

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Производне технологије

Број индекса: 56/2016

Ана Т. Антонијевић

Одређивање угла тока струготине при обради стругањем

завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Богдан Недић, ред. проф.

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____



Универзитет у Крагујевцу
Факултет инжењерских наука



Основнестудије: **Машинско инжењерство**

Студијскоподручје (усмерење): **Производно машинство**

Име и презиме: **Ана Антонијевић**

Бројиндекса: **56/2016**

ПРИЈАВА ЗАВРШНОГ РАДА

Тема рада: **Одређивање угла тока струготине при обради стругањем**

Задатак: У оквиру завршног рада потребно је да кандидат изврши прикупљање и систематизацију података о облику струготине и углу тока струготине, при обради стругањем. Потребно је дефинисати зависност облика струготине од услова обраде и извршити анализу података о претходним истраживањима. У посебном делу рада извршити експериментална испитивања одређивања облика и угла тока струготине приеном видео уређаја.

Завршни рад требадасадржи следеће целине:

1. Уводна разматрања,
2. Основи процеса обраде стругањем,
3. Формирање струготине и утицајни фактори,
4. Експериментална испитивања,
5. Анализа резултата,
6. Закључци,
7. Литература.

Ментор:

Др Богдан Недић, редовни професор

Крагујевац, 13.05.2019.

Резиме

Овај рад се бави одређивањем угла тока струготине при обради стругањем. Један од најважнијих циљева овог рада је одређивање угла тока струготине експерименталним путем и анализа утицаја најважнијих параметара резања на формирање угла тока струготине. Подаци неопходни за спровођење поменуте анализе су прикупљени током обраде стругањем која је у пракси најзаступљенија обрада резањем. Током обраде варијани су брзина резања, корак резања и дубина резања, као параметри режима резања су од највећег утицаја у овом истраживању. На основу добијених резултата закључено је да приликом промене неких од параметара долази и до промене угла тока струготине.

Кључне речи : обрада стругањем, параметри резања, угао тока струготине.

Abstract

This paper deals with determining the flow angle of a chip during turning process. One of the most important goals of this paper is to determine the chip flow angle experimentally and to analyze the influence of the most important cutting parameters on the formation of the chip flow angle. The data necessary to carry out the aforementioned analysis was collected during scraping, which is in practice the most common cutting operation. During processing, cutting speed, cutting step and cutting depth were varied as parameters of the cutting mode of the greatest influence in this study. Based on the obtained results, it was concluded that when changing some of the parameters, there is also a change in the flow angle of the chip.

Keywords: turning process; machining parameters; chip flow angle .

Садржај:

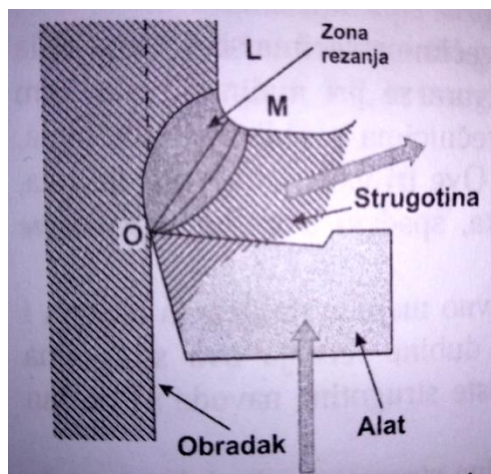
1. УВОД	4
2. ОСНОВИ ПРОЦЕСА ОБРАДЕ СТРУГАЊЕМ	6
2.1 Силе при резању	8
2.2 Врсте струготине	9
2.3 Производне операције у обради стругањем	11
2.4 Алати у обради стругањем	13
3. ФОРМИРАЊЕ СТРУГОТИНЕ И УТИЦАЈНИ ФАКТОРИ	17
3.1 Дебљина струготине	20
3.2 Угао струготине	20
3.3 Узроци и одступање тока струготине	23
3.4 Фактор сабијања струготине	25
3.5 Утицај материјала предмета обраде и параметара обраде на процес формирања струготине	27
4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ИСПИТИВАЊА	28
4.1 Досадашња испитивања	29
4.2 Експеримент	30
4.3 Резултати испитивања	36
5. АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА	40
6. ЗАКЉУЧАК	41
7. ЛИТЕРАТУРА	42

1. УВОД

Извори вибрација које се јављају на алату су различите природе, а узроци се могу класификовати као детерминистички, а не детерминирани. Детерминистички су: деформација материјала, трење алата и обратка и одвајање струготине, а њихова основна карактеристика је својствена нелинеарности, што резултира појавом самоискрећених вибрација у процесу сечења.

Повећање отпорности на резање, које је резултат збијања материјала у зони сечења, као директан утицај узрокује да дршка ножа повећа потенцијалну енергију услед присуства исте еластичне деформације. Повећана оптерећења узрокују прекорачење еластичности материјала, што се огледа у стрмом прелазу у зону пластичне деформације и уништавању материјала. То ослобађа акумулирану енергију која пулсира сваки пут када се догоди процес смицања ламеле, тј. формирање чипа. Овај феномен се може објаснити на начин да се у материјалу који има кристалну структуру, при ломљењу кристала, ствара микропукотина која се брзо премешта стварајући лом материјала, тј. напрслина интеркристалних веза и ослобађање енергије. Ови краткотрајни појединачни догађаји евоцирају еластично вискозну структуру елемената обрадног система која ствара вибрације широким фреквенцијским спектром.

Алат, који грудном површином делује на сваки елементарни део материјала одбратка који скида, прво га еластично деформише, а затим и пластично, и то у једној локалној зони, зони резања, стварајући струготину. С обзиром да је еластично деформисање незнатно у односу на пластично, то је процес резања локално пластично деформисање са раздвајањем по одређеним површинама. Зона ограничена криволинијским троуглом OLM (слика 1.1) представља зону резања или зону стварања струготине. То је, у ствари, локална зона између материјала обратка и струготине у којој се непрекидно врши пластично деформисање и одвајање материјала.



Слика 1.1 Границе зоне резања[5]

Упрошћено посматрано материјал се одваја по равни смицањем, која је одређена углом смицања φ и која представља геометријско место тачака у зони резања где су напони смицања највећи. Такође, упрошћено посматрано, по равни смицања струготине се одваја у виду ситних ламела.

У раду су представљени резултати експерименталног истраживања применом завршне обраде стругањем. На основу видео записа извршена је анализа и прорачун одређивања угла тока струготине при обради стругањем. Струготина која се добија у процесу обраде стругањем не би требала да се умрси како би био убрзан процес одвођења топлоте од резног алата и у пракси се јавља проблем складиштења и одвођења струготине па се додају делови који уситњавају струготину.

Основни циљ завршног рада је истраживање процеса формирања струготине и одређивање угла тока струготине при обради стругањем, који у себи укључује теоријска знања, искуствена знања дата у облику разних табела, препорука и емпиријских образаца, као и експерименталне резултате. Предложена тема би требало да пружи нова теоријска сазнања и методе које би могле да се користе у пракси у поступцима моделирања и одређивања угла, параметара, симулација и процеса обраде стругањем.

У другом поглављу рада дате су основне информације о процесу обраде резањем, описане су силе резања, врсте струготине и резна геометрија алата у процесу обраде стругањем.

Треће поглавље рада садржи теорије о формирању струготине и утицајним факторима, описан је угао тока струготине, одступање струготине...

У оквиру четвртог и петог поглавља вршена су експериментална испитивања и описне су анализе резултата добијене у експерименту.

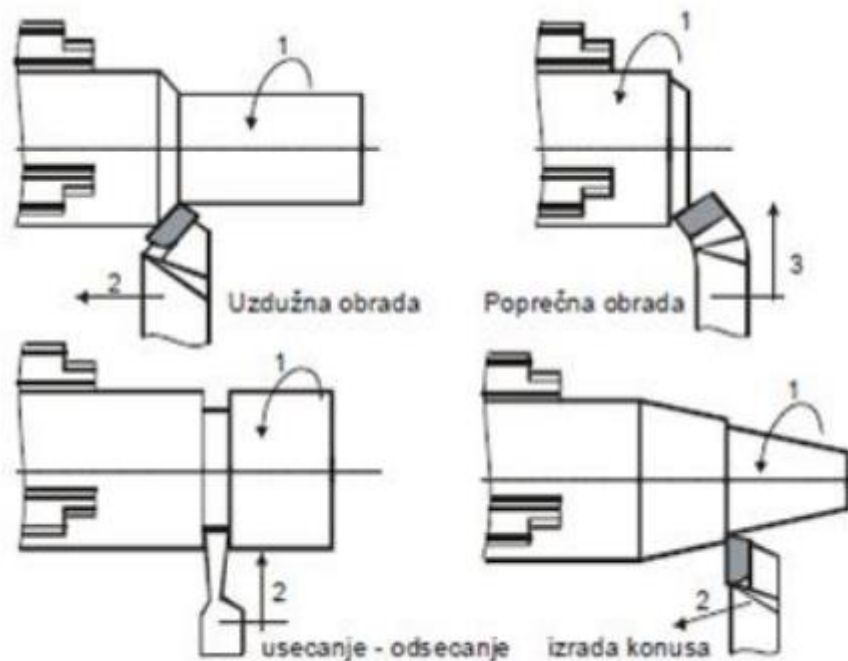
2. ОСНОВИ ПРОЦЕСА ОБРАДЕ СТРУГАЊЕМ

Стругање је поступак којим се добија цилиндрично скидање површине ако је стругање уздужно и равне површине, ако је стругање попречно. Стругање је процес обраде материјала првенствено ротационих делова (шrafoви, навртке, осовина, чауре, ременица,...). При обради стругањем, главно обртно кретање изводи обрадак, а помоћно праволинијско кретање изводи алат.

На основу кретања алата и предмета обраде, обрада може бити:

1. уздужна
2. попречна

На слици 2.1 приказана су основна кретања алата и предмета обраде у обради стругањем.



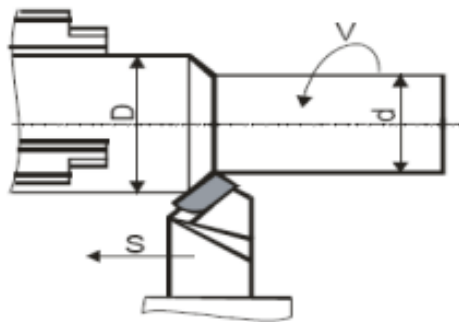
Слика 2.1 Основна кретања алата и предмета обраде у обради стругањем [2]

Главно кретање (1) је дефинисано брзином резања (V , m /min) – бројем обртаја предмета обраде (n, o/min).

Помоћно кретање (2) је одређено кораком (S , mm/o – акцијално померање алата за један обрт предмета обраде) и брзином помоћног кретања (V_p , mm/min).

Елементи режима обраде од којих навише зависи производност поступка су: брзина резања (V), корак (S) и дубина резања (t).

Брзина резања у обради стругањем представља обимну брзину предмета обраде дефинисана је за максималну вредност пречника обраде D :



Слика 2.2 [2]

Корак представља пређени пут ножа за један обртај обратка, односно глвног вретена струга, и износи: $S=VS/n$, где је VS - брзина помоћног кретања , n - број обртаја.

Избор корака у обради стругањем обухвата:

- Проучавање производне операције,
- Избор препоручене вредности корака, и
- Проверу и коначни избор корака.

Дубина резања одређена је као половина разлике пречника дела пре и после обраде. Са порастом дубине резања вредност брзине резања опада. Режим обраде у обради стругањем је одређен брзином резања V :

$$V = \frac{D \cdot \pi \cdot n}{1000} \approx \frac{D \cdot n}{320}, \text{ m / min}$$

Бројем обртаја n предмета обраде:

$$n = \frac{1000 \cdot V}{D \cdot \pi} \approx \frac{320 \cdot V}{D}, \text{ o / min}$$

кораком обраде S : mm/o – померањем алата за један обрт предмета обраде.

$$V_p = n \cdot S, \text{ mm / min}.$$

На основу параметара режима обраде дефинише се и главно време обраде t_p :

$$t_p = i * \frac{L}{n * S}, \text{ min},$$

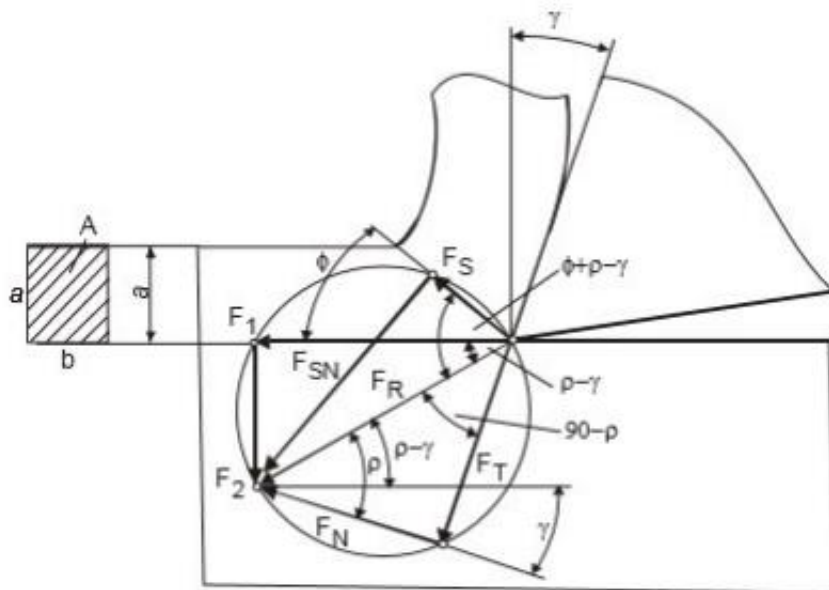
где су: $i = \sigma / (2a)$ – број пролаза; σ , mm – додатак за обраду ; a у mm- дубина резања ; $L = l + e$, mm – ход алата ; l , mm – дужина обраде и $e = 2-5$ mm – прилаз алата.

