mai mare (Fig.4.15). Gradientul de creștere al forțelor la creșterea avansului este mai mic, comparativ cu cel de la creșterea adâncimii de așchiere.

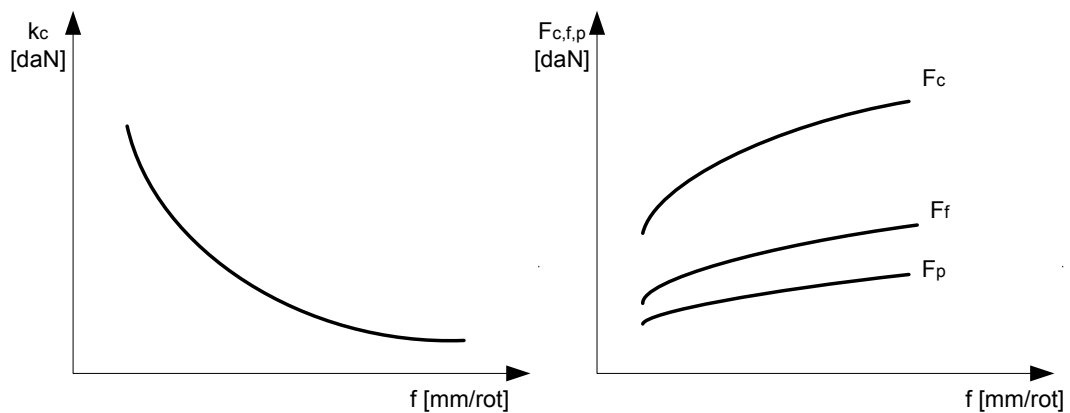


Fig.4.15. Influența avansului asupra forței specifice și a componentelor forței de așchiere

4.6.4. Influența vitezei de așchiere asupra forțelor de așchiere

Influența vitezei de așchiere asupra mărimii forței de așchiere este determinată de modificarea unghiului efectiv de așchiere δ (Fig. 4.18), de modificarea coeficientului de frecare μ (Fig. 4.17) și variația contracției (tasarea) așchiilor C_{dp} (Fig. 4.19).

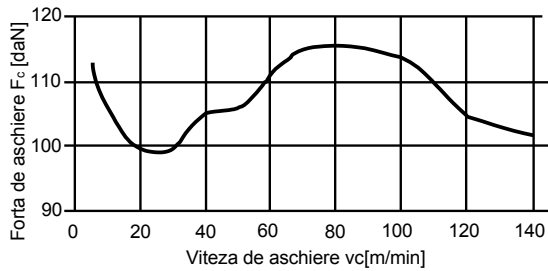


Fig. 4.16.

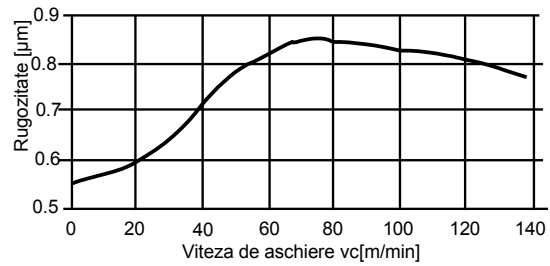


Fig.4.17.

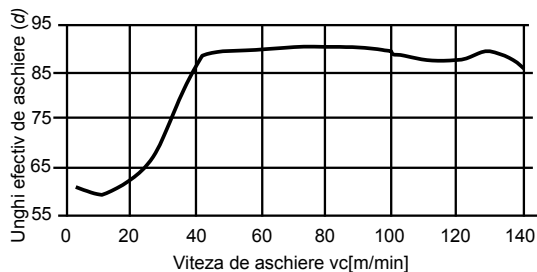


Fig.4 18.

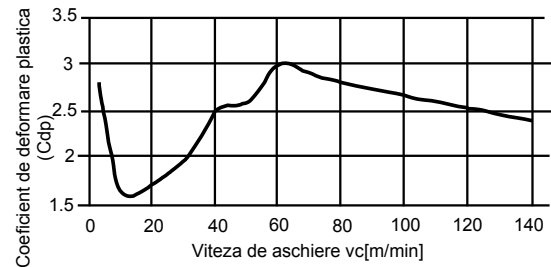


Fig. 4.19.

Așa cum se rezultă din fig. 4.16, la viteze de aşchiere mici ($v_a < 25$ m/min), forța de aşchiere F_c se micșorează și nu se formează depuneri pe tăiș. Depunerile pe tăiș cresc progresiv până la 65 m/min, viteza la care se obține un maxim al forței de aşchiere, iar unghiul de aşchiere δ și deformățiile plastice C_{dp} sunt mai reduse. Odată cu creșterea vitezei de aşchiere, forțele de aşchiere se micșorează. La viteze mai mari de 70-80 m/min, forța de aşchiere începe să scadă din nou, atât datorită efectului termic al vitezei (plastifierea metalului în zona de aşchiere) și scăderii coeficientului de frecare μ , cât și datorită micșorării intensității deformațiilor plastice.

Viteza de aşchiere v_c , influențează asupra componentelor forțelor de aşchiere mai complex și în mod diferit, motiv pentru care se impune o analiză pe trei domenii de valori: $v_c < 50$ m/min; $50 < v_c < 500$ m/min; $v_c > 500$ m/min (Fig. 4.20).

În domeniul $v_c < 50$ m/min și pentru materiale ductile, v_c influențează prin intermediul depunerilor pe tăiș, care modifică unghiul de degajare real, coeficientul de frecare μ și coeficientul de comprimare al aşchierii k_f . Prin creșterea dimensiunilor depunerilor, unghiul de degajare crește, iar forțele de aşchiere scad.

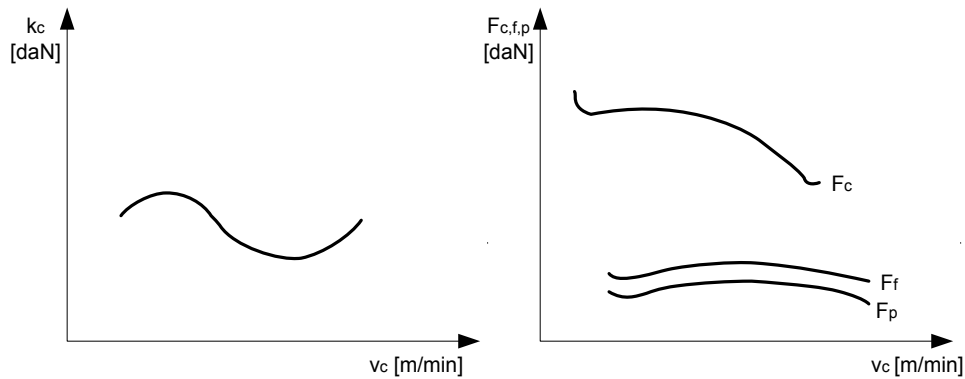


Fig. 4.20. Dependenta forței specifice k_c și a componentelor forței de așchiere de viteza de așchiere v_c

În domeniul vitezelor uzuale ($v_c=50-500$ m/min), predomină efectul termic al vitezelor de așchiere. La creșterea vitezei peste 50 m/min crește temperatura, scad depunerile, deformațiile plastice se produc cu eforturi mai mici și coeficienții de frecare sunt mai mici. Această tendință de micșorare a forței de așchiere este mai accentuată pentru valori mici ale unghiului de degajare γ și avansului f , la un domeniu de viteze cuprinse între 50 și 150 m/min. Pentru viteze cuprinse între 150 și 500 m/min, tendința de micșorare a forțelor este mai mică, deoarece în acest domeniu μ și k_f scad mai puțin.

În domeniul vitezelor mari de așchiere ($v_c>500$ m/min) se dezvoltă temperaturi ridicate în zona plastică, materialul este puternic plastifiat, comportandu-se ca un lichid vâscos. Așchiera se realizează cu forțe relativ mici și constante.

4.6.5. Influența geometriei sculei așchietoare

Unghiul de degajare γ , influențează asupra componentelor F_c , F_f , F_p , prin intermediul **deformațiilor plastice și al frecărilor**. Prin variația unghiului γ de la valori negative la valori pozitive, se diminuează deformațiile și frecările și scad valorile componentelor F_c , F_f , F_p (Fig. 4.21).

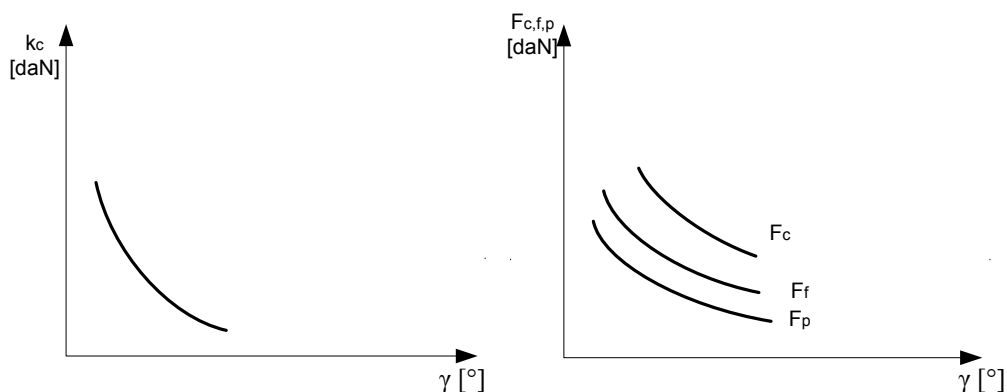


Figura 4.21. Dependenta forței specifice k_c și a componentelor forței de așchiere de unghiul de degajare al sculei γ

Influența este mai mare în domeniul valorilor negative, deoarece este favorizată comportarea ductilă a materialului de prelucrat.

Variația unghiului de înclinare al tăișului λ_T de la valori negative la valori pozitive determină micșorarea deformațiilor plastice și a forțelor de frecare, simultan cu creșterea coeficientului de frecare μ . Ca urmare forța F_c scade ușor sau rămâne aproximativ constantă, iar F_p scade și F_f crește cu câte aproximativ 2% la fiecare grad în plus pentru unghiul λ_T . Unghiul de atac principal k_r , influențează în mod diferit asupra celor trei componente F_c , F_f , F_p (Fig. 4.22).

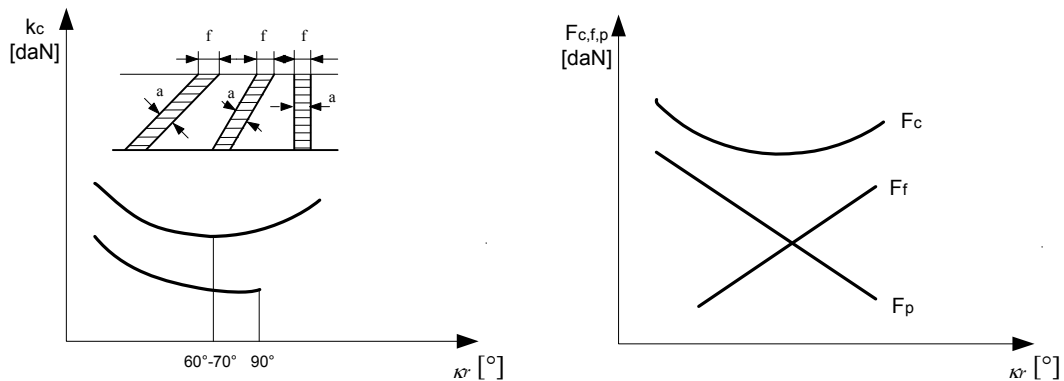


Fig.4.22. Dependența forței specifice k_c și a componentelor forței de așchiere de unghiul k_r

La prelucrarea oțelurilor, creșterea unghiului χ_r până la 60° duce la scăderea componentei F_c , deoarece scad deformațiile plastice datorită creșterii grosimii așchii și a temperaturii.

Pentru $\chi_r > 60^\circ$, componenta F_c crește din nou datorită creșterii deformațiilor plastice datorate influenței unghiului de atac secundar și creșterii lungimii tăișului curb de raza r (accentuarea complexității așchierii). Această creștere a componentei F_c este foarte mică la prelucrarea cu viteze mari și în toate cazurile la prelucrarea fontelor. Creșterea unghiului k_r duce la creșterea componentei F_f și la scăderea componentei F_p .

Creșterea **razei la vârf a sculei r** duce la creșterea deformațiilor plastice datorită creșterii lungimii tăișului curb și micșorării unghiului de atac mediu. Componentele F_c , F_p , cresc, iar componenta F_f scade (Fig.4.23).

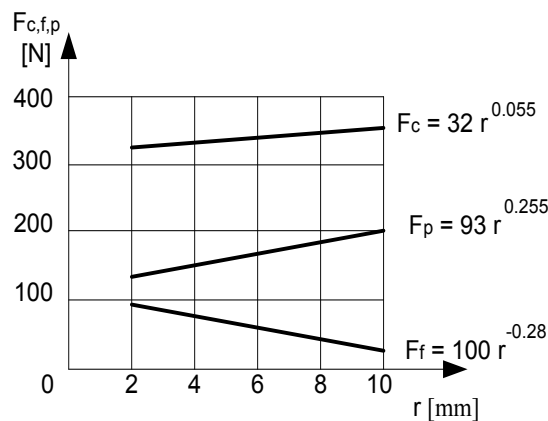


Fig. 4.23. Dependența componentelor forței de așchiere F_c , F_f și F_p de raza la vârf a sculei

4.6.6. Influența lichidelor de aşchiere.

Mediul de aşchiere lichid, prin proprietățile de ungere răcire și de aşchiere ușurează condițiile de formare a aşchiilor, având ca efect reducerea forțelor de aşchiere cu 40-50% comparativ cu aşchiera uscată. La valori mici ale vitezei și avansului, influența mediului de aşchiere este mai pronunțată. La viteze și avansuri mari, mediul de aşchiere lichid devine ineficient din punct de vedere al reducerii forțelor de aşchiere, această reducere fiind de 23%. Fenomenul se explică prin accesul mai dificil al lichidului în zona de formare a aşchiei.

4.6.7. Măsurarea componentelor forței de aşchiere

Așa cum s-a prezentat anterior, diversele studii asupra **forțelor de aşchiere** arată faptul că mărimea acestora este influențată de parametrii: *viteză de aşchiere, avans, adâncime de aşchiere, unghi de degajare al sculei, durabilitatea sculei*. Prin urmare, au fost dezvoltate metode de măsurare a forțelor de aşchiere. Măsurarea componentelor forței de aşchiere se realizează cu ajutorul unor aparate denumite dinamometre, formate din unul sau mai multe elemente elastice, care sunt solicitate de forța care trebuie măsurată. Efectele solicitării sunt sesizate de un traductor, ce furnizează un semnal proportional cu solicitarea, respectiv cu forța de măsurat.

Ansamblul *element elastic-traductor* poartă denumirea de captor. Dimensiunile, forma geometrică, numărul și pozițiile relative ale captoarelor (elementelor elastice) se stabilesc funcție de mărimea, numărul și direcțiile componentelor care se măsoară și de procedeul de prelucrare. Elementul elastic, poate fi un element mecanic de formă bară dreaptă sau circulară, supus, sub acțiunea forței de măsurat, la o solicitare simplă (de regulă întindere, compresiune, încovoiere), solicitare ce constituie o reacție a elementului la acțiunea forței de măsurat. Traductorul, este un element legat de elementul elastic ce transformă reacția elementului elastic într-o mărime de regulă electrică, proporțională cu forța de măsurat. Cele mai utilizate traductoare sunt de tip piezoelectric, inductiv, capacitiv și rezistiv, permițând conversia energiei mecanice în semnale electrice pentru măsurarea solicitărilor. Pe lângă cercetările experimentale există și metode analitice de determinare a forțelor de aşchiere în raport cu parametrii procesului. Comanda și supravegherea procesului de aşchiere, determinarea constantelor, coeficienților și exponenților din structura relațiilor de calcul, necesită măsurarea componentelor forței de aşchiere pentru diverse condiții de prelucrare.

Indiferent de construcție și structură, un dinamometru trebuie să îndeplinească următoarele cerințe:

- să nu afecteze rigiditatea sistemului tehnologic;
- să aibă o sensibilitate ridicată pe un domeniu larg de utilizare;
- să aibă o precizie corespunzătoare (eroarea de măsurare sub 5%);
- măsurarea unei componente să nu fie influențată de celelalte componente;
- frecvența proprie să fie mai mare decât frecvența forței de măsurat;
- să fie ușor de etalonat, utilizat și întreținut.

Pentru a obține cerințele impuse, de cele mai multe ori trebuie realizat un compromis, de regulă, între sensibilitate și domeniul nominal de utilizare.

Forțele de aşchiere dezvoltate în timpul prelucrării influențează direct performanțele procesului și costul unitar al reperelor prelucrate. Muchiile aşchietoare ale sculelor utilizate la prelucrarea metalelor și a aliajelor

acestora suportă tensiuni mari în timpul procesului de prelucrare. Din acest motiv au fost realizate numeroase cercetări pentru determinarea geometriei ideale și a parametrilor de așchiere care sunt favorabili prelucrării. Progrese semnificative au fost înregistrate prin utilizarea computerelor și a unor programe specifice pentru determinarea, în prealabil, a forțelor de așchiere și a solicitărilor care apar.

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

- *adâncimea de așchiere a_p este mai mare;*
- *avansul f este mai mare;*
- *forța de așchiere specifică k_c este mai mare;*
- *unghiul de așezare 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 așchiere depinde de procesul de așchiere (strunjire, găurire, etc.) și de materialul sculei (oțel rapid, metale dure, etc).*

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 se determină astfel:

$$P_c = F_c \cdot v_c, [\text{kW}]$$

F_c – forța de așchiere [daN]

v_c – viteza de așchiere [m/min]

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

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

Puterea utilă se determină astfel:

$$P_e = P_c / \eta, [\text{kW}] \quad \eta = \eta_a / \eta_{el}$$

η – randamentul total al mașinii

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

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

4.7. Materiale de scule

- **Oțelurile de scule (WS)** sunt *oțeluri slab aliate* (până la 5% componente de aliere). Acestea pot fi utilizate pentru scule simple datorită faptului că își mențin proprietățile (duritatea) până la temperaturi de aproximativ **400 °C**.
- **Oțelurile rapide (HSS – High Speed Steel)** sunt oțeluri înalt aliate (*W, Mo, V, Co*), tenace, își mențin duritatea până la temperaturi de **600 °C** și permit astfel prelucrări cu viteze de până la **60 m/min**. Exemple: freze, burghie, broșe.
- **Metalele 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 de lucru**, 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.

- **Grupa de așchiere P** se utilizează în principal la așchieria oțelurilor nealiate, aliate, a oțelurilor feritice și martensitice și a oțelurilor turnate.

- **Grupa de așchiere M** se recomandă pentru prelucrarea oțelurilor austenitice și a oțelurilor turnate.

- **Grupa de așchiere K** se recomandă pentru prelucrarea fontelor, 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)* (Ceramic) 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 de scule permite folosirea unor viteze de așchiere mari (până la **1000 m/min**). Datorită conductivității termice scăzute plăcuțele așchietoare realizate din aceste materiale nu se încălzesc aproape deloc în timpul așchierii. Căldura generată se propagă /degajă prin semifabricat și așchii. Materialele ceramice sunt sensibile la șocuri mecanice. Prelucrările se realizează fără lichide de așchiere.

- **Diamantul**

Diamantele monocristaline sintetice sau naturale se utilizează la prelucrările fine 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. Vitezele de așchiere recomandate sunt de până la **350 m/min**. Acest material poate fi utilizat pentru așchiera materialelor dure cu avansuri mici.

Pe multe dintre sculele realizate din **oțeluri rapide** și **metale dure** se aplică straturi subțiri (câțiva micrometri) de acoperiri din **carburi**, **nitruri metalice** sau **oxizi** în vederea creșterii durabilității. Prin asemenea **acoperiri cu materiale dure** se îmbunătățesc considerabil proprietățile de rezistență la uzură ale plăcuțelor așchietoare. Acoperirea plăcuțelor sau acoperirea completă a sculelor se realizează prin **CVP (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 depus pe un strat tenace. Grosimea unui strat variază între **3 și 15 μm**.



Fig. 4.24. Plăcuțe cu acoperiri metalice multistrat

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 așchiere 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**:
 - **Avantaj**: mai simple, nu este necesară așchuirea suplimentară a sculei, disponibile bună
 - **Dezavantaj**: stabilitate scăzută a sculei.

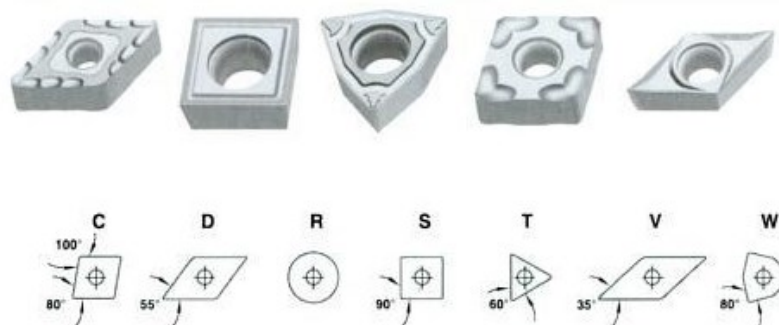


Fig. 4.25. Tipuri de plăcuțe amovibile conform ISO

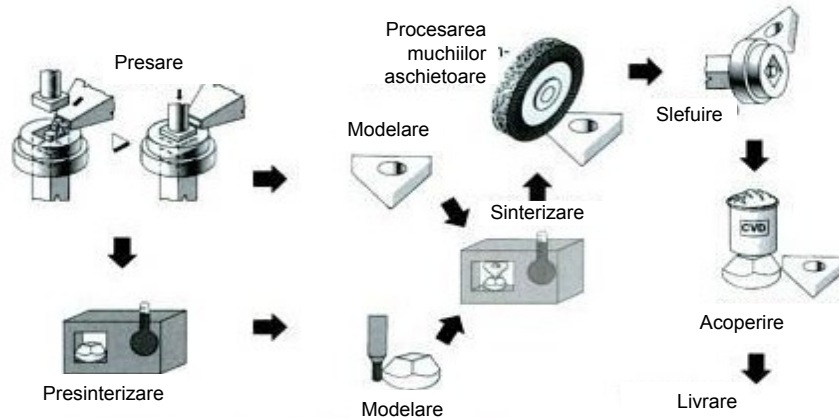


Fig. 4.26. Derularea procesului de obținere a plăcuțelor din carburi metalice

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 fără acoperire, predominant din carbură sau nitrură de Ti,
- **HC** plăcuțe din carburi metalice cu acoperire,
- **CA** plăcuțe predominant din materiale ceramice pe bază de aluminiu,
- **CM** plăcuțe din oxizi ceramici în amestec cu alte materiale dure,
- **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.

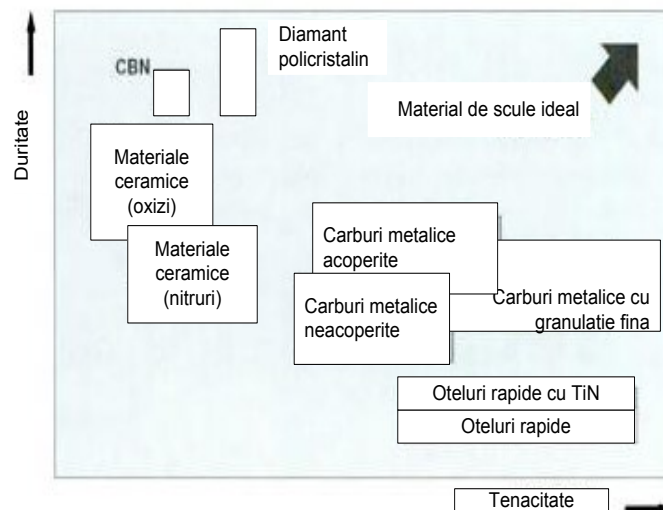


Fig. 4.27. Materiale de scule în funcție de duritate (rezistența la uzură, viteza de așchiere) și tenacitate (rezistența la îndoire, avans)

4.8. Solicitări 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 producere a căldurii**, așadar 4 zone în care căldura este generată, așa cum este indicat în figura 4.28. Aceste zone sunt:

- **Zona de forfecare:** sursa de căldură 1. Aici căldura apare ca urmare a forfecării materialului.
- **Zona de separare:** sursa de căldură 2. Procesul de separare al materialului produce de asemenea căldură.
- **Fața de așezare principală a sculei:** sursa de căldură 3, ca urmare a frecării între vârful sculei și suprafața prelucrată a semifabricatului.
- **Fața de degajare a sculei:** sursa de căldură 4, ca urmare a frecării între așchia și fața de degajare a sculei.

Cea mai mare parte a căldurii este generată de sursele 1 și 4. Această căldură este în continuare degajată. Ideal ar fi dacă așchiile ar prelua în totalitate căldura generată, însă situația reală este prezentată în figura 4.28 (stânga). **Așchiile** conduc cca. **75%** din căldura rezultată, în 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%**.

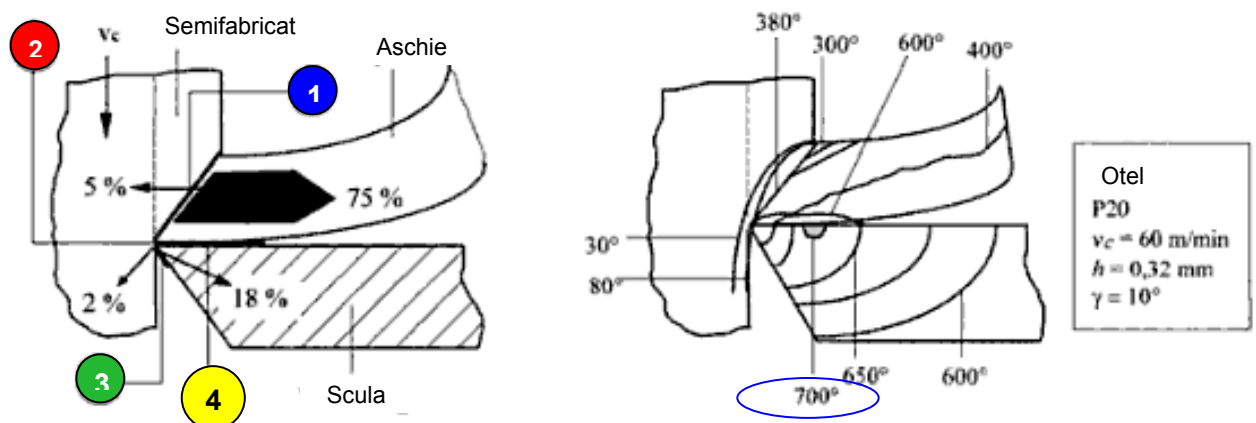


Fig. 4.28. Surse de căldură (stânga) și distribuția temperaturii la așchiere (dreapta)

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 4.28 (dreapta) aceste temperaturi ajung la **700 °C**. Aceasta este zona unde, de regulă, apare uzura craterială a sculei. În cazurile în care se prelucreează materiale cu **rezistență mai mare**, cu **viteze de așchiere mai mari**, **temperaturile** pot să ajungă la peste **1000 °C**.

4.9. Procese chimice

Din cauza temperaturilor și presiunilor ridicate, în timpul aşchierii au loc de asemenea și reacții chimice, așa cum este reprezentat în figura 4.29:

- **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 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.

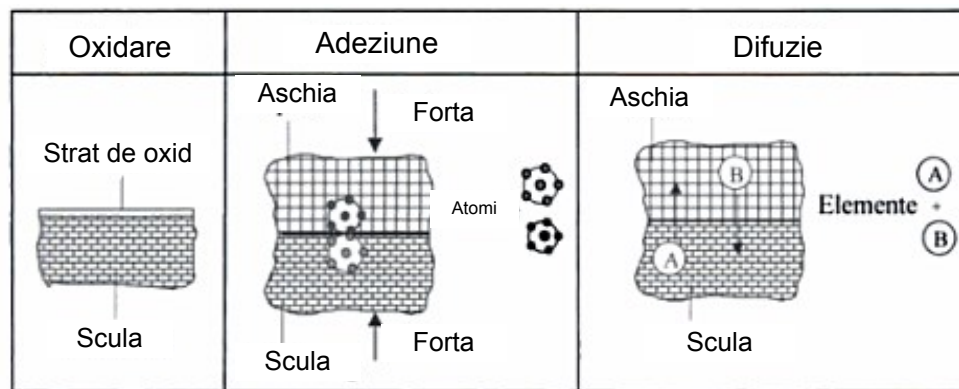


Fig. 4.29. Modificări chimice ale materialului sculei la aşchiere

4.10. 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 ghidează după mai mulți **factori** ca: tipul **procesului de prelucrare**, **materialul semifabricatului** care se prelucrează, **materialul sculei** utilizate, **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.

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 ecologice. Tendințele de dezvoltare sunt:

- **Aşchieria uscată**,
- **Utilizarea de lichide de aşchiere modificate**,

- *Ungerea și răcirea minimală.*

4.11 Tendințe în domeniul prelucrărilor prin așchiere

Tendințele în domeniul prelucrărilor prin așchiere vizează *reducerea timpilor de prelucrare și prelungirea durabilității sculelor* prin:

- *Așchiere cu viteze mari de așchiere,*
- *Așchiere cu eficiență mare,*
- *Așchiera dură,*
- *Așchiera uscată și*
- *Așchiere cu ungere și răcire minimală.*

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

Avantajele așchierii cu viteze mari sunt:

- *Reducerea considerabilă a timpilor de prelucrare,*
- *Creșterea volumului de material așchiat cu până la 30%,*
- *Creșterea vitezei de avans până la 120 mm/min,*
- *Reducerea forțelor de așchiere cu mai mult de 30%,*
- *Este posibilă prelucrarea cu vibrații reduse a unor piese cu geometrie complexă,*
- *Prelucrarea completă a unor repere (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 așchietoare și acoperiri metalice).*

În special la prelucrarea cu viteze de aşchiere mari o atenție deosebită trebuie acordată **forțelor centrifuge**. Ele solicită suplimentar lagărele arborelui principal, produc vibrații ce influențează negativ calitatea suprafețelor prelucrate, înrăutățesc precizia prelucrării și reduc durabilitatea sculei.

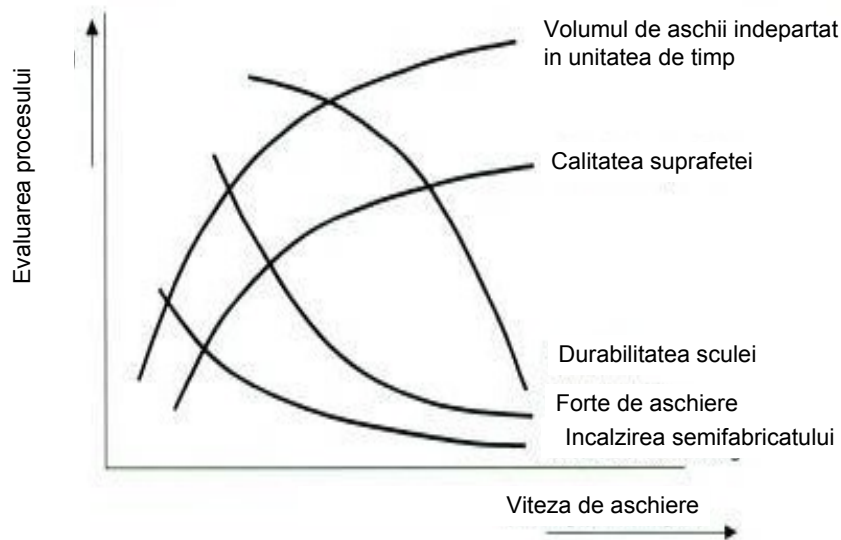


Fig. 4.30. Cerințele procesului la aşchiera de mare productivitate

➤ **Aşchiera uscată**

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

Avantaje:

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

Dezavantaje:

- *Timp de prelucrare mai mari,*
- *Scăderea productivității,*
- *Dezvoltarea unei cantități mai mari de căldură,*
- *Reducerea duratei de viață a mașinii-unelte,*
- *Asigurarea preciziei dimensionale mai greu de asigurat, datorită deformării termice a semifabricatelor,*
- *Calitate mai slabă a suprafețelor prelucrate,*
- *Durificarea stratului superficial al materialului semifabricatului,*
- *Nu se asigură transportul așchiilor cu ajutorul lichidelor de aşchiere.*

Pentru a se putea realiza **așchierea uscată** este necesară:

- *Utilizarea unor materiale de scule noi (carburi, materiale ceramice),*
- *Noi acoperiri metalice (TiAlNi),*
- *Geometrii modificate ale sculelor,*
- *Noi concepte de mașini-unelte,* pentru că așchiile fierbinți rezultate nu sunt răcite de lichidele de așchiere și conduc la încălzirea componentelor mașinilor și implicit la reducerea preciziei acestora. Mașinile-unelte de precizie dispun de sisteme de compensare a temperaturii, astfel încât deformațiile termice să fie compensate.

➤ ***Lichide de așchiere modificate***

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

➤ ***Tehnica de așchiere cu ungere și răcire minimală***

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

Capitolul 5. PRINCIPII GENERALE DE PROIECTARE ALE PROCESELOR TEHNOLOGICE DE PRELUCRARE MECANICĂ

5.1. Principii de bază

La **proiectarea proceselor tehnologice de prelucrare mecanică** se ține cont de următoarele două principii de bază:

- **Principiul tehnic**

Conform acestui principiu procesul tehnologic trebuie să asigure respectarea tuturor condițiilor referitoare la **precizia dimensiunilor**, **a formei geometrice** și **a poziției reciproce a suprafețelor**.

- **Principiul economic**

Conform principiului economic, execuția pieselor trebuie să se realizeze cu **cheltuieli minime de muncă**, **energie**, **materiale**, deci să se obțină un **cost minim** și un **volum de muncă minim**.

5.2. Date inițiale necesare proiectării proceselor tehnologice

1. Proiectul de execuție:

- *Borderou de desene,*
- *Desen de ansamblu al produsului (vederi, secțiuni pentru identificarea subansamblurilor, cote de gabarit, cote funcționale, caracteristici tehnice, condiții tehnice),*
- *Desene ale subansamblurilor (vederi, secțiuni necesare identificării pieselor componente, ajustaje funcționale, cote de legatură, particularități de asamblare),*
- *Desene de execuție ale pieselor.*

2. Programul de producție

- *Numărul de piese* realizate într-o **perioadă determinată de timp**.
- La **producția de serie mare și masă** se recomandă utilizarea de mașini de mare productivitate, semiautomate sau automate. Procesul tehnologic se proiectează detaliat pe faze, operații, se întocmesc plane de operații.
- La **producția individuală sau de serie mică** se recomandă utilizarea de mașini-unelte universale, procesul tehnologic se defalcă pe operații, care se trec în fișa tehnologică.
- Programul de producție determină stabilirea: **metodei de obținere a semifabricatului**, **a utilajelor tehnologice** (mașini-unelte, scule, dispozitive, mijloace de control) în organizarea fabricației.

3. Utilajele tehnologice disponibile

- În cazul construirii unei **întreprinderi noi**, **utilajele** necesare se stabilesc **cantitativ** și **calitativ** în urma întocmirii procesului tehnologic.
- Dacă ne referim la o **întreprindere existentă**, care își schimbă produsul de fabricație, procesul tehnologic se stabilește în funcție de **utilajele existente** în dotare. În ambele cazuri trebuie să se cunoască: posibilitățile tehnologice ale mașinii-unelte, precizia, rigiditatea, gradul de uzură etc.
- Alte informații: **tipul**, **construcția** și **performanțele sculelor**, **dispozitivelor de fixare** cât și a **mijloacelor de control** existente.

4. Gradul de calificare al cadrelor

- Gradul de calificare al muncitorilor se stabilește în concordanță cu utilajele folosite. Mașinile-unelte automatizate necesită un grad redus de calificare al muncitorilor și reglari înalt calificați.
- Gradul de complexitate al proiectelor proceselor tehnologice depinde de calificarea cadrelor. Un grad redus de calificare al muncitorilor necesită un proiect cu documentație tehnologică completă și detaliată.

5.3. Succesiunea etapelor de proiectare tehnologică

Elaborarea unui proiect tehnologic se realizează în mai multe etape, care se desfășoară în următoarea succesiune:

1. *Stabilirea tipului de producție și a lotului optim de piese*
2. *Controlul tehnologic al desenului de execuție*
3. *Alegerea semifabricatului*
4. **Întocmirea itinerarului tehnologic (succesiunea operațiilor)**
5. *Alegerea MU, sculelor, dispozitivelor și verificatoarelor*
6. **Determinarea adaosurilor de prelucrare și a dimensiunilor intermediare**
7. **Calculul regimurilor de așchiere**
8. **Normarea tehnică**
9. *Alegerea variantei economice de proces tehnologic*
10. *Completarea documentației tehnologice*

În continuare vor fi detaliate etapele 4, 6, 7 și 8.

4. **Întocmirea itinerarului tehnologic (succesiunea operațiilor)**

Itinerarul tehnologic se întocmește sub formă tabelară conținând (pe coloane) următoarele tipuri de informații: denumirea operației, schița operației (pe care se marchează și cotează doar suprafețele prelucrate la operația respectivă, rugozitatea acestora, modul de fixare al piesei), mașina-unelte pe care se

desfășoară operația, scule, dispozitive, verificatoare. În stabilirea succesiunii operațiilor din procesul tehnologic se respectă următoarele **principii de bază**:

- Primele operații ale procesului tehnologic sunt cele prin care se **crează bazele tehnologice** (care servesc ulterior la prelucrarea celorlalte suprafețe ale piesei).
- **Operațiile de degroșare**, în cadrul cărora se îndepărtează cea mai mare parte a adaosului de prelucrare, se execută la **începutul procesului tehnologic**, iar cele de **finisare la sfârșit**).
- Suprafețele care au **precizia cea mai ridicată** și **rugozitatea cea mai bună** se prelucrează **ultimele** pentru a evita deteriorarea lor accidentală.
- Suprafețele pentru care se impun condiții de **precizie a poziției reciproce** (concentricitate, perpendicularitate) se prelucrează dintr-o singură așezare/fixare a piesei.

6. Calculul adaosurilor de prelucrare și al dimensiunilor intermediare

Calculul adaosurilor de prelucrare și al dimensiunilor intermediare se face în funcție de tipul suprafeței de pe care se îndepărtează adaosul respectiv. Relațiile matematice corespunzătoare sunt indicate în continuare.

- Prelucrarea suprafețelor de revoluție interioare sau exterioare

$$2 \cdot A_{p i \min} = 2 \cdot (R_{z i-1} + S_{i-1}) + 2 \cdot \sqrt{\rho_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}$$

- Prelucrarea simultană a suprafețelor plane opuse

$$2 \cdot A_{p i \min} = 2 \cdot (R_{z i-1} + S_{i-1} + \rho_{i-1} + \varepsilon_i)$$

- Suprafețe exterioare cu adaos simetric

$$2 \cdot A_{p i \text{ nom}} = 2 \cdot A_{p i \min} + T_{i-1}$$

$$d_{i-1 \max} = d_{i \max} + 2 \cdot A_{p i \text{ nom}}$$

$$d_{i-1 \text{ nom}} = d_{i-1 \max} \text{ rotunjit}$$

$$d_{i-1 \min} = d_{i-1 \max} \text{ rotunjit} - T_{i-1}$$

- Suprafețe exterioare cu adaos asimetric

$$A_{p i \text{ nom}} = A_{p i \min} + T_{i-1}$$

$$L_{i-1 \max} = L_{i \max} + A_{p i \text{ nom}}$$

$$L_{i-1 \text{ nom}} = L_{i-1 \max} \text{ rotunjit}$$

$$L_{i-1 \min} = L_{i-1 \max} \text{ rotunjit} - T_{i-1}$$

Rezultatele obținute se centralizează într-un tabel.

Operațiile (fazele) de prelucrare a suprafețelor	Elementele adaosului minim [μm]				Adaos minim [μm]	Adaos nominal [μm]	Toleranța T [μm]	Dimensiunea nominală [mm]	Dimensiunile suprafeței [mm]	
	Rz	S	ρ	ε					maximă	minimă

7. Stabilirea parametrilor regimului de așchiere

Stabilirea parametrilor regimului de așchiere se face în următoarea ordine:

- **Adâncimea de așchiere a_p** se alege în funcție de adaosul de prelucrare calculat, astfel încât să se asigure folosirea rațională a sculei, a puterii mașinii-unelte, reducându-se la minim numărul de treceri.
- **Avansul f** se alege în funcție de natura prelucrării și adâncimea de așchiere:
 - **Degroșare** – mărimea avansului este limitată de rezistența elementelor sistemului tehnologic (sculă, piesă, mecanism de avansuri);
 - **Finisare** – avansul se determină în funcție de precizia și rugozitatea dorită a suprafeței.
- **Viteza de așchiere v_c** se stabilește în funcție de materialul semifabricatului, materialul părții active a sculei, posibilitățile mașinii-unelte.
- Se calculează **turația n** .

Alegerea sculelor la operația de strunjire (prelucrări exterioare)

Plăcuțele amovibile sunt fixate pe corpul sculei. Atât forma plăcuțelor, cât și a corpului sculei sunt standardizate.



➤ Semnificația codului plăcuței

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

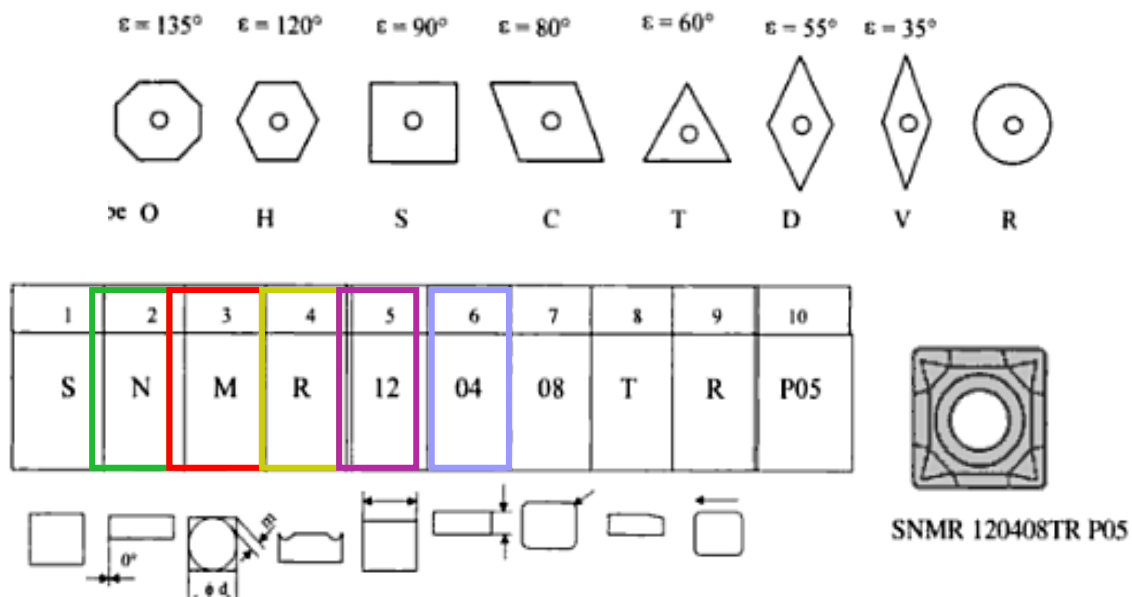
SNMR 120408TR P05

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

SNMR 120408TR P05

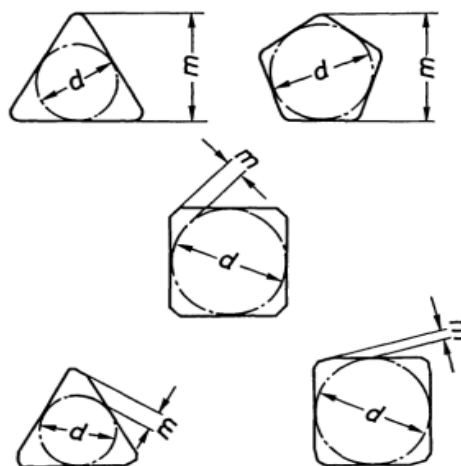
1. **Forma plăcuței:** S – plăcuță pătrată. Alte forme de plăcuțe: triunghiulară, rombică cu $\epsilon = 35-80^\circ$, rotundă, octogonală, hexagonală.

Exemple de forme de plăcuțe și simbolizarea lor:



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

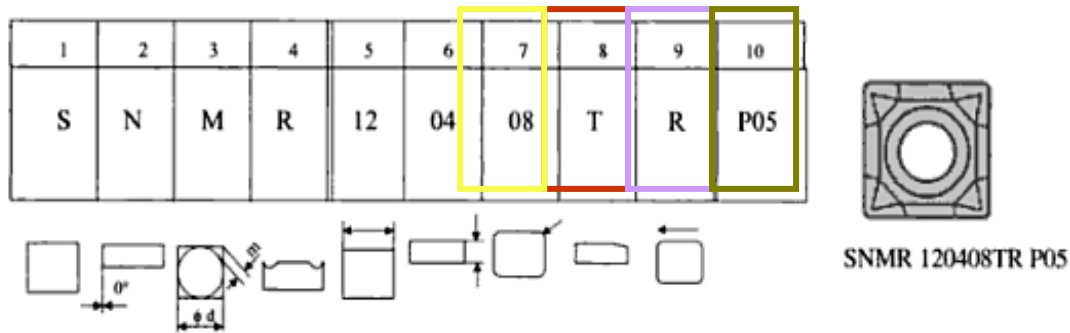
3. **Toleranța plăcuței**: majoritatea plăcuțelor se prelucrează în clasa de toleranță M cu $\phi d \pm (0,05-0,13)$ mm, $m \pm (0,08-0,18)$ mm și grosimea plăcuței $\pm 0,13$ mm. Dimensiunile m și d sunt tolerate conform DIN 4987 .



4. **Tipul plăcuței** în funcție de modul de fixare și spărgătorul de așchii: R descrie o plăcuță fără gaură și cu spărgător de așchii. N descrie o plăcuță fără gaură și fără spărgător de așchii, A – plăcuță cu gaură cilindrică, fără spărgător de așchii, M - plăcuță cu gaură cilindrică, cu spărgător de așchii și T – o plăcuță cu șurub de fixare și spărgător de așchii.

5. **Lungimea muchiilor plăcuței**: în ex.12 corespunde unei lungimi a muchiei plăcuței de 12,6 mm. Muchiile așchietoare au lungimi cuprinse între 3,97- 32 mm.

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



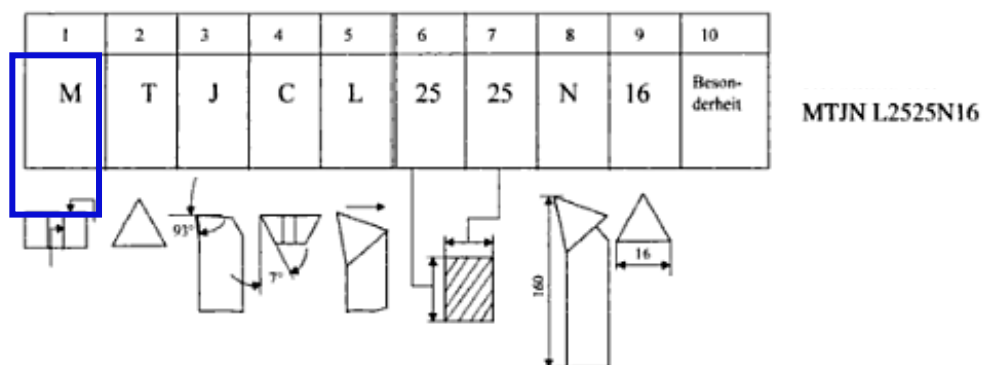
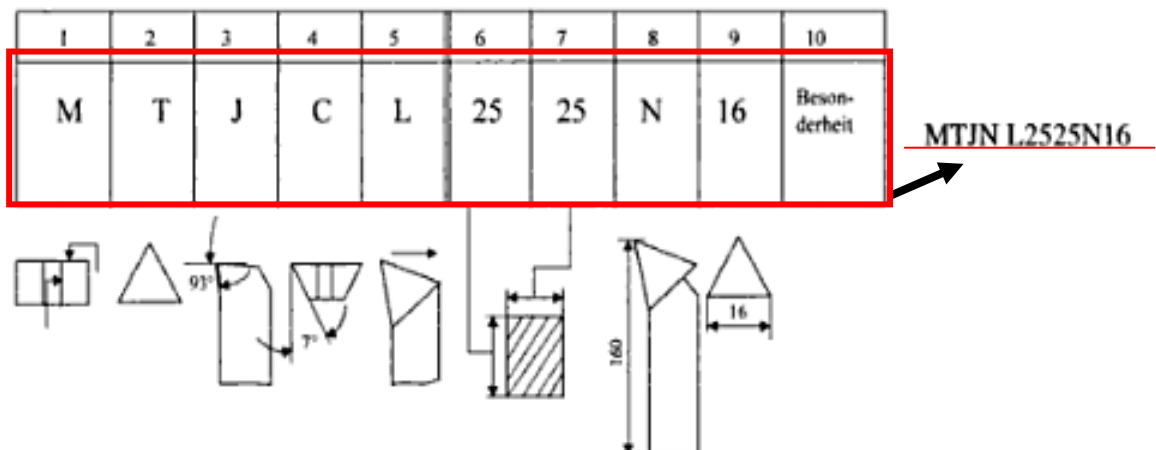
7. Raza la vârf a plăcuței r_e : 08 corespunde unei raze la vârf de 0,8 mm. Valorile razei la vârf a plăcuțelor pot fi cuprinse între 0-3,2 mm.

8. Forma tăișului plăcuței: în ex. T semnifică un tăiș cu teșitură. Litera F descrie un tăiș ascuțit, E - un tăiș rotunjit, iar S - un tăiș rotunjit cu teșitură suplimentară. Lățimea teșiturilor poate avea valori între $b_{fy} = 0,2-2$ mm și unghiuri de înclinare de $\gamma_f = 10-30^\circ$.

9. Direcția de așchiere: în ex. - pe dreapta R.

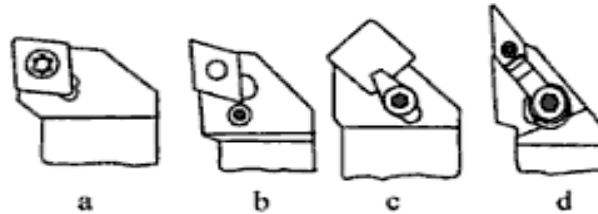
10. Materialul plăcuței: în ex. P05.

➤ **Descrierea codului corpului sculei (pt. prelucrări exterioare)**

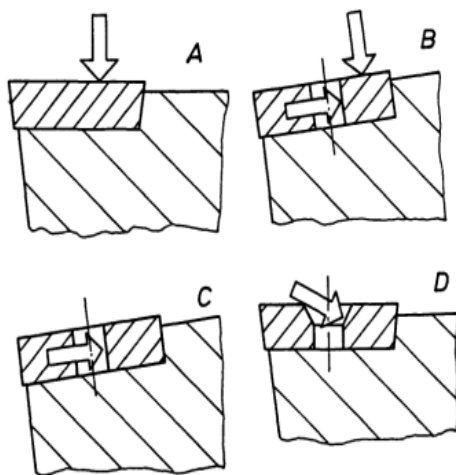


1. Modul de fixare al plăcuței: M – fixare prin gaură cu pârghie.

Alte modalități de fixare: S: prin gaura plăcuței cu șurub (a), P: doar prin gaura plăcuței (b), C: din partea superioară prin pârghie (c), M: prin gaura plăcuței și din partea superioară cu pârghie (d).



Moduri de fixare ale placutelor pe corpul sculei conform DIN 4983



A – de sus (plăcuțe fără alezaj)

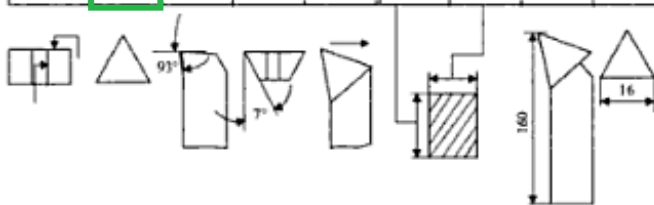
B – de sus și prin alezaj

C – numai prin alezaj

D – cu șuruburi

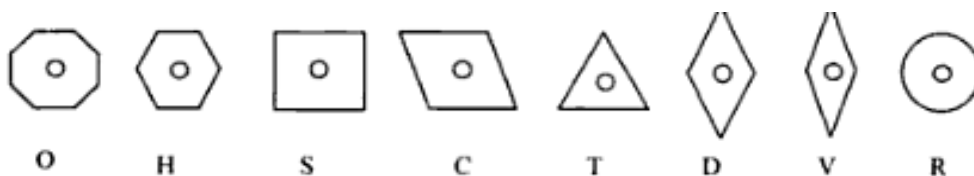
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
M	T	J	C	L	25	25	N	16	Besonderheit

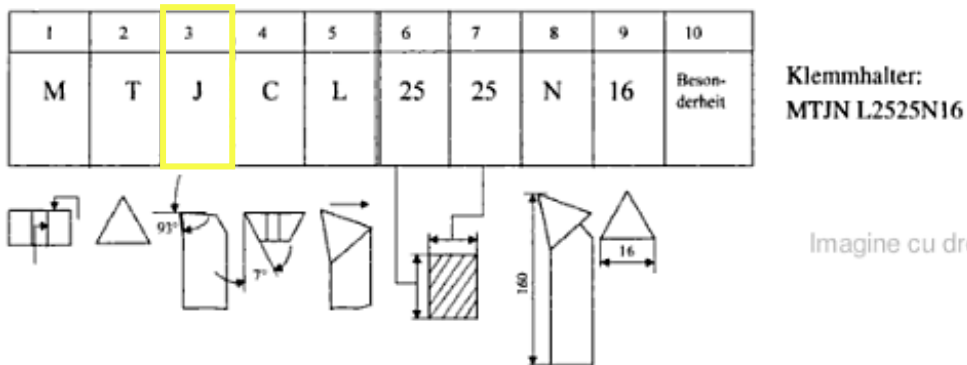
MTJN L2525N16



Imagine cu drept de autor

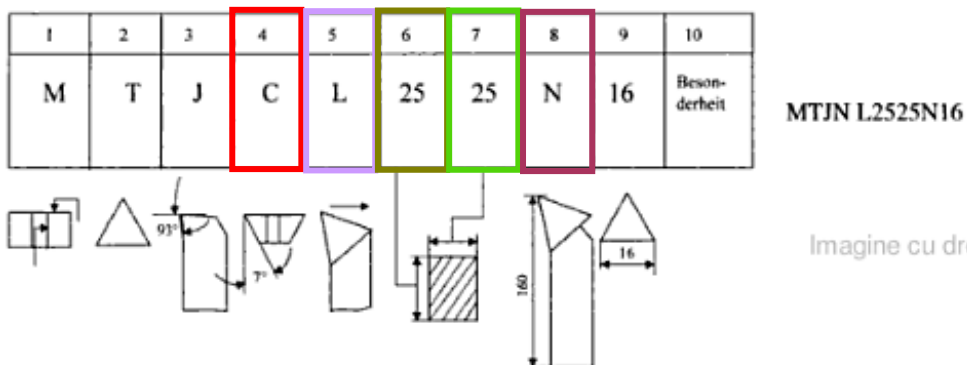
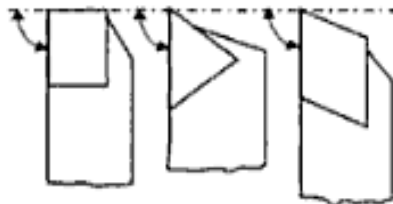
2. Forma plăcuței: Litera T descrie o plăcuță triunghiulară cu unghiul la vârf de $\epsilon=60^\circ$.





