

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Милисав Калајџић

ТЕХНОЛОГИЈА МАШИНОГРАДЊЕ



МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ
Београд

ТЕХНОЛОГИЈА МАШИНОГРАДЊЕ

УНИВЕРЗИТЕТ У БЕОГРАДУ

Проф. др Милисав Калајџић

ТЕХНОЛОГИЈА МАШИНОГРАДЊЕ

ХИИ ИЗДАЊЕ

МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ
Београд, 2014.

Аутор:

Др Милисав Калајџић, ред. проф.

ТЕХНОЛОГИЈА МАШИНОГРАДЊЕ
XII издање

Рецензенти:

Проф. др Ратко Гатало

Проф. др Љубодраг Тановић

Издавач:

Универзитет у Београду Машински факултет

11120 Београд, Краљице Марије 16,

телефон - 011 3370 350 и 3302 384, телефакс: 011 3370 364

За издавача : Декан, проф. др Милорад Милованчевић

Главни и одговорни уредник: проф. др Александар Обрадовић

Одобрено за штампу одлуком Декана Машинског факултета у
Београду бр. 288/14 од 13.11.2014. године

Штампа:

Планета принт

11000 Београд

Тираж: 500 примерака

© Аутор и Машински факултет Универзитета у Београду.

Забрањено прештампавање и умножавање. Сва права
задржавају издавач и аутор.

ПРЕДГОВОР VII ИЗДАЊУ

Прво издање овог уџбеника под називом Технологија машиноградње I, –одштампано је још 1981. године. Од тада је у шест издања овај уџбеник прошириван, мењан и допуњаван. Ово седмо издање, које је прерађено и допуњено у односу на претходно шесто, према актуелном наставном плану и програму, покрива наставне дисциплине Технологија машиноградње I и Технологија машино-градње, –које слушају студенти треће године Машинског факултета.

У односу на претходно, шесто издање, у овом издању су учињене следеће измене и допуне, и то:

1. Целокупан текст је пребачен на компјутерски слог у ћириличном писму,
2. Поново су урађене све слике и таблице,
3. У првом, уводном поглављу, које је потпуно прерађено, додат је историјат развоја технологија, а дат је и посебан утицај и значај компјутера у развоју технологија и аутоматизације,
4. У другом поглављу, које се односи на увод у обрадне системе, додата је потпуно нова слика, уз чији опис се прецизира дефиниција, подела и улога производног машинства у технолошком развоју,
5. У трећем поглављу, где се описују техничке карактеристике обрадних система, избачен је текст који се односи на методе формирања површина, које су изгубиле свој значај са појавом компјутерске графике и нових метода за физичко генерисање реалних, обрађених површина. У делу поглавља, који се односи на материјале, додата је таблица са поделом и препорукама за употребу плочица од тврдог метала. Уведена је и подтачка која се односи на средства за хлађење и помазивање, са таблицом за њихов избор и примене. Потпуно је прерађена материја која се односи на програмско нумеричко и адаптивно управљање, а сагласно савременим нумерички управљаним системима,
6. Из четвртог поглавља избачене су неке слике које су непотребно оптерећивале текст,
7. Шесто поглавље допуњено је уношењем таблица са препорукама режима обраде за стругање, бушење, глодање и абразивне процесе, као илустрацију данашњег развоја, пре свега, алатних материјала. Део који се односи на избор режима резања је промењен и прилагођен нумерички управљаним системима и новом приручнику из технологије обраде метала резањем. Иначе, овај приручник је саставила и издала група сарадника Катедре за производно машинство. Он покрива област више наставних дисциплина, а по свом садржају условио је промену и прераду овог уџбеника.

Ово поглавље је посебно допуњено са групним и сложеним захватом, а потпуно је промењено и више слика које се односе на обрадне системе,

8. Значајне промене и допуне учињене су и у шестом поглављу које се односи на технологије обраде пластичним деформисањем. Потпуно је промењен део који се односи на обраду сабијањем, који је знатно осавремењен. Извршене су и измене које се односе на истискивање, извлачење и савијање. Дате су и нове таблице које садрже податке потребне за прорачун главних фактора обраде. Цело поглавље је илустровано са већим бројем урађених примера, и

9. У седмом, последњем поглављу, које садржи некон-венционалне методе обраде, прерађена је обрада ласером и додата хидромеханичка метода обраде.

Целокупна материја треба да омогући студентима машинских факултета да се упознају, пре свега, са основним принципима производних технологија, уз покушај да се укаже на кључне проблеме у производној пракси без енциклопедијског пресека и набрајања проблема.

Користим ову прилику да се захвалим проф. др Ратку Гаталу и проф. др Љубодрагу Тановићу, као рецензентима на корисним примедбама и сугестијама. Исто тако захваљујем се и сарадницима на предмету који су ми помогли у припреми овог текста, а посебно мр Михајлу Поповићу, асистенту на уложеном труду у учешћу при техничком уређењу књиге.

У Београду, децембра 2001.

Аутор

ПРЕДГОВОР XI ИЗДАЊУ

Једанаесто издање овог уџбеника појављује се после почетка реформе наставног процеса у високом школству, а посебно на Машинском факултету у Београду. Његов садржај у потпуности одговара предмету Технологија машинске обраде, који слушају сви студенти основних студија, а такође представља и одговарајућу основу за Нове технологије дипломских студија. Аутор се нада да ће, као и досада, овај уџбеник омогућити огромном броју студената да, поред осталог, лакше схвате значај науке и технологије у инжењерству.

У Београду, маја 2008.

Аутор

САДРЖАЈ

1. УВОД	1
1.1. Технологија као научна дисциплина	1
1.2. Технологија машиноградње – садржај и значај	3
1.3. Историја развоја технологија	5
1.4. Аутоматизација и компјутери у технологији	9
Питања	13
Литература	13
2. УВОД У ОБРАДНЕ СИСТЕМЕ	15
2.1. Основни концепт система	15
2.1.1. Дефиниција система	15
2.1.2. Основни проблеми система	16
2.1.3. Систем модела	17
2.1.4. Основне карактеристике система	18
2.2. Системи и процеси у производном машинству	20
2.2.1. Међусобни односи система у производном машинству	20
2.2.2. Процеси у системима производног машинства	23
2.3. Обрадни систем	27
2.3.1. Основни модел обрадног система	27
2.3.2. Обрадни процеси	30
Питања	45
Литература	46
3. ТЕХНИЧКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ОБРАДНИХ СИСТЕМА	49
3.1. УВОД	49

3.2. Геометријски систем 52

3.2.1. Радни простор машине 53

3.2.2. Геометрија алата 53

3.3. Кинематички систем 70

3.3.1. Преносници машина алатки 70

3.3.2. Погонски механизми преса 74

3.4. Систем материјала 76

3.4.1. Осврт на основне алатне материјале 76

3.4.2. Помоћни материјали 78

3.5. Енергетски систем 80

3.5.1. Основне дефиниције 80

3.5.2. Погонска снага и степен искоришћења 81

3.5.3. Биланс кинетичке енергије при ковању

3.6. Комуникационо - информациони систем 85

3.6.1. Управљање обрадним системима 85

3.6.2. Системи аутоматског управљања 87

3.6.3. Системи нумеричког програмског управљања 90

3.6.4. Системи адаптивног управљања 107

Питања 110

Литература 110

**4. ПОКАЗАТЕЉИ КВАЛИТЕТА
ОБРАДНИХ СИСТЕМА**

113

4.1. Увод 113

4.2. Геометријска и кинематичка тачност 114

4.3. Топлотне појаве 115

4.3.1. Топлотни биланс обрадног система 115

4.3.2. Температуре и температурне деформације 117

4.3.3. Топлотни биланс и температуре при резању 121

4.4. Статичке деформације 124

4.4.1. Увод 124

4.4.2. Статичка крутост обрадног система 126

- 4.4.3. Статичка карактеристика 129
- 4.4.4. Анализа утицаја на величину статичких деформација 130

4.5. Динамичко понашање обрадних система 132

- 4.5.1. Увод 132
- 4.5.2. Основни параметри и карактеристике динамичког система 132
- 4.5.3. Експериментална идентификација динамичких карактеристика 139
- 4.5.4. Динамичка крутост 141
- 4.5.5. Динамичка стабилност 142

4.6. Трење и хабање 144

- 4.6.1. Увод 144
- 4.6.2. Хабање елемената машине 146
- 4.6.3. Хабање алата. Постојаност 146
- 4.6.4. Економски период резања 151