2.1 Силе при резању

Сила резања је сила неопходна за пластично деформисање предмета обраде тј. за његову обраду резањем. Зависи од великог броја фактора, а неки од њих су : хемијски састав материјала предмета обраде, карактеристике резног алата, стабилност машине и др.

Мерење интезитета силе резања, као и разумевање услова под којима се резање одвија су један од поузданијих начина за индиректно утврђивање хабања алата.

Главна сила резања F_R се најчешће мери и експериментално одређује. На основу слике 2.1.1, могу се дефинисати релације:



Слика 2.1.1 Силе при ортогоналном резању [2]

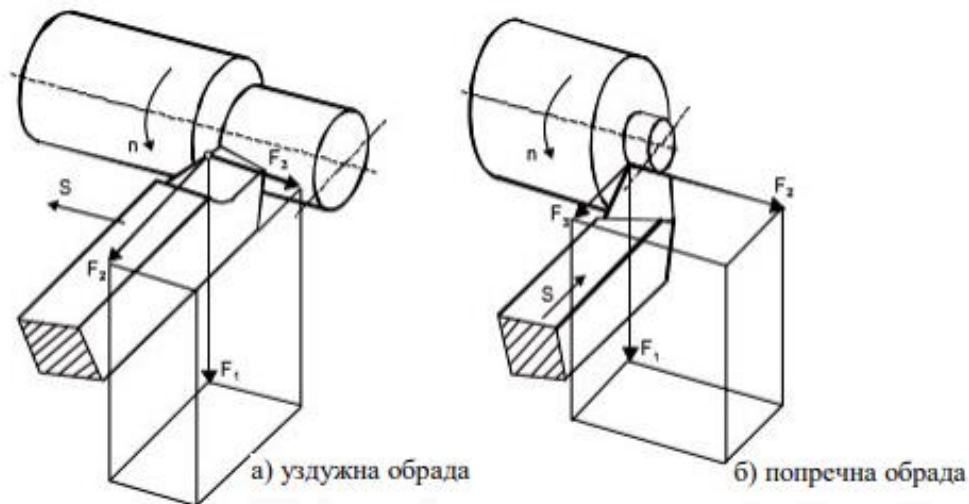
$$F_R = \frac{F_1}{\cos(\rho - \gamma)}, \quad F_2 = F_1 \tan(\rho - \gamma),$$

$$F_S = F \cos(\phi + \rho - \gamma) \text{ и } F_{Sn} = F \sin(\phi + \rho - \gamma).$$

Комбиновањем наведених израза добијају се изрази за силу смицања и нормалну силу у равни смицања у зависности од главне силе резања:

$$F_s = F_1 \frac{\cos(\phi + \rho - \gamma)}{\cos(\rho - \gamma)} \text{ и } F_{sn} = F_1 \frac{\sin(\phi + \rho - \gamma)}{\cos(\rho - \gamma)}.$$

На слици 2.1.2 су приказане компоненте силе резања при уздужном и попречном стругању.



Слика 2.1.2 Компоненте резултујуће силе резања при обради стругањем [2]

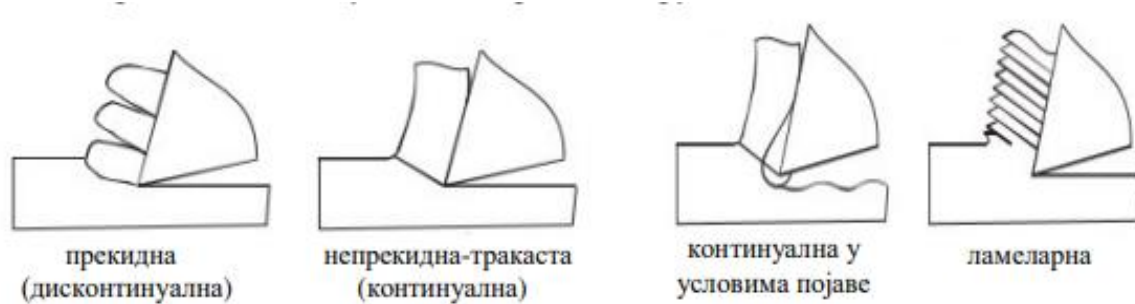
2.2 Врсте струготине

На сам процес стварања струготине утиче врло велики број значајних фактора, те постоји више врста струготине. Зависно од тога који је фактор у датим условима доминантан, добија се и одређени тип или врста струготине. На сам ток процеса резања, а с тим и на процес стварања и врсту струготине утичу следећи фактори:

- Материјал обратка,
- Материјал алата,
- Машина алатка,
- SHP (средство за хлађење и подмазивање),
- Геометрија алата,
- Елементи обраде,
- Управљање обликом струготине.

Постоје три основна типа струготине, што је приказано на слици 2.2.1 :

- Прекидна, дисконтинуална или кидана струготина,
- Ламеларна или резана струготина и
- Непрекидна, континуална или тракаста струготина.



Слика 2.2.1 Врсте струготине[2]

Прекидна или дисконтинуална струготина (кидана, ломљена или сегментна струготина) настаје током обраде ливеног гвожђа, ливене бронзе и других кртих материјала, као и при обради жилавих материјала, али при малим брзинама резања и великим корацима.

Ламеларна струготина (резана или кратка струготина) настаје при нешто већим вредностима грудног угла алата него што је случај код прекидне струготине. Ламеларна струготина јавља се у облику већих комада материјала, што директно зависи од самог материјала и стања врха резног алата.

Непрекидна или континуална струготина (тракаста струготина) је најпожељнији облик струготине при обради већине врста материјала. Формирање ове врсте струготне је најчешће последица пластичног деформисања у зони смицања.

За разлику од класичне поделе на кидану, резану и тракасту, данас се сви облици струготине могу детаљније класификовати у десет различитих врста, са три групе (слика 2.2.2), а према критеријумима који се односе на безбедност производног радника, транспорт струготине и могућност оштећења обрађене површине или неког другог елемента обрадног система. То су :

- Група неповољне,
- Група добре, и
- Група струготине која задовољава.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
									
duga - glatka	zgužvana	zavojna	zavojno cilindrična	cilindrična	kratka cilindrična	spira- lno cilindrična	spiralna	krupno drobljena	sitno drobljena
nepovoljna						dobra			
			zadovoljava						

Слика 2.2.2 Класификација облика струготине на врсте и групе [4]

Табела 2.2.3 представља упоредни приказ карактеристика врста струготине на основу врсте материјала, угла између алата и предмета обраде, дубине као и брзине резања.

врста/тип струготине	материјал	угао између алата и обрадка	дубина резања	брзина резања
континуална	жилав	велик	мали	велика/средња
дисконтинуална	крт, жилав, тврђ	средњи	велик	мала
ламеларна	жилав	мали/средњи	средњи	средња

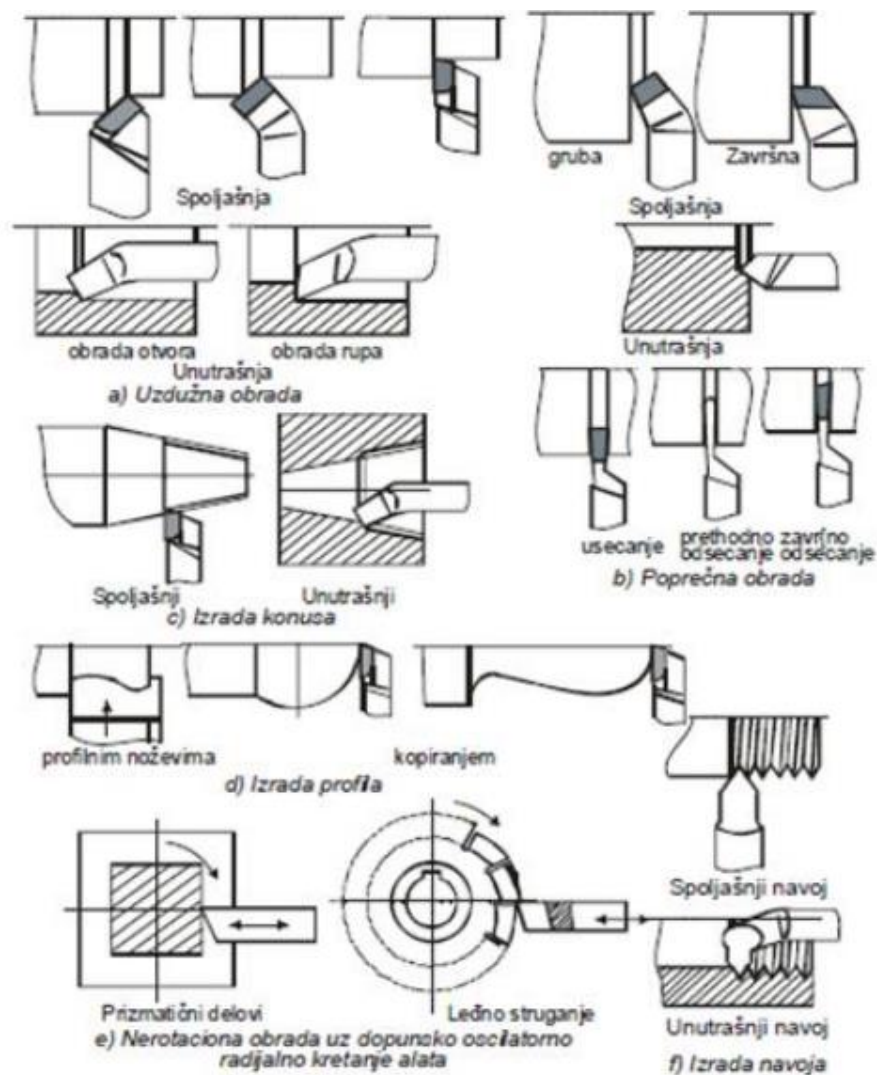
Табела 2.2.3 Поређење врста струготина и њихових карактеристика [4]

2.3 Производне операције у обради стругањем

Обрадом стругањем се реализује велики број операција (слика 2.3.1) , као што су:

- Уздужна обрада (спољашња и унутрашња – а),
- Попречна обрада (спољашња и унутрашња, усецање, претходно и завршно одсецање – б),
- Израда конуса (спољашњег и унутрашњег – ц),
- Израда профила (профилним алатом и копирањем – д),

- Неротационо стругање (призматичних делова и леђно стругање – е),
- Израда навоја (спољашњег и унутрашњег – ф),
- Израда и обрада отвора и рупа...



Слика 2.3.1 Производне операције у обради стругањем [4]

Производне операције у обради стругањем (слика 2.3.1) се могу поделити на следећи начин:

Према квалитету обрађене површине:

- Груба обрада,
- Фина обрада.

Према процедури обраде операције могу бити:

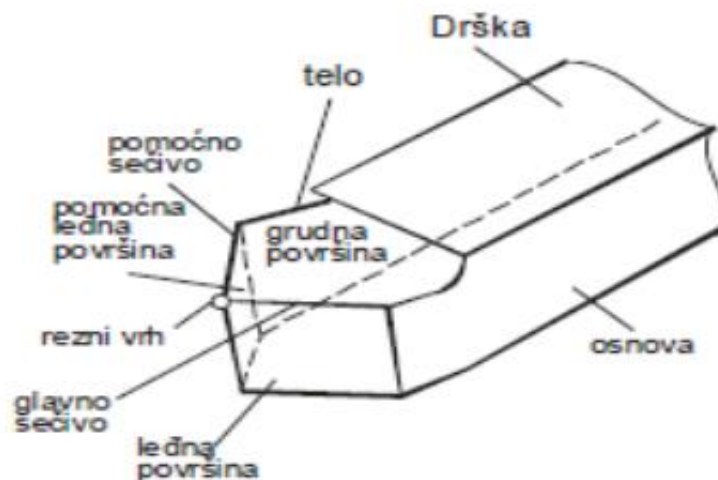
- Претходне,
- Завршне.

2.4 Алати у обради стругањем

Резни алат је део обрадног система за резање, који директно делује на обрадак скидајући слој материјала (струготину) и извршавајући сам процес резања.

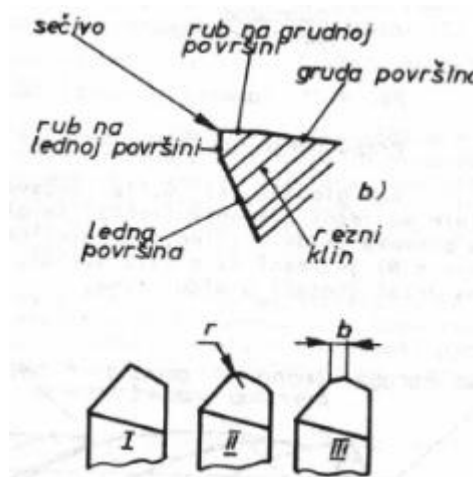
Облик, мере, материјал и др. резног алата зависе од метода обраде и других технолошких услова. Резни алат данас представља врло важан, скоро критичан, елемент обрадног система, пошто од њега у великој мери зависе излази из обрадног система: квалитет и тачност, производност и економичност обраде. Сигурно је да без одговарајућег избора и искоришћења резног алата није могуће у задовољавајућој мери искористити главне (техничке) карактеристике, данас врло скупих и сложених машини алатки.