3. **Forma corpului:** litera J descrie un corp al cuțitului cu unghiul de atac $\kappa=93^\circ$. Alte forme la strunjirea longitudinală: A pentru 90° , B pentru 75° , E pentru 60° , D pentru 45° . Forme la strunjirea plană: J pentru 93° , F pentru 90° , K pentru 75° . Unghiul κ ia valori între $45-107,5^\circ$.

Forma corpului cuțitului nu este corelată cu forma plăcuței. În ex.: se poate obține un unghi de atac $\kappa=90^\circ$ cu diferite forme ale plăcuței.



4. **Unghiul de așezare:** litera C descrie un corp al cuțitului pe care se poate fixa o plăcuță cu $\alpha=7^\circ$. Alte litere: A pentru 3° , B pentru 5° , D pentru 15° , N pentru 0° .

5. **Direcția de așchiere:** L - așchiere pe stânga.

6. **Înălțimea corpului cuțitului:** în acest ex. 25 mm.

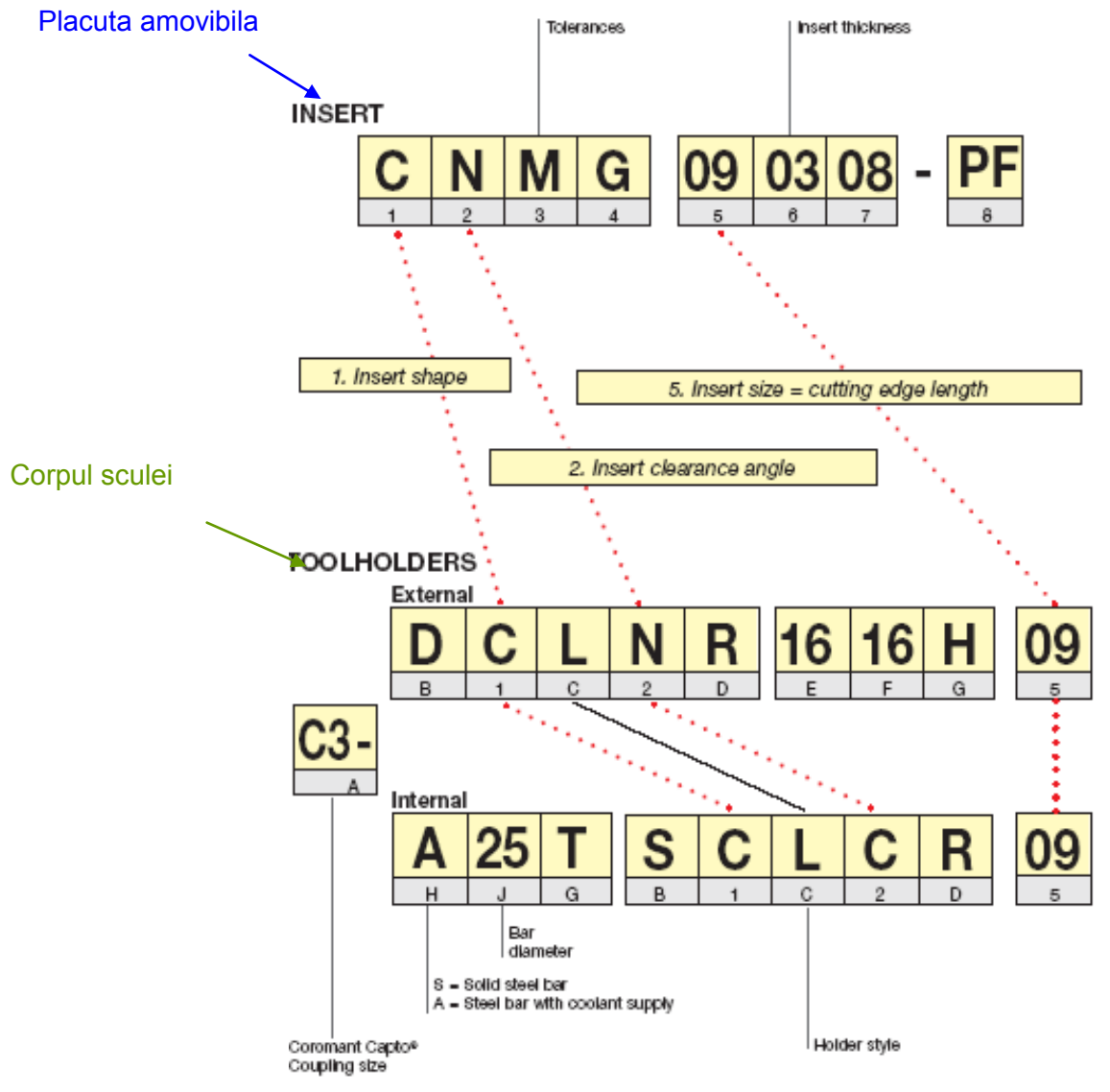
7. **Lățimea corpului cuțitului:** în acest ex. 25 mm.

8. Lungimea corpului cuțitului: litera N descrie un corp al cuțitului cu lungimea de 160 mm. Alte litere care descriu lungimea corpului cuțitului: A pentru 32 mm, C pentru 50 mm, H pentru 100 mm, M pentru 150 mm, R pentru 200 mm.

9. Lungimea locașului pentru plăcuță: se poate fixa o plăcuță cu latura de 16 mm.

10. Informații speciale (de la producător)

➤ Corelația între codul plăcuței și codul corpului cuțitului



8. Normarea tehnică

Norma de timp N_t reprezintă timpul necesar pentru executarea unei lucrări sau operații de către un muncitor sau o echipă în anumite condiții tehnico-organizatorice.

Norma de producție N_p este cantitatea de produse ce trebuie executate de un muncitor sau o echipă în unitatea de timp în anumite condiții tehnico-organizatorice

Consumul de muncă necesar pentru executarea unei faze de lucru sau realizarea unui produs se ilustrează prin **consumul de timp**. Norma de timp oferă posibilitatea de a se urmări **creșterea productivității muncii**. Pe baza normei timp se stabilesc: **necesarul de mașini și utilaje**, **necesarul de muncitori**, se **coordonează procesul tehnologic** și se **organizează munca**. Norma tehnică de timp stă la baza **remunerării muncii**, a stabilirii **prețului de cost**, precum și la **stabilirea variantei optime de prelucrare**.

Structura normei de timp

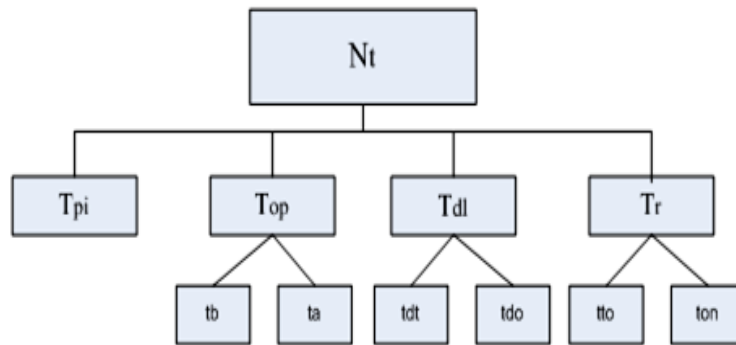


Fig. 5.1. Structura normei de timp [GYE 91]

Deci:

$$N_{tbuc} = T_{pi}/n + T_{op} + T_{dl} + T_r \quad [\text{min}]$$

sau

$$N_{tot} = T_{pi} + n \cdot (T_{op} + T_{dl} + T_r) \quad [\text{min}], \text{ unde } n - \text{numărul de piese din lot.}$$

$$N_p = 1/N_t$$

- **T_{pi} – timpul de pregătire–încheiere** cuprinde lucrările pe care le execută muncitorul înainte de începerea lucrului și după prelucrarea unui lot de piese. Aceste activități sunt: citirea desenului, primirea instrucțiunilor, pregătirea sculelor și dispozitivelor, reglarea mașinii-unelte, predarea pieselor prelucrate, a sculelor și dispozitivelor, curățarea locului de muncă. Timpul de pregătire–încheiere nu depinde de mărimea lotului de fabricație.
- **T_{op} – timpul operativ** se compune din timpul de bază t_b , care este folosit pentru executarea prelucrărilor propriu-zise în timpul căruia are loc modificarea dimensiunilor, formei, stării și așezării reciproce a suprafețelor prelucrate și timpul auxiliar t_a , necesar fixării pieselor, pornirii mașinii-unelte, apropierii și îndepărtării sculei, măsurării dimensiunilor, fixării și deplasării piesei.
- **T_{dl} – timpul de deservire a locului de muncă** este timpul consumat pentru asigurarea condițiilor de lucru. Acest timp are două componente: timpul pentru deservirea tehnică t_{dt} și timpul pentru deservire organizatorică t_{do} a locului de muncă. Timpul pentru deservirea tehnică t_{dt} cuprinde: înlocuirea sculei, reglarea dispozitivelor, reglării periodice la dimensiune a sculelor, la începutul și la terminarea zilei de lucru.
- **T_r – timpul de întreruperi reglementate** cuprinde timpul de întreruperi condiționate de tehnologia stabilită și de organizare a producției și timpul de odihnă și necesități firești.

Capitolul 6. TEHNOLOGII DE PRELUCRARE A SUPRAFEȚELOR CARACTERISTICE

Principalele **categorii** de suprafețe caracteristice sunt:

- **Suprafețe de revoluție exterioare și arbori**
- **Suprafețe de revoluție interioare**
- **Suprafețe plane**
- **Suprafețe elicoidale (filete), roți dințate**

În continuare sunt prezentate principalele **tehnologii** de **degroșare**, **finisare** și **netezire** ale suprafețelor caracteristice enumerate anterior.

6.1. Prelucrarea suprafețelor de revoluție exterioare și arbori

Arborii sunt organe de mașini, necesare **susținerii** altor repere și **transmiterii unor momente** între 2 axe paralele sau înclinate.

Clasificarea arborilor din punct de vedere **tehnologic**:

- **Arbori netezi**,
- **Arbori în trepte** (simetrici, asimetrici),
- **Arbori speciali** (arbori cotiți, arbori cu excentric, arbori tubulari).

Alegerea tehnologiei de prelucrare a arborilor se face în funcție de:

- **Natura semifabricatului** (lamine, turnate, forjate, matrițate etc.),
- **Seria de fabricație**,
- **Elemente de rigiditate** (în funcție de raportul l/d : <3 , $(3...6)$, $(6...12)$, >12 se alege modalitatea de fixare a semifabricatului în sistemul tehnologic),
- **Precizia dimensională**,
- **Calitatea suprafeței prelucrate**.

6.1.1. Operații pregătitoare la prelucrarea arborilor

Operațiile pregătitoare la prelucrarea arborilor sunt:

- **Debitarea**,
- **Îndreptarea**,
- **Prelucrarea suprafețelor frontale**.

• **Debitarea** constă în separarea din semifabricatul universal a unei porțiuni necesare pentru prelucrarea unei piese. În urma debitării se obține o dimensiune limită, care include adaosul de prelucrare, iar zona

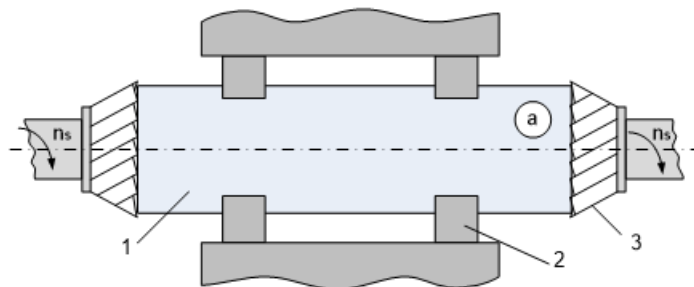
deformată să fie cât mai mică. Se obțin astfel, suprafețe plane frontale, perpendiculare pe axa de rotație. Se realizează prin diferite metode:

- pe **fierăstraie alternative** (pentru OSC, oțeluri înalt aliate)
 - pe **fierăstraie circulare** (pentru OLC, oțeluri slab aliate)
 - pe **strunguri cu cuțite de retezat**
 - prin **ștanțare** ($d < 25$ mm)
 - cu **discuri abrazive** ($d < 50$ mm)
 - prin **metode speciale (anodo-mecanice)** în cazul materialelor greu prelucrabile.
- **Îndreptarea** urmărește reducerea la minim a valorii erorilor de formă ale semifabricatului, erori ce pot apărea în procesul de obținere a semifabricatului sau în timpul operației de debitare. Reducerea erorilor de formă are drept consecință obținerea unui adaos uniform pe toată lungimea. Operația de îndreptare se realizează:
- pe **prese de îndreptat**,
 - pe **strunguri** echipate cu dispozitive special,
 - în **dispozitive speciale**: tobe de îndreptat (specific arborilor realizați din semifabricate universale, serie de fabricație mare, $l/d > 6$).
- **Prelucrarea suprafețelor frontale** are ca scop:
- Obținerea unor suprafețe plane, perpendiculare pe axa semifabricatului,
 - Realizarea bazelor tehnologice operaționale (găuri de centrare - tip A, B, R).

Prelucrarea suprafețelor frontale se realizează pe:

- **Mașini de alezat și frezat orizontal** (pentru semifabricate cu diametre mari sau foarte mari).
- **Mașini speciale de planat și centruit** (Fig. 6.1),

Faza 1



Faza 2

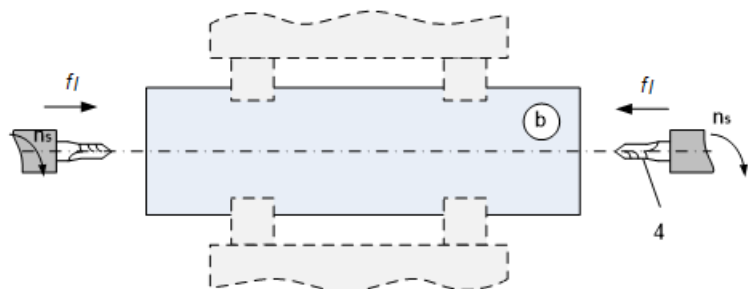


Fig. 6.1. Prelucrarea suprafețelor frontale pe mașini de planat și centruit [GYE 91]

Arborele (1) se fixează în dispozitivul (2) care are două poziții de lucru. În poziția 1 are loc prelucrarea suprafețelor frontale folosind pentru aceasta două freze cilindro-frontale distanțate una față de cealaltă cu lungimea arborelui. Arborele este trecut cu avans circular printr cele două freze, apoi este transferat în poziția 2, blocat, iar cu două burghie de centrare (4) se execută simultan găurile de centrare pe suprafețele frontale.

- **Strunguri** (Fig.6.2),

- **Prelucrarea suprafețelor frontale prin strunjire** este specifică arborilor de dimensiuni mici și medii. Prelucrarea se realizează în două faze. **Faza 1:** cu un cuțit pentru prelucrări frontale se prelucurează frontal arborele pentru a rezulta o suprafață plană, perpendiculară pe axa semifabricatului. **Faza 2:** cu un burghiu de centruit fixat în pinola păpușii mobile se execută baza tehnologică (gaura de centrare).

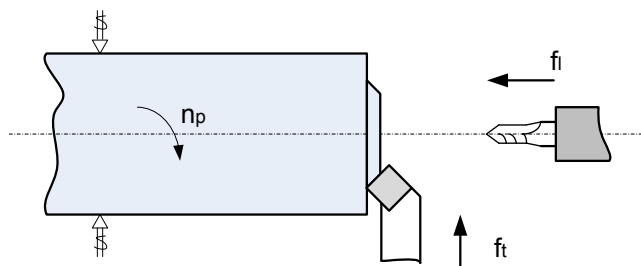


Fig. 6.2. Strunjirea suprafețelor plan-frontale [GYE 91]

- **Găurile de centrare.** Există trei tipuri de găuri de centrare standardizate. Acestea sunt prezentate în figura 6.3.

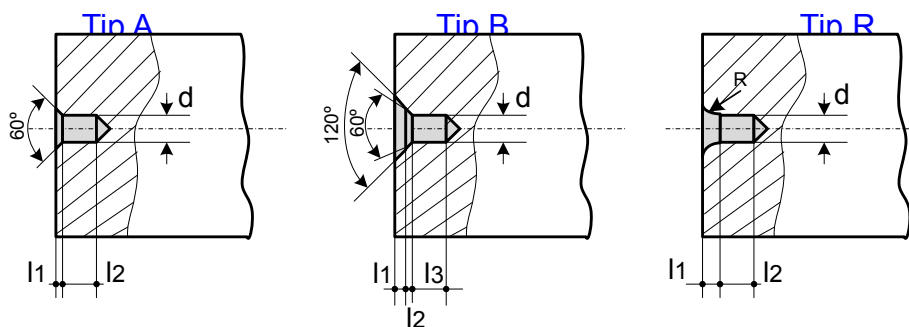


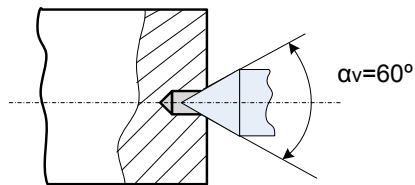
Fig. 6.3. Tipuri de găuri de centrare [GYE 91]

Găurile de centrare tip A au con simplu de protecție. Se recomandă ca bază tehnologică pentru prelucrările mai puțin pretențioase.

Găurile de centrare tip B au con dublu de protecție, având o suprafață conică de protecție înclinată la 120°. Se utilizează ca bază tehnologică pentru prelucrări cu precizie mai mare și o calitate mai bună a suprafețelor.

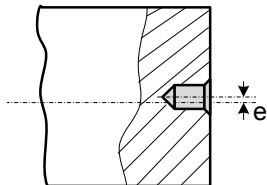
Găurile de centrare tip R sunt caracterizate de o porțiune de sprijin sferică cu raza R . Se folosesc pentru procedee speciale de prelucrare (de exemplu: porțiunile conice ale arborilor prin deplasarea transversală a păpușii mobile).

Precizia găurilor de centrare poate influența performanțele procesului atât din punct de vedere al siguranței fixării cât și din punct de vedere al preciziei prelucrării.



Suprafața conică a găurii de centrare va fi identică cu unghiul la vârf al conului din vârful păpușii mobile (Fig. 6.4). Când $\alpha_v > 60^\circ$ sau $\alpha_v < 60^\circ$ se reduce suprafața portantă (contactul dintre arbore și vârf), ceea ce determină creșterea presiunii specifice și a deformațiilor.

Fig. 6.4. Conicitate gaură de centrare - vârf



Axa găurii de centrare trebuie să fie identică cu axa de rotație a semifabricatului (Fig. 6.5). În caz contrar apar excentricități. Aceste fenomene apar cel mai frecvent la centrare pe mașina frezat și alezat orizontal, unde centrarea se face în urma unei operații de trasaj.

Fig. 6.5. Coincidență axe

6.1.2. Tehnologii de degroșare ale arborilor (IT 10 - 14 $Ra=12,5 - 50 \mu m$)

Degroșarea arborilor se poate realiza prin: **strunjire**, **frezare**, **broșare**. În cazul operațiilor de degroșare, indiferent de procedeu sau utilaj, se urmărește în primul rând **productivitatea ridicată** (îndepărtarea celei mai mari părți a adaosului de prelucrare, ceea ce înseamnă o cantitate mare de așchii îndepărtată în unitatea de timp) și **costurile scăzute**.

➤ **Strunjirea de degroșare** (Fig. 6.6 și 6.7) este cea mai utilizată metodă de degroșare a suprafețelor cilindrice exterioare și poate fi realizată pe diferite tipuri de strunguri (paralele, automate, semiautomate, CNC, carusel). Eficiența și productivitatea ridicate pot fi asigurate prin următoarele măsuri:

- Alegerea parametrilor tehnologici de lucru (a_p, f, v);
- Alegerea sculelor așchietoare (secțiune pătrată, geometrie care asigură rigiditate $\kappa \leq 45^\circ$);
- Alegerea schemelor de prelucrare.

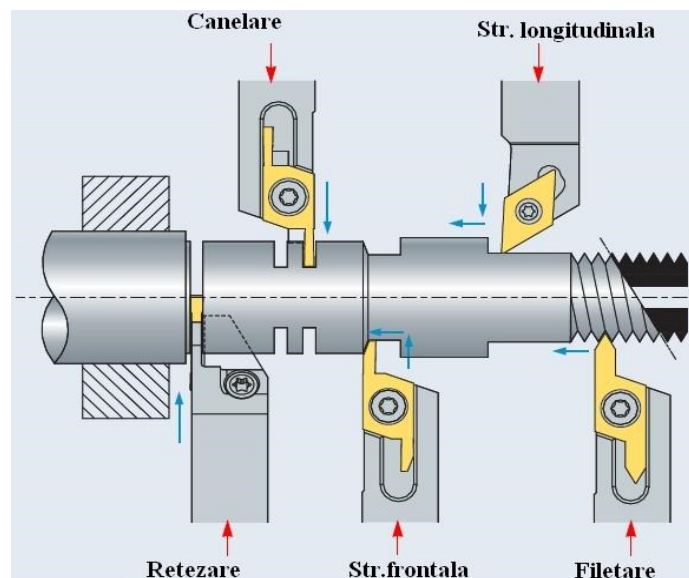


Fig. 6.6. Procedee de strunjire [www san]

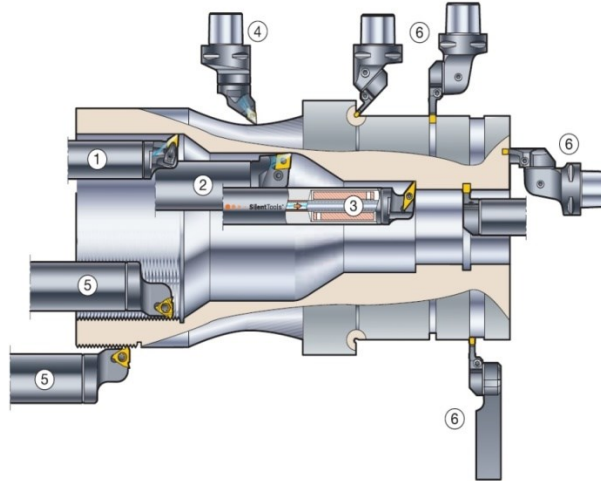


Fig. 6.7. Cutite pentru strunjire interioară și exterioară [www san]

La prelucrarea pe mașini-unelte universale se analizează dacă și în ce măsură pot fi utilizate **mai multe scule fixate** în același suport, care la aceeași trecere să realizeze o **divizare a adaosului de prelucrare pe lungime** (Fig. 6.8) pentru arbori lungi cu adaosuri de prelucrare mici sau **pe adâncime** pentru arborii scurți cu adaosuri de prelucrare mari (Fig. 6.9). În ambele cazuri se obține o **reducere a timpului de bază**, proporțional cu numărul de scule folosite.

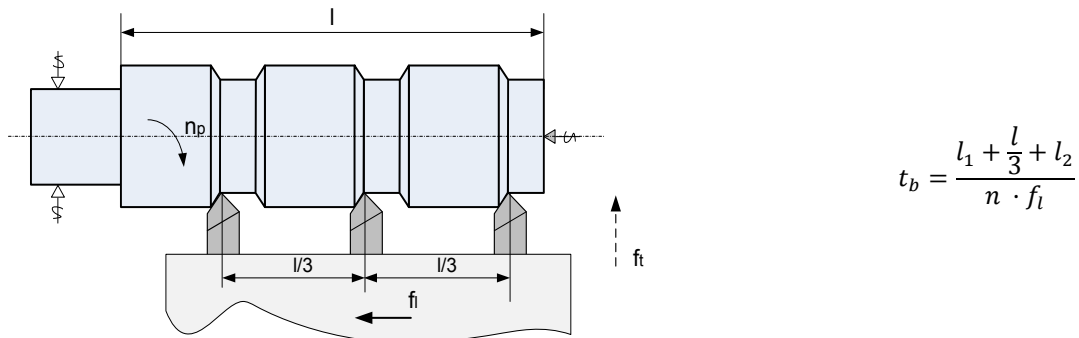


Fig. 6.8. Divizarea adaosului de prelucrare pe lungime [GYE 91]

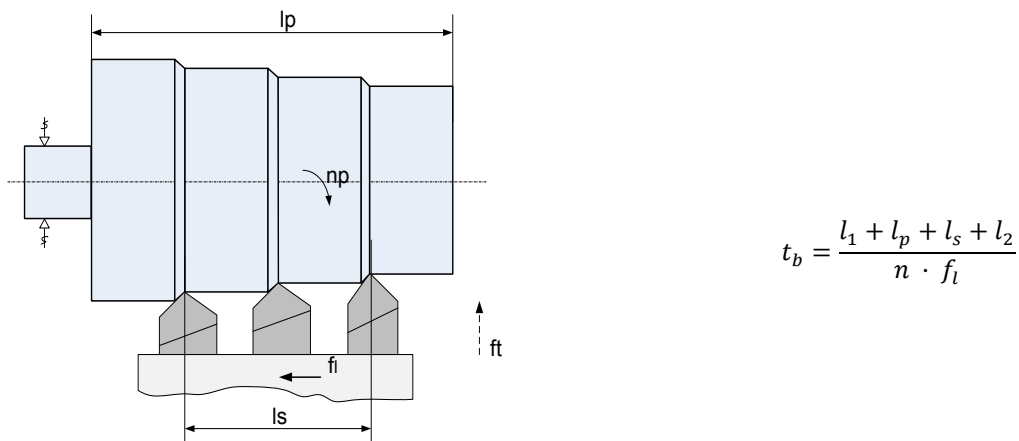


Fig. 6.9. Divizarea adaosului de prelucrare pe adâncime

Strunjirea pe **strungurile carusel** (Fig. 6.10) este specifică suprafețelor cilindrice cu l/d foarte mic ($< 0,5$) – piese tip flanșă, coroane dințate. Arborele se fixează pe platoul strungului împreună cu care execută mișcarea de rotație. Pot fi realizate prelucrări de suprafețe cilindrice exterioare cu diametre de până la 30 m.

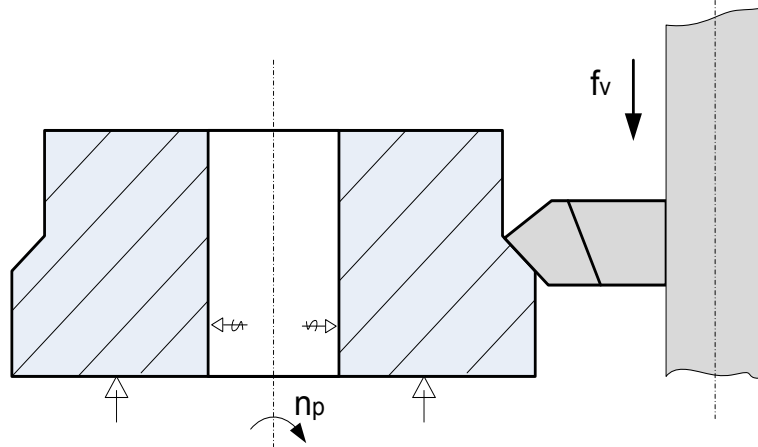


Fig. 6.10. Strunjirea pe strungul carusel [GYE 91]

➤ **Frezarea de degroșare a arborilor** (Fig. 6.11) este o operație foarte productivă pentru că întreg adaosul de prelucrare de pe suprafața arborelui se înlătură simultan cu un set de freze, în timp ce semifabricatul realizează o jumătate de rotație, în varianta de frezare **bilaterală**, sau o rotație completă, în varianta de frezare **unilaterală**. **Frezarea bilaterală** se caracterizează prin faptul că fiecare porțiune a arborelui este prelucrată de 2 freze. La **frezarea unilaterală** prelucrarea fiecărui tronson se face cu o singură freză.

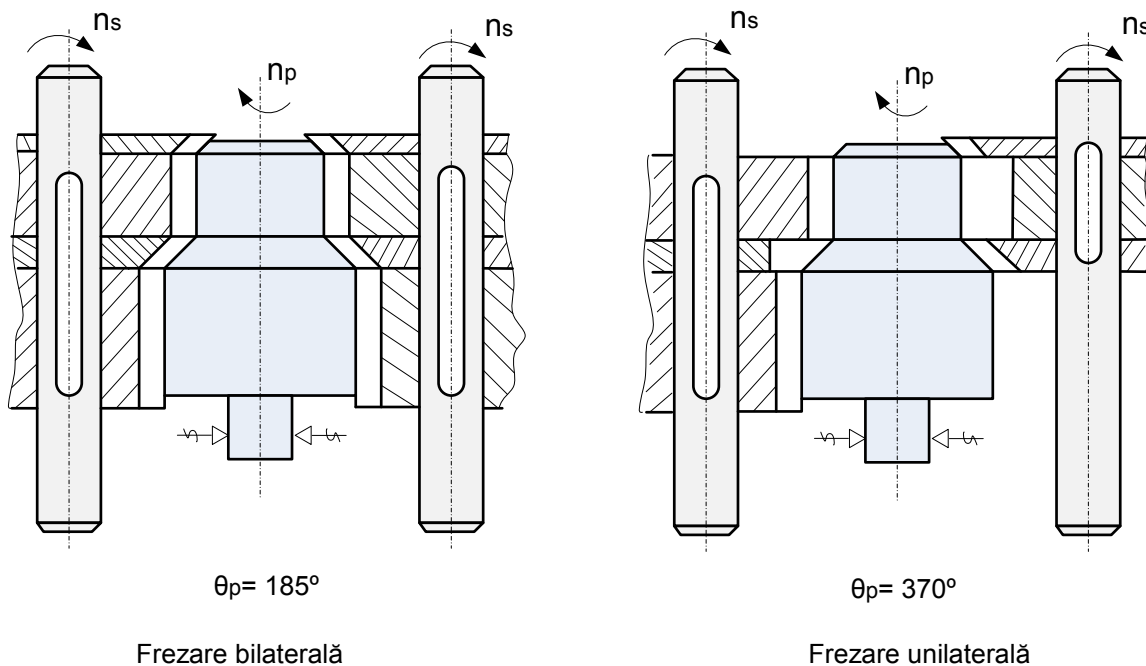


Fig. 6.11. Frezarea arborilor [GYE 91]

Mișcarea principală de așchiere rezultă din rotația frezelor (turația), în timp ce semifabricatul realizează un **avans circular** (θ_p). Procedul este **foarte productiv**, dar se utilizează numai la prelucrarea arborilor

scurți (matrițați sau turnați). Are dezavantajul că necesită mașini-unelte specializate și se utilizează seturi de freze. În cazul frezării unilaterale trebuie avută în vedere repartizarea frezelor astfel încât componentele radiale ale forțelor de așchiere să se compenseze.

➤ **Broșarea suprafețelor cilindrice exterioare** este specifică prelucrărilor cu adaosuri mici de prelucrare a arborilor scurți. Procedul este la fel de productiv ca și frezarea, adaosul de prelucrare îndepărtându-se la dintr-o singură trecere. Prelucrarea se poate face cu în două variante: **broșare cu broșă plană** și **broșare cu broșă spirală**.

➤ **Broșarea cu broșă plană** (Fig. 6.12). Broșa se caracterizează printr-o porțiune de degroșare unde există o supraînălțare a dinților. Pasul porțiunii de degroșare se determină în funcție de avansul pe dinte. Lungimea porțiunii de degroșare se determină în funcție de pas și numărul de dinți.

$$l_d = p_d \cdot Z_d$$

În porțiunea de calibrare, supraînălțarea dinților este $s_d = 0$. Porțiunea se dimensionează astfel încât să cuprindă de 1,1 ori circumferința porțiunii cilindrice care se prelucrează. Calitatea suprafețelor obținute este superioară altor procedee.

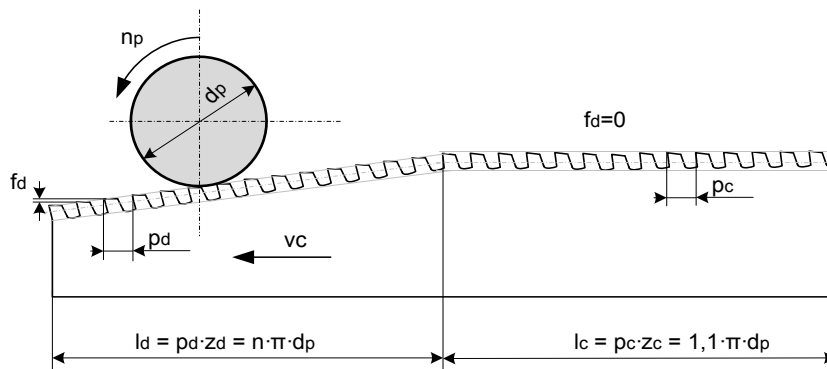


Fig. 6.12. Broșarea cilindrică exterioară cu broșă plană [GYE 91]

➤ **Broșarea cu broșă spirală** (Fig. 6.13). Broșa este caracterizată de 3 porțiuni:

- Porțiune de degroșare α_d ,
- Porțiune de finisare α_c ,
- Porțiune de alimentare α_a , (pentru alimentarea mașinii cu un alt semifabricat).

La prelucrarea cu **broșă spirală** trebuie să existe o corelație între turația piesei (n_p) și turația broșei (n_s). Raportul dintre cele două turații (n_s și n_p) este condiționat de elementele constructive ale broșei.

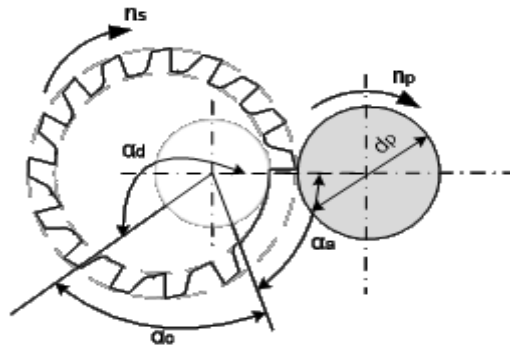


Fig. 6.13. Broșarea spirală [GYE 91]

Procedeul este foarte productiv însă apar forțe mari de așchiere, motiv pentru care necesită utilaje cu rigiditate foarte mare. Se aplică în cazul producțiilor de serie mare și masă.

6.1.3. Tehnologii de finisare ale suprafețelor cilindrice și ale arborilor (IT 7-9 $Ra = 1,6 - 0,8 \mu m$)

Prin aceste tehnologii se urmărește îmbunătățirea preciziei dimensionale la clasele de precizie IT9 – IT7 și a rugozității suprafeței $1,6 - 0,8 \mu m$, precum și a preciziei de formă geometrică și de poziție relativă a suprafețelor. Tehnologiile de finisare se diferențiază în funcție de starea stratului superficial. Pentru durițăți < 35 HRC finisarea se realizează prin **strunjire**, iar pentru durițăți > 35 HRC prin **rectificare**.

➤ **Strunjirea de finisare.** Se caracterizează prin adaosuri mici de prelucrare și viteze mari de așchiere ($v > 100 \text{ m/min}$) și prin utilizarea unor lichide de răcire și ungere specifice fiecărui material. Operația poate fi realizată cu trei tipuri de scule:

- **Cuțite cu rază mică de rotunjire a vârfului muchiei așchietoare.** Eforturile de așchiere sunt reduse, iar procesul are o bună stabilitate dinamică.
- **Cuțite cu rază mare de rotunjire a muchiei așchietoare.** Relația de determinare a rugozității teoretice maxime (H_{max}) este valabilă până la anumite valori ale avansului și a razei la vârf, peste care H_{max} crește foarte mult.
- **Cuțite late cu fațetă.** Condiția de prelucrare cu aceste cuțite este ca avansul longitudinal să fie mai mic decât lățimea fațetei cuțitului.

➤ **Rectificarea cilindrică exterioară**

1. Rectificarea cilindrică exterioară între vârfuri.

- **Rectificarea cilindrică exterioară din mai multe treceri** (Fig. 6.14). Este cel mai utilizat procedeu de rectificare. Se caracterizează prin faptul că adaosul de prelucrare se înlătură din mai multe treceri.

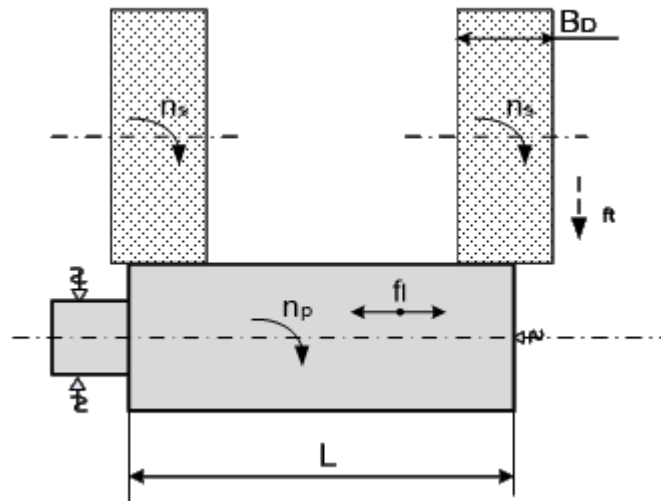


Fig. 6.14. Rectificarea cilindrică exterioară din mai multe treceri [ANC 03]

Mișcarea pincipală de așchiere este rotația semifabricatului cu turația n_s . Semifabricatul execută un număr de curse duble (cu avansul f_l), la capătul fiecăreia corpul abraziv execută un avans transversal f_t (mm/cursă dublă). Ultimele curse duble se vor realiza fără avans transversal pentru a compensa deformația elastică a semifabricatului. Avansul longitudinal (f_l) depinde de lățimea discului abraziv (B_D).

$$f_l = (0,2 \dots 0,4) \cdot B_D$$

Mărimea cursei tehnologice se va regla astfel încât corpul abraziv să nu depășească suprafața de prelucrat decât la sfârșitul prelucrării pentru a nu apărea șocuri și vibrații. Avansul transversal (f_t) este de ordinul 10^{-3} mm sau în cazul unor material de $(0,01 - 0,02)$ mm.

- **Rectificarea cu avans longitudinal dintr-o singură trecere** (Fig. 6.15). Este specifică suprafețelor cu adaos de prelucrare $< 0,05$ mm fără pretenții ridicate de calitate. La acest procedeu adaosul de prelucrare este îndepărtat la o singură trecere cu ajutorul unui corp abraziv cilindric cu o porțiune conică cu o înclinație de $\kappa = (1 - 3)^\circ$. Porțiunea conică are rolul de a proteja partea cilindrică a discului și pentru a asigura intrarea progresivă a discului abraziv în așchiere.

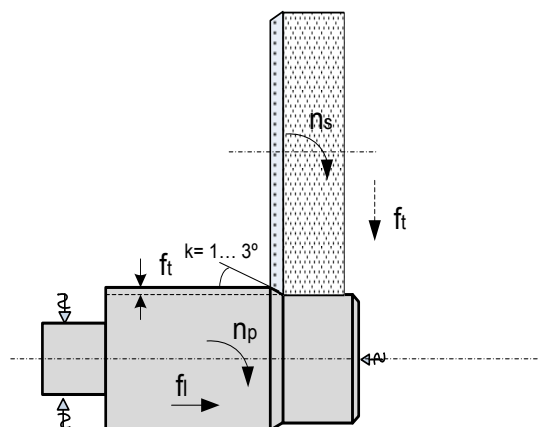


Fig. 6.15. Rectificare cu avans longitudinal dintr-o singură trecere [ANC 03]

După poziționarea transversală a discului abraziv se cuplează avansul transversal (f_t) până când porțiunea cilindrică traversează suprafața semifabricatului. Procedeu se aplică la rectificarea porțiunilor scurte ale arborilor conici, cilindrici, profilați.

➤ **Rectificarea cilindrică cu avans transversal** (Fig. 6.16). În acest caz dimensiunea și forma discului abraziv copiază profilul suprafeței de prelucrat, astfel încât după poziționarea discului în raport cu această suprafață se cuplează avansul transversal f_t (mm/rot piesă) de ordinul câtorva micrometri.

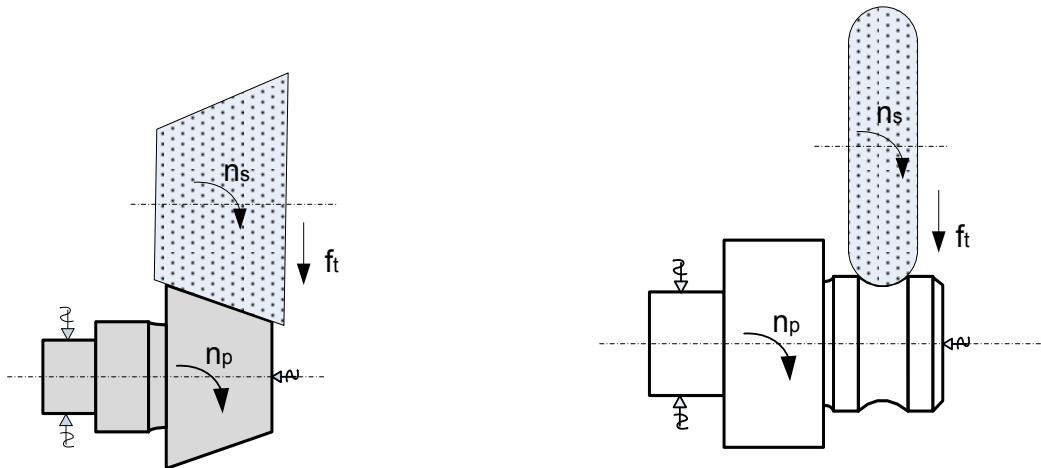


Fig. 6.16. Rectificare cilindrică cu avans transversal [GYE 91]

Avansul rămâne cuplat până se atinge cota dimensională a suprafeței prelucrate. Precizia de formă depinde de precizia formei discului abraziv și de precizia de reascuțire a discului abraziv.

➤ **Rectificarea pragurilor** (Fig. 6.17). Este un caz particular al rectificării cu avans transversal. Asigurarea preciziei se face prin rectificarea simultană a celor două tronsoane:

- Rectificare cu disc abraziv cu axa paralelă cu axa de rotație a piesei.** Discul abraziv are formă cilindrică cu o degajare pe suprafața frontală (formă de taler), ceea ce face ca forțele de frecare să fie mai reduse și implicit să se reducă uzura sculei.
- Rectificare cu disc abraziv cu axa înclinată.** Discul abraziv este dublu conic, fiecare suprafață a sa prelucrând o suprafață a piesei (cilindrică, respectiv plană).

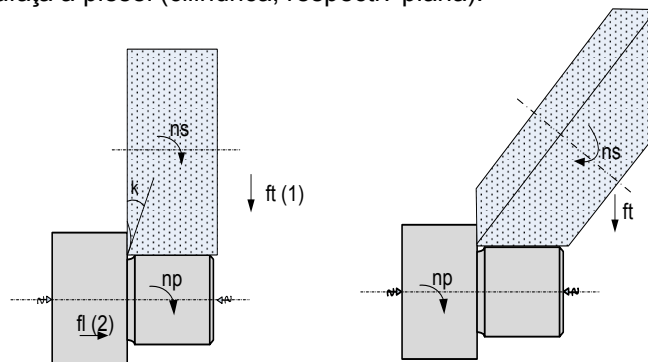


Fig. 6.17. Rectificarea pragurilor [GYE 91]

2. Rectificarea fără centre

- Rectificarea fără centre cu avans longitudinal (Fig. 6.18).

Acest procedeu este specific rectificării arborilor netezi fabricați în producția de serie mare, fără pretenții deosebite de precizie și calitate.

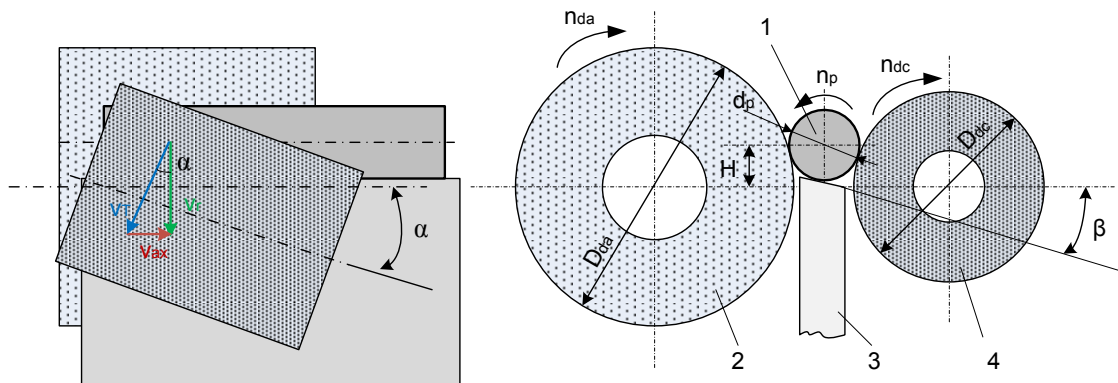


Fig. 6.18. Rectificarea fără centre cu avans longitudinal [GYE 91]

Rectificarea piesei (1) se realizează cu discul abraziv (2) în timp ce piesa este susținută și antrenată în mișcare de rotație de discul conducător (4) și riglă (3). Avansul longitudinal al piesei se realizează prin înclinarea discului conducător la unghiul α , ceea ce determină apariția unei componente axiale a vitezei de așchiere (v_a).

$$v_{ax} = v_T \cdot \sin \alpha, \quad \alpha = (120 \dots 180) \text{ minute} \sim (2 \dots 3) \text{ grade}$$

Unghiul α are valori mari la degroșare pentru a asigura o productivitate mai mare și valori mai mici la finisare pentru a obține o calitate mai bună a suprafeței.

Pentru a asigura o precizie de coaxialitate bună și circularitate, semifabricatul este plasat cu axa de rotație decalată față de axa discurilor cu **cota H**, care se determină experimental în funcție de diametrele discurilor abraziv și conducător și diametrul piesei.

$$H = 0,06 \cdot \frac{(D_{da} + d_p) \cdot (D_{dc} + d_p)}{D_{da} + D_{dc} + d_p}$$

Discul conducător are forma unui **hiperboloid cu o pânză** rezultată prin diamantare cu un vârf de diamant după o dreaptă înclinată cu **unghiul β** . Valori mai mari ale unghiului de înclinare liniară β asigură îmbunătățirea calității suprafețelor prelucrate și o creștere a componentei radiale a forței de așchiere alături de stabilitatea dinamică a procesului.

$$\beta < 30^\circ \text{ la degroșare}$$

$$\beta < 45^\circ \text{ la finisare}$$

Procesul este foarte productiv, putând fi automatizat prin utilizarea unor alimentatoare (gravitaționale sau de alt tip) care să aducă piesele între cele două discuri.

➤ **Rectificarea fără centre cu avans transversal** (Fig. 6.19).

Procedeul este specific rectificării porțiunilor scurte ale arborilor unde precizia de formă și calitatea suprafețelor prelucrate trebuie să fie bune.

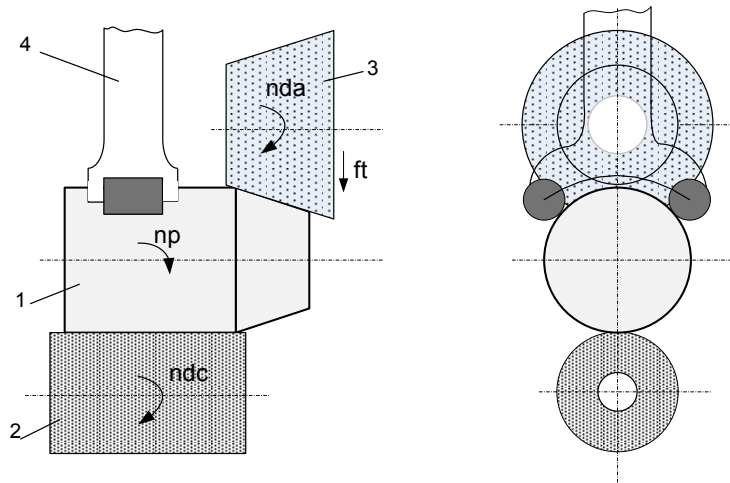


Fig. 6.19. Rectificarea fără centre cu avans transversal [GYE 91]

În timpul procesului alimenatarea se face piesă cu piesă. Fixarea piesei (1) se face prin intermediul rolor (4). Rectificarea porțiunii conice a arborelui se face cu un disc abraziv dimensionat corespunzător, cu avans transversal f_t .

Avantajul procedurii este dat de faptul că asigură precizia de poziție relativă foarte bună între suprafața utilizată ca bază tehnologică de așezare (suprafața cilindrică) și suprafața prelucrată (suprafața conică). Suprafața utilizată ca bază tehnologică va trebui prelucrată înainte de a fi folosită ca bază de așezare, așadar succesiunea prelucrărilor va fi rectificarea porțiunii cilindrice, urmată de rectificarea tronsonului conic.

6.1.4. Tehnologii de suprafinisare a suprafețelor cilindrice exterioare (IT 6-4 $R_a < 0,4 \mu\text{m}$)

Prin suprafinisare se urmărește îmbunătățirea preciziei dimensionale și a calității suprafețelor la precizia de IT6 - IT4 și rugozitatea de $R_a < 0,4 \mu\text{m}$. Datorită faptului că adaosul de prelucrare este $< 0,1 \mu\text{m}$ nu se îmbunătățește precizia de poziție, nici de formă geometrică.

În funcție de starea stratului superficial de material, principalele procedee de suprafinisare a suprafețelor cilindrice exterioare sunt:

- Strunjirea fină,
- Honuirea exterioară,
- Vibrohonuirea (Vibronetezirea),
- Lepuirea,
- Deformarea plastică prin rulare.

➤ **Strunjirea fină** se realizează cu scule cu vârf de diamant sau plăcuțe din carburi metalice cu o calitate foarte bună a muchiei așchietoare. Se utilizează pentru suprafinisarea metalelor (aliajelor) neferoase și parțial pentru piese din oțel sau fontă.

Se caracterizează prin viteze de aşchiere mari (100...300) m/min, avansuri $f < 0,1$ mm/rot, utilizarea de lichide de aşchiere, prelucrarea făcându-se pe maşini-unelte cu foarte bună rigiditate dinamică. Se obţin precizii dimensionale corespunzătoare claselor IT5 – IT6 şi rugozităţi $< 0,8 \mu\text{m}$.

Materialele cu duritate > 35 HRC se suprafinisează în principal prin operaţia de honuire exterioară.

➤ **Honuirea exterioară** este tipică pentru suprafinisarea unor fusuri de alunecare (arbori cotiţi - manetoane). Prelucrarea se realizează cu ajutorul unor barete abrazive cu granulaţie fină şi duritate medie, presate pe suprafaţa de prelucrat prin intermediul unor suportţi (Fig. 6.20).

Prelucrarea arborelui (1) se realizează cu două (sau patru) barete abrazive (2). La prelucrarea materialelor moi se folosesc discuri dure, iar la prelucrarea materialelor dure se utilizează discuri moi. O granulaţie mare asigură obţinerea unei rugozităţi mari, iar rugozităţile mici se obţin folosind barete abrazive cu granulaţie mică.

Baretele pot fi confecţionate din: carbură de Si, pulbere de diamant sintetic, nitrură cubică de bor. Baretele abrazive se fixează în suportţii (3) şi sunt presate pe suprafaţa de prelucrare cu o forţă ce poate fi reglată prin elementul elastic (4).

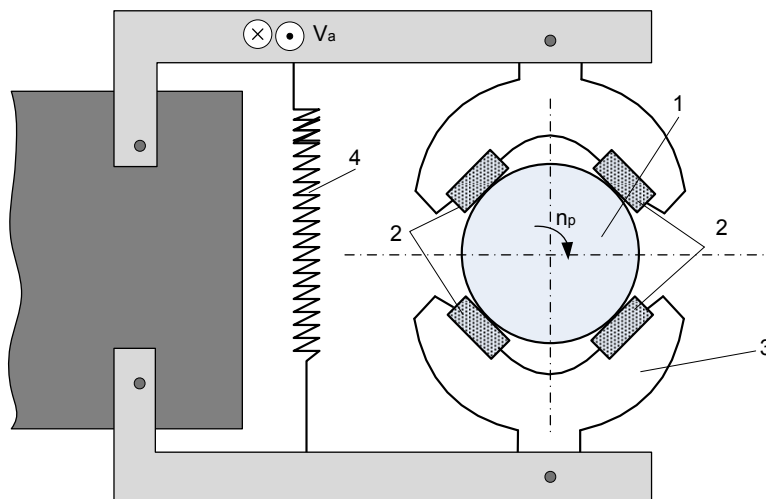


Fig. 6.20. Honuirea exterioară [GYE 91]

Cinematica procesului este constituită din: **mişcarea de rotație a piesei (n_p)** şi **deplasarea baretelor abrazive (v_a)** pe generatoare simultan cu capul de honuit. Prin combinarea celor două mişcări, deplasarea baretelor abrazive se face după o elice cu unghiul de înclinare β dat de raportul n_p/v_a . Valorile optime ale acelui unghi sunt cuprinse între 20° (la finisare) şi 30° (la degroşare). Procesul se desfăşoară în prezenţa lichidelor de aşchiere alese în funcţie de tipul materialului prelucrat.

