

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Производне технологије

Број индекса: 44/2014

Лазар З. Борић

Мерење температуре резања

Завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Богдан Недић-ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У овом раду кандидат треба да изврши прикупљање и систематизацију података о мерењима температуре резања. Потребно је дати информације о термодинамици резања, утицајним факторима на процес резања, методама мерења температуре резања. У посебном делу рада дати основе термовизије и изврши експериментална испитивања мерења температуре резања применом термовизијске камере.

На крају рада дати закључак и преглед коришћене литературе.

Препоручена литература :

1. – Миодраг Лазић, обрада метала резањем монографија, Машински факултет Крагујевац 2002.
2. – Јако Станић, Милисав Калајџић, Радован Ковачевић, Мерна техника у технологији обраде метала резањем, Београд 1983.
3. – Драгоје Миликић, Нова метода за мерење температура при обради резањем и могућности њене технолошке и сензорске примене докторска дисертација, Нови Сад 1980.

Крагујевац, септембар 2017.

Ментор:
Проф. др Богдан Недић

Садржај:

1. Увод	4
2. Теоријски аспекти топлоте	5
2.1 Термодинамика резања	5
2.2 Генерисање топлоте	6
2.3 Дистрибуција топлоте	7
2.4 Температура резања	8
2.5 Утицајни фактори на вредност температуре резања	10
3. Методе мерења температуре резања	12
3.1 Калориметријски метод мерења	12
3.2 Термопарови	13
3.3 Метод природних термопарова	13
3.4 Метод вештачких термопарова	14
3.5 Методе засноване на металуршким променама алата и/или обрадка	15
3.6 Метод промене боје оксида струготине	16
3.7 Метод термоосетљивих премаза	16
3.8 Методе засноване на зрачењу (радијацијске методе)	17
4. Основи термовизије	18
4.1 Термовизија	18
4.2 Примена термовизијске камере	19
4.3 Мерење температуре у зони резања	20
5. Експериментална испитивања	22
5.1 Резултати испитивања	24
6. Закључак	39
7. Литература	40

Abstract

Within this work I will explain the process of heat generation, the factors that influence the amount of heat generated during the metal cutting process by cutting, the methods for measuring the cutting temperature, and the use of a thermionic camera. In the practical part of the work, I have done the analysis of video footage from the thermovision camera, as well as the production of graphic dependence of cutting temperatures from the cutting parameters.

Keywords:

temperature, heat, thermovision camera, cutting temperature measurement

Резиме

У оквиру овог рада објашњен је процес настанка топлоте, фактори који утичу на количину топлоте која се генерише у току процеса обраде метала резањем, начини мерења температуре резања, као и примена термовизијске камере. У практичном делу рада извршена је анализа видео снимака са термовизијске камере, као и израда графика зависности температура резања од параметара резања.

Кључне речи:

температура, топлота, термовизијска камера, мерење температуре резања

1. Увод

Топлотне појаве (температура резања, генерисана топлота и сл.) се јављају у ужем и ширем подручју зоне резања и у директној су вези са брзином хабања алата, степеном обрадљивости материјала обратка, постојаношћу алата и многим другим карактеристикама и ефектима процеса обраде. Скоро целокупни рад сила резања претвара се, како показују експериментална испитивања, у топлотну енергију. Генерисана топлота прелази из зоне резања у струготину, алат, обрадак и околну средину при чему се под утицајем дела топлоте која прелази на алат смањује тврдоћа материјала резних елемената алата (омекшавају се ови елементи), што доводи до постепене пластичне деформације резних сечива губљења резне способности алата и његовог затупљења.

Релативно висока температура развијена у танким површинским слојевима изложеним хабању, представља основни негативни утицај на постојаност алата. У овим слојевима под дејством температуре резања могу се појавити отпуштање и структурне промене које изазивају пад тврдоће и појачано хабање алата. Тврда мартензитна структура претходно остварена терничком обрадом брзорезног челика, почиње да се распада на температури 550 - 600 °C на мање тврде структуре као што су троостит и троосто-мартензит па при температури резања 600°C и више у површинским слојевима настаје интензивно хабање алата. Топлота генерисана у зони резања може да загреје разне елементе алата чак и до температуре 800 °C и више.

Дистрибуција генерисане топлоте у обратку алату и струготини, величина температуре на елементима радног дела алата, на обрађеној површини и у струготини, зависи од материјала обратка (механичких и хемијских особина) брзине резања, корака, дубине резања, геометрије алата, средства за хлађење и подмазивање и низа других фактора.

Поред утицаја на постојаност алата генерисана топлота односно температура резања утиче и на производност процеса обраде, на квалитет обрађене површине, тачност обраде и друге излазне ефекте процеса. На пример, величина температуре и облик температурног поља на грудној површини алата најчешће утиче на величину и брзину хабања на овој радној површини резног клина. Исто тако, од величине и распореда температуре у појединим зонама и тачкама обратка зависи чврстоћа и степен деформације обратка, тачност карактеристика квалитета (димензија) обратка и квалитет обрађене површине. Испитивање, мерење и познавање величине и распореда температуре резања у алату су од суштинског значаја јер се на основу ових сазнања могу одредити оптимални услови и режими обраде, квалитет, производност економичност процеса, постојаност алата и сл.

Значај мерне технике и метода мерења температура резања је првенствено у томе што ове методе и технике чине основу експерименталног метода који поред аналитичког представља други најзначајнији метод за истраживање и откривање термодинамичких законитости у ужој и широј зони резања о обрадном систему у целини. Један од крупних цљева, који се постиже познавањем ових законитости јесте оптимизација и адаптивно управљање обрадним процесима.

2. Теоријски аспекти топлоте

Изучавање топлотних појава у зони резања има велики практичан значај. Појава топлоте у зони резања је последица претварања механичке енергије у топлотну. Топлота утиче на: процес стварања струготине, отпоре резања, развој процеса хабања резних алата, пластично деформисање струготине, фактор сабијања струготине као и на структуру и дебљину дефектног слоја.

Квалитет обрађене површине, поузданост предмета обраде и његова трајност, у експлоатацијским условима директно зависе од температуре у току обраде.

Висина температуре у температурном пољу различито утиче на постојаност алата од брзорезног челика и тврдог метала. Алати од тврдог метала губе резне способности при нижим температурама, док алати од брзорезног челика имају ограничену примену при високим температурама. Наиме постоји критична температура изнад које се не могу користити алати од брзорезног челика. Познавајући температурно поље у алату, предмету обраде и струготини могуће је предвидети хлађење и тако умањити неповољан утицај топлотних оптерећења на процес резања.

Познавање температурних поља у процесу резања омогућује правилније сагледавање проблема процеса хабања алата (интензитет хабања) у различитим условима обраде, бољи одабир алатног материјала, обезбеђивање најповољнијих режима обраде као и избор расхладних средстава која се примењују у процесу резања.

2.1 Термодинамика резања

Термодинамиком процеса резања се описује термодинамичко стање процеса са циљем идентификовања термодинамичких појава у процесу, оптимизације и управљања термодинамичким процесима, моделирања, симулација и развоја система аутоматског управљања процесима резања. Применом аналитичких, нумеричких и експерименталних метода обезбеђује се идентификовање облика, локације и распореда топлотних извора и понора, законитости генерисања и дистрибуције топлоте у току резања, промене температуре и температурског поља на резном клину алата, предмету обраде и струготини, метода одређивања количине генерисане топлоте и температура резања, утицаја генерисане топлоте на ефекте процеса резања итд.

Реализацијом наведених задатака стварају се услови за квалитетан развој система моделирања, симулирања и управљања процесима резања, јер топлотне појаве значајно утичу на процес и интензитет хабања резних елемената алата, постојаност алата, квалитет (тачност обраде, храпавост обрађене површине, структуру и дебљину дефектног слоја) и економичност обраде, процес образовања струготине, појаву насlage, силе резања, фактор сабијања струготине и пратеће феномене процеса, развој система управљања итд. [1]

2.2 Генерисање топлоте

Највећи део енергије (више од 99,5%) која се троши у процесу резања на деформисање материјала предмета обраде и савладавање сила трења на контактним површинама резног клина алата (грудној и леђној) се претвара у топлоту:

$$Q = A = F_1 \cdot V, \text{ J}$$

Где су :

Q – генерисана топлота у зони резања

A – рад

F_1 – главни отпор резању

V – брзина резања

Генерисана топлота (Q) је резултат појаве четири топлотна извора у различитим зонама и то у зони:

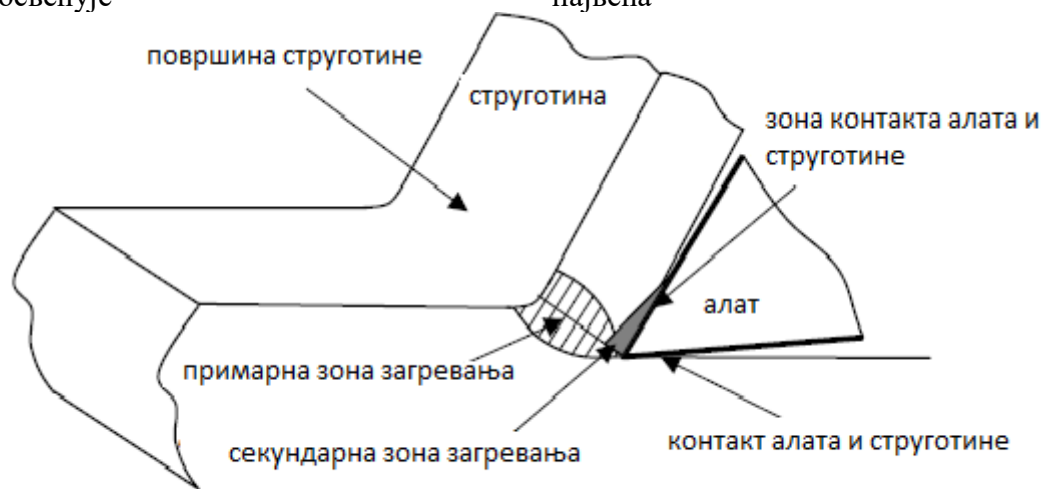
$Q_1 = (75-80) \% Q$ – смицања (примарна зона деформисања), у којој се изводи пластично деформисање материјала предмета обраде и његово претварање у струготину

$Q_2 = (19-22.5) \% Q$ – контакта грудне површине резног клина алата и струготине ширине s

$Q_3 = (2-3.5) \% Q$ – контакта леђне површине резног клина алата и обрађене површине

$Q_4 = \text{око } 0.5 \% Q$ – испод зоне смицања (зона еластичних деформација) [1]

Анализом топлотних извора утврђено је да се највећа количина топлоте генерише у зони деформисања и на контакту грудне површине резног клина алата и струготине. Управо овим областима се у анализи проблематике процеса резања и посвећује највећа пажња.



Слика 2.1 Зоне загревања при обради метала резањем

2.3 Дистрибуција топлоте

Дистрибуција топлоте зависи од поступка обраде, материјала предмета обраде, материјала алата, димензија алата и предмета обраде, брзине резања и топлотне проводљивости материјала обрада и алата. Топлота која се генерише у процесу резања одводи се топлотним понорима.

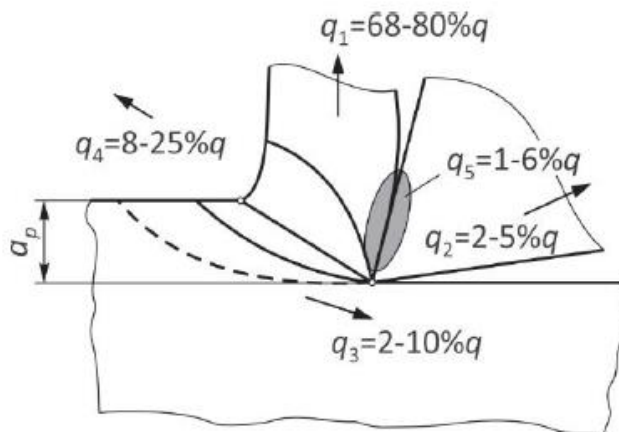
$q_1 = (68-80) \% q$ - **струготина**; одводи већи део топлоте генерисане извором Q_1 и део топлоте од извора Q_2 (топлота значајно загрева струготину)

$q_2 = (2-5) \% q$ - **резни алат**; одводи већи део топлоте генерисане извором Q_2 и део топлоте од извора Q_3

$q_3 = (2-10) \% q$ - **предмет обраде**; одводи топлоту генерисану извором Q_4 и део топлоте од извора Q_2 и Q_3 (топлота доводи до загревања предмета обраде)

$q_4 = (8-25) \% q$ - **околина** (средство за хлађење и подмазивање); одводи део укупне генерисане топлоте. При обради без примене СХП топлота се одводи ваздушним струјањем у околину, а при обради уз примену СХП средством

$q_5 = (1-6) \% q$ - **површински слојеви алата**. Део топлоте се акумулира у површинским слојевима и изазива повећање температуре слојева. [1]



Слика 2.2 Топлотни понори[1]

Струготина одводи највећи део генерисане топлоте. При мањим брзинама резања количина генерисане топлоте која се одводи струготином и предметом обраде је приближно иста. Са повећањем брзине резања поврћава се и количина топлоте која се одводи струготином. Применом савремених поступака обраде високим брзинама резања струготина одводи и до 95% генерисане топлоте тако да су алат и предмет обраде практично хладни.

Познавањем карактера дистрибуције топлоте може се формирати једначина топлотног биланса процеса резања облика:

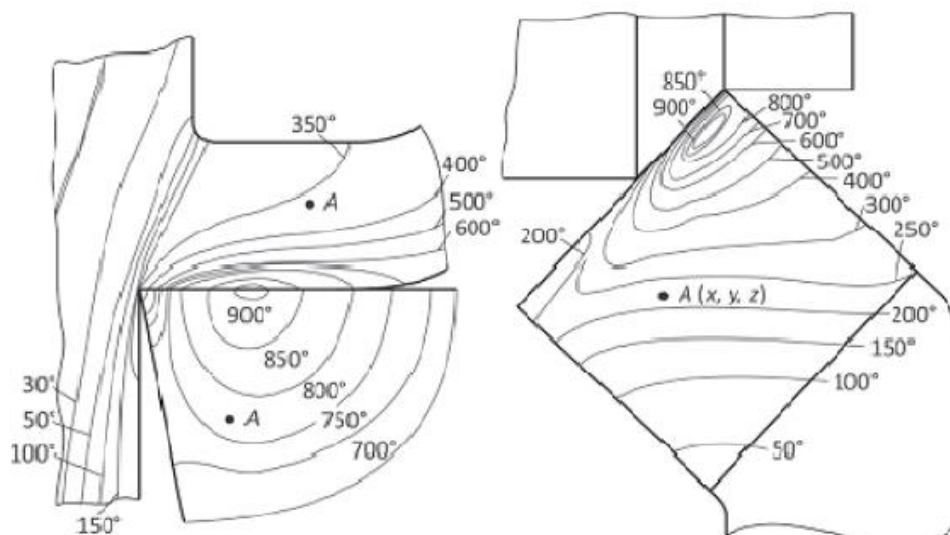
$$Q = Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_5$$



Слика 2.3 Процентни удео у одвођењу топлоте

2.4 Температура резања

Температура која се ствара у зони резања загрева предмет обраде, струготину, резни алат и доводи до појаве карактеристичних температурних поља и температура.