За извођење захвата обраде при стругању служе стругарски ножеви. Постоје различити облици и мере стругарских ножева са различитом геометријом резног дела, израђени од различитих материјала. На слици 2.4.1 су приказани основни геометријски елементи стругарског ножа, који се састоји од дршке и резног дела оштрењу, и то преко основе.



Слика 2.4.1 Основни елементи стругарског ножа [5]

Резни део алата дефинисан је и одређен са три површине: грудном, леђном, и евентуално помоћном леђном површином. Грудна и леђна површина могу бити делови равни (као код стругарског ножа) или делови закривљених површина (нпр. код завојне бургије). Пресек грудне и помоћне леђне површине чини помоћно сечиво, а главно и помоћно сечиво формирају врх алата, који може бити оштар, заобљен са полупречником заобљења или зарубљен са ширином b . На слици 2.4.2 је приказан изглед резног клина стругарског ножа са варијантама изгледа врха алата.

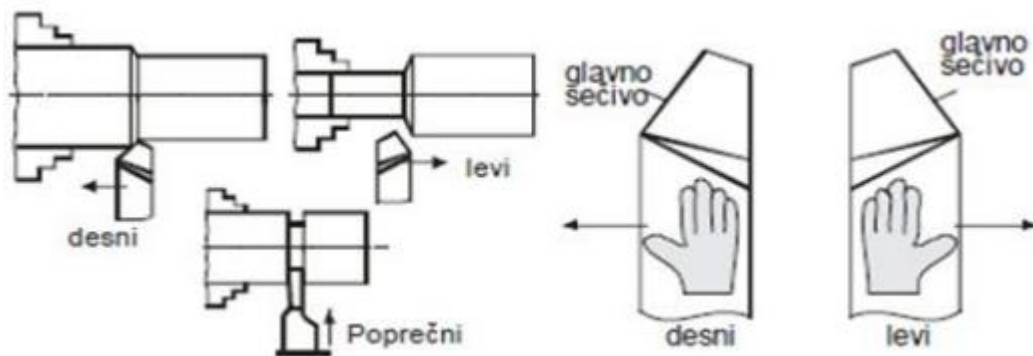


Слика 2.4.2 Изглед резног клина и врха стругарског ножа [5]

Стругарски ножеви се према смеру кретања могу поделити на:

- леве,
- десне, и
- чеоне

а оријентација се одређује положајем палца руке слика 2.4.3

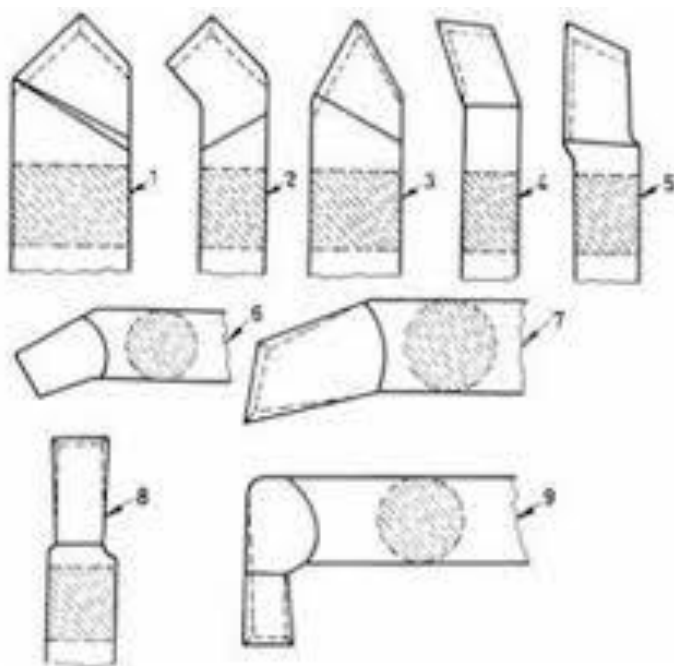


Слика 2.4.3 Леви, десни и поречни стругарски нож [5]

Према врсти алатног материјала разликују се следећи стругарски ножеви:

- стругарски ножеви од брзорезног челика,
- са лемљеним плочицама од тврдог материјала, и
- механички причвршћеним плочицама савремених алатних материјала.

Ножеви приказани на слици 2.4.4 су израђени од брзорезног челика и то само њихов резни део, који је заварен за дршку од конструкционог челика. Врло ретко се (и то само мањи ножеви) израђују изједна од брзорезног челика.



Слика 2.4.4 Стругарски ножеви од брзорезног челика : 1 – прав нож за спољашњу грубу обраду, 2 – крив нож за спољашњу грубу обраду, 3- прав нож за спољашњу фину обраду, 4 – крив нож за спољашњу фину обраду, 5 – бочни нож, 6 – нож за унутрашњу грубу обраду, 7 – нож за унутрашњу фину обраду, 8 – нож за усецање и одсецање, 9 – нож за унутрашње усецање. [5]

На слици 2.4.5 приказани су основни конструкциони облици стругарских ножева са лемљеним плочицама од тврдог метала. После затупљења, ови алати се поново преоштравају на исти начин као и ножеви од брзорезног челика.



Слика 2.4.5 Стругарски ножеви са лемљеним плочицама од тврдог метала [5]

Стругарски ножеви са лемљеним плочицама од тврдог метала се све мање примењују, јер се при лемљењу плочица за дршку ножа појављују заостали напони који проузрокују појаву напрелина на плочици, што смањује њену резну способност и постојаност. На слици 2.4.6 приказан је изглед неких окретних плочица од тврдог метала. Оне могу бити полигоналне и округле.



Слика 2.4.6 Окретне плочице од тврдог метала[5]

За обраду делова стругањем у великим серијама, односно на аутоматским струговима користе се профилни алати . Као посебно интересантни издвајају се профилни ножеви за обраду стругањем. Они се могу класификовати на различите начине. Према облику тела разликују се округли и призматични (слика профилни ножеви. Према правцу помака профилни ножеви могу бити: а) радијални (у правцу $X - осе$) и б) тангенцијални (у правцу $Z - осе$). Профилни ножеви чији резни део при профилисању описује у простору задату површину обратка се називају радијални . Профилни ножеви код којих свака тачка резног дела у процесу обликовања има различите тренутке додира са обрађиваном површином се називају тангенцијални. Најчешће су у примени призматични и округли радијални ножеви .

3. ФОРМИРАЊЕ СТРУГОТИНЕ И УТИЦАЈНИ ФАКТОРИ

Процес формирања струготине остварује се локалним пластичним деформисањем материјала предмета обраде, на шта се потроши највећи рад у току процеса резања.

Параметри који утичу на процес формирања струготине су : карактеристике машине алатке, метод процеса резања, материјал предмета обраде, материјал алата, геометријске карактеристике алата, технолошки параметри обраде, врста и начин довођења средства за хлађење и подмазивање.

На слици 3.1 приказани су фактори који утичу на формирање струготине.



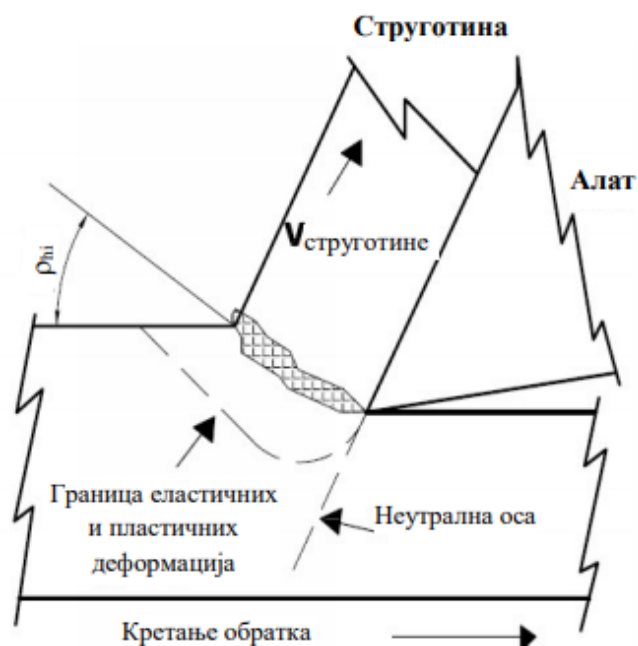
Слика 3.1 Утицајни фактори на процес формирања струготине [4]

Формирање струготине представља пластично деформисање материјала врхом алата. Након фазе пластичног деформисања наступа фаза током које се формирају иницијалне пукотине, након чега, услед повећања смичућих напона долази до смицања деформисаног материјала. Током завршне фазе долази до нормирања материјала, која се завршава тако што струготина одлази из зоне обраде у околину.

Процес формирања струготине се у општем случају, без обзира на метод обраде одвија у три фазе:

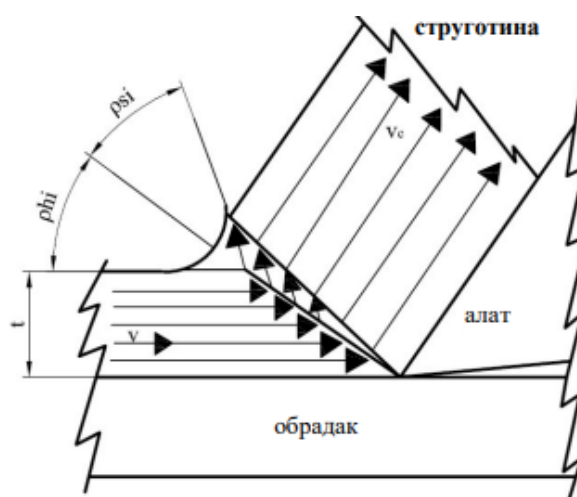
- I фаза : фаза пластичног деформисања материјала резаног слоја,
- II фаза: фаза слободног тока струготине по грудној површини и
- III фаза : фаза ломљења струготине дејством ломача.

На слици 3.1 приказан је 2D модел формирања струготине, дат због своје једноставности и прегледности процеса формирања струготине.



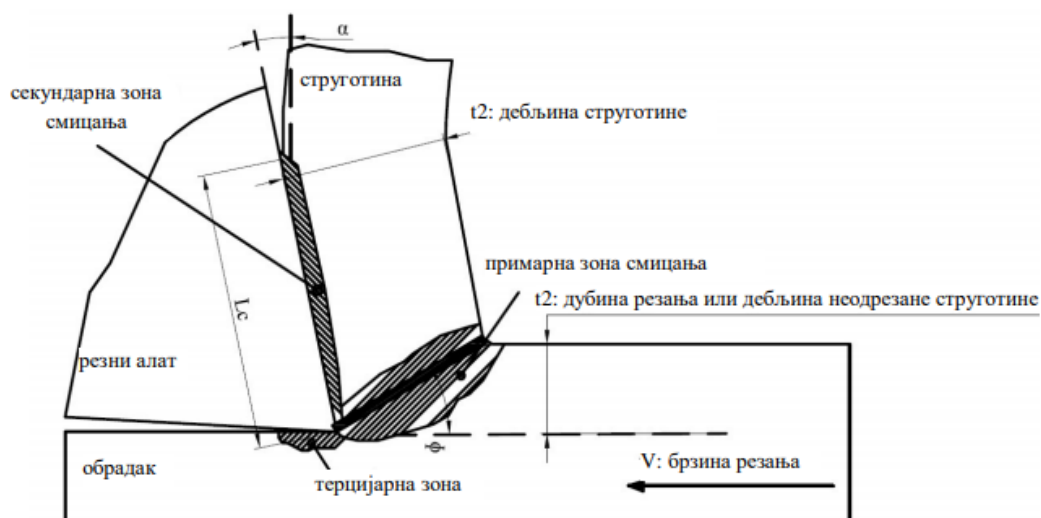
Слика 3.1 2D модел формирања струготине [4]

На слици 3.2 су приказане зоне одвајања материјала током његовог пластичног деформисања.



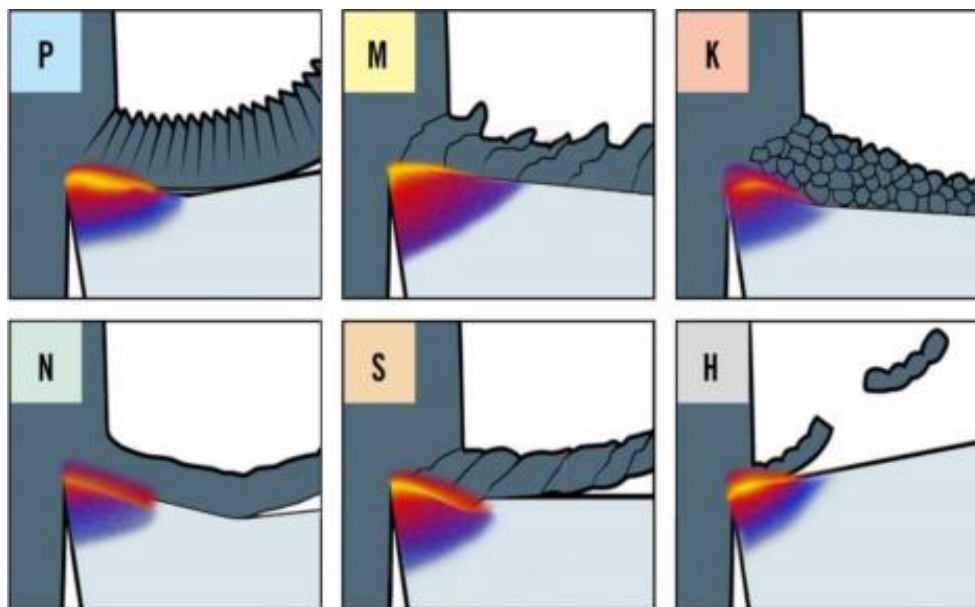
Слика 3.2 Зона одвајања материјала [4]

На слици 3.3 је приказана површина смицања- сечења , као и линије протока материјала. Овде се део материјала нагомилава и / или клизи под дејством ножа.



