

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Машине алатке

Број индекса: 86/2016

Исидора С. Раденковић

Анализа храпавости обрађене површине при завршној обради стругањем

Завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. **Др Богдан Недић, ред. проф. -ментор**
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____



Универзитет у Крагујевцу
Факултет инжењерских наука



Основне студије: **Машинско инжењерство**

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

Име и презиме: **Исидора Раденковић**

Број индекса: **86/2016**

ПРИЈАВА ЗАВРШНОГ РАДА

Тема рада: **Анализа храпавости обрађене површине при завршној обради стругањем**

Задатак: У оквиру завршног рада потребно је да кандидат прикупи и изврши систематизацију података о завршној обради стругањем. Потребно је за дефинисати резне алате и параметре услова завршне обраде. У посебном делу рада извршити анализу претходно обављених експерименталних испитивања применом резних плочица са различитим геометријом и резултате приказати у одговарајућим табелама и на одговарајућим дијаграмима.

Завршни рад треба да садржи следеће целине:

1. Уводна разматрања,
2. Основне карактеристике завршне обраде стругањем,
3. Дефинисање параметара топографије површине,
4. Резни алати за завршну обраду стругањем,
5. Експериментална испитивања,
6. Анализа резултата,
7. Закључци,
8. Литература.

Ментор:

Др Богдан Недић, редовни професор

Резиме

У овом раду спроведено је истраживање и анализа храпавости обрађене површине при завршној обради стругањем. Извршено је испитивање утицаја геометрије алата, алатног материјала и режима обраде на квалитет обрађене површине. Машина која је коришћена је универзални струг. Уводним разматрањем укратко је упућено на храпавост обрађене површине и процес обраде стругањем. Друга тачка односи се на основне карактеристике завршне обраде стругањем, режиме резања и параметре стругања. Трећа тачка говори о микроструктури обрађене површине, топографији и параметрима топографије и храпавости. У четвртој тачки су представљени алати за обраду стругањем, њихове врсте и материјали од којих су израђени. Говори се о савременим резним алатима са измењивим плочицама. Главна тачка овог завршног рада је пета тачка, у којој је обављено истраживање и анализа храпавости при обради стругањем уз промене режима резања и алата. Резултати су анализирани у тачки 6.

Кључне речи: храпавост, завршна обрада стругањем, топографија површина

Summary of work

Within this paper research and analysis were made about roughness of the machined surface at finishing by scraping. A tool geometry impact test was performed, tool material and machining modes to the quality of the machined surface. Machine that was used was universal lathe. At the beginning of the paper was briefly referred to surface roughness and scraping process. Within the second part of the paper we are talking about the main characteristic of the finishing by scraping, cutting modes and scraping parameters. Within the third part of the paper it's about microstructures of the treated surfaces, topography and topography parameters and roughness. Within the fourth part of the paper was presented scraping tools, their types and the materials of which they are made. It's about modern cutting tools with cutting tiles. The main part of this paper was the fifth part, in which the research and analysis of the roughness in machining was performed with changes in cutting modes and tools. The results were analyzed in the sixth part.

Key words: roughness, finishing by scraping, surface topography

Садржај:

1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА	4
2. ОСНОВНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ЗАВРШНЕ ОБРАДЕ СТРУГАЊЕМ	6
2.1 Обрада стругањем	6
2.2 Квалитет обрађене површине	7
2.3 Утицај стабилност обрадка на квалитет обрађене површине	8
3. МИКРОГЕОМЕТРИЈСКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ КОНТАКТНИХ ПОВРШИНА	10
3.1 Топографија површина	10
3.2 Параметри топографије површина	11
3.3 Остали параметри топографије	12
3.4 Просторни (тродимензионални) параметри топографије	13
3.5 Начин предвиђања квалитета обрађене површине	14
3.6 Прегле досадашњих резултата	15
3.7 Потенцијалне могућности даљих истраживања	16
4. РЕЗНИ АЛАТИ ЗА ЗАВРШНУ ОБРАДУ СТРУГАЊЕМ	17
4.1 Алати у обради стругањем	17
4.2 Резна или алатна керамика	18
4.3 Супер тврди материјали	19
4.4 Избор алата – груба обрада – опште напомене	19
4.5 Избор алата – фина обрада – опште напомене	19
4.6 Алати за завршну обраду	20
4.7 Wiper технологија	21
4.8 Радијус врха резне плочице	23
4.9 Велика брзина стругања при завршној обради	23
5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ИСПИТИВАЊА	25
5.1 Услови испитивања	25
5.2 Резултати испитивања	31
6. АНАЛИЗА ИСПИТИВАЊА	35
6.1 Моделирање функције храпавости површине	35
6.2 Анализа утицаја услова обраде на храпавост површине	42
7. ЗАКЉУЧАК	44
8. ЛИТЕРАТУРА	45

1. УВОДНА РАЗМАТРАЊА

У савременим процесима производње све се више обраћа пажња на квалитет обрађене површине. Савремени производи и опрема захтевају јако висок квалитет обрађене површине, а најчешће су то делови прецизних алата и мерних инструмената, делови аутомобила, оптерећени делови машина и сл. Процесима обраде резањем могу се постићи готово сви квалитети обрађених површина, и зависе од режима и параметара при обради резањем. Економичност, радна способност делова и квалитет обрађене површине су при производњи уско повезани. Обично највећи квалитет обрађене површине има најмању економичност производње, али највећу радну способност, односно функционалност. Задатак производње је да израђене површине, уз минималне трошкове, имају захтевану функционалност.

Храпавост површине је кључан параметар квалитета обрађене површине. Захтеви у погледу храпавости могу бити различити. Постоје случајеви где се захтева најмања храпавост (еталони, мерила, резне ивице алата), као и случајеви где је потребна одређена храпавост због неких триболошких особина. Код оптерећених делова машина као што су вођице, клизне стазе и сл, неопходан је однос између способности клизања и ношења, уз стварање и одржавање неопходног слоја мазива, и то при радним брзинама, оптерећењима и преоптерећењу. Храпавост површине одређују 3 основна параметра:

- максимална храпавост $R_{\max}$,
- средње аритметичко одступање профила R_a ,
- средња висина неравнина R_z .

Обрада стругањем представља конвенционалну методу обраде резањем цилиндричних делова. Изводи се на машинама које се називају стругови, уз коришћење великог броја различитих стругарских ножева. Код обраде стругањем обрадак изводи главно обртно кретање, док алат изводи помоћно праволинијско кретање. Обрада може бити спољашња и унутрашња, а при унутрашњој обради се осим стругарских ножева за унутрашњу обраду користе разни алати за бушење, проширивање, развртање, упуштање и урезивање навоја. Поступци обраде метала резањем се најчешће разврставају на:

- поступке грубе, односно претходне обраде,
- поступке fine, односно завршне обраде.

Поступци грубе (претходне) обраде имају за циљ да уклоне што већу количину материјала, где се не обраћа посебна пажња на квалитет обрађене површине и димензиону тачност предмета обраде.

Поступци fine (завршне) обраде имају за циљ добијање површине захтеваног квалитета, као и димензиону тачност предмета обраде уз поштовање толеранција.

Код обраде стругањем квалитет обрађене површине зависи од доста фактора, како од самих режима резања, тако и од интензитета затупљености алата, коришћења средства за хлађење и подмазивање, па и од материјала предмета обраде. За добијање најквалитетније површине оставља се мали додатак материјала за фину обраду, повећава број обртаја а смањује брзина кретања алата, при чему је радијус резног клина мањи, а алат мора бити наоштрен. Тако постоје стругарски ножеви за грубу и фину обраду.

За обраду стругањем се најчешће користе универзални стругови. Међутим, увођењем савремених CNC технологија појављују се CNC стругови и обрадни центри, који при процесима обраде користе савремене алате са измењивим резним плочицама.



Слика 1 HAAS ST 30y CNC струг

2. ОСНОВНЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ ЗАВРШНЕ ОБРАДЕ СТРУГАЊЕМ

2.1 Обрада стругањем

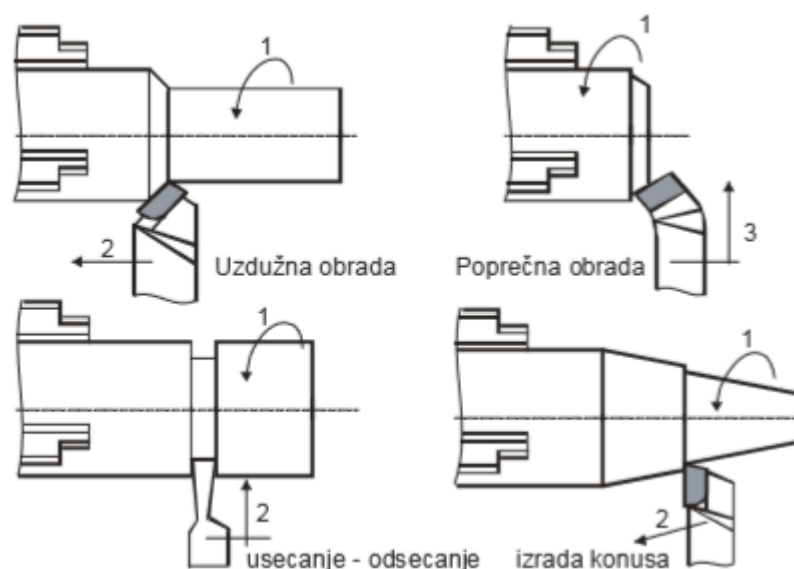
Обрада стругањем представља поступак којим се скидањем струготине добијају цилиндричне површине, ако је стругање уздужно и равне површине, ако је стругање попречно.

Обрада стругањем је поступак обраде материјала првенствено ротационих делова (вијака, навртки, осовина, вратила, чаура, 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:

- Уздужна,
- Попречна.



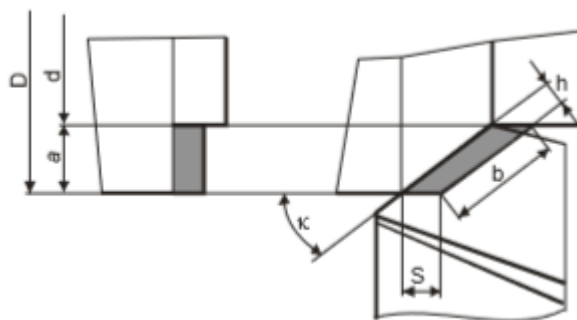
Слика 2.1. Основна кретања алата и предмета обраде у обради стругањем[3]

Главно кретање (1) је дефинисано резањем (V , m/min) - бројем обртаја предмета обраде (n , o/min)

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

Основни геометријски параметри обраде су ширина и дебљина резног слоја:

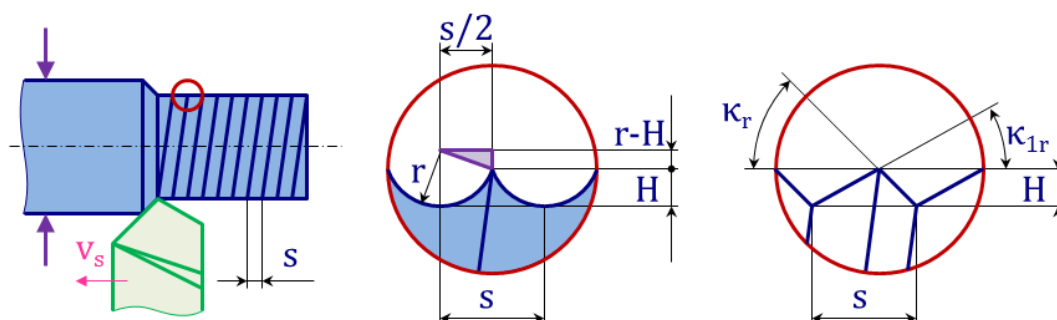
$$b = \frac{a}{\sin \kappa} \quad \text{и} \quad h = S \cdot \sin \kappa, \text{ тако да је површина попречног пресека резног слоја: } A = a \cdot S = b \cdot h$$



Слика 2.2. Површина попречног пресека струготине у обради стругањем

2.2 Квалитет обрађене површине

Квалитет обрађене површине код обраде стругањем зависи од више фактора, који се тичу и алата, и предмета обраде, као и режима резања. Нов, односно оштар алат ће дати најбољи квалитет обрађене површине, тако да се мора водити рачуна о затупљењу алата. Мањи радијус врха стругарског ножа постиже већи квалитет обрађене површине. Што се тиче предмета обраде, бољи квалитет ће се постићи уколико је у питању неки материјал погоднији за обраду са већим садржајем силицијума у себи, као што је нпр. легура алуминијума силумин. Уколико се користи средство за хлађење и подмазивање, смањиће се температура у зони резања, а самим тим поправити квалитет обрађене површине. Режији резања у великој мери утичу на квалитет, бирају се мање дубине резања, већи бројеви обртаја као и мањи корак.