4.7. Бука (шум) 152

- 4.7.1. Основне дефиниције 152
- 4.7.2. Бука обрадних система 153

4.8. Поузданост 154

- 4.8.1. Основне дефиниције 154
- 4.8.2. Поузданост обрадних система 156

Питања 158

Литература 159

5. ОБРАДА МЕТАЛА РЕЗАЊЕМ 161

5.1. Основи теорије резања 161

- 5.1.1. Основни принцип резања 161
- 5.1.2. Основни (базни) елементи процеса резања 162
- 5.1.3. Стварање и врсте струготине. Фактор сабијања струготине 169
- 5.1.4. Главни фактори обраде 175

5.2. Основни елементи обрадних система резања 191

- 5.2.1. Машине алатке 192

5.2.2. *Резни алати* 220

5.2.3. *Прибори* 235

5.3. Квалитет обраде 241

5.3.1. *Основне дефиниције* 241

5.3.2. *Тачност обраде* 241

5.3.3. *Квалитет обрађене површине* 242

5.3.4. *Корелација између квалитета и метода обраде* 245

5.4. Режији обраде 247

5.4.1. *Дефиниција режима обраде* 247

5.4.2. *Избор припремка* 249

5.4.3. *Избор корака* 253

5.4.4. *Избор броја обрта (и броја дуплих ходова)* 260

5.4.5. *Број пролаза* 262

5.4.6. *Групни захват* 264

5.4.7. *Сложен захват* 267

5.4.8. *Могућности оптимизације режима обраде* 269

Питања 269

Литература 270

6. ОБРАДА МЕТАЛА ПЛАСТИЧНИМ ДЕФОРМИСАЊЕМ 273

6.1. Основи теорије 273

6.1.1. *Принцип обраде метала пластичним деформисањем* 273

6.1.2. *Модел чврстог тела* 276

6.1.3. *Механизам пластичног деформисања метала* 278

6.1.4. *Основни појмови механике непрекидних средина* 279

6.1.5. *Деформације у теорији обраде метала пластичним деформисањем* 284

6.1.6. *Услови пластичности* 287

6.1.7. *Специфични деформациони отпор* 288

6.1.8. *Главни фактори обраде* 291

6.2. Сабијање 292

6.2.1. *Зоне деформисања и клизни конус* 293

6.2.2. *Утицај трења на главне факторе обраде при сабијњу* 294

6.2.3. Ковање у калупима 303

6.3. Истискивање 307

6.3.1. Основни принцип истискивања 307

6.3.2. Деформациона сила и деформациони рад 309

6.4. Извлачење 319

6.4.1. Општи појмови 319

6.4.2. Мере припремка 320

6.4.3. Деформације и напони 324

6.4.4. Деформациона сила и деформациони рад 329

6.4.5. Број операција извлачења 334

6.5. Савијање 341

6.5.1. Напони и деформације при савијању 341

6.5.2. Момент при еластично – пластичном савијању 345

6.5.3. Кружно савијање 347

6.5.4. Фазонско савијање 348

6.5.5. Исправљање лимова 350

6.6. Пластично деформисање са одвајањем 353

6.6.1. Основне карактеристике 353

6.6.2. Обрада одсецањем 354

6.6.3. Просецање и пробијање 360

6.7. Основни елементи обрадних система 362

6.7.1. Машине алатке за обраду пластичним деформисањем 362

6.7.2. Алати за обраду пластичним деформисањем 371

Питања 376

Литература 377

7. НЕКОНВЕНЦИОНАЛНЕ МЕТОДЕ ОБРАДЕ

379

7.1. Опште карактеристике 379

7.2. Ултразвучна обрада, USM 381

7.2.1. Принцип рада 381

7.2.2. Елементи обрадног система 383

7.2.3. Примене 383

7.3. Електроерозиона обрада, EDM 383

7.3.1. Принцип рада 383

7.3.2. Елементи обрадног система 384

7.3.3. Примене 386

7.4. Ласерска обрада, LBM 386

7.4.1. Принцип рада ласера 385

7.4.2. Обрадни системи и примене 387

7.5. Електрохемијска обрада, ECM 387

7.5.1. Принцип рада 387

7.5.2. Елементи обрадног система 388

7.5.3. Примене 389

7.6. Комбиноване методе 389

7.6.1. Електрохемијско брушење, ECG 389

7.7. Хидродинамички метод обраде. HDM 391

Питања 392

Литература 392

СПИСАК ПОЈМОВА 393

СПИСАК ЋИРИЛИЧНИХ АКРОНИМА 405

СПИСАК ЕНГЛЕСКИХ АКРОНИМА 407

1

УВОД

1.1. ТЕХНОЛОГИЈА КАО НАУЧНА ДИСЦИПЛИНА

1.2. ТЕХНОЛОГИЈА МАШИНОГРАДЊЕ – САДРЖАЈ И ЗНАЧАЈ

1.3. ИСТОРИЈА РАЗВОЈА ТЕХНОЛОГИЈА

1.4. АУТОМАТИЗАЦИЈА И КОМПЈУТЕРИ У ТЕХНОЛОГИЈИ

1.1.Технологија као научна дисциплина

Технологија је реч грчког порекла и значи - учење о поступцима помоћу којих се прерађују сировине.^{*)} Или, технологија је наука о вештинама и занатима, као и научно приказивање људске делатности са сврхом прераде природних производа (сировина) за људску употребу.^{**)}

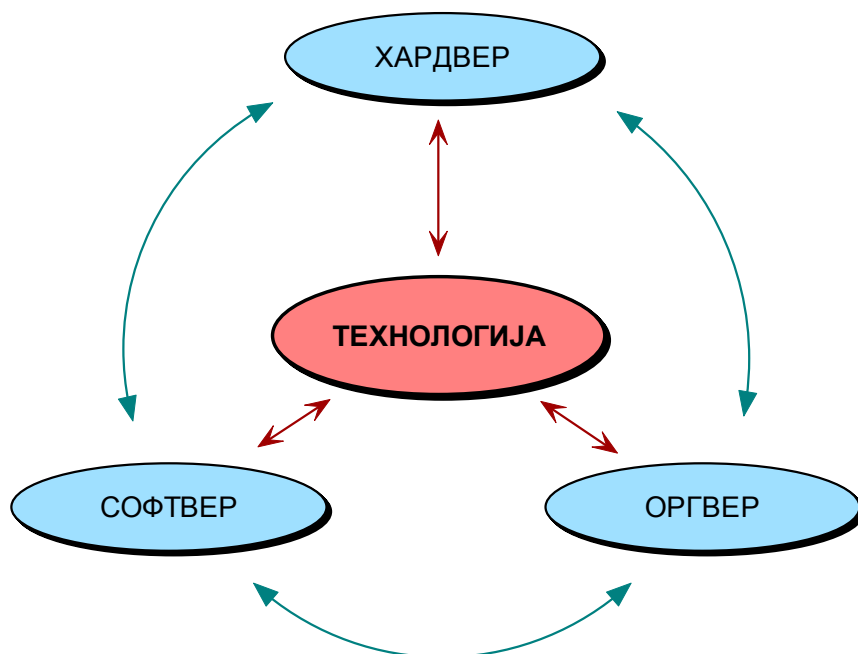
Међутим, наведена два тумачења термина „технологија“ данас не одговарају садржају технологије као научне дисциплине. Односно, технологија се може дефинисати као *примењена, научна, техничка дисциплина која проучава међусобни однос средстава и метода производње у свим сферама људске делатности сагласно законима природних наука и економске целисходности*. Дакле, технологија проучава и обухвата све производне процесе у којима се добијају друштвено корисни производи, што практично значи да мора бити уско повезана и са економиком, и са организацијом рада, и са

^{*)} Мала енциклопедија, „Просвета“, II изд., Београд, стр.699

^{**)} М.Вујаклија, Лексикон страних речи и израза, Просвета, Београд (1970)

организацијом производње.

С друге стране, данас се технологија може модерно дефинисати као активна интеракција између хардвера, софтвера и оргвера. Што значи, да се морају поседовати средства (хардвер), методе и знања (софтвер) и одговарајућа покретачка активност са програмом (оргвер), сл. 1.1. Овде треба напоменути, да се техника, која се у изворном значењу скоро идентификовала са технологијом, сада све више садржи у технологији и односи на средства.