Леђна површина резног клина[1]
клина[1]

Грудна површина резног

Слика 2.4 карактеристична температурна поља резног алата

Са слике 2.4 се јасно види да се различите тачке резног клина алата и струготине налазе на различитим температурама, али је у оба случаја највиша температура на

средици контакта. Температура било које тачке у зони резања зависи од координата те тачке (x, y, z) и времена (t) за нестационарне услове:

$$\theta = f(x, y, z, t),$$

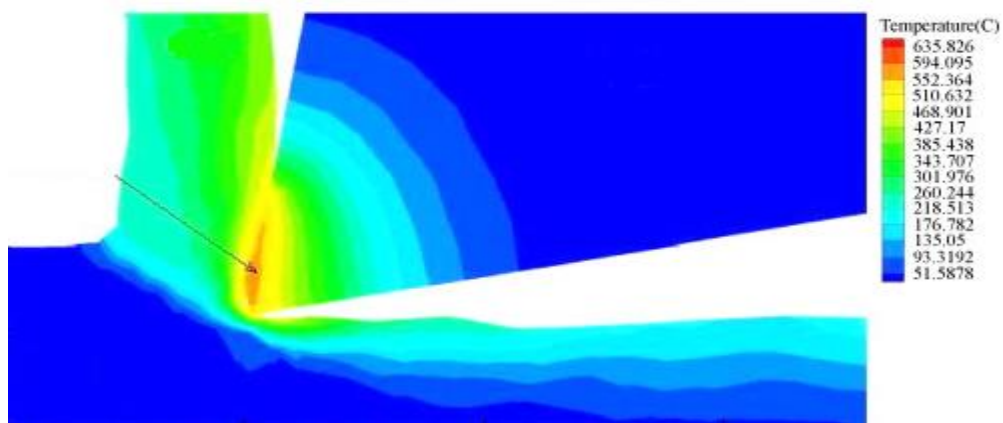
Док је за стационарне услове обраде температура неке тачке:

$$\theta = f(x, y, z),$$

Тачке са истом температуром повезане су изотермама (криве константне температуре)

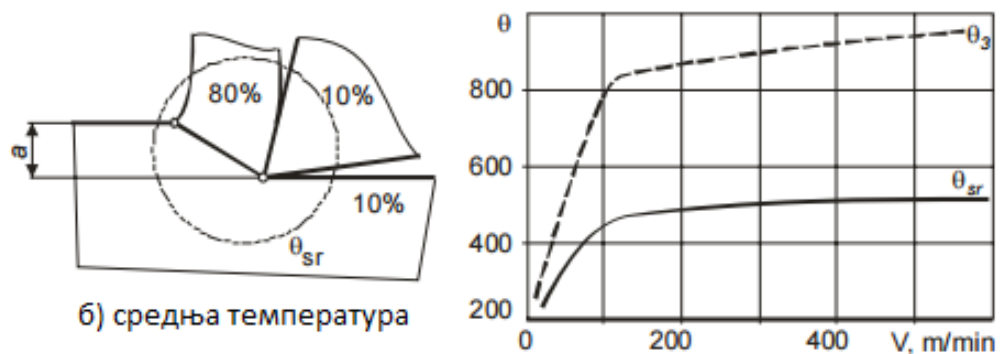
За сагледавање процеса обраде метала резањем, поред температуре у било којој тачки, значајне су још и:

Температуре у карактеристичним тачкама зоне резања



Слика 2.5 Температура у карактеристичним тачкама

Средња температура резања



Слика 2.6 Средња температура резања[1]

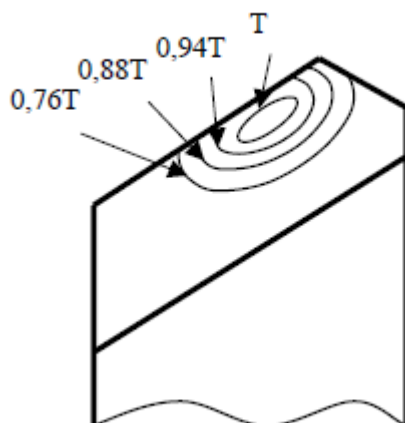
Температура θ_1 настаје као последица лома материјала односно раскидања структуре основног материјала предмета обраде: Код жилавих материјала проузрокована је сабијањем струготине и расте са порастом брзине резања. Због чега се често и назива температуром брзине резања.

Температура отпора резања θ_2 настаје у корену струготине као резултат сабијања и деформисања струготине. У мањој мери зависи од брзине резања.

Температуре θ_3 је температура контакта површине струготине и грудне површине резног клина алата. Свој максимум достиже на половини контакта.

На контактної површини леђне површине резног клина алата и обрађене површине предмета обраде јавља се контактна температура θ_4 .

Температура зоне резања се назива средњом температуром резања θ_{sr} [1]



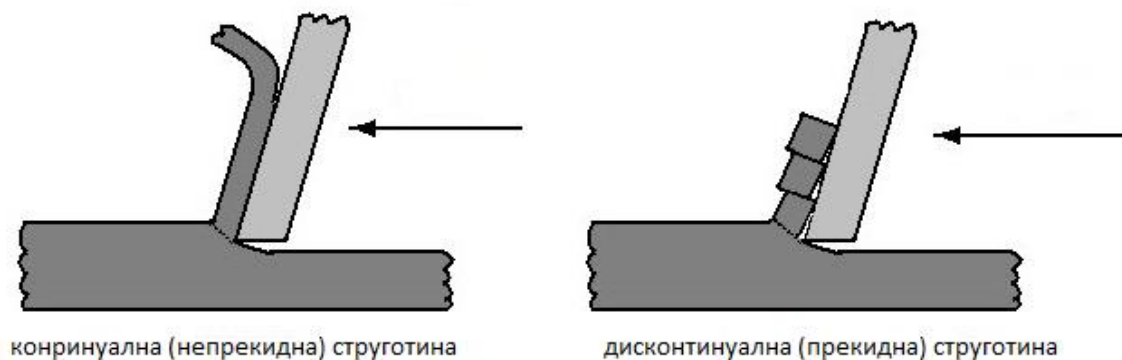
Слика 2.7 распоред температура на резном алату

На слици 2.7 приказана је промена температуре резања различитих тачака грудне површине резног клина алата. Температура резања је у директној вези са интензитетом одвођења топлоте и снагом топлотних извора. Приликом обраде истог материјала расте са порастом дубине резања и корака, као и са повећањем брзине резања.

2.5 Утицајни фактори на вредност температуре резања

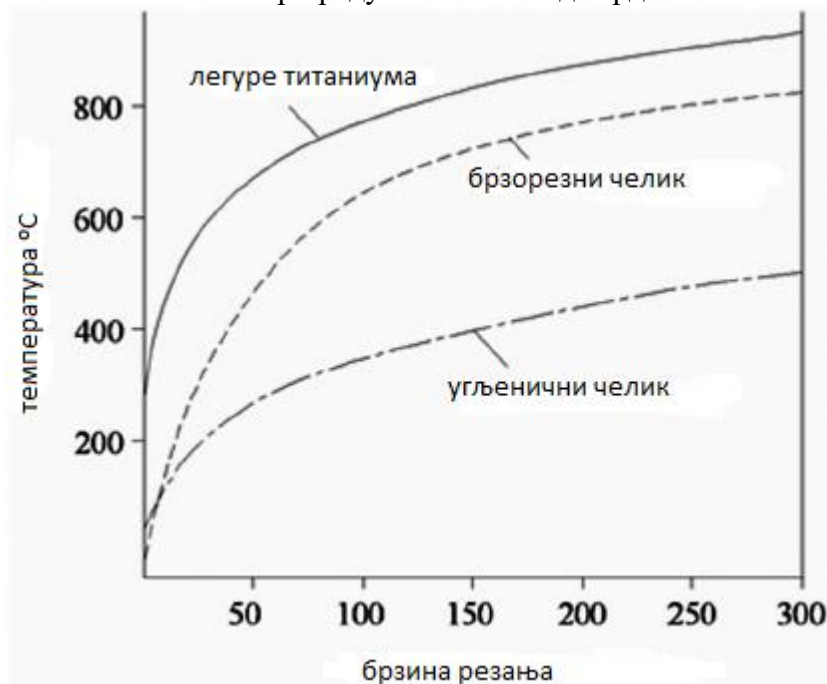
Фактори који утичу на вредност температуре резања су пре свега материјал алата, материјал предмета обраде, геометрија алата, степен похабаности алата, режим обраде, примена средстава за хлађење и подмазивање.

Утицај материјала алата и предмета обраде зависи од механичких и топлотних особина материјала. Температура резања кртих материјала је нижа, крти материјали се мање деформишу и имају мању дужину контакта струготине по грудној површини алата. Такође, температура је нижа при обради обојених метала (материјала са великом топлотном проводљивошћу) него при обради челика. Повећањем тврдоће, чврстоће и жилавости материјала, повећава се и температура резања.



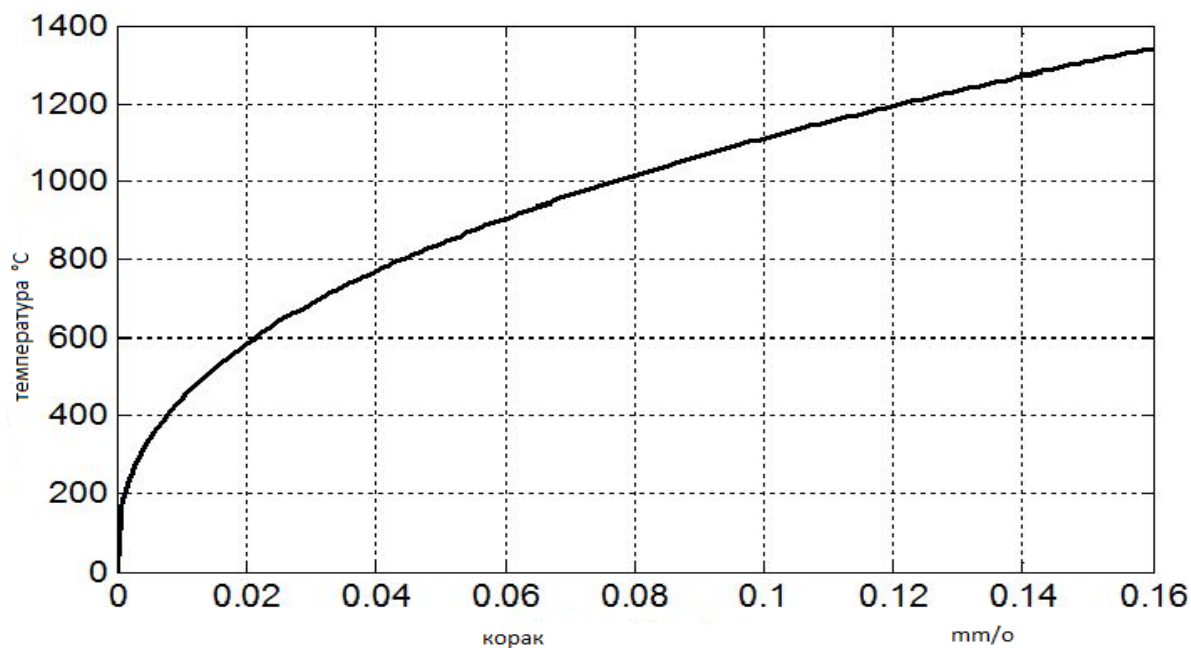
Слика 2.8 облик струготине у зависности од врсте материјала обраатка

Повећањем топлотне проводљивости алатног материјала смањује се температура резања, тако је и температура приликом резања алатима од брзорезног челика нижа него при раду са алатима од тврдог метала.



Слика 2.9 зависност температуре од брзине резања

Брзина резања је значајан параметар режима обраде метала резањем. Утицај брзине је израженији при мањим брзинама резања. Са повећањем брзине резања повећава се и брзина клизања струготине по резном алату, самим тим повећава се и температура резања. По достизању максималне вредности, при промени брзине резања, температура опада, што ствара могућности за развој високобрзинских(високопродуктивних) поступака обраде.



Слика 2.10 зависност температуре резања од корака

3. Методе мерења температуре резања

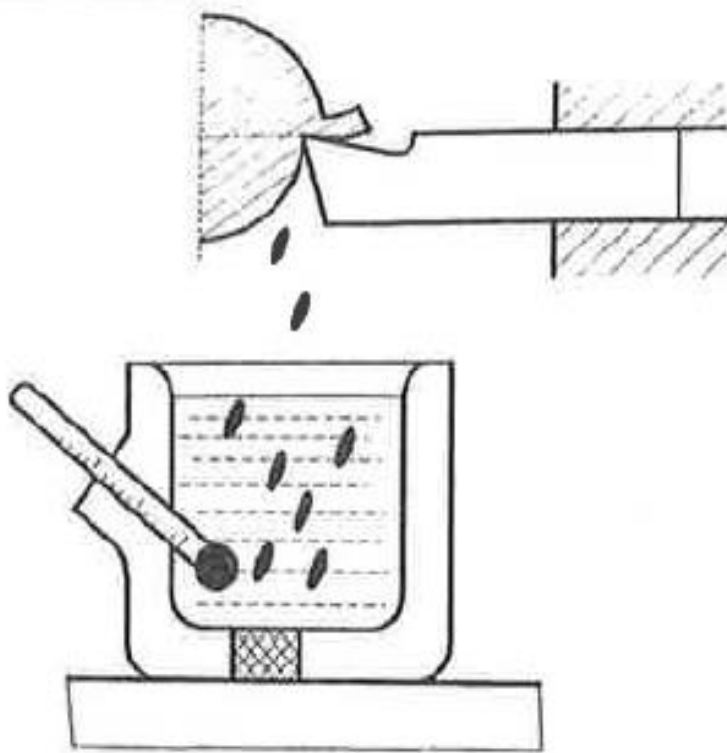
Постоји велики број различитих метода за мерење температуре при резању. Све методе мерења температуре користе различите физичке или хемијске ефекте везане за топлоту односно температуре чије су законитости промене познате.