Слика 2.3 Квалитет обрађене површине за заобљени и оштар врх алата

$$s'' = \left\{ \frac{\sqrt{8rH}}{H(\text{ctg}\kappa_r + \text{ctg}\kappa_{1r})} \right\} [mm/o]$$

r - полупречник заобљења врха алата,

H - највећа висина неравнина теоријског профила,

κ_r - нападни угао главног сечива алата и

κ_{1r} - нападни угао помоћног сечива алата.

$s' \rightarrow s_0'$

$s'' \rightarrow s_0''$

Производне операције обраде стругањем се могу поделити на следећи начин:

Према квалитету обрађене површине:

- груба обрада,
- фина обрада.

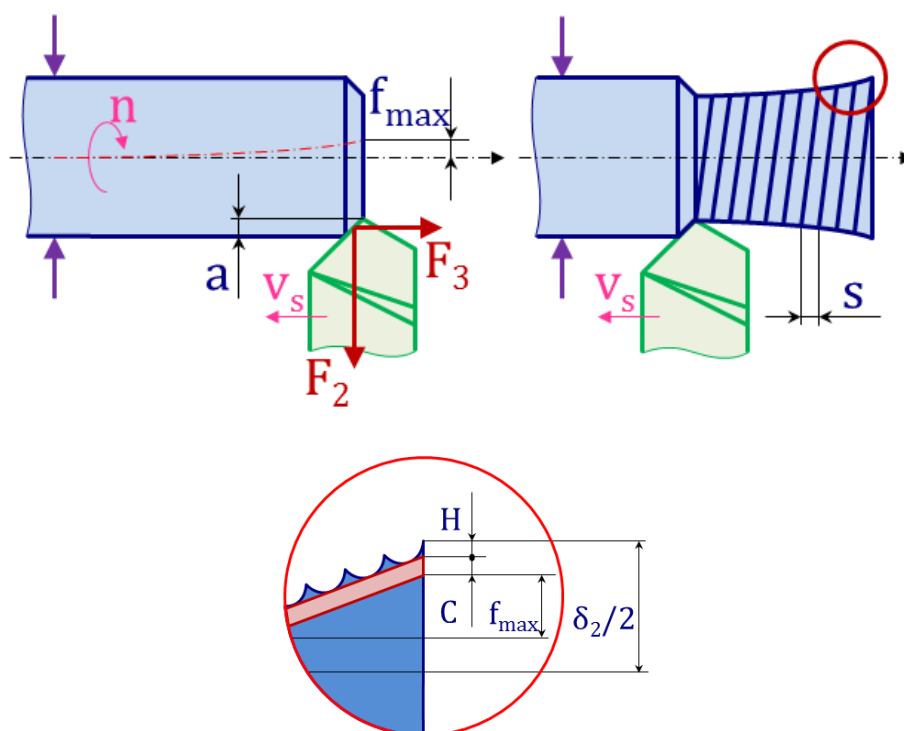
Према процедури обраде операције могу бити:

- претходне,
- завршне,

при чему су производне операције претходне обраде операције грубе обраде, а производне операције завршне обраде, операције грубе или fine обраде.

2.3 Утицај стабилност обрадка на квалитет обрађене површине

Када је у питању стабилност обрадка код стругања, тежи се ка томе да однос дужине и пречника, односно L/D буде мање или једнако од 2 ($L/D \leq 2$). Уколико је немогуће остварити овај однос, користи се помоћна опрема како би се компензовале вибрације и радијално бацање обрадка. Најпре се поставља шиљак у претходно забушену рупу, а за нешто веће дужине користи се линета.



Слика 2.4 Стабилност обрадка и квалитет обрађене површине

$$f_{\max} = \frac{\mu \cdot F_2 \cdot l^3}{E \cdot I}$$

μ - коеф. ослањања греде,

l – дужина греде,

E – модул еластичности материјала обрадка,

I – момент инерције попр. пресека обратка.

$$\frac{\delta_2}{2} \geq f_{\max} + H + C$$

C – дубина дефектног слоја

$$F_2 \cong 0,4 \cdot F_1$$

$$\frac{\delta_2}{2} \geq \frac{\mu \cdot 0,4 \cdot F_1 \cdot l^3}{E \cdot I} + H + C$$

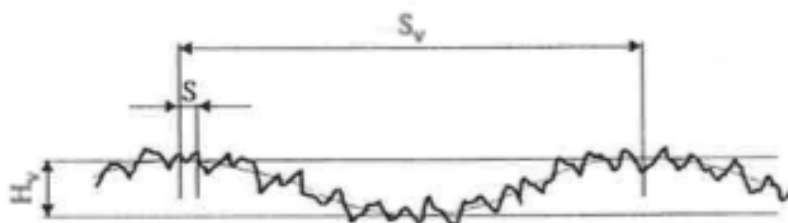
$$F_1 = C_{k1} \cdot a^{x1} \cdot s^{y1} \cdot k_{F1}$$

3. МИКРОГЕОМЕТРИЈСКЕ КАРАКТЕРИСТИКЕ КОНТАКТНИХ ПОВРШИНА

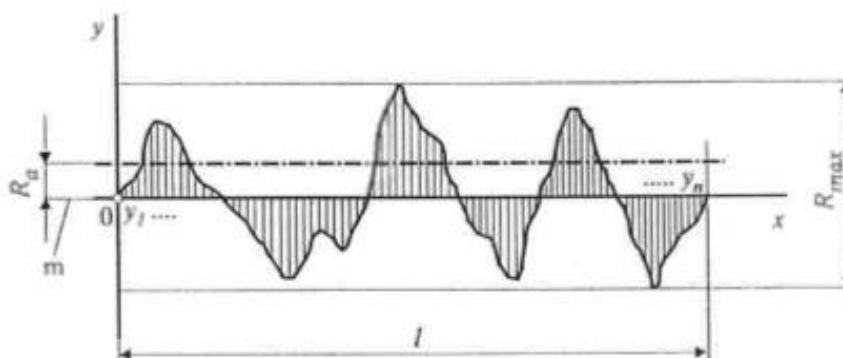
3.1 Топографија површина

Реалне инжењерске површине карактерише одређен степен одступања форме од номиналне (идеалне) површине. Степен геометријске несавршености дефинише се на макрогеометријском нивоу (облик и димензије) и микрогеометријском нивоу (валовитост и храпавост), слика 3.1. Како идеално глатке површине нема, то је сваки додир две површине, које припадају чврстим телима, дискретне природе, односно остварује се у одређеном броју тачака.

Валовитост:



Храпавост :



Слика 3.1 Микрогеометрија површина тврдых тела [4]

Микрогеометрија инжењерских површина има веома сложен спектрални састав при чему се корак и одговарајућа висина неравнина мењају по дужини профила. Зато је веома тешко квантитативно представити микрогеометријске карактеристике површина. Микрогеометријске неравнине површина (према Шмалцу у границама једног квадратног милиметра), формирају сложену слику храпавости и валовитости површина.

Као критеријум за разграничење валовитости и храпавости користи се однос корака и висине микронеравнина.

Површинама у валовима (таласима) приближно једнаког корака и висине, које задовољавају услов да је $S_v/H_v > 40$.

Под храпавошћу површина чврстих тела подразумевају се неравнине чије је међусобно растојање релативно мало, а висине могу бити веома различите. Растојање између две суседне неравнине, које се односе на храпавост површине, крећу се између 2 и 800 μm , а висине од 0,03 до 400 μm .

Табела 3.1.: Преглед класа храпавости површина при појединим поступцима обраде

GRADACIJE	NAJFINIJA OBRADA				FINA OBRADA		PRETHODNA OBRADA			GRUBA OBRADA		
KLASA KVALITETA	N1/ ▽	N2/ ▽	N3/ ▽	N4/ ▽	N5/ ▽	N6/ ▽	N7/ ▽	N8/ ▽	N9/ ▽	N10/ ▽	N11/ ▽	N12/ ▽
VRSTA OBRADE	Aritmetičko odstupanje od srednje linije profila, R_a , μm											
	0,025	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5	25	50
Grubo rendisanje												
Fino rendisanje												
Grubo struganje												
Prethodno strug.												
Fino struganje												
Najfinije struganje												
Bušenje												
Upuštanje												
Razvrtanje												
Fino razvrtanje												
Najfinije razvrt.												
Grubo glodanje												
Prethodno glod.												
Fino glodanje												
Najfinije glodanje												
Provlačenje												
Fino provlačenje												
Grubo brušenje												
Normalno bruš.												
Fino brušenje												
Najfinije brušenje												
Honovanje												
Fino honovanje												
Najfinije honov.												
Grubo lepovanje												
Prethodno lepov.												
Fino lepovanje												
Najfinije lepov.												

Контактна површина се дефинише топографијом, односно, марко и микро-геометријом. Њима припадају:

- храпавост,
- валовитост и
- грешке облика.

3.2 Параметри топографије површина

Дефинисање топографије површина подразумева квантификовање макро- и микро-геометријских неправилности. За микрогеометријске неправилности вредности параметра су, у изабраном правцу на површини, многоструко мање од одговарајуће димензије посматраног одсечка (референтне дужине) површине, чија је дужина утврђена конвенцијом (стандардима – табела 3.3.). Референтна дужина се бира у зависности од класе храпавости и врсте обраде

тако да се, при мерењу, елиминише утицај валовитости и грешака облика на вредност параметра микрогеометрије.

Реална геометрија површина је толико компликована да је немогуће са неколико параметара потпуно дефинисати све карактеристике. За истраживања топографије инжењерских површина користи се велики број параметара са тенденцијом даљег изналажења и дефинисања нових показатеља. Микрогеометријске неправилности се дефинишу преко параметара:

- храпавости – висинске особине неравнина,
- храпавости – дужинске особине неравнина и
- релативне храпавости – облик неравнина профила.

Табела 3.3.: Референтне дужине профила површина

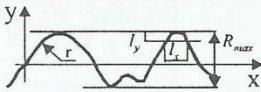
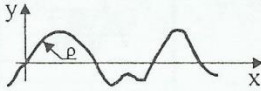
Врста обраде метала резањем	Референтна дужина l , mm				
Стругање, провлачење, развртање, полирање		0.8	2.5	8	
Бушење, глодање		0.8	2.5		
Брушење	0.25	0.8	2.5		
Брушење и стругање дијамантским алатима, хоновање, леповање	0.25	0.8			
Рендисање			2.5	8	25

3.3 Остали параметри топографије

У остале параметре топографије површина спадају (табела 3.4):

- средња вредност радијуса врхова неравнина r ,
- средња квадратна вредност другог извода профила Δr_k и
- комплексни параметар Δ .