Calitatea suprafeţelor prelucrate prin honuire exterioară este de $(0,1...0,4) \mu\text{m}$ şi precizia dimensională corespunzătoare IT5 – IT6.

➤ **Vibrohonuirea (vibronetezirea)** (Fig. 6.21) este un procedeu ce derivă din honuirea clasică prin suprapunerea peste cinematica cunoscută a unei mișcări vibratorii în lungul generatoarei arborelui, mișcare caracterizată printr-o **amplitudine mică** și o **frecvență mare**.

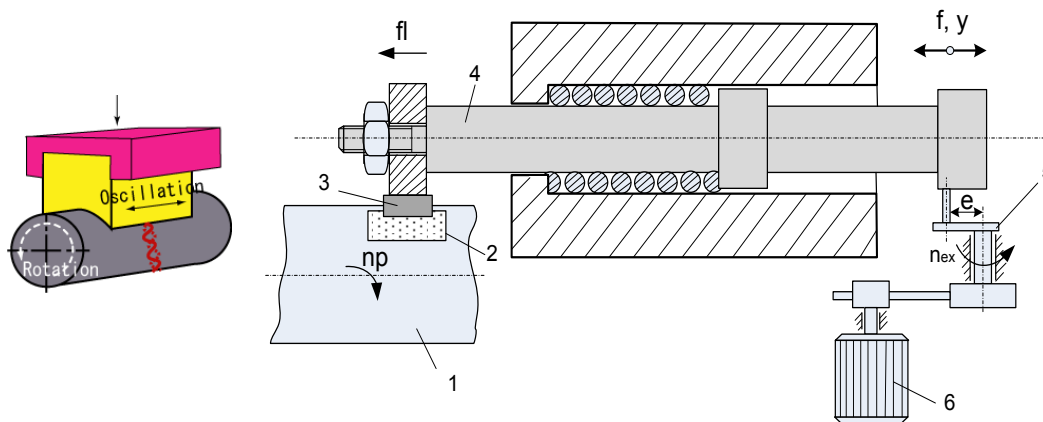


Fig. 6.21. Vibrohonuirea [GYE 91]

Mișcarea suplimentară vibratorie a capului de honuit poate fi realizată în diverse moduri: **mecanic**, **pneumatic**, **hidraulic**, **electromagnetic** (în figura 4.21 este prezentată soluția mecanică).

Mișcarea vibratorie se transmite prin arbore (4) la excentricul (5), antrenat în mișcare de rotație de motorul (6) și are **frecvența f** și **amplitudinea y** .

$$f = \frac{n_{ex}}{60} \quad y = 2 \cdot e$$

Această mișcare suplimentară are ca efect modificarea traiectoriei unei particule din elice simplă în elice cu o mișcare sinusoidală suprapusă, ceea ce determină îmbunătățirea calității suprafeței cu cel puțin o clasă. Capacitatea de așchiere a barețelor abrazive crește datorită fenomenului de autoașchiere (datorită solicitărilor alternative a particulelor acestea se înlătură mai ușor intrând în așchiere alte particule).

➤ **Lepuirea** este un procedeu care constă din deplasarea unei **bucșe elastice din bronz** sau **fontă** pe suprafața de prelucrat, după ce în prealabil între bucșă și suprafața de prelucrat s-a interpus o **pastă abrazivă** cu granulație foarte fină (de exemplu: oxid de aluminiu sau oxid de brom) înglobată în vaselină sau alte suspensii.

Operația se poate realiza **manual** sau **mecanic** în funcție de seria de fabricație și dimensiunea semifabricatului. Adaosul de prelucrare este mai mic de **0,02 mm**, precizia dimensională obținută **IT2 – IT1** și rugozitate mai mică de **0,1 μm**.

➤ **Rularea** suprafețelor (Fig. 6.22) este un procedeu de suprafinisare a suprafețelor cu duritate redusă și constă în **aplatizarea vârfurilor microneregularităților** de pe suprafața piesei cu ajutorul unui **element de rulare** (de exemplu: o **bilă** sau o **rolă**) ce se caracterizează prin **duritate mai mare de 60 HRC** și **calitate foarte bună a suprafeței active**.

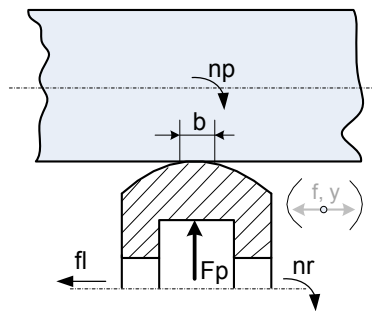


Fig. 6.22. Rularea [GYE 91]

Rola este **presată** cu o **forță** de ordinul zecilor de daN pe suprafața exterioară a semifabricatului și **deplasată** cu avans longitudinal f_l , în timp ce piesa se rotește cu **turația** n_p . Datorită formei rolei și deformațiilor elastice și plastice ce apar, contactul dintre cele două elemente se realizează pe o lățime b , iar avansul longitudinal va fi mai mic decât aceasta ($f_l < b$).

Rularea are următoarele efecte:

- > **Aplatizarea** micronegularităților rezultate din prelucrarea precedentă, care determină îmbunătățirea calității suprafețelor la $R_a < 0,4 \mu\text{m}$.
- > **Ecrusarea** materialului la suprafață, ceea ce determină durificarea stratului superficial, la valori ale durtății similare în multe situații cu cea obținută în urma unor tratamente termice de suprafață.

Precizia dimensională este mai scăzută ($\sim IT7$) pentru că materialul deformat suferă o revenire elastică după trecerea rolei. Revenirea elastică este neuniformă datorită neuniformității materialului și tensiunilor interne. Creșterea preciziei dimensionale la rulare se obține dacă peste cinematica obișnuită se suprapune o **mișcare vibratorie** (f, y) pentru că prin aceasta revenirea elastică a materialului este mai uniformă. Obținerea mișcării vibratorii se face prin plasarea rolei pe un sistem elastic între 2 electromagneți alimentați succesiv cu curent electric sinusoidal. Procedul derivat astfel poartă denumirea de **vibrorulare (vibronetezire)**.

• **Vibronetezirea** permite crearea unor microreliefuli prin care se îmbunătățește fiabilitatea în exploatare prin reducerea uzurii (se îmbunătățește ungerea). Parametrii de proces se reglează (n_p, f, f_l, y) și se corelează astfel încât să se obțină microrelieful dorit (amplitudine, adâncime).

6.1.5. Tehnologii de prelucrare a porțiunilor conice ale arborilor

Prelucrarea porțiunilor conice ale arborilor se poate realiza prin:

- **Strunjire,**
- **Frezare,**
- **Broșare.**

Prelucrarea prin frezare și broșare necesită scule adecvate și se realizează similar cu prelucrarea suprafețelor cilindrice exterioare.

➤ **Degroșarea suprafețelor conice prin strunjire.** Este procedeul care poate fi realizat pe strunguri paralele (universale sau CNC) sau pe strunguri carusel.

1. Prelucrarea pe strunguri paralele universale se realizează în patru moduri:

- prin deplasarea transversală a păpușii mobile,
- prin rotirea saniei portcuțit,
- Copiere cu rigle de copiat sau piese etalon,
- Copiere cu cuțite late.

• Prelucrare prin deplasarea transversală a păpușii mobile (Fig. 6.23). Procedeul se folosește pentru prelucrarea pieselor conice lungi, cu conicitate mică. Se deplasează păpușa mobilă transversal cu valoarea a corespunzătoare unghiului la vârful conului 2α .

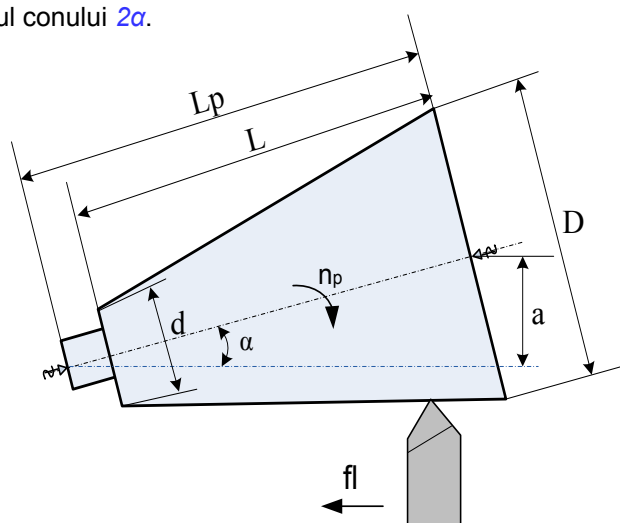


Fig. 6.23. Strunjire conică cu deplasarea transversală a păpușii mobile [GYE 91]

Se recomandă pentru conicități mici, pentru că valori ale cotei "a" peste o anumită limită, înrăutățesc condițiile de așchiere. Pentru o fixare și bazare cât mai bună, se recomandă utilizarea unor găuri de centrare tip R.

$$a = L_p \cdot \sin \alpha, \quad \operatorname{tg} \alpha = (D-d)/2 \cdot L \quad \Rightarrow \quad a = L_p \cdot \cos \alpha \cdot (D-d)/2 \cdot L$$

$$(D-d)/L = k \text{ (conicitatea)}$$

$$\Rightarrow \quad a = L_p/2 \cdot k \cdot \cos \alpha$$

unde: L_p – lungimea piesei între vârfuri,

k – conicitatea,

α – semiunghiul la vârf al suprafeței conice.

Procedeul are **avantajul** că se pot prelucra suprafețe conice de lungimi mari a căror precizie depinde de precizia cu care se reușește reglarea cotei a . **Dezavantajul** constă în faptul că nu pot fi prelucrate din aceeași prindere atât porțiuni cilindrice cât și conice ale aceluiași arbore și pe de altă parte, la conicități mari, se înrăutățesc condițiile de așchiere din cauza sistemului de prindere folosit.

- **Prelucrare prin rotirea saniei portcuțit** (Fig. 6.24). Procedeeul se folosește pentru prelucrarea **pieselor scurte** și **conicitate mare** cu lungimi ale **generatoarei** de până la **300 mm**. Conicitatea rezultă prin înclinarea suportului portsculă cu semiunghiul la vârf al suprafeței conice.

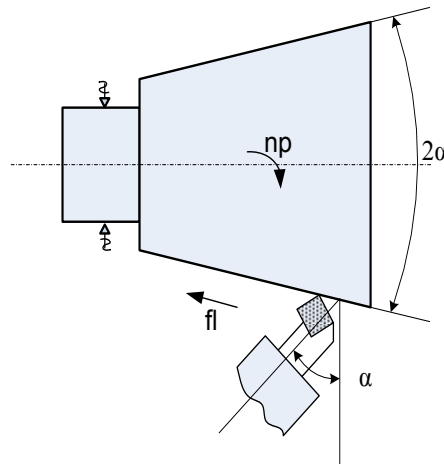


Fig. 6.24. Strunjire conică cu înclinarea suportului portsculă [GYE 91]

Precizia conicității depinde de precizia cu care se poate regla **unghiul α** . Lungimea generatoarei are valori de până la 300 mm deoarece lungimea cursei saniei nu poate depăși această valoare. Avansul longitudinal **f_l** se realizează manual, motiv pentru care **calitatea suprafeței** și **productivitatea** prelucrării sunt scăzute.

- **Prelucrarea suprafețelor conice utilizând rigle sau piese etalon.** Procedeeul este tot mai puțin utilizat. Necesită un **șablon** sau o **piesă etalon** care să materializeze **generatoarea suprafeței conice**. Profilul șablonului sau al piesei etalon este urmărit de un **palpator** care transmite mișcarea suplimentară suportului portsculă, rezultând, în final, o piesă cu conicitate identică cu a șablonului sau a piesei etalon. Copierea poate fi realizată mecanic sau hidraulic.

Avantajul constă în faptul că din aceeași prindere a semifabricatului pot fi prelucrate atât suprafețe conice cât și cilindrice.

- **Prelucrarea prin copiere cu cuțite late** (Fig. 6.25). Este specifică prelucrării porțiunilor conice scurte cu adâncimi mici de prelucrare, în cazul pieselor fabricate în producția de serie.

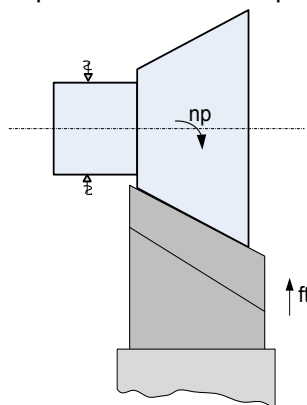


Fig. 6.25. Strunjire conică cu cuțite late [GYE 91]

La această metodă **generatoarea suprafeței conice** este materializată de **muchia așchietoare a sculei**. Pentru reducerea forțelor de așchiere și a secțiunii așchiei, metoda se recomandă pentru prelucrarea porțiunilor conice scurte.

$A = l_p \cdot f_t$ - la valori mari ale l_p , f_t are valori mici => productivitate redusă

- la valori mici ale l_p , f_t are valori mari => productivitate mare

2. Prelucrarea suprafețelor conice pe strunguri carusel

Prelucrarea suprafețelor conice pe piese de dimensiuni mari și foarte mari se realizează pe **strunguri carusel** (Fig. 6.26). Asemenea conicități mari pe porțiuni scurte ale unor piese de dimensiuni mari și foarte mari, se prelucrează prin înclinarea suportului port-sculă la unghiuri $\alpha \leq 45^\circ$.

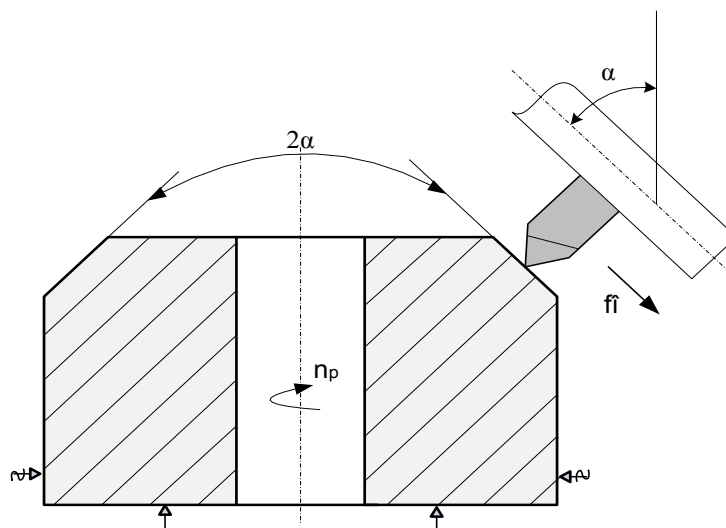


Fig. 6.26. Strunjire conică pe strunguri carusel [GYE 91]

➤ Tehnologii de finisare a suprafețelor conice

Tehnologiile de finisare a suprafețelor conice se realizează prin aceleași procedee ca și în cazul celor cilindrice (strunjire, rectificare).

- **Pe mașini de rectificat rotund exterior** (Fig. 6.27). Piesa se prinde între vârfuri și se rotește masa port-piesă cu un unghi egal cu jumătatea conicității. Se utilizează metoda cu avans longitudinal. Se pot rectifica conicități până la 20° .

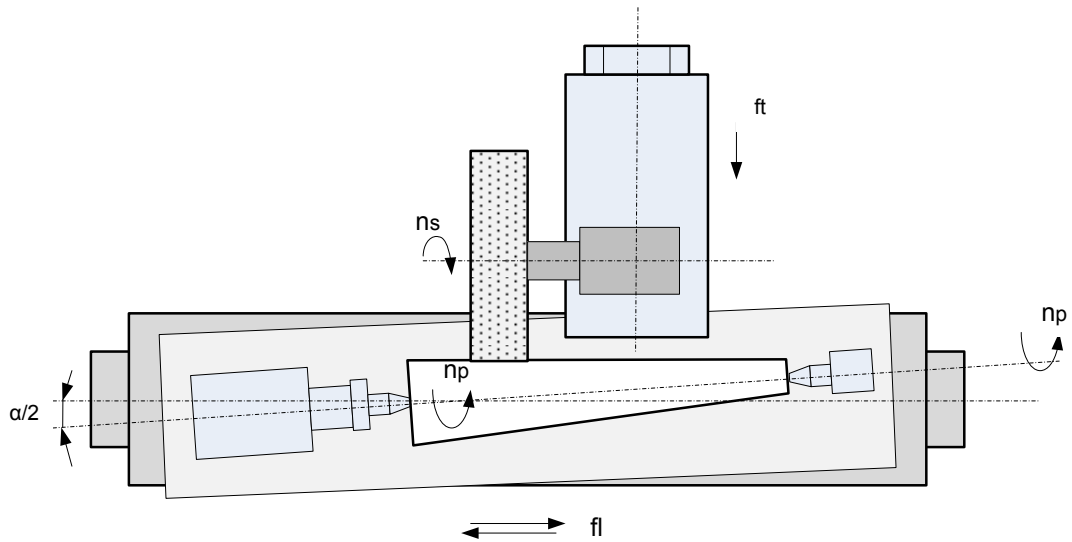


Fig. 6.27. Rectificare cu rotirea mesei port-piesă [GYE 91]

- **Pe mașinile de rectificat universal** (Fig. 6.28). Aceste mașini oferă posibilitatea rotirii atât a mesei port-piesă cât și a suportului port-sculă, ceea ce face posibilă rectificarea suprafețelor conice cu conicitate mare.

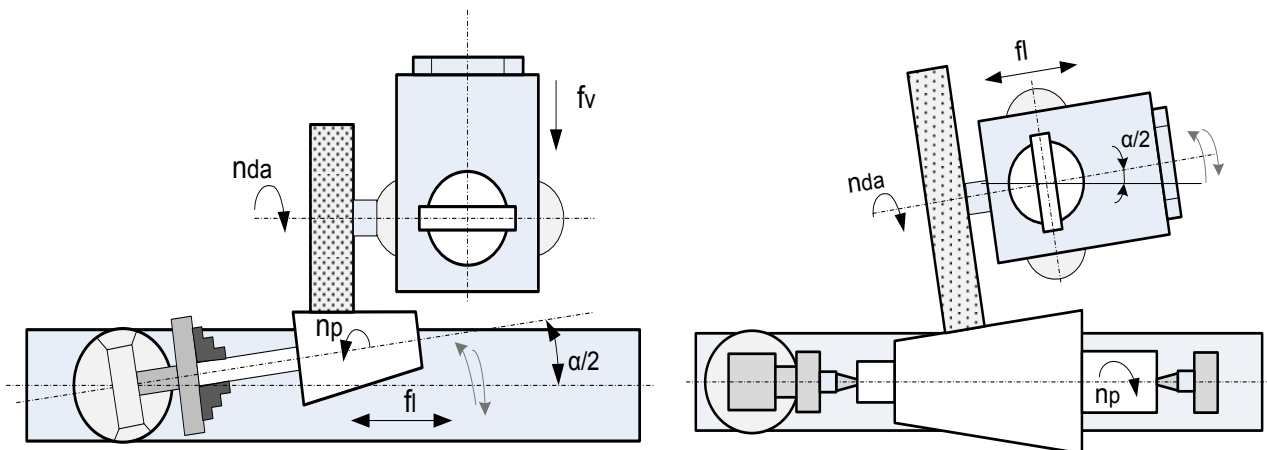


Fig. 6.28. Rectificare cu rotirea mesei port-piesă sau rotirea suportului port-sculă [GYE 91]

- **Pe mașinile de rectificat fără vârfuri** (Fig. 6.29), suprafețele conice scurte se rectifică numai cu avans transversal.

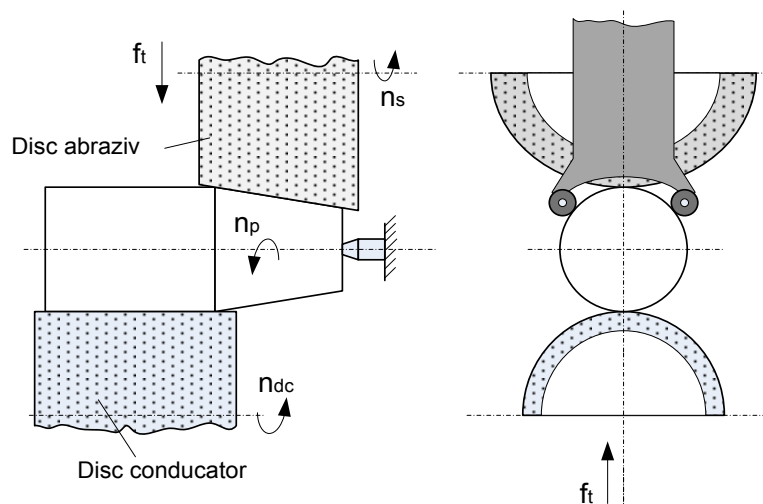


Fig. 6.29. Rectificarea fără vârfuri a suprafețelor conice [GYE 91]

6.2. Tehnologii de prelucrare a suprafețelor cilindrice interioare

Suprafețele cilindrice interioare sunt **suprafețe conjugate ale arborilor**, având o largă răspândire în construcția de mașini.

Din punct de vedere **funcțional** suprafețele cilindrice interioare pot fi clasificate astfel:

- Suprafețele cilindrice interioare interioare cu **precizie scăzută** (IT12 – IT16) se numesc **găuri** (de exemplu: găuri de trecere, găuri pentru reducerea maselor rezultă din turnare, matrițare, așchiere).
- Suprafețele cilindrice interioare, care realizează **ajustaje** în procesele de asamblare se numesc **alezaje**, fiind caracterizate prin: precizie dimensională $< IT10$ și calitate a suprafețelor $R_a \leq 3,2 \mu\text{m}$, cerințe de precizie în ceea ce privește poziția și forma geometrică.

Din punct de vedere **tehnologic** suprafețele cilindrice interioare **se prelucrează mai dificil** decât cele exterioare din cauza rigidității mai scăzute ale sculelor, a dificultății mai mari în evacuarea așchiilor, a pătrunderii mai dificile a lichidelor de așchiere în zona muchiei așchietoare, a imposibilității supravegherii procesului de așchiere. Din acest motiv arborii au precizie mai mare decât alezajele.

Din punct de vedere al **raportului l/d** suprafețele cilindrice interioare se clasifică în:

- alezaje scurte ($l/d < 0,5$)
- alezaje normale ($0,5 < l/d < 3$)
- alezaje lungi ($3 < l/d < 10$)
- alezaje adânci ($l/d > 10$).

6.2.1. Tehnologiile de degroșare a suprafețelor cilindrice interioare

Degroșarea se poate realiza prin **burghiere** (cu sau fără conducerea sculei), **preciziile** obținute încadrându-se în clasele **IT10 – IT13**, iar **rugozitatea** (**12,5 - 50**) μm . Se mai poate realiza prin **lărgire** efectuată cu **burghiul** (IT10 – IT8) sau **adâncitorul** (IT10 – IT9) obținându-se o rugozitate de (**6,3 – 1,2**) μm . O altă posibilitate constă în **strunjirea de degroșare** suprafețelor cilindrice interioare, realizată pe **strunguri** (paralele sau carusel) sau **pe mașini de alezat și frezat orizontal**.

➤ Burghiarea alezajelor.

Este principala metodă de degroșare și singura metodă de prelucrare din plin a alezajelor. Poate fi realizată în două variante (Fig. 6.30):

- Mișcarea principală este executată de burghiu,
- Mișcarea principală de așchiere este executată de piesă.

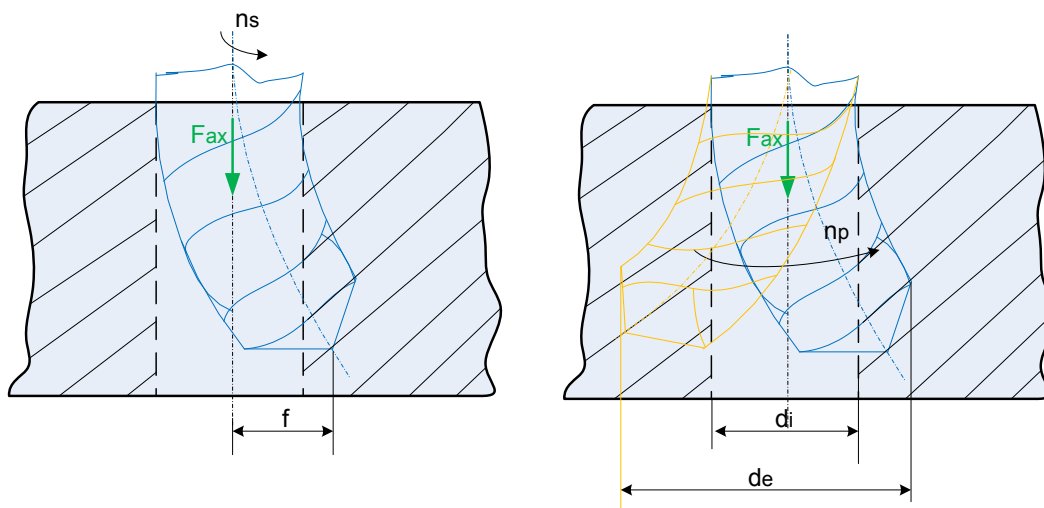


Fig. 6.30. Burghiarea în plin (cu rotirea sculei – stânga; cu rotirea semifabricatului - dreapta) [GYE 91]

Mișcarea principală de așchiere este executată de burghiu, situație specifică în cazul prelucrărilor pe mașini de găurit. La prelucrările executate pe strung mișcarea principală de așchiere este executată de piesă.

În ambele cazuri datorită **rigidității scăzute a burghiului** și **solicitărilor axiale** ale acestuia cu o forță de avans $F_{ax} > F_{asch}$ (componenta axială) se produce o flambare a burghiului ce afectează precizia prelucrării (precizia de poziție a alezajului) rezultând un alezaj cu eroare de poziție (f) între axa teoretică și cea reală, în funcție de lungimea alezajului prelucrat și de forța axială.

În cazul în care mișcarea de rotație este executată de piesă, apare o centrare a burghiului și rezultă o creștere a diametrului alezajului de la diametrul inițial (d_i) la diametrul final (d_f). Se constată o abatere de formă și mai puțin o abatere de poziție. Aceste abateri se vor corecta la finisare, dar se dorește ca mărimea lor să fie cât mai mică.

Acest lucru se obține prin: alegerea corespunzătoare a parametrilor tehnologici (care dau F_{ax} corespunzătoare din punct de vedere al rigidității burghiului), folosirea pentru burghiere a unor reazeme suplimentare care să reducă lungimea consolei, cel puțin în prima parte a prelucrării. Reducerea deformațiilor burghiului se face cu ajutorul unei bucușe de ghidare, plasată la câțiva milimetri deasupra suprafeței de prelucrat. Ajustajul realizat de bucușă și burghiu este un ajustaj cu alunecare și se constituie într-un reazem suplimentar cu efect imediat asupra mărimii deformației burghiului, la o aceeași valoare a forței axiale.

O astfel de soluție îmbunătățește erorile de formă geometrică și de poziție a alezajului cu cel puțin o clasă de precizie, dar introduce un element nou – **bucușa de ghidare** – care din punct de vedere tehnologic trebuie să fie precisă, să aibă rezistență la uzură, care se obține prin tratamente termochimice.

➤ Lărgirea alezajelor

Lărgirea (Fig. 6.31) se utilizează pentru mărirea unui diametru de la un **diametru inițial (d_i)** la **diametrul final (d_f)** sau ca operație de **prelucrare în trepte** a unui alezaj sau **prelucrarea conică** a unei porțiuni a alezajului. Lărgirea alezajului intră în discuție pentru alezaje cu diametre **$d > 40$ mm**, acolo unde se impune o prelucrare în prealabil, cu un burghiu de diametru mai mic (1/2, 2/3 din diametrul final) și apoi lărgirea alezajului la dimensiunea finală, cu un burghiu de diametru corespunzător (lărgitor), în faza următoare.

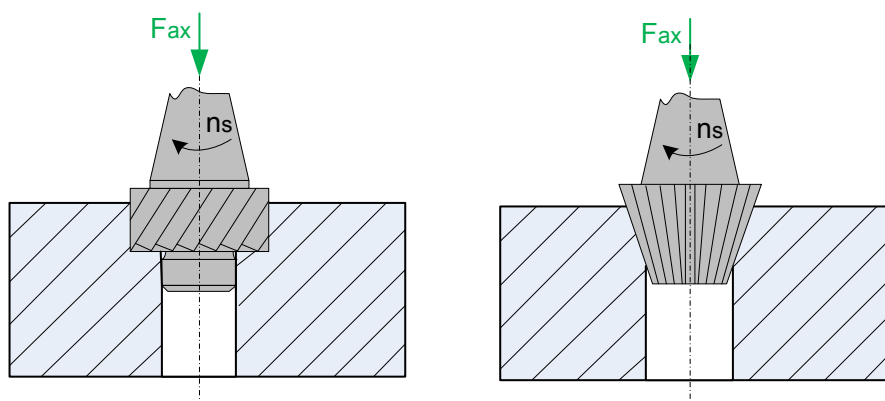


Fig. 6.31. Lărgirea cilindrică (srânga) / conică (dreapta) [GYE 91]

Lărgirea cu lărgitorul sau adâncitorul este mai precisă decât burghiul pentru că se realizează cu scule cu mai multe muchii așchietoare, mai rigide care vor asigura o productivitate mai mare.

➤ Prelucrarea prin strunjire a alezajelor (pe strunguri paralele sau strunguri carusel).

Strunjirea alezajelor se poate realiza în două variante:

- Fără sprijin suplimentar al sculei (pentru alezaje scurte $l/d < 5$),
- Cu sprijin suplimentar al sculei (pentru alezaje lungi).

- **Strunjirea alezajelor fără sprijin suplimentar al sculei** (Fig. 6.32). Datorită componentei radiale a forței de așchiere (F_z) și cedărilor elastice ale suportului portsculă, alezajul va avea o abatere de formă de la cilindricitate (rezultă o formă ușor conică), abatere dependentă de mărimea săgeții (f) ce va apare sub acțiunea F_z .

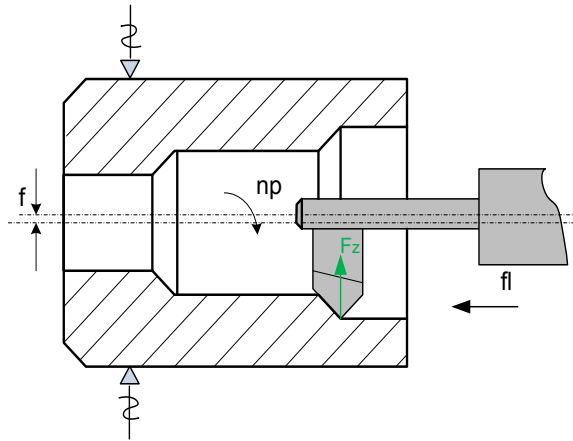
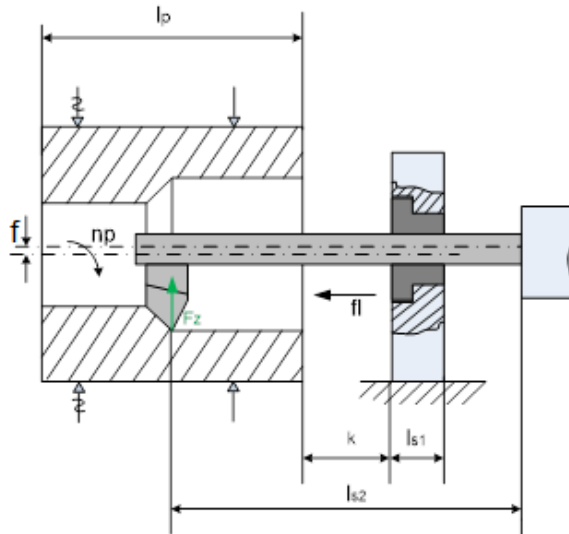


Fig. 6.32. Strunjirea alezajelor fără sprijin suplimentar al sculei [GYE 91]

- **Strunjirea alezajelor cu sprijin suplimentar al sculei** (Fig. 6.33). Când lungimea alezajelor este mai mare se utilizează un sprijin suplimentar plasat în imediata apropiere a piesei astfel încât, cel puțin în prima parte a prelucrării, deformațiile elastice ale suportului portsculă vor fi mai mici, iar precizia va fi mai mare.



Pe măsură ce prelucrarea avansează, lungimea în consolă a sculei crește, cedările elastice cresc, iar alezajul prelucrat va avea o abatere de la cilindricitate (în funcție de săgeata f).

Fig. 6.33. Strunjirea alezajelor cu sprijin suplimentar al sculei [GYE 91]

- **Strunjirea alezajelor scurte de diametre mari și foarte mari** (Fig. 6.34) se recomandă să fie prelucrate prin strunjire pe **strunguri carusel**. Piesa se fixează pe platoul strungului carusel, iar în suportul portsculă, una sau mai multe scule pentru prelucrarea mai multor suprafețe.

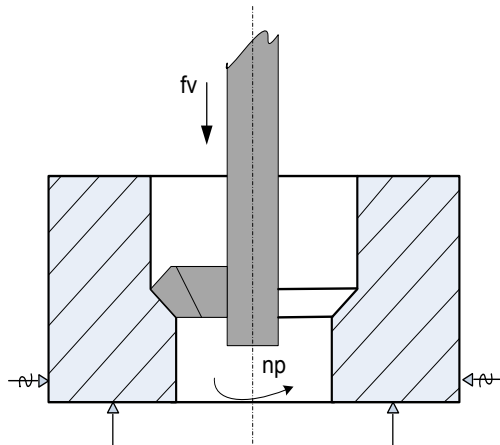


Fig. 6.34. Strunjirea alezajelor scurte, cu diametre mari [GYE 91]

Alezajele în piese de dimensiuni mari și foarte mari ce **nu pot fi antrenate** în mișcare de rotație se prelucrează pe **mașini de alezat și frezat orizontal**, la care semifabricatul este fixat pe masa mașinii și execută împreună cu aceasta un avans longitudinal f_l (Fig. 6.35). Operația se poate realiza în două variante:

- **Fără conducerea sculei** (pentru alezaje scurte),
- **Cu reazem suplimentar** (pentru alezaje lungi) pentru a reduce deformațiile și a îmbunătăți precizia de prelucrare. $l_s = 2 \cdot l_p$

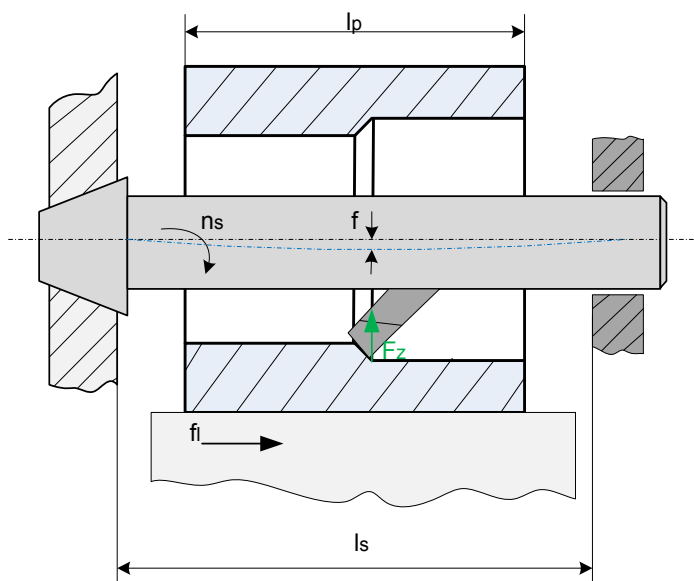


Fig. 4.35. Strunjirea alezajelor pe mașini de alezat și frezat orizontal [GYE 91]

Plasarea cuțitului se face la mijlocul suportului portsculă. Mișcarea principală a prelucrării este rotația barei de strunjit (n_s), avansul fiind realizat de masa mașinii împreună cu semifabricatul. Datorită cedărilor elastice ale barei de strunjit (bară încastrată simplu rezemată) apar abateri de formă (cilindricitate) proporționale cu valoarea săgeții, corespunzătoare unei anumite forțe.

6.2.2. Tehnologii de finisare a suprafețelor cilindrice interioare

Prin aceste tehnologii se urmărește îmbunătățirea preciziei dimensionale, a calității suprafețelor cilindrice interioare, a formei geometrice și a poziției alezajului (pentru compensarea erorilor rezultate la degroșare).

În raport cu starea stratului superficial se deosebesc **două categorii de procedee**:

- Specifice suprafețelor cu duritate **< 35 HRC**:
 - Strunjire interioară de finisare,
 - Adâncire de finisare,
 - Broșare interioară,
 - Alezare.
- Specifice suprafețelor cu duritate **> 35 HRC**: rectificare interioară.

➤ Tehnologii de finisare interioară specifice suprafețelor cu duritate < 35 HRC.

- **Strunjirea interioară de finisare (IT10 – IT8 R_a 3,2 – 6,3 μm)** (Fig. 6.36). Operația se realizează în condițiile în care mișcarea principală de așchiere (rotație cu turația n_s) este executată de sculă, prelucrarea putându-se efectua cu una sau mai multe scule fixate în același suport.

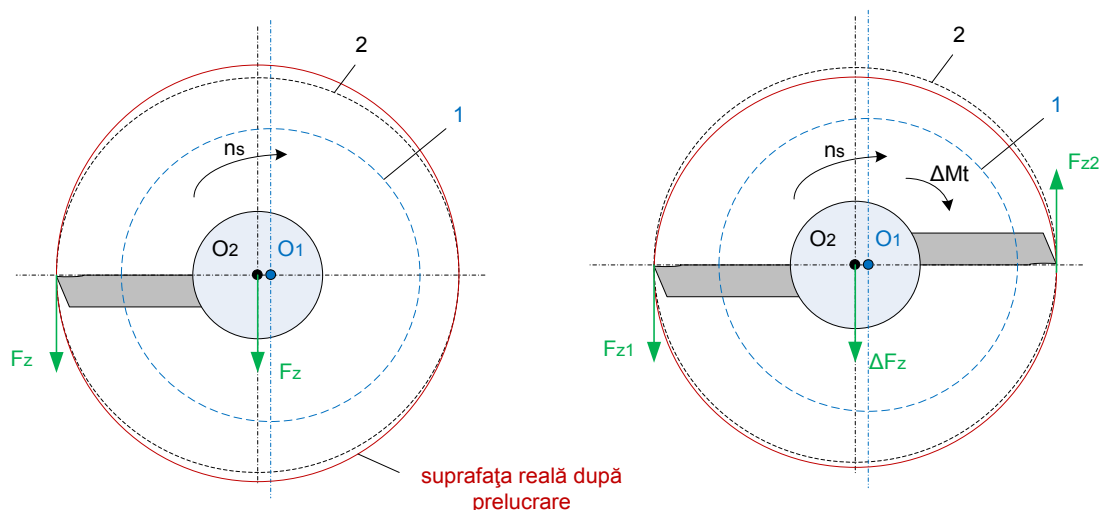


Fig. 6.36. Strunjirea interioară de finisare [GYE 91]

Alezajul (1) cu centrul în O_1 rezultă în urma degroșării. Finisarea se realizează la diametrul mai mare (2). Se urmărește și precizia de poziționare a alezajului mutând centrul alezajului din O_1 în O_2 . Prelucrarea se realizează cu unul sau mai multe cuțite fixate în același suport. Poziția centrului bazei de strunjire este în O_2 . În procesul de așchiere apare F_z care va fi variabilă pe timpul unei rotații complete pentru că adaosul de așchiere este variabil.

F_z determină apariția unui moment M_t . Sub acțiunea F_z și M_t centrul instantaneu de rotație se mută pe curba Γ în punctele O_2', O_2'' . Locul geometric al acestor puncte va fi un cerc cu centrul în punctul O , deplasat față de O_2 cu valoarea e .

Suprafața rezultată nu va fi (2), ci o suprafață deplasată cu excentricitatea e . Precizia de poziție a alezajului se îmbunătățește proporțional cu rigiditatea suportului portsculă și invers proporțional cu eroarea de poziție inițială a alezajului rezultat la degroșare.

Când în același suport se plasează două cuțite la 180° , similar, asupra suportului portsculă acționează o forță F_{z1} și o forță F_{z2} respectiv un moment resultant ΔM_t (diferența momentelor determinate de forțele 1 și 2). Rezultanta celor două forțe în centrul O_2 este $\Delta F_z = F_{z1} - F_{z2}$, având direcția și sensul forței mai mari în poziția respectivă.

Centrul de rotație se deplasează pe curba Γ' din O_2 în O_2' , în altă poziție în O_2'' , etc. Locul geometric va fi tot un cerc tangent la axa I-I (cu diametrul mai mic decât în cazul anterior). Deci poziția centrului său de rotație va fi mai apropiată de cea teoretică, mai exactă decât în exemplul anterior. Suprafața reală (3) se va apropia mai mult de cea teoretică.

La creșterea numărului de scule fixate în același suport, precizia de poziționare a alezajului se îmbunătățește. Numărul de scule este limitat la 2 maxim 4, din considerente constructive și de reglaj al poziției lor în aceeași bară de strunjit.

- **Adâncirea de finisare** (Fig. 6.37). Acest procedeu poate fi utilizat și ca operație de finisare folosind adâncitoare, scule rigide cu mai multe muchii așchietoare. Operația se realizează în două variante:
 - Fără cerințe de îmbunătățire a preciziei de poziție a alezajului;
 - Cu cerințe de îmbunătățire a preciziei de poziție a alezajului.

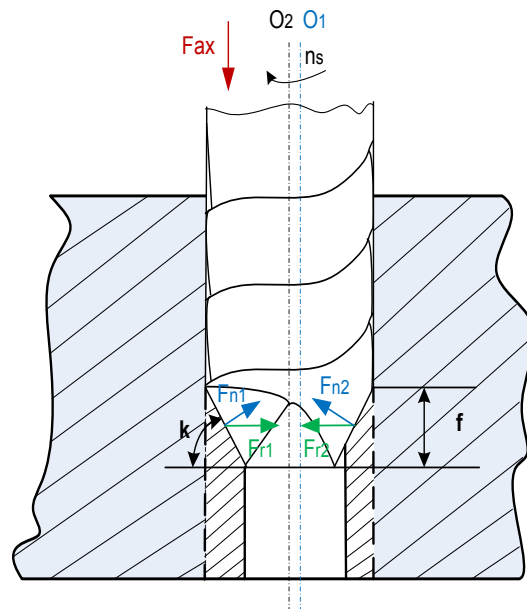


Fig. 6.37. Adâncirea de finisare [GYE 91]

Considerăm un alezaj cu axa O_1O_1 . Prin **lărgire** se urmărește îmbunătățirea preciziei de poziție, axa acestuia fiind adusă în poziția O_2O_2 . Se utilizează un adâncitor cu unghi de atac κ . Adaosurile de prelucrare pe muchiile diametral opuse vor fi diferite, forțele de așchiere rezultate fiind de asemenea diferite ($F_{N1} \neq F_{N2}$). Fiecare dintre aceste forțe se descompune într-o componentă radială și una axială (de asemenea diferite).

$$F_{R1} = F_{N1} \cdot \cos \kappa$$

$$F_{R2} = F_{N2} \cdot \cos \kappa$$

$$\Rightarrow \Delta F_R = F_{R1} - F_{R2} = (F_{N1} - F_{N2}) \cdot \cos \kappa$$

ΔF_R are sensul și direcția forței mai mari și determină deplasarea adâncitorului spre dreapta până la egalarea forțelor când O_1O_1 devine O_2O_2 . Prelucrarea se face cu autocentrare (prin construcția sculei), ceea ce înseamnă că nu se poate îmbunătăți precizia de poziționare astfel. Soluția tehnologică este anularea ΔF_R prin $\kappa = 90^\circ$.

- **Broșarea suprafețelor interioare** (Fig. 6.38). Operația este specifică producției de serie. Când nu se solicită îmbunătățirea preciziei pozitionale a alezajului precizia este **IT8 - IT9**, iar rugozitatea poate ajunge la **(0,8 - 0,4) μm** . Adaosul de prelucrare este de regulă **(0,3 - 1,2) mm**. Adaosuri mai mari ar necesita broșe de dimensiuni mai mari decât cele normale pentru astfel de scule pentru diametre mici.

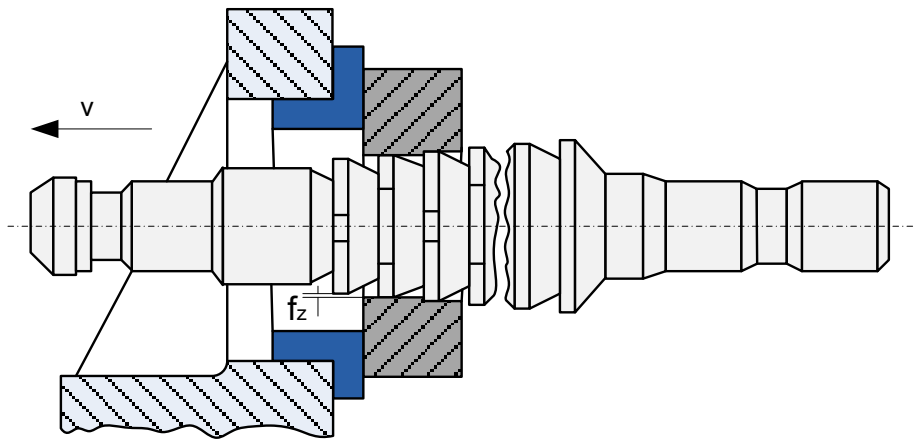


Fig. 6.38. Broșare interioară [GYE 91]

Operația de broșare este specifică alezajelor cu diametre cuprinse între **3 - 300 mm**. Din punct de vedere economic se recomandă prelucrarea prin broșare până la diametre de **80 mm**. Dacă $d < 3 \text{ mm}$ scade foarte mult rigiditatea broșei. Pentru diametre $d > 300 \text{ mm}$, forțele de broșare sunt foarte mari. Operația poate fi realizată folosind broșe din oțel rapid sau oțel de scule (monobloc) sau broșe cu dinți aplicați din carburi metalice.

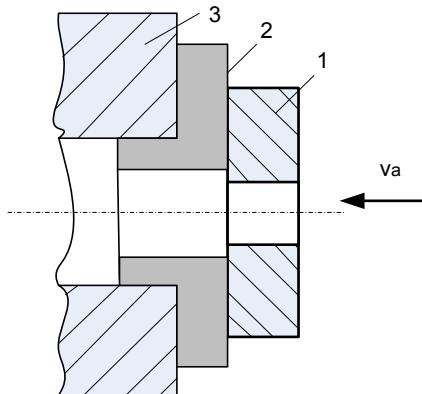


Fig. 6.39. Broșare liberă [GYE 91]

În funcție de erorile inițiale ale alezajului după operația de degroșare deosebim două variante ale broșării: **broșare liberă** și **broșare coordonată**.

- **Broșare liberă** (Fig. 6.39). Se utilizează în varianta în care **abaterea de la perpendicularitate** a axei alezajului pe suprafața plană folosită ca bază de așezare în timpul broșării **este mai mică de 1°** . Piesa (1) se sprijină pe flanșa (2) din corpul mașinii de broșat (3). Poziția piesei rămâne rigidă tot timpul prelucrării.

- **Broșare coordonată** (Fig. 6.40). Se utilizează când abaterea de la perpendicularitate este **mai mare de 1°** . Piesa (1) este sprijinită pe elementul intermediar (2') ce are posibilitatea de autoreglare în raport flanșa (2) în funcție de mărimea abaterilor. Dacă piese cu abateri de la perpendicularitate **$> 1^\circ$** s-ar prelucra prin metoda broșării libere din cauza neuniformității adaosul de prelucrare pe muchiile așchietoare ar duce la uzura și chiar ruperea acestora.

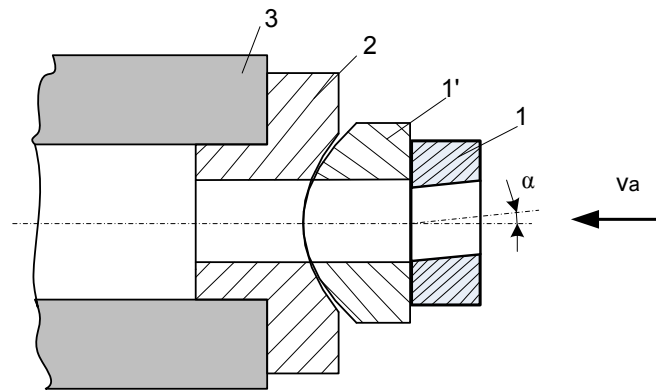
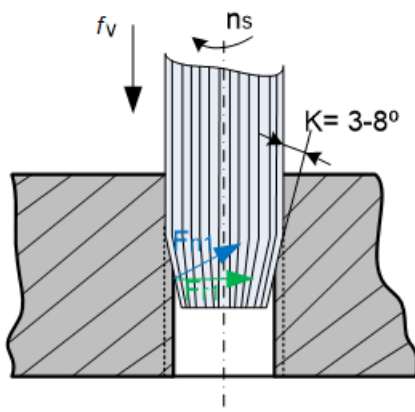


Fig. 6.40. Broșare coordonată [GYE 91]

Prin broșare datorită specificului sucei și procedurii nu se îmbunătățește precizia de poziție ci numai dimensională și de calitate a suprafețelor.



- **Alezarea cu alezorul** (Fig. 6.41). Este principala metodă de finisare a alezajelor cu diametre **mai mici de 50 mm**, în varianta în care nu se solicită o îmbunătățire a preciziei de poziție, iar duritatea materialului piesei este mai mică de 35 HRC. Se asigură precizii **IT7 – IT8**, rugozitate de **(0,8 – 1,6) μm** . Adaosul de prelucrare la alezare este mic, având valori cuprinse între **0,1 – 0,5 mm**.

Fig. 6.41. Alezarea [GYE 91]

Prin alezare nu se poate îmbunătăți precizia de poziție, pentru că cea mai mare parte a forței normale pe o muchie ar trebui să fie componenta radială cu consecințe asupra autocentrării. Fixarea alezorului în portsculă este elastică pentru a permite autocentrarea.

- **Frezarea cu bară de alezat** (Fig. 6.42). Bara de alezat se utilizează pentru finisarea diametrelor cuprinse între **25-200 mm** în mod uzual dar pot ajunge și la dimensiuni mult mai mari. Bara de alezat realizează corectarea preciziei de poziție relativă a alezajului și de formă în funcție de adaosul de prelucrare existent.

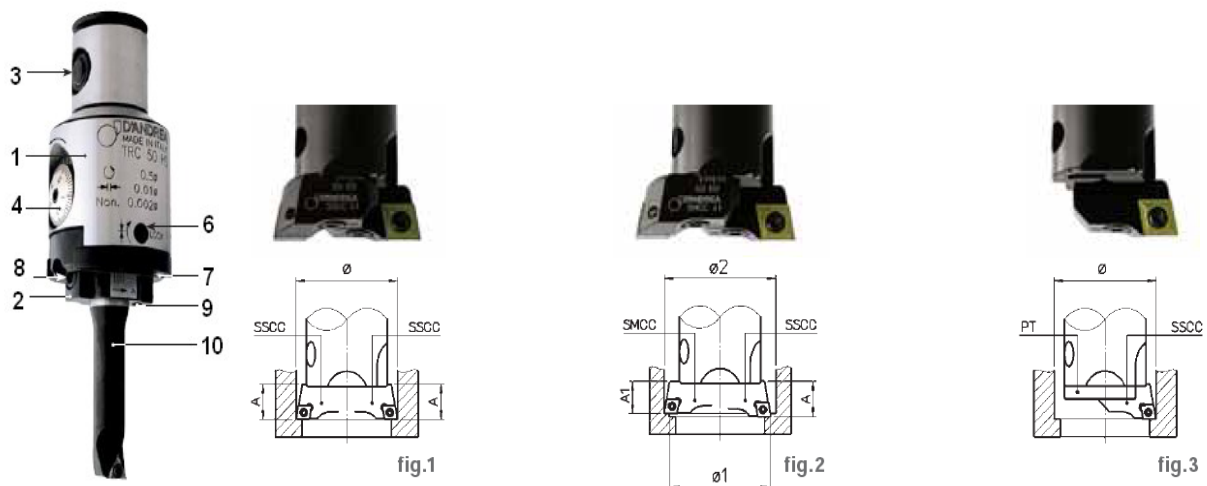


Fig. 6.42. Frezarea cu bară de alezat [www san]

- **Frezarea de finisare** (Fig. 6.43). Sunt utilizate freze de finisare din carburi metalice sau freze cu plăcuțe amovibile. Productivitatea procedurii este foarte bună. Finisarea se face pe toată suprafața alezajului.

