

**Факултет инжењерских наука
Универзитет у Крагујевцу**



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Производне технологије

Број индекса: 205/2014

Никола З. Николић
Хабање алата при резању
завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Недић Богдан

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У овом раду кандидат треба да изврши прикупљање и систематизацију литературних података о хабању резних алата. Потребно је описати триболошке процесе на резном алату, математичко моделирање процеса хабања, видове хабања и утицај услова обраде на постојаност алата, као и методе мерења хабања и криве хабања. У посебном поглављу описати савремене материјале резних алата.

На крају рада, урадити експериментална мерења хабања алата. Такође, дати закључак и преглед коришћене литературе.

Препоручена литература:

1. Миодраг Лазић, Обрада метала резањем, монографија, књига, Машински факултет, Крагујевац 2002.
2. Богдан Недић, Динамика процеса резања, књига, Машински факултет, Крагујевац 2006.
3. Богдан Недић, Миодраг Лазић, Производне технологије, скрипта, Машински факултет, Крагујевац 2007.

Крагујевац, септембар 2017.

Ментор:

Проф. Др Богдан Недић

Садржај

1. УВОД	4
2. ТРИБОЛОГИЈА ПРОЦЕСА РЕЗАЊА	5
2.1. Природа триболошких процеса	5
2.2. Облици хабања резног алата	5
2.3. Параметри хабања	10
2.4. Математичко моделирање хабања	11
2.4.1. Криве хабања	11
2.4.2. Интензитет и отпорност на хабање	13
2.5. Средства за хлађење и подмазивање (SHP)	14
3. ХАБАЊЕ АЛАТА – ПОСТОЈАНОСТ АЛАТА	16
3.1. Приступи моделирања процеса резања	17
3.2. Видови хабања алата	19
3.3. Места хабања алата	22
3.4. Утицај брзине резања на врсте хабања	24
3.5. Методе мерења хабања алата	25
4. МАТЕРИЈАЛ РЕЗНОГ АЛАТА	27
4.1.1. Алатни челици	27
4.1.2. Тврди метали	28
4.1.3. Алатна керамика	28
4.1.4. Супер тврди материјали	28
4.2. Цементно карбидни премаз	30
4.2.1. Превлака CVD	30
4.2.2. Превлака PVD	31
4.2.3. Цементни карбид	31
4.2.4. Непокривени цементни карбид	33
4.2.5. Цермет	33
5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДЕО	34
6. ЗАКЉУЧАК	41
Литература:	43

Abstract

This paper describes the tribological processes of the metal processing process by cutting, the cutting tool materials, the stability of the cutting tool and the abrasion mechanisms of the cutting tool. In the experimental part, experimental testing of the wear of the cutting tool wedge was performed, the diagram and curves of the wear dependence of the processing time at different cutting discs were formed.

Key words: *tribological processes, tool stability, tool material*

Резиме

У овом раду описани су триболошки процеси процеса обраде метала резањем, материјали резног алата, постојаност резног алата и механизми хабања резног алата. У експерименталном делу извршена су експериментална испитивања хабања резног клина алата, формирану су дијаграм и криве зависности хабања од времена обраде код различитих резних плочица.

Кључне речи: *триболошки процеси, постојаност алата, материјал алата*

1. УВОД

Са развојем технологија, развијале су се и машине на којима би се вршила обрада метала, за потребе развоја производње, не само у индустрији већ у много ширем опсегу. Обрада метала резањем спада у широко примењивану технологију. Користи се код делова који захтевају додатну обраду, као што су делови добијени ковањем, ливењем и осталим процесним методама. Све процесе обраде неизбежно прати и процес хабања резног клина алата. Процес хабања настаје као последица оптерећења којима је алат изложен током процеса обраде. С' обзиром на велики број улазних параметара, и на то да су квантитативне и квалитативне природе, сложеност и број могућих интеракција је веома велики.

У току процеса резања материјала долази до хабања алата што доста утиче на његову постојаност, као и квалитет обрађене површине, што је од врло важног значаја за саму производњу. Постоји много критеријума којима можемо дефинисати постојаност алата што нам омогућава да на прави начин реагујемо и одржимо алат у активном стању што већи временски период.

Хабање резних алата представља губитак материјала у микроконтакту, па до молекуларних или атомских маханизма уклањања. Хабање алата углавном напредује континуално, описује га постепени процес у трошењу резног алата услед редовног рада. Резни алати су изложени изузетно тешким процесима хабања. Последица тога је то што се налазе у контакту између материјала радног комада и отпадног материјала, тј. струготине, у условима веома високих температура и високих притисака. Стога материјал алата мора бити тврђи од материјала предмета обраде, али такође мора бити у стању да издржи топлоту која се ствара у процесу резања метала. Поред ових неопходних услова потребно је да алат има специфичну геометрију са угловима чишћења тако да се резна ивица може бити у додиру са радним предметом без остатка алата који се вуче по површини предмета обраде. Да би се обезбедио дужи век алата мора се обратити пажња на брзину и корак на којима алат извршава одређене задатке.

Правилним изборима режима обраде за задате техничке услове може се постићи максимално искоришћење алата, смањење трошкова производње, као и задовољење свих функционалних захтева израђеног дела.

Овај рад се састоји из пет поглавља. У другом поглављу је дат увод у триболошке процесе резања, шта се подразумева под тим појмом, облици хабања алата, као и параметри хабања алата помоћу којих пратимо похабаност алата. Поред наведених дат је и кратак осврт на математичко моделирање криве хабања помоћу које се показује у ком се стању алат налази, као и на средства за хлађење и подмазивање, која играју велику улогу у триболошком систему, смањујући хабање, што утиче на постојаност резне ивице алата.

У трећем поглављу описана је постојаност алата као веома важан фактор у производњи. У оквиру тога описано је моделирање процеса резања, видови хабања алата, као и места на којима се најчешће хабање јавља. Такође је дата зависност врсте хабања у односу на брзину резања и методе мерења похабаности алата.

Четврто поглавље описује избор материјала који се препоручује како би алат што дуже трајао. Коришћење тврђих материјала смањује могућност хабања и повећава век производње са једним алатом.

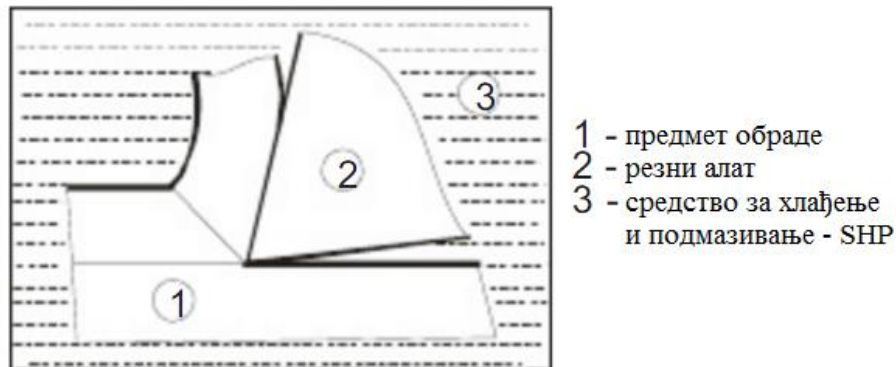
У петом поглављу је дат експериментални рад као и снимање похабаности алата при резању са временом.

2. ТРИБОЛОГИЈА ПРОЦЕСА РЕЗАЊА

2.1. Природа триболошких процеса

Основни чиниоци трибомеханичког система у обради метала резањем су:

- резни алат
- предмет обраде
- средина (најчешће испуњена средством за хлађење)



Слика 2.1. Трибомеханички систем [1]

На контактним површинама грудне површине резног клина алата и струготине одвијају се триболошки процеси који утичу на квалитет обрађене површине, интензитет и карактер хабања алата, тачност обраде итд. Контакт грудне површине и струготине утиче на неравномерност напона, промену температуре, као и на квалитет површине контакта. Клизање струготине по грудној површини је последица граничног трења (до кога ретко веома ретко долази), као и потпуног микроставаривања контактних површина.

Експерименталним испитивањем напона на контактним површинама добијено да је промена нормалних напона на контактним површинама константна, а промена тангенцијалних напона дисконтинуална.

При механичким оптерећењима и у условима високих температура долази до формирања и раскидања заварених спојева између предмета обраде и резног алата, одакле се објашњава природа трења. Коефицијент трења зависи од температуре, брзине резања итд.

2.2. Облици хабања резног алата

После одређеног времена рада, резни алат губи своје способности. Последице тога су:

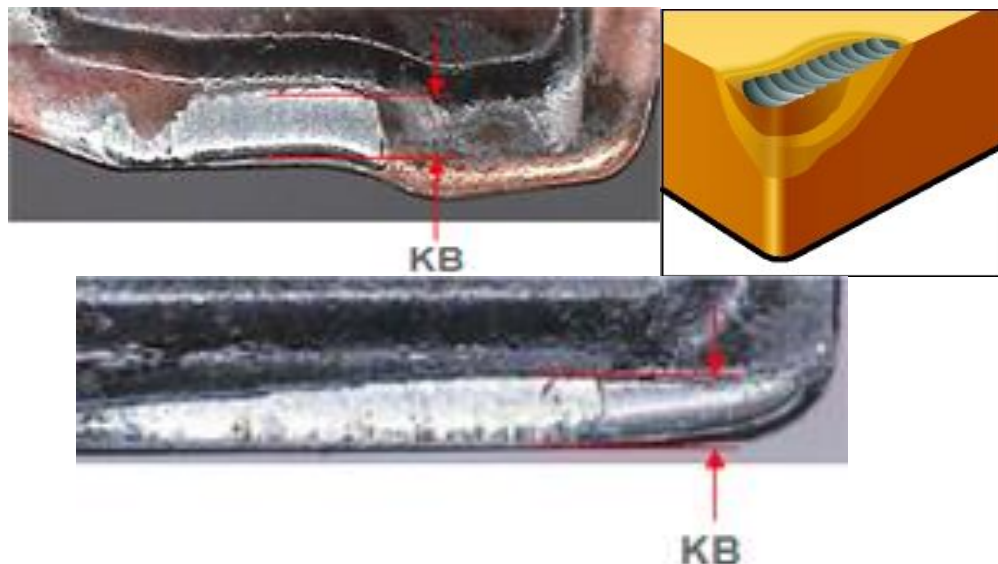
- хабање резног клина
- крзање, разарање резног клина
- пластично деформисање резног врха алата

Промена облика резног клина алата, тј. **хабање алата**, је последица одласка алатног материјала са струготином при обради површине. Промена се испољава преко кратера на грудној површини резног клина алата и појаса хабања на леђној површини резног клина алата.

Постоје три основна типа хабања резног алата:

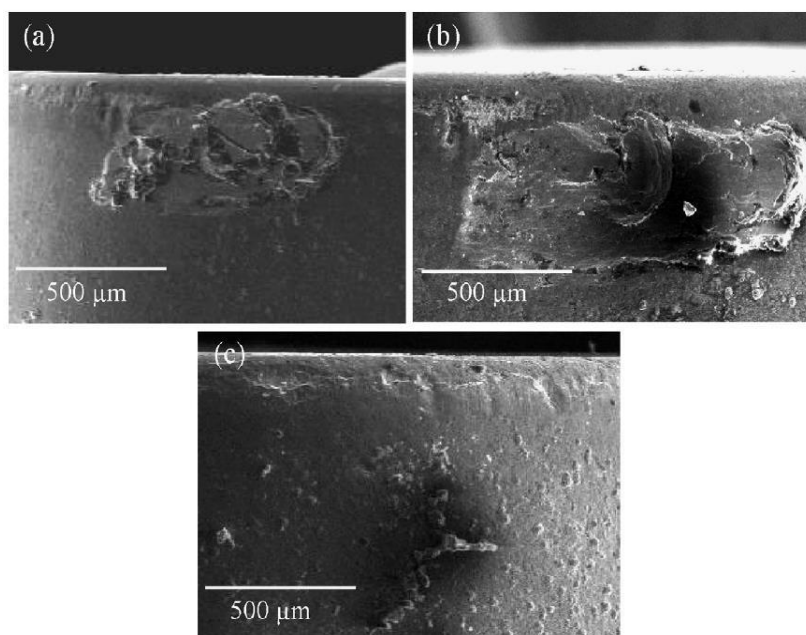
- општи облик хабања (хабање леђне и грудне површине резног клина) – углавном је то при обради на већим дубинама резања, обради кртих материјала, примени средства за хлађење и подмазивање
- хабање по грудној површини резног клина у виду кратера – настаје када је у питању алат од брзорезног челика без примена средства за хлађење и подмазивање
- хабање леђне површине резног клина алата у виду појаса хабања – настаје при завршним обрадама

Хабање по грудној површини, настаје при обради жилавих материјала на већим брзинама, изнад 50 m/min, и уклањању већих додатака за обраду, изнад 0.5 mm. Хабање грудне површине, тј. кратера, дефинише дубина, ширина, дужина и растојање кратера од резних ивица. Хабање кратера доводи до слабије резне ивице што може проузроковати и лом алата.

