

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Савремени обрадни системи

Број индекса: 449/2017

Стефан В. Мијаиловић

Мониторинг процеса обраде стругањем

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Богдан Недић - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____



Универзитет у Крагујевцу
Факултет инжењерских наука



Мастер студије: **Машинско инжењерство**

Студијско подручје (усмерење): **Производно машинство**

Име и презиме: **Стефан Мијаиловић**

Број индекса: **449/2017**

ПРИЈАВА МАСТЕР РАДА

Тема рада: **Мониторинг процеса обраде стругањем**

Задатак: У оквиру мастер рада кандидат треба да изврши прикупљање и систематизацију података о методама за прећење параметара процеса обраде резањем. Потребно је истражити литературне податке о поступцима праћења процеса обраде стругањем са аспекта хабања алата, отпора резања, температуре резања, квалитета обрађене површине, ангазоване снаге машине, вибрација, итд. У посебном делу рада извршити експериментална испитивања праћењем директних и индиректних параметара процеса. Експериментална истраживања вршити на универзалном и ЦНЦ стругу.

Мастер рад треба да садржи следеће целине:

1. Уводна разматрања,
2. Мониторинг процеса обраде резањем
3. Директне и индиректне методе праћења процеса хабања алата,
4. Основи управљања код ЦНЦ машина,
5. Експериментална истраживања,
6. Резултати мерења и анализа резултата,
7. Закључци,
8. Литература.

Ментор:

Др Богдан Недић, редовни професор

Крагујевац, 30.05.2019.

Резиме

Обрада метала стругањем је један од најважнијих и најраспрострањенијих видова обраде метала. Како би се тај процес све више аутоматизовао и како би се смањили застоји машина, развијен је мониторинг, који прати стање машина у сваком тренутку.

У овом раду дате су савремене методе мониторинга обраде стругањем, које користе РС за обраду података, чиме је тај вид мониторинга доста прецизнији и јефтинији од претходних решења, због развоја рачунарске технике.

Такође, у делу рада су обрађене основе мониторинга, заједно са типовима процесних сензора, чија се подела обично врши у зависности од метода праћења хабања алата на директне и индиректне.

Управљање мониторингом је адаптивно управљање, преко АСО и АСС система, који поседују управљачку јединицу преко које се врши регулација улазних параметара на основу излазних.

Експериментални део рада се односи на могућност постављања алата увек у исти положај, како би се могао утврдити степен хабања алата, коришћењем камере са увеличањем, што представља један од директних метода мониторинга хабања алата.

Кључне речи: мониторинг, адаптивно управљање, стругање, РС

Summary

Turning is one of the most important and widespread manufacturing operations. In order to automate process and decrease machine deadlock, monitoring system was developed, which tracks machine condition in real time.

In this paper, modern methods of turning monitoring are given, which uses PC to process data, making that type of monitoring more accurate and cheaper than its previous solutions, because of constant development of computer technology.

Also, basics of monitoring are covered in one part of this paper, alongside with types of process sensors that are basically divided, depending of monitoring method, into direct and indirect.

Monitoring control is adaptive control, through ACO and ACC systems, which possess control unit which regulates IN parameters depending on OUT parameters.

Experimental part of this paper includes potential to always get turning tool into the same position so we can determine level of tool wear, using magnifying camera, which is one of direct methods of tool wear monitoring.

Key words: monitoring, adaptive control, turning, PC

Садржај

1.УВОДНА РАЗМАТРАЊА	- 1 -
2.МОНИТОРИНГ ПРОЦЕСА ОБРАДЕ РЕЗАЊЕМ	- 4 -
2.1 Основи мониторинга процеса резања	- 4 -
2.2 Системи мониторинга процеса резања	- 5 -
2.3 Процесни сензори	- 11 -
3. ДИРЕКТНЕ И ИНДИРЕКТНЕ МЕТОДЕ ПРАЋЕЊА ПРОЦЕСА ХАБАЊА АЛАТА.....	- 15 -
3.1 Природа триболошких процеса	- 15 -
3.2 Механизми хабања алата.....	- 16 -
3.3 Облици хабања резног алата.....	- 16 -
3.4 Методе праћења процеса хабања алата	- 18 -
3.4.1 Директне методе праћења похабаности алата	- 19 -
3.4.2 Индиректне методе праћења похабаности алата.....	- 23 -
4.ОСНОВИ УПРАВЉАЊА КОД CNC МАШИНА.....	- 27 -
4.2 Мулти моделска адаптивна контрола (ММАС)	- 31 -
4.3 Дуална адаптивна контрола	- 31 -
5.ИСТРАЖИВАЊА У ОБЛАСТИ НОВИХ МЕТОДА МЕРЕЊА ХАБАЊА АЛАТА	- 32 -
5.1 Анализа хабања алата помоћу обраде слике	- 32 -
5.2 Анализа хабања алата на основу амплитуде вибрација предмета обраде..	- 35 -
5.3 Анализа хабања алата на основу фреквенцијске карактеристике сигнала акустичне емисије	- 38 -
6.ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ИСТРАЖИВАЊА.....	- 41 -
6.2 Резне плочице	- 46 -
Резна плочица 1	- 46 -
Резна плочица 2	- 46 -
Резна плочица 3	- 47 -
Резна плочица 4	- 48 -
Резна плочица 5	- 48 -
Резна плочица 6	- 49 -
Резна ромбоидна плочица 7.....	- 49 -
Резна плочица за унутрашњу обраду 8.....	- 50 -
7.Закључци	- 51 -
8.Литература.....	- 53 -

1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА

Мониторинг је редовно посматрање и бележење активности које се одвијају у оквиру неког пројекта или програма. То је процес рутинског прикупљања информација о свим аспектима пројекта. Вршити мониторинг значи надзирати како напредују пројектне активности.

Системи мониторинга процесом обраде метала резањем обезбеђују надзор: процеса резања, резног алата, обрадног система и управљање процесом резања. Мониторинг процеса резања подразумева праћење параметара процеса обраде, контролу стања и управљање процесом [1].

Концепт мониторинга се последњих година мења највише због врло брзог развоја рачунарства и електронске технологије. Цена рачунара и електронских компоненти се смањује непредвидивом брзином због производње врло великог броја компоненти, минијатуризације и напретка технолошких поступака производње. Рачунар се релативно једноставно повезује у мерни систем применом одговарајућег интерфејса и аналогно-дигиталног конвертора који електричне аналогне величине претвара у бројеве погодне за приказивање, упоређивање и даљу обраду резултата на рачунару. Рачунарска мерења су данас интегрисана и у специјализоване инструменте [9].

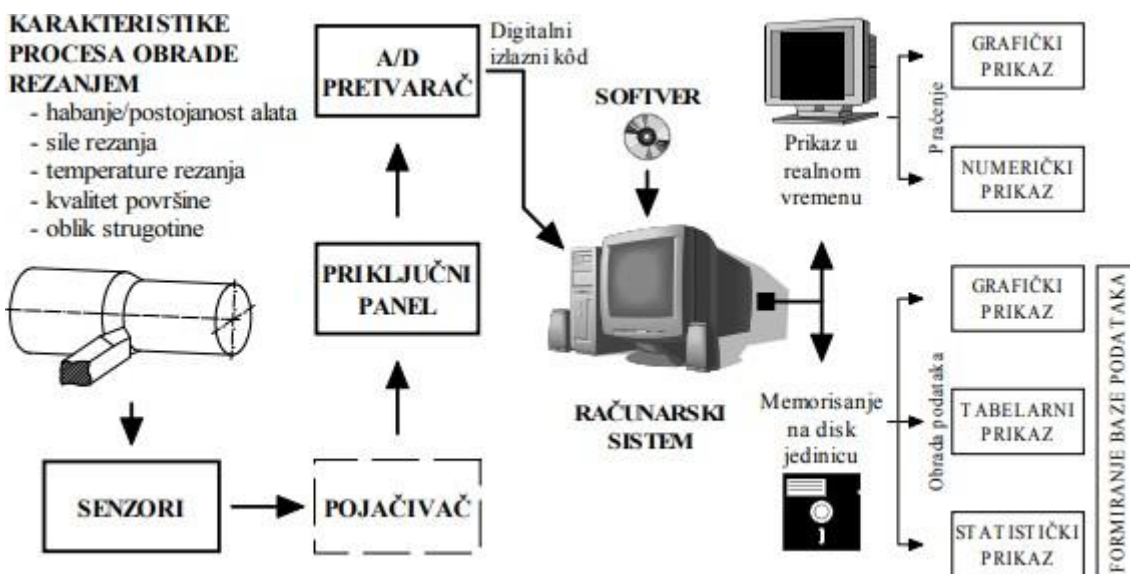
Системи за мерење и обраду података базирани на РС рачунарима данас се употребљавају за аутоматизацију мерних система како у лабораторијским тако и индустријским условима. Употребом РС система за мерење добијају се уређаји високе интелигенције са побољшаним управљачким карактеристикама и вишим нивоом флексибилности. Због обиља квалитетних програмских система, које нуде многе компаније широм света, лако се прилагођавају корисничким захтевима.

Појава РС рачунара и А/Д претварача изазвала је значајне промене и у подручју истраживања технологије обраде резањем. Ове промене се односе пре свега на знатно квалитетније прихватање и обраду сигнала који се добијају на излазу мерних инструмената за силе, температуре, померања и др. Раније су за то коришћени аналогни мерни сигнали, а за регистровање резултата мерења углавном су коришћени писачи или осцилографи. Након тога следила би обрада тих записа, па су у том компликованом и временски дугом поступку настајале значајне грешке које је било могуће само претпоставити, али не и тачно одредити[9].

Пример функционалне структуре система за аквизицију података у процесима обраде скидањем материјала приказан је на слици 1.1.

Системи за аквизицију података чине саставни део система за мониторинг и управљање процесом обраде и један систем, приказан је на слици 1.2.

У прошлости су у мерењима коришћене разне механичке и оптичке методе, да би данас електрична енергија постала доминантан и готово искључив носилац сигнала. Применом електронске и рачунарске технологије дошло се до мониторинг система велике осетљивости, мале потрошње, велике брзине рада, високе поузданости, велике флексибилности и са могућношћу преноса података.



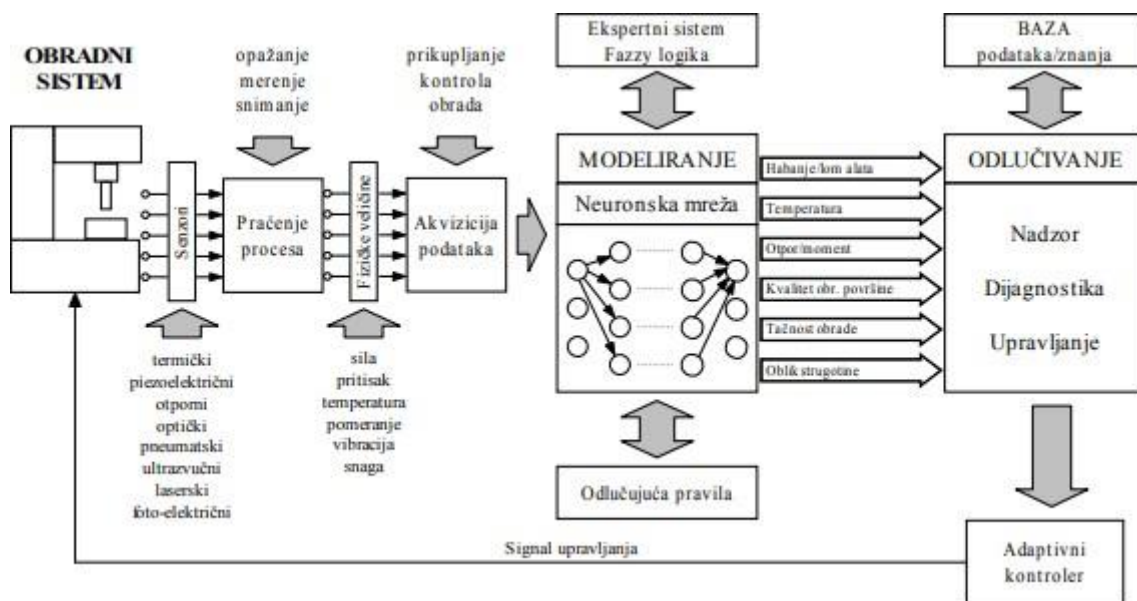
Слика 1.1 Систем за аквизицију података помоћу рачунара [9]

Инструментација за мерење се развијала како у погледу функционалности и флексибилности, тако и са становишта степена интегрисаности у системе за мониторинг. Елементи аквизиционих система прве генерације били су уређаји аналогног типа. Овим уређајима рукује се ручно, преко предње плоче. Резултати мерења код оваквог типа уређаја се бележе се ручно. Кориснику није дата флексибилност у управљању инструментом, нити могућност промене мерних функција. Тешкоће у меморисању резултата представљају основну слабост аналогне технике. Основни проблеми везани за аналогне мерно-аквизиционе системе односе се на присуство шума и струјање сигнала, тешкоће повезане са памћењем резултата мерења, нестабилност и велику потрошњу [9].

Развој обраде метала резањем (подизање нивоа квалитета израде, поузданости и економичности) прате и захтеви у погледу заштите микроклиме и животне средине. Са тим у вези, дошло је до развоја дигиталних мониторинг система, који су практично неосетљиви на шум и струјање сигнала. Обезбеђују једноставан пренос података, једноставно се остварује галванска изолација, имају широке могућности дигиталне обраде сигнала, а могућност програмирања чини их посебно супериорним у односу на аналогне системе.

Захваљујући примени микропроцесора у великој мери мења се концепција мерног претварача или засебног програмабилног инструмента. Елементи мониторинг система на бази микропроцесора пружају могућност сложене обраде података и комуникације са надређеним рачунаром. Основне предности увођења дигиталне и микрорачунарске технике огледају се у следећем [9]:

- Све компоненте у дигиталном систему обрађују податке у дигиталном, најчешће бинарном формату.
- Пренос дигиталних података је једноставан. Повећањем комплексности дигиталног система не губи се на квалитету дигиталних података, што није случај код аналогних система.
- За дигиталну обраду бинарних података на располагању стоји велики број електронских компоненти, укључујући и комплексне функције.



Слика 1.2 Мониторинг и управљање процесом обраде [1]

Применом мониторинг система обезбеђује се *on-line* идентификација динамичких карактеристика процеса резања, посебно карактера промене параметара у зависности од услова обраде, хабања алата и осетљивости појединих сензора којима се идентификују динамичке компоненте отпора резања, снага резања, вибрације и убрзања, акустична емисија, термонапон и бука.

У делу мониторинг процеса обраде, дат је преглед основа мониторинга резања, преглед нових решења мониторинг, при чему је посебан акценат на прегледу процесних сензора. Дата је подела процесних сензора као и карактеристике сензора који се користе у мониторингу. За сваки описан сензор у овом делу, постоји његова скица са основним деловима.

У трећем делу рада, дате су директне и индиректне методе праћења, где се говори о типовима хабања алата, директним и индиректним методама праћења тог хабања. Приказан је математички модел хабања леђне и грудне површине алата, механизми хабања и облици хабања резне ивице алата. Такође, дати су сензори за директно и индиректно праћење хабања.

Повећање нивоа аутоматизације обрадних система је довело до развоја управљања CNC машинама, о чему се говори у четвртом поглављу овог рада, при чему је акценат на адаптивном управљању код машина. Дат је преглед АСО и АСС управљања. Као и новији типови адаптивног управљања.

Експериментална истраживања су дата у петом и шестом делу рада и односе се на обраду стручних радова из ове области. Дат је преглед више радова, при чему је акценат на тип мониторинга и методама које користи. Преглед опреме за ове експеримента је такође дат. Такође, у шестом поглављу је дат преглед опреме за експеримент, који је урађен на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу, заједно са резултатима експеримента.

2. МОНИТОРИНГ ПРОЦЕСА ОБРАДЕ РЕЗАЊЕМ

У овом делу мастер рада, дате су основне информације о систему мониторинга у процесима резања. Информације се односе на значај праћења излазних параметара обраде са циљем управљања процесима резања. Такође, дате су информације о сензорима који се користе у системима мониторинга процеса резања.

2.1 Основи мониторинга процеса резања

Системи мониторинга процесом обраде метала резањем обезбеђују надзор: процеса резања, резног алата, обрадног система и управљање процесом резања. Мониторинг процеса резања подразумева праћење параметара процеса обраде, контролу стања и управљање процесом [1].

У процесу мониторинга и управљања процесом основу чине активности текућег опажања, обраде података или сигнала, моделирања и одлучивањем.

Текућим опажањем се идентификују релевантни параметри, као што су отпори резања, температура резања, хабање резних ивица елемената алата, храпавост обрађене површине, облик струготине, наслага, вибрације система. За опажање се користе сензори различитих типова и конструкција. Према принципу рада могу бити механички, оптички, пиезоелектрични, електрични. Према намени могу бити процесни и ванпроцесни, директни или индиректни, прекидни или непрекидни, вишесензорски и интелигентни сензори.

Обрада сигнала подразумева прикупљање и меморисање релевантних података, аквизицију података, прорачуне у временском или фреквентном домену.

Моделирање подразумева дефинисање математичких и других модела (неуронска мрежа) којима се утврђује повезаност мерних вредности са субјектима који се прате. Модели се базирају на физичким или емпиријским величинама и могу бити фиксни или на бази самоучења. Фиксни модели садрже константе које се уносе пре процеса резања. Модели на бази самоучења прилагођавају параметре обраде снимљеним информацијама, применом утврђене програмске стратегије.

Одлучивањем се, на основу дефинисаних модела релевантних величина (сила, хабање алата, облик струготине...), утврђује решење настале ситуације у обрадном систему. У том циљу се користе експертни системи са одговарајућим базама знања, логикама одлучивања и стратегијама адаптивног управљања [1].

Разликују се три система мониторинга [1]:

- систем мониторинга димензија предмета обраде, стања обрадног система, алата или процеса раде са отвореном петљом. Системи приказују резултате мониторинга на екранима или активирају аларм. Процес се прекида до отклањања узрока промене стања.
- системи мониторинга и дијагностике, са отвореном петљом, прате и утврђују функционалну зависност отказа елемената обрадног система и његовог узрока.
- системи мониторинга са адаптивним управљањем процесом обраде раде са затвореном петљом и прилагођавају услове обраде програмској стратегији.

Најједноставнији системи аутоматски заустављају машину или помоћно кретање у стању отказа. Сложенији системи су системи са адаптивним управљањем.

2.2 Системи мониторинга процеса резања

Интензивни развој РС рачунара као и разних изузетно поузданих, тачних и приступачних хардверских додатака, модула и картица у последњих неколико година условили су да мерни системи базирани на РС рачунарима преузимају примат над скупом и специјализованом мерном опремом. Уз нижу цену и бржу самоисплативост остварује се већа производност, бољи квалитет обраде, већа тачност обраде итд. Системи за мерење и обраду података базирани на РС рачунарима данас се употребљавају за аутоматизацију мерних система како у лабораторијским тако и индустријским условима.

Основу РС рачунара чини системска (матична) плоча. Системска плоча представља штампано коло на коме се налази процесор, меморија, конектори за јединице функционалне намене и интерфејси за повезивање периферних уређаја. За повезивање периферних улазно/излазних адаптера и картица углавном се користе ISA (*Industry Standard Architecture Bus*) и PCI (*Peripheral Component Interconnect*) магистрале. PCI магистрале су новије генерације и омогућују брзи пренос података обзиром да се пренос података одвија непосредно уз процесорску магистралу [9].