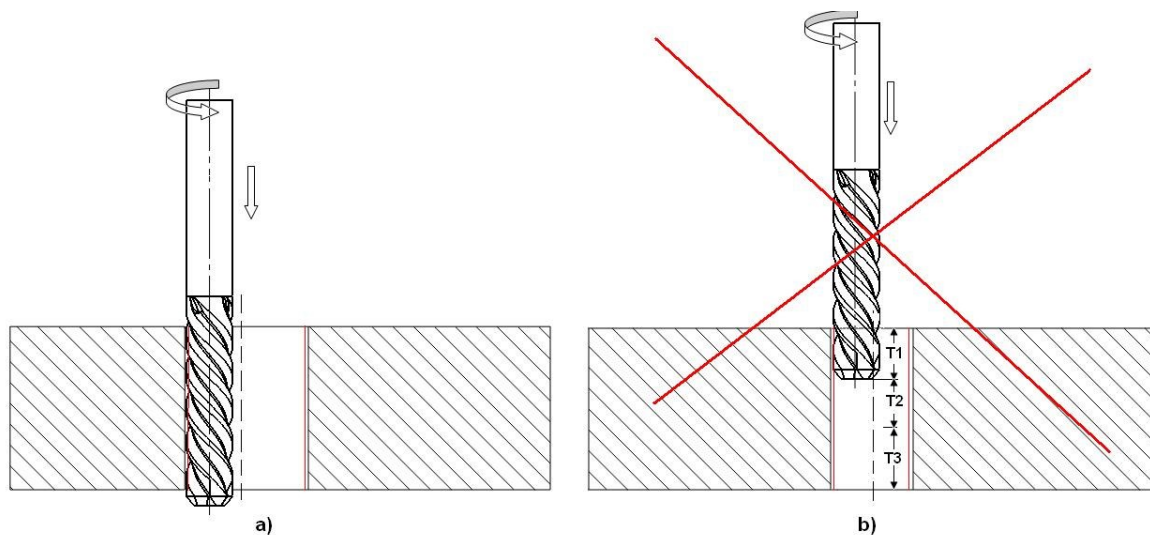


Fig. 6.43. Frezarea de finisare

➤ **Tehnologii de finisare interioară specifice suprafețelor cu duritate > 35 HRC.**

Finisarea suprafețelor interioare cu duritate > 35 HRC se face prin rectificare. Precizia dimensională este similară cu cea obținută prin alezare IT7 – IT8 și rugozitate (0,4 – 1,6) μm . În raport cu dimensiunea alezajului, forma sa și în raport cu forma și dimensiunile piesei în care este realizat alezajul există patru variante ale rectificării cilindrice interioare:

1. Rectificarea cilindrică cu avans longitudinal din mai multe treceri,
2. Rectificare cilindrică cu avans transversal,
3. Rectificare cilindrică interioară planetară,
4. Rectificare cilindrică interioară fără centre.

Spre deosebire de rectificarea exterioară, în acest caz forma și dimensiunile discului abraziv se aleg **în corelație** cu forma și dimensiunile alezajului. Diametrul discului abraziv va fi **0,7 – 0,9** din diametrul alezajului. Procesul de rectificarea interioară se diferențiază față de cel de rectificarea exterioară prin: suprafața de contact mai mare (deci forțele de așchiere mai mari), uzura discului abraziv este mai mare, rigiditatea sculei este mai mică (deci productivitatea mai mică), dificultățile de prelucrare sunt mai mari.

1. Rectificarea cilindrică cu avans longitudinal din mai multe treceri (Fig. 6.44).

Procedeul este specific rectificării alezajelor cu adaosuri de prelucrare mai mari. Diametrul sculei $d_s = (0,7 - 0,8) \cdot d_p$. În general piesa se fixează în universalul mașinii de rectificat, centrată, după care cu scula abrazivă, care execută un număr de curse duble/min în lungul generatoarei alezajului, aceasta este prelucrată.

La fiecare capăt de cursă dublă scula execută un avans transversal f_t (mm/cd), cu valori de ordinul micrometrilor, până când întregul adaos de prelucrare este înlăturat. Ultimele curse duble sunt de descânteiere (fără f_t). Lungimea se va regla astfel încât depășirile la capăt de cursă să fie aproximativ 1/3 din lungimea corpului abraziv, pentru a evita o sursă de vibrații – vibrațiile de relaxare la intrarea și ieșirea corpului abraziv din material).

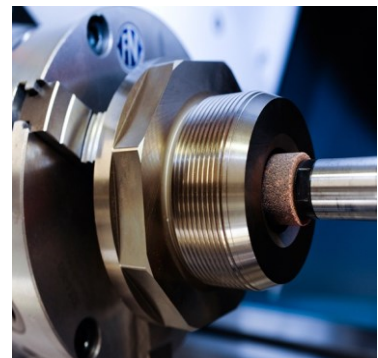
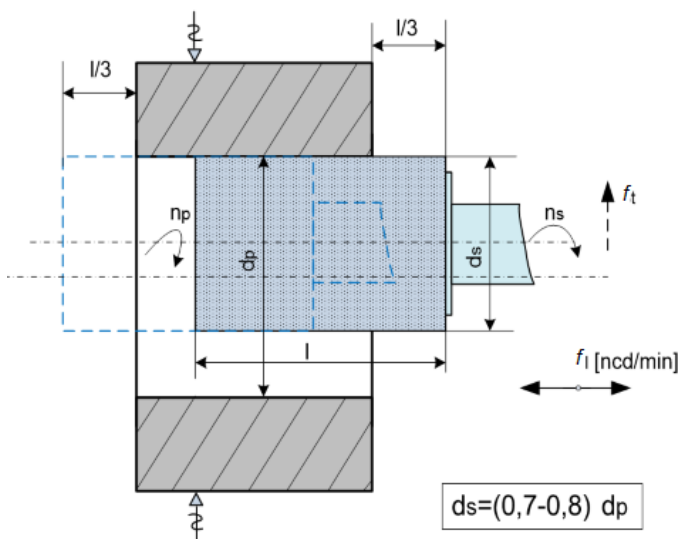


Fig. 6.44. Rectificarea cilindrică cu avans longitudinal din mai multe treceri [GYE 91]

2. Rectificarea cilindrică interioară cu avans transversal (Fig. 6.45).

Procedeul este recomandat pentru prelucrarea suprafețelor cilindrice interioare **scurte** (profilate), atunci când acestea pot fi copiate de un disc abraziv a cărui formă și dimensiune sunt condiționate de suprafața ce urmează să fie prelucrată. Piesa se fixează în universal, iar scula se poziționează în raport cu semifabricatul (f_{poz}). Se cuplează avansul transversal f_t (mm/rot.piesă), care are valori de câțiva micrometri, până la înlăturarea întregului adaos de prelucrare. Ultimele rotații ale piesei se realizează fără avans transversal.

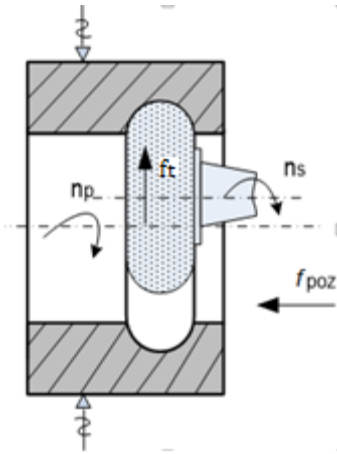
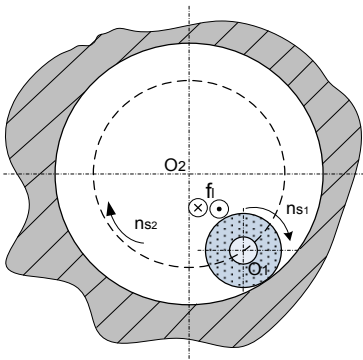


Fig. 6.45. Rectificarea cilindrică interioară cu avans transversal [GYE 91]

3. Rectificare cilindrică interioară planetară (Fig.6.46).



Procedeeul se aplică la rectificarea alezajelor în **piese mari și foarte mari** care nu pot fi antrenate în mișcare de rotație. Toate mișcările necesare alezajului sunt executate de **corpul abraziv**: rotația cu turația n_{s2} în jurul O_2 (se asigură astfel viteza principal de așchiere), rotația cu turația n_{s1} în jurul O_1 (mișcare de avans circular), deplasarea cu avans longitudinal f_l (n_{cd}/min) pentru rectificarea alezajului pe întreaga lungime.

Fig. 6.46. Rectificarea cilindrică interioară planetară [GYE 91]

4. Rectificare cilindrică interioară fără centre (Fig. 6.47).

Prin acest procedeu se rectifică piese tip inele de rulmenți sau segmente. Suprafața interioară a piesei (1) este prelucrată de un disc abraziv (2) ce execută mișcarea principală de așchiere, în timp ce piesa este sprijinită și antrenată în mișcare de rotație cu un avans de rotație de discul conducător (3) și perechea de role (4).

Avantajul metodei constă în productivitatea mare, dar mai ales precizia de coaxialitate ridicată asigurată între suprafața exterioară folosită ca bază tehnologică și suprafața interioară ce se rectifică.

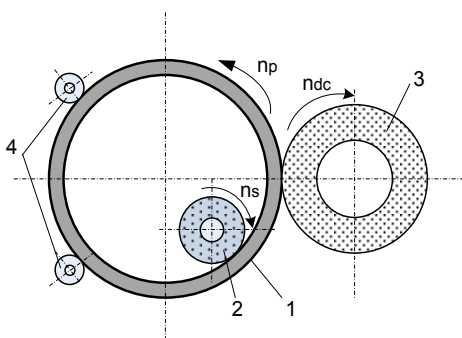


Fig. 6.47. Rectificare cilindrică interioară fără centre [GYE 91]

6.2.3. Tehnologii de suprafinisare a suprafețelor cilindrice interioare

Prin aceste tehnologii se urmărește îmbunătățirea preciziei **dimensionale** și a **calității suprafeței** în clase de precizie **< IT6** și rugozități **< 0,4 μm**. Aceste tehnologii **nu** îmbunătățesc precizia de poziție și formă geometrică, datorită faptului că adaosurile de prelucrare sunt foarte mici.

Principalele tehnologii de suprafinisare a suprafețelor cilindrice interioare sunt:

- Strunjirea fină (IT6 – IT7 $R_a = 0,4 - 0,2 \mu\text{m}$)
 - Honuirea interioară (IT6 – IT7 $R_a = 0,2 - 0,05 \mu\text{m}$)
 - Vibrohonuirea (IT6 – IT7 $R_a = 0,1 - 0,02 \mu\text{m}$)
 - Lepuirea interioară (IT4 – IT3 $R_a = 0,4 - 0,2 \mu\text{m}$)
 - Deformarea plastică (ecruisarea) (IT7 $R_a = 0,1 - 0,3 \mu\text{m}$)
- Strunjirea fină.

Procedeul este specific pentru suprafinisarea suprafețelor interioare, a lagărelor paliere din material antifricțiune a căror duritate **< 35 HRC**. Strunjirea se realizează cu scule cu vârf de diamant sau cu plăcuțe din carburi metalice, cu **avansuri mici** (**< 0,1 mm/rot**), **viteze de așchiere mari** (**> 120 m/min**). Se utilizează **lichide de așchiere** specifice fiecărui material, precum și **mașini-unelte** cu o **foarte bună rigiditate dinamică** (asigură stabilitate la vibrații).

- Honuirea interioară.

Honuirea (Fig. 6.48) este principala metodă de suprafinisare cămășilor motoarelor cu ardere internă. Adaosul de prelucrare are valori de **(0,02 – 0,1) mm** și se înlătură cu ajutorul unor **barete abrazive** fixate în suportji, rezultând o sculă numită **hon** (**cap de honuit**) (Fig. 6.50).

Honuirea alezajului (1) se realizează cu baretele abrazive (2) în număr de 4, 6, 8 care sunt fixate în patinele (3). Realizarea unei presiuni între aceste barete abrazive se obține prin deplasarea pe verticală a arborelui (4), care prin intermediul elementelor de legătură (5) creează o presiune diferențială în raport cu faza prelucrării: degroșare – (1 - 4 daN/cm²), finisare – (0,5 – 1,5 daN/cm²).

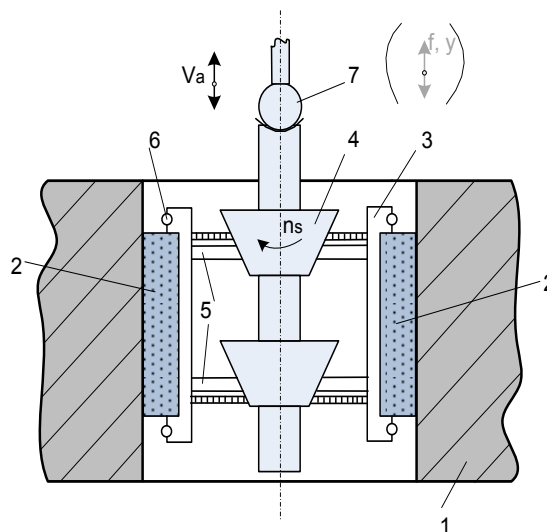


Fig. 6.48. Honuirea interioară [GYE 91]

Readucerea în poziția inițială a baretelor este realizată de o pereche de arcuri (6) plasate pe extremitatea honului pentru a permite autocentrarea în interiorul alezajului, fixarea acestuia în arborele principal al mașinii fiind o fixare elastică prin intermediul unei articulații sferice. Toate mișcările sunt executate de hon: **rotația** cu turația n_s și **avans axial** v_a (număr cd/min), ceea ce face ca fiecare particulă abrazivă să descrie pe suprafața de prelucrat o **elice** cu unghiul de pantă α . Acest unghi poate fi determinat sau influențat printr-un anumit raport al celor două viteze (v_a și v_T). Valoarea optimă $\alpha_{opt} = 45^\circ - 50^\circ$ la **degroșare** și $\alpha_{opt} = 16^\circ - 18^\circ$ la **finisare**. Prelucrarea se realizează în prezența lichidelor de așchiere (amestec de petrol și ulei mineral).

Baretele abrazive pot fi confecționate din:

- Electrocorindon pentru prelucrarea oțelurilor,
- Carbură de Si pentru prelucrarea fontelor,
- Pulberi de diamante depuse.

Un proces derivat din honuire, prin suprapunerea unei mișcări suplimentare, este **vibrohonuirea**. Așadar, peste cinematica cunoscută se suprapune o **mișcare vibratorie** în lungul generatoarei piesei, mișcare caracterizată prin **frecvența ridicată** și **amplitudine scăzută** și care poate fi executată de semifabricat sau de hon. Pentru simplificarea echipamentelor de prelucrare, această mișcare este executată de semifabricat prin fixarea acestuia pe un sistem vibrator **mecanic, hidraulic, electromagnetic**. Efectul imediat al acestei mișcări este îmbunătățirea calității suprafeței, iar productivitatea procedurii este ridicată.

La vibrohonuire traiectoria unei particule (Fig. 6.49) este o **sinusoidă înfășurată pe o elice**. Aceasta determină o textură a suprafețelor interioare mai uniformă, favorabilă unui proces de ungere printr-o rețineră mai bună a filmului de lubrifianț.

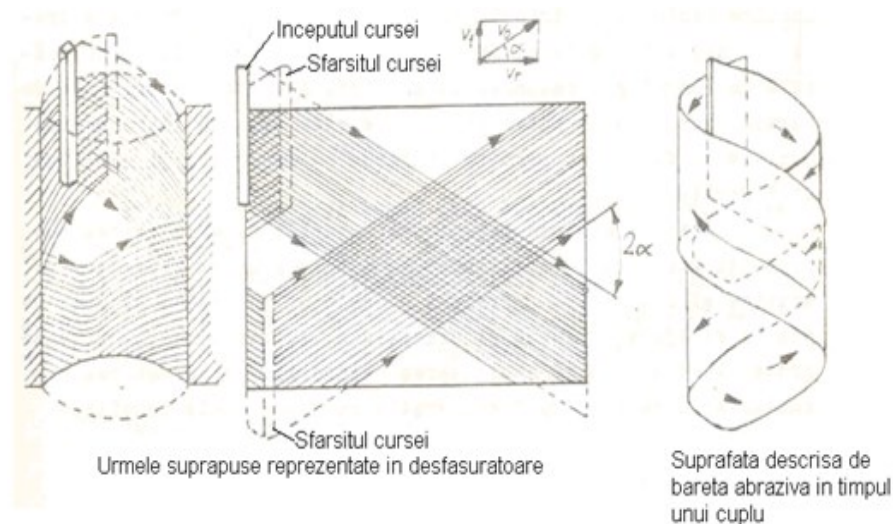


Fig. 6.49. Urme la honuire [GYE 91]

Mișcarea vibratorie favorizează procesul de **autoascuțire** a baretelor (desprinderea mai ușoară a particulelor abrazive din liant) și conduce la o **productivitate ridicată**. La ambele procedee, pentru ca o particulă să nu descrie la două treceri succesive aceeași traiectorie, este necesar ca raportul vitezelor tangențială și axială să fie diferit de un număr întreg ($v_T/v_a \neq n$).

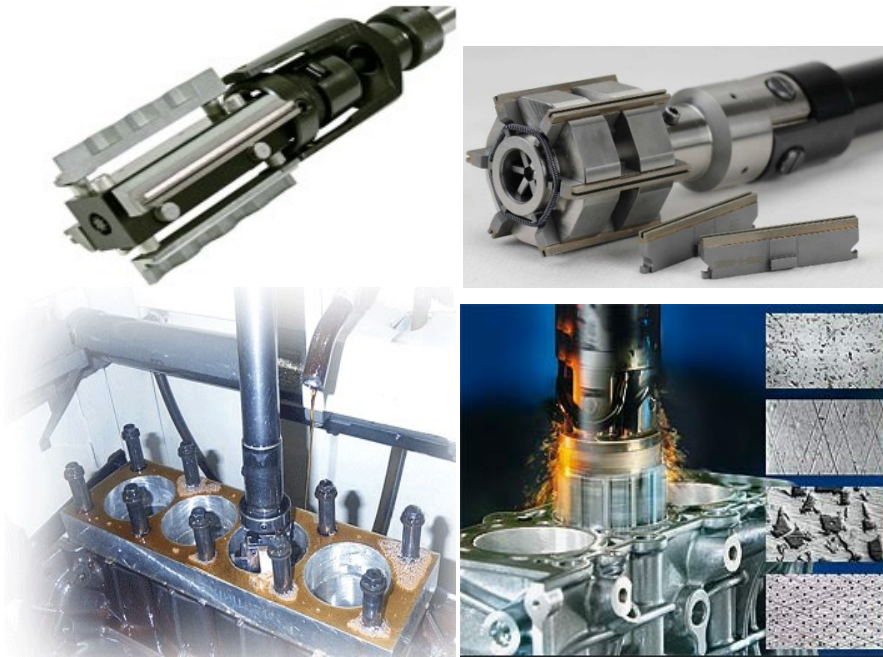


Fig. 4.50. Capete de honuit [www kha]

➤ **Lepuirea interioară.**

Lepuirea (Fig. 6.51) este un procedeu recomandat pentru suprafinisarea diametrelor $\leq 50 \text{ mm}$, unde preciziile dimensionale impuse sunt $<IT5$. Operația se realizează folosind o **pastă abrazivă** de granulație fină, ce se interpune între un **suport din fontă** și **suprafața de prelucrat**.

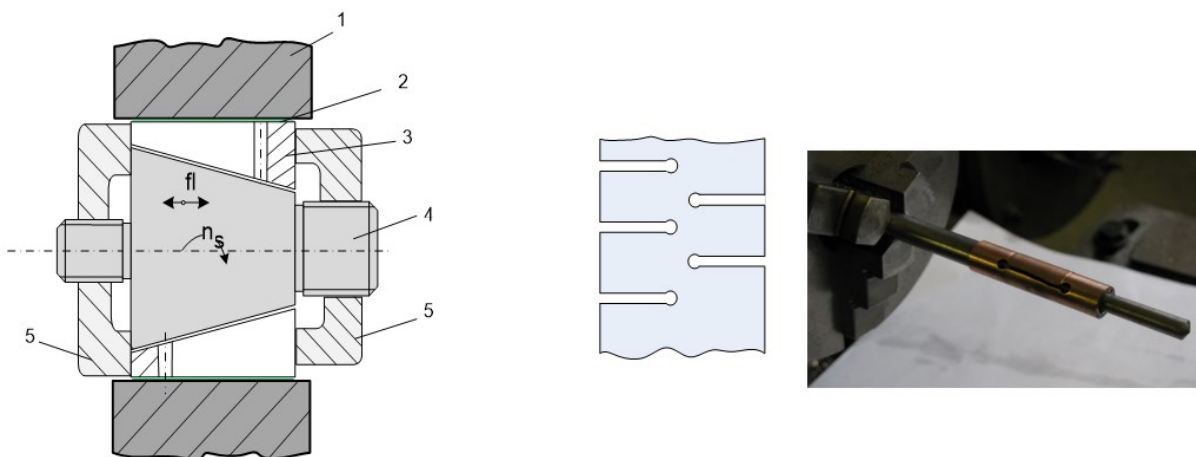


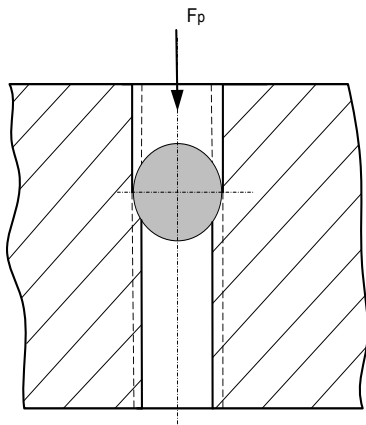
Fig. 6.51. Lepuirea interioară [GYE 91]

Lepuirea suprafeței (1) se face cu o pastă interpusă între suprafața de prelucrat și bușca elastică (2). Presiunea dintre bușcă și suprafața (1) se realizează prin **presarea** și **rotirea** pe arborele (3) a piulițelor (4). Piulițele vor presa bușca elastică și datorită elasticității acesteia se asigură o presiune de contact suficientă desfășurării procesului de lepuire.

Operația poate fi realizată **mecanic** sau **manual** și constă din rotirea acestui subsansamblu (bucșă – arbore - piulițe) cu o turație n_s , simultan cu deplasarea de-a lungul generatoarei cu un număr de curse duble.

Bucșa elastică are o formă de rezistență slăbită prin canale (degajări), care îi asigură elasticitatea. Precizia obținută prin lepuire este **IT4 – IT3**, iar calitatea suprafețelor prelucrate **< 0,1 μm**.

➤ **Deformarea plastică / Ecrisarea (Rularea interioară).**



Procedeul de **rulare** (Fig. 6.52) este specific prelucrării suprafețelor interioare cu duritate ≤ 35 HRC. Prelucrarea constă în deformarea vârfului neregularităților cu ajutorul unui set de bile cu diametru crescător, cu diferență de 0,02 mm între două diametre consecutive.

Duritatea bilelor utilizate este > 60 HRC, iar calitatea suprafețelor acestora este foarte bună. În locul bilelor se poate folosi un **dorn** (Fig. 6.53) de diametru corespunzător cu calitate maximă de **0,2 μm** și duritate $> 62 - 65$ HRC.

Fig. 6.52. Rularea interioară [GYE 91]

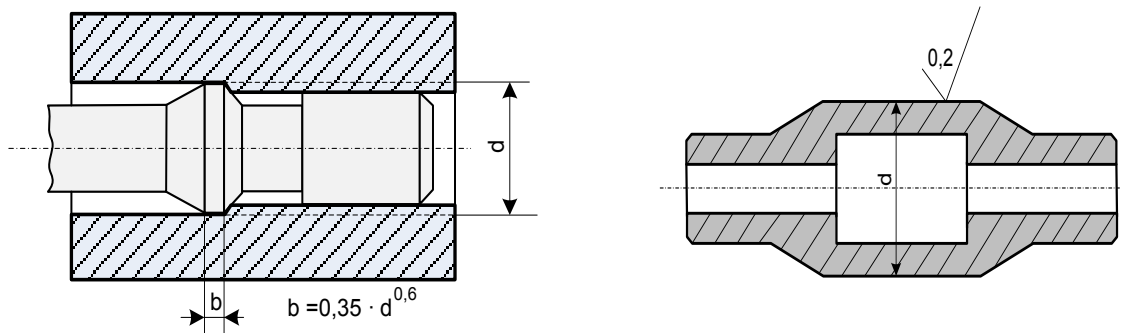


Fig. 6.53. Lepuire cu dorn (stânga), dorn (dreapta)

Rularea are un **dublu efect**:

- **Aplatizarea microneregularităților** suprafețelor interioare.
- **Ecrisarea stratului superficial**, care determină o durificare a acestuia la valori comparabile cu cele obținute în urma unor tratamente termice.

La **dimensionarea corpurilor de rulare** se are în vedere faptul că în spatele sculei există o serie de **cedări elastice**, astfel încât diametrul prelucrat va avea un **diametru mai mic** decât corpul de rulare.

6.3. Tehnologii de prelucrare a suprafețelor plane

Din punct de vedere funcțional **suprafețele plane** pot avea un rol de **așezare relativă** sau de **deplasare relativă**. Este importantă cunoașterea acestui lucru la proiectare pentru a ști dacă piesele asigură o bază de așezare (au o bună **planeitate**). Când suprafața are rol de **deplasare relativă**, interesează, în primul rând **calitatea** și abia apoi planeitatea sau o anumită formă geometrică.

6.3.1. Tehnologii de degroșare a suprafețelor plane

Prin aceste procedee se urmărește îndepărtarea unui adaos de prelucrare, care este în general mare din cauza tehnologiilor de obținere a semifabricatelor (**turnare, forjare, matrițare**).

Operațiile de degroșare se realizează prin unul din următoarele procedee:

- **Rabotare / Mortezare,**
- **Frezare,**
- **Broșare,**
- **Strunjire plană,**
- **Rabotarea suprafețelor plane.**

➤ **Rabotarea.**

Rabotarea este o operație simplă realizată cu utilaje, scule, dispozitive, verificatoare universale, dar este puțin productivă, deoarece prelucrarea se realizează cu **o singură muchie așchietoare** și pentru că jumătate din **cursa de lucru** se realizează **în gol**. Se recomandă pentru prelucrările de serie mică și individuală, acolo unde este necesară înlăturarea unor adaosuri de prelucrare mari.

În funcție de cinematica mișcării se deosebesc două procedee:

- **Rabotare longitudinală** – mișcarea de avans transversală este realizată de masa mașinii împreună cu piesa,
- **Rabotare transversală** – avansul transversal este executat de scula așchietoare.

Datorită faptului că **productivitatea** este **scăzută**, la degroșare se are în vedere îmbunătățirea acesteia. O modalitate ar fi echiparea mașinilor clasice de rabotat astfel încât să se poată **prelucra simultan cu mai multe scule**, realizându-se o **divizare a adaosului** de prelucrare. Alte soluții constau în utilizarea unor **mașini de rabotat portale** sau fixarea pe masa mașinii a mai **multor semifabricate** (dacă dimensiunile mesei permit), care să poată fi prelucrate la aceeași cursă de lucru.

Varianta de divizare a adaosului de prelucrare se alege în funcție de mărimea adaosului și de dimensiunea suprafeței de prelucrat. Divizarea adaosului de prelucrare se poate face pe **adâncime** sau pe **lățimea** suprafeței de prelucrat.

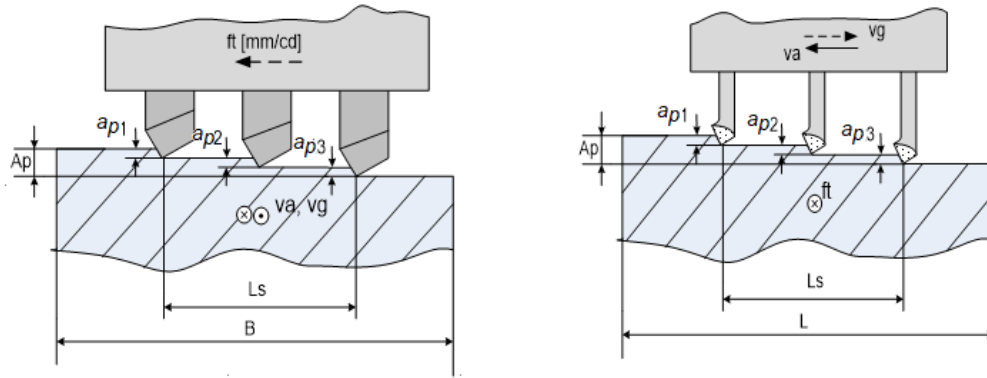


Fig. 6.54. Divizarea adaosului de prelucrare la rabotare pe adâncime [GYE 91]

În cazul divizării adaosului pe **adâncime** (pentru piese cu lățime mică și lungime mare), acesta este distribuit pe cele 3 scule fixate în același suport (Fig. 6.54). La o singură cursă dublă se formează 3 așchii, ceea ce înseamnă că la o singură trecere se poate îndepărta întreg adaosul de prelucrare. În ambele cazuri productivitatea crește proporțional cu numărul de scule.

Exemplu:

$$t_{b1} = \frac{2 \cdot L}{1000 \cdot v_m} \cdot \frac{B}{f_t} \cdot \frac{A_t}{a_{p_{\max}}}$$

$$t_{b2} = \frac{2 \cdot L}{1000 \cdot v_m} \cdot \frac{B + l_s}{f_t} \cdot 1$$

$$t_{b1} = \frac{2 \cdot L}{1000 \cdot v_m} \cdot \frac{B}{f_t} \cdot 3$$

$$t_{b1} = \frac{2 \cdot (L + l_s)}{1000 \cdot v_m} \cdot \frac{B}{f_t}$$

Când adaosul de prelucrare este mic se recomandă divizarea adaosului pe **lățime** între două scule, timpul de bază reducându-se la jumătate (Fig. 6.55). Productivitatea crește și în acest caz proporțional cu numărul de scule (timpul de bază scade cu $1/n$, n - numărul de scule utilizate).

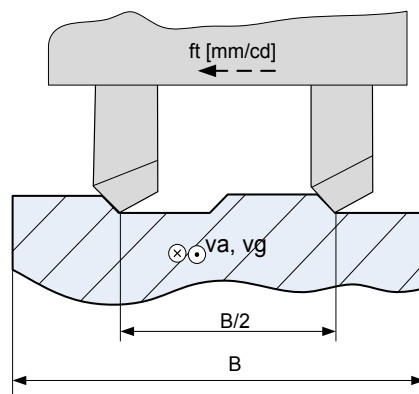


Fig. 6.55. Divizarea adaosului de prelucrare la rabotare pe lățime [GYE 91]

Piesele de dimensiuni mari și foarte mari se recomandă să fie prelucrate pe mașini portal, care au posibilitatea de a prelucra simultan mai multe suprafețe amplasate în plan orizontal, vertical sau înclinat cu tot atâtea scule (Fig. 6.56).

Sculele sunt fixate în suportți, care au posibilitatea să execute individual avans transversal (f_t) sau vertical (f_v), fapt ce conferă acestor mașini o productivitate ridicată. Un alt avantaj al prelucrării pe aceste mașini este asigurarea unei precizii de poziție relativă bună între suprafețele prelucrate din aceeași prindere la aceeași cursă de lucru.

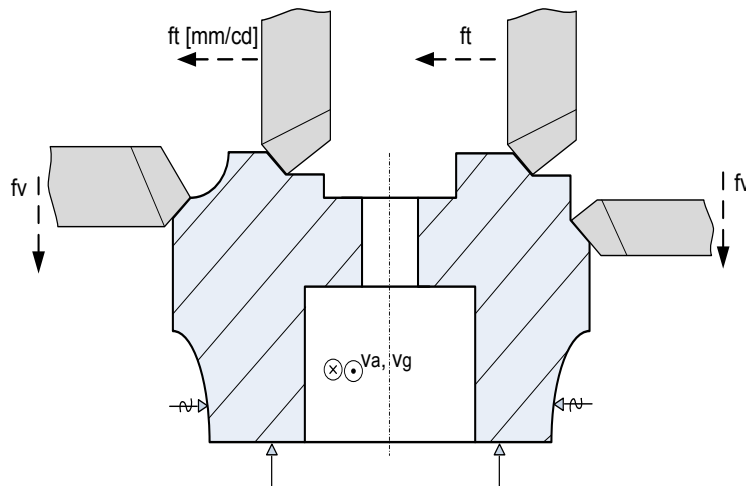


Fig. 6.56. Prelucrarea pe mașini de rabotat portal [GYE 91]

Datorită dimensiunilor mari ale meselor ($> 12\text{ m}$) există posibilitatea fixării pe masa mașinii a mai multor semifabricate, astfel încât la o singură cursă să fie prelucrate suprafețele mai multor piese, ceea ce conduce la creșterea productivității procesului de prelucrare.

➤ Frezarea suprafețelor plane.

Frezarea este principala metodă de degroșare a suprafețelor plane datorită productivității mari, rezultată prin eliminarea curselor în gol și prelucrării cu scule cu mai multe muchii așchietoare. Operația poate fi realizată cu freze cilindrice sau cu freze cilindro-frontale (Fig. 6.57).

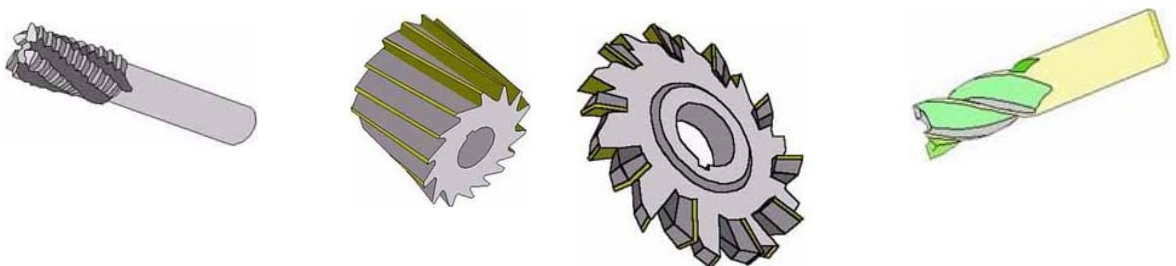


Fig. 6.57(a). Tipuri de freze [www san]

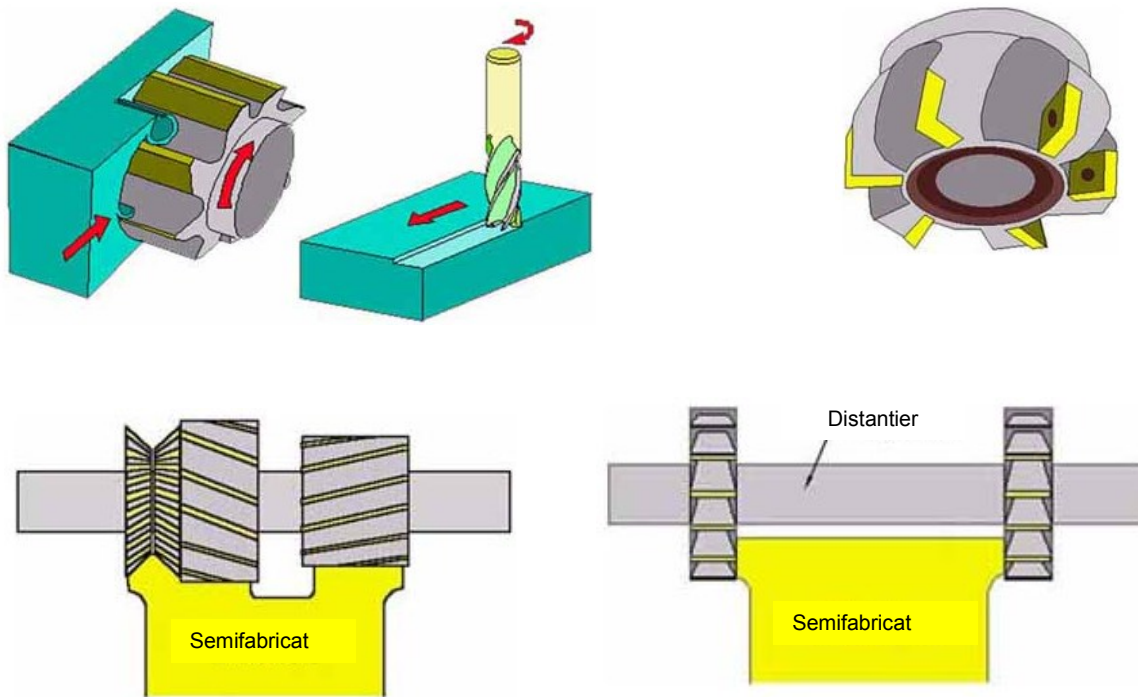


Fig. 6.57(b). Tipuri de freze [www san]

Indiferent de scula utilizată, la elaborarea unei tehnologii de frezare trebuie avute în vedere două aspecte:

- alegerea sensului de frezare,
- alegerea sensului de rotație al frezei în corelație cu sensul de înclinare al dinților frezei.

Din punct de vedere al sensului de frezare există două modalități:

- frezare în sens invers avansului,
- frezare în sensul avansului.

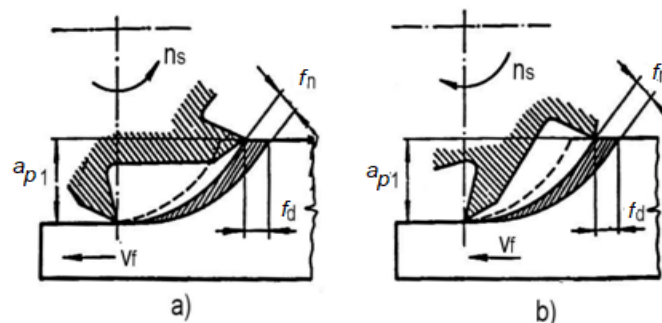


Fig. 6.58. Frezare cilindrică: a) în sens invers avansului, b) în sensul avansului [ANC 03]

La frezarea în sens invers avansului (Fig. 6.58 a, Fig. 6.59) așchia se formează de la dimensiunea sa minimă spre cea maximă. Așchiera începe când adâncimea de așchiere este cel puțin egală cu raza de racordare a muchiei așchietoare, până în acel moment producându-se tasarea și durificarea stratului

superficial al materialului care conduce la fenomenul de ecruisare. Se aplică la prelucrarea materialelor dure și fragile pentru protejarea sculei.

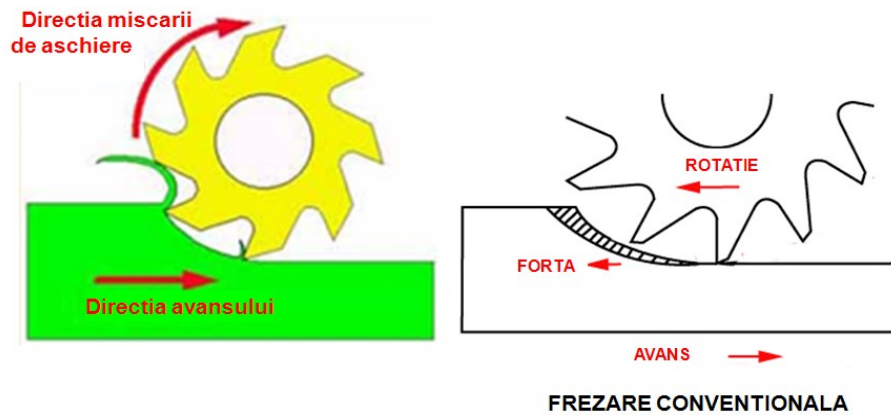


Fig. 6.59. Frezare în sens invers avansului

Din punct de vedere al productivității, durabilității sculelor și calității suprafețelor prelucrate se preferă **frezare în sensul avansului** (Fig. 6.58 b, Fig. 6.60). Așchia se formează de la secțiunea maximă spre cea minimă. Acest procedeu are dezavantajul că intrarea în material a fiecărui dinte se produce cu șocuri, ceea ce introduce vibrații în sistemul tehnologic.

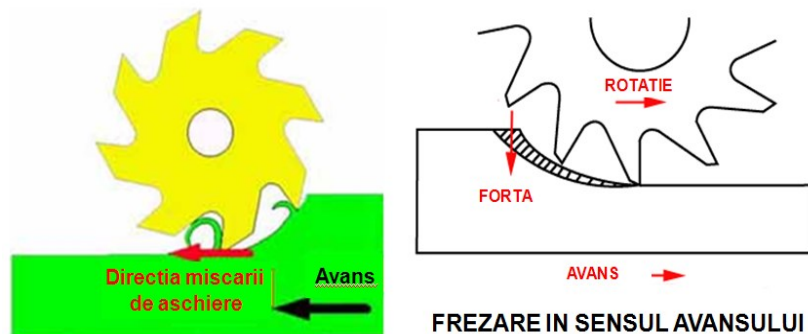


Fig. 6.60. Frezare în sensul avansului

Din punct de vedere al **sensului de rotație** se are în vedere sensul de frezare în corelație cu înclinarea dinților frezei, astfel încât componenta axială a forței de așchiere să fie astfel orientată încât să îmbunătățească sistemul de prindere al frezei (Fig. 6.61).

În exemplul următor se utilizează o freză cilindrică cu **dantură pe stânga** și variantele de prelucrare cu **rotație pe stânga**, respectiv **pe dreapta**. În primul caz F_{ax} tinde să scoată piesa din arborele principal, în timp ce în al doilea exemplu componenta axială a forței de așchiere tinde să fixeze piesa în arborele principal al mașinii de frezat.

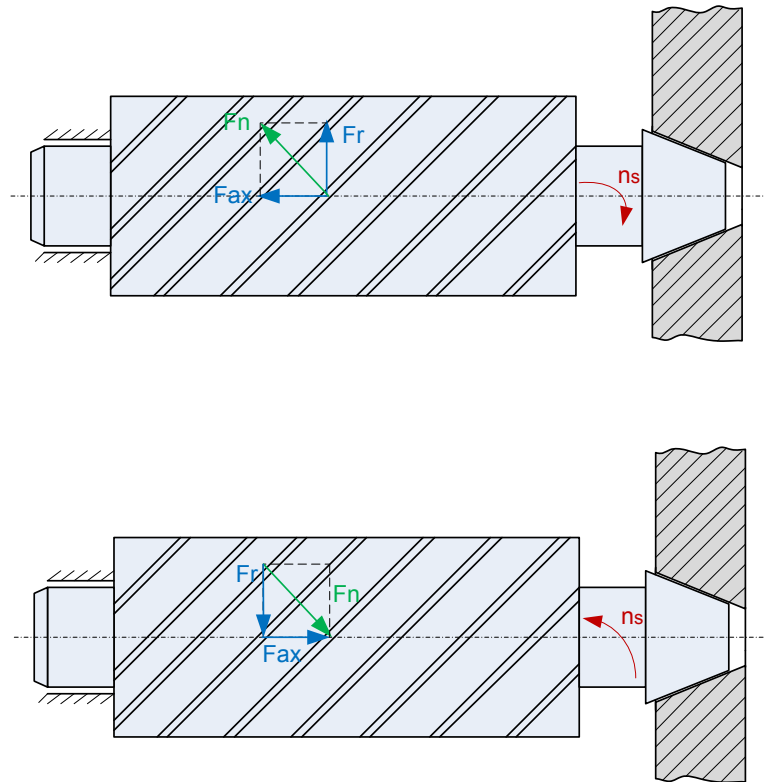


Fig. 6.61. Alegerea sensului de rotație al frezei [GYE 91]

Se recomandă așadar ca sensul de rotație la frezare să fie invers sensului de înclinare a elicei dinților. Acest principiu se recomandă și în cazul prelucrărilor cu seturi de freze.

Productivitatea procesului de frezare poate fi **îmbunătățită** prin următoarele căi:

- **Alegerea sculelor** (tip: cilindrică, cilindro-frontală are rigiditate mult mai mare, **dimensiuni**: alegerea se face astfel încât dimensiunea – diametru sau lățime – să fie mai mare decât lățimea suprafeței care se prelucrează; la o singură trecere se poate prelucra întreaga suprafață).
- **Fixarea** pe masa mașinii a **mai multor semifabricate**, care să fie prelucrate la aceeași cursă a mesei.
- **Utilizarea mașinilor de frezat portale**, care au posibilitatea de a prelucra simultan la aceeași cursă mai multe suprafețe plane cu tot atâtea scule acționate independent de capete de forță individuale (Fig. 6.62). Pot fi prelucrate 2 - 4 suprafețe în plan vertical, orizontal sau înclinat. Pe lângă productivitatea mare se asigură și o precizie de poziție bună (paralelism și perpendicularitate) pentru că nu apar erori de bazare ci numai erori cinematice ale mașinii pe care se realizează prelucrarea.

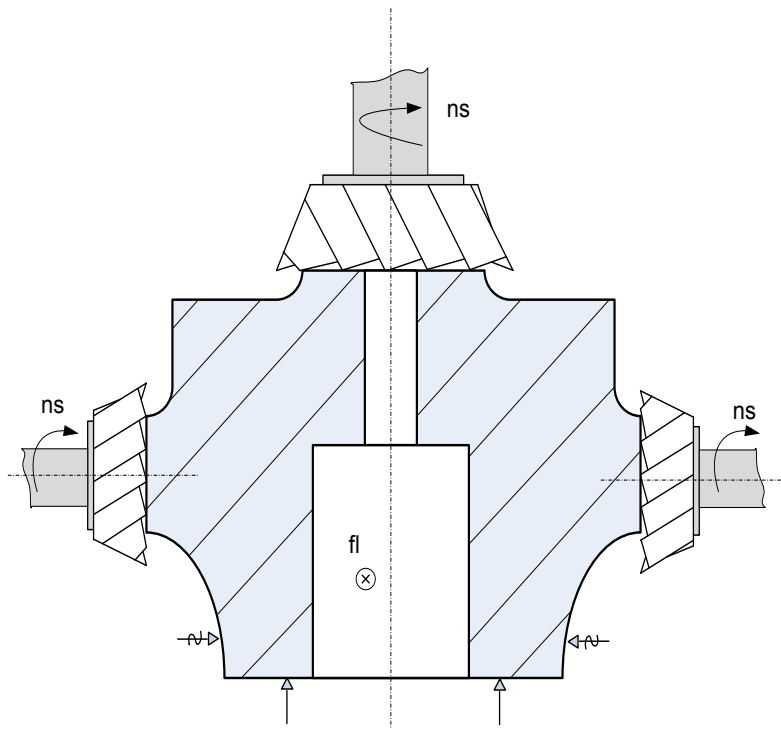


Fig. 6.62. Prelucrarea pe mașini de frezat portal [GYE 91]

În stabilirea **regimului de așchiere** se ține seama de:

- mașina de frezat,
- dimensiunile frezei,
- adaosul de prelucrare,
- calitatea suprafeței,
- puterea mașinii.

➤ **Broșarea plană** (Fig. 6.63).

Domeniul de aplicare al broșării plane este de la **câțiva mm** la **400 mm** pentru lățime și maxim **500 mm** pentru lungime. Procedul asigură o productivitate bună. Precizia dimensională este cuprinsă în **IT8 - IT9**, cu o **bună precizie de poziție** și **$Ra = (3,2 - 6,3) \mu m$** . Parametrii tehnologici se aleg ținând seama de rigiditatea semifabricatului. Broșarea nu se aplică pentru piese cu pereți subțiri.

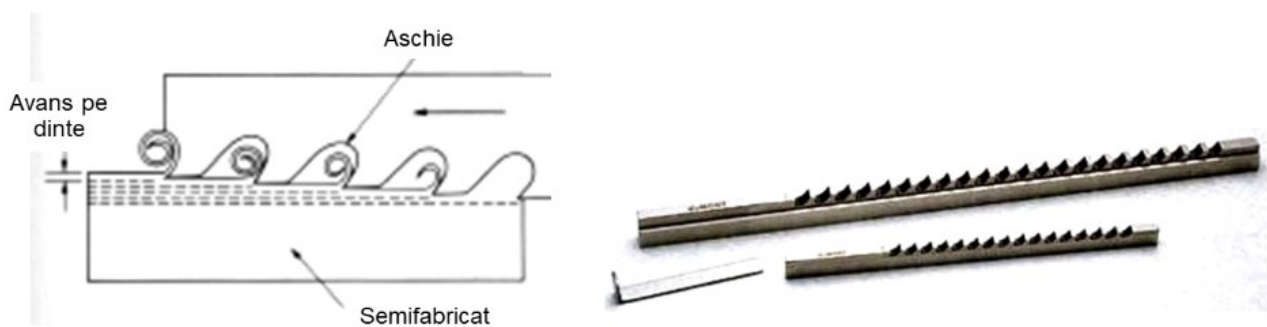


Fig. 6.63. Broșarea plană (stânga) și broșe (dreapta)

➤ Strunjirea plană.

Strunjirea poate fi realizată pe **strunguri frontale** până la diametre de 3 m și pe **strunguri carusel** pentru diametre $d \leq 30$ m.

Datorită faptului că diametrul de prelucrat este **variabil**, se produce o **variație a vitezei de așchiere** care determină o schimbare a **condițiilor de durabilitate ale sculei**. Calculul de dimensionare se face pentru diametrul mediu, iar schema de prelucrare se alege diferențiat după cum mașina-uneltă lucrează cu turație constantă sau variabilă.

$$v = \frac{\pi \cdot d \cdot n}{1000} \text{ [m/min]}$$

Strunjirea plană ($n_p = \text{ct.}$)

Când **turația** mașinii-unelte este **constantă** (Fig. 6.64), prelucrarea va fi începută de la dimensiunea minimă (d_{\min}) spre cea maximă (d_{\max}). Dacă s-ar începe prelucrarea de la d_{\max} s-ar pierde o mare parte din durabilitate pe prima porțiune datorită vitezei de așchiere mari de la început ($v > v_{\text{med}}$).

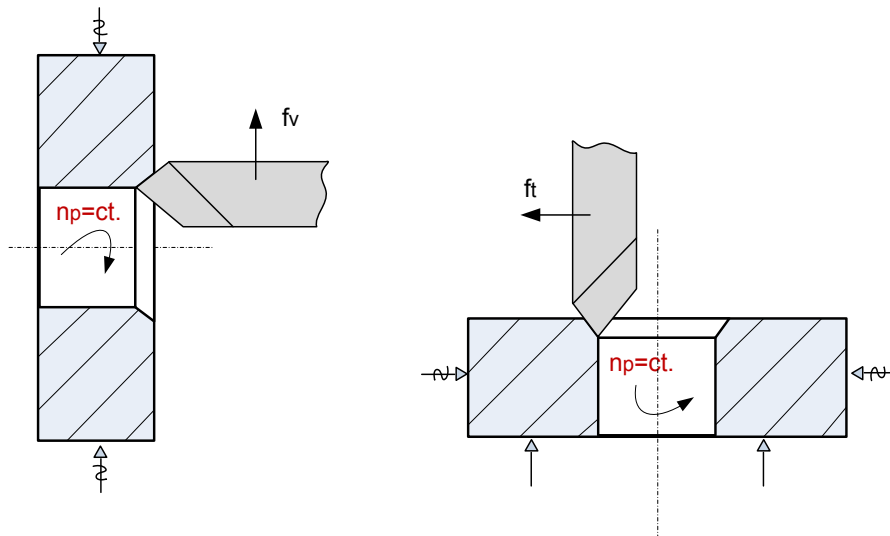


Fig. 6.64. Strunjirea plană cu turație constantă [GYE 91]

Strunjirea plană ($n_p = \text{var.}$)

Când dispunem de mașini-unelte cu **variator continuu de turație** se recomandă ca prelucrarea să înceapă de la d_{\max} spre d_{\min} . Astfel se menține aproximativ constantă viteza de așchiere. În timpul prelucrării, pe măsură ce **diametrul d** scade pentru ca **viteza v** să rămână constantă trebuie ca **turația n** să crească. Dacă s-ar începe prelucrarea de la d_{\min} și în acest caz, mașina-uneltă nu ar fi protejată din punct de vedere al șocurilor. Șocurile sunt mai reduse când turația crește progresiv.

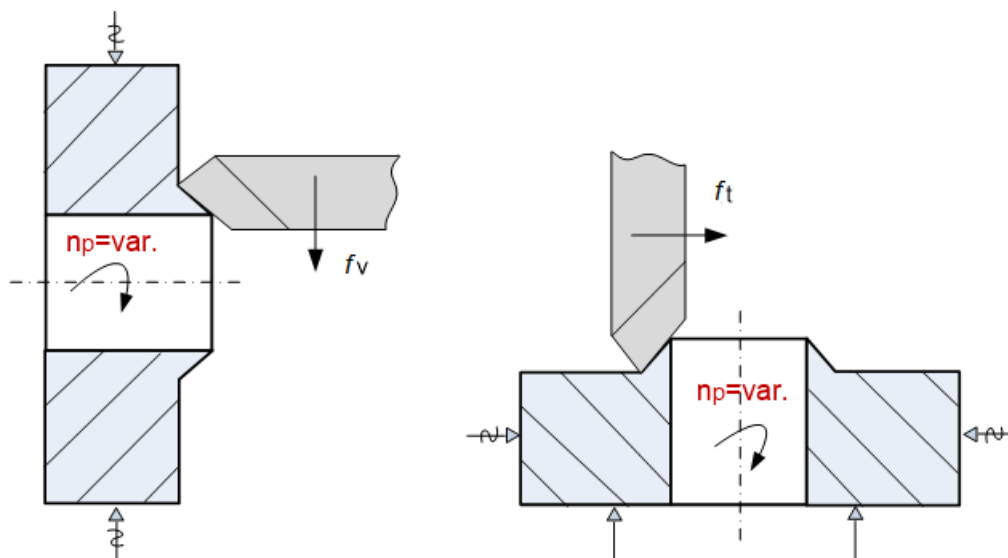


Fig. 6.65. Strunjire plană cu turație variabilă [GYE 91]

Durabilitatea T se calculează pentru viteza medie v_{med} care corespunde unui diametru mediu d_{med} .

$$v \cdot T^m = \text{const.}$$

6.3.2. Tehnologii de finisare a suprafețelor plane

Finisarea suprafețelor plane are în vedere asigurarea unei anumite **planeități**, **îmbunătățirea calității** și a **preciziei dimensionale**. Și în cazul acestei categorii de suprafețe finisarea se diferențiază în raport cu duritatea stratului superficial de material. Când duritatea materialului este < 35 HRC, finisarea se realizează prin **rabotare fină**, **frezare de finisare** sau **răzuire**. Finisarea se realizează prin **rectificare** când duritatea este > 35 HRC.

➤ **Rabotarea de finisare.** Este principala metodă de prelucrare a suprafețelor la care caracteristica principală de calitate este **planeitatea**. Procesul se caracterizează prin **forțe mici de așchiere** și **deformații reduse** ale sistemului tehnologic.