Слика 3.3 Процес формирања струготине [4]

На слици 3.4 је приказан процес формирања струготине за различите материјале предмета обраде и температуре резања које се том приликом јављају.

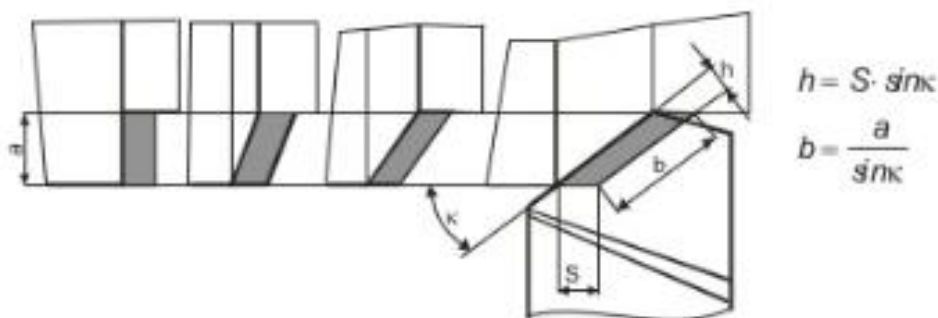


Слика 3.4 Формирање струготине и температура резања [4]

3.1 Дебљина струготине

Дебљина струготине δ представља растојање између два узастопна положаја површине резања мерено у правцу управном на резну ивицу у равни грудне површине.

Дебљина и ширина попречног пресека резног слоја на отпор резања су значајнији од утицаја дубине резања и корака. Попречни пресек резног слоја у обради стругањем, при истим вредностима дубине резања и корака има различит облик у зависности од вредности нападног угла (слика 3.1.1).



Слика 3.1.1 Геометрија пресека струготине у обради стругањем [2]

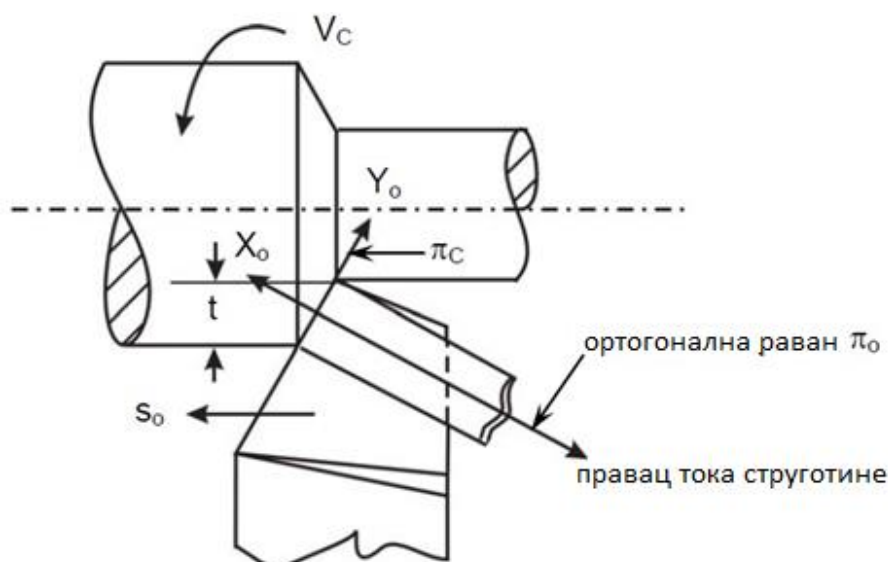
Од вредности угла смицања зависи утрошак енергије при резању, развијена количина топлоте, величина деформација и интензитет развоја триболошких процеса на алату и сл. Угао смицања се може одредити на два начина:

- преко фактора сабијања струготине, и
- из услова максималног напрезања на смицање у равни смицања.

3.2 Угао струготине

Угао тока струготине је угао између смера струјања струготине на лицу резног алата и нормалну линију резне ивице.

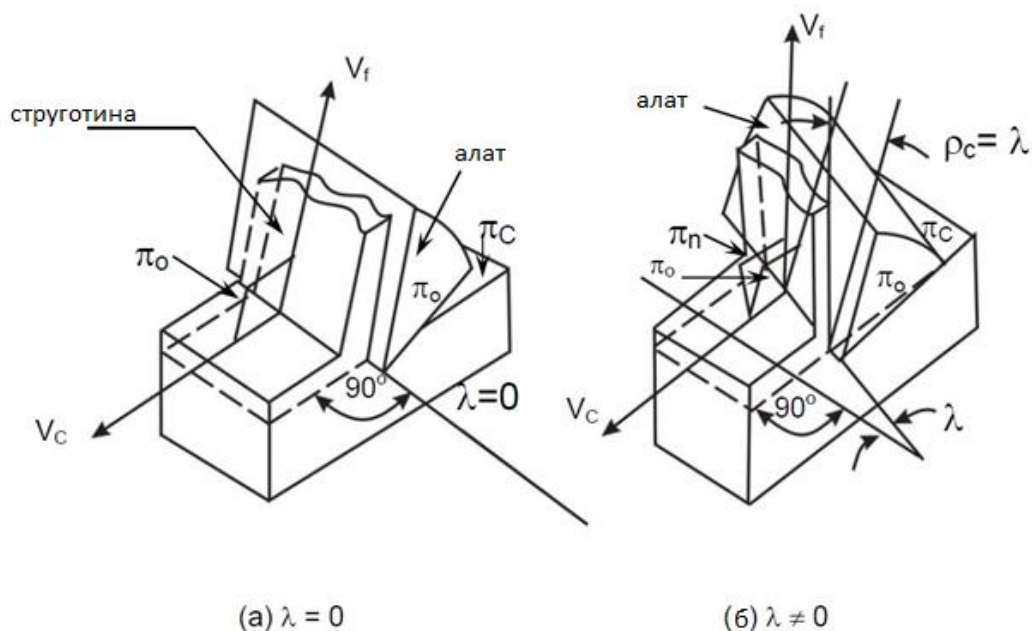
Начини пробијања струготине зависе од природе протока струготине и њеног правца. Разумевање механизма протока струготине важно је засаму контролу струготине. Ток струготине одређује се многим факторима и обично се описује фактором сабијања λ .



Слика 3.2.1 Идеалан смер тока струготине при окретању [13]

Улога нагиба угла, λ у правцу струјања струготине шематски је приказана на слици 3.2.1. Улога нагиба угла, λ у правцу струјања струготине која визуелно представља то,

- када је $\lambda = 0$, струготина тече дуж ортогоналне равни, $\tau_{јср_срс} = 0$ (слика 3.2.2 а),
- када је $\lambda \neq 0$, проток струготине одступа од $\pi_{оп_опо}$ и $\rho_{ср_срс} = \lambda$ где је $\rho_{ср_срс}$ струготина одступање протока (од $\pi_{оп_опо}$) угла (слика 3.2.2 б).

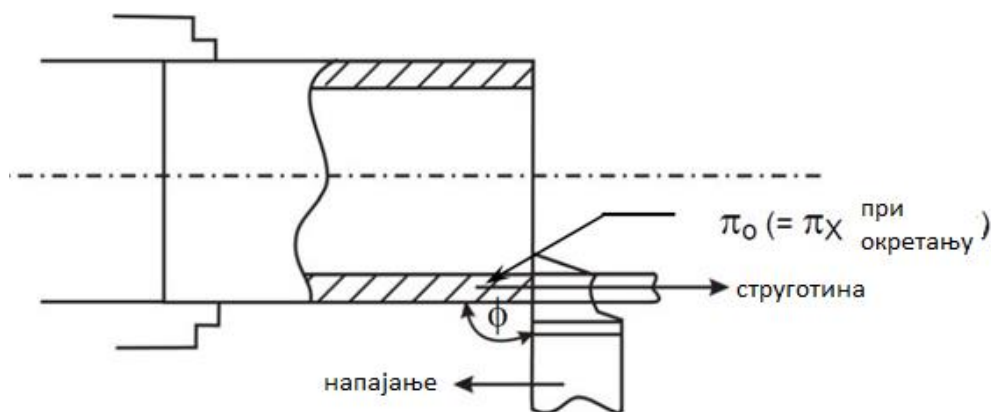
Слика 3.2.2 Улога нагиба угла, λ у правцу струјања струготине [13]

Ортогонално сечење: када струготина тече ортогоналном равни, $\pi_{\text{орто}} = 0$

Косо сечење: када ток струготине одступа од ортогоналне равни, $\pi_{\text{косо}} \neq 0$

Али практично $\pi_{\text{косо}}$ може бити нула, чак и ако је $\lambda \neq 0$, а $\pi_{\text{косо}}$ можда није тачно једнак λ , чак и ако је $\lambda \neq 0$. Јер постоје и неки други (осим λ) фактори који могу изазвати одступање тока струготине.

Чисто ортогонално сечење: То се односи на ток струготине дуж $\pi_{\text{орто}}$ и $\phi = 90^\circ$ као што је обично приказано на слици. алат геометрије; $\lambda = 0$ и $\phi = 90^\circ$ резултирајући проток струготине дуж $\pi_{\text{орто}}$, који је у овом случају такође $\pi_{\text{косо}}$ (слика 3.2.3).



Слика 3.2.3 Чисто ортогонално сечење [13]

Током обраде, струготина одлази од зоне формирања струготине. Природно, струготина ће се увијати након што испадне. У машинској обради употребом алата с равном резном ивицом, ток струготине може имати један од три могућа основна облика, као што је приказано на слици 3.2.4:

- равна струготина,
- бочно увијање, и
- увијање.



Слика 3.2.4 Основни облици струготине [11]

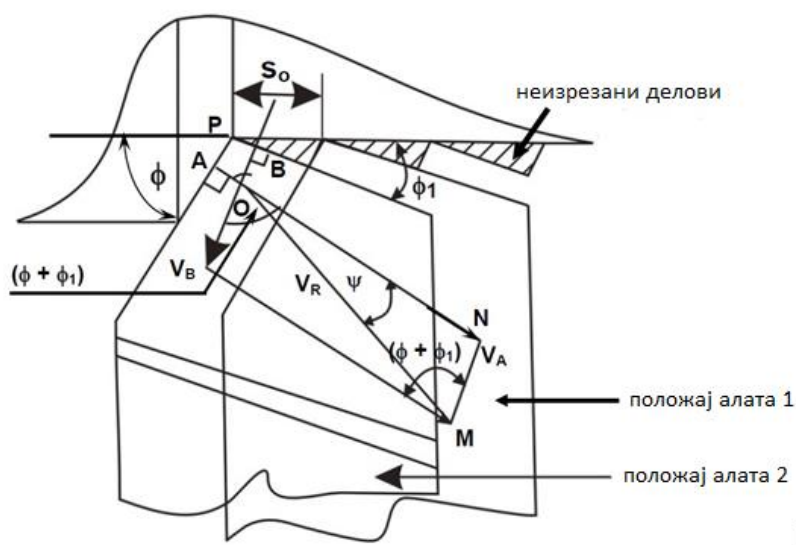
3.3 Узроци и одступање тока струготине

Одступање струјања струготине у обради попут окретања помоћу алата са једном тачком може одступати од ортогоналне равни због следећа три фактора:

- Ограничени ефекат сечења(ОЕС),
- Радијус носача алата (r),
- Присутност нагиба угла, $\lambda \neq 0$.

Ограничени ефекат сечења

Код обраде попут окрета, обликовања итд. алата за окретање у једној тачки уклањање метала се врши углавном главном резном ивицом. Али помоћна сечна ивица такође у одређеној мери учествује у обради у зависности од помоћног угла сечне ивице, ϕ_1 и величине довода, као што је приказано на слици 3.3.1. Мали обим посла у облику спиралног ребра малог троугластог пресека остаје неизрезан. То узрокује храпавост површине, у облику финих нити које се називају подметачи или трагови љуске као што је приказано на слици 3.3.1. Радни материјал излази у облику струготине брзином када помоћна сечна ивица игра занемарљиву улогу у формирању струготине. Али када помоћна резна ивица одржи знатан контакт са обратком, тада материјал који излази са те ивице брзином, умеша се у главни ток струготине што изазива одступање тока струготине од смера под углом, рецимо ψ од смера као што је приказано на слици 3.3.1. Одступање тока струготине Ограниченим ефектом сечења (ОЕС). Овај феномен назива се ограниченим ефектом сечења.



Слика 3.3.1 Одступање тока струготине ограниченим ефектом сечења [13]

Представљени су изрази одступања тока струготине ограниченим учинком сечења.

$$\angle \text{Углови } < \text{APB} = 180^\circ - (\phi + \phi_1)$$

$$< \text{ABO} = (\phi + \phi_1)$$

$$\text{Од својства троугла } \triangle \text{AMN}, \frac{V_B}{\sin \psi} = \frac{V_A}{\sin(\phi + \phi_1 - \psi)}$$

$$\text{или } \frac{\sin(\phi + \phi_1 - \psi)}{\sin \psi} = \frac{V_A}{V_B}$$

$$\text{претпоставке } \frac{V_A}{V_B} = \frac{(t/\sin \phi)}{s_0/2} = \frac{2t}{s_0 \sin \phi}$$

$$\text{претходна једначина се може изразити као } \frac{\sin(\phi + \phi_1)\cos \psi - \cos(\phi + \phi_1)\sin \psi}{\sin \psi} = \frac{2t}{s_0 \sin \phi}$$

$$\text{Поједностављена једначина се може изразити као } \tan \psi = \frac{\sin(\phi + \phi_1)}{\frac{2t}{s_0 \sin \phi} + \cos(\phi + \phi_1)}.$$

Добијена једначина показује да чак и у недостатку λ ток струготине може одсупати, а угао одсупања ψ , иако мали, зависи од углава резања и дубине односа реза.

