PROCESUL DE AŞCHIERE ŞI STRUCTURA SISTEMULUI TEHNOLOGIC

În industria constructoare de maşini sunt utilizate mai multe procedee tehnologice de prelucrare a pieselor mecanice: turnare; deformare plastică la rece (tragere, presare, laminare, ambutisare, ştanţare, extrudare); deformare plastică la cald (laminare, forjare, matriţare, presare); sudare; prelucrare prin aşchiere.

Înainte de a fi prelucrată, piesa brută (semifabricatul) se prezintă cu suprafeţe de formă, dimensiuni şi calitate rezultate din prelucrarea primară (turnare, deformare plastică, ori operaţii anterioare prelucrării mecanice), numite în mod curent *suprafețe de prelucrat*. Acestea urmează a fi îndepărtate parţial sau total, pentru a obţine suprafeţe cu alte caracteristici, conform desenului de execuţie, numite *suprafeţe prelucrate*.

Prin *prelucrare mecanică la rece* se înţelege în primul rând prelucrarea prin aşchiere.

Procesul de aşchiere se definește ca proces de tăiere-deformare sau rupere, desprindere şi îndepărtare sub formă de aşchii a surplusului de material de pe piesa semifabricat, în scopul obţinerii piesei finite la nivelul condiţiilor tehnice impuse de proiectant prin desenul de execuţie (forma geometrică a suprafeţelor, dimensiunile, poziţia relativă şi calitatea).

Stratul de material de pe suprafața semifabricatului, care va fi transformat în așchii prin procesul de așchiere, se numește **adaos de prelucrare**. Este important, din punct de vedere economic, ca acest adaos să fie cât mai mic, mărimea lui influenţând direct productivitatea procesului de așchiere (prelucrare).

Dacă **procesul fizic de prelucrare prin aşchiere** are ca scop înlăturarea adaosului de prelucrare, **procesul de generare a suprafeţelor** – proces desfăşurat simultan cu aşchierea – are drept scop obţinerea unor suprafeţe de formă bine precizată. Generarea suprafeţelor are loc prin îndepărtarea adaosului de prelucrare de pe semifabricat, realizată de tăişul unei scule (numită *sculă aşchietoare*), care, în prezenţa unor mişcări bine definite, asigurate de maşina de lucru (numită *maşină-unealtă*), se deplasează relativ faţă de semifabricat. Prin contactul direct cu materialul de adaos şi în prezenţa mişcărilor relative sculă – piesă, tăişul sculei aşchietoare îndepărtează succesiv, sub formă de aşchii, adaosul de prelucrare.

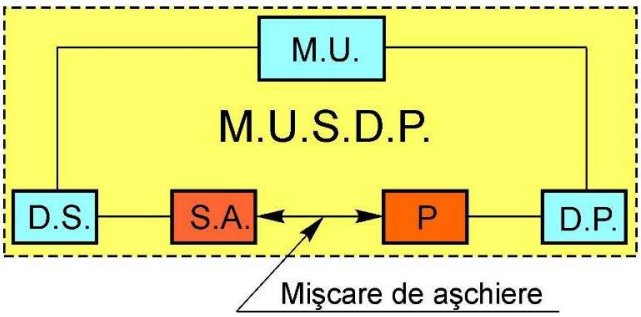
În concluzie, scopul final al procesului de aşchiere este de a genera forma geometrică şi dimensiunile impuse, în condiţiile obţinerii preciziei dimensionale, de formă geometrică şi de poziţie relativă a suprafeţelor, precum şi a calităţii de suprafaţă.

În raport cu mărimea adaosului de prelucrare, forma geometrică, dimensiunile, precizia şi calitatea suprafeţei de prelucrat, aşchierea poate fi realizată prin următoarele **procedee**: rabotarea; mortezarea; strunjirea; găurirea; lărgirea - adâncirea, lamarea; pilirea; alezarea; broşarea; şeveruirea; abrazarea; honuirea; lepuirea; lustruirea; supranetezirea ş.a.

Dintre aceste procedee, rabotarea, mortezarea, strunjirea, găurirea, lărgirea-adâncirea, lamarea, pilirea sunt procedee specifice *de degroşare*, iar celelalte sunt considerate *procedee de finisare*. Pentru operaţiile de degroşare, semifabricatele pot fi turnate, forjate sau laminate şi au adaos de prelucrare mai mare. Piesele supuse prelucrărilor de finisare au suportat anterior prelucrări de degroşare.

Pentru desfăşurarea procesului de aşchiere este necesar un sistem tehnologic, în a cărui structură intră: o maşină de lucru, denumită *maşină-unealtă*, una sau mai multe *scule aşchietoare*, *dispozitive* de poziţionare-fixare a sculelor şi a piesei de prelucrat, precum şi o serie de instrumente, aparate sau instalaţii pentru controlul tehnic de calitate.

Ansamblul format din maşina-unealtă (M.U.), scula aşchietoare (S.A.), dispozitivele de poziţionare - fixare a sculei (D.S.) şi a piesei (D.P.), precum şi piesa de prelucrat (P.), poartă denumirea de **sistem tehnologic M.U.S.D.P.** (maşină-uneltă - sculă - dispozitiv - piesă).



Sistemul tehnologic MUSDP

Elementele componente ale sistemului MUSDP:

♦ ***Maşina-unealtă*** a fost definită ca maşină de lucru, destinată generării suprafeţelor pieselor prin procesul tehnologic de aşchiere, în anumite condiţii de productivitate, precizie şi calitate a suprafeţei.

Este elementul cel mai complex din cadrul sistemului tehnologic de prelucrare prin aşchiere, pe care se poziţionează şi fixează celelalte elemente. Prin structura sa, maşina-unealtă susţine toate elementele componente ale sistemului tehnologic.

Structural, o maşină-unealtă este formată din:

- ✓ motor de acţionare;
- ✓ batiu – constituie elementul de bază, pe care sunt poziţionate celelalte elemente componente;
- ✓ lanţuri cinematice – ansambluri de mecanisme cu rol în preluarea, transmiterea şi reglarea mişcărilor necesare procesului de lucru;
- ✓ carcase – cuprind elementele de reglare şi transmitere, componente ale lanţurilor cinematice;
- ✓ sănii – realizează mişcările de lucru şi cele auxiliare, prin deplasare pe ghidaje;
- ✓ sisteme de ungere a organelor de maşini în mişcare;
- ✓ elemente de alimentare cu energie electrică, hidraulică sau pneumatică;
- ✓ sisteme de răcire - ungere a elementelor direct participante la procesul de aşchiere;
- ✓ sisteme de evacuare a aşchiilor;
- ✓ sisteme de protecţie ale organelor în mişcare şi pentru operator;
- ✓ elemente de comandă şi automatizare;
- ✓ sisteme de control al procesului;
- ✓ sisteme de iluminare.

În funcţie de dispunerea acestor elemente componente şi de complexitatea lor rezultă tipul şi configuraţia generală a maşinii-unelte. Prin puterea de care dispune, MU asigură forţele necesare prelucrării, iar prin *lanţurile cinematice* specifice asigură cinematica necesară generării suprafeţelor.

♦ ***Piesa (semifabricatul)*** şi ***scula aşchietoare*** constituie elementele finale ale sistemului, scula servind efectiv la îndepărtarea surplusului de material.

Semifabricatul reprezintă elementul de la care se pleacă pentru realizarea piesei finale. Acesta se obţine prin procedee tehnologice primare de prelucrare la cald şi poate fi un semifabricat *de uz general* – de ex. o bară laminată, ori un *semifabricat specific*, obţinut prin turnare sau forjare.

Indiferent de modul de obţinere, semifabricatul prezintă faţă de piesa finală un surplus de material, numit ***adaos de prelucrare*,** care trebuie îndepărtat în cadrul procesului efectiv de prelucrare prin aşchiere.

Scula aşchietoare este elementul activ care, prin caracteristicile mecanice, dimensiuni, construcţie şi geometria părţii active, asigură deformarea, detaşarea şi îndepărtarea adaosului de prelucrare. Prin interacţiunea sculei cu semifabricatul are loc simultan şi generarea suprafeţei piesei la forma şi dimensiunile prescrise, prin învingerea eforturilor de prelucrare.

Scula aşchietoare trebuie să posede capacitatea de transformare în aşchii şi îndepărtare a adaosului de prelucrare în condiţii de rezistenţă mecanică, termică şi la uzare.

♦ ***Dispozitivele de prindere*** a sculei şi piesei asigură poziţionarea şi fixarea elementelor finale (scula şi piesa) în poziţia relativă impusă şi în condiţii de rigiditate. Dispozitivele au rolul de a transmite sculei şi semifabricatului mişcările de lucru şi eforturile (forţe şi momente) necesare desfăşurării procesului în condiţii de stabilitate statică şi dinamică.

Complexitatea procesului de aşchiere a impus sistemului tehnologic MUSDP numeroase **condiţii constructive şi funcţionale:**

- să asigure generarea celor mai complexe forme de suprafeţe, necesare pieselor utilizate în construcţia de maşini;
- să permită obţinerea preciziei dimensionale, a preciziei de formă şi de poziţie relativă, precum şi a calităţii suprafeţelor prelucrate;
- să prezinte rezistenţă la solicitările statice şi dinamice care apar în procesul de lucru;
- să menţină precizia de prelucrare în prezenţa forţelor de aşchiere şi în prezenţa factorilor perturbatori interni şi externi ai sistemului tehnologic;
- să menţină precizia de prelucrare în condiţiile de uzare a organelor maşinii-unelte;
- să garanteze siguranţa în exploatare şi protecţia muncii;
- rapiditatea reglării şi uşurinţa întreţinerii şi reparării;
- simplitatea construcţiei şi a reparării;
- dimensiuni de gabarit şi greutate reduse;
- cost scăzut;
- să permită utilizarea elementelor tipizate;
- să îndeplinească condiţiile de estetică şi design în construcţia elementelor componente.

SIMULTANEITATEA PROCESELOR DE GENERARE ŞI DE AŞCHIERE

Scopul final al procesului de *prelucrare prin aşchiere* este de a obţine forma geometrică şi dimensiunile impuse suprafeţelor ce mărginesc piesele, în condiţiile realizării preciziei dimensionale, de formă şi de poziţie relativă, precum şi a calităţii de suprafaţă.

În acest scop, surplusul de material (*adaosul de prelucrare*) de pe semifabricat este îndepărtat cu ajutorul unei *scule aşchietoare*, prin interacţiune directă şi în prezenţa unei mişcări relative.

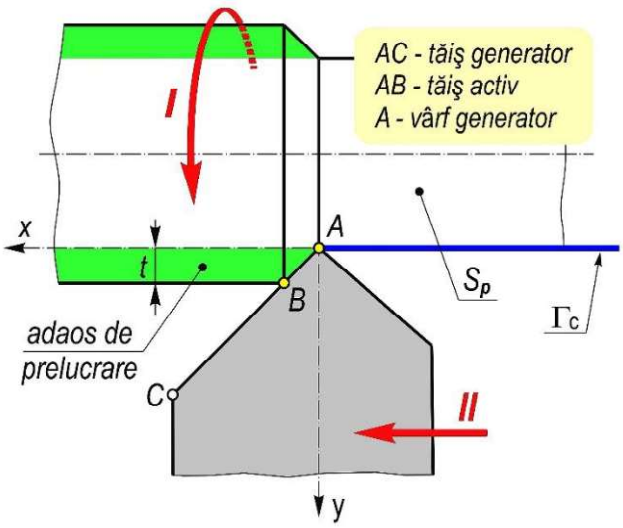
Mişcarea relativă de lucru dintre sculă şi piesă trasează curbele caracteristice – *generatoare* şi *directoare*, care definesc în final *suprafeţele generate*.

Deci, ***procesul de generare*** – ce are ca scop generarea suprafeţei *prelucrate* – se desfăşoară prin îndepărtarea adaosului de prelucrare, având loc simultan cu ***procesul fizic de aşchiere***.

În procesul de aşchiere, mişcarea relativă sculă - piesă, numită ***mişcare de aşchiere,*** este rezultanta a două sau a mai multor ***mişcări de lucru***, circulare și/sau rectilinii, care asigură parcurgerea/generarea întregii suprafețe prelucrate.

La aşchiere participă efectiv numai o anumită parte a sculei aşchietoare, numită *parte activă*. Din aceasta, numai o anumită porţiune are rol de generare a curbei caracteristice, Δ sau Γ.

De exemplu, la strunjirea cilindrică exterioară – la care semifabricatul efectuează mişcarea de rotaţie continuă *I*, iar cuţitul deplasarea rectilinie continuă (longitudinală) *II* – din tăişul *ABC* al cuţitului, numai zona *AB* participă la aşchiere (*AB* este *tăişul activ*) şi numai punctul *A* are rol generator: prin mişcarea longitudinală *II*, punctul *A* generează **cinematic** curba generatoare Γ_c a suprafeţei prelucrate, Sp.

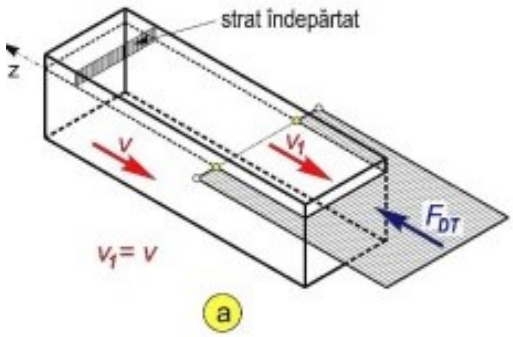


Tăişul activ şi punctul generator al cuţitului la strunjirea cilindrică longitudinală exterioară

AŞCHIEREA IDEALĂ ŞI AŞCHIEREA REALĂ, CA EFECT DE PANĂ

Teoretic, procesul de așchiere poate fi imaginat ca un proces de detașare a adaosului de prelucrare cu un plan de grosime infinit mică, care se deplasează cu viteza v, sub acțiunea unei forțe F_{DT}, necesară secționării și îndepărtării surplusului de material de pe suprafața semifabricatului.

Materialul detaşat îşi va continua deplasarea cu aceeaşi viteză *v* cu a materialului de bază şi paralel cu acesta (fără a se deforma şi fără a-şi schimba direcţia de deplasare), respectiv $v_1 = v$. În ipoteza neglijării frecărilor din lungul planului de secţionare (la deplasarea acestuia), forța F_{DT} trebuie să învingă forța de coeziune, F_c, dintre atomii materialului prelucrat, adică $F_{DT} = F_c$. (fig. a)

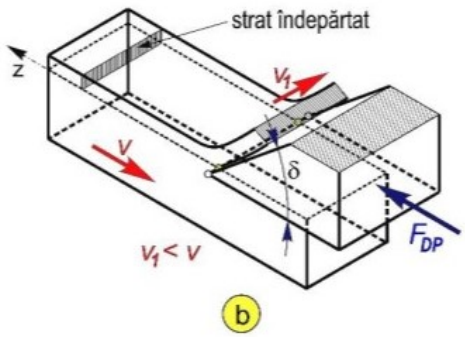


Așchierea ideală

Această posibilitate teoretică/ideală de detaşare nu poate fi însă aplicată practic, în primul rând datorită faptului că rezistenţa materialului aşchietor (planul de grosime infinit mică, în acest caz) este destul de apropiată de cea a materialului prelucrat. Drept urmare, planul de grosime infinit mică nu poate fi materializat.

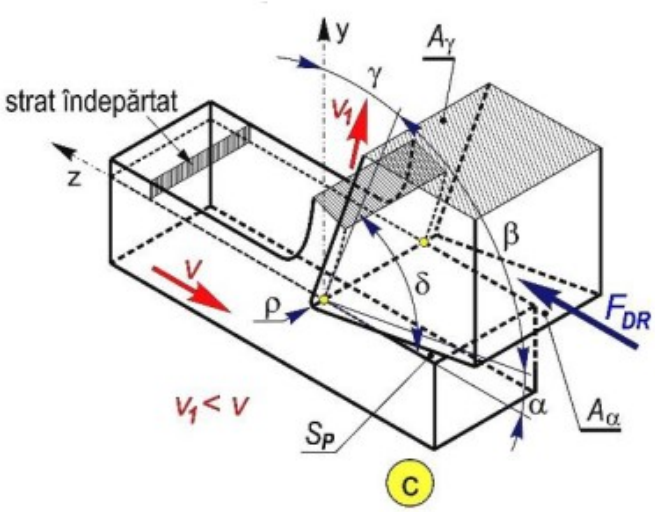
Acesta va fi înlocuit de un corp geometric în formă de pană (fig. b), care trebuie să-şi păstreze în timpul lucrului capacitatea de tăiere, precum şi o bună rezistenţă termomecanică.

În aceste condiţii, după tăiere, adaosul de prelucrare îşi continuă deplasarea cu o viteză $v_1 < v$ şi după o direcţie diferită, lucru care presupune deformarea parţială a acestuia. Prin urmare, chiar în ipoteza neglijării frecării, forţa F_{DP} aplicată penei este mai mare decât F_{DT} teoretică, pentru a învinge şi deformaţiile plastice ce apar în materialul îndepărtat.



Aschiere cu un corp geometric în formă de pană

Având în vedere forma penei, precum şi frecările inevitabile, s-a ajuns la construcţia reală a sculei-pană (fig. c), ce constituie, prin poziţie şi formă, viitorul dinte aşchietor.



Aşchiere reala cu dinte aşchietor

Pentru a-şi păstra în timp capacitatea de tăiere şi detaşare a adaosului, precum şi o bună rezistenţă termomecanică, unghiul δ al penei trebuie să fie suficient de mare (apropiat de 90º).

În acelaşi timp, pentru diminuarea frecării dintre pană şi materialul prelucrat, suprafaţa *Aα* se va înclina cu un unghi α faţă de suprafaţa prelucrată. Deoarece, din punct de vedere tehnologic, pana nu se poate construi cu o muchie de tăiere perfectă, se acceptă existenţa unei porţiuni racordate de rază ρ, cât mai mică posibil.

În condiţiile reale de aşchiere, la deplasarea sculei-pană cu viteza *v*, concomitent cu învingerea forţei de legătură dintre atomi după un plan descris de muchia de tăiere ***m.a.*** – numită *muchie aşchietoare*, se produce şi **deformarea** materialului detaşat din faţa penei, deoarece direcţia de detaşare a acestuia nu mai coincide cu direcţia de deplasare a materialului de bază.

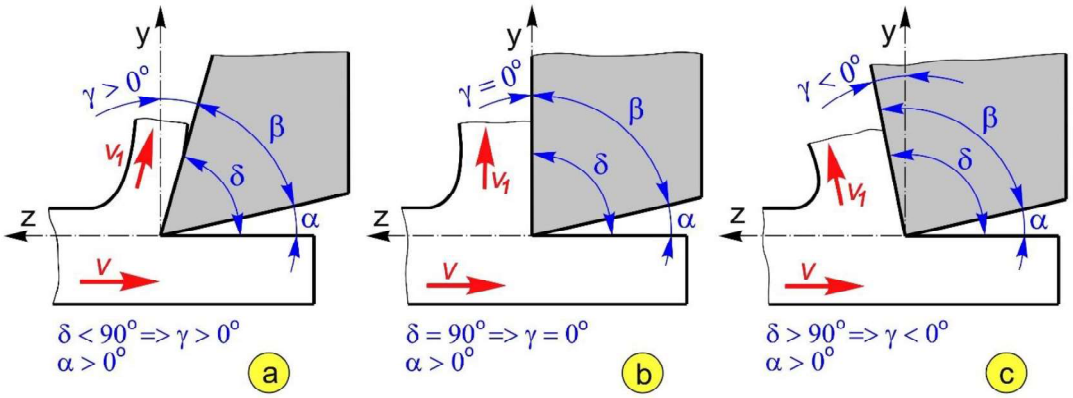
Prin urmare, forţa F_{DR} necesară desfăşurării procesului real de aşchiere va trebui să învingă atât *forţa de coeziune dintre atomi,* F_C, cât şi *forţa de deformare plastică* F_N şi *forţa de frecare F*:

$$F_{DR} = F_C + F_N + F > F_{DP} > F_{DT} \text{ , [N]}$$

În concluzie, pentru partea activă a sculei aşchietoare, care participă efectiv la aşchiere, se impun anumite elemente caracteristice, numite *elemente constructiv-geometrice ale dintelui aşchietor* (fig. c):

- dintele aşchietor trebuie să aibă o formă de pană, cu o suprafaţă în contact cu materialul deformat, în lungul căreia se deplasează adaosul detaşat – denumită ***suprafaţă de degajare*** (***Aγ***) şi o suprafaţă ***Aα,*** orientată spre suprafaţa aşchiată – denumită ***suprafaţă de aşezare***;

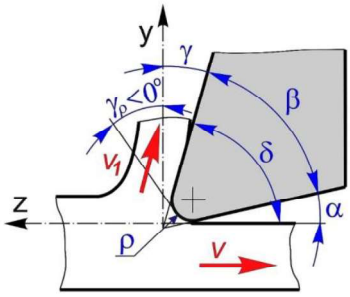
- între suprafaţa de degajare *A*γ şi suprafaţa de aşezare *A*α este definit ***unghiul de pană (de ascuţire),*** **β**;
- intersecţia celor două suprafeţe active ale dintelui formează ***muchia aşchietoare*** (***m.a.***), caracterizată de o ***rază de bontire,*** **ρ**, cât mai mică;
- între suprafaţa de aşezare *A***α** şi suprafaţa aşchiată *Sp* trebuie să existe un unghi pozitiv – numit ***unghi de aşezare*** **α**, pentru diminuarea frecării dintre cele 2 suprafeţe aflate în deplasare relativă cu viteza *v*
- poziţia suprafeţei de degajare *A***γ** este definită de ***unghiul de degajare*** **γ**, format cu normala *My* la suprafaţa aşchiată *Sp*
- pentru caracterizarea poziţiei suprafeţei de degajare şi pentru aprecierea semnului unghiului de degajare γ, s-a definit ***unghiul de aşchiere*** **δ**, ca unghi diedru între suprafaţa de degajare şi suprafaţa aşchiată a semifabricatului



Influenţa unghiului de aşchiere δ asupra rezistenţei termo-mecanice şi asupra capacităţii de aşchiere a sculei

Pentru valori ale unghiului δ mai mici de 90º, pentru care procesul de tăiere şi detaşare a adaosului este favorizat, unghiul γ este considerat pozitiv (fig. a). Pentru δ > 90º, forţele de aşchiere sunt mai mari, sistemul tehnologic este mai solicitat, iar unghiul γ va fi considerat negativ (fig. c).

Cu cât unghiul de aşezare α este mai mare, cu atât mai mici vor fi forţele de frecare de la nivelul feţei de aşezare *A***α**, dar va scădea şi rezistenţa termomecanică, prin diminuarea unghiului β.



Raza de ascuţire (bontire) a muchiei aşchietoare

Mărimea forţelor de aşchiere depinde într-o mare măsură şi de *raza de rotunjire (ascuţire / bontire)* **ρ** a muchiei aşchietoare, element constructiv-geometric prezentat într-o secţiune normală la muchia aşchietoare. Raze de bontire mari scad pronunţat capacitatea de aşchiere şi conduc la creşterea accentuată a forţelor de frecare şi de deformare plastică.

CINEMATICA PROCESULUI DE AŞCHIERE

Procesul de aşchiere, desfăşurat simultan cu procesul de generare a suprafeţei, constă în îndepărtarea adaosului de prelucrare de pe semifabricat, prin acţiunea unei scule, în prezenţa unor mişcări relative, ce formează *mişcarea de aşchiere*, de viteză *v*. Dintele aşchietor (partea activă a sculei), prin forma de pană, participă efectiv la procesul de aşchiere, transformând în aşchii adaosul de prelucrare.

Mișcarea de așchiere se obține ca rezultantă a mai multor mișcări simple, de rotație și/sau de translație, în funcție de modul de așchiere și generare a suprafeței impuse. În afara mișcării de așchiere, pentru ca sistemul tehnologic să permită prelucrarea mai multor tipuri de suprafețe, sunt necesare și mișcări destinate modificării poziției relative dintre curbele generatoare și directoare, precum și mișcări care să asigure legătura dintre aceste curbe.

Totalitatea mișcărilor necesare desfășurării procesului de așchiere-generare a suprafețelor formează **cinematica procesului** și se grupează astfel:

I. Mișcări de lucru
II. Mișcări auxiliare
III. Mișcări de comandă
IV. Mișcări de automatizare

I. Mișcările de lucru

- Sunt mișcări simple și uniforme, rectilinii sau circulare, care participă direct la procesul de așchiere-generare a suprafețelor;
- Pe schemele de așchiere sunt notate cu cifre romane (I, II,...), iar parametrii caracteristici se trec intre paranteze (I (n, v), II(s));
- Din această categorie fac parte *mișcarea principală* și *mișcările de avans* (una sau mai multe).

Mișcarea principală – este componenta mișcării de așchiere care asigură tăierea-deformarea materialului prelucrat și desprinderea așchiilor, la fiecare ciclu de prelucrare.

- este mişcarea de lucru care are cea mai mare viteză, pe direcţia ei efectuându-se lucrul mecanic cel mai mare în raport cu toate celelalte componente (se consumă cea mai mare parte din energia necesară desfăşurării procesului de aşchiere).
- poate fi executată de sculă sau semifabricat (în funcţie de tipul maşinii-unelte şi procedeu) şi poate fi o mişcare circulară uniformă, rectilinie alternativă sau rectilinie continuă.
- Pe schemele de așchiere se notează cu I (n, v)
- este caracterizată prin **frecvența**, n, exprimată în rot/min în cazul mișcării principale circulare, respectiv în curse duble/min, dacă mișcarea principală este rectilinie-alternativă; **viteza principală de așchiere** se determină cu relațiile:

$$v = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000}\ [\mathrm{m/min}] \quad v = \frac{2 \cdot L \cdot n}{1000}\ [\mathrm{m/min}],$$

în care: D, în mm, reprezintă diametrul elementului care execută mișcarea principală (scula sau piesa), iar L este lungimea, în mm, a cursei active (de așchiere), în cazul mișcării principale rectilinii-alternative.

- Dpdv a generării suprafețelor, determină, în general, obținerea curbei directoare, Δ, a suprafeței prelucrate.

Mişcarea de avans – este acea componentă a mişcării de aşchiere prin care se aduc noi straturi de material în faţa tăişului sculei, asigurându-se astfel continuitatea procesului de aşchiere.

- mişcarea de avans determină obţinerea curbei generatoare, Γ, a suprafeţei prelucrate.
- pe schemele de așchiere se notează cu II (s).

În funcție de continuitate, mişcarea de avans poate fi:

- *continuă*, suprapusă peste mişcarea principală (ex: la strunjire, frezare, burghiere);

- *continuă alternativă* (ex: la rectificare);
- *intermitentă* (ex: la rabotare, mortezare).

În funcţie de direcţia mişcării de avans, aceasta poate fi:

- *longitudinală (axială)*, când se efectuează paralel cu axa de rotaţie a piesei;
- *transversală*, când direcţia de avans este transversală faţă de axa de rotaţie (situată într-un plan perpendicular pe axă). În acest caz pot exista situațiile:
  - *avans radial* – când direcţia mişcării de avans este concurentă cu axa de rotaţie;
  - *avans tangenţial* – când direcţia mişcării de avans nu este concurentă cu axa;
- *circulară*.

II. ***Mişcările auxiliare*** nu intervin direct în procesul de aşchiere - generare, executându-se în afara acestuia; sunt însă indispensabile desfășurării procesului.

Din această categorie fac parte:

- **mişcarea de apropiere**, definită ca mişcarea relativă sculă - piesă, prin care scula este apropiată de piesă în vederea efectuării operaţiei de aşchiere;
- **mişcarea de reglare**, definită ca mişcarea relativă sculă - piesă, prin care se stabileşte grosimea stratului de material ce urmează a fi îndepărtat;
- **mişcarea de retragere**, definită ca mişcarea relativă sculă - piesă, prin care scula este retrasă din contact cu semifabricatul, în scopul pregătirii pentru reluarea ciclului de prelucrare.
- **mişcarea de strângere/fixare** a sculei sau piesei

III. ***Mişcările de comandă***, efectuate de asemenea în afara procesului de aşchiere - generare, se referă la realizarea opririi sau pornirii mişcărilor de lucru, mişcări pentru schimbarea frecvenţei sau a sensului mişcărilor de lucru.

IV. ***Mişcările de automatizare*** sunt specifice maşinilor-unelte specializate, automate sau semiautomate şi au în vedere executarea automată a mişcărilor de comandă a sistemului tehnologic.

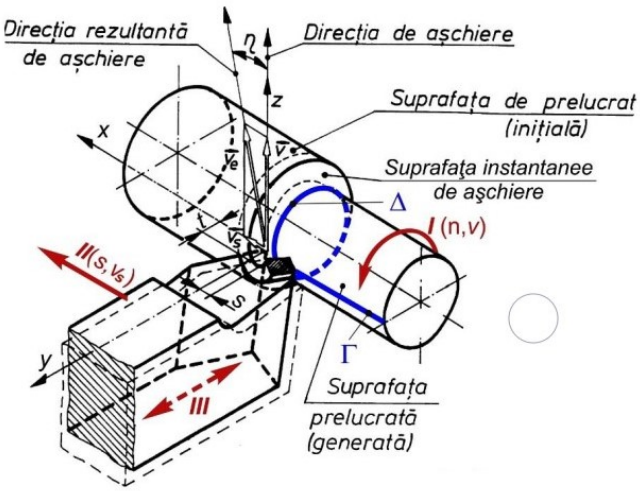
Pe schemele de prelucrare mişcările de lucru sunt figurate cu linie continuă, iar cele auxiliare cu linie întreruptă.

Mişcările de lucru formează, prin compunere, mişcarea rezultantă sculă - piesă, denumită simplu *mişcare de aşchiere*. Viteza mişcării rezultante se numeşte ***viteză de aşchiere***, în timp ce viteza mişcării principale se numeşte ***viteză principală de aşchiere***.

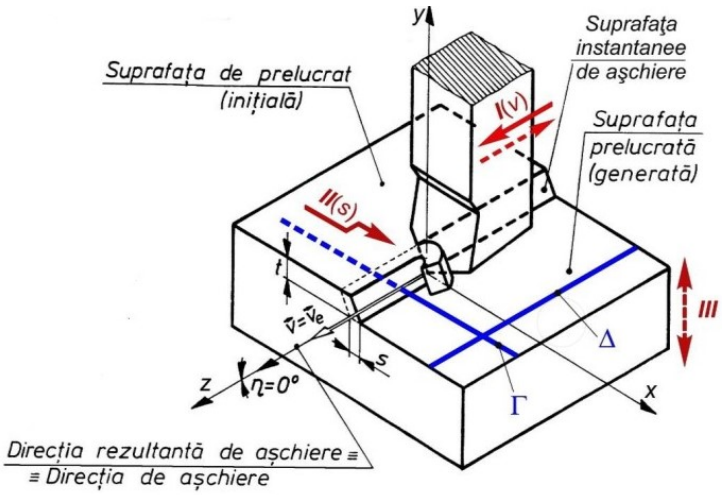
Mişcarea rezultantă de aşchiere sau, mai simplu, **mişcarea de aşchiere,** este mişcarea relativă sculă-piesă datorită căreia se realizează generarea suprafeţei; este rezultanta mişcării principale de aşchiere şi a mişcării/mişcărilor de avans.

Pentru exemplificarea mişcărilor de lucru pentru diferite procedee de prelucrare, se definesc următoarele tipuri de suprafețe caracteristice piesei prelucrate prin aşchiere:

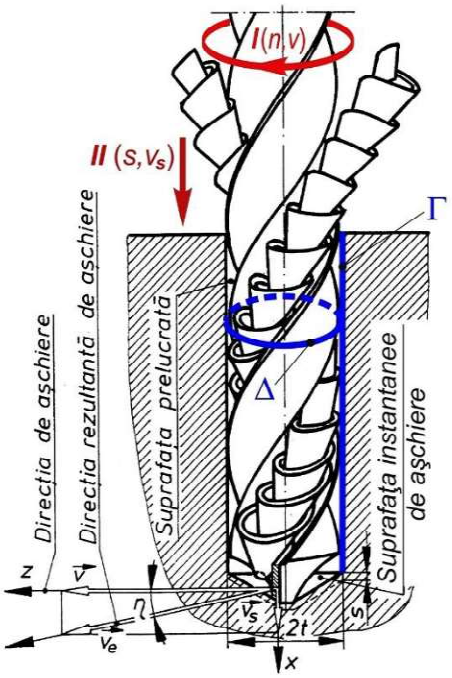
- *suprafaţa iniţială (de prelucrat)* (*Si*) este suprafaţa care delimitează la exterior adaosul de prelucrare, ce urmează a fi îndepărtat în procesul de aşchiere;
- *suprafaţa generată (prelucrată)* (*Sp*) este suprafaţa rezultată în urma procesului de aşchiere;
- *suprafaţa instantanee de aşchiere* (*Sia*) – este suprafaţa de legătură între suprafaţa de prelucrat şi cea generată, rezultă pe piesă în urma detaşării unui strat de aşchiere, fiind obţinută într-un singur ciclu al mişcării de generare.



- la **strunjirea cilindrică exterioară**, mişcarea principală *I(n, v)* este mişcarea de rotaţie a semifabricatului, care generează curba directoare circulară Δ, iar mişcarea de avans *II(s)*, rectilinie şi continuă, pe direcţie longitudinală (paralelă cu axa de rotație a semifabricatului), descrie curba generatoare cinematică Γ. Mișcarea de avans longitudinal fiind continuă şi simultană cu mişcarea principală de rotaţie, mişcarea efectivă de aşchiere are loc după o traiectorie elicoidală, cu viteza v_e, rezultată prin compunerea vitezei principale v, pe direcția axei z, cu viteza de avans v_s. η este unghiul dintre direcţia rezultantă de aşchiere şi direcţia principală de aşchiere și se numește *unghiul direcţiei de aşchiere.*
  Mișcarea III este mișcarea auxiliară de apropiere/retragere executata de semifabricat.
-



- La rabotarea plană, scula aşchietoare (cuțitul de rabotat) efectuează mişcarea principală *I*, rectilinie alternativă (formată dintr-o cursă activă și o cursă de revenire, de mers în gol) – prin care este generată directoarea rectilinie Δ, iar mişcarea de avans *II*, rectilinie şi intermitentă (are loc pe parcursul cursei de revenire a cuțitului de rabotat), este executată de semifabricat, servind la generarea curbei generatoare Γ. Pentru că avansul nu are loc simultan cu/ cursa activă a mişcării principale *I (v)*, mişcarea efectivă (rezultantă) de aşchiere se confundă cu cea principală şi are traiectorie rectilinie.



- La găurire, mişcarea principală *I* este mişcarea de rotaţie a burghiului – dar curba directoare circulară Δ nu este descrisă de această mișcare, fiind materializată de profilul burghiului. Mişcarea de avans *II*, rectilinie şi continuă, efectuată tot de burghiu, are rol în generarea curbei generatoare Γ, rectlinie, a găurii prelucrate. Avansul are loc continuu, în lungul axei sculei şi simultan cu mişcarea principală de rotație a burghiului, motiv pentru care direcția rezultantă de așchiere este diferită de direcția principală, fiind caracterizată de unghiul η, similar strunjirii.

PARAMETRII PROCESULUI DE AŞCHIERE

- caracterizează din punct de vedere constructiv-geometric și cinematic cele 4 elemente care participă la procesul de așchere-generare, respectiv **mașina-unealtă, scula așchietoare, piesa-semifabricat și mediul de așchiere**.

- piesa de prelucrat (semifabricatul) este caracterizată de parametrul *material aşchiat (prelucrat)*;
- maşina-unealtă, care asigură cinematica procesului de lucru, ce presupune atât mişcările de aşchiere cât şi poziţia relativă sculă - piesă, este definită prin *parametrii regimului de aşchiere*;
- scula aşchietoare este caracterizată prin mai mulţi parametri:
  - *forma şi părţile componente*;
  - *materialul aşchietor* (materialul din care este confecţionată partea activă a sculei);
  - *parametrii geometrici constructivi*;
  - *parametrii geometrici funcţionali*;
  - *forma şi calitatea* suprafeţelor active.
- mediul în care se desfăşoară procesul de aşchiere este definit prin parametrul global numit *mediu de aşchiere.*

La aceşti parametri, în legătură directă cu elementele participante şi cu influenţă asupra condiţiilor de desfăşurare, se mai adaugă *secţiunea aşchiei nedeformate* – ce defineşte mărimea stratului detașat la aşchiere.

A. Materialul prelucrat, ca parametru al procesului de aşchiere

Compoziţia chimică şi caracteristicile fizico-mecanice ale materialelor prelucrate prin aşchiere diferă foarte mult. O prima clasificare a acestora are în vedere natura lor: materiale *metalice* şi materiale *nemetalice*.

Materialele metalice se pot subclasifica în *metale feroase*, ce includ fonta şi oţelul, şi metale *neferoase*, precum cuprul şi aliajele sale (alama, bronzul), aluminiu şi aliajele sale, antimoniul etc.

Dintre materialele *nemetalice* prelucrabile prin aşchiere sunt masele plastice, poliamida, teflonul, textolitul, lemnul etc.

Deşi de diverse categorii şi compoziţii chimice, d.p.d.v. al modului de comportare la aşchiere, materialele se pot clasifica în 2 mari categorii:

- materiale *ductile* - oţelurile (în cea mai mare parte), cuprul, alama, , poliamida, teflonul ş.a;
- materiale *fragile* - fonta, unele oţeluri înalt aliate, bronzul, textolitul.

Materialele ductile se caracterizează prin formarea unor aşchii continue, deci un proces de aşchiere caracterizat prin comportare relativ stabilă.

Materialele fragile formează aşchii discontinue, procesul de aşchiere căpătând un pronunţat caracter dinamic.

Materialele metalice cu *proprietăţi fizico-mecanice superioare* se prelucrează prin aşchiere mai greu (forţe mari, productivitate scăzută, costuri mari), în timp ce materialele ductile ridică probleme din punct de vedere al aderării aşchiilor la suprafeţele active ale sculei, al dificultăţilor de evacuare a aşchiilor şi al calităţii suprafeţei aşchiate.

Tehnologia de semifabricare influenţează desfăşurarea procesului de aşchiere. Semifabricatele turnate, prin neuniformitatea adaosului de prelucrare şi prin prezenţa în stratul superficial a unor incluziuni (pământ, nisip de turnătorie), se prelucrează mai greu decât semifabricatele laminate. Ţunderul la semifabricatele laminate sau forjate, cu duritate mai mare şi mai neuniformă ca şi prezenţa unor impurităţi, influenţează, de asemenea, prelucrarea prin aşchiere.

Compoziţia chimică a materialelor metalice şi prezenţa elementelor de aliere, care pot forma carburi dure, influenţează mult desfăşurarea şi rezultatele aşchierii.

Constituienţii microstructurali ai fontelor şi oţelurilor, respectiv ferita, perlita, cementita, austenita, martensita, grafitul influenţează în mod direct procesul de aşchiere. Ferita şi perlita în general avantajeaza aşchierea, iar ceilalţi constituienţi pot influenţa negativ procesul de aşchiere. Din acest punct de vedere unele oţeluri şi fonte pot fi prelucrate avantajos prin aşchiere numai prin anumite procedee de prelucrare (cu scule metalice sau cu scule abrazive). Constituienţii structurali obţinuţi prin recoacerea sau normalizarea oţelurilor dure avantajează prelucrarea cu scule metalice, iar constituienţii structurali care rezultă în urma călirii şi revenirii oţelurilor impun ca procedeu de prelucrare abrazarea.

Ca urmare, materialele prelucrate prin aşchiere au fost împărţite în două mari categorii:

- materiale uşor prelucrabile prin aşchiere;
- materiale greu prelucrabile prin aşchiere.

Acelaşi material poate fi uşor prelucrabil prin aşchiere prin anumite procedee de prelucrare şi greu prelucrabil prin aşchiere pentru alte procedee de prelucrare.

În general, la aprecierea influenţei materialului aşchiat asupra procesului de aşchiere, se folosesc ca mărimi reprezentative duritatea HB şi rezistenţa specifică la rupere Rm (în MPa) sau rezistenţa specifică la curgere, Rp02**.** La materialele metalice de tipul oţelului se foloseşte de obicei rezistenţa specifică la rupere Rm, iar la fonte şi aliaje neferoase se foloseşte de obicei duritatea HB.

În raport cu aceşti parametri (Rm sau HB) se consideră material uşor prelucrabil dacă HR ≤ 50 şi Rm ≤ 1200 MPa.

Aceste domenii de prelucrabilitate sunt totuşi relative pentru că intervin şi elementele specifice fiecărui procedeu de prelucrare. Astfel, un oţel aliat cu duritatea HRC > 50 se prelucrează greu prin strunjire, burghiere sau frezare, dar se prelucrează relativ uşor cu scule abrazive sau diamantate.

Pentru a caracteriza posibilităţile de prelucrare prin aşchiere a materialelor, specialiştii au introdus noţiuni/termeni noi, precum *prelucrabilitate prin aşchiere* sau *aşchiabilitate*.

Se poate concluziona că materialul aşchiat, prin natura sa (fragil sau ductil, omogen sau neomogen, policristalin sau amorf), prin proprietăţile fizico-mecanice (duritate HB, rezistenţă la rupere, conductivitate termică), prin compoziţia chimică şi prin natura, forma, dimensiunile şi distribuţia constituienţilor microstructurali determină în mare măsură modul de desfăşurare a procesului de aşchiere (mărimea forţelor de aşchiere) şi rezultatele aşchierii (precizia şi calitatea suprafeţelor prelucrate).

B. Parametrii regimului de aşchiere

Parametrii regimului fac parte dintre parametrii de bază ai procesului de aşchiere și se realizează prin cinematica sistemului tehnologic MUSDP şi prin poziţia relativă sculă - piesă.

Indiferent de procedeul de prelucrare prin aşchiere, **regimul de aşchiere** este caracterizat prin următorii parametri: **viteza principală de aşchiere, *v*, avansul de aşchiere, *s*** şi **adâncimea de aşchiere, *t*.**

a) Viteza principală de așchiere, v (viteza mișcării principale)

- Se definește ca viteza liniară relativă sculă-piesă, pe direcția mișcării principale de așchiere, a unui punct de pe tăișul sculei
- Se exprimă în **m/min**
- Mişcarea principală de aşchiere este caracterizată prin **frecvenţa *n***, exprimată în *rotaţii pe minut* (rot/min) – în cazul mişcărilor principale circulare şi în *curse duble pe minut* (c.d./min) pentru mişcările rectilinii alternative.
- Legătura dintre viteza principală, v și frecvența, n a mișcării principale, **care se reglează pe mașina-unealtă**, este dată de relațiile:

$n = \frac{1000 \cdot v}{\pi \cdot D}$ [rot/min] – în cazul mișcării principale de rotație (D, în mm, reprezzintă diametrul elementului care execută mișcarea principală, scula sau piesa)

$n = \frac{1000 \cdot v}{2L}$ [cd/min] - în cazul mişcării principale rectilinii alternative, constituită dintr-o cursă activă şi o cursă de revenire – inactivă, curse efectuate pe lungimea *L* [mm]

b) Avansul de așchiere, s

- Reprezintă mărimea deplasării relative sculă-piesă pe direcția mișcării de avans, la un ciclu al mișcării principale (rotație sau cursă dublă)
- se exprimă în **mm/rot** (pentru mişcări principale circulare) şi **mm/c.d.** (pentru mişcări principale rectilinii alternative) – dacă mişcarea de avans este rectilinie, respectiv în **grade/rot** sau **grade/c.d.** – dacă mişcarea de avans este circulară.
- *Viteza de avans* (v_s) este viteza instantanee relativă sculă - piesă în direcţia mişcării de avans

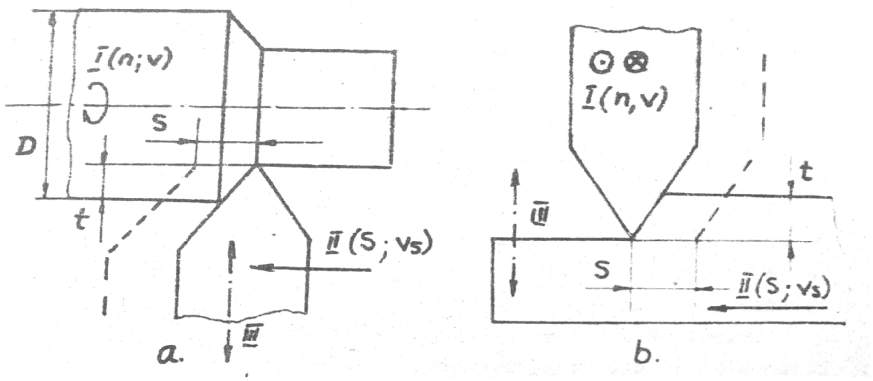
Dacă mişcarea de avans este simultană cu mişcarea principală de aşchiere (ex: strunjirea, găurirea, alezarea) atunci aceasta este continuă, iar viteza de avans este constantă ca mărime şi sens şi se poate exprima în funcţie de frecvenţa *n* a mişcării principale şi de avansul *s*: $\mathbf{v_s = n \cdot s}$ [mm/min]

Pentru sculele cu mai mulți dinți, z, se definește avansul pe dinte, $\mathbf{s_d = s/z}$ [mm/dinte] si, corespunzător, viteza de avans $\mathbf{v_s = z \cdot s_d \cdot n}$ [mm/min]

c) Adâncimea de așchiere, t

- Reprezintă grosimea adaosului de prelucrare trasformat în așchii la o trecere și se măsoară pe direcție normală la suprafața prelucrată, în **mm**
- Mai poate fi definită ca mărimea contactului sculă/piesă, măsurată pe direcție normală la suprafața prelucrată, Sp.
- Valorile adâncimii de aşchiere sunt limitate de rezistenţa elementelor componente ale sistemului MUSDP şi se stabilesc/fixează la începutul aşchierii, prin mişcarea auxiliară de reglare.