Valorile recomandate ale parametrilor de lucru sunt: **adâncimea de așchiere 0,2 – 0,3 mm**, **avansul transversal 0,5 – 0,6 mm**, **viteza de așchiere 8 -10 m/min**. Se recomandă utilizarea unor scule cu plăcuțe din carburi metalice cu fațetă și unghi de degajare negativ. Se obține o **planeitate de 0,02 mm/1000 mm** suprafață prelucrată.

➤ **Frezarea de finisare.** Se recomandă folosirea unor **freze cilindro-frontale** datorită rigidității și stabilității dinamice mai bune în proces și datorită faptului că **vitezele de așchiere sunt > 80 m/min**.

Avansul are valori de **0,03 – 0,05 mm/dinte**, iar procesul se desfășoară în prezența lichidelor de așchiere. Rezultă **rugozități de $R_a = 0,8 – 1,6 \mu\text{m}$** , iar **planeitatea** este mai mică decât la rabotare **0,05/1000 mm** lungime prelucrată. Se urmărește, în schimb, creșterea calității suprafețelor.

➤ **Răzuirea.** Este o operație executată exclusiv **manual** cu ajutorul unor scule numite **răzuitoare**, formate din **plăcuțe** confecționate din **carburi metalice** sau **oțel rapid (R_p)** fixate în **suport**, cu ajutorul cărora o suprafață plană este răzuită în scopul **îmbunătățirii planeității** acesteia.

Operația se realizează **manual** în **faze succesive** și este specifică materialelor cu așchii de rupere (**fontă, neferoase, mai puțin oțel**). Între două faze succesive se execută un control al planeității ce poate fi realizat fie cu o contrapiesă, fie cu o piesă etalon. La această metodă, planeitatea se apreciază prin **numărul de puncte de contact/in²** = (10 – 25...30):

- **10 puncte** – pentru suprafețe plane mai puțin pretențioase din punct de vedere funcțional (au rol de așezare relativă),
- **25...30** - pentru suprafețe cu rol funcțional important (de exemplu: lagăre, ghidaje).

➤ **Rectificarea suprafețelor plane**

Este metoda principală de finisare a suprafețelor plane tratate termic. Poate fi realizată în două variante:

- pe mașini de rectificat cu ax orizontal,
- pe mașini de rectificat cu ax vertical.

• **Prelucrarea pe mașini de rectificat cu ax orizontal** (Fig. 6.66).

Pe acest tip de mașini se prelucrează **piese de dimensiuni mici** cu **adaosuri de prelucrare mici**.

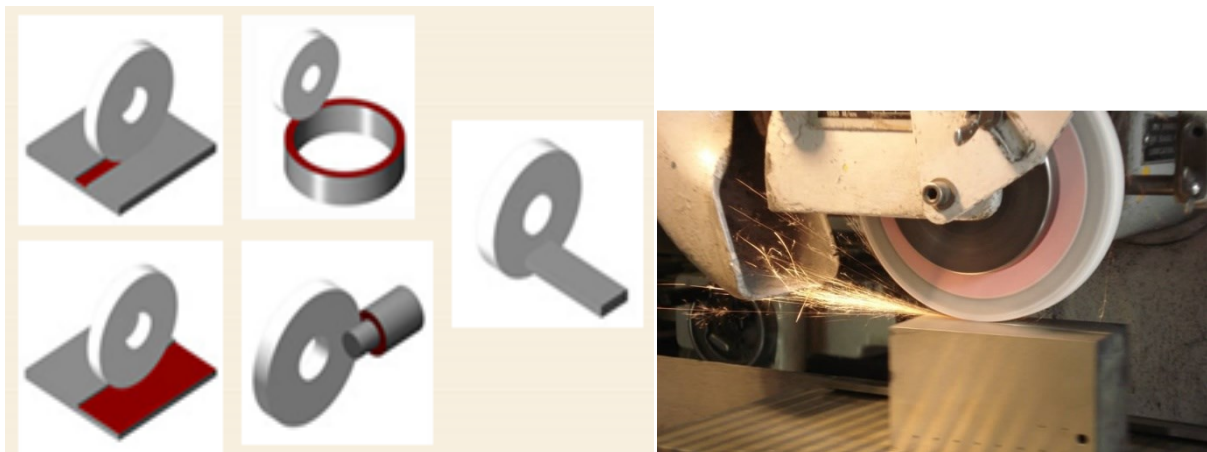


Fig. 666. Rectificarea plană

În cazul mașinii de rectificat cu platou rotativ, piesele (de regulă mai multe) se fixează pe platou, suprafețele plane ale acestora se prelucrează succesiv cu periferia discului abraziv (Fig. 6.67).

Procedeul se recomandă pentru **adâncimi mici** din cauza **rigidității mai mici** a sistemului tehnologic și a sistemului de fixare a discului abraziv. **Avantajul** metodei constă în faptul că nu există indexări ale mesei la capăt de cursă, ceea ce înseamnă o calitate mai bună a suprafețelor.

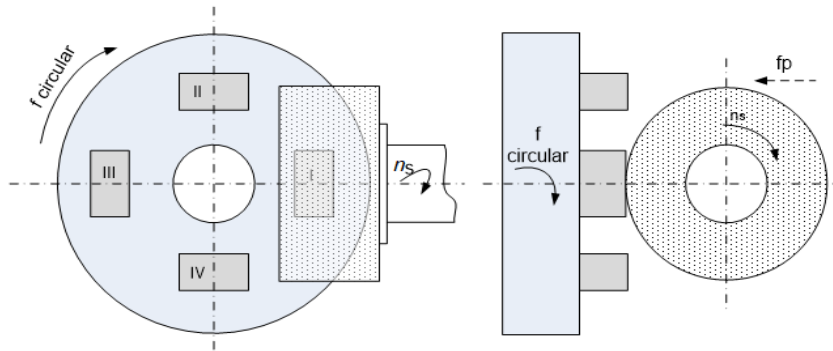


Fig. 6.67. Rectificare plană pe mașini cu platou rotativ [GYE 91]

- **Prelucrarea pe mașini de rectificat cu ax vertical.**

Pe acest tip de mașini se prelucurează **piese de dimensiuni mari și adaosuri de prelucrare mari**. Rectificarea suprafeței (1) cu ajutorul unor segmente abrazivi (2) fixați într-un cap de rectificat (3) a cărei axă

este cel puțin teoretic perpendiculară pe suprafața de prelucrat (Fig. 6.68). Datorită rigidității sistemului tehnologic și modului de prindere al capului de rectificat, în această variantă, pot fi prelucrate suprafețe plane mari, cu adaosuri mari de prelucrare, cu condiția ca diametrul maxim pe care lucrează segmentii abrazivi să fie mai mare decât lățimea de prelucrat.

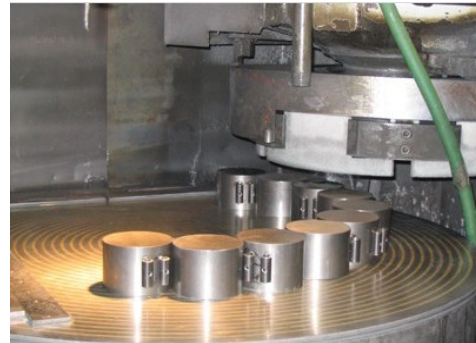
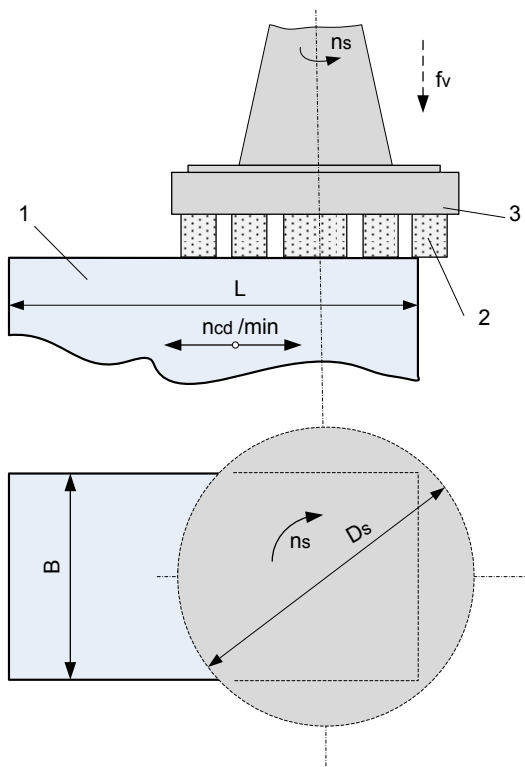


Fig. 6.68. Rectificare plană pe mașini cu ax vertical [GYE 91]

Pentru că **axa de rotație** este **perpendiculară** pe suprafața plană apare **dificultatea eliminării așchii** rezultate din procesul de rectificare, precum și **dificultatea pătrunderii lichidelor de așchiere** în zona de lucru. Pe de altă parte **microrelieful** lăsat pe suprafața prelucrată va fi o **intersecție de urme (arce de cerc)**. Pentru a elimina aceste neajunsuri se înclină axa capului de rectificat cu **unghiul ω** în direcția de avans (Fig. 6.69).

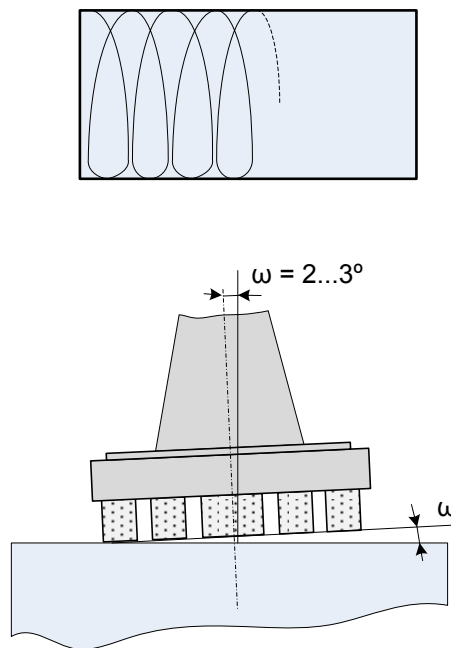
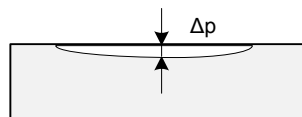


Fig. 6.69. Înclinarea axei de rotație a capului de rectificat [GYE 91]

Această înclinare **permite** pătrunderea mai ușoară a lichidelor în zona de lucru, evacuarea mai ușoară a așchiilor și un anumit microrelief (mai uniform) pe suprafața de prelucrat, care favorizează procesul de ungere, prin reținerea peliculei de ulei. Această înclinare are și un foarte mare **dezavantaj**: înclinarea cu unghiul ω **determină o înrăutățire a planeității** suprafeței prelucrate (Δp). Geometric poate fi determinată în funcție de elementele geometrice ale prelucrării:

$$\Delta p = \frac{D_s}{2} \cdot \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{B}{D_s}\right)^2} \right] \cdot \operatorname{tg} \omega$$



Abatere la planeitate

Pentru anumite valori ale D_s și B se constată o **creștere** a abaterii de la planeitate Δp odată cu creșterea unghiului de înclinare ω . La valori ale unghiului de înclinare cuprinse între $\omega = (2 - 3)^\circ$ se **îmbunătățesc condițiile de așchiere**, iar **abaterea Δp scade**, încadrându-se în limitele admise.

6.4. Tehnologii de prelucrare a suprafețelor elicoidale (filete)

Filetele sunt organe de mașini care din punct de vedere funcțional pot fi **elemente de strângere și fixare**, **elemente de reglare**, **elemente de deplasare relativă** a unor subansambluri. Filetele au suprafețe elicoidale conjugate, utilizate în construcția unor mecanisme de transformare a mișcării și a unor elemente de asamblare demontabile.

Clasificarea filetelor se poate face după mai multe **criterii**:

- **Natura suprafețelor** pe care se realizează: **interioare**, **exterioare**, **cilindrice**, **conice**,
- **Profil**: **triunghiular**, **trapezoidal**, **rotund**, **pătrat**, **fierăstrău**,

- **Numărul de începuturi:** unul sau mai multe,
- **Precizie:** precise, mijlocii, cu precizie redusă.

Tabel Clasificarea filetelor

Criteriul de clasificare				
Geometria profilului	Direcția de înfășurare	Numărul de începuturi	Sistemul de măsurare	Mărimea pasului
- triunghiular - pătrat - trapezoidal - fierăstrău - rotund	- pe dreapta - pe stânga	- cu un început - cu mai multe începuturi	- metric - în țoli	- normal - fin - cu pas mărit

Metodele de prelucrare ale filetelor au la bază fie procesul de **așchiere**, fie procesul de **deformare plastică la rece** (rularea). În primul caz se poate considera că suprafața elicoidală este generată prin deplasarea unei curbe, având forma profilului filetelor - numită **generatoare**, pe o elice cu pas constant sau variabil - numită **directoare**. Generarea suprafețelor elicoidale ale filetelor este reprezentată în figura 6.70.

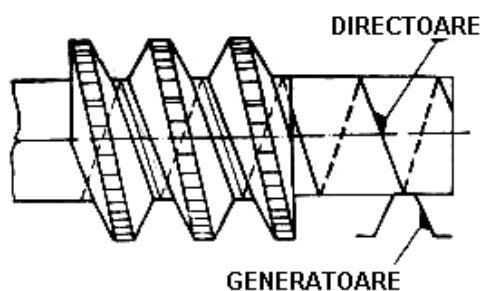


Fig. 6.70. Parametrii suprafețelor elicoidale [GYE 04]

Parametrii suprafeței elicoidale (Fig. 4.70) sunt:

- Profilul filetelor
- Pasul filetelor P , mm
- Diametrul de înfășurare al curbei directoare
- Unghiul de pantă al filetelor β .

$$\text{Între acești parametri există relația: } \operatorname{tg}\beta = \frac{P}{\pi \cdot d}.$$

În funcție de felul în care se materializează directoarea, metodele de prelucrare a filetelor se împart în două grupe : **metode de filetare cu directoare cinematică** și **metode de filetare cu directoare materializată**.

Prima grupă se caracterizează prin faptul că **directoarea elicoidală** se obține prin **combinarea mișcării de rotație** cu cea de **translație**. Această grupă cuprinde metodele: **strunjire, frezare și rectificare**.

În cadrul **grupeii a doua**, **scula** utilizată **materializează** elementul conjugat celui care se prelucurează. Astfel sunt materializate atât directoarea cât și generatoarea. Această grupă cuprinde: **filetarea cu tarozi, cu filere și cu capete de filetat**.

➤ Strunjirea filetelor

Prelucrarea prin **strunjire** a filetelor se realizează cu ajutorul unor **cuțite prismatice** sau **disc**, care materializează profilul filetelui și prin mișcare elicoidală îl transpun în lungul directoarei. Detașarea materialului din golul filetelui are loc după una din schemele din figura 6.71.

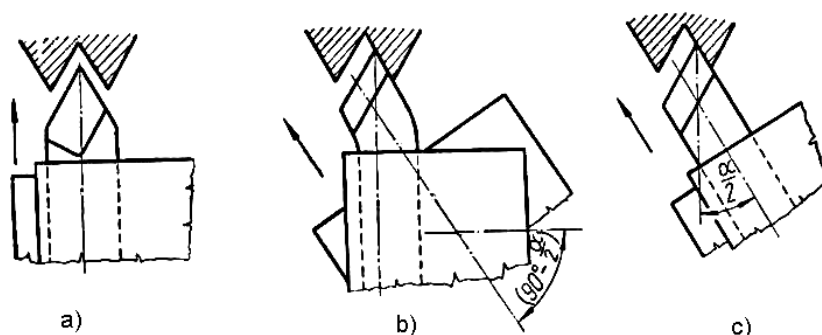


Fig. 6.71. Diferite metode de desprinderea așchiilor la filetare [GYE 04]:

a) cu avans radial b) cu avans oblic și cuțit încovoiat c) cu avans oblic și cuțit drept

Deși **metoda radială** este cea mai precisă din punctul de vedere al preciziei profilului filetelui, ea este dezavantajoasă din punctul de vedere al **forțelor de așchiere** și al **solicitării cuțitului**.

La filetele cu pas mare, **degroșarea** se recomandă să se realizeze cu **avans oblic** și numai **finisarea** cu **avans radial**. În majoritatea cazurilor prelucrarea are loc în mai multe treceri succesive, al căror număr depinde de pasul și înălțimea profilului filetelui (Tabel - Alegerea numărului de treceri la prelucrarea filetelor).

Tabel Alegerea numărului de treceri la prelucrarea filetelor

I. Filet triunghiular											
Pasul filetelui [mm]	1	1,5	2	2,5	3	4	5	6			
Înălțimea profilului [mm]	0,65	0,97	1,36	1,62	1,95	2,60	3,25	3,90			
Număr de treceri	degroșare	3	4	6	6	6	7	8	9		
	finisare	3	3	3	3	3	4	4	4		
II. Filet trapezoidal											
Pasul filetelui [mm]	3	4	5	6	8	10	12	16	20	24	
Înălțimea profilului [mm]	1,75	2,25	3,0	3,5	4,5	5,5	6,5	9,0	11	13	
Număr de treceri	degroșare	7	7	8	8	10	12	13	15	17	21
	finisare	4	4	5	5	6	7	8	8	10	11

Strunjirea filetelor se realizează în majoritatea cazurilor pe **strunguri universale**, dar în cazul **seriilor mai mari** se poate realiza și pe **strunguri revolver** sau **automate**, prin utilizarea unor **dispozitive speciale**.

Productivitatea prelucrării filetelor prin strunjire este afectată de multe ori de spațiul mic pentru ieșirea sculei, care **nu permite** utilizarea unor **viteze mari de așchiere**. Astfel, în mod obișnuit viteza de așchiere la strunjirea filetelor are valori între **(3...8) m/min**, la prelucrarea **oțelului** și **(4...10) m/min** la prelucrarea filetelor din **materiale neferoase**.

➤ Filetarea exterioară cu filiere

Prelucrarea filetelor exterioare cu **filiere** se utilizează la realizarea dintr-o singură trecere a filetelor cu **diametrul până la 50 mm** (Fig. 4.73). În cadrul acestei metode mișcarea principală de rotație este executată

fie de către piesă, fie de către sculă (Fig. 6.72), iar mișcarea secundară de avans (în concordanță cu pasul filetului), de către sculă.

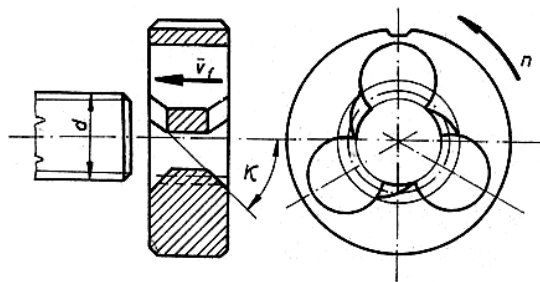


Fig. 6.72. Schema filetării exterioare cu filiera [GYE 04]

Metoda se utilizează în producția de serie mică și unicat, la prelucrarea filetelor de precizie redusă și pas relativ mic. Filierile se execută cu exterior rotund, pătrat sau hexagonal.

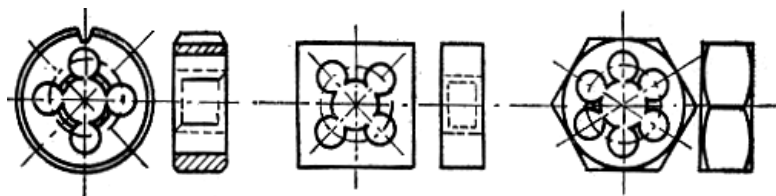


Fig. 6.73. Diferite construcții de filiere: a) rotunde b) pătrate c) hexagonale [GYE 04]

Viteza de așchiere la filetarea cu filiere are valori între **(2,5...4) m/min** la prelucrarea oțelului și **(5...8) m/min** la filetarea alamei.

➤ Filetarea cu capete de filetat

Un caz particular al filetării cu filiera o reprezintă **filetarea cu capete de filetat**, care sunt de fapt construcții de filiere cu dinți asamblați (Fig. 6.74).

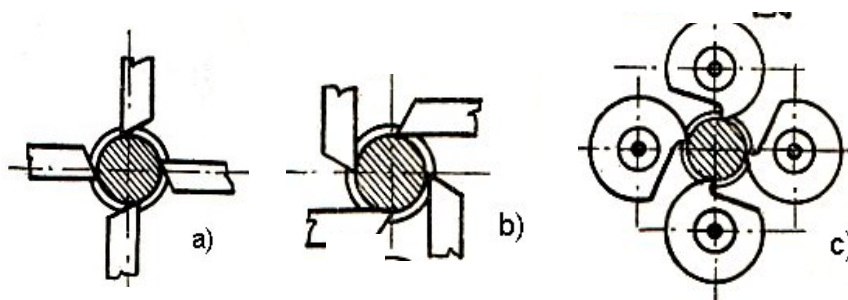


Fig. 6.74. Diferite construcții de capete de filetat: a) cu cuțite radiale b) cu cuțite tangențiale c) cu cuțite-disc [GYE 04]

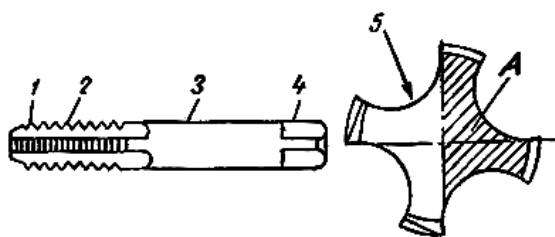
Capetele de filetat cu **cuțite radiale** au avantajul că asigură posibilitatea de reglare a diametrului filetului între anumite limite. Cele cu **cuțite tangențiale** și **disc**, prezintă avantajul unui număr mare de reascuțiri posibile, ca urmare sunt preferate în producția de serie.

➤ Filetarea interioară cu tarodul

Este o metodă larg răspândită pentru prelucrarea filetelor interioare, datorită productivității ridicate și a schemei de așchiere simple. Precizia realizabilă prin tarodare acoperă corespunzător pretențiile în treptele grosolane și medii. În funcție de domeniul de utilizare deosebim următoarele variante ale filetării cu tarodul:

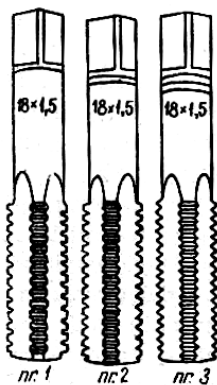
- Filetarea cu tarozi de mână, se utilizează la diametre sub 25 mm, antrenarea sculei este manuală;
- Filetarea cu tarozi de mașină, se utilizează la prelucrările pe strunguri automate și este caracterizată prin productivitate ridicată;
- Filetarea cu tarozi speciali, pentru piulițe, filete rotunde, etc.

Tarodul are forma unui șurub, la care s-au executat canale longitudinale pentru a forma muchiiile așchietoare și care servesc la evacuarea așchiilor (Fig. 6.75). Precum se observă din figură, tarodul are o



parte de atac conică 1, o parte de calibrare cilindrică 2 și coada 3 cu capul pătrat 4. Partea filetată este prevăzută cu canalele 5. Tarozi se execută din oțel carbon de scule sau din oțel rapid.

Fig. 6.75. Părțile componente ale unui tarod



Pentru filetarea pe strung sau manuală, se folosește o garnitură de tarozi (Fig. 6.76), cu care se prelucrează pe rând gaura filetată. În cazul filetării mecanice cu tarozi, trebuie asigurată coaxialitatea tarodului cu gaura anterior executată, cât și posibilitatea decuplării la timp a mișcării de rotație a acestuia.

Fig. 6.76. Garnitură de tarozi

➤ Frezarea filetelor

Este un **procedeu productiv** de prelucrare al filetelor mijlocii și mari, caracterizat prin faptul că **mișcarea principală** de așchiere este executată de către **sculă**. Se utilizează în fabricația de serie și masă a **filetelor lungi** sau **scurte** cu profil **triunghiular**, **trapezoidal**, **pătrat** sau de alte forme.

Se deosebesc două **metode de frezare** a filetelor:

- cu freze-disc (frezarea filetelor lungi);
- cu freze-pieptene (frezarea filetelor scurte).

➤ **Frezarea cu freze-disc** (Fig. 6.77) se utilizează la degroșarea și semifinisarea filetelor de mișcare exterioare dar și la cele interioare.

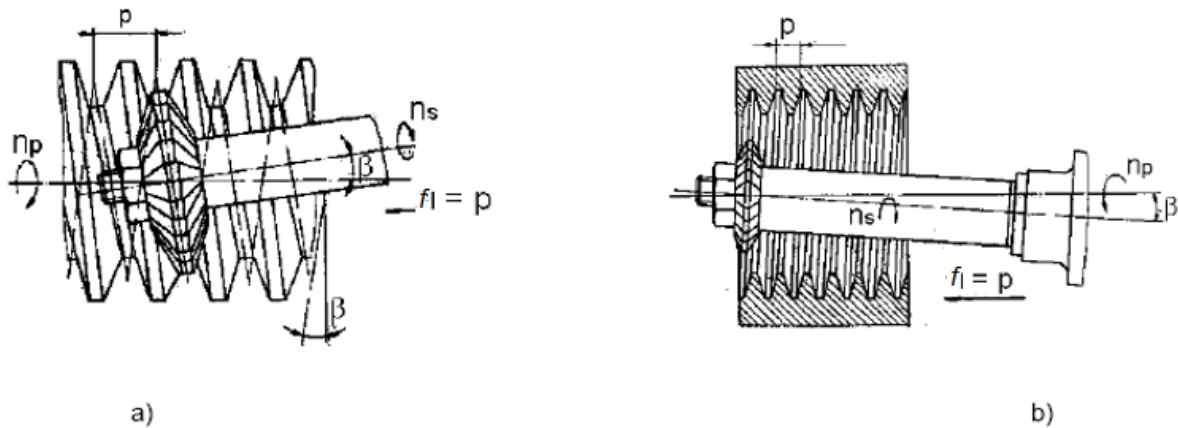


Fig. 6.77. Frezarea filetelor cu freze-disc: a) filet exterior b) filet interior [GYE 04]

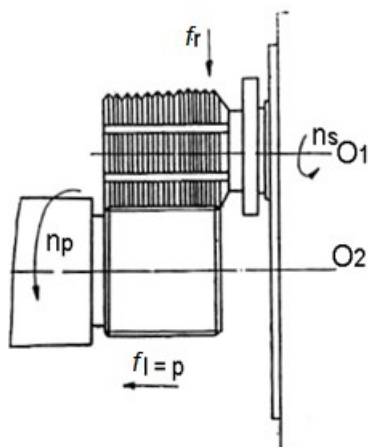
Așa cum se observă din figură, axa sculei, în ambele cazuri, este înclinată față de axa piesei cu unghiul de

înclinare al elicei medii al filetului β : $\operatorname{tg}\beta = \frac{p}{\pi \cdot d_m}$.

Prelucrarea se poate realiza pe mașini de frezat orizontale dar cel mai eficient este pe mașini speciale de frezat filete. Viteza de așchiere este mult mai mare decât în cazul filetării cu cuțitul, ajungând la valori de (25...30) m/min în cazul frezelor din oțel rapid și la (50...80) m/min în cazul frezelor armate cu plăcuțe de aliaj dur. Între turația sculei n_s și turația piesei n_p este o relație în funcție de numărul de dinți ai sculei z_s și avansul pe dinte f_d . Prelucrarea se execută de regulă într-o singură trecere, dar în cazul în care se cere o calitate ridicată, se divizează adâncimea în două treceri, de degroșare și de finisare.

➤ **Frezarea filetelor scurte cu freză-pieptene** (Fig. 6.78), se utilizează la prelucrarea porțiunilor filetate cu lungime sub 100 mm, aflate la capetele diferiților arbori, sau alte organe de mașini. Schema de lucru se caracterizează prin faptul că axele sunt paralele și în timpul ciclului de lucru ele se aproprie cu valoarea:

$$\Delta A = (1,2 - 1,3) \cdot h, \text{ unde } h \text{ este adâncimea filetului.}$$



Mișcarea principală de așchiere - rotația sculei cu n_s , este însoțită de rotația lentă a piesei cu n_p - și de avansul longitudinal al sculei sau al piesei cu viteza de avans:

$$v_{fl} = n_p \cdot p [\text{mm/min}]$$

Între turația piesei și a sculei, în mod asemănător ca la frezarea filetelor lungi este relația:

$$n_p = \frac{n_s \cdot z_s \cdot f_d}{p} [\text{rot/min}]$$

Fig. 6.78. Frezarea filetelor scurte [GYE 04]

La începutul procesului, pe durata rotației piesei cu 60° , are loc pătrunderea radială a sculei la adâncimea filetului (avansul radial f_r), după care, pentru prelucrarea completă, piesa execută încă o rotație completă cu 360° . Prelucrarea se realizează de obicei pe mașini speciale, care asigură atât fixarea corespunzătoare a semifabricatelor, cât și mișcările relative.

➤ Filetarea în vârtej

Este un procedeu **productiv** de prelucrare al filetelor, caracterizat prin faptul că sculele sunt în contact doar pe câte un arc de cerc relativ mic cu suprafața elicoidală și astfel sunt condiții avantajoase pentru răcirea lor și evacuarea așchiilor. Datorită acestor elemente se pot utiliza **viteze de așchiere mari** și chiar foarte mari (până la **150...200 m/min**).

Domeniul de utilizare: fabricația de serie și în masă a filetelor trapezoidale de diferite dimensiuni de precizie medie și chiar ridicată. Cuțitele, în număr de 3...8 sunt fixate în capete de frezat a căror axă este înclinată față de axa filetului cu unghiul de pantă al elicei medii a acestuia (Fig. 6.79).

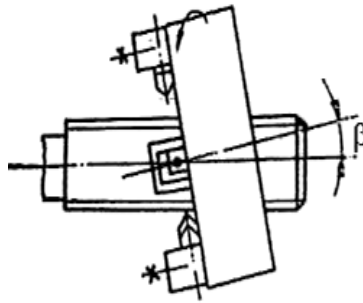


Fig. 6.79. Poziția capului de filetat la filetarea în vârtej [GYE 04]

Funcție de modul în care sunt dispuse cuțitele, aceste capete de frezat pot fi (Fig. 6.80):

- cu **tangență exterioară**,
- cu **tangență interioară**.

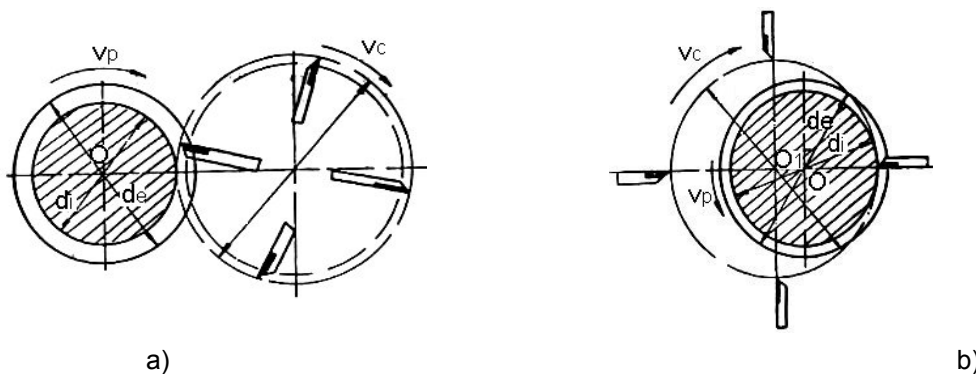


Fig. 4.80. Metode de filetare în vârtej a filetelor exterioare: a) cu tangență exterioară, b) cu tangență interioară [GYE 04]

În cazul primei metode (cu **tangență interioară**) distanța axială este semisuma diametrelor sculei și a piesei, iar în cazul celei de a doua metode distanța axială este semidiferența acestora.

La metoda cu **tangență exterioară** construcția și lăgăruirea capului de filetat este mai simplă, dar datorită faptului că lungimea arcului de contact este relativ mică, rugozitatea flancului filetului obținut este mai slabă. Această metodă se utilizează în fabricații de serii mai mici.

În cazul metodei cu **contact interior**, arcul de contact este mai mare și astfel se obțin rugozități mult mai bune. Se utilizează în fabricația de serie mare și chiar de masă. Întrucât, la un anumit moment, este în contact, și ca urmare în așchiere, numai un dinte al capului de filetat, care detașează o așchie foarte subțire, forța de așchiere are valori mici și astfel este posibilă prelucrarea într-o singură trecere. Se pot concluda următoarele **avantaje** ale filetării în vârtej:

- întrucât cuțitele sunt armate cu plăcuțe de aliaj dur, se pot folosi viteze de așchiere mari, care conduc la productivitate ridicată;
- ascuțirea cuțitelor este relativ simplă;
- prelucrarea se poate realiza în majoritatea cazurilor, dintr-o singură trecere;
- nu necesită personal de înaltă calificare.

➤ Rectificarea filetelor

În cazul filetelor de mișcare precise, care de regulă **se tratează termic**, este necesară finisarea prin **rectificare**. Domeniul de utilizare: filetele tarozilor, a calibrelor de filet, șuruburile conducătoare ale mașinilor-unelte, ale aparatelor de măsură, melcii angrenajelor melcate, etc.

În funcție de felul sculei abrazive utilizate deosebim: **rectificarea cu discuri monopofil** și **cu discuri multipofil** (Fig. 6.81). Metoda cu disc monopofil se utilizează la rectificarea filetelor foarte precise în producția de unicat și serie mică.

Rectificarea filetelor cu **pas sub 1,5 mm** în producția de serie și masă este rentabilă numai prin utilizarea **discurilor multipofil**, cu avans de trecere (la porțiuni filetate lungi) și cu avans de pătrundere la porțiuni filetate scurte. Prin această ultimă metodă se rectifică tarozii, calibrele de filet.

Profilul discurilor abrazive utilizate la rectificarea filetelor este obținut prin diamantare (la discurile monopofil) și prin moletare (la discurile multipofil).

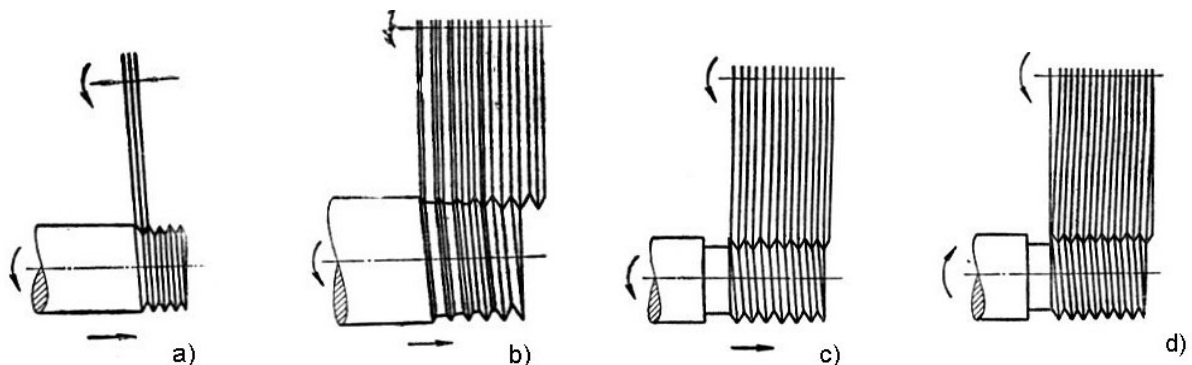


Fig. 6.81. Metode de rectificarea a filetelor: a) cu disc monopofil b) cu disc multipofil și avans de trecere c) cu disc multipofil și avans de pătrundere d) cu disc multipofil elicoidal [GYE 04]

6.5. Tehnologii de prelucrare a roților dințate

Roțile dințate sunt piese de revoluție, cu dantură, destinate transmiterii mișcării de rotație între doi arbori cu axe paralele sau concurente. Principalele caracteristici constructive ale unui angrenaj sunt **forma dinților** și **poziția relativă** a axelor.

Este necesară cunoașterea: **condițiilor de funcționare** și **exploatare**, **forțelor** și **solicitărilor** care apar, **vitezei periferice**, a **gabaritului**, **mediului de lucru** (variații de temperatură, agenți corozivi), respectiv cunoașterea **durabilității** și **silențiozității** impuse atunci când un angrenaj este proiectat și atunci când sunt alese materialele, tratamentele termice sau termochimice.

Semifabricatele utilizate se stabilesc în funcție de **mărimea seriei de fabricație**, **material**, **dimensiunile** și **forma** roții și de **condițiile tehnice** și **de funcționare** impuse. **Materialele** folosite pentru realizarea roților dințate fac parte dintr-o gamă largă cuprinzând: **oțeluri**, **fonte**, **bronzuri**, **alame**, **maste plastice**, etc.

Roțile dințate de **dimensiuni mari** și **serii de fabricație mici** se confecționează din **semifabricate** turnate din **fontă**, **oțel** sau **bronz**. Pentru roți **puternic solicitate** și **producție de serie mare** se recomandă **semifabricate forjate din oțel**. Pentru **serii mari** sau **roți complexe** se recomandă **matrițarea**. **Semifabricatele laminate** presupun un consum mare de material și manoperă și se utilizează pentru **roți mici** (diametre < 65 mm) sau arbori pinion.

Tratamentele termice aplicate roților dințate depind de **material**, **scopul** și **rolul funcțional** al roții dințate cât și de **procesul de fabricare** ales. **Scopul** tratamentului termic sau termochimic poate fi: **creșterea gradului de prelucrabilitate** (recoacere, detensionare), **creșterea durabilității** și **fiabilității în funcționare** (cementare, călire, revenire), **durificarea suprafețelor** (iononitrurare, cianizare, fosfatare). Un efect suplimentar obținut poate fi și **modificarea stării structurale** a materialului roții dințate, cu influență asupra caracteristicilor mecanice, **modificarea stării de tensiuni interne** cu efect asupra creșterii preciziei dimensionale.

Prelucrarea roților dințate se poate realiza prin:

- **Deformare plastică,**
- **Așchiere.**

6.5.1. Prelucrarea roților dințate prin deformare plastică

Danturile cilindrice cu **diametre** cuprinse între 24 - 600 mm și **module** între 3 - 10 mm pot fi prelucrate prin **deformare plastică la cald** sau **la rece**. Deformarea la cald utilizează un semifabricat încălzit superficial (la temperatura de forjare) și o roată dințată conjugată (scula) între care are loc un proces de rulare desfășurat pe mașini speciale prevăzute cu o instalație de încălzire prin inducție electromagnetică.

Se elimină astfel operația de degroșare, rămânând de executat prefinisarea și finisarea prin așchiere. Procedul are productivitate mare, făcându-se totodată economii substanțiale de material și energie, simultan cu reducerea ciclului de fabricație. Un alt **avantaj** constă în îmbunătățirea proprietăților fizico-mecanice și capacității de efort al roții dințate, datorită faptului că fibrajul este continuu, nu întreput, ca la așchiere. Ulterior rulării se execută următoarele operații: curățare, ajustare bavuri, tratament termic și finisare.

Deformarea la rece a danturii se poate executa atât prin **rulare** cât și prin **copiere**. La copiere se folosesc scule profilate, cu un profil identic cu al golului danturii care se prelucrează.

6.5.2. Prelucrarea roților dințate prin așchiere

Prelucrarea danturilor cilindrice (drepte, înclinate, în V) în funcție de metoda de generare, se poate realiza prin două metode: **copiere** și **rulare**.

Prelucrarea prin copiere include următoarele **procedee**:

- Frezare (cu freză disc-modul, cu freză deget-modul),
- Rectificare cu discuri abrazive profilate.

Prelucrarea prin rulare include următoarele **procedee**:

- Frezare cu freza melc-modul,
- Mortezare (cu cuțit-roată, cu cuțit-pieptene),
- Rectificare (cu disc biconic, cu discuri taler, cu melc abraziv),
- Șeveruire.

Un rol important în stabilirea procedeelelor de prelucrare prin degroșare și finisare îl are **precizia** impusă angrenajului. **Calitatea** unui angrenaj se apreciază prin analiza următoarelor **aspecte**:

- zgomot și trepidații în funcționare,
- puterea transmisibilă,
- precizia de transmitere a mișcării,
- durabilitate.

Precizia roților dințate cilindrice se apreciază pe baza a **trei criterii**:

- precizia cinematică a roții,
- funcționarea lină a angrenajului,
- criteriul de contact dintre dinți (pata de contact).

1. Frezarea danturilor cilindrice prin copiere (IT11 - IT9 Ra = (3,2) 6,3 -12,5 μm)

Prelucrarea se realizează pe mașini de frezat universale și verticale echipate cu capete divizoare, pe mașini de alezat și frezat sau pe mașini speciale. Ca scule se folosesc **freze deget-modul** sau **freze disc-modul**, cu profil identic cu cel al golului dintre doi dinți (Fig. 6.82). Acest procedeu se recomandă în cazul producțiilor de serie mică și unicate (în ateliere).

Frezele disc-modul se construiesc până la modul $m = 20 \text{ mm}$. Peste această valoare dimensiunile devin prea mari, motiv pentru care se utilizează freze deget-modul (se pot folosi și pentru $m > 10 \text{ mm}$).

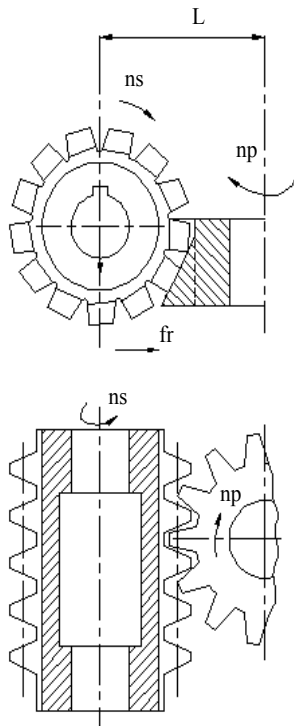
Mișcărilor necesare prelucrării sunt:

- mișcarea principală de așchiere, efectuată de sculă, n_s ,
- mișcarea de avans longitudinal, efectuată de masa mașinii, v_f ,
- mișcarea de avans de pătrundere, f_r , asigură intrarea sculei la adâncimea necesară având loc la începutul fiecărei treceri.

2. Frezarea danturilor cilindrice prin rulare (rostogolire) (Fig. 6.84).

Aceasta este cea mai **frecvent utilizată metodă** la prelucrarea danturilor cilindrice. Frezarea cu **freză melc-modul** se realizează pe mașini specializate (mașini de danturat).

Prelucrarea are la bază **generarea profilului evolventic al danturii**, ca înfășurătoare a pozițiilor successive ale muchiilor așchietoare ale sculei, dispuse pe o elice sub forma unor cremaliere deplasate între ele. În timpul prelucrării, cremaliera imaginată se găsește în angrenare cu roata dințată care se prelucrează și generează dantura.



Mișcarea de rostogolire are loc prin angrenarea forțată dintre freza-melc și semifabricat. Mișcarea principală de așchiere (rotația frezei cu turația n_s) este corelată, prin lanțul cinematic al mașinii, cu mișcarea de rotație a piesei n_p .

Axa frezei-melc se poziționează la distanța L față de axa semifabricatului. Scula se deplasează cu avansul axial f_a (sau axial-tangențial), iar după trecerea pe toată lățimea roții freza este readusă în poziția inițială și apoi reglată la o altă adâncime de așchiere, prin avansul radial f_r .

Fig. 6.84. Frezarea prin rulare [GYE 91]

Prelucrarea prin rulare este mai **performantă** decât cea prin copiere, atât din punct de vedere al **productivității** cât și din punct de vedere al **preciziei de pas și de profil** a danturii. **Precizia** superioară este datorată modului de generare al danturii (rostogolire), iar **productivitatea** ridicată se explică prin **continuitatea** procesului de așchiere.

Un element important al procesului îl reprezintă **poziționarea unghiulară a axei frezei** în raport cu axa piesei, poziție care depinde de **sensul și mărimea înclinării dinților** acestora (θ și β).

La prelucrarea danturii drepte, axa frezei-melc se înclină cu unghiul θ , unghiul de pantă al dinților frezei-melc. Sensul de înclinare al elicei melcului poate fi pe dreapta sau stânga (Fig. 6.85).

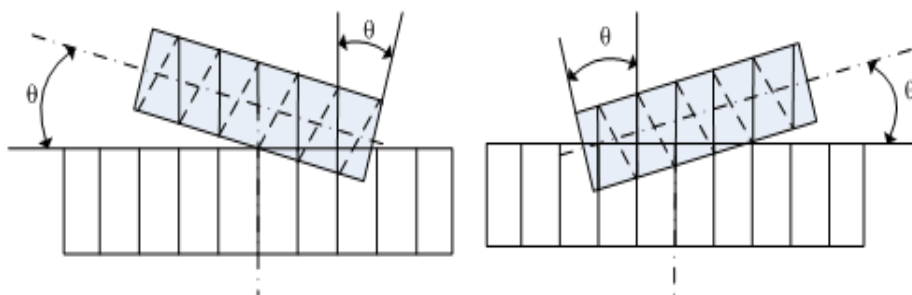


Fig. 6.85. Poziționarea axei frezei melc în raport cu axa piesei la prelucrarea danturilor drepte [GYE 91]

La prelucrarea danturii înclinată, înclinarea axei sculei depinde de unghiurile și sensurile de înclinare a elicei frezei-melc, respectiv a danturii roții (Fig. 6.86).

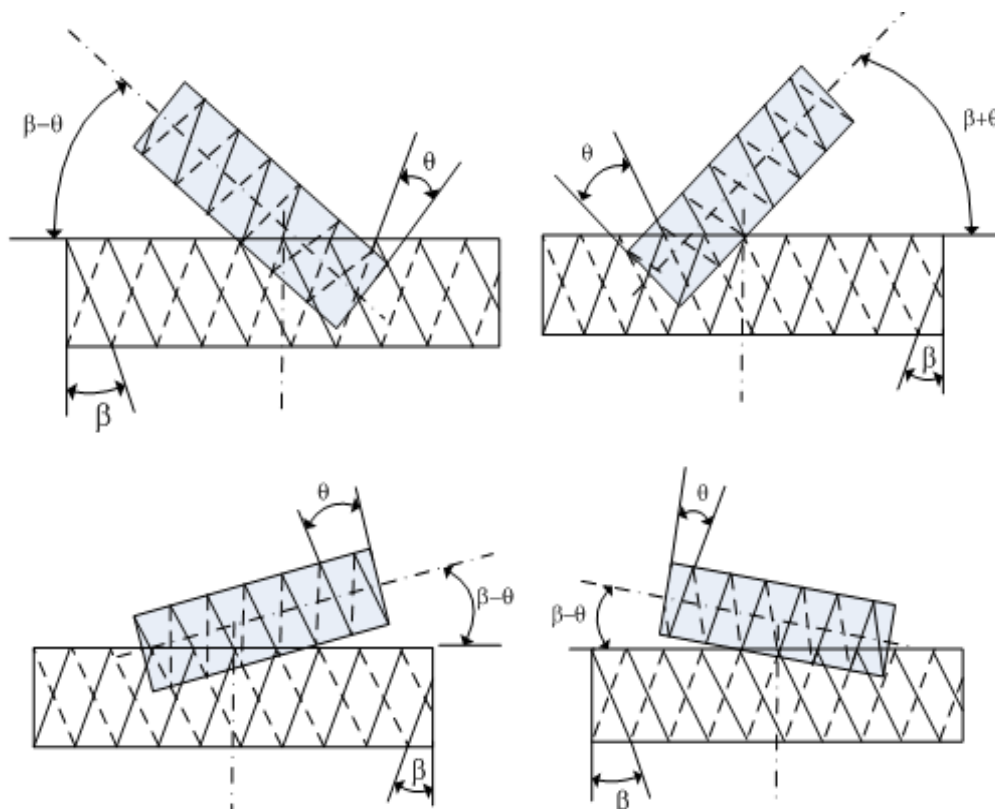


Fig. 6.86. Poziționarea axei frezei melc în raport cu axa piesei la prelucrarea danturilor înclinată [GYE 91]

$$\delta = 90^\circ - (\beta \pm \theta)$$

unde: β – unghiul de înclinare al danturii,

θ – unghiul elicei medii a melcului de referință al frezei-melc,

(-) pentru cazul în care cele două elice au același sens,

(+) pentru cazul în care cele două elice au sensuri contrare.

3. Finisarea danturilor cilindrice

Procedeele de finisare a danturilor cilindrice, ca și procedeele de degroșare, pot fi clasificate în două categorii: **prelucrări prin copiere**, **prelucrări prin rulare**.

➤ Rectificarea danturilor cilindrice prin copiere

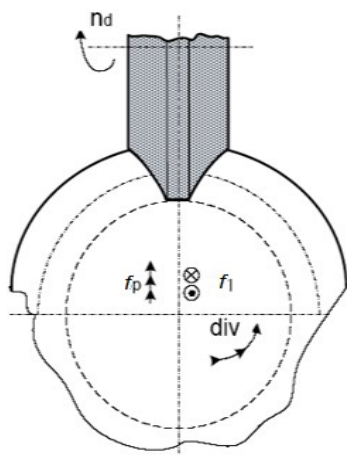
Rectificarea danturilor se face în cazul **roților dințate tratate termic** sau confecționate din **materiale dure**, la care se impun precizii ridicate. Din cauza faptului că necesită un număr mare de treceri, iar mașinile-unelte folosite au un preț ridicat, rectificarea danturilor este o operație costisitoare și trebuie realizată doar atunci când este absolut necesar. În general **nu** se rectifică roți dințate cu modul mai mare de **10–12 mm**.

Rectificarea prin copiere are o serie de **dezavantaje** datorită arcului mare de contact sculă-piesă, motiv pentru care necesită o răcire abundentă și adâncimi mici de așchiere pe trecere. Prin natura procedurii se impune ca pentru fiecare număr de dinți să existe un disc abraziv special, care să aibă profilul real al dinților.

Prelucrarea se realizează cu **discuri abrazive profilate** după forma flancului sau a golului dintre dinți. Discul abraziv execută mișcarea principală de așchiere, o mișcare de rotație cu **viteze de 20-30 m/s**. La rectificarea danturilor drepte mai sunt necesare următoarele **mișcări**:

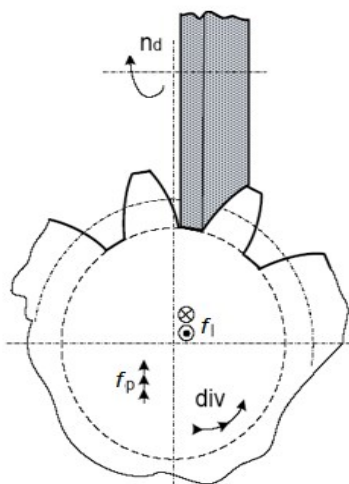
- **Mișcarea de avans longitudinal (rectilinie-alternativă)** de-a lungul dintelui, executată de piesă (8 -12 m/min la degroșare, 5 – 8 m/min la finisare);
- **Mișcarea de avans radial**, executată de sculă (avans de pătrundere la o nouă adâncime de așchiere sau pentru a compensa uzura sculei);
- **Mișcarea de divizare**.
- (la rectificarea dinților elicoidali, semiabricatul execută și o **mișcare de rotație** corelată cu avansul longitudinal pentru generarea elicei dintelui).

În funcție de modul în care discul abraziv materializează profilul danturii, există mai multe **procedee de rectificare prin copiere**: **Procedeele ORCUTT**, **Procedeele SFEDR**, **Procedeele SCHAUDT**.



- **Procedeele ORCUTT** (Fig. 6.87) se bazează pe materializarea completă a golului dintre doi dinți prin discul abraziv (ambele flancuri se rectifică cu aceeași sculă). Profilul discului coincide cu cel al golului danturii și se obține prin profilare cu trei vârfuri de diamant (copiere după șablon). Capacitatea productivă de așchiere și calitatea suprafeței sunt mai scăzute, datorită materializării ambelor flancuri cu partea frontală a discului abraziv.

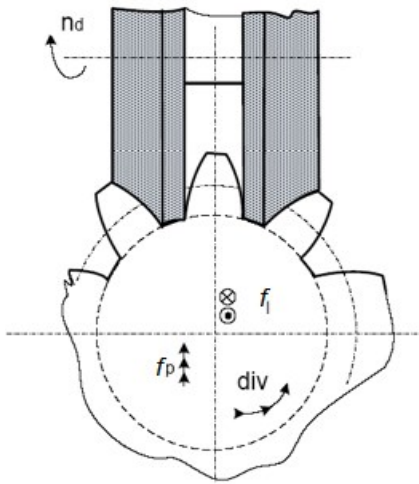
Fig. 6.87. Rectificarea prin copiere a danturilor cilindrice drepte. Procedeele ORCUTT [GYE 91]



- **Procedeele SFEDR** (Fig. 6.88) se bazează pe materializarea unui singur flanc al dintelui situat asimetric, ceea ce asigură o profilare mai convenabilă a discului, respectiv o plasare mai favorabilă a profilului de realizat față de disc. Valoarea excentricității poziției discului este funcție de necesitatea de a rectifica doar flancul sau și baza golului.

Fig. 6.88. Rectificarea prin copiere a danturilor cilindrice drepte. Procedeele SFEDR [GYE 91]

- **Procedeeul SCHAUDT** (Fig. 6.89) se bazează pe materializarea a două flancuri diferite a doi dinți diferiți, simetrici față de axă, folosind două discuri abrazive profilate și aflate în poziție dezaxată. Pe lângă avantajul calității adus de poziționarea excentrică se adaugă și un plus de productivitate. Reglarea poziției discurilor abrazive este însă dificilă.



Rectificarea flancurilor se realizează prin mai multe **treceți de degroșare și finisare**. În cazul rectificării prin copiere este necesară păstrarea în timp a **profilului** discului abraziv, uzura acestuia modificând diametrul și impunând pe lângă reprofilare (periodică sau continuă) și o **compensare prin avansul de pătrundere**.