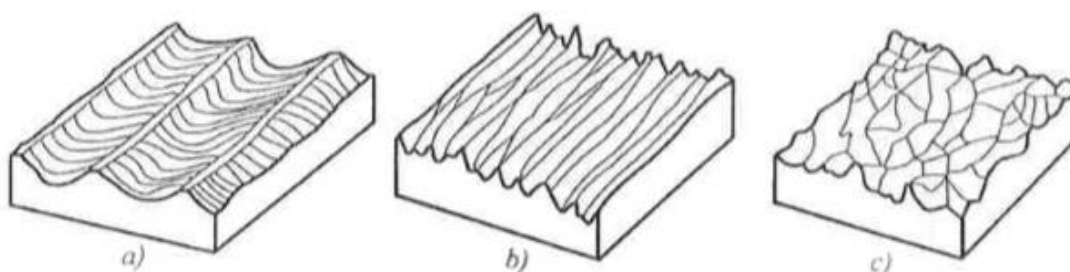
Табела 3.4.: Параметри храпавости – висинске особине неравнина

Red. broj	Naziv parametra	Oznaka	Grafička interpretacija	Definicija / veza sa drugim parametrima
1	Radius vrhova neravnina	r		$r = \frac{l_x^2}{8 \cdot l_y}$
2	Zaobljenost profila	ρ		$\rho = \frac{\sqrt{1 + (dy/dx)^2}}{d^2y/dx^2}$
3	Kompleksni parametar hrapavosti	Δ		$\Delta = \frac{R_{max}}{r \cdot b^{1/v}}$

3.4 Просторни (тродимензионални) параметри топографије

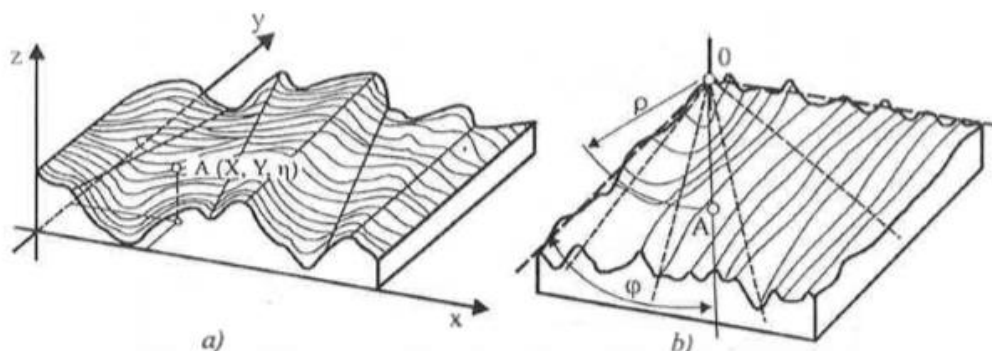
Површина елемената је сложена тродимензионална геометријска површина чија је једна од карактеристика и просторна корелација. Обликовање површине су различитог просторног изгледа, па је потребно извести и одговарајуће тродимензионалне анализе профила почев од оријентације неравнина до просторних параметара. Са аспекта оријентације храпавости (слика 3.5) профили се деле на:

- изразито оријентисане,
- мање оријентисане и
- слабо оријентисане или не оријентисане.

**Слика 3.5 Оријентација храпавости профила**

У процесу обликовања информација о тродимензионалној структури профила површине користе се две методе (слика 3.5) и то методе:

- паралелног и
- радијалног приказивања.



Слика 3.6 Методе приказивања тродимензионалних профила површина

Основни параметри 3 анализе топографије површина су:

- средње аритметичко одступање профила:

$$R_a = \frac{1}{M \cdot N} \cdot \sum_{j=1}^N \cdot \sum_{i=1}^M |\eta(X_i, Y_j)|,$$

- средње квадратно одступање профила:

$$R_q = \sqrt{\frac{1}{M \cdot N} \cdot \sum_{j=1}^N \cdot \sum_{i=1}^M |\eta^2(X_i, Y_j)|}$$

- коефицијент асиметрије профила:

$$R_{sk} = \frac{1}{M \cdot N \cdot R_q^3} \cdot \sum_{j=1}^N \cdot \sum_{i=1}^M \eta^3(X_i, Y_j),$$

где су М и N бројеви мерених тачака у правцима оса x и y, а $\eta(X_i, Y_j)$ висина неравнина у посматраној тачки A (X_i, Y_j).

3.5 Начин предвиђања квалитета обрађене површине

Један од често коришћених начина за предвиђање вредности параметара квалитета обрађене површине је математички модел добијен помоћу статистичке методе вишеструке регресије [7].

У новије време за оптимизацију производних процеса, па и предвиђање квалитета обрађене површине, на бази улазних параметара процеса, све више се користе вештачке неуронске мреже (ANN модел) и фазни системи (ANFIS модели).

Вишеструка регресиона анализа је погодна за проналажење најбоље комбинације независних варијабли, као што су број обртаја вретена, дубина резања и сл., како би се постигла жељена површинка храпавот, али, нажалост, регресиони модел се добија из статичке анализе при којој се мора прикупити велики број података.

Узимајући у обзир наведено, вештачке неуронске мреже (ANN модели) и фазни системи (ANFIS модели) представљају много повољнији начин за предвиђање храпавости техничких површина.

3.6 Преглед досадашњих резултата

Велики број експерименталних истраживања покушава наћи везу између квалитета обрађене површине, који се најчешће прати преко средњег аритметичког одступања R_a , параметара процеса обраде и хабања алата за обраду резањем.

Као базна функција, за представљање корелативне зависности параметара фактора површина R_a [μm] и хабања алата h [mm], веома успешно се може користити полином трећег степена у облику:

$$R_a = C_0 + C_{1h} + C_{2h}^2 + C_{3h}^3$$

Недић Б., Тодић Б. и Ђорђевић З. су реализацијом експерименталних истраживања, при обради стругањем и бушењем меко жарених челика, перлитно-феритне структуре, између осталог, дошли до сазнања да је, при обради челика $\check{S}.5420$, завојном бургијом од брзорезног челика $\check{S}.7680$, пречника $d = 6$ mm, ова зависност облика:

$$R_a = 5,874 + 18,58 \cdot h - 290,3 \cdot h^2 + 814,27 \cdot h^3$$

Реализацијом различитих експерименталних истраживања долази се до корелативних зависности за конкретне параметре обраде и различите услове истраживања.

Rashid A. и Lani A. Су користили вишеструку регресију за добијање математичког модела површинске хртавости при обради алуминијума глодањем. Извођењем експеримента, коришћењем потпуног факторијелног плана, и одређивање коефицијената вишеструке регресије дошли су до модела који повезује површинску хртавост изражену преко средњег аритметичког одступања R_a [μm], број обртаја вретена n [ob/min], корак s [mm/min] и дубина резања t [mm]:

$$R_a = 2,1066 - 0,0011 \cdot n + 0,0040 \cdot s - 0,00971 \cdot t$$

Развијени математички модел је дао резултат са просечним постотком грешке од 13,3 %, што показује да је тачност предвиђања око 86,7 %.

Rodrigues L.L.R., Kantharaj A.N., Kantharaj B., Freitas W. R. C. и Murthy B.R.N. су користили регресиону анализу за добијање математичког модела који повезује број обртаја n [ob/min], корак s [mm/ob] и дубина резања t [mm], при обради стругањем конструкционог челика алатима од брзорезног челика (HSS), са квалитетом обрађене површине преко средњег аритметичког одступања R_a [μm]. Извођењем потпуног плана експеримента, варирањем поменутих параметара на три нивоа, они су дошли до следећег математичког модела:

$$R_a = -6,04 + 0,0187 \cdot n + 85,4 \cdot s + 7,42 \cdot t - 0,135 \cdot n \cdot s - 69,9 \cdot s \cdot t - 0,0056 \cdot n \cdot t + 0,121 \cdot n \cdot s \cdot t$$

Кориговани коефицијент детерминације у овом случају је износио 66,1 %, што указује на јаку повезаност квалитета обрађене површине и наведених параметара.

Raghunandan B.V., Bhandarkar S.L. и Pankaj K.S. су такође користили регресиону анализу за добијање модела површинске хртавости, и то при обради стругањем материјала EN-19 са плочицама од тврдог метала. На основу података добијених применом Тагучи дизајна експеримента, коришћени softver MINITAB 13 у регресионој анализи, они су дошли до модела који повезује средње аритметичко одступање површине R_a [μm], брзина резања v [m/min], корак s [mm/ob] и дубина резања t [mm]:

$$Ra = 2,22 - 0,0244 \cdot v + 13,2 \cdot s + 0,172 \cdot t$$

Овим моделом се показује да је и приликом коришћења делимичног факторијалног плана експеримента могуће доћи до модела који показује повезаност између параметара обраде и површинске храпавости. Кориговани коефицијент детерминације, којим се описује дата повезаност, у овом случају је износио 52,8 %.

Шимуновић Г., Шарић Т., и Лујић Р. су применили вештачке неуронске мреже за предвиђање површинске храпавости радног предмета од челика при обради стругањем, користећи као улазне параметре врсту материјала, врсту алата, дубину резања, корак и број обртаја. Овај модел темељен на вештачким неуронским мрежама дао је резултате са просечном грешком која је мања од 5 %, када су у питању подаци коришћени за обуку, валидацију и тестирање могућности примене самог модела.

Rashid A. и Lani A. су, поред завијања математичког модела, користили вештачке неуронске мреже за предвиђање површинске храпавости при обради алуминијума глодањем. Предвиђање је показало повољне резултате са 6,42% просечне грешке, што значи да је вештачка неуронска мрежа у стању предвидети храпавост површине од 93,58% тачности.

Shahriar J. H. и Nafis A. су упоређивањем експерименталних података о средњем аритметичком одступању профила, добијених при завршној обради алуминијума глодањем, са подацима добијеним обучавањем вештачке неуронске мреже, дошли до податка о величини просечне грешке предвиђања модела у износу од 0,0314%, док је фази систем дао прихватљиви резултат (просечна грешка у износу од 0,003014%).

У истом истраживању, тестирање добијених модела је дало знатно лошије резултате. Просечна грешка тестирања јесте била на страни вештачких неуронских мрежа, али се због мање просечне грешке добијене приликом формирања наведених модела предност даје фази систему као повољнијем моделу предвиђања.

3.7 Потенцијане могућности даљих истраживања

Приликом контакта с другим материјалом, алати за обраду одвајањем честица изложени су екстремном трења. Развијају се силе високог интензитета (некад више од 15 kN) и високе температуре (до 1000°C). Као резултат тога јавља се трошење резне ивице алата.

Трошење алата, које се у литератури често прати преко величине хабања на леђној површини алата, има утицај на квалитет обрађене површине, повећање трења, повећање температуре, повећање отпора у зони резања и јачину емитованог звучног сигнала.

Нека од поменутих истраживања налазе везу између квалитета обрађене површине и хабања алата за обраду, али не дају могућност предикције процеса обраде у погледу обезбеђења задовољавајућег нивоа квалитета обрађене површине на бази индиректних параметара процеса, повезаних са хабањем алата за обраду.

Пробуђена свест о томе да се континуалним праћењем и адекватном предикцијом процеса, у циљу постизања задовољавајућег квалитета производа, у крајњој линији ствара додатна вредност за организацију, налаже праћење процеса обраде, те предикацију процеса у циљу постизања квалитета који ће испунити очекивање екстерних корисника.

Имајући у виду напред наведено, потенцијална могућност даљих истраживања се огледа у проналажењу математичког модела или модела заснованог на примени вештачких неуронских мрежа који ће укључити директне параметре процеса (број обртаја, корак, дубину резања) и индиректне параметре процеса (силу резања, јачину емитованог звучног сигнала и сл.), те обезбедити правовремену предикцију процеса обраде са аспетка квалитета обрађене површине.

4. РЕЗНИ АЛАТИ ЗА ЗАВРШНУ ОБРАДУ СТРУГАЊЕМ

4.1 Алати у обради стругањем

Стругарски ножеви су разноврсни по облику, димензијама и врсти алатног материјала.

Према врсти обраде разликују се стругарски ножеви за:

- спољашњу обраду (уздужну и попречну)
- унутрашњу обраду,
- усецање и одсецање,
- израда навоја и сл.

Према квалитету површине стругарски ножеви се разврставају на:

- стругарске ножеве за грубу (претходну)
- стругарски ножеви за завршну (фину) обраду.

Према врсти алатног материјала, разликују се:

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

За израду стругарских ножева данас се углавном користе тврди метали, резна керамика и супер тврди метали у виду окретних (измењивих) плочица.

Стругарски ножеви са лемљивим плочицама се ретко користе у савременој индустрији. То из разлога што је њихова израда скупља, а и трошкови експлоатације су већ због потребе преоштравања алата (трошкови оштрења и обраде).

Брзорезни челици се користе за израду профилних ножева намењених обради сложених и профилисаних површина на једновретеним и вишевретеним аутоматским струговима.

Грудне површине окретних плочица су израђене са елементима за савијање и ломљење струготине. То су канали, степенице (слика 4.1) или специјално обликовани профили са једне (једностране) или обе стране (двостране плочице). Канали су различитог облика и димензија, полукружни (мањи или већи), два канала (први за савијање код мањих корака, а други код већих корака) и сл. Степенице су мањи и већи или сложене конфигурације.



Слика 4.1.: Облици грудне површине окретних плочица [1]

4.2 Резна или алатна керамика

Керамика

Први керамички резни алати су имали могућност да одрже тврдоћу на високим температурама док су истовремено били хемијски инертни према феритним материјалима које су обрађивали.