Exemplificare: strunjire, rabotare, găurire, frezare

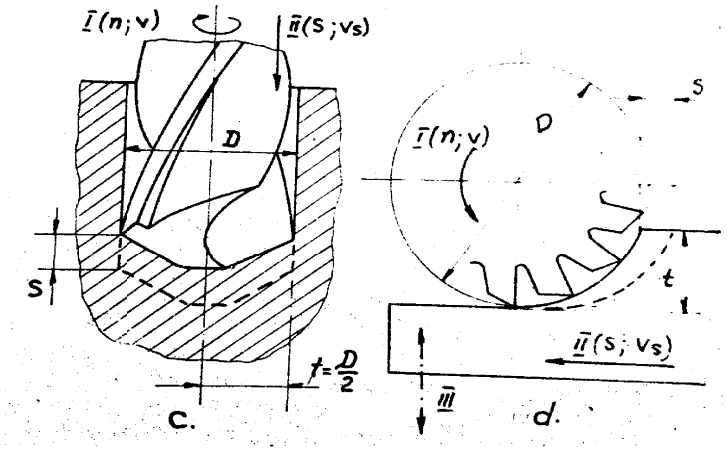


a. Strunjire cilindrică exterioară
v [m/min]
s [mm/rot] t [mm]
$v_s = n \cdot s$ [mm/min]

b. Rabotare plană
v [m/min]
s [mm/cd] t [mm]

c. Găurire
v [m/min]
s [mm/rot]
t = D/2 [mm]
$S_d = s/2$ [mm/dinte]

d. Frezare
v [m/min]
s [mm/rot]
t [mm]
$S_d = s/z$ [mm/dinte]



C. Parametrii constructivi și geometrici ai sculei așchietoare

C.1. Părțile componente ale sculei așchietoare

Diversitatea procedeelor de prelucrare prin aşchiere şi multitudinea formelor geometrice şi a dimensiunilor pieselor de prelucrat au condus la o gama largă de tipuri de scule. Cu toate acestea, având în vedere acelaşi scop final pentru care au fost create, se poate afirma că sculele aşchietoare sunt compuse din 3 părţi:

- *partea activă*;
- *partea de poziţionare-fixare* pe maşina-unealtă;
- *corpul sculei*.

Aceste părți componente ale sculei diferă constructiv în funcție de procedeul de prelucrare, de mișcările relative sculă-piesă și de structura dispozitivelor de orientare-fixare pe mașina-unealtă

Partea activă a sculei (1) participă în mod direct la transformarea adaosului de prelucrare în aşchii (la desfăşurarea procesului de aşchiere/generare), în prezenţa mişcărilor relative sculă-semifabricat, fiind formată din *partea aşchietoare* şi *partea de ghidare – calibrare.*

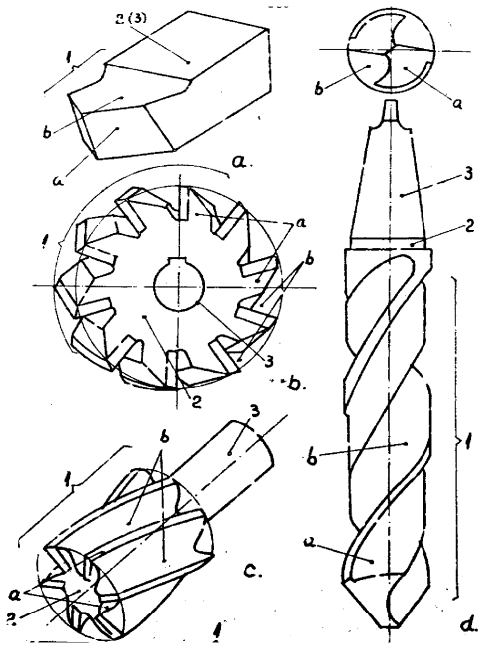
Partea aşchietoare este concretizată prin unul sau mai mulţi *dinţi aşchietori* şi tot atâtea *suprafeţe, canale sau spaţii de cuprindere şi evacuare a aşchiilor.*

Partea de ghidare - calibrare, prezentă numai la anumite scule, are rol de autoghidare a sculei în timpul aşchierii şi de curăţire/netezire a suprafeţei aşchiate şi este concretizată prin faţete care mărginesc dinţii aşchietori. La unele scule, partea de calibrare - ghidare se confundă cu partea aşchietoare sau lipseşte. Deseori, pe partea activă a sculei sunt dispuse *praguri* sau *canale* pentru răsucirea (spiralarea) şi fărâmiţarea (fragmentarea) aşchiilor, cât şi pentru direcţionarea lor.

Partea de poziţionare – fixare (2), care se confundă uneori cu corpul sculei, serveşte la poziţionarea şi fixarea sculei pe maşina-unealtă, într-un suport, pe un arbore sau dorn port-sculă, în vederea prelucrării semifabricatului.

Este realizată sub forma unui corp prismatic, a unui corp de revoluţie, cilindric sau conic, sau a unui alezaj cilindric sau conic, cu sau fără elemente de antrenare (antrenor – la burghie; canale de pană – la frezele cu poziţionare pe alezaj).

Corpul sculei (3), prismatic sau de revoluţie, are rolul de a reuni, într-un ansamblu rigid şi rezistent, partea activă şi partea de poziţionare - fixare. Pe corpul sculei se pot practica direct tăişurile sau se pot asambla – nedemontabil (prin lipire tare) sau prin fixare mecanică – plăcuţe aşchietoare, ori dinţi cu plăcuţe aşchietoare.



- partea activă (1);
  - a – dinte aşchietor
  - b – canal/spaţii aşchii
- corpul sculei (2)
- partea de poziţionare-fixare (3)

a. Cuțit de strung
b. Freză disc
c. Freză cilindro-frontală
d. Burghiu elicoidal

Cuțitul de strung – este o sculă monodinte, la care partea de poziționare-fixare este de formă prismatică și se confundă cu corpul sculei.

Burghiu elicoidal - sculă cu 2 dinți aşchietori, având calități aşchietoare la partea frontal, partea de poziționare-fixare având forma unei cozi cilindrice sau conice.

Freza disc – sculă cu mai mulți dinți, montați pe o suprafață cilindrică, la care partea de poziționare-fixare are forma unui alezaj, practicat în corpul sculei.

C.2. Elementele constructiv-geometrice ale dintelui aşchietor

Dintele aşchietor, prin materialul din care este executat şi prin elementele sale constructiv-geometrice, determină în cea mai mare măsură modul de desfăşurare şi rezultatele aşchierii.

Principalele elemente constructiv-geometrice ale unui dinte aşchietor sunt *suprafeţele de degajare* şi *de aşezare, muchia aşchietoare, tăișurile* și *vârfurile.*

Suprafaţa de degajare (**Aγ**) este suprafaţa părţii aşchietoare a sculei pe care alunecă şi sunt îndepărtate aşchiile din zona de aşchiere.

Poate fi o suprafaţă plană sau curbă, cu sau fără faţetă. Faţetele (înguste de câteva zecimi de mm) au orientare diferită faţă de suprafaţa de degajare (în mod frecvent $\gamma_0 < \gamma$) şi servesc la îmbunătăţirea rezistenţei termomecanice a muchiei aşchietoare (tăişul activ).

Suprafaţa de aşezare principală (**Aα**) este suprafaţa părţii aşchietoare a sculei orientată spre suprafaţa instantanee de aşchiere de pe semifabricat.

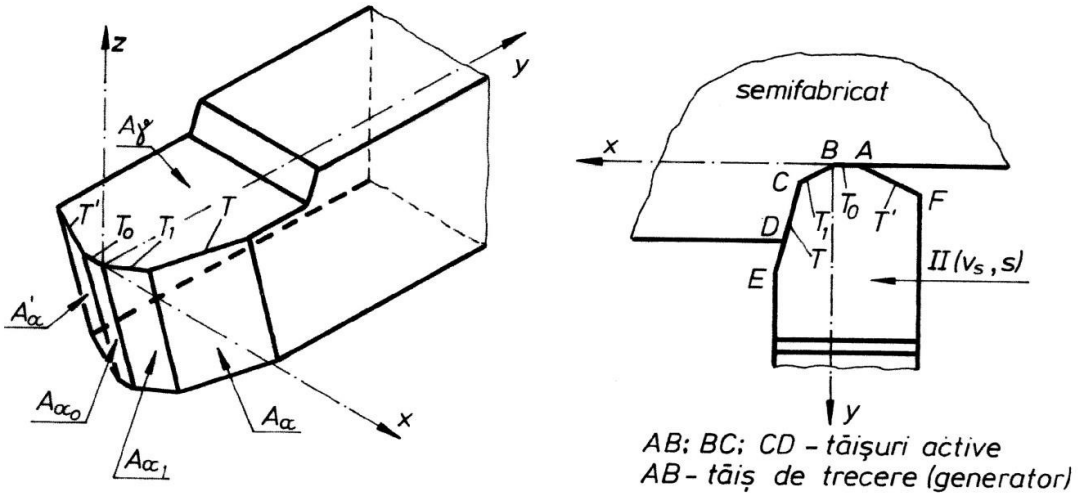
Poate fi o suprafaţă plană sau curbă, cu sau fără faţetă, orientată la un unghi α_0 ($0 < \alpha_0 < \alpha$). Faţeta are rolul de a îmbunătăţi contactul dintre suprafaţa de aşezare şi suprafaţa de aşchiere, în scopul diminuării vibraţiilor. Uneori, dintele aşchietor are suprafaţa de aşezare în trepte, cu scopul de a evita interferenţa cu suprafaţa prelucrată, dar păstrând geometria optimă în vecinătatea tăişului (cazul cuţitelor de strunjire interioară pentru diametre mici), ori pentru a permite reascuţirea (refacerea calităţii aşchietoare) plăcuţelor din CMS brazate.

Suprafaţa de aşezare secundară (**A'α**) este suprafaţa părţii aşchietoare a sculei orientată spre suprafaţa generată.

Muchia aşchietoare (**m.a.**), obţinută ca intersecţie a suprafeţei de degajare cu suprafeţele de aşezare, realizează, în prezenţa mişcării de aşchiere, tăierea adaosului de prelucrare. Ea materializează *planul de grosime infinit mică* ce caracterizează aşchierea ideală şi trebuie să posede o bună capacitate de tăiere.

Muchia aşchietoare este formată din două sau mai multe **tăişuri**, rectilinii şi/sau curbilinii.

Tăişul este partea din muchia aşchietoare ce rezultă ca intersecţie între suprafaţa de degajare şi una din suprafeţele de aşezare.



Elementele constructiv-geometrice ale dintelui aşchietor

În funcţie de contribuţia la desfăşurarea procesului de aşchiere, tăişurile pot fi: *active* sau *inactive*; *principale*, *secundare, de trecere* sau *auxiliare.*

Tăişul principal (*T*) reprezintă partea muchiei aşchietoare cu cea mai mare contribuţie la transformarea în aşchii a adaosului de prelucrare; este orientat în sensul mişcării de avans. Tăişul principal reprezintă fizic intersecţia suprafeţei de degajare (*Aγ*) cu suprafaţa de aşezare principală (*Aα*).

Tăişul secundar (*T'*) nu participă în mod direct la procesul de aşchiere, dar asigură o construcţie rezistentă pentru dintele sculei. Este materializat de intersecţia suprafeţei de aşezare secundare (*Aα'*) cu suprafaţa de degajare (*Aγ*) şi este orientat în direcţie opusă tăişului principal. De forma şi calitatea acestui tăiş depinde în cea mai mare măsură rugozitatea suprafeţei prelucrate.

Tăişul de trecere (T_0) este un tăiş de lungime mică, practicat în scopul rigidizării muchiei şi pentru realizarea unei calităţi superioare a suprafeţei. Este un tăiş netezitor.

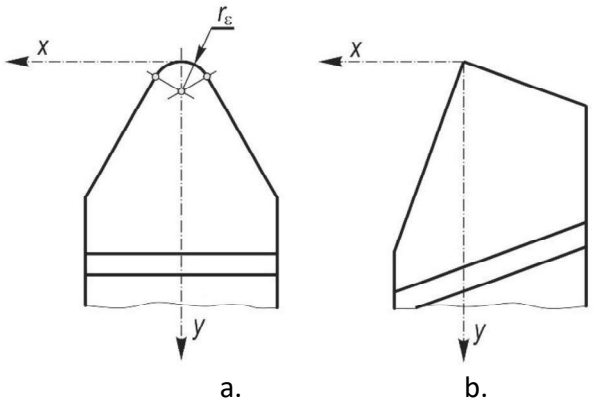
Tăişul auxiliar (T_1) este practic obţinut din tăişul principal (*T*) şi are rolul de a conferi muchiei aşchietoare o rezistenţă termo-mecanică sporită.

Tăişurile ce formează muchia aşchietoare pot fi rectilinii sau curbilinii, iar fiecăruia îi corespunde câte o suprafaţă de aşezare: principală A_α, secundară A'_α, de trecere $A_{\alpha 0}$, auxiliară $A_{\alpha 1}$.

În general, muchia aşchietoare are în componenţă un tăiş principal *T* şi un tăiş secundar *T'*, dar, în cazul muchiilor complexe, mai poate conţine, suplimentar, un tăiş de trecere (generator) T_0 şi/sau un tăiş auxiliar T_1.

La un dinte aşchietor se definesc unul sau mai multe ***vârfuri***, ca intersecţie a două tăişuri successive. Vârfurile ce participă la generarea suprafeţei de prelucrat se numesc *vârfuri principale sau generatoare* (A şi B pentru cuţitul din fig.).

De obicei, se utilizează dinţi aşchietori cu un singur vârf, obţinut ca parte de legătură între tăişul principal şi cel secundar. Vârful poate avea o formă rotunjită, caracterizată de *raza la vârf* r_ε (v. fig. a) sau poate fi obţinut ca intersecţie neracordată (v. fig. b).



*Forma vârfului dintelui aşchietor: cu rază (**a**) şi fără rază (**b**) la vârf*

Forma geometrică și calitatea suprafețelor active ale dintelui așchietor

Suprafețele active ale dintelui așchietor (de degajare și de așezare) și muchia așchietoare pot avea diferite forme geometrice, în funcție de tipul sculei, de caracteristicile procesului de prelucrare, de forma suprafeței așchiate și de materialul prelucrat.

1. ***Suprafața de așezare***

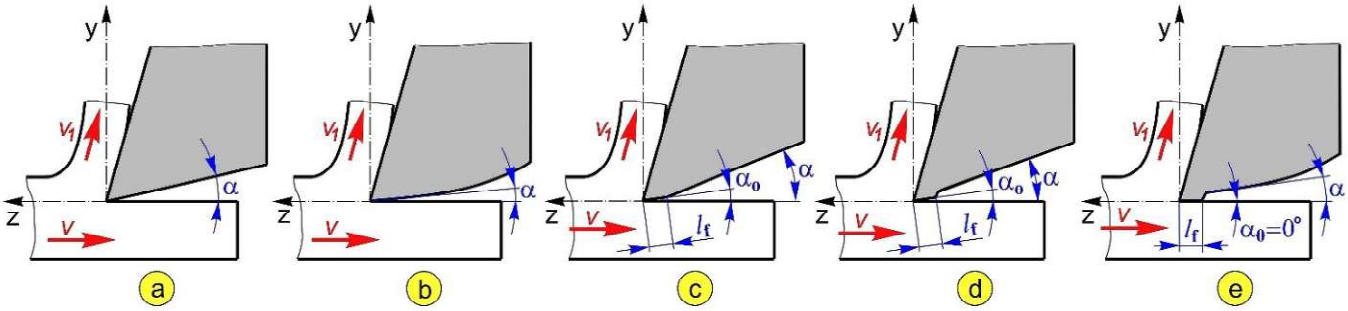


Fig. a - e

(a) suprafață de așezare plană, la unghi de așezare $\alpha > 0°$ - la cuțite de strung, de rabotat și mortezat
(b) suprafață de așezare curbilinie convexă, la unghi de așezare $\alpha > 0°$ - la freze și tarozi
(c) suprafață de așezare plană cu fațetă plană, de lungime l_f, practicată în lungul tăișului, la unghi $\alpha_o < \alpha$ - la broșe, freze sau cuțite de strung
(d) suprafață de așezare plană cu fațetă proeminentă (supraînălțată), de lungime l_f și unghi $\alpha_o < \alpha$ - la unele freze și broșe – permite ascuțirea/reascuțirea sculei, fără a afecta geometria dintelui așchietor

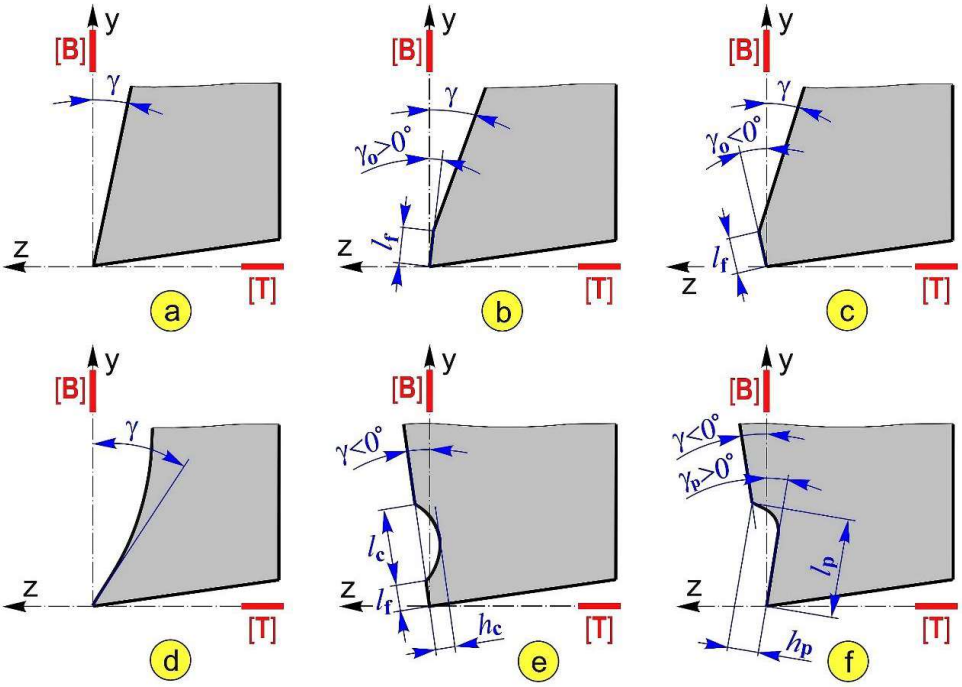
(e) suprafață de așezare curbilinie cu fațetă proeminentă la unghi $\alpha o = 0°$, pentru o mai bună ghidare a sculei – la broșe sau burghie

2. *Suprafața de degajare*

(a). suprafață de degajare plană, la unghi de degajare $\gamma \leq 0°$ sau $\gamma > 0°$ - la majoritatea cuțitelor și frezelor

(b). suprafață de degajare plană, la unghi de degajare $\gamma > 0°$ și fațetă plană de lungime l_f și unghi $\gamma_o > 0°$, $\gamma_o < \gamma$ - la broșe și unele cuțite și freze

(c). suprafață de degajare plană, la unghi de degajare $\gamma > 0°$ și fațetă plană de lungime l_f și unghi $\gamma_o < 0°$ - la prelucrarea materialelor dure, pentru creșterea rezistenței muchiei așchietoare



(d). suprafață de degajare curbă concavă, la unghi de degajare $\gamma > 0°$ - la burghie, alezoare, adâncitoare

(e). suprafață de degajare plană, la unghi de degajare $\gamma < 0°$ și canale paralele cu tăișul, practicate la distanța l_f de muchia așchietoare – pentru a forța deformarea și spiralarea așchiilor formate – la unele cuțite și freze

(f). suprafață de degajare plană, la unghi de degajare $\gamma < 0°$ sau $\gamma > 0°$ și prag de fragmentare a așchiilor, de lățime l_p și înălțime h_p, la unghi $\gamma_p > 0°$.

3. *Muchia așchietoare*

(a). Muchie așchietoare simplă, formată din două tăișuri rectilinii, principal și secundar, la unghiurile de atac K și K', legătura dintre tăișuri fiind un vârf al dintelui

(b). Muchie așchietoare formată din două tătișuri rectilinii, racordate cu raza r – pentru o mai bună calitate a suprafeței așchiate și creșterea durabilității sculei

(c). Muchie așchietoare curbilinie de rază R

(d). Muchie așchietoare cu tăiș auxiliar practicat din tăișul principal, la unghi de atac $K_1 < K$ – asigură rezistență mare a muchiei așchietoare și prelucrarea cu valori ridicate de avans, s

(e). Muchie așchietoare formată din tăiș principal rectiliniu, la unghi K, tăiș secundar – K', tăiș auxiliar $K_1 < K$ și tăiș de trecere $K_o = 0$ practicat pe o lungime mică, l = 1...2 mm, care determină rezistență m.a. și capacitate de evacuare a căldurii degajate, fără a afecta calitatea suprafeţei generate.

(f). Muchie așchietoare cu formă complexă – conjugate suprafeței de generat – la sculele profilate

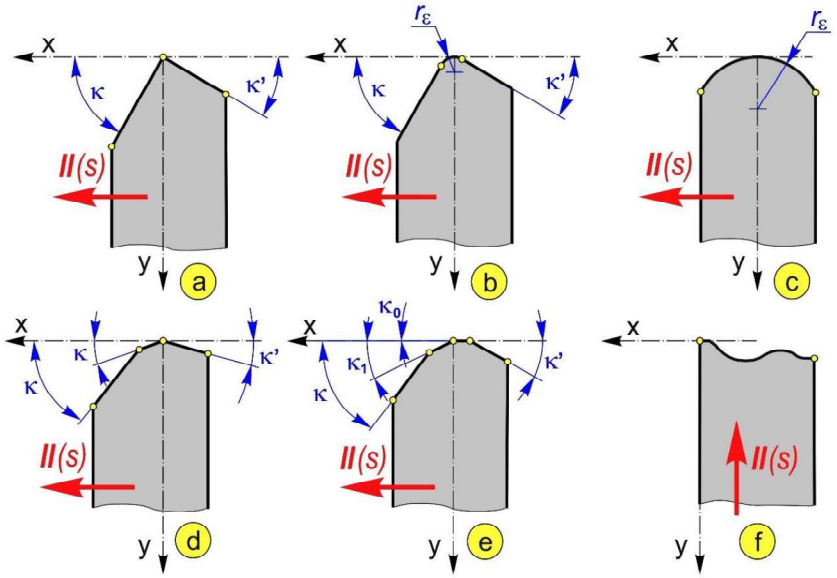


Fig. a – f

Precizia şi calitatea muchiei aşchietoare şi a suprafeţelor active ale sculei rezultă în urma operaţiei de ascuţire sau reascuţire şi sunt dictate de condiţiile concrete de realizare, precum şi de limitele tehnologiilor actuale.

Calitatea (rugozitatea) suprafeţelor active ale dinţilor aşchietori influenţează atât condiţiile de desfăşurare a procesului de aşchiere, cât şi rezultatele acestuia, precum:

- calitatea suprafeţei prelucrate;
- nivelul forţelor de frecare pe suprafeţele active;
- gradul de uzură şi viteza de uzare a dintelui;
- solicitarea termică a dintelui aşchietor.

Rugozitatea pronunţată (înălţimea mare a microneregularităţilor) a suprafeţelor active determină creşterea coeficientului de frecare şi, ca urmare, a forţelor de aşchiere, precum şi a temperaturii în zona de aşchiere. Ca efect direct, scula aşchietoare se va uza mai rapid, diminuând timpul total de utilizare a acesteia.

Rugozitatea mare a suprafeţei de aşezare poate produce deteriorarea suprafeţei prelucrate, prin deformarea neuniformă a stratului superficial, zgârâierea, durificarea sau exfolierea lui, cu influenţe negative asupra preciziei dimensionale şi a calităţii de suprafaţă.

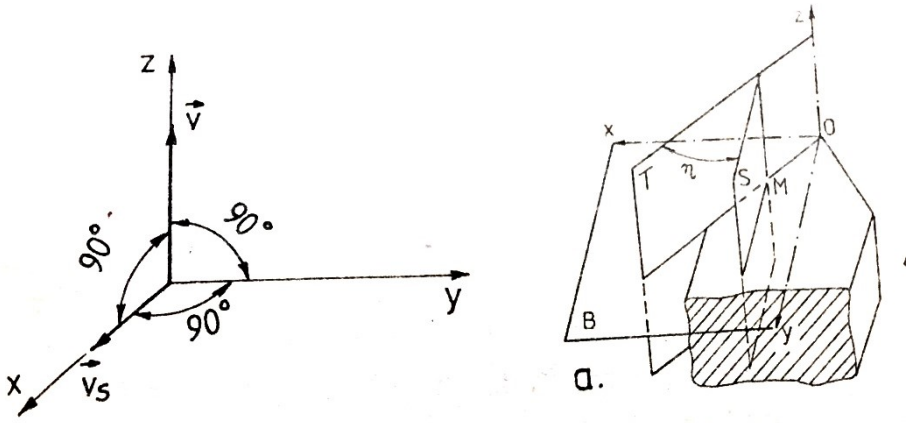
Pentru diminuarea acestor efecte negative, se recomandă ca suprafeţele active ale dintelui aşchietor să aibă o rugozitate cât mai mică iar muchia aşchietoare să fie cât mai ascuţită (raza de rotunjire ρ cât mai mică), obiective atinse printr-o ascuţire/reascuţire îngrijită, pe dispozitive speciale şi cu discuri abrazive cu granulaţie fină, de preferinţă diamantate. Prin operaţii suplimentare de *supranetezire* se obţin rugozităţi şi mai mici, cu suprafeţe de tip «oglindă».

Un alt aspect legat de calitatea suprafeţelor active îl reprezintă rezistenţa la uzare şi duritatea ridicată, calităţi indispensabile stratului superficial al suprafeţelor active. Chiar dacă masa dintelui este mai puţin dură, dar mai rezistentă la şocuri şi cu capacitate bună de transmitere a căldurii, stratul superficial al suprafeţelor active trebuie să posede simultan rugozitate scăzută, duritate ridicată şi rezistenţă la uzare .

Parametrii constructivi ai dintelui așchietor

Acești parametri se referă la unghiurile constructive, care determină geometria constructivă a dintelui așchietor. Unghiurile constructive definesc suprafețele active ale dintelui, considerând scula așchietoare un corp geometric independent, dar luând în considerare cinematica procesului de așchiere (mișcările de lucru).

Pentru definirea geometriei constructive a dintelui aşchietor este utilizat un sistem de referinţă, numit *sistem de referinţă constructiv*, care se stabileşte în funcţie de mişcările de lucru şi de poziţia sculei în raport cu semifabricatul.



Sistemul de referinţă constructiv utilizează un sistem triortogonal de axe, cu originea în vârful sculei sau într-un punct oarecare M de pe tăişul activ, orientat astfel:

- Axa z se alege pe direcţia şi în sensul mişcării principale, de viteză v
- Axa x este dată de direcţia şi sensul mişcării de avans, de viteză v_s
- Axa y se alege astfel încât să completeze sistemul triortogonal de axe

Faţă de acest sistem de axe se definesc cele 3 plane de referinţă constructive:

- **Planul de bază, B**, determinat de axele x şi y (se confundă cu planul xy)
- **Planul tăişului, T**, normal la planul de bază şi tangent la tăiş în punctul M de pe tăiş
- **Planul secant, S**, normal la planul de bază în punctul M de pe tăiş

Planul secant, S, prin modul de definire (perpendicular pe planul de bază) nu este un plan unic, ci constituie o familie de plane. Poziţia generală, oarecare, a planului secant este mai puţin utilizată în definirea geometriei constructive a unei scule aşchietoare.

De obicei, la definirea geometriei constructive a sculelor, se utilizează planul secant particular, normal la planul tăişului, notat cu N-N, pentru care $\eta = 90°$. Planul N-N se obţine prin rotirea planului secant S în jurul axei *z* până când devine perpendicular pe planul tăişului, T; În acest caz, cele trei plane constructive, B, T şi N-N, formează un triedru drept, cu vârful în punctul M.

La proiectarea sculelor aşchietoare mai pot fi utilizate planele secante particulare:

- X-X (planul secant paralel cu planul xz)
- Y-Y (planul secant paralel cu planul yz).

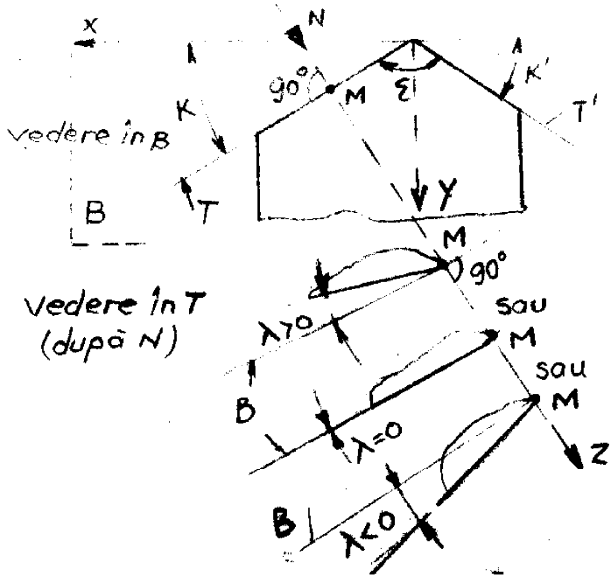
Planele T şi S se definesc pentru fiecare tăiş al dintelui şi în fiecare punct al tăişurilor curbilinii, motiv pentru care capătă denumirea tăişului respectiv (principal, secundar, auxiliar etc.).

Pentru definirea unghiurilor constructive, dintele aşchietor se proiectează în planul de bază sau în planul tăişului şi se reprezintă secţiunile prin dinte într-un plan secant (N-N, X-X sau Y-Y).

În fig. de mai jos sunt prezentate proiecţiile tăişului principal în planul de bază, B şi în planul tăişului, T, în care se definesc următoarele unghiuri constructive:

K – unghiul de atac – definit între proiecţia tăişului în planul de bază, B şi axa x; se măsoară în planul de bază şi are rol în repartizarea convenabilă a grosimii adaosului de prelucrare.

λ - unghiul de înclinare al tăişului – definit între tangenta la tăiş şi planul de bază care trece prin punctul M considerat; se măsoară în planul tăişului;

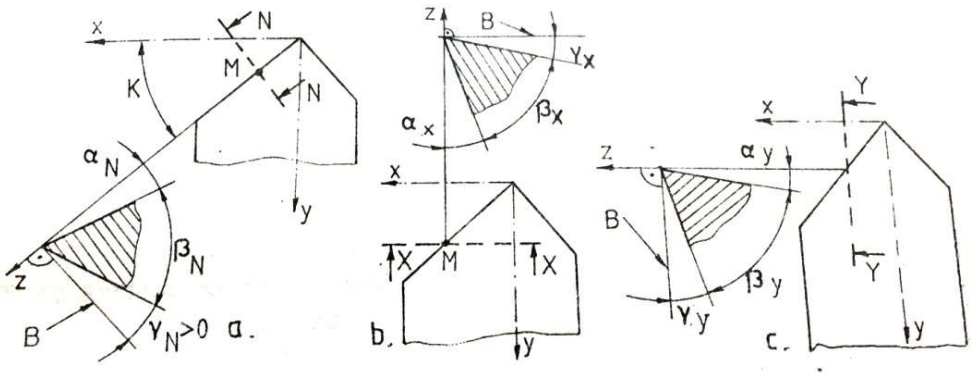


Unghiurile constructive din planul de bază și din planul tăișului

Unghiurile K și λ se definesc pentru fiecare tăiș (principal, secundar, auxiliar, de trecere) și definesc poziția în spațiu a tăișului respectiv, căpătând denumirea tăișului (unghi de atac principal, secundar etc).

ε - unghiul la vârf – definit între proiecțiile celor două tăișuri, principal și secundar, în planul de bază.

<u>Obs</u>.: Între unghiurile K, K' şi ε există relaţia **K + ε + K' = 180°**



Reprezentarea secțiunilor prin dinte în planele secante N-N, X-X și Y-Y

În planele secante particulare N-N, X-X și Y-Y se definesc următoarele unghiuri constructive, conform fig. de mai sus:

α - unghiul de așezare – definit între planul suprafeței de așezare și planul tăișului; se măsoară într-un anumit plan secant (N-N, X-X sau Y-Y) și indică poziția suprafeței de așezare față de planul tăișului. Se notează cu α_N, α_X sau α_Y.

γ - unghiul de degajare – definit între planul tangent la suprafața de degajare și planul de bază; se măsoară în același plan secant cu unghiul **α** și se notează cu γ_N, γ_X sau γ_Y.

β - unghiul de pană (de ascuțire) - definit între planul tangent la suprafața de așezare și planul tangent la suprafața de degajare; se măsoară în același plan secant cu α și γ. Se notează cu β_N, β_X sau β_Y.

δ - unghiul de așchiere - definit între planul tangent la suprafața de degajare și planul tăișului; se măsoară în același plan secant cu α, γ și β. Se notează cu δ_N, δ_X sau δ_Y.

Între unghiurile constructive α, β, γ, δ au loc relațiile generale: $\alpha + \beta + \gamma = 90°$ și $\delta + \gamma = 90°$, valabile în orice plan secant. Relațiile sunt valabile pentru orice plan secant, numai că se adaugă la indice inițiala numelui planului secant considerat ($\alpha_N + \beta_N + \gamma_N = 90°$ etc.).

Unghiul de degajare, **γ,** unghiul de aşezare, **α,** unghiul de ascuţire, **β** şi unghiul de aşchiere, **δ** determină poziţia suprafeţelor active ale dintelui (de degajare şi de aşezare) și se mai numesc **unghiuri de poziție ale suprafețelor active.**

Unghiul de atac, K, unghiul la vârf ε și unghiul de înclinare, λ definesc poziția în spațiu a fiecărui tăiș și se mai numesc **unghiuri de poziție ale tăișului**.

Unghiurile de atac K, K', K_0, … şi unghiul la vârf ε – măsurate în planul de bază, sunt, prin definiţie, considerate pozitive.

λ este negativ când tăişul, în mişcarea lui, precede vârful sculei şi pozitiv când vârful sculei aşchietoare precede tăişul.

Unghiul de degajare γ, ca unghi de înclinare a suprafeţei de degajare în raport cu planul de bază, capătă valori negative sau pozitive, semnul lui fiind impus, prin convenţie, de mărimea unghiului de aşchiere, δ: pentru $\delta < 90°$, efectul de pană al sculei este mai accentuat şi γ se consideră pozitiv, iar pentru $\delta > 90^o$ se consideră γ negativ.

Unghiurile constructive se înscriu, alături de celelalte dimensiuni ale sculei, pe desenul de execuţie.

Materialul aşchietor – parametru al procesului de aşchiere

Prin «material aşchietor» se înțelege materialul utilizat la construcţia părţii active (dinţii aşchietori) a sculei, pentru că partea de prindere-fixare şi corpul sculei sunt executate deseori din materiale având caracteristici mecanice inferioare – în mod frecvent din oţel de construcţii.

Pentru ca partea aşchietoare a sculelor să îndeplinească cerinţele legate de capacitatea de aşchiere cu forţe mici şi rezistenţa termo-mecanică mare a tăişurilor, materialul aşchietor trebuie să îndeplinească câteva următoarele **condiții**:

1. **Duritate superioară** durităţii materialului prelucrat cu cel puţin 5 ÷ 6 HB, pentru a rezista uzurii abrazive. Această valoare este considerată limită, practic fiind necesară o diferenţă mai mare de duritate, pentru a evita uzarea prematură a sculei.
2. **Termostabilitate**

Termostabilitatea la cald reprezintă capacitatea/proprietatea materialului de a-şi menţine proprietăţile fizico-mecanice după încălzire un anumit timp în aceste condiţii.

Temperatura de stabilitate reprezintă limita superioară de temperatură la care poate fi încălzit şi menţinut timp de 2 ÷ 3 ore un material, fără ca, după răcire, duritatea să scadă cu mai mult de 2 ÷ 3 HR.

3. **Rezistenţă ridicată la uzare** la rece şi la cald, este asigurată în principal de structura şi compoziţia chimică a materialului, de prezenţa elementelor de aliere şi granulaţia acestora, în special a carburilor de Cr, V şi a carburilor complexe de W-Fe.
4. **Rezistenţă la solicitări de compresiune, încovoiere şi şocuri** - necesară pentru a evita deformarea sculei sub acţiunea forţelor de aşchiere, cu efecte negative asupra deplasării vârfului aşchietor.
5. **Tenacitate** – proprietate complexă care integrează duritatea şi ductilitatea, două caracteristici care variază în general în sensuri inverse. În cazul sculelor aşchietoare, tenacitatea încearcă să realizeze o duritate maxim posibilă şi o fragilitate cât mai redusă.
6. **Rezistenţă la oboseală şi la şocuri termice**, calităţi importante pentru sculele supuse aşchierii întrerupte. La nivelul suprafeţei de degajare active, aflată în contact direct cu aşchia, materialul aşchietor se încălzeşte şi se dilată, apărând eforturi de compresiune; la desprinderea aşchiei, zona

încălzită şi tensionată este răcită brusc de către mediul de aşchiere (în mod frecvent cu lichid de răcire-ungere), materialul contractându-se. Periodicitatea încălzirii şi răcirii bruşte poate conduce la fragilizarea şi distrugerea vârfului sculei.

7. **Rezistenţă la anumiţi factori de coroziune sau la oxidare** – asigură rezistenţa la uzare prin difuzie, prin oxidare şi la uzarea chimică;
8. **Conductibilitatea termică ridicată** – pentru a permite disiparea rapidă a temperaturii de aşchiere în corpul sculei şi menţinerea temperaturii în zona vârfului cât mai scăzută.
9. **Cost scăzut**. Materialul aşchietor trebuie să fie economic, adică preţul materialului şi costul operaţiilor de prelucrare să fie rezonabil. În ideea reducerii costurilor, se aplică principiul executării părţii aşchietoare dintr-un material de scule care să satisfacă condiţiile 1 - 8, în timp ce celelalte elemente vor fi confecţionate din oţeluri de construcţie.

Caracteristicile enumerate pentru materialul aşchietor se obţin prin natura şi tehnologia de fabricare a acestuia şi prin tratamentele termice aplicate.

Materialele utilizate în mod frecvent la executarea părţii aşchietoare a sculelor şi care corespund caracteristicilor prezentate mai sus sunt pot fi clasificate în două tipuri:

- **materiale metalice**: oţeluri carbon de scule (OSC), oţelurile slab aliate, oţelurile înalt aliate sau oţeluri rapide (Rp) şi, la limită, carburile metalice sinterizate (CMS)
- **materiale nemetalice**: materialele mineralo-ceramice (CM); cele extradure (diamant, nitrură cubică de bor) şi materialele abrazive.

I. MATERIALE METALICE

Oţelurile carbon pentru scule

- Sunt caracterizate printr-o prelucrabilitate foarte bună şi cost scăzut.
- Sunt oţeluri carbon de calitate superioară, cu un conţinut de carbon între 0,65 şi 1,45% .

Mărirea conţinutului de C peste 0,7% conduce la creşterea durităţii în zona centrală a sculei, contribuind astfel la îmbunătăţirea caracteristicelor mecanice ale acesteia.

Mărcile de oţeluri carbon de scule produse în Romania se simbolizează cu **OSC**: OSC7, OSC8, OSC8M, OSC9, OSC10, OSC10M, OSC12, OSC13, conform STAS 1700-66) în care cifrele reprezintă conţinutul de carbon în zecimi de procente.

Oţelurile carbon de scule, deși au cost redus şi o bună prelucrabilitate, sunt utilizate numai la construcţia sculelor ce lucrează cu viteză mică de aşchiere (maxim 10 ÷ 15 m/min), preponderent la sculele cu acţionare manuală (tarozi, filiere, pile, pânze de ferăstrău), limitări datorate unor **dezavantaje**: temperatură mică de termostabilitate (200...250ºC); riscul crescut de deformare la tratamentul termic, impune evitarea utilizării în cazul sculelor cu formă complexă şi de dimensiuni mari; pericol de decălire la ascuţire (după tratamentul termic) şi reascuţire.

Oţelurile aliate pentru scule conţin, în afară de C într-un procent ridicat (0.7 ÷ 2.11% C) şi elemente de aliere (vanadiu, volfram, molibden, crom, mangan, cobalt, siliciu, nichel), care asigură proprietăţi aşchietoare şi tehnologice (duritate şi proprietăţi mecanice) superioare oţelurilor carbon de scule, şi anume:

- duritate mai mare, până la 64 ÷ 65 HRC;
- temperatură de termostabilitate de 350 ÷ 400º C, ce permite lucrul cu viteze de aşchiere mai mari (20 ÷ 30 m/min).

Simbolul acestor oţeluri este format dintr-un grup de cifre ce reprezintă conţinutul de carbon în sutimi de procente, simbolurile chimice ale principalelor elemente de aliere (în ordinea ponderii ocupate) şi un alt grup de cifre care reprezintă conţinutul principalului element de aliere în zecimi de procente. (Ex.: 10 Mn Cr 11)

În funcţie de procentul elementului de aliere majoritar, oţelurile aliate pentru scule se clasifică în 2 grupe:

a. oţeluri slab aliate, la care elementul de aliere majoritar este sub 6%; Temperatura de termostabilitate redusă determină utilizarea numai la sculele aşchietoare care lucrează cu viteze mici de aşchiere (filiere, broșe, tarozi).
b. oţeluri înalt aliate, la care procentul depăşeşte 10 ÷ 12%. Cele mai utilizate în construcţia sculelor aşchietoare sunt cele cu un conţinut ridicat de crom, cunoscute şi sub denumirea de *oţeluri pentru scule foarte rezistente la uzură*. Sunt caracterizate de rezistenţă mare la uzura abrazivă, temperatură de termostabilitate de 300...450ºC, stabilitate dimensională mare în timpul tratamentului termic, motiv pentru care sunt utiizate pentru executarea sculelor complexe sau de dimensiuni mari.

Oţelurile rapide şi suprarapide

Deşi fac parte din categoria oţelurilor înalt aliate pentru scule (conţin 18% wolfram, plus alte elemente de aliere - crom, vanadiu, molibden), **oţelurile rapide** sunt de obicei considerate separat de acestea, datorită caracteristicilor tehnologice şi de exploatare deosebite.

Prezenţa carbonului, a wolframului şi a celorlalte elemente de aliere dau oţelurilor rapide caracteristici importante pentru aşchiere, şi anume:

- duritate mare (63-65 HRC);
- rezistenţă la uzare la rece şi la cald;
- bună călibilitate;
- limita de termostabilitate ridicată – de cca. 600ºC, permite folosirea sculelor din oţel rapid la viteze de aşchiere de până la 60 m/min, cu asigurarea unei durabilităţi de 10...30 de ori mai mare faţă de celelalte oţeluri aliate pentru scule.

Ca urmare, se utilizează în fabricarea majorităţii tipurilor de scule aşchietoare (cuţite, scule pentru prelucrarea găurilor, freze etc.).

Prin reducerea conținutului de Wolfram şi creşterea celui de cobalt până la 15%, au rezultat **oţelurile suprarapide (super-rapide)**, indicate pentru viteze de aşchiere relativ mari, fiind caracterizate de rezistenţa la uzare redusă la temperaturi scăzute.