Радијус носача алата

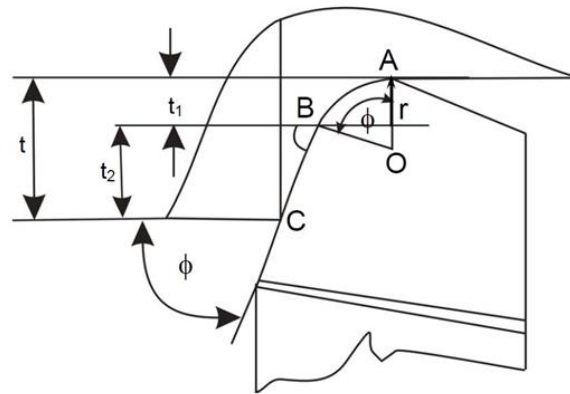
Претходна једначина показује да на одступање струјања струготине значајно утиче главни угао резне ивице, ϕ . Код неких алата, вредност ϕ континуирано варира почевши од нуле преко закривљеног дела главне резне ивице. Таква варијација ϕ разумно утиче на одступање протока стругоине. Стога, да би се укључио и ефекат зрачења носача алата, ϕ у једначини треба заменити просечном вредношћу ϕ , која се може одредити помоћу дијаграма приказаног на слици 3.3.3.

$$\phi_{avg} = \frac{AB \cdot \frac{\phi}{2} + BC \cdot \phi}{AB + BC}$$

$$\text{где је, } AB = r\phi \text{ и } BC = \frac{t_2}{\sin \phi} = \frac{t - t_1}{\sin \phi}$$

$$\text{одакле је } t_1 = r - r \cos \phi$$

$$\text{тако да се добија } \phi_{avg} = \frac{\frac{\phi}{2} + \left[\frac{t}{r} + \cos \phi - 1 \right] \frac{1}{\sin \phi}}{1 + \frac{\left[\frac{t}{r} + \cos \phi - 1 \right]}{\phi \sin \phi}}$$



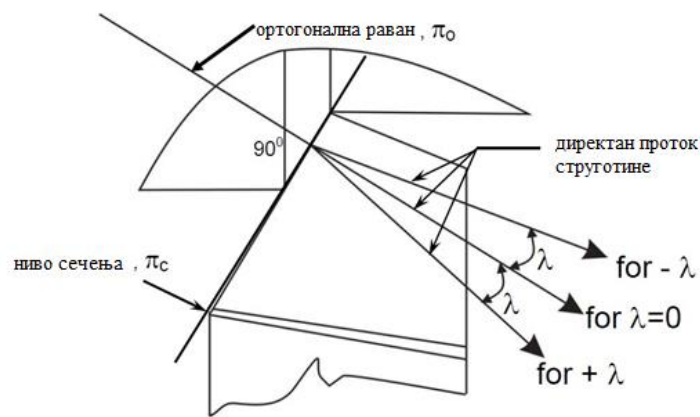
Слика 3.3.2 Варијација главног угла резне ивице у алатина кји се користе на радијусу [13]

Утицај нагиба угла, λ

У одсуству ОЕС и радијуса носача, одступање протока струготине регулисаће се само вредности λ као што је приказано на слици 3.3.3. Због тога ће комбиновани ефекти ОЕС, радијусова носача алата и присуство λ узроковати одступање тока струготине, ρ_{sr_src} као

$$\rho_{sr_src} = \psi + \lambda \quad (6.9)$$

Генерално, у поређењу са λ , ψ је врло мали. Дакле, приближно $\rho_{sr_src} = \lambda$ где λ може бити позитиван или негативан.

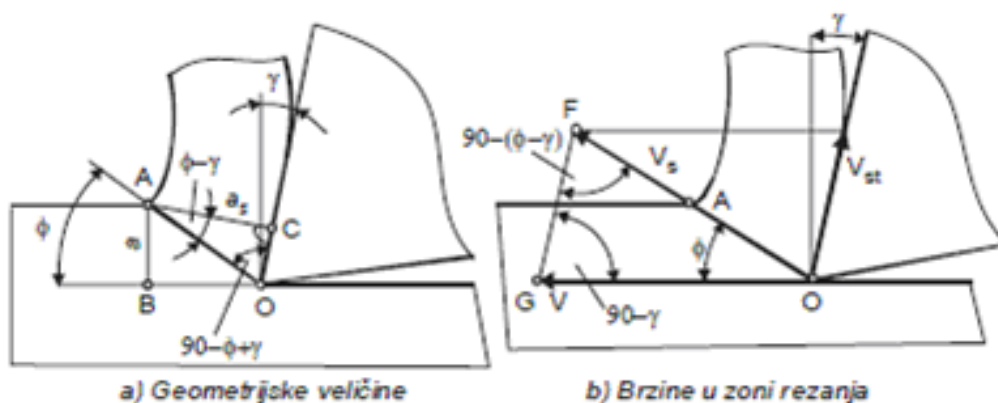


Слика 3.33 Улога нагиба у правцу струјања струготине [13]

3.4 Фактор сабијања струготине

Фактор сабијања струготине обухвата укупну деформацију материјала којисе скида при резању. Овај фактор се означава са λ . Вредност фактора сабија струготине се може

дефинисати на бази вредности грудног угла и угла смицања, математичком интерпретацијом шеме приказане на слици 3.4.1.



Слика 3.4.1 Фактор сабијања струготине дефинисан преко геометријских величина и брзина [4]

Из троуглова ОАС и ОАВ следи : $a_s = \overline{OA} \cos(\phi - \gamma)$ или $\overline{OA} = \frac{a}{\sin \phi}$,

што значи да је дебљина струготине : $a_s = \frac{a}{\sin \phi} \cos(\phi - \gamma)$.

Према дефиницији фактор сабијања је : $\lambda = \frac{a_s}{a} = \frac{\cos(\phi - \gamma)}{\sin \phi}$

Из израза за фактор сабијања струготине $\lambda = \frac{\cos(\phi - \gamma)}{\sin \phi}$ одговарајућим математичким трансформацијама $\lambda = \frac{\cos(\phi - \gamma)}{\sin \phi} = \frac{\cos \phi \cos \gamma + \sin \phi \sin \gamma}{\sin \phi} = \frac{\cos \gamma}{\tan \phi} + \sin \gamma$

следи угао смицања $\tan \phi = \frac{\cos \gamma}{\lambda - \sin \gamma}$

Фактор сабијања струготине се може дефинисати и преко брзине резања V и брзине клизања струготине по грудној површини V_{st} (слика 3.2.1 б) . Наиме, на бази синусне теореме примењује се троугао OFG:

$$\frac{V_{st}}{\sin \phi} = \frac{V}{\sin[90 - (\phi - \gamma)]} = \frac{V}{\cos(\phi - \gamma)}, \quad \text{следи :} \quad \frac{V}{V_{st}} = \frac{\cos(\phi - \gamma)}{\sin \phi} = \lambda$$

Вредност фактора сабијања струготине :: $\lambda = \frac{a_s}{a} = \frac{V}{V_{st}} = \frac{\cos(\phi - \gamma)}{\sin \phi}$, зависи од брзине резања и струготине, дубине резања, дебљине струготине, угла смицања и грудног угла алата. Вредноста фактора сабијања струготине експериментално се одређује на три начина:

- Мерењем брзине резања и брзине струготине,
- Запреминском методом и
- Масеном методом.

3.5 Утицај материјала предмета обраде и параметара обраде на процес формирања струготине

Ливено гвожђе има најмањи отпор смицању што захтева и најмању снагу потребну за одвајање струготине деловањем резног алата. Фактор који при анализи особина ливеног гвожђа треба узети је стање ивица обратка, што ствара додатне захтеве при одабиру одговарајућег алата.

Челик се по карактеристикама отпора смицању налази између ливеног гвожђа и нерђајућег челика. Нерђајући челик има много мању топлотну проводљивост и већу растегљивост од конвенционалног челика .

На процес формирања стругтине утичу и параметри обраде , као што су корак , дубина резања, нападни угао између алата и предмета обраде , али и њихови међусобни односи у процесу обраде.

Корак алата

Уколико је корак велики, приликом обраде ћемо добити кратку и дебелу струготину ,што може да изазове њено нагомилавање у зони обраде. При великом кораку и стварању струготине већи је и утрошак енергије уложене у производни процес. Идеална струготине ће бити формирана уколико дубина резања има максималну вредност, уз пажљиво изабран и подешен корак у складу са геометријом алата и карактеристикама ломаче струготине.

Нападни угао између алата и обратка

Нападни угао утиче на смер формирања и одвајања струготине, као и на дебљину и ширину струготине. Када је овај угао мањи од на пример 90° , прилаз предмету обраде је нагао , па је за обраду потребна већа резна сила , а формира се краћа и ширира стругтина.

Дубина резања

Мала дубина резања доводи до формирања спиралне струготине, док већа дубина резања доводи до стварања кратке струготине у облику зареза.

4. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ИСПИТИВАЊА

4.1 Досадашња испитивања

Одређивање угла тока струготине се најбоље може одредити експерименталним путем. Рађена су многа експериментална испитивања на ову тему. Иако правац тока струготине игра важну улогу у контроли струготине и начину израчунавања угла тока струготине у неколико радова истраживача, још није утврђено на задовољавајући начин.

У оквиру предходних истраживања „ Мерење и нова емпиријска формула угла тока струготине при окретању “ (М. Кiyак и Е. Altan ; Машински факултет, Катедра за машинско инжењерство , Технички универзитет Yildiz ;Besiktas-80750 Istanbul, Турска), између осталог дата су и експериментална испитивања угла тока струготине.

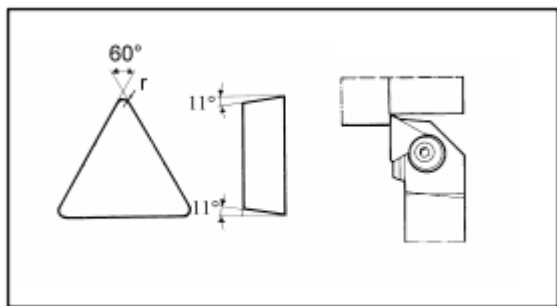
Ослањајући се на ранија истраживања , како би се одредио однос између угла (α) и бочног протока струготине и три фактора (дубина реза, брзина пуњења и радијус носача), и добијање једначине за угао тока струготине организован је низ ортогоналних тестова.. Да би добили довољно података за добијање експерименталне тачке, једначине су одабране на одговарајући начин, тако да се може добити више информација од мање експеримената. Стога су експерименталне променљиве узете као:

дубина реза (a): 0,25 мм, 0,50 мм, 0,75 мм, 1,00 мм, 1,25 мм,

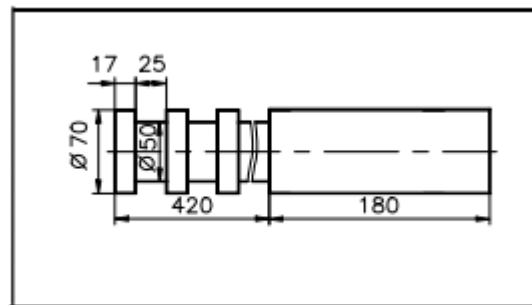
брзина пуњења (f): 0,101 мм / револуција, 0,204 мм / револуција, 0,409 мм / револуција, 0,818 мм / револуција,

радијус носача алата (r): 0,4 мм, 0,8 мм, 1,2 мм.

Укупно шездесет тестова обављених коришћењем различитих услова сечења сваки пут. Ортогонални тестови као спољни процеси окретања реализовани су на Stankoimport 1A616 модел универзални струг. Индекси који се могу индексирати били су TPUN 160304-P40, TPUN 160308-P40, TPUN 160312-P40, (ISO) .Коришћен је држач алата СТGPR2525 (ISO). Основни углови сечења алата су $\alpha = 90^\circ$, $\beta = 0^\circ$, $\gamma = +5^\circ$, $\epsilon = 60^\circ$. На слици 4.1.1 приказани су умети за индексирање и држач алата. Брзина сечења је узета 105 м / мин. у свим експериментима У сваком експерименту извршено је окретање без расхладне течности и употребе оштрог уметака за индексирање. Цилиндрични радни комад (f 70 мм) од St37 прво је обрађен тако да буде направљен као корак као што је приказано на слици 4.1.2 , а затим је коришћен за експеримент.