Постоји много критеријума за поделу метода мерења температуре, а најважнији су : предмет мерења, место мерења, начин мерења и тип сензора.

3.1 Калориметријски метод мерења

Прва истраживања топлотних појава при резању имала су за циљ одредђивање укупне количине генерисане топлоте и њене дистрибуције на алат и обрадак. За ова истраживања коришћен је калориметријски метод. Калориметријски метод се користи за мерење средње температуре струготине коју је она имала у тренутку пада у калориметар. Такође овом методом се могу утврдити и парцијалне топлоте које прелазе у струготину, алат и обрадак.

При мерењу средње температуре струготине калориметар се поставља испод алата и предмета обраде тако да одрезана струготина пада директно у калориметар.



Слика 3.1 Калориметарски метод [1]

Помоћу калориметарског метода се такође може испитати и обрадљивост појединих материјала при константној брзини резања.

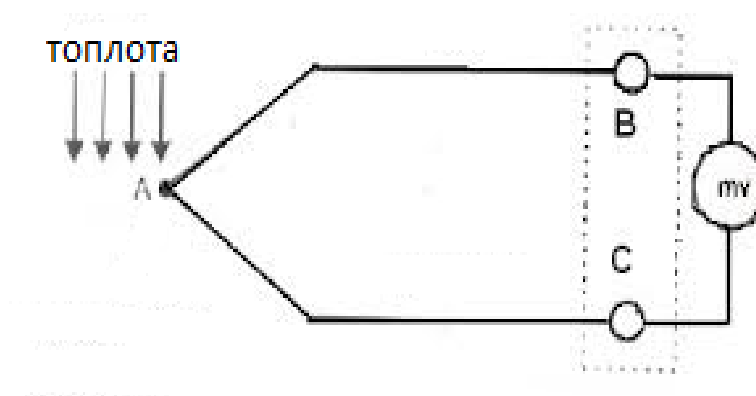
Недостатак овог метода је то што се помоћу њега не могу мерити температуре у тачки или њеној ужој околини, већ само средње температуре резања.

3.2 Термопарови

Термопарови су веома често коришћени при мерењу температуре, с обзиром на њихову поузданост, покривање широког дијапазона температура, а релативно су јефтине. Када се два различита метала доведу у контакт, тачка додира производи мали напон, који је сразмеран разлици температуре метала који су у додиру. Ако за ова два метала изаберемо алат и обрадак овај термопар назива се „термопар алат-обрадак”. Овакви термопарови користе се за мерење температуре на граничној површини између алата и струготине (обратка). Зона резања формира тзв. „врући спој”, који производи електромоторну силу, док алат и/или обрадак формирају тзв. „хладни спој”. Овом техником углавном се мери средња температура целокупне додирне површине. Краткотрајна колебања температуре на овај начин не могу се идентификовати. У случају да се јављају насlage на резном клину алата при стругању, јавља се грешка при мерењу температуре на овакав начин. Мане су још и те што се не може користити средство за хлађење и подмазивање, што и алат и обрадак морају да буду од електро проводљивих материјала и што је неопходна калибрација система при свакој новој поставци. Такође постоји и ограниченост коришћења овог метода у случајевима да је обрадак од лако топлљивог материјала.

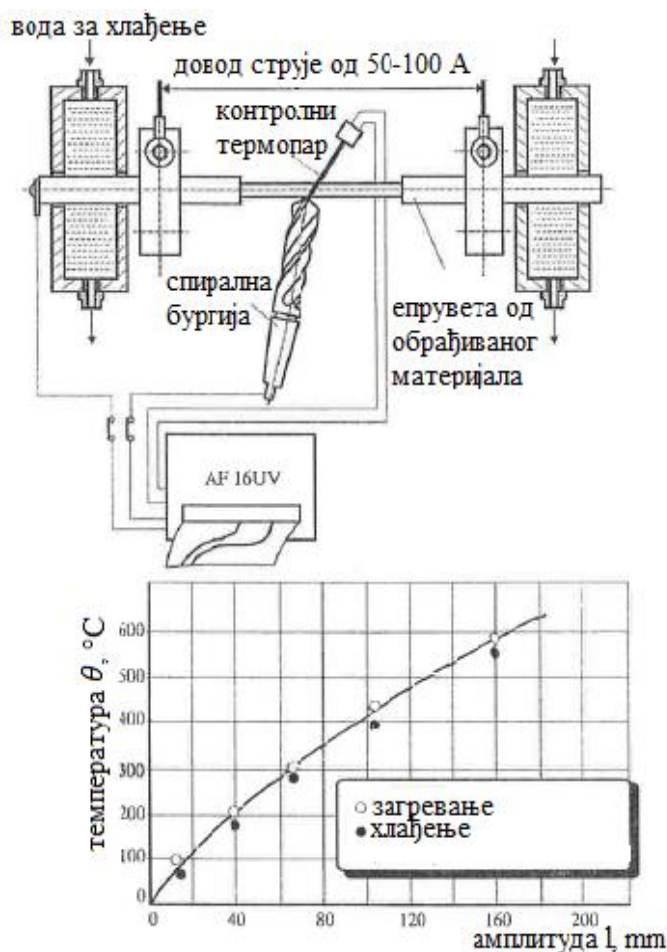
3.3 Метод природних термопарова

Метод природних термопарова сврстава се у тачније и најчешће коришћене контактне методе мерења температуре резања. За овај метод искотишћен је природни феномен да се на спојевима два различита метала, који чине затворено електрично коло, када се налазе на различитим температурама услед кретања електрона из једног проводника у други појавити електромоторна сила. Ова електро моторна сила има мале вредности (у милivolтима). Генерисана електромоторна сила директно зависи од разлике температура споја, наиме уколико је разлика температура већа, биће већа и електро моторна сила у колу и обрнуто.



Слика 3.2 пример термопара

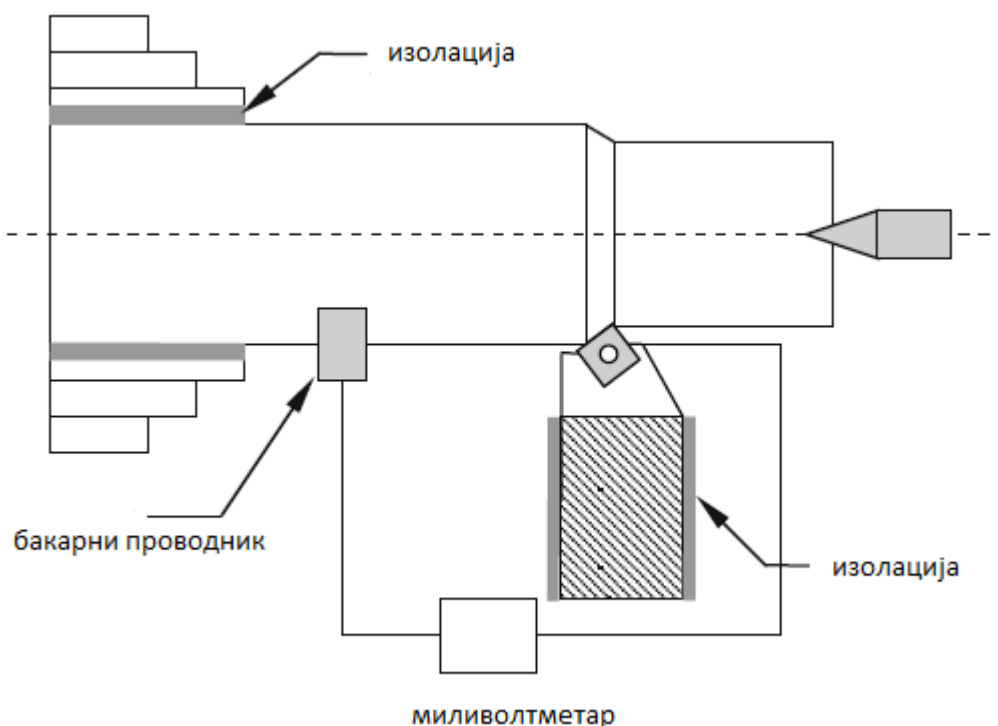
Баждарење природног термопара се изводи уз помоћ вештачког термопара, када су оба постављена у одговарајућу средину (раствор), који се загрева. Истовременим праћењем показивања оба термопара формира се крива баждарења природног термопара.



Слика 3.3 шема уређаја за баждарење природних термопарова [1]

3.4 Метод вештачких термопарова

Ова метода се користи и дан данас као врло тачна метода за мерење температура на алату и предмету обраде. Користи се за мерење температуре у тачки или у ужој околини тачке. Ово је веома значајно јер омогућује испитивање температурног поља алата и обратка у зависности од режима обраде. Постављање вештачког термопара подразумева да се у претходно избушени отвор пречника око 0,3мм до тачке у којој се мери температура постави вештачки термопар израђен од два различита, међусобно изолована материјала који су спојени на врху. Спој се налази на месту чија се температура мери, док су други крајеви метала повезани на потенциометар. Материјали за израду вештачког термопара су најчешће гвожђе-константан, месинг-константан, платина-иридијум. Одређивање температуре резања подразумева превођење показивања потенциометра у степене на основу дијаграма баждарења.



Слика 3.4 термопар на стругу

Недостаци ове методе јесу релативно сложен поступак баждарења, овом методом није могуће мерење температуре граничних површина (контакт алата и струготине, контакт алата и обратка) јер је технолошки јако тешко постављање термопара баш на ове површине, после постављања термопара у близини граничних површина, на алату је могуће извести само једно (највише два) оштрења.

Прецизнији метод мерења од вештачког термопара јесте полувештачки термопар. Њега чини сам алат, док је други елемент метална жица (проводник), најчешће од константана која се изолована увлачи у отвор на алату и доводи до површине чија се температура мери. Повезивањем проводника који је повезан са алатом и жице од константана са потенциометром омогућава се одређивање температуре на основу дијаграма баждарења, као и код осталих термопарова.

3.5 Методе засноване на металуршким променама алата и/или обратка

При коришћењу метода који користе металуршке промене алата и/или обратка мерење температуре подразумева анализу микроструктуре и/или микротврдоће области чија се температура мери. За мерење температуре овом методом такође су потребне криве калибрације, којима се представља зависност тврдоће материјала у функцији познатих температура и времена загревања. Тачност оваквог метода је у рангу $\pm 25^\circ$

3.6 Метод промене боје оксида струготине

Врло танки оксиди који се образују на струготини мењају своју боју у току резања. Боја оксида зависи од температуре струготине, одређеној боји одговара одређена температура (или ужи температурни интервал). Како боја оксида струготине не зависи само од температуре, овом методом се може извести само груба процена висине температуре струготине. Уколико се у процесу резања користе средства за хлађење и подмазивање, ова метода се не може применити.



Слика 3.5 промена боје металног оксида услед повећања температуре

3.7 Метод термоосетљивих премаза

Код овог метода се користе термоосетљиви премази који су заправо хемијска једињења са особином да мењају своју првобитну боју након достизања одговарајуће температуре. На пример кадмијум хидроксид $\text{Cd}(\text{OH})_2$ на собној температури има белу боју, док рецимо добија мрку боју при постизању температуре од 250°C .

Термоосетљиви танки премази се наносе на резне елементе алата, па се на основу њихове боје може утврдити температура на резним алатима. Користе се за мерење температуре у границама од 45 до 740°C , при чему је се јавља грешка мерења у границама до 10°C .

Избор премаза зависи од температуре која се мери, карактеристика топлотне проводљивости алата, дужине времена у раду итд.

После наношења премаз се врло чврсто везује за алат уз особину да у року од неколико секунди мења своју боју под утицајем температуре. Боја коју премаз добије задржава се и после хлађења алата.

Недостатак ове методе је тај што премаз, без обзира на његову дебљину мења стварне услове контакта између алата и предмета обраде што резултира додатним грешкама у мерењу.

3.8 Методе засноване на зрачењу (радијацијске методе)

Ове методе обухватају методе којима се температура тачке или целе површине мери без директног контакта инструмента и објекта чија се температура мери. При мерењу температуре тачке користи се инфрацрвени пирометар, док се при мерењу температуре поља, одн. одређене површине, (тзв. Инфрацрвена термографија) користе специјалне термовизијске камере које су осетљиве на зрачење тела које се налази на одређеној температури. Методе засноване на зрачењу имају низ предности над методама заснованим на провођењу, међу којима су најзначајније: бржи одзив система, односно могућност регистровања скоковитих промена температуре, нема негативног утицаја на материјал објекта и алат, нема физичког контакта система и објекта чије се температура мери, могућност мерења температуре објекта којима је тешко прићи итд...

При мерењу температуре резања инфрацрвеном камером неповољна је околност та што постоји могућност да струготина својим положајем заклони област чија се температура мери. Такође се у мане оваквог начина мерења температуре може сврстати чињеница да је за мерење неопходно познавање тачне вредности коефицијента емисије површине. У циљу избегавања овог проблема површина која се обрађује може се претходно премазати слојем чији је коефицијент емисије познат. Коефицијент емисије зависи од чистоће површине чија се температура мери, постојања слоја који је оксидирао, таласне дужине итд, и сваки од ових фактора утицаће на поремећаје у добијању валидних резултата.

4. Основи термовизије

4.1 Термовизија

Сва тела са температуром изнад апсолутне нуле емитују енергију у виду електромагнетних таласа у области инфрацрвеног зрачења које се кроз околни простор креће брзином светлости. Интензитет инфрацрвеног зрачења неког тела зависи од његове површинске температуре. Овај физички феномен искоришћен је за развијање безконтактних метода за праћење термичког стања.