În RO există următoarele mărci de oţeluri rapide: Rp1, Rp2, Rp3, Rp4, Rp5, Rp6, Rp7, Rp8, dintre care Rp1, Rp2 si Rp6 sunt suprarapide. Cel mai utilizat în construcţia sculelor este Rp3 (18% W, 4% Cr, 1% V).

II. MATERIALE NEMETALICE

Carburi metalice sinterizate (CMS) **(materiale metalo-ceramice)**

Aceste materiale (CMS) se obţin prin presarea şi sinterizarea unor particule ale unor compuşi duri, greu fuzibili (de obicei carburi metalice de wolfram, titan, molibden, tantal) şi a unui liant metalic (de regulă cobalt, mai rar nichel) – sub formă de pulbere.

Proprietăţile fizico-mecanice ale acestor materiale sunt determinate de tipul carburilor din care sunt formate, proporţia liantului metalic şi structura microscopică.

Calităţile deosebite ale CMS-urilor sunt:

- temperatura de termostabilitate ridicată (900...1000ºC);
- rezistenţă mare la uzură la cald;
- viteze de aşchiere mai mari de 2...5 ori faţă de sculele din oţel Rp (viteze de 100...300 m/min;

Ca dezavantaje, fragilitatea şi rezistenţa mecanică mult inferioară oţelului rapid restricţioneaza utilizarea CMS-urilor la prelucrările cu sarcini variabile mari, şocuri şi vibraţii accentuate.

În prezent, standardele internaţionale ISO, clasifică aceste materiale în 6 grupe ISO de utilizare: *P*, *M*, *K, N, S* şi *H.*

- ***grupa P*** - destinată prelucrării materialelor ductile (materiale feroase cu aşchii continue lungi), ca oţeluri laminate nealiate, slab sau înalt aliate, oţeluri turnate, inoxidabile feritice şi martensitice
- ***grupa M*** recomandată pentru materialele cu prelucrabilitate redusă, de tip oţel inoxidabil austenitic;
- ***grupa K*** este destinată prelucrării fontelor maleabile, fonte cenuşii şi cu grafit nodular;

- ***grupa N*** se recomandă pentru metale neferoase: aliaje din aluminiu, cupru şi aliaje din Cu;
- ***grupa S*** – pentru super aliaje (materiale rezistente la temperatură înaltă, pe baza de fier, nichel, cobalt), pentru titan şi aliaje de titan;
- ***grupa H*** – pentru prelucrarea materialelor dure (oţeluri călite şi temperate, oţeluri pentru rulmenţi şi pentru scule, oţeluri manganoase, fontă albă ş.a

Materialele metalo-ceramice se livrează sub formă de plăcuţe cu o mare varietate de forme şi dimensiuni, fixându-se mecanic pe corpul sculei (plăcuţe amovibile) sau prin lipire cu aliaje de Cu-Ag (plăcuţe brazate). În general, plăcuţele brazate se ascut după lipire şi se pot reascuţi (în stare montată) numai cu discuri abrazive, în timp ce plăcuţele amovibile nu se reascut.

CERMET-uri

Sub acestă denumire sunt cunoscute, în general, acele materiale aşchietoare care conţin o fază CERamică (oxidică sau nitrurică) şi o fază METalică (Ni pur sau carbură de Ti).

Sunt caracterizate de rezistenţă sporită la şocuri termice, mecanice şi la uzură. Aceste calităţi sunt determinate şi controlate prin proporţia de carburi şi de nitruri din masa aliajului.

Datorită structurii fine a constituienţilor se pot obţine scule cu tăişuri având raze mici de bontire, cu duritătţi mari la temperaturi ridicate şi rezistenţă la uzare superioară celei realizată din CMS.

Principalele calităţi aşchietoare ale cermet-urilor sunt:

- stabilitatea chimică la temperaturi ridicate;
- rezistenţa mare la uzarea feţei de aşezare şi de degajare;
- temperatura de termostabilitate ridicată (1100º...1300ºC).

Limitarea domeniului de utilizare a cermet-urilor la prelucrările de finisare şi semifinisare se datorează fragilităţii ridicate şi sensibilităţii la şocurile mecanice.

Materiale mineralo-ceramice

Se obţin prin sinterizare, elementul de bază fiind oxidul de aluminiu (Al2O3) combinat cu oxizi ai unor metale dure, cum sunt cromul şi wolframul.

Principalele caracteristici ce le recomandă pentru armarea sculelor aşchietoare sunt:

- bună rezistenţă la compresiune (până la 170 daN/mm2);
- temperatură de termostabilitate ridicată (1100º÷1200ºC)
- rezistenţa mare la uzare ;
- stabilitate dimensională ridicată (apreciată la prelucrări de precizie);
- tendinţă scăzută de aderare la materialul prelucrat, ce limitează condiţiile de apariţie a depunerilor pe tăiş.

Dezavantajele materialelor mineralo-ceramice, ce limitează utilizarea lor la prelucrări de finisare şi semifinisare, cu nivel foarte scăzut de şocuri şi vibraţii:

- rezistenţă mică la încovoiere şi la tracţiune (σr = 7,5 daN/mm2)
- tenacitate extrem de scăzută (KCU = 0,08 daJ/cm2);
- fragilitate ridicată;
- prelucrabilitate redusă;

Se produc sub formă de plăcuţe prismatice, cu mai multe vârfuri, care se fixează exclusiv mecanic pe corpul sculei. Nu se practică reascuţirea lor, iar după folosirea tuturor vârfurilor devin inutilizabile.

Sunt mai fragile şi mai puţin rezistente la şocuri decât CMS şi, în mod evident, decât oţelul rapid. De aceea utilizarea lor este limitată la finisare şi semifinisare, eficienţa maximă înregistrându-se la prelucrarea materialelor cu capacitate abrazivă mare şi conductibilitate termică scăzută (fontele).

Nitrura cubică de bor

Nitrura cubică de bor (NCB) este cel mai nou material utilizat la aşchierea materialelor, regăsindu-se, în prezent, sub diferite denumiri: BORAZON (General electric), ELBOR-R (Rusia), WIDABOR (Krupp-Widia), AMBORITE (Valenite) ş.a.

Proprietăţile fizice ale NCB:

- duritatea (HV) de până la 9000 daN/mm2;
- punctul de topire: 3250ºC;
- stabilitatea termică în aer: 1300ºC;
- stabilitatea termică în atmosferă neutră: 1600ºC.

Se remarcă în mod deosebit duritatea ridicată (depăşită numai de cea a diamantului) şi inerţia chimică de excepţie, NCB nereacţionând chimic nici măcar cu fierul, la atingerea temperaturii de termostabilitate.

Pentru armarea sculei aşchietoare, este utilizată, mai ales, forma policristalină a NCB, realizată prin legarea unui strat de cristale de nitrură cubică de bor (cu grosimea de 0,5...1,5 mm) pe un suport de carburi metalice sinterizate.

Utilizarea NCB este justificată (datorită preţului ridicat) la aşchierea materialelor ce ridică probleme deosebite de prelucrabilitate, cum sunt oţelurile refractare, aliajele feroase extrem de dure (oţeluri şi fonte călite).

Diamantul

Material extrem de costisitor, existent atât în stare naturală cât şi sintetică, sub formă de policristal sau pulbere, diamantul este folosit la:

- ♦ armarea sculelor aşchietoare destinate prelucrării cu viteze foarte mari, pentru realizarea unor prelucrări cu precizie deosebită (finisare);
- ♦ profilarea şi corijarea discurilor abrazive (sub formă de creioane cu vârf de diamant);
- ♦ şlefuire cu pastă, intrând în componenţa unor paste abrazive, sub formă de praf de diamant.

Diamantul – sintetic sau natural, prezintă următoarele calităţi aşchietoare:

- duritate maximă (10 grade pe scara Mohs) dintre toate materialele cunoscute până în prezent;
- cel mai mic coeficient de frecare cu majoritatea materialelor şi rezistenţă mare la uzare;
- modul de elasticitate şi coeficient de conductibilitate termică ridicat;
- temperatura de termostabilitate mare (1600 ÷ 1800ºC)

Dezavantajele majore ale utilizării diamantului la aşchiere sunt fragilitatea, rezistenţa mică la încovoiere, tendinţa de grafitizare şi de combinare cu materialele din grupa fierului, la temperaturi mai mari de 700º...800ºC.

Materialele la care este justificată prelucrarea prin aşchiere cu diamant sunt:

- materiale neferoase – aliaje de Al, cupru, zinc, mangan, carburi de wolfram;
-materiale nemetalice – răşini epoxidice, fibra de sticlă, răşini fenolice, grafit, cauciucuri şi materiale plastice dure, materiale ceramice.

Mediul de aşchiere – parametru al procesului de aşchiere

În mod frecvent, procesul de aşchiere are loc în aer – numită *aşchiere uscată*, dar şi în prezenţa unor fluide de aşchiere (lichide, mediu gazos, lichide pulverizate). Sunt şi situaţii deosebite, de prelucrare în câmp electric, în prezenţa vibraţiilor ultrasonore, în câmp magnetic, ori de aşchiere în vid (pentru materialele uşor fuzibile) sau de aşchiere criogenică (sub 0º C, în azot lichid).

Mediul de aşchiere, prin proprietăţile sale şi prin modul în care este adus în zona de aşchiere, influenţează deosebit de complex desfăşurarea şi rezultatele aşchierii.

Indiferent de natura sa, trebuie să prezinte o serie de **proprietăţi**:

1. capacitate de răcire – calitatea mediului de aşchiere de a absorbi o cantitate cât mai mare de căldură din zona de aşchiere. Pentru sculă, temperatura ridicată din timpul procesului de lucru poate accentua procesul de uzare, iar pentru piesa semifabricat căldura acumulată în exces poate conduce la dilatare termică şi deformare, cu risc de depăşire a câmpului de toleranţă.

2. capacitate de ungere a suprafeţelor active ale dinţilor aşchietori, prin formarea unei pelicule subţiri, care diminuează frecările cu aşchia şi cu suprafaţa instantanee de aşchiere.

3. efect de microaşchiere – capacitatea de pătrundere prin capilaritate în fisurile dintre fragmentele de aşchie şi de a exercita o presiune mărită, ce conduce la separarea fragmentelor de aşchie; astfel, aşchiile se formează cu eforturi reduse.

4. micşorarea aderenţei materialului aşchiat. Pelicula formată în special pe suprafaţa de degajare permite alunecarea mai uşoară a aşchiilor şi împiedică aderenţa particulelor din materialul detaşat. Condiţiile de frânare a particulelor sub forma tăişului de depunere sunt astfel scăzute.

5. capacitatea de spălare – proprietatea prin care mediul de aşchiere îndepărtează din zona de lucru aşchiile formate şi impurităţile desprinse de pe semifabricat. Capacitatea de transport şi de evacuare a aşchiilor este deosebit de importantă la procesele de aşchiere în spaţii semi-închise (burghiere, broşare).

6. capacitatea de protecţie, are în vedere proprietatea mediului de a nu coroda scula aşchietoare, piesa sau elementele componente ale maşinii-unelte cu care interacţionează, precum şi de a nu fi nociv pentru operatorul uman care lucrează pe maşina respectivă.

Răcirea şi *ungerea* sunt efectele de bază ale mediului de aşchiere. Apa este mediul de aşchiere cu cel mai puternic efect de răcire, iar uleiul asigură cel mai puternic efect de ungere.

Mediile de aşchiere se aleg după efectele produse, dar şi din raţiuni economice. Pot fi utilizate următoarele medii:

- *aerul* din spaţiul în care se execută procesul de lucru, care are efect de răcire-ungere foarte redus, dar este avantajos economic;
- *soluţii pe bază de apă şi electroliţi* (apă + inhibitori de coroziune), cu efect puternic de răcire. Ca inhibitori de coroziune: carbonat de sodiu, fosfat trisodic ş.a.
- *soluţii pe bază de apă, substanţe capilar active* (săpunuri hidrofile, acizi graşi, produse de sulfatare) şi *inhibitori de coroziune* – cu efecte bune de răcire-ungere şi de microaşchiere;
- *emulsii tip apă-ulei* (apă + substanţe capilar active + inhibitori de coroziune + ulei mineral emulsionat) – cu efecte bune de răcire-ungere şi de microaşchiere;
- *emulsii activate*, cu proprietăţi superioare de ungere şi microaşchiere şi proprietăţi bune de răcire;
- *uleiuri minerale activate, supraactivate şi cu grafit* – cu proprietăţi superioare de ungere şi microaşchiere, dar mai reduse de răcire. În mod frecevent se folosesc uleiurile minerale de vâscozitate medie şi uleiurile sulfatate, cunoscute sub denumirea de *sulfofrezol*.
- *uleiuri vegetale şi grăsimi animale* – au proprietăţi de ungere mai bune, dar sunt mai puţin stabile decât uleiurile minerale, motiv pentru care sunt indicate numai pentru viteze reduse de aşchiere; se recomandă utilizarea sub formă de amestecuri de uleiuri minerale şi vegetale.

Pe lângă aceste medii de aşchiere pe bază de apă şi uleiuri, au fost experimentate şi alte medii: cloroform, azot, oxigen, hidrogen, bioxid de carbon, tetraclorură de carbon etc.

Alegerea mediului de aşchiere se face în funcţie de procedeul de prelucrare, natura materialului aşchiat, natura materialului aşchietor, caracterul prelucrării etc. La degroşare sunt utile mediile de aşchiere cu efecte bune de răcire, iar la finisare medii cu efecte bune de ungere şi de curăţire-spălare a suprafeţelor active.

Se recomandă ca:

- prelucrarea materialelor fragile, de tipul fontelor, să se facă în aer;
- pentru materialele cu conductivitate termică scăzută să se utilizeze medii de aşchiere cu proprietăţi bune de ungere şi microaşchiere;
- aliajele de magneziu, care se aprind uşor în aer, să se prelucreze în mediul criogenic sau în prezenţa uleiurilor;
- prelucrarea cu scule armate cu plăcuţe din carburi dure (CMS) să se facă în aer sau uleiuri cu debit mare, pentru a se evita şocurile termice – cu risc de fisurare a părţii active;

- operaţiile de rectificare trebuie executate în prezenţa unor medii lichide, la presiune şi debit mare, cu capacitate ridicată de spălare a suprafeţelor active ale corpului abraziv. Este indicat uleiul mineral sau ulei mineral în amestec cu petrol.

Influenţa mediului de aşchiere se manifestă asupra aşchierii nu numai prin proprietăţile sale, ci şi prin modul în care acesta este condus în vecinătatea tăişului activ.

În funcţie de procedeul de prelucrare prin aşchiere, construcţia sculei aşchietoare şi instalaţia din dotarea maşinii-unelte se poate utiliza una sau mai multe **metode de conducere a mediului de aşchiere**: *metoda exterioară, metoda interioară* şi *metoda combinată.*

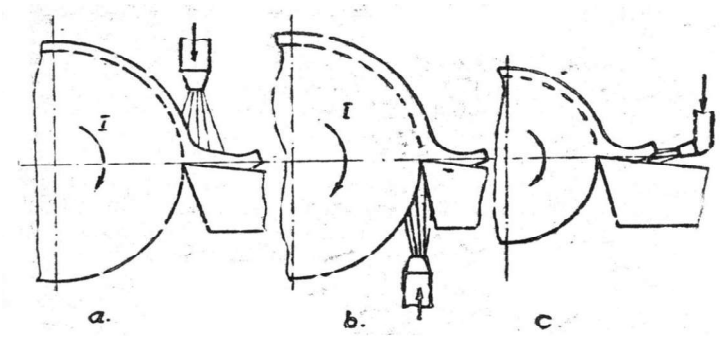
a. Metoda exterioară este cea mai utilizată şi se poate realiza în următoarele variante:

- *aşchiere în prezenţa mediului înconjurător* (aşchiere în aer);
- *aşchiere cu lichid pulverizat*:

– mediul de aşchiere lichid este trimis spre zona de aşchiere – are în vedere efectul mediului asupra zonei de aşchiere, a suprafeţei prelucrate şi sculei aşchietoare, urmărindu-se cu precădere capacitatea de răcire şi efectul de microaşchiere (fig. a);

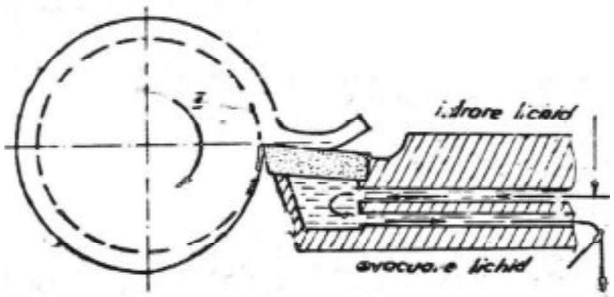
- mediul de aşchiere lichid este trimis cu presiune spre suprafaţa de aşezare a dintelui – are în vedere efectul asupra sculei şi asupra suprafeţei prelucrate, urmărindu-se efectul de ungere al mediului, (fig. b);

– mediul de aşchiere lichid este trimis în lungul suprafeţei de degajare a dintelui – se urmăreşte efectul asupra sculei şi a aşchiei, acordându-se importanţă capacităţii de răcire şi efectului de ungere şi de diminuare a condiţiilor de formare a depunerilor pe tăiş (fig. c).



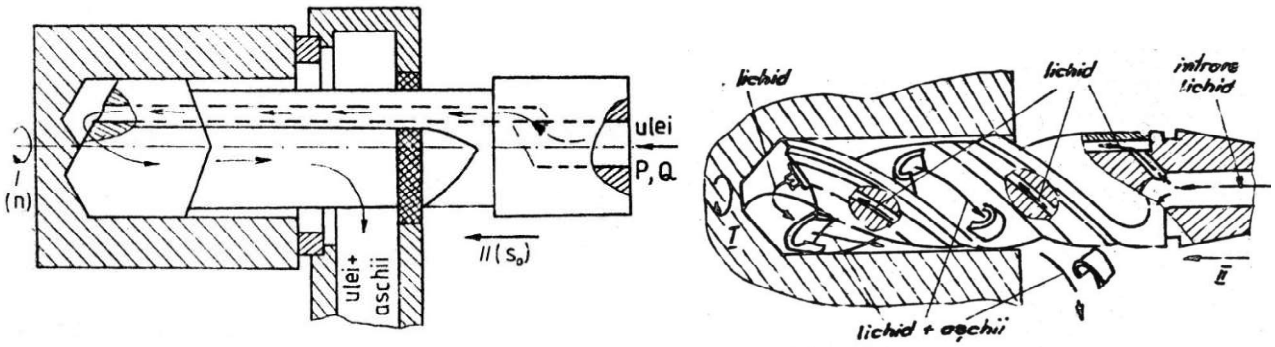
Direcţii de introducere a lichidului de aşchiere la metoda exterioară cu lichid pulverizat

b. Metoda interioară se aplică numai pentru răcirea dintelui aşchietor. Pentru conducerea interioară a mediului de aşchiere (lichid sau gazos), scula aşchietoare trebuie să aibă o construcţie specială. Este o metodă utilizată în special la strunjire, pentru cuţite confecţionate din oţel rapid sau armate cu plăcuţe din CMS brazate. Pentru că în acest caz lichidul nu ia contact şi cu zona de aşchiere, cazul poate fi considerat ca fiind *aşchiere uscată (în aer)*.



Metoda interioară de răcire la strunjirea cu un cuţit armat cu plăcuţă din CMS

c. **Metoda combinată** suprapune acţiunea exterioară cu cea interioară, astfel încât se obțin rezultate bune în ce privește menţinerea calităţii aşchietoare a sculei, creşterea productivităţii şi a calităţii suprafeţei prelucrare. Sunt exploatate nu numai capacitatea de răcire, ungere, evitarea depunerilor pe tăiş, dar şi capacitatea de transport a aşchiilor din zona de aşchiere spre exterior. În aceste condiţii, mediile de aşchiere utilizate (medii gazoase, chiar şi aerul, lichide sau lichide pulverizate sub forma de ceaţă) se mai numesc şi *fluide de răcire-ungere-evacuare*. Metoda combinată este întâlnită la prelucrarea găurilor lungi, şi chiar la burghierea clasică, cu utilizarea unor scule cu canale interioare pentru conducerea lichidelor în zona de lucru.



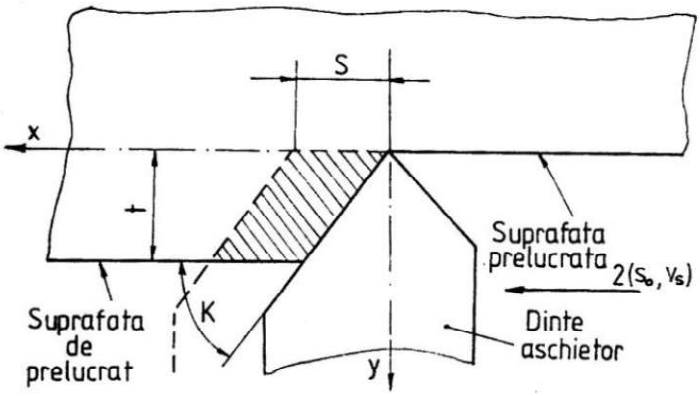
(a) (b)

Metoda combinată de conducere a fluidelor de răcire-ungere-evacuare la găurirea adâncă (a) și la găurirea clasică (b)

Pentru conducerea mediului de aşchiere sunt necesare instalaţii hidraulice şi/sau pneumatice, alcătuite din rezervor, pompe şi motoare de acţionare, schimbătoare de căldură, separatoare de aşchii şi microaşchii, conducte pentru conducerea fluidelor în zona de aşchiere, sisteme de siguranţă şi de protecţie la suprasarcini etc.

Forma şi dimensiunile aşchiei nedeformate (teoretice)

Modul şi gradul de solicitare termomecanică a dintelui aşchietor poate fi apreciat prin forma geometrică şi dimensiunile secţiunii de material îndepărtat la un ciclu al mişcării principale.



Secţiunea transversală a aşchiei nedeformate (teoretice)

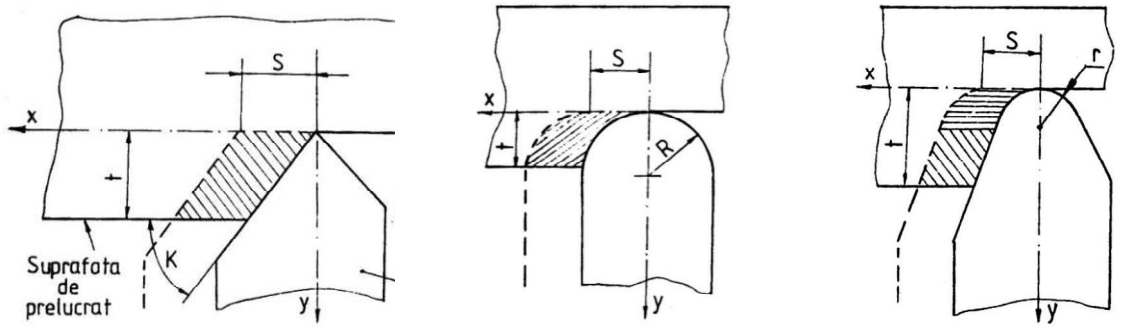
Secţiunea plană a acestui material – înainte de deformare şi de transformare în aşchia propriu-zisă, definită în planul de bază constructiv *xy,* se numeşte **secţiune transversală a aşchiei nedeformate** și este legată direct de valorile avansului, s și adâncimii de așchiere, t.

Secţiunea transversală a aşchiei nedeformate (aşchia teoretică) nu constituie un parametru propriu-zis al procesului de aşchiere, ci un *parametru global*.

Forma geometrică a aşchiei nedeformate depinde de forma muchiei aşchietoare active, de valoarea unghiului de atac principal κ, de adâncimea de aşchiere *t* şi de avansul de aşchiere *s* (mai precis de raportul *t/s*).

În funcţie de *forma muchiei aşchietoare active*, secţiunea transversală a aşchiei nedeformate are:

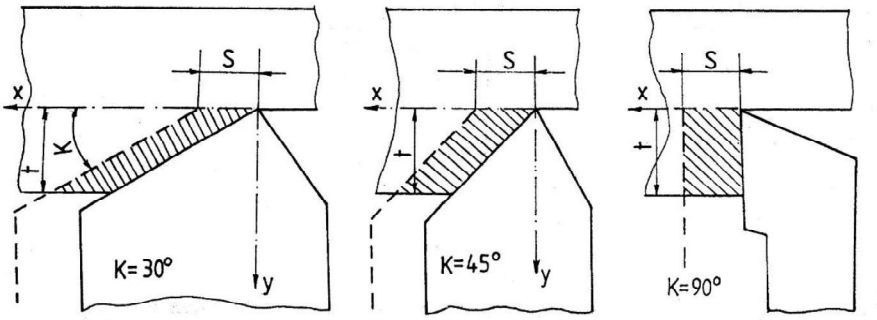
a. formă de paralelogram, cu laturile egale cu s şi t/sinκ – pentru un tăiş activ rectiliniu;
b. formă de virgulă întoarsă – pentru un tăiş activ curbiliniu;
c. formă complexă – pentru o muchie aşchietoare formată din mai multe tăişuri active drepte sau din segmente de dreaptă racordate cu arce.



a. *b.* *c.*

Secţiune transversală a aşchiei nedeformate sub formă de:
a. de paralelogram; b. de virgulă întoarsă; c. complexă

În funcţie de mărimea *unghiului de atac principal K*, pentru un tăiş rectiliniu, forma secţiunii aşchiei teoretice variază între un paralelogram îngust şi cu înclinare pronunţată – pentru valori mici ale lui K (fig. a) şi un dreptunghi – pentru K = 90º (fig. c).

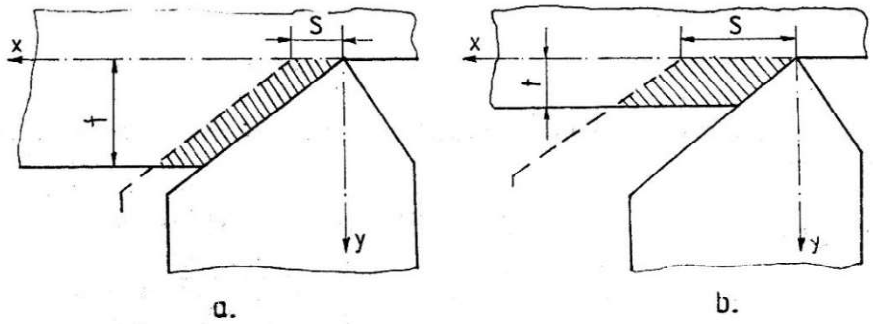


Influenţa unghiului de atac κ asupra formei secţiunii transversale a aşchiei nedeformate:
(a) *– aşchie subţire; (**b**) – aşchie normală; (**c**) – aşchie îngustă*

Aşchiile subţiri (fig. a) conduc la eforturi pronunţate în direcţie radială, în timp ce *aşchiile groase* şi *înguste* (fig. c) solicită puternic dintele aşchietor pe direcţie longitudinală.

În funcţie de *raportul între adâncimea şi avansul de aşchiere, pentru secţiunea transversală a aşchiei nedeformate* există două situaţii limită (fig. 4.33):

a. formă *normală (înaltă)*, caracteristică unui raport *t/s* > 1, formă întâlnită în mod frecvent (fig. a);
b. formă *întoarsă (joasă)*, caracteristică unui raport *t/s* < 1, formă dezavantajoasă din punct de vedere al modului de solicitare a dintelui aşchietor (fig. b).



Influenţa raportului *t/s* asupra formei secţiunii transversale a aşchiei nedeformate:
(**a**) – aşchie normală (înaltă); (**b**) – aşchie întoarsă (joasă)

Parametrii aşchiei nedeformate

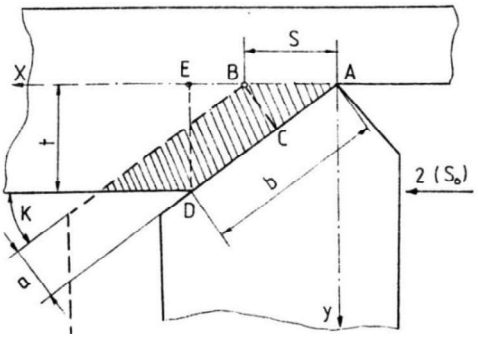
1. Lăţimea ***b*** a aşchiei nedeformate reprezintă lungimea tăişului activ proiectat în planul de bază *xy* (segmentul AD în fig.).
2. Grosimea aşchiei nedeformate ***a*** reprezintă distanţa dintre două poziţii succesive ale sculei (la un ciclu al mişcării principale), măsurată perpendicular pe direcţia lăţimii b, în planul de bază (segmentul BC în fig.).

Din fig. se pot deduce relaţiile de calcul pentru lăţimea aşchiei *b*, grosimea *a* şi aria *A* a secţiunii aşchiei nedetaşate, în cazul unui tăiș rectiliniu:

$b = t/sin$ K, [mm]

$a = s \cdot \sin\kappa$ [mm]

$A = a \cdot b = t \cdot s$ [mm^2]



Parametrii secţiunii transversale a aşchiei nedeformate pentru un tăiş rectiliniu

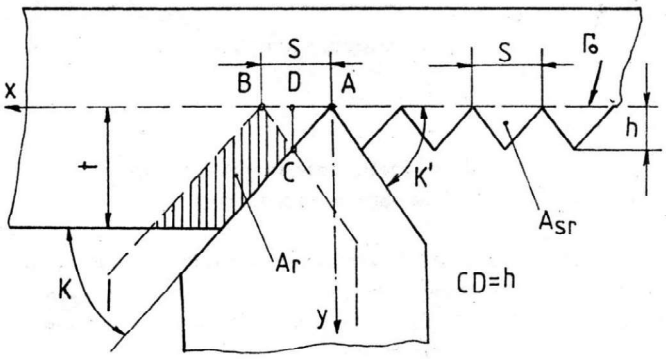
La proiectarea elementelor sistemelor tehnologice MUSDP şi a tehnologiilor de prelucrare se folosesc valorile ariei teoretice *A,* obţinute cu relaţia $A = a \cdot b = t \cdot s$ [mm^2]

Mărimile *a* şi *b* sunt denumite frecvent *parametri fizici ai procesului de aşchiere*, iar mărimile *s* şi *t* se denumesc *parametri tehnologici ai procesului de aşchiere*.

Din analiza formei secţiunii aşchiei nedeformate se observă că la aşchiere participă şi o mică porţiune din tăişul secundar, iar secţiunea de material ce încarcă dintele este în mod real mai mică decât aria *A* stabilită mai sus, datorită «paşilor» efectuaţi de sculă la fiecare ciclu al mişcării principale. Practic, din suprafaţa *A*, rămâne pe piesă o porţiune neprelucrată de arie *Asr*, numită *secţiune restantă*.

Aria reală a secţiunii transversale a aşchiei nedeformate va ţine cont de secţiunea restantă:

$Ar = A - Asr = t \cdot s - Asr$



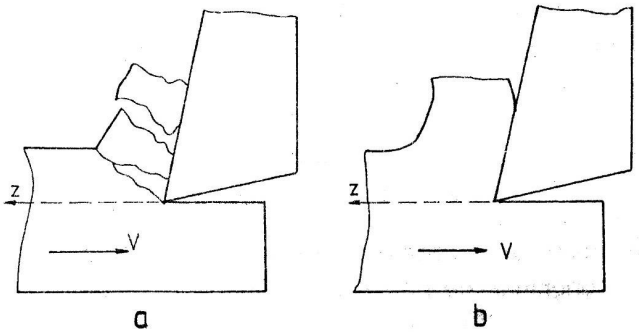
Secţiunea transversală reală a aşchiei nedeformate

Secțiunea restantă se prezintă sub forma unui triunghi, a cărui înălțime, h, depinde de valorile unghiurilor de atac K și K' și de avansul, s. Ca urmare, la valori mari ale s, K, K' vor rezulta diferențe mari între Ar și A, precum și rugozități mari ale suprafeței prelucrate.

Prezenţa pe suprafaţa prelucrată a secţiunii restante va face ca generatoarea cinematică reală Γ_{real} a suprafeţei generate să fie diferită ca formă de generatoarea teoretică Го, înălţimea *h* a secţiunii restante având cea mai mare contribuţie la rugozitatea suprafeţei prelucrate.

Mecanismul deformaţiilor plastice la aşchierea metalelor

Prin filmare rapidă și cercetări cu microscopul optic s-a demonstrat că procesul de formare a aşchiilor are la bază două cazuri limită: fie ruperea instantanee a fragmentelor de material din faţa dintelui aşchietor, fie deformarea plastică a materialului prelucrat. Microscopul electronic a evidenţiat faptul că, la nivel microscopic, procesul de formare a aşchiilor este totdeauna însoţit de deformaţii plastice ale materialului din faţa dintelui aşchietor.



*Cazuri limită de formare a aşchiilor: (**a**) – ruperea instantanee; (**b**) – deformarea plastică*

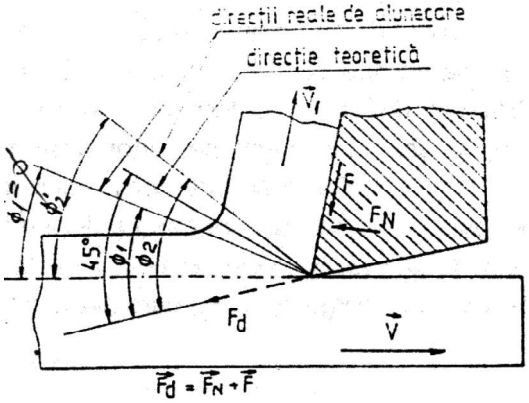
Iniţial s-a considerat că deformarea plastică a cristalelor are loc prin *mecanismul alunecării omogene a atomilor* în masa cristalului teoretic, cu structură perfectă a reţelei de atomi. Însă ipoteza cristalelor perfecte și a alunecării omogene a atomilor nu a putut fi confirmată experimental. În schimb, s-a demonstrat că de fapt nu există cristale perfecte, reţeaua cristalină reală prezentând abateri (defecte de reţea), sub formă de defecte liniare, numite *dislocații* (concretizate prin defecte punctiforme, vacanțe sau atomi de substituție) sau sub formă de defecte de suprafață (limite și sublimite).

În acelaşi timp, s-a constatat că deformaţiile plastice au loc prin *mecanismul alunecării defectelor de reţea*, respectiv prin *deplasarea dislocaţiilor*, dezvoltându-se **teoria dislocaţiilor**: într-un plan de alunecare al unui cristal real, mecanismul deformării plastice constă în deplasarea dislocaţiilor.

La deformarea unui monocristal, deplasarea dislocaţiilor începe totdeauna în planul cu densitate maximă de atomi, situat în apropierea planului (teoretic) înclinat la 45º faţă de direcţia forţei exterioare. La agregatele policristaline (cazul materialului din faţa dintelui aşchietor) starea de deformare dintr-un cristal se transmite din aproape în aproape şi în cristalele vecine, după direcţii apropiate de direcţia forţei de deformare F_d, până la conturarea unei direcţii generale de alunecare (deformare). Ca şi la monocristal, deformarea se produce într-un plan cu maximă densitate de atomi aflat în vecinătatea

planului teoretic de deformare, înclinat la 45º faţă de direcţia forţei totale *Fd* cu care dintele aşchietor acţionează asupra semifabricatului.

În cazul aşchierii, planul de alunecare real este situat în intervalul unghiular $\phi_1 - \phi_2$ faţă de direcţia forţei exterioare de deformare F_d. Acesta devine plan de forfecare (desprindere) a aşchiilor, în lungul lui eforturile de deformare căpătând valori maxime.

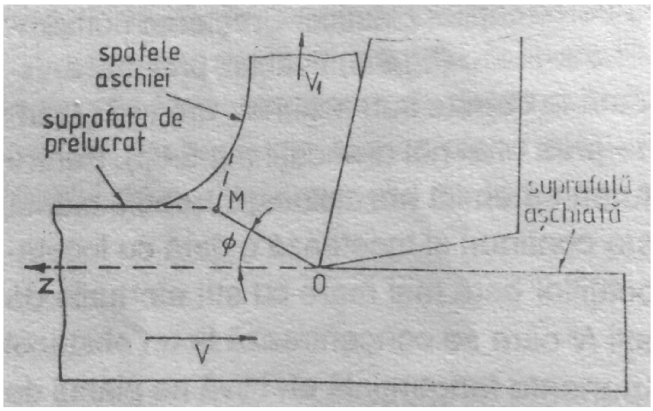


Poziţia planelor real-posibile de deformare la prelucrarea prin aşchiere

În concluzie, deformaţiile plastice la aşchierea metalelor sunt cauzate de forţa cu care dintele aşchietor acţionează asupra adaosului de prelucrare – numită *forţă de deformare,* F_d şi este compusă dintr-o forţă normală la suprafaţa de degajare, F_N şi o forţă de frecare, *F,* în lungul acesteia: Fd = F_N+ , [N]. Aceste deformaţii plastic se produc prin deplasarea (alunecarea) dislocaţiilor.

Gradul de deformare la prelucrarea prin aşchiere şi mărimea eforturilor de deformare sunt influenţate de temperatura şi viteza de deformare, natura şi compoziţia chimică a materialului prelucrat, mărimea cristalelor şi numărul de imperfecţiuni din reţea (numărul dislocaţiilor).

Având în vedere direcţiile real-posibile de deformare prin aşchiere, s-a convenit ca planul real de deformare să fie numit **plan convenţional de forfecare**, iar poziţia lui în raport cu direcţia de aşchiere să fie precizată printr-un unghi de poziţie, numit **unghi convenţional de forfecare (ϕ).** Poziţia planului convenţional de forfecare poate fi stabilită în secţiunea *v – v₁*, prin unirea punctului *O* (reprezentând tăişul activ) cu punctul *M*, obţinut ca intersecţie a suprafeţei de prelucrat cu planul spatelui aşchiei formate.



Poziţia planului convenţional de forfecare

Cunoașterea mărimii unghiului de forfecare ***φ*** oferă informații asupra deformării materialelor metalice la așchiere. Mărimea sa evoluează invers proporțional cu gradul de deformare a materialului așchiat, ceea ce înseamnă că valorile mici ale unghiului convențional de forfecare corespund deformațiilor plastice mari, în timp ce deformaţiile mici conduc la valori mari ale unghiului *φ*. Pe de altă parte, s-a stabilit experimental că mărimea unghiului *φ* oferă indicații și asupra energiei consumate în

aşchiere, a temperaturii și intensității uzurii sculei aşchietoare – valorile acestor parametri cresc la valori mari ale deformației și deci, la mărimi mici ale unghiului *φ.*

Zona plastică la aşchiere

În timpul procesului de aşchiere, adaosul de prelucrare suportă deformaţii plastice la trecerea sa în aşchie. Deformarea materialului se produce în mod treptat în zona din faţa dintelui aşchietor numită "*rădăcina aşchiei*".

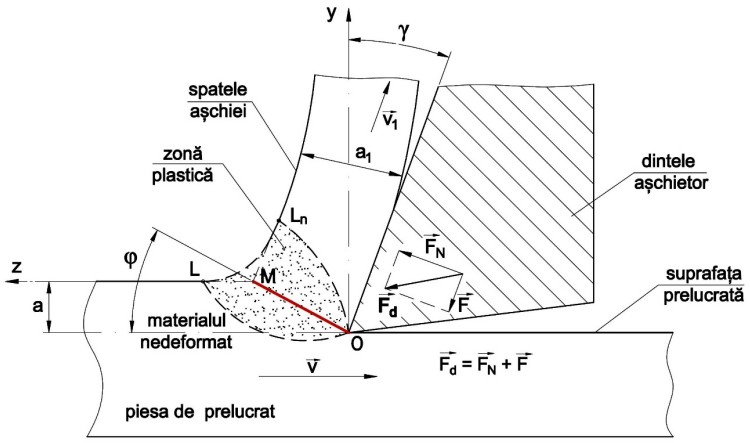
Zona care cuprinde materialul din faţa dintelui aşchietor, în care se produce deformarea treptată a grăunţilor cristalini, sub acţiunea forţei exterioare de deformare F_d se numește ***zonă plastică***.

În zona plastică materialul prelucrat se află într-o continuă transformare, ca urmare a acțiunii muchiei aşchietoare și suprafeței de degajare, în prezența mișcării de aşchiere.

Forma geometrică și poziția în spațiu a muchiei aşchietoare și a suprafeței de degajare (unghiurile *γ, K, λ*) determină în cea mai mare măsură direcția și mărimea forței de deformare F_d, de care depind forma geometrică și dimensiunile zonei plastice. Pe de altă parte, capacitatea de deformare plastică a materialului aşchiat (ductil sau fragil) și parametrii regimului de aşchiere impun în mare măsură dimensiunile zonei plastice.

Zona plastică face practic legătura între materialul de aşchiat şi aşchia formată, fiind pusă în evidenţă în mod experimental cu ajutorul microscopului, prin observarea probelor metalografice ale rădăcinii de aşchie, obţinute prin «oprirea instantanee» a procesului de aşchiere.

Zona plastică este mărginită la partea inferioară de o suprafaţă curbă sub care nu se resimte acţiunea forţelor de deformare, denumită *limită inferioară (OL)*, iar la partea superioară este mărginită de o suprafaţă curbă peste care nu mai au loc deformaţii plastice, denumită *limită superioară* (OL_n). Legătura dintre cele două suprafeţe limită se face printr-o suprafaţă curbă, denumită *limită intermediară* (LL_n).



Forma şi dimensiunile zonei plastice

Dimensiunile zonei plastice sunt *lungimea* l_P, *lăţimea* b_P şi *grosimea* g_P.

Lungimea l_P, reprezintă distanţa dintre muchia aşchietoare (punctul *O*) şi limita intermediară (LL_n). Se măsoară în lungul planului convenţional de forfecare *OM* şi se calculează în funcţie de grosimea aşchiei nedeformate, *a,* cu relaţia aproximativă $l_p \cong a / sin\varphi$

Lăţimea b_P este egală cu lungimea tăişului activ (care participă efectiv la aşchiere) și depinde de geometria constructivă a dintelui. Pentru un tăiş rectiliniu poate fi aproximată cu lungimea acestuia, care se determină cu relația $b_p \cong t / \sin K \cdot \cos\lambda$

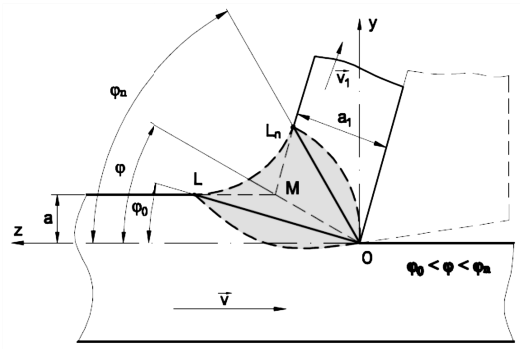
Dacă se ţine cont de expresiile dimensiunilor secţiunii aşchiei nedeformate (grosimea *a* şi lăţimea *b*), lungimea şi lăţimea zonei plastice pot fi exprimate în funcţie de parametrii regimului de aşchiere, *s* şi *t*: $l_p \cong a/sin\phi = s \cdot sinK/sin\phi$

$b_p = b/cos\lambda = t/sinK \cdot cos\lambda$

Grosimea g_p – reprezintă distanța dintre limita inferioară, OL și limita superioară, OL_n. Se măsoară în planul *v - v_1* pe direcţie normală la lungimea planului *OM* și este variabilă, crescând de la tăiș către limita intermediară LL_n.

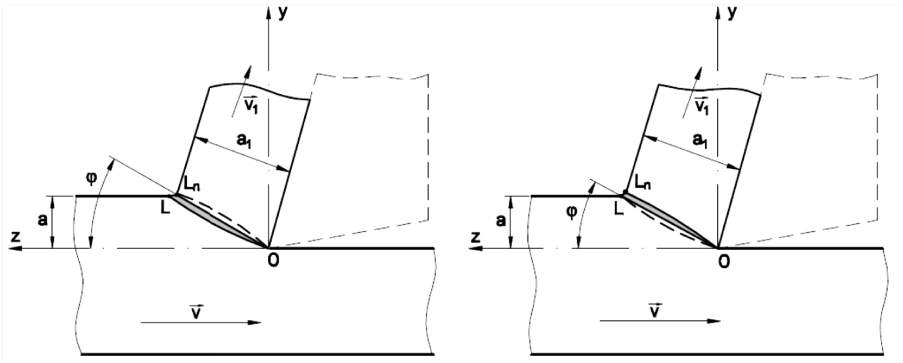
Condițiile diverse de desfășurare a procesului de aşchiere a metalelor determină o gamă largă de forme geometrice şi, mai ales, de dimensiuni pentru zona plastică. Ca urmare, zonele plastice au fost împărțite în *zone plastice groase* şi *zone plastice subțiri* (înguste).