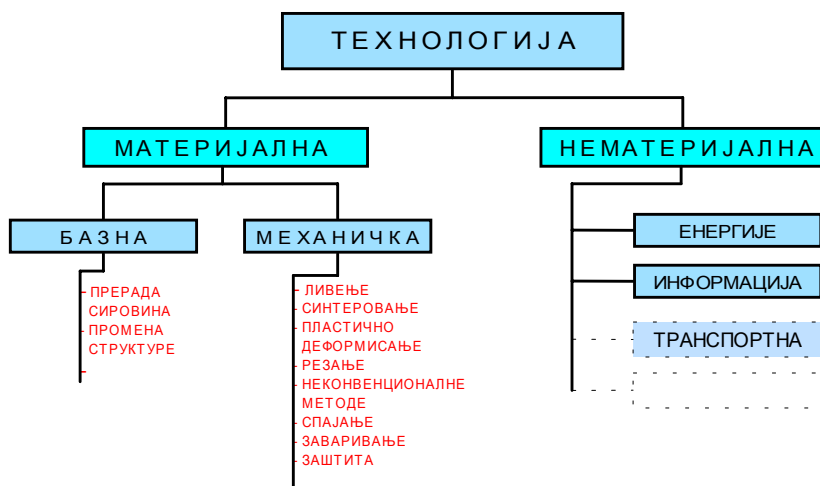
Слика 1.1
Технологија као интеракција хардвера, софтвера и оргвера

Технологија, као *наука и пракса производње*, обухвата поред материјалних и нематеријалне процесе, тј. може да се подели на материјалну и нематеријалну технологију (сл. 1.2). Нематеријална технологија обухвата трансформацију или прераду енергије и информација, као и процесе који се односе на транспорт и организацију транспорта и чување и испитивање материјала и производа.

Материјални процеси, поред трансформације материјала, захтевају и учешће и трансформацију енергије и условљавају прераду

одговарајућих информација. Према природи материјалних процеса материјална технологија се дели на базну (хемијску) и механичку.

Базна технологија обухвата добијање материјала од природних сировина (на пример, добијање метала од руда), као и процесе промена структуре у материјалу (на пример, термичка обрада метала).



Слика.1.2 Општа подела технологије

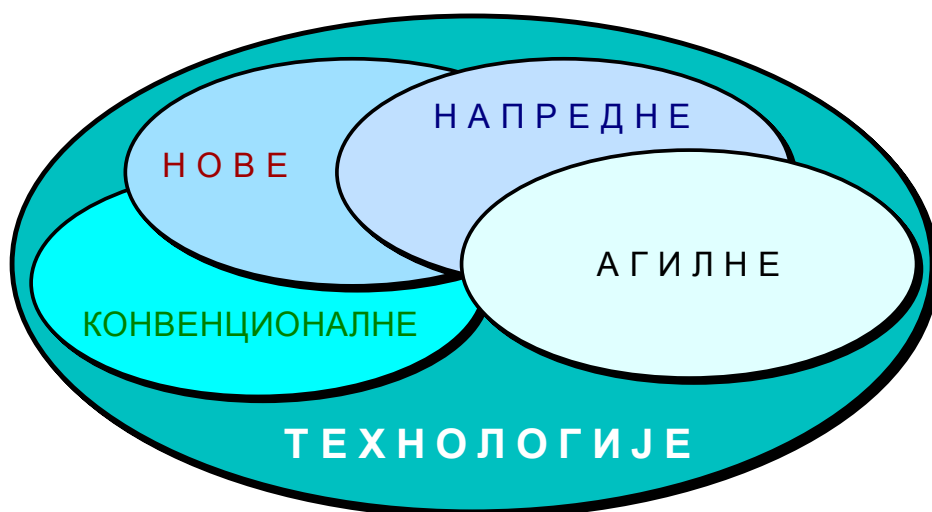
Механичка технологија обухвата технологију ливења и синтеровања, технологију машинске обраде пластичним деформисањем са и без одвајања, технологију машинске обраде резањем или скидањем струготине, технологију обраде неконвенционалним поступцима, технологију спајања (која посебно садржи технологију заваривања), технологију монтаже и технологију заштите површина.

1.2. Технологија машиноградње – садржај и значај

Технологија машиноградње је наука и индустријска пракса у целокупном машинству у поступку добијања готових производа, првенствено делова и машина. Обухвата проучавање међусобног односа средстава и метода производње у удруживању са људским радом и то на физичкој реализацији материјалних добара у индустријској металопреради, те се као таква односи на производне технологије.

Међутим, ако се говори о технологијама уопште, а посебно о производним технологијама у оквиру металопраде, онда се сагласно нивоима процеса, данас може говорити о следећим технологијама које представљају и одговарајући структурни развој (види слику 1.3), и то:

- конвенционалне,
 - нове,
 - напредне (високе), и
 - агилне технологије.
-



Слика 1.3
Структурни развој технологија

Конвенционалне технологије се односе на технологије које се реализују у оквиру обрадних и технолошких система са ручним управљањем, затим у оквиру аутоматских система са крутим механичким управљањем, агрегатних система, и сл. То је данас, условно усвојен термин, и обично неоправдано, за многе то су технологије ниског нивоа, што уопште не мора бити тачно.

Нове технологије често се помињу, дефинишу, анализирају и слично у контексту са високим технологијама. Међутим, свака освојена технологија, која представља позитиван допринос у развоју производа, погона, фабрике, индустријско – привредног комплекса и друштва уопште, и уколико је сагласна са економском целисходношћу, представља нову технологију.

Напредне (високе) технологије подразумевају висок ниво хардвера, софтвера и оргвера, а односе се на технологије у оквиру КНУ - система (компјутерски нумерички управљаних система), ДНУ - система (дистрибутивно нумерички управљаних система), ФТС – система (флексибилних технолошких система), ИТС - система (интелигентних технолошких система), трансфер линија са високим нивоом управљања, и др.; високе технологије данас подразумевају и нано технологије, итд.

Агилне или технологије брзог дејства данас су посебан предмет истраживања у оквиру производних технологија, а односе се на брзу израду прототипова, и обухватају ливење у вакууму и то специјалних пластичних маса, стереолитографију, технологију електролучног ослојавања и технологију ливења алата од лакотопљивих легура. Искуства познатих фирми у свету, и то углавном оних које обухватају индустрије мотора и моторних возила, показују да је смањење трошкова при примени ових технологија реда десет пута, а временско смањење реда сто пута.

С друге стране, производне технологије садрже све активности од усвајања концепције производа, пројектовања и конструисања, прорачуна и провера, пројектовања технолошких процеса производње, обраде и обликовања делова у свим етапама производње, мерења и контроле, монтаже и завршног испитивања готовог производа, заштите и паковања, укључујући и активности које се односе на транспорт и ток материјала у процесу производње, као и одржавање производне опреме.

Производним технологијама се обухвата *дискретна производња*, односно производња појединачних делова или комада и *континуална производња*. Завртањски делови, зупчаници, челичне кугле, конзерве за течност, наводе се као примери дискретне производње у масовном или великосеријском типу производње. С друге стране, калемови жице, плоче од метала или пластике, цеви, пластична црева, каблови, наводе се као пример континуалне производње, где се сечењем, или резањем могу добити комадни делови.

1.3. Историја развоја технологија

Историјски посматрано производне технологије датирају још од 5000 – 4000. год. пре н.е., када су се производили различити предмети од дрвета, керамике, камена и метала. Основни производни процеси се тада односе на ковање, алати су од камена, дрвета, костију,

кремена, и др. Као метални материјали коришћени су злато, бакар и метеоритско гвожђе, а као неметали, поред поменутих, коришћени су грнчарија, глеђ и природно влакно. Уз перманентан развој до последње декаде прошлог века, у производним технологијама користи се огроман број различитих металних материјала и неметалних материјала, са процесима који обухватају прецизно и изотермичко ковање, ласерско сечење и резање, суперпластично деформисање, да би се коначно извршила интеграција са компјутерским технологијама.

Све до Индустијске револуције која је почела у Енглеској око 1760. год., производне технологије су се ослањале на мануелни рад у свим фазама производње. Модерна механизација почиње са развојем опреме за текстилну индустрију и машина алатки за обраду метала. Ове технологије убрзо се трансферишу у Америку, где се даље развијају уводећи нове методе конструисања и производње са коришћењем принципа *заменљивости делова*, који је унео праву револуцију у монтажи серијских склопова.

Даљи развој производних технологија везује се за број производа. Главна прекретница настаје почетком четрдесетих година прошлог века, где је општи прогрес везан за све аспекте производње. Рачуна се да развој технологија у сто последњих година, специјално у две декаде прошлог века компјутерске ере, одговара развоју од четири миленијума, односно од 4000. – 1. год. пре н.е.[9].