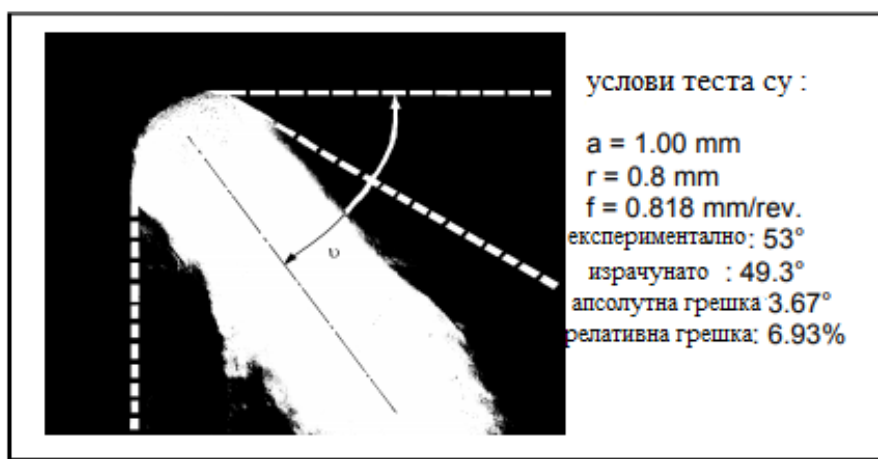
Слика 4.1.1 Шематски приказ уметака
користи



Слика 4.1.2 Радни комад који се

за индексирање и држач алата [10] при окретању [10]

Током окретања, на крају сваког корака, обрада је заустављена и ради добијања струготине употребом микроскопа уочен је бочни угао тока и грудна површина алата. Метода фотографисања је употребљена за мерење угла бочног тока струготине. Према овој методи, пре обраде, грудна површина алата за резање обојена је бојом која одолева високим температурама и снажно ствара лепљиви слој са подлогом. Након обраде радног комада, помоћу поставке камере на микроскоп, траг који долази са абразивним ефектом струјања струготине по површини резања алата и дефинише бочни ток струготине, посматра се и фотографише. Коришћењем поменуте методе и микроскоп модела Olympus Vuase, за сваки тест је направљена фотографија, а затим угао бочног тока струготиене је мерен коришћењем преносника. Узорак трага струготине на грудној површини алата је приказан на слици 4.1.3.



Слика 4.1.3 Слика трага на грудној површини алата који показује смер бочног струјања струготине[10]

4.2 Експеримент

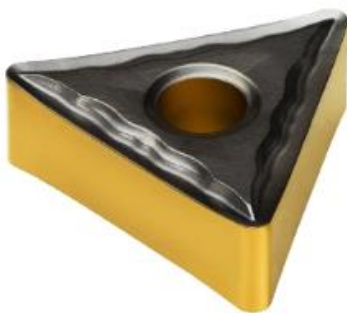
На самом почетку истраживања од укупно 93 издвојено је 32 узорка струготине, које су добијене према режимима обраде у табели 5.1. Од сваке врсте струготине приказана је по једна фотографија на којој је измерен угао тока струготине (α). Свака фотографија угла тока струготине је уредно распоређена и означена бројевима од 1 до 32. Извођење експеримента је извршено на универзалном стругу D-480, Првوماјска, снаге 10 kW, без присуства средства за хлађење и подмазивање.

За материјал предмета обраде коришћен је 25CrMo4 (Č4730).

Као резни алат при испитивању угла тока струготине су коришћене троугаоне резне плочице фирме „Sandvik Coromant” Шведска. Носач плочице је PTG NR 2525M16. Коришћени су следеће геометрије резних плочица:

- 1 TNMG 160404-PR
- 2 TNMG 160408-MF
- 3 TNMG 160408-23
- 4 TNMG 160408-PM
- 5 TNMG 160408-KR
- 6 TNMG 160408-QF
- 7 TNMG 160404-PR

На слици 4.2.1 приказана је троугаона резна плочина TNMG 160408-MF која је једна од коришћених приликом извођења експеримента.



Слика 4.2.1 Троугаона резна плочица TNMG 160408-MF

У следећем кораку сваки угао струготине је посматран под микроскопском камером (слика 4.2.2). Угао тока струготине (α) је описан помоћу основних карактеристика као што су : s – корак, мм/о ; a – дубина резања, мм ; v – брзина резања , м/мин.



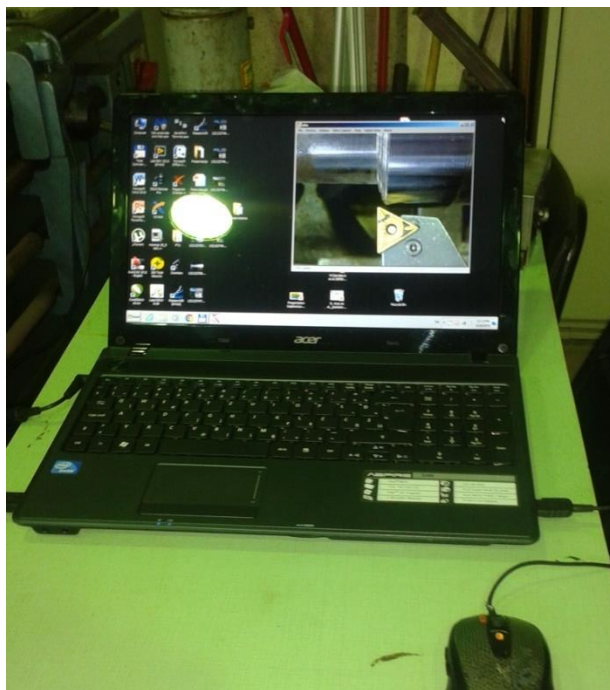
Слика 4.2.2 Микроскопска камера коришћен код експериментлног истраживања [4]

Слика 4.2.3 представља положај микроскопске камере примењене за снимање експеримента на универзалном стругу .



Слика 4.2.3 Микроскопска камера постављена на универзалном стругу

Камера се повезује са рачунаром помоћу USB-а и након тога се могу правити слике, на основу којих се одређује угао тока струготине. Слика 4.2.4 приказује рачунар коришћен приликом експеримента.

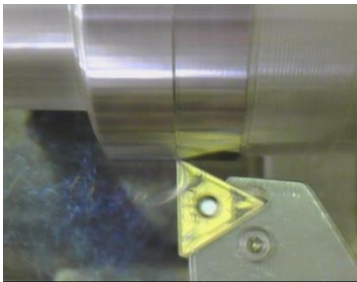
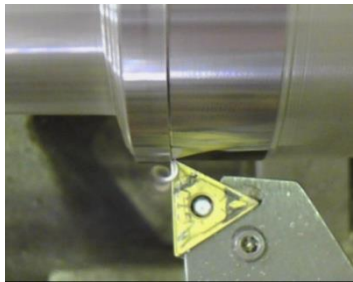
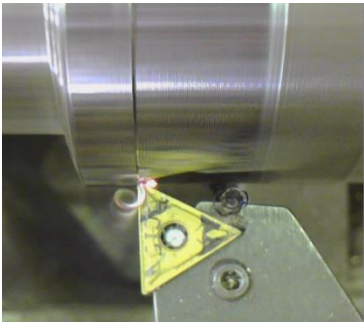
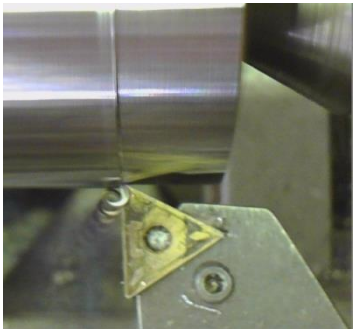
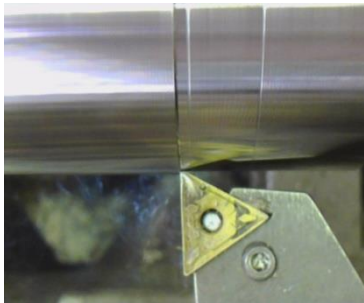
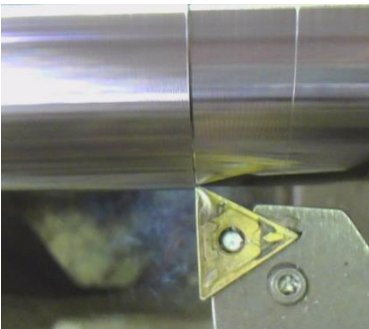
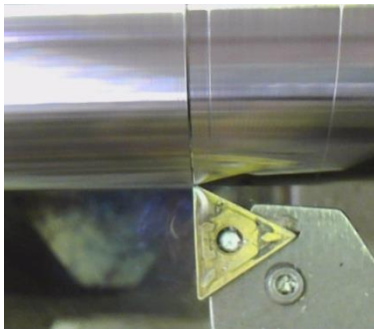


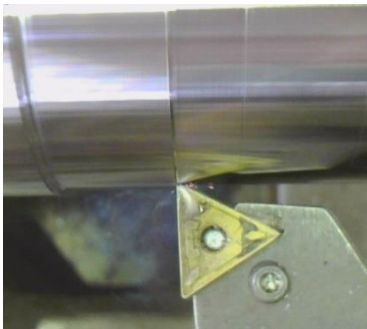
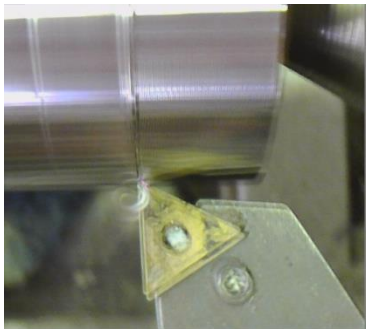
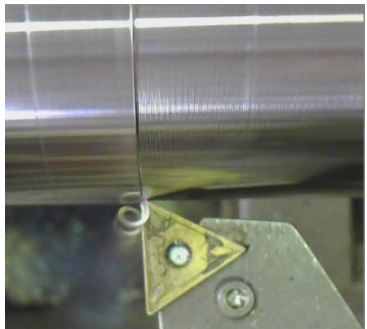
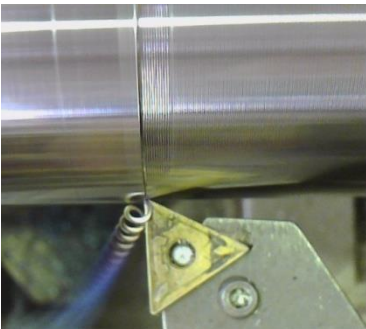
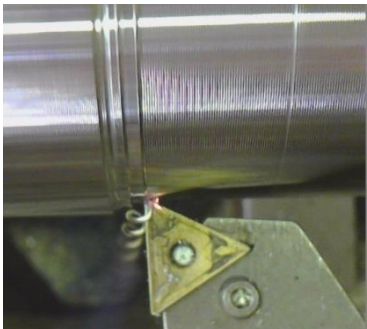
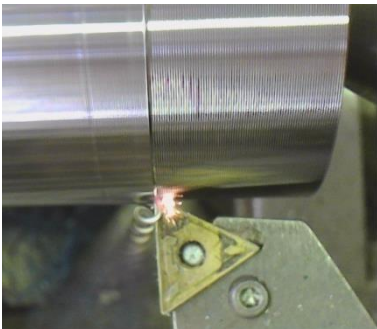
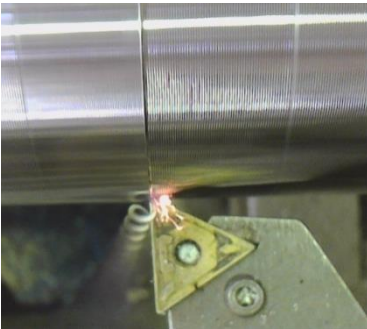
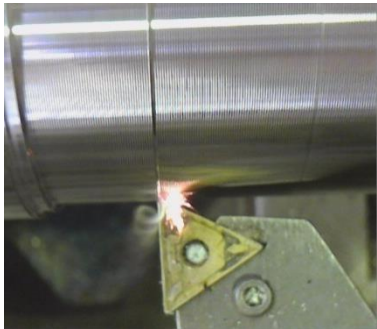
Слика 4.2.4 Рачунар који је коришћен приликом експеримента

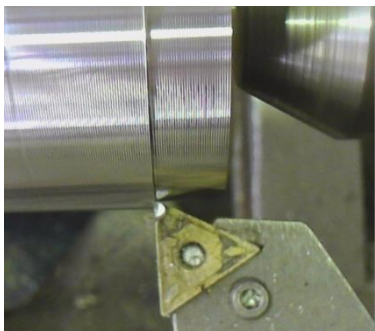
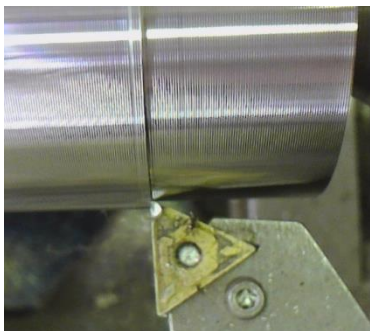
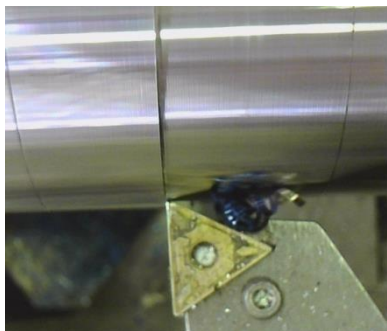
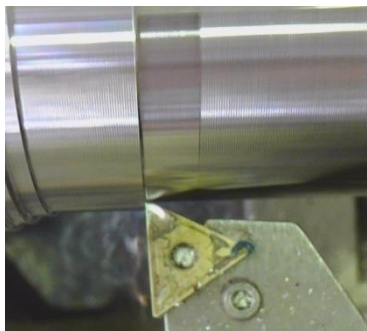
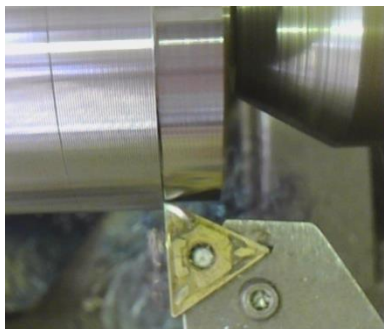
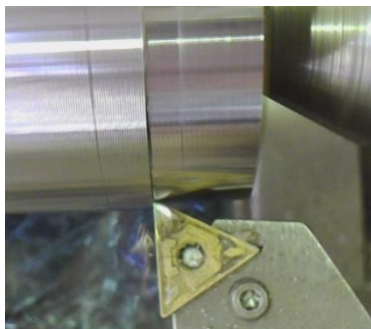
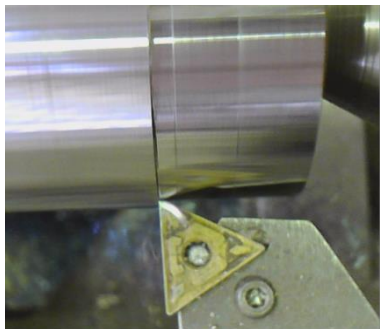
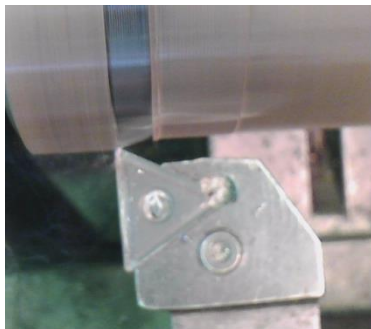
Параметри као што су дубина, брзина и корак приликом резања су дефинисани приликом саме обраде резањем, а што се тиче угла тока струготине, он је дефинисан касније уз помоћ дигиталног угломера. Тако је урађено за све 32 фотографије, што спада у најважнији део у овом експерименту.