Cercetările experimentale au evidențiat dependența mărimii zonei plastice de viteza de așchiere; mai exact, la creșterea vitezei, se diminuează distanța dintre limitele superioară și inferioară, micșorându-se întinderea zonei plastice. Astfel, la viteze mai mari de 80 m/min și unghiuri de degajare pozitive pentru dintele aşchietor, rezultă zone plastice subțiri (v. fig. 4.4b şi c), caracterizate prin mărimea grosimii $g_p \approx 0$. În schimb, zonele plastice groase corespund prelucrării materialelor ductile cu viteze de aşchiere mici și sunt caracterizate prin grosimi variabile (v. fig. 4.4a).



zonă plastică groasă
(prel. mat ductile cu viteze mici)
g_p variabilă

a.zonă plastică groasă



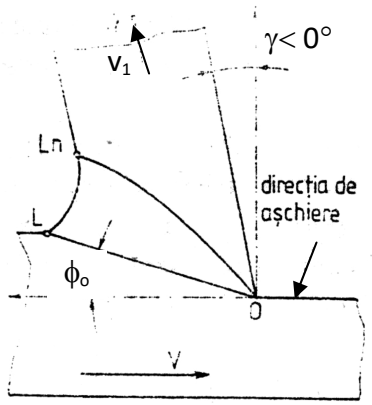
Zonă plastică subțire
v > 80 m/min,
$\gamma > 0°$, $g_p \approx 0$.

b. c.

b., c, - zone plastice subțiri

Pentru simplificarea calculelor specifice aşchierii, s-au impus forme simplificate pentru zona plastică. Astfel, forma zonelor plastice groase poate fi simplificată prin înlocuirea cu un plan a limitei inferioare *OL* sau a limitei superioare *OLn*, ori prin înlocuirea ambelor limite cu plane (fig. a). Cea mai des utilizată formă pentru zona plastică subţire este un plan, respective *planul convenţional de forfecare.*

La prelucrarea cu unghiuri de degajare negative, datorită creşterii pronunţate a forţei de frecare *F* de pe suprafaţa de degajare a dintelui aşchietor, rezultă zone plastice groase, la care limita superioară este mult curbată spre suprafaţa de degajare, cu tendinţa de a deveni tangentă la aceasta în vecinătatea tăişului. Această formă a zonei plastice poate fi simplificată prin înlocuirea limitei inferioare cu un plan înclinat la unghiul φ_0.



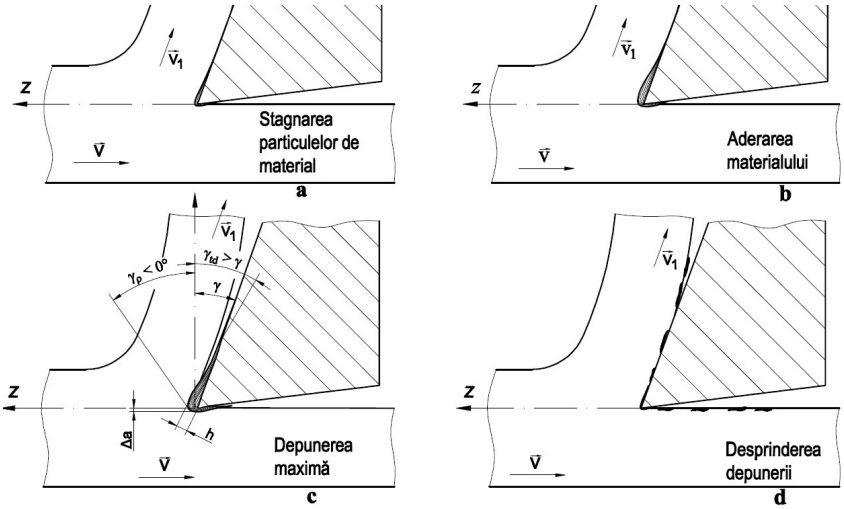
Zona plastică groasă simplificată la prelucrarea cu γ negativ

Mecanismul formării şi eliminării depunerii pe tăiş

Depunerea pe tăiş este un fenomen plastic secundar, caracteristic aşchierii metalelor ductile cu viteze relativ mici (*v* = 20 ÷ 40 m/min, uneori până la 60 m/min).

Depunerea pe tăiș este formată din straturi successive de material aşchiat, care aderă la tăişul activ al dintelui, din cauza frecărior de la nivelul suprafeței de degajare, în zona vârfului dintelui. Materialul depus este puternic ecruisat și durificat și își mărește în timp dimensiunile, astefl încât, la un moment dat, ca urmare a vibrațiilor din proces, a unor suprasarcini şi a fragilizării depunerii, devine posibilă desprinderea, parţială sau totală, a acesteia.

Formarea, evoluţia în timp şi distrugerea (eliminarea) depunerii pe tăiş are un pronunţat caracter dinamic şi cuprinde mai multe faze/etape:



Etapele formării și desprinderii depunerii pe tăiș

În timpul aşchierii, sub acţiunea forţelor de frecare dintre materialul aşchiat şi suprafaţa de degajare din vecinătatea tăişului activ (vârful dintelui), unde eforturile şi deformaţiile sunt mari, unele particule de material nu se mai deplasează odată cu aşchia, fiind puternic plastifiate, din cauza deformațiilor plastice prelungite la care sunt supuse. Ca efect, aceste particule sunt frânate (stagnate) şi aderă la suprafaţa de degajare în zona tăişului; este astfel iniţiată *depunerea pe tăiş* (faza I, fig.a)

Procesul de formare a aşchiei continuă, timp în care şi alte cristale aderă, formând straturi succesive de material puternic ecruisat şi durificat (fig. b). Stratul de material frânat (stagnat) (cu formă de lacrimă sau picătură) preia parţial, în zona tăişului, rolul sculei în deformarea adaosului şi formarea aşchiei, motiv pentru care mai este numit și **tăiş de depunere.**

Deşi este iniţiată şi dezvoltată pe suprafaţa de degajare, depunerea pe tăiş are tendinţa de trecere şi pe suprafaţa de aşezare, astfel că la un moment dat ajunge la dimensiunea maximă - în etapa III (fig. c), caracterizată prin:

- *înălţimea* h_d – măsurată normal la suprafaţa de degajare;
- *subînălţarea* Δa (depăşirea nivelului suprafeţei instantanee de aşchiere);
- *unghi de degajare mediu* $\gamma_{td} > \gamma$;
- *rază de rotunjire a depunerii* $\rho_{dt} > \rho$, ceea ce conduce la un unghi de degajare $\gamma_\rho < 0º$.

Sub acţiunea forţelor tangenţiale şi a mişcărilor din timpul procesului de aşchiere, la un moment dat apar fisuri între depunere şi suprafeţele active, care se propagă dinspre exterior spre vârful sculei, conducând la desprinderea parţială sau totală a tăişului de depunere. Unele fragmente din depunere rămân înfipte sau aplatizate pe suprafaţa prelucrată, în timp ce cea mai mare parte este înlăturată din zona de lucru, în mod independent sau odată cu aşchia (etapa IV, fig. d).

Tăişul de depunere influenţează atât pozitiv, cât şi negativ procesul de prelucrare prin aşchiere.

Efectele pozitive sunt:

- protejează tăişul activ împotriva uzurii abrazive şi a încălzirii, deoarece depunerea formează un scut termic pentru dintele aşchietor;
- mărirea unghiului de degajare la nivelul tăişului ($\gamma_{td} > \gamma$) determină micşorarea forţelor de deformare plastică şi de frecare (este accentuat efectul de pană al sculei), efect benefic la operaţiile de degroşare.

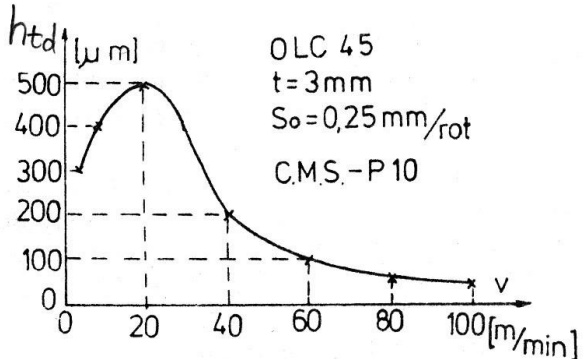
Efectele negative ale depunerii pe tăiş:

- variaţia rugozităţii şi a dimensiunilor suprafeţei aşchiate, ca urmare a variaţiei adâncimi de aşchiere cu mărimea Δa, variabilă în timpul aşchierii;
- prezenţa fragmentelor de depunere (cu duritate ridicată) pe suprafaţa prelucrată influenţează negativ prelucrările ulterioare, operaţiile de asamblare/montare şi siguranţa în exploatare;
- la îndepărtarea lui, tăişul de depunere poate antrena particule din materialul aşchietor, ducând la uzarea prematură a sculei.

În general, depunerea pe tăiş avantajează operaţiile de degroşare, dar trebuie evitată la finisare.

Formarea şi dimensiunile tăişului de depunere sunt influenţate de natura materialului prelucrat, parametrii regimului de aşchiere, geometria dintelui aşchietor, rugozitatea suprafeţelor active şi de mediul de aşchiere.

- Materialele ductile avantajează formarea depunerii pe tăiş, în timp ce la materialele fragile (fonte şi oţeluri călite) tăişul de depunere nu este prezent.
- Dintre parametrii regimului de aşchiere, o influenţă semnificativă o are viteza principală. Înălţimea maximă a depunerii se obţine la valori ale vitezei apropiate de 20 m/min, după care scade continuu către valori neglijabile (pentru v = 60 ÷ 80 m/min). La viteze mai mari de 80 ÷ 100 m/min fenomenul nu mai este prezent, materialul frânat şi puternic plastifiat din proximitatea tăişului activ aderând continuu la aşchie.



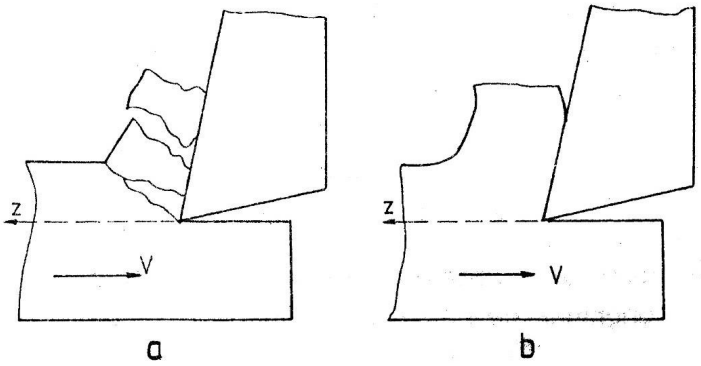
Înălţimea depunerii pe tăiş în funcţie de viteza, v

- Avansul şi adâncimea de aşchiere influenţează mărimea depunerii pe tăiş în mod direct: aceasta creşte la creşterea lui *s* şi a lui *t.*
- Dintre parametrii geometrici ai sculei, cea mai mare influenţă o are unghiul de degajare γ. Valori mici, negative ale unghiului γ presupun deformaţii plastice şi forţe de frecare mai mari şi, prin urmare, condiţii propice pentru depuneri de dimensiuni mai mari. Această tendinţă este accentuată dacă rugozitatea feţei de degajare este mai mare, datorită creşterii efectului de frânare.
- Lichidele de răcire-ungere introduse în vecinătatea tăişului activ reduc tendința de formare a tăișului de depunere, pentru că acționează în sensul micșorării frecărilor.

Mecanismul formării aşchiei

Cercetările experimentale au arătat că procesul de formare a aşchiei este unul dinamic, aşchiile fiind formate dintr-o succesiune de elemente care se deplasează în lungul suprafeţei de degajare în mod independent sau legate între ele.

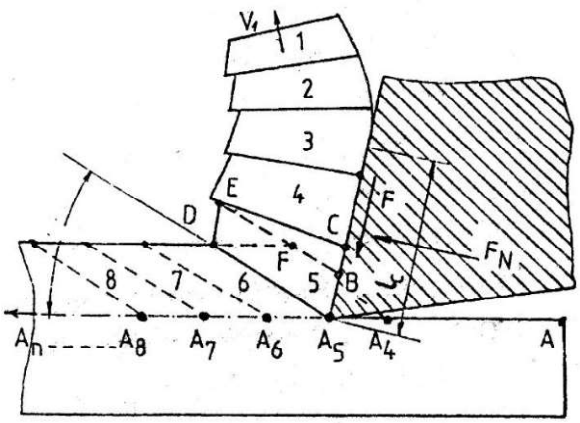
În formarea aşchiei, un rol esenţial îl are natura materialului prelucrat. Astfel, la aşchierea materialelor fragile (de tipul fontei) elementul de aşchie se formează prin rupere instantanee în prezenţa eforturilor normale, fiind identic cu fragmentul de material desprins de dintele sculei (fig.a). În schimb, la prelucrarea materialelor ductile (de tipul oţelului), elementele de aşchie se formează ca urmare a unor intense deformaţii plastice, în prezenţa eforturilor tangenţiale τ (fig.b).



Formarea aşchiilor:
(**a**) – prin rupere instantanee; (**b**) – prin deformare plastică

În fig. sunt schematizate etapele de formare ale elementelor de aşchie în cazul materialelor ductile. Elementele *1* şi *2* sunt déjà formate, elementele *3, 4* şi *5* sunt în diferite stadii de formare, iar elementele *6, 7, 8 …* urmează a fi formate.

La deplasarea dintelui aşchietor din punctul *A4* în *A5* are loc *deformarea principală* a elementului *5* (cu forma iniţială *A4FDA5*), ce capătă forma *A5CED*; prin deformare plastică, suprafaţa de contact cu suprafaţa de degajare s-a mărit de la *A5B* la *A5C*. Când dintele a ajuns în punctul *A5* începe desprinderea (forfecarea) elementului *5* după direcţia planului convenţional de forfecare *A5D* (dispus la unghiul φ faţă de direcţia de aşchiere). La deplasarea dintelui din punctul *A5* în *A6*, simultan cu forfecarea elementului *5* începe deformarea principală a elementului *6.* Acesta, mărindu-şi grosimea, împinge în lungul feţei de degajare elementul *5*, care va suporta o *primă deformaţie suplimentară* cauzată de frecarea cu suprafaţa de degajare. Ca urmare, elementul *4* va suporta a doua deformaţie suplimentară, iar elementul *3* a treia deformaţie suplimentară.

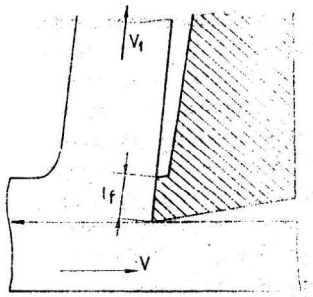


Formarea elementelor de aşchie la prelucrarea materialelor ductile

Atât timp cât un element de aşchie se află în contact cu faţa de degajare el va suporta un număr de deformaţii suplimentare egal cu numărul de elemente ce se deformează sub el. Deformaţiile încetează când elementul de aşchie depăşeşte lungimea de contact *lc* dintre aşchie şi suprafaţa de degajare.

În concluzie, mecanismul de formare a aşchiei este sub formă de elemente de aşchie, fiecare element obţinându-se în urma unei deformaţii plastice principale, a unei forfecări în lungul planului convenţional de forfecare şi a unui număr de deformaţii plastice suplimentare, egal cu numărul elementelor de aşchie noi ce se formează atâta timp cât elementul considerat se află în contact cu suprafaţa de degajare.

Durata deformaţiilor plastice suplimentare este proporţională cu lungimea de contact *lc* a aşchiei cu suprafaţa de degajare şi cu viteza de «curgere» a aşchiei v_1. Rezultă că micşorarea deformaţiilor plastice suplimentare se poate obţine prin creşterea vitezei de deplasare pe suprafaţa de degajare şi prin micşorarea lungimii de contact l_c. În acest ultim scop se utilizează dinţi aşchietori cu *suprafaţa de degajare scurtată* (fig.).



Forma dintelui aşchietor cu suprafaţa de degajare scurtată

Măsurile pentru creşterea vitezei de deplasare v_1 constau în reducerea frecării la nivelul suprafeţei de degajare, prin creşterea unghiului de degajare γ şi micşorarea rugozităţii suprafeţei de degajare până la «luciu de oglindă».

Tipuri şi forme de aşchii

Procesul de formare a aşchiilor este influenţat de natura materialului prelucrat, de starea de eforturi şi de temperatura din zona plastică.

În principiu, un material metalic supus unei forţe exterioare se rupe când eforturile interne determinate de forţa exterioară depăşesc rezistenţa la rupere. Ruperea poate fi precedată sau nu de deformaţii plastic macroscopice. Unele materiale, sub acţiunea unei forţe exterioare, ating mai întâi efortul de forfecare τ_f şi apoi limita de rupere σ_r, adică se deformează plastic înainte de rupere; ele se

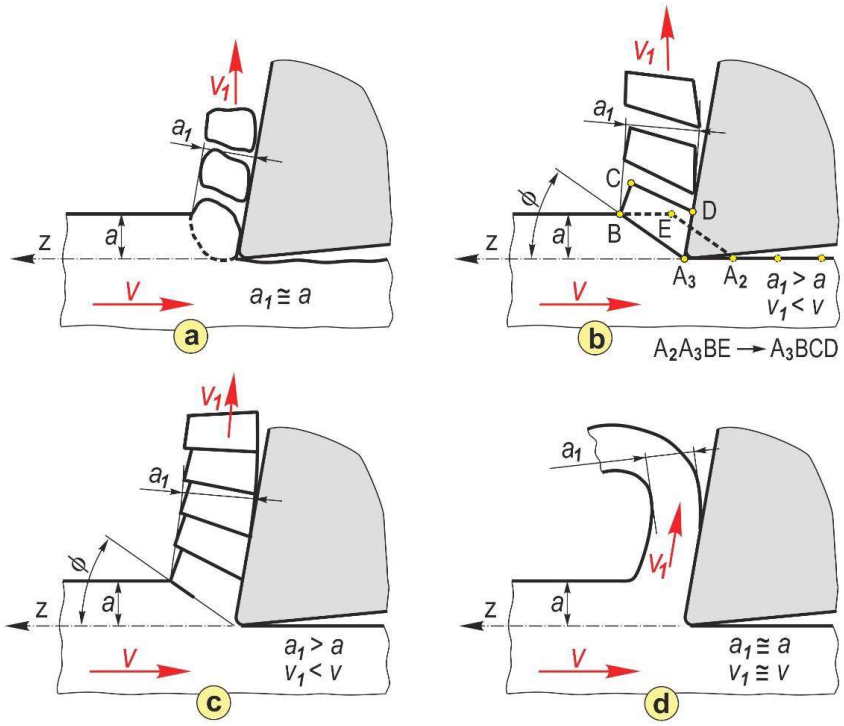
numesc *ductile*. Alte materiale ating limita de rupere σr fără a se mai produce deformarea plastică; acestea sunt materialele *fragile*.

În funcţie de natura eforturilor care le determină, ruperile pot fi *fragile (de smulgere)* sau *ductile (de forfecare)*.

- *Ruperile ductile (de forfecare)* sunt cauzate de eforturile tangenţiale τ, au aspect fibros şi se produc numai transcristalin. Ele sunt precedate de puternice deformaţii plastice.

- *Ruperile prin smulgere* (numite şi ruperi *fragile* sau *casante*) se produc sub acţiunea eforturilor normale σ, pot fi transcristaline sau intercristaline şi nu sunt precedate (la scară macroscopică) de deformaţii plastice.

Prin urmare, natura materialului prelucrat impune două tipuri de ruperi (ductile sau fragile), ceea ce determină la aşchiere două tipuri de aşchii: aşchii *ductile (de deformare plastică)* şi aşchii *fragile (de smulgere).*



Tipuri de aşchii: (**a**) – aşchii de smulgere; (**b**) – aşchii ductile elementare; **(c)–** aşchii ductile de forfecare; (**d**) – aşchii ductile continue

Aşchiile de smulgere sunt determinate de acţiunea eforturilor normale σ şi sunt specifice aşchierii materialelor fragile (fonte, bronz). O temperatura de aşchiere mică avantajează formarea aşchiilor de smulgere, chiar şi în cazul aşchierii metalelor mai puţin fragile. La scară macroscopica, aceste aşchii nu sunt precedate de deformaţii plastice. Ele se formează din elemente succesive care se deplasează independent pe suprafaţa de degajare a sculei. Fiecare element are forma geometrică şi dimensiunile fragmentului de material care se desprinde din semifabricat după o suprafaţă oarecare (fig. a).

Aşchiile ductile rezultă în urma unor puternice deformaţii plastice, sunt cauzate de acţiunea eforturilor de alunecare τ şi sunt caracteristice materialelor ductile. Ele pot rezulta şi la prelucrarea materialelor fragile, dacă prin temperatură şi starea de eforturi se asigură fenomenul de tranziţie fragil-ductil.

În raport cu mărimea deformaţiilor plastice care le preced, aşchiile ductile au fost grupate în: *aşchii ductile elementare, aşchii de forfecare* şi *aşchii continue (de curgere)* (fig. b, c, d).

a. ***Aşchiile ductile elementare*** (fig. b) se bazează pe mecanismul formării elementelor de aşchie prin deformare plastică. Formarea lor este precedată de deformaţii plastice mai slabe, fără a se

asigura o anumită legătură între elementele succesive. Aşchiile nu sunt legate între ele, iar dimensiunile elementelor de aşchie sunt diferite de cele ale materialului din care provin. Ca formă, aceste aşchii fac trecerea de la aşchiile de smulgere la aşchiile ductile propriu-zise. Aşchiile ductile elementare sunt caracteristice prelucrării cu viteze foarte mari a materialelor mai puţin ductile şi aşchierii cu viteze mici a materialelor ductile (oţeluri); totuşi, în cazul materialelor ductile, domeniul de viteze este mult lărgit dacă se utilizează scule cu unghi de degajare negativ.

.

b. ***Aşchiile de forfecare*** (fig. c) sunt aşchii reprezentative pentru categoria aşchiilor ductile, fiind alcătuite dintr-o succesiune de elemente care sunt legate între ele atât prin suprafeţele de forfecare (vizibile macroscopic), cât şi prin suprafaţa cu structură *C.D*. Ca urmare, spatele acestor aşchii este în trepte, iar suprafata de contact cu faţa de degajare este o suprafaţă continuă, lucioasă (*structura C.D*.) Aceste aşchii rezultă în urma unor deformaţii plastice mai puternice şi în condiţii de temperatură (condiţii de plastifiere locală) care asigură legătura dintre elemente. Ele se formează în special la prelucrarea cu viteze relativ mici a materialelor ductile.

c. ***Aşchiile ductile continue*** (fig. d) se prezintă sub forma unor benzi de grosime apropiată de grosimea stratului aşchiat, la care suprafeţele de forfecare nu sunt vizibile macroscopic. Ele se formează în special la aşchierea cu viteze mari ($v > 60 \div 80$ m/min) a materialelor ductile. Atât spatele aşchiei, dar mai ales suprafaţa de contact cu faţa de degajare a dintelui aşchietor sunt suprafeţe continue. Aşchiile ductile continue sunt periculoase pentru operator, în lipsa ecranelor de protecţie sau a fragmentatoarelor de aşchii – practicate pe suprafaţa de degajare a dinţilor. Ele prezintă şi dezavantajul că sunt greu de depozitat, de transportat şi de brichetat, în vederea reutilizării prin topire.

Tipurile de aşchii prezentate sunt caracteristice prelucrării materialelor metalice şi, în special, metalelor feroase. Astfel, fonta dă aşchii de smulgere, iar oţelurile dau diverse forme de aşchii ductile. Modul de comportare – ductil sau fragil – se manifestă şi la aşchierea altor materiale metalice; spre exemplu, alama dă aşchii fragile, iar aluminiul ductile. În mod analog se comportă şi materialele nemetalice, precum masele plastice: textolitul dă aşchii fragile, iar teflonul aşchii ductile.

Direcţia de degajare a aşchiilor

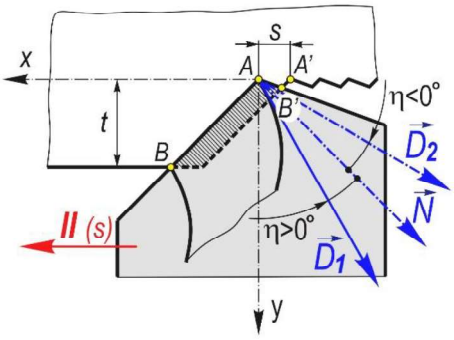
În procesul de aşchiere, materialul de adaos detaşat de muchia aşchietoare nu poate urma direcţia naturală de deplasare (identică cu direcţia vitezei de aşchiere v) ci, datorită suprafeţei de degajare a dintelui aşchietor, este comprimat şi obligat să evacueze zona de lucru după o altă direcţie, determinată în principal de poziţia suprafeţei de degajare a sculei. În prezenţa unor forţe de frecare pronunţate, alunecarea aşchiilor pe suprafaţa de degajare se va face cu o viteză v_1, mai mică decât viteza principală de aşchiere v şi, evident, cu orientare diferită de aceasta.

Condiţiile de deformare a materialului în diferitele puncte de pe tăişul activ determină curbarea aşchiei, aceasta deplasându-se fie spre suprafaţa prelucrată, fie spre suprafaţa instantanee de aşchiere sau cea generată, fie ori spre elementele sistemului tehnologic din imediata vecinătate: dispozitivul port-sculă sau port-piesă sau spre scula aşchietoare.

Contactul aşchiei cu aceste elemente are în general efecte negative, motiv pentru care studierea direcţiei de deplasare (de curgere) a aşchiilor prezintă importanţă nu numai pentru protejarea suprafeţelor generate sau a elementelor componente ale maşinii-unelte, dar şi pentru protecţia operatorului şi siguranţa evacuării aşchiilor.

Direcţia de deplasare a aşchiilor în planul suprafeţei de degajare este apreciată prin **unghiul direcţiei de degajare η**, care se măsoară între tangenta la aşchie într-un punct al tăişului activ şi normala *N* la tăiş.

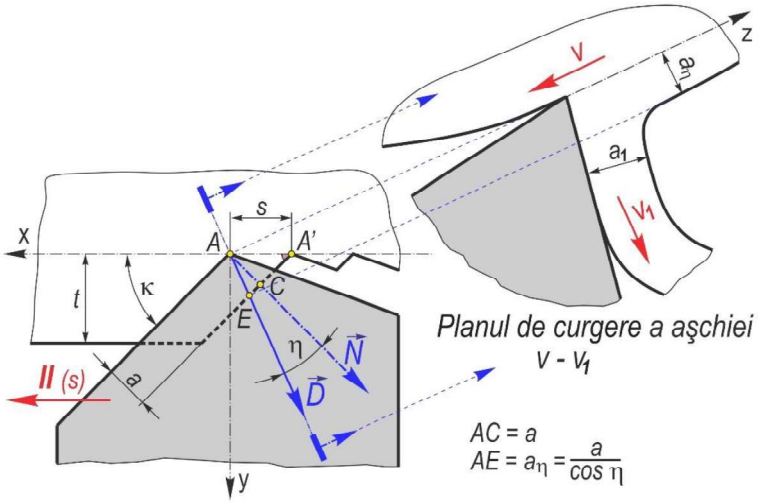
Semnul unghiului **η** a fost stabilit convenţional, în raport cu semnul unghiului de înclinare λ, a cărui influenţă este majoră: valorile pozitive ale lui λ tind să direcţioneze aşchia spre suprafaţa de prelucrată (**η** > 0º - direcţia D_1), iar pentru λ negativ tendinţa de curgere a aşchiei este spre suprafaţa generată (**η** < 0º- direcţia D_2). Pentru un cuţit de strung cu un tăiş activ rectiliniu şi unghi de degajare γ = 0º, direcţia posibilă de curgere a aşchiilor este ilustrată în figura.



Direcţii posibile de curgere a aşchiilor

Teoretic, direcţia de deplasare a aşchiilor în cazul tăişului activ rectiliniu cu λ = 0º ar trebui să coincidă cu normala *N* la tăiş, dar trebuie avut în vedere şi caracterul complex al aşchierii, în sensul că la deformarea materialului participă efectiv nu numai tăişul principal activ *AB*, ci şi cel secundar *AB'*, cu o anumită influenţă asupra unghiului **η**. În plus, asupra lui **η** influenţează şi alţi parametri: valoarea unghiului de degajare γ, uniformitatea rugozităţii suprafeţei de degajare, viteza de lucru *v* şi, într-o mare măsură, forma suprafeţei de degajare.

Pentru aprecierea corectă a nivelului de solicitare a dintelui aşchietor trebuie avute în vedere dimensiunile reale ale aşchiei nedeformate, care depind de unghiul **η**. Ca urmare, este necesară reprezentarea dintelui aşchietor atât în planul de bază *xy* – în care se defineşte *secţiunea transversală a aşchiei nedeformate*, cât şi în *planul de deplasare/curgere a aşchiei* – planul v-v_1, în care se pun în evidenţă atât viteza de aşchiere *v* cât şi *viteza de curgere* a aşchiei v_1 (fig.).



Grosimea reală a aşchiei nedeformate, în planul de curgere v – v1

Grosimea reală a aşchiei nedeformate a_η, dată de relaţia $a_\eta = a/cos\eta$ se măsoară în planul v-v_1, normal la planul de bază *xy* şi conţinând direcţia *D* de curgere a aşchiei.

Cu dependenţa $a = s \cdot sin\kappa$ stabilită între grosimea aşchiei *a* şi avansul *s,* în planul de bază, rezultă relaţia $a_\eta = s \cdot sin\kappa / cos\eta$

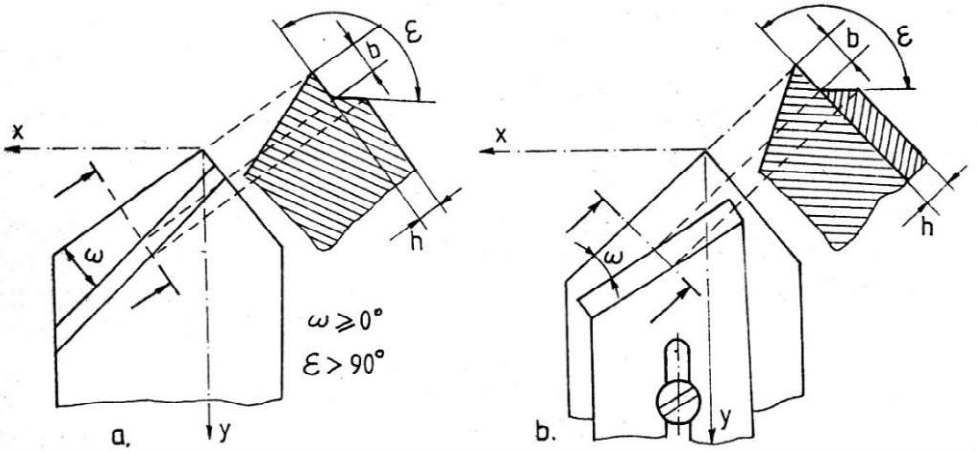
Fragmentarea aşchiilor

Studiul direcţiei de deplasare/curgere a aşchiilor pe suprafaţa de degajare este impus şi de necesitatea fragmentării aşchiilor continue, care sunt dezavantajoase pentru siguranţa evacuării, a maşinii-unelte şi a operatorului, cât şi pentru depozitare, transport şi mărunţire-brichetare.

La prelucrarea cu aşchii continue s-au impus diverse soluţii pentru fragmentarea acestora pe lungime. La unele procedee de prelucrare, cum sunt găurirea adâncă şi broşarea, fragmentarea pe lungime a aşchiilor este strict necesară şi pentru siguranţa evacuării aşchiilor, fără blocări şi fără suprasarcini.

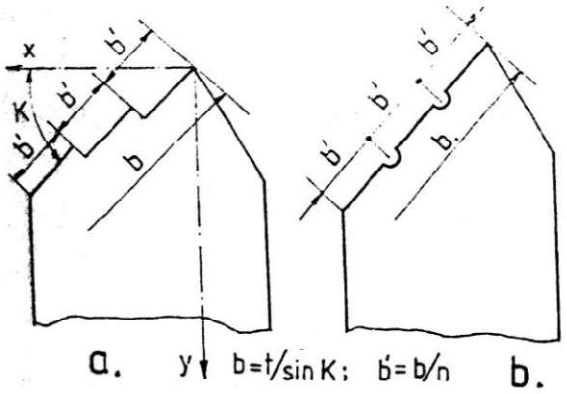
Fragmentarea aşchiilor pe lungime se realizează eficient cu ajutorul pragurilor executate direct pe suprafaţa de degajare activă (fig. a) sau cu ajutorul pragurilor demontabile şi reglabile (fig. b), care sunt recomandate în special pentru dinţii aşchietori de dimensiuni mai mari (cuţite de strung, de raboteză şi morteză, dinţii frezelor demontabile etc.).

În construcţia fragmentatoarelor, conform figurii, un rol important revine lăţimii *b*, înălţimii *h* şi unghiurilor ω şi ε, care se constituie ca parametri ai procesului de aşchiere. Valorile acestor parametri se obţin experimental şi depind în principal de procedeul de prelucrare, natura materialului aşchiat şi regimul de aşchiere (*s, t, v*).



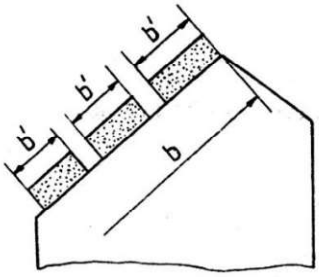
Prag fix (a) şi reglabil (b) pentru fragmentarea pe lungime a aşchiilor

În scopul realizării fragmentării pe lungime a aşchiilor cu eforturi cât mai mici se recomandă ca aşchiile să fie **fragmentate** şi **pe lăţime**; aceasta în special atunci când lăţimea aşchiei *b* > 6÷8 mm (*b = t /* sin K). Fragmentarea pe lăţime a aşchiilor se realizează cu ajutorul canalelor sau treptelor practicate pe tăişurile active (fig.).



*Trepte (**a**) şi canale (**b**) pentru fragmentarea pe lăţime a aşchiilor la scule monodinte*

La sculele cu mai mulţi dinţi armaţi cu plăcuţe dure se asigură fragmentarea pe lăţime şi prin dispunerea decalată a plăcuţelor aşchietoare (fig.).



Dispunere decalată a plăcuțelor pentru fragmentarea pe lăţime a aşchiilor

Aşchierea liberă şi complexă

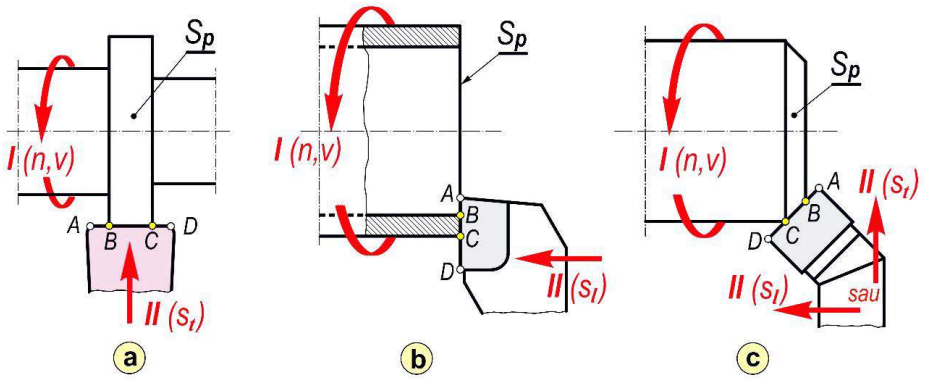
În procesul de aşchiere, îndepărtarea adaosului de prelucrare de pe piesa semifabricat şi transformarea acestuia în aşchii are loc prin acţiunea directă a tăişurilor active şi a suprafeţelor de degajare ale dinţilor aşchietori.

În funcţie de numărul de tăişuri care participă efectiv la procesul de aşchiere, de forma şi poziţia acestora faţă de direcţia vitezei principale, se definesc *aşchierea liberă* şi *aşchierea complexă.*

Se consideră **aşchiere liberă** atunci când la aşchiere participă numai porţiunea centrală a unui tăiş rectiliniu, porțiune situată între vârfuri, fără a cuprinde vârfurile.

Aşchierea liberă este rară în practică, dar poate fi întâlnită:

1. la strunjire (fig.):



Exemple de aşchiere liberă la strunjire
*(**a**) suprafaţă cilindrică îngustă; (**b**) suprafaţă plană frontală (inelară) îngustă; (**c**) suprafaţă conică*

- prelucrarea suprafeţelor cilindrice (fig. a) sau conice înguste
- strunjirea frontală a pieselor tubulare (fig. b);
- teşirea muchiilor (fig. c);

2. la rabotarea suprafeţelor plane înguste și, în unele situații, la frezare sau broșare

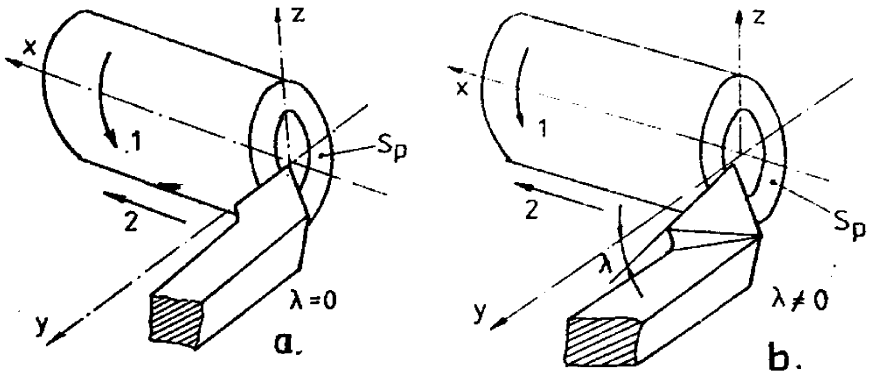
Pentru că la aşchierea liberă nu participă extremitățile tăișului (AB și CD), deformaţiile plastice și frecările la formarea aşchiei sunt mult reduse, fiind evitate deformările laterale ale materialului prelucrat. Deci condiţiile de lucru apropie *aşchierea liberă* de aşchierea cu forţe minime.

În plus, prin orientarea tăișului, direcţia de curgere a aşchiilor pe suprafaţa de degajare este unică, motiv pentru care aşchierea liberă este considerată proces cu direcție unică de degajare a aşchiilor.

După poziţia tăişului activ faţă de direcţia vitezei principale de aşchiere *v,* aşchierea liberă poate fi *ortogonală* sau *oblică*.

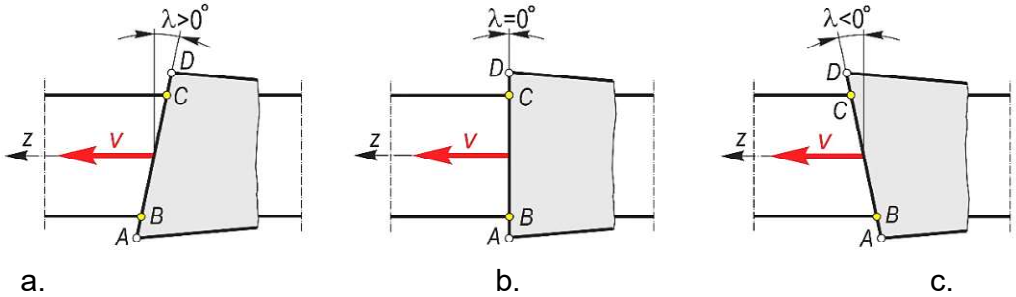
Astfel, aşchierea este *liberă ortogonală,* când tăişul activ (rectiliniu) formează un unghi drept cu vectorul vitezei principale *v.* În acest caz, tăişul este conţinut în planul de bază constructiv al dintelui aşchietor (deci unghiul de înclinare λ = 0º), iar unghiul direcţiei de degajare η = 0º (fig. a).

Când tăişul rectiliniu activ formează un unghi diferit de 90º cu direcţia mişcării de aşchiere (λ ≠ 0º) aşchierea se numeşte *liberă oblică* (fig. b).



Așchiere liberă ortogonală (a.) și oblică (b.) la strunjirea frontală inelară

În același mod se definesc așchierea liberă ortogonală și oblică la *rabotarea plană*:



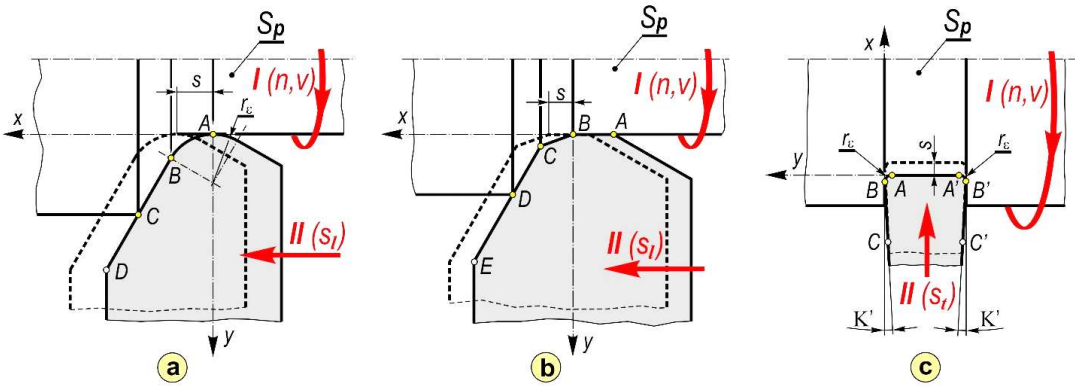
Aşchiere liberă la rabotarea plană:
*(**a**), (**c**) – aşchiere liberă oblică; (**b**) – aşchiere liberă ortogonală*

Legile de bază ale aşchierii metalelor au fost studiate în condiţiile aşchierii libere ortogonale, fiind considerat procesul de lucru cel mai «curat», adică mai puţin influenţat de factori complecşi.

Aşchierea complexă, frecvent întâlnită în practică, are loc atunci când muchia aşchietoare activă este formată din mai multe tăişuri rectilinii şi / sau curbilinii, care determină tot atâtea direcţii de degajare a aşchiilor. Chiar în situaţia unui dinte aşchietor cu tăişul principal rectiliniu şi cu raza de racordare mică la vârf (practic este imposibilă din punct de vedere tehnologic obţinerea unei raze egale cu zero), la aşchiere participă (într-o mai mică măsură) şi tăişul secundar.

Din acest motiv, așchierea complexă are loc cu forțe de deformare plastică și de frecare mai mari decât așchierea liberă, astfel că, la stabilirea parametrilor procesului de așchiere, se urmărește reducerea cât mai mult posibil a caracterului complex al așchierii. Acest lucru poate fi obținut prin forma geometrică, dimensiunile și unghiurile tăișurilor active, astfel încât să se reducă numărul direcțiilor de degajare a așchiilor.

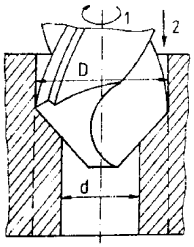
În fig. de mai jos sunt prezentate câteva exemple de așchiere complexă la strunjire, din care rezultă și soluțiile de reducere a complexității așchierii.



Exemple de aşchiere complexă la strunjire
Strunjire longitudinală (a,b) strunjire transversală (canelare) c.

Reducerea complexităţii aşchierii se obţine practic prin:

- micşorarea razelor de vârf, r_ε (fig. a, c);
- reducerea lungimii tăişului auxiliar (BC în fig. b) sau, în cazul găuririi, a tăişului transversal al burghiului elicoidal (realizat printr-o operaţie de supraascuţire);
- creşterea unghiurilor de atac secundare K' (fig. c).
- evitarea aşchierii cu tăişul transversal al burghiului elicoidal, prin găurire, într-o primă fază, cu un burghiu de diametru mic, urmată de operaţia de lărgire la diametrul final.



Cu toate că, din punct de vedere al forțelor de deformare plastică și de frecare, așchierea liberă este mai avantajoasă decât așchierea complexă, în practica prelucrărilor prin așchiere sunt mai frecvente cazurile de așchiere complexă. Această situație este determinată de forma geometrică a suprafeței de prelucrat, de procedeul de prelucrare și de metodele de obțiere a curbelor generatoare și directoare.