Поменуте предности које је керамика имала у односу на цементиране карбиде је омогућила употребу машинских алата на великим брзинама резања које су у то време постале доступне. Пластична технологија деформација керамичких резних алата је била занемарљива, док је резна ивица због инертности према материјалу била отпорна на дифузионо хабање. Основни проблеми керамичких резних алата су били неодговарајућа жилавост и отпорност на механички и термални шок.

Развојем моћних и ригидних CNC машина отворила се могућност употребе керамичких алата, било у форми синтерованих монолитних резних плочица или у скорије време у форми вишеслојних превлака.

Монолитне керамичке резне плочице су биле доступне у 3 облика (у односу на степен жилавости и отпорности хабању).

Ове плочице су се израђивале од:

- "чисте" керамике и
- црна или мешана керамика.

Резна керамика се најчешће јавља у две варијанте, као:

- минерлна (чиста или оксидна) и
- мешана (оксидно-карбидна)

Резна керамика се користи за израду алата намењених непрекидном резању на машинама повећане крутости и стабилности и то за обраду конструктивних челика (угљеничних и легираних), високо квалитетних челика, сивог и темпер лива, легура обојених метала и обраду неметала.

Цермети са превлаком

Наношењем превлаке на церметне резне плочице, проширено је поље њихове примене и повећан је број доступних плочица од цермета. Најсавременије вишеслојне превлаке за индексиране резне плочице састоје се од индивидуалних "нано-слојева" и екстремно су тврде, приближно 4000 HV. Површина превлаке је веома глатка, укупне дебљине мање од 3 μm – што омогућава наношење 2000 трајних, издржљивих слојева.

4.3 Супер тврди материјали

Супер тврди материјали су:

- дијамант,
- синтетички дијамант и
- кубни нитрид бора.

Одликују се високом тврдоћом и отпорношћу на хабање, као и ниском жилавошћу и отпорношћу на динамичка – ударна оптерећења.

4.4 Избор алата – груба обрада – опште напомене

- Изабрати алат са најмањим нападним углом да би се формирале танке струготине, добра дисипација топлоте, добро засићен радијус врха плочице и мањи ризик крзања резне ивице-
- Изабрати носач већег пресека и мањег препуста да би се добила што већа крутост и смањиле еластичне деформације носача.
- Изабрати јак облик и јаку геометрију плочице да би се добила што већа продуктивност и што мања цена коштања плочице сведена на резну ивицу.
- Изабрати највећи радијус плочице да би плочица имала велику корист и да се процес обраде може извести на великим брзинама помоћног кретања. Велики радијус врха резне плочице такође позитивно утиче на дисипацију топлоте.
- Изабрати највећу дубину резања у циљу постизања што веће продуктивности.
- Изабрати најмању величину резне плочице у циљу смањења цене коштања сведене на резну ивицу и уопште смањења цене коштања алата.
- Изабрати највећу вредност корака, али тако да она не пређе вредност од 80% од величине радијуса врха резне плоче. Ово се такође ради у циљу постизања максималне продуктивности. Ако услови обраде нису погодни треба изабрати мањи радијус плочице.
- Изабрати погодан квалитет алатног материјала који одговара разматраној операцији.
- Ако се појави увећан ниво вибрације треба изабрати плочицу са мањим радијусом врха.

4.5 Избор алата – фина обрада – опште напомене

- Да би толеранције и захтевани квалитет обрађене површине били постигнути радијус врха резне плочице и корака треба да имају вредности које највише одговарају посматраној операцији.
- Квалитет обрађене површине се знатно побољшава коришћењем позитивног грудног угла и високих вредности брзине резања.
- Ако се јави проблем вибрацијетреба смањити радијус врха плочице и изабрати више позитивну геометрију плочице.

4.6 Алати за завршну обраду

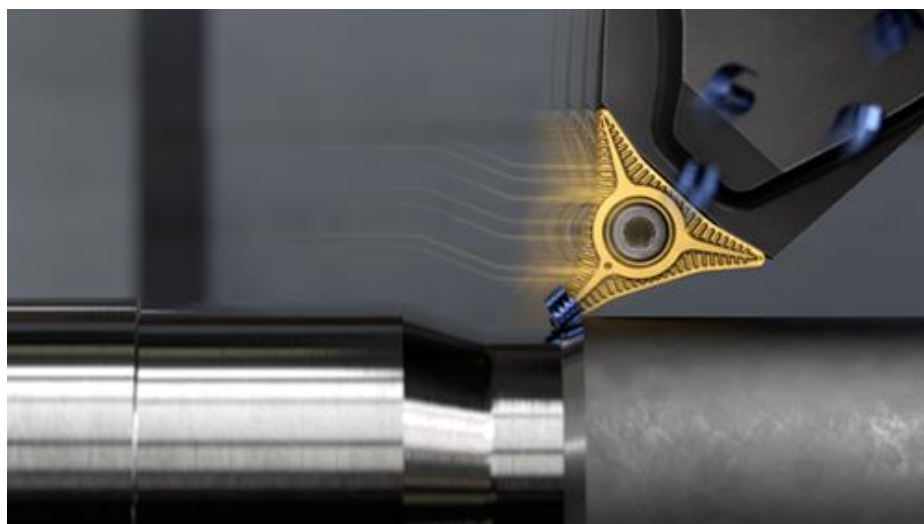
Карактеристике алата за завршну обраду стргањем су прилагођене добијању највећег квалитета обрађене површине. Због тога се ови алати баш и не могу користити за претходне обраде, како би се уклонило што више материјала, јер њихова геометрија не трпи толика оптерећења. Алати за завршну обраду имају оштрије резне углове и мање радијусе врха ножа, и зато су погодни за мале дубине резања јер су више осетљиви на оптерећење.

Један од најновијих производа фирме SandvikCoromant јесте стругарски нож намењен управо завршној обради. Унутар дршке ножа уграђен је механизам са адаптером, који ублажава вибрације и у великој мери смањује њихов утицај на квалитет обрађене површине.



Слика 4.1 Савремени стругарски нож са адаптером[5]

Поред алата и носача, Sandvik Coromant такође развија и савремене резне плочице за завршну фину обраду. Карактеристике које мора да поседују ове резне плочице су нешто оштрији резни углови и мањи радијуси резног врха, као најновија плочица на слици (слика 4.2).



Слика 4.2 Резна плочица за фину завршну обраду

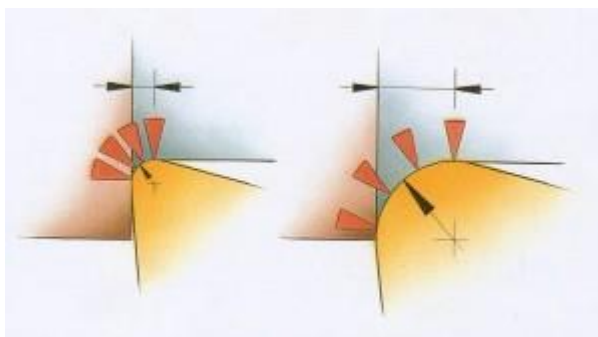
4.7 Wiper технологија

Приликом процеса стругања, квалитет обрађене површине директно зависи од комбинације радијуса врха алата и брзине помоћног кретања.

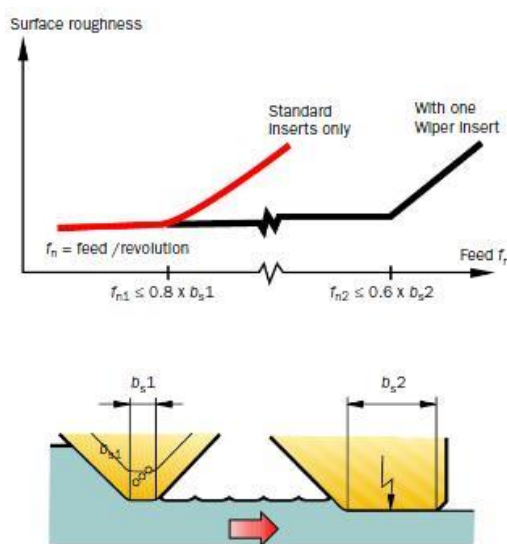
Површина комада при обради једносечним алатом добија се кретањем радијуса врха ножа дуж комада. Теоретска максимална висина профила је израчуната помоћу једноставне формуле, која даје идентификацију вредности које се очекују и које се могу упоредити са ограничењима утврђеним за компоненту која треба да се направи. Почевши од одређеног врха радијуса и потребне висине профила, почетна вредност брзине кретања се може израчунати.

$R_{\max} = \frac{f_n^2}{8 \times r_\epsilon} \times 1000$ – максимална храпавост која узима у обзир зависност врха ножа и брзине помоћног кретања.

Већи радијуси врхова алата имају већу стабилност, али су склони вибрацијама.



Слика 4.3 Распоред оптерећења код различитих врхова радијуса ножа



Слика 4.4 разлика између wiper геометрије и стандардне геометрије

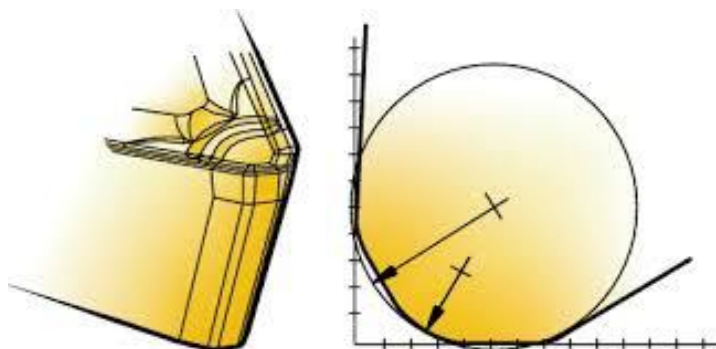
Кључна ствар примене wiper геометрије је повећање брзине помоћног кретања и смањење максималне висине неравнина храпавости.

Нова перспектива на конту кретања и завршне обраде код стругања

Остваривање добре завршне обраде при стругању у полузавршној обради, као и испуњење других захтева као што су мања храпавост, остварено је *wiper* технологијом. *Wiper* технологија је успела да постави нови смисао стругању како би постигла боље перформансе производње где је кључно постићи већу брзину кретања. На добијену завршну површину и толеранцију утиче комбинација врха радијуса ножа, брзина помоћног кретања, стабилност обратка, стезање алата и стање машине.

Циљ стругања је да завршна површина буде у директној вези са брзином кретања алата и величином радијуса врха ножа. Велика брзина даје краће време стругања, али лошију површину. Велики радијус ножа створиће бољу завршну обраду површине и пружити већу стабилност. Прекомерно велики радијус ножа може довести до вибрационих тенденција, незадовољавајућег кретања струготине и краћег века алата због недовољног захватања ивица, тако да величина радијуса ножа и брзина кретања могу бити ограничени током операције.

Да би се овај однос успоставио – у циљу постизања боље завршне обраде површине, развијена је *wiper* технологија за радијус ножа. У принципу, ово се односи на изведене комбинације радијуса са неком модификацијом геометрије уметања. Радијус врха ножа код *wiper* геометрије пружамању резну ивицу профила која има ефекат глатког резања на стругану површину.



Слика 4.5 *wiper* конфигурација врха ножа

Резна плочица *Wiper* технологијом има потпуно нов у конфигурацију врха радијуса. Збо тога је могуће израдити квалитене површине признатно већим брзинама стругања.

Уобичајено, поступак стругања се често може охарактерисати као да има одређену брзину кретања која је утврђена за операцију. На пример, коришћење највећег дозвољеног радијуса од 1,2mm при брзини кретања од 0,15mm/min може створити површину Ra 1 микрона на компоненти нисколегираног челика. Ако се брзина кретања удвостручи, добијена површинска обрада ће бити у подручју Ra 2,5. Када се брзина повећа за још више пута, обрађена површина често буде незадовољавајућа.

Промена брзине кретања такође може довести до тога да формирање струготине није задовољавајуће, прекомерно оптерећење резне ивице и пребрзо трошење алата. Ипак, брзина кретања остаје најбољи начин да се смањи стварно време обраде, али нема. *Wiper* технологија је директно средство за побољшање продуктивности. *Wiper* плочица има прилагођени ломачструготине, док класични резна плочица има геометрију која ограничава брзину путање. Ломљење струготине је на задовољавајућем нивоу и при великим брзинама код *wiper* технологије. То је један од разлога зашто се плочица са *wiper* геометријом такође често

узимају као решење проблема у операцијама стругања где неповољна струготина проузрокује проблеме.