У принципу, спрезање процеса са рачунаром и реализација улазних и излазних задатака захтевају познавање карактеристика како мерне опреме и актуатора, са једне стране, тако и одговарајућих кола за спрегу са рачунаром са друге стране. У почетним фазама пројектовања и развоја система за рад у реалном времену, формирање одговарајућег софтвера (а некад и сегмената хардвера) чинило је саставни део пројектовања. Временом, произвођачи мерне и рачунарске опреме уградили су низ стандардизованих функција у саму опрему, тако да се данас спрезање може остварити директним повезивањем компоненти. Мерна опрема и извршни органи прикључени на процес или постројење могу бити веома разноврсни. Упркос томе, као заједничка карактеристика јавља се чињеница да се помоћу те опреме врши конверзија физичких величина (температуре, протока, притиска итд.) у електричне сигнале или обратно. У принципу мерење било које физичке величине обавља се тако што се уз помоћ одговарајућег инструмента производи електрични сигнал чији је напон или струја сразмерна физичкој величини која се мери. Исто тако управљање, односно погон извршних органа врши се помоћу електричног сигнала који проузрокује да извршни орган произведе неку жељену акцију [9].

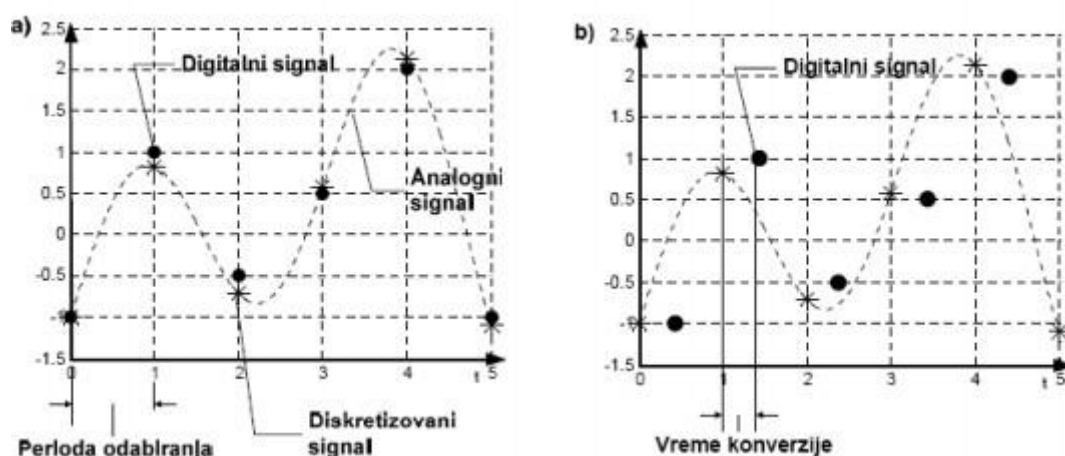
Спрезање мерне опреме и извршних органа са рачунаром захтева да се обави још једна конверзија и то електричних сигнала у дигиталне величине, представљене у форми низа битова или обратно. Очигледно је да, с обзиром на разноврсност опреме не би било економично ни ефикасно ако би се за сваки појединачни мерни уређај или извршни орган развијао посебан систем за спрегу са рачунаром. У решавању овог проблема дошло се до стандардизације процесне опреме у смислу прецизирања типа и врсте електричног сигнала који они генеришу (мерна опрема) или примају (извршни органи). За овако стандардизоване сигнале развијени су одговарајући портови и кола за спрегу са рачунаром. Електрични сигнали који се производе или примају припадају једној од четири категорије: дигиталне величине, импулси и поворке импулса,

аналогне величине и телеметријске величине [9].

Читав низ мерења одвија се на тај начин што се помоћу мерних инструмената и претварача добија напонски или струјни сигнал, пропорционалан величини која се мери. Заједничка карактеристика сигнала у оба случаја је да су континуални. Потребно је истаћи да се термин "аналогни" за континуалне сигнале користи зато што је реч о континуалним електричним сигнаlima, чија је промена аналогна одговарајућим физичким величинама.

Даље конвертовање ове величине у дигиталну форму захтева две операције:

- Одабирање, дискретизацију сигнала по времену са неком утврђеном периодом одабирања.
- Квантизацију, дискретизацију сигнала по нивоу, односно одређивање оне дискретне величине, у низу дозвољених дискретних вредности, која је најближа вредности сигнала у тренутку одабирања.



Слика 2.2 Аналогно-дигитална конверзија сигнала:

а) одабирање и квантизација у идеалном случају

б) практична реализација одабирања и квантизације помоћу А/Д конвертора [9]

У идеалном случају овај процес би требало да се одвија на начин приказан на слици 2.2. У практичној реализацији, међутим ситуација је нешто другачија. Наиме, процес дискретизације и квантизације се одвија помоћу аналого-дигиталног конвертора, коме је потребно извесно време да би извршио процес конверзије. Због тога се дигитална вредност сигнала добија са извесним закашњењем.

Постоје три основне врсте уређаја (хардверских додатака) за мониторинг, аквизицију података и управљање базираних на РС рачунарима [9]. То су: *спољашњи системи, модулни системи и интегрисани системи*.

Спољашњи системи подразумевају прикључење посебног уређаја на РС рачунар. Ти уређаји могу се повезати са рачунаром уз [9]:

- *Серијски порт*. Уређаји се повезују преко јефтиних серијских веза – USB (Universal Serial Bus), али чији је пренос врло спор јер користи једну линију за пренос података. Овај услов може знатно ограничити перформансе система. Ради повећања сигурности преноса података прибегава се смањењу брзине узорковања или примени уређаја, тзв. “бафера”, који најпре прикупљају и потом

преносе податке у рачунар.

- *Паралелни порт.* Уређаји повезани преко паралелних линкова постижу велике брзине преноса (неколико стотина kHz) користећи више линија за пренос података или DMA систем (специјализовани хардвер који служи за пренос података без посредства процесора). Недостатак им је што екстерни уређај за аквизицију података не може да буде далеко од рачунара (највише неколико метара).
- *Продужени BUS рачунара.* Уређаји повезани директно на BUS рачунара имају врло велику брзину преноса података, велике могућности проширења и високи комфор у раду. Могу да се конфигуришу за велики број улазно/излазних канала (више стотина) који су уз то мање контаминирани сметњама рачунара.

Модулни системи су подсистеми на штампаним плочама који се директно прикључују на BUS-слот PC рачунара, слика 2.3. Обично заузимају једно или два прикључна места (слота) и омогућују велику брзину преноса, јер директно комуницирају са системским BUS-ом. Спадају у јефтиније варијанте информационих система за мониторинг, аквизицију података и управљање, мада поседују перформансе комплетног система. Највећи недостаци модулног система су велика контаминација сметњама из рачунара и у неком случајевима фиксна хардверска конфигурација.



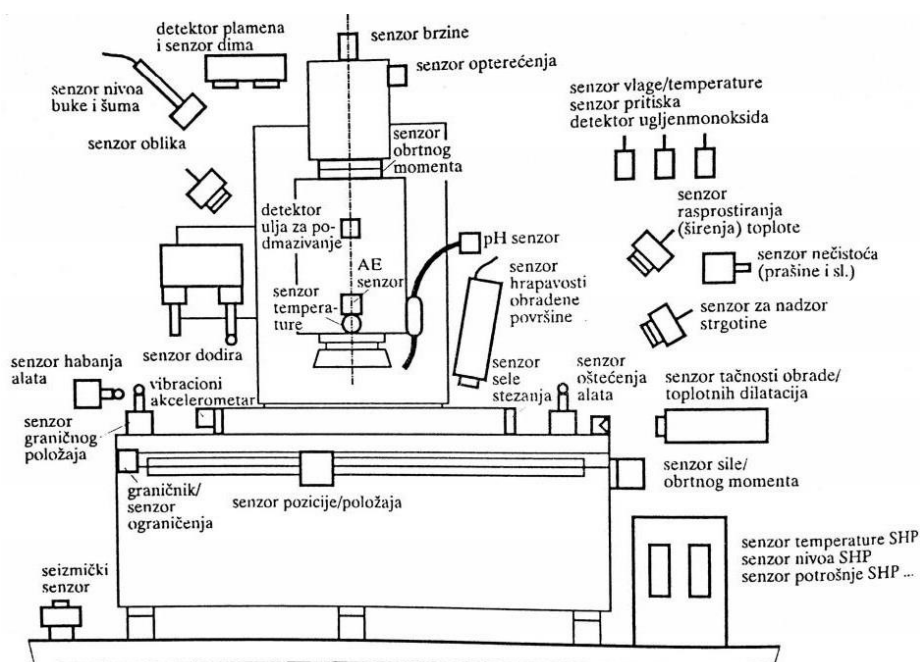
Слика 2.3 Модулни систем за мониторинг и управљање[9]

Интегрисани системи, поред уређаја за мониторинг, аквизицију података и управљање, у истом кућишту садрже и специјално дизајниран PC рачунар, слика 2.4. Добре особине ових система су: компактност, квалитет, професионалност, велика отпорност на спољне (електромагнетне, радио и сл.) сметње, могућност проширења итд. Најчешће ови системи долазе до корисника потпуно спремни за примену (пуна хардверска и софтверска опремљеност), тј. треба само прикључити сензоре и систем је спреман за рад. Једини недостатак, мада само на први поглед, је њихова релативно висока цена.



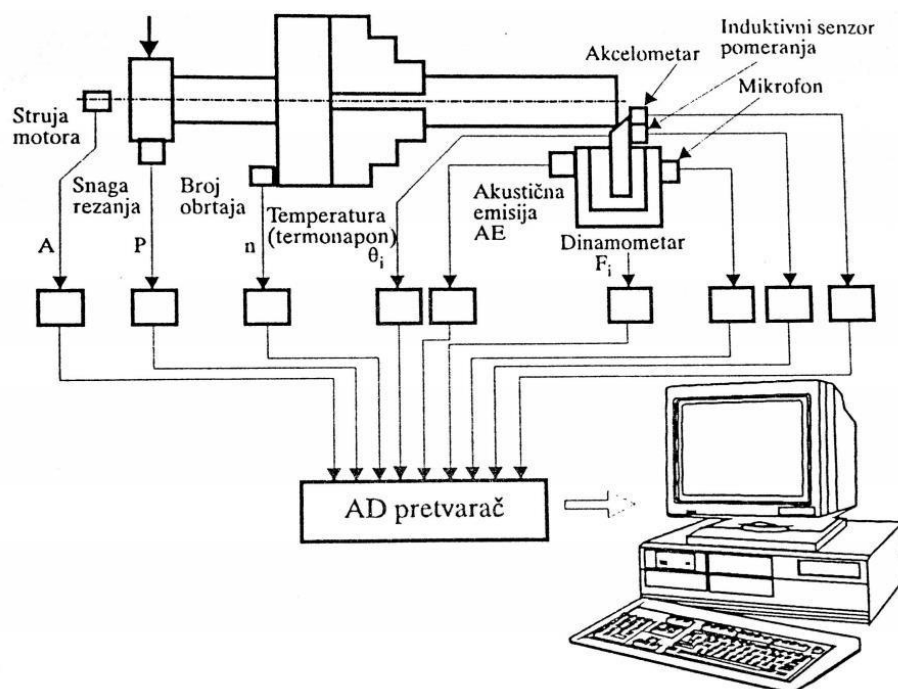
Слика 2.4 Интегрисани систем за мониторинг и управљање [9]

Развој обраде метала резањем (подизање нивоа квалитета израде, поузданости и економичности) прате и захтеви у погледу заштите микроклиме и животне средине. У том циљу су развијени и адекватни системи мониторинга са великим бројем сензора процеса обраде, различитих типова, конструкције и намена, слика 2.5.



Слика 2.5 Сензори за мониторинг процеса обраде [1]

За праћење процеса обраде се користе сензори на бази акустичне емисије, напрезања и сила. Сензори се користе за праћење хабања алата, колизије и лома алата, у обради брушењем, стругањем, глодањем, бушењем и осталим врстама обраде, слика 2.6. У индустријским условима се најчешће користе сензори на бази сила, момента, снаге и акустичне емисије.



Слика 2.6 Мерни систем за мониторинг процеса резања [1]

Применом мониторинг система обезбеђује се on-line идентификација динамичких карактеристика процеса резања, посебно карактера промене параметара у зависности од услова обраде, хабања алата и осетљивости појединих сензора којима се идентификују динамичке компоненте отпора резања, снага резања, вибрације и убрзања, акустична емисија, термонапон и бука.

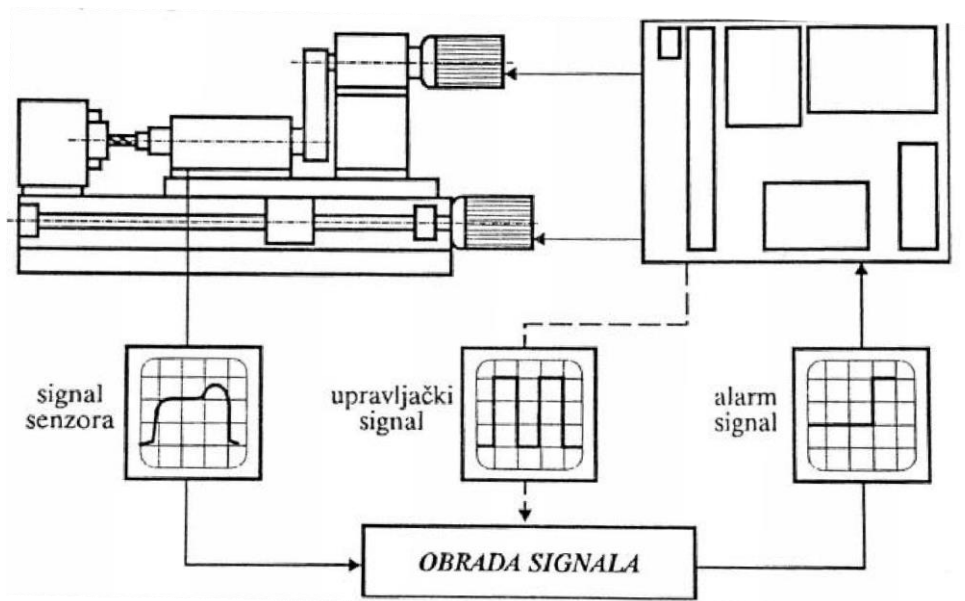
Један од система мониторинга за обраду дубоким бушењем је развијен од стране фирме SANDVIK Coromant, Шведска. Овај систем врши мерење момента резања и добијене вредности сигнала пореди са унапред задатим вредностима сигнала за упозорење и сигнала критичне вредности. Када мерена вредност постане већа од задате, добија се информација која на то указује и тада је потребно извршити одговарајуће корекције у смислу промене режима резања. Уколико мерени сигнал пређе унапред задату вредност, процес обраде се зауставља и врши се преглед алата и осталих елемената обрадног система, јер је код неког од њих дошло до отказа. Овај систем омогућава праћење процеса хабања алата, као и откривање брзих и непредвиђених промена које могу настати на елементима обрадног процеса, првенствено алату и предмету обраде, које могу проузроковати неадекватно извођење обрадног процеса [2].

Мониторинг систем у обради стругањем, фирме SANDVIK, користи два сензора, слика 2.7. Сензор јачине струје мотора помоћног кретања и сензор силе главног или помоћног кретања. Сензор силе, монтиран на главно вретено или вучно вретено, обезбеђује директно праћење вредности сила главног или помоћног кретања. Сензор јачине електричне струје, монтиран око проводника, детектује повећање потрошње енергије мотора главног или помоћног кретања. На основу резултата праћења сензорских сигнала, посредством јединице за контролу алата и управљање, формирају се управљачки и аларм сигнали, који се преносе на CNC јединицу [1].

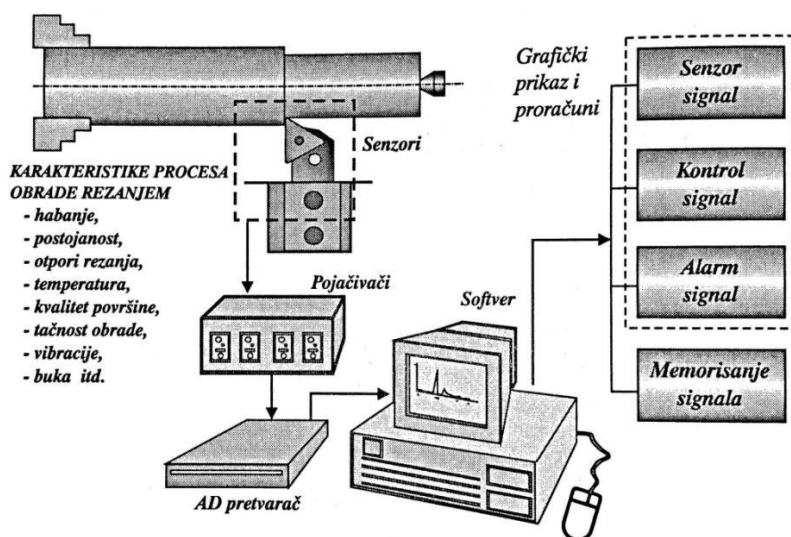
Мониторинг систем за процесе истраживања у обради резањем подразумева

постојање неколико независних елемената, односно целина (слика 2.8) [2]:

- параметри стања процеса обраде резањем, односно карактеристике процеса обраде резањем,
- сензори са појачивачима мерног сигнала,
- претварачи аналогног у дигитални сигнал,
- рачунарски системи,
- софтвер за прикупљање, графички приказ, прорачун контролу и меморисање података.



Слика 2.7 Мониторинг систем за обраду стругањем фирме SANDVIK [1]



Слика 2.8 Развијени мониторинг систем за истраживање стања обрадног процеса [1]

2.3 Процесни сензори

Процесни сензори се могу поделити на основу различитих критеријума на: директне и индиректне, контактне и безконтактне, прекидне и непрекидне... Према принципу рада на механичке, оптичке, електричне, пнеуматске [1]...

Сензори акустичне емисије. Акустична емисија се може дефинисати као појава таласа еластичних напона и деформација, који се преносе кроз структуру обрадног система. Таласе генеришу различити извори, као што су трење на грудној и леђној површини, пластично деформисање у зони резања, настанак струготине, настанак и ширење пукотина, лом алата и сл. Сигнали акустичне емисије високе фреквенције настају при лому алата, тако да је овакав сензор погодан за детекцију лома алата.

Сензор се поставља на површине обрадног система, на кратком растојању од зоне резања како би се избегао ефекат пригушења. За пренос сигнала од сензора до пријемника се користи безконтактни индуктивни принцип. Сигнал се детектује на пријемнику, затим појачава и усмерава на осцилоскоп, бројач, писач или спектрални анализатор. Спектрална анализа је најпогоднија за детекцију отказа алата.

Сензор сила – отпора резања и снаге. Најважнији сензорски системи за индиректно континуално праћење процеса су системи на бази отпора резања или величина изведених из њих [1].

Као сензори сила се користе комерцијални динамометри, због своје тачности, широког опсега мерења и велике крутости. Обично су великих димензија, скупи и незаштићени од преоптерећења, што им је основни недостатак. Сензори у облику плоча и прстенова са пиезоелектричним елементима се лако монтирају на елементе обрадних система. Велике су крутости, малих димензија, заштићени од преоптерећења, не хабају се и не нарушавају крутост обрадних система, брзо реагују на промене силе (у року од 0,3 ms). Сензори у облику лежајева се постављају између лежајева и кућишта вретеништа. Сензорски систем отпора резања обезбеђује праћење процеса обраде, колизије машине, хабања и лома алата. Систем сигнализира тренутак затупљења и измене алата сигналом сијалицом, зауставља кретања у случају лома и зауставља обрадни систем у случају колизије. Чине га три дела: сензор, аналогно дигитална јединица и јединица за праћење. Сензор са мерним тракама обезбеђује мерење отпора главног и помоћног кретања [1].

Сензорски систем сила, односно отпора резања ради у три циклуса: подешавање, учење и аутоматски рад. Циклус подешавања се користи код постављања новог NC програма, када се мења режим обраде и положај алата. У циклусу учења NC програм управља радом и утврђују се, применом контролног панела, статичке границе релевантних фактора (границе хабања, границе лома алата, минималне и максималне вредности сила), без промене режима резања. У аутоматском циклусу се мери вредност силе резања и упоређује са статичким границама. Вредност параметара хабања алата, у процентима, се прати на екрану. Лом алата се прати преко силе резања. Када сила резања достигне границу лома, укључује се аларм и зауставља помоћно кретање [1].