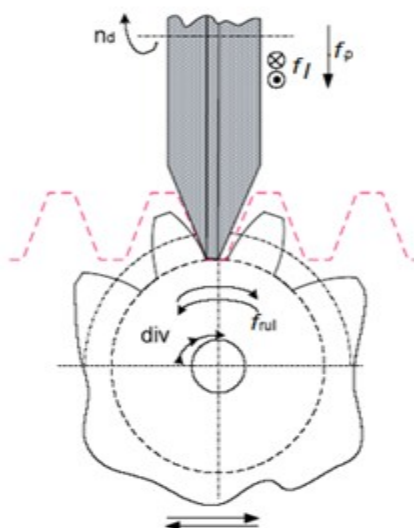
Fig. 6.89. Rectificarea prin copiere a danturilor cilindrice drepte. Procedeeul SCHAUDT [GYE 91]

➤ **Rectificarea danturilor cilindrice drepte sau înclinate prin rulare.**

Rectificarea prin rulare are o productivitate mai mare decât rectificarea prin copiere și se bazează pe angrenarea dintre roata semifabricat și cremaliera generatoare virtuală. Materializarea profilului dinților acestei cremalieri se face prin intermediul sculelor abrazive în formă de **disc (biconic), taler** sau **melc**.

Prelucrarea se poate realiza cu **divizare intermitentă** în cazul utilizării sculelor disc și taler, respectiv cu **divizare continuă**, în cazul folosirii melcilor abrazivi.

- **Procedeeul Nilles**. Are trei variante: **Standard, Pratt, Kolb**.



Varianta Standard (Fig. 6.90) folosește un disc abraziv biconic al cărui profil corespunde cu cel al cremalierii generatoare, având însă grosime mai mică. Discul abraziv materializează aşadar succesiv flancurile unui dinte al cremalierii generatoare, efectuând mişcarea principală de aşchiere (mişcare de rotație) și mişcarea de avans longitudinal (mişcare rectilinie-alternativă).

Piesa execută mişcarea de rulare: o combinație între o mişcare de rotație și o translație. Avansul de rulare se execută mai întâi într-un sens, rectificându-se un flanc al dinților, apoi în sens invers, rectificându-se celălalt flanc. La schimbarea sensului avansului de rulare, se compensează jocul dintre sculă și piesă. Mişcarea de divizare se execută la final, cu discul abraziv în poziție retrasă.

Fig. 6.90. Procedeeul NILLES – varianta Standard [GYE 91]

Varianta Pratt (Fig. 4.91) utilizează un disc abraziv care materializează simultan ambele flancuri ale dintelui cremalierei generatoare. Ciclul de lucru se simplifică, prelucrarea unui gol al danturii având loc la o singură cursă de rulare a piesei, productivitatea fiind astfel superioară celei obținute în varianta standard.

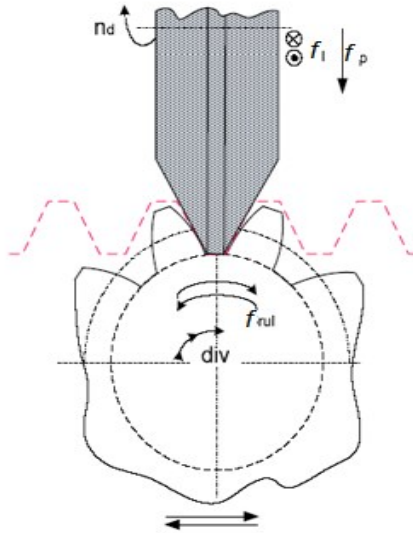


Fig. 6.91. Procedul NILLES – varianta Pratt [GYE 91]

Varianta Kolb (Fig. 6.92) folosește două discuri abrazive biconice de grosimi diferite, montate pe același arbore. Discul cu grosime mai mică realizează degroșarea, iar celălalt finisarea. Așadar, în timp ce un disc finisează un gol al danturii, celălalt degroșează golul următor. Astfel, la o trecere se efectuează complet prelucrarea, obținându-se un spor de productivitate.

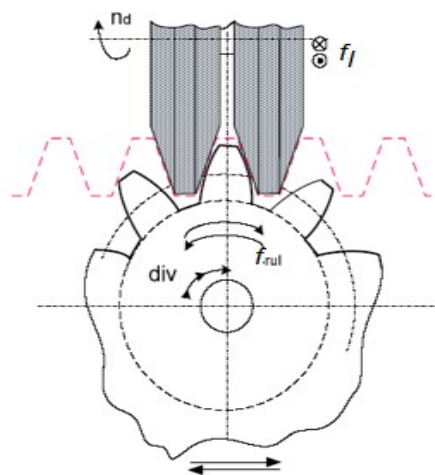


Fig. 6.92. Procedul NILLES – varianta Kolb [GYE 91]

• **Procedul MAAG** folosește două discuri taler care rectifică flancurile aceluiași gol sau două flancuri neomologe. Discurile utilizate fiind tip taler nu materializează fizic flancurile cremalierei generatoare ci cinematic, în timpul mișcării rectilinii-alternative de avans (f_l) efectuate de piesă. Suplimentar, piesa execută mișcarea de rulare și mișcarea periodică de divizare. În cazul rectificării danturilor înclinate piesa mai execută și o mișcare de rotație, corelată cu avansul în lungul dintelui (f_l). Are două variante: **MAAG 0°** și **MAAG 15°** în funcție de unghiul cremalierei generatoare.

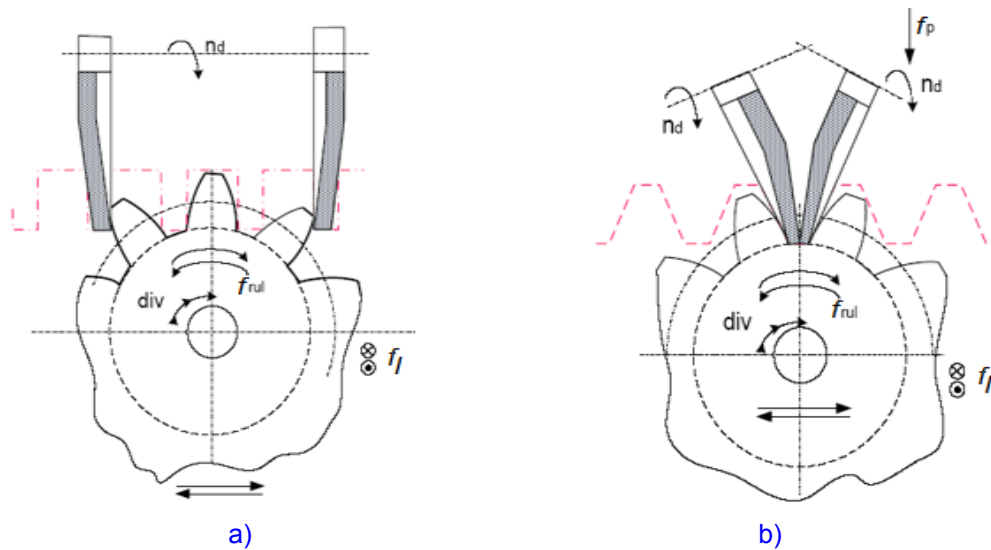


Fig. 6.93. Variantele procedurii de rectificare MAAG: MAAG 0° (a) și MAAG 15° (b) [GYE 91]

La varianta MAAG 0° (Fig. 6.93 a) axele celor două discuri abrazive sunt în același plan orizontal. Contactul dintre discul abraziv și flancul dintelui se realizează liniar, urmele de prelucrare fiind drepte. Poate să apară pericolul de pătrundere a discului abraziv în corpul roții la piciorul dintelui, motiv pentru care se recomandă folosirea la danturare a sculelor cu protuberanță la vârf. Productivitatea procedurii depinde de lungimea cursei rapide de rulare și de lungimea cursei de avans. Aceste lungimi sunt mici în cazul procedurii MAAG 0°, rezultând o capacitate productivă de așchiere ridicată.

La varianta MAAG 15° (Fig. 6.93 b) axele celor două discuri abrazive formează câte un unghi de 15° cu planul orizontal. Discurile sunt dispuse fie în același gol (la module $m > 10$ mm), fie în goluri diferite, la module $m < 10$ mm. Contactul disc-flanc este punctiform, iar urmele de prelucrare rezultă în arce de cerc intersectate.

Procedul MAAG asigură o precizie ridicată, rezultată prin combinația mai multor măsuri:

- Folosirea unor mașini speciale cu lanțuri cinematice generatoare simple care permit reglaje precise iar procesul de așchiere decurge în condiții favorabile.
- Forțe de așchiere și suprafețe de contact mici între discul abraziv și semifabricat.
- Sisteme automate de corectare a discurilor și de compensare a uzurii.

• **Procedul Reishauer.** Prelucrarea se realizează printr-o rulare (rostogolire) continuă și folosește ca sculă un melc abraziv (Fig. 6.94). Profilarea melcului se realizează direct pe mașina de rectificat. Flancurile melcului abraziv, cu profil trapezoidal, înfășoară cremaliera generatoare. Rotirea melcului abraziv transmite cremalierii generatoare o translație imagină în direcția axei melcului. Pentru a angrena cu cremaliera mobilă, roata (semifabricatul) trebuie să se rotească. Procedul are o precizie și o productivitate ridicată. Productivitatea mare rezultă prin numărul mare de puncte de contact sculă-piesă, din continuitatea procesului de rulare și absența curselor în gol, din cursele scurte de intrare și ieșire ale sculei și din rigiditatea mare a sculei.

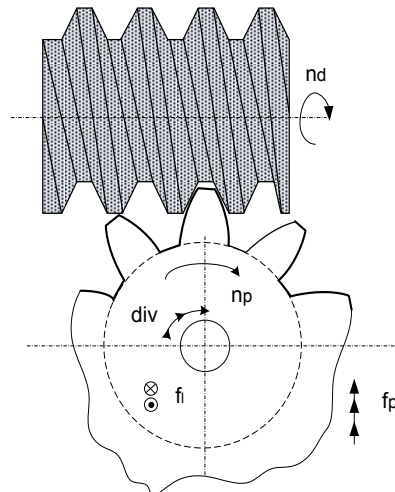
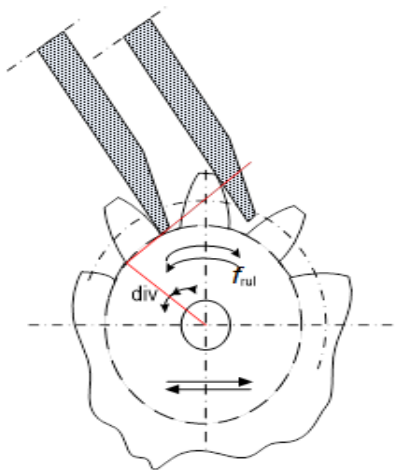


Fig. 6.94. Procedeu de rectificare REISHAUER [GYE 91]

Precizia de prelucrare este mare, mai ales în ceea ce privește constanța de pas și direcția danturii. Pe de altă parte, precizia depinde și de precizia geometriei melcului abraziv, de calitatea materialului abraziv și de precizia echilibrării dinamice în procesul de așchiere.



- **Procedeu LEES BRADNER.** Acest procedeu utilizează un disc abraziv de diametru mare (600 – 800 mm) care materializează în întregime, cu partea frontală, un flanc al cremalierii generatoare (Fig. 6.95). Semifabricatul execută atât mișcarea de rulare (translație corelată cu rotație) cât și mișcarea de divizare pentru rularea flancului omolog din golul următor.

Fig. 6.95. Procedeu de rectificare LEES BRADNER [GYE 91]

Sistemul tehnologic are o rigiditate ridicată care permite creșterea forței de așchiere, respectiv a zonei de contact sculă-piesă. Avansul longitudinal este evitat, discul abraziv prelucrând piesa simultan pe toată lățimea sa. Se impune ca zona de înălțime n rectificată (h) să se încadreze în limitele jocului de la baza dinților.

Productivitatea procedurii este foarte mare, existând și avantajul de a rectifica numai câte un flanc (pentru roțile care în exploatare se rotesc într-un singur sens). Dacă este necesară rectificarea ambelor flancuri, după prelucrarea pe un flanc a tuturor dinților, piesa se întoarce cu 180° pe dorn și se rectifică celălalt flanc al dinților.

Capitolul 7. FABRICAȚIA ECOLOGICĂ

7.1. Ecoproiectarea și ecoeficiența

Ecoproiectarea are ca scop principal obținerea de **produse ecologice**. Aprecierea calității unui produs din punct de vedere ecologic se face prin **volumul prejudiciilor** asupra mediului înconjurător pe întreg **ciclu de viață**. Evaluarea acestor prejudicii este o operație complexă care poate conduce la creșterea duratei și costului proiectării.

Ecoproiectarea are la bază mai multe componente (Fig. 7.1), care în ultima perioadă sunt sintetizate în complexul denumit **Proiectarea pentru X**, unde X poate semnifica: **M - Mediu**, **P - Prelucrare**, **A - Asamblare**, **D - Dezasamblare**, **F – Fabricație**, **R - Reciclare**, **Î - Întreținere**, **CV - Ciclu de Viață**, etc.

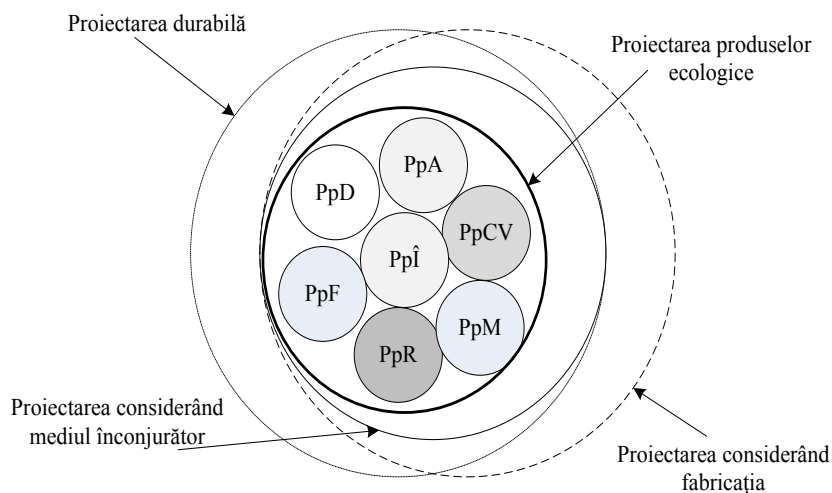


Fig. 7.1. Componentele Ecoproiectării [ROS 07]

Proiectarea considerând mediul este o strategie amplă de dezvoltare de produse prietenoase cu mediul prin instrumente specifice combinate cu instrumente CAD, care oferă date și algoritmi despre starea produsului în raport cu mediul, cu luarea în considerare și a costurilor.

Proiectarea pentru prelucrare este practica de configurare a produsului luând în considerare aspectele de execuție, în vederea reducerii costurilor, fără sacrificarea calității. Proiectarea pentru prelucrare poate fi privită ca având trei componente principale:

- **selectarea procedurii** are la bază criteriile de performanță ale elementului, toleranțele impuse, volumul producției, complexitatea, costurile cu sculele, dispozitivele și verificatoarele;
- **reducerea numărului de operații** asociat procedurii, presupune eliminarea fazelor redundante și combinarea fazelor;
- **optimizarea formei și dimensiunilor** elementelor și subansamblelor, considerând și particularitățile procedurii.

Proiectarea pentru asamblare are la bază filozofia și practica încorporării necesităților de funcționare și de configurare ale unui produs în fazele primare de proiectare pentru a asigura o asamblare ușoară și economică, asigurând timpi de asamblare și costuri ale operațiilor de asamblare reduse, precum și sugestii de reproiectare.

Proiectarea pentru dezasamblare având obiective diferite se deosebește de proiectarea pentru asamblare prin următoarele aspecte:

- Se preferă, de multe ori, dezasamblarea incompletă care este mai eficientă decât cea completă;
- Procesul de asamblare, uneori, este nereversibil;
- Valoarea adăugată la dezasamblare este mult mai redusă decât la asamblare;
- Există incertitudini la dezasamblare privitor la calitatea componentelor;
- La asamblare se impune un înalt nivel de precizie și acțiunile sunt repetabile fără apariția de incertitudini.

Pornind de la aceste considerente, în multe situații, dezmembrarea se realizează manual și mai puțin pe linii automate sau robotizate.

Proiectarea pentru întreținere este calea folosită în fazele primare de proiectare pentru mărirea abilităților unui produs pentru a fi oprite și refăcute condițiile specifice, în perioada de folosire, urmărind mentenanța ușoară și eficientă, utilizând ghiduri specifice.

Proiectarea pentru Reciclare / Reutilizare este procesul de proiectare în care atributele de mediu – reciclabilitatea / refolosirea – sunt preferate și tratate ca obiective separate pentru menținerea sau îmbunătățirea performanțelor de funcționare și de viață ale unui produs.

Proiectarea pentru mediu este procesul de proiectare care, spre deosebire de proiectarea tradițională - cu considerarea funcționalității, costurilor, esteticii, ergonomiei – consideră, în plus, aspecte ecologice pentru conservarea și refolosirea resurselor mediului înconjurător, optimizarea consumurilor energetice și de materiale, minimizarea generării de deșeuri și eliminarea totală a efectelor negative asupra vieții, pe toată durata ciclului de viață.

Noțiunea de **eficiență** ocupă un loc important în elaborarea politicilor și practicilor de mediu ale corporațiilor importante. **Eficiența** are un sens economic. Prin **eliminarea deșeurilor** și **folosirea mai rațională a resurselor**, companiile eficiente pot reduce costurile și pot deveni mai competitive. Prin adoptarea standardelor referitoare la performanțele de mediu, companiile eficiente vor fi avantajate în pătrunderea pe noi piețe de desfacere și extinderea celor deja existente. Așa cum reiese din figura 7.2 se recomandă gruparea modalităților de obținere a eficienței în trei categorii:

- **Procese curate:** modificarea proceselor de producție și tehnologiilor astfel încât acestea să genereze mai puține deșeuri și mai puțină poluare.
- **Produse curate (Producție curată):** modificarea proiectului și a materialelor din componența produsului astfel încât să genereze mai puține deșeuri și poluare pe parcursul întregului ciclu de viață al produsului. Datorită faptului că fabricația nu este decât o etapă din ciclul de viață, obținerea de produse mai curate include dezvoltarea unor procese mai curate, dar permite mai multe schimbări fundamentale ale produsului.

- **Folosirea rațională a resurselor:** modificarea întregului sistem de producție, inclusiv relațiile cu furnizorii și clienții, astfel încât să se consume mai puține resurse materiale și energetice pe unitatea de valoare produsă.

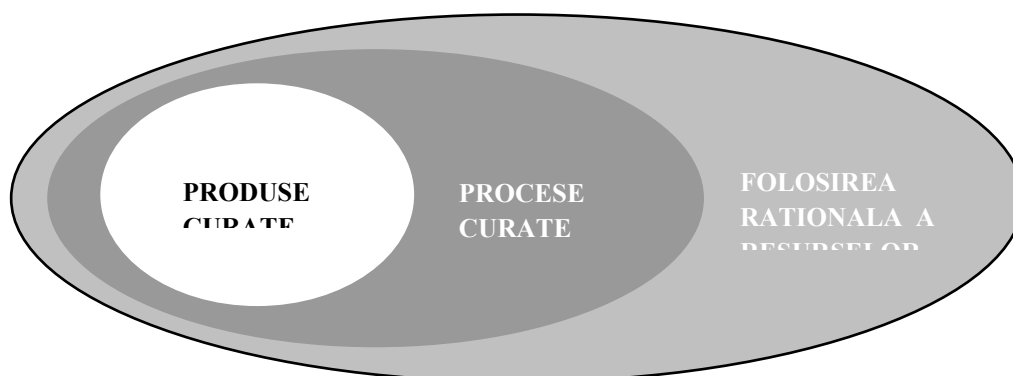


Fig. 7.2. Căi de obținere a ecoeficienței [ROS 07]

Producția curată reprezintă producția bazată pe atenta **evaluare a produsului**, încă din faza concepției acestuia, cu scopul de a asigura că atât produsul cât și procesele legate de acesta, în toate fazele ciclului său de viață (de la extracția materiilor prime, fabricație, ambalare, consum/utilizare, colectarea și tratarea deșeurilor), **promovează** interesele comunității, în particular, în ceea ce privește mediul.

5.2. Lichide de aşchiere

Un **bilanț ecologic complet** și **corect** nu poate fi realizat în prezent fără a fi luate în considerare poluarea produsă de aşchiile rezultate, respectiv de lichidele de aşchiere utilizate în timpul proceselor de prelucrare. Legislația de mediu stipula încă din 2002 faptul că în haldele de deșeuri nu pot fi stocate decât deșeurile nereciclabile.

Materialele de răcire și ungere pot ajuta în procedeele de aşchiere și deformare prin reducerea forței de frecare și limitarea uzurii sculei. Ele reprezintă în industrie cel mai important material auxiliar cu ajutorul căruia este posibilă folosirea la maxim a puterii mașinilor-unelte moderne. Aceste materiale auxiliare folosite în prelucrarea metalelor fac posibilă:

- realizarea de produse de înaltă calitate prin aplicarea unor tehnologii de prelucrare precise;
- creșterea durabilității sculei;
- creșterea vitezelor de prelucrare.

Utilizarea **materialelor de prelucrare auxiliare** (lichide de aşchiere) constituie un factor de risc pentru mediul înconjurător. Numeroasele probleme generate de utilizarea materialelor de aşchiere (**poluarea mediului înconjurător, sănătatea muncitorilor, problemele de eliminare - tratare**), ca și legislația tot mai restrictivă în acest domeniu, fac ca materialele auxiliare folosite în procesele de aşchiere să se situeze tot mai mult în centrul atenției.

Problemele **ecologice** și **economice** generate de lichidele de aşchiere pot fi într-un fel rezolvate prin utilizarea procedeelelor de prelucrare uscată. Pentru obținerea unor suprafețe la **calitatea** și **precizia** dorite și

menținerea unei **durabilități** cât mai mari a sculelor așchietoare, adesea utilizarea lichidelor de așchiere este **indispensabilă**.

Alegerea lichidelor de așchiere pentru prelucrarea prin așchiere a metalelor este o problemă complexă a cărei rezolvare depinde de informațiile furnizate de producătorii acestor materiale și experiența dobândită în procesele de lucru. Pe lângă scopurile concrete ale proceselor de prelucrare trebuie avute în vedere și alte aspecte atunci când se face alegerea lichidelor de așchiere.

În acest sens, trebuie să se țină cont și de: **condițiile de așchiere**, **mașinile-unelte utilizate**, **programul de fabricație** și, nu în ultimul rând, de cerințele referitoare la **protecția muncitorilor**, **instalațiilor** și a **mediului înconjurător**.

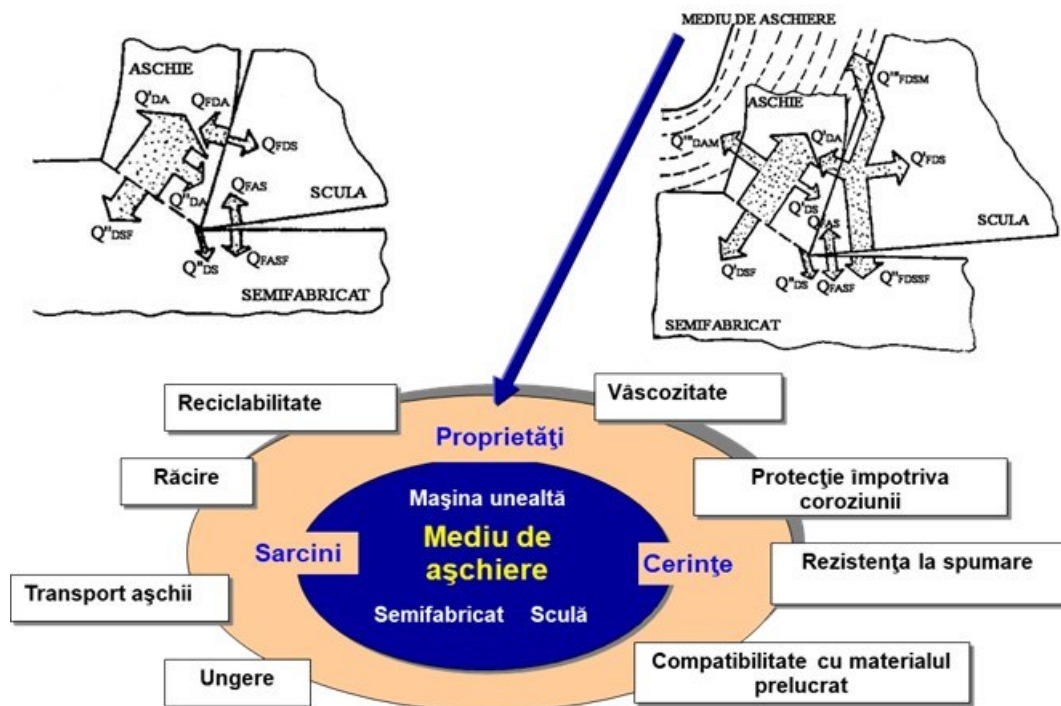


Fig. 7.3. Selectarea lichidelor de așchiere [FRA 03]

O imagine generală a elementelor caracteristice care trebuie analizate în vederea alegerii lichidelor de așchiere este prezentată schematic în figurile 7.3, 7.4 și 7.5.

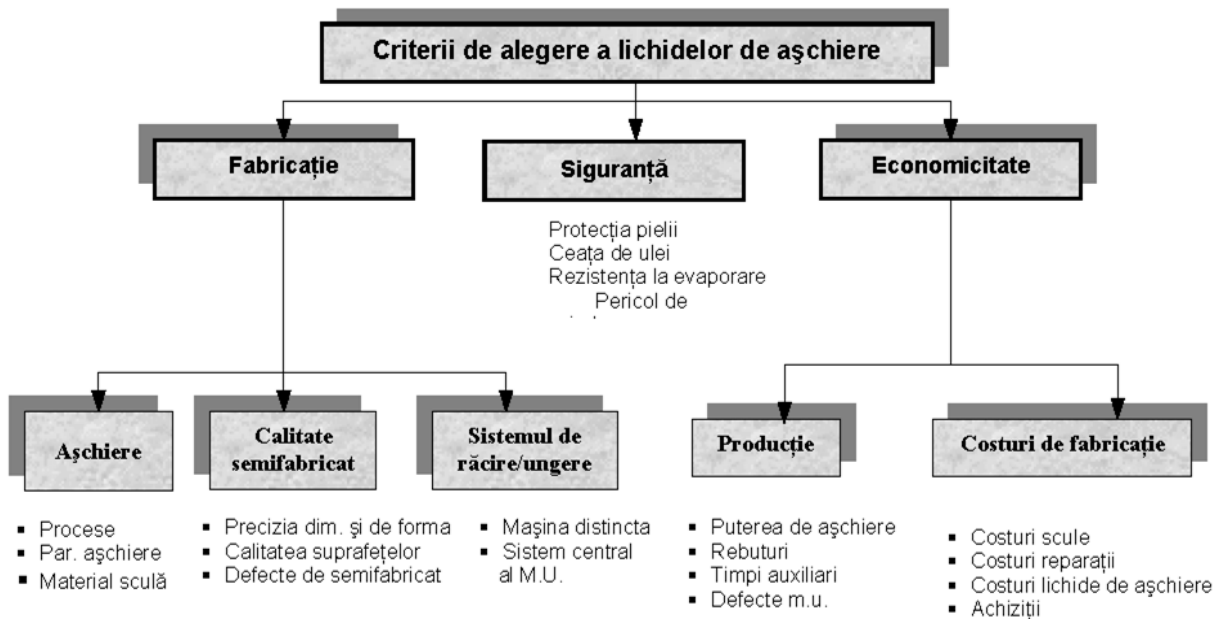


Fig. 7.4. Criterii de alegere a lichidelor de aşchiere [FRA 03]

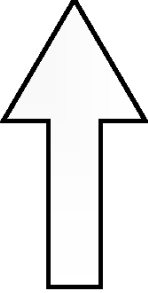

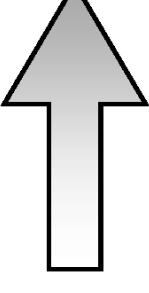
Procese de aşchiere	Gradul de dificultate al aşchierii	Viteza de aşchiere	Materialul de aşchiere (ungere/răcire)
Broşare	Mare  Redus	Mică  Mare	Ulei/amestecuri fără apă  Amestecuri pe bază de apă
Filetare			
Danturare			
Găurire adâncă			
Debitare			
Retezare			
Găurire			
Frezare cu fr. cilindrice			
Frezare			
Strunjire			

Fig. 7.5. Alegerea lichidelor de aşchiere în funcție pe procesul de prelucrare [FRA 03]

7.3. Tehnici ecologice de aşchiere

În ciuda recunoașterii generale a beneficiilor utilizării **lichidelor de aşchiere**, a fost deja demonstrat **impactul negativ** al acestora asupra mediului de lucru și a mediului înconjurător. O mai bună performanță a lichidelor de aşchiere înseamnă, în general, un efect poluant mai intens.

O parte a eforturilor întreprinse în scopul minimizării efectelor poluante asupra mediului înconjurător, o constituie încercările de **minimizare a consumului lichidelor de aşchiere** și eventual chiar **eliminarea** acestora. În prezent legislația și reglementările tot mai stringente privind protecția mediului transformă tehnicile de prelucrare ecologică într-o tendință în domeniul proceselor de aşchiere.

Procedeul de prelucrare cu ungere și răcire minimală reprezintă o alternativă la procedeul de prelucrare cu ungere și răcire prin jet continuu de lichid de aşchiere și poate fi descrisă ca:

- tehnica de ungere cu cantitate minimă de lichid de aşchiere;
- ungere și răcire minimală;
- ungere minimală;
- prelucrare cu microsistem de dozare;
- ungere prin micro jet;
- quasi - sau pseudo prelucrare uscată.

Tehnica de ungere-răcire minimală este caracterizată prin faptul că prin intermediul unui **dispozitiv special**, o cantitate foarte mică de lichid de aşchiere special este **dozată** și **direcționată** în zona de aşchiere. Printr-o ungere, respectiv răcire eficientă, procesul de aşchiere este îmbunătățit.

Această tehnică poate fi descrisă și ca un procedeu de **pseudo-aşchiere uscată** deoarece se consumă doar o mică cantitate de lichid de aşchiere, utilizată la maxim. Prin aceasta se elimină necesitatea folosirii unor sisteme costisitoare de tratare și prelucrare a lichidelor de aşchiere uzate. Pe de altă parte, trebuie avute în vedere și avantajele economice pe care le implică folosirea în practică a acestei tehnici de prelucrare. Cele mai importante caracteristici ale acestei tehnici sunt:

- **Reducerea volumului de lichide** utilizat, printr-un consum extrem de redus (**5 -150 ml/oră**)
- Lichidele de aşchiere sunt utilizate în proporție de **100%**, **neexistând lichide reziduale** la sfârșitul procesului de prelucrare.
- **Costurile** pentru **colectarea, stocarea, tratarea**, respectiv **eliminarea** lichidelor de aşchiere reziduale cu potențial poluant sunt **eliminate**.

Principalele avantaje ale tehnicilor ecologice de prelucrare prin aşchiere sunt:

- eliminarea costurilor foarte mari pentru procurarea și eliminarea lichidelor de aşchiere;
- eliminarea instalațiilor necesare pentru alimentarea, depozitarea, filtrarea și transportul lichidelor de aşchiere;
- eliminarea costurilor tot mai mari pentru tratarea și repregătirea lichidelor de aşchiere;
- minimizarea cheltuielilor pentru tratarea aşchiilor obținute prin obținerea directă a aşchiilor uscate.

În figura 7.6 tehnicile de prelucrare cu ungere și răcire minimală sunt prezentate comparativ cu varianta clasică a prelucrării prin aşchiere (la care răcirea se face cu jet continuu de lichid de aşchiere asigurând eficient și simultan răcirea, ungerea și transportul aşchiilor). Aceste cerințe sunt **parțial îndeplinite** de conceptele alternative: **Prelucrare cu ungere minimală** (ungere bună) și **Prelucrare uscată** (nici una din cerințe nu este îndeplinită).

Ulterior, prin introducerea unui nou concept, acela de **Prelucrare cu răcire minimală** (cu răcirea semifabricatului sau a sculei), combinații ale procedeelor anterior amintite, ca și a unor metode noi de evacuare și tratare a aşchiilor rezultate în urma prelucrării, au putut fi îndeplinite toate cerințele impuse de buna desfășurare a procesului.

În cazul tehnicii de aşchiere cu ungere și răcire minimală mediile lichide de aşchiere sunt dirijate fie spre **sculă** fie spre zona de **prelucrare** (punctul de contact dintre sculă și semifabricat) în cantități reduse. Acest lucru se face **cu** sau **fără** ajutorul unui **mediu de transport** (de exemplu, aer).

Concept	Concept de bază	Concepte alternative		Alte concepte alternative (în curs de elaborare)				
		PC	PUM	PU	PUM		PU	
					+absorbție	+absorbție +MKT	+absorbție	+absorbție +MKT +Acop.met.
Efecte								
Ungere	●	●●	○	●●	●●	○	●	
Răcire	●	◐	○	◐	●	○	●	
Spălare	●	○	○	●	●	●	●	
PC - Prelucrare cu răcire cu jet continuu PUM - Prelucrare cu ungere minimala PU - Prelucrare uscata PRM - Prelucrare cu răcire minimala								

Fig. 7.6. Îndeplinirea cerințelor de Răcire, Ungere și Spălare [FRA 03]

În cazul sistemelor de dozare "fără aer", acestea 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 și internă

- **Sisteme de dozare cu alimentare externă** (Fig. 7.7)

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.

Aceasta metode și 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 raportul $L/D < 3$.

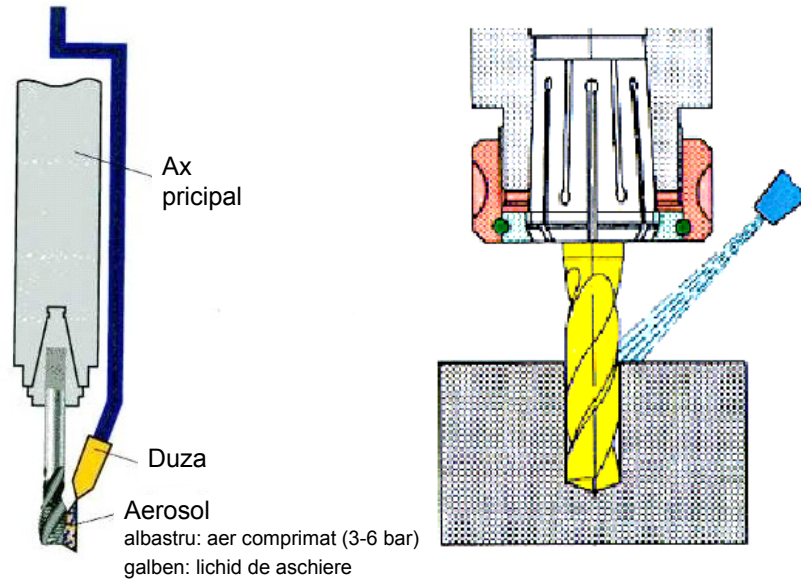


Fig. 7.7. Sistem de dozare cu alimentare externă [FRA 08]

Sistemul de dozare cu alimentare externă poate ridica și o serie de **probleme** în cazul operațiilor de prelucrare la care se utilizează mai multe scule cu lungimi și diametre diferite. În asemenea situații trebuie realizată o ajustare corectă a poziției duzelor sistemului de dozare, fie **manual**, fie cu ajutorul unui **sistem de deplasare** comandat prin unitatea de comandă a mașinii. În funcție de lungimea și diametrul sculei, duzele pot fi poziționate **axial**, **radial** sau **rotite sub un anumit unghi**.

- **Sisteme de dozare cu alimentare internă** (Fig. 7.8)

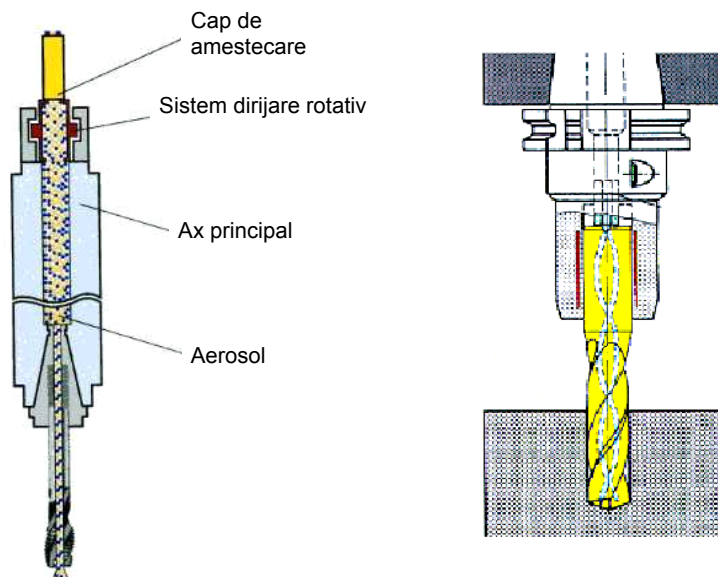


Fig. 7.8 Sistem de dozare cu alimentare internă [FRA 08]

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.

1. Sistem de pulverizare cu joasă presiune (Fig. 7.9)

În acest caz duzele de pulverizare care funcționează conform principiului injectorului sunt alimentate cu o **presiune foarte mică a aerului (<1 bar)**. Mediul de aşchiere este absorbit datorită formei duzelor și pulverizat sub formă de picături.

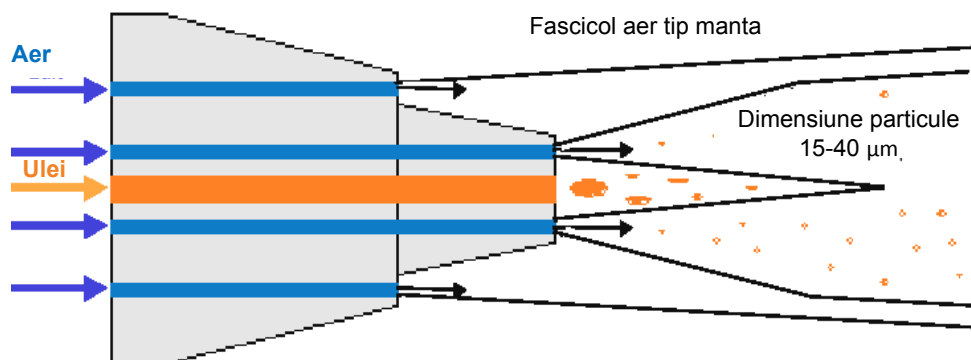
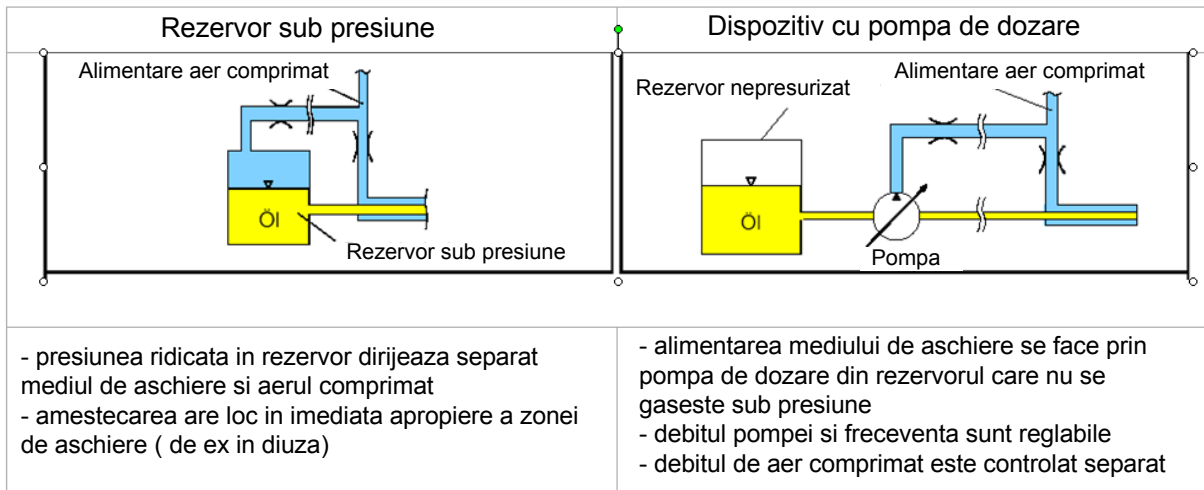


Fig. 7.9 Sistem de dozare de joasă presiune [FRA 08]

2. Sisteme de dozare cu presiune înaltă (Fig. 7.10)

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 exemplu **pompe cu piston**)



Echipeamente cu suprapresiune cu alimentare separata a mediului de aschiere si a aerului comprimat

Fig. 7.10 Sistem de dozare cu suprapresiune [FRA 08]

3. Sisteme de dozare cu alimentare /amestecare axială și coaxială (Fig. 7.11)

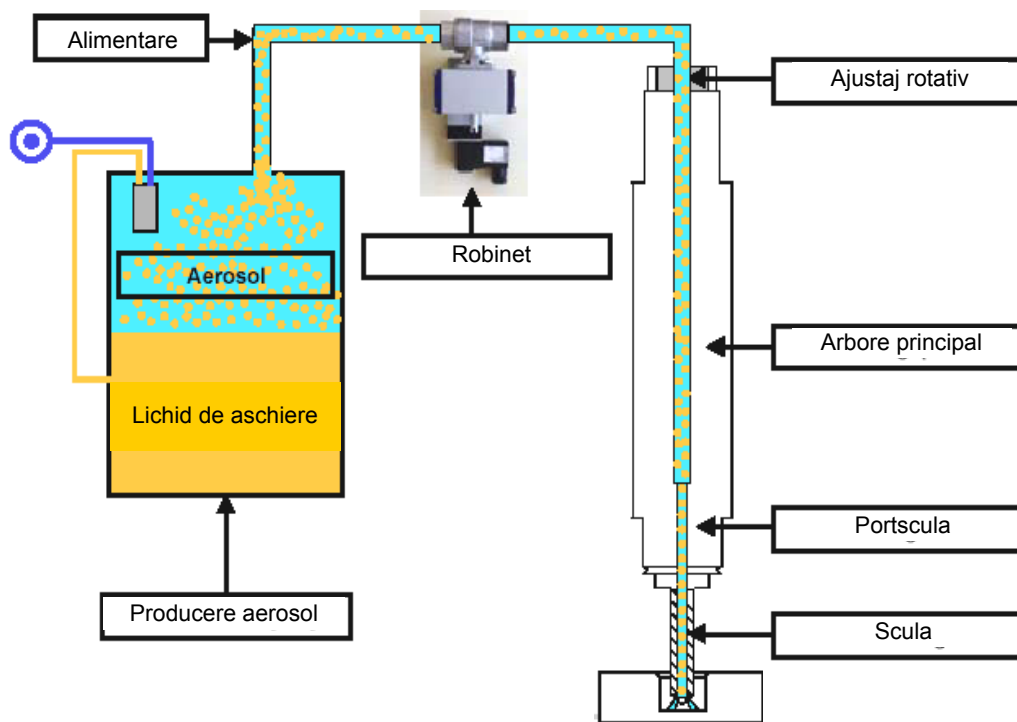


Fig. 7.11. Sistem cu alimentare coaxială [FRA 08]

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. 7.12), amestecul de aerosol se formează în exteriorul dispozitivului, iar canalul de alimentare servește drept cale de alimentare pentru amestec.

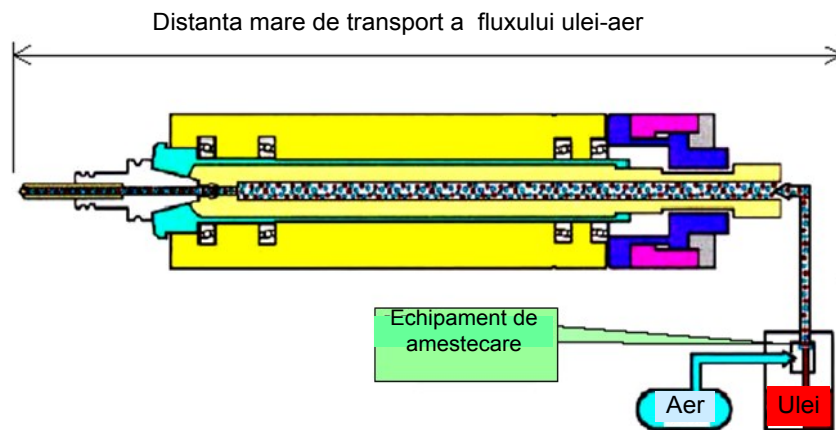


Fig. 7.12. Sistem cu alimentare axială [FRA 08]

La acest tip de procese trebuie avut în vedere că amestecul fluxurilor de aer și de lichid de așchiere 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 așchiere) poate să conducă la neuniformități în formarea jetului de aerosol.

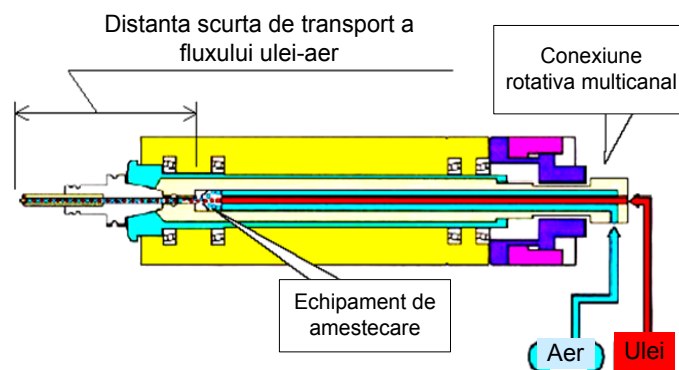


Fig. 7.13. Sistem cu amestecare coaxială [FRA 08]

În cazul sistemelor de dozare cu două canale de alimentare (Fig. 7.13) uleiul de așchiere și aerul comprimat sunt dirijate separat prin dispozitiv. Lichidul de așchiere și aerul comprimat sunt alimentate prin două furtunuri dispuse coaxial (unul în altul) și dirijate astfel spre zona de prelucrare.

Amestecul aer-ulei de așchiere este realizat direct înainte de a intra în contact cu scula. Cerința principală este ca o cantitate suficientă de lichid de așchiere să ajungă în punctul de prelucrare când procesul de așchiere 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 așchiere poate curge prin pompă cu volum constant este ușor de controlat cantitatea de lichid de așchiere dispersată. Presetări ale volumului lichidelor de așchiere 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.
- Se poate trece ușor la ungerea și răcirea minimală de la metodele convenționale, fără a fi necesară schimbarea axului principal.

5.4. Implementarea în practică a tehnicilor ecologice de aşchiere

Implementarea prelucrării uscate nu poate fi realizată prin simpla deconectare a sistemului de dozare a lichidelor de aşchiere. Lichidul de aşchiere îşi îndeplineşte funcţiile specifice, care în absenţa sa trebuie preluate de alte componente ale sistemului tehnologic. Aplicabilitatea în practică a acestor tehnici este prezentată succint în figurile 7.14 – 7.17.

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.

Omiterea (neglijarea, 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 (de exemplu: [utilizarea sculelor cu acoperiri metalice](#), implementarea unor [sisteme de absorbție / evacuare a aşchiilor](#) din zona de aşchiere).

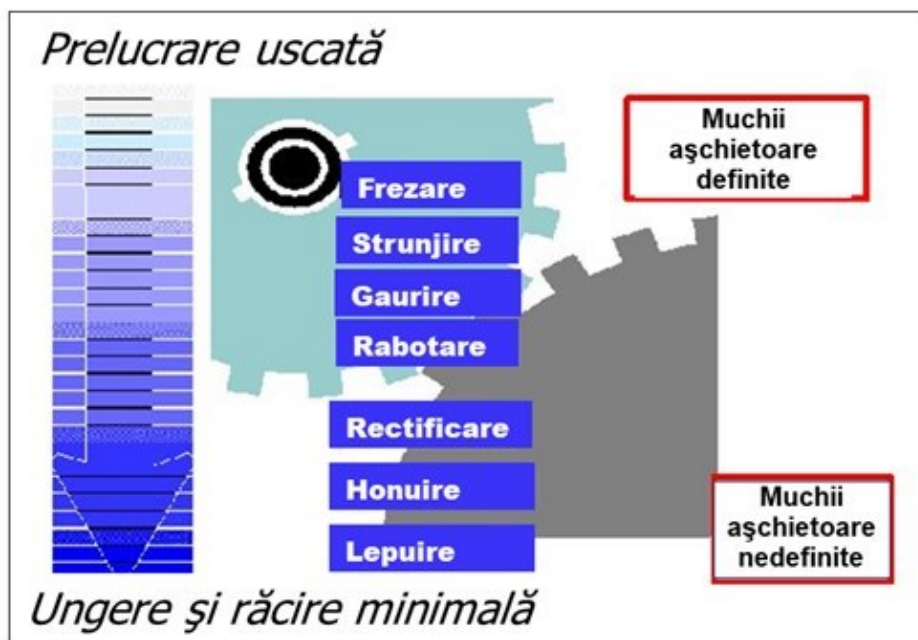


Fig. 7.14. Implementarea tehnicilor ecologice de aşchiere în practică [FRA 03]

Tipul materialului sculei	PUM	PU
Oțel de scule		-
Oțel rapid		
Metale dure		
Carburi metalice		
Nitrură cubică de bor		
Diamant		

- aplicabilitate foarte bună ; - se aplică foarte rar

Fig. 7.15. Aplicabilitatea PUM și PU în funcție de materialul sculei [FRA 03]

Proces de fabricație	PUM	PU
Strunjire		
Frezare cu capete de frezat	-	
Frezare profilată		
Găurire		
Filetare		
Debitare		-
Rectificare		-

- aplicabilitate foarte bună ; - se aplică foarte rar

Fig. 7.16. Aplicabilitatea PUM și PU funcție de tipul procesului de așchiere [FRA 03]

Tipul mașinii unelte	PUM / PU
M.U convenționale	
M.U.C.N individuale	
Centre de prelucrare CNC	
Celule flexibile de fabricație CNC	
Linii flexibile de fabricație	

- aplicabilitate foarte bună ; - se aplică foarte rar

Fig. 7.17. Aplicabilitatea PUM și PU pe diferite categorii de mașini-unelte [FRA 03]

Criteriile generale de evaluare a tehnicilor ecologice sunt:

- rezultatele prelucrării (precizia dimensională, calitatea suprafeței prelucrate),
- consum de energie (forțele de așchiere, putere),
- eficiența prelucrării (uzura sculei),
- productivitate,
- siguranța procesului (fragmentarea așchilor, poluare).

Capitolul 8. TEHNOLOGII DE PRELUCRARE PRIN PRESARE LA RECE

8.1. Principii generale

Tehnologiile de prelucrare prin presare la rece sunt procedee de prelucrare specifice producției de serie mare și de masă din industria de automobile.

Piese și semifabricatele obținute prin prelucrarea tablelor sau benzilor la rece au o precizie dimensională ridicată, astfel încât se asigură *interschimbabilitatea* totală la asamblare și nu mai necesită prelucrări mecanice prin așchiere. În industria de automobile se execută prin prelucrarea tablelor 60...75% din numărul total de piese.

Prin înlocuirea pieselor turate și forjate cu piese prelucrate prin deformare la rece și ștanțate se poate reduce greutatea pieselor cu 25...50%, consumul de metal cu 20...70%, iar volumul de muncă cu 50...80%. Concomitent crește rigiditatea și rezistența pieselor ca urmare a nervurilor imprimate și a ecruisării metalului.

Productivitatea foarte ridicată a utilajelor și dispozitivelor de ștantare și matrițare la rece, determinată și de posibilitatea mecanizării și automatizării proceselor de fabricație, face ca deformarea la rece și ștanțarea să fie utilizate în producția de serie mare și de masă.

Procesele de prelucrare prin deformare plastică la rece au următoarele particularități:

- Operațiile se realizează prin presare la rece,
- Materialul prelucrat se prezintă sub formă de benzi și foi metalice (nemetalice),
- Sculele cu care se realizează operațiile de tăiere se numesc ștanțe, iar pentru operațiile de deformare – matrițe,
- Utilajele folosite sunt prese sau mașini automate de diferite tipuri care creează și aplică forța de lucru necesară,
- Forma și dimensiunile pieselor prelucrate prin presare la rece, corespund cu suficientă precizie formei și dimensiunile elementelor active ale sculelor.

Avantaje tehnice și economice ale acestor procedee de prelucrare constau în:

- Productivitate ridicată (piese mici pe prese rapide: 2000-3000 piese/min),
- Realizarea de piese cu configurație complexă (unele imposibil de realizat prin alte procedee),
- Utilizarea materialului în condiții raționale, cu pierderi minime,
- Sculele au durabilitate ridicată (utilizare eficientă în cazul unor producții mari),
- Precizia pieselor prelucrate poate fi (după necesitate) foarte ridicată,

- Performanțele realizate în obținerea pieselor depind de calitatea sculelor, mașinilor și materialului de prelucrat (nu de calificarea muncitorilor),
- Piesele obținute prin ștanțare și matrițare la rece sunt caracterizate prin greutateți reduse, rezistență ridicată, rigiditate mare,
- Posibilități largi de mecanizare și automatizare a proceselor tehnologice.

În același timp prelucrările prin deformare plastică la rece au și o serie de **dezavantaje**:

- Sculele utilizate sunt uneori de complexitate ridicată și costisitoare,
- Aplicarea procedeelor este condiționată în unele cazuri de schimbarea formei pentru ca aceasta să fie tehnologică,
- Utilaje costisitoare.

Procedeele de deformare plastică la rece se aplică semifabricatelor confecționate din următoarele materiale:

- Oțel carbon laminat (plasticitate ridicată, rezistență mică la deformare),
- Oțel aliat pentru presare la rece,
- Aluminiu și aliaje din aluminiu,
- Aliaje de magneziu.

8.2. Clasificarea operațiilor de presare la rece

Prelucrarea metalelor prin **deformare la rece** cuprinde:

- Operații de tăiere,
- Operații de deformare,
- combinații ale acestora (tăiere și deformare).

fără încălzirea prealabilă a acestora și fără îndepărtare/eliminare de așchii.