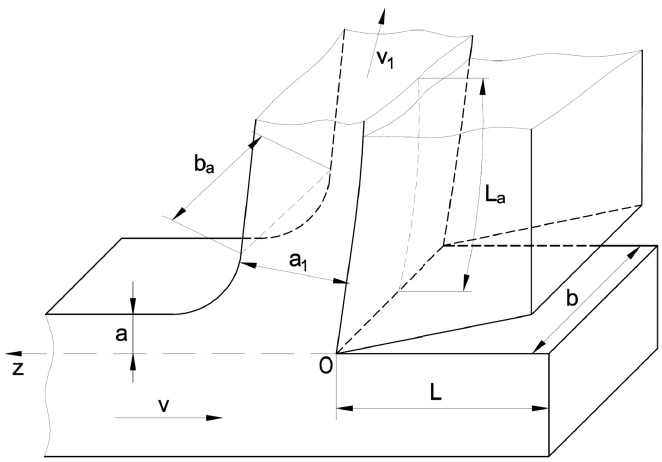
Pentru fiecare caz de așchiere complexă, soluțiile de reducere a complexității așchierii au în vedere tehnologia de prelucrare și/sau parametrii procesului. Aceste acțiuni de reducere a complexității pot avea efecte maxime dacă se ține seama de influența condițiilor de așchiere asupra mecanismului deformațiilor plastice, a fenomenelor de frecare și uzură, a căldurii degajate la așchiere sau a vibrațiilor din timpul procesului.

Coeficientul de deformare plastică a aşchiei

Mecanismul formării aşchiilor a demonstrat că procesul de aşchiere este, în primul rând, un proces de deformare plastică. Ca urmare, cunoaşterea mărimii deformaţiilor plastice care însoţesc aşchierea este esenţială pentru consumul de energie din timpul procesului, pentru solicitarea sistemului tehnologic şi consumul de scule aşchietoare, dar şi pentru productivitatea şi costurile aşchierii. Se utilizează pentru aceasta o serie de mărimi specifice, printre care ***coeficientul de deformare plastică a aşchiei.***

Coeficientul de deformare plastică a aşchiei este o mărime adimensională, care permite aprecierea gradului de deformare plastică a materialului aşchiat, prin determinarea raportului între dimensiunile stratului de material aşchiat şi dimensiunile corespunzătoare ale aşchiei formate.

Se consideră cazul aşchierii libere ortogonale, când aşchia nu deviază lateral pe suprafaţa de degajare, deci unghiul direcţiei de degajare $\eta = 0°$, pentru care grosimea reală a aşchiei în planul v-v_1, a_η = a, grosimea aşchiei teoretice.



Dimensiunile stratului aşchiat şi ale aşchiei formate

În aceste condiții, pentru un dinte de sculă în așchiere, reprezentat în planul v-v_1, stratul de material îndepărtat de pe semifabricat, având iniţial lungimea *L*, lăţimea *b* şi grosimea *a*, se regăseşte în aşchia formată, cu dimensiunile L_a, b_a şi a_1 (fig.).

Pentru că dimensiunile aşchiei formate diferă de cele ale stratului de material prelucrat, însă volumul de material rămâne constant, înainte și după deformare, se poate scrie:

$$L \cdot b \cdot a = L_a \cdot b_a \cdot a_1 = const.$$

Cercetările experimentale au arătat că lungimea aşchiei formate $L_a < L$, grosimea aşchiei $a_1 > a$ (grosimea stratului de prelucrat), în timp ce lăţimea aşchiei b_a rămâne aproximativ nemodificată faţă de lăţimea b a stratului prelucrat ($b_a \approx b$).

Prin urmare, $L \cdot a = L_a \cdot a_1 = const.$, din care se obține $\frac{L}{L_a} = \frac{a_1}{a} = const. \geq 1$, ceea ce înseamnă că stratul de material aşchiat, la trecerea în aşchie, își micşorează lungimea şi își mărește grosimea.

Chiar dacă cele două rapoarte au practic aceeaşi valoare, s-a convenit să fie denumite diferit:

- *coeficientul longitudinal de deformare plastică* (C_{dl}) – definit ca raportul supraunitar dintre lungimea stratului aşchiat, L şi lungimea L_a a aşchiei formate $\boldsymbol{C_{dl} = \frac{L}{L_a} \geq 1}$
- *coeficientul transversal de deformare plastică* (C_{dt}) – definit ca raportul supraunitar dintre grosimea aşchiei, a_1 şi grosimea stratului îndepărtat, a $\boldsymbol{C_{dt} = \frac{a_1}{a} \geq 1}$

Din aceste relaţii rezultă că, la deformări plastice mari, coeficienţii de deformare plastică iau valori mari ($C_{dl} >> 1$ şi $C_{dt} >> 1$), iar atunci când deformaţiile plastice sunt foarte mici sau lipsesc la scară macroscopică, se obţin valori unitare pentru coeficienţii $\boldsymbol{C_{dl}}$ şi $\boldsymbol{C_{dt}}$. ($C_{dl} = C_{dt} = 1$)

Dintre cei doi coeficienți C_d, în mod frecvent este utilizat coeficientul de deformare transversal, C_{dt}, pentru că valorile sale sunt mai ușor de determinat.

În unele ţări, aprecierea deformatiilor plastice se face cu parametrii inverşi coeficientului de deformare plastică, numiţi *coeficienţi de aşchiere:*

$$\boldsymbol{\xi_l = 1/C_{dl} = L_a / L \leq 1} \quad \text{și} \quad \boldsymbol{\xi_t = 1/C_{dt} = a/a_1 \leq 1}$$

Mărimea deformaţiilor plastice la aşchiere, apreciată cu ajutorul coeficientilor $\boldsymbol{C_d}$, determină nivelul forţelor de aşchiere, temperatura de lucru, puterea consumată şi gradul de solicităre a sculei aşchietoare şi ale piesei semifabricat. Valorile C_d sunt utilizate, în primul rând, la determinarea analitico-experimentală a forțelor de așchiere, având în vedere că, prin intermediul $\boldsymbol{C_d}$, se poate ţine seama de interdependenţele dintre parametrii de lucru, cu influenţă asupra forţelor de aşchiere. De asemenea mărimea C_d permite aprecierea capacității de deformare prin aşchiere și a prelucrabilităţii prin aşchiere a diverselor materiale metalice.

Pentru determinarea valorilor coeficientului de deformare plastică a aşchiei se folosesc *metode analitice* şi *metode experimentale.*

a. Metode analitice

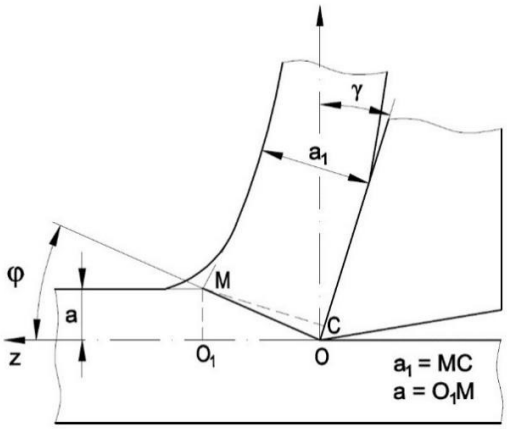
Determinarea analitică a coeficientului de deformare plastică se face în funcţie de alte mărimi ce caracterizează deformaţia plastică a materialului prelucrat, utilizând diferite ipoteze simplificatoare.

În cazul **zonelor plastice subțiri**, care pot fi reduse la planul convenţional de forfecare (fig.), coeficientul de deformare transversal, C_{dt}, se obţine geometric, exprimând grosimea aşchiei a_1 din triunghiul dreptunghic OCM şi grosimea stratului aşchiat, *a,* din triunghiul dreptunghic OO_1M:

$$\sin MOC = \sin(90° - \varphi + \gamma) = a_1 / OM \Rightarrow a_1 = OM \sin(90° - \varphi + \gamma) = OM \cos(\varphi - \gamma)$$

$$\sin O_1OM = \sin\varphi = a/OM \Rightarrow a = OM \sin\varphi$$

Se obține astfel pentru C_{dt} relaţia: $C_{dt} = \frac{a_1}{a} = \frac{\cos(\varphi-\gamma)}{\sin\varphi}$, din care rezultă dependenţa coeficientului de deformare plastică de unghiul convenţional de forfecare, φ şi de unghiul de degajare, γ.

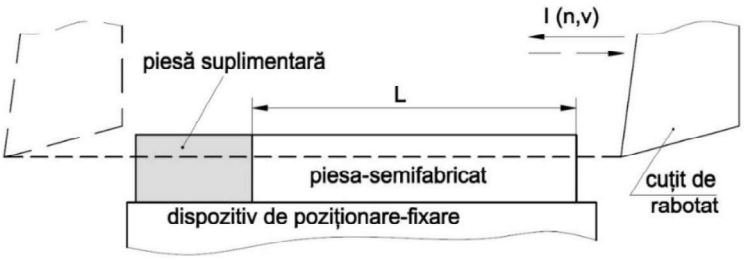


Schematizarea zonei plastice subţiri pentru deducerea C_{dt}

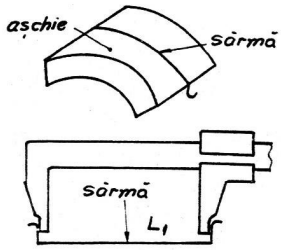
b. Metode experimentale: metoda măsurării directe şi metoda cântăririi

<u>*Metoda măsurării directe*</u> permite determinarea coeficientului longitudinal sau transversal şi se utilizează atunci când se pot măsura sau calcula dimensiunile corespunzătoare ale stratului de material aşchiat (*L* şi *a*). Se foloseşte pentru aşchiile de forfecare sau pentru cele continue de curbură relativ mare.

La rabotare, unde lungimea aşchiată, L, este egală cu dimensiunea suprafeţei prelucrate, măsurată pe direcţia mişcării principale, se poate determina coeficientul longitudinal de deformare, $\mathbf{C_{dl} = L/L_1}$, în care lungimea aşchiei L_1 se obţine prin măsurare. (fig.).



măsurarea lungimii stratului aşchiat;



măsurarea lungimii aşchiei

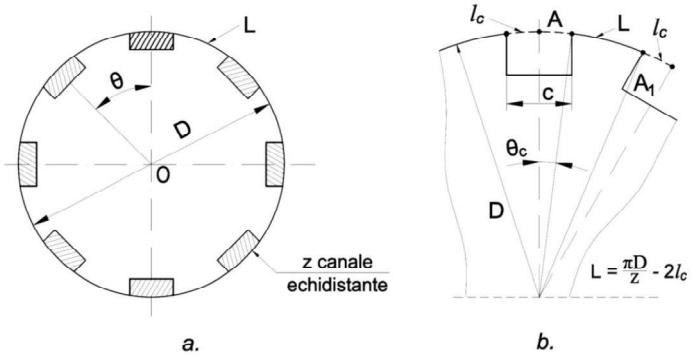
Determinarea coeficientului longitudinal C_{dl} *la rabotare*

Pentru a evita fenomenul de margine la ieşirea cuţitului din material, la sfârşitul cursei active, se recomandă alipirea unei piese suplimentare, având caracteristici mecanice apropiate de cele ale semifabricatului.

Având în vedere curbura naturală a aşchiei, pentru măsurarea lungimii acesteia, L_1, se utilizează o sârmă din cupru, de 0,3 ÷ 0,4 mm diametru, care se înfăşoară/mulează pe linia mediană a suprafeţei

aşchiei ce s-a aflat în contact cu suprafaţa de degajare a sculei. După ce se îndreaptă, se măsoară cu şublerul lungimea L_1.

La strunjirea cilindrică, lungimea stratului de material aşchiat, *L* poate fi delimitată prin practicarea unor canale echidistante în lungul semifabricatului (fig.). În aceste canale se fixează pene dintr-un alt material, pentru ca aşchierea să se desfăşoare continuu, fără şocuri şi cu evitarea fenomenului de margine.



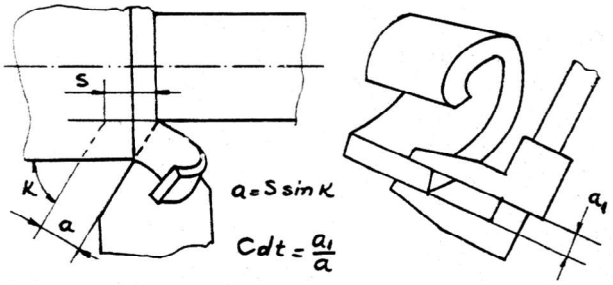
Determinarea lungimii aşchiate la strunjirea cilindrică

Pentru determinarea coeficientului $\boldsymbol{C_{dl}}$, pentru o lăţime de canal ***c***, lungimea *L* se obţine cu relaţia aproximativă, $L = \frac{\pi D}{z} - c\ [mm]$, în care lungimea de coardă $\boldsymbol{2l_c}$ este aproximată cu lățimea ***c*** a canalului, sau cu relaţia exactă, stabilită geometric: $L = \frac{\pi D}{z} - \frac{\pi D}{180°} arcsin \frac{c}{D}\ [mm]$.

Pentru a obține valoarea coeficientului C_{dl}, lungimea aşchiei, L_a se măsoară.

La procesele de prelucrare la care aşchierea are loc continuu şi nu este posibilă măsurarea lungimii stratului aşchiat (la strunjire sau la găurire), se poate determina coeficientul transversal de deformare, $\boldsymbol{C_{dt} = a_1/a}$. În aceste cazuri se măsoară (de preferinţă cu micrometrul) grosimea aşchiei rezultate, a_1.

Grosimea stratului aşchiat se reglează la fiecare trecere prin avansul de aşchiere şi capătă valori în planul v-v_1; dacă aşchia se deplasează pe direcţia normalei la tăişul activ, atunci unghiul de deviere $\eta = 0$, iar grosimea stratului aşchiat (aşchia nedeformată), se obţine în funcţie de avans și de unghiul de atac principal *K*, cu relaţia: $a = s \sin K$. Având în vedere că grosimea stratului aşchiat *a* este stabilită prin calcul, metoda poate fi considerată ca fiind *teoretico-experimentală*.



Determinarea grosimii stratului aşchiat și a grosimii aşchiei rezultate la strunjirea cilindrică

<u>*Metoda cântăririi*</u> se foloseşte când nu se cunoaşte lungimea stratului aşchiat și poate fi aplicată la orice tip de aşchie.

Metoda se bazează pe măsurarea unui volum de aşchii colectat sau a masei acestuia, şi a lungimii L_a de aşchie corespunzătoare acestui volum. Dimensiunile *a* şi *b* ale aşchiei nedeformate se calculează în funcţie de parametrii *s* şi *t*.

Ţinând cont de greutatea aşchiilor colectate, G_a şi de greutatea specifică γ_a a materialului aşchiat, se obține expresia coeficientului C_{dt}:

$$C_{dt} = \frac{G_a}{\gamma_a \cdot t \cdot s \cdot L_a}$$

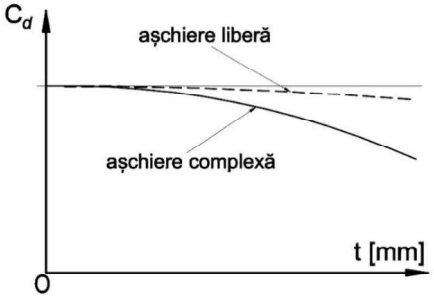
Influenţa parametrilor procesului de aşchiere asupra coeficientului de deformare plastică

În general, influenţa parametrilor procesului asupra gradului de deformare plastică a materialului prelucrat se explică prin *căldura* dezvoltată în timpul aşchierii.

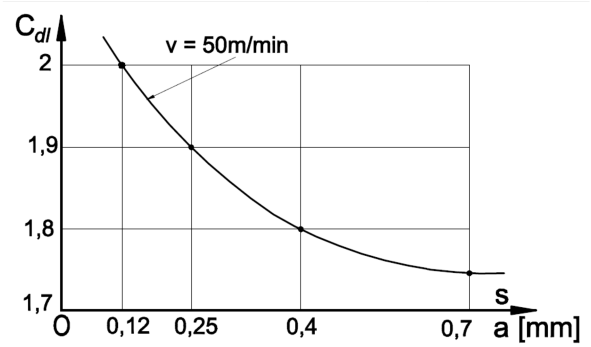
Atât relaţia de calcul pentru căldura de aşchiere, $Q = F_d \cdot v/427$ [cal/min], cât şi relaţia aproximativă de calcul pentru temperatura Δt din zona plastică, $\Delta t° = Q/m \cdot c$ [°C], arată influenţa directă a vitezei de aşchiere, *v.* În aceste relații, F_d este forţa de deformare, *m* este masa care preia căldura *Q* dezvoltată, iar *c* este căldura specifică a materialului prelucrat.

1. **Influenţa parametrilor regimului de aşchiere**

Adâncimea de aşchiere - influenţează în mică măsură C_d, în cazul aşchierii libere. La aşchierea complexă, creşterea adâncimii *t* determină o uşoară scădere a coeficientului C_d, prin reducerea efectului complex al aşchierii în zona tăişului activ (forțele de frecare mai mari decât în cazul aşchierii libere conduc la temperaturi de aşchiere mai mari, care determină deformații plastice mai reduse).



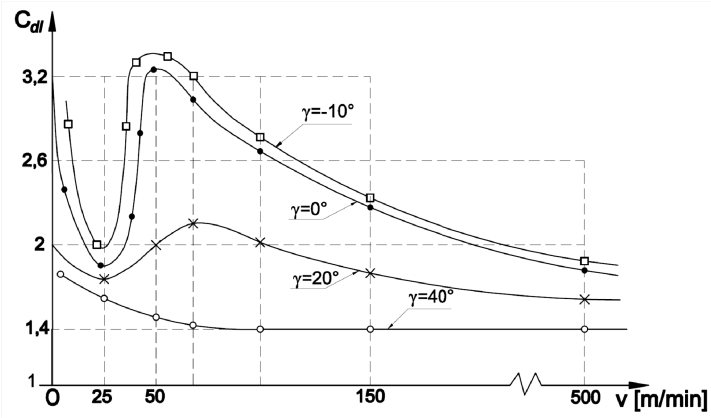
Influența adâncimii de așchiere asupra coeficientului de deformare plastică a așchiei



Avansul de aşchiere (*s*), influenţează mai mult nivelul deformaţiilor plastice, datorită influenţei directe asupra temperaturii de aşchiere. La creşterea avansului, creşte secţiunea de aşchie (txs), cresc forţele de deformare şi de frecare, care determină creşterea temperaturii materialului şi este avantajată «curgerea» aşchiei, deci C_d scade. Tendința de scădere a C_d la creșterea avansului este mai accentuată în domeniul avansurilor mici.

Influența avansului asupra coeficientului de deformare plastică a aşchiei

Viteza principală de aşchiere,v are influenţă mai complexă asupra C_d, care se manifestă prin intermediul temperaturii de aşchiere, natura contactului aşchie/ suprafaţa de degajare şi mărimea forţelor de frecare – care depind de parametrii procesului de aşchiere, mai ales de viteza *v*, avansul *s* şi unghiul de degajare γ.



În principiu, creşterea vitezei v duce la creşterea temperaturii în zona de aşchiere, materialul se «înmoaie», deformaţiile sunt mai reduse, iar deplasarea aşchiilor în lungul suprafeţei de degajare se face mai uşor. Această scădere a C_d cu creșterea vitezei este valabilă pentru domeniul de viteze cuprins între **v = 50 - 500 m/min**.

Pentru viteze ***v* < 50 m/min**, din cauza condițiilor favorabile formării tăișului de depunere, este accentuat efectul de pană al dintelui aşchietor (prin creşterea unghiului de degajare mediu scad forţele de deformare şi cele de frecare) şi are loc creşterea temperaturii în zona plastică (tăişul de depunere se comportă ca un scut termic, împiedicând transmiterea căldurii către sculă). Ca urmare, deformaţiile plastice scad, iar curba de variaţie a C_d cu viteza *v* prezintă un **minim** în această zonă. Pe măsură ce viteza *v* se apropie de 50÷60 m/min, condiţiile de formare a depunerii pe tăiş se reduc, iar coeficientul de deformare revine la valori normale.

Un alt aspect particular este prezent la viteze foarte mari (***v* > 500 m/min**), când materialul este încălzit instantaneu la temperatură ridicată şi se comportă la un lichid foarte vâscos, curgând, aproape fără deformare, în lungul suprafeţei de degajare; C_d tinde, astfel, către valoarea 1.

Evoluția C_d cu viteza v este influențată, așa cum se observă pe graficul de variație, de mărimea unghiului de degajare γ. La **valori mari ale unghiului γ** (20° - 40°) corespund **coeficienţi de deformare mici** și variații slabe ale valorilor C_d în domeniul de viteze sub 50 m/min. În schimb, **valorile negative pentru γ** determină grad ridicat de deformare plastică şi favorizarea formării depunerii pe tăiş, care produc o **variaţie puternică a C_d** în domeniul vitezelor mici.

În concluzie, pe baza graficelor de variație prezentate, rezultă că pentru obţinerea unor valori mici pentru *Cd* se impun valori mari pentru *v, s* şi γ.

2. Geometria dintelui aşchietor influențează mărimea coeficientului ***C_d*** mai ales prin valorile unghiului de degajare γ, a unghiului de înclinare a tăișului λ și a unghiului de atac principal K.

- *Unghiul de degajare*, γ, respectiv *unghiul de aşchiere,* δ, au cea mai mare influență asupra C_d; la creșterea unghiului de aşchiere, respectiv la micşorarea unghiului de degajare, mărimea coeficientului C_d crește.
- *Unghiul de înclinare* λ - micşorarea unghiului de înclinare determină creșterea coeficientului C_d.
- *Unghiul de atac principal* K - prin creșterea unghiului de atac, coeficientul de deformare plastică a aşchiei scade datorită îmbunătățirii capacității de tăiere-deformare și micşorării capacității dintelui aşchietor de a prelua căldura degajată în timpul prelucrării. Influența unghiului de atac depinde și de natura materialului aşchiat.

3. Natura materialului aşchiat (ductil-fragil). Există materiale ductile care se deformează puternic, dar şi materiale fragile care practic nu se deformează. Spre exemplu, cuprul este un material ductil ce suportă deformaţii plastice mari, în timp ce alama – care este un aliaj de cupru, se deformează plastic mai puţin, cu tendinţe spre fragilitate. Oţelul carbon suportă deformatii plastice mari, comparativ cu oţelul aliat, care suportă deformaţii plastice reduse.

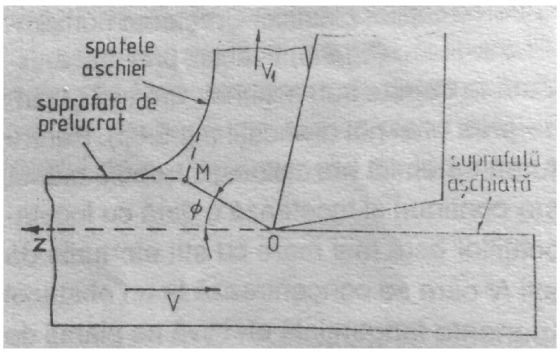
4. Mediul de aşchiere influenţează destul de complex deformarea plastică a materialului aşchiat. Comparativ cu aşchierea în aer, lichidele de răcire-ungere determină reducerea deformaţiilor plastice prin efectele lor principale, de răcire și ungere. Astfel, prin proprietatea de răcire, mediul de aşchiere conduce la scăderea temperaturii în zona de aşchiere, favorizând tendinţa de comportare fragilă a materialului, adică cu deformaţii reduse, în timp ce prin efectul de ungere, reduce frecarea dintre dinte şi aşchie, cu același efect al scăderii deformării materialului prelucrat.

Unghiul convenţional de forfecare

Unghiul convențional de forfecare a aşchiei este o altă mărime care permite aprecierea gradului de deformare plastică a materialului aşchiat.

În procesul de aşchiere, fiecare element de aşchie se formează ca rezultat a forfecării după planul convenţional de forfecare, în momentul în care eforturile dezvoltate în element (cauzate de forţa exterioară exercitată de sculă) depăşesc rezistenţa materialului prelucrat. Starea critică de eforturi va conduce la forfecarea elementului.

Poziţia planului de forfecare se pune în evidenţă în secţiunea plană v - v_1, prin unirea vârfului sculei, O, cu punctul M, obţinut ca intersecţie între suprafaţa de prelucrat şi spatele aşchiei. Poziţia planului este dată de unghiul φ pe care-l formează cu direcţia *z* a mişcării principale, numit unghi de poziţie al planului convenţional de forfecare sau, simplu, unghi de forfecare.

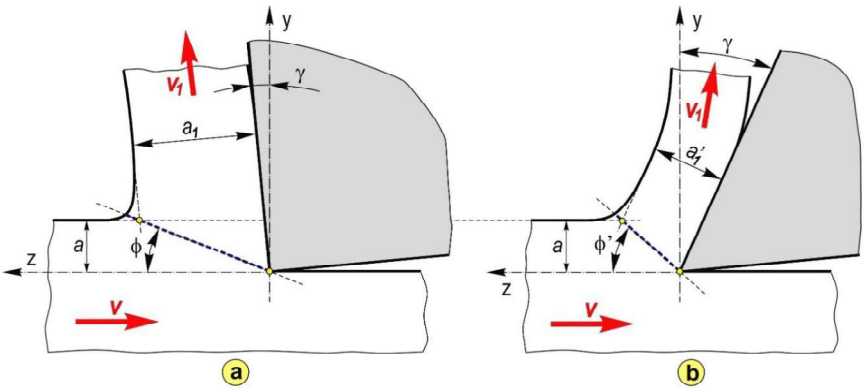


Mărimea unghiului *φ* este invers proporţională cu gradul de deformare a materialului aşchiat, ceea ce înseamnă că valorile mici ale unghiului convenţional de forfecare corespund deformaţiilor plastice mari, în timp ce deformaţiile mici conduc la valori mari ale unghiului *φ*.

S-a stabilit experimental că mărimea unghiului *φ* oferă informaţii asupra energiei consumate la aşchiere, a temperaturii şi intensităţii uzurii sculei aşchietoare – valorile acestor parametri cresc la valori mari ale deformaţiei şi deci, la mărimi mici ale unghiului *φ.*

Modul în care poziţia planului convenţional de forfecare, prin unghiul *φ,* determină gradul de deformare plastică a materialului prelucrat poate fi explicată dacă se consideră prelucrarea unui material ductil cu viteza de aşchiere *v* şi cu grosimea stratului aşchiat *a*, în două situaţii (fig.).

În primul caz (fig. a), unghiul de forfecare φ este mic, planul convenţional de forfecare are lungime apreciabilă şi conţine un număr mare de grăunţi cristalini, iar aşchia formată – de grosime a_1 mare – se va degaja cu viteza v_1.



$\varphi < \varphi', \; a'_1 < a_1$

Legătura între unghiul convenţional de forfecare şi coeficientul de deformare plastică

În al doilea caz, unghiul de forfecare φ' este mai mare (fig. b) și îi corespunde un plan de forfecare mai scurt, cu un număr mai redus de atomi în lungul lui, astfel că aşchia formată va avea o grosime a'_1 mai mică decât a_1. Făcând raportul grosimilor de aşchie în cele două cazuri, rezultă că:

$$a_1/a > a'_1/a \Longrightarrow C_{dt} > C'_{dt}$$

relaţie care arată că unui grad mare de deformare a materialului îi corespunde un coeficient de deformare plastică mai mare şi un unghi de forfecare mai mic (φ < φ').

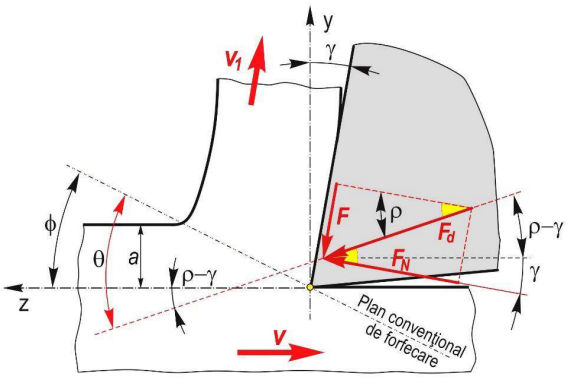
Valorile unghiului convenţional de forfecare φ pot fi determinate prin metode analitice şi experimentale.

Analitic, unghiul φ poate fi determinat pornind de la faptul că în procesul de aşchiere, formarea aşchiei are loc prin forfecarea materialului, ca rezultat al deplasării dislocaţiilor într-un plan cu densitate maximă de atomi, situat în vecinătatea planului teoretic, înclinat la 45º faţă de direcţia forţei exterioare F_d de deformare.

Se notează cu **θ** unghiul dintre planul convenţional de forfecare – în care are loc deplasarea dislocaţiilor – şi direcţia forţei rezultante F_d.

Având în vedere că forţa rezultantă de deformare F_d rezultă prin compunerea forţei normale F_N la suprafaţa de degajare şi a forţei de frecare F – în lungul acesteia, se notează cu **ρ** unghiul de frecare,

măsurat între F_d şi F_N, cu **tg ρ = F/F_N = μ**, în care μ este coeficientul de frecare dintre aşchie şi suprafaţa de degajare.



Legătura între unghiul convenţional de forfecare şi direcţia de acţiune a forţei exterioare de deformare plastică

Cunoscând şi unghiul de degajare γ, expresia unghiului de forfecare poate fi stabilită geometric, în forma **φ = *θ*− (*ρ* − *γ*) = *θ* + *γ* − *ρ*.**

Dacă se consideră ca forfecarea are loc la unghiul θ = 45º, se obține relația aproximativă a unghiului de forfecare **φ = *θ* + *γ* − *ρ* ≅ 45° + *γ* − *ρ*.**

M**etoda analitică** cel mai des utilizată foloseşte ipoteza că, în momentul care precede forfecarea, elementul de aşchie se află în echilibru sub acţiunea **forţelor exterioare şi interioare**.

Ca **forţe exterioare** se consideră numai forţa normală F_N şi de frecare *F,* de la nivelul suprafeţei de degajare (componentele forţei de deformare F_d).

Forța de frecare *F* se determină cu relația ***F = μ · F_N,*** în care *μ* reprezintă coeficientul mediu de frecare exterioară. Mărimea coeficientului *μ* poate fi determinată cu relația ***μ = tgρ***, unde *ρ* reprezintă unghiul de frecare dintre aşc φ şi suprafața de degajare.

Forţele interioare sunt considerate constante şi uniform distribuite la nivelul planului convenţional de forfecare: eforturile normale σ, perpendiculare pe planul de forfecare şi eforturile tangenţiale τ şi de frecare $\mu_1\sigma$, în planul de forfecare. Frecarea interioară (din planul de forfecare) este caracterizată de coeficientul de frecare interioară μ_1 sau de unghiul de frecare interioară ρ_1, ***μ_1 = tg ρ_1***.

Pornind de la acest echilibru de forțe, a rezultat o relație analitică pentru unghiul *φ,* care ia în considerare unghiul teoretic de alunecare (considerat egal cu 45°), unghiul de degajare *γ* și unghiul de frecare exterioară *ρ* și, respectiv, interioară ρ_1 :

$$\varphi = \frac{\pi}{4} + \frac{\gamma}{2} - \frac{\rho + \rho_1}{2}$$

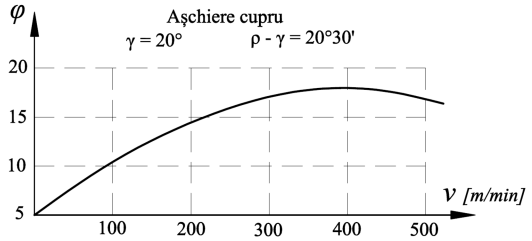
În prezent există numeroase relaţii analitice deduse pentru unghiul convenţional de forfecare, relaţii stabilite pentru diferite ipoteze simplificatoare. Majoritatea acestor relaţii prezintă înclinarea planului convenţional de forfecare la 45º faţă de direcţia forţei de deformare *Fd*.

Metodele experimentale de determinare a unghiului φ au la bază obţinerea rădăcinii de aşchie în curs de formare, prin oprirea instantanee a procesului de aşchiere. După detaşarea de pe semifabricat, rădăcina de aşchie se înglobează într-o răşină şi după solidificare se polizează şi se şlefuieşte în secţiunea plană $v - v_1$. Metoda analizei metalografice, folosită în mod frecvent la măsurarea unghiului *φ*, presupune atacul chimic al probei şi observarea la microscopul optic, pentru a cuprinde în câmpul ocularului întreaga zonă plastică și a măsura unghiul de forfecare, φ.

Dependenţa unghiului convenţional de forfecare de parametrii procesului de aşchiere

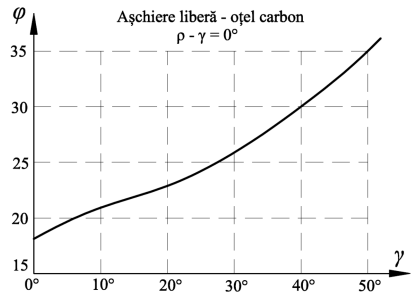
<u>*Viteza principală de aşchiere*</u>. La prelucrarea pieselor din cupru a rezultat experimental că, pentru valori ale vitezei principale de până la 300 – 400 m/min, creșterea vitezei determină creșterea mărimii

unghiului φ până la o valoare maximă, după care începe să scadă, la valori ale vitezei peste 500 m/min (fig.)

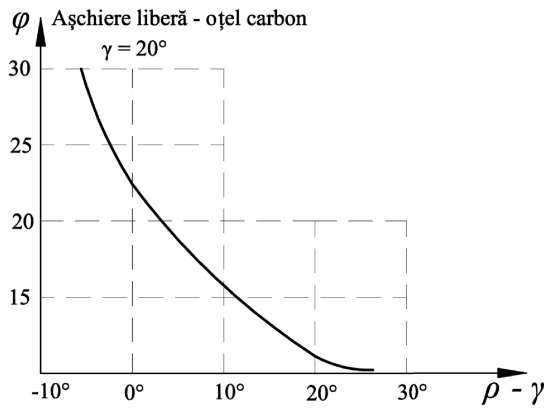


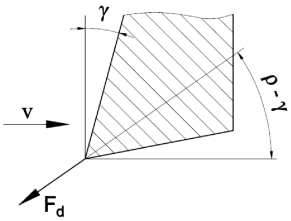
Influența vitezei principale de așchiere asupra unghiului convențional de forfecare

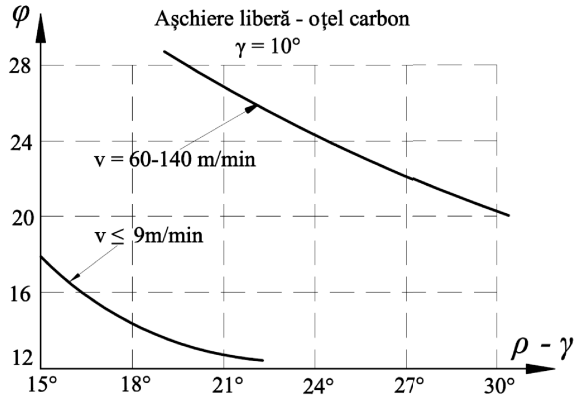
<u>*Unghiul de degajare γ*</u> – influențează asupra unghiului φ atât direct, cât și prin intermediul unghiurilor de frecare *ρ* și ρ_1, unghiul de frecare dintre așchie și suprafața de degajare *ρ* având o influență mai accentuată. Astfel, la creșterea mărimii unghiului *γ*, valoarea unghiului φ crește (deformațiile plastice sunt mai mici), iar la creșterea unghiului *ρ*, valoarea unghiului φ scade .



Influența unghiului de degajare γ asupra unghiului de forfecare φ







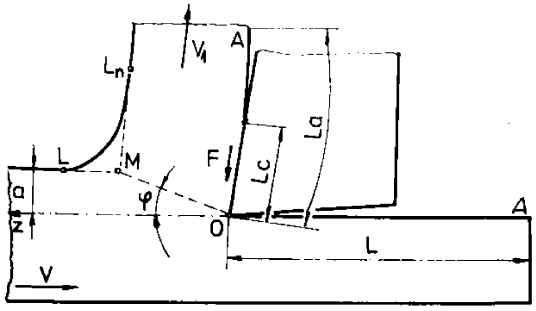
Influența unghiului de frecare ρ asupra unghiului convențional de forfecare φ

<u>*Materialul prelucrat*</u> – influențează mărimea unghiului *φ* prin proprietățile sale fizico-mecanice (rezistența la rupere) – cu creșterea rezistenței la rupere se observă mărirea valorilor unghiului *φ.*

Viteza de deplasare a așchiilor pe suprafața de degajare

Mărimea deformațiilor plastice ale așchiilor poate fi apreciată și prin valorile vitezei v_1 de deplasare (curgere) a așchiilor pe suprafața de degajare a dintelui.

Rezistența materialului așchiat la dezvoltarea deformațiilor plastice și acțiunea forței de frecare F de pe suprafața de degajare activă determină valorile vitezei v_1 și influențează indirect valorile coeficientului de deformare plastică, C_d.



Dintele așchietor în planul de curgere a așchiei v – v_1

Considerând că dintele sculei aşchiază într-un timp τ o lungime *L* din adaosul de prelucrare, în prezenţa mişcării principale de viteză *v*, evident că, în acelaşi timp τ, va rezulta o lungime de aşchie L_a, în deplasare cu viteza v_1 pe suprafaţa de degajare:

$$L = v \cdot \tau \quad \text{şi} \quad L_a = v_1 \cdot \tau$$

Se obține astfel relația: $C_{dl} = L/L_a = v\,/v_1$, care exprimă dependenţa vitezei de cugere v_1 de coeficientul de deformare plastică: pentru o anumită viteză de așchiere v, coeficientul de deformare plastic a așchiei crește prin micșorarea vitezei de curgere, v_1. Oricât de mici ar fi deformaţiile plastice la aşchierea unui material, totdeauna viteza v_1 va fi mai mică decât viteza principală *v*.

Se obține astfel din relația lui C_{dl} expresia vitezei de curgere $v_1 = v \cdot C_{dl}$, care devine utilă pentru calculul vitezei de curgere a aşchiei pe suprafaţa de degajare doar dacă se cunoaşte coeficientul de deformare plastică.

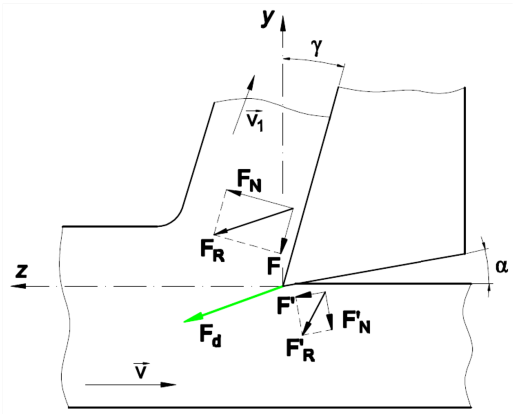
Experimental s-a constatat că viteza de curgere v_1 scade prin creșterea forței de frecare, F, de pe suprafața de degajare. Mărimea forței d âe frecare și, indirect, mărimea vitezei v_1, depend în special de valorile unghiului de degajare, de rugozitatea suprafeței de degajare active, de viteza principală v și de natura materialului așchiat.

Rezistenţa la aşchiere şi forţa de aşchiere

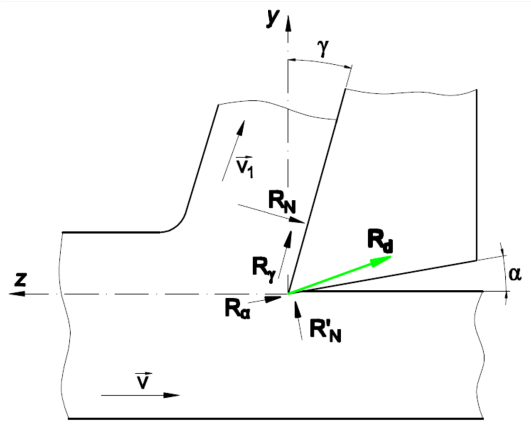
În procesul de aşchiere, materialul prelucrat determină – prin proprietăţile sale fizico-mecanice şi prin valorile parametrilor procesului – o anumită rezistenţă la înaintarea sculei. Rezistenţa opusă de semifabricat la deformare plastică sau rupere şi îndepărtare a aşchiilor se numeste ***rezistenţă la aşchiere,*** R_d .

Pentru ca procesul de aşchiere să aibă loc, în prezenţa mişcărilor de lucru, se introduce prin intermediul dinţilor aşchietori o forţă egală şi de sens opus cu R_d, numită ***forţă de aşchiere*** sau ***forţă exterioară*** F_d. Aceasta este compusă în primul rând din forţa normală la suprafaţa de degajare F_N (care acționează asupra adaosului de prelucrare și asupra aşchiei) şi din forţa de frecare în lungul acestei suprafeţe, F. În plus, dintele aşchietor acţionează pe suprafaţa instantanee de aşchiere cu o forţă normală F_N' şi respectiv cu o forţă de frecare F'.(fig.a)

Astfel, pentru un dinte aşchietor, forţa de aşchiere F_d este alcătuită din patru componente, conform relaţiei: $\overrightarrow{F_d} = \overrightarrow{F_N} + \overrightarrow{F_N'} + \overrightarrow{F} + \overrightarrow{F'}$ [N]



a.Componentele forței de așchiere, F_d



b.Componentele rezistenței la așchiere, R_d

În mod similar, rezistența la așchiere, R_d, poate fi descompusă în componentele orientate în sens opus, dinspre materialul prelucrat către dintele așchietor, conform fig. b.

$$\overrightarrow{R_d} = \overrightarrow{R_N} + \overrightarrow{R'_N} + \overrightarrow{R_\gamma} + \overrightarrow{R_\alpha}$$

unde: R_N, R'_N – rezistențele la deformare plastică pe suprafața de degajare, respectiv suprafața de așezare;

R_γ, R_α – rezistențele la deplasare în lungul suprafeței de degajare, respectiv a suprafeței de așezare.

Între componentele rezistenței și forței de așchiere au loc relațiile de legătură:

$$\overrightarrow{F_N} = -\overrightarrow{R_N}\ ;\ \overrightarrow{F'_N} = -\overrightarrow{R'_N}\ ;\quad \vec{F} = -\overrightarrow{R_\gamma}\ ;\quad \overrightarrow{F'} = -\overrightarrow{R_\alpha}$$

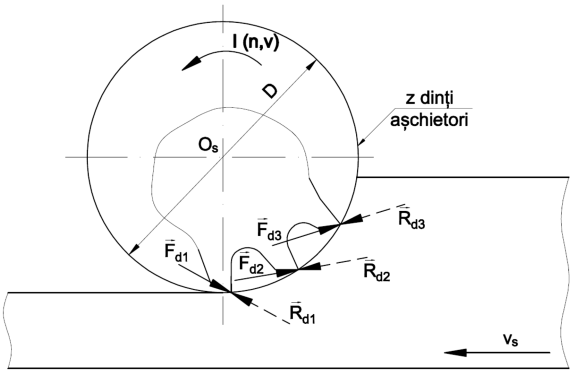
Forța și rezistența la așchiere se definesc pentru un dinte așchietor și pentru scula așchietoare.

În cazul sculelor cu mai mulți dinți aflați simultan în așchiere (fig.), forța rezultantă F_T și rezistența totală R_T se obțin cu relațiile,

$$\overrightarrow{F_T} = \sum_{1}^{z_s} \overrightarrow{F_{d_i}} \qquad \overrightarrow{R_T} = \sum_{1}^{z_s} \overrightarrow{R_{d_i}}$$

în care z_s reprezintă numărul dinților care așchiază simultan

Dacă cei z_s dinţi aşchiază în condiţii identice (cazul alezării, burghierii, broşării), atunci valorile R_T şi F_T se obţin cu relaţiile: $\mathbf{R_T = F_T = z_s\, R_d = z_s\, F_d}$



Componentele rezistenței și forței de așchiere la prelucrarea cu scule așchietoare cu mai mulți dinți aflați simultan în așchiere

Datorită faptului că cea mai mare contribuție la formarea așchiilor o are suprafața de degajare, se folosește frecvent ipoteza neglijării contribuției suprafeței de așezare și, ca urmare, forța F_d și rezistența R_d se pot determina cu relațiile simplificate: $\overrightarrow{F_d} = \overrightarrow{F_N} + \vec{F}$ și $\overrightarrow{R_d} = \overrightarrow{R_N} + \overrightarrow{R_\gamma}$

Rezistenţa la aşchiere, pe care materialul de prelucrat o opune dinţilor aşchietori, este luată în calcul la proiectarea sau verificarea sculei, ori a dispozitivelor portsculă, în timp ce, la proiectarea dispozitivului port-piesă sau la studierea dinamicii piesei, interesează forţa totală de aşchiere prin care scula aşchietoare acţionează asupra semifabricatului.