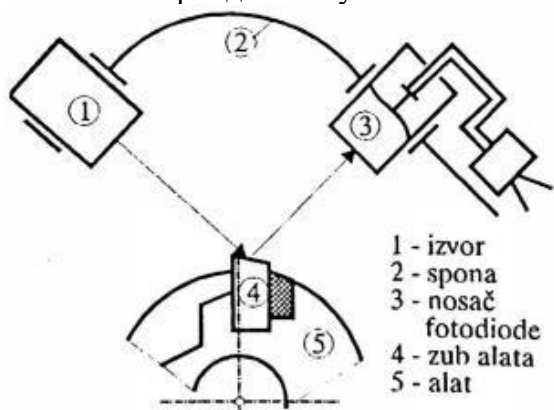
Сензори за мерење снаге мотора, преко утрошене електричне енергије, монтирају се на погон главног или помоћног кретања. Једноставне су конструкције, али су због инерције маса погонског система мање осетљиви, реагују са извесним

закашњењем, посебно ако се монтирају на мотор главног кретања. Зато се и користе за детекцију колизије, лома или хабања алата када је пресек струготине довољно велики [1].

Сензори хабања алата. За праћење параметара хабања алата се користе пасивни и активни мерни системи. Код пасивних мерних система процес резања се прекида у жељеном тренутку и мери вредност параметара хабања. Активни мерни системи, нарочито индустријски сензори, генеришу сигнал вредности параметара хабања и димензија предмета обраде и квалитета обрађене површине у току одвијања процеса. Значај ових сензора је врло велики. Њихово увођење у производне технологије омогућава: могућност управљања процесима хабања алата, оптимизацију обрадних процеса, одржавање прописаног нивоа квалитета обрађене површине и тачности и аутоматизацију обрадних процеса. Увођењем сензора хабања у обрадне системе обезбеђује се благовремена замена алата, искључују високи трошкови прераних или касних замена алата, спречава смањење нивоа квалитета израде и лом алата [1].

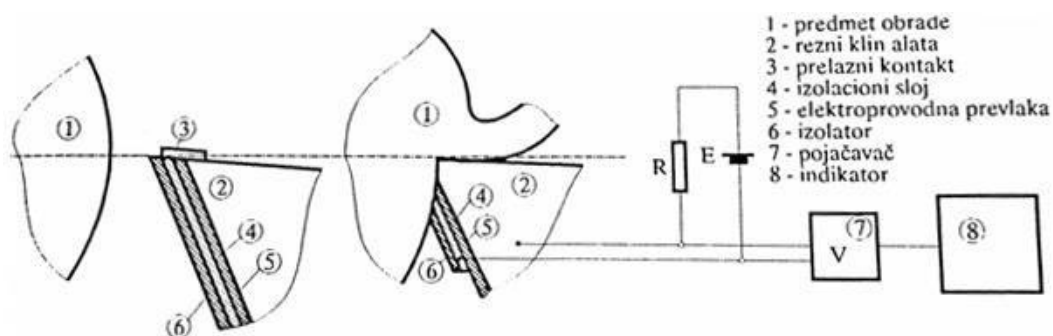
Параметри хабања резног клина алата се мере непосредно у току одвијања процеса обраде применом директних процесних сензора (оптичких, електричних, сензора померања, радиоактивних, и сл.). Сензори за индиректно мерење хабања су једноставније конструкције и обезбеђују непрекидно праћење процеса хабања алата. За њихову примену је потребно познавање корелационе зависности индиректних параметара процеса и параметара хабања алата. Основни недостатак индиректних сензора (храпавости обрађене површине, температуре резања, акустичне емисије, вибрација, отпора резања, сила и момената на главном вретену, снаге и струје погонског мотора и др.) је што корелациона зависност садржи и нежељене утицаје других фактора, што смањује тачност измерених вредности параметара хабања [1].

Оптички сензори хабања се најчешће израђују са фототранзистором и фотодиодом (слика 2.9). Мерење параметара хабања оптичким сензорима се изводи на цилиндричним, обртним алатима са периодичним уласком и изласком из захвата.



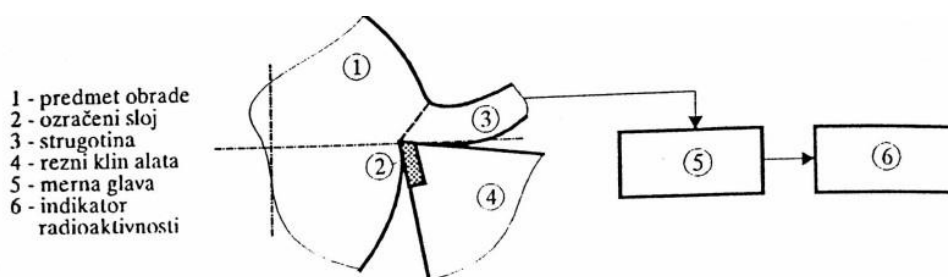
Слика 2.9 Оптички сензор хабања алата са фотодиодом [1]

Електрични сензори (слика 2.10) се заснивају на праћењу промене електричног отпора превлаке или контакта алат – предмет обраде.

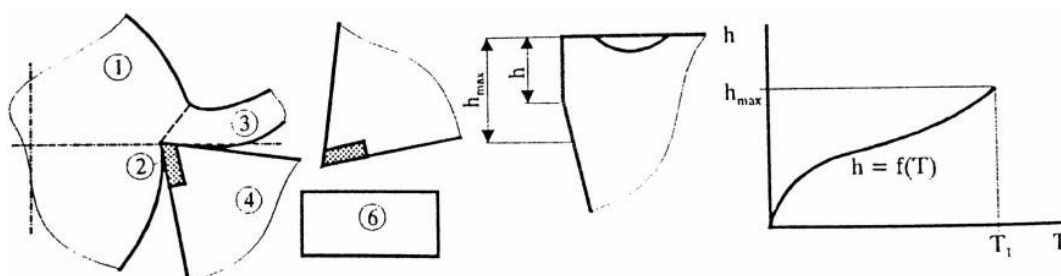


Слика 2.10 Шема давача са електропроводном превлаком [1]

Радиоактивни сензори се базирају на промени радиоактивности алата усред хабања. Мерна инструментација се састоји од детектора зрачења – сонде, бројачког комплета, штампача и писача (слика 2.11).



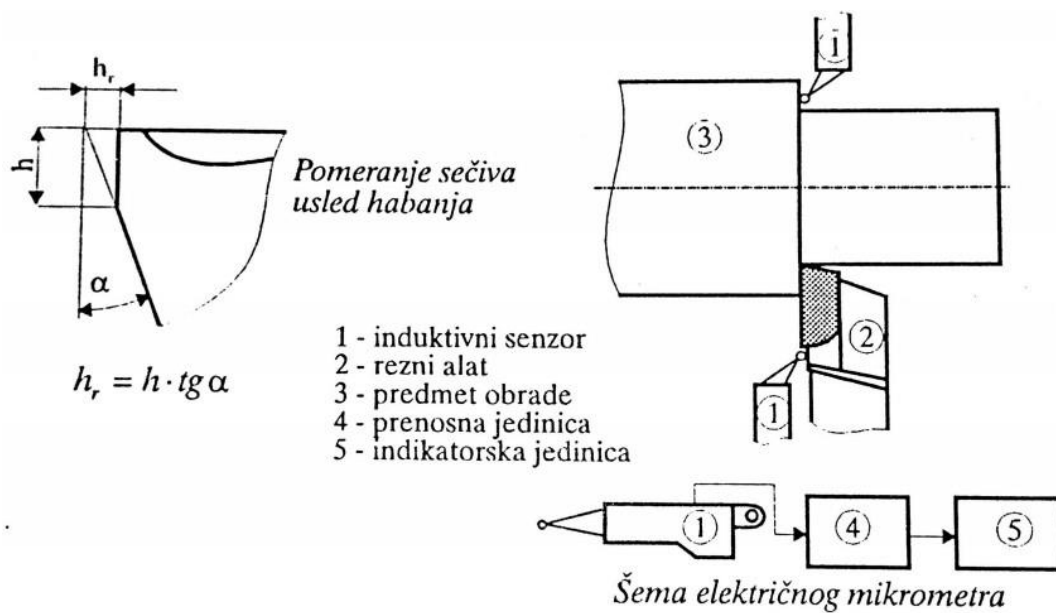
а) мерење радиоактивности струготине



б) мерење радиоактивности алата

Слика 2.11 Радиоактивни сензор хабања [1]

Сензорима померања прати се промена растојања носача алата и предмета обраде. Тиме је обезбеђено праћење промене ширине појаса хабања резног клина алата (слика 2.12).



Слика 2.12 Померање сечива услед хабања алата и шема електричног микрометра [1]

Сензори храпавости обрађене површине заснивају се на постојању корелационе зависности параметара хабања и храпавости обрађене површине. То су оптички процесни сензори различитог извора светлости.

Сензори температуре резања заснивају се на постојању зависности температуре резања и хабања алата. За индиректно праћење хабања алата преко температуре користе се вештачки термометри и методе инфрацрвене термометрије..

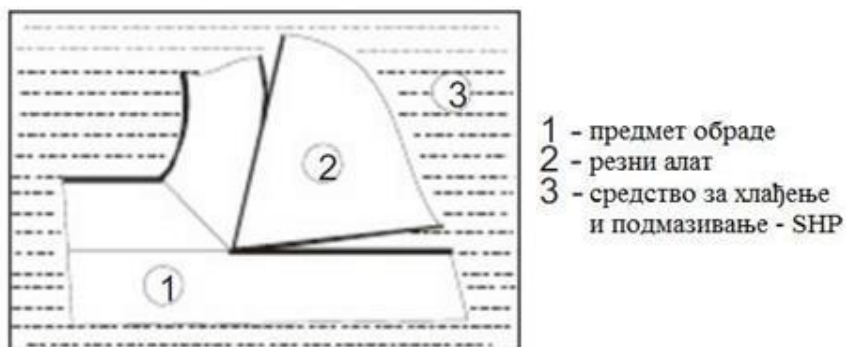
3. ДИРЕКТНЕ И ИНДИРЕКТНЕ МЕТОДЕ ПРАЋЕЊА ПРОЦЕСА ХАБАЊА АЛАТА

У овом делу рада, описане су директне и индиректне методе праћења хабања алата. Дате су основне информације о природи триболошких процеса, као и механизмима и облицима хабања алата. Методе праћења хабања алата подразумевају директно и индиректно праћење хабања коришћењем разних сензора, који су описани у овом делу рада.

3.1 Природа триболошких процеса

Основни елементи трибомеханичког система у обради метала резањем су [1]:

- резни алат
- предмет обраде
- средина (најчешће испуњена средством захлађење)



Слика 3.1. 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 микрозаваривања контактних површина [1].

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.

3.2 Механизми хабања алата

Механизми хабања резних елемената алата се могу поделити на [1]:

- механичко хабање: абразивно хабање и микрорезање
- физичко-хемијско хабање: трибохемијско хабање, атхезионо хабање, дифузионо хабање, оксидно хабање и хабање услед замора.

Абразивно хабање је микрорезање површинских слојева резног клина алата. Микрорезање се јавља у условима појаве тврдих честица (укључака, карбида, оксида) у зони резања.

Трибохемијско хабање је резултат хемијског дејства средства за хлађење и подмазивање, утицаја околине, различитих процеса између материјала предмета обраде и алата и сл. Активне компоненте, у течном и гасовитом стању, доводе до формирања превлаке на површинским слојевима резног клина алата. Разарањем превлаке настаје и хабање алата.

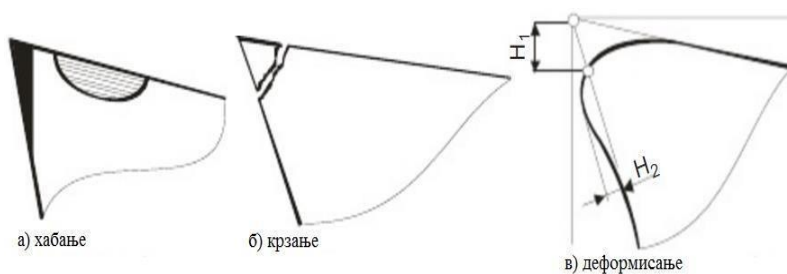
Атхезионо хабање је процес настанка и разарања фрикционих веза - заварених спојева на површинама у контакта алата и струготине. Атхезионо хабање је присутно на свим температурама, а његов интензитет расте са порастом температуре резања, посебно у условима појаве наслага.

Заморно хабање настаје у условима динамичких оптерећења. Манифестује се појавом микропукотина које прерастају у макрупукотине и доводе до одвајања ситних делића алатног материјала.

3.3 Облици хабања резног алата

Хабање резних елемената алата представља губитак резне способности алата (слика 3.2) и резултат је [1]:

- пластичног деформисања резног врха алата,
- крзања, одламања или разарања резног клина алата и
- хабања резног клина алата.



Слика 3.2 Основни облици губитка радне способности алата [1]

Пластично деформисање резног клина настаје при високим топлотним и механичким оптерећењима и манифестује се изменом облика контактних површина алата.

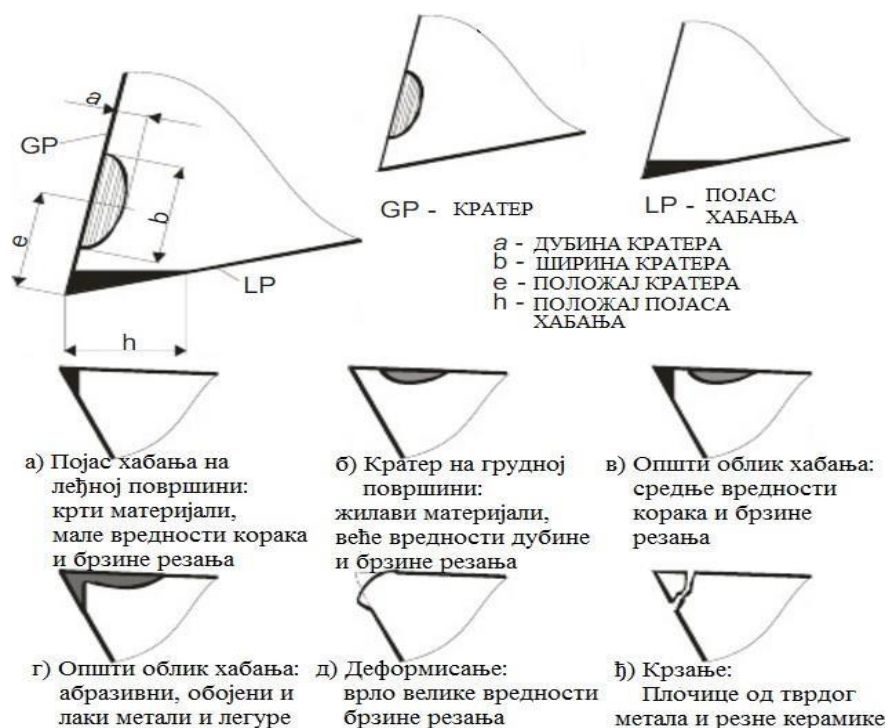
Крзање, одламање и разарање резног клина је неповољан облик трошења алата, јер доводи до брзог отказа алата. Крзање је одвајање честица димензија до 0,3 mm,

одламање одвајање честица димензија 0,3 - 1 mm и разарање одвајање честица димензија изнад 1 mm. Јавља се, углавном, код кртих алатних материјала.

Одлазак честица алатног материјала са струготином, обрађеном површином и средством за хлађење и подмазивање доводи до промене облика резног клина алата. Та промена се манифестује преко појаве: кратера на грудној и појаса хабања на леђној површини резног клина алата.

Постоје три основна типа хабања резног алата [1][4]:

- 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.



Слика 3.3 Облици хабања резних елемената алата [1]

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 [1][4].

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 [1][4].

3.4 Методе праћења процеса хабања алата

Сензори хабања алата. За праћење параметара хабања алата се користе пасивни и активни мерни системи. Код пасивних мерних система процес резања се прекида у жељеном тренутку и мери вредност параметара хабања. Активни мерни системи, нарочито индустријски сензори, генеришу сигнал вредности параметара хабања и димензија предмета обраде и квалитета обрађене површине у току одвијања процеса. Значај ових сензора је врло велики. Њихово увођење у производне технологије омогућава: могућност управљања процесима хабања алата, оптимизацију обрадних процеса, одржавање прописаног нивоа квалитета обрађене површине и тачности и аутоматизацију обрадних процеса. Увођењем сензора хабања у конвенционалне обрадне системе обезбеђује се благовремена замена алата, искључују високи трошкови прераних или касних замена алата, спречава смањење нивоа квалитета израде и лом алата [1].

Параметри хабања резног клина алата се мере непосредно у току одвијања процеса обраде применом директних процесних сензора (оптичких, електричних, сензора померања, радиоактивних, и сл.). Сензори за индиректно мерење хабања су једноставније конструкције и обезбеђују непрекидно праћење процеса хабања алата. За њихову примену је потребно познавање корелационе зависности индиректних параметара процеса и параметара хабања алата. Основни недостатак индиректних сензора (храпавости обрађене површине, температуре резања, акустичне емисије, вибрација, отпора резања, сила и момената на главном вретену, снаге и струје погонског мотора и др.) је што корелациона зависност садржи и нежељене утицаје других фактора, што смањује тачност измерених вредности параметара хабања [1].

Сваки систем дефинишу процес, управљање и контролу стања, а када је реч о контроли стања она се односи на [6]:

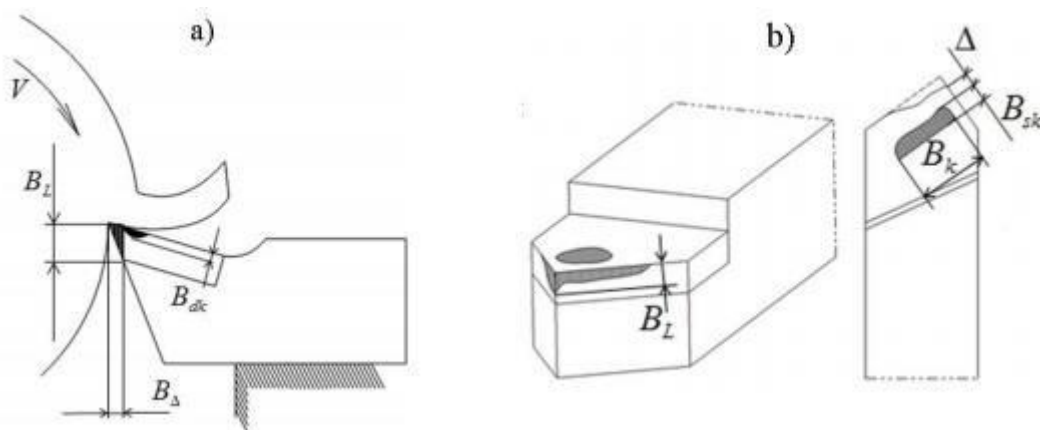
- машину алатку (дијагностика и праћење перформанси),
- алат (стање похабаности алата),
- обрадак (мере, облик и квалитет обрађене површине)
- процес обраде у смислу праћења формирања струготине, температуре или снаге резања.

Стање алата је важан и утицајан фактор у обради метала резањем јер може произвести додатне трошкове при добијању шкарта, лома алата као и непланираних застоја у производњи узрокованих употребом похабаног алата [6].

Приликом процена перформанси метода мерења хабања алата треба имати у виду да се [6]:

- 15% грешака односи на отказивање сензора,
- 45% грешака односи се на процену оператора машине,
- 10% грешака односи се на одабир погрешног метода мерења,
- 20% грешака односи се на неисправан интерфејс машине,
- 5% без грешака.

При интеракцији алата и обратка приказани су феномени који се, када је реч о алату, манифестују у виду хабања алата, слика 3.4.



Слика 3.4 Места хабања стругарског ножа [6]

Хабање леђне површине алата дефинисано је ширином појаса хабања леђне површине алата B_L , док је хабање грудне површине алата дефинисано ширином кратера хабања B_{sk} , дужином кратера B_{dk} и дужином кратера B_k .