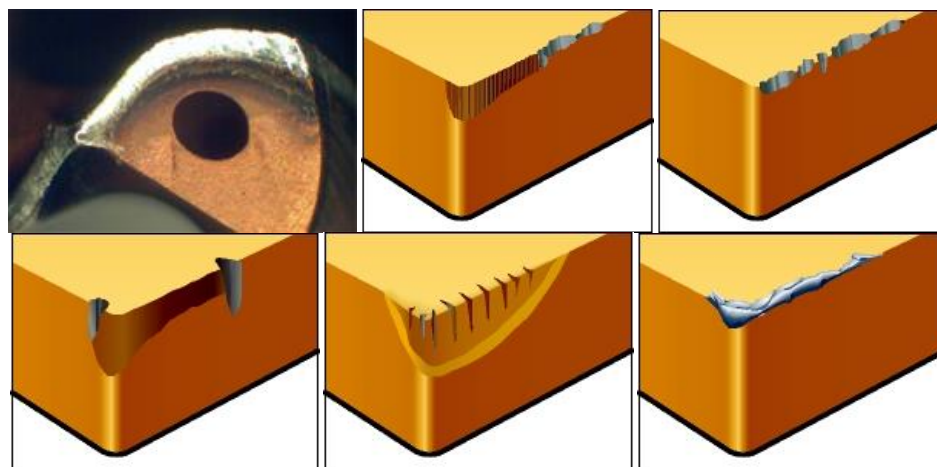


Слика 2.2. Хабање кратера [4]

Хабање по леђној површини такође настаје при обради жилавих материјала, али при малим дубинама (0.15 mm) и малим брзинама резања, као и кртих материјала, попут сивог лива, бронзе. Најчешће се уочава код стругарских ножева, одвалних глодала, провлакача итд.



Слика 2.3. Насlage материјала на леђној површини алата при стругању а) Č1531, б) Č4130, в) 30MnVS6 ($V=30 \text{ m/min}$, $s=0.11 \text{ m/s}$)



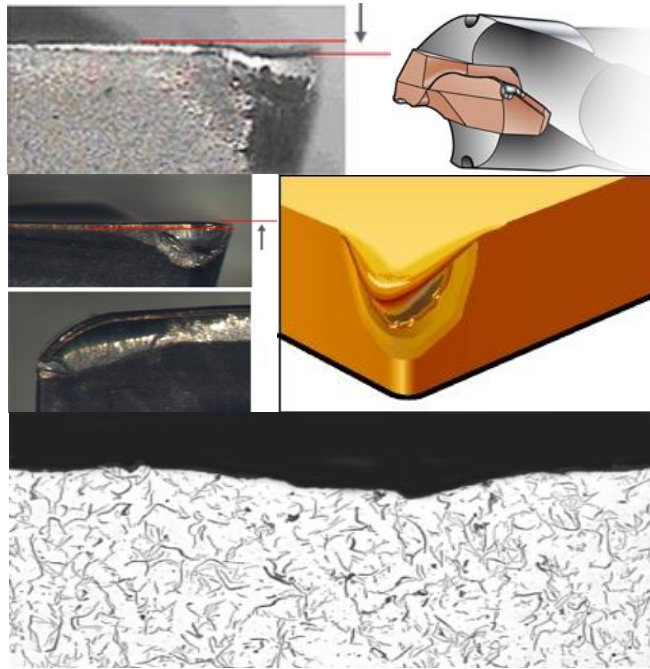
Слика 2.4. Хабање главне резне ивице алата [4]

Један од непожељних облика хабања резног клина алата представља **крзање**, тј. **одламање** или **разарање** алата, што доводи до брзог отказа алата. Крзање представља одвајање честица до 0.3 mm , одламање од $0.3 - 1 \text{ mm}$, разарање је одвајање честица већих од 1 mm . Углавном се јавља код кртих материјала, као што су резна керамика, тврди материјали на бази TiC; такође не зависе од времена рада.



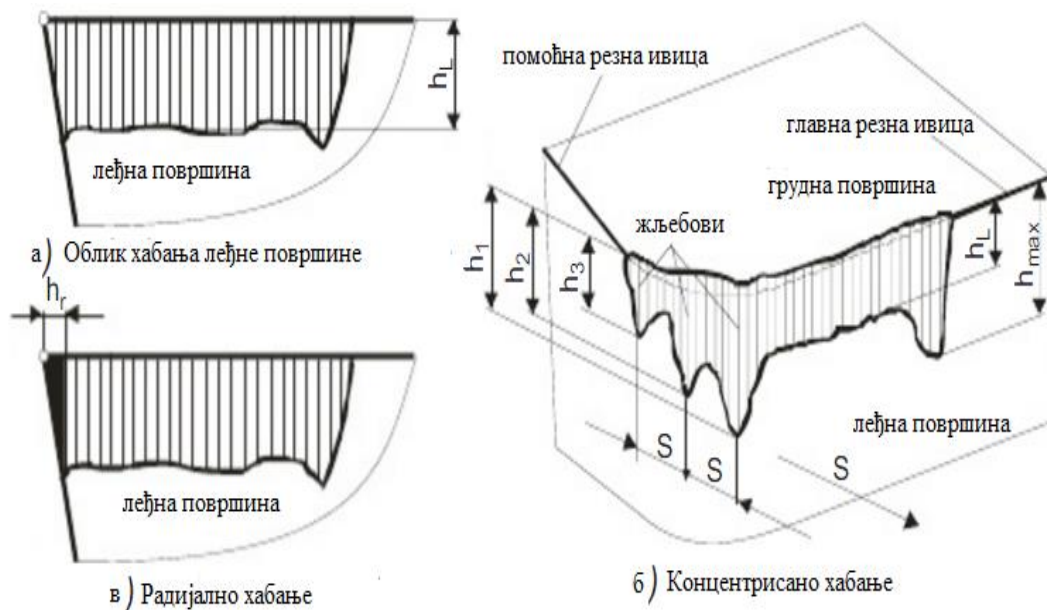
Слика 2.5. Крзање резног клина алата [4]

Пластично деформисање резног клина настаје при механичким оптерећењима и високим температурама, а одвија се изменом облика контактних површина алата. Промене облика алата се дешавају на почетку резања и после одређеног времена, што доводи до хабања истог.

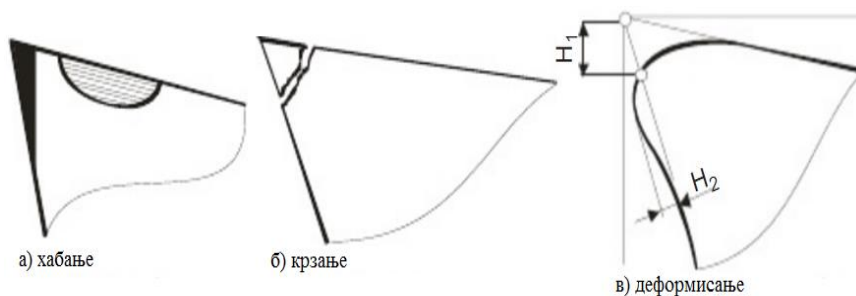


Слика 2.6. Пластично деформисање резног клина алата [4]

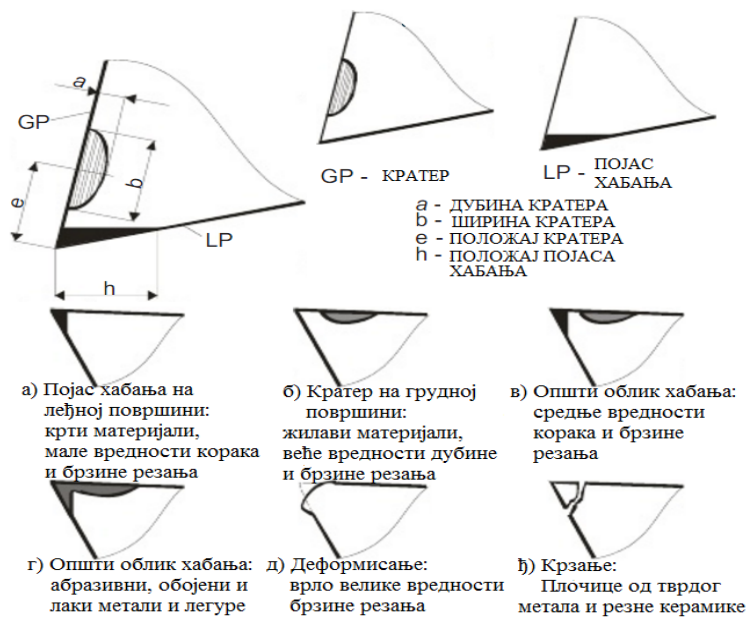
Постоје и други облици хабања алата, а један од најзначајних јесте **концентрисано хабање**, које доводи до појаве жљебова, најчешће на прелазу са помоћне на главну резну ивицу. Временом се жљебови поваћавају, што доводи до појаве нових.



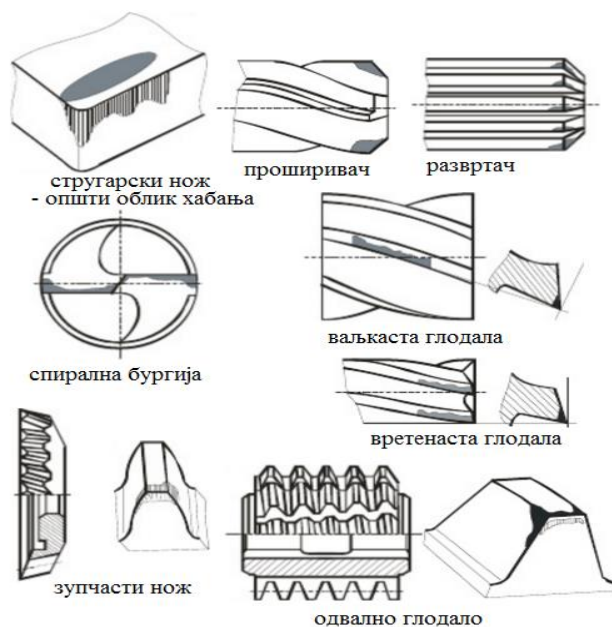
Слика 2.7. Концентрисано и радијално хабање резног клина алата [1]



Слика 2.8. Основни облици губитка резне способности алата [1]



Слика 2.9. Облици хабања резних елемената алата [1]



Слика 2.10. Облици хабања резних алата [1]

2.3. Параметри хабања

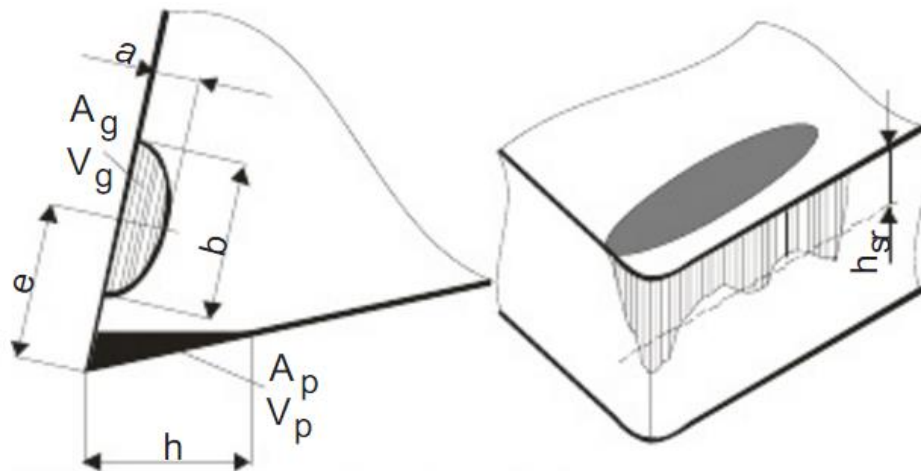
Хабање резних елемената алата може се пратити различитим процесима, неки од њих јесу параметри хабања. Они могу бити: **директни** и **индиректни**.

Директни параметри хабања прате промену облика резног клина. Могу бити *површински*, *линијски* и *запремински*.

Површински или дводимензионални параметри се огледају у виду површина похабаног дела, попут попречног пресека кратера на грудној површини или попречног пресека појаса хабања на леђној површини.

Линијски или једнодимензионални параметри, јесу основни параметри хабања, којима се прате димензије кратера на грудној површини и/или на појасу хабања на леђној површини резног клина.

Запремински или тродимензионални параметри представљају запремину похабаног материјала са грудних површина или леђних, али се такође може мерити и маса продуката хабања.



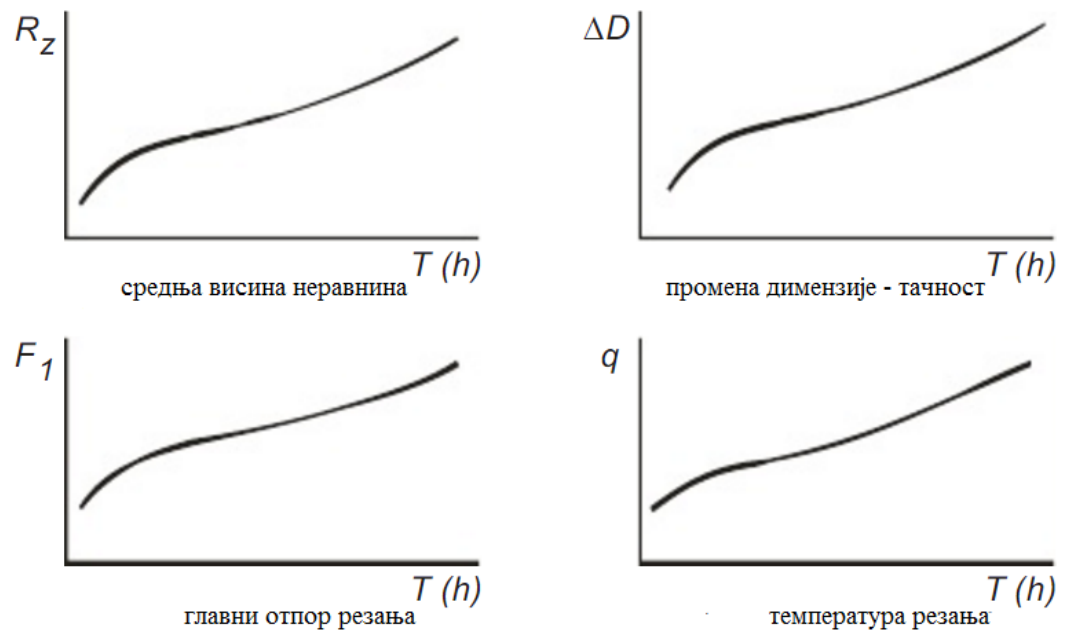
Слика 2.11. *Линијски, површински и запремински параметри хабања резног клина алата*

a-дубина кратера, b-ширина кратера, e-положај кратера, h-ширина појаса хабања, hst-средња линија ширине појаса хабања, Ag-површина попречног пресека кратера на грудној површини, Ap-површина попречног пресека појаса хабања на леђној површини, Vg-запремина похабаног материјала са грудне површине, Vp-запремина похабаног материјала са леђне површине резног клина

[1]

Индиректни параметри хабања су параметри који прате:

- храпавост обрађене површине,
- отпоре резања,
- температуре резања,
- димензије предмета обраде.