У радионицама старог Рима за масовну производњу стакларије, методе производње су биле врло примитивне и генерално врло споре, односно непродуктивне, а са коришћењем људског рада. Данас су уз помоћ компјутера производне технологије толико напредовале да се, на пример, производи 10 алуминијумских конзерви за пиво у секунди или 3 милиона жилета за бријање на час.

У таблици 1.1 наведен је један преглед датума издвојен из литературе [8], који су значајни за развој технологија, а посебно за развој производних технологија.

Посебно значајан технолошки елемент је резни алат који треба да омогући искоришћење експлоатацијског капацитета, данас врло скупе производне технолошке опреме. У таблици 1.1 приказан је упоредни историјски развој алатних материјала са основним карактеристикама, где се, на пример, види да је брзина резања у последњих педесет година порасла за око десет пута и да су трошкови алата по cm^3 скинуте струготине истовремено опали за око седам пута. Међутим, данас развој алата још не прати или врло тешко прати развој машина алатки, који је посебно у експанзији у сфери управљања.

Таблица 1.1
Значајни датуми за развој технологија

№	Нова технологија	Земља	Година
1	В.Pascal – Механички калкулатор	Француска	1642
2	Индустријска револуција	Енглеска	1760
3	J.Wilkinson – Бушилица за обраду цилиндара	Енглеска	1775
4	H.Maudslay – Струг за израду завојнице	Енглеска	1797
5	J.Jacquard – Бушене плочице за управљање ткачким разбојем	Француска	1804
6	E.Witney – Хоризонтална глодалица	САД	1818
7	Хоризонтална рендисаљка	Енглеска	1820 –
8	C.Babbage – Принципи аутоматске рачунске машине	Француска	1833
9	Вертикални струг	САД	1840 –
10	Универзална глодалица	САД	1861/2
11	Брусница за цилиндрично брушење	САД	1864
12	Глодалица за израду зупчаника	САД	1880 –
13	H.Hollerith -.Машине за састављање таблица и прорачуна са бушеним картицама	САД	1887
14	Вишевертени аутоматски струг	САД	1895
15	F.W.Taylor & M.White – Алат од брзорез. челика	САД	1898
16	F.W.Taylor – Научни менаџмент	САД	1903
17	H.Ford – Конвејер монтажне линије	САД	1913
18	Трансфер машине (Morris Motors)	Енглеска	1924
19	W.A.Shewart – Контрола квалитета	САД	1931
20	J. von Neumann – Принципи компјутерског програмирања	САД	1945
21	J.P.Eckert & J.W.Maushly – ENIAC	САД	1946
22	С.П.Митрофанов – Групна технологија	СССР	1946
23	N.Winer - Кибернетика	САД	1947
24	Трансфер аутоматизација за израду моторних клипова	СССР	1950
25	J.Parsons – NC глодалица	САД	1952
26	G.C.Devol – Патент плејбек манипулатора	САД	1954
27	АПТ – програмски језик	САД	1955
28	Обрадни центар (Kearney & Trecker)	САД	1958
29	Индустријски робот поларне конфигурације, Unimate (Unimation Inc.)	САД	1959
30	Глодалица са адаптивним управљањем (Bendix)	САД	1960
31	Индустријски робот цилиндричне конфигурације, Versatran	САД	1962
32	I.E.Sutherland – CAD, Sketch Pad (Компјутерска графика)	САД	1963
33	IBM 360, Универзални електронски компјутер	САД	1964
34	ЕХАРТ – Програмски језик	3.Немачка	1966
35	DNC, Систем 24 (Molins Company)	Енглеска	1968
36	Робот линија за заваривање каросерија (први CIM, General Motors)	САД	1970
37	Микропроцесори, CNC, FMS, CIM		1970 -
38	AI, интелигентни роботи, паметни сензори, аутоматизоване производне ћелије, PC компјутери		1980 -

4

ПОКАЗАТЕЉИ КВАЛИТЕТА ОБРАДНИХ СИСТЕМА

4.1. УВОД

4.2. ГЕОМЕТРИЈСКА И КИНЕМАТИЧКА ТАЧНОСТ

4.3. ТОПЛОТНЕ ПОЈАВЕ

4.4. СТАТИЧКЕ ДЕФОРМАЦИЈЕ

4.5. ДИНАМИЧКО ПОНАШАЊЕ ОБРАДНИХ СИСТЕМА

4.5. ТРЕЊЕ И ХАБАЊЕ

4.6. БУКА (ШУМ)

4.7. ПОУЗДАНОСТ

4.1. Увод

Квалитет обрадних система одређен је преко групе показатеља квалитета, који се састоји од почетних показатеља квалитета и показатеља дефинисаних групом поремећајних подсистема обрадног система, слика 4.1.

Почетни показатељи квалитета обрадног система односе се на геометријску и кинематичку тачност машина алатки.

Група поремећајних подсистема обрадног система односи се на:

- топлотне појаве,
- статичке деформације,
- динамичко понашање,
- трење и хабање,
- буку (шум), и

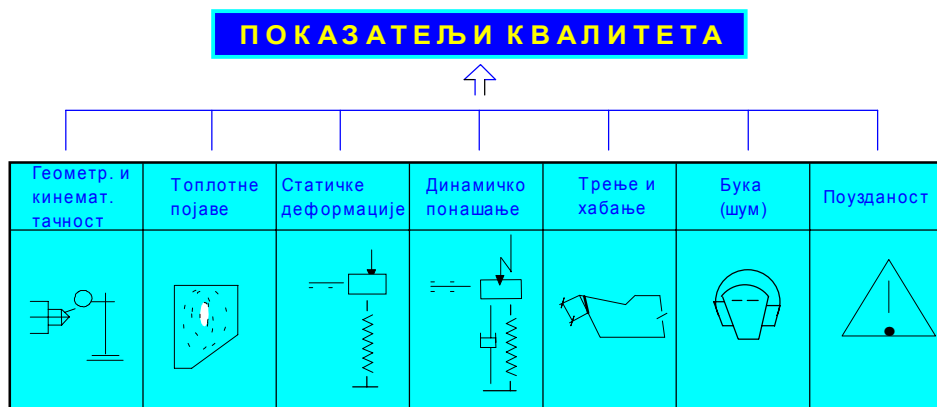
- поузданост.

Поремећајни подсистеми представљају ограничења у оквиру обрадног система у односу на максимално могуће техничке могућности дефинисане функционалним подсистемима.

4.2. Геометријска и кинематичка тачност

Геометријска тачност се дефинише и одређује за машине алатке. То је скуп параметара који показује одступања од идеалног геометријског облика елемената машине, одступања од номиналног релативног међусобног положаја појединих елемената и одступања од релативног односа појединих елемената машине према правцима кретања основних радних органа машине. То су на пример:

- равност површина столова,
- правост вођица,
- управност стубова на столове,
- управност или паралелност оса са радним површинама,



Слика 4.1 Схематски приказ показатеља квалитета обрадних система

- паралелност оса са вођицама,
- центричност оса конуса главних вретена,
- радијална одступања цилиндричних површина завршетака главних вретена,
- паралелност оса главних вретена са правцем кретања носача алата, или управност оса главних вретена са површинама столова, и др.

Поступак испитивања, средстава за мерење, параметри

- производност, и др.

Преко динамичког понашања дефинише се и динамички квалитет обрадног система, и то преко *динамичке стабилности* и *динамичке крутости* динамичког система, као једног од основних поремећајних система у оквиру обрадног система.

Динамички систем се састоји од машинског система и радних процеса са одговарајућим међудејствима. Радни процеси, поред процеса обраде, обухватају и остале физичко - хемијске појаве у машинском систему које су зависне од времена (на пример: трење, процеси у погонском електромотору, хидрауличном погону, и др.).

За разлику од радних процеса у оквиру динамичког система дефинишу се и динамички процеси. То су процеси у којима се мењају параметри динамичког система - маса, крутост или пригушење.

Обрадни систем је, у ствари, динамички систем са бесконачно много степени слободе. Практичан утицај на динамичко понашање имају сопствене фреквенце само првих неколико степени слободе. Даље се дају само укратко теоријске основе настанка вибрација у обрадним системима уз дефинисање динамичке стабилности и динамичке крутости.