Sculele cu ajutorul cărora se execută prelucrarea se numesc **ștanțe** (atunci când se realizează **tăierea** materialelor), respectiv **matrițe** (când se execută **deformarea** sau **combinații de tăiere și deformare** a materialului). Datorită particularităților prelucrării prin deformare la rece această metodă de fabricare a pieselor mai este denumită și **presarea la rece sau ștanțarea și matrițarea la rece**.

Operațiile de presare la rece pot fi așadar clasificate în două categorii principale:

- **Ștanțarea** – separarea parțială sau totală a semifabricatului prin forfecare. Dacă aceste operații de separare se realizează prin forfecare la foarfece fără dispozitiv se numesc operații de tăiere.
- **Matrițarea** - operațiile se execută numai prin deformare plastică, cu modificarea formei și a dimensiunilor semifabricatului.

În cadrul proceselor de presare la rece se regăsesc mai multe **grupe de operații**:

1. Separare
2. Deformare prin îndoire
3. Deformare prin presiune și tragere

4. Deformare prin presiune

5. Îmbinare prin deformare

8.3. Grupa de operații: Separare (Tăiere)

Tăierea constituie o grupă de procedee de prelucrare prin presare la rece la care are loc separarea materialului, totală sau parțială, după un contur închis sau deschis. Taierea se poate face:

- **cu foarfece** sau
- **cu ștanțe** (ștanțarea).

Tăierea cu foarfece se utilizează pentru obținerea semifabricatelor individuale sau chiar a pieselor de dimensiuni mari, precum și pentru obținerea fâșiilor care se utilizează ulterior ca benzi la ștanțarea și matrițarea pieselor și se realizează prin diferite procedee:

- Tăierea cu foarfece-ghilotină,
 - Tăierea la foarfece cu cuțite paralele (Fig. 8.1),
 - Tăierea cu foarfece cu discuri,
 - Tăierea cu foarfece cu vibrații.
- **Forfecarea** reprezintă o operație de tăiere după un contur deschis (liniar sau curbiliniu), realizată cu ajutorul a două tăișuri asociate.

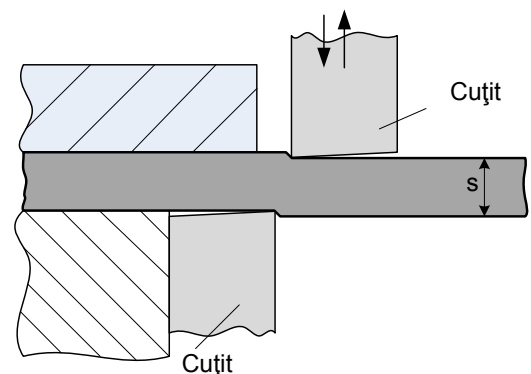


Fig. 8.1. Operația de forfecare [TAP 80]

Tăierea cu ștanțe se numește **ștanțare** (Fig. 8.2) și cuprinde mai multe procedee:

- **Retezare** (Fig. 8.3),
- **Decupare** (Fig. 8.6),
- **Perforare** (Fig. 8.7),
- **Crestare** (Fig. 8.5),
- **Tăierea marginilor (Tundere)** (Fig. 8.4).

Decuparea și perforarea se execută cu ajutorul unor scule denumite **ștanțe**. Ștanțele se compun din **două elemente principale**, numite elemente active: **poansonul** (1) și **placa activă** (2).

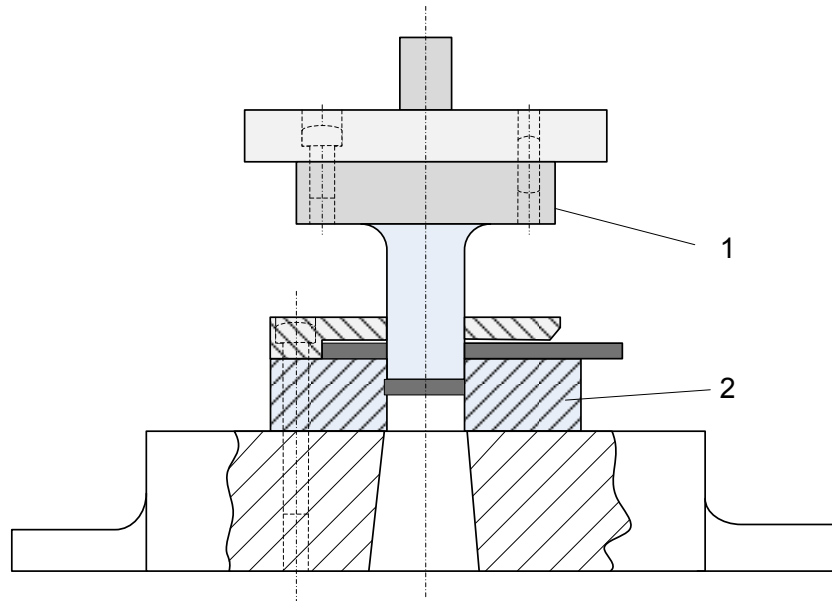


Fig. 8.2. Tăierea cu ștanțe [TAP 80]

- **Retezarea** este o operație de tăiere după un contur deschis în sens transversal.

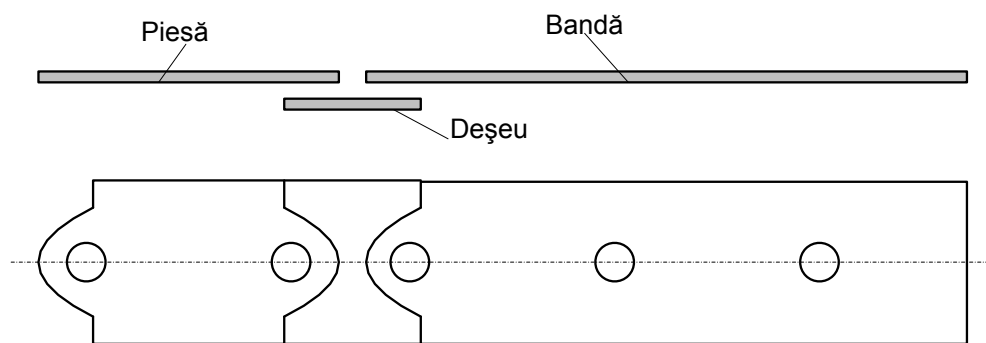


Fig. 8.3. Operația de retezare [TAP 80]

- **Tăierea marginilor (Tunderea)** reprezintă operația de tăiere a surplusului de material la marginea semifabricatului.

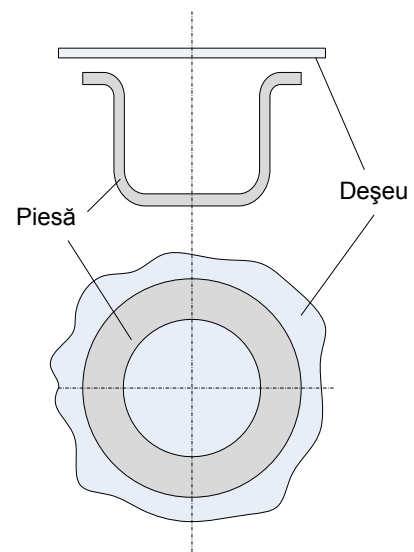


Fig. 8.4. Operația de tundere [TAP 80]

- **Crestarea** constituie o operație de tăiere după un contur deschis pentru separarea parțială a unei părți de material.

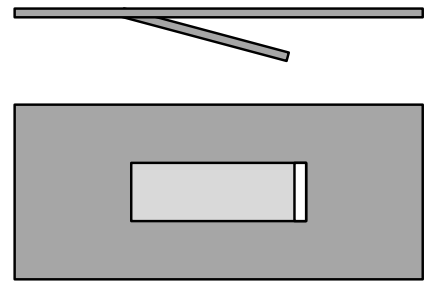


Fig.8.5. Operația de crestare [TAP 80]

- **Decuparea** este operația de tăiere după un contur închis, pentru separarea completă a unor semifabricate sau piese ($d > 5s$).

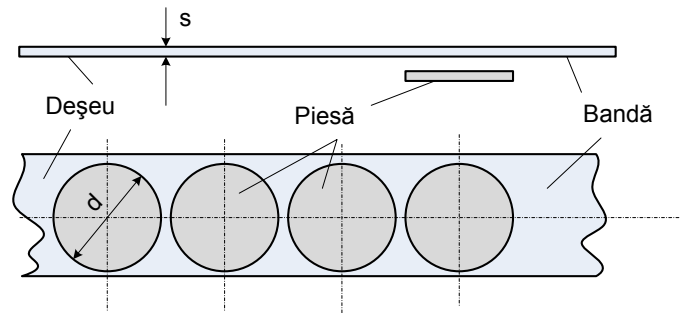


Fig. 8.6 Operația de decupare [TAP 80]

- **Perforarea** este o operație de tăiere după un contur închis, pentru separarea completă a unei părți de material ce constituie deșeu ($d > 5s$).

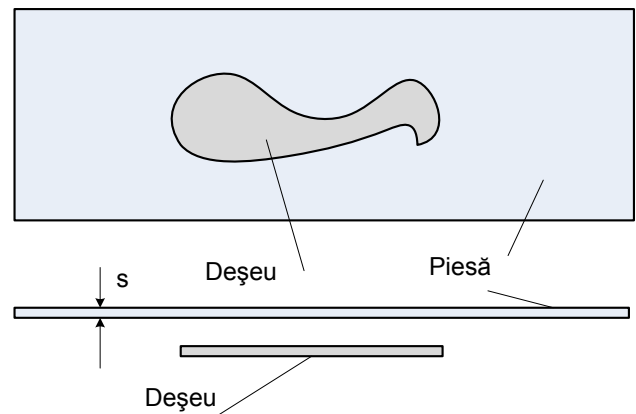


Fig. 8.7. Operația de perforare [TAP 80]

8.4. Grupa de operații: Deformare prin îndoire

- **Îndoirea** este o operație de deformare pentru modificarea formei unui semifabricat prin încovoire în jurul unei axe cu raza de curbură dată (plană sau spațială) (Fig. 6.8).

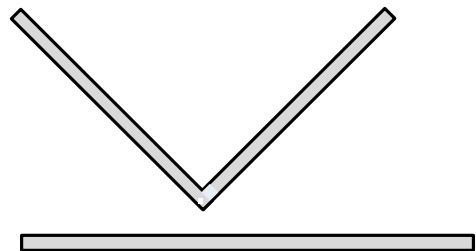


Fig. 6.8. Operația de îndoire [TAP 80]

- **Profilarea** reprezintă operația de deformare prin îndoire a tablelor și benzilor pe muchii sau generatoare paralele între ele și paralele cu marginea lor inițială, în scopul obținerii de profile (Fig. 8.9).

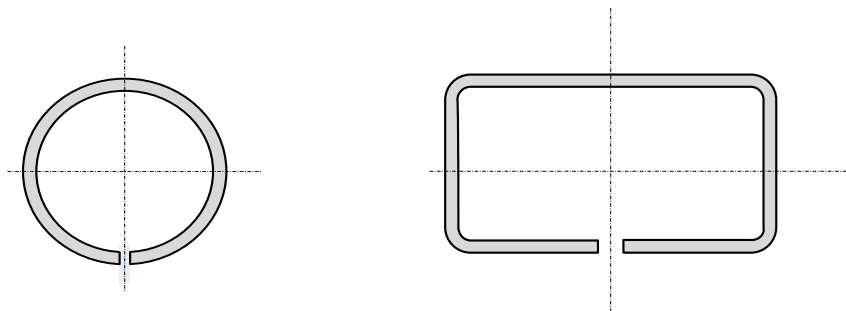


Fig. 8.9. Operația de profilare [TAP 80]

- **Curbarea** reprezintă o operație de deformare prin îndoire a tablelor și benzilor pentru a le da o formă cilindrică sau conică (Fig. 8.10).

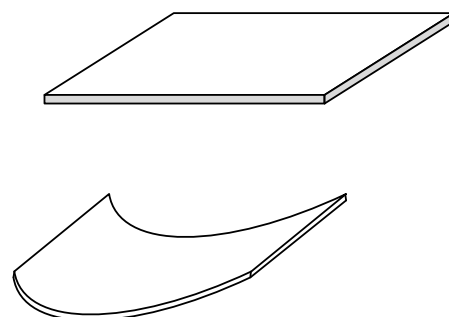


Fig. 8.10. Operația de curbare [TAP 80]

- **Roluirea** este operația de deformare prin îndoire a marginii unui semifabricat plan, pentru a se forma total sau parțial o suprafață cilindrică de diametru mic (Fig. 8.11).

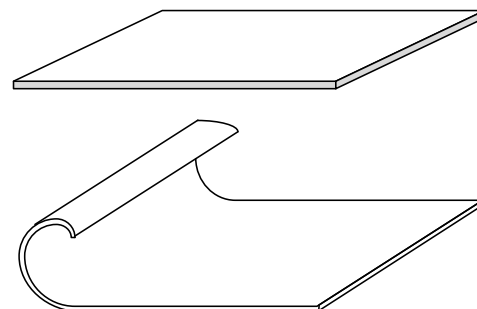


Fig. 8.11. Operația de roluire [TAP 80]

- **Înfășurarea** este o operație de deformare prin îndoire în vederea obținerii unor piese sau semifabricate de formă elicoidală (Fig. 8.12).

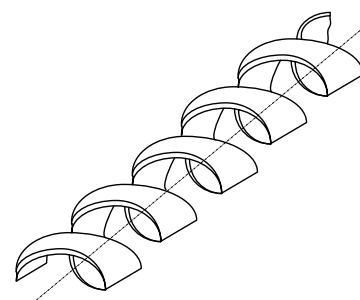


Fig. 8.12. Operația de înfășurare [TAP 80]

8.5. Grupa de operații: Deformare prin presiune și tragere

- **Ambutisarea** reprezintă o operație de deformare prin modificarea formei unui semifabricat de la forma plană la cea cavă sau mărirea adâncimii unui semifabricat cav (cu sau fără modificarea intenționată a grosimii pereților). Se realizează cu ajutorul unei **matrițe** care are ca elemente principale un poanson (1) și o placă de ambutisat (2) (Fig. 8.13, Fig. 8.14).

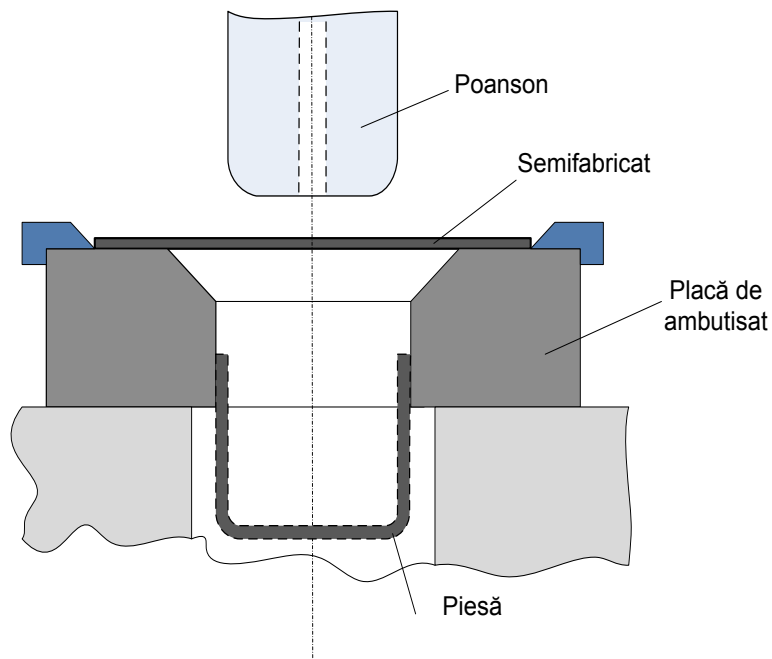


Fig. 8.13. Operația de ambutisare [TAP 80]

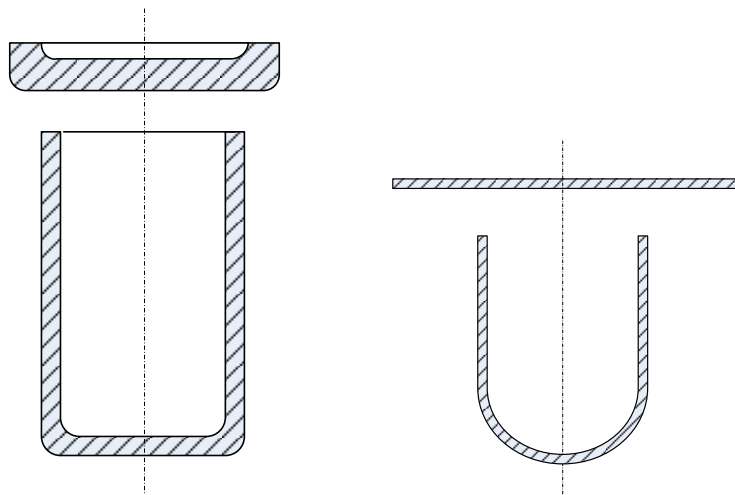


Fig. 8.14. Operația de ambutisare: fără modificarea condiționată a grosimii materialului (stânga), cu modificarea a grosimii materialului (dreapta) [TAP 80]

Pentru evitarea deplasărilor tangențiale ale materialului (în cazul prelucrării pieselor adânci cu pereți subțiri) se recomandă procesul **de ambutisare cu inel de reținere** (Fig. 8.15).

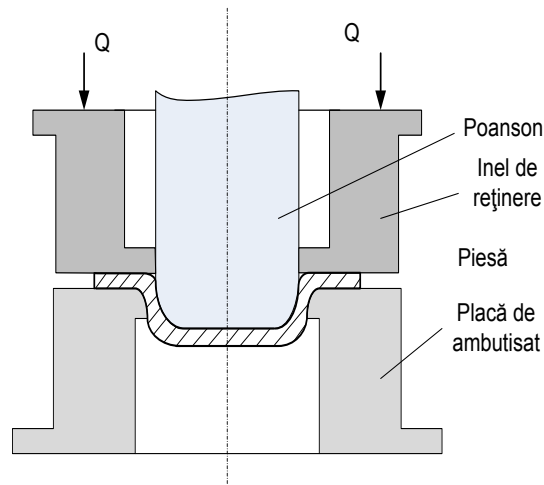


Fig. 8.15. Ambutisare cu inel de reținere [TAP 80]

- **Bordurarea** (Fig. 6.16) este operația de deformare pentru modificarea formei marginii unei piese. Are ca scop mărirea rigidității și rotundirea marginilor pieselor.
- **Umflarea** (Fig. 8.17) constă din deformarea unor piese cave sau țevi în vederea măririi dimensiunilor transversale, astfel încât la capăt piesa să aibă aceleași dimensiuni. Lărgirea pieselor are loc prin întinderea materialului în direcție radială din interior spre exterior.

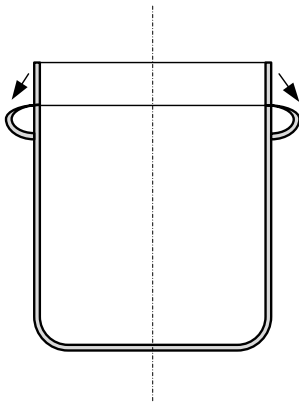


Fig. 8.16. Operația de bordurare [TAP 80]

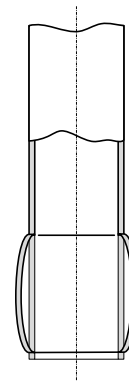


Fig. 8.17. Operația de umflare [TAP 80]

- **Lărgirea** (Fig. 8.18) constituie operația de deformare pentru modificarea prin mărirea progresivă spre capăt a diametrului unei țevi sau piese cave.

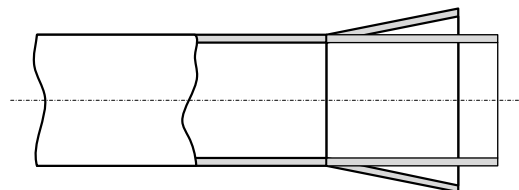


Fig. 8.18. Operația de lărgire [TAP 80]

- **Gâtuirea** (Fig. 8.19) este operația de deformare a unor piese cave sau țevi în vederea reducerii dimensiunii transversale.

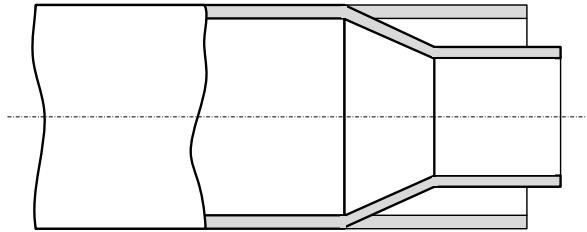


Fig. 8.19. Operația de gâtuire [TAP 80]

- **Fasonarea** (Fig. 8.20) reprezintă un procedeu de prelucrare a tablelor prin modificarea locală a formei semifabricatului.

Un exemplu de operație de fasonare este reliefarea unui filet din tablă cu păstrarea constantă a grosimii tablei (operație nestandardizată). Unde nu poate fi aplicată filetarea prin așchiere datorită grosimii mici a peretelui (de exemplu filetul soclului de la bec).

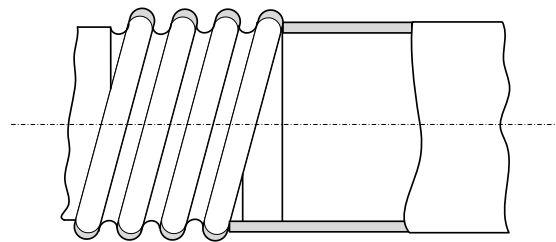


Fig. 8.20. Operația de filetare prin fasonare [TAP 80]

- **Planarea** (Fig. 8.21) este fasonarea pieselor din tablă în vederea realizării unei planeități îmbunătățite (operație nestandardizată).

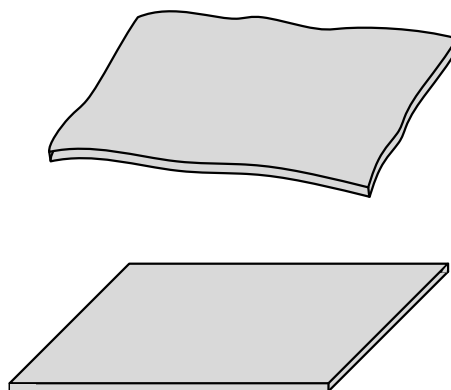


Fig. 8.21. Operația de planare [TAP 80]

8.6 Grupa de operații: Deformare prin presiune

- **Matrițarea** (Fig. 8.22) este un procedeu de deformare a materialului cu ajutorul unor matrițe, metalul luând forma și dimensiunile locașului matriței.

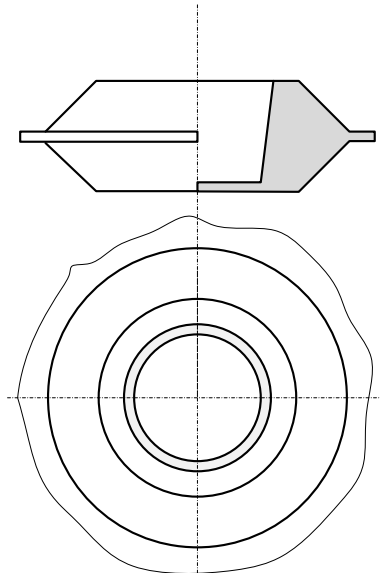


Fig. 8.22. Operația de matrițare [TAP 80]

- **Extrudarea** este procedeu de deformare a materialului prin trecerea forțată a acestuia printr-un orificiu. Există trei procedee de extrudare de bază: **extrudare directă**, **extrudare inversă**, **extrudare mixtă** (Fig. 6.25).

La **extrudarea directă** (Fig. 8.23) curgerea materialului are loc în același sens cu deplasarea poansonului pentru obținerea de bare, profile sau țevi. În cazul **extrudării inverse** (Fig. 8.24) curgerea materialului are loc în sens invers deplasării poansonului pentru obținerea de piese cave de regulă cu pereți subțiri.

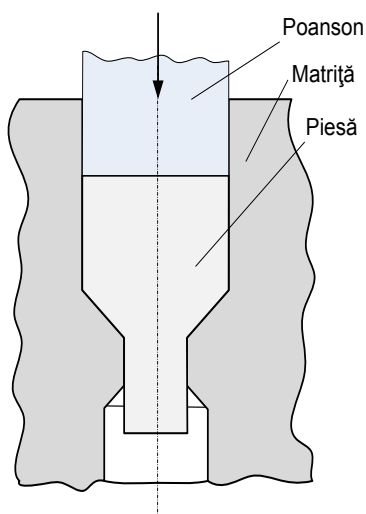


Fig. 8.23. Operația de extrudare directă [TAP 80]

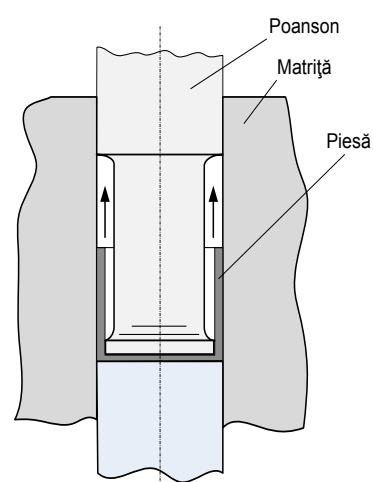


Fig. 8.24. Operația de extrudare inversă [TAP 80]

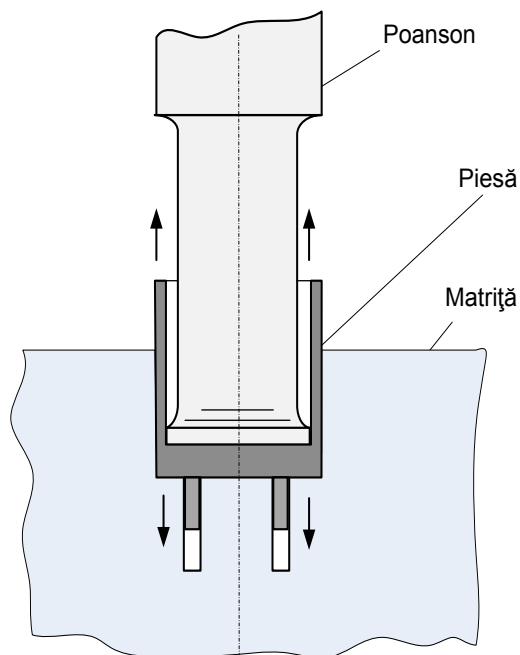


Fig. 8.25. Operația de extrudare mixtă [TAP 80]

- **Rularea** (Fig. 8.26) reprezintă operația de deformare a stratului superficial de material, fie pentru a imprima pe suprafețe cilindrice filete, inscripții sau alte reliefări, fie pentru ecruisarea suprafeței.
- **Imprimare**
- **Punctare**
- **Căpuirea** (Fig. 8.27) este operația de deformare pentru a se realiza cel de-al doilea cap la nituri.
- **Dornuirea** (Fig. 8.28) este operația de deformare cu ajutorul unui dorn, pentru obținerea unei găuri în material.

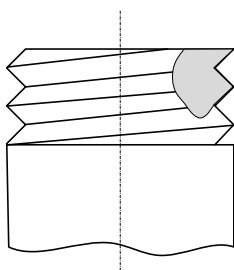


Fig. 8.26. Operația de rulare

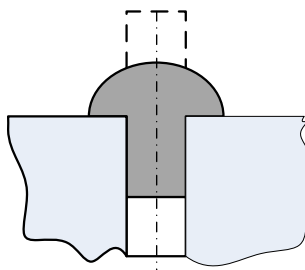


Fig. 8.27. Operația de căpuire

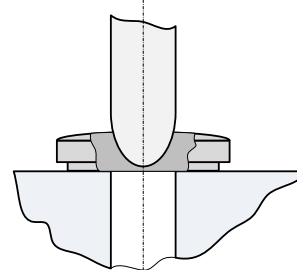


Fig. 8.28. Operația de dornuire

- **Refularea** (Fig. 8.29) este o operație de deformare prin presare, obținută prin deplasarea locală a materialului în scopul măririi parțiale sau totale a secțiunii transversale.

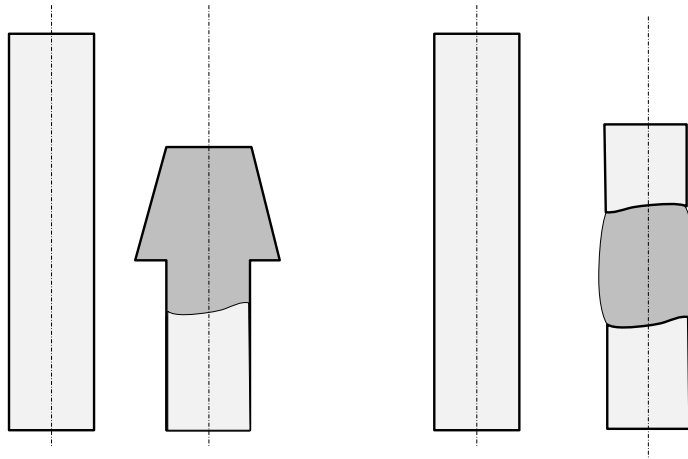


Fig. 8.29. Operația de refulare [TAP 80]

- **Lățirea (aplatizarea)** (Fig. 8.30) este operația de deformare prin presare pentru a mări pe o anumită porțiune lățimea materialului sau pentru a-i reduce înălțimea.

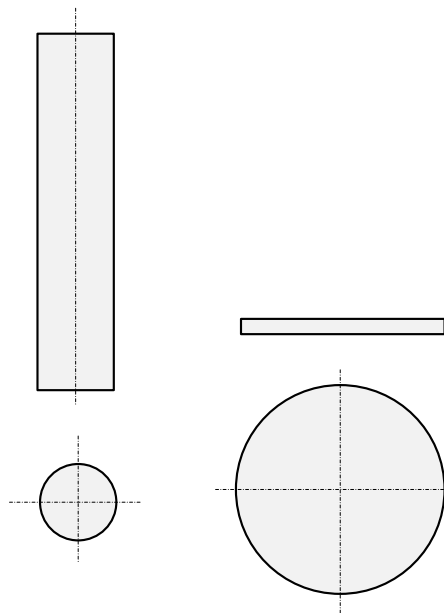


Fig. 8.30. Operația de lățire [TAP 80]

8.7. Grupa de operații: Îmbinare prin deformare

- **Capsarea** (Fig. 8.31) reprezintă operația de îmbinare prin deformare a două sau mai multe piese prin deformarea unor capse sau a gulerului uneia dintre piese.

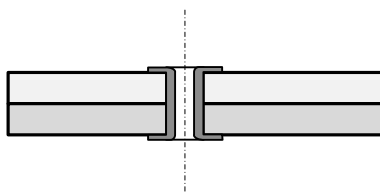


Fig. 8.31. Operația de capsare [TAP 80]

- **Sertizarea** (Fig. 8.32) este o operație de îmbinare a două sau mai multe piese prin deformarea parțială a metalului la una din piese în jurul celeilalte.

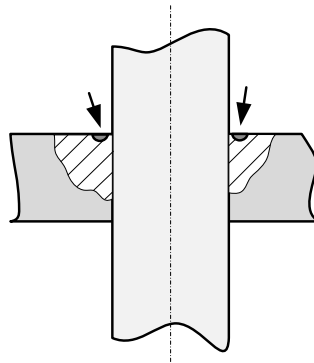


Fig. 8.32. Operația de sertizare [TAP 80]

- **Nituirea** (Fig. 8.33) este o operație de îmbinare a două sau mai multe piese prin căpuirea unor nituri care le străbat.

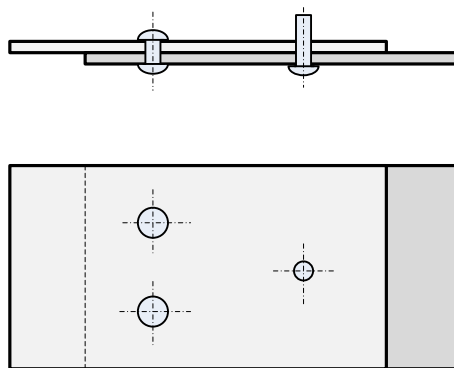


Fig. 8.33. Operația de nituire [TAP 80]

Capitolul 9. TEHNOLOGII NECONVENȚIONALE

Tehnologiile neconvenționale sunt complementare metodelor uzuale de fabricație prin așchiere și deformări plastice. Tehnologiile neconvenționale pot fi clasificate în mai multe grupe, așa cum este prezentat în continuare:

1. Eroziunea electrică
2. Eroziunea electro-chimică
3. Prelucrarea cu ultrasunete
4. Prelucrarea cu laser
5. Prelucrarea cu fascicul de electroni
6. Tăierea cu jet de apă
7. Prelucrarea cu jet abraziv

9.1. Eroziunea electrică

Eroziunea electrică constă în prelucrarea materialelor utilizând energia termică a scânteilor produse în zona de lucru prin descărcare electrică. Nu există contact între sculă (electrod) și piesă, zona de descărcare a scânteilor fiind înconjurată de un **material dielectric**: petrol sau apă deionizată. Atât **semifabricatul** cât și **electrodul** trebuie să aibă o bună **conductivitate termică**. Dielectricul își păstrează proprietățile până la temperatura de ionizare, când devine conductiv electric și în zona de lucru se poate produce scânteierea.

9.1.1. Eroziunea electrică cu electrod masiv (Fig. 9.1)

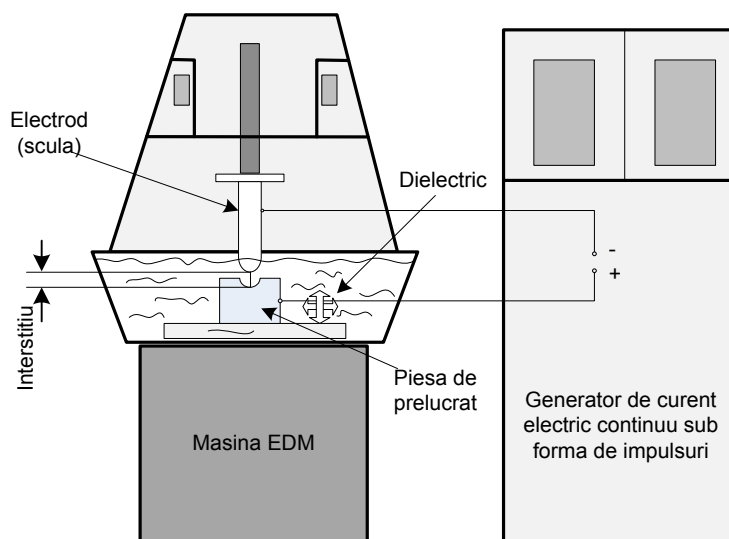


Fig. 9.1. Schema de principiu a mașinii de prelucrare prin eroziune electrică [BAL 01]

Prin descărcarea electrică (Fig. 9.2) are loc topirea și vaporizarea materialului din piesă. Tendința de **inițiere a descărcării** este accentuată de:

- Dimensiunea redusă a interstițiului,
- Tensiune mai mare,
- Existența particulelor de la descărcările anterioare în zona de lucru.

Energia descărcării electrice vaporizează și descompune dielectricul ce înconjoară coloana de descărcare electrică. Zona de lucru mică este încălzită la o temperatură ridicată, astfel încât o mică porțiune din materialul piesei este prelevată și îndepărtată, datorită depășirii temperaturii de topire (Fig. 9.3). Particulele desprinse sunt înlăturate de fluidul dielectric (Fig. 9.4).

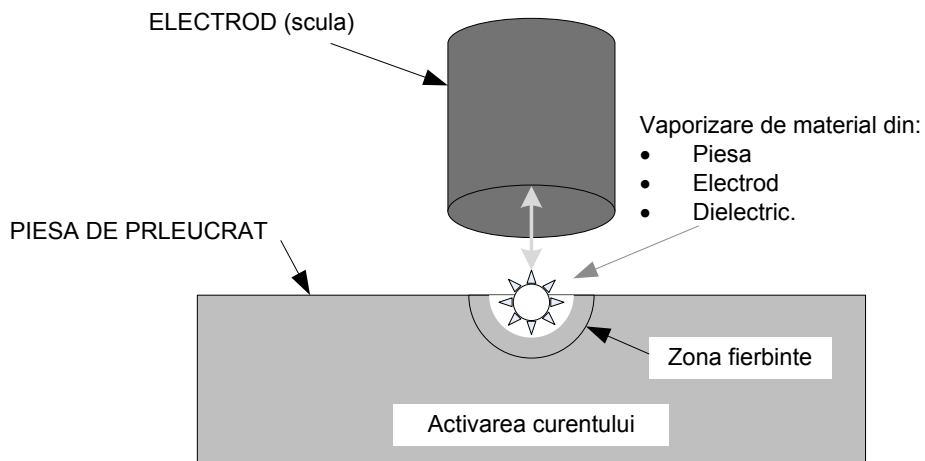


Fig. 9.2. Inițierea descărcării electrice [BAL 01]

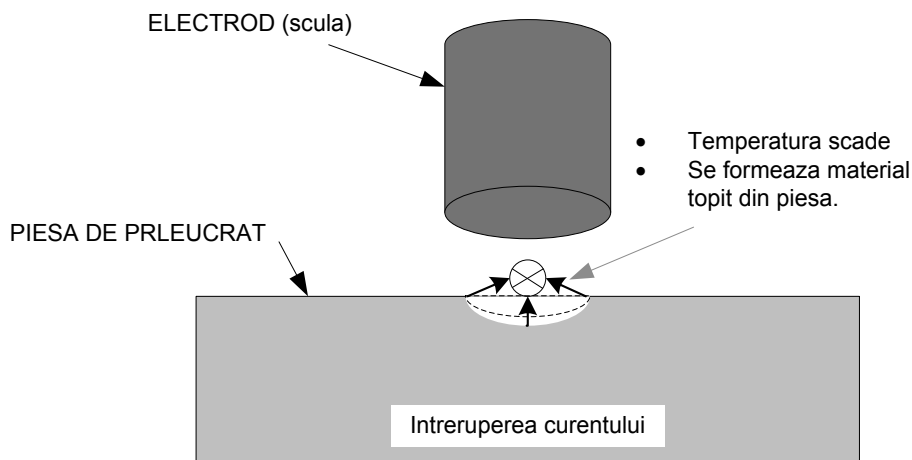


Fig. 9.3. Formarea particulelor desprinse din piesă [BAL 01]

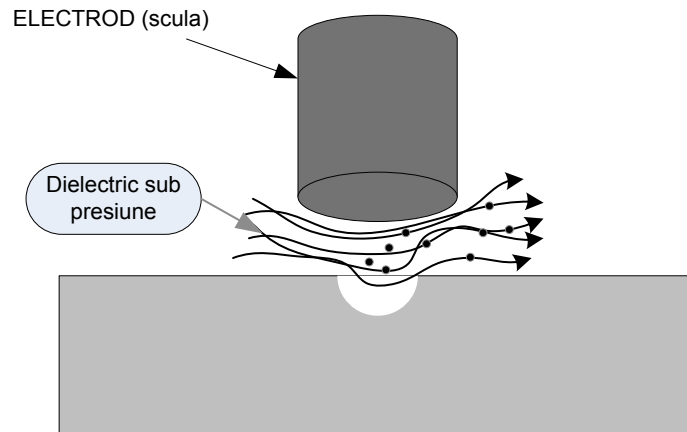


Fig. 9.4. Înlăturarea particulelor desprinse din piesă [BAL 01]

Parametrii procesului de eroziune electrică sunt:

1. **Descărcarea.** Mărimea craterului produs în piesă depinde de energia descărcării determinată de:
 - Diferența de tensiune în timpul descărcării,
 - Intensitatea curentului de descărcare,
 - Intervalul de timp în care curentul trece prin dielectric.
2. **Capacitatea.** (Creșterea capacității determină creșterea energiei și timpului de descărcare). Eficiența este maximă când inductanța circuitului este menținută la o valoare cât mai mică, ceea ce înseamnă o dimensiune cât mai mică a interstițiului între sculă (electrod) și piesă.
3. **Fluidul dielectric** are următoarele **funcții**:
 - Izolator între sculă și piesă,
 - Răcește zona de prelucrare,
 - Preia și îndepărtează particulele desprinse,
 - Influențează uzura electrozudului și viteza de prelucrare.
 Totodată fluidul dielectric are următoarele **proprietăți**:
 - Vâscozitate scăzută,
 - Proprietăți dielectrice bune,
 - Să nu conțină produse acide sau alcaline,
 - Să aibă conținut și nivel cunoscut de toxicitate.
4. **Deionizarea.** Când descărcarea este completă, tensiunea din interstițiu este menținută la o valoare scăzută, așteptând să se producă deionizarea dielectricului.
5. **Frecvența.** Ciclul de prelucrare cuprinde timpul de descărcare și timpul de așteptare. Creșterea frecvenței determină îmbunătățirea calității suprafeței prelucrate.
6. **Viteza de prelucrare** depinde de volumul de material îndepărtat de fiecare scânteie și de frecvența descărcărilor. Volumul de material îndepărtat de o scânteie depinde de energia de descărcare, care poate fi crescută prin creșterea intensității curentului.

$$W = \frac{1}{2} \cdot E \cdot I \cdot t$$

7. **Zona afectată** de căldura degajată este de (0,002 – 0,013) mm. Rugozitatea obținută este de $Ra = (1,6 – 3,2) \mu\text{m}$; (la degroșare – 12,5 μm , la finisare – 0,1 μm).

9.1.2. Tăierea prin electro-eroziune cu fir (Fig. 9.5)

Procedeul este similar cu electroeroziunea cu electrod masiv, bazându-se pe principiul de îndepărtare prin topire a materialului. Se folosește ca electrod o **sârmă subțire** (din **Cu, alamă, tungsten, molibden**) cu diametrul **$d = 0,08 – 0,3 \text{ mm}$** , care se deplasează între două role, trecând prin piesă.

Piesa este fixată pe masa mașinii ale cărei deplasări în planul XY pot fi controlate pentru a tăia forma dorită. Piesa și firul sunt spălate continuu de lichidul dielectric. Duritatea și rezistența materialului de prelucrat influențează viteza de prelucrare (metale dure tratate termic, carburi sinterizate, etc.).

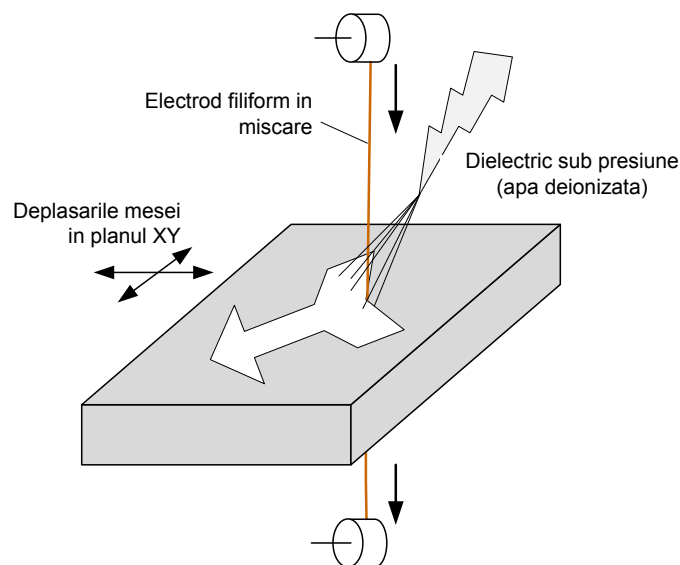


Fig. 9.5. Schema procedurii de tăiere prin eroziune electrică cu electrod filiform [BAL 01]

Parametrii procesului de electro-eroziune cu electrod filiform sunt:

- Tensiunea: 55 – 60V,
- Intensitatea: 1 – 32 A,
- Frecvența: 180 – 300 KHz (durata unui impuls 1 – 100 μs).

9.2. Prelucrarea electro-chimică (Fig.9.6)

Principiul de bază al **prelucrărilor electrolitice** constă în transferarea metalului între doi poli conductivi cufundați într-o baie electrolitică la cuplarea curentului electric. Metalul este preluat de pe electrodul pozitiv (anod) și depus pe electrodul negativ. Se îndepărtează materialul de pe semifabricate conductive, fără o implicare de energie mecanică sau termică:

- Procesul se desfășoară prin **diluare anodică**,
- Metalul este îndepărtat rapid de pe semifabricat, ceea ce înseamnă că trebuie asigurată o apropiere între sculă și semifabricat, astfel încât **mărirea interstițiului** să rămână **constantă**.

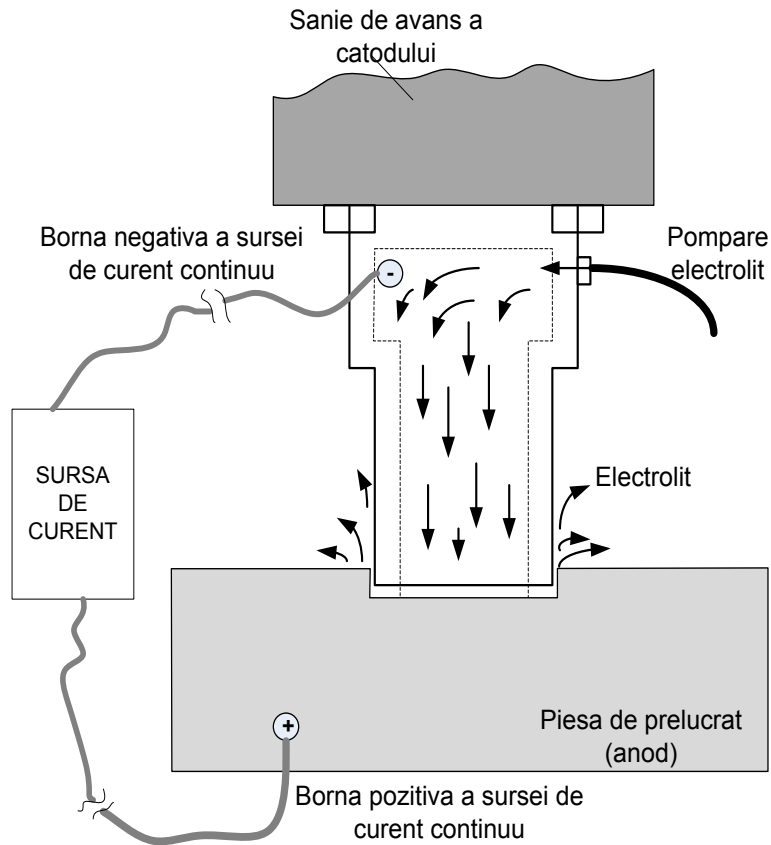


Fig. 9.6. Celulă de prelucrare pentru eroziune electro-chimică [BAL 01]

Materialul descompus de pe semifabricat este înlăturat din interstițiul sculă/semifabricat cu ajutorul electrolitului. Prelucrarea electro-chimică expune în mod continuu o suprafață curată care este atacată chimic de electrolit. Proporția de prelucrare chimică depinde de electrolitul folosit și de metalul prelucrat (o proporție semnificativă se constată la prelucrarea aluminiului). Orice proporție de prelucrare chimică ridică rata de îndepărtare a materialului peste valoarea calculată.

9.3. Tehnologiile de prelucrare cu ultrasunete (Fig. 9.7)

Prelucrarea cu ultrasunete se aplică la prelucrarea materialelor dure și fragile (carburi, oțel, ceramică sau sticlă), cât și a celor moi și ductile.

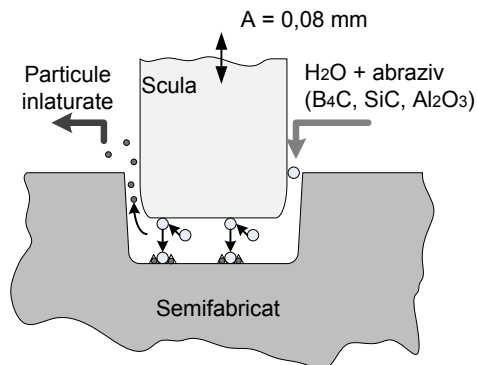


Fig. 9.7. Schema de prelucrare cu ultrasunete [BAL 01]

Prelucrarea se realizează cu ajutorul unei scule (cu profil identic celui care se prelucrează), care oscilează cu o **frecvență înaltă** în mediu abraziv. Vibrația sculei se transmite granulelor abrazive, aflate în interstițiul dintre sculă și piesă. Impactul granulelor abrazive cu piesa produce energia care, practic, conduce la îndepărtarea materialului de pe piesă.

Parametrii procesului de prelucrare cu ultrasunete:

- Amplitudinea oscilației sculei,
- Frecvența,
- Materialul sculei,
- Forța de impact,
- Dimensiunea granulelor abrazive (diamant, nitrură cubica de bor, oxid de aluminiu, carbură de Si),
- Agentul lichid (amestec de apă cu abraziv):
 - Granulație 280 => Ra = 0,38 μm
 - Granulație 800 => Ra = 0,25 μm .

Influența corelată a acestor parametri este deocamdată incomplet explicată. Practica a demonstrat că rugozitatea suprafețelor prelucrate depinde de materialul piesei, rugozitatea sculei, circulația agentului fluid și amplitudinea de vibrație a sculei.

Viteza de îndepărtare a materialului (viteza de prelucrare) (Fig. 9.8):

- este proporțională cu pătratul amplitudinii,
- direct proporțională cu frecvența, pentru o amplitudine fixă,
- variază în funcție de mărimea granulelor,
- scade cu creșterea durității sculei/piesei.

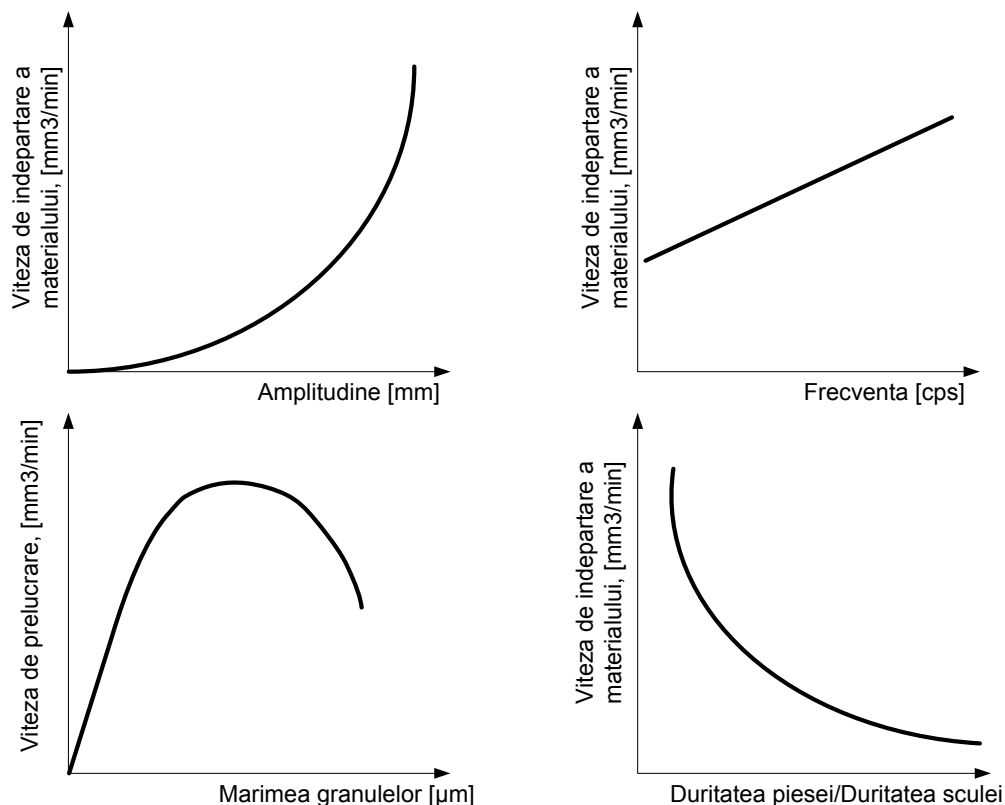


Fig. 9.8. Corelația vitezei de îndepărtare a materialului și parametrilor de proces [BAL 01]

Prin acest procedeu se pot prelucra diferite tipuri de suprafețe speciale (Fig. 9.9).

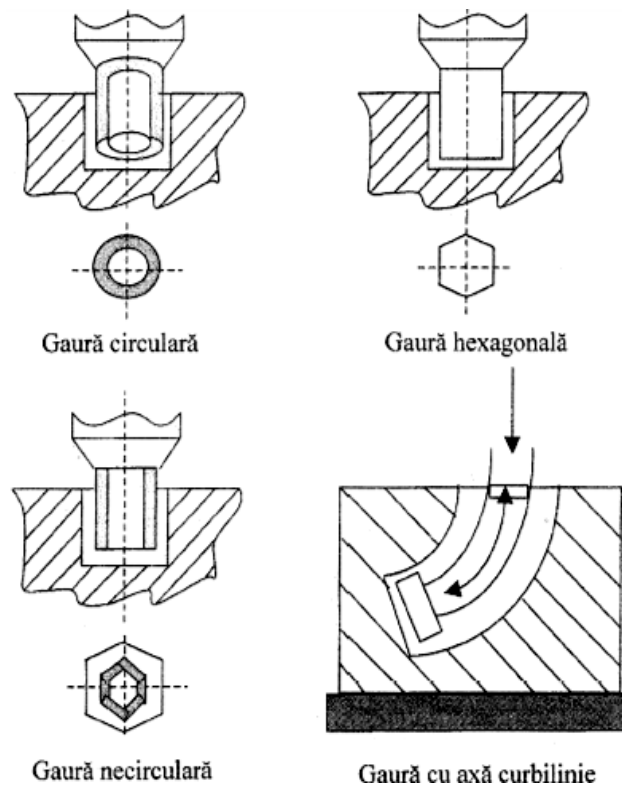


Fig. 9.9. Aplicații speciale ale prelucrării cu ultrasunete [BAL 01]

9.4. Prelucrarea cu laser (Fig. 9.10)

Prelucrarea se realizează prin vaporizarea materialului semifabricatului. Materialele care pot fi prelucrate prin acest procedeu sunt: **metale, diamant, materiale nemetalice (lemn, hârtie etc.)**. Nu orice tip de laser poate fi utilizat pentru prelucrări (**laser cu gaz, de ex CO₂**).