Слика 2.12. Индиректни параметри хабања [1]

Поред поменутих параметара хабања користе се и параметри релативног хабања, који представљају однос ширине појаса хабања и пута резања.

$$r_h = h / L$$

2.4. Математичко моделирање хабања

Математичким моделирањем се могу одредити процес хабања коришћењем промене параметара хабања са временом. Користе се три карактеристичне зависности: криве хабања, интензитета и отпорности на хабање. [1]

2.4.1. Криве хабања

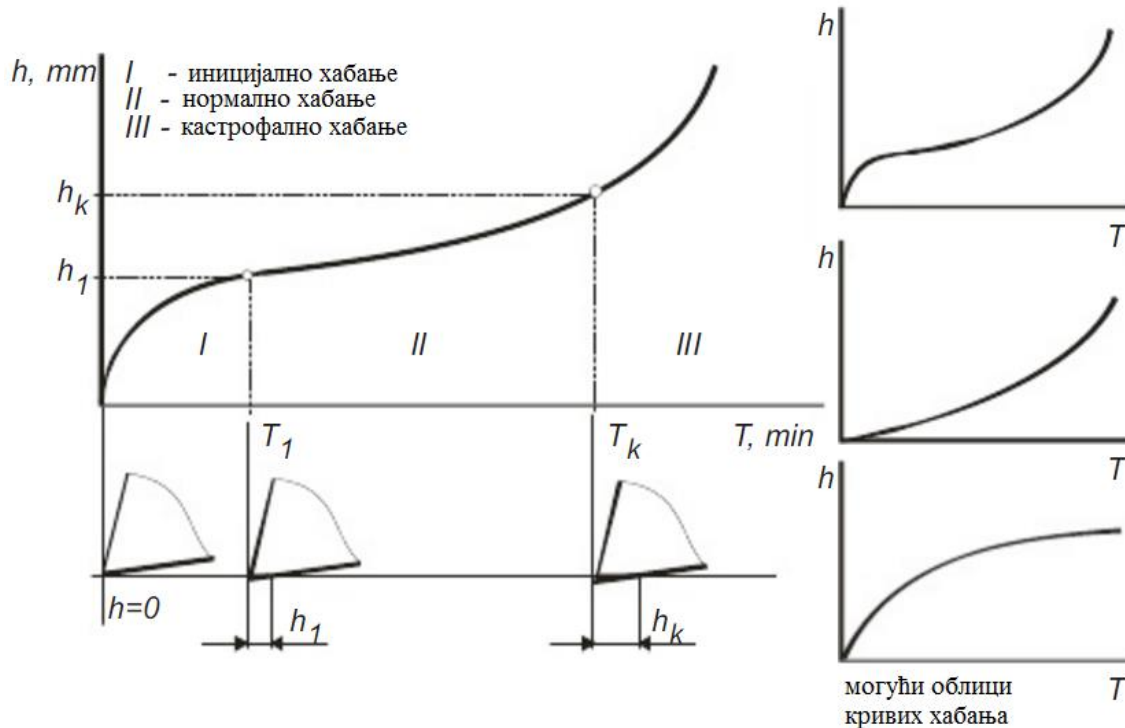
Дијаграмском зависношћу ширине појаса хабања на леђној површини резног клина алата представља се процес хабања резних елемената са временом, тј. кривама хабања. Крива хабања представља три карактеристичне зоне:

- I – иницијално, почетно хабање
- II – нормљано хабање
- III – катастрофално хабање

Иницијално хабање, зона иницијалног хабања настаје при топлотним и механичким оптерећењима, које су настале последицом мале масе резног клина алата.

Нормално хабање се интерпретира путем смањених специфичних топлотних и механичких оптерећења.

Трећа фаза представља катастрофално хабање које се јавља услед пораста ширине хабања. У овој фази алат губи одређене резне способности, постаје неупотребљив, што може довести до крзања алата, па чак и до лома.



Слика 2.13. Принципијелни и могући облици криве хабања [1]

Процес хабања резних елемената алата се може представити различитим линијским параметрима. Криве хабање зависе од изабраних параметара, а положај криве зависи од мерења, тј. праћења изабраног параметра.

Криве хабања се могу математички моделирати и представити обрасцем:

$$VB = a + b * T + c * T^2 + d * T^3$$

којим се добија зависност за све три фазе хабања. Изабрани параметар хабања може се приказати функцијом која зависи од дубине резања, корака, брзине и времена резања.

$$VB = C * a^x * S^y * V^z * T^p$$

Криве хабања се могу приказати помоћу полинома трећег степена:

$$h = C_1 T + C_2 T^2 + C_3 T^3,$$

или развијени облик:

$$h = h_p + A_1 (T - T_p) + A_2 (T - T_p)^3,$$

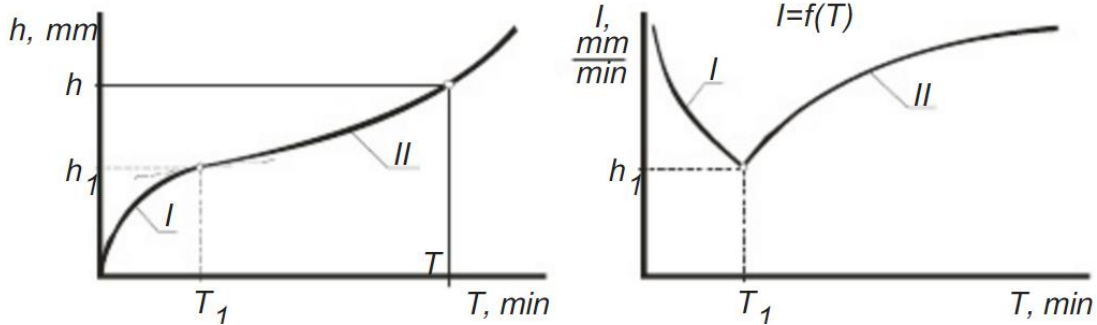
којима се представљају корелативне криве хабања.

2.4.2. Интензитет и отпорност на хабање

Интензитет хабања представља појас ширине хабања у јединици времена. На основу криве хабања $h = f(T)$, добијамо интензитет хабања резних елемената:

$$I \therefore I_I = \left(\frac{dh}{dT} \right)_I = C_1 \cdot z_1 \cdot T^{z_1-1} ; 0 \leq T \leq T_1$$

$$II \therefore I_{II} = \left(\frac{dh}{dT} \right)_{II} = C_2 \cdot z_2 \cdot T^{z_2-1} ; T_1 \leq T \leq T$$

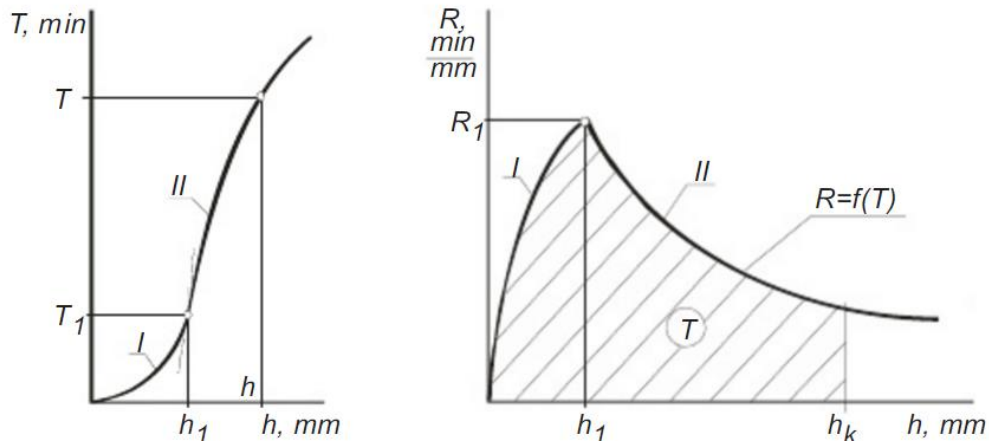


Слика 2.14. Крива хабања и интензитета хабања резних елемената алата [1]

Отпорност на хабање представља промену времена за јединицу дужине појаса. Добија се на основу $T = f(h)$, криве хабања представљеном у $T - h$ координатном систему и одређена је обрасцем:

$$I \therefore R_I = \left(\frac{dT}{dh} \right)_I = K_1 \cdot u_1 \cdot h T^{u_1-1} ; 0 \leq h \leq h_1 ,$$

$$II \therefore R_{II} = \left(\frac{dT}{dh} \right)_{II} = K_2 \cdot u_2 \cdot h T^{u_2-1} ; h_1 \leq h \leq h .$$



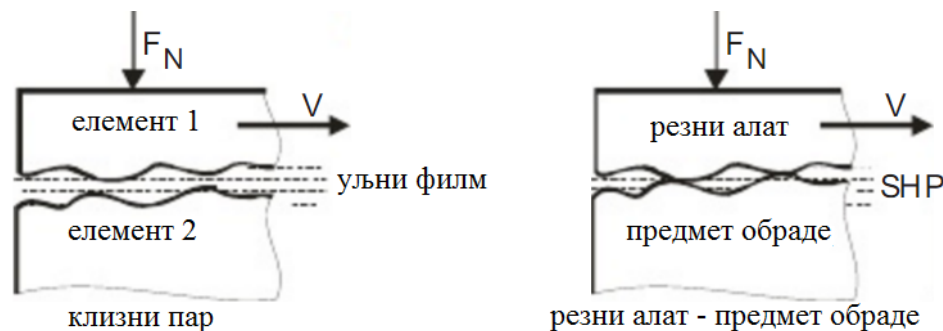
Слика 2.15. Крива хабања и отпорност на хабање резних елемената алата;
 h_k – критеријум затупљења алата

[1]

2.5. Средства за хлађење и подмазивање (SHP)

Трећи елемент трибомеханичког система представља средство за хлађење или подмазивање, при обради резањем. Примена SHP има за циљ да смањи трење на контактним површинама алата и обрадног материјала при процесу резања. Основна улога је да хлади алат и одводи продукте хабања са обрадне површине, штити алат и предмет обраде од корозије. Неке од основних карактеристика SHP-а су: способност хлађења, способност подмазивања, спречавање отровних испарења, способност заштите.

Сам развој средства за подмазивање и хлађење је заснован на томе да направи флуид који ће ефикасно да хлади зону резања, да подмазује алат и предмет обраде, али и да пре свега не утиче негативно на радника. Постоје три основне групе: *уљне емулзије*, *хемијска средства* и *чиста уља* за резање.



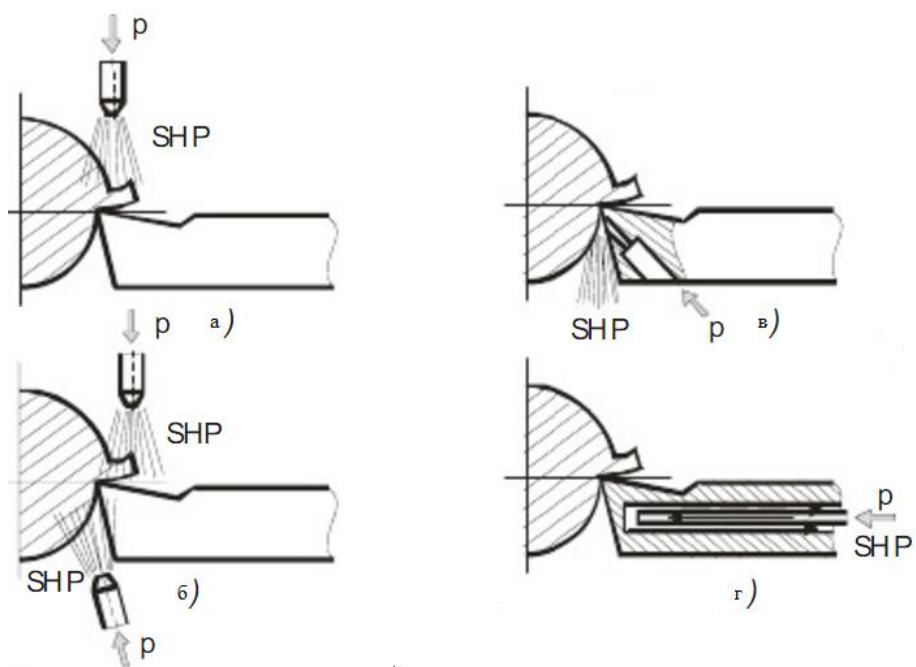
Слика 2.16. Улога и основни механизми дејства средства за хлађење и подмазивање [1]

Уљне емулзије су мешавине минералних уља, воде и емулгатора, углавном се користе у производним операцијама при великим брзинама резања и ниским вредностима отпора. Могу бити: млечне емулзије, транспарентне емулзије и млечне емулзије са ЕП адитивима.