Методe мерења односе се на мерење поменутих величина. Узимајући у обзир наведена места хабања алата, посебан акценат се наглашава на утицај ширине појаса хабања леђне површине и због чега се ово место хабања узима као критеријум затупљености, односно постојаности алата [6]:

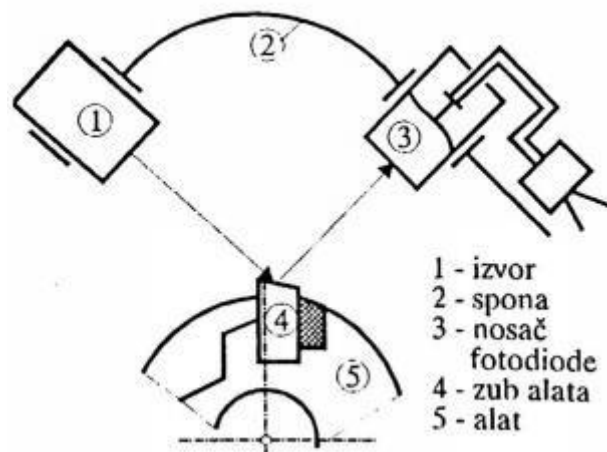
- пораст сила-отпора резања. Осетљивост сила резања (силе продирања и главне силе резања, респективно) на појаву ширине леђног појаса хабања,
- промена ширине појаса хабања на леђној површини алата формира се у три фазе: иницијалног, равномерног и интензивног (прекомерног),
- квалитет обрађене површине зависи од ширине појаса хабања на леђној површини алата односно трења између обрађене површине и леђне површине алата,
- тачност обраде.

3.4.1 Директне методе праћења похабаности алата

Директне методе праћења хабања резних елемената алата су методе које обезбеђују мерење параметера хабања резних елемената алата. То су: масене, микроскопске, методе отисака, радиоактивне методе, оптичке, електричне, пнеуматске и неке друге методе [1][4].

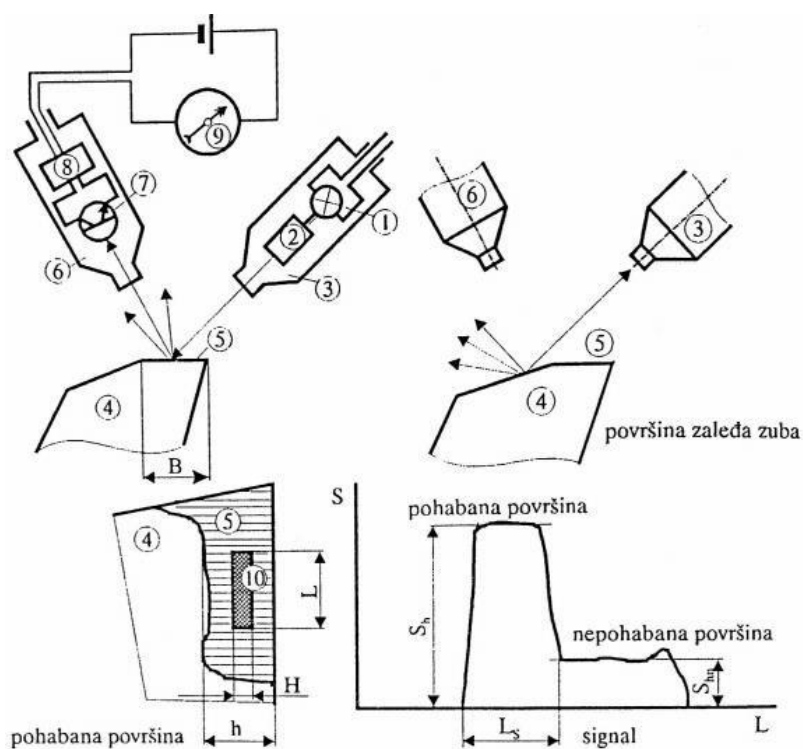
Оптички сензори хабања се најчешће израђују са фототранзистором и фотодиодом (слика 3.5). Мерење параметара хабања оптичким сензорима се изводи на цилиндричним, обртним алатима са периодичним уласком и изласком из захвата. Суштина овог принципа је у јакој рефлексији светлосних зрака са похабане површине алата у односу на непохабане [1].

Оптички сензор ради тако што светлосни зраци који полазе из извора 1 падају на површину резног алата 4 и одбијају се до фотодиоде, која је смештена у носачу 3. Та диода затим генерише електрични сигнал који се преноси кроз електронски блок у индикатор или показивач вредности параметара хабања [4].



Слика 3.5 Оптички сензор хабања алата са фотодиодом [1]

У конструкцији оптичког сензора са фототранзистором (слика 3.6) светлосни зраци полазе из извора 1, пролазе кроз кондензатор 2, падају на похабану површину 5 резног алата 4. Клин се обрће неком угаоном брзином у процесу резања. Одбијени зраци падају на фототранзистор 7 у којем се генеришу електрични сигнали који пролазе кроз електронски блок 8 и доспевају у индикатор вредности параметара хабања [4].



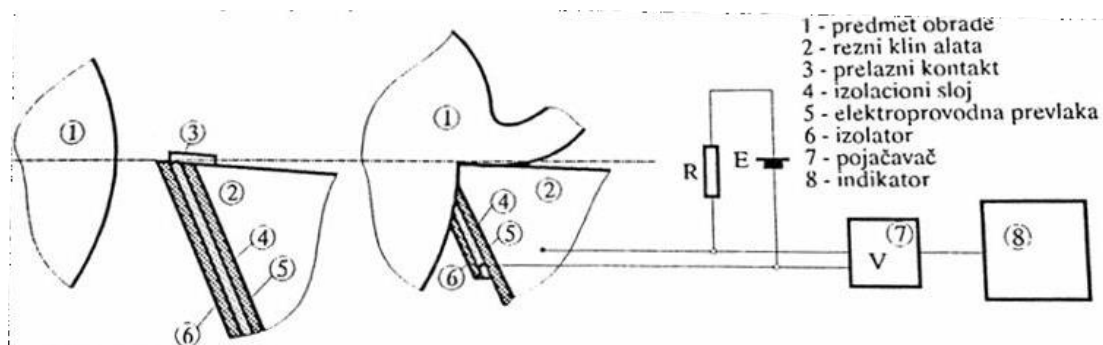
Слика 3.6 Шема оптичког сензора хабања алата са фототранзистором [4]

Дужина L_s сигнала S_h на похабане површине, којом се исказује вредност параметара хабања B , мери се и приказује у дигиталном облику помоћу генератора импулса, смештеног у електронском блоку 8 или изван носача сензора 6 [4].

Неке конструкције ових сензора мере прираштаје параметара хабања $\Delta B = 0.0025 \text{ mm}$. Сензор мери узастопно вредности параметара хабања на свим резним

клиновима алата [5].

Електрични сензори хабања алата се заснивају на праћењу промене електричног отпора превлаке (слика 3.7) или контакта алат – предмет обраде[1].



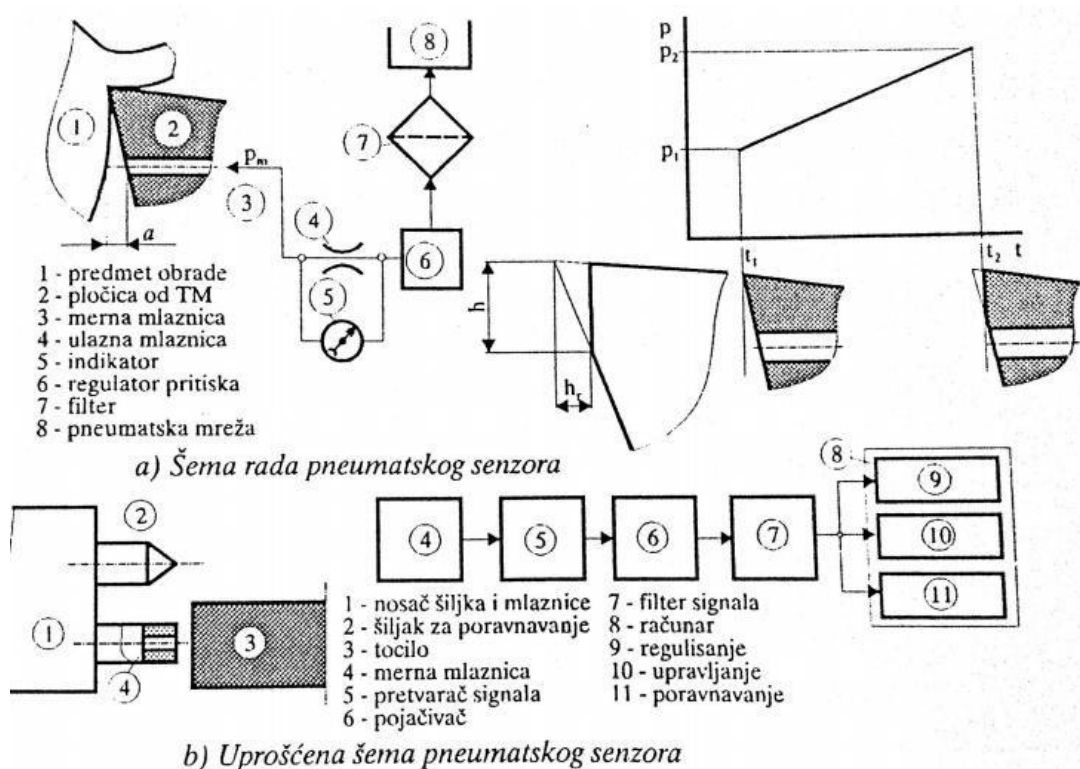
Слика 3.7 Шема давача са електропроводном превлаком [1]

На леђну површину резног клина 2 наноси се термоотпорни изолациони танки слој 4, а преко њега електропроводна превлака 5 (састављена од графитног прашка помешаног у фенолној смоли као вези или неког другог састава). На ову превлаку се затим наноси опет термоотпорни слој 6. Електропроводна превлака 5 је спојена са резним клином 2 преко прелазног контакта 3. Овај контакт се у процесу обраде губи, а електрични контакт између резног клина 2 и електропроводне превлаке 5 остварује се преко обратка или средства за хлађење и подмазивање.

Са порастом појаса хабања пропорционално се троши електропроводна превлака што доводи до промене њене електричне отпорности. На овај начин се, преко мерења отпорности превлаке 5, мери непрекидно у процесу обраде и вредност параметара хабања B . Ова вредност се после појачања може приказати, записати или одштампати на некој од индикаторских јединица. При овоме је битно да пропорционалност између пада електричне отпорности превлаке 5 и пораста ширине појаса хабања.

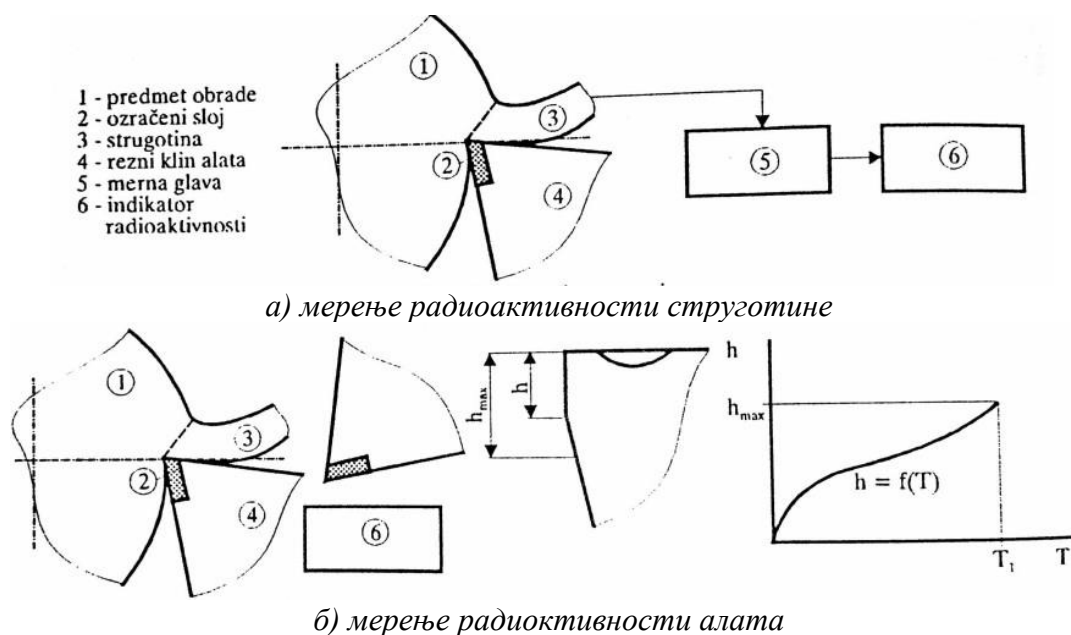
Други метод се заснива на корелацији вредности површине контакта и његове електричне отпорности. Са повећањем површине контакта смањује се вредност његове електричне отпорности [4].

Пнеуматски сензор хабања алата је приказан на слици 3.8. Мерни млазник 4 и шиљак 2 за проверавање тоцила 3 налазе се на истом носачу 1. Растојање мерног млазника и тоцила, односно промена параметара хабања тоцила стоје у одређеној корелационој вези са променом притиска Δp . На слици б) приказана је структурна шема система, у којима се обавља конверзија мерног сигнала у електрични облик при чему је 4 - мерни млазник, 5 - претварач пнеуматског притиска и електрични сигнал, 6 - појачавач и 7 - филтер ниских фреквенција. Регулисање сигнала - 9 се обавља у електронском рачунару - 8, као и управљање - 10 и поравнање тоцила - 11. Овај сензор је намењен за мерење хабања тоцила у процесу брушења[4].



Слика 3.8 Пнеуматски сензор хабања [4]

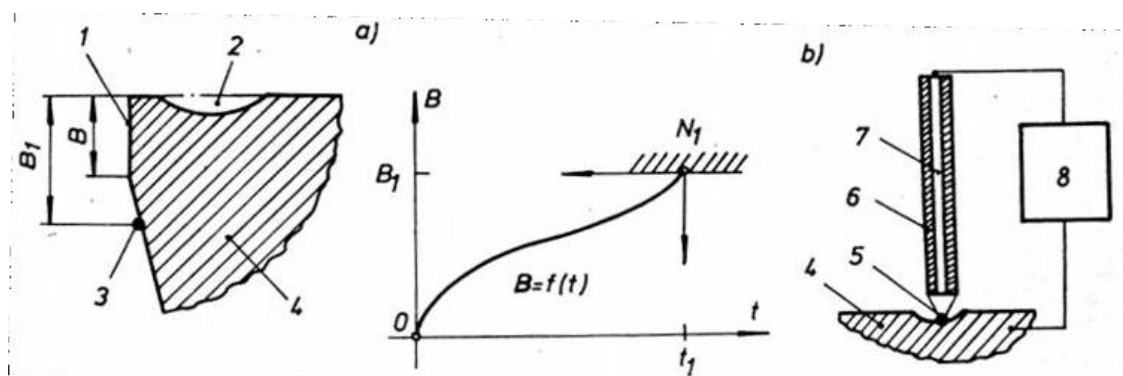
Радиоактивни сензори се базирају на промени радиоактивности алата усред хабања. Мерна инструментација се састоји од детектора зрачења – сонде, бројачког комплета, штампача и писача (слика 3.9). У процесу обраде се мери радиоактивност алата пре обраде, за време и након обраде резањем. На основу познате зависности промене радиоактивности алата и параметара хабања, мерењем радиоактивности алата у процесу резања обезбеђено је и праћење промене параметара хабања [1].



Слика 3.9 Радиоактивни сензор хабања [1]

Озрачавањем делова грудне и леђне површине на резном клину 4, постиже се одређени степен радиоактивности ових површина. Постоји корелација између пада радиоактивности и прираштаја вредности параметара хабања у озраченим зонама. Струготина 3, која садржи озрачене честице са грудне зоне хабања, одводи се транспортним током, пролазећи кроз мерну главу 5 где се континуално мере и показују на индикатору 6 вредности пада радиоактивности, односно вредности параметара хабањана грудној површини резног клина. Озбиљна мана ових сензора је у одређеној опасности за радно место и околину у погону од могућих радиоактивних зрачења.

Друга конструкција радиоактивних сензора хабања алата је приказана на слици 3.10 и темељи се на микроизотопном методу. Овај метод карактерише се претходним депоновањем радиоактивног материјала, врло мале масе и радиоактивности, на оном месту који одговара допуштеној вредности параметара хабања B_1 . Престанак радиоактивних сигнала, који се непрекидно прате у процесу обраде помоћу Гајгеровог бројача, знак је достизања посебног детектора хабања $B = B_1$, или оштећења алата, или појава неисправности у мерном систему. Може се без тешкоћа утврдити који од ова три случаја је наступио, а затим наставити наредне операције. Депоновање се врши електрофарничењем. Извор генерише два струјна импулса при чему наноси превлаку од озрачене волфрамоске шипке на алат [4].



Слика 3.10 Шема хабања алата и радиоактивног сензора хабања са микроизотопном тачком [4]

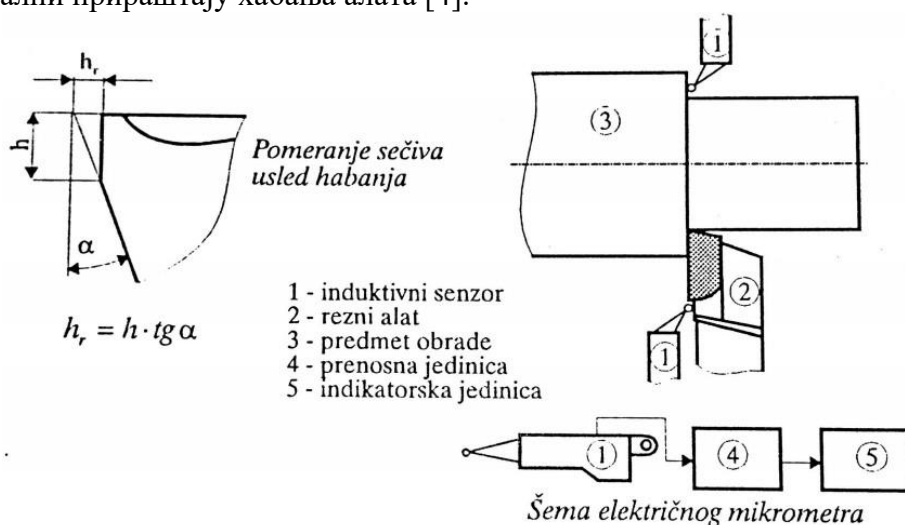
3.4.2 Индиректне методе праћења похабаности алата

Индиректне методе су методе праћења промене: параметара храпавости обрађене површине, димензија предмета обраде, отпора резања, температуре резања и сл., са временом. То су методе праћења промена на предмету обраде и у процесу резања. Сви наведени системи индиректног мерења засновани су на принципу да хабање алата изазива повећање отпора резања [1].

Сензорима померања (слика 3.11) прати се промена растојања носача алата и предмета обраде. Тиме је обезбеђено праћење промене ширине појаса хабања резног клина алата, јер између померања сечива услед хабања и ширине појаса хабања постоји директна функционална зависност преко леђног угла $h_r = h \cdot \operatorname{tg}(\alpha)$. У том циљу се користе различити типови сензора као што су ултразвучни сензори [1].