4.8 Радијус врха резне плочице

Од величине радијуса врха ножа зависи стабилност алата и његова способност за постизање квалитета обрађене површине. Превелики радијус ножа може довести до вибрација и смањити ломљење сруготине у завршним операцијама. Када је дубина резањавелика, радијус ножа делује као променљиви угао при уласку алата у материјал. Измењиве резне плочице могу се добити у различитом опсегу радијусаврха како би се пружила погодна геомерија за одређену примену. Радијус је углавном у опсегу 0,2 до 2,4 mm.

Приликом грубе обраде код стругања, улаз алата у материјал треба бити у области половине радијуса врха ножа. На пример, ако се одабере резна плочица са радијусом од 0,8mm, брзина би требала бити 0,4mm/o.

За завршну обраду увек треба узети wiper резне плочице, јер оне пружају решење које не следи уобичајени однос између брзине кретања, радијуса ножа и обрађене површине.

CoroTurn 107 Wiper резне плочице

DCMX – Резне плочице прилагођене за држаче са углом уласка у материјал од 93°. Такође одговарају и носачима који имају угао уласка у опсегу 92°-94°.

TCMX – Резне плочице које се постављају на носаче са углом уласка у опсегу од 91°-93°.

Поређење стандардних резних плочица у односу на Wiper резне плочице

Све вредности за стандардни радијус врха плочице су теоретске и базиране на употреби CNMG плочица.

Ра вредности храпавости код Wiper радијуса заснивају се на експерименталним вредностима при обради нисколегираног челика. Вредности могу варирати у зависности од стања материјала и стабилности постављања комада.

4.9 Велика брзина сругања при завршној обради

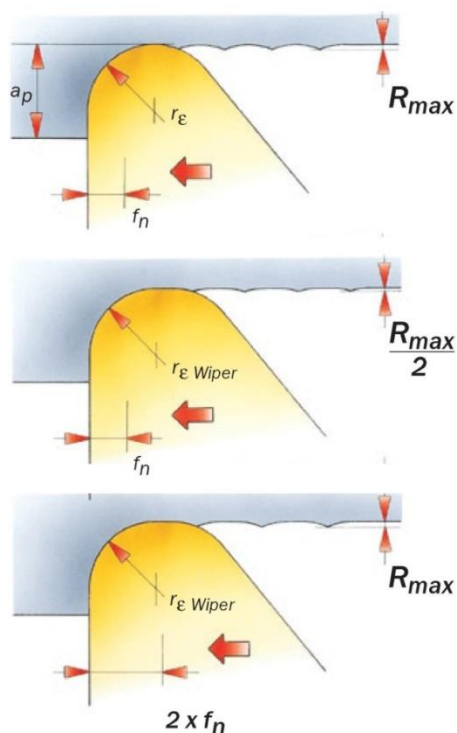
Плочице са wiper геометријом користе се при великим брзинама завршне обраде – без губитка могућности добијања добре површинске обраде и ломљење струготине. Извршен је поновни развој резне ивице и угла плочице:

- **Изабране геометријерезних плочица,**

Комбинација геометрије резних плочица и квалитета алата је важан фактор за ниво перформанси и век трајања алата. Постојање развоја хабања на резној плочицима директан утицај на квалитет завршне обраде. Век трајања алата са wiper технологијом обично је дужи од уобичајеног облика резне плочице јер се развој хабања у одређеној мери надокнађује модификованим врхом радијуса. Избор најприкладнијег квалитета осигурава да су оштре резне ивице отпорне на хабање, да би се постигла прихватљива завршна обрада површине, као и довољно стабилне да се носе са великим брзинама.

- Стругање површина,

Wiper ефекат првенствено је дизајниран за праволинијско стругање и скидање. Иако су W-резне плочице способне да режу разне контуре профила, wiper ефекат је у употреби, јер се резна плочица ослања на свој модификовани облик у односу на смер кретања, аксијални или радијални и са специфичним углом ласка у подручју од 90 до 100 степени. Када су захтевана одређена одступања од равне површине може се усвојити пракса извођења ових резова током грубих операција.



Слика 4.6 Wiper технологија праволинијског стругања

5. ЕКСПЕРИМЕНТАЛНА ИСПИТИВАЊА

Експериментална испитивања су вршена са циљем испитивања утицаја геометрије алата, алатног материјала и режима обраде на квалитет обрађене површине. У овом раду је извршена анализа испитивања обављених у оквиру докторске дисертације Мирфада Тарића везаних за топографију површине обрађене стругањем и приказан је део добијених резултати испитивања [6]. Дисертација је реализована на Факултету техничких наука у Новом Саду, а експериментална испитивања у Лабораторији за обраду метала резањем на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу.

5.1 Услови испитивања

Машина алатка на којој је вршена обрада резањем је универзални струг – Првوماјска ДК480. Универзални струг – Првوماјска ДК480 је инсталиран у Лабораторију за обраду метала резањем на Факултету инжењерских наука у Крагујевцу. На слици 5.1 је приказана коришћена машина која се налази у Лабораторији за обраду метала резањем на Факултету инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу. Машина алатка има следеће карактеристике:

- снага електромотора 10 KW,
- максимални пречник обраде је 320 мм,
- максимална дужина обраде је 2000 мм,

Вредности посмака ове машине су приказани у табели 5.1.

Табела 5.1. Посмаци на стругу

s mm/o	0.045, 0.05, 0.056, 0.063, 0.071, 0.08, 0.09, 0.1, 0.112, 0.125, 0.14, 0.16, 0.18, 0.20, 0.224, 0.25, 0.28, 0.315, 0.355, 0.4, 0.45, 0.5, 0.56, 0.63, 0.71, 0.8, 0.9, 1.0
-----------	---

Вредности бројева обртаја на машини су дати у табели 5.2.

Табела 5.2. Бројева обртаја

n o/min	45, 56, 71, 90, 112, 140, 180, 224, 280, 355, 450, 560, 710, 900, 1120, 1400, 1800
------------	--



Слика 5.1 Универзални струг – Првوماјска ДК480

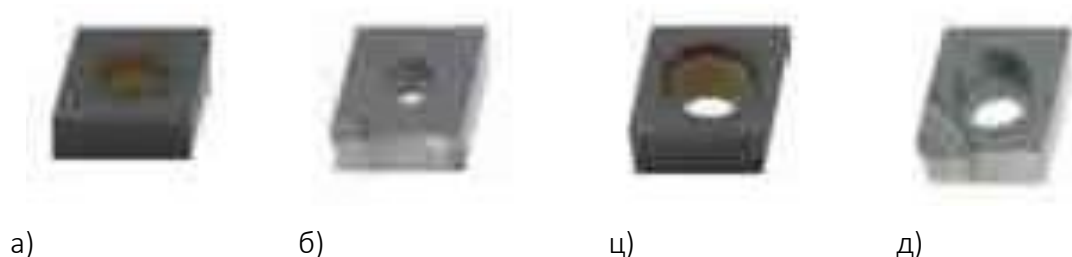
За експериментална испитивања коришћена су два алата и то стругарски нож са ромбиодном плочицом SCLCR 2525M12 - стезање плочице вијком (ознака S) и стругарски нож PCLNR 2525M12 - стезање плочице плугом (ознака P), слика 5.2. Као резне плочице од тврдог метала P30 коришћене су плочице CCMW 120404 и CNMA 120404 произвођача ОРИОН из Немачке и две врсте плочице од кубног борнитрида (CBN) ознака: CNMA 120404 ABC 25/Ф и CCMW 120404 од произвођача АТРОН из Немачке. Ове две врсте плочица су одабране због различитих грудних углова. На слици 5.3. су приказане резне плочице наведених ознака коришћених у експерименту.



PCLNR 2525M16 (а)

SCLCR 2525M12 (б)

Слика 5.2 Носач алата [114]



а)

б)

ц)

д)

Слика 5.3 Резне плочице од тврдог метала и CBN

- (а) CNMA 160404 (TM)
- (б) CNMA 16 04 04 (CBN)
- (ц) CCMW 120404 (TM)
- (д) CCMW 120404 (CBN)

За изабране носаче алата и резне плочице у табелама 5.3 и 5.4 су дати подаци о резној геометрији.

Табела 5.3. Геометрија резног алата PCLNR 2525M16

γ	α	λ	κ	κ_1	r
0°	7°	-6°	91°	5°	0,4
Плочице: (а) TM → CCMW 120404 , (б) CBN → CCMW 120404;					

Табела 5.4. Геометрија резног алата SCLCR 2525M12

γ	α	λ	κ	κ_1	r
-6°	6°	-6°	91°	5°	0,4
Плочице : (ц) TM → CNMA 120404 (д) CBN → CNMA 120404;;					

Пре извођења експеримента извршена је припрема обратка. Обрадак је термички обрађивани челик 90MnCrV8 (Ћ3840) на тврдоћу 55 HRC, кружног пресека Ø34 мм и дужине 500 мм. Обрадак је стегнут у стезну главу једним крајем, а другим крајем се ослања на шиљак. Пре обраде извршена је обрада површинског слоја и добијен припремак код кога је елиминисано радијално одступање. Обрада је вршена без присуства средства за хлађења и подмазивање (SHF).

Материјал обратка је легирани алатни челик за рад у хладном стању 90MnCrV8 (Ћ3840, тзв. *мерило* алатни челик за универзалну примену). Има велику тврдоћу и минималне деформације; користи се претежно за мерне алате, ножеве за маказе, спиралне бургије, алате за резање навоја, развртаче, контролнике, алате за просецање лимова, има високу прокаљивост и димензионо је стабилан при термичкој обради.

Механичка својства и хемијски састав обратка су приказани у табели 5.5.

Табела 5.5. Означавање, хемијски састав и механичке особине обратка

Челик	Словна SRPS EN ознака	Бројчана SRPS EN ознака	ЈУС ознака (стара ознака)				
	90MnCrV8	1.2842	Љ3840				
Група челика: Легирани алатни челик за рад у хладном стању: алатни челик или тзв. <i>Мерило</i> , Mn-V или Mn-Cr-W							
Стандарди: EN ISO4957 Легирани алатни челик за рад у хладном стању							
Хемијски састав (%)							
C	Si	Mn	Cr	V	P	S	
0,85-0,95 (0,9)	0,1-0,4 (0,35)	1,8-2,2 (2,0)	0,2-0,5 (0,45)	0,05-0,2 (0,15)	Max 0,03 -	Max 0,03 -	
Физичка својства (механичка и термичка својства)							
Тврдоћа (при испоруци)			max. 230 HB				
Јачина материјала Rm			cca 780 N/mm ²				
Тврдоћа			55 HRC				
Термички коефицијент ширења 10 ⁻⁶ mm/(m·K)	20-100°C	20-200 °C	20-300 °C	20-400 °C	20-500 °C	20-600 °C	20-700 °C
	12.1	13.3	13.8	14.3	14.1	14.2	14.6
Термички коефицијент проводљивости w/(m·K)	20 °C		350 °C		700 °C		
	32,8		32		31,5		

Режими обраде

Режим обраде је обухватио следеће елементе :

- брзину резања v , м/мин,
- посмак s , мм/о и
- дубину резања a , мм.

Варирање фактора експеримента се вршило у 5 нивоа вредности, тако да је средња вредност између два суседна нивоа геометријска средина тих вредности, а највиши и најнижи ниво су удаљени за вредност $\alpha = \pm 1,41$. Изабрани нивои фактора су приказани у табели 5.6.

Табела 5.6. Нивои параметара експеримента

Нивои(Функције припадности)	Брзина резања v , m/min	Посмак s , mm/o	Дубина резања a , mm
Највећа +1,41	180	0,25	0,7
Велика +1	160	0,2	0,5
Средња 0	120	0,1	0,22
Мала -1	90	0,05	0,1
Најмања -1,41	80	0,045	0,07

Режими обраде према централном композиционом плану експеримента, приказани су у табели 5.7. за оба типа обраде стругањем резним плочицама од ТМ и резним плочицама од CBN за два случаја када је грудни угао $\gamma = 0^\circ$ и када је $\gamma = -6^\circ$.