Хемијска средства представљају растворе органских и неорганских мешавина у води са или без адитива за побољшање триболошких и осталих карактеристика средства. Могу бити: хемијска SHP за брушење и хемијска SHP за стругање, бушење и глодање.

Чиста уља за резање, то су минерална уља са или без адитива. Убрајају се и масна уља. Користе се се у операцијама где је неопходна добра способност подмазивања, као што су провлачење или израда зупчаника. Могу бити: активна са ЕП адитивима и неактивна са ЕП адитивима.

Када је у питању избор средства за хлађење и подмазивање треба узети у обзир врсту SHP-а, концентрацију SHP-а, тип адитива, као и врсте обраде, материјала алата, материјала предмета обраде. Ефекти примене средства за хлађење и подмазивање зависе од триболошких и осталих карактеристика SHP-а, врсте и услова обраде итд.



Слика 2.17. Довођење SHF и хлађење алата и предмета обраде
а) поливање преко струготине, б) под притиском у правцу грудне и леђне површине,
в) под високим притиском кроз резни алат, г) унутрашње хлађење кроз дршку алата
[1]

3. ХАБАЊЕ АЛАТА – ПОСТОЈАНОСТ АЛАТА

Технологија обраде резањем је и данас најпримењиванија технологија у производној пракси. У операцији резањем, резни алат се користи како би се уклонио материјал са предмета обраде и добио израдак одређеног квалитета обрађене површине, као и тачности мера издатка.

При обради резањем неизбежна је појава хабања алата. Нежељено хабање углавном смањује прецизност и ефективност, праћено вибрацијама што може довести до затупљења алата или лома. Неопходно је пронаћи начине који ће:

- повећати постојаност алата,
- предвидети постојаност алата и максимално га искористити,
- пратити хабање алата,
- довести до смањења трошкова

Од веома важног значаја је праћење стања алата како не би дошло до хабања истог, лома и неких непредвиђених застоја употребом похабаног алата. Хабање је важан фактор који директно утиче на производност и квалитет обрађене површине.

Правилним избором режима резања за задате техничке услове може се постићи максимално искоришћење алата, смањење трошкова производње и задовољење функционалних захтева израђеног дела. Постојност алата је у директној вези са хабањем резног дела алата, стога се на њу може утицати добрим познавањем механизма интеракција између алата и предмета обраде.

Могући начини хабања алата:

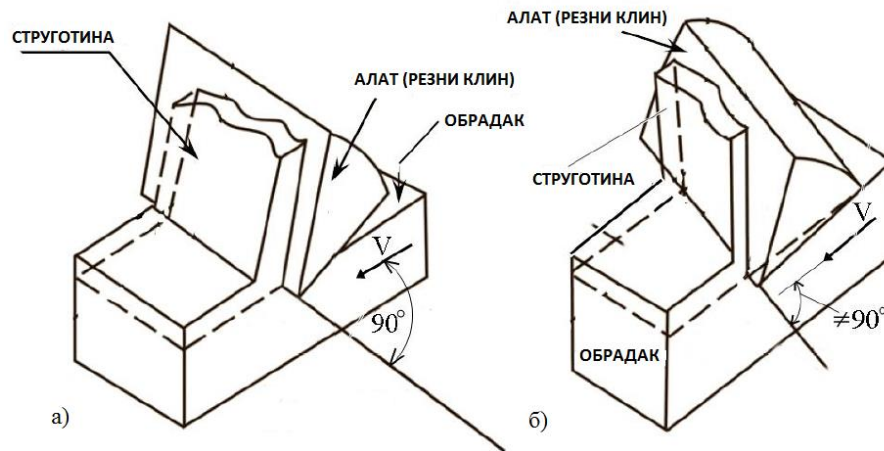
- механичка оштећења услед великих сила и удара,
- затупљења алата услед пластичних деформација,
- постепено хабање алата на леђној и грудној површини алата.

Хабање може бити спречено коришћењем одговарајућег алата као и грометрије која зависи од карактеристика материјала предмета обраде и услова обраде. Неизбежно је постепено хабање алата, али се може успорити, док су прва два начина много више неповољна што се тиче самог алата, али такође и машине алатке.

Постојаност алата се може дефинисати као способност очувања резних карактеристика у експлоатационим условима. Савремени алати ретко отказују или ломе, углавном је то постепено хабање што омуглава његово оштрење, самим тим и мањи су трошкови.

3.1. Приступи моделирања процеса резања

Резање представља продирање резног клина у материјал под дејством неке механичке силе. У зони контакта између радних површина алата и материјала долази до појаве пластичних деформација, разарања и одвођења слоја материјала, тј. струготине. Разликују се две врсте резања, када је правац кретања резног клина између алата и предмета обраде нормалан на сечиво резног клина, ортогонално резање, и када је кретање под углом у односу на сечиво резног клина, косо резање.

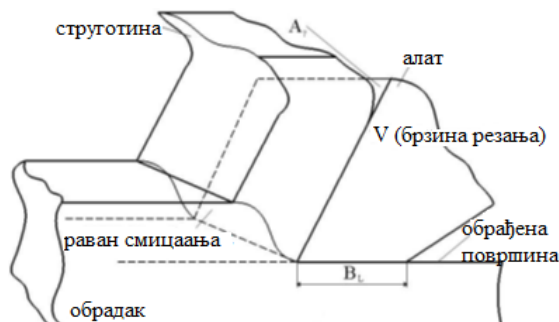


Слика 3.1. Продирање резног клина алата у материјал при: а) ортогоналном и б) косом резању [5]

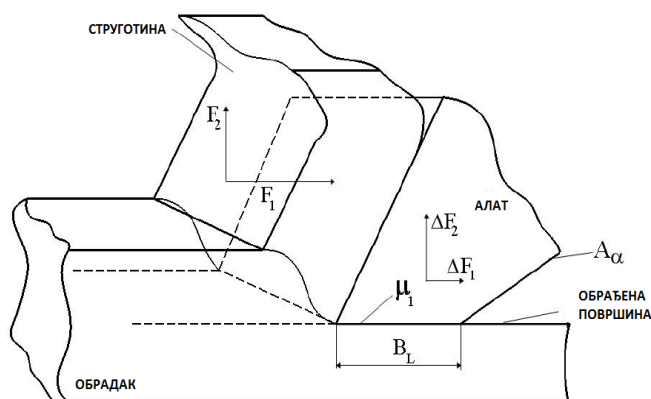
Постоје три начина моделирања сила за случај оштрог алата:

- **Теоријски приступ** – користи критеријум минималне енергије и теорију пластичности као основе моделирања процеса резања. Полази се од тога да се укупни утрошени рад састоји од: рада утрошеног у равни смицања за формирање струготине, утрошеног рада силе трења између струготине и грудне површине алата док је рад неопходан за одвајање струготине од обрадка на самој резној ивици алата практично занемарљив.
- **Механистички приступ** – користи минималан број експеримената са оштрим алатом у циљу предвиђања сила резања узимајући у обзир дијапазон режима резања и под претпоставком да су силе резања пропорционалне пресеку струготине
- **Рачунарски приступ** – укључује метод коначних елемената и симулацију молекуларне динамике.

Оба поменута модела резања захтевају да је алат идеално оштар због чега се при моделирању сила не узима у обзир повећање сила постојања ширине леђног појаса хабања и хабања грудне површине алата (кратера). Хабање на грудној и леђној површини доводи до геометријских промена на алату што смањује или повећава силе резања.



Слика 3.2. Продирање резног клина алата у материјал при ортогоналном резању и појава хабања алата на леђној површини [5]



Слика 3.3. Упрошћени приказ модела ортогоналног резања који узима у обзир ширину леђног појаса хабања алата као и пораст отпора резања [5]

Ефекат трења између обрађене површине и леђне површине алата повећава отпор резања: F_1 – главни отпор резања, F_2 – отпор продирања, ΔF_1 – пораст главног отпора резања услед постојања ширине леђног појаса хабања као и трења леђне површине алата и обрађене површине, ΔF_2 – пораст отпора продирања услед постојања ширине леђног појаса хабања као и трења леђне површине алата и обрађене површине.

На основу упрошћеног приказа модела ортогоналног резања који узима у обзир хабање алата као и ефекат трења могуће је дефинисати укупан отпор резања као:

$$F_{1_{\text{УК}}} = F_1 + \Delta F_1 = F_1 + \mu_1 \cdot \Delta F_2$$

$$F_{2_{\text{УК}}} = F_2 + \Delta F_2 = F_2 + \frac{\Delta F_1}{\mu_1}$$

$$\mu_1 = \frac{\Delta F_1}{\Delta F_2}$$

3.2. Видови хабања алата

Хабање алата је последица трења које настаје при кретању две спрегнуте површине, тј. између алата и предмета обраде. На брзину и интензитет хабања утиче велики број фактора. Неки од њих су:

- брзина релативног кретања,
- величина површинског притиска,
- коефицијент трења,
- материјали елемената који су у додиру,
- квалитет спрегнутих површина,
- употреба средстава за хлађење и подмазивање,
- температура у зони резања,
- време трајања кретања између спрегнутих површина.

У зависности од тога који су фактори доминантни, механизми хабања алата могу се класификовати у видове хабања: **механичко** и **физичко-хемијско хабање**.

Механичко:

- абразивно хабање,
- микрорезање хабање.

Физичко-хемијско хабање:

- трибохемијско хабање,
- адхезионо хабање,
- дифузионо хабање,
- оксидационо хабање,
- хабање услед замора.

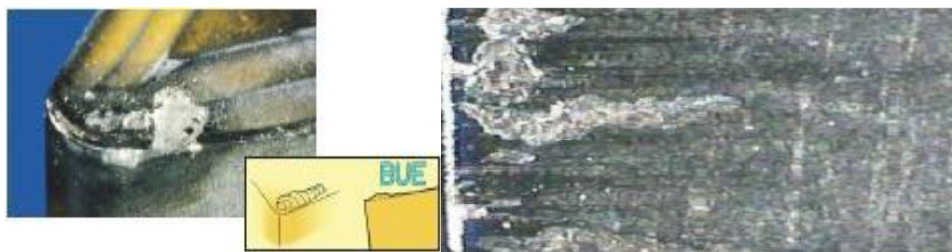
Абразивно хабање представља микрорезање површинских слојева проузроковано тврдим честицама у виду продуката хабања, продуката сагоревања легирајућих елемената у средству за хлађење и подмазивање. Абразивно хабање зависи од хемијског састава материјала предмета обраде и алата, а присутно је при обради малим брзинама резања и кораку.



Слика 3.4. Абразивно хабање [4]

Трибохемијско хабање је последица хемијског дејства средства за хлађење и подмазивање, различитих процеса између материјала предмета обраде и алата, утицаја околине.

Атхезионо хабање настаје као процес микрочаваривања површина у контакту предмета обраде и алата. Појава овог хабања узрокује се повишеним температурама и високим притисцима при непрекидном клизању струготине по грудној површини резног клина алата. Применом средства за хлађење и подмазивање смањује се овај вид хабања. Присутно је на свим температурама, а његов интензитет се повећава у зависности од температуре.



Слика 3.5. *Атхезивно хабање* [4]

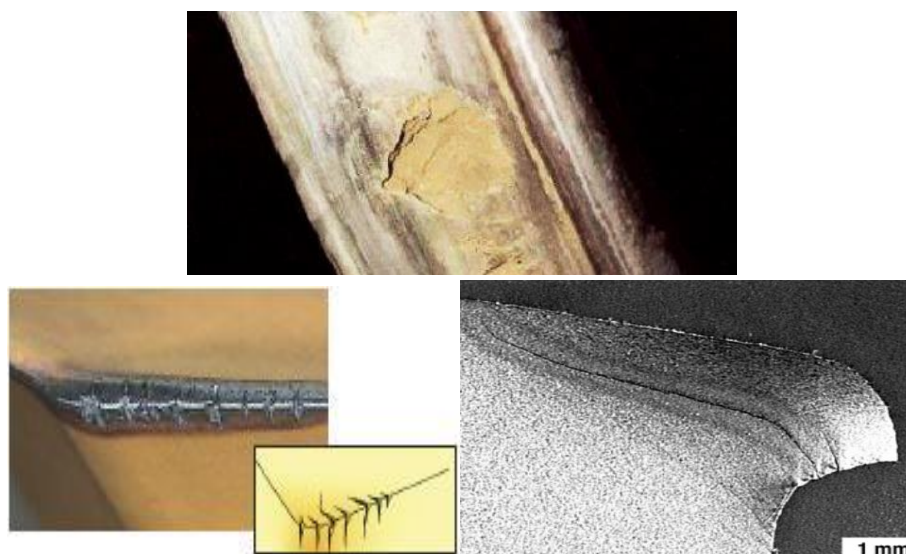
Дифузионо хабање настаје при температурама изнад 800-850 °C услед дифузионог растварања материјала алата у материјалу предмета обраде и обрнуто. Најчешће се јавља код тврдих метала, резне керамике и дијаманата. Пример овог хабања је обрада алуминијума од алатне резне керамике.