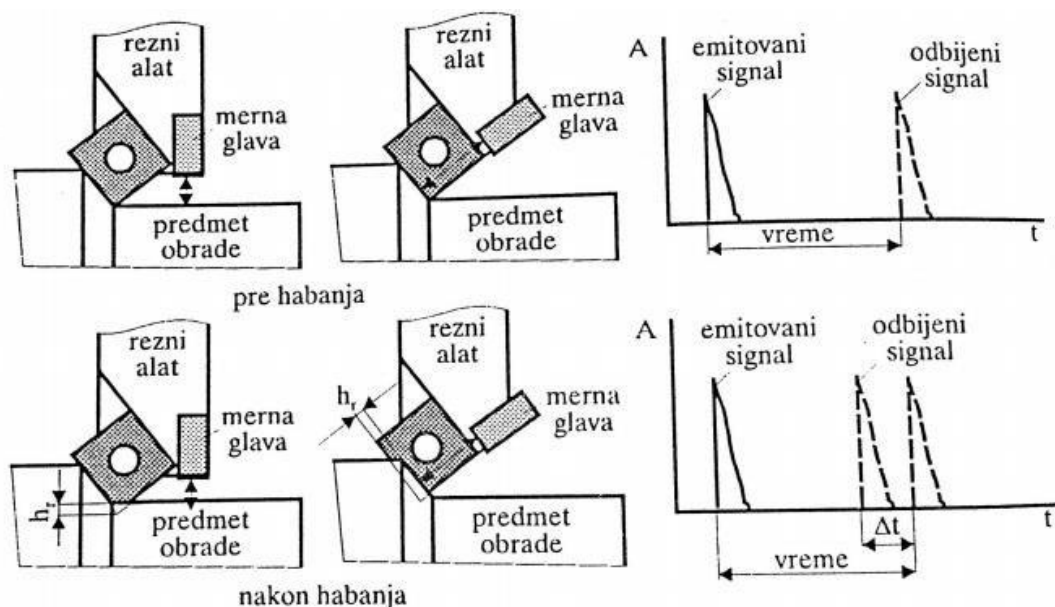
Метод мерења електричним микрометром се састоји у томе што је индуктивни сензор 1 постављен на носач алата тако да се пипак наслања на површину резања. У процесу стругања алат се хаба што изазива приближавање носача алата обрађеној

површини. Свака промена положаја пипка изазива генерисање сигнала који су пропорционални прираштају хабања алата [4].



Слика 3.11 Померање сечива услед хабања алата и шема електричног микрометра [1]

Ултразвучни сензори (слика 3.12) емитују сигнал ка површини резања и детектују одбијени сигнал. Временски интервал појаве одбијеног сигнала у односу на емитовани је t_0 и зависи од растојања сензора и површине резања. Услед хабања сензор се приближава површини резања тако да је одбијени сигнал временски ближи емитованом за Δt . Разлика времена Δt је пропорционална хабању [1].

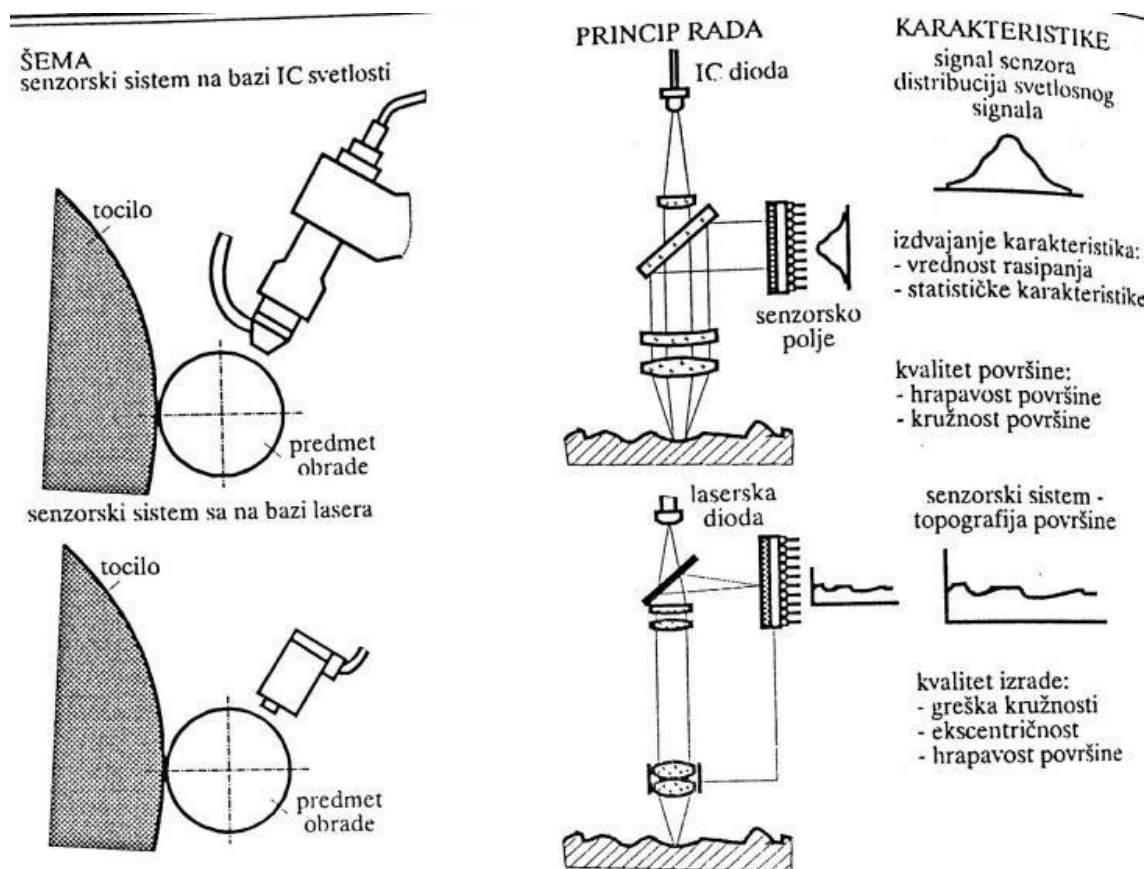


Слика 3.12 Шема ултразвучног сензора [1]

Сензори хрпавости обрађене површине. Код ових сензора постоји корелациона зависност параметара хабања и хрпавости обрађене површине. Ови сензори су на бази инфрацрвене светлости или ласерског снопа. То су оптички сензори различитог извора светлости, чији се принцип рада заснива на чињеници да степен рефлексије светлости са обрађене површине зависи од хрпавости површине (слика 3.13). Системи су

осетљиви на прљавштину и струготину, па се споро прихватају у индустрији.

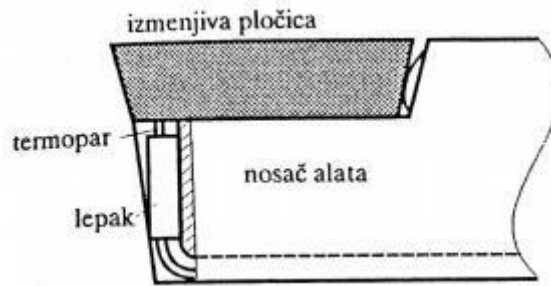
Код инфрацрвених сензора, диода емитује светлост и фокусира сноп светлости на обрађену површину. Сноп светлости се одбија од површине и пада на анализатор. На основу анализе расподеле интензитета добијене светлости идентификују се валовитост, кружност и храпавост обрађене површине. Ласерски сноп обезбеђује много бољу резолуцију и идентификовање храпавости површине [1].



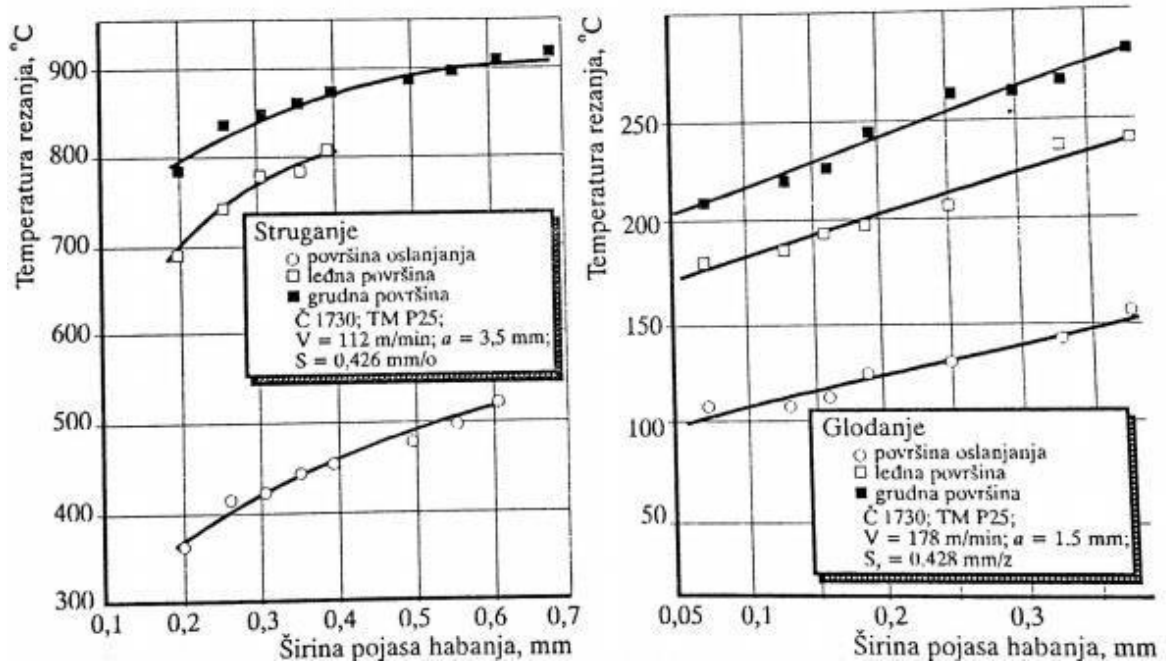
Слика 3.13 Оптички сензори за мерење параметара обрађене површине [1]

Сензори температуре резања (слика 3.14) заснивају се на постојању зависности температуре резања и хабања алата. За индиректно праћење хабања алата преко температуре користе се вештачки термометри и методе инфрацрвене термометрије. Температура резања у обради стругањем се може мерити на грудној и леђној површини и површини ослањања резне плочице. Најпогодније место за мерење температуре је површина ослањања резне плочице, јер се плочица лако мења, без оштећења термопара.

Сензори на бази инфрацрвене термометрије фокусирају инфрацрвене зраке на површину зоне резања. Тиме се идентификује средња температура резања на површини од око $0.2 - 0.5 \text{ mm}^2$. Сензори су високог нивоа осетљивости и врло кратког времена реаговања. Интересантни су у градњи машина алатки, јер су бесконтактни. Недостаци су им велика сложеност, висока цена и отежано фокусирање [1].



a) начин постављања вештачког термопара на површину ослањања алата



б) зависност температуре резања и ширине појаса хабања

Слика 3.14 Начин постављања термопара на површину ослањања и зависност температуре резања и ширине појаса хабања [1]

Метод мерења силе резања. Постоје одређене функционалне везе између пораста вредности силе резања и похабаности алата. Ове зависности се користе за развој метода индиректног метода за мерење хабања алата. Код овог метода, на основу директно измерене силе (или отпора) резања F и претходно утврђене зависности $F = f(B)$ могу се одредити вредности параметара хабања алата у неком тренутку процеса обраде. Поред постојања линеарне зависности $F = f(B)$, значајну предност овај метод има јер је мерна техника заснована на мерењу сила резања веома развијена. Једноставне је конструкције, димензије су малеа поузданоти резултата мерења заузима високо место код процесних мерних система у производним условима обраде. Развијено је мноштво лабораторијских и процесних динамометара. Мана овог метода је у томе што је за сваки случај обраде потребно претходно утврдити зависност $F = f(B)$ [4].

4. ОСНОВИ УПРАВЉАЊА КОД CNC МАШИНА

У овом делу рада дате су информације о адаптивном управљању са граничним управљањем и адаптивно оптимизирајућој регулацији код CNC машина.

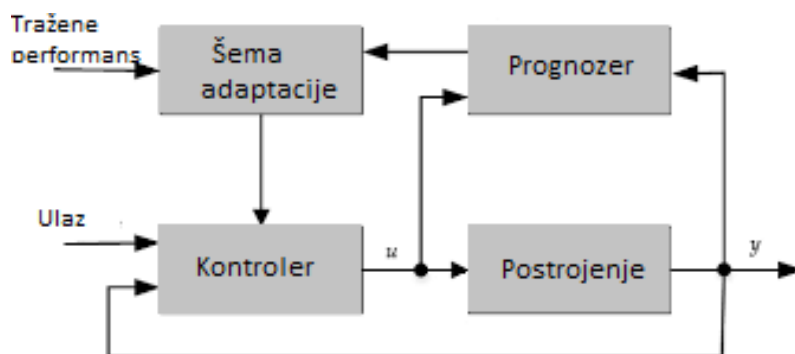
Повећање нивоа аутоматизације обрадних система је произашло из више разлога, од којих су најважнији скраћење времена трајања циклуса и процеса производње, повећање нивоа квалитета, смањење финалне цене производа и замене рада човека машином.

Развој рачунарске технике довео је до пада цене рачунара уз истовремено повећање њихових могућности. То је омогућило брз развој рачуарских управљачких јединица и њихове широке примене код алатних машина.

CNC је скраћеница од Computer Numerical Control (компјутерска нумеричка контрола). Тај појам се односи на коришћење рачунара у управљању осама машине. То може бити нпр. глодалница, струг, граверска машина... Она може бити са 2,3,4,5 или више оса. CNC машина има своју посебну управљачку јединицу која покреће управљачке моторе и обрадну главу машине. Компјутер шаље управљачке сигнале у виду импулса управљачкој јединици, која даље управља моторима за кретање по осама [8].

Адаптивно управљање је метод управљања који се користи код система где регулатор мора да се прилагоди систему којим се управља и чији параметри се мењају или су иницијално неизвесни.

Адаптивно управљање се значајно развија последњих година. *Self-tuning* контрола представља једну грану адаптивног управљања која се успешно примењују у пракси. *Self-tuning* контролори прикупљају такве информације током нормалног рада и долази до подешавања регулатора *on-line* по потреби. У теорији контроле, *self-tuning* систем је способан за оптимизацију својих унутрашњих промена параметара како би се повећало или смањило испуњење функције циља, обично повећала производност или елиминисала грешка. *Self-tuning* системи, нелинеарни системи и адаптивно управљање представљају једну целину [7].



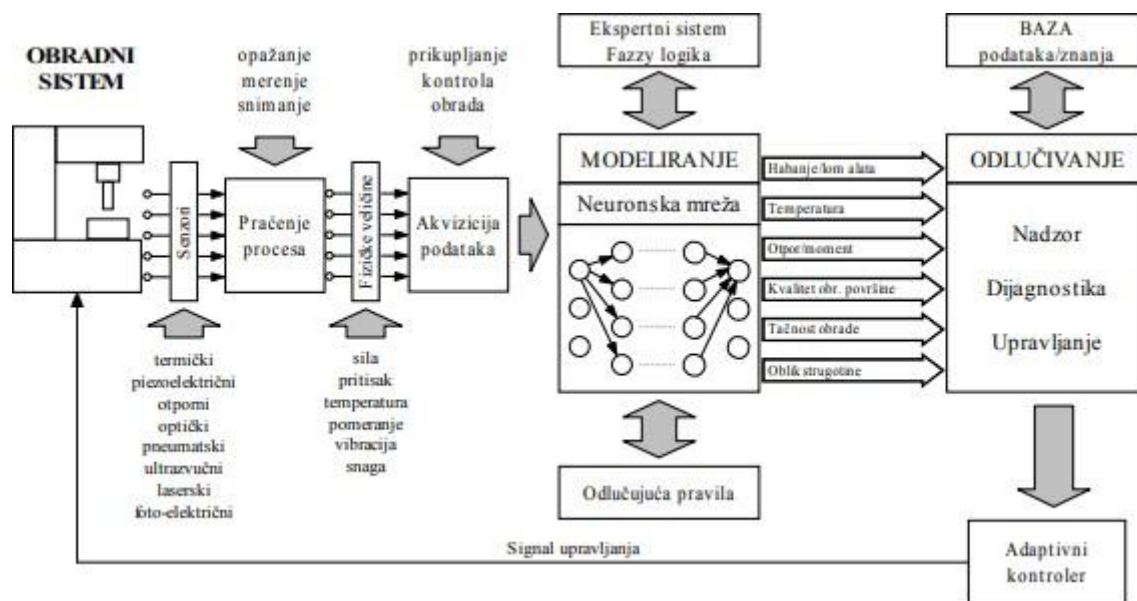
Слика 4.1 *Self-tuning* контрола [7]

Уобичајени приступ у синтези система управљања је одредити линеарни модел процеса за одређену радну тачку, а затим на темељу параметара процеса, за које се

претпоставља да су константни, одредити одговарајућу структуру и параметре регулатора. У пракси се може очекивати да се параметри процеса мењају током рада у већој или мањој мери. Наиме, због нелинеарности које се јављају у процесу, различитим радним тачкама одговарају различити параметри линеарног модела процеса. То значи да се променом радне тачке мењају и параметри процеса на темељу којих су одређени параметри регулатора. Због инхерентне робусности система с повратном спрегом како на поремећаје тако и на грешке моделирања процеса, у највећем броју случајева регулатор с константним параметрима одређеним за неку номиналну радну тачку осигураће задовољавајуће одзиве система управљања. Има пак случајева, када су промене параметара процеса толико изражене да регулатор с константним параметрима не даје задовољавајуће одзиве. У пракси постоји много различитих узрока промена параметара процеса, а често се ради и о комбинацији различитих појава [7].

Системи мониторинга процесом обраде метала резањем обезбеђују надзор: процеса резања, резног алата, осталих елемената обрадног система и управљање процесом резања. Мониторинг процеса резања подразумева праћење параметара процеса обраде, контролу стања и управљање процесом.

Системи мониторинга са адаптивним управљањем процесом обраде раде са затвореном петљом и прилагођавају услове обраде унапред задатој програмској стратегији. Најједноставнији системи аутоматски управљања врше заустављање машине или помоћног кретања у када идентификују отказ неког елемента система. Сложенији системи су системи са адаптивним управљањем (ACC, ACO).



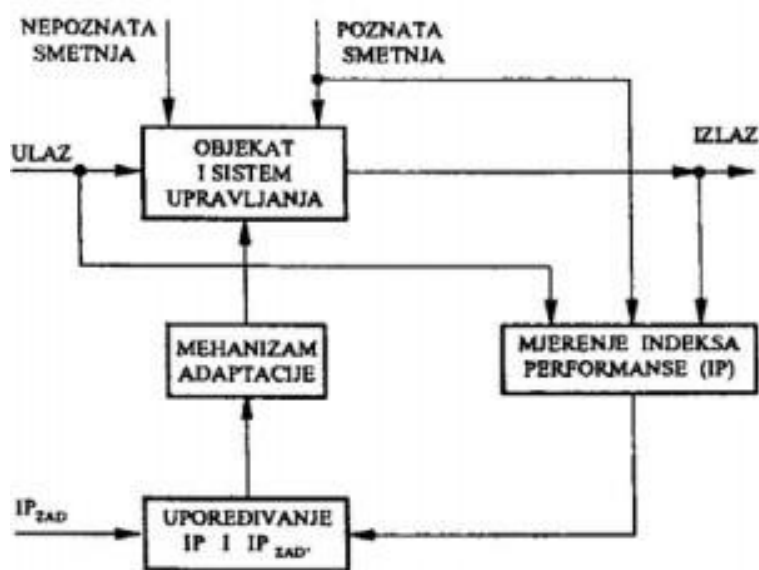
Слика 4.2 Мониторинг процеса и адаптивно управљање процесом (ACC, ACO)[1]

Код система мониторинга са адаптивним управљањем процесом обезбеђено је и непрекидно учење, дијагностика и прогнозирање стања процеса. Тиме је створена претпоставка за аутоматски мониторинг и управљање процесом обраде, јер се користи исти модел мониторинга на бази самоучења.

Карактеристике NC машина и обрадних центара су константни, унапред задати,

режими обраде у току извођења процеса. Управљачке акције су унапред програмиране, при чему се води рачуна о постојању одговарајућих резерви које треба да обезбеде поузданост одвијања процеса. Ограничене могућности нумерички и компјутерски управљаних обрадних центара, у смислу флексибилности и могућности оптимизације у току обрадног процеса, довеле су до развоја адаптивно управљаних обрадних система (АС система).