4.5.2. Основни параметри и карактеристике динамичког система

На сл. 4.13 приказан је модел динамичког система са једним степеном слободе. Цео систем се састоји од следећих елемената:

- материјалне тачке са масом m ,
- опруге са крутошћу c ,
- пригушивача са пригушењем b ,
- поремећајне силе $F(t)$,
- помераја, брзине и убрзања - $y(t)$, $\dot{y}(t)$, и $\ddot{y}(t)$.

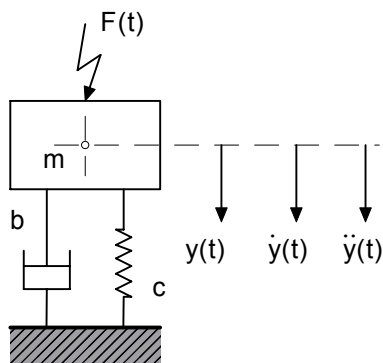
Маса, крутост и пригушење представљају параметре динамичког система.

Основна динамичка једначина за дати модел гласи

$$m\ddot{y} + b\dot{y} + cy = F(t) \quad (4.26)$$

За динамичко понашање обрадних система посебан значај имају слободне, принудне и самопобудне вибрације.

Слободне вибрације настају по престанку дејства поремећајне силе на динамички систем. Из једн. (4.26) следи и хомогена диференцијална једначина слободних вибрација:



Слика 4.13
Елементи динамичког система

$$m\ddot{y} + b\dot{y} + cy = 0 \quad (4.27)$$

Решење ове диференцијалне једначине има облик

$$y = A_1 \exp(-\omega_0 \zeta + \omega_0 \sqrt{\zeta^2 - 1})t + A_2 \exp(-\omega_0 \zeta - \omega_0 \sqrt{\zeta^2 - 1})t \quad (4.28)$$

где су A_1 , и A_2 константе зависне од почетних услова,

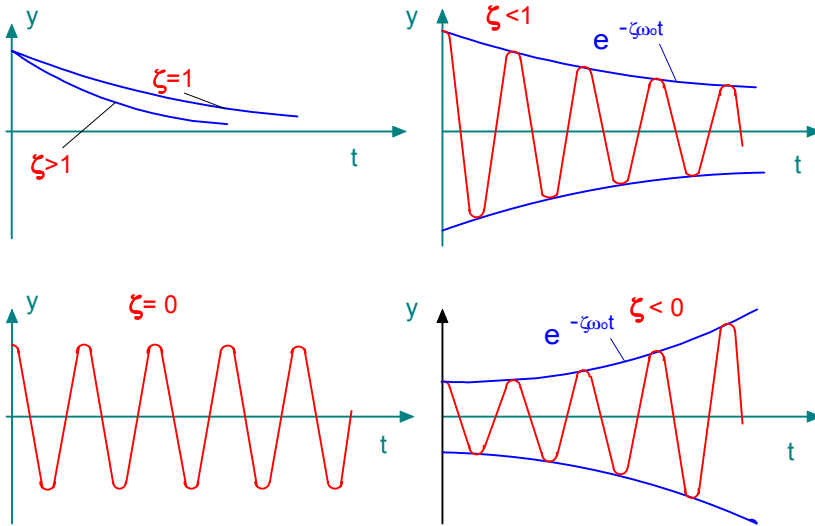
$$\omega_0 = 2\pi f_0 = \sqrt{\frac{c}{m}} \quad [\text{rad/s}] \quad (4.29)$$

сопствена кружна фреквенца система, а где је f_0 [Hz] сопствена фреквенца система, и

$$\zeta = \frac{b}{2\sqrt{cm}} \quad (4.30)$$

представља бездимензиони коефицијент пригушења динамичког система. У зависности од овог коефицијента постоје различита решења (4.28), која су графички приказана на сл. 4.14.

За $\zeta \geq 1$ систем има критично, односно јако пригушење а кретање материјалне тачке је апериодично са смањењем помераја. За $\zeta < 1$ систем има слабо пригушење, кретање је периодично са смањењем амплитуда. Систем је без пригушења за $\zeta = 0$; тада је кретање материјалне тачке хармонијско. Коначно, за $\zeta < 0$ систем је са тзв. негативним пригушењем, кретање материјалне тачке је периодично са повећањем амплитуде, па се може говорити о динамички нестабилном систему.



Слика 4.14
Могућа решења једн. (4.27)

Принудне вибрације у обрадним системима настају услед неуравнотежености обртних маса, променљивог карактера сила резања и др. Ове вибрације се описују диференцијалним једначинама облика (4.26). Од посебног интереса за анализу динамичких система са slabим пригушењем представљају принудне вибрације са синусном поремећајном силом

$$F(t) = F_0 \sin \omega t \quad (4.31)$$

Преко Фуријеве (Fourier) трансформације једн. (4.26) у којој је претходно извршена смена за поремећајну силу (4.31), добија се фреквентна карактеристика система

$$W(i\omega) = \frac{Y(i\omega)}{F(i\omega)} = \frac{1}{m[(i\omega)^2 + 2\zeta\omega_0(i\omega) + \omega_0^2]} \quad (4.32)$$

Карактеристика (4.32) назива се амплитудно - фазна карактеристика и може се написати и у облику

$$W(i\omega) = U(\omega) + iV(\omega) \quad (4.33)$$

Из (4.32) се лако добија:

$$\begin{aligned}
 U(\omega) &= \operatorname{Re}[W(i\omega)] = \frac{1}{m} \frac{\omega_0^2 - \omega^2}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (2\zeta\omega_0\omega)^2} \\
 V(\omega) &= \operatorname{Im}[W(i\omega)] = \frac{1}{m} \frac{-2\zeta\omega_0\omega}{(\omega_0^2 - \omega^2)^2 + (2\zeta\omega_0\omega)^2}
 \end{aligned}
 \tag{4.34}$$

Пошто је

$$\begin{aligned}
 A(\omega) &= \sqrt{U(\omega)^2 + V(\omega)^2} \\
 \varphi(\omega) &= \operatorname{arc\,tg} \frac{V(\omega)}{U(\omega)}
 \end{aligned}
 \tag{4.35}$$

то се амплитудно - фазна карактеристика може представити преко амплитудно - фреквентне карактеристике $A(\omega)$ и фазно - фреквентне карактеристике $\varphi(\omega)$, тј.

$$W(i\omega) = A(\omega) \cdot \exp(-i\varphi(\omega)) \tag{4.36}$$

На сл. 4.15 дати су изгледи фреквентних карактеристика за динамички систем са једним степеном слободе.

Напомиње се да амплитуда фреквентних карактеристика представља динамичку попустљивост, пошто је однос амплитуде излаза - помераја и амплитуде улаза - силе.

На амплитудно - фреквентној карактеристици се уочава резонантна област са резонантном фреквенцом система

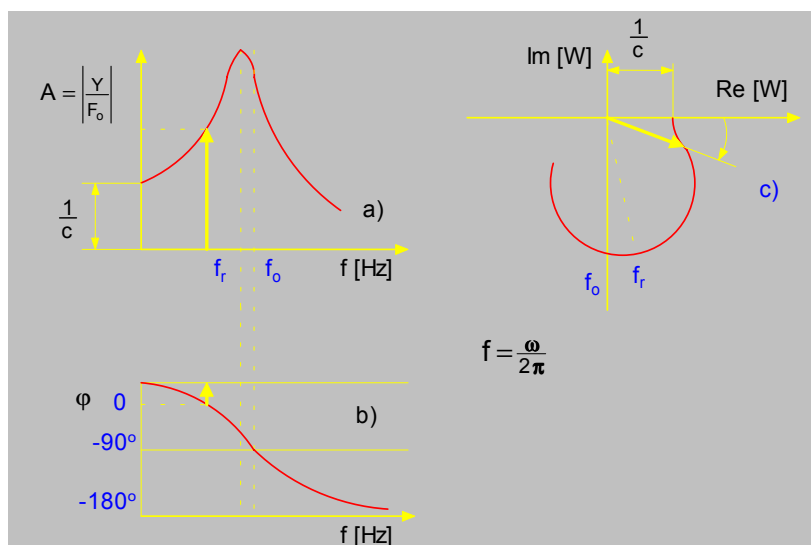
$$f_r = f_0 \sqrt{1 - 2\zeta^2} \tag{4.37}$$

где је f_0 - сопствена фреквенца система дата једн. (4.29). Сопствена и резонантна фреквенца система су врло блиске. За резонантну фреквенцу амплитудно - фреквентна карактеристика има максимум који приближно износи

$$\left| \frac{Y}{F_0} \right|_{\max} = \frac{1}{2\zeta c} \tag{4.38}$$

Самопобудне вибрације се описују и диференцијалним једначинама облика

$$m\ddot{y} + b\dot{y} + cy = F(y, t) \tag{4.39}$$



Слика 4.15

Фреквентне карактеристике динамичког система са једним степеном слободе: а) амплитудно - фреквентна, б) амплитудно - фазна и с) фазно - фреквентна карактеристика

Поремећајна сила $F(y,t)$ не зависи само од y и t , већ при вибрацијама машинског система представља функцију геометрије алата, материјала обратка, параметара процеса резања, као и функцију динамичког стања саме машине алатке. Као основни узрок вибрација у току извођења обрадног процеса појављује се динамичка компонента силе резања. У одређеним динамичким прорачунима ова динамичка компонента најчешће се усваја у облику

$$dF = k ds \quad (4.40)$$

где су k - коефицијент резања и ds - диференцијал дебљине струготине.