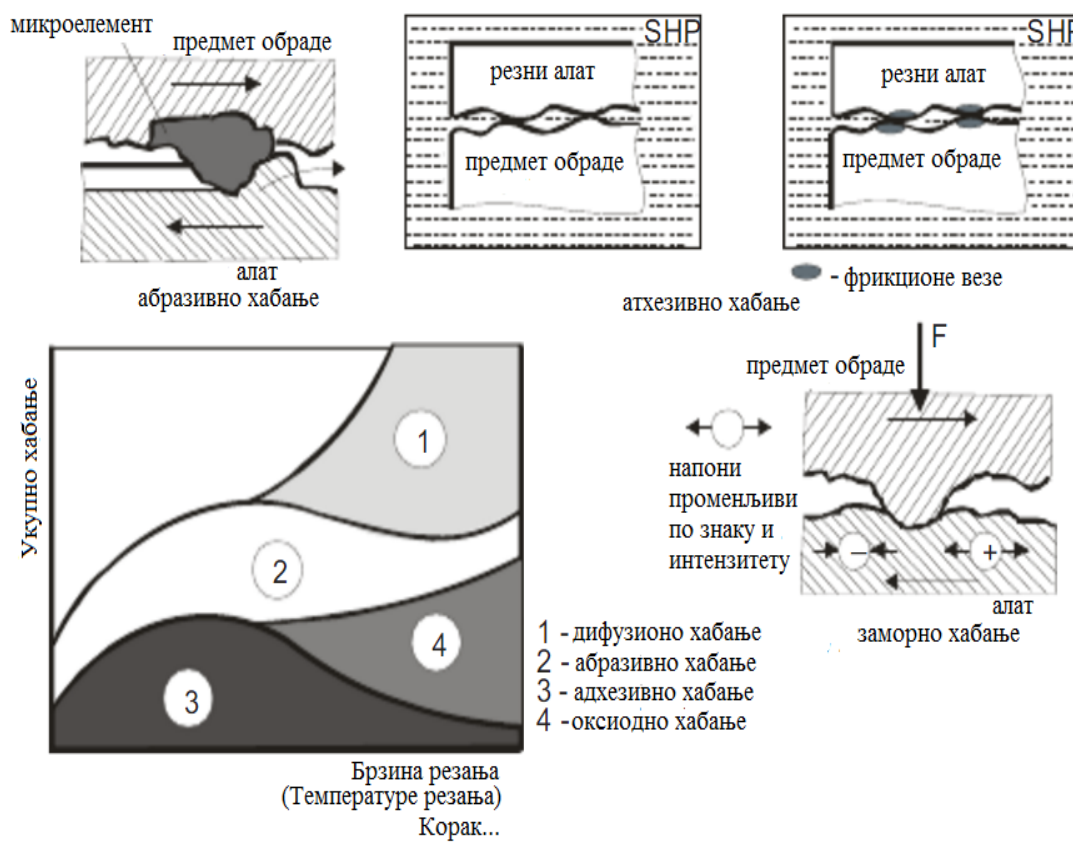
Слика 3.6. *Дифузионо хабање* [4]

Оксидационо хабање настаје у зони резања при високим температурама, тј. великим брзинама резања. Појава оксидационог слоја доводи до слабљења материјала. Оксидационо хабање настаје као резултат узајамног деловања материјала са кисеоником који имају малу чврстоћу и брзо се разарају.

Хабање услед замора настаје у условима динамичких оптерећења. На површини материјала долази до одвајања материјала, чији је узок појава микроруптуре које прерастају у макроруптуре услед периодичног променљивог оптерећења. Одвајањем се стварају кратери и јаме.



Слика 3.7. Заморно хабање [4]



Слика 3.8. Основни механизми хабања резног клина алата [1]



Слика 3.9. Присуство свих механизма хабања при обради резањем

3.3. Места хабања алата

Сваки процес обраде праћен је хабањем алата. У најповољнијем случају то је постепен процес кога описују један или више механизма хабања. Поред постепеног хабања јавља се и прекомерно хабање које може довести до лома алата.

Постоје два места хабања, на леђној површини (леђни појас) и грудној површини алата (кратер). Услед високих температура изазване трењем струготине и грудне површине алата, долази до појаве кратера. Величина кратера утиче неповољно на резно сечиво алата, што у најгорем случају може довести до лома алата. Последицом трења између леђне површине алата и обрађене површине јавља се постепено хабање леђног појаса. У табели су приказане просечне дозвољене вредности ширине леђног појаса хабања, конкретно за стругарске ножеве.

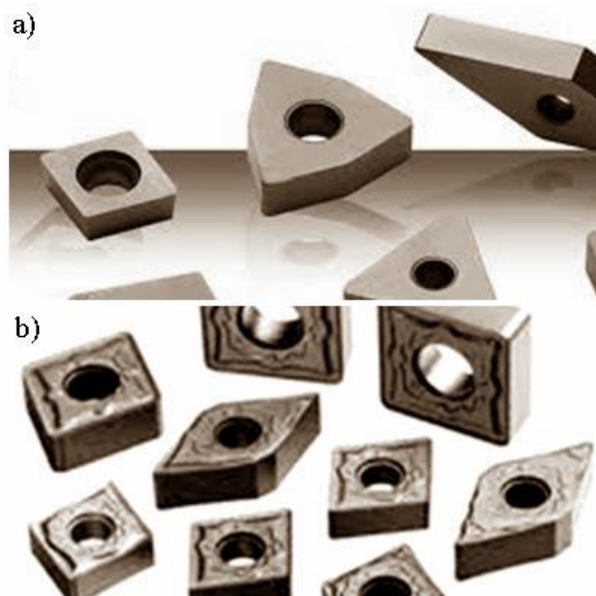
				Дозвољене вредности ширине појаса хабања на леђној површини $B_{L, doz}$ [mm]	
Материјал алата	Тип алата	Материјал обратка	захват	без SHP	са SHP
Брзорезни челик, HSS	спољашње струганје	челик, ковано ливено гвоџе	грубо струганје	0.5-1.0	1.5-2.0
			fino струганје	0.3-0.5	
		сиви liv	fino струганје		
			грубо струганје	3-4	
	бушење и усецање	челик, ковано ливено гвоџе	грубо струганје	0.3-0.5	1.5-2.0
			сиви liv	грубо струганје	1.5-2.0
	одсецање, parting tool	челик, ковано ливено гвоџе	грубо струганје	0.3-0.5	0.8-1.0
Синтерован карбид (тврди метал)	профилни ножеви	челик	грубо струганје		0.4-0.5
		челик	грубо струганје		2
	за навој	челик	грубо струганје		
Синтерован карбид (тврди метал)	сви типови	челик	грубо и fino струганје	0.8-1.0	
		сиви liv	грубо струганје	1.4-1.7	
Синтерован метал оксид	сви типови	челик и ливено гвоџе	fino струганје	0.8	

Слика 3.9. Табела дозвољених вредности ширине појаса хабања на леђној површини [5]

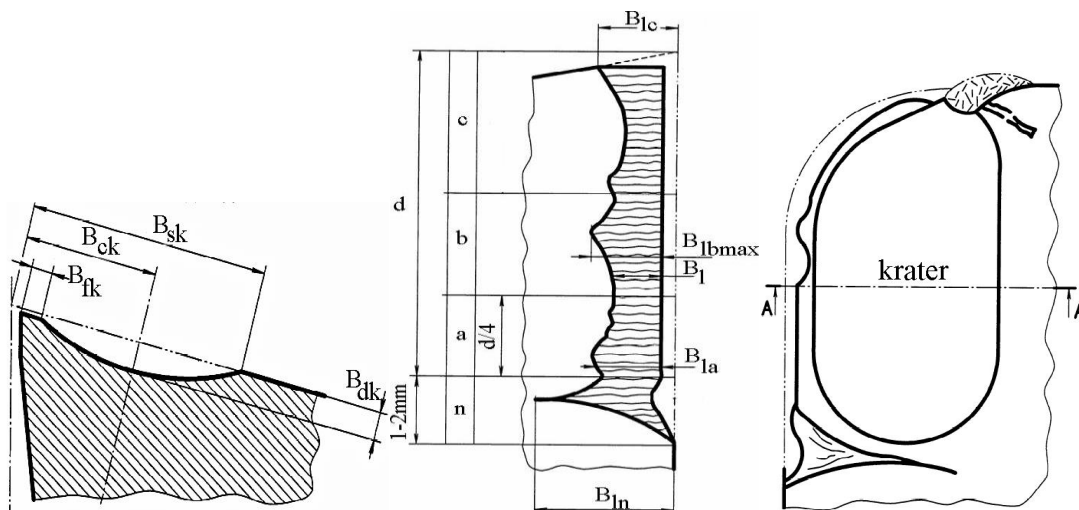
Конструктивна извођења плочица од тврдог метала могу бити: алати за захвате стругања са изменљивим карбидним плочицама могу се поделити на:

- равне плочице,
- са ломачима струготине и
- са каналима за одвођење струготине.

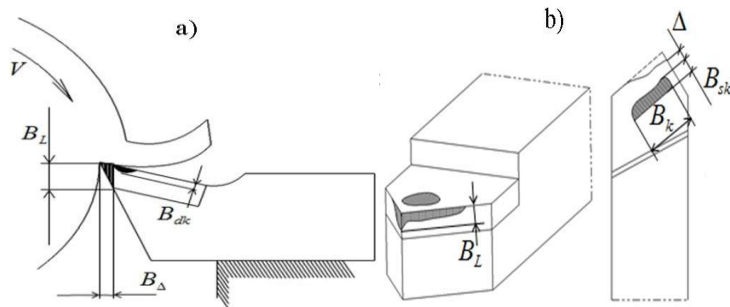
Када су у питању облици хабања алата, треба обратити пажњу који тип резних плочица се користи. При обради класичним плочицама од тврдог метала, мера постојаности алата се узима као дозвољена вредност хабања грудне и леђне површине (ширина леђног појаса B_L , ширина кратера хабања B_{sk} , дужина кратера хабања B_L и дубина кратера B_{sk}).



Слика 3.10. Типови резних плочица: а) равне и б) са каналима [5]



Слика 3.11. Места хабања алата равних карбидних плочица ISO 3685 [5]



Слика 3.12. Места хабања стругарског ножа

а) B_L - ширина појаса хабања леђне површине алата, B_{Δ} - скраћење врха алата, B_{dk} - дубина кратера; б) B_{sk} - ширина кратера хабања, B_k - дужина кратера хабања [5]

3.4. Утицај брзине резања на врсте хабања

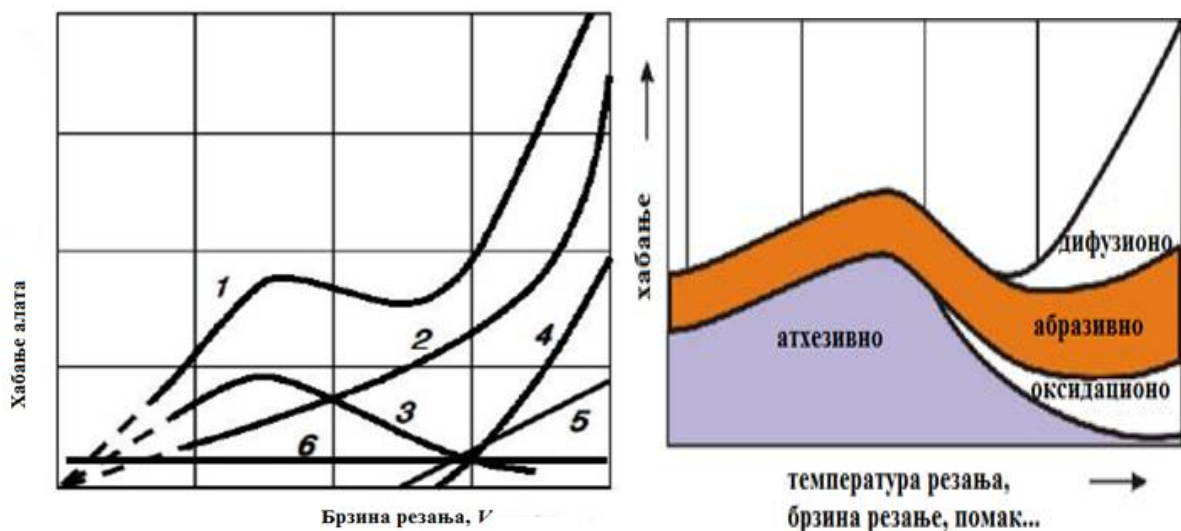
Најчешћи процесни услови резања су такви да се истовремено јављају све врсте хабања. Утицај брзине резања је од веома важног значаја за фактор хабања. Са повећањем брзине атхезивно хабање је мање интензивно док су дифузионо и оксидационо доста напредовали. Разлог овога је зато што се брзином резања повећава температура резања која ј главни узрочник дифузионог и оксидационог хабања.

У пракси се најчешће користе два критеријума оптималне брзине резања:

- најкраће време обраде једног комада – највећа продуктивност
- најнижи трошак обраде једног комада – највећа економичност

Превелика брзина резања може проузроковати:

- превелико хабање алата, лом или одвајање делова алата
- прегревање предмета обраде, што може довести до промене структуре површинског слоја



Слика 3.13. Зависност механизма хабања од брзине резања

1-укупно хабање, 2-абразивно хабање, 3-атхезивно хабање, 4-дифузионо хабање, 5-оксидационо хабање, 6-пластична деформација

3.5. Методе мерења хабања алата

Када је у питању праћење хабања резних елемената користе се бројне методе мерења параметара хабања. Најчешћа подела је на: **директне** и **индиректне**.

3.5.1. Директне:

- *масене методе,*
- *метода отисака,*
- *микроскопске,*
- *радиоактивне методе.*

Масене методе састоје се у мерењу масе алата пре и после резања. Разлика масе представља похабаност резног клина. Данас се за овај метод користе високопрецизне аналитичке ваге.

Методе отисака

Вредност параметра хабања се мери на отиску резног клина. Отисак контактних површина се израђује коришћењем специјалних полимера.