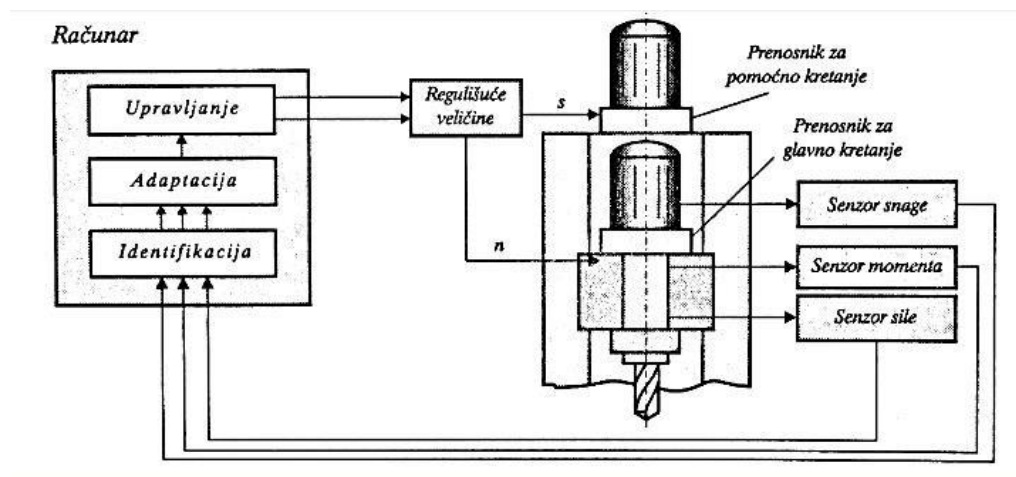
Адаптивно управљане системе карактерише затворени управљачки ланац. Системи поред основне управљачке јединице NC или CNC машине, имају јединицу за регулацију улазних параметара на основу излазних информација, слика 4.3. Управљање се врши према унапред задатом циљу, односно критеријуму (ACC) или на принципима адаптивне оптимизације (ACO) [7].



Слика 4.3 Структура АС система [7]

Адаптивни системи са граничним управљањем (ACC) могу бити засновани на технолошким или геометријским параметрима регулације. Принцип функционисања адаптивног система са граничним управљањем се најбоље може видети на слици 4.4. Систем је заснован на технолошким параметрима управљања. Преко одговарајућих сензора, у току процеса обраде, врши се мерење параметара: момента и силе резања, снаге главног кретања. Измерене вредности се континуално, у току времена, упоређују са задатим. Уколико из било којих разлога наступи одступање мерених величина у односу на унапред задате, врши се корекција улазних параметара или се процес зауставља [7].

ACC системи са геометријским адаптивним управљањем се заснивају на одржавању геометријских карактеристика процеса. У току обраде континуално се врши мерење димензија предмета обраде и квалитета обрађене површине. У случају да дође до нежељених одступања мерених величина врши се корекција улазних параметара процеса ради успостављања жељеног стања.

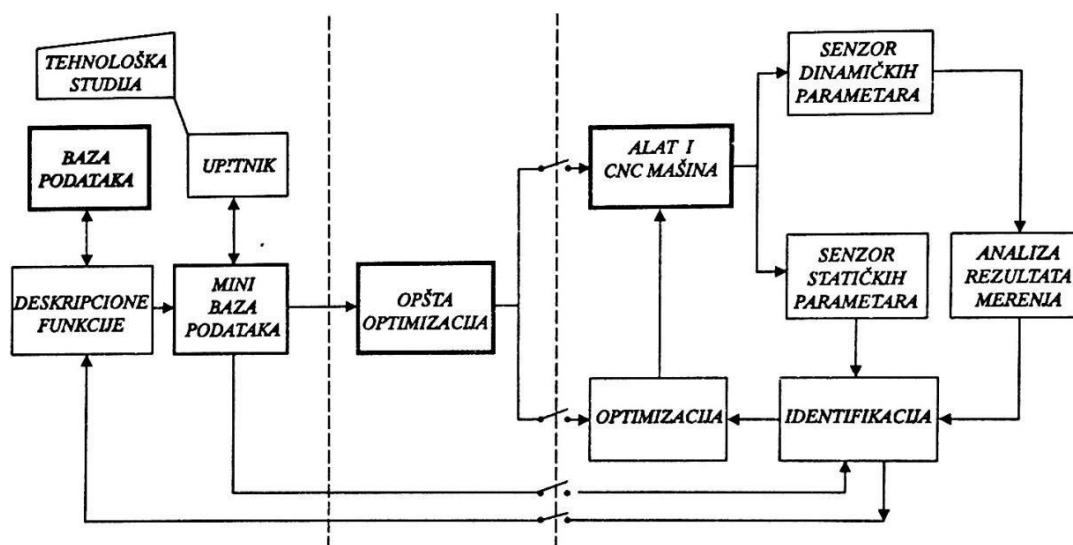


Слика 4.4 ACC систем у обради бушењем [7]

Адаптивно управљани системи (АСО системи) засновани су на принципу адаптивне оптимизирајуће регулације. За критеријум управљања најчешће се користе минимални трошкови обраде (или ређе максимална производност). Код ових система трошкови обраде су директно изражени у функцији параметара процеса обраде и стања елемената система. Поред оптималних параметара процеса обраде до којих се долази на основу прорачуна по одговарајућем критеријуму, уводе се одређена ограничења која одређују област у којима се морају налазити прорачунате величине. Та ограничења су у функцији резних могућности алата, експлоатацијских карактеристика машине и захтеваних карактеристика квалитета израде предмета обраде [7].

Адаптивни систем за управљање хабањем алата, на принципу оптимизације по критеријуму минималних трошкова алата, може се представити као на слици 4.5. Адаптивно управљање се у овом случају остварује у три нивоа, са десна у лево:

- *On-line* адаптивна контрола и управљање, ниво 1,
- *Off-line* систем за оптимизацију, ниво 2 и
- База података, ниво 3.



Слика 4.5 АСО систем за управљање хабањем алата [7]

On-line адаптивна контрола и управљање се састоји од кружног тока информација, почев од CNC алатне машине, мерних сензора за мерење параметара процеса, модула за анализу и идентификацију параметара до модула за *on-line* оптимизацију који врши минимизацију регулишућих величина према задатом критеријуму.

Off-line систем за оптимизацију је намењен за одређивање свих полазних параметара обраде и њихових закона промене. Такође, на овом нивоу се врши избор математичког модела за оптимизацију. Приказани АСО систем претпоставља динамичку оптимизацију, што значи да у току обраде може доћи до промене оптимизирајућег модела, као и улазних параметара процеса обраде.

База података, садржи параметре и структуру математичких модела који могу бити коришћени у нижим нивоима.

Основни систем при пројектовању адаптивно управљаног обрадног система је избор сензора хабања и успостављање система за индиректно мерење хабања алата. Идентификација параметара процеса и корекција корака и брзине резања се врши у веома кратким временским интервалима. Корекција корака се изводи са циљем задржавања константне вредности силе резања. У циљу постизања оптималне вредности постојаности алат, врши се прорачун и корекција брзине кретања [7]

Основни проблем развоја адаптивних система је идентификација процеса резања и избор одговарајућег сензора хабања.

4.2 Мулти моделска адаптивна контрола (ММАС)

Концептуално, мулти моделска адаптивна контрола (ММАС) може да се посматра као хијерархијски контролни систем који садржи више локалних контролера повезаних на главни контролер помоћу прекидача. Овај тип адаптивне контроле је настао из потребе да се смањи нестабилност система, при чему има неколико предности у односу на остале системе. Пре свега, овај систем има брзу адаптацију на нагле промене параметара, што је јако повољно. Ипак, постоје и негативне карактеристике овог система. Један од тих проблема је што постоји шанса да ће главни контролер изабрати погрешан контролер, за који се не зна да ће остати најпогоднији за тренутни процес, када се прекидач покрене, тако да сигурна промена контролера има велику потребу за искључивањем дестабилизованог контролера из процеса [7].

4.3 Дуална адаптивна контрола

Може да се дефинише као контрола која користи несигурност система за потребе стратегије контроле истог, тако да систем може да осигура контролу параметара, док истовремено помаже обрадном систему да побољша процену. Адаптивни део система одређује параметре контроле *on-line*, а дуални део помаже тако што осигурава оптимални рад контролних параметара [7].

5. ИСТРАЖИВАЊА У ОБЛАСТИ НОВИХ МЕТОДА МЕРЕЊА ХАБАЊА АЛАТА

У овом делу рада извршено је прикупљање и дат је преглед експерименталних истраживања у области директног и индиректног мерења хабања алата. Преглед истраживања обухвата радове у којима се хабање прати обрадом слике похабаности алата, анализом амплитуде вибрација и анализом акустичне емисије при прогресивном хабању алата.

5.1 Анализа хабања алата помоћу обраде слике

Анализа хабања помоћу обраде слике у раду [10], описује начин снимања слике резног врха алата и методе за обраду слике са циљем препознавања величине похабаности.

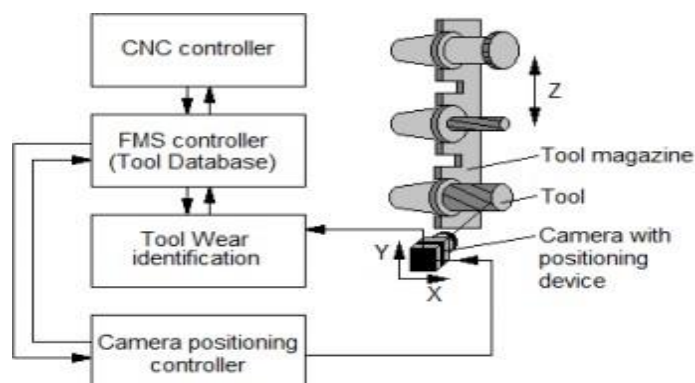
Могућност процене похабаности алата у великој мери утиче на повећање аутоматизације и флексибилности производног процеса. Аутоматска измена похабаног алата нових у магацину алата са више истих алата, имплементирана у обрадне системе, припрема новог сета алата и аутоматскамена поханог алата у магацин алата чини савремени обрадни систем са АС системом. Аутоматска измена алата значајно утиче на смањење времена застоја машине, при чему не утиче на радни век алата. Да би се пратило хабање алата и предвидео радни век, потребно је помоћу сензора пратити хабање алата и на бази мереног века алата, вршити замену непосредно пре истека радног века.

У раду [10], анализиран је систем на бази аквизиције и обраде слика, које могу дати потребне информације о похабаности резног дела алата. Овај систем је направљен да ради заједно са методама које детектују лом алата, а које су већ имплементиране у управљачку јединицу CNC машине.

Експеримент је развијен са циљем да се добију узастопне слике похабаности алата, које могу бити искоришћене како би се тестирале и анализирале различите методе обраде слика.

Систем садржи рачунарски систем, камеру, оптички микроскоп са осветљењем, резни алат, држач алата и напајања камере. За експерименталне тестове је коришћено глодало пречника 14 mm са два спирална зуба. Предмет обраде је од С45 угљеничног челика.

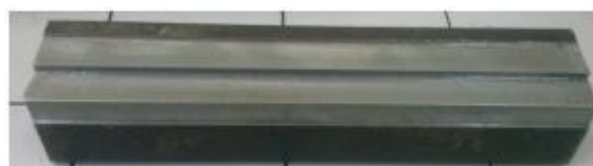
На слици 5.1 је приказан мерни систем реализован у раду [10], а на сликама 5.2 и 5.3 алат и предмет обраде из експеримента.



Слика 5.1 Систем мониторинга хабања алата [10]

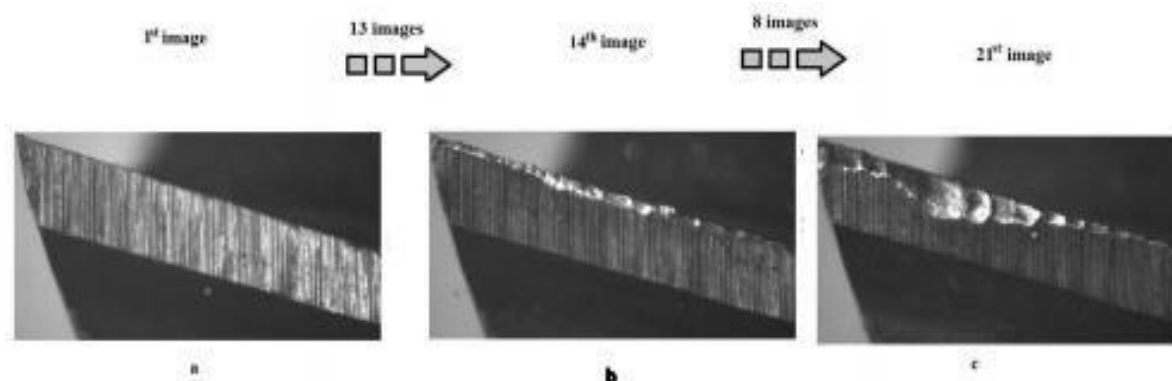


Слика 5.2 Глодало коришћено за експеримент [10]



Слика 5.3 Радни комад од угљеничног челика [10]

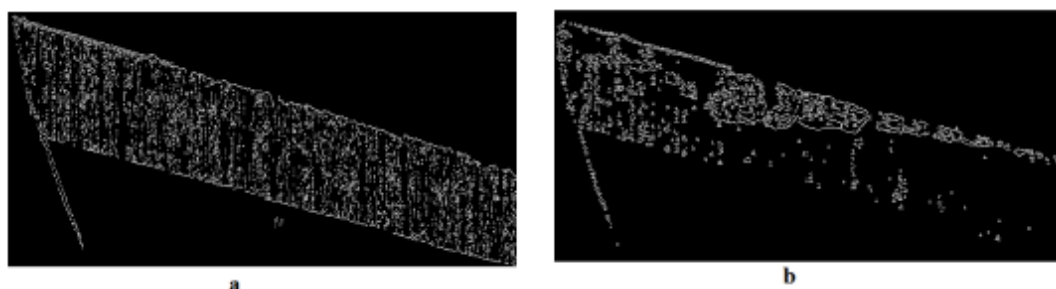
Коришћењем мерног система, добијене су слике врха резног клина алата у току обраде, слика 5.4. За време експеримента алат је осам пута обрадио дужину комада. Фотографије су добијане након сваких 200mm дужине обраде предмета. Параметри процеса обраде су били: брзина помоћног кретања 50mm/min, брзина резања 22 m/min, број обртаја алата 500 o/min, ширину резања 6 mm и дубина резања 2mm.



Слика 5.4 Сlike резног врха алата направљене током процеса обраде приказују стање алата: а) нов алат, б) први знаци хабања алата, с) последња фаза хабања [10]

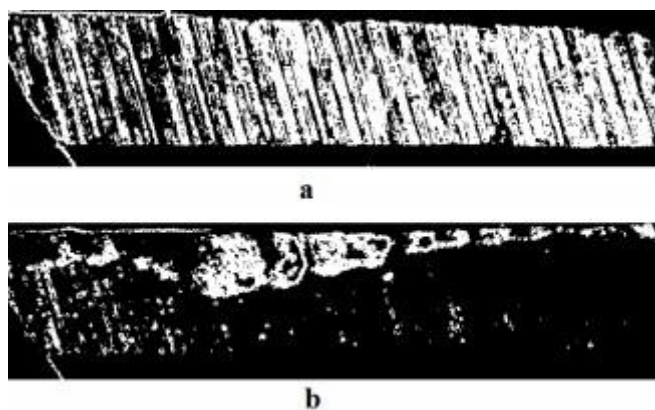
Укупно је добијена 21 фотографија, којима је приказано стање похабаности резне ивице алата у току времена обраде. Већи број фотографија од 21, не би дао више информација и не би утицао на резултате мерења. Анализом фотографија, дошло се до закључка да прва појава хабања алата настаје на 14-ој фотографији, након чега се хабање наставља, што се може видети на слици 5.4. Након снимљених фотографија, тестирана су три различита алгоритма за обраду слике, како би се утврдио ниво похабаности алата и утврдило време до достизања критичне вредности хабања.

На основу детаљне анализе добијених слика развијен је алгоритам како би се издвојиле значајне карактеристике које могу помоћи у разликовању хабаних и нових резних ивица алата. Кораци у алгоритму су: прво се врши филтрирање оригиналне сиве слике са филтром распона, за који сваки излазни пиксел садржи максималну вредност минус минимум вредност 3×3 околине филтрираног пиксела. Након тога следи трансформација нивоа сиве боје слика у црно-белу слику *Otsu's* методом [10]. Овом методом се успоставља праг који се користи за аутоматску трансформацију слике са хистограма на нивоу сиве боје, тако да нема ручног подешавања прага. Следећи корак је проналажење ивица на црно-белој слици помоћу методе детекције ивица. Помоћу ове методе добија се нова црно-бела слика граница предмета из претходне црно-беле слике. Овде се „објекат“ мора разумети као било која бела регија одвојена од других сличних региона, тако да реч објекат нема физичко значење. Резултати описаних корака приказани су на слици 5.5 [10].



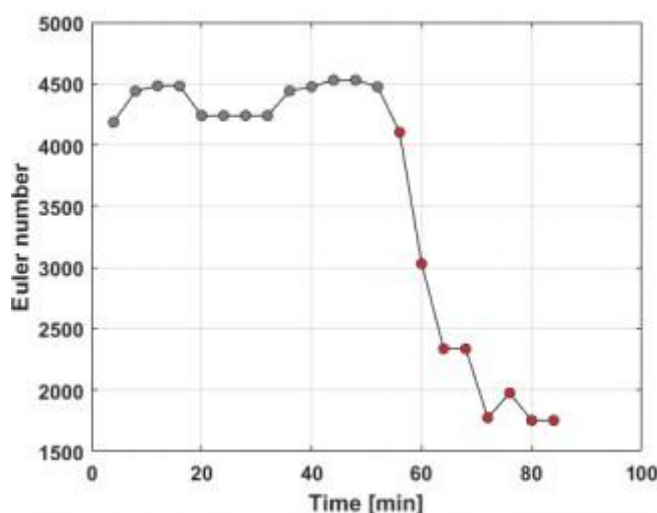
Слика 5.5 Бинарна црно-бела слика а) новог алата и б) последње фазе хабања алата [10]

Када се добију бинарне црно-беле слике, оне се побољшавају, како би објекат био видљивији. На слике се стављају и једнодимензионални филтери, како би се постигао већи квалитет. Резултати ове операције су приказани на слици 5.6.



Слика 5.6 Побољшана и ротирана слика (а) новог алата и (б) хабаногалата [10]

За проучавање структуре појачаних и ротираних слика коришћени су различити морфолошки параметри за издвајање карактеристика које би могле разликовати слике похабаног од новог алата. Један од тих параметара је и *Eulerov* број (EN). EN је укупан број објеката на слици минус укупан број рупа. Рачунајући EN-ове за читав низ слика, добија се дијаграм на слици 5.7. Како се то види на дијаграму на слици 5.7, EN има значајан пад од 14-те слике, што одговара првој слици која има видљиве трагове хабања. Ако се успостави праг (у овом случају $EN=3500$), може се прилично разликовати EN-ови који одговарају похабаној и непохабаној леђној површини алата.