За тзв. регенеративни модел настанка самопобудних вибрација при извођењу обрадних процеса, диференцијал промене дебљине струготине даје се као

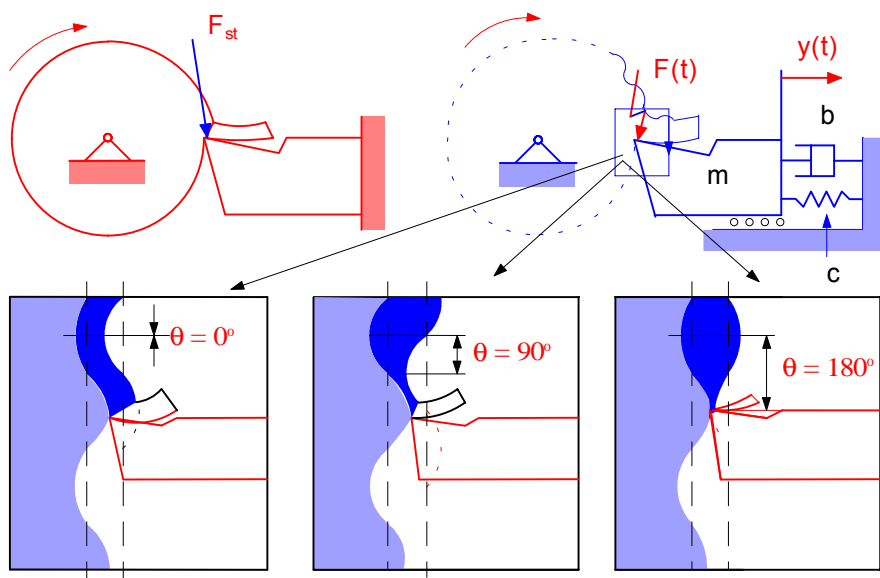
$$ds = y(t) - y(t-T) \quad (4.41)$$

где је T - временска константа. На сл.4.16 дат је схематски приказ регенеративног ефекта за случај стругања.

Наиме, на стругарски нож поред статичке силе делује и динамичка компонента отпора резања, која је пропорционална дебљини струготине и дата је једн. (4.41). У зависности од фазног помераја, тј. угла ϑ , где је

$$\vartheta = \frac{n}{30} T - 2\pi m \quad (n[\text{min}^{-1}], m=1,2,3,\dots) \quad (4.42)$$

настаје нагли скок амплитуде вибрација, и то за $\vartheta = 180^\circ$. Овај фазни померај се одређује између два узастопна трага сечива алата.



Слика 4.16 **Схематски приказ регенеративног ефекта**

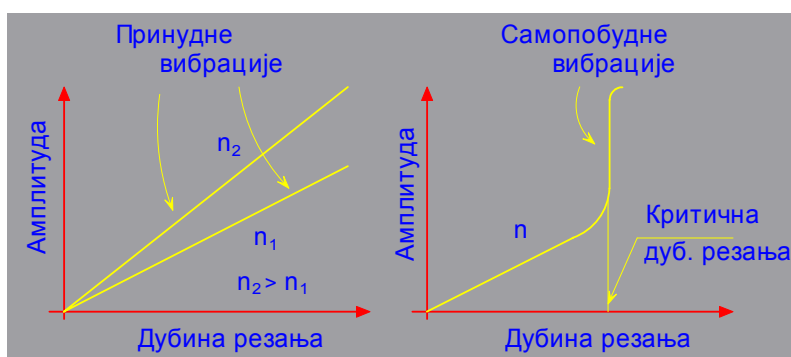
За обрадне системе се не поставља као основни задатак решавање диференцијалне једн. (4.39), већ утврђивање параметара резања до граничног, почетног тренутка појаве самопобудних вибрација.

Појава самопобудних вибрација карактерише се:

- наглим порастом амплитуда вибрација са фреквенцом која је блиска једној од сопствених фреквенци,

- променом у смислу повећања буке у зони резања,
- променом облика струготине, и
- наглим погоршањем квалитета обрађене површине,

Зависност амплитуда вибрација од дубине резања и броја обрта алата или обратка дата је на сл. 4.17. Овде се јасно илуструје да у општем случају, у зависности од односа динамичких параметара система, за неку критичну дубину резања амплитуда вибрација има нагли пораст, што карактерише почетак настанка самопобудних вибрација.



Слика 4.17

Зависност амплитуда вибрација од дубине резања за принудне и самопобудне вибрације

4.5.3. Експериментална идентификација динамичких карактеристика

Машински систем - машина, алат, прибор, обрадак, представља у реалним условима динамички систем са бесконачно много степени слободе. За прорачун динамичких карактеристика и одређивање динамичког понашања једног обрадног система могуће је данас користити развијене методе, посебно метод коначних елемената, и наравно, уз подршку развијених компјутерских програма. Међутим, фреквентне карактеристике носећих структура машина алатки, или, општије, обрадних система, као основни представници динамичких карактеристика, снимају се експериментално уз коришћење тзв. фреквентних метода.

Фреквентним методама испитивања снимају се фреквентне карактеристике система, и то:

- амплитудно - фреквентна,

5

ОБРАДА МЕТАЛА РЕЗАЊЕМ

5.1. ОСНОВИ ТЕОРИЈЕ РЕЗАЊА

5.2. ОСНОВНИ ЕЛЕМЕНТИ ОБРАДНИХ СИСТЕМА

5.3. КВАЛИТЕТ ОБРАДЕ

5.4. РЕЖИМИ ОБРАДЕ

5.1. Основи теорије резања

5.1.1. Основни принцип резања

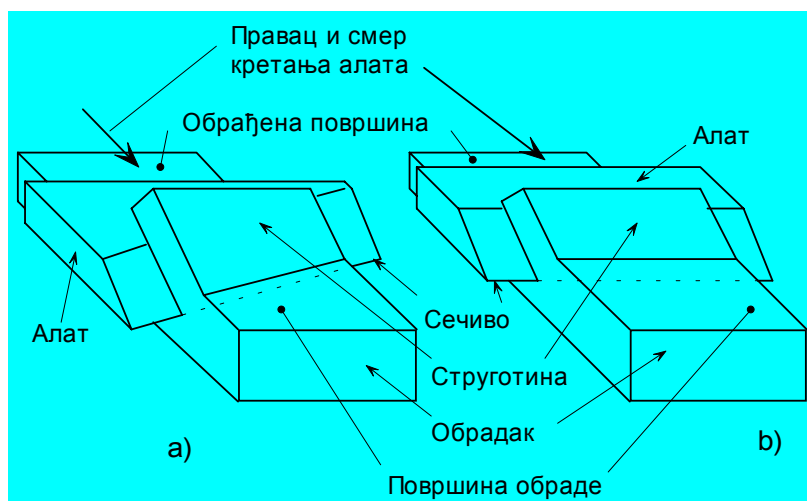
Резање настаје при продирању резног клина алата у материјал под дејством механичке силе. У зони контакта између радних површина алата и материјала долази до пластичног деформисања, разарања и одвођења једног слоја материјала, који се назива струготина.

Основни принцип резања, који се састоји у продирању резног клина алата у материјал, приказан је на сл.5.1.

У општем случају разликују се косо и ортогонално резање. Уколико је правац релативног кретања између алата и обратка под неким углом у односу на сечиво резног клина, тада је то косо резање (сл. 5.1а). Специјалан случај косог резања је ортогонално резање. Тада је правац релативног кретања између алата и обратка нормалан на сечиво резног клина, које мора истовремено да буде и паралелно са обрађеном површином (сл. 5.1b).