Микроскопска метода заснована је на примени различитих мерних микроскопа (алатни, универзални). Овом методом се мере линијски параметри хабања на леђној и грудној површини. За мерење ширине појаса хабања користе се нумерички микроскоп са скалама, алатни микроскопи, оптички итд. За мерења параметара кратера на грудној површини користе се компаратери, профилограф итд. Микроскопске методе захтевају дуготрајна истраживања, што ствара велике трошкове, велики утрошак енергије, а такође нису ни меродавни.

Радиоактивне методе

Суштина ове методе је да је део резног клина изложен бомбардовању неутрона при чему постаје радиоактиван. На тај начин се у малој маси на резном клину јављају одређени изотопи који обезбеђују високо специфичну и ниску укупну радиоактивност. У процесу резања радиоактивност одлази заједно са струготином. Струготина се скупља и мери се њена радиоактивност. Мерењем радиоактивности алата и повременим мерењем релативног параметра хабања, микроскопском методом, добијају се функције зависности радиоактивности алата и параметра хабања резних елемената алата.

3.5.2. Индиректне методе

Прате промене на предмету обраде у процесу резања, у средству за хлађење и подмазивање. Класификација метода:

- *микрорендегеноскопске анализе струготине и предмета обраде,*
- *квалитативне и квантитативне анализе продукта хабања,*
- *праћења промена са временом.*

Метод микрорендгеноскопске анализе идентификује честице алатног материјала на обрађеној површини и струготини.

Методом квалитативне и квантитативне анализе продукта хабања у средству за хлађење и подмазивање одређује присуство продуката хабања, њихов хемијски састав и димензије честица. У њих спадају:

- методе спектографске анализе,
- метод форографије,
- метод квантификатора честица,
- метода радиоактивних изотопа.

Праћења промена са временом:

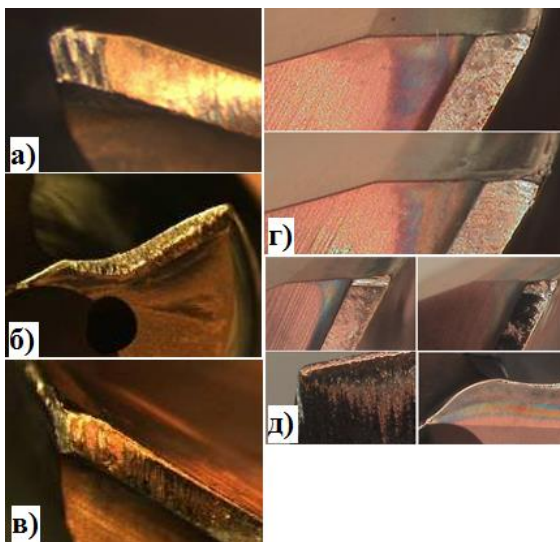
- параметара храпавости обрађене површине,
- димензија обраде,
- отпора резања,
- температура резања.

4. МАТЕРИЈАЛ РЕЗНОГ АЛАТА

Избор материјала резног алата и процес израде је важан фактор који треба узети у обзир приликом планирања успешне обраде метала. Основна сазнања о сваком материјалу алата за резање и његовим перформансама је битна тако да се може направити тачан избор за сваку апликацију. Разматрања обухватају материјал предмета обраде, тип и облик компоненте, услови обраде и ниво квалитета површине који су потребни за сваку операцију.

Основни материјали који се користе за израду резних алата су:

- алатни челици
- тврди метали
- алатна керамика
- супер тврди материјали



Слика 4.1. Хабање резног клина алата

а), д) – нелегирани челик; б), г) – нисколегирани челик; в) - високо легирани челик [4]

4.1.1. Алатни челици

-угљенични алатни челици-

Ова група челика може издржати велике брзине резања и веће пресеке струготине, јер је постојана на температури до 200 °С. Углавном су то челици: $\check{C}1941$, $\check{C}1944$, који се користе за израду алата за израду навоја и бургија код челичних и других металних припремака.

-легирани алатни челици-

Могу поднети веће брзине резања у односу на претходну групу, стога су и постојанији на вишим температурама. Углавном се користе: $\check{C}4142$ (алат за резање при мањој брзини), $\check{C}4143$ (за алате који обрађују мекше челике и обојене метале), $\check{C}6840$, $\check{C}6841$, $\check{C}6842$ (бургије, глодала, који раде малом брзином резања)

-брзорезни челици-

Због веће постојаности на температурама већих од 600 °C, издржавају велике брзине и велика оптерећења. Алати ове групе челика су изложени великим помацима и дубинама резања, али и малим брзинама. Служе за израду лата за обраду челика, челичног и сивог лива.

4.1.2. Тврди метали

Поседују велику тврдоћу јер представљају природну мешавину тврних карбида и одређеног везивног средства. Употребљавају се за израду висококвалитетних резних алата код којих се примењују велике брзине резања, као добијање веома квалитетне обрађене површине. Резни алати од тврних легура имају боља својства од алата израђених од брзорезних челика, нарочито боља својства на високим температурама. Израђују се процесом синтеровања (тврде легуре на бази волфрам-карбида, титанијум-карбида) и процесом ливења (стелити). Због велике тврдоће тврди метали се не могу термички обрађивати и не подлежу пластичним деформацијама.

4.1.3. Алатна керамика

Слика 4.2. Алатна керамика [4]

Сви керамички резни алати имају изузетну отпорност на хабање при високим брзинама резања. Постоји низ керамичких класа за различите примене. Одликује је велика постојаност на високим температурама. Алати подnose велике брзине резања и добија се врло чиста обрађена површина, јер не хватају насlage на врху ножа. Углавном се примењују за завршну обраду због велике крутости и мале чврстоће.

- оксидна керамика која првенствено садржи алуминијум оксид (Al_2O_3),
- мешана керамика која првенствено садржи алуминијум оксид (Al_2O_3), али садржи остале компоненте, осим оксида,
- нитридна керамика која садржи првенствено силицијум нитрид (Si_3N_4),
- керамика као поменуте, али са превлаком.

4.1.4. Супер тврди материјали

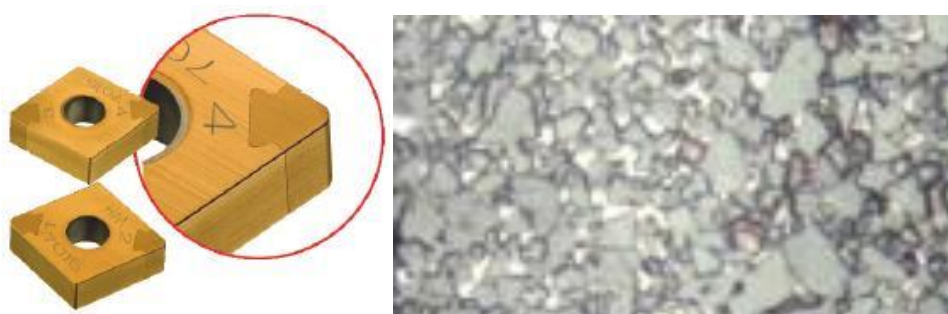
Имају велику отпроност на хабање и високе температуре, поседују велику тврдоћу. Користе при великим брзинама резања (100-1000 m/min), и малим дубинама. Не користе се

за резање угљеника због великог афинитета угљеника. Најчешће се користе поликристални дијамант и синтетички дијамант, као и кубни бор нитрид.

Материјали алата за сечење имају различите комбинације тврдоће, жилавости и отпорности на хабање, и подељени су на бројне врсте са специфичним својствима. Уопштено говорећи, материјал за алат за резање који је успешан у својој примени треба да буде:

- чврст, да се одупре обради и деформацији крила и прелома,
- да не реагује са материјалом предмета,
- хемијски стабилан, отпоран на оксидацију и дифузију
- отпоран на изненадне термичке промене.

-Поликристални кубни бор нитрид-



Слика 4.3. Поликристални кубни бор нитрид (CBN) [4]

Поликристални кубни бор нитрид, CBN, је материјал са одличном топлотном тврдоћом која се може користити при врло високој брзини резања. Такође показује добру жилавост и отпорност на топлотни удар. Модерни CBN је керамички композит са садржајем CBN од 40-65%. Керамичко везиво додаје отпорност на хабање CBN-у, што је иначе склоно хемијском хабању. Још једна група су CBN високог садржаја, са 85% до скоро 100% CBN. Могу имати метални везив за побољшање њихове жилавости. CBN се углавном користе за завршну обраду очврснутих челика, чврстоће преко 45 HRC.

-Поликристални дијамант-



Слика 4.4. Поликристални дијамант [4]

PCD је композит дијамантских честица синтерованих заједно са металним везивом. Дијамант је најтврђи и стога најсигурнији од свих материјала. Као алат за сечење, има

добру отпорност на хабање, али му недостаје хемијска стабилност на високим температурама и лако се раствара у гвожђу. PCD алати су ограничени на обојене материјале, као што су силицијум алуминијум, композитни материјали од метала и пластика ојачана угљеничним влакнима.

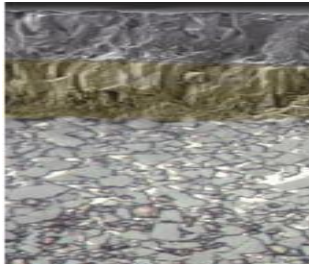
4.2. Цементно карбидни премаз

Заварени цементиран карбид тренутно представља 80-90% свих уметака за резање. Његов успех као материјал алата је због његове јединствене комбинације отпорности на хабање и жилавости, и његове способности да се формирају у сложеним облицима.



Слика 4.5. Цементно карбидни премаз [4]

4.2.1. Превлака CVD



Слика 4.6. Превлака CVD [4]

CVD означава хемијско испаравање. Премаз CVD генерише се хемијским реакцијама на температурама од 700-1050 °C. Премази CVD имају високу отпорност на хабање и одличну адхезију до цементираног карбида.

Први цементиран карбид са CVD премазом је био слој титаниум карбида од једног слоја (TiC). Алуминијумски премази (Al_2O_3) и титаниум нитрида (TiN) су уведени касније. Недавно су развијени модерни титанијум карбон-нитридни премази (MT-Ti (C, N) или MT-TiCN, такође названи MT-CVD) како би се побољшале особине квалитета.

-MT-Ti (C, N) - Његова тврдоћа пружа абразивну отпорност на хабање, што резултује смањеним хабањем крила.

-CVD- Al_2O_3 - Хемијски инертан са ниском топлотном проводношћу, чинећи га отпорним на хабање кратера. Такође делује као топлотна баријера за побољшање отпорности на пластичну деформацију.

-CVD-TiN - Побољшава отпорност на хабање и користи се за детекцију хабања.

4.2.2. Превлака PVD



Слика 4.7. Превлака PVD[4]

Облоге са физичким испаравањем (PVD) се формирају на релативно ниским температурама (400-600 °C). Процес укључује испаравање метала који реагује са, на пример, азотом, како би се формирао тврди нитридни премаз на површини алата за резање.

PVD превлаке повећавају отпорност на хабање на квалитет због њихове тврдоће. Основни саставни делови PVD-а су описани у наставку. Модерни премази су комбинације ових састојака у секвенцираним слојевима и / или ламелним премазима. Ламеларни премази имају бројне танке слојеве, у нанометарском опсегу, што додатно отежава превлаку. PVD премази се препоручују за тешке, али оштре, резне ивице, као и материјале за размазивање.

- PVD-TiN - Титанијум нитрид је био први PVD премаз. Има свеобухватна својства и златну боју.
- PVD-Ti (C, N) - Титанијум карбонитрид је тежи од TiN и додаје отпорност на хабање на боку.
- PVD- (Ti, Al) N - Титанијум алуминијум-нитрид има високу тврдоћу у комбинацији са отпорношћу на оксидацију, што побољшава укупну отпорност на хабање.
- PVD-оксид - Користи се за његову хемијску инертност и побољшану отпорност на хабање кратера.

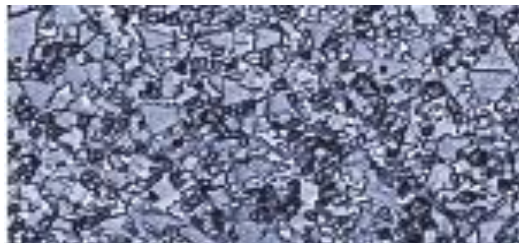
4.2.3. Цементни карбид

Цементни карбид је прашкасти металуршки материјал; композитни део честица волфрамовог карбида (WC) и везиво богато металним кобалтом (Co). Цементни карбиди за сечење метала се састоје од више од 80% тврде фазе WC-а. Додатни кубни карбон-нитриди су друге важне компоненте, нарочито у градијентовим синтеровима. Тело за цементни карбид се формира, било кроз технике пресовања праха или технике убризгавања, у тело, које се затим синтрира до пуне густине.

WC зрна величине је један од најважнијих параметара за прилагођавање тврдоће/живавости; већа величина зрна значи већу тврдоћу у датом садржају фазе везивања. Количина и састав Co-богатог везива контролише живавост и отпорност на пластичну деформацију. Код једнаке величине зрна WC-а, повећана количина везива ће резултовати бољом оценом, што је више склоно хабању од пластичне деформације. Садржај везива који је сувишен низак може довести до крхких материјала. Углавном су

кубни карбонитриди, такође названи γ -фаза додата да повећава врућу тврдоћу и да створи градијенте.

Градијенти се користе за комбиновање побољшане отпорности пластичне деформацијеса жилавостом ивице. Кубни карбон-нитриди концентрисани у резној ивици побољшавају врућу тврдоћу где је потребно. Осим резне ивице, везиво богато структуром картера од тврдог метала спречава пукотине и преломе чекова.