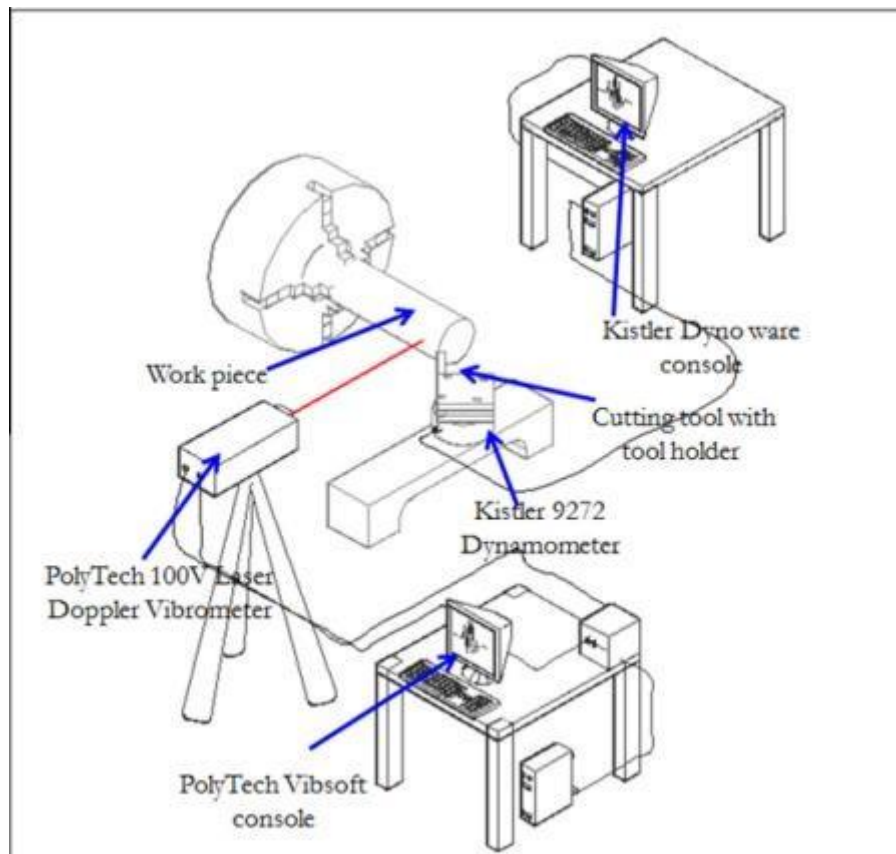


Слика 5.7 Дијаграм промене Еулеровог броја за експерименталне слике (свака тачка одговара једној слици из експеримента) [10]

5.2 Анализа хабања алата на основу амплитуде вибрација предмета обраде

Експериментална испитивања вибрација елемената предмета обраде су вршена у раду [11]. Код стругања, вибрације су чест проблем, које утичу на резултат обраде, посебно на квалитет обрађене површине и хабање алата. Вибрације се могу дефинисати као непрестано померање објекта на веома високој фреквенцији. У процесу стругања, присутне су три врсте механичких вибрација. Слободне, принудне и само побуђене вибрације. Јављају се због недостатка динамичке крутости / крутости у систему алатних машина, односно крутости система алат, носач алата и предмет обраде.

Вибрације током процеса обраде могу оштетити резни алат ако се не решавају правилно. Експерименти описани у раду [11] су реализовани на стругу PSG-124 при константним условима обраде. Машина има могућности промене брзине вретена. Помоћу динамометра Kistler 9272 са вишеканалним појачивачем и анализатором је вршено мерење и прикупљање података о отпорима резања. PolyTec 100V ласерски доплерски виброметар је коришћен за мерење вибрација и снимање сигнала у рачунар. Постављен је на константну удаљености од зоне обраде. Ласерски сноп је концентрисан на ротирајући предмет обраде, слика 5.8.



Слика 5.8 Опрема коришћена за експеримент [11]

Удаљеност опреме за мерење вибрација одржавана је била 2 метра од предмета обраде. Рефлексија површине предмета обраде може довести до сметњи за мерење вибрација током обраде. Мерењем добијени сигнал се појачава и шаље у FFT анализатор повезан са рачунаром ради даље анализе. Опрема за експеримент развијена у овом експерименту коришћена је за звучно-оптичко генерисање импулса, при обради са различитим алатима за резање различитих материјала предмета обраде у различитим условима испитивања. При чеоном глодању, настају резонантне вибрације (chatter) које се јављају услед утицаја сила резања које делују на алат и предмет обраде. Те силе узрокују да предмет обраде осцилује (вибрира) природном фреквенцијом у којој мала побуда ствара изузетно велике вибрације. Узајамно деловање сила између алата и обратка ће се повећавати како се повећава амплитуда вибрација [11].

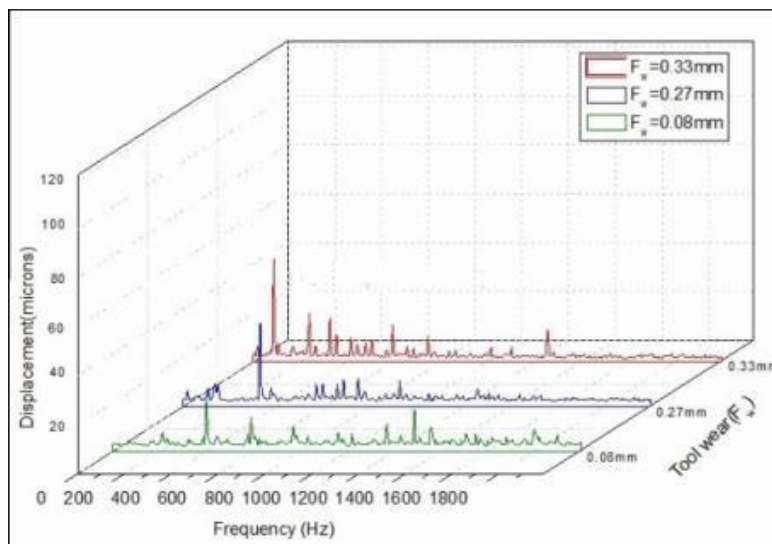
Ласерски доплеров виброметар са појачалом коришћен је за мерење амплитуда вибрација. Као резултат мерења вибрација добијају се подаци о таласној дужини и амплитуди у зависности од брзине резања и корака. Када се фреквенција принудно побуђених вибрација поклопе са природним вибрацијама, систем ће реаговати неповољно јер долази до знатног повећања амплитуда. Ово стање је познато као резонантно стање, а придружена фреквенција назива се резонантна фреквенција. Одређивање распона фреквенција вибрација се врши коришћењем FFT анализе дигиталног сигнала. *Peak* ниво је показатељ највише вибрације, односно највеће амплитуде при обради стругањем добијене током обраде. Највиша вредност је посебно индикатор за тренутне брзе неповољне промене током обраде, итд. У овом експерименту коришћено је означавање учестаности и максималних амплитуда вибрација, не узимајући у обзир време када је до њих дошло.

Наком постављања мерног система, вршен је поступак чеоног глодања. Резултати су добијени тако што је сваки тест започео са новом резном ивицом и предмет је обрађен четири пута са сваком дубином резања, овај процес обраде је поновљен са 36 пролаза. На крају сваког четвртог пролаза резања, операција је заустављана ради мерења хабање алата. Сигнали мерења вибрација су снимани целим током обраде. Параметри резања су мењани за свако следеће испитивање, увек је коришћен је нови предмет обраде [11].

Сигнали добијени мерењем вибрација су прикупљани помоћу LDV-а и исцртаване су амплитуде вибрација у односу на временски домен. Овако добијени дијаграми дају удео амплитуде вибрација само у одређеним временским интервалима.

Директна анализа сигнала у временском опсегу обично није у могућности да на одговарајући начин раздвоји потребне информације од шума у разним фреквенцијским опсезима. Стога сигнал у временском домену се мора претворити у фреквенцијски домен спектра сигнала помоћу брзе Фуријеве трансформације. Брзе Фуријеве трансформације се користи за одређивање параметра вибрација, тј. амплитуде (у микронима) у фреквенцијском домену.

Слика 5.9 приказује дијаграм промене амплитуда за различите фреквентне домene за три карактеристичне фазе експеримента. Представљени спектри сигнала на слици 5.9 дају више информација о процесу обраде него дијаграм вибрација у временском домену. Вредност амплитуде спектра сигнала и положај максималних амплитуда се могу користити као параметар за процену стање алата.



Слика 5.9 Графикон фреквенцијског домена [11]

Код чеоног глодања, крутост обратка се повећава са смањењем дужине обратка и одговарајуће се повећава амплитуда вибрација. Ова варијација вибрације нивоа код различитих услова испитивања приказана је на слици 5.9. На слици 5.9, забележено је повећање амплитуде вибрација у поређењу са остала два услова испитивања, када је хабање било мање. Са тим у вези, треће између обратка и резног алата се повећава због повећања хабања алата. Јака зависност између хабања леђне површине алата и вибрација је евидентна. Са слике 5.9 јасно је да се амплитуда вибрације повећава

заједно са хабањем алата. Из осталих резултата у раду [11] може се издвојити закључак да промена брзине резања и дубине резања у комбинацији са различитим тврдоћама обрадка има значајан утицај на амплитуду вибрација.

5.3 Анализа хабања алата на основу фреквенцијске карактеристике сигнала акустичне емисије

У овом делу рада анализиран је експеримент описан у литературном наводу [12]. При обради метала у константним условима, опште је прихваћено да је главни извор континуалне акустичке емисије (АЕ) брзо ослобађање енергије са формирањем струготине у примарној зони смицања. Остали значајни изводи акустичне емисије су треће између грудне површине алата и струготине и леђне површине алата и предмета обраде.

У раду [12] су приказана експериментална истраживања у којима је вршена детекција хабања алата за целоно глодање. Дисконтинуална природа обраде глодањем пружа прилику за проучавање АЕ генерисане пре и током постизања стабилног стања, односно уласка у захват, резање и излазак из захвата. Циљ је био да се спроведе систематско истраживање фреквенција садржаних у генерисаном сигналу током глодања једног зуба, ради разумевања процеса глодања и генерисања АЕ сигнала. Истраживања у дужем временском опсегу и снимање сигнала за прорачун енергије резања и снимање АЕ сигнала и одређивање фреквенцијских параметара треба да буде допуна конвенционалнијим методама истраживања у области енергије резања при глодању са једним зубом.

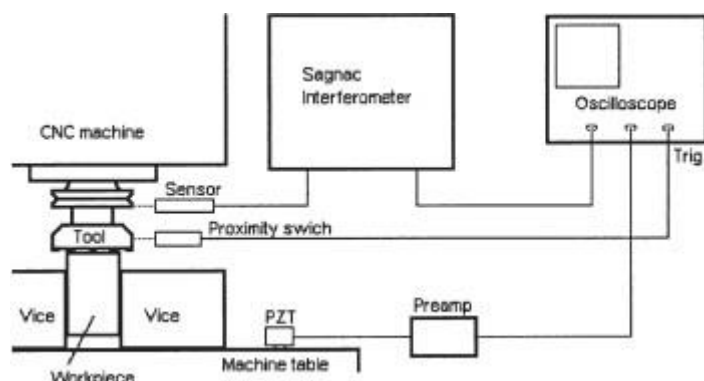
Истраживање се састоји из два одвојена експеримента са различитим стратегијама добијања података. Експериментом 1 је праћено укупно хабање за време обраде током једног комплетног циклуса обраде и било је посебно усмерено на истраживање утицаја различитих услови резања. Експериментом 2 је генерисана велика количина података за обраду са одређеним похабаностима алата, како би се добили поузданији подаци за трендове утицаја хабања алата на мерене вредности. Експерименти су изведени на Takang VMC-1020 вертикалном обрадном центру снаге 35 kW. Брзина помоћног кретања и дубина резања одржавани су константним на 764 mm/min и 0,5 mm респективно.

Експеримент 1 је реализован са комплетним сетом новог резног алата код кога је дошло до прогресивног хабања алата до 0,7 mm. Различите брзине вретена (бројеви обртаја су били 300, 450 и 600 o/min) одабране су тако да се обезбеди ограничен опсег различитих услови резања. Експерименти су изведени тако да је брзина обртања мењана након низа кратких резова (1–5 резова), чиме је обезбеђено снимање података са АЕ сензора током животног века алата при свакој брзини резања [12].

Експеримент 2 је вршен са мешовитим сетом унапред похабаних и нових резних ивица постављених у алат. Код прикупљања података са АЕ сензора коришћен је сензор угаоног положаја којим је одређиван угаони положај носача алата. Код датих услови резања и геометрије предмета обраде увек су две резне ивице биле у захвату са предметом обраде. Дакле, резни алат је имао 3 до 5 нових резних плочица и 3–5 резних плочица са различитим нивоима похабаности. То значи да је АЕ сигнал сниман у условима када су у њему били постављени не похабани или само похабани резне плочице [12].

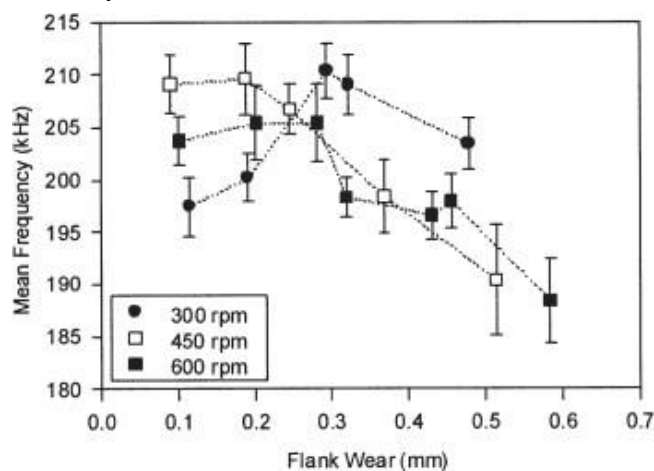
Бројеви обртаја вретена код овог испитивања су били 200, 610, и 1200 о/min. Резне плочице су у тачно одређеним временским интервалима прегледане како би се утврдило да ли се хабају леђне површине. За то је коришћена лупа са уграђеном скалом или микроскоп са CCD камером.

Сигнал АЕ је праћен истовремено, добијање сигнала је вршено са широкопојасним контактним пиезоелектричним сензором и безконтактном интерферометром са оптичким влакнима. Осцилоскоп са рачунаром је снимао АЕ сигнал. Слика 5.10 приказује систем за аквизицију података.



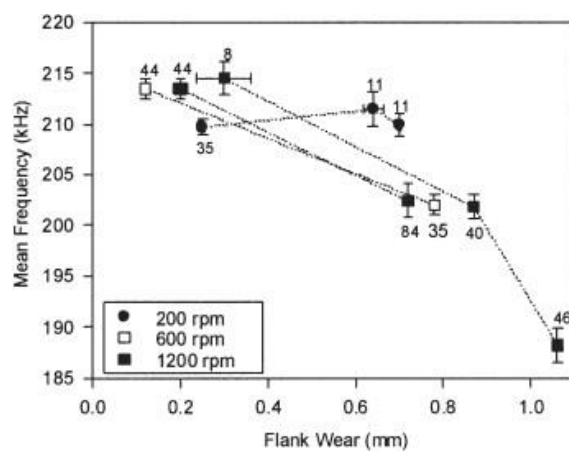
Слика 5.10 Систем аквизиције података [12]

АЕ сигнали су били јако променљиви и у домену времена и домена фреквенције. Због тога је коришћено неколико статистичких тестова за одређивање општих информација из експеримента. Доминантна врста хабања за ове тестове је континуално хабање леђне површине алата. Само једна од осам резних плочица код експеримента 1 је имала велико хабање алата у виду кратера на грудној површини. Код експеримента 2 само једна резна плочица је претрпела додатно хабање током теста, при 200 о/min. Континуално хабање са леђне површине је мерено као пројектована дужина материјала уклоњеног са *wiper* површине плочице. Иако је ширина ове ивице само 0,9mm, ширина појаса хабања може значајно да варира дуж резне ивице, тако да је процењивана средња вредност хабања *wiper* површине. За процену похабаности су узете средње вредности за сваку резну плочицу за свих осам обрада како би се обезбедио јединствени податак о хабању алата.



Слика 5.11 Зависност средње вредности фреквенције од хабања алата код експеримента [12]

Слика 5.11 приказује средње вредности фреквенције у зависности од хабања алата. Слика јасно даје назнаку односа између средње фреквенције и хабања на боку. На слици 5.12 дате су средње вредности снимљених података из експеримента 2 у зависности од хабања леђне површине алата.



Слика 5.12 Зависност средње вредности фреквенције од хабања алата код експеримента 2 [12]

6. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ИСТРАЖИВАЊА

Експериментална испитивања са циљем утврђивања могућности позиционирања и снимања похабаности резног врха алата при обради на CNC стругу су реализована у Лабораторији за обраду метала резањем Факултета инжењерских наука. У носач алата су постављени различити стругарски ножеви са различито похабаним резним плочицама и сачињени су различити CNC програми за позиционирање врха алата испред микроскоп камере.

6.1. Услови испитивања

Експериментална испитивања су реализована на CNC стругу TCN 410 – 1250, са неколико различитих носача и већим бројем различито похабаних резних плочица. Струг је приказан на слици 6.1. То је двоосна нумерички управљана машина са главним обртним кретањем које врши стезна глава са предметом обраде и два помоћна кретања која врши алат постављен у обртну главу са могућношћу постављања четири алата.



Слика 6.1 CNC струг TNC 410 - 1250

Основне спецификације машине [3]:

- Управљачка јединица: Синумерик 808D
- Максималан број обртаја: $n = 150 - 2000 \text{ o/min}$
- Брзина помоћног кретања је: $0 - 6000 \text{ mm/min}$
- Инкремент померања по осама је: 0.001 mm
- Максималан пречник обраде: 240 mm
- Максимална дужина припремка: 1250 mm
- Број места у носачу алата: 4
- Снага мотора: $5,5 \text{ KW}$
- Број обртаја мотора: $0-1500 \text{ o/min}$
- Број могућности различитих бројева обртаја: бесконачно варијабилан

- Димензије струга: 3000 x 1650 x 1580 mm
- Маса: 2600 kg

Ова двоосна CNC машина је намењена за обраду цилиндричних предмета обраде, односно на њој је могуће вршити операције унутрашњег и спољашњег стругања, чеону обраду, израду конуса, израду радијуса, профилно стругање, итд. Такође је могуће вршити израду навоја, жлебова, као и операције мануелног бушења осних отвора. На овој машини могуће је спољашњим стругањем извршити обраду чела, конуса и израду жлеба, све у оквиру једнозахвата са једним алатом без прекида обраде. Предности овакве машине се јасно могу видети при обради цилиндричних делова комплексне геометрије са неколико различитих пречника и конуса [3].

Главно вретено CNC струга добија обртно кретање и момент преко зупчастог каиша од електромотора који уз помоћ инвертерског фреквентног регулатора омогућава континуалну промену броја обртаја вретена. Погон помоћног кретања, које може бити уздужно, попречно или сложено, се преноси са серво мотора на вретена са рециркулационим наврткама и обезбеђује кретање у одговарајућим правцима.

Микроскоп камера *Vividia 2.0 MP Handheld USB Digital Endoscope/Microscope* (слика 6.2) за овај експеримент је постављена у положај у коме се врши снимање резних ивица. Камера се не помера, док се алат доводи увек у исти положај како би се снимила похабаност алата. Камера има могућност повећања до 600x и повезана је USB-ом са рачунаром помоћу кога се врши видео надзор, приказује тренутна слика коју камера снима у реалном времену у посебном прозору и помоћу кога се може вршити запис слике или видео снимка. Камера је постављена у посебан носач, који је магнетом причвршћен завођице струга. На каблу камере се налази прекидач, којим се ручно активира када се алат доведе у одговарајући положај, како би се направили слика резног дела алата са похабаним појасом. Неке техничке карактеристике микроскоп камере су приказане у табели 6.1.

Табела 6.1 Техничке карактеристике камере

Сензор	2.0MP CMOS сензор
Резолуцијаслике	1600x1200 пиксела, формат: BMP
Резолуција видеа	1600x1200 пиксела, формат:AVI, 20 FPS
Даљинафокуса	мин 5mm
Увећање	1x - 250x
Осветљење	8 белих LED лампи
Пречник	12mm
Дужина	140mm
Тежинакамере	100g



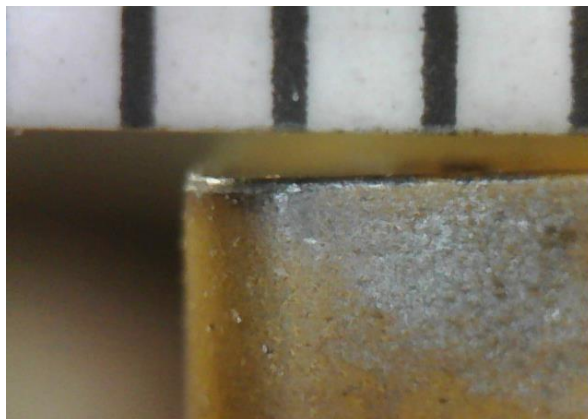
Слика 6.2 Микроскопска камера коришћена у експерименту

На слици 6.3 је приказан мерни систем који се састоји од CNC струга, микроскоп камере и рачунара.