LASER = Light Amplification by Stimulated Emission of Radiations (Amplificarea luminii prin emisia stimulată a radiațiilor).

Laserul încălzește piesa care se topește local. Se produce o evaporare parțială a materialului, însă fascicolul laser constituie un impuls, care îndepărtează materialul topit din zona de lucru. Necesarul de energie pentru a vaporiza un anumit volum de material se poate calcula, reprezentând aproximativ energia necesară pentru a încălzi materialul la temperatura de topire, plus căldura de fuziune și vaporizare.

Aplicații industriale: găurire, tratamente termice, tăiere (însoțită de flux de gaz - de ex.oxigen, care asigură răcirea zonei de lucru, îndepărtarea zgurii, gazele reactive cresc viteza de tăiere).

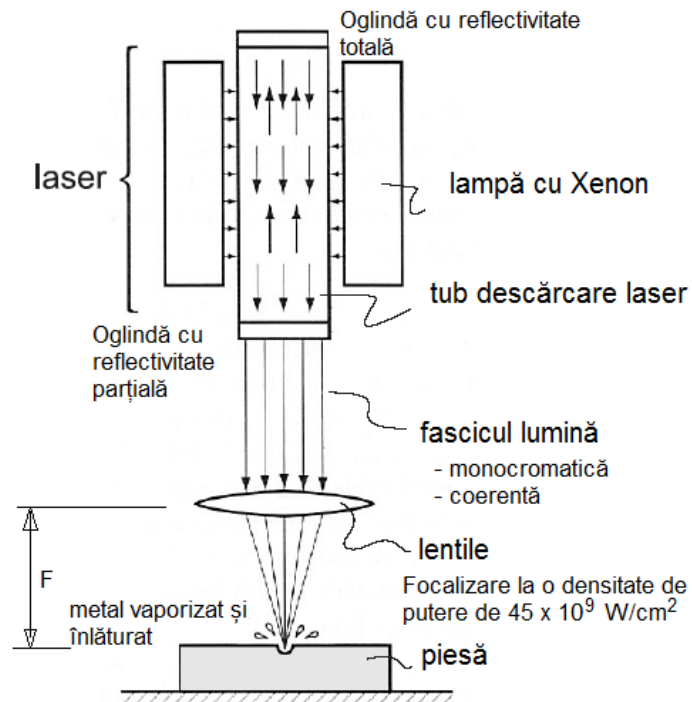


Fig. 9.10. Procesul de prelucrare cu laser [www kha]

9.5. Prelucrarea cu fascicol de electroni (Fig. 9.11)

Prelucrarea se realizează cu ajutorul unui fascicul de electroni accelerați, focalizat și dirijat cu ajutorul unor lentile de sticlă, care bombardează local piesa. Energia cinetică a electronilor este transformată în energie termică, topind sau vaporizând materialul în funcție de ceea ce se dorește (tăiere sau sudare). Procesul se desfășoară în vid pentru a evita coliziunile dintre electronii care se deplasează cu viteză foarte mare și moleculele de aer.

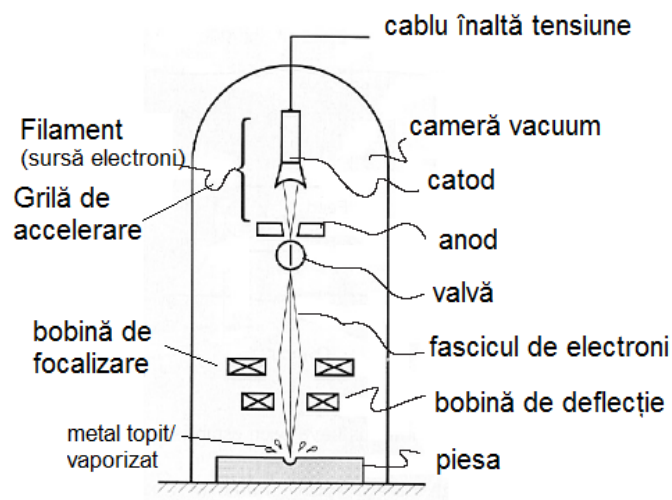


Fig. 9.11. Principiul de prelucrare cu fascicol de electroni [www kha]

Prelucrarea cu fascicol de electroni este cea mai precisă tehnologie de tăiere. Se poate tăia **orice metal sau nemetal** cunoscut, care poate exista sub vid. Practic nu se produce o uzură a "sculei". **Viteza de prelucrare** este mică ($0,1\text{mg/s}$), ceea ce face ca procedeul să fie **eficient** la **prelucrări fine** și la piese de **mici dimensiuni**.

Etapele procesului de prelucrare cu fascicol de electroni sunt prezentate în continuare. Mai întâi fascicolul de electroni lovește materialul pe partea inferioară a cavității. Transferul energetic produce o creștere a temperaturii. Astfel, are loc o emisie termo-ionică exponențială a materialului piesei.

Electronii emiși tind să reducă curentul generat în țintă (piesă). Reducerea curentului este întreruptă de o explozie a materialului supraîncălzit în zona de transfer energetic, apoi se expune alt material rece. Datorită materialului rece, curentul electronic crescut ridică materialul și ciclul se repetă.

Aplicații industriale: sudură, tăiere (canale), găurire ($d = 0,05\text{ mm}$, $l/d = 200:1$), tratament termic.

9.6. Prelucrarea cu jet de apă (Fig. 9.12)

Procedeul folosește un jet de apă la **presiune** foarte mare ($150-1000\text{ MPa}$) și viteză foarte ridicată, mai mare decât viteza sunetului (până la $540-1400\text{ m/s}$). Fluidul utilizat pentru prelucrare este **apa** sau o **soluție polimer** (amestec de apă cu aditivi, care asigură o coerență mai bună a jetului). Fluidul este dirijat prin **duze** de dimensiuni mici, având **diametre** de ($0,1-0,4\text{ mm}$). Materiale prelucrabile: **metale moi, hârtie, textile, lemn, cauciuc, materiale plastice**.

Variabilele procesului de prelucrare cu jet de apă sunt:

- Diametrul duzei,
- Presiunea apei,
- Viteza de avans,
- Distanța de lucru.

Condițiile optime pentru obținerea unor rezultate bune se referă la:

- Presiune ridicată,
- Orificiu larg al duzei,
- Avans mic,
- Distanța mică de lucru.

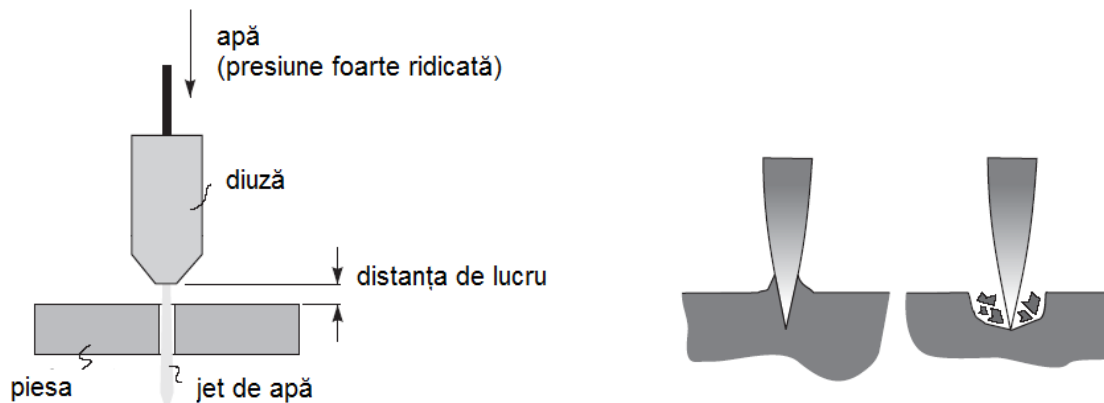


Fig. 9.12. Tăierea cu jet de apă (stânga- principiu, dreapta: materiale ductile/fragile) [www.kha]

Prelucrarea cu jet de apă abraziv este prezentată în figura 9.13. Prezența particulelor abrazive reduce forțele de tăiere, permițând prelucrarea unor metale dure (plăci cu grosimea de până la 80 mm). Viteza jetului abraziv este în acest caz 90m/s.

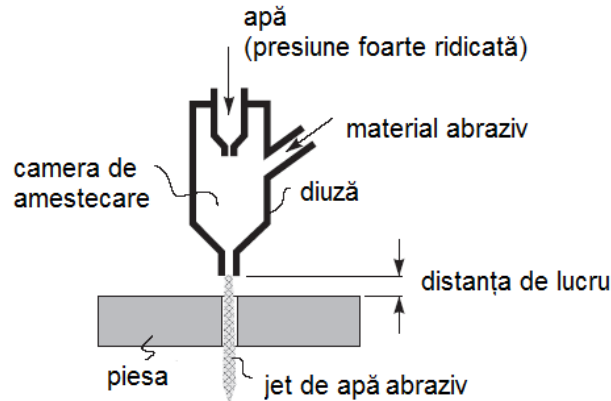


Fig. 9.13. Tăierea cu jet de apă abraziv [www kha]

Materiale prelucrabile: lemn, materiale compozite, sticlă, piatră, aliaje de titan și în general toate materialele dificil de prelucrat. Materiale abrazive utilizate: cuarț, carbură de siliciu, corindon (Al_2O_3).

9.7. Prelucrarea cu jet abraziv (Fig. 9.14)

Materialul din piesa de prelucrat este îndepărtat prin lovirea cu particule abrazive fine, purtate de un jet de gaz cu viteză foarte mare. Procedul se folosește pentru tăierea materialelor **dure și fragile** (sticlă, material ceramice, etc.). Nu există vibrații datorită absenței contactului sculă-piesă, prelucrarea se face la rece, ceea ce exclude apariția deformațiilor termice.

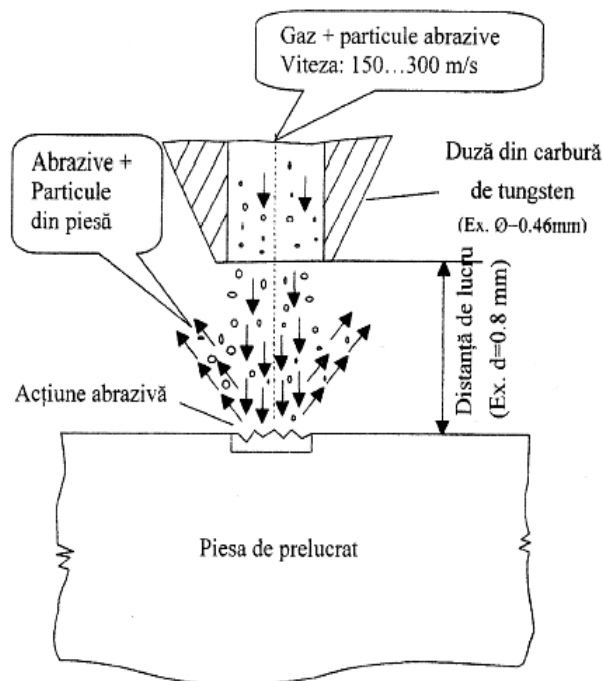


Fig. 9.14. Prelucrarea cu jet abraziv [BAL 01]

Parametrii procesului de prelucrare cu jet abraziv sunt:

- Diametrul granulelor abrazive: 0,03 mm,
- Gaz la presiune de câteva atmosfere,
- Diametrul duzei: 0,08- 1,13 mm,
- Distanța duzei față de piesă: 0,81 mm,
- Viteza particulelor: 150-300 m/s.

Capitolul 10. TEHNOLOGII DE FABRICARE RAPIDĂ A PROTOTIPURILOR

Tehnologiile de fabricare rapidă a prototipurilor pot fi clasificate pe baza mai multor criterii:

➤ În funcție de procedeele de prelucrare sau solidificare a materiei prime:

- Procedee care folosesc **polimeri lichizi** ca material de bază, iar solidificarea se realizează la impactul cu lumina provenită de la o sursă laser (laser de mică putere –**stereolitografia** sau prin încălzire – **polimerizare termală**);
- Procedee bazate pe **topire, depunere și resolidificare** a materialului. Aceste procedee permit folosirea de metale precum și a materialelor plastice sau a unor lichide.

➤ În funcție de metoda de realizare a formei:

- **Piesa rezultă direct în 3D.** Acest procedeu asigură flexibilitate în realizarea modelului. Are dezavantajul că apar dificultăți la programarea și comanda sistemelor de prelucrare.
- **Piesa se construiește prin secțiuni succesive în 2D.** Modelul CAD al piesei este secționat într-un număr mare de **secțiuni orizontale, distanțate** între ele cu câteva **zecimi de milimetru**. La prelucrare, secțiunile de jos sunt create primele, iar peste ele se adaugă succesiv următoarele, până la ultima secțiune. Secțiunile vor fi create strat cu strat sau punct cu punct. Cele mai multe sisteme folosesc fabricarea de straturi solide prin scanare, continuă sau discontinuă, și solidificare punct cu punct a materialului.

10.1. Stereolitografia (SL) (Fig.10.1)

Prototipurile fabricate prin stereolitografiere sunt construite dintr-un **fotopolimer lichid** (rășini acrilice, epoxidice), care este solidificat selectiv utilizând un fascicol laser. Procesul începe de la un fișier CAD, conținând modelul 3D al piesei, care este divizat matematic în secțiuni 2D.

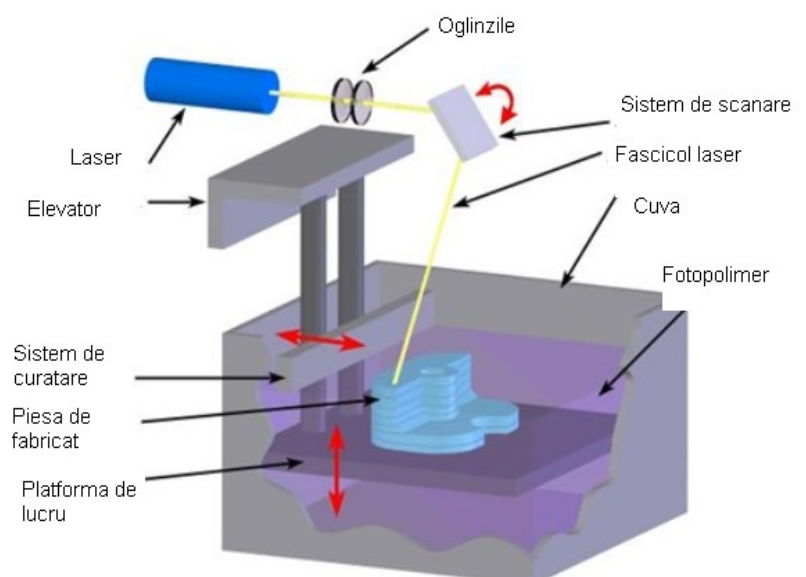


Fig. 10.1. Stereolitografierea [BAL 01]

Când stratul este terminat, ansamblul elevator coboară platforma în bazin cu noul strat format și se desenează următorul strat, fiecare strat nou aderând la cel anterior. Procesul se repetă până când piesa este fabricată în totalitate. Apoi elevatorul se ridică deasupra suprafeței fotopolimerului și piesa (Fig. 10.2) este scoasă din bazin pentru curățarea și finisarea necesară. Timpul de construire variază de la mai puțin de o oră până la mai mult de o zi, depinzând de **fotopolimer**, **puterea laserului** și **geometria obiectului**.

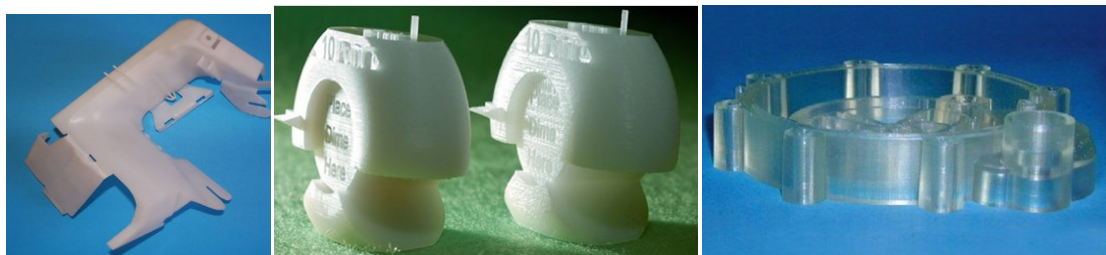


Fig. 10.2. Exemple de piese prelucrate prin SL [BAL 01]

10.2. Fabricarea pieselor stratificate (LOM – Laminated Object Manufacturing) (Fig. 10.3)

În cazul acestui procedeu, materialul cel mai utilizat este **hârtia**. Se folosește o hârtie specială cu un strat de adeziv pe una dintre fețe. Piesele prelucrate din hârtie au caracteristici și un aspect fizic similare cu piesele confecționate din lemn. În carul sistemului LOM, modelul 3D este format din straturi succesive de material (de hârtie), lipite la cald. Datele CAD sunt utilizate pentru a controla un laser, care taie perimetrul fiecărui strat în material.

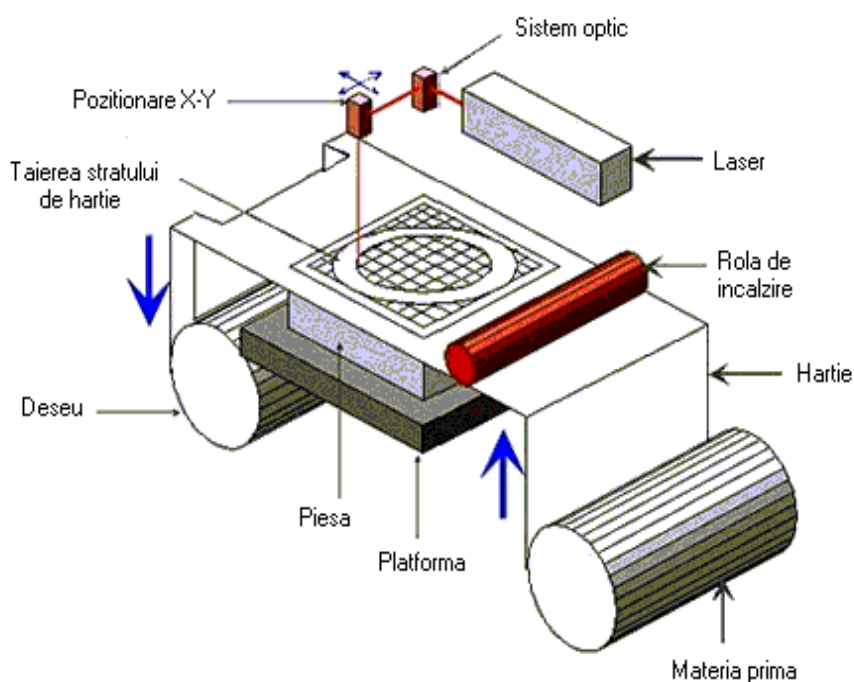
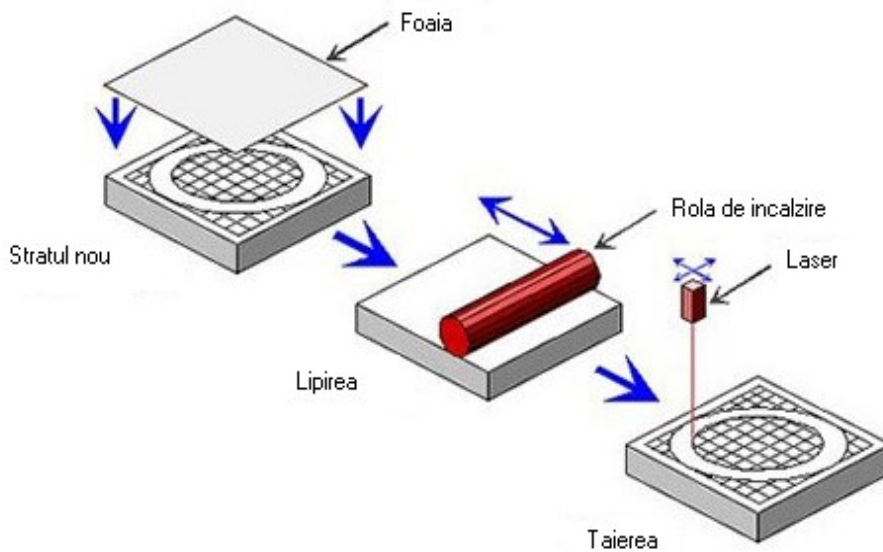


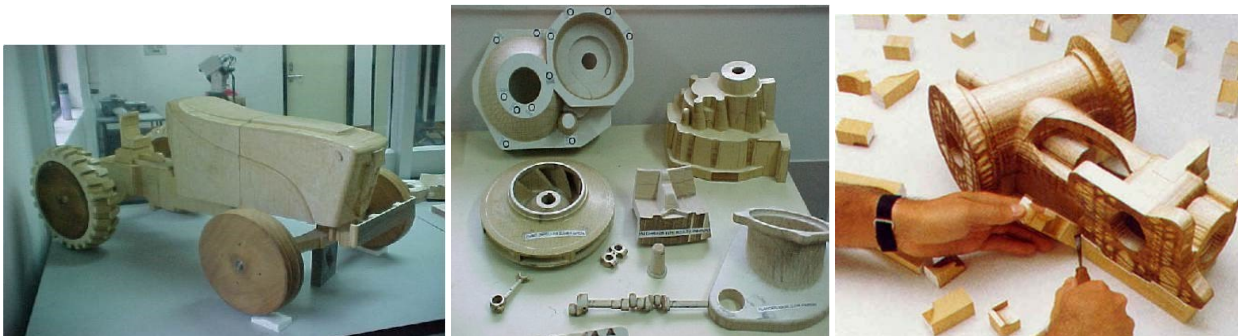
Fig. 10.3. Principiul tehnologiei LOM [BAL 01]

Surplusul de material din jurul secțiunii dorite este menținut pe piesă ca structură suport pentru următorul strat, dar este hașurat de către laser pentru a putea fi extras la finalul prelucrării.

După ce un strat este terminat, o nouă foaie de material este lipită la cald peste stratul anterior, cu ajutorul rolei de încălzire, care va rula peste suprafața noului strat, iar apoi laserul taie noul strat (Fig. 10.4). Pe lângă presiunea exercitată de către rolă, o atenție mare trebuie acordată și temperaturii acesteia (controlată de un termocuplu).

**Fig. 10.4.** Fabricarea pieselor stratificate [BAL 01]

Având consistența unei piese din lemn, piesa prelucrată (Fig. 10.5) se poate finisa cu hârtie abrazivă. Se pot efectua asupra piesei rezultate și operații de așchiere. După finisare, piesa se poate vopsi și apoi lăcui. Lăcuirea este importantă la piesele din hârtie, deoarece hârtia este hidroscoptică și absoarbe umezeala, modelul putându-se deforma sau decalibra.

**Fig. 10.5.** Exemple de piese prelucrate prin tehnologia LOM [BAL 01]

10.3. Fabricarea prin depunere de material topit (FDM - Fused Deposition Modeling)

În cazul fabricării prin depunere de material topit (Fig. 10.6), modelele (Fig. 10.7) sunt realizate din **material termoplastic (ABS)**, materialul fiind livrat de firmele producătoare sub formă de **fir înfășurat pe role**. Firul de plastic intră în capul de încălzit unde ajunge până în apropierea temperaturii de topire (1°C sub temperatura de topire). Materialul topit este extrudat și depus în straturi subțiri. Metoda de fabricare a suporturilor (pentru susținerea pieselor complexe) se bazează pe principiul de depunere strat cu strat de material topit, similar cu metoda de fabricare a piesei propriu-zise.

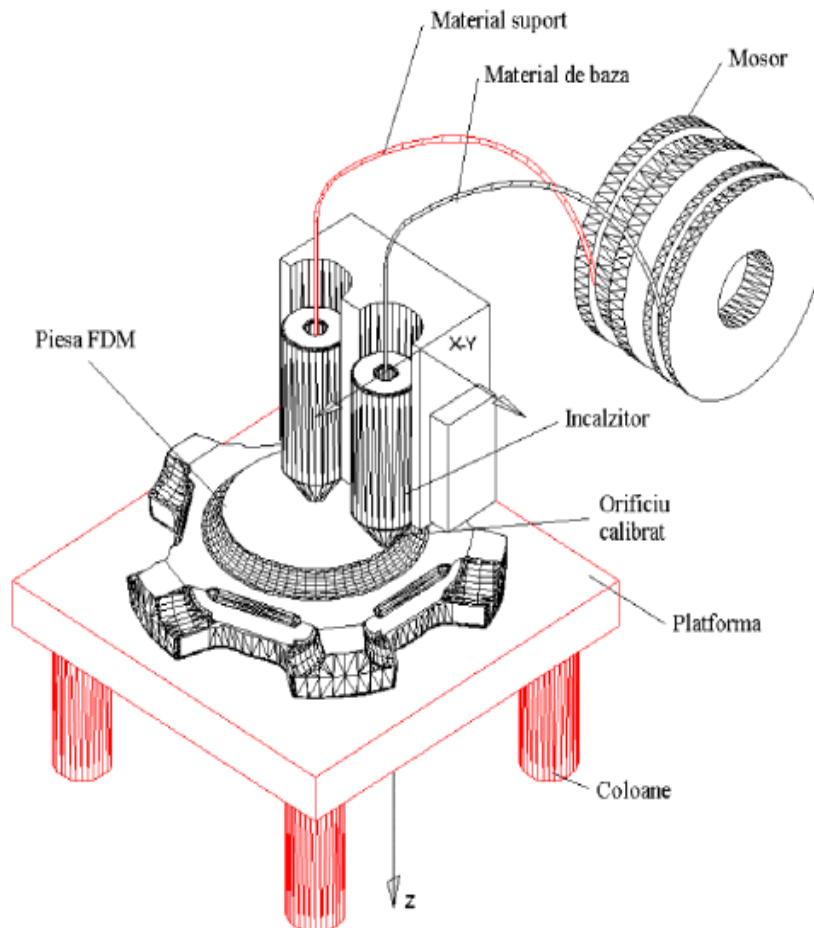


Fig. 10.6. Schema de principiu a tehnologiei FDM [BAL 01]

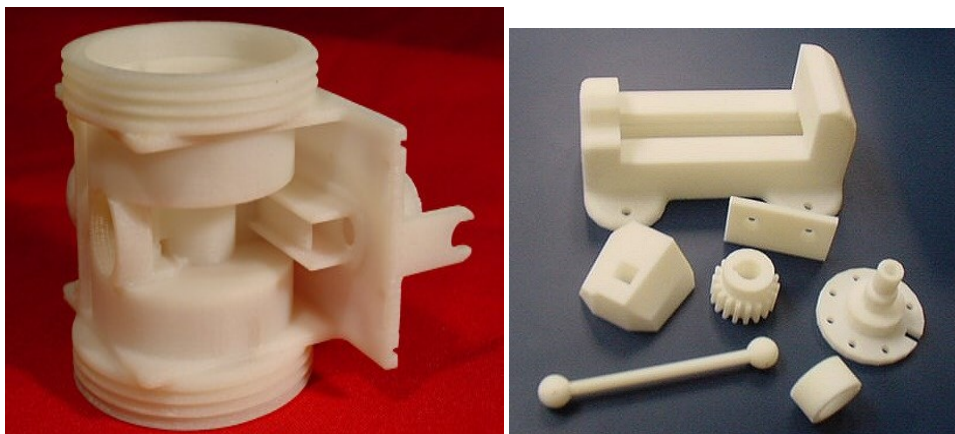


Fig. 10.7. Exemple de piese prelucrate în sistemul FDM [BAL 01]

10.4. Sinterizarea selectivă cu laser (SLS – Selective Laser Sintering) (Fig. 10.8)

În cazul acestui procedeu, raza laser (1) este dirijată către platforma de lucru (8) printr-un sistem de oglinzi mobile (2, 3). La începutul procesului, platforma (6) se află în poziția superioară. Un sistem de alimentare (4) depune pe suprafața platformei un strat de **pulbere** (7) cu grosime controlată. După depunerea stratului de pulbere, raza baleiază suprafața platformei după o traiectorie corespunzătoare geometriei primei secțiunii din modelul virtual 3D al piesei.

În urma acestui proces are loc sinterizarea stratului de pulbere ceea ce înseamnă materializarea primei secțiuni a piesei (8). După realizarea primului strat platforma de lucru coboară cu un pas egal cu pasul de secționare a modelului virtual 3D. Procesul este de tip repetitiv și se finalizează după ce ultima secțiune din modelul virtual a fost materializată (Fig. 10.9).

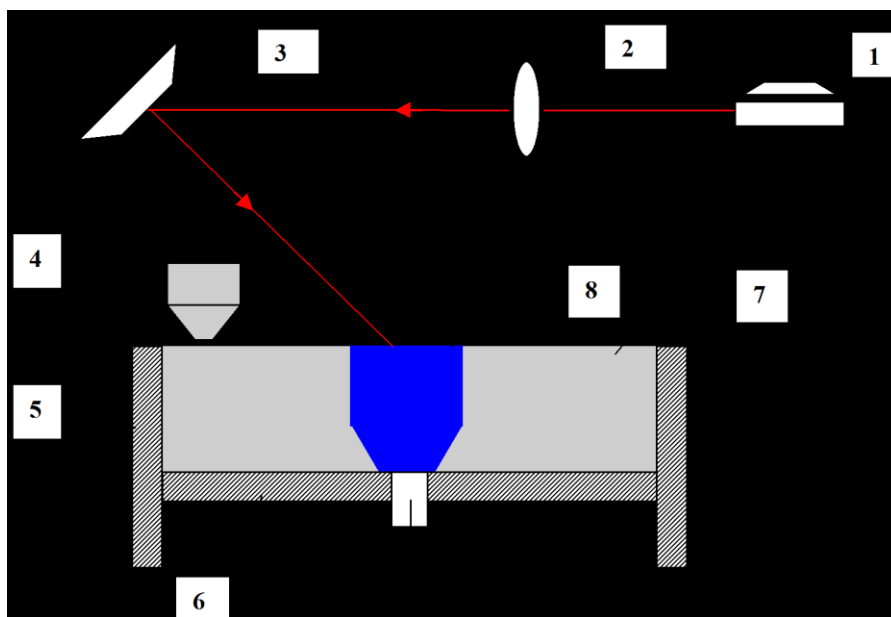


Fig. 10.8. Schema generală a procedeuului de sinterizare selectivă cu laser [BAL 01]



Fig. 10.9. Exemple de piese prelucrate prin tehnologia SLS [BAL 01]

10.5. Topirea selectivă cu laser (SLM – Selective Laser Melting)

Topirea selectivă cu laser (Fig. 10.10) și sinterizarea selectivă cu laser sunt două procese de fabricare a prototipurilor similare. Diferența fundamentală este că în cazul SLM are loc **topirea completă a pulberii**, în timp ce SLS-ul nu topește pulberea, ci doar o sinterizează.

Piesele (Fig. 10.11) sunt realizate strat cu strat, ca și în cazul celorlalte metode de prototipizare rapidă. În timpul procesului, pulberea metalică utilizată este topită de o rază laser ce urmărește geometria stratului respectiv. Se pot realiza detalii foarte fine cum ar fi pereți verticali cu o grosime de sub 0,1 mm. Piesele și sculele pot fi realizate din diferite tipuri de pulberi metalice cum ar fi: **zinc, bronz, oțel inoxidabil, oțel de scule, titan, crom-cobalt**. Granulația pulberii utilizate variază între 10-50 μm . Grosimea fiecărui strat depus are valori cuprinse între 20-50 μm . Puterea maximă a laserului utilizat este 200 W.

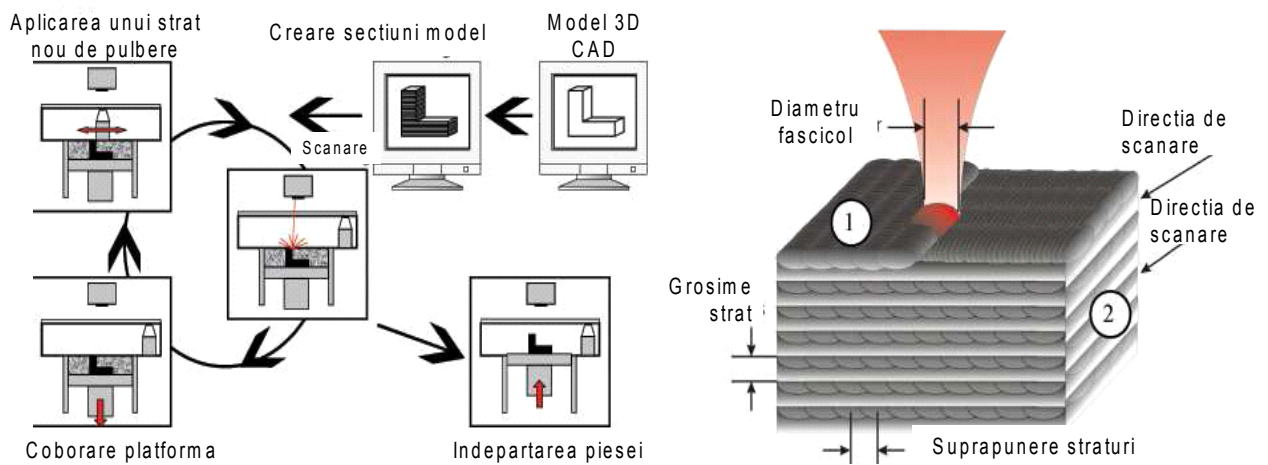


Fig. 10.10. Schema de principiu a procedurii SLM [BAL 01]

Sistemul laser generează o rază, care este direcționată printr-un sistem de oglinzi spre platforma mobilă a mașinii pe care este fixată cu șuruburi o placă metalică. După scanarea completă a fiecărui strat, platforma mobilă coboară, iar sistemul de nivelare adaugă un nou strat. Deoarece piesa se poate oxida foarte ușor în timpul procesului de fabricație, în incinta de lucru se introduce argon pentru a menține scăzut nivelul de oxigen. Parametrii de lucru ai mașinii sunt: **puterea laserului, grosimea stratului de pulbere și temperatura din incinta de lucru**.



Fig. 10.11. Piese realizate prin topire selectivă cu laser (SLM) din diferite material [BAL 01]

Capitolul 11. FABRICAȚIA ASISTATĂ DE CALCULATOR

11.1. Definirea termenilor CAD, CAM

Industria manifestă un interes tot mai sporit pentru automatizarea proceselor de producție, în special datorită cererii pieței pentru produse tot mai diverse realizate în serii mici de fabricație. Necesitatea generării de programe pe calculator care să ajute procesul de automatizare este tot mai mare.

CAD reprezintă orice suport electronic de desen (monitor PC) și un sistem electronic, complet automat (hardware și software), pentru reprezentarea grafică a unui produs.

CAM constituie conexiunea între un sistem numeric de control și mașina-unealtă, complet automatizată, în vederea prelucrării complete a unui produs.

CAD/CAM = integrare => automatizarea procesului pregătire a proceselor și operațiilor

CAPP (Computer Aided Process Planning) reprezintă orice program de calculator ce poate furniza date privind automatizarea proceselor tehnologice de prelucrare (de exemplu procesoarele).



Fig. 11.1. Sisteme CAD/CAM [ANC 03]

Un sistem CAM realizează monitorizarea și controlul diferitelor faze ale procesului de fabricație folosind o structura ierarhizată de calculatoare.

- Necesită o intervenție minimă din partea utilizatorului,
- Flexibil, astfel încât să permită programarea individuală a proceselor,
- Permite interfațarea cu sisteme de proiectare asistată (CAD, CAPP, etc.).

11.2. Structura ierarhică CAM

Sunt necesare 2-3 niveluri de calculatoare: calculatoare mici pentru monitorizarea și controlul proceselor individuale, un calculator de putere mare care transmite instrucțiuni de grup calculatoarelor mici, calculator central care alimentează sistemul cu informații.

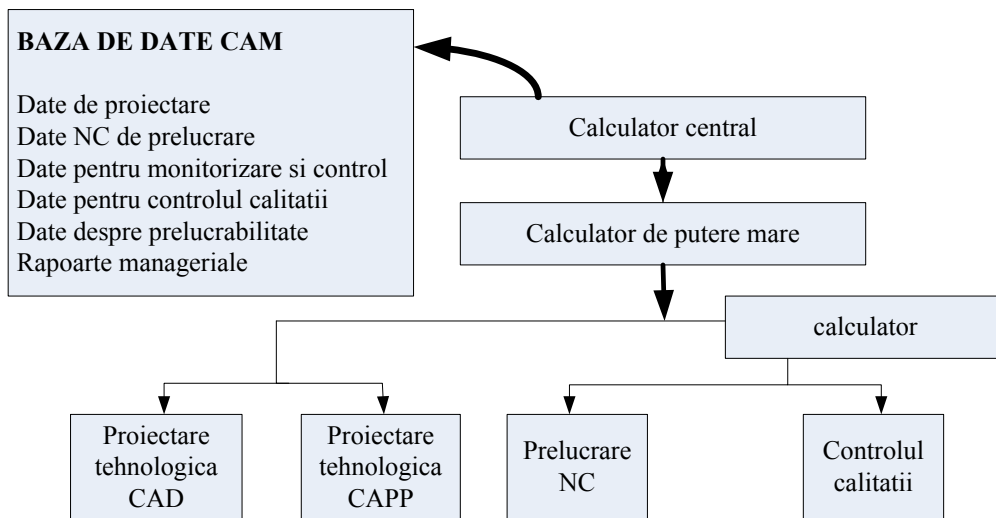


Fig. 11.2. Structura ierarhică CAM [ANC 03]

11.3. Elementele unui sistem CAM

Eficiența unui sistem CAM depinde de buna integrare a hardware-ului și software-ului. **Hardware-ul CAM** este constituit din: **mașini-unelte CNC**, **echipamente de verificare**, **calculatoare** și **periferice**. **Software-ul CAM**: **rețea de sisteme de programare**, folosite pentru monitorizarea, procesarea și controlul fluxului de date și al hardware-ului.

Proiectarea (design-ul) este executată de utilizator prin programe de modelare geometrică. Proiectarea tehnologică este executată automat de programele CAPP. Execuția programelor de comandă numerică, controlul calității produsului sunt operații executate de un calculator, legat printr-o interfață de calculatorul de mare putere.

Sistemele CAPP sunt proiectate pentru a asigura un înalt nivel de automatizare al planificării operațiilor tehnologice de prelucrare:

- Recunosc automat elementele care trebuie prelucrate dintr-un model al piesei,
- Stabilesc metodele de prelucrare și sculele pentru fiecare din elementele identificate,
- Selectează cele mai potrivite mașini-unelte și materiale,
- Determină traiectoriile sculelor și condițiile de așchiere,
- Calculează timpii de execuție și costurile aferente prelucrărilor,
- Generează programe NC corecte din punct de vedere geometric, tehnologic, economic.

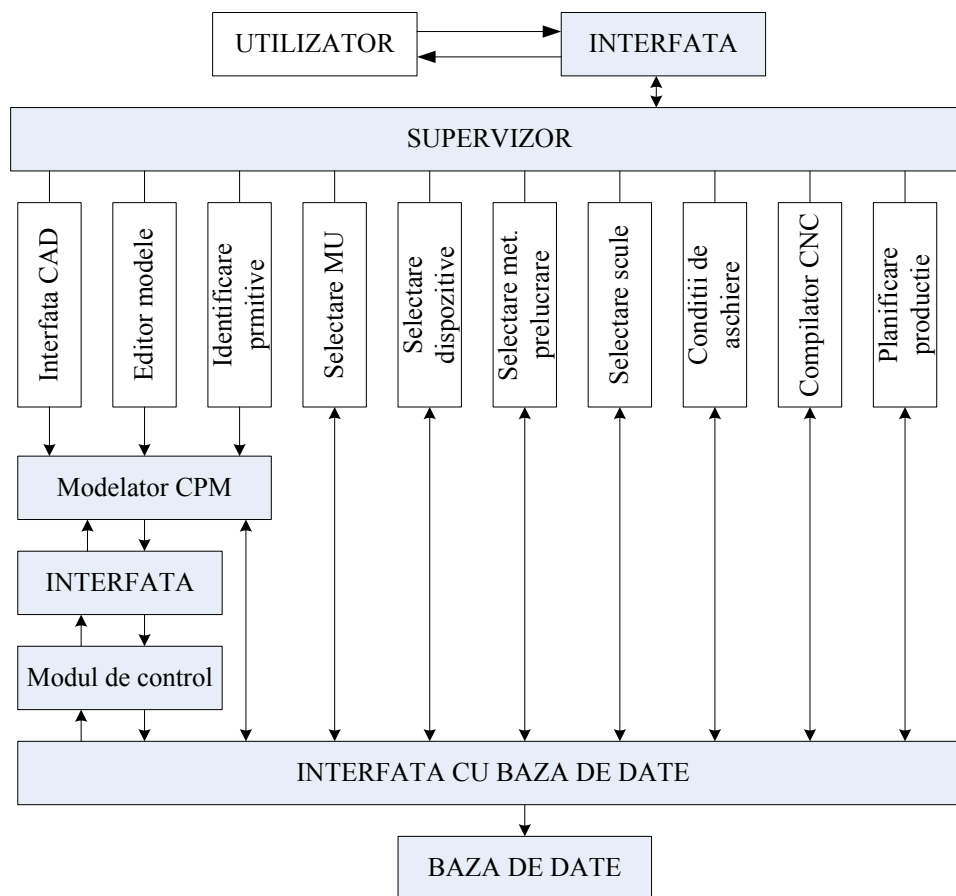


Fig. 11.3. Arhitectura unui sistem expert [ANC 03]

CUPRINS

Capitolul 1. PROCESUL DE FABRICAȚIE	3
1.2. Procesul de fabricație	3
1.1.1. <i>Procesul tehnologic</i>	3
1.1.2. <i>Elementele procesului tehnologic de prelucrare mecanică prin așchiere</i>	4
1.2. Caracteristicile procesului de producție	5
1.2.1. <i>Modelul geometric al piesei</i>	6
1.2.2. <i>Părțile componente și caracteristicile produsului</i>	7
1.3. Aspectele economice ale procesului de fabricație	8
1.4. Tipurile de producție și particularitățile lor tehnologice	8
1.5. Sistemul tehnologic MDSP	9
1.6. Procesele de realizare a formei pieselor	10
1.7. Semifabricate utilizate în construcția de mașini	11
1.7.1. <i>Semifabricate turnate</i>	12
1.7.2. <i>Semifabricate forjate liber și matrițate</i>	13
1.7.3. <i>Semifabricate laminate</i>	14
1.7.4. <i>Semifabricate matrițate și ștanțate la rece</i>	14
1.8. Pregătirea semifabricatelor în vederea prelucrărilor prin așchiere	14
1.8.1. <i>Pregătirea semifabricatelor laminate</i>	14
1.8.2. <i>Pregătirea semifabricatelor turnate</i>	15
1.8.3. <i>Pregătirea semifabricatelor matrițate</i>	16
Capitolul 2. ASIGURAREA CALITĂȚII ÎN PROCESELE DE FABRICAȚIE	17
2.1. Caracteristicile de calitate ale produselor fabricate	17
2.2. Compararea variantelor tehnologice	17
2.3. Clasificarea generală a proceselor de fabricație	18
2.4. Clasificarea proceselor de prelucrare	19
2.5. Procese de prelucrare	21
2.6. Operații de asamblare	25
2.7. Procesul de așchiere ca sistem	27
Capitolul 3. PRECIZIA DE PRELUCRARE ȘI FACTORII DE INFLUENȚĂ	29
3.1. Precizia de prelucrare	29
3.2. Eroarea de orientare	30
3.3. Eroarea de fixare (de strângere)	33
3.4. Stabilirea preciziei de lucru a mașinilor-unelte universale	34
3.5. Influența uzurii sculei și a deformațiilor termice asupra preciziei de prelucrare	34
3.6. Influența rigidității sistemului tehnologic asupra preciziei de prelucrare	37
3.9. Rigiditatea semifabricatului	41
3.7.1 <i>Calculul rigidității semifabricatului la prinderea între vârfuri</i>	41
3.7.2 <i>Calculul rigidității semifabricatului la prinderea în consolă</i>	42
3.10. Rigiditatea sculei și a dispozitivului de prindere a sculei	43
3.9. Deformațiile termice ale sistemului tehnologic	44
3.9.1. <i>Deformațiile termice ale mașinii-unelte</i>	44
3.9.2. <i>Deformațiile termice ale sculei așchietoare</i>	45
3.9.3. <i>Deformațiile termice ale semifabricatului</i>	47
3.10. Influența vibrațiilor sistemului tehnologic asupra preciziei de prelucrare	47
3.10.1. <i>Vibrații forțate</i>	48
3.10.2. <i>Autovibrații</i>	50
3.10.3. <i>Vibrații de relaxare</i>	50
3.11. Influența tensiunilor interne asupra preciziei de prelucrare	51
Capitolul 4. NOȚIUNI GENERALE PRIVIND PROCESELE DE AȘCHIERE CU SCULE CU MUCHII AȘCHietoARE DEFINITE	53
4.1. Cinematica și geometria procesului de așchiere	54
4.2. Geometria sculei la așchieră cu scule cu muchii așchietoare definite	56
4.3. Durabilitatea sculei	58
4.4. Așchiabilitatea materialelor	59
4.5. Formarea așchiilor	61

4.6. Forțe și puteri de așchiere	62
4.6.1. Factorii care influențează mărimea forțelor de așchiere	65
4.6.2. Influența materialului prelucrat	65
4.6.3. Influența adâncimii de așchiere și a avansului	66
4.6.4. Influența vitezei de așchiere asupra forțelor de așchiere	67
4.6.5. Influența geometriei sculei așchietoare	69
4.6.6. Influența lichidelor de așchiere	71
4.6.7. Măsurarea componentelor forței de așchiere	71
4.7. Materiale de scule	73
4.8. Solicități termice	76
4.9. Procese chimice	77
4.10. Lichide de așchiere	77
4.11. Tendințe în domeniul prelucrărilor prin așchiere	78
Capitolul 5. PRINCIPII GENERALE DE PROIECTARE ALE PROCESELOR TEHNOLOGICE DE PRELUCRARE MECANICĂ	81
5.1. Principii de bază	81
5.4. Date inițiale necesare proiectării proceselor tehnologice	81
5.5. Succesiunea etapelor de proiectare tehnologică	82
Capitolul 6. TEHNOLOGII DE PRELUCRARE A SUPRAFETELOR CARACTERISTICE	91
6.1. Prelucrarea suprafețelor de revoluție exterioare și arbori	91
6.1.1. Operații pregătitoare la prelucrarea arborilor	91
6.1.2. Tehnologii de degroșare ale arborilor	94
6.1.3. Tehnologii de finisare ale suprafețelor cilindrice și ale arborilor	98
6.1.4. Tehnologii de suprafinisare a suprafețelor cilindrice exterioare	102
6.2. Tehnologii de prelucrare a suprafețelor cilindrice interioare	110
6.2.1. Tehnologii de degroșare a suprafețelor cilindrice interioare	111
6.2.2. Tehnologii de finisare a suprafețelor cilindrice interioare	115
6.2.3. Tehnologii de suprafinisare a suprafețelor cilindrice interioare	122
6.3. Tehnologii de prelucrare a suprafețelor plane	126
6.3.1. Tehnologii de degroșare a suprafețelor plane	126
6.3.2. Tehnologii de finisare a suprafețelor plane	126
6.4. Tehnologii de prelucrare a suprafețelor elicoidale (filete)	137
6.5. Tehnologii de prelucrare a roților dințate	145
6.5.1. Prelucrarea roților dințate prin deformare plastică	145
6.5.2. Prelucrarea roților dințate prin așchiere	146
Capitolul 7. FABRICAȚIA ECOLOGICĂ	155
7.1. Ecoproiectarea și ecoeficiența	155
7.2. Lichide de așchiere	157
7.3. Tehnici ecologice de așchiere	159
7.4. Implementarea în practică a tehnicilor ecologice de așchiere	166
Capitolul 8. TEHNOLOGII DE PRELUCRARE PRIN PRESARE LA RECE	169
8.1. Principii generale	169
8.2. Clasificarea operațiilor de presare la rece	170
8.3. Grupa de operații: Separare	171
8.4. Grupa de operații: Deformare prin îndoire	173
8.5. Grupa de operații: Deformare prin presiune și tragere	175
8.6. Grupa de operații: Deformare prin presiune	178
8.7. Grupa de operații: Îmbinare prin deformare	180
Capitolul 9. TEHNOLOGII NECONVENȚIONALE	182
9.1. Eroziunea electrică	182
9.1.1. Eroziunea electrică cu electrod masiv	182
9.1.2. Tăierea prin electro-eroziune cu fir	185
9.2. Prelucrarea electro-chimică	185
9.3. Tehnologii de prelucrare cu ultrasunete	186

9.4. Prelucrarea cu laser	188
9.5. Prelucrarea cu fascicol de electroni	189
9.6. Prelucrarea cu jet de apă	190
9.7. Prelucrarea cu jet abraziv	191
Capitolul 10. TEHNOLOGII DE FABRICARE RAPIDĂ A PROTOTIPURILOR	193
10.1. Stereolitografia (SL)	193
10.2. Fabricarea pieselor stratificate (LOM – Laminated Object Manufacturing)	194
10.3. Fabricarea prin depunere de material topit (FDM - Fused Deposition Modeling)	196
10.4. Sinterizarea selectivă cu laser (SLS – Selective Laser Sintering)	197
10.5. Topirea selectivă cu laser (SLM – Selective Laser Melting)	199
Capitolul 11. FABRICAȚIA ASISTATĂ DE CALCULATOR	200
11.1. Definirea termenilor CAD, CAM	200
11.2. Structura ierarhică CAM	200
11.3. Elementele unui sistem CAM	201

BIBLIOGRAFIE

- [ANC 03] Ancău M. Tehnologia fabricației. Casa Cărții de Știință, Cluj-Napoca 2003.
- [BAL 01] Bâlc N. Tehnologii neconvenționale. Editura Dacia, Cluj-Napoca 2001.
- [DEG 00] Werner Degner, Hans Lutze, Erhard Smejkal - Spanende Formung. Springer Verlag 2001.
- [FRA 03] Frățilă D. Cercetări privind tehnologiile de prelucrare ecologice în construcția de mașini. Teză de doctorat, Universitatea Tehnică din Cluj-Napoca, 226 p., 2003.
- [FRA 07] Frățilă D. Umweltfreundliche Zerspanung. Editura UT Press, Cluj-Napoca 2008. ISBN 978-973-662-404-9.
- [FRA 08] Fratila D. Umweltfreundliche Zerspanung. UTPRESS, 2008.
- [FRI 16] Fritz A. H., Schultz G. – Fertigungstechnik. Springer Verlag, 2016.
- [GYE 04] Gyenge Cs., Frățilă D. Ingineria fabricației. Editura Alma Mater. Cluj-Napoca, 2004.
- [GYE 91] Gyenge Cs., Ros O., Popa M. Tehnologia fabricării mașinilor. UTC-N, 1991.
- [GYE 91] Gyenge Cs., Ros O., Popa M. Tehnologia fabricării mașinilor. UTC-N, 1991.
- [IAT 98] Iatan F. Bazele tehnologiei montajului. Universitatea Politehnică București. 1998. Editura și Atelierele Tipografice BREN
- [IAT 98] Iatan, F. Bazele tehnologiei montajului. Universitatea Politehnică București. 1998. Editura și Atelierele Tipografice BREN
- [KOE 00] Koether R., Rau W. - Fertigungstechnik für Wirtschaftsingenieure
- [LAZ 94] Lăzărescu I. Teoria și practica sculelor așchietoare, Vol.I,II,III., Editura Universitatea din Sibiu, 1994
- [PER 00] Perovic B. Spanende und Abtragende Fertigungsverfahren. Verlag: expert; Auflage: 1 (1. Januar 2000). 291 Seiten. ISBN-10: 3816919111, ISBN-13: 978-3816919117.
- [PIC 92] Picoș C. ș.a. Proiectarea tehnologiilor de prelucrare mecanică prin așchiere. Editura Universitas, Sibiu, 1992.
- [PIC 92] Picos,C, ș.a. Proiectarea tehnologiilor de prelucrare mecanică. Editura Universitas, Sibiu, 1992.
- [PRU 81] Pruteanu O., Epureanu Al.,Bohosievici C. Gyenge Cs. Tehnologia Fabricării Mașinilor. Editura Didactică și pedagogică, 1981
- [PRU 81] Pruteanu,O.,Epureanu,Al.,Bohosievici,C. Gyenge,Cs. Tehnologia Fabricării Mașinilor.

Editura Didactică și pedagogică, 1981

- [ROS 00] Roș O., Frățilă D. Proiectare pentru mediu. Casa Cărții de Știință, Cluj 2000, ISBN 973-686-113-9.
- [ROS 07] Roș O., Frățilă D. Ecoproiectare. Casa Cărții de Știință. Cluj-Napoca 2007. ISBN 978-973-133-204-8.
- [SCH 18] Schoenherr H. - Spanende Fertigung. Walter de Gruyter GmbH & Co KG, 19 mar. 2018, 510 Seiten.
- [TAP 80] Tăpălagă I., Achimaș Gh., Iancău H. Tehnologia presării la rece. Litografia IPC-N, Cluj-Napoca, 1980.
- [TOE 00] Toenshoff H., Denkena B. Spanen. Springer-Verlag, 12 Aug. 2011, 426 Seiten.
- [WES 00] Westkaemper E., Warnecke H.J. Einfuehrung in der Fertigungstechnik. Fertigungstechnik und Produktionslehre: Grundlagen und Dokumentation des aktuellen Wissensstandes aus erster Hand. Springer 2010.
- [WIT 00] Witt G. Taschenbuch der Fertigungstechnik. Carl Hanser Verlag GmbH & Co. KG Verlag: (6. Oktober 2005), 448 Seiten, ISBN-10 3446225404, ISBN-13: 978-3446225404.
- [www kha] <https://mechzoneblog.files.wordpress.com/2017/08/manufacturing-process-ii-total-book-from-iit-kharagpur.pdf>
- [www san] <http://www.sandwik.com>