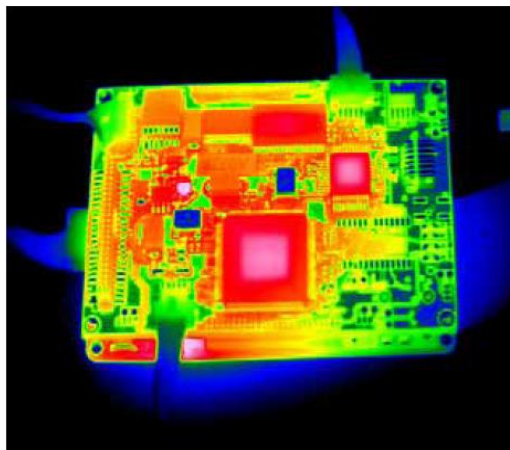
Слика 4.1 Термовизијска камера

Термовизијски уређаји су настали због потребе повећања ефикасности при осматрању ноћу, као и у условима смањене дневне видљивости или лоших временских прилика. Термовизија представља снимање топлоте објеката. Сва тела емитују инфрацрвено зрачење (чак и лед). Праћење емитовања овог зрачења нашло је широку примену у праћењу различитих појава у различитим гранама индустрије. Камере за термовизијско снимање су по спољашњем изгледу сличне ЦЦТВ камерама, али су посебно прилагођене да „виде“ онај део инфрацрвеног спектра који је невидљив за људско око. Класичним камерама је потребна светлост како би давале слику.

Инфрацрвене камере, могу да региструју минималне разлике у температури и да их конвертују у јасну термалну слику, на којој се могу уочити и најситнији детаљи. За разлику од других технологија као што су појачивачи осветљења, којима је потребна барем мала количина светлости да би дали слику, термална технологија може да направи слику и у потпуном мраку. Прва инфрацрвена камера за комерцијалну употребу развијена је 1965. Коришћена је за испитивање струјних водова.

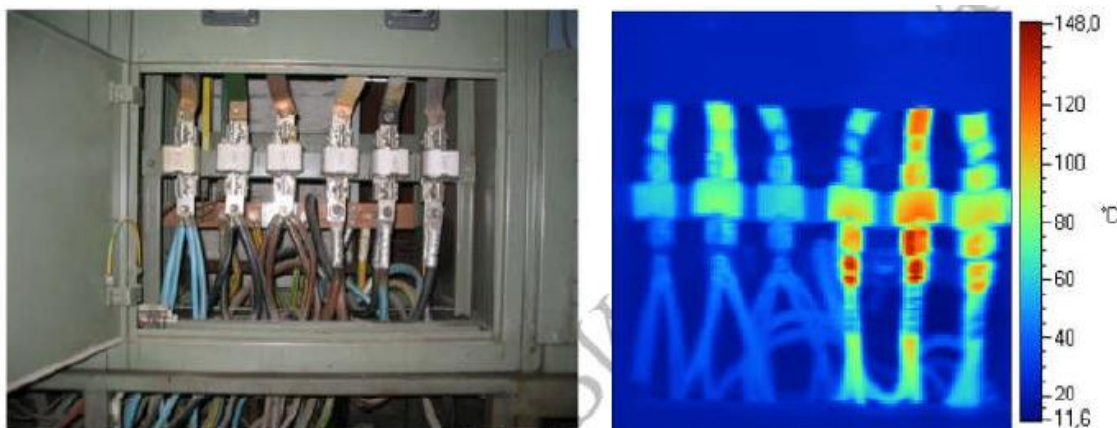
4.2 Примена термовизијске камере

Због способности да види веома мале објекте неправилног облика и могућности да безконтактно одређује температуру као и термичке карактеристике неког предмета, инфрацрвене камере су стекле велику примену како у производњи тако и у области дијагностике у електронској индустрији. Инфрацрвене камере омогућавају брзо идентификовање проблема у електричним водовима, као и на другим местима на електронској инсталацији, много пре него што се било какви проблеми открију у процесу експлоатације производа. На овај начин оне повећавају ефикасност производње, смањују трошкове одржавања, и повећавају поузданост производне опреме.



Слика 4.2 Примена термалне камере у дијагностици електронских уређаја

Многи технички системи захтевају пажљиво праћење термичког стања у ком се налазе. Примена термалних камера за праћење тих температура, као и за превенцију од електричних и механичких кварова, искључивањем традиционалног превентивног одржавања, постиже се већи квалитет производа и смањују се трошкови јер се избегавају кварови.



Слика 4.3 Мерење температуре електронских компоненти

На слици је приказано прекомерно грејање проузроковано великом отпорношћу, или прекомерном јачином струје, што проузрокује много проблема у електроенергетским системима. Инфрацрвена термографија нам омогућује да видимо ове невидљиве термичке знаке предстојећих оштећења, пре него што струјно коло постане толико топло да се догоди испад из рада, или експлозија.

Термална камера игра значајну улогу у повећању ефикасности градње и ојачању конструкција. Заснована на механизму да површинска температура варира на површини

грађевине показујући проблеме у конструкцији, термичке мостове, садржаје влаге и пролазе за ваздух, инфрацрвена термографија чини горе поменуте послове веома једноставним јер је лака детекција губитака, загревање, или хлађење, због лоше конструкције, недостајуће или неодговарајуће изолације и продора влаге.

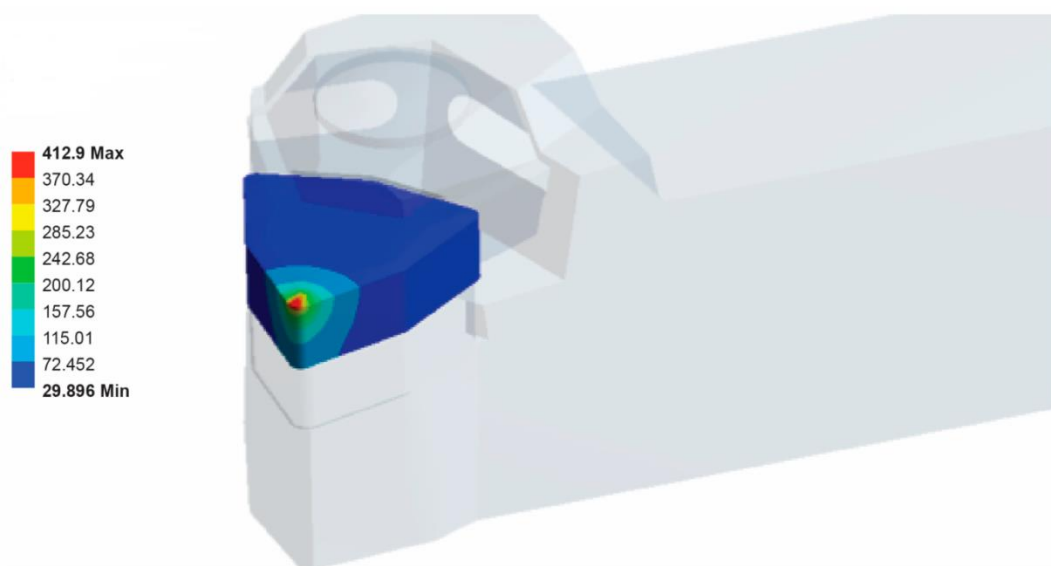


Слика 4.4 Примена термовизијске камере у грађевинарству

4.3 Мерење температуре у зони резања

Инфрацрвена термографија представља коришћење ИЦ термовизијске камере у циљу мерења и приказивања термалне енергије коју неко тело зрачи.

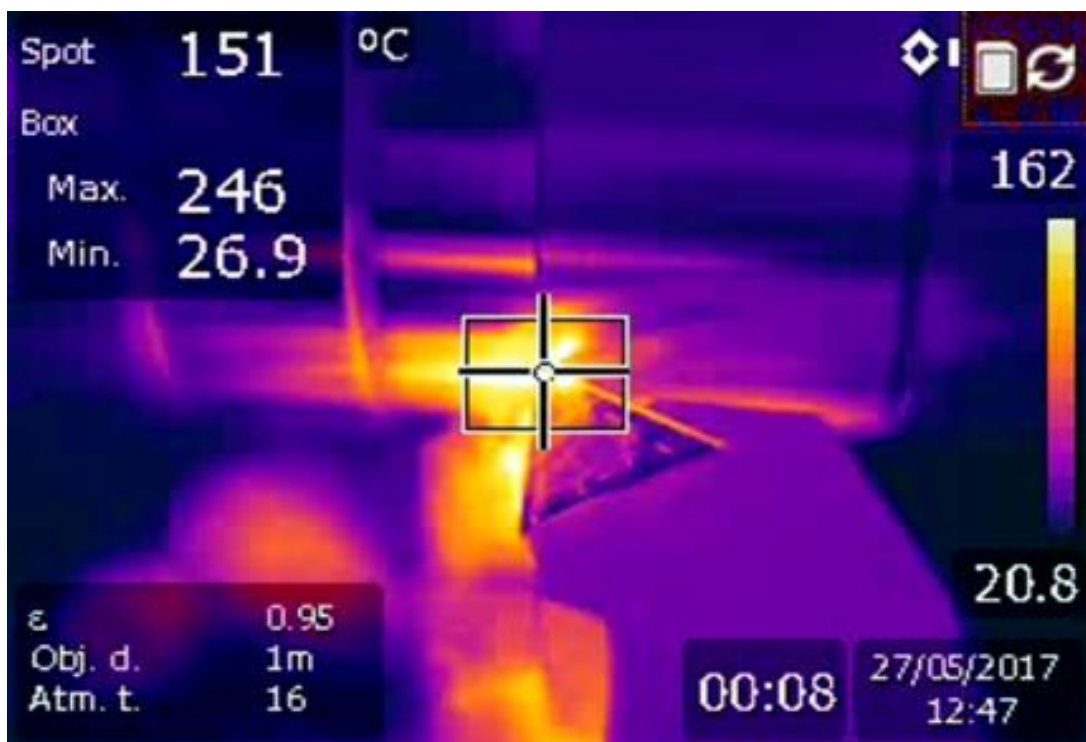
На почетку процеса стругања, температура растедок не достигне неку максиману вредност око које варира за време процеса резања. Стога је неопходно извршити мерење након извесног времена по почетку обраде. Добијени термограми чувају се на меморијској картици или се директно прослеђују повезаном рачунару, где се касније анализирају. Максимална температура која се јавља на површини струготине је меродавни параметар у оваквој поставци експеримента.



Слика 4.5 температурне зоне на резном алату

За мерење температуре у зони резања коришћена је специјална термовизијска камера која је осетљива на зрачење тела које се налази на одређеној температури. Ова метода мерења температуре изабрана је због предности над осталим методама јер има могућност регистровања скоковитих промена температуре, нема физичког контакта система и објекта чија се температура мери, нема негативног утицаја на материјал обратка и алата и може се мерити температура објекта којима је тешко прићи итд. Неповољна околност ове методе мерења је што струготина својим положајем може да закљони област чија се температура мери.

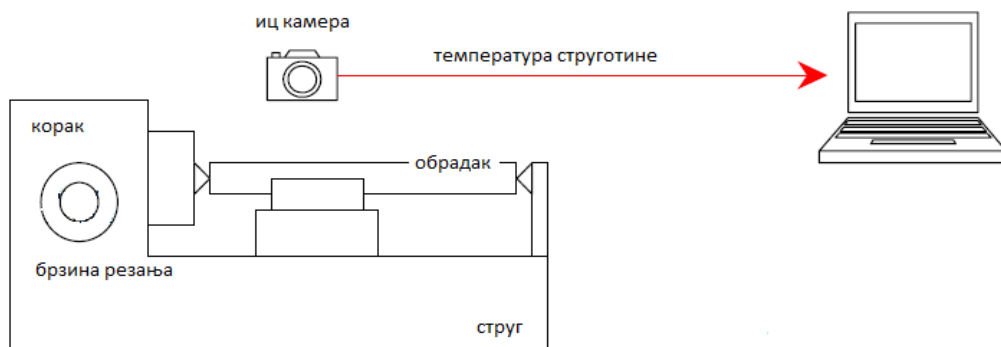
Када се за мерење температуре користи термовизијска камера неопходно је познавање тачне вредности коефицијента емисивности површине објекта. Емисивност или коефицијент емисије је појам који представља способност материјала да емитује топлотно зрачење. Сваки материјал има другу емисивност, а одређивање тачне емисивности неког материјала је веома тешко. Коефицијент емисивности зависи од чистоће површине чија се температура мери, постојања слоја који је оксидирао, таласне дужине и сваки од ових фактора утиче на поремећаје у добијању валидних резултата. Вредност коефицијента емисивности се креће од 0,00 (ништа не емитује) до 1,00 (потпуно емитује). У циљу избегавања овог проблема површина која се обрађује може се претходно премазати слојем чији је коефицијент емисивности познат.



Слика 4.6 Мерење температуре у зони резања

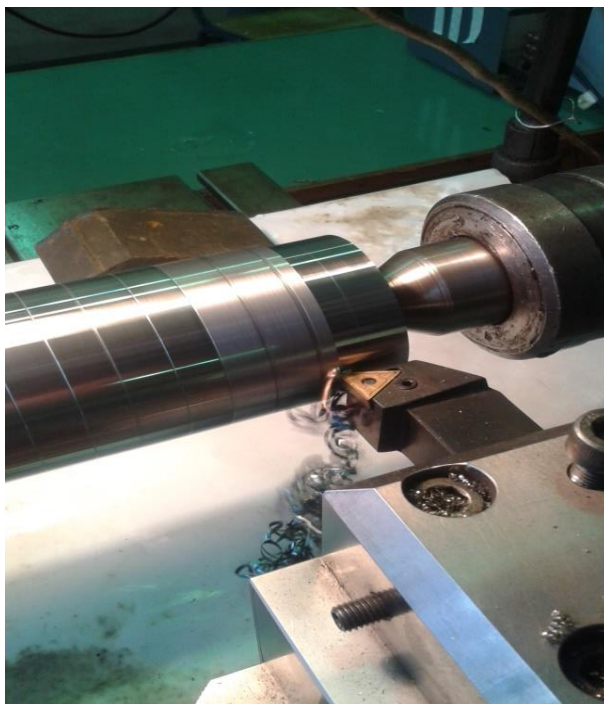
5. Експериментална испитивања

За експериментална испитивања temperature razanja pri obradi struganjem u Laboratoriji za obradu metala rezanjem na Fakultetu inženjerskih nauka Univerziteta u Kragujevcu formiran je odgovarajući merni lanac sa termovizijskom kamerom.



Слика 5.1 шематски приказ процеса резања

Испитивања су вршена при обради стругањем предмета обраде од 30CrNiMo8 (Č5432) пречника 70 mm, дужине 400 mm, у побољшаном стању тврдоће 40 HRC, на универзалном стругу D-480, Првомајска, снаге 10 KW, без присуства средства за хлађење и подмазивање.