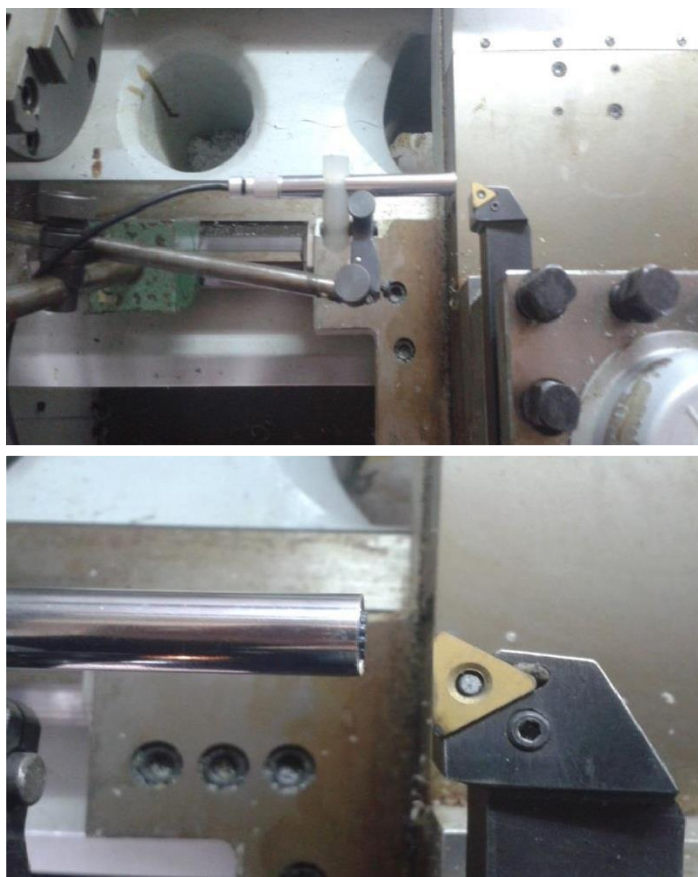
Слика 6.3 Мерни систем сачињен од рачунара (лево), CNC струга и микроскоп камере који омогућује у реалном времену снимање слике или видео запис

Микроскоп камера нема кончаницу и није могуће помоћу ње вршити мерење похабаности алата. За сва мерења, односно снимања похабаних плочица усвојено је исто увећање микроскопа. На слици 6.4 је приказана похабана плочица са лењиром. На основу ове слике се може утврдити размера и вршити потребна мерења коришћењем софтвера за рад са дигиталним сликама.



Слика 6.4 Лењир и похабана плочица

На следећим сликама је приказан је положај микроскоп камере на CNC стругу, у односу на резни алат.



Слика 6.5 Положај камере у односу на резни алат са троугаоном плочицом



Слика 6.6 Поглед на камеру одозго при снимању алата за одсецање



Слика 6.7 Положај камере и алата за унутрашњу обраду

Експерименти су реализовани без обраде предмета. Сачињени су различити CNC програми којима је симулирана обрада а након кретања по сложеној путањи алати су довођени непосредно испред врха резног алата, увек на исто место. CNC програмима је омогућено да се исти алат постави испред камере са леђном површином или са помоћном леђном површином.

6.2 Похабаност резних плочица

За снимање похабаности резних плочица коришћено је укупно осам резних плочица, од којих су шест плочица троугаоне плчице са шест резних ивица, при чему су снимање вршено само карактеристичних похабаних делова резног врха плочице.

Резна плочица 1

Резне плочице 1, 2 и 3 су TNGA 160412-KRSandik Coromant са превлаком од TiN. Носач плочице је PTGNR 2525 M16. Резна плочица 1 је приказана на слици 6.8. На слици 6.5 је приказан начин снимања похабаног појаса на леђној површини плочице. Мерене су три резне ивице и фотографије похабаних делова су дате на слици 6.9.



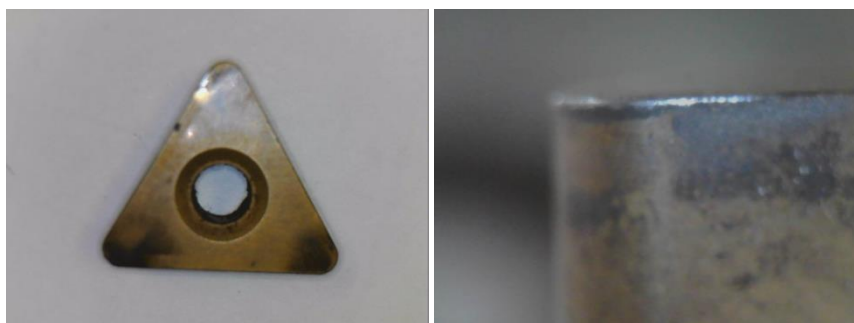
Слика 6.8 Резна плочица 1



Слика 6.9 Похабане површине резне плочице 1

Резна плочица 2

Резна плочица 2 и снимљени похабани резни врх су дати на слици 6.10.



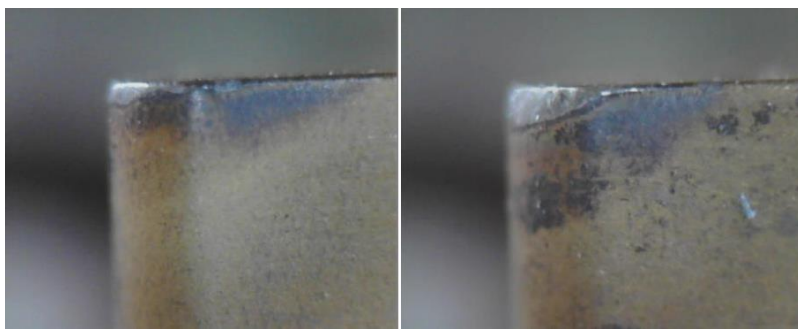
Слика 6.10 Резна плочица 2 и похабана површина

Резна плочица 3

Резна плочица 3 је приказана на слици 6.11 а снимљене похабане површине на резним врховима су дати на слици 6.12. На слици 6.13 је приказан начин мерења похабаног појаса на помоћној леђној површини и похабани појас.



Слика 6.11 Резна плочица 3



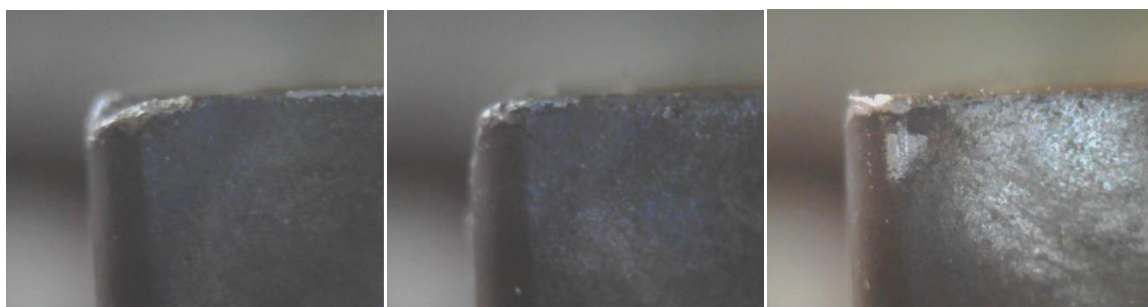
Слика 6.12 Похабане леђне површине резне плочице 3



Слика 6.13 Похабана помоћна леђна површина резне плочице 3

Резна плочица 4

Резна плочица 4 је TNMG 160404 *Sandik Coromant*, без превлаке и похабаност на леђним површинама је приказана на слици 6.14.



Слика 6.14 Резна плочица 4 и похабане леђне површине резне плочице 4

Резна плочица 5

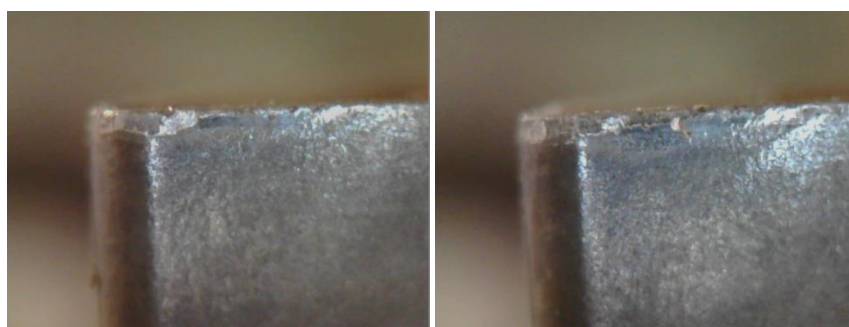
Резна плочица 5 је TNMG 160408 *Sandik Coromant*, без превлаке и похабане леђне површине су приказане на слици 6.15.



Слика 6.15 Резна плочица 5 и похабане површине на резној плочици 5

Резна плочица 6

Резна плочица 6 је TNMG 160408 *Corun* Ужице, без превлаке и похабане леђне површине су приказане на слици 6.16.



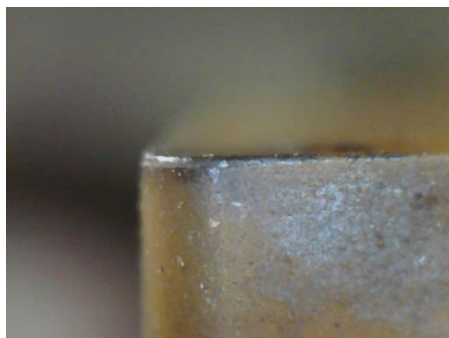
Слика 6.16 Резна плочица 6 и похабане површине на резној плочици 6

Резна ромбоидна плочица 7

Резна плочица 7 је ромбоидна плочица CNMG 120408 *Corun* Ужице, саTiN превлаком. Носач плочице је PCLNR 2525 M12. На слици 6.17 је приказан положај алата и микроскоп камере при мерењу похабаности леђне површине плочице, а на слици 6.18 похабани појас.



Слика 6.17 Мерење похабаности леђне површине ромбоидне плочице 7



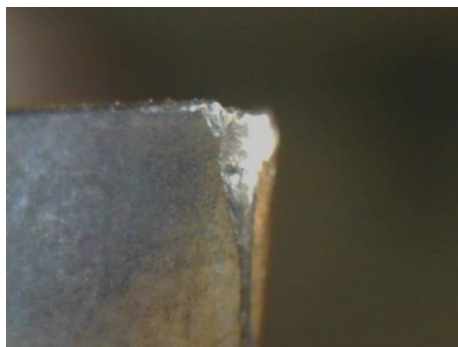
Слика 6.18 Изглед похабане леђне површине ромбоидне плочице

Резна плочица за унутрашњу обраду 8

Резна плочица 8 је квадратна плочица са позитивном геометријом SPGR090304 *Corun* Ужице, са TiN превлаком. Носач плочице је R S31.9-16-09 (S16R-CSKCR 09-R). На слици 6.17 је приказан положај алата и микроскоп камере при мерењу похабаности леђне површине плочице, а на слици 6.18 похабани појас.



Слика 6.23 Положај камере и изглед резне плочице 8 за унутрашњу обраду



Слика 6.24 Изглед похабане резне плочице 8 за унутрашњу обраду

7. Закључци

Системи мониторинга процесом обраде метала резањем обезбеђују надзор: процеса резања, резног алата, обрадног система и управљање процесом резања. Мониторинг процеса резања подразумева праћење параметара процеса обраде, контролу стања и управљање процесом. Применом мониторинг система обезбеђује се on-line идентификација динамичких карактеристика процеса резања, посебно карактера промене излазних параметара у зависности од услова обраде, хабања алата и осетљивости појединих сензора којима се идентификују статичке и динамичке компоненте отпора резања, снага резања, вибрације и убрзања, акустична емисија, термонапон и бука.

Појава РС рачунара и A/D претварача изазвала је значајне промене и у подручју истраживања технологије обраде резањем. Ове промене се односе пре свега на знатно квалитетније прихватање и обраду сигнала који се добијају на излазу мерних инструмената за силе и температуре резања, померања елемената процеса обраде и др. Концепт мониторинга се последњих година мења највише због веома брзог развоја рачунарства и електронске технологије. Цена рачунара и електронских компоненти се смањује непредвидивом брзином због масовне производње великог броја компоненти, минијатуризације и напретка технолошких поступака производње. Системи за мерење и обраду сигнала са мерног система базирани на РС рачунарима данас се употребљавају за аутоматизацију мерних система како у лабораторијским тако и индустријским условима. Употребом РС система за мерење добијају се уређаји високе интелигенције са побољшаним управљачким карактеристикама и вишим нивоом флексибилности. Развој рачунара у будућности ће довести до још бржих и поузданијих система за аквизицију података и мониторинг.

Интензивни развој РС рачунара као и разних изузетно поузданих, тачних и приступачних хардверских додатака, модула и картица у последњих неколико година условили су да мерни системи базирани на РС рачунарима преузимају примат над скупом и специјализованом мерном опремом. Захваљујући примени микропроцесора у великој мери мења се концепција мерног претварача или засебног програмабилног инструмента. Елементи мониторинг система на бази микропроцесора пружају могућност сложене обраде података и комуникације са надређеним рачунаром.

За праћење параметара хабања алата се користе пасивни и активни мерни системи. Код пасивних мерних система процес резања се прекида у жељеном тренутку и мери се вредност параметара хабања. Активни мерни системи, нарочито индустријски сензори, генеришу сигнал вредности параметара хабања и димензија предмета обраде и квалитета обрађене површине у току одвијања процеса. Значај ових сензора је веома велики. Њихово увођење у производне технологије омогућава: могућност управљања процесима хабања алата, оптимизацију обрадних процеса, одржавање прописаног нивоа квалитета обрађене површине и тачности и аутоматизацију обрадних процеса. Увођењем сензора хабања у конвенционалне обрадне системе обезбеђује се благовремена замена алата, искључују високи трошкови прераних или касних замена алата, спречава смањење нивоа квалитета израде производа и лом алата. Хабање резног алата се може пратити директно или индиректно, при чему се за сваки тип праћења користе другачији сензори, при чему примена рачунара доста олакшава цео процес. АСС и АСО системи мониторинга се све више развијају потпомогнути рачунарском техником. Нови системи мониторинга су бржи и прецизнији, од својих претходника управо захваљујући рачунарима и њиховој примени.

Повећање нивоа аутоматизације обрадних система је произашло из више разлога, од којих су најважнији скраћење времена трајања циклуса и процеса производње, повећање нивоа квалитета, смањење финалне цене производа и замене рада човека машином. Адаптивно управљање је метод управљања који се користи код система где регулатор мора да се прилагоди систему којим се управља и чији параметри се мењају или су иницијално неизвесни. Код система мониторинга са адаптивним управљањем процесом обезбеђено је и непрекидно учење, дијагностика и прогнозирање стања процеса.

У посебном поглављу овог рада, анализирају се научни радови. Приказани су радови у којима се врши анализа хабања помоћу обраде слике резног врха алата и методе за обраду слике са циљем препознавања величине похабаности. Могућност процене похабаности алата у великој мери утиче на повећање аутоматизације и флексибилности производног процеса. Аутоматска измена похабаног алата новим алатом из магацина са више истих алата, чини савремени обрадни систем са *АС* системом за управљање. Аутоматска измена алата значајно утиче на смањење времена застоја машине, при чему не утиче на радни век алата. Савремени мерни системи засновани на снимању слике објекта, брзе обраде слике и препознавању карактеристика процеса уз примену метода вештачке интелигенције треба да омогуће развој нових мониторинг система за управљање процесима обраде резањем.

Савремени мерни системи за мониторинг процеса обраде резањем су засновани и на мерењу вибрација предмета обраде и алата и мерењу акустичне емисије. У неколико радова су описани ови мерни системи за индиректно мерење хабања алата који такође уз примену брзих рачунара и интеграцију у савремене машине трега да дају машине са *АС* управљањем.

Експериментална испитивања са циљем утврђивања могућности позиционирања и снимања похабаности резног врха алата при обради на *CNC* стругу су реализована у Лабораторији за обраду метала резањем Факултета инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу. У носач алата су постављени различити стругарски ножеви са различито похабаним резним плочицама и сачињени су различити *CNC* програми за позиционирање врха алата испред микроскоп камере. Експерименти су реализовани без обраде предмета. Различити *CNC* програми су симулирали обраду а након кретања по сложеној путањи алати су довођени са врхом резног алата непосредно испред камере, увек на исто место. *CNC* програми су омогућили да се исти алат постави испред камере са леђном површином или са помоћном леђном површином. Камера је постављена у посебан носач, који је магнетом причвршћен за вођице струга. На каблу камере се налази прекидач, којим се ручно активира када се алат доведе у одговарајући положај, како би се направила слика резног дела алата са похабаним појасом. За сваку резну плочицу, у раду су приказане слике похабаног резног врха алата.

Реализована експериментална испитивања су показала да се примена камере може користити за надзор хабања алата и да је потребно даље наставити испитивања при обради резањем, при чему би се визуелно идентификовао ниво похабаности, а такође треба приступити развоју софтвера за препознавање слике и величине похабаног појаса.

8. Литература

- [1] **Миодраг Лазих**, Обрада метала резањем, Монографија, Машински факултет, Крагујевац, 2002.
- [2] **Богдан Недић**, Динамика процеса резања, Монографија, Машински факултет, Крагујевац 2006.
- [3] **Немања, Ј. Радишић**, Карактеристике CNC струга TCN 410-1250 , *завршни рад , Машински факултет, Крагујевац*
- [4] **Јоко Станић, Милисав Калајџић, Радован Ковачевић**, Мерна техника у технологији обраде метала резањем, Грађевинска књига, Београд 1983.
- [5] **Миодраг Лазих**, Обрада метала резањем, Приручник за лабораторијске вежбе, Машински факултет, Крагујевац 1987.
- [6] **Милан Д. Милутиновић**, Истраживање постојаности стругарског ножа у производним условима ортогоналног резања, Докторска дисертација, Машински факултет, Београд, 2015.
- [7] **Sreenatha G. Anavatti, Fendy Santoso, and Matthew A. Garratt**, Progress in Adaptive Control Systems: Past, Present, and Future, *School of Engineering and Information Technology The University of New South Wales at The Australian Defence Force Academy, Canberra, Australia, 2015*
- [8] **Зијад Мустеданагић, Недјељко Перих**, Адаптивно управљање и online self-tuning PI controller, *8th International Scientific Conference on Production Engineering, Rim, 2011*
- [9] **Павел Ковач, Марин Гостимировић, Миленко Секулић, Борислав Савковић**, Програмско и техничко решење виртуелне инструментације за мерење отпора резања при чеоном глодању, *Документација техничког решења, Факултет техничких наука, Нови Сад, 2010.*
- [10] **Ovidiu Gheorghe Moldovan, Simona Dzitac, Ioan Moga, Tiberiu Vesselenyi, Ioan Dzitac**, Tool-Wear Analysis Using Image Processing of the Tool Flank, *Article, Department of Mechatronics, University of Oradea, 410087 Oradea, Romania, 2017.*
- [11] **Balla Srinivasa Prasad, M. Prakash Babu**, Correlation between vibration amplitude and tool wear in turning: Numerical and experimental analysis, *Engineering Science and Technology, an International Journal, Mechanical Engineering, GIT, GITAM University, Visakhapatnam, India, 2016*
- [12] **M. L. Jakobsen, P. Wilkinson, J. S. Barton, R. L. Reuben, D. Harvey and J. D. C. Jones**, The effects of progressive wear on the frequency characteristic of acoustic emission acquired during face milling, *Riso National Laboratory, Roskilde, Denmark, 2005.*