Structura fizică a forţei de aşchiere

Mecanismul formării elementelor de aşchie constă, în cazul aşchiilor ductile, dintr-o deformare plastică principală, urmată de o forfecare şi o succesiune de deformaţii plastice suplimentare, iar în cazul aşchiilor de smulgere constă dintr-o rupere instantanee, prin smulgere, după o suprafaţă oarecare.

Deformaţiile plastice principale se realizează prin efectul forţei F_N de deformare plastică, forfecarea se datorează forţei de forfecare F_f, iar deformaţiile plastice suplimentare au loc datorită forţei de frecare F de pe faţa de degajare. În cazul formării aşchiilor de rupere sau de smulgere se consideră forţa de aşchiere corespunzătoare ruperii sub acţiunea eforturilor normale σ.

Deci, din punct de vedere fizic, forţa de aşchiere este alcătuită din *forţa de deformare plastică*, *forţa de forfecare* şi *forţa de frecare.*

1. Forţele de deformare plastică sau de rupere instantanee

Forţele de deformare plastică sunt caracteristice aşchiilor ductile, provocând îndepărtarea materialului exclusiv ca urmare a ruperilor cauzate de tensiunile tangenţiale τ. Procesul de aşchiere are loc cu deformaţii plastice maxime, cauzate de forţele de aşchiere, pe de o parte, şi de fenomenele de frecare, pe de altă parte.

Forţele de rupere instantanee corespund aşchiilor de smulgere, produse în urma unei rupturi, sub acţiunea eforturilor normale σ. În acest caz procesul are loc fără deformaţii plastice vizibile macroscopic.

Practic îndepărtarea materialului are loc atât datorită forţelor de deformare plastică, cât şi a celor de rupere instantanee, raportul dintre acestea depinzând de natura materialului prelucrat, viteza de aşchiere şi temperatura de lucru.

Pentru determinarea analitică a mărimii forței de deformare plastică F_N sunt utilizate două ipoteze de calcul: *ipoteza compresiunii uniaxiale* și *ipoteza eforturilor σ de contact* dintre așchie și suprafața de degajare activă.

Conform primei ipoteze, materialul din fața dintelui așchietor, în prezența mișcării de așchiere, determină, pe direcție normală la suprafața de degajare, o rezistență la deformare plastică, R_N, egală cu forța normală, F_N, introdusă de dintele așchietor. Comparând modul în care se deformează un anumit volum de material atît prin compresiune uniaxială, cât și la așchierea cu un dinte așchietor cu unghi de degajare $\gamma = 0°$, s-a obținut pentru forța F_N relația:

$$F_N = \sigma_0 \cdot t \cdot s \cdot C_d^n$$

în care:

σ_o – rezistența specifică la care începe curgerea plastică a materialului așchiat;

t – adâncimea de așchiere;

s – avansul de așchiere;

C_d – coeficientul de deformare plastică a așchiei;

n – exponent obținut experimental

Conform celei de a doua ipoteze, forța de deformare plastică se obține pornind de la repartiția și mărimea eforturilor de pe suprafața de degajare activă. Considerând eforturile normale σ constante pe direcții paralele cu tăișul activ ($\sigma = \sigma_{max}$ = const.), a rezultat pentru forța F_N relația:

$$F_N = A_c \cdot \sigma = \sigma_{max} \cdot l \cdot l_c \cdot cos\ \eta$$

în care: $A_c = l \cdot l_c \cdot cos\ \eta$ - reprezintă aria suprafeței de degajare în contact cu materialul așchiat

l – lungimea tăișului activ; lc – lungimea de contact a așchiei cu suprafața de degajare;
η - unghiul direcției de degajare a așchiei

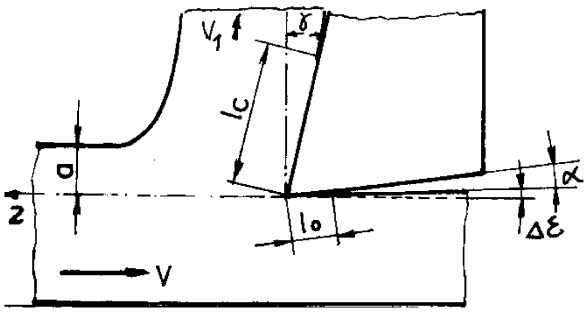
2. Forțele de frecare

Sunt determinate de fenomenele exterioare de frecare din timpul așchierii, care se manifestă între suprafețele active ale următoarelor perechi de elemente: așchie – suprafața de degajare și suprafața de așchiere – suprafața de așezare.

Pentru un dinte așchietor, suprafețele de frecare pot fi puse în evidență în planul de curgere a așchiei, v – v_1.(fig)

Aria A_c a suprafeței de degajare active în contact cu materialul așchiat se determină cu relația:

$A_c = l \cdot l_c \cdot \cos \eta$, în care: l – lungimea tăișului activ (poate fi aproximată, pentru un tăiș activ rectiliniu, cu relația: t/ sinK cos λ); lc – lungimea de contact a așchiei cu suprafața de degajare; η - unghiul direcției de degajare a așchiei.

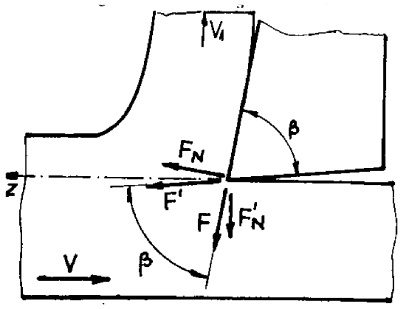


Dimensiunile suprafețelor de frecare pentru un dinte așchietor

Aria A'_c a suprafeței de așezare active aflată în contact cu suprafața prelucrată, pentru o anumită deformație elastică Δε, se obține cu relația:

$A'_c = l \cdot l_o \cdot \cos \eta$, în care: l – lungimea tăișului activ; lo – lungimea de contact dintre suprafața de așezare și suprafața de așchiere, l_o = Δε/ sinα; η - unghiul direcției de degajare a așchiei.

Forțele de frecare F și F' de pe suprafețele active ale dintelui și forțele normale corespunzătoare, F_N și F'_N acționează conform fig.



Direcțiile de acțiune ale forțelor de frecare la nivelul dintelui așchietor

Frecarea exterioară între materialul aşchiat şi suprafeţele active ale dinţilor aşchietori este un fenomen complex de natură moleculară – mecanică şi energetică, care este influenţat de următorii factori: forţele normale F_N şi F'_N, duritatea materialelor în contact, viteza de alunecare a aşchiei (v_1), caracterul rigid sau elastic al suprafeţelor în contact, rugozitatea suprafeţelor active, natura şi temperatura contactului, mediul de aşchiere, prezenţa particulelor de material frânat (depunerea pe tăiş).

Caracterul complex al frecării este amplificat de modificarea permanentă a condiţiilor de aşchiere (forţe, temperatură, natura contactului), prin însuşi mecanismul de formare a aşchiilor. În funcţie de aceste variaţii, frecarea poate trece de la frecarea de tip uscată la frecarea mixtă sau invers.

Pentru simplificarea etapelor de proiectare, pentru calculul forţei de frecare la aşchiere se utilizează frecvent **legea lui Coulomb** (valabilă pentru frecarea uscată), conform căreia forţa de frecare este direct proporţională cu sarcina (forţa normală F_N) şi depinde numai de natura materialelor în contact, fiind independentă de suprafeţele în contact şi de viteza de alunecare relativă:

$F = \mu \cdot F_N$, [N], în care μ - coeficientul de frecare exterioară

Bowden a propus pentru forța de frecare dintre două corpuri în mișcare relația $F = \tau_f \cdot A_r$, în care: τ_f – rezistența la forfecare a materialului mai moale (materialul așchiat), iar Ar este aria reală de contact, care se determină în funcție de efortul specific de curgere, σ_c cu relația $Ar = F_N/\sigma_c$.

Egalând cele două expresii ale forței de frecare F, conform legii lui Coulomb și cea propusă de Bowden, se obține pentru coeficientul de frecare exterioară μ relația:

$$\mu = \frac{F}{F_N} = \frac{\tau_f}{\sigma_c}$$

Frecarea în procesul de așchiere implică, comparativ cu frecarea obișnuită dintre două corpuri în mișcare, și efortul de deformare plastică din stratul superficial al așchiei la contactul cu suprafața de degajare a dintelui. Se explică astfel valorile relativ mari ale coeficientului de frecare exterioară, μ și variația acestuia în raport cu efortul normal σ și temperatura de contact – are loc o micșorare a coeficientului la creșterea rezistenței materialului așchiat, iar la creșterea temperaturii de contact, care este proporțională cu viteza de așchiere, v, se obțin valori maxime pentru μ în domeniul vitezelor mici (v < 50 m/min), care corespund temperaturilor de 300-400°, ca efect al depunerii pe tăiș, după care valorile coeficientului scad odată cu creșterea temperaturii, deci șI a vitezei v, prin modificarea carcateristicilor plastice ale materialului așchiat.

Creșterea adâncimii de așchiere și a avansului determină creșterea temperaturii de așchiere, deci valorile coeficientului de frecare scad.

Având în vedere aceste dependențe, pentru activitatea de proiectare se poate utiliza, pentru viteze de așchiere v > 50 m/min, relația:

$$\mu = \frac{C_1}{t^{x_1} \cdot s^{y_1} \cdot v^{z_1}}$$

în care exponenții x_1, y_1, z_1 și constanta C_1 se obțin experimental, în funcție de valorile altor parametri.

Frecarea de pe suprafaţa de aşezare a dintelui aşchietor este mai puţin complexă decât frecarea de pe suprafaţa de degajare, depinzând în special de natura celor două materiale, aşchiat şi aşchietor. În schimb, se modifică în timp, ca urmare a faptului că uzura suprafeţei de aşezare evoluează mai rapid decât uzura suprafeţei de degajare.

Aşadar, forţa normală F'_N şi forţa de frecare F' de pe suprafaţa de aşezare capătă valori mai mici decât forţele corespunzătoare de pe faţa de degajare. Aceasta se explică şi prin faptul că aria suprafeţei de aşezare active (în contact cu suprafaţa de aşchiere) este pronunţat mai mică.

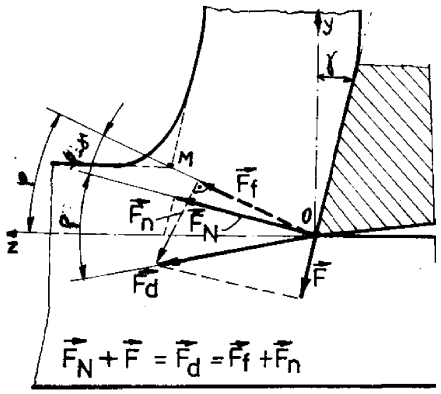
La proiectarea tehnologică şi constructivă se neglijează de obicei forţele de pe suprafaţa de aşezare a dintelui aşchietor, cu excepţia prelucrării găurilor cu scule prevăzute cu suprafeţe speciale de reazem şi ghidare (de ex. la broşare sau la găurirea adâncă) sau la prelucrarea cu scule abrazive, cazuri când nu pot fi neglijate forţele de pe suprafeţele de aşezare, de reazem şi de ghidare ale dinţilor.

Pentru determinarea valorilor forței de frecare, F, de pe suprafața de degajare se pot utiliza metode analitice sau experimentale. Cel mai frecvent, forța F se determină în baza legii frecării uscate a lui Coulomb, conform căreia $F = \mu \cdot F_N$, iar forța normală la suprafața de degajare se obține cu relația $F_N = \sigma_0 \cdot t \cdot s \cdot C_d^n$.

Ca urmare, pentru forța de frecare rezultă relația: $F = \mu \cdot F_N = \mu \cdot \sigma_0 \cdot t \cdot s \cdot C_d^n$

3. Forța de forfecare, F_f

Forța de forfecare se determină în ipoteza că forfecarea elementelor de așchie are loc după direcția planului convențional de forfecare, OM, a cărui poziție este dată de unghiul de forfecare, φ, format cu direcția vitezei principale, v (axa z).



Schema de calcul a forței de forfecare, F_f

Din schema de compunere a forței de așchiere la nivelul unui dinte, F_d, rezultă că:

$$F_f = F_d \cos(\varphi + \rho - \gamma),$$

în care: $F_d = \sqrt{F_N^2 + F^2}$, $F_N = \sigma_0 \cdot t \cdot s \cdot C_d^n$ și $F = \mu \cdot F_N = \mu \cdot \sigma_0 \cdot t \cdot s \cdot C_d^n$

ρ - unghiul de frecare exterioară, la nivelul suprafeței de degajare active,

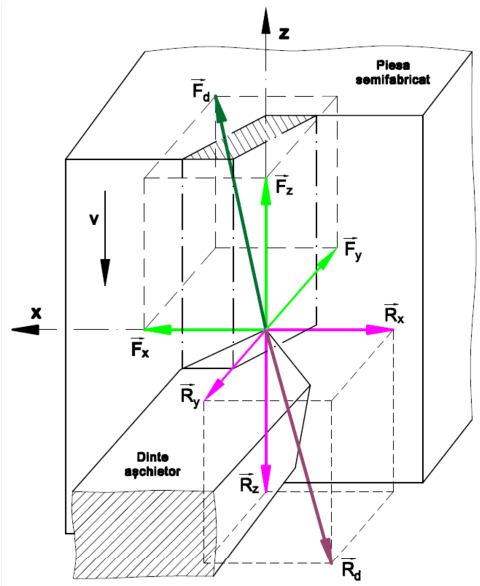
$$\rho = arctg\, \mu = arctg \frac{F}{F_N}$$

Pentru calculul forței de forfecare mai poate fi utilizată relația $F_f = \tau \cdot A_f = \tau \cdot \frac{a}{sin\varphi} \cdot l$, în care efortul tangențial τ ia valoarea maximă care asigură forfecarea elementului de așchie, A_f este aria planului convențional de forfecare, a – grosimea stratului așchiat, l – lungimea tăișului activ.

Componentele forţei de aşchiere în sistemul de referinţă constructiv al sculei

Fenomenele caracteristice aşchierii determină modificarea în timp a mărimii şi direcţiei forţei de aşchiere F_d sau a forţei de frecare, F . Din acest motiv, pentru a urmări evoluţia forţei F_d , la proiectarea constructivă şi tehnologică, se folosesc componentele acesteia în raport cu sistemul de referinţă constructiv (triortogonal drept) al sculei, cu axa *z* – orientată pe direcţia principală de aşchiere şi axa *x* – pe direcţia avansului (axa *y* completează triedrul). În mod corespunzător, s-a convenit asupra denumirii următoarelor componente:

- *componenta principală* **F_Z,** pe direcţia axei z
- *componenta de avans* **F_X** *,* pe direcţia axei x
- *componenta radială* **F_Y** (normală la suprafaţa prelucrată), numită şi *componentă pasivă,* pentru că se consideră că pe direcţia ei nu au loc deplasări relative sculă-piesă (fig.)



Componentele forţei de aşchiere F_d şi ale rezistenţei la aşchiere R_d în sistemul de referinţă constructiv al sculei

Aceste componente sunt orientate dinspre sculă spre piesa semifabricat. Prin corespondenţă, componentele rezistenţei la aşchiere R_d (**R_Z, R_X, R_Y**) sunt egale şi de sens contrar componentelor forţei F_d, fiind deci orientate dinspre piesă spre sculă.

Cunoaşterea c*omponentei principale F_Z,* mai mare decât celelalte două, datorită orientării ei pe direcţia consumului maxim de energie, este necesară la proiectarea elementelor structurale ale sistemului MUSDP, ce asigură realizarea mişcării principale de aşchiere, iar *componentele F_X* şi F_Y se folosesc la proiectarea elementelor care au legătură cu mişcările de avans şi/sau mişcările auxiliare.

Componentele forţei de aşchiere F_X, F_Y, F_Z pot fi puse în evidenţă pe dinţii aşchietori ai oricărui tip de sculă, orientarea acestora fiind uneori mai dificil de stabilit, datorită poziţiei dintelui în raport cu corpul sculei sau cu semifabricatul.

Astfel, dacă la sculele monodinte se defineşte un sistem de referinţă unic, iar componentele forţei sunt şi ele unice, în cazul sculelor cu mai mulţi dinţi, apare câte un sistem de referinţă distinct pentru fiecare dinte aflat în aşchiere, sistem în care componentele forţelor pot avea orientări şi valori diferite, datorate încărcărilor diferite. În acest ultim caz, utilizarea la proiectare a forţelor obţinute prin sumarea componentelor F_{Xi}, F_{Yi}, F_{Zi} de pe cei *i* dinţi activi nu mai este comodă, ci se folosesc alte componente, obţinute prin descompunerea forţei rezultante de aşchiere într-un sistem de referinţă al maşinii-unelte sau într-un alt sistem de referinţă avantajos proiectării (în general, una din direcţiile acestui sistem corespunde direcţiei de avans).

Determinarea valorilor componentelor de proiectare F_z, F_x și F_y se poate face pe cale analitică, sau, utilizînd relaţii de calcul numite teoretico-experimentale, pentru că forma şi structura lor a fost stabilită teoretic, iar coeficienţii şi exponenţii care intervin au fost stabiliţi în urma încercărilor experimentale. Aceste relații, numite politropice, prezintă influența directă exercitată de parametrii procesului asupra mărimii forțelor de așchiere și sunt utilizate la proiectarea anumitor componente ale sistemului tehnologic.

Metodele analitice de determinare a componentelor de proiectare F_z, F_x și F_y au la bază componentele fizice, F_N (forța de deformare plastică) și F (forța de frecare), și țin cont de geometria dintelui așchietor. În cazul particular $\lambda = 0°$ și $\gamma_N = 0°$ au rezultat relațiile simplificate:

$F_z = F_N$

$F_x = \mu \cdot F_N \cdot \sin K = F \cdot \sin K$

$F_y = \mu \cdot F_N \cdot \cos K = F \cdot \cos K,$

în care forța de deformare plastică, F_N ia valori în funcție de σ_o – rezistența specifică la care începe curgerea plastică a materialului așchiat, de secțiunea așchiei nedeformate, txs și de gradul de deformare plastică, prin coeficientul C_d: $F_N = \sigma_0 \cdot t \cdot s \cdot C_d^n$

Pornind de la aceste relații analitice simplificate și considerând coeficientul μ de frecare exterioară și coeficientul de deformare plastică C_d dependente numai de adâncimea și avansul de așchiere, s-au determinat **relațiile politropice** pentru componentele de proiectare F_z, F_x și F_y.

$$C_d = \frac{C_1}{t^{x_1} \cdot s^{y_1}} \qquad \mu = \frac{C_2}{t^{x_2} \cdot s^{y_2}}$$

Înlocuind expresiile C_d și μ în relațiile simplificate pentru F_z, F_x și F_y se obțin relațiile intermediare:

$$F_z = F_N = \sigma_o \cdot t \cdot s \cdot C_d^n = \sigma_o \cdot t \cdot s \cdot \frac{C_1^n}{t^{nx_1} \cdot s^{ny_1}} = C_1^n \cdot \sigma_o \cdot t^{1-nx_1} \cdot s^{1-ny_1}$$

$$F_x = \mu \cdot F_N \cdot \sin K = \frac{C_2}{t^{x_2} \cdot s^{y_2}} \cdot \sigma_o \cdot t \cdot s \cdot \frac{C_1^n}{t^{nx_1} \cdot s^{ny_1}} \sin K = C_1^n C_2 \sigma_o \cdot \sin K \cdot t^{1-nx_1-x_2} \cdot s^{1-ny_1-y_2}$$

$$F_y = \mu \cdot F_N \cdot \cos K = C_1^n C_2 \sigma_o \cdot \cos K \cdot t^{1-nx_1-x_2} \cdot s^{1-ny_1-y_2}$$

Se consideră următoarele notații:

$$C_1^n \cdot \sigma_o = C_z \qquad 1 - nx_1 = x_{F_z} \qquad 1 - ny_1 = y_{F_z}$$
$$C_1^n \cdot C_2 \cdot \sigma_o \cdot \sin K = C_x \qquad 1 - nx_1 - x_2 = x_{F_x} \qquad 1 - ny_1 - y_2 = y_{F_x}$$
$$C_1^n \cdot C_2 \cdot \sigma_o \cdot \cos K = C_y \qquad 1 - nx_1 - x_2 = x_{F_y} \qquad 1 - ny_1 - y_2 = y_{F_y}$$

Utilizînd notațiile de mai sus,au rezultat **relațiile politropice** pentru componentele de proiectare:

$$\boldsymbol{F_z = C_{F_z} \cdot t^{x_{F_z}} \cdot s^{y_{F_z}}}$$
$$\boldsymbol{F_x = C_{F_x} \cdot t^{x_{F_x}} \cdot s^{y_{F_x}}}$$
$$\boldsymbol{F_y = C_{F_y} \cdot t^{x_{F_y}} \cdot s^{y_{F_y}}}$$

În aceste relații, constantele C_{Fz}, C_{Fx}, C_{Fy} capătă valori în principal în funcţie de natura şi caracteristicile materialului de prelucrat (σ_0, C_1, C_2, n), iar exponenţii x_{Fz}, x_{Fx}, x_{Fy}, y_{Fz}, y_{Fx}, y_{Fy} iau valori în funcţie de influenţa adâncimii şi avansului de aşchiere asupra componentelor forţei de aşchiere.

Relațiile politropice au fost obţinute în ipoteze simplificatoare (γ_N = 0°; λ = 0°) şi cu relaţii simplificate de calcul pentru C_d şi μ, care nu iau în consideraţie decât influenţa directă a adâncimii şi a avansului.

Din acest motiv este necesară completarea lor cu o serie de coeficienți de corecție, care să țină seama de contribuția tuturor parametrilor procesului la realizarea mărimii forțelor de așchiere: k_v – pentru viteza de aşchiere; k_{ms} – pentru materialul sculei; k_{mp} – în funcţie de materialul aşchiat; k_{ma} – mediul de aşchiere; k_α – unghiul de aşezare; $k\gamma$ – unghiul de degajare; k_λ – unghiul de înclinare al tăişului activ; k_K – unghiul de atac; k_r – raza la vârf; k_ρ – raza de ascuţire; k_{ft} – forma geometrică a tăişului activ; k_h – înălţimea uzurii pe suprafaţa de aşezare.

Coeficienții globali K_{Fz}, K_{Fx}, K_{Fy} se obțin ca produs al coeficienților k pentru fiecare parametru al procesului: $\boldsymbol{K_{F_i} = k_v \cdot k_{ms} \cdot k_{mp} \cdot k_{ma} \cdot k_\alpha \cdot k_\gamma \cdot k_\lambda \cdot k_K \cdot k_r \cdot k_\rho \cdot k_{ft} \cdot k_h}$

$$\boldsymbol{F_z = C_{F_z} \cdot t^{x_{F_z}} \cdot s^{y_{F_z}} \cdot K_{F_z}}$$
$$\boldsymbol{F_x = C_{F_x} \cdot t^{x_{F_x}} \cdot s^{y_{F_x}} \cdot K_{F_x}}$$
$$\boldsymbol{F_y = C_{F_y} \cdot t^{x_{F_y}} \cdot s^{y_{F_y}} \cdot K_{F_y}}$$

La unele procedee de prelucrare, pentru calculul componentelor F_Z, F_X, F_Y se utilizează relaţii cu structură asemănătoare, dar care conţin influenţa directă a vitezei de aşchiere, nu numai prin coeficientul k_v:

$$\boldsymbol{F_i = C_{F_i} \cdot t^{x_{F_i}} \cdot s^{y_{F_i}} \cdot v^{z_{F_i}} K_{F_i}}, \text{ unde } i = z, x, y$$

Utilizarea relaţiilor politropice necesită cunoaşterea constantelor C_{Fi}, a exponenţilor x_{Fi}, y_{Fi}, z_{Fi} şi a coeficienţilor de corecţie k_{ji}. Pentru cele mai des folosite procedee de prelucrare prin aşchiere şi pentru cele mai utilizate materiale în construcţia de maşini aceste mărimi au fost deja determinate. Pentru materiale noi însă, ori pentru procedee noi de prelucrare, este necesară determinarea acestora experimental.

Forţa specifică şi rezistenţa specifică la aşchiere

Din relațiile de determinare a componentelor forței de așchiere, se observă că materialul așchiat intervine în realizarea acestor forțe prin rezistența specifică la curgere, σ_0 și prin coeficientul de deformare plastică, C_d: $F_N = \sigma_0 \cdot t \cdot s \cdot C_d^n$.

Componenta principală a forței de așchiere, $F_z = F_N$, este orientată pe direcția axei z, deci este normală la planul de bază constructiv, în care se definește secțiunea transversală a așchiei nedeformate, txs. Din acest motiv s-a convenit ca forța (apăsarea) specifică de așchiere, K_s, să se definească prin raportul dintre componenta principală, F_z și secțiunea așchiei nedeformate:

$$K_S = \frac{F_Z}{t \cdot s} = \frac{F_Z}{a \cdot b} \quad [\mathrm{N/mm^2}]$$

Prin înmulţirea simultană cu viteza v a numărătorului şi a numitorului, relaţia ia forma de mai jos, adică forţa specifică K_S reprezintă puterea consumată pentru detaşarea unei unităţi de volum de aşchii:

$$K_S = \frac{F_Z \cdot v}{t \cdot s \cdot v} = \frac{P_a}{V_a} \quad [\mathrm{N/mm^2}]$$

Cercetările experimentale au arătat că, deşi se raportează la unitatea de suprafaţă prelucrată, forţa specifică este influenţată de raportul dintre grosimea şi lăţimea aşchiei. Astfel, forţa specifică K_S este cu atât mai mică cu cât grosimea aşchiei «*a*» este mai mare. Ca urmare, K_S se poate exprima în funcţie de grosimea aşchiei printr-o relaţie de forma:

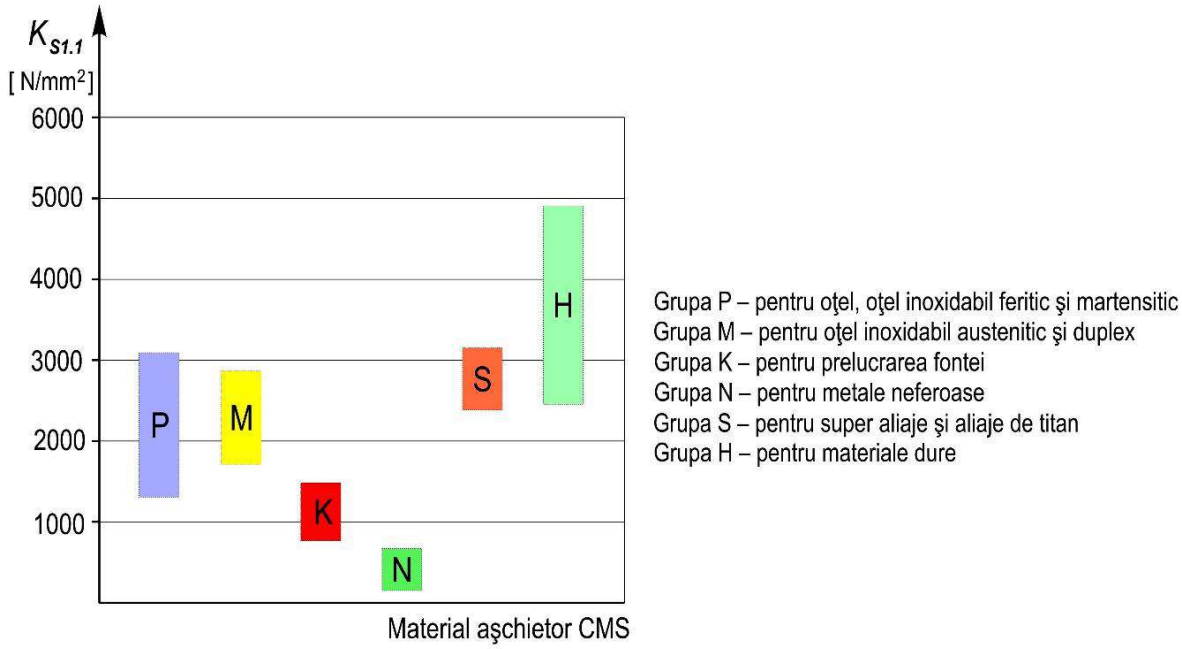
$$K_S = C \cdot a^{-m_s}$$

Pentru cazul particular în care grosimea aşchiei a = 1 mm, K_S = C, mărime care a primit indicele suplimentar 1 (sau 1.1): $K_{S1.1}$.

Mărimea $K_{S1.1}$ (sau $K_{z1.1}$) se numeşte *valoare principală a forţei specifice* sau *forţă specifică unitară* şi reprezintă forţa necesară pentru a tăia/detaşa un strat de material cu o secţiune de aşchie de 1 mm^2, ce are o grosime de a = 1 mm [Sandvik-Coromant].

Prin urmare, forţa specifică se scrie în forma: $\boldsymbol{K_S = K_{S1.1} \cdot a^{-m_s}}$, [N/mm^2]

Firmele producătoare de scule aşchietoare au studiat dependenţa *forţei specifice unitare* de grupa de materiale aşchietoare (CMS) şi au pus în evidenţă chiar variaţia parametrului $K_{S1.1}$ în cadrul fiecărei grupe.



Alegerea materialului aşchietor în funcţie de forţa specifică unitară [după Sandvik-Coromant]

Relaţia forţei specifice a fost stabilită pentru o geometrie „neutră" a dintelui aşchietor (γ = 0º), motiv pentru care firma Sandvik-Coromant recomandă corecţii ale relaţiei de calcul şi utilizarea unei dependenţe care să ţină seama de valoarea unghiului γ:

$$K_s = K_{s1.1} \cdot a^{-m_s}\left(1 - \frac{\gamma}{100}\right) \text{ [N/mm}^2\text{]}$$

Cu această expresie a forţei specifice, componenta principală ***Fz*** a forţei de aşchiere capătă forma $\boldsymbol{F_z = K_s \cdot a \cdot b} = K_{s1.1} \cdot a^{-m_s}\left(1 - \frac{\gamma}{100}\right) \cdot a \cdot b = \boldsymbol{b \cdot a^{1-m_s} K_{s1.1}\left(1 - \frac{\gamma}{100}\right)}$

Exponentul (1-m_s) al grosimii de aşchie, a, se numeşte *valoarea creşterii forţei specifice*.

Stabilită, la început, pentru strunjire (unde secţiunea de aşchie şi grosimea sunt menţinute constante), relaţia componentei F_z funcţie de forţa specifică unitară $K_{S1.1}$ se poate utiliza şi pentru rabotare, mortezare, broşare, găurire.

Valorile forţei specifice unitare, precum şi ale exponenţilor (1–m_s) sunt stabilite experimental pentru condiţii bine precizate şi se găsesc tabelate în literatura de specialitate. Pentru condiţii diferite, impuse de geometria sculei, materialul aşchietor şi cel aşchiat, parametrii trebuie determinaţi experimental, ori sunt folosiţi coeficienţi de corecţie.

Metode experimentale de determinare a componentelor forţei de aşchiere

Determinarea forţelor de deformare plastică şi de frecare sau a componentelor F_X, F_Y, F_Z, folosind relaţiile analitice de calcul, este de multe ori foarte aproximativă, întrucât relaţiile utilizate nu cuprind toate influenţele sau interdependenţele diversilor factori. De aceea, pentru determinarea valorilor exacte ale acestor componente, cât şi din necesitatea stabilirii valorilor constantelor, exponenţilor şi a coeficienţilor de corecţie cuprinşi în relaţiile analitice, s-a recurs la metode experimentale de determinare a forţelor, utilizându-se **metode indirecte** şi **metode directe.**

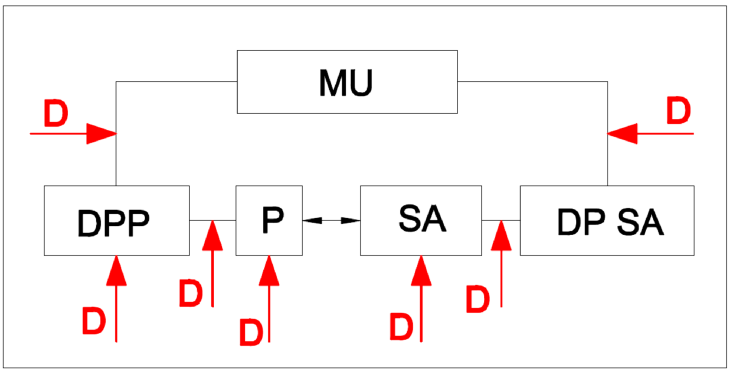
Metodele indirecte permit determinarea experimentală (măsurarea) a unor mărimi caracteristice aşchierii – mărimi dependente de forţe, pe baza cărora se obţin, prin calcul, valorile componentelor forţei de aşchiere. Sunt metode puţin utilizate, la care se recurge în cazul în care nu pot fi aplicate metodele directe de măsurare.

Metodele directe au în vedere măsurarea directă a componentelor forţei de aşchiere, cu dispozitive speciale numite *dinamometre.*

Principiul dinamometrului constă în deformarea unui element elastic, poziţionat corespunzător faţă de direcţia de acţiune a forţei de determinat şi măsurarea acestei deformaţii – amplificată sau nu, cu un traductor (instrument sau aparat de măsură).

Majoritatea construcţiilor dinamometrice au fost realizate pentru determinarea componentelor forţei de aşchiere pe direcţiile *x, y, z* ale sistemului triortogonal legat de sistemul tehnologic.

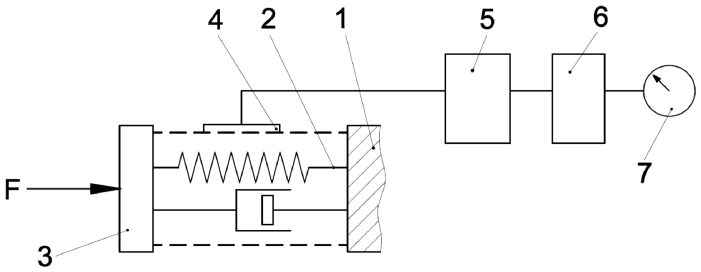
Dinamometrul poate fi amplasat în diferite puncte ale sistemului tehnologic MUSDP (fig.), în funcţie de procedeul de prelucrare, de construcţia de ansamblu a acestuia şi de numărul componentelor ce se măsoară. S-au construit astfel dinamometre pentru una, două sau trei componente. În mod frecvent, dinamometrul este amplasat între piesă P şi dispozitivul de fixare a piesei, DPP sau între sculă, SA şi dispozitivul portsculă, DPSA. Uneori poate fi plasat între dispozitivele portsculă sau portpiesă şi maşina-unealtă. Există şi cazuri în care dinamometrul este cuprins în construcţia însăşi a sculei aşchietoare sau a dispozitivului portsculă sau portpiesă.



Poziționarea dinamometrului în cadrul sistemului tehnologic MUSDP

În principiu, orice dinamometru este alcătuit din următoarele elemente (fig.):

- *partea fixă*, rigidă, 1, prin care dinamometrul este fixat în cadrul sistemului MUSDP;
- *elementul elastic*, 2, care se deformează sub acţiunea forţei care va fi măsurată;
- *elementul mobil (deplasabil), 3,* care suportă acţiunea forţei de aşchiere, pe el montându-se scula, piesa sau alt element asupra căruia acţionează direct forţa;
- *traductorul*, 4, care transformă deformaţia elementului elastic într-o mărime măsurabilă, de natură mecanică, electrică, hidraulică, pneumatică etc;
- elementul 5 de amplificare a semnalului de măsurat;
- elementul 6 de uniformizare a semnalului;
- instrumentul sau aparatul de măsură, 7;
- aparatură de vizualizare sau înregistrare a informaţiei.



Structura generală a unui dinamometru:

1 – parte fixă; *2* – element elastic; *3* – parte mobilă; *4* – traductor; *5* – element de amplificare; *6* – element de uniformizare; *7* – instrument de măsură

Uneori, elementele de amplificare şi de uniformizare sau aparatul de măsură sunt situate în afara construcţiei dinamometrice. Atât acestea, cât şi aparatura de vizualizare sau înregistrare a informaţiei nu constituie elemente componente obligatorii ale dinamometrului.

Se cunosc multe soluţii constructive de dinamometre, astfel încât clasificarea acestora poate fi făcută după mai multe criterii.

a) După procedeul de aşchiere, dinamometrele pot fi: pentru strunjire, pentru frezare, pentru burghiere, pentru rectificare etc.
b) În funcţie de numărul de componente pe care le poate măsura simultan, se cunosc: dinamometre monocomponente, bicomponente sau tricomponente.
c) În funcţie de forma elementului elastic supus deformării, dinamometrele pot utiliza elemente de tip grindă încastrată supusă la încovoiere, grindă încastrată supusă la torsiune, semiinel sau inel supus la încovoiere, element elicoidal supus la compresiune sau tracţiune, plăci elastice conice tip taler sau elemente elastice de formă complexă.
d) În funcţie de modul de amplificare a deformaţiei elementului elastic şi tipul traductorului utilizat, pot fi:
   - dinamometre *mecanice* – la care amplificarea se face prin sisteme de pârghii, iar deplasarea se măsoară cu un traductor mecanic;
   - dinamometre cu traductoare *electrice*; *hidraulice, pneumatice.*

Dinamometrul, indiferent de tip şi complexitate, trebuie să răspundă urmatoarelor cerinţe:

- să fie precis (eroarea de măsurare sub 5%, indiferent de mărimea forţei măsurate);
- să fie sensibil pentru o gamă largă de valori ale forţei de măsurat;
- măsurarea unei componente să nu fie influenţată (perturbată) de acţiunea altor componente ale forţei;
- să nu modifice rigiditatea sistemului tehnologic la care este ataşat;
- să fie rigid în regim dinamic, motiv pentru care frecvenţa proprie de oscilație trebuie să fie pronunţat mai mare decât frecvenţa forţei care se măsoară;
- să fie comod în exploatare şi uşor de etalonat;
- solicitarea elementului elastic să nu ajungă în domeniul plastic;
- construcţia de ansamblu să permită amplasarea cât mai aproape de proces, pentru a nu suferi influenţa unor forţe parazite.

Influenţa parametrilor procesului de aşchiere asupra componentelor forţei de aşchiere: F_z, F_x, F_y

Materialul prelucrat şi cel aşchietor, regimul de aşchiere, geometria dintelui sculei, mediul de aşchiere influenţează atât direct cât şi indirect, prin unul sau mai multe fenomene, mărimea componentelor forţei de aşchiere.

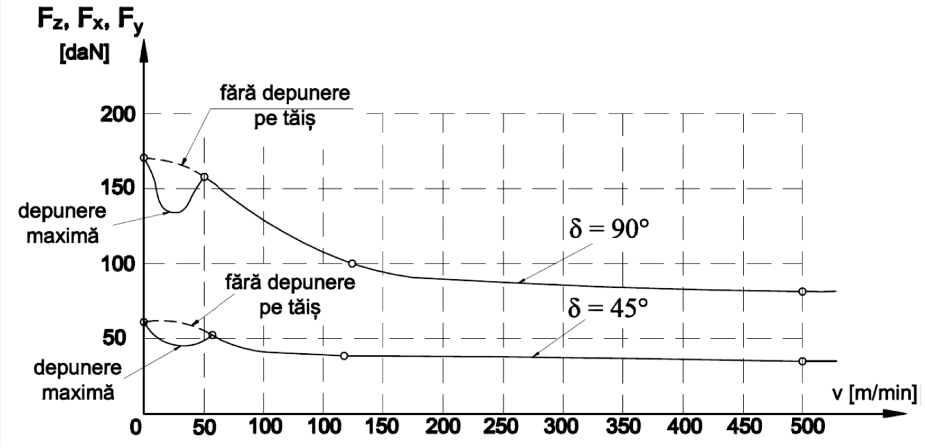
Pornind de la relaţia forţei de deformare plastică $F_N = \sigma_0 \cdot t \cdot s \cdot C_d^n$, se poate afirma că aceasta depinde de materialul prelucrat atât direct – prin intermediul rezistenţei specifice σ_0 şi a coeficientului de deformare plastică C_d, cât şi indirect – prin influenţa parametrilor procesului de aşchiere asupra lui C_d. De asemenea, forţa F_N mai depinde în mod direct de aria secţiunii transversale a aşchiei, *t* x *s.*

Practic, dependenţele sunt mult mai complexe decât le indică relaţiile de calcul, pentru că influenţa unui anumit parametru depinde şi de valorile pe care le capătă ceilalţi parametri ai procesului de aşchiere.

a. Influența parametrilor regimului de așchiere

Parametrii regimului de aşchiere au o influenţă diferită asupra forţelor *Fz, Fx, Fy*.

◆ *Viteza principală de așchiere* – influenţează în mod complex componentele *Fz, Fx* şi *Fy*, gradul de influenţă a lui *v* depinzând şi de valorile pe care le capătă alţi parametri ai procesului de aşchiere. Efectul general la creşterea vitezei este cel de intensificare a încălzirii materialului care, devenind mai plastic, se prelucrează cu forţe mai mici. Acest mod de manifestare este valabil pe domeniul vitezelor uzuale (v = 50 ÷ 150 m/min).



Influența vitezei principale asupra componentelor forței de așchiere

La viteze mai mici de 50 m/min şi la materiale ductile, formarea depunerii pe tăiş conduce la creşterea unghiului de degajare mediu – care accentuează efectul de pană al dintelui şi determină scăderea forţei. Dispariţia tăişului de depunere la viteze mai mari de 50 m/min face ca geometria de lucru să revină la parametrii iniţiali, iar forţa să crească.

După 50 m/min domină efectul termic, iar forţa scade continuu. Scăderea este mai accentuată în intervalul 50 ÷ 150 m/min şi mai estompată în domeniul 150 ÷ 500 m/min (când C_d şi μ scad mai puţin).

La viteze peste 500 m/min temperatura ridicată plastifică materialul (care se comportă ca un lichid vâscos), aşchierea desfăşurându-se cu forţe relativ mici şi constante.

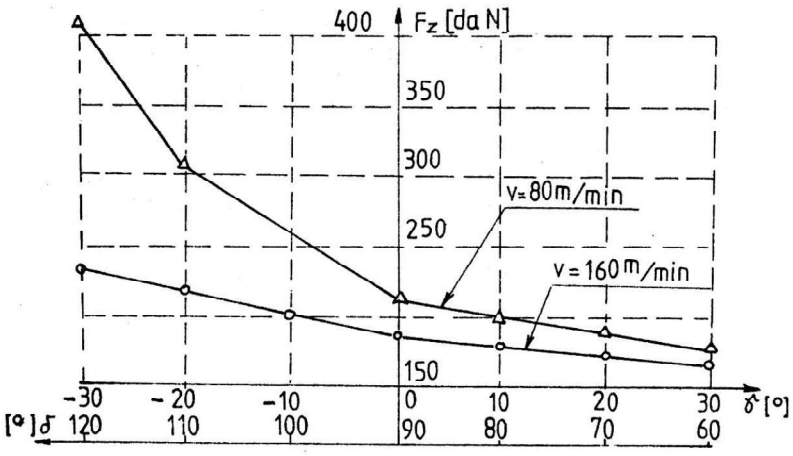
Experimental s-a constatat că viteza principală influenţează mai mult asupra componentelor F_x şi F_y.

Avansul de aşchiere are, pe de o parte, o influenţă directă de creştere a componentelor forţei, prin creşterea secţiunii de aşchie şi, pe de altă parte, o influenţă indirectă de reducere a acestora, prin micşorarea coeficientului C_d. Influenţa directă fiind mai mare, forţele vor creşte la mărirea avansului. Creşterea este mai puţin accentuată la componenta de avans F_x, comparativ cu cea principală F_z.

Adâncimea de aşchiere influenţează componentele F_z, F_x şi F_y prin: aria secţiunii transversale a aşchiei (*s, t*), coeficientul de frecare μ şi temperatura de aşchiere. La creşterea adâncimii de aşchiere, creşte direct proporţional aria secţiunii transversale a aşchiei (*sxt*), aria suprafeţei de degajare active şi creşte uşor temperatura de aşchiere (în special la aşchierea complexă). Influenţa coeficientului de deformare plastică este nesemnificativă. Ca urmare, forţele de aşchiere cresc exponenţial.

b.Influenţa geometriei dintelui aşchietor

Influenţa **unghiului de degajare** γ asupra ***Fz, Fx, Fy*** se manifestă prin intermediul deformaţiilor plastice şi al frecărilor de pe suprafaţa de degajare. Prin creşterea lui γ de la valori negative la valori pozitive (se accentuează forma de pană a sculei), scad deformaţiile plastice şi frecările, respectiv scad componentele F_N şi *F* ale forţei de aşchiere, chiar dacă, pentru *v* > 50 m/min, coeficientul de frecare μ creşte.