Слика 5.2 процес резања

Стругарски нож - Т
PTGNR 2525M16 „CORUN“ Ужице

Плочица:

TNMM 160404-СМ ознака плочице

4С15 ознака квалитета превлаке

Р15 ознака квалитета тврдог метала

„CORUN“ Ужице



Слика 5.3 плочица TNMM 160404-СМ

Снимање температуре током експеримента спроведено је посредством термовизијске камере FLIR E50 приказане на слици



Слика 5.4 Термовизијска камера FLIR E50

Карактеристике термовизијске камере FLIR E50 су:

Термовизијска камера (825 g) за кориснике у индустрији са приказом видне слике, инфрацрвене (ИР) слике, слике у начину "слика у слици" (Picture in picture) и слике у начину температурног преливања (Fusion)

240×180 тачкасти детектор (43 200 тачака)

Термална осетљивост <0,05°C

Објектив просторног угла 25°×19°

Опција мењања објектива на терену са опцијским објективима 15° или 45°

Уграђена 3.1М дигитална камера са LED светлима за осветљење тамних простора

Осветљен, колор, велик LCD екран на додир, дијагонале 9 cm (3,5"), резолуције 320 × 240 пиксела

Фреквенција освежавања приказа слике 60Hz

Мерно подручје температуре (-20 °C до 650 °C), тачност ±2°C или ±2% од читавања

Ручни фокус, ласерски маркер

4x дигитални зум

Мерни принцип: три покретне тачке и три области (hot/cold маркери унутар области)

Израчунавање температурне разлике ΔT

Записивач звучног коментара за сваки снимак и могућност ручног уноса коментара преко дисплеја осетљивог на додир

Снимање видео записа у меморију камере (MPEG4)

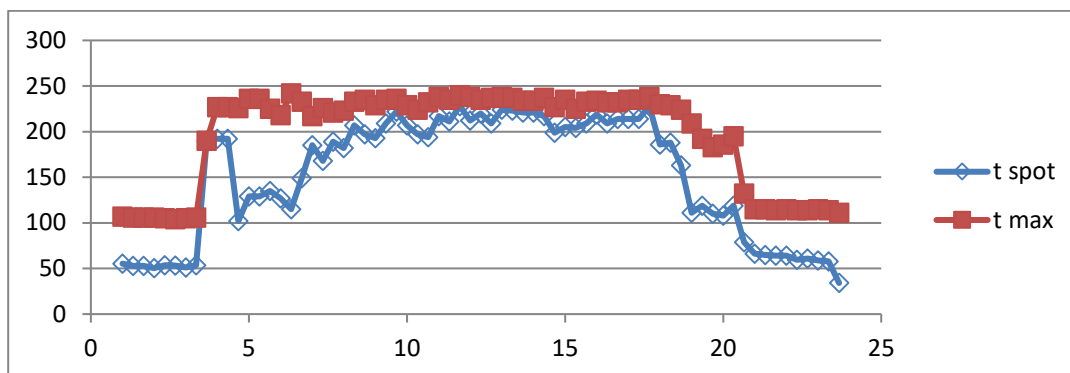
Видео излаз (MPEG4) [9]

5.1 Резултати испитивања

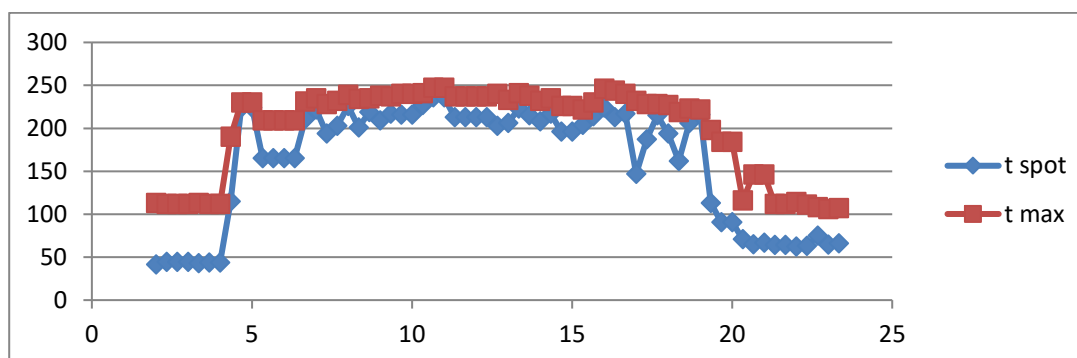
Након експерименталног испитивања у различитим условима обраде резањем, према плану експеримента, вршена је обрада снимљених видео записа. Анализом видео записа, коришћењем апликација урађених у програмском језику EXCEL, извршено је креирање графичког приказа дијаграма температуре резања и времена обраде и израчунате су средње вредности сигнала мерених величина.

РЕДНИ БРОЈ	НАЗИВ ФАЈЛА	T SPOT	T MAX	КОРАК S ММ/О	БРЗИНА РЕЗАЊА v О/MIN	ДУБИНА РЕЗАЊА ММ
1	ТТ4	211	229	0.1	710	0.3
2	ТТ3	211	234	0.1	560	0.3
3	ТТ2	217	236	0.1	450	0.3
4	ТТ1	214	233	0.1	355	0.3
5	ТТ8	191	232	0.16	710	0.3
6	ТТ7	196	237	0.16	560	0.3
7	ТТ6	204	241	0.16	450	0.3
8	ТТ5	195	238	0.16	355	0.3
9	ТТ12	167	265	0.25	710	0.3
10	ТТ1	176	238	0.25	560	0.3
11	ТТ10	177	243	0.25	450	0.3
12	ТТ9	177	236	0.25	355	0.3
13	ТТ16	183	250	0.1	710	1
14	ТТ15	197	255	0.1	560	1
15	ТТ14	201	256	0.1	450	1
16	ТТ13	221	256	0.1	355	1
17	ТТ20	153	262	0.16	710	1
18	ТТ19	156	263	0.16	560	1
19	ТТ18	168	266	0.16	450	1
20	ТТ17	196	248	0.16	355	1
21	ТТ24	153	270	0.25	710	1
22	ТТ23	161	267	0.25	560	1
23	ТТ22	163	254	0.25	450	1
24	ТТ21	168	256	0.25	355	1
25	ТТ28	170	237	0.1	710	1.5
26	ТТ27	180	251	0.1	560	1.5
27	ТТ26	197	259	0.1	450	1.5
28	ТТ25			0.1	355	1.5
29	ТТ32	142	239	0.16	710	1.5
30	ТТ31	147	241	0.16	560	1.5
31	ТТ30	152	240	0.16	450	1.5
32	ТТ29	148	245	0.16	355	1.5
33	ТТ36	157	237	0.25	710	1.5
34	ТТ35	148	255	0.25	560	1.5
35	ТТ34	144	269	0.25	450	1.5
36	ТТ33	138	281	0.25	355	1.5

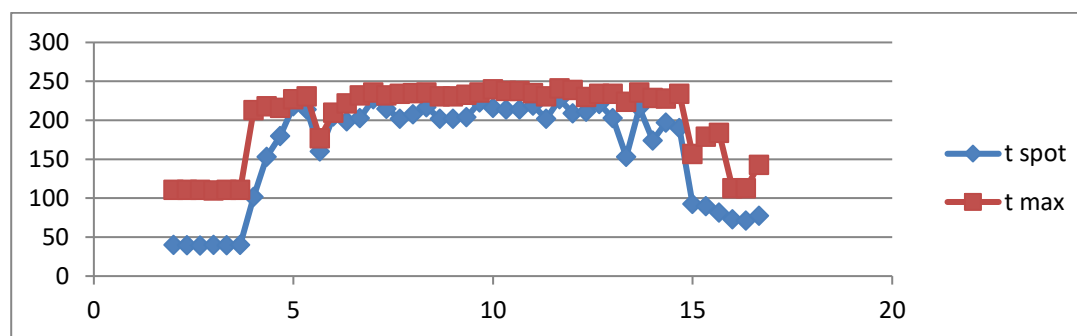
слика 5.5 табела-збирни приказ резултата експеримента