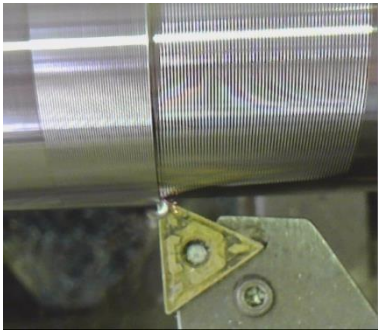
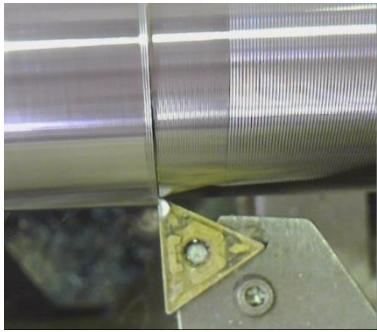
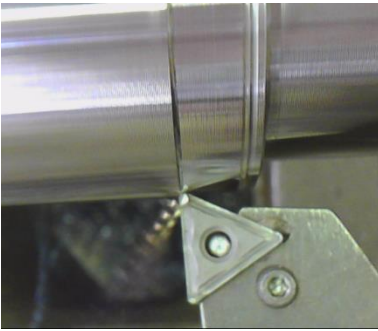
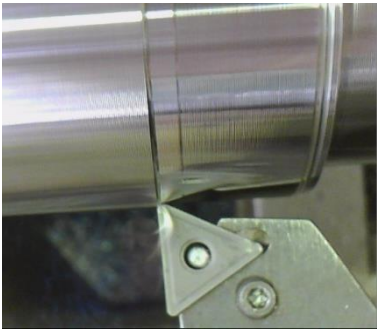
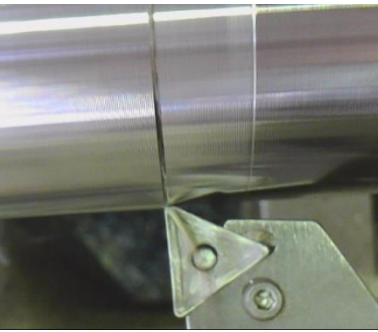
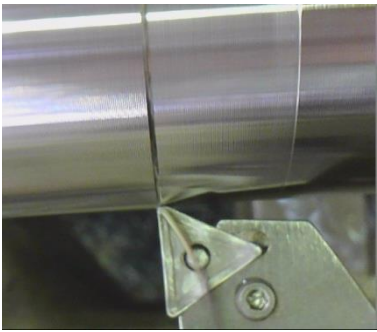
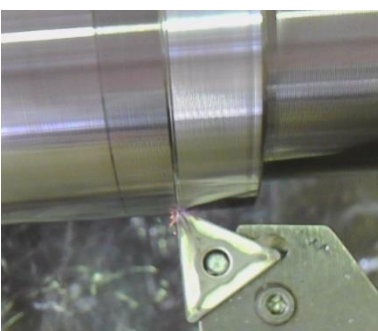
4.3 Резултати испитивања

Табела 4.3.1 приказује добијене углове тока струготине и одговарајуће параметре резања. Табела је добијена системским и детаљним праћењем процеса у току експеримента.

Обрада	Параметри	Обрада	Параметри
 Експеримент 1.	$S = 0,2 \text{ mm/o}$ $n = 450 \text{ o/min}$ $a = 0,3 \text{ mm}$ $V = 88,49 \text{ m/min}$ $\alpha = 39,6^\circ$	 Експеримент 2.	$S = 0,2 \text{ mm/o}$ $n = 450 \text{ o/min}$ $a = 0,5 \text{ mm}$ $V = 87,65 \text{ m/min}$ $\alpha = 38,4^\circ$
 Експеримент 3.	$S = 0,2 \text{ mm/o}$ $n = 560 \text{ o/min}$ $a = 0,5 \text{ mm}$ $V = 107,3 \text{ m/min}$ $\alpha = 39,8^\circ$	 Експеримент 4.	$S = 0,2 \text{ mm/o}$ $n = 355 \text{ o/min}$ $a = 0,5 \text{ mm}$ $V = 63,57 \text{ m/min}$ $\alpha = 43,2^\circ$
 Експеримент 5.	$S = 0,1 \text{ mm/o}$ $n = 355 \text{ o/min}$ $a = 0,5 \text{ mm}$ $V = 63,57 \text{ m/min}$ $\alpha = 36^\circ$	 Експеримент 6.	$S = 0,1 \text{ mm/o}$ $n = 450 \text{ o/min}$ $a = 0,5 \text{ mm}$ $V = 80,58 \text{ m/min}$ $\alpha = 36,6^\circ$
 Експеримент 7.	$S = 0,1 \text{ mm/o}$ $n = 560 \text{ o/min}$ $a = 0,5 \text{ mm}$ $V = 100,2 \text{ m/min}$ $\alpha = 29,2^\circ$	 Експеримент 8.	$S = 0,1 \text{ mm/o}$ $n = 710 \text{ o/min}$ $a = 0,5 \text{ mm}$ $V = 127,1 \text{ m/min}$ $\alpha = 26^\circ$

Обрада	Параметри	Обрада	Параметри
	$S=0,1 \text{ mm/o}$ $n=710 \text{ o/min}$ $a=0,5 \text{ mm}$ $V=161,1 \text{ m/min}$ $\alpha=26,5^\circ$		$S=0,2 \text{ mm/o}$ $n=900 \text{ o/min}$ $a=0,5 \text{ mm}$ $V=158,3 \text{ m/min}$ $\alpha=35,4^\circ$
	$S=0,2 \text{ mm/o}$ $n=900 \text{ o/min}$ $a=0,5 \text{ mm}$ $V=124,9 \text{ m/min}$ $\alpha=39,1^\circ$		$S=0,28 \text{ mm/o}$ $n=710 \text{ o/min}$ $a=0,5 \text{ mm}$ $V=62,45 \text{ m/min}$ $\alpha=35,3^\circ$
	$S=0,28 \text{ mm/o}$ $n=355 \text{ o/min}$ $a=0,5 \text{ mm}$ $V=79,16 \text{ m/min}$ $\alpha=37,1^\circ$		$S=0,28 \text{ mm/o}$ $n=450 \text{ o/min}$ $a=0,5 \text{ mm}$ $V=96,76 \text{ m/min}$ $\alpha=40,8^\circ$
	$S=0,28 \text{ mm/o}$ $n=560 \text{ o/min}$ $a=0,5 \text{ mm}$ $V=122,6 \text{ m/min}$ $\alpha=31,2^\circ$		$S=0,28 \text{ mm/o}$ $n=710 \text{ o/min}$ $a=0,5 \text{ mm}$ $V=155,5 \text{ m/min}$ $\alpha=34,7^\circ$

Обрада	Параметри	Обрада	Параметри
	$S=0,28 \text{ mm/o}$ $n=900 \text{ o/min}$ $a=0,5 \text{ mm}$ $V=60,22 \text{ m/min}$ $\alpha=45,7^\circ$		$S=0,28 \text{ mm/o}$ $n=355 \text{ o/min}$ $a=1,0 \text{ mm}$ $V=76,34 \text{ m/min}$ $\alpha=35,5^\circ$
	$S=0,28 \text{ mm/o}$ $n=450 \text{ o/min}$ $a=1,0 \text{ mm}$ $V=95,00 \text{ m/min}$ $\alpha=38,5^\circ$		$S=0,1 \text{ mm/o}$ $n=560 \text{ o/min}$ $a=1,0 \text{ mm}$ $V=95,00 \text{ m/min}$ $\alpha=28,6^\circ$
	$S=0,1 \text{ mm/o}$ $n=560 \text{ o/min}$ $a=1,0 \text{ mm}$ $V=73,51 \text{ m/min}$ $\alpha=25,2^\circ$		$S=0,1 \text{ mm/o}$ $n=450 \text{ o/min}$ $a=1,0 \text{ mm}$ $V=57,99 \text{ m/min}$ $\alpha=28,8^\circ$
	$S=0,1 \text{ mm/o}$ $n=355 \text{ o/min}$ $a=1,0 \text{ mm}$ $V=115,9 \text{ m/min}$ $\alpha=24,2^\circ$		$S=0,355 \text{ mm/o}$ $n=710 \text{ o/min}$ $a=1,0 \text{ mm}$ $V=73,51 \text{ m/min}$ $\alpha=43,8^\circ$

Обрада	Параметри	Обрада	Параметри
	$S=0,2 \text{ mm/o}$ $n=450 \text{ o/min}$ $a=1,0 \text{ mm}$ $V=73,5 \text{ m/min}$ $\alpha=38,1^\circ$		$S=0,2 \text{ mm/o}$ $n=450 \text{ o/min}$ $a=1,0 \text{ mm}$ $V=84,8 \text{ m/min}$ $\alpha=37,7^\circ$
<i>Експеримент 25.</i>		<i>Експеримент 26.</i>	
	$S=0,2 \text{ mm/o}$ $n=450 \text{ o/min}$ $a=0,5 \text{ mm}$ $V=84,8 \text{ m/min}$ $\alpha=36,5^\circ$		$S=0,2 \text{ mm/o}$ $n=450 \text{ o/min}$ $a=0,5 \text{ mm}$ $V=84,8 \text{ m/min}$ $\alpha=41,3^\circ$
<i>Експеримент 27.</i>		<i>Експеримент 28.</i>	
	$S=0,2 \text{ mm/o}$ $n=450 \text{ o/min}$ $a=0,5 \text{ mm}$ $V=84,8 \text{ m/min}$ $\alpha=35,6^\circ$		$S=0,2 \text{ mm/o}$ $n=450 \text{ o/min}$ $a=0,5 \text{ mm}$ $V=84,8 \text{ m/min}$ $\alpha=40^\circ$
<i>Експеримент 29.</i>		<i>Експеримент 30.</i>	
	$S=0,2 \text{ mm/o}$ $n=450 \text{ o/min}$ $a=0,5 \text{ mm}$ $V=81,9 \text{ m/min}$ $\alpha=36,4^\circ$		$S=0,2 \text{ mm/o}$ $n=450 \text{ o/min}$ $a=0,5 \text{ mm}$ $V=81,9 \text{ m/min}$ $\alpha=40,4^\circ$
<i>Експеримент 31.</i>		<i>Експеримент 32.</i>	

5. АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА

Приликом извођења експеримента примењивани су различити параметри и том приликом дошло је до промене угла тока струготине што је представљено табелом 5.1