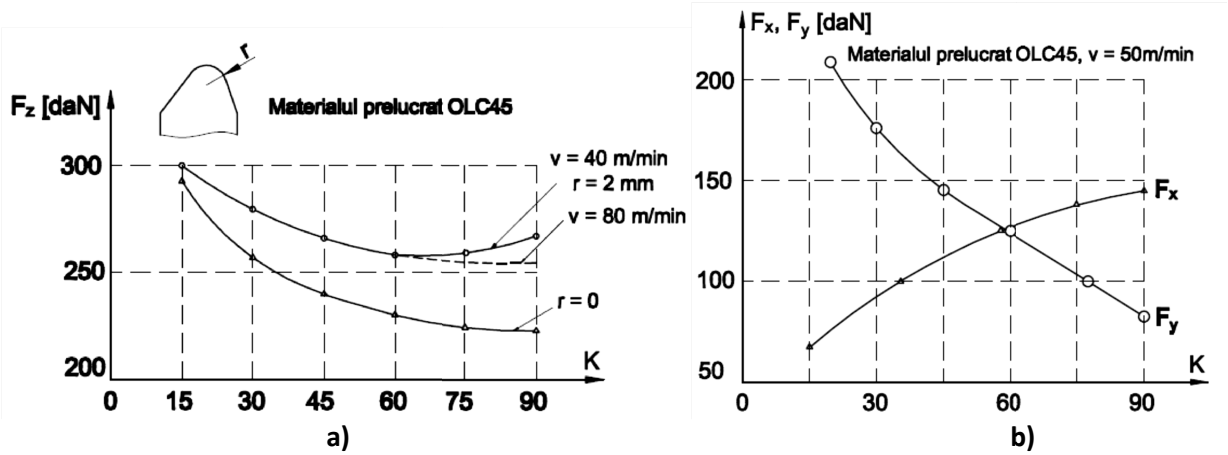
Influenţa unghiului de degajare γ sau a unghiului de aşchiere δ asupra componentei F_Z

Variaţia lui γ în domeniul valorilor negative are o influenţă mai mare (pe grafic panta este mai accentuată), pentru că valorile unghiului de aşchiere δ mai mari decât 90º favorizează în mai mare măsură comportarea ductilă a materialului prelucrat.

Mărimea forţei este însă dependentă şi de valorile celorlalţi parametri ai procesului de aşchiere, în special de viteza principală şi de avans. Astfel, pentru viteze peste 150 m/min şi avansuri mari, influenţa lui γ asupra celor trei componente este mai mică, pentru că efectul scăderii coeficientului *Cd* este în mai mare parte compensat de efectul creşterii coeficientului de frecare μ.

Influenţa **unghiului de înclinare** λ al tăişului activ asupra componentei *Fz* este neglijabilă, iar asupra componentelor *Fx* şi *Fy* influenţa este mai mare, dar de sens opus. Astfel, variaţia lui λ de la valori negative spre valori pozitive determină micşorarea deformaţiilor plastice şi a forţelor de frecare, simultan cu creşterea coeficientului de frecare μ. Ca urmare, forţa *Fz* scade uşor sau rămâne constantă, iar *Fy* scade şi *Fx* creşte cu câte 2% la fiecare grad în plus pentru unghiul λ.

Unghiul de atac K **al tăişului** are o influenţă diferită asupra componentelor forţei. Cauza acestor influenţe o constituie modificările pe care le determină variaţia lui K asupra capacităţii de tăiere (proporţională cu unghiul la vârf al dintelui), asupra dimensiunilor *a* şi *b* ale aşchiei şi asupra ariei suprafeţei de degajare active.



Influența unghiului de atac principal asupra componentei principale F_z ***(a)*** *și asupra componentelor axială și radială, F_x și F_y* ***(b)*** *la strunjirea oțelului OLC45*

Creşterea unghiului de atac principal K determină scăderea unghiului la vârf ε şi a lungimii tăişului activ, *b*, cu efect asupra reducerii frecărilor. Toate acestea determină scăderea componentei principale a forţei de aşchiere, Fz.

Dacă raza de racordare *r* este relativ mare (fig. a), micşorarea componentei principale *Fz* (la creşterea lui K) se manifestă numai până la o anumită valoarea a acestuia, după care *Fz* creşte, prin accentuarea caracterului complex al aşchierii (cresc frecările şi deformaţiile). Valoarea minimă a forţei *Fz*, în cazul unei raze de racordare mari, se va înregistra la valori diferite pentru unghiul K, în funcţie şi de

valoarea adâncimii de aşchiere (practic în funcţie de raportul dintre *t* şi *r*). Spre exemplu, s-a obţinut valoarea minimă pentru *Fz* la K ≈ 75º la adâncime mare, iar pentru K≈ 60º la o adâncime mai redusă.

În privinţa celorlalte două componente, *Fx* şi *Fy*, creșterea unghiului K determină scăderea Fy și creșterea Fx, iar egalitatea celor două componente, se obţine practic la un unghi K= 60°.(fig.b)

Lucrul mecanic şi puterea de aşchiere

În procesul de aşchiere, forţele dezvoltate în prezenţa mişcărilor relative sculă – piesă semifabricat determină producerea unui *lucru mecanic de aşchiere, L* şi a unui consum corespunzător de energie.

Având în vedere componentele forţei de aşchiere F_z, F_x, F_y precum şi deplasările relative Δlz, Δlx, Δly pe cele trei direcţii ale sistemului de coordonate constructiv *xyz*, lucrul mecanic consumat la aşchiere se obţine cu relaţia:

$$L = F_z \cdot \Delta l_z + F_x \cdot \Delta l_x + F_y \cdot \Delta l_y$$

Având în vedere că pe direcţia forţei pasive F_y nu se produc deplasări – deci $\Delta l_y = 0$, iar deplasarea relativă sculă-piesă pe direcţia de avans x este pronunţat mai mică decât cea de pe direcţia principală *z* (Δl_x « Δl_z), se pot neglija ultimele două componente din relaţie și se obține expresia simplificată a lucrului mecanic:

$$L \cong F_z \cdot \Delta l_z$$

Considerând intervalul de timp τ în care se desfăşoară procesul și plecând de la relaţia completă a lucrului mecanic la aşchiere, L, se deduce relaţia generală de calcul a *puterii totale de aşchiere*:

$$P = \frac{L}{\tau} = F_z \cdot \frac{\Delta l_z}{\tau} + F_x \cdot \frac{\Delta l_x}{\tau} + F_y \cdot \frac{\Delta l_y}{\tau} = F_z \cdot v_z + F_x \cdot v_x + F_y \cdot v_y$$

Ţinând cont că pe direcţia *z* are loc mişcarea principală de aşchiere de viteză $v_z = v$, că pe direcţia *x* se desfăşoară mişcarea de avans de viteză $v_x = v_S$, iar pe direcţia *y* viteza de deplasare este nulă (v_y = 0), pentru majoritatea procedeelor de prelucrare puterea totală de aşchiere ia forma:

$$P = F_z \cdot v + F_x \cdot v_s$$

Pentru că viteza de avans este pronunţat mai mică decât viteza principală (v_s «v), se acceptă în general utilizarea formei simplificată a relației: $P \cong \ \cdot v$

Prin exprimarea forţei de aşchiere F_z în daN şi a vitezei *v* în m/min, relaţia de calcul a puterii consumate la aşchiere, utilizată în mod frecvent la proiectarea constructiv-tehnologică, este:

$$P = \frac{F_z \cdot v}{60 \cdot 102} \quad \text{[kW]}$$

Relaţia evidenţiază creşterea puterii consumate odată cu creşterea forţei sau a vitezei mişcării principale.

Prezenţa vitezei principale *v* în relaţie indică o creştere a puterii de aşchiere cu viteza, chiar dacă mărimea forţei principale F_z scade ușor la creșterea vitezei; influenţa directă a lui *v* este însă mai puternică decât influenţa indirectă, prin intermediul forţei. Deşi ceilalţi parametri ai regimului de aşchiere (*s* şi *t*) nu apar în relaţie, efectul lor se reflectă prin valoarea forţei F_z, care creşte la mărirea avansului sau/şi a adâncimii de aşchiere, prin majorarea secţiunii de aşchie (txs).

Dacă în relația simplificată pentru puterea P = $F_z \cdot v$ se înlocuieşte forţa *Fz* cu forma politropică,

$$F_i = C_{F_i} \cdot t^{x_{F_i}} \cdot s^{y_{F_i}} \cdot K_{F_i}, \text{ i = x, y, z}$$

se stabileşte relaţia politropică de calcul pentru putere, în care sunt puşi în evidenţă toţi parametrii regimului de aşchiere.:

$$P = C_P \cdot t^{x_p} \cdot s^{y_p} \cdot v \cdot K_p$$

Puterea pe care trebuie sa o asigure motorul de acţionare al lanţului cinematic principal se calculează ţinând cont de randamentul acestui lanţ cinematic, η_p:

$$P_m = \frac{P}{\eta_p} = \frac{F_z \cdot v}{60 \cdot 102 \cdot \eta_p}, \text{[kW]}$$

În cazul operaţiilor de aşchiere la care solicitarea sculei se produce sub acţiunea unui moment de torsiune M_t (la frezare, burghiere, alezare ş.a. pe direcţia mişcării principale se dezvoltă un moment rezistent de aşchiere), puterea necesară la motorul de acţionare se calculează în funcţie de acest moment – măsurat în daNm şi de frecvenţa *n* a mişcării principale (în rot/min):

$$P_m = \frac{M_t \cdot n}{975 \cdot \eta_p}, \quad \text{[kW]}$$

Relaţiile pentru determinarea puterii minime a motorului de acţionare a lanţului cinematic principal nu pot fi folosite în cazul maşinilor-unelte la care lanţurile cinematice de avans primesc mişcarea de la un element al lanțului cinematic principal, pentru că nu ţin cont de puterea consumată din cauza forţelor F_x sau F_y, de vitezele de avans şi randamentele respective, care solicită în mod suplimentar motorul. În aceste cazuri, se impune calcularea puterii consumate şi pe direcţiile de avans *x* şi/sau *y*, folosind relaţii de formă asemănătoare, cu deosebirea că în componenţa lor intră forţele şi vitezele respective: F_x, F_y, v_x, v_y.

Puterea de aşchiere se consumă în cea mai mare parte pentru deformarea plastică sau ruperea prin smulgere a materialului aşchiat, dar şi pentru învingerea frecării sculă - piesă semifabricat. Ca urmare, variaţia puterii de aşchiere se poate determina cu ajutorul diagramelor şi relaţiilor de dependenţă a coeficientului de deformare plastică *Cd* şi a coeficientului de frecare de parametrii procesului de aşchiere.

Căldura de așchiere. Surse, repartiție, ecuația de bilanț termic

Fenomenele termice în procesul de aşchiere sunt determinate de procesul de prelucrare şi influenţează atât modul de desfăşurare a acestuia (deformaţii plastice, frecări, formarea depunerii pe tăiş), cât şi rezultatele lui, în principal precizia şi calitatea de suprafaţă a piesei și uzura sculei aşchietoare.

Prin mişcarea relativă sculă-piesă şi prin acţiunea forţei de aşchiere F_d, lucrul mecanic dezvoltat în proces se transformă în căldură, într-un procent ce variază între 70 şi peste 90 la sută, numai o mică parte fiind înmagazinată în suprafaţa prelucrată.

Căldura degajată în timpul aşchierii poate fi apreciată în funcţie de viteza efectivă (rezultantă) v_e şi forţa rezultantă $F_R = F_d$:

$$Q = K \cdot F_R \cdot v_e, \quad \text{[daJ/min]}$$

în care *K* este un coeficient care arată cât din lucrul mecanic se transformă în căldură şi ia valori în intervalul 0,7 ÷ 0,97. Valori mari pentru *K* corespund aşchierii fără deformaţii suplimentare în stratul superficial al suprafeţei prelucrate şi prelucrării cu nivel scăzut de vibraţii.

În proiectare, la calcularea căldurii de aşchiere *Q*, se foloseşte ipoteza că întregul lucru mecanic se transformă în căldură, considerându-se $K \approx 1$.

$$Q = F_R \cdot v_e, \text{[daJ/min]}$$

Dacă se consideră componentele forţei de aşchiere din sistemul de referinţă constructiv (*Fx, Fy, Fz*) şi se ţine cont că nu există deplasare pe direcţia *y* (deci $v_y = 0$), relaţia de calcul devine:

$Q = F_z \cdot v + F_x \cdot v_x$, [daJ/min]

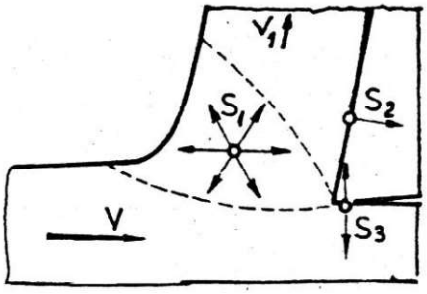
în care v_x este viteza de avans și v viteza principală de așchiere, pe direcția axei z.

În mod frecvent se neglijează şi componenta forţei pe direcţia de avans, pentru că $v_x << v$, reţinându-se din forţa rezultantă numai componenta principală F_z. Ca urmare, căldura de aşchiere se poate calcula cu relaţia simplificată:

$Q = F_z \cdot v$, [daJ/min] sau $Q = \frac{F_z \cdot v}{427}$ [cal/min],

în care numitorul 427 reprezintă echivalentul mecanic al căldurii.

În procesul de aşchiere, sursele de căldură sunt constituite din principalele fenomene mecanice: deformarea plastică sau ruperea elementelor de aşchie şi frecarea dintre suprafeţele active ale dintelui sculei şi semifabricat (aşchie/suprafața de degajare şi suprafaţa de aşezare/suprafața prelucrată).



Sursele de căldură la aşchiere

Principala sursă de căldură (S_1) este zona plastică (unde se degajă o cantitate de căldură Q_{ZP}), caracterizată printr-un flux de căldură multidirecţional, îndreptat spre aşchie şi spre piesă. O altă sursă de căldură (S_2) este frecarea dintre aşchie şi suprafaţa de degajare a dintelui aşchietor, cu producerea unei cantităţi de căldură $Q_{A\gamma}$, care se degajă prin fluxuri termice bidirecţionale spre aşchie şi spre dintele sculei. A treia sursă de căldură (S_3) este constituită de frecarea dintre suprafaţa de aşezare a sculei şi suprafaţa instantanee de aşchiere, dependentă de gradul de uzare a sculei şi de valoarea unghiului de aşezare α, prin care se produce cantitatea de căldura $Q_{A\alpha}$, degajată prin fluxuri termice spre dintele aşchietor şi spre piesă.

Cantitatea totală de căldură Q dezvoltată în timpul procesului de aşchiere poate fi scrisă ca sumă a cantităţilor de căldură dezvoltate de cele trei surse:

$$Q = Q_{S1} + Q_{S2} + Q_{S3} = Q_{ZP} + Q_{A\gamma} + Q_{A\alpha}$$

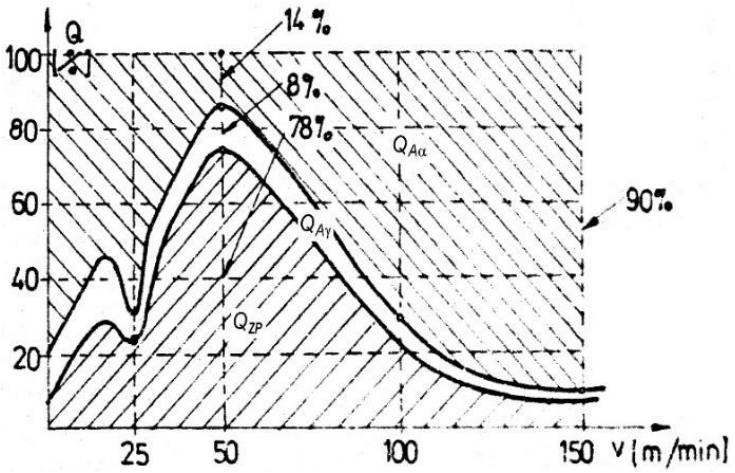
Aceste cantităţi de căldură variază în funcţie de materialul aşchiat, regimul de aşchiere, materialul şi geometria dintelui aşchietor. Parametrul cu cea mai mare influenţă este viteza principală de aşchiere, datorită efectului asupra deformaţiilor plastice şi frecărilor.

Contribuţia fiecărei surse de căldură în funcţie de viteza de aşchiere a fost stabilită experimental.

Se observă că la viteze mici (v = 25 m/min) predomină căldura produsă de frecarea pe suprafaţa de aşezare ($Q_{A\alpha}$ = 68%; Q_{ZP} = 23%; $Q_{A\gamma}$ = 9%).

La viteze de aşchiere de 50 m/min devine preponderentă căldura produsă în zona plastică (Q_{ZP} = 78%; $Q_{A\alpha}$ = 14%; $Q_{A\gamma}$ = 8%).

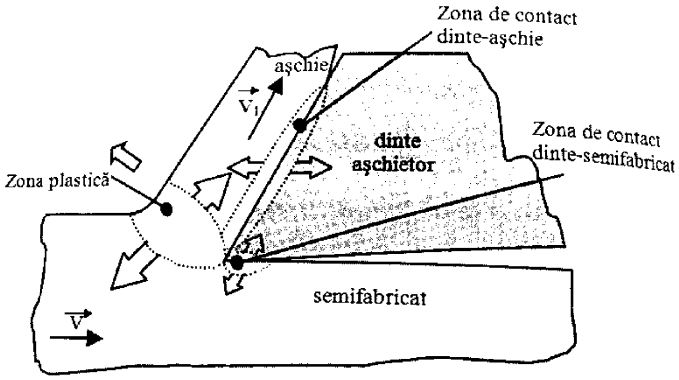
După această viteză, creşte continuu ponderea căldurii dezvoltate în zona de contact faţă de aşezare - suprafaţă prelucrată, astfel că la v = 150 m/min Q_{ZP} = 6%, $Q_{A\gamma}$ = 4% şi $Q_{A\alpha}$ = 90%. Se observă că, indiferent de mărimea vitezei, cantitatea de căldură dezvoltată în zona *S2* de contact aşchie - suprafaţă de degajare este cea mai redusă.



Contribuţia surselor de căldură în funcţie de viteza principală de aşchiere

Câmpurile termice generate de cele 3 surse termice se influenţează reciproc şi formează un câmp termic rezultant, care modifică distribuţia de temperatură pentru fiecare element participant la proces; căldura dezvoltată Q este absorbită de aşchii (Q_a), de piesa semifabricat (Q_P), de scula aşchietoare (Q_{SA}) şi de mediul de aşchiere (Q_{ma}), astfel că se poate scrie relaţia:

$$Q = Q_a + Q_P + Q_{SA} + Q_{ma}$$



Elementele care preiau căldura dezvoltată la aşchiere

Mai precis, căldura Q_a preluată de aşchie are ca sursă zona plastică şi căldura dezvoltată prin frecarea la nivelul suprafeţei de degajare $Q_{A\gamma}$.

Dintele aşchietor preia o parte din căldura de pe suprafaţa de degajare *S2* (în zona de contact cu aşchia) şi de pe suprafaţa de aşezare *S3*.

Căldura Q_P preluată de semifabricat provine din zona plastică (zona ***S1***) şi din zona ***S3*** de contact cu suprafaţa de aşezare a dintelui.

Aşchia cedează, prin suprafeţele libere, căldură mediului de aşchiere. Şi dintele sculei cedează căldură mediului prin suprafeţele de degajare şi de aşezare din afara contactului cu aşchia şi, respectiv, cu semifabricatul. Practic, mediul primeşte cantitatea de căldură Q_{ma} prin convecţie şi prin radiaţie, în mod indirect de la celelalte elemente participante la proces.

Procentajul în care cele patru elemente preiau căldura dezvoltată se modifică în raport cu procedeul de prelucrare şi cu parametrii procesului de aşchiere.

Având în vedere sursele de căldură şi elementele care o preiau, **ecuaţia de bilanţ termic** la aşchiere ia forma generală:

$$Q = Q_{ZP} + Q_{A\gamma} + Q_{A\alpha} = Q_a + Q_P + Q_{SA} + Q_{ma}$$

Cantitatea de căldură dezvoltată Q, intensitatea, poziţia reciprocă şi interacţiunea fluxurilor de căldură determină mărimea cantităţilor de căldură repartizate (Q_a, Q_P, Q_{SA}, Q_{ma}) şi nivelul de temperatură în zona de aşchiere.

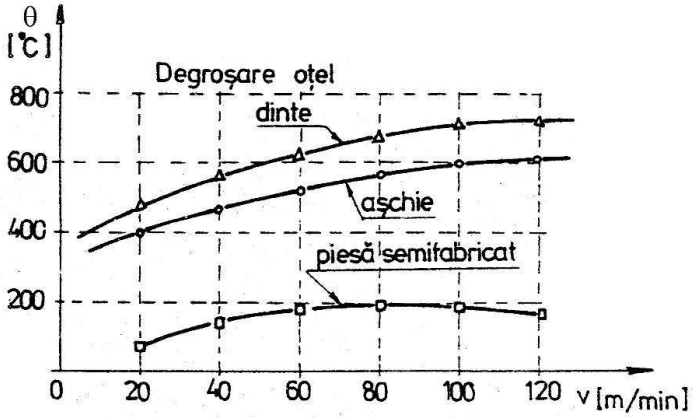
Atât pentru modul de desfăşurare, cât şi pentru rezultatele aşchierii, prezintă mai puţin interes căldura preluată de mediul de aşchiere sau de aşchiile detaşate; importantă este cantitatea de căldură

preluată de sculă şi temperatura stratului aşchiat, care poate genera recristalizări în stratul superficial sau deformaţii.

O temperatură ridicată în zona de aşchiere influenţeză negativ precizia şi rugozitatea suprafeţei prelucrate şi prin intermediul depunerii pe tăiş.

Temperatura în zona plastică se cere să fie cât mai mare din punct de vedere al aşchierii cu deformaţii şi eforturi minime, dar cât mai mică d.p.d.v. al preciziei şi calităţii suprafeţei prelucrate. Temperaturi mai mari se obţin în vecinătatea contactului median aşchie-suprafaţă de degajare şi în vecinătatea contactului tăişului cu suprafaţa instantanee de aşchiere.

Studiile efectuate asupra influenţei vitezei principale (fig.) au arătat o scădere a gradientului de încălzire la viteze peste 100 m/min în toate cele trei elemente, cu observaţia că tendinţa de încălzire este mai mică la piesa semifabricat şi la dintele aşchietor.



Influenţa vitezei principale asupra elementelor ce absorb căldura de aşchiere

Deoarece temperatura dintelui aşchietor atinge cele mai ridicate valori în raport cu celelalte elemente participante la proces şi pentru că influenţează direct capacitatea de aşchiere, s-a impus ca optimizarea procesului de aşchiere să aibă drept criteriu nivelul de temperatură admis de materialul aşchietor. De altfel, temperatura dintelui poate fi şi mai uşor determinată, în funcţie de parametrii procesului de aşchiere.

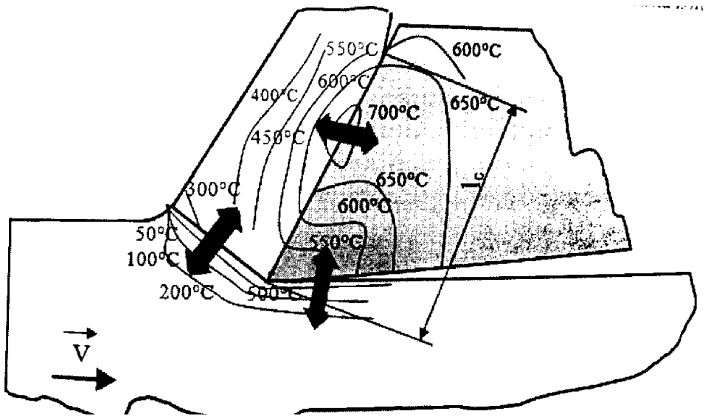
Temperatura dintelui aşchietor

Temperatura sculei poate modifica în sens negativ proprietăţile materialului aşchietor, având în vedere că la creşterea temperaturii are loc reducerea calităţilor aşchietoare, determinată de scăderea durităţii materialului, dar și unele modificări dimensionale, cu efect direct asupra preciziei de prelucrare. Pentru o capacitate de aşchiere bună şi stabilă, temperatura de aşchiere trebuie să fie cât mai mică şi totdeauna sub temperatura de termostabilitate.

Experimental s-a constatat că, la nivelul dintelui aşchietor, cele mai mari temperaturi se înregistrează pe suprafaţa de degajare şi în zona vârfului. Curbele izoterme indică o temperatură maximă pe suprafaţa de degajare la jumătatea lungimii de contact l**c** dintre aşchie şi suprafaţa de degajare, după care temperatura dintelui scade, pe măsura îndepărtării de această zonă.

Pe suprafaţa de aşezare temperatura maximă se atinge în imediata vecinătate a tăişului şi a vârfului dintelui, dar cu valori mai reduse decât cele de pe suprafaţa de degajare.

Valorile maxime ale temperaturii înregistrate pe suprafaţa de degajare activă sunt totdeauna mai mari decât temperaturile maxime măsurate pe suprafaţa de aşezare şi a celor din zona plastică. De exemplu, la prelucrarea oţelului cu grosimi mari de aşchie s-au măsurat temperaturi ale dintelui aşchietor cu 10 ÷ 50% mai mari decât temperatura din zona plastică, în timp ce la aşchierea fontei diferenţa a fost de 100 ÷ 250%.



Repartiția câmpului termic la strunjirea oțelului OLC60
(t = 3 mm, s = 0.25 mm/rot, n = 60 rot/min)

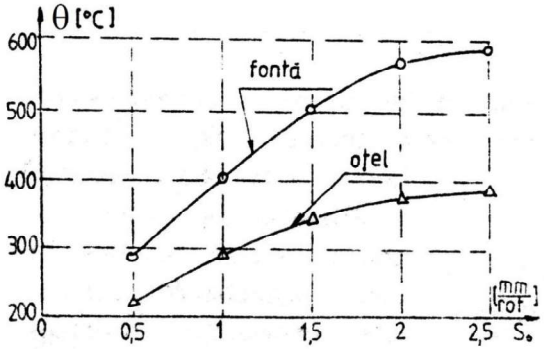
Influenţa parametrilor procesului de aşchiere asupra temperaturii dintelui aşchietor

Parametrii procesului de așchiere influențează în mod diferit temperatura dintelui, a așchiei și a suprafeței generate. Cea mai mare influență asupra temperaturii din zona de lucru o exercită parametrii regimului de așchiere, mediul de așchiere, geometria sculei si materialele așchiat și așchietor.

a. Materialul prelucrat

Materialul aşchiat influenţează temperatura dintelui prin natura lui – ductil sau fragil, şi, mai ales, prin duritate.

S-a constatat astfel că temperatura dintelui este mai mare la prelucrarea fontei (material fragil) decât la aşchierea oţelului (material ductil) (fig.). Explicaţia constă în capacitatea mai redusă a fontei de acumulare a căldurii, datorate conductibilităţi termice mai scăzute. Ca urmare, semifabricatul din fontă va acumula o cantitate mai mică de căldură, încărcând termic dintele aşchietor.



Influenţa naturii materialului prelucrat asupra temperaturii dintelui aşchietor

Duritatea materialului prelucrat are însă o influenţă mai mare asupra temperaturii dintelui achietor. La prelucrarea unui material cu duritate mai mare forţele de aşchiere sunt mai mari şi temperatura este superioară.

b. Parametrii regimului de aşchiere

Viteza principală de aşchiere are o influenţă directă şi una indirectă asupra temperaturii sculei.

Influenţa directă se observă prin prezenţei vitezei *v* în relaţia căldurii degajate la aşchiere şi se manifestă prin creşterea temperaturii dintelui. Tendinţa indirectă de scădere a temperaturii, odată cu micşorarea forţei de aşchiere F_z, este mai slabă. Pe ansamblu, temperatura creşte cu viteza.

$$Q = \frac{F_z \cdot v}{427} \text{ [cal/min]}$$

Dependenţa analitică a temperaturii dintelui de viteza v se exprimă printr-o relaţie de forma

$t^{\circ} = C_{tv} \cdot v^{x}$, în care exponentul x = 0,25 ÷ 0,75. Valorile mari ale exponentului x corespund vitezelor mici, caracteristice operaţiei de degroşare. Constanta C_{tv} se determină experimental.

Avansul de aşchiere influenţează temperatura dintelui prin intermediul forţelor de aşchiere. La creşterea avansului creşte aria secţiunii transversale a aşchiei nedeformate, cresc forţele de aşchiere şi căldura de aşchiere, precum şi cantitatea de căldură preluată de sculă. Cum aria suprafeţei de contact cu dintele aşchietor nu se modifică (lungimea tăişului activ rămâne neschimbată), temperatura dintelui va creşte.

Experimental s-a constatat că influenţa avansului asupra temperaturii sculei este mai accentuată decât influenţa vitezei, ceea ce face ca, în relaţia analitică de mai jos, exponentul *y* să fie mai mare decât exponentul *x* din relaţia de dependenţă a temperaturii de viteza v.

$t^{\circ} = C_{ts} \cdot s^{y}$, în care C_{ts} se obține experimental.

Adâncimea de aşchiere are o influenţa mai redusă asupra temperaturii dintelui aşchietor. Ca şi în cazul avansului, la creşterea lui *t* creşte secţiunea transversală a aşchiei nedeformate, cresc forţele şi căldura de aşchiere şi creşte cantitatea de căldură preluată de dinte.

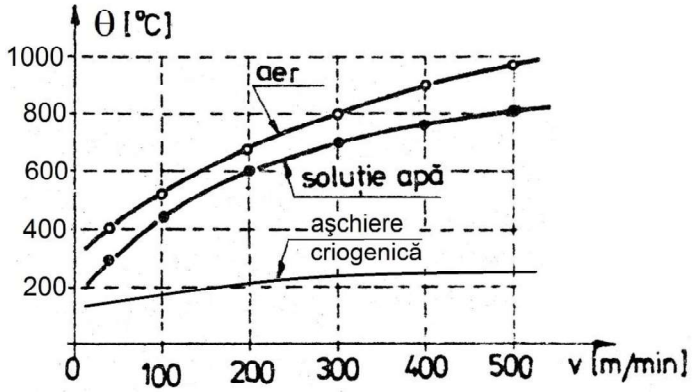
Influența adâncimii de așchiere asupra temperaturii dintelui se exprimă printr-o relație de forma $t^{\circ} = C_{tt} \cdot t^{z}$, în care valoarea mică a exponentului ($z \approx 0{,}1$) indică o tendinţă uşoară de creştere a temperaturii, mai puţin importantă decât în cazul avansului . La viteze mari, influenţa adâncimii *t* asupra temperaturii este neînsemnată.

c. Mediul de aşchiere

Mediul de aşchiere influenţează temperatura dintelui aşchietor prin proprietăţile principale ale sale – de răcire şi de ungere, dar şi prin modul în care este condus în proximitatea tăişului activ. Comparativ cu aşchierea în aer şi chiar cu metoda exterioară de răcire, metoda interioară sau cea combinată de conducere a fluidelor de răcire este mult mai eficientă. Dintre metodele exterioare de conducere, o răcire mai bună a dintelui aşchietor se obţine dacă lichidul de aşchiere este direcţionat spre tăişul activ dinspre suprafaţa de aşezare.

Raportat la temperatura dintelui aşchietor în cazul prelucrării în aer (aşchierea uscată), utilizarea emulsiilor pe bază de apă la temperatura camerei asigură scăderea temperaturii cu 100 ÷ 200ºC. Mult mai eficientă este însă aşchierea criogenică (sub 0ºC).

Odată cu creşterea vitezei de aşchiere, eficienţa fluidului de răcire este mai slabă. Efectul de răcire al mediului de aşchiere este mai pronunţat la prelucrarea materialelor ductile (de tip oţel moale).



Influenţa mediului de aşchiere asupra temperaturii dintelui aşchietor

Temperatura semifabricatului

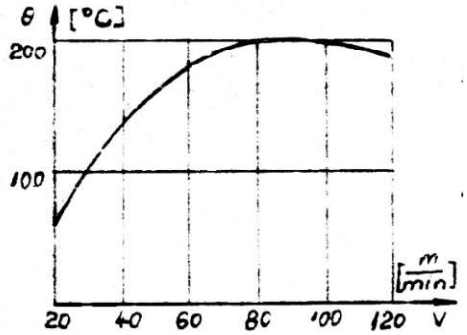
În procesul de aşchiere, temperatura maximă pe care o atinge semifabricatul este mai scăzută decât temperatura dintelui aşchietor. Principala explicaţie constă în modificarea continuă pe semifabricat a poziţiei punctului de contact cu dintele sculei. Apoi semifabricatul transmite mediului o parte din căldura acumulată, datorită suprafeţei mari de contact cu acesta, căldura degajată fiind proporţională cu masa piesei prelucrate.

Când se discută de temperatura piesei se face referire la un punct apropiat de zona de aşchiere, pentru ca, pe măsura îndepărtării de această zonă, are loc scăderea temperaturii.

Temperatura piesei depinde de valorile parametrilor procesului de aşchiere, crescând odată cu creşterea energiei consumate în proces, dar influenţa este mult atenuată în comparaţie cu efectul asupra dintelui aşchietor.

Dintre **parametrii regimului de aşchiere,** influenţă semnificativă au viteza principală şi avansul. Creşterea vitezei de aşchiere determină creşterea temperaturii semifabricatului. Totuşi, la viteze relativ mari, în pofida creşterii continue a căldurii cedate în proces, scade ponderea căldurii preluată de piesă.

La creşterea avansului, creşte secţiunea de aşchie, căldura degajată *Q* şi căldura preluată de semifabricat.



Variaţia temperaturii piesei semifabricat cu viteza principală

Dintre ceilalţi parametri ai procesului de aşchiere, influenţă mai importantă asupra temperaturii piesei o are *duritatea* – creșterea durității materialului prelucrat determină creșterea temperaturii– şi *mediul de aşchiere*, a cărui prezenţă scade temperatura piesei.

Metode de determinare a temperaturii de aşchiere

La prelucrarea prin aşchiere, prezintă interes temperatura piesei şi a sculei aşchietoare, care se pot determina prin *metode analitice* şi *metode experimentale.*

Metodele analitice au la bază relaţii de calcul în care intervin forţele de aşchiere, viteza principală şi de deplasare a aşchiei pe suprafaţa de degajare, masa părţii active a sculei şi a piesei – care sunt elemente greu de apreciat. Datorită rezultatelor imprecise, metodele analitice sunt rar utilizate.

Metodele experimentale sunt necesare atât pentru stabilirea unor relaţii generale de calcul, cât şi pentru determinarea directă a temperaturii elementelor participante la aşchiere.

În funcţie de scopul urmărit şi de echipamentul utilizat se cunosc mai multe metode de experimentare:

a. *Metoda termoculorilor* – permite realizarea câmpului termic prin utilizarea unor substanţe termoscopice, numite *termoculori,* sub formă de vopsele, lacuri sau creioane, care îşi modifică culoarea la variația temperaturii. Se folosesc pentru aprecierea temperaturii pieselor aflate în mişcare sau a pieselor supuse frecării (frâne, ambreiaje), precum şi a distribuţiei temperaturii pe suprafeţele întinse ale conductelor, ale carcaselor de motoare etc. În cazul așchierii, se poate determina temperatura aproximativă a sculei numai în zonele care nu sunt în contact cu așchia.

b. *Metoda calorimetrică*

Se aplică pentru determinarea cantităţii globale de căldură absorbită de mediul de aşchiere. Metoda are în vedere desfăşurarea procesului de aşchiere într-un calorimetru – de construcţie specifică fiecărui procedeu de prelucrare, în care un lichid – ce se constituie ca mediu de aşchiere – preia căldura din aşchii, semifabricat şi de la dintele aşchietor. Prin măsurarea temperaturii lichidului şi având în vedere masa acestuia şi a celorlalte elemente din calorimetru se calculează căldura totală degajată la aşchiere.

c. *Metoda termoelectrică* de măsurare a temperaturii se bazează pe *efectul termoelectric*, conform căruia căldura se transformă în tensiune termoelectrică în doi conductori din materiale diferite.

Se folosesc termocuple pentru măsurarea temperaturii piesei sau a sculei, în zona de aşchiere. Pentru determinarea temperaturii dintelui aşchietor se utilizează trei tipuri de termocupluri: termocuplul artificial, termocuplul semiartificial şi termocuplul natural, care se montează pe suprafețele active ale sculei, astfel încât se poate determina temperatura pe care o ating aceste zone în timpul procesului.

d. ***Metodele de măsurare termorezistive*** se bazează pe convertirea variaţiei termice în variaţie a rezistenţei electrice. În acest scop se utilizează senzori termorezistivi de două tipuri:

- *termorezistenţe* – rezistenţe realizate din metale pure, care prezintă mari variaţii ale rezistivităţii cu temperatura (Pt, Cu, Ni);
- *termistoare* – senzori termorezistivi realizaţi din materiale semiconductoare, care prezintă variaţii ale rezistenţei cu temperatura.

e. ***Metoda optică*** – permite măsurarea temperaturii prin evaluarea radiaţiei termice.

Este o metodă de măsurare a temperaturii unui corp fără contact direct cu acesta, foarte utilă în cazul locurilor inaccesibile altor echipamente, precum şi pentru corpurile aflate în mişcare de rotaţie. Metoda are la bază proprietatea corpurilor de a emite radiaţii şi dependenţa intensităţii radiaţiei corpului încălzit de temperatura acestuia. Temperatura dintelui aşchietor se măsoară utilizând razele infraroşii captate cu un *pirometru optic* sau *electro-optic*. Principiul de lucru al pirometrului constă în focalizarea radiaţiei termice pe suprafaţa unui senzor şi transformarea acesteia într-un semnal electric, ulterior prelucrat.

Uzura şi durabilitatea sculelor aşchietoare

În timpul procesului de aşchiere, în prezenţa forţelor de deformare şi de frecare, în zona de contact direct sculă - semifabricat se produc fenomene intense de uzare a suprafeţelor active ale sculei, care determină modificarea condiţiilor de desfăşurare a procesului de aşchiere.

Procesul de uzare a dinţilor aşchietori constă în principal din îndepărtarea unor particule de material de pe tăişurile active şi de pe suprafeţele de aşezare şi de degajare, ceea ce conduce la reducerea progresivă a capacităţii de aşchiere a sculei. Evoluţia în timp a uzurii depinde de nivelul solicitărilor mecanice – rezistenţa la aşchiere, forţele de frecare, vibraţiile şi şocurile ce însoţesc procesul, de solicitarea termică (temperatura ridicată din zona de aşchiere), precum şi de natura materialului aşchietor și a materialului prelucrat.

Uzarea dintelui aşchietor se poate produce şi în mod accidental, prin ciobirea sau ruperea muchiei aşchietoare; *uzura accidentală* este în general cauzată de alegerea incorectă a parametrilor procesului de aşchiere, de exploatare inadecvată, sau de proiectarea sau/şi execuţia greşite.

Procedeul de prelucrare şi parametrii procesului de aşchiere dictează în cea mai mare măsură intensitatea uzării dintelui aşchietor.

Mecanisme de uzură

Procesul de uzare a sculelor este un proces complex, rezultat al combinării mai multor *mecanisme (cauze) de uzare,* de natură mecanică, electrică, chimică.

1. Mecanismele de uzare de natură mecanică sunt:

- *mecanismul uzării prin erodare abrazivă* – are loc prin efectul abraziv asupra suprafeţelor active ale sculei a constituienţilor metalografici duri din structura materialul aşchiat, a carburilor complexe, oxizilor sau incluziunilor cu duritate ridicată. Uzarea prin abraziune este cauzată în special de forţele de frecare, fiind favorizată de efectele căldurii de aşchiere şi ale deformaţiilor plastice. Uzarea este cu atât mai intensă cu cât diferenţa de duritate dintre dintre tăiş şi materialul prelucrat este mai mică.
- *mecanismul uzării prin fărâmiţare (ştirbire)* – este determinat de microşocurile din zona de contact sculă-piesă, ce conduc la desprinderea mecanică a unor microparticule din dintele aşchietor. Este un proces ce are loc la scară microscopic, caracteristic materialelor aşchietoare dure şi superdure.

Mecanismul nu trebuie confundat cu uzarea accidentală prin rupere sau ciobire, care este un fenomen de ordin macroscopic.

- *mecanismul uzării prin oboseală* – este cauzat de solicitările variabile de compresiune şi încovoiere la care este supus tăişul sculei. Dacă aceste solicitări depăşesc limita de rupere se produce ruperea de particule din tăişul activ. Ca și uzarea prin abrazare, fenomenul se manifestă încă de la începutul prelucrării (dintele fiind ascuţit), producând rotunjirea tăişului.

2. Mecanismele de uzare de natură chimică sunt favorizate de temperatura la care ajunge dintele aşchietor în timpul prelucrării:

- *mecanismul uzării prin difuziune* – constă în difuziunea unor constituienţi din materialul aşchietor în materialul aşchiat, la temperaturi ce depăşesc 0,35 ÷ 0,4 din temperatura de topire a materialului semifabricat. Fenomenul se intensifică odată cu creşterea temperaturii şi cu cât viteza de aşchiere este mai mare. La temperaturi peste 700°C, principala cauză a uzării sculelor din carburi metalice este difuziunea. Fenomenul nu se întâlneşte la aşchierea cu scule din oţel rapid, deoarece temperatura medie în zona de aşchiere nu depăşeşte 500 ºC.

- *mecanismul uzării prin oxidare superficială* se manifestă prin formarea, la nivelul suprafeţelor active ale dintelui aşchietor, a unor oxizi şi prin îndepărtarea acestora sub acţiunea eforturilor de contact. Uzarea prin oxidare este caracteristică dinţilor aşchietori din CMS, la temperaturi în zona de lucru de peste 700 ºC, când oxigenul din aer intră în reacţie chimică cu cobaltul, cu carburile de wolfram şi de titan, formând oxizi, a căror densitate este de câteva ori mai mică decât a carburilor şi care sunt îndepărtaţi uşor sub acţiunea forţelor de frecare. Datorită porozităţii carburilor metalice fenomenul se produce şi în profunzime.

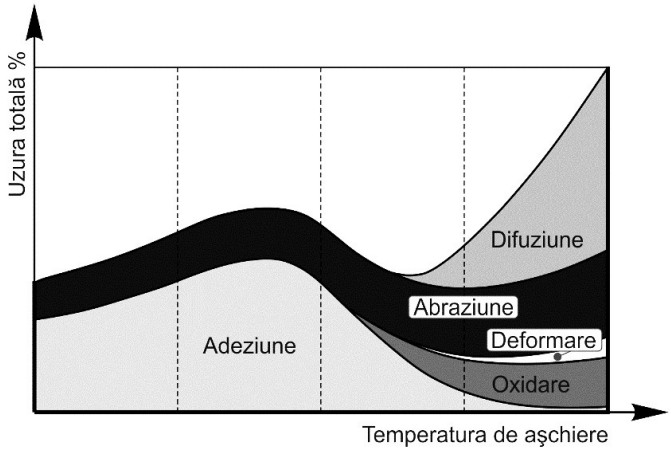
- *mecanismul uzării prin adeziune* – se produce datorită forţelor de adeziune dintre materialul prelucrat şi anumiţi constituienţi din materialul aşchietor, particule din suprafeţele active fiind îndepărtate de pe dinte. Presiunea mare dintre suprafeţele în contact şi temperatura peste 300 ºC favorizează uzarea prin adeziune. Un exemplu în acest sens este oferit de fenomenul de «sudare prin presare» a materialului din zona vârfului dintelui, cunoscut sub denumirea de «depunere pe tăiş». La îndepărtarea acesteia sunt antrenate şi particule din materialul aşchietor.

- *mecanismul uzării termomoleculare* – constă în antrenarea de particule din materialul aşchietor datorită încălzirii puternice şi adeziunii moleculare.

3. Mecanismele de uzare de natură electrică sunt facilitate de temperatura ridicată a dintelui aşchietor:

- *mecanismul de uzare prin transport electronic de masă* are la bază efectul de termocuplu natural produs în zona de contact sculă - semifabricat, ce conduce la apariţia unei tensiuni şi la desprinderea unor particule din partea activă a sculei. Alte ipoteze privind uzarea cauzată de termocurent explică uzarea feţelor active ale sculei prin microdescărcările electrice ce însoţesc procesul de aşchiere. Mecanismul este caracteristic oţelului carbon de scule şi oţelurilor aliate pentru scule.