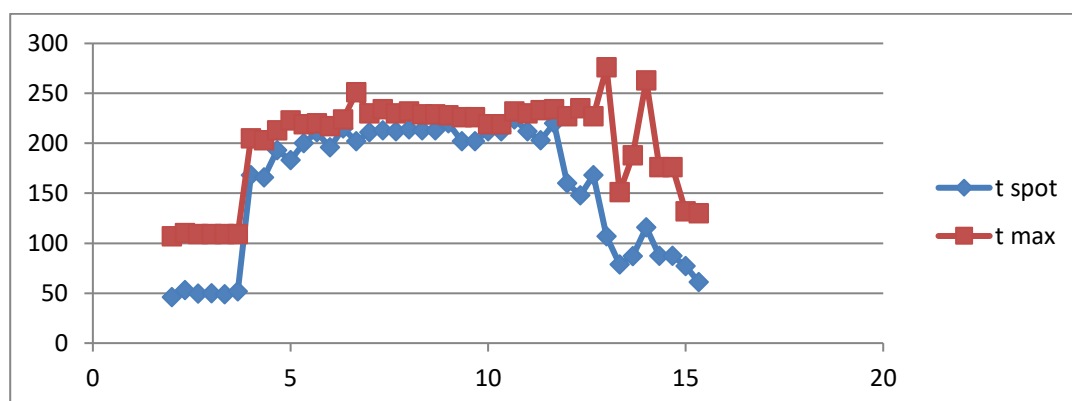
TT1



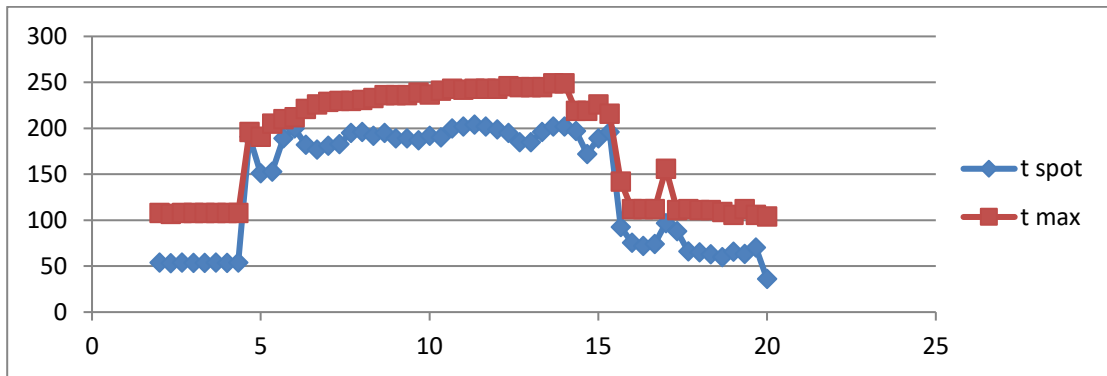
TT2



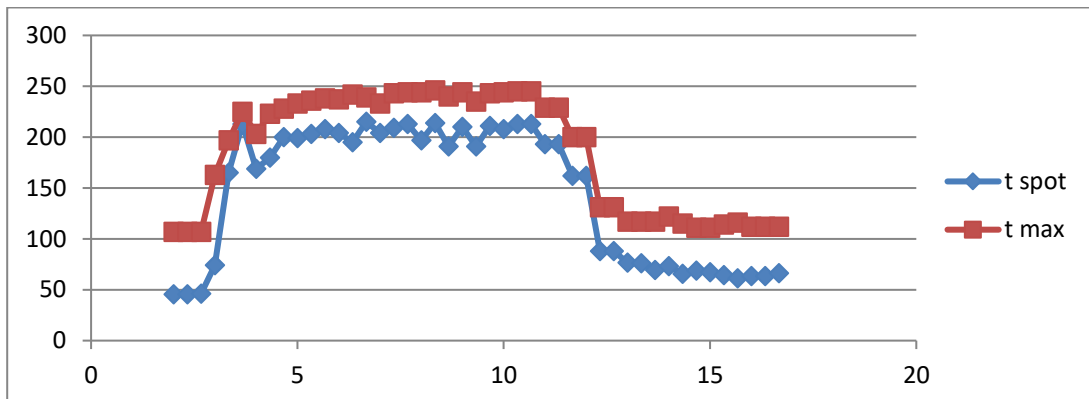
TT3



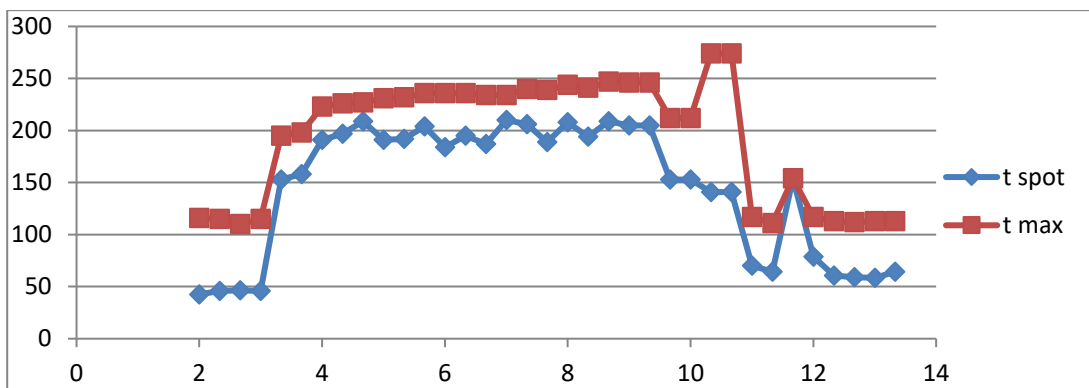
TT4



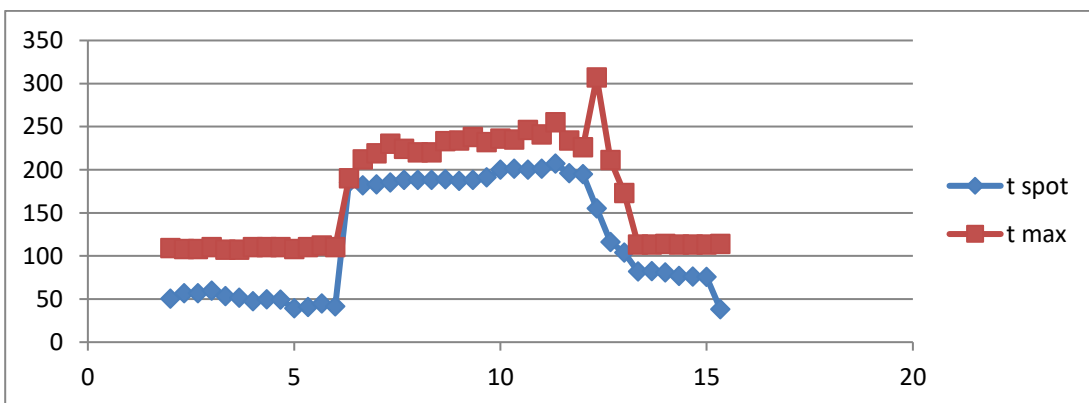
TT5



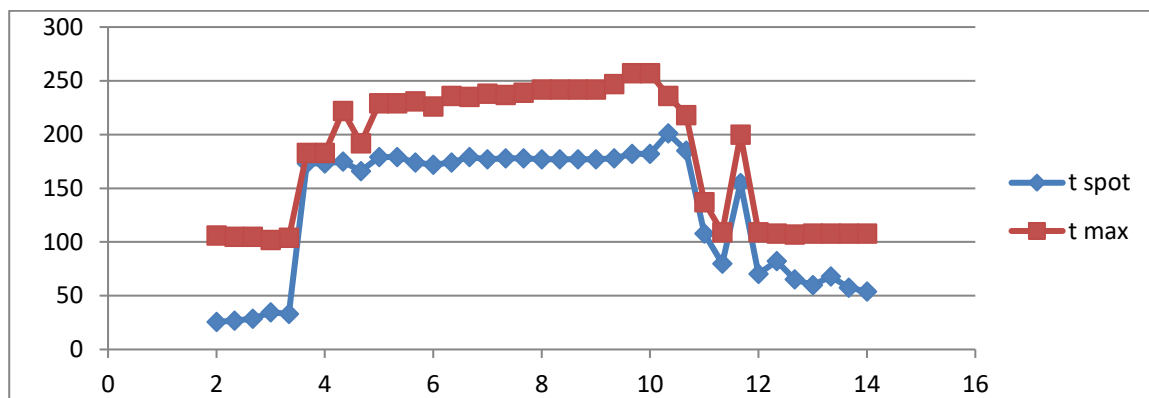
TT6



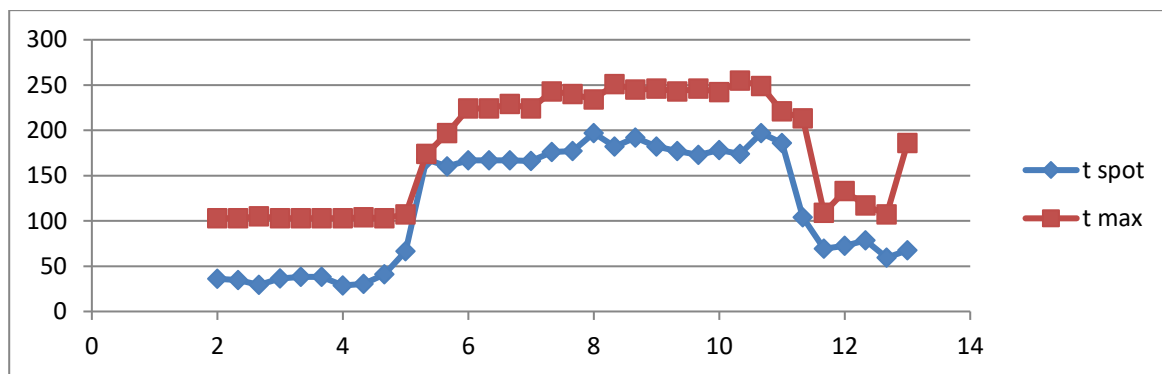
TT7



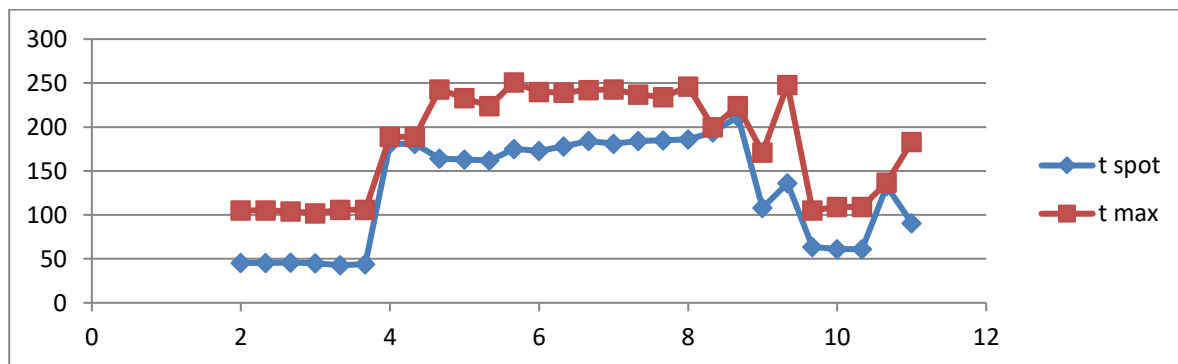
TT8



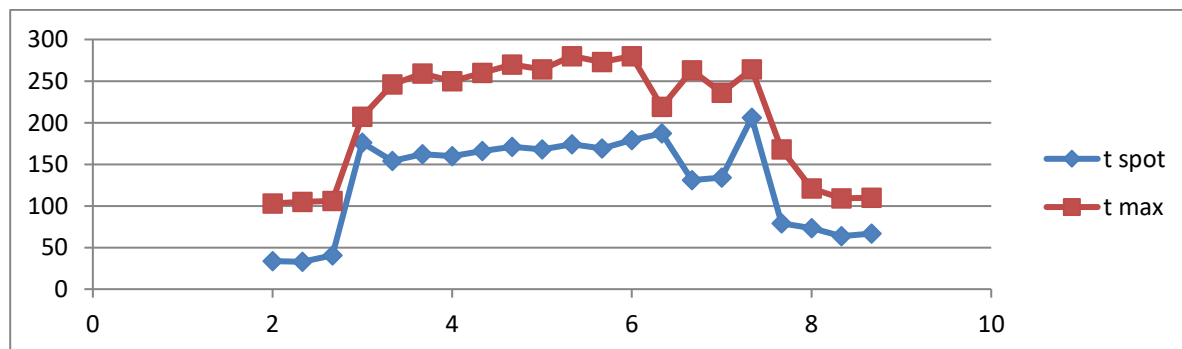
TT9



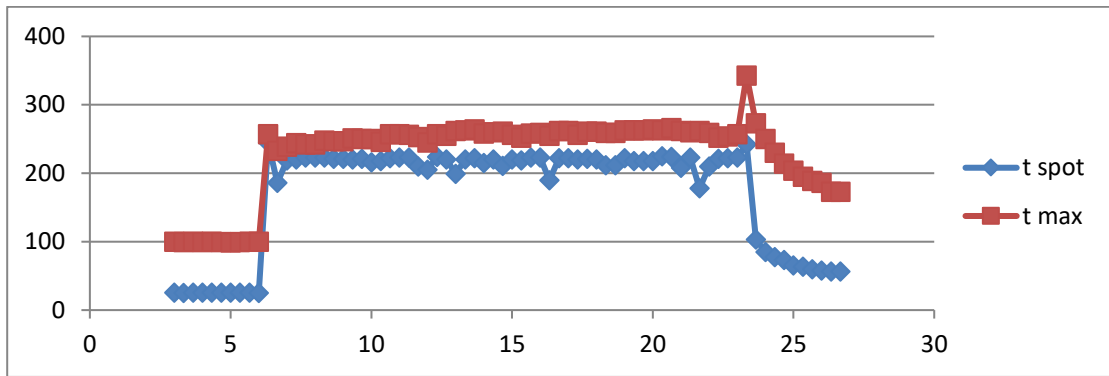
TT10



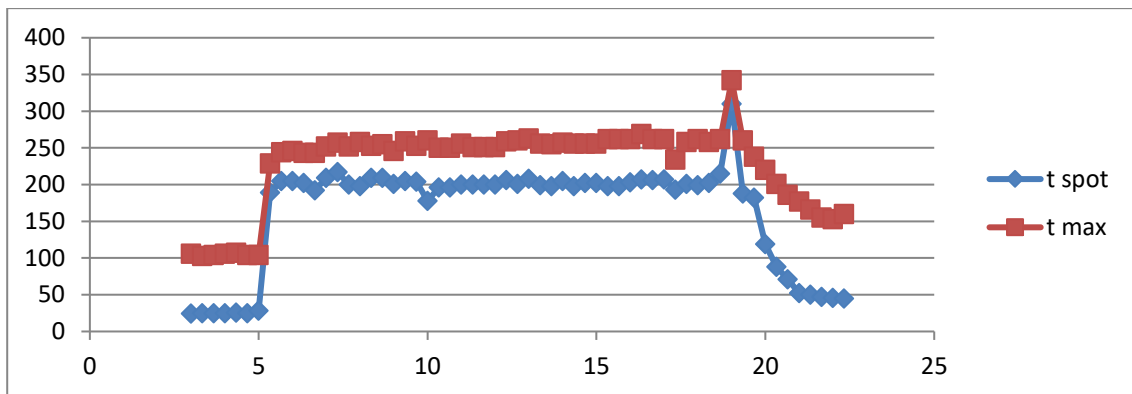
TT11