Табела 5.7. Режими резања при извођењу експерименталних испитивања

Редни број	Код фактора				Фактор		
	x0	x1	x2	x3	v, m/min	s, mm/o	a, mm
1	1	-1	-1	-1	90	0,05	0,10
2	1	1	-1	-1	160	0,05	0,10
3	1	-1	1	-1	90	0,20	0,10
4	1	1	1	-1	160	0,20	0,10
5	1	-1	-1	1	90	0,05	0,50
6	1	1	-1	1	160	0,05	0,50
7	1	-1	1	1	90	0,20	0,50
8	1	1	1	1	160	0,20	0,50
9	1	0	0	0	120	0,10	0,22
10	1	0	0	0	120	0,10	0,22
11	1	0	0	0	120	0,10	0,22
12	1	0	0	0	120	0,10	0,22
13	1	-1,41	0	0	80	0,10	0,22
14	1	1,41	0	0	180	0,10	0,22
15	1	0	-1,41	0	120	0,045	0,22
16	1	0	1,41	0	120	0,25	0,22
17	1	0	0	-1,41	120	0,10	0,07
18	1	0	0	1,41	120	0,10	0,70
19	1	-1,41	0	0	80	0,10	0,22
20	1	1,41	0	0	180	0,10	0,22
21	1	0	-1,41	0	120	0,045	0,22
22	1	0	1,41	0	120	0,25	0,22
23	1	0	0	-1,41	120	0,10	0,07
24	1	0	0	1,41	120	0,10	0,70

Мерење храпавости обрађене површине

За мерење храпавости обрађене површине коришћен је мерни уређај Талусурф 6. Уређај Талусурф 6 (слика 5.4) је компјутеризовани мерни систем за мерење и анализу храпавости који даје основне карактеристике микрогеометрије површина, омогућује мерење широког спектра параметара који описују карактеристике техничких површина: мерење основних и допунских параметара храпавости и валовитости, статистичку обраду резултата мерења параметара храпавости, приказивање резултата на екрану, њихово меморисање, штампање и цртање, просторно скенирање површине. Овај мерни систем је повезан са рачунарем ради меморисања података мерења и могуће касније обраде.



Слика 5.4 Мерни систем за Талусурф-6 повезан са рачунаром и пример мерења

Параметри топографије површине мерени уређајем Талусурф-6 дате су у табели 5.8.

Табела 5.8. Параметри топографије површине који су мерени уређајем Талусурф-6.

Rt1-Rt5, μm	Макс. висине профила на референтним дужинама, на дужини оцењивања
Ra, μm	Средње аритметичко одступање профила на дужини оцењивања
Rq, μm	Средње квадратно одступање профила на дужини оцењивања
Ry, μm	Максимална висина профила, максимална Рти вредност
Rtm, μm	Средња Rti вредност, средња максимална висина неравнина
Rv, μm	Највећа дубина удубљења профила
Rp, μm	Највећа висина испупчења профила
Sm, μm	Средњи корак испупчења профила
Δq , о	Средњи квадратни угао нагиба профила
Rsk	Коефицијент асиметрије профила, мера симетрије криве расподеле амплитуда
Rky	Куртосис, мера заострености криве расподеле амплитуда
S, μm	Средњи корак локалних испупчења профила
R3y, μm	Средња вредност растојања трећег по висини испупчења и трећег по дубини удубљења на референтној дужини профила
Rpm, μm	Средња вредност Рпи одређених на референтним дужинама
R3y, μm	Највеће растојање трећег по висини испупчења и трећег по дубини удубљења на референтној дужини

5.2 Резултати испитивања

У наредним табелама су дати резултати мерења.

Табела 5.9. План експеримента и резултати мерења за резну плочицу од тврдог метала: CNMA 160404 ($\gamma = -6^\circ$, $\alpha = 6^\circ$, $\lambda = -6^\circ$).

Ред. број	План - матрица				Променљиви фактори			Резултати мерења	
	x0	x1	x2	x3	v m/min	s mm/o	a mm	Ra μm	Rtm μm
1.	1	-1	-1	-1	90	0,05	0,10	0,51	3,2
2.	1	1	-1	-1	160	0,05	0,10	0,53	2,8
3.	1	-1	1	-1	90	0,20	0,10	1,17	4,8
4.	1	1	1	-1	160	0,20	0,10	1,2	4,8
5.	1	-1	-1	1	90	0,05	0,50	0,75	6,2
6.	1	1	-1	1	160	0,05	0,50	0,85	6,1
7.	1	-1	1	1	90	0,20	0,50	2,01	7,6
8.	1	1	1	1	160	0,20	0,50	2,1	7,6
9.	1	0	0	0	120	0,10	0,22	0,93	4,5
10.	1	0	0	0	120	0,10	0,22	0,77	4
11.	1	0	0	0	120	0,10	0,22	0,91	4,4
12.	1	0	0	0	120	0,10	0,22	0,76	4,3
13.	1	-1,41	0	0	80	0,10	0,22	0,69	3,56
14.	1	1,41	0	0	180	0,10	0,22	0,71	4
15.	1	0	-1,41	0	120	0,045	0,22	0,43	2,4
16.	1	0	1,41	0	120	0,25	0,22	1,91	8,01
17.	1	0	0	-1,41	120	0,10	0,07	1,06	6,6
18.	1	0	0	1,41	120	0,10	0,70	0,98	5,5
19.	1	-1,41	0	0	80	0,10	0,22	0,7	3,93
20.	1	1,41	0	0	180	0,10	0,22	0,65	3,5
21.	1	0	-1,41	0	120	0,045	0,22	0,39	2,5
22.	1	0	1,41	0	120	0,25	0,22	1,82	8,3
23.	1	0	0	-1,41	120	0,10	0,07	1,04	2,8
24.	1	0	0	1,41	120	0,10	0,70	1,38	6,2

Табела 5.10. План експеримента и резултати мерења за резну плочицу од CBN: CNMA 160404 ($\gamma = -6^\circ$, $\alpha = 6^\circ$, $\lambda = -6^\circ$).

Ред. број	План - матрица				Променљиви фактори			Резултати мерења	
	x0	x1	x2	x3	v m/min	s mm/o	a mm	Ra μm	Rtm μm
1.	1	-1	-1	-1	90	0,05	0,10	0,61	3,7
2.	1	1	-1	-1	160	0,05	0,10	0,36	2,1
3.	1	-1	1	-1	90	0,20	0,10	0,81	4,5
4.	1	1	1	-1	160	0,20	0,10	0,62	3,5
5.	1	-1	-1	1	90	0,05	0,50	0,71	5,1
6.	1	1	-1	1	160	0,05	0,50	0,47	4,8
7.	1	-1	1	1	90	0,20	0,50	0,8	4,2
8.	1	1	1	1	160	0,20	0,50	0,73	4,1
9.	1	0	0	0	120	0,10	0,22	0,53	2,8
10.	1	0	0	0	120	0,10	0,22	0,48	2,9
11.	1	0	0	0	120	0,10	0,22	0,33	1,8
12.	1	0	0	0	120	0,10	0,22	0,34	1,8
13.	1	-1,41	0	0	80	0,10	0,22	0,42	2,2
14.	1	1,41	0	0	180	0,10	0,22	0,65	3,1
15.	1	0	-1,41	0	120	0,045	0,22	0,27	2,1
16.	1	0	1,41	0	120	0,25	0,22	1,8	8,1
17.	1	0	0	-1,41	120	0,10	0,07	0,6	6,6
18.	1	0	0	1,41	120	0,10	0,70	0,7	3,9
19.	1	-1,41	0	0	80	0,10	0,22	0,47	2,9
20.	1	1,41	0	0	180	0,10	0,22	0,65	3,5
21.	1	0	-1,41	0	120	0,045	0,22	0,33	2,15
22.	1	0	1,41	0	120	0,25	0,22	1,9	8,2
23.	1	0	0	-1,41	120	0,10	0,07	0,73	6,2
24.	1	0	0	1,41	120	0,10	0,70	0,45	2,5

Табела 5.11. План експеримента и резултати мерења, резна плочица тврди метал: CCMW 120404 ($\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 7^\circ$, $\lambda = -6^\circ$).

Ред. број	План - матрица				Променљиви фактори			Резултати мерења	
	x0	x1	x2	x3	v m/min	s mm/o	a mm	Ra μm	Rtm μm
1.	1	-1	-1	-1	90	0,05	0,10	0.61	2,7
2.	1	1	-1	-1	160	0,05	0,10	0.53	2,5
3.	1	-1	1	-1	90	0,20	0,10	1.18	7,1
4.	1	1	1	-1	160	0,20	0,10	1.1	5,7
5.	1	-1	-1	1	90	0,05	0,50	0.86	4,2
6.	1	1	-1	1	160	0,05	0,50	0.98	6,8
7.	1	-1	1	1	90	0,20	0,50	1.28	6,8
8.	1	1	1	1	160	0,20	0,50	1.17	5,8
9.	1	0	0	0	120	0,10	0,22	1,41	6,2
10.	1	0	0	0	120	0,10	0,22	1,42	6,6
11.	1	0	0	0	120	0,10	0,22	1,48	5,1
12.	1	0	0	0	120	0,10	0,22	1,49	6,7
13.	1	-1,41	0	0	80	0,10	0,22	1,19	6,4
14.	1	1,41	0	0	180	0,10	0,22	0,85	4,6
15.	1	0	-1,41	0	120	0,045	0,22	0,81	4,1
16.	1	0	1,41	0	120	0,25	0,22	1,72	6,7
17.	1	0	0	-1,41	120	0,10	0,07	0,89	4,3
18.	1	0	0	1,41	120	0,10	0,70	1,57	5,8
19.	1	-1,41	0	0	80	0,10	0,22	1,77	5,6
20.	1	1,41	0	0	180	0,10	0,22	1,11	6,4
21.	1	0	-1,41	0	120	0,045	0,22	0,63	4,9
22.	1	0	1,41	0	120	0,25	0,22	1,91	7,9
23.	1	0	0	-1,41	120	0,10	0,07	0,78	4,2
24.	1	0	0	1,41	120	0,10	0,70	1,45	7,5

Табела 5.12. План експеримента и резултати мерења, резна плочица CBN: CCMW 120404 ($\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 7^\circ$, $\lambda = -6^\circ$).

Ред. број	План - матрица				Променљиви фактори			Резултати мерења	
	x0	x1	x2	x3	v m/min	s mm/o	a mm	Ra μm	Rtm μm
1.	1	-1	-1	-1	90	0,05	0,10	0,67	3,9
2.	1	1	-1	-1	160	0,05	0,10	0,59	3,4
3.	1	-1	1	-1	90	0,20	0,10	0,79	4,2
4.	1	1	1	-1	160	0,20	0,10	0,69	3,6
5.	1	-1	-1	1	90	0,05	0,50	0,62	3,5
6.	1	1	-1	1	160	0,05	0,50	0,71	4,4
7.	1	-1	1	1	90	0,20	0,50	0,78	3,9
8.	1	1	1	1	160	0,20	0,50	0,69	3,8
9.	1	0	0	0	120	0,10	0,22	0,93	4,7
10.	1	0	0	0	120	0,10	0,22	0,88	3,9
11.	1	0	0	0	120	0,10	0,22	0,83	4,7
12.	1	0	0	0	120	0,10	0,22	0,9	4,4
13.	1	-1,41	0	0	80	0,10	0,22	1,02	5,6
14.	1	1,41	0	0	180	0,10	0,22	0,91	4,6
15.	1	0	-1,41	0	120	0,045	0,22	0,87	4,7
16.	1	0	1,41	0	120	0,25	0,22	1,31	6,7
17.	1	0	0	-1,41	120	0,10	0,07	0,58	3,5
18.	1	0	0	1,41	120	0,10	0,70	0,76	4,2
19.	1	-1,41	0	0	80	0,10	0,22	1,03	5
20.	1	1,41	0	0	180	0,10	0,22	0,92	5
21.	1	0	-1,41	0	120	0,045	0,22	0,54	3,1
22.	1	0	1,41	0	120	0,25	0,22	1,21	6,6
23.	1	0	0	-1,41	120	0,10	0,07	0,59	3,5
24.	1	0	0	1,41	120	0,10	0,70	0,76	4,2

6. АНАЛИЗА РЕЗУЛТАТА

6.1 Моделирање функције храпавости површине

Обрада података по трофакторном плану експеримента другог реда извршена је за два параметра храпавости обрађене површине: Ra - средњу аритметичку храпавост и Rtm - средњу максималну висину неравнина применом софтвера STATISTIKA. Ови параметри (Ra и Rtm) су моделирани као излазне величине на основу улазних величина елемената режима резања (v , s , a), према експерименталним вредности приказаним у табелама 5.9, 5.10, 5.11 и 5.12.