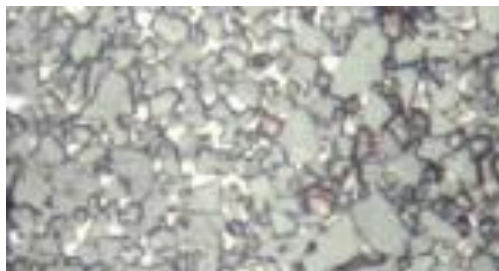
Слика 4.8. Средња до груба величина зрна WC-а [4]

Средње до грубе величине зрна WC-а пружају цементне карбиде са супериорном комбинацијом високе вруће тврдоће и жилавости. Користе у комбинацији са CVD или PVD премазима у свим категоријама.



Слика 4.9. Фина или субмикронска зрна зрна [4]

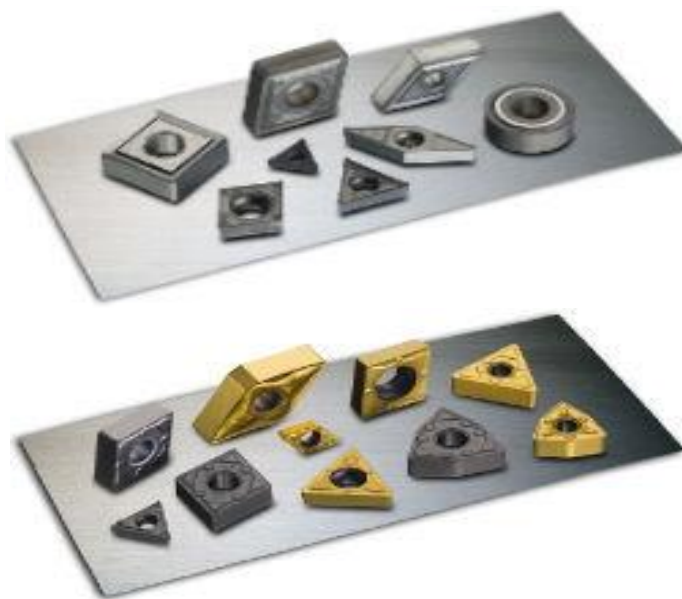
Фине или субмикронне величине зрна WC се користе за оштре резне ивице са PVD премазом како би се додатно побољшала чврстоћа оштре ивице. Такође имају користи од супериорне отпорности на термичка и механичка циклична оптерећења. Типичне примене су чврсте карбидне бушилице, чврсте карбидне завршне млинове, одрезивање и бризгање, глодање и оцене за завршну обраду.



Слика 4.10. Цементни карбид са градијентом [4]

Користан двоструки својство нагиба успешно се примјењује у комбинацији са CVD премазима у многим првим изборима за окретање, раздвајање и жљебање у челика и нерђајућих челика.

4.2.4. Непокривени цементни карбид

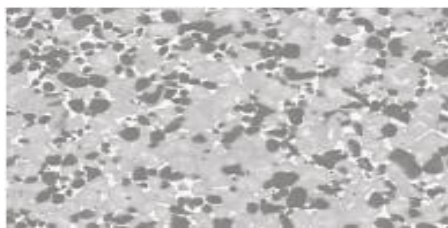


Слика 4.11. Непокривени цементни карбид [4]

Цементирани карбидни слојеви без премаза су или равни WC/Co или имају велику количину кубних карбонитрида.

Типични примени су машинска обрада HRSA (супер-легура отпорних на топлоту) или легуре титана и окретање очврслих материјала при малој брзини. Брзина хабања без премаза цементираног карбида контролисано.

4.2.5. Цермет



Слика 4.12. Цермет [4]

Цермет је цементни карбид са тврдим честицама на бази титана. Име цермет комбинује речи керамика и метал. Првобитно, цермети су били композити TiC и никла (Ni). Модерни цермети су без никла и имају пројектовану структуру титанијум карбонитрида Ti (C, N) језгре честица, другу тврду фазу (Ti, Nb, V) (C, N) и V-богато кобалт везиво. Ti (C, N) додаје отпорност на хабање, друга тешка фаза повећава отпорност на пластичну деформацију, а количина кобалта контролише жилавост.

У поређењу са цементираним карбидом, цермет је побољшао отпорност на хабање и смањене тенденције замућења. С друге стране, такође има и слабију отпорност на термички отпор. Цермети такође могу бити PVD премаз за побољшану отпорност на хабање.

5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНИ ДЕО

Експериментални део је обављен у лабораторији за обраду метала резањем и трибологију на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу.

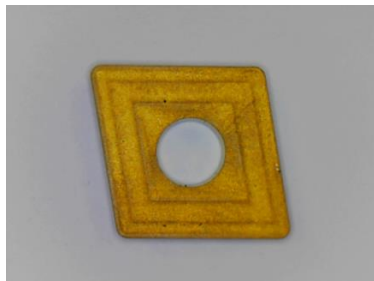
За експериментална испитивања мерења хабања на леђној површини резне плочице вршено је на универзалном микроскопу UIM-21 на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу, где је и вршена анализа добијених резултата.



Слика 5.1. Универзални микроскоп UIM-21

Испитивања су вршена при обради стругањем предмета обраде од 30CrNiMo8 (Ѕ5432) пречника 70 mm, дужине 400 mm, у побољшаном стању тврдоће 40 HRC, на универзалном стругу D-480, Првوماјска, снаге 10KW, без присуства средства за хлађење и подмазивање.

Стругарски нож – С
PCLNR 2525M12 „CORUN“ Ужице
Плочица:
CNMM 120408 ознака плочице
4025 ознака квалитета превлаке
P25 ознака квалитета тврдог материјала

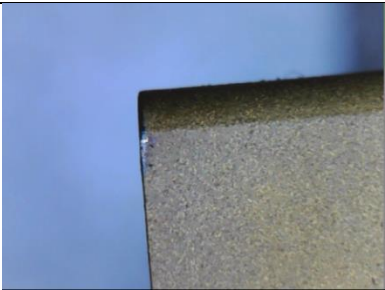
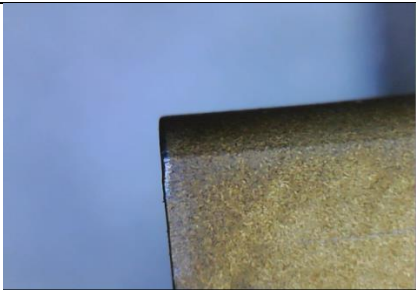
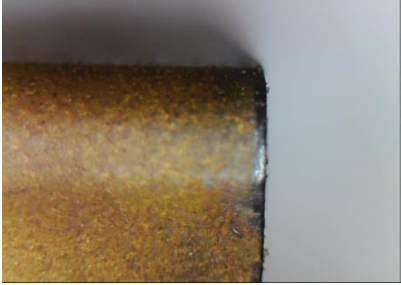
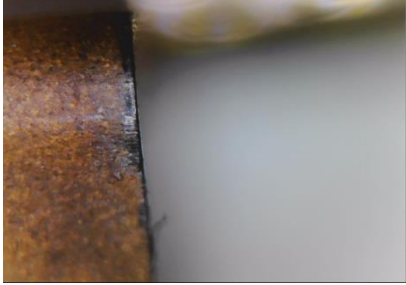
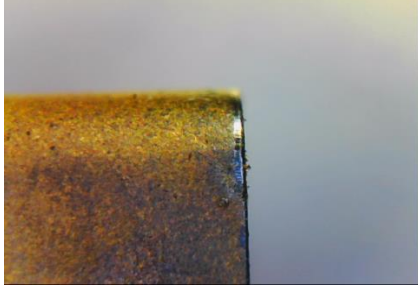
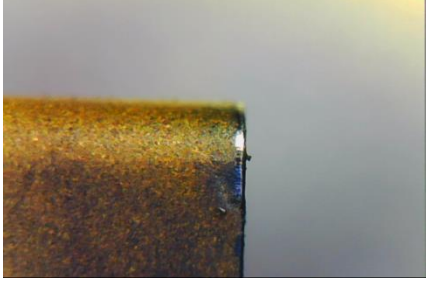
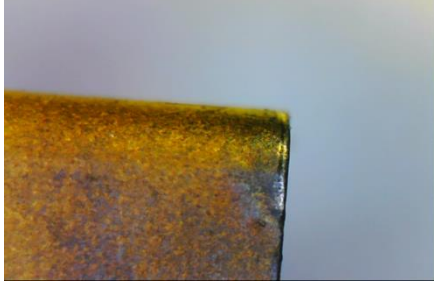


Слика 5.2. Резна С - плочица

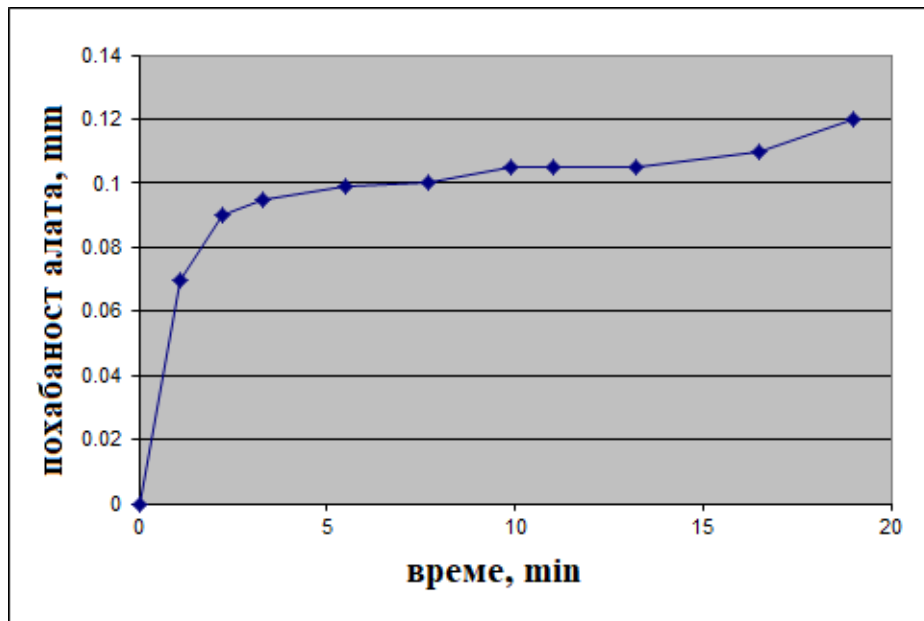
Слика 5.3. Процес обраде резањем *C* - плочицом

Број обртаја	Дужина	Дубина резања	Време	Дубина хабања алата	Корак	Брзина резања
n , [o/min]	L , [mm]	a , [mm]	t , [min]	h , [mm]	s , [mm/o]	v , [m/min]
			0	0		
560	100	1	1.1	0.07	0.16	~150
560	100	2	2.2	0.09	0.16	~150
560	100	3	3.3	0.095	0.16	~150
560	100	5	5.5	0.099	0.16	~150
560	100	7	7.7	0.1	0.16	~150
560	100	9	9.9	0.105	0.16	~150
560	110	10	11	0.105	0.16	~150
560	130	12	13.2	0.105	0.16	~150
560	130	15	16.5	0.11	0.16	~150
710	340	16	19	0.12	0.16	~150

Слика 5.4. Табела са одређеним карактеристикама који прате процес резања са посебним освртом на дубину хабања алата *C* – плочице

 a=1 mm t=1.1 min, s= 0.16 mm/o, v~150 m/min h=0.07 mm L=100 mm, n=560 o/min	 a=2 mm t=2.2 min, s=0.16 mm/o, v~150 m/min h=0.09 mm L=100 mm, n=560 o/min
 a=5 mm t=5.5 min, s=0.16 mm/o, v~150 m/min h=0.099 mm L=100 mm, n=560 o/min	 a=7 mm t=7.7 min, s=0.16 mm/o, v~150 m/min h=0.1 mm L=100 mm, n=560 o/min
 a=9 mm t=9.9 min, s=0.16 mm/o, v~150 m/min h=0.105 mm L=100 mm, n=560 o/min	 a= 10 mm t=11 min, s=0.16 mm/o, v~150 m/min h=0.105 mm L=110 mm, n=560 o/min
 a=12 mm t=13,2 min, s=0.16 mm/o, v~150 m/min h=0.105 mm L=130 mm, n=560 o/min	 a=16 mm t=19 min, s=0.16 mm/o, v~150 m/min h=0.12 mm L=340 mm, n=710 o/min

Слика 5.5. Табеларни приказ слика постепеног хабања резног алата С - плочице



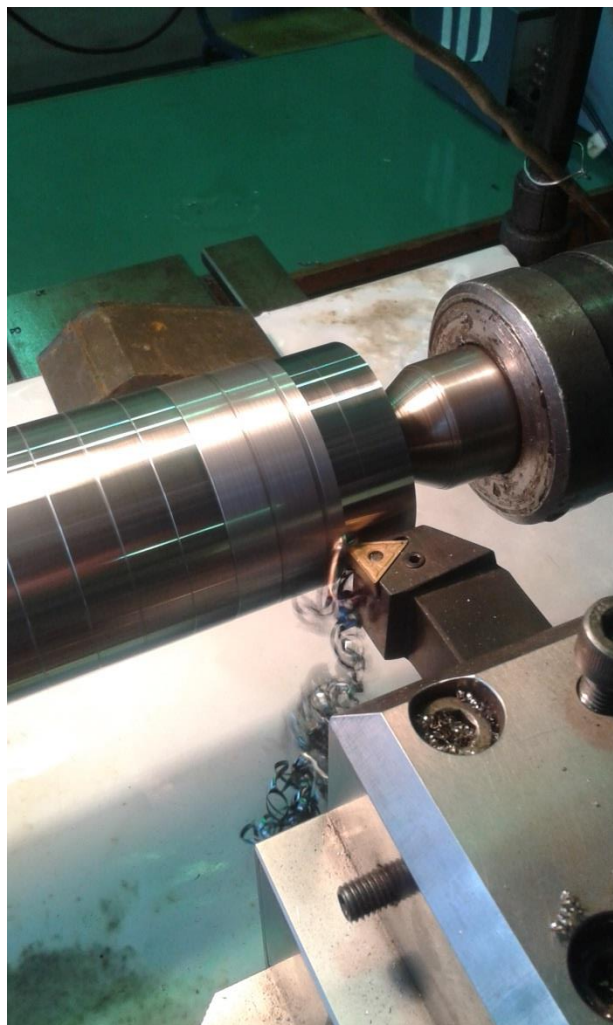
Слика 5.6. Крива хабања алата за C – плочицу

На основу усвојених параметара, приказаних на слици 5.4., вршена је обрада метала резањем, резним клином у виду C – плочице. Са слике 5.5. која показује постепено хабање алата у зависности од усвојених параметара, добили смо криву хабања, представљену сликом 5.6., која показује зависност похабаности алата од времена.