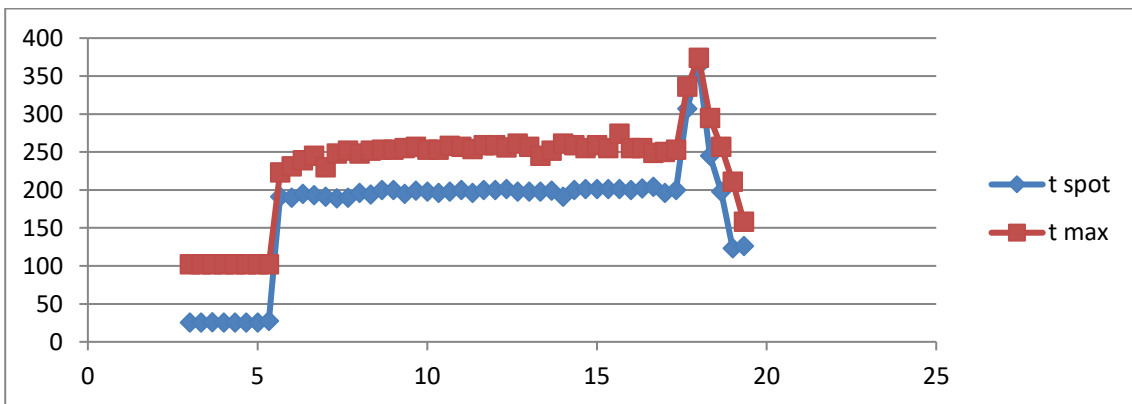
TT12



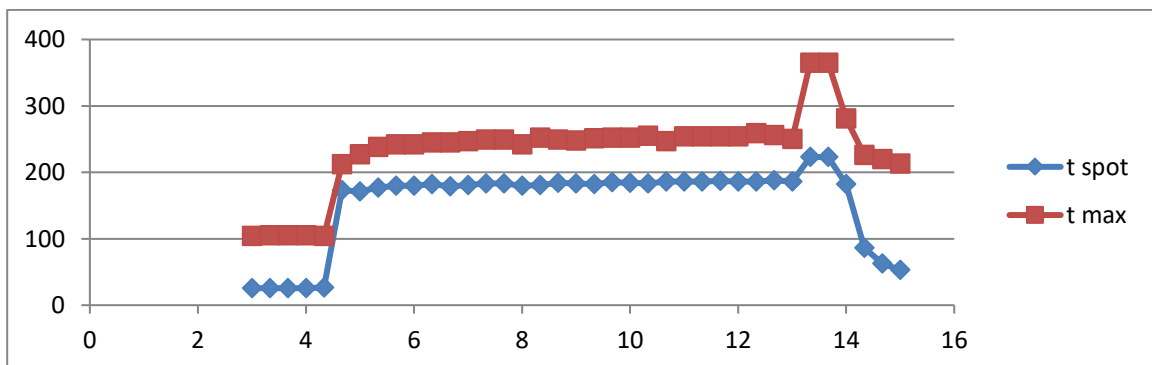
TT13



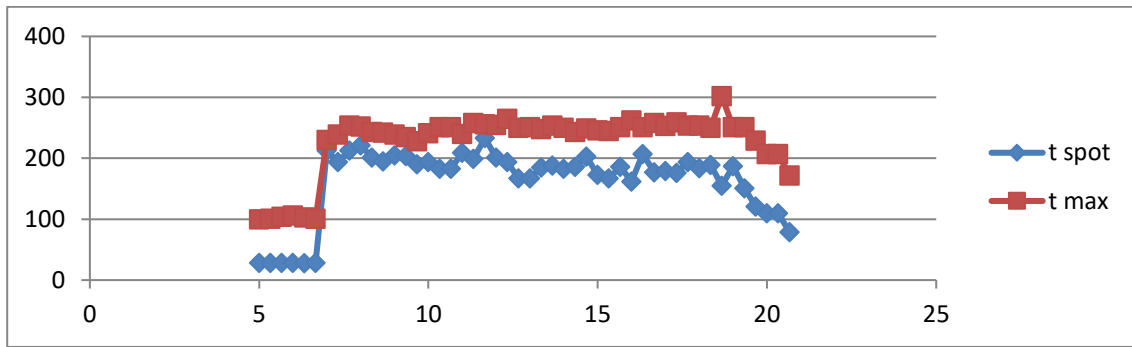
TT14



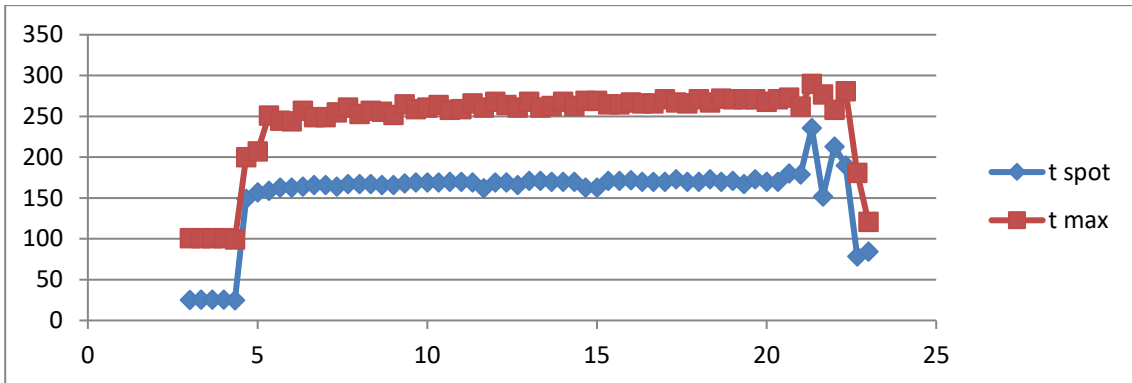
TT15



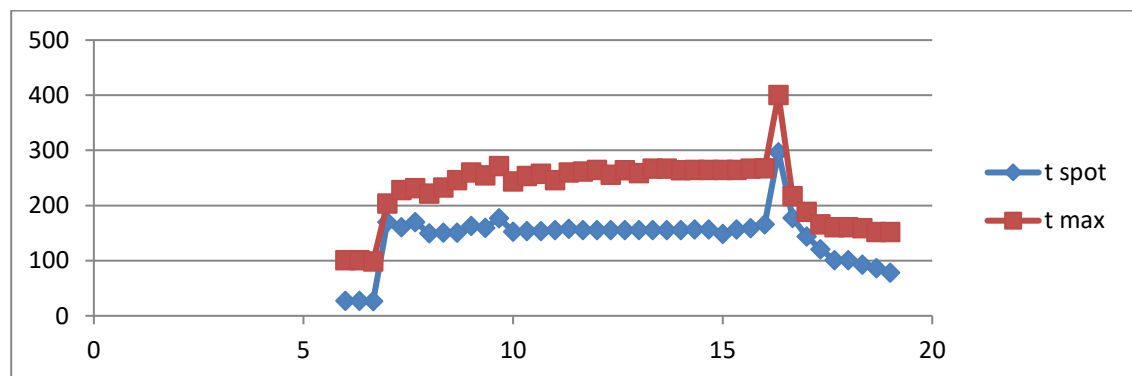
TT16



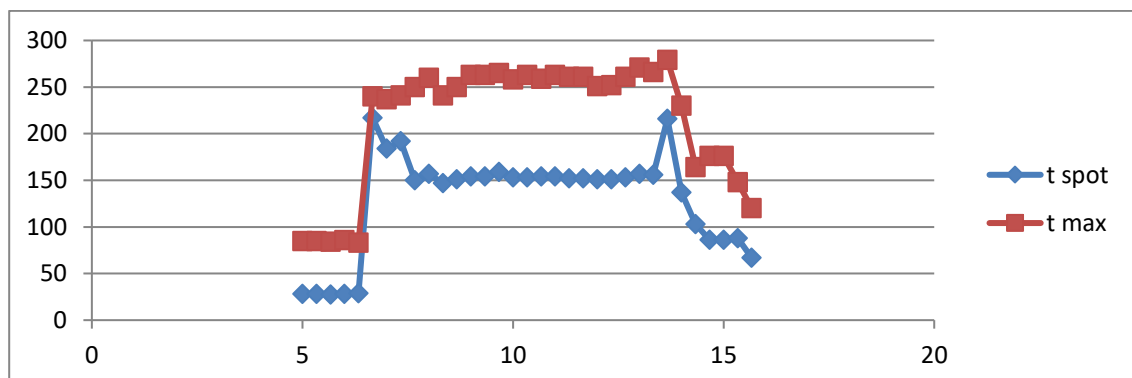
TT17



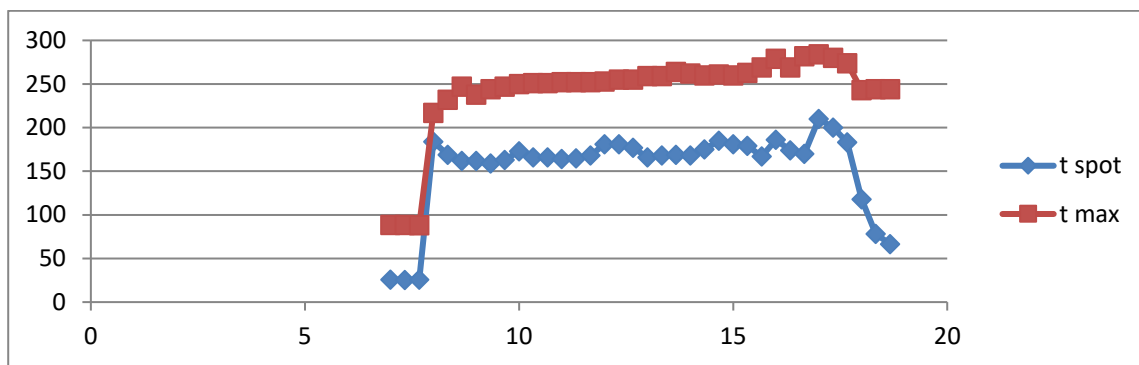
TT18



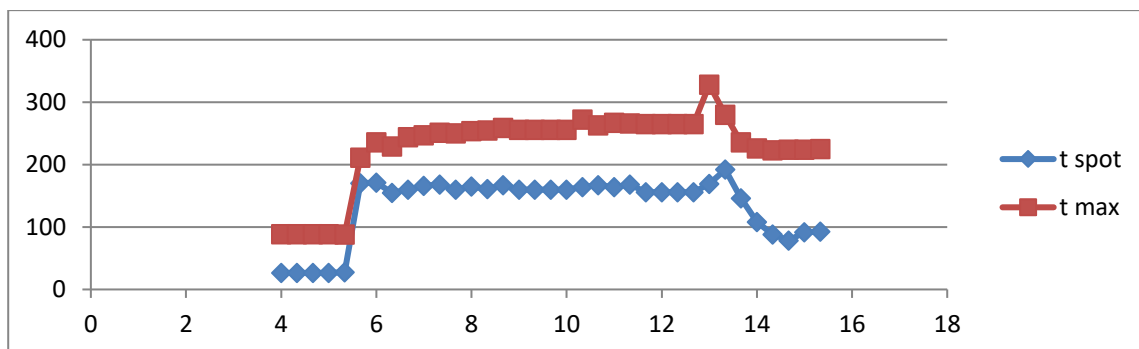
TT19



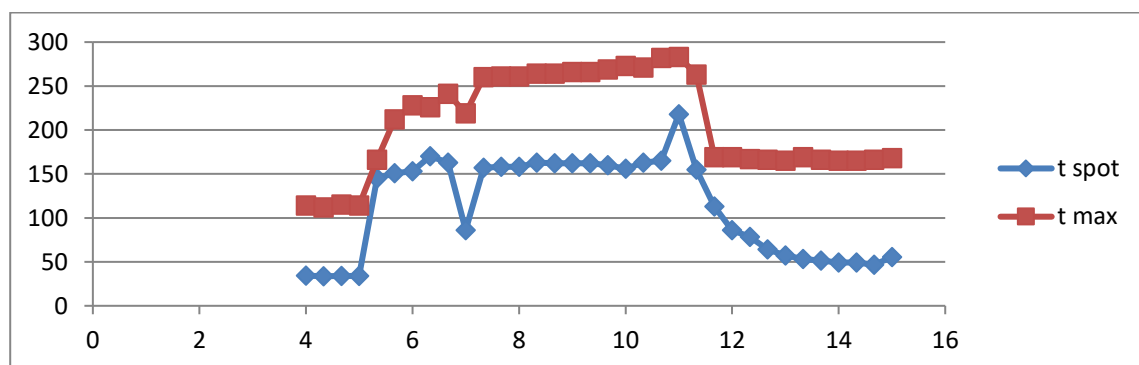
TT20



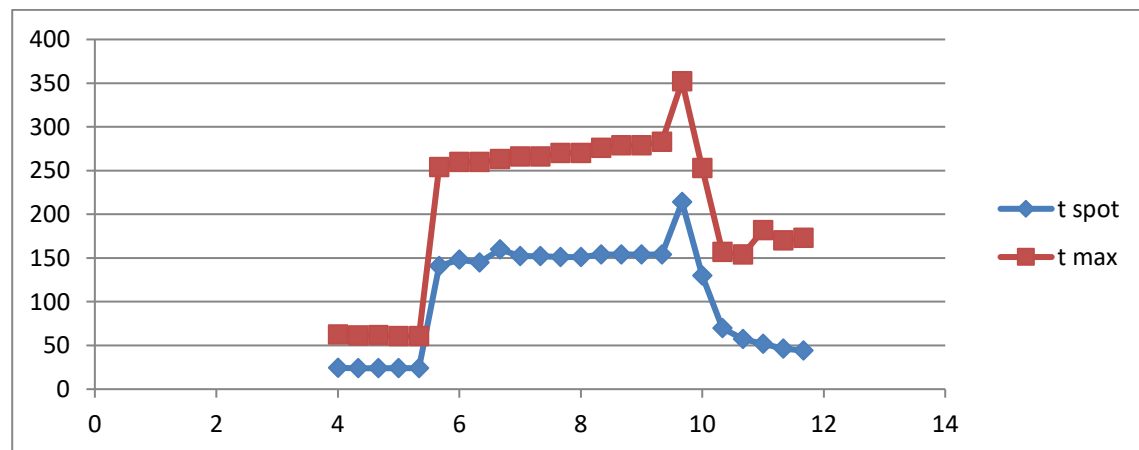
TT21



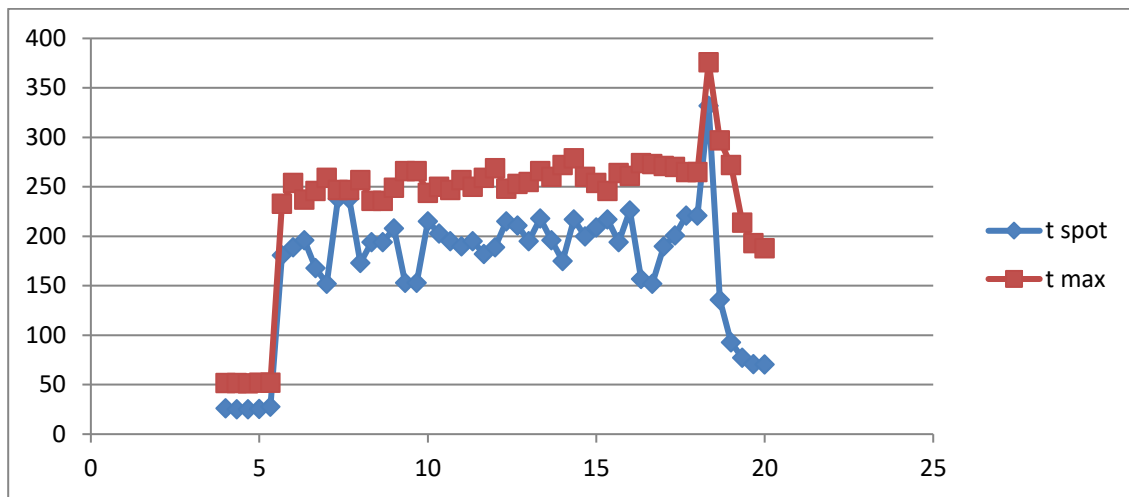