На сл. 5.2 приказани су примери косог и ортогоналног резања. Стругање је, у општем случају, косо резање. Једино при одсецању (или усецању), када је сечиво алата паралелно са осом обратка, стругање је ортогонално резање. При обимном глодању, косо резање

настаје при раду ваљкастим глодалима са завојним зубима, а ортогонално при глодању са правим зубима. Код рендисања, при усецању жљебова настаје ортогонално резање, док је у општем случају то косо резање. При бушењу је косо резање.



Слика 5.1 Продирање резног клина алата у материјал при: а) косом и б) ортогоналном резању

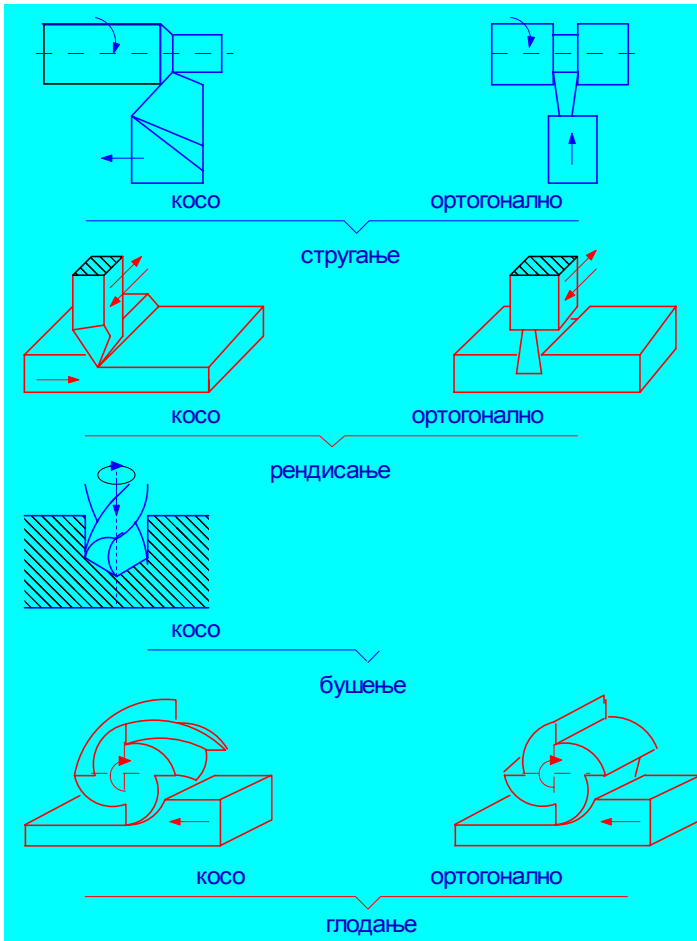
При раду са многосечним алатима, на пример тоцилима, свако абразивно зрно, за које се не може дефинисати геометрија, врши косо резање скидајући делиће струготине.

5.1.2. Основни (базни) елементи процеса резања

Резање се обавља у строго одређеној кинематици релативног кретања између алата и обратка, где се дефинишу основна и допунска кретања. Основна кретања деле се на главно и помоћно кретање. Допунска кретања односе се на подеона, позициона, и др. кретања. Главно кретање одређује брзину резања, а изводи га алат или обрадак, и може бити кружно или праволинијско. За свако главно кретање дефинише се мера главног кретања, и то:

- број обрта, n [o/min] - за случај кружног главног кретања, или
- број дуплих ходова, n_L [dh/min] - за случај праволинијског главног кретања.

Помоћно кретање које изводи алат или обрадак, може, као и главно кретање, бити кружно или праволинијско. Мера помоћног кретања је:



Слика 5.2
Примери косог и ортогоналног резања

- корак, s [mm/o] или [mm/dh], и то је величина која одговара померању алата или обратка за један обрт или дупли ход главног кретања. Мера помоћног кретања се дефинише за случај када постоји кинематичка зависност између главног и помоћног кретања (на пример стругање, рендисање, бушење). У том случају је брзина помоћног кретања

$$v_s = ns \text{ или } v_s = n_L s \text{ [mm/min]}$$

изведена величина. Код система где не постоји кинематичка зависност између главног и помоћног кретања, мера помоћног кретања је брзина

v_s [mm/min], а корак је изведена величина

$$s = \frac{v_s}{n} \text{ [mm/o]}$$

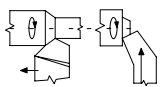
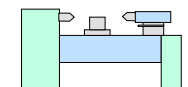


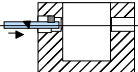



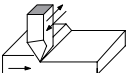



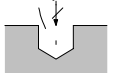
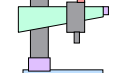

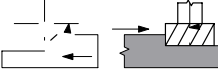



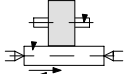
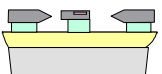


То је, на пример, код глодања или брушења.

Главно и помоћно кретање у одређеној кинематици кретања алата и обратка дефинишу метод обраде. Један метод обраде може имати само једно главно и једно или више помоћних кретања. У табл. 5.1 приказане су схеме основних метода обраде са кинематичком схемом кретања алата и обратка.

Међутим, за сваки метод обраде резањем, као један захват, дефинишу се основни (или базни) елементи, и то:

- брзина резања, v [m/min] или [m/s],
- корак, s [mm/o] или [mm/dh],
- дубина резања, a [mm],
- главно време резања, t_g [min], и
- специфична производност, q [cm³/min].

Таблица 5.1
Основна кинематика резања

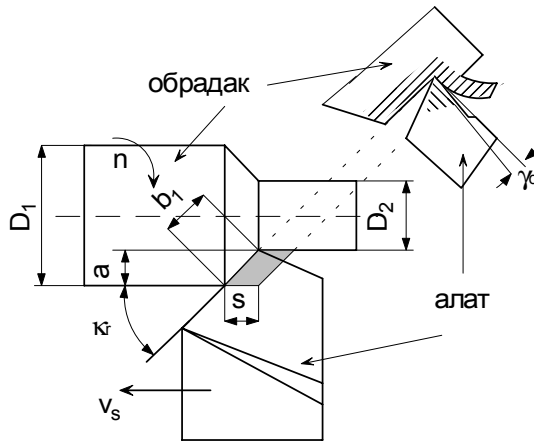
Метод обраде	Схема	Машина алатка	Алат	Кретање	
				Алат	Обрадак
Стругање			Једно - сечан		
Простругивање			Једно - сечан		
Рендисање			Једно - сечан		
Бушење			Дво - сечан		
Глодање			Више - сечан		
Брушење			Много - сечан		

Поред ових елемената, за сваки метод обраде одређују се и

други посебни елементи процеса резања. Тако је редом за поједине методе обраде:

Стругање

На сл. 5.3 приказана је схема стругања са основним елементима обраде. Код стругања обрадак изводи главно обртно кретање, док алат изводи помоћно праволинијско кретање, које је у кинематичкој вези са главним кретањем.



$$\text{брзина резања } v = \frac{\pi D_1 n}{1000} \text{ [m/min]}$$

$$\text{број обрта } n \text{ [o/min]}$$

$$\text{брзина помоћног кретања } v_s = n s \text{ [mm/min]}$$

$$\text{корак } s \text{ [mm/o]}$$

$$\text{главно време } t_g = \frac{L}{n s} \text{ [min]}$$

$$\text{производност } q = a s v \text{ [cm}^3 \text{/min]}$$

$$\text{дужина обраде } L \text{ [mm]}$$

$$\text{дубина резања } a = \frac{D_1 - D_2}{2} \text{ [mm]}$$

$$\text{нападни угао } \kappa_r \text{ [}^\circ \text{]}$$

$$\text{дужина сечива у контакту } b_1 = \frac{a}{\sin \kappa_r} \text{ [mm]}$$

Слика 5.3
Основни елементи при стругању

7

НЕКОНВЕНЦИОНАЛНЕ МЕТОДЕ ОБРАДЕ

7.1. ОПШТЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ

7.2. УЛТРАЗВУЧНА ОБРАДА, USM

7.3. ЕЛЕКТРОЕРОЗИОНА ОБРАДА, EDM

7.4. ЛАСЕРСКА ОБРАДА, LBM

7.5. ЕЛЕКТРОХЕМИЈСКА ОБРАДА, ESM

7.6. КОМБИНОВАНЕ МЕТОДЕ ОБРАДЕ

7.7. ХИДРОДИНАМИЧКИ МЕТОД ОБРАДЕ, HDM

7.1 Опште карактеристике

У савременој технологији за обраду тешко обрадљивих материјала, упоредо са класичним методама обраде (резањем и пластичним деформисањем), све већу примену налазе неконвенционалне методе обраде (или специјалне методе), тј. електрофизичке и електрохемијске методе. Примена ових метода које се и даље све више развијају, посебно у комбинацији са класичним методама, најефикаснија је у обради материјала и делова које је врло тешко, или немогуће обрадити на класичним, конвенционалним обрадним системима. Развој и освајање неконвенционалних метода обраде нарочито је диктирала авионска, ракетна и нуклеарна техника, где је неопходно користити нове материјале са специфичним својствима. Наиме, одређене легуре са врло великом тврдоћом и

топлоотпорношћу, које су нашле примену и у другим областима технике, тешко је или немогуће обрадити класичним методама обраде. Зато су упоредо са освајањем нових алатних материјала у обради резањем, ради побољшања класичних метода обраде, освојене и нове методе обраде засноване на сасвим новим принципима.