În procesul de aşchiere, mecanismele de uzare au loc simultan şi se influenţează reciproc, iar ponderea fiecăruia la realizarea uzurii totale este diferită, în funcție de viteza de lucru, temperatura de aşchiere, procedeul de prelucrare şi natura cuplului material aşchiat - material aşchietor (fig.). Mecanismele de uzare preponderente sunt cel abraziv şi prin adeziune.

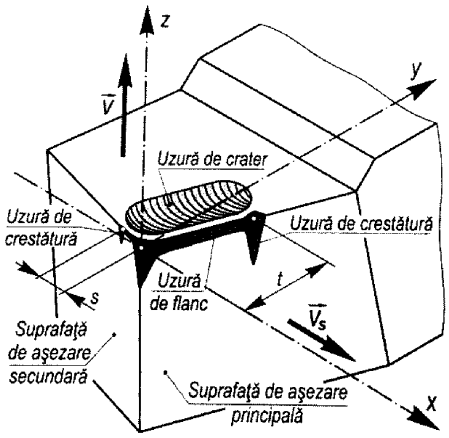


Ponderea principalelor mecanisme de uzare în funcţie de temperatura de aşchiere

Tipuri (forme) de uzură ale dintelui aşchietor

În funcție de localizarea pe suprafețele active ale dintelui aşchietor, de modul de evoluție şi de efectul produs, se disting următoarele **tipuri de uzură:**

- *uzura de flanc* – sub formă de faţetă, pe suprafaţa de aşezare a dintelui aşchietor;
- *uzura de crater* – este o concavitate pe suprafaţa de degajare a sculei;
- *deformarea plastică* a muchiei aşchietoare ;
- *uzura în formă de crestătură* – uzură locală, pronunţată, pe faţa de aşezare;
- *fisuri termice* la nivelul tăişurilor active;
- *fisuri* ale muchiei aşchietoare *cauzate de oboseala mecanică*;
- *ştirbituri / ciobituri* pe muchia aşchietoare;
- *fractura muchiei aşchietoare* ;
- *depunerea pe tăiş* (*tăişul de depunere*).



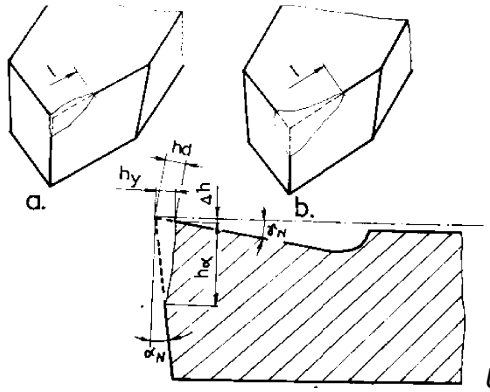
Localizarea principalelor tipuri de uzură pe dintele aşchietor

În condiţii normale de exploatare, indiferent de tipul sculei aşchietoare, este posibilă uzarea dintelui preponderent pe suprafaţa de aşezare, preponderent pe suprafaţa de degajare, ori simultan pe cele două suprafeţe active, în apropierea tăişului activ. La aceste tipuri de uzură se poate adăuga şi uzarea muchiei aşchietoare, manifestată prin bontirea tăişului; raza de rotunjire a acestuia devine mai mare decât fusese iniţial realizată, conducând ulterior la formarea unor faţete pe suprafaţa de aşezare şi de degajare. Uzarea muchiei se manifestă în special la prelucrarea materialelor dure cu adâncime mică de aşchiere.

Creșterea gradului de uzare a sculei determină creșterea forțelor de așchiere și a căldurii, înrăutățirea preciziei și a calității suprafeței prelucrate, creșterea nivelului de vibrații și de zgomot în

timpul procesului. Aceste fenomene se modifică substanțial, în sens negativ, dacă uzura depășește o anumită valoare limită, numită *uzură admisibilă*.

Uzura de flanc

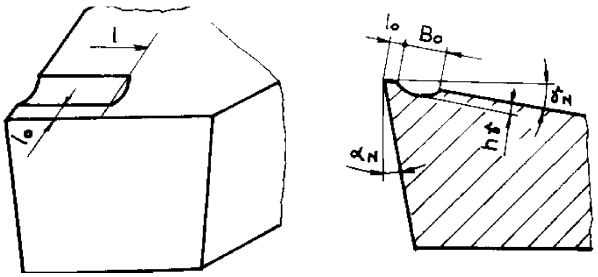


Uzura de flanc

Uzura de flanc este caracteristică suprafeţelor de aşezare. Se prezintă sub forma unei faţete, cu înălţimea maximă în vârful sculei şi de lungime egală cu lungimea tăişului activ (fig.). Apare preponderent pe suprafaţa de aşezare principală, dar este prezentă şi pe suprafaţa de aşezare secundară, însă de mărime mult mai mică.

Cu o evoluție rapidă, comparativ cu celelalte tipuri de uzură, uzura de flanc se determină în secțiune normală la tăișul activ prin înălțimea maximă a fațetei de uzură (h_α sau VB_{max}), prin înălțimea medie (VB_B) sau prin adâncimea de pătrundere (h_y). Mai pot fi utilizate subînălțarea dintelui (Δh) sau componenta h_d, măsurată în lungul suprafeței de degajare.

Uzura de crater

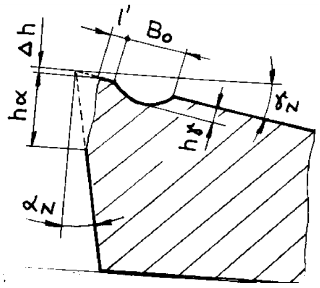


Uzura de crater

Uzura suprafeței de degajare sau uzura de crater evoluează mai lent decât uzura de flanc și se prezintă sub forma unui crater dispus în lungul tăișului, la distanța l_o de acesta. În secțiune normală la tăișul activ, uzura de crater are forma unei scobituri, de lățime B_o (sau KB) și adâncime h_γ (se mai notează cu KT). Comparativ cu uzura de flanc, uzura suprafeței de degajare nu influențează precizia și calitatea suprafeței prelucrate.

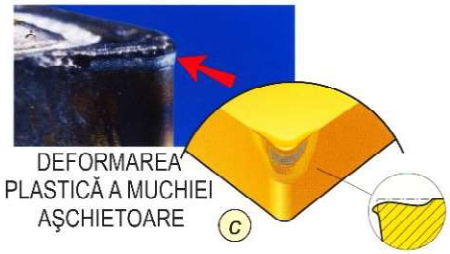
Uzura de crater este cauzată de mecanismele de *uzare abrazivă* şi *prin difuzie*. Craterul este format prin îndepărtarea materialului aşchietor de către faţa aşchiei, fie datorită particulelor dure (cu acţiune abrazivă) din materialul prelucrat, fie prin fenomenul de difuzie între aşchie şi materialul sculei.

Uzarea simultană a suprafeţelor de aşezare şi de degajare este cea mai dăunătoare, pentru că scade rapid distanţa *l'* de la tăişul efectiv la originea craterului, până la o valoare care nu mai asigură rezistenţa termomecanică a dintelui, fiind posibilă ruperea instantanee a tăişului activ şi apariţia *uzurii catastrofale*. Acest lucru presupune pierderea capacităţii de tăiere - deformare a dintelui aşchietor, creşterea bruscă a forţelor de aşchiere, intensificarea vibraţiilor, înrăutăţirea calităţii şi preciziei suprafeţei prelucrate şi chiar pierderea contactului cu materialul semifabricat. Dacă se atinge uzura catastrofală, refacerea calităţilor aşchietoare ale sculei necesită consum mare de material şi manoperă.

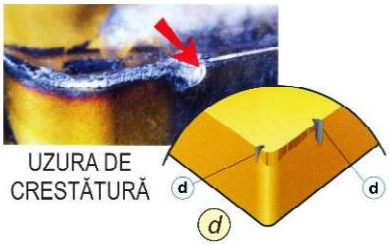


Uzura simultană a suprafețelor de așezare și de degajare

Deformarea plastică a muchiei aşchietoare are loc ca rezultat al combinării temperaturilor ridicate cu presiunea înaltă exercitată asupra muchiei aşchietoare. Valorile ridicate pentru viteză şi avans, precum şi duritatea materialelor greu prelucrabile presupun încălzire accentuată şi compresiune puternică. Pentru a rezista la deformare plastică, materialul aşchietor trebuie să posede duritate la temperatură ridicată. Mărimea razei la vârf şi geometria dintelui au un rol important în combaterea acestui tip de uzură. Deformarea permanentă a tăişului influenţează negativ precizia dimensională şi calitatea suprafeţei prelucrate.

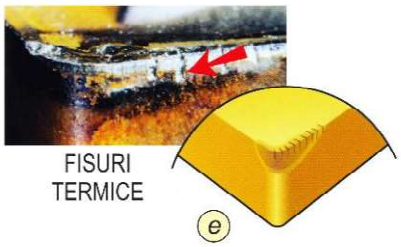


Uzura în formă de crestătură (uzura de margine) este un tip de uzură ce combină uzura pe suprafaţa de aşezare cu cea de pe suprafaţa de degajare şi apare în zona punctului în care tăişul principal ia contact cu suprafaţa iniţială. Accentuarea uzurii în această zonă constituie un indiciu că stratul superficial al semifabricatului are duritate mai mare decât materialul de bază sau este mai abraziv.



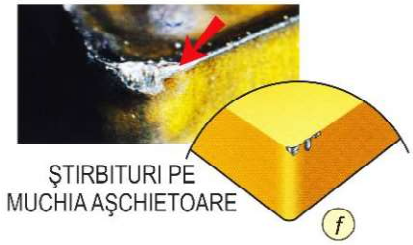
Situaţii de acest gen se întâlnesc frecvent la prelucrarea semifabricatelor obţinute prin turnare, forjare sau laminare la cald – care au stratul superficial abraziv şi dur, precum şi la aşchierea materialelor cu prelucrabilitate redusă, cum sunt oţelurile inoxidabile sau aliajele rezistente la temperatură, cu procent ridicat de nichel sau crom.

Fisurarea termică a muchiei aşchietoare este specifică aşchierii intermitente (discontinue), cum este cazul frezării – frezele sunt supuse la încărcare termică şi mecanică ciclică. Variaţia ciclică a temperaturii la frezare induce tensiuni termice, cauzate de dilatarea şi contractarea periodică a stratului superficial al dintelui aşchietor. Aceasta conduce la formarea unor fisuri de oboseală termică în zona tăişurilor active. În majoritatea cazurilor, aceste fisuri sunt perpendiculare pe muchia aşchietoare şi încep să se formeze în zona îndepărtată de vârf, extinzându-se continuu, în timpul lucrului, spre vârf. Dezvoltarea fisurilor duce în cele din urmă la ştirbirea (fărâmiţarea) muchiei sau chiar la distrugerea sculei.

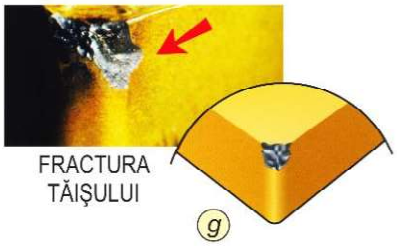


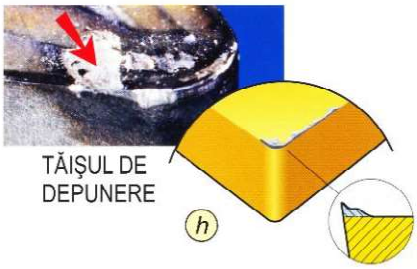
Uzarea prin oboseală este produsă de fluctuaţiile de temperatură şi ale forţelor de aşchiere, care pot determina fisurarea şi ruperea tăişului. Aşchierea intermitentă determină alternanţa între încălzire şi răcire, însoţită de solicitarea la şoc a muchiei.

Ştirbirea (ciobirea) tăişului este întâlnită în mod frecvent la aşchierea intermitentă. La frezare, ciobirea poate avea loc la primul contact al dintelui cu semifabricatul (deteriorare la intrare) sau la ieşirea din material. Ştirbirea la intrare are drept cauză frecventă intrarea dintelui aşchietor în material cu vârful acestuia (colţul plăcuţei dure). Cel mai probabil aceasta se întâmplă când unghiul de degajare al sculei este pozitiv. Modalitatea simplă de a evita deteriorarea sculei este de a trece de la o valoare pozitivă a unghiului de degajare la o valoare negativă, ori de practicare a unei faţete înguste cu γ_f negativ.



Fracturarea (ruperea) vârfului sculei are, ca principală cauză, şocul mecanic.





Uzura cauzată de depunerile pe tăiş - depunerile de material pe tăişul sculei cresc continuu, ajung la maturitate şi sunt îndepărtate periodic de fluxul de material. Odată cu distrugerea depunerii, de pe tăiş sunt îndepărtate şi particule din materialul sculei.

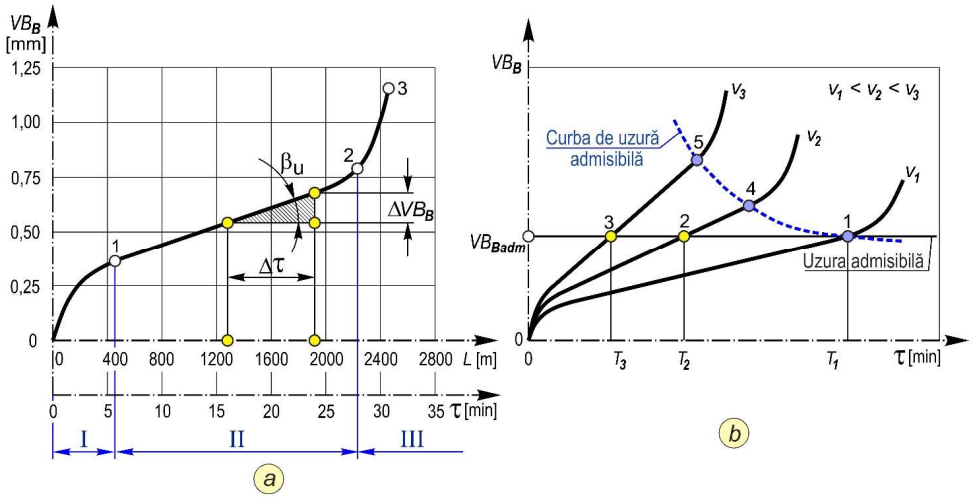
Criterii şi curbe de uzură. Intensitatea uzurii

Pentru a aprecia evoluţia uzurii dintelui aşchietor, s-au stabilit anumite criterii, în funcţie, în primul rând, de tipul de uzură mai des întâlnit şi de tipul de material aşchietor. Frecvent se utilizează drept criteriu de uzură una dintre următoarele mărimi:

- *înălţimea faţetei de uzură VB_B pe suprafaţa de aşezare principală* sau
- *adâncimea craterului de uzură KT* de pe suprafaţa de degajare – criteriu utilizat numai pentru carburile metalice sinterizate.

Evoluţia criteriilor de uzură se poate exprima în funcţie de lungimea aşchiată *L*, dar în general se raportează la timpul de prelucrare, τ [min].

Graficul de evoluţie în timp a uzurii dintelui aşchietor se numeşte *curbă de uzură*.



Curbe de uzură:
*(**a**) – alura curbei de uzură în funcţie de lungimea de prelucrat L sau în funcţie de timpul de aşchiere τ;*
*(**b**) Evoluţia uzurii de flanc pentru diferite viteze de aşchiere*

Indiferent de parametrul la care se face raportarea (lungimea aşchiată, *L* sau timpul de lucru, τ), pe grafic se disting trei etape în evoluţia uzurii (fig. a):
- perioada de *amorsare a uzurii* (*uzura de rodaj* sau *uzura iniţială*) – zona I (0-1), în care, într-un timp relativ scurt, uzura creşte repede, în special prin netezirea asperităţilor suprafeţelor active ale sculei (caracteristica: viteză ridicată de dezvoltare a unei uzuri iniţiale);
- perioada *uzurii normale* sau *de regim*, ori *uzura propriu-zisă* – zona II (1-2), este caracterizată printr-o evoluţie lentă, cu viteză de dezvoltare a uzurii aproximativ constantă. Poate fi aproximată cu un «palier de uzură», corespunzând regimului de lucru normal;
- perioada *uzurii catastrofale* (*de distrugere*, *maximă*, ori *avansată*) – zona III (2-3), este caracterizată prin creşterea bruscă a uzurii (aproape instantaneu).

În mod normal, procesul de aşchiere se desfăşoară în condiţii de uzare lentă, până când uzura atinge o valoare limită, numită **uzură admisibilă**. Durata de lucru a sculei până la atingerea valorii admisibile a uzurii se numeşte **durabilitate efectivă, *T***. Depăşirea acesteia conduce la atingerea, în scurt timp, a *uzurii catastrofale*, când scula aşchietoare îşi pierde complet capacitatea de aşchiere. Mai mult decât atât, în aceste condiţii, recondiţionarea sculei (prin refacerea calităţilor aşchietoare), presupune un consum mare de material şi manoperă.

La aprecierea capacităţii de aşchiere a sculei cel mai important este domeniul uzurii normale, ce corespunde la 80-90% din uzura totală.

Curbele de uzură au aspect asemănător, toate evidenţiind cele 3 zone caracteristice (fig. a). Însă, în funcţie de parametrii regimului de aşchiere, panta curbelor de uzură este diferită (fig. b). Creşterea vitezei de aşchiere intensifică fenomenul de uzare, se atinge mai repede uzura admisibilă, deci scade *durabilitatea* dintelui aşchietor.

Durabilitatea (*T*) sau *viaţa* sculei aşchietoare reprezintă durata de utilizare a sculei până la o nouă refacere a calităţilor aşchietoare, prin reascuţire sau prin metoda tăişurilor amovibile. *Viteza de evoluţie a uzurii* poate fi apreciată printr-un parametru numit **intensitatea uzării**, definită prin relaţia de mai jos, conform fig. a, în care VB_B reprezintă înălţimea medie a faţetei de uzură de pe suprafaţa de aşezare principală :

$$I = v_U = \lim_{\Delta\tau \to 0} \frac{\Delta VB_B}{\Delta\tau} = \frac{dVB_B}{d\tau} = tg\beta_U \text{ [mm/min]}$$

Intensitatea uzării poate fi considerată constantă (dar diferită) în fiecare dintre cele trei zone. Pentru o curbă de uzură dată, pentru care se consideră viteza v_U constantă, mărimea uzurii VB_B se poate exprima în funcţie de durabilitatea *T*:

$$VB_B = I \cdot T, \text{ [mm]}$$

În afara criteriilor principale de uzură – înălţimea faţetei de uzură pe suprafaţa de aşezare principală şi adâncimea craterului pe suprafaţa de degajare, se pot utiliza şi alte criterii, majoritatea fiind considerate ***criterii indirecte***, ce pleacă de la efectele negative ale uzurii:

a. *Criteriul frânării* sau *al petelor lucioase* – se poate aplica la degroşarea cu scule din oţel rapid şi se bazează pe fenomenul apariţiei unor pete pe suprafaţa prelucrată (pete lucioase – la oţeluri şi întunecate la fonte), cauzate de frecarea puternică cu faţa de aşezare a sculei, uzată la limita de apariţie a uzurii catastrofale.

b. *Criteriul de creştere a componentelor forţei de aşchiere.*

c. *Criteriul dat de forma aşchiei* (aplicabil la sculele cu plăcuţe din CMS) – se bazează pe schimbarea formei aşchiei pe măsură ce uzura avansează.

d. *Criteriile tehnologice* stabilesc uzura admisibilă a sculei în funcţie de condiţiile de precizie sau de calitate superficială impuse piesei prelucrate, de stabilitatea dinamică a procesului de prelucrare, ori de temperatură.

e. *Criteriul uzurii optime* – permite stabilirea valorii uzurii pentru care rezultă o durată totală maximă de utilizare a sculei aşchietoare.

Criteriul uzurii admisibile. Durabilitatea efectivă.

În practica prelucrărilor prin aşchiere se pune problema «momentului» la care trebuie oprit procesul de lucru, pentru refacerea calităţilor aşchietoare ale sculei; în mod evident, înaintea apariţiei uzurii catastrofale.

Valoarea uzurii până la care este permisă prelucrarea se numeşte **uzură admisibilă**, iar durata de exploatare a sculei între două refaceri succesive ale calităţii aşchietoare, până la atingerea uzurii admisibile, se numeşte **durabilitate efectivă (*T*).**

Practic, se pleacă de la proprietăţile fizico-mecanice ale materialului aşchietor şi de la ceilalţi parametri ai procesului de aşchiere şi se impune *durabilitatea efectivă T*. După timpul *T* de exploatare, se atinge *uzura admisibilă* şi se refac calităţile aşchietoare ale sculei, prin metoda tăişurilor amovibile sau prin metoda reascuţirii. Aplicând în mod repetat acest principiu, scula aşchietoare va fi utilizată *n* «cicluri», astfel că ***durabilitatea totală*** $\boldsymbol{T_t}$ a acesteia va rezulta ca sumă a durabilităţilor T_i :

$$T_t = \sum_1^n T_i \text{ , [min]}$$

unde T_i reprezintă durabilitatea efectivă pentru etapa *i* de refacere.

În mod frecvent $T_1 = T_2 = \ldots = T_n = T$, astfel că durabilitatea totală se poate calcula cu relaţia:

$$T_t = n \cdot T \text{, [min]}$$

Drept criteriu de uzură, s-a impus **uzura de flanc** (uzura pe suprafaţa de aşezare principală), exprimată prin înălţimea medie VB_{Bmed} (sau h_α), măsurată în zona centrală a faţetei de uzură de pe suprafaţa de aşezare principală.

Alegerea este justificată de evoluţia mai rapidă a uzurii pe faţa de aşezare, de comoditatea măsurării, dar mai ales de influenţa directă pe care o are mărimea VB_B asupra preciziei şi calităţii suprafeţei prelucrate – parametri consideraţi la finisare drept criterii de optimizare a procesului.

Valorile admisibile pentru uzură $VB_{Bmed\text{-}admis}$ au fost stabilite analitic şi experimental, în funcţie de complexitatea sculei aşchietoare, materialul aşchietor, calitatea şi precizia impusă de proiectant piesei prelucrate ş.a.

Analizând valorile admisibile recomandate, se pot trage câteva concluzii:

- uzura admisibilă este mai mare la degroşare decât la finisare, deoarece finisarea constituie prelucrarea finală, în urma căreia rezultă precizia şi calitatea piesei;
- uzura admisibilă se admite a fi mai mare când se lucrează cu lichide de răcire-ungere, având în vedere capacitatea de răcire a mediului de aşchiere;
- valoarea uzurii admisibile depinde şi de tipul sculei şi de geometria constructivă.

Semne ale atingerii valorii admisibile pentru uzura de flanc sunt date de:

- apariţia vibraţiilor în procesul de aşchiere;

- rugozitatea suprafeţei prelucrate devine necorespunzătoare;
- pe suprafaţa prelucrată apar, în mod alternativ, pete lucioase şi pete mate;
- forma aşchiei se trasformă din bandă în spirale scurte sau aşchii fragmentate;
- creşte excesiv temperatura semifabricatului;
- componentele forţei de aşchiere cresc substanţial;
- dimensiunile suprafaţei prelucrată ies din câmpul de toleranţă admis.

În practică, o sculă aşchietoare este utilizată în procesul de lucru un timp *T* (*durabilitate efectivă*), interval în care se presupune că rezultă o uzură egală cu valoarea admisibilă recomandată, ceea ce impune refacerea calităţilor aşchietoare.

Calitatea suprafeţelor prelucrate prin aşchiere

Noţiunea de *calitate a suprafeţei* unei piese, care este legată de precizia prelucrării, se referă atât la geometria caracteristică a suprafeţei cât și la calitatea din punct de vdere fizic a stratului superficial. Astfel, **starea suprafeţelor** este definită prin:

1. starea geometrică, caracterizată de *abaterile geometrice* ale suprafeţei reale în raport cu starea geometrică teoretică, precizată în documentaţia tehnică; starea geometrică este influenţată de procesul tehnologic;

2. starea fizico-chimică, definită de caracteristicile fizico-mecanice şi chimice ale stratului superficial al suprafeţei reale (starea stratului superficial al suprafeţei prelucrate, gradul de deformare şi tensiunile remanente, microduritatea, neuniformităţi ale structurii chimice) în raport cu starea precizată în documentaţia tehnică.

Conform SR ISO 4287/1-2000, **abaterile de la forma suprafeţelor** (**abaterile geometrice) s**unt clasificate în funcţie de raportul dintre pasul, P, şi adâncimea neregularităţilor, A, în patru categorii (fig.):

- abateri de ordinul 1 sau *abateri macrogeometrice* – abaterile pentru care raportul dintre pas şi amplitudine este mai mare de 1000 ($P_F / A_F > 1000$);
- abateri de ordinul 2 sau *ondulaţii* – au raportul pas/adâncime (P_W / A_W) situat în intervalul (50 ÷ 1000);
- abateri de ordinul 3 şi 4 sau *abateri microgeometrice* – acoperă domeniul $P_R / A_R < 50$.

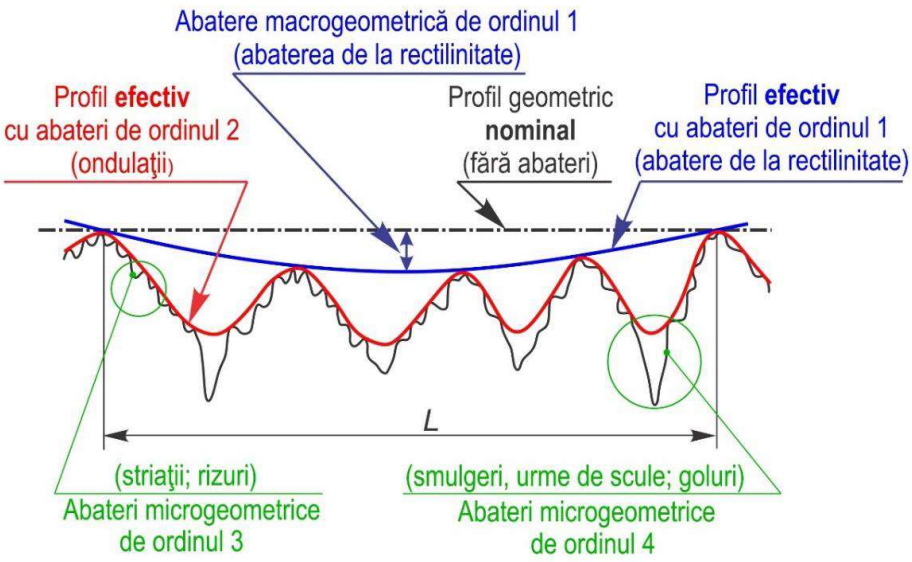
Forma macrogeometrică este determinată de abaterile de ordinul 1 şi 2 şi se referă la *forma profilelor* (definită prin rectilinitate; circularitate; forma dată a profilului) şi la *forma suprafeţelor* propriu-zise (definită prin planitate, cilindricitate, forma dată a suprafeţei).

Exemple de macroneregularităţi: pentru suprafeţe plane - neplaneitatea, convexitatea și concavitatea, iar pent ru suprafețe cilindrice - ovalitatea, conicitatea, forma de butoi, forma de hiperboloid.

Forma microgeometrică, determinată de abaterile de ordinul 3, se referă la *striaţii* şi *rizuri,* care în general sunt periodice. Acestea se datorează neuniformităţii procesului de aşchiere, deformaţiilor plastice în zona de aşchiere, vibraţiilor sistemului tehnologic, precum şi altor perturbaţii ale sistemului.

Forma microgeometrică, determinată de abaterile de ordinul 4, se referă la *smulgeri de material, urme ale sculelor, goluri, pori* etc., care sunt aperiodice. Se produc din cauza formei (geometriei) sculei aşchietoare, a parametrilor regimului de aşchiere, deformaţiilor elastico – plastice ale materialului din faţa tăişului sculei.

Abaterile de ordinul 3 şi 4 constituie **rugozitatea** suprafeţelor și, de obicei, se datorează impreciziei sistemului tehnologic de prelucrare (în special în urma uzurii elementelor sistemului).



Abateri geometrice ale unui profil: abaterea macrogeometrică (de la rectilinitate); abaterea de ordinul 2 (ondulaţii); abateri microgeometrice de ordinul 3 şi 4

Criterii de apreciere a rugozităţii

Rugozitatea suprafeţei reprezintă ansamblul microneregularităţilor de pe suprafaţa unei piese, caracterizate prin pas relativ mic în raport cu adâncimea: P_R / A_R < 50.

Rugozitatea este considerată fie abaterea geometrică de ordin 3 (când are caracter periodic), fie de ordinul 4 (când are caracter neperiodic) și se măsoară în micrometri.

Rugozitatea este cauzată de dinamica procesului de aşchiere (vibraţiile vârfului sculei şi ale subansamblelor maşinii-unelte, variaţia forţelor de deformare şi de frecare în procesul de formare şi evacuare a aşchiilor, neuniformitatea adaosului de prelucrare).

Astfel, forma şi dimensiunile microneregularităţilor suprafeţelor rezultate la aşchiere depind de o serie de **factori**:

- procedeul de prelucrare folosit;
- parametrii regimului de aşchiere (viteză, avans, adâncime de aşchiere);
- forma şi parametrii geometrici ai sculei aşchietoare;
- forţele de frecare la nivelul suprafeţelor de degajare şi de aşezare ale dintelui aşchietor;
- modul de formare a aşchiei;
- caracteristicile lichidul de răcire - ungere;
- caracteristicile materialului semifabricat
- rigiditatea sistemului tehnologic.

Prezenţa microneregularităţilor pe suprafeţele pieselor prezintă o serie de **dezavantaje**:

- micşorează suprafaţa reală (efectivă) de contact;
- înrăutăţeşte conditiile de funcţionare normală şi de frecare ale pieselor, prin uzarea sau ruperea asperităţilor;
- fisurile constituie concentratori de tensiuni care duc la scăderea rezistenţei la solicitări alternante (oboseală), constituie amorse de coroziune electrochimică şi scade etanşeitatea;
- modifică (odată cu tocirea vârfurilor) dimensiunile efective ale pieselor şi, implicit, caracterul ajustajelor; la un montaj cu strângere scade strângerea efectivă.

În schimb, în absenţa microregularităţilor, menţinerea filmului de ulei pe suprafeţele în contact s-ar realiza extrem de greu în cazul mişcării de rotaţie relativă;

Practic, rugozitatea suprafeţelor de contact trebuie stabilită în raport cu viteza de lucru, dimensiunile suprafeţelor în contact, mărimea şi distribuţia sarcinilor pe suprafaţă, precizia dimensională şi de formă etc.

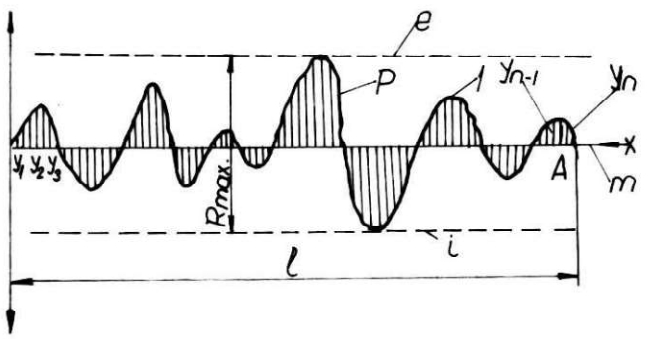
Cantitativ, rugozitatea se apreciază cu ajutorul unor *criterii de rugozitate*, definite în mai multe sisteme, dintre care mai uzuale sunt:

- sistemul liniei medii (M);
- sistemul liniei înfăşurătoare (E);
- sistemul liniei adiacente (A).

Sistemul liniei medii (sistemul M) este cel mai cunoscut şi utilizat pe plan internaţional în practica tehnologică. Pentru evaluarea rugozităţii, ca linie de referinţă se alege linia medie *m* a microprofilului sau o linie echidistantă cu aceasta, utilizându-se următoarele criterii de apreciere (cantitativă) a rugozităţii:

- criteriul R_a
- criteriul R_z
- criteriul R_{max} (criteriu suplimentar)

Criteriul R_a, numit şi al abaterii medii aritmetice, reprezintă valoarea medie a ordonatelor y_1, y_2, …, y_n ale profilului efectiv "P", până la linia medie "m", luate în limitele lungimii de referinţă "l".(fig.). Linia medie m este în aşa fel aleasă, încât suma pătratelor ordonatelor y_1, y_2,…,y_n să fie minimă.



Microneregularităţile conform criteriului Ra

Abaterea medie aritmetică a rugozităţii (***R_a***) este media aritmetică a valorilor absolute ale ordonatelor profilului efectiv faţă de linia medie, considerată drept origine:

$$R_a = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}|y_i|$$

Criteriul R_z sau *adâncimea (înălţimea) medie în 10 puncte a rugozităţii* este criteriul înălţimii medii a neregularităţilor, care se defineşte ca fiind distanţa medie dintre cele mai înalte cinci puncte ale vârfurilor şi cele mai joase cinci puncte ale bazei profilului efectiv (fig.), toate cuprinse între limitele lungimii de referinţă "l" .

$$R_z = \frac{(R_1 + R_3 + R_5 + R_7 + R_9) - (R_2 + R_4 + R_6 + R_8 + R_{10})}{5}$$

Microneregularităţile conform criteriului Rz

Criteriul R_{max}, numit şi criteriul secundar, se referă la înălţimea maximă a neregularităţilor ca fiind distanţa dintre linia exterioară (e) şi cea interioară (i) a profilului neregularităţilor (fig.) în limitele lungimii de referinţă " l ".

$$R_{max} = y_{max} - y_{min}$$

Relaţiile de legătură dintre criteriile Ra, Rz şi Rmax:

$\log R_z = 0{,}65 + 0{,}97 \log R_a$

$\log R_{max} = 1{,}97 + 0{,}98 \log R_a$

$R_{max} = (3\ldots6)\ R_a$

Referitor la relaţia $R_{max}=f(R_a)$, valorile mai mari se iau pentru prelucrări de degroşare, în timp ce valorile mai mici pentru prelucrările de finisare.

Prin cercetări experimentale s-au obţinut tabele informative, care indică rugozitatea suprafeţei (parametrul R_a) ce se poate obţine la prelucrarea prin diferite procedee tehnologice:

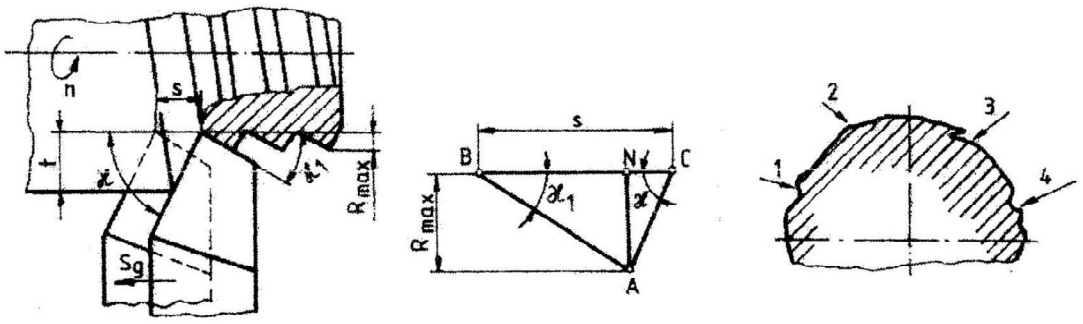
Procedeu de prelucrare		R_a [μm]
Strunjire exterioară	degroşare	125-6,3
	finisare	6,3-1,6
	fină	1,6-0,2
	cu diamant	0,2 - 0,032
Strunjire interioară	degroşare	125-9
	finisare	9-2,5
	fină	2,5-0,6
	cu diamant	0,6-0,1

Neregularităţile suprafeţelor prelucrate prin aşchiere

Având în vedere cinematica procesului de aşchiere, neregularităţile ce rezultă pe suprafaţa prelucrată pot fi împărţite în două "grupe":

1. *neregularităţi din grupa întâi* (*rugozităţi de ordinul I*) – prezente pe suprafaţa prelucrată pe direcţia mişcării de avans (fig., a);
2. *neregularităţi din grupa a doua* (*rugozităţi de ordinul II*) – identificate în secţiuni paralele cu direcţia mişcării principale de aşchiere (fig. c).

Rugozitatea de ordinul întâi (numită şi **rugozitate cinematică, *Rc***) este specifică procesului de generare şi este reprezentată de abateri periodice ale curbei generatoare reale (Γ sau Δ) în raport cu cea teoretică. Mărimea acestor abateri depinde în principal de avansul de generare *s,* precum şi de parametrii geometrici ai sculei aşchietoare: unghiul de atac principal κ, unghiul de atac secundar κ', raza la vârf r_ε.



a **b** **c**

Neregularităţi rezultate pe suprafaţa prelucrată prin aşchiere:
*(**a**) – rugozităţi de ordinul I (ca urme ale tăişului aşchietor pe direcţia mişcării de avans); (**b**) – dimensiunile rugozităţii de ordinul I; (**c**) – rugozităţi de ordinul II (în lungul mişcării principale de aşchiere: 1 – ondulaţii; 2 – solzi de depunere; 3 – fisuri; 4 – cratere sau porozităţi)*

Rugozitatea cinematică R_c, numită şi **rugozitate teoretică** $\boldsymbol{R_t}$, se determină geometric, prin calcul, folosind relaţii mai mult sau mai puţin aproximative. Astfel, la procedeele de strunjire, rabotare şi mortezare se disting două cazuri concrete, şi anume:

- când dintele aşchietor nu are rază de vârf (r_ε = 0º);
- când cuţitul prezintă rază de vârf.

În cazul dintelui fără rază de vârf, profilul unei suprafeţe cilindrice prelucrate cu avans longitudinal este asemănător cu o suprafaţă filetată la care pasul este egal cu avansul. Comparativ cu generatoarea teoretică – rectilinie, curba generatoarea reală prezintă neregularităţi periodice, de înălţime $h = R_{max}$, rezultând o secţiune restantă de formă triunghiulară, a cărei formă şi dimensiuni depind de mărimea avansului *s* şi de valorile unghiului de atac principal κ şi a celui secundar κ'.

La utilizarea cuţitelor cu rază de racordare la vârf, forma secţiunii restante este mai complicată. Relaţiile de calcul pentru rugozitatea teoretică sunt diferite, în funcţie de contribuţia porţiunilor rectilinii ale tăişului principal şi secundar. În mod frecvent se utilizează relaţii aproximative de calcul.

Rugozităţile de ordinul doi (din grupa a doua) au un caracter sistematic şi se produc datorită unor fenomene specifice procesului de aşchiere. Se manifestă sub formă de ondulaţii (provocate de vibraţii), solzi de depunere (particule desprinse de pe tăiş), fisuri (urme ale locurilor în care se produce desprinderea aşchiilor), cratere sau porozităţi (smulgeri ale unor particule dure înglobate în masa de bază a piesei).

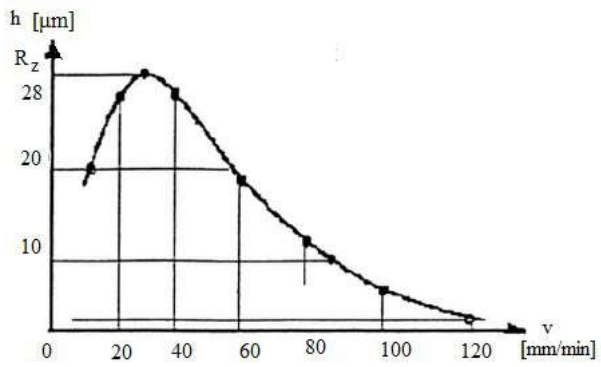
Influenţa parametrilor procesului de aşchiere asupra calităţii suprafeţelor prelucrate

Rugozitatea, ca factor ce caracterizează calitatea suprafeţei, este determinată de parametrii regimului de aşchiere, de geometria sculei aşchietoare, de natura materialului de prelucrat, de rigiditatea sistemului tehnologic, prezenţa/absenţa lichidului de răcire –ungere.

Asupra rugozităţii suprafeţei (înălţimea secţiunii restante), influenţa cea mai pronunţată o au parametrii regimului de aşchiere (v şi s) şi forma constructivă a muchiei aşchietoare (unghiurile de atac K, K' , raza r de racordare la vârf şi raza de ascuţire).

Influenţa vitezei de aşchiere

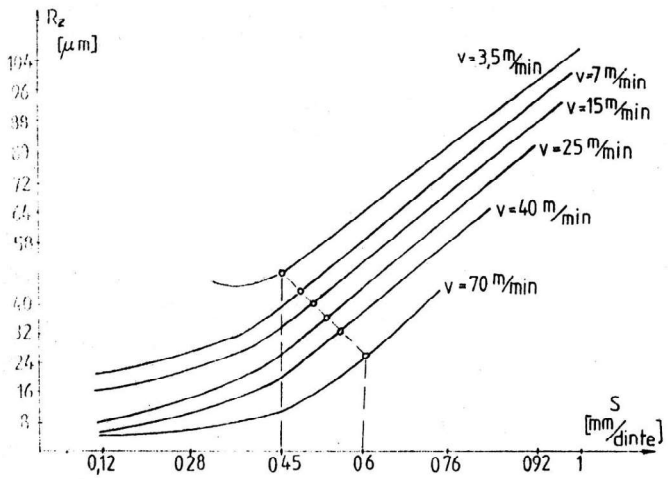
În principiu, odată cu creşterea vitezei principale scad deformaţiile plastice şi efectul acestora asupra rugozităţii totale. Rugozitatea atinge valoarea maximă în domeniul v =20 ÷ 40 m/min, după care se produce o scădere continuă, prin dispariţia depunerii pe tăiş. După *v* = 100 ÷ 150 m/min rugozitatea rămâne practic constantă (fig.). Cu cât viteza de aşchiere este mai mare, cu atât influenţa tăişului de depunere este mai mică şi ca urmare calitatea de suprafaţă este mai bună.



Influenţa vitezei de aşchiere asupra rugozităţii suprafeţelor

Influenţa avansului

La creşterea avansului creşte rugozitatea, în principal datorită creşterii înălţimii secţiunii restante, dar şi a creşterii deformaţiilor plastice şi a forţelor. S-a constatat experimental că până la valori ale avansului pe dinte de 0.45 ÷ 0.6 mm/dinte, influenţa avansului *s* este mai slabă şi variabilă. În schimb, pentru avansuri mari, influenţa asupra rugozităţii este mai pronunţată şi constantă.



Influenţa avansului de aşchiere asupra rugozităţii suprafeţelor

Influenţa adâncimii de aşchiere

Adâncimea de aşchiere are un efect nesemnificativ asupra rugozităţii. La creşterea adâncimii creşte rugozitatea datorită creşterii deformaţiilor plastice şi a forţelor de aşchiere.

Influenţa materialului de prelucrat asupra rugozităţii este deosebit de complexă. Prelucrarea oţelului carbon cu diverse durităţi influenţează rugozitatea. Rezultatele cercetărilor experimentale conduc la concluzia că prin mărirea durităţii (HB) a materialului de prelucrat determină are loc o îmbunătățire a calității suprafeței prelucrate.

Influenţa parametrilor geometrici ai sculei

Având în vedere forma şi geometria secţiunii restante, se observă că valori mari pentru raza de vârf *r* şi valori mici ale unghiurilor de atac conduc la microneregularităţi de mai mică înălţime. La **unghiuri de atac** mai mari corespund rugozităţi mai mari, în primul rând datorită creşterii înălţimii secţiunii restante.

Raza la vârf *r* influenţează rugozitatea în principal prin înălţimea secţiunii restante, care scade la creşterea razei. Simultan are loc şi diminuarea participării zonelor rectilinii ale tăişurilor la formarea secţiunii restante. Ca efect, se produce o scădere importantă a rugozităţii la creşterea razei.

Deşi nu are nici o contribuţie la înălţimea secţiunii restante, **unghiul de degajare γ** influenţează rugozitatea suprafeţei prelucrate. La creşterea lui γ creşte efectul de pană al dintelui aşchietor, scad

forţele de aşchiere, suprafaţa de contact aşchie - sculă şi deformaţiile plastice ale stratului aşchiat şi, drept consecinţă, scade contribuţia deformaţiilor plastice asupra rugozităţii. În concluzie, odată cu creşterea unghiului de degajare, rugozitatea scade.

Influenţa mediului de aşchiere

Comparativ cu aşchierea uscată, lichidele de răcire-ungere îmbunătăţesc calitatea suprafeţelor aşchiate prin efectele de răcire, ungere şi spălare a suprafeţelor de contact aşchie - sculă - semifabricat. Sunt astfel reduse frecările şi deformaţiile plastice, este diminuată tendinţa de formare a depunerii pe tăiş şi scade intensitatea uzării tăişului activ.