TT22



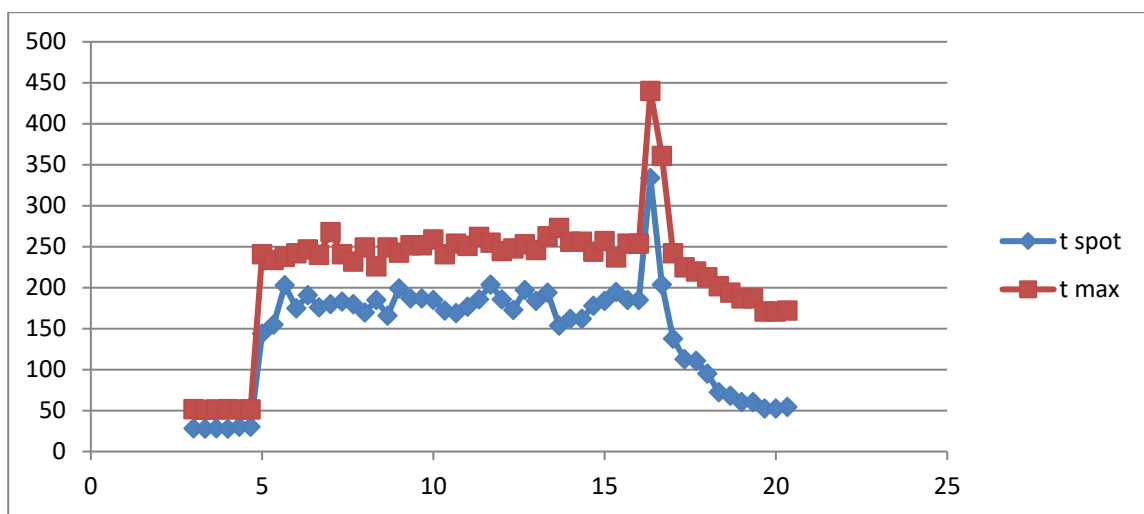
TT23



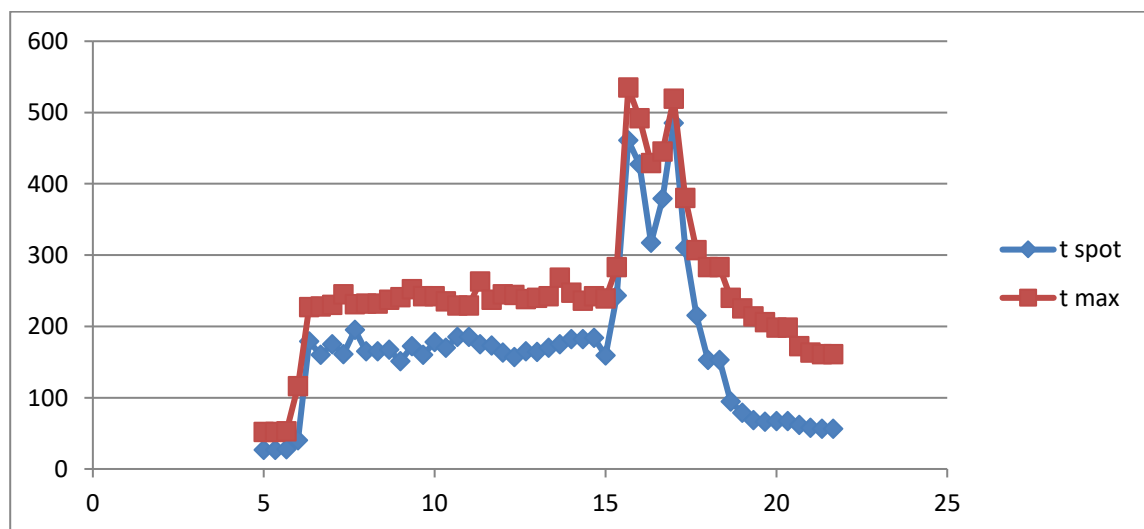
TT24



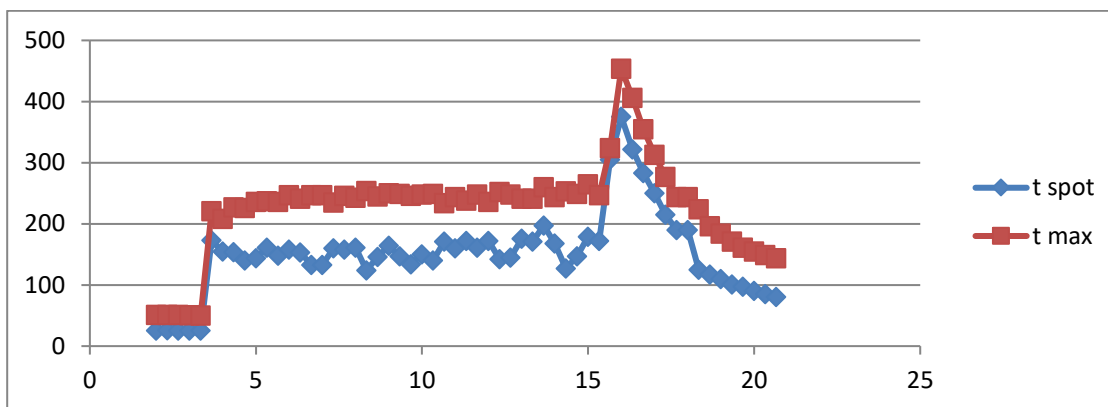
TT26



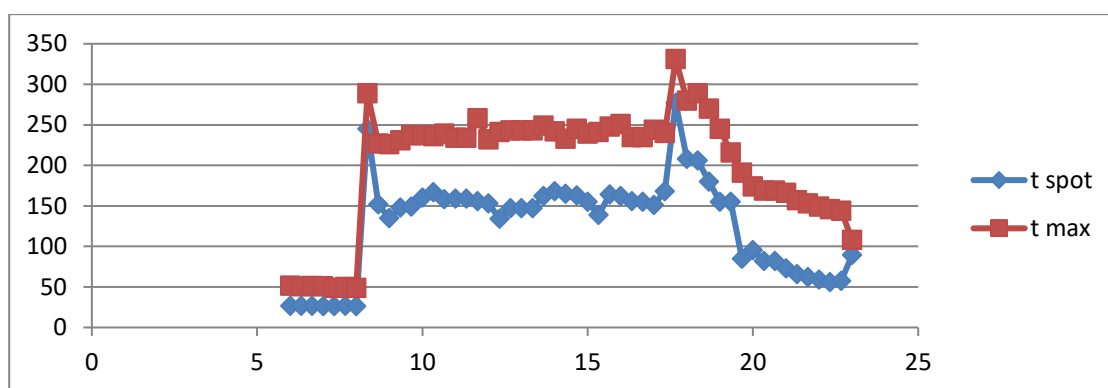
TT27



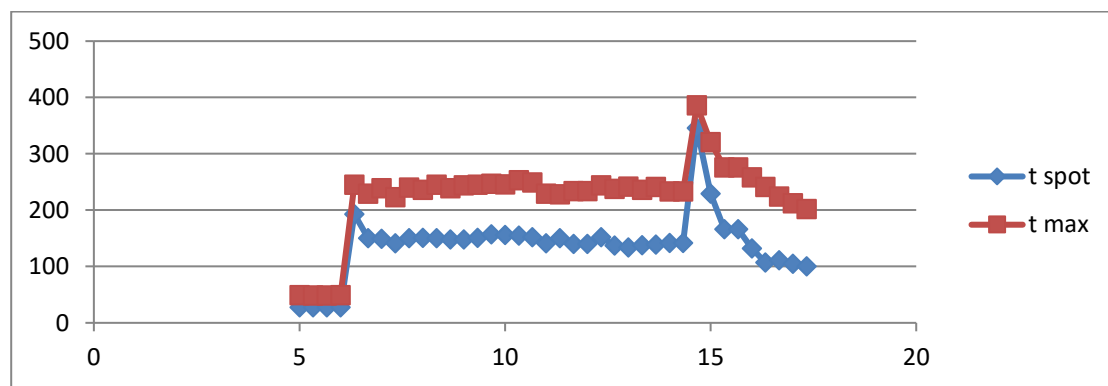
TT28



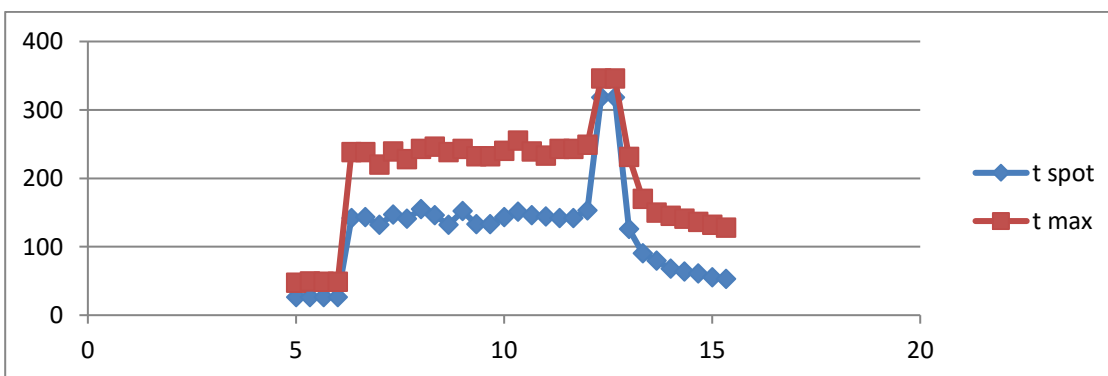
TT29



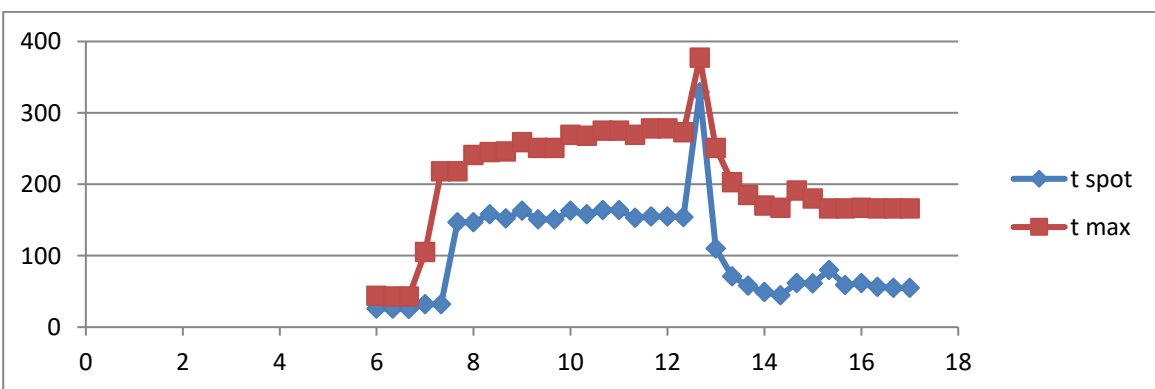
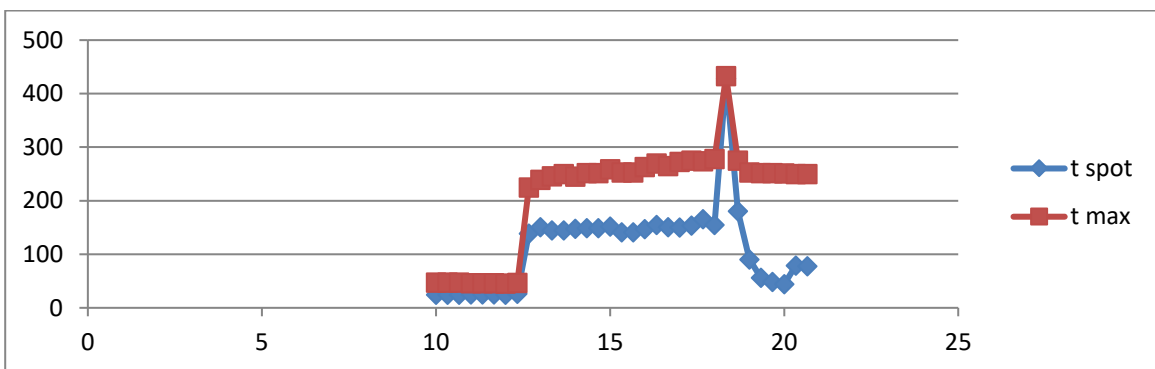
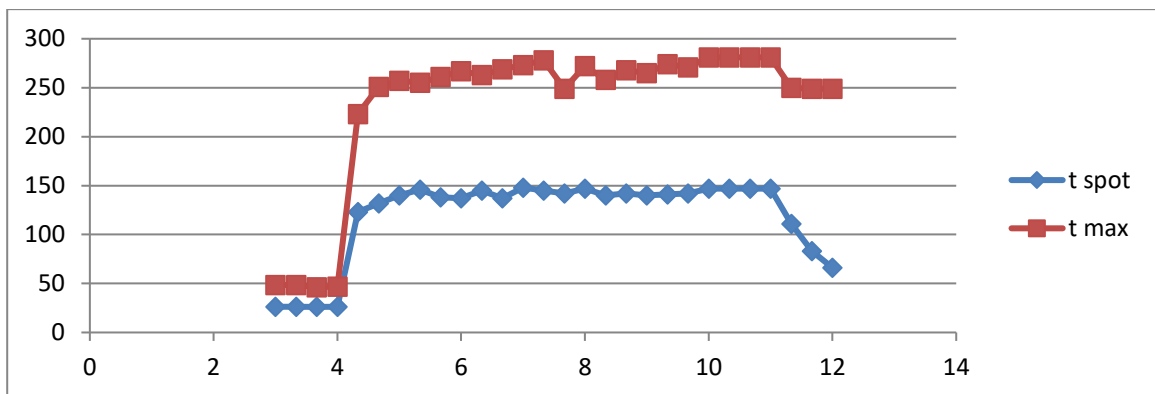
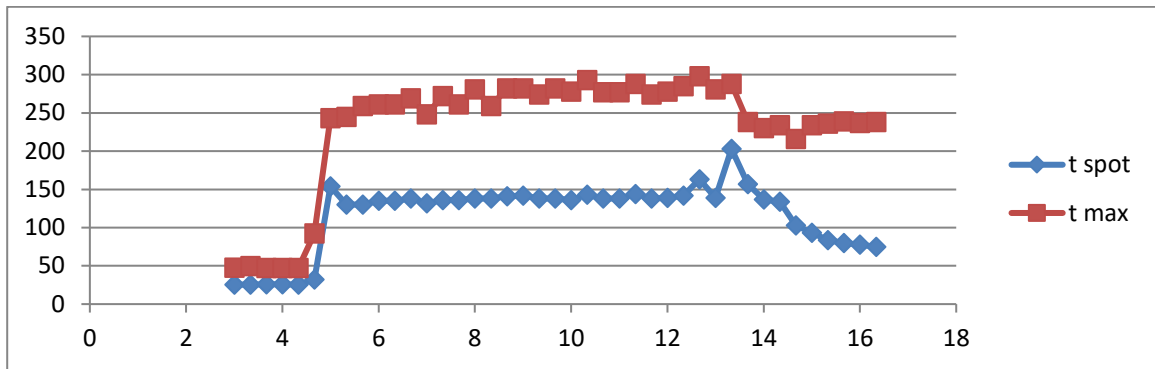
TT30



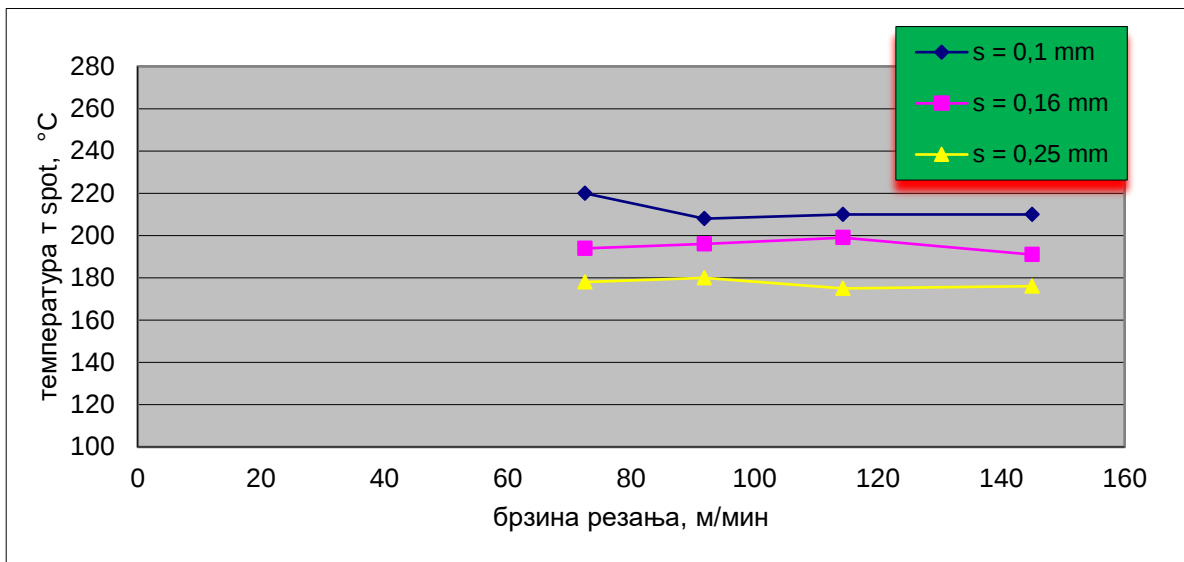
TT31