Код неконвенционалних метода обраде ефекат скидања материјала са обратка се постиже довођењем електричне, или механичке, топлотне, светлосне, и других видова енергије директно у зону обраде. Све ове методе се могу поделити према енергији која се користи у зони обраде за скидање материјала са обратка, тј:

(1) Механичке методе обраде

- ултразвучна метода, USM (Ultrasonic Machining),
- абразивна метода, AJM (Abrasive Jet Machining);

(2) Термоелектричне методе обраде

- електроерозиона метода, EDM (Electric Discharge Machining);
- ласерска обрада, LBM (Laser Beam Machining)
- обрада електронским и јонским млазом, EBM i IBM (Electron Beam Machining, Ion Beam Machining)
- обрада плазмом, PAM (Plasma Arc Machining)

(3) Електрохемијске методе обраде

- Електрохемијска обрада, ECM (Electrochemical Machining)

(4) Комбиноване методе обраде

- електрохемијско брушење, хоновање и леповање, ECG, ECH, ECL (Electrochemical Grinding, Honing, Lapping).
- електрохемијско - електроерозиона обрада, ECDM (Electro - Chemical - Discharge Machining),
- Хидродинамичка обрада, HDM (Hydrodynamic Machining), и др.

Прве две групе припадају широј групи електрофизичких метода, док четврта група обухвата методе које представљају комбинацију неконвенционалних и класичних или само неконвенционалних метода обраде.

Обрада неконвенционалним методама захтева већи утрошак електричне енергије по [см³] скинутог материјала. С друге стране, могућности постизања тачности и квалитета обрађене површине разликују се за поједине методе, па су у Таблици 7.1 дате упоредне карактеристике основних неконвенционалних метода обраде и

СПИСАК ПОЈМОВА

А

- алат**, ~ и, 12 – 329
- ~ без дефинисане геометрије, 33
 - ~, вишесечни, 35, 44
 - ~, двосечни, 35
 - ~ за брушење, 234
 - ~ за обраду пластичним деформисањем, 371 - 376
 - ~ за обраду на бушилицима, 225
 - ~ за простругивање, 231
 - ~, једносечни, 35
 - ~, многосечни, 35
 - ~, резни, 53, 76, 220 - 235
 - ~ са дефинисаном геометријом, 33
- акумулатор**, 80
- амортизер**, 365
- анода**, 383, 384, 390
- аутоматизација**, 9

Б

- базе**, 45
- ~, конструкционе, 45
 - ~, мерне, 45, 46
 - ~, монтажне, 45, 46
 - ~, необрађене, 46
 - ~, обрађене, 46
 - ~, помоћне, 46
 - ~, технолошке, 45, 46
- базирање**,
- ~ алата, 45
 - ~ обратка, 45

- ~ припремка, 45

биланс

- ~, динамичко енергетски, 144
- ~ кинетичке енергије, 80, 83
- ~ помераја, 128
- ~ снаге, 144
- ~, топлотни, 115 – 117, 121

брзина, 108, 121, 174

- ~ деформације, 30, 283, 302
- ~ деформисања, 283, 366
- ~, кинематичка, 260
- ~ клизања, 175
- ~ кретања, 115, 175, 366
- ~ обртања, 88
- ~ појаве кварова, 155, 157
- ~ помоћног кретања, 62, 81, 163 ~ 248
- ~ релативног кретања, 145
- ~ резања, 6, 8, 72 191
- ~ смицања, 126, 175, 176
- ~, технолошка, 181, 184, 188, 260
- ~, угаона, 99

број

- ~ дуплих ходова, 162, 247, 260
- ~ обрта, 162 – 168 247 - 269
- ~ пролаза, 263, 248
- ~ операција (извлачења), 335
- ~ ступњева (преносника), 71

брушење, 33, 35, 189, 380, 390

- ~ без шиљака, 213
- ~, грубо, 251
- ~, електрохемијско, 36, 37, 389
- ~, округло, 54, 190, 191, 246
- ~, продукционо, 191
- ~, равно, 54, 191, 246

СПИСАК ЋИРИЛИЧНИХ АКРОНИМА

- АдСГУ** (Адаптивни систем граничног управљања), 108, 109
АдСОУ (Адаптиви систем оптималног управљања), 108, 109
АдСУ (Адаптивни систем управљања), 107, 108, 109
ГВ (Главно вретено), 88,
ДНУ (Директно нумеричко управљање), 5, 98
ДНУ (Дистрибутивно нумеричко управљање), 98
ЕКМ (Електрокорачни мотор), 94, 99 100
ЕМ (Електромотор), 100
ЕХКМ (Електрохидраулични корачни мотор), 100
ИТС (Интелигентни технолошки системи)
КНУ (Компјутерско нумеричко управљање), 5, 10, 11, 45, 98
МА (Машина алатка), 91
МЕ (Мерни елемент), 95, 96, 100, 101, 102, 108
МЈС (Мотор једносмерне струје), 99, 100
МС (Мерни систем), 91, 100
НУ (Нумеричко управљање), 10, 40, 90, 91 – 102, 105 – 109, 209, 238, 240, 255, 262, 267, 269, 384, 386
НУМА (Нумерички управљана машина алатка), 90
ПВ (Помоћно вратило), 88, 89

ПС (Погонски систем), 91,99
САУ (Систем аутоматског управљања), 86
СХП (Средство за хлађење и подмазивање), 76, 78 - 80, 103, 105, 117, 172, 174

УВ (Управљачко вратило), 87, 88, 89
УЈ (Управљачка јединица), 91, 98, 99, 107
ФТС (Флексибилни технолошки систем), 5, 21
ХП (Хидропојачивач), 94, 100

СПИСАК ЕНГЛЕСКИХ АКРОНИМА

AC	(Adaptive Control), 10, 108
AJM	(Abrasive Jet Machining), 380
APT	(Automatic Programmed Tool), 105
CAD	(Computer Aided Design), 7, 9, 11, 21, 22
CAM	(Computer Aided Manufacturing), 9, 11, 21, 22
CAE	(Computer Aided Engineering), 11, 21, 22
CAPP	(Computer Aided Process Planning), 9, 11
CIM	(Computer Integrated Manufacturing Systems), 7, 9, 10, 21
CNC	(Computer Numerical Control), 7, 10, 11, 21, 98, 108, 204
DAC	(Digital to Analog Converter), 94
DC	(Direct Current), 4, 95, 383, 385, 388, 390
DCM	(Direct Current Motor), 99
DNC	(Direct Numerical Control), 7, 98
DNC	(Distributed Numerical Control), 98
EBM	(Electron Beam Machining), 380
ECDM	(Electro - Chemical - Discharge Machining), 380
ECG	(Electrochemical Grinding), 380
ECH	(Electrochemical Honing), 380
ECL	(Electrochemical Lapping), 380
ECM	(Electrochemical Machining), 380
EDM	(Electric Discharge Machining), 379, 380, 383, 384
FMS	(Flexible Manufacturing Systems), 7, 11
HDM	(Hydrodynamic Machining), 379, 380, 391
IBM	(Ion Beam Machining), 380
LBM	(Laser Beam Machining), 379, 380, 386
NC	(Numerical Control), 7, 10, 90, 98
PAM	(Plasma Arc Machining), 380, 381
SM	(Stepping Motor), 99
USM	(Ultrasonic Machining), 379, 380, 381