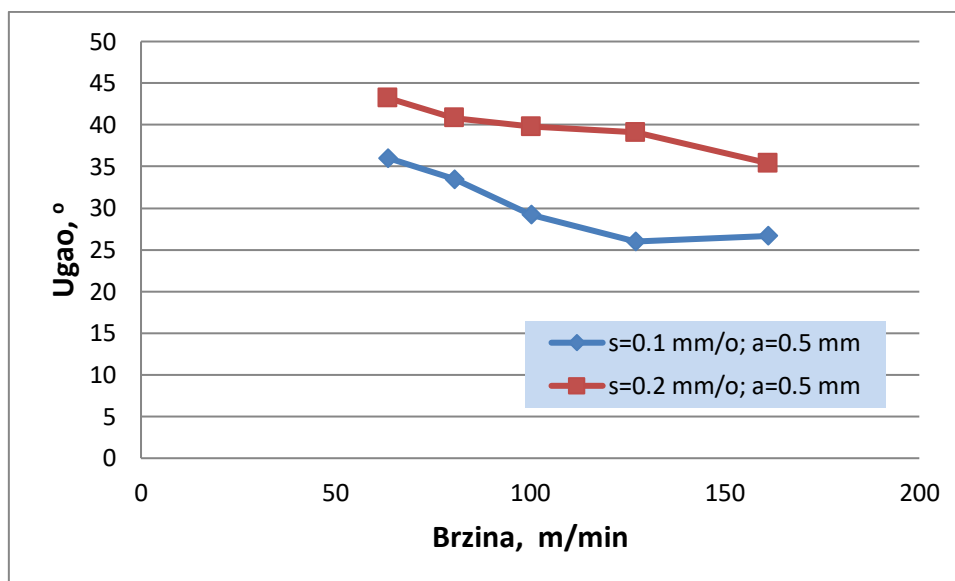
Редни број експеримента	V , m/min	S , mm/o	a , mm	и , °	Облик струготине
1.	88,499	0,2	0,3	39,6	1
2.	87,650	0,2	0,5	38,4	4
3.	107,317	0,2	0,5	39,8	4
4.	63,570	0,2	0,5	43,2	4
5.	63,570	0,1	0,5	36	2
6.	80,582	0,1	0,5	40,8	2
7.	100,280	0,1	0,5	29,2	2
8.	127,140	0,1	0,5	26	2
9.	161,164	0,1	0,5	26,7	2
10.	158,336	0,2	0,5	35,4	3
11.	124,910	0,2	0,5	39,1	4
12.	62,455	0,28	0,5	35,3	4
13.	79,168	0,28	0,5	37,1	4
14.	96,761	0,28	0,5	40,8	4
15.	122,679	0,28	0,5	31,2	4
16.	155,509	0,28	0,5	34,7	4
17.	60,224	0,28	0,5	45,7	2
18.	76,341	0,28	1,0	35,5	2
19.	95,002	0,28	1,0	38,5	2
20.	95,002	0,1	1,0	28,6	2
21.	73,513	0,1	1,0	25,2	2
22.	57,994	0,1	1,0	28,8	2
23.	115,988	0,1	1,0	24,2	2
24.	73,513	0,355	1,0	43,8	2
25.	73,513	0,2	1,0	38,1	2
26.	84,823	0,2	1,0	37,7	2
27.	84,823	0,2	0,5	36,5	4
28.	84,823	0,2	0,5	41,3	1
29.	84,823	0,2	0,5	35,6	1
30.	84,823	0,2	0,5	40	1
31.	81,996	0,2	0,5	36,4	2
32.	81,996	0,2	0,5	40,4	4

Табела 5.1 Типови угла струготина у зависности од основних параметара резања

Табела 5.1 поред угла струготине приказује и облике струготине у експерименту добијене на основу улазних параметара резања. Четири облика струготине је добијено у току истраживања, а затим је извршена класификација струготине и додељене су нумеричке вредности од 1-4 према табели 2.2.2, са тим да један одговара дугој глаткој струготини која се у зависности од услова обраде мења па постаје дуга згужвана, затим завојна са дугим завојницама, па завојна цилиндрична. Сваки облик струготине у експерименту је нумерисан на следећи начин :

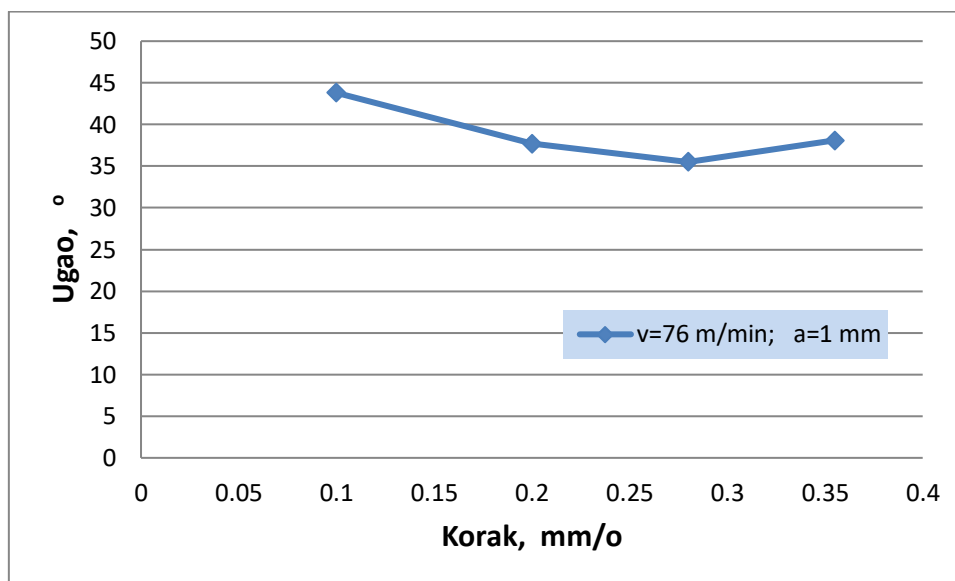
- Дуга глатка струготина – 1,
- Згужвана струготина – 2 ,
- Завојна струготина – 3 ,
- Завојна цилиндрична – 4 .

Слика 5.2 промену угла тока струготине у зависности од брзине резања, корака резања при дубини резања 0,5 mm.



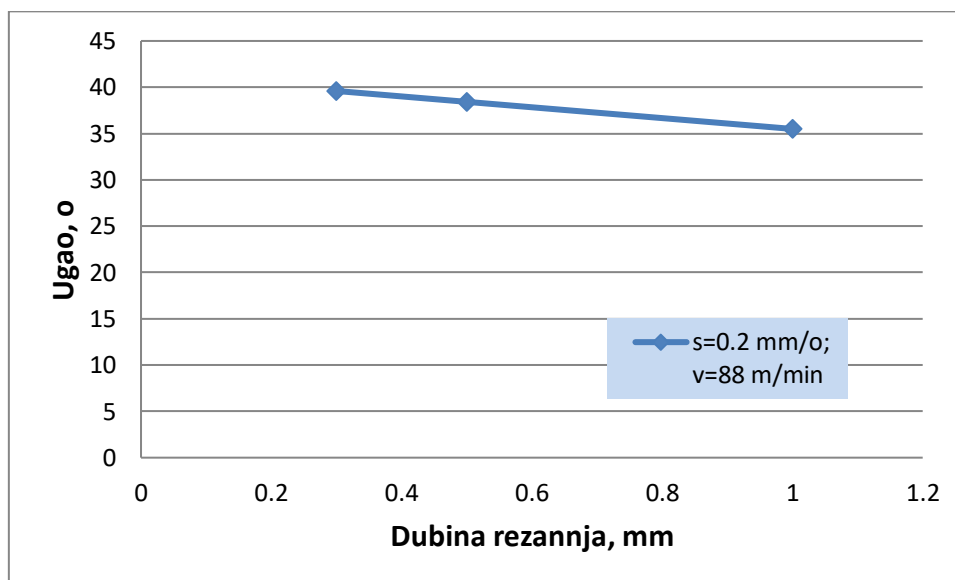
Слика 5.2 Промена угла тока струготине за $a=0,5\text{mm}$

Слика 5.3 приказује промену угла тока струготине у зависности од корака резања, дубине резања од 1 mm при брзини резања 76 m/min.



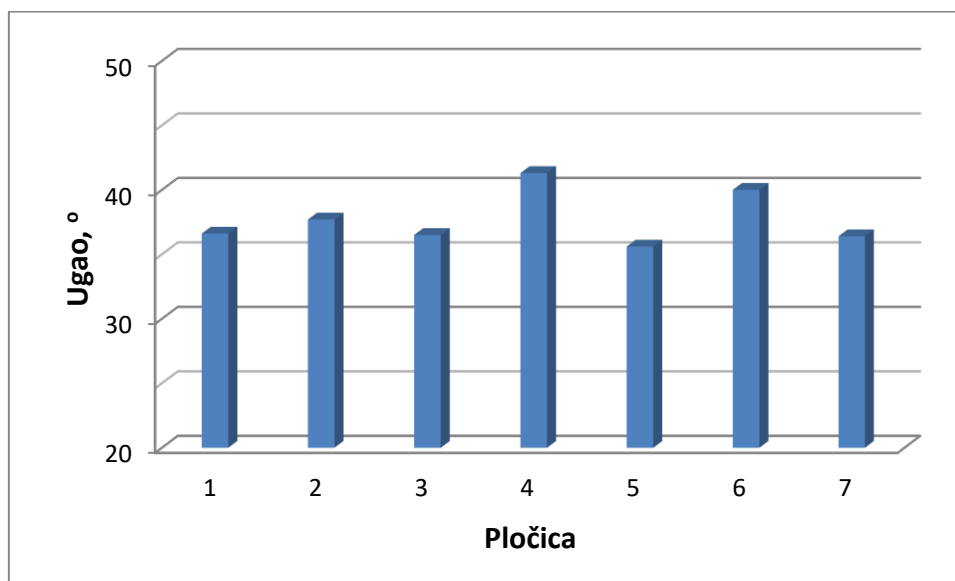
Слика 5.3 Промена угла тока струготине за $v=76$ m/min

Слика 5.4 приказује промену угла тока струготине у зависности од дубине резања, корака резања 0.2 mm/o и брзине резања 88 m/min.



Слика 5.4 Промена угла тока струготине за дубину резања

Слика 5.5 приказује промену угла тока струготине у зависности од геометрије резних плочица примењених у овом експерименту.



Слика 5.5 Промена угла тока струготине за геометрију резне проције

Анализом података из табеле 5.1 и приказаних дијаграма на сликама 5.2, 5.3, 5.4, 5.5, узимајући у обзир услове испитивања, може се доћи до следећих закључака:

- На слици 5.2 може се закључити да са порастом вредности параметара режима обраде у овом случају брзине резања и при дубини резања од 0.5 mm, а при кораку од 0,1 mm/o долази до пада угла тока струготине у прве три брзине а затим до благог пораста угла тока стругтине при последњој брзини. Док приликом корака од 0.2 mm долази до делимичног пада угла тока струготине у прве три брзине, па затим до наглог пада у последњој брзини.
- На слици 5.3 долазимо до закључка да узимајући у обзир параметре коришћене при испитивању где где су узете вредности корака за брзину резања 76 mm/min и дубину 1 mm долази до пада угла тока струготине у прва два корака, док се у последњем кораку уочава благи пораст угла.
- На слици 5.4 повећањем дубине резања где је корак 0.2 mm/o, а брзина 88 m/min примећујемо да долази до пада угла тока струготине за 5°.
- Слика 5.5 приказује у облику стубастог дијаграма, утицај различите геометрије резних плочица на угао тока струготине примењених у експерименту. Имајући у виду да је у првом и последњем експерименту коришћена иста плочица угао тока струготине је идентичан.

6. ЗАКЉУЧАК

Струготина представља један од најважнијих квалитативних индикатора обраде материјала скидањем струготине, с обзиром да представља отпадни материјал који се јавља током обраде материјала резањем. Одређивање и праћење угла тока струготине при различитим вредностима параметара резања од великог је интереса за индустријско истраживање. Размотрени су веома битни фактори као и њихова узајамна повезаност од значаја на процес формирања угла тока струготине. У циљу дефинисања зависности процеса формирања угла тока струготине од параметара, испланирани су и неки оригинални експерименти, а као њихов резултат су добијене вредности угла тока струготине, као и облик струготине на основу посматраних параметара.

Експериментално добијени резултати су систематизовани, приказани табеларно и графички да би након детаљних анализа, били изведени и закључци о зависности формирања угла тока струготине од наведених параметара променљивих вредности. Графичком анализом су установљене промене праћених показатеља процеса обраде резањем у зависности од различитих улазних величина.

У току експеримента је праћен и сам облик струготине, добијене при различитим вредностима параметара режима обраде. Тако се анализом добијених резултата долази до закључка да се код мањег корака добија тракаста струготина, а при већем кораку завојни облик струготине.

Добијени резултати у овом раду представљају прелиминарне резултате. Даље истраживање би се могло бавити одређивањем прецизнијег угла струготине и испитивањем ширег опсега улазних параметара резања и другим материјалима предмета обраде, као и другим врстама алата са различитим геометријама.

7. ЛИТЕРАТУРА

- [1] Недић, Б.; Динамика процеса резања, Машински факултет, Крагујевац, 2006.
- [2] Лазић, М.; Технологија обраде метала резањем, Машински факултет, Крагујевац, 2002.
- [3] Недић, Б., Лазић, М.; Обрада метала резањем, предавања, Машински факултет, Крагујевац, 2007.
- [4] Аничих, О.; Анализа и моделирање параметара резања код обраде стругањем применом вештачких неуронских мрежа, докторска дисертација, Факултет техничких наука, Косовска Митровица, 2018.
- [5] Зељковић, М., Живковић, А.; Технологија обраде и обрадни системи за стругање и брушење, Фабрика котрљајућих лежаја и кардигана, Темерин, 2011.
- [6] <file:///E:/ChipControl.pdf> , 2011. Приступљено 12.09.2019.
- [7] file:///E:/54_Sample_Chapter.pdf . Приступљено 12.09.2019.
- [8] <file:///E:/10.1.1.459.5101.pdf> , 2005. Приступљено 15.09.2019.
- [9] <file:///E:/experimental-and-theoretical-analysis-of-the-chip-flow-direction-inturning-using-flatted-and-grooved-inserts--impact-of-the-tool-r-2168-9873-1000269.pdf>, 2017. Приступљено 17.09.2019.
- [10] <file:///E:/Kiyak.PDF> Приступљено 17.09.2019.
- [11] file:///E:/lzhou_dissertation.pdf Приступљено 18.09.2019.
- [12] Wit Grzesik, Advanced Machining Processes of Metallic Materials, Teory, Modelling and Applications, Elsevier, 2008.
- [13] <https://www.lifelarn.com/2017/10/orthogonal-and-oblique-cutting-mechanics-of-machining/> Приступљено 18.09.2019.