За моделирање параметара храпавости у зависности од услова обраде коришћен је трофакторни модел другог реда у облику:

$$Ra = C_1 v^{p1} s^{p2} a^{p3}$$

односно,

$$Rtm = C_2 v^{r1} s^{r2} a^{r3}$$

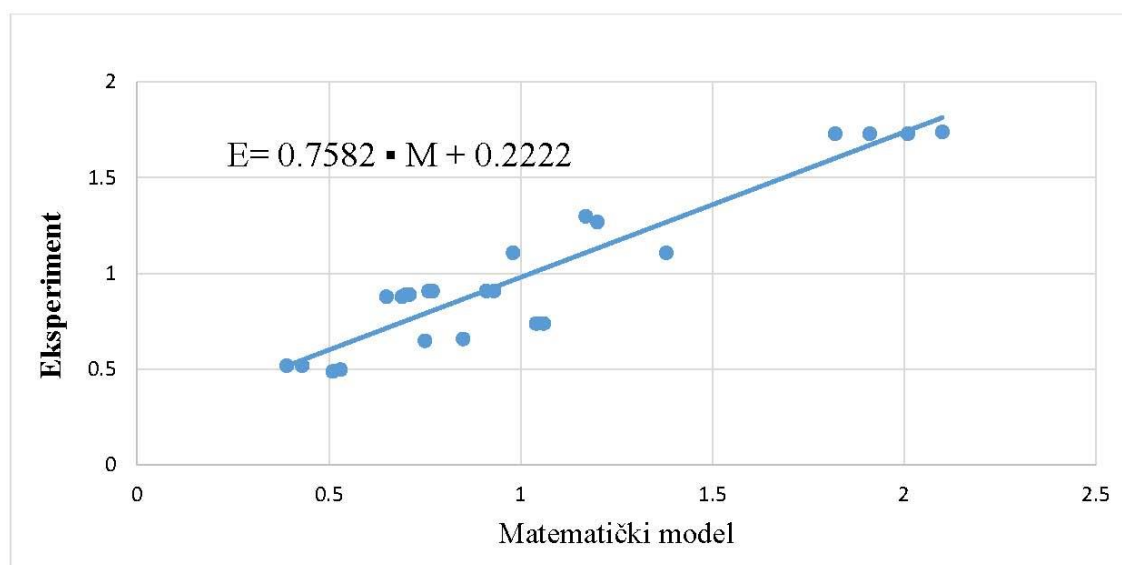
У табели 6.1 су дати подаци о мереним вредностима (табела 5.9) и израчунатим вредностима на основу добијеног математичког модела, за услове обраде резне плочице од ТМ CNMA 160404 са геометријом алата ($\gamma = -6^\circ$, $\alpha = 6^\circ$, $\lambda = -6^\circ$). Nosač pločice је PCLNR 2525M16.

$$Ra = 7.443 v^{-0.0452} s^{0.7056} a^{0.1746}$$

$$Rtm = 20.983 v^{-0.0323} s^{0.43} a^{0.2505}$$

Табела 6.1. Измерене и израчунате вредности за R_a за резну плочицу од тврдог метала CNMA 160404 и носач PCLNR 2525M16.

Редни број	R_a , μm Измерена вредност	R_a , μm Израчуната вредност	R_{tm} , μm Измерена вредност	R_{tm} , μm Израчуната вредност
1.	0.53	0.49	3.2	2.73
2.	0.51	0.48	2.8	2.51
3.	1.2	1.30	4.8	5.44
4.	1.17	1.27	4.8	5.38
5.	0.85	0.65	6.2	5.27
6.	0.75	0.63	6.1	5.13
7.	2.01	1.73	7.6	8.09
8.	2.1	1.68	7.6	8.49
9.	0.93	0.91	4.5	4.21
10.	0.77	0.91	4	4.21
11.	0.91	0.91	4.4	4.21
12.	0.76	0.91	4.3	4.21
13.	0.69	0.92	3.56	3.95
14.	0.71	0.89	4	3.82
15.	0.43	0.52	2.4	3.03
16.	1.91	1.73	8.01	10.03
17.	1.06	0.74	6.6	3.95
18.	0.98	1.11	5.5	12.00
19.	0.65	0.92	3.93	3.95
20.	0.7	0.89	3.5	3.82
21.	0.39	0.52	2.5	3.03
22.	1.82	1.73	8.3	10.03
23.	1.04	0.74	2.8	3.95
24.	1.38	1.11	6.2	12.00

**Слика 6.1** Дијаграм зависности експерименталних и израчунатих вредности за R_a за резну плочицу од тврдог метала CNMA 160404 и носач PCLNR 2525M1

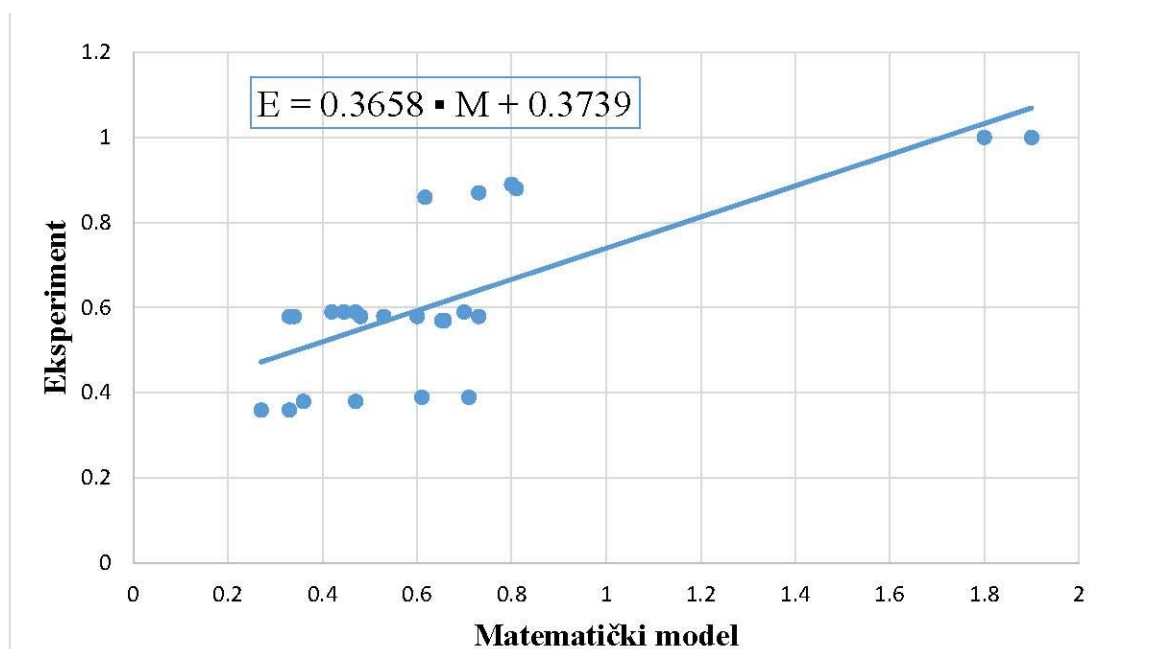
У табели 6.2. су дати подаци о мереним вредностима (табела 5.10) и израчунатим вредностима на основу добијеног математичког модела, за услове обраде резне плочице од CBN CNMA 160404 са геометријом алата ($\gamma = -6^\circ$, $\alpha = 6^\circ$, $\lambda = -6^\circ$). Носач плочице је PCLNR 2525M16.

$$Ra = 2.826 v^{-0.0447} s^{0.59} a^{0.007}$$

$$Rtm = 9.004 v^{-0.3717} s^{0.374} a^{-0.0615}$$

Табела 6.2. Измерене и израчунате вредности за резну плочицу CBN CNMA 160404 и носач PCLNR 2525M16.

Редни број	Ra , мμ Измерена вредност	Ra , мμ Израчуната вредност	Rtm , мμ Измерена вредност	Rtm , мμ Израчуната вредност
1.	0.61	0.39	3.7	2.86
2.	0.36	0.38	2.1	2.80
3.	0.81	0.88	4.5	4.81
4.	0.617	0.86	3.46	4.71
5.	0.71	0.39	5.1	2.59
6.	0.47	0.38	4.8	2.54
7.	0.8	0.89	4.2	4.36
8.	0.73	0.87	4.1	4.26
9.	0.53	0.58	2.8	3.50
10.	0.48	0.58	2.9	3.50
11.	0.33	0.58	1.8	3.50
12.	0.34	0.58	1.8	3.50
13.	0.42	0.59	2.2	3.55
14.	0.658	0.57	3.1	3.45
15.	0.27	0.36	2.1	2.59
16.	1.8	1.00	8.1	4.93
17.	0.6	0.58	6.6	3.75
18.	0.7	0.59	3.9	3.26
19.	0.47	0.59	2.9	3.55
20.	0.652	0.57	3.48	3.45
21.	0.33	0.36	2.15	2.59
22.	1.9	1.00	8.2	4.93
23.	0.73	0.58	6.2	3.75
24.	0.445	0.59	2.48	3.26



Слика 6.2 Дијаграм зависности експерименталних и израчунатих вредности за Ra за резну плочицу CBN CNMA 160404 и носач PCLNR 2525M16

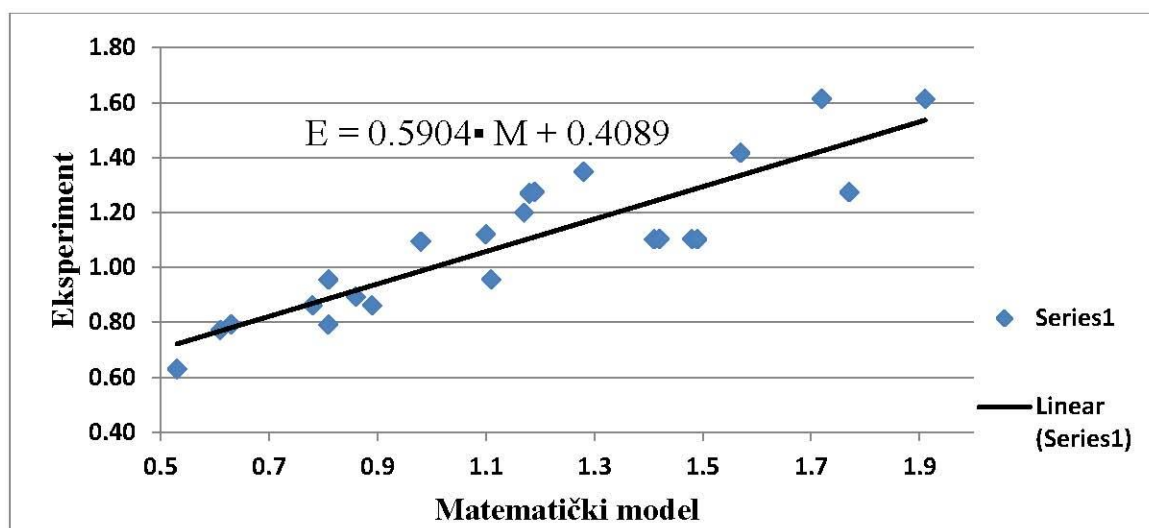
У табели 6.3. су дати подаци о мереним вредностима (табела 5.11) и израчунатим вредностима на основу добијеног математичког модела, за услове обраде резне плочице од тврдог метала CCMW 120404 са геометријом алата ($\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 7^\circ$, $\lambda = -6^\circ$). Носаč плочице је SCLCR 2525M12.

$$Ra = 15.502 v^{-0.284} s^{0.415} a^{0.216}$$

$$Rtm = 19.715 v^{-0.0547} s^{0.314} a^{0.206}$$

Табела 6.3. Измерене и израчунате вредности за резну плочицу од тврдог метала CCMW 120404 и носач SCLCR 2525M12.