Стругарски нож – T
PTG NR 2525M16 „CORUN“ Ужице
Плочица:
TNMM 160404-СМ ознака плочице
4С15 ознака квалитета превлаке
Р15 ознака квалитета тврдог метала

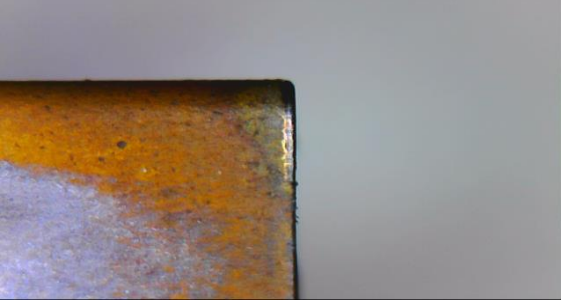
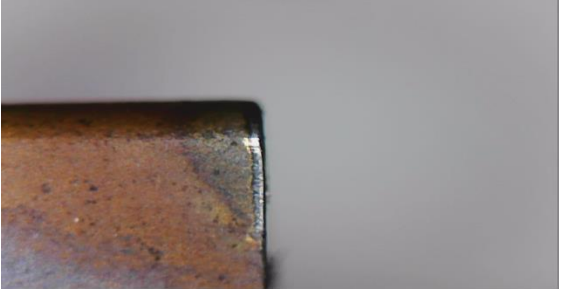
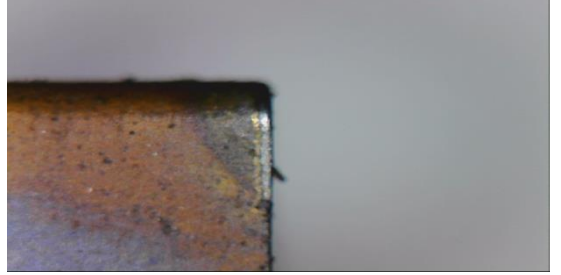
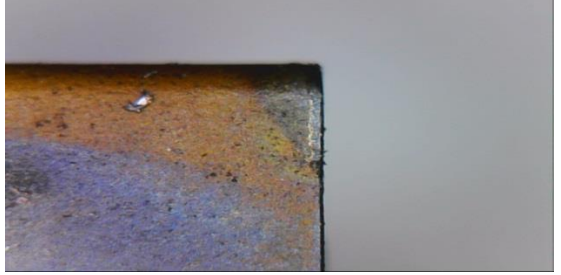
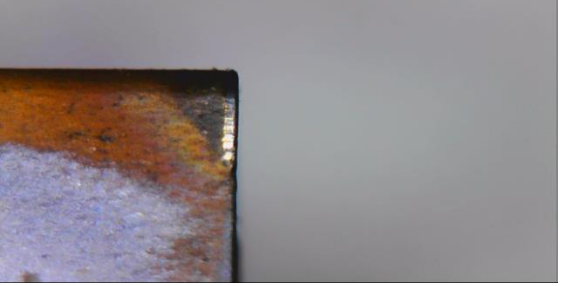


Слика 5.7. Резна T – плочица

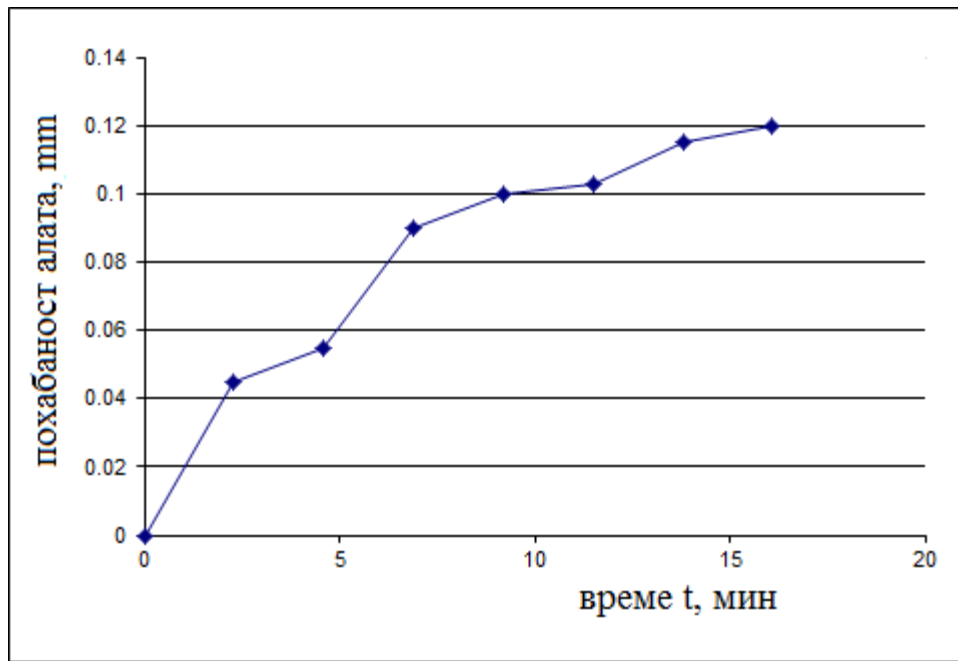
Слика 5.3. Процес обраде резањем T – плочицом

Број обртаја	Дужина	Дубина резања	Време	Дубина хабања алата	Корак	Брзина резања
n , [o/min]	L , [mm]	a , [mm]	t , [min]	h , [mm]	s , [mm/o]	v , [m/min]
			0	0		
900	340	1	2.3	0.045	0.16	~150
900	340	1	4.6	0.055	0.16	~150
900	340	1	6.9	0.09	0.16	~150
900	340	1	9.2	0.1	0.16	~150
900	340	1	11.5	0.103	0.16	~150
900	340	1	13.8	0.115	0.16	~150
900	340	1	16.1	0.12	0.16	~150

Слика 5.8. Табела са одређеним карактеристикама које прате процес резања са посебним освртом на дубину хабања алата T – плочице

 $a=1\text{ mm}$ $t=2.3\text{ min}$ $h=0.045\text{ mm}$ $L=340\text{ mm}, n=900\text{ o/min}, s=0.16\text{ mm/o}$	 $a=1\text{ mm}$ $t=4.6\text{ min}$ $h=0.055\text{ mm}$ $L=340\text{ mm}, n=900\text{ o/min}, s=0.16\text{ mm/o}$
 $a=1\text{ mm}$ $t=6.9\text{ min}$ $h=0.09\text{ mm}$ $L=340\text{ mm}, n=900\text{ o/min}, s=0.16\text{ mm/o}$	 $a=1\text{ mm}$ $t=9.2\text{ min}$ $h=0.1\text{ mm}$ $L=340\text{ mm}, n=900\text{ o/min}, s=0.16\text{ mm/o}$
 $a=1\text{ mm}$ $t=11.5\text{ min}$ $h=0.103\text{ mm}$ $L=340\text{ mm}, n=900\text{ o/min}, s=0.16\text{ mm/o}$	 $a=1\text{ mm}$ $t=13.8\text{ min}$ $h=0.115\text{ mm}$ $L=340\text{ mm}, n=900\text{ o/min}, s=0.16\text{ mm/o}$
 $a=1\text{ mm}$ $t=16.1\text{ min}$ $h=0.12$ $L=340\text{ mm}, n=900\text{ o/min}, s=0.16\text{ mm/o}$	

Слика 5.9. Табеларни приказ слика постепеног хабања резног алата T – плочице



Слика 5.10. Крива хабања алата за T – плочицу

На основу усвојених параметара, приказаних на слици 5.8., вршена је обрада метала резањем, резним клином у виду T – плочице. Са слике 5.9. која показује постепено хабање алата у зависности од усвојених параметара, добили смо криву хабања, представљену сликом 5.10., која показује зависност похабаности алата од времена.

Процеси обраде су вршени на стругарском ножу, на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу. Након тога су направљене слике узорака постепеног хабања обе резне плочице. На сликама које су наведе (слика 5.5. и слика 5.9.) видимо постепено хабање алата за наведене параметре.

Обе резне плочице се временом све више хабају, тј. дубина хабања на резној плочици све више расте. На основу снимљених резултата добијене су криве хабања за обе плочице која представљају његово хабање у зависности од времена коришћења при претходно постављеним параметрима.

6. ЗАКЉУЧАК

Обрада метала резањем представља најсложенији и најкомплекснији део технолошког процеса израде, обраде и монтаже делова различитих конфигурација. Процес обраде је сложен физичко хемијски механизам међусобног деловања алата и предмета обраде у условима промена особина и карактеристика елемената технолошког система.

Након одређеног времена коришћење алата за обраду метала резањем постаје економски неоправдано. Опада прецизност резања, повећава се површинска храпавост, повећавају се силе резања и температуре те настају вибрације. Фактори који утичу на век трајања алата су параметри резања, геометрија алата, механичка својства алата, материјал обратка и врста средства за хлађење и подмазивање.

Пре експерименталог дела овим радом смо упућени на триболошке процесе резања који представљају основу хабања алата. Триболошки процеси се одвијају на контактним површинама између алата и предмета обраде. Посебна пажња се посвећује облицима хабања резног клина алата који директно утичу на његову способност резања. Поред поменутих важно је познавати параметре хабања алата који прате похабаност алата, било да се ради о хабању грудне површине, тј. хабању кратера или појасу хабања на леђној површини резног клина алата. Од важног значаја је математичко моделирање хабања. При математичком моделирању хабања прате се три карактеристичне зависности као што су криве хабања, интензитет и отпорност на хабање. Криве хабања представљају дијаграмску зависност ширине појаса хабања на леђној површини резног клина алата. У оквиру триболошких процеса при контакту две површине неопходно је користити средство за хлађење и подмазивање које директно утиче на хабање алата, смањујући трење које се јавља у контакту и његова основна улога да хлади материјале и одводи продукте хабања са обрађене површине.

Постојаност алата је кључни фактор у процесу обраде резањем. Од веома важног значаја је праћење стања алата да не би дошло до хабања истог, лома или неких непредвиђених застоја употребом похабаног алата. Максимално искоришћење алата се постиже правилним избором режима резања. У оквиру постојаности алата представљени су приступи моделирања процеса резања, који могу бити ортогонално или косо резање, при чему оба начина захтевају идеално оштар алат. Хабање на грудној и леђној површини доводи до геометријских пормена на резном врху алата што смањује квалитет обраде материјала. Представљени су видиви хабања алата који нам дају увид у то о ком се механизму хабања ради. Што се тиче места хабања алат, јављају се два критична места као што су хабање грудне површине (кратера) и хабање на леђној површини (леђни појас).

Један од значајних фактора на врсту хабања је и утицај брзине резања. Велике брзине резања праћене су високим температурама што повећава нарочито дифузионо и оксидационо хабање, док је абразивно мање заступљено.

За праћење хабања резног алата користе се бројне методе. Најчешћа подела је на директне и индиректне методе.

Избор материјала алата је веома важно како би се постигле одређене карактеристике обрађене површине, а и у погледу постојаности алата. Основни материјали који се користе су алатни челици, тврди метали, резна керамика и супер тврди материјали.

Од наведених материјала највећу отпорност на хабање има резна керамика нарочито при великим брзинама резања и високим температурама. Поред резне керамике такође се истичу и супер тврди материјали који имају одлику, као поменута резна керамика, али и да не реагује са материјалом предмета, јер је хемијски стабилан и отпоран оксидацију и дифузију, као и изненадне термичке промене.

На основу задатих параметара процеса резања, вршена су истраживања постојаности алата и праћење његовог постепеног хабања. Како би се алат дуже користио добијала би се већа похабаност, што нам показује дијаграм хабања алата за обе резне плочице. Резултатима експерименталног одређивања дубине хабања резне плочице, при претходно усвојеним параметрима добијене су криве хабања које представљају зависност хабања алата у односу на време. Похабаност резне плочице расте што смањује постојаност резне плочице.

Литература:

[1] Миодраг Лазић, Обрада метала резањем, монографија, књига, Машински факултет, Крагујевац 2002.

[2] Богдан Недић, Динамика процеса резања, књига, Машински факултет, Крагујевац 2006.

[3] Богдан Недић, Миодраг Лазић, Производне технологије, скрипта, Машински факултет, Крагујевац 2007.

[4] https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/knowledge/materials/cutting_tool_materials/wear_on_cutting_edges, 17.09.2017.

[5] Милан Д. Милиутиновић „Истраживање постојаности стругарског ножа у производним условима при ортогоналном резању“, докторска дисертација, Машински факултет, Београд, 2015.

[6] TOOL WEAR, TOOL LIFE, HAND TOOLS AND MACHINE TOOLS, Mechanical Engineering Department, India Institute of Tehnology, презентација, dr V. K. Jain, 15.09.2017.