Редни број	Ra , мμ Измерена вредност	Ra, мμ Израчуната вредност	Rtm , мμ Измерена вредност	Rtm, мμ Израчуната вредност
1.	0.61	0.76	2.7	3.74
2.	0.53	0.65	2.5	3.62
3.	1.18	1.35	7.1	5.78
4.	1.1	1.15	5.7	5.60
5.	0.86	1.08	4.2	5.21
6.	0.98	0.91	6.8	5.05
7.	1.28	1.91	6.8	8.05
8.	1.17	1.62	5.8	7.81
9.	1.41	1.11	6.2	5.38
10.	1.42	1.11	6.6	5.38
11.	1.48	1.11	5.1	5.38
12.	1.49	1.11	6.7	5.38
13.	0.85	1.24	4.6	4.84
14.	1.19	0.99	6.4	5.99
15.	0.81	0.79	4.1	4.19
16.	1.72	1.62	6.7	7.18
17.	0.89	0.86	4.3	4.25
18.	1.57	1.42	5.8	6.84
19.	1.11	1.24	6.4	4.84
20.	1.77	0.99	5.6	5.99
21.	0.63	0.79	4.9	4.19
22.	1.91	1.62	7.9	7.18
23.	0.78	0.86	4.2	4.25
24.	1.45	1.42	7.5	6.84



Слика 6.3 Дијаграм зависности експерименталних и израчунатих вредности за Ra за резну плочицу од тврдог метала CCMW 120404 и носач SCLCR 2525M12

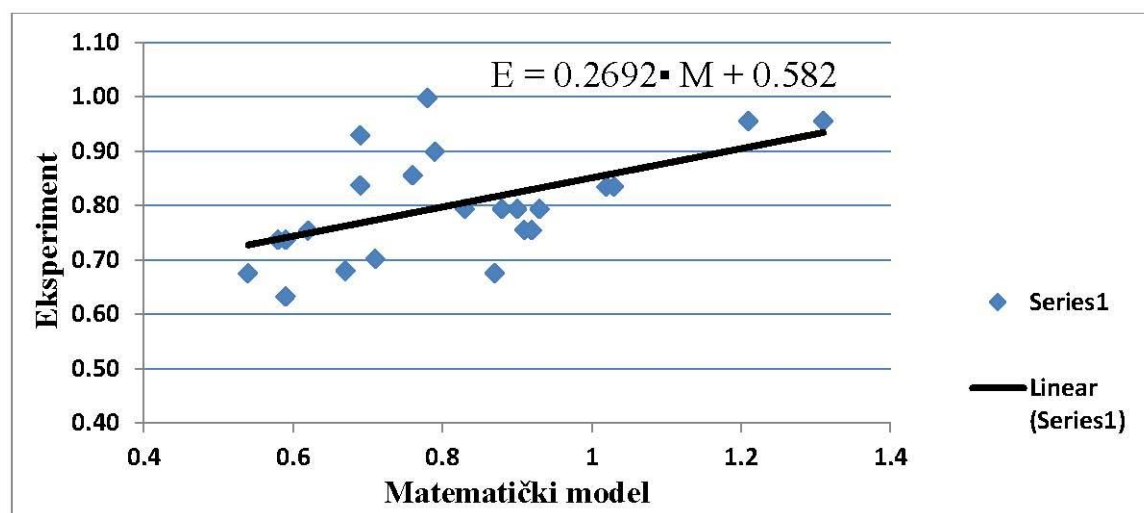
У табели 6.4. су дати подаци о мереним вредностима (табела 5.12) и израчунатим вредностима на основу добијеног математичког модела, за услове обраде резне плочице од CNB CCMW 120404 са геометријом алата ($\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 7^\circ$, $\lambda = -6^\circ$). Носач плочице је SCLCR 2525M12.

$$Ra = 2.526 v^{-0.124} s^{0.202} a^{0.065}$$

$$Rtm = 9.576 v^{-0.08} s^{0.15} a^{0.05}$$

Табела 6.4. Измерене и израчунате вредности за резну плочицу CBN CCMW 120404 и носач SCLCR 2525M12.

Редни број	Ra , мμ Измерена вредност	Ra, мμ Израчуната вредност	Rtm , мμ Измерена вредност	Rtm, мμ Израчуната вредност
1.	0.67	0.68	3.9	3.80
2.	0.59	0.63	3.4	3.63
3.	0.79	0.90	4.2	4.68
4.	0.69	0.84	3.6	4.47
5.	0.62	0.75	3.5	4.12
6.	0.71	0.70	4.4	3.94
7.	0.78	1.00	3.9	5.08
8.	0.69	0.93	3.8	4.85
9.	0.93	0.79	4.7	4.29
10.	0.88	0.79	3.9	4.29
11.	0.83	0.79	4.7	4.29
12.	0.9	0.79	4.4	4.29
13.	1.02	0.83	5.6	4.43
14.	0.91	0.76	4.6	4.16
15.	0.87	0.68	4.7	3.81
16.	1.31	0.96	6.7	4.92
17.	0.58	0.74	3.5	4.05
18.	0.76	0.86	4.2	4.55
19.	1.03	0.83	5	4.43
20.	0.92	0.76	5	4.16
21.	0.54	0.68	3.1	3.81
22.	1.21	0.96	6.6	4.92
23.	0.59	0.74	3.5	4.05
24.	0.76	0.86	4.2	4.55



Слика 6.4 Дијаграм зависности експерименталних и израчунатих вредности за R_a за резну плочицу CBN CCMW 120404 и носач SCLCR 2525M12

6.2 Анализа утицаја услова обраде на храпавост површине

Утицај алатног материјала

Ако се утицај алатног материјала посматра са аспекта обраде наведеног челика са алатом исте геометрије при истим условима обраде, из табела се може уочити да долази до повећања R_a за 0,7-2,0 пута и R_{tm} за 0,6-1,9 пута при обради алатом од тврдог метала ТМ у односу на CBN.

Потребно је истаћи да су ове разлике нарочито изражене при обради стругањем са режимима $v=160$ m/min, $s=0,2$ mm/o и $a=0,5$ mm и са резним плочицама чија је геометрија ($\gamma = 0^\circ$, $\alpha = 7^\circ$, $\lambda = -6^\circ$). Тада је R_a веће 1,8 пута код резних плочица од ТМ у односу на резне плочице од CBN. Код обраде са резним плочицама чија је геометрија ($\gamma = -6^\circ$, $\alpha = 6^\circ$, $\lambda = -6^\circ$) и истим режимима обраде ($v=160$ m/min $s=0,2$ mm/o и $a=0,5$ mm повећање R_a је 2,8 пута код резних плочица од ТМ у односу на резне плочице од CBN.

Овом анализом утицај алатног материјала на храпавост обрађене површине, могуће је закључити да се највећа храпавост обрађене површине се постиже при коришћењу алата од ТМ у оба случаја када је $\gamma=0^\circ$, и када је $\lambda = -6^\circ$ у односу на алат од CBN. Алат од CBN показује боље резултате при обради каљених челика 90MnCrV8 (Č3840) у односу на алат од ТМ јер се постиже нижа храпавост обрађене површине.

Утицај грудног угла алата

Геометрија резног дела алата је фактор са јаким утицајем на постојаност алата и храпавост обрађене површине. Грудни угао утиче на сабијање струготине и његова оптималну вредност је везана за тврдоћу и пластичност материјала. Леђни угао има директан утицај на хабање леђне површине алата а величина нападног угла дефинише дебљину стуготине.

Грудни угао геометријски гледано нема директног утицаја на храпавост обрађене површине, међутим, индиректно са повећањем грудног угла, олакшава се одвођење струготине и тиме се смањују и еластичне деформације обрађене површине што је резултат смањења храпавости.

Утицај грудног угла алата на излазне елементе процеса обраде је анализиран кроз анализу смањења угла $\gamma=0^\circ$ на $\gamma = -6^\circ$, при обради алатом од ТМ и CBN. При обради каљеног

челика 90MnCrV8 алатом од ТМ, при смањењу грудног угла са $\gamma=0^\circ$ на $\gamma=-6^\circ$ настаје повећање храпавости обрађене површине у разматраним условима обраде. За разлику од алата од ТМ, примена алата од CBN доводи до настанка бољег квалитета обрађене површине, а и мање храпавости обрађене површине. На основу резултата приказаних у табелама, може се констатовати се да промена грудног угла са $\gamma=0^\circ$ на $\gamma=-6^\circ$ условљава настанак мање храпавости обрађене површине.

Утицај режима обраде

При коришћењу алата од ТМ са $\gamma=-6^\circ$, израженији је утицај промене дубине резања на промену храпавости обрађене површине. Тако са повећањем дубине резања настаје пораст храпавости обрађене површине.

Корак утиче директно пропорционално на храпавост, тј. повећањем корака повећава се храпавост обрађене површине. Неограничено смањење корака не даје резултате даљег смањења храпавости, него код неких граничних величина корака која зависи од величине радијуса заобљења врха алата, храпавост остаје приближно константна на минималној вредности.

Питање утицаја брзине резања је повезано са настанком наслага на резном алату и њиховом утицају на храпавост обрађене површине. Са повећањем брзине резања мења се и карактер настанка струготине, тј. смањују се пластичне деформације што утиче на смањење храпавости површина. Треба истаћи да неограничено повећање брзине резања не утиче на даље смањење храпавости јер се истовремено повећава хабање алата, чиме се храпавост одржава на приближно константној величини.

7. ЗАКЉУЧАК

Моделирање параметара процеса обраде је сложен задатак, јер је потребно познавати процес обраде, карактеристике машине алатке, карактеристике алата, емпиријске једначине за развој реалних ограничења, познавање математичке и нумеричке технике итд. Процес обраде стругањем је веома сложен процес због утицаја великог броја фактора, као што су високе температуре резања, отпори резања, вибрације, повећан интензитет хабања, итд.

На основу обављених истраживања могу се извести закључци:

- Геометријски посматрано грудни угао алата нема директног утицаја на храпавост обрађене површине, међутим индиректно са повећањем грудног угла, олакшава се одвођење струготине, а тиме се смањује трење и температура на контактним површинама алата, што такође утиче на смање деформације обрађене површине, а то се одражава на смањење храпавости. При обради алатом од CBN се постиже боља храпавост са смањењем грудног угла што се доводи у везу са лакшим одвођењем струготине.
- Посмак при обради директно пропорционално утиче на храпавост, тј. његовим повећањем повећава се храпавост обрађене површине. Утицај посмака је битно повезан са радијусом заобљења алата, а то има велики утицај на дужину контакта и специфично оптерећење сечива,
- Утицај брзине резања је повезан са карактером настанка струготине и брзином кретања струготине. При повећању брзине резања долази до смањења пластичних деформација, односно смањења храпавости, што је показано резултатима испитивања са алатом CBN и ТМ.
- Утицај дубине резања није директно везан за храпавост површине, али јесте индиректно преко формирања наслага на алату, деформације струготине, температуре и отпора резања. Утицај дубине резања је израженији код примене алата од CBN у односу на ТМ.
- На основу добијених резултата могу се одредити услови обраде при којима ће се остварити тражени квалитет обрађене површине.

8. 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] Васиљевић, Б., Недић, Б.; Модификовање површина, Машински факултет, Крагујевац, 2003.
- [5] Metalcutting Technical guide, Turning, Milling, Drilling, Boring, Toolholding; Handbook from SandvikCoromant, 2017.
- [6] Мирфад Тарић, Моделовање процеса обраде стругањем термички обрађеног челика, докторска дисертација, Факултет техничких наука, Нови Сад, 2018.
- [7] http://www.cqm.rs/2014/cd2/pdf/papers/focus_1/13.pdf?fbclid=IwAR08cIKZHAGdfcFPezHtie3thOKd4Y0D1IJBoixfNRvvPbc20quMIwEl0HI приступљено: 12.10.2019.
- [8] <http://lab2u.ru/tverdosplavnye-tokarnye-rezhushchie-plastiny-sandvik-wiper-obespechivaiut-tochenie-s-bolshimi-podachami-bez-poteri-kachestva-obrabotannoi-poverkhnosti-i-be-rukovodstvo-sandvik-coromant-2005-po-metalloobrabotke-str-a47-0047-lab2u.html?fbclid=IwAR0Tq5UJazLjoxCRQlzRvMnbPDcsw-u0Hx8iadvXfiL9V83xjkJ4hcG7nAA> приступљено: 13.10.2019.
- [9] https://bn15maj.weebly.com/uploads/5/6/7/3/56734023/obrada_struganjem-pts.pdf?fbclid=IwAR0BTyEft1ixj8XTZFHEiqhWf-eaQOf591fka1VtV5gdl_G_evN4o-jCcKc приступљено: 13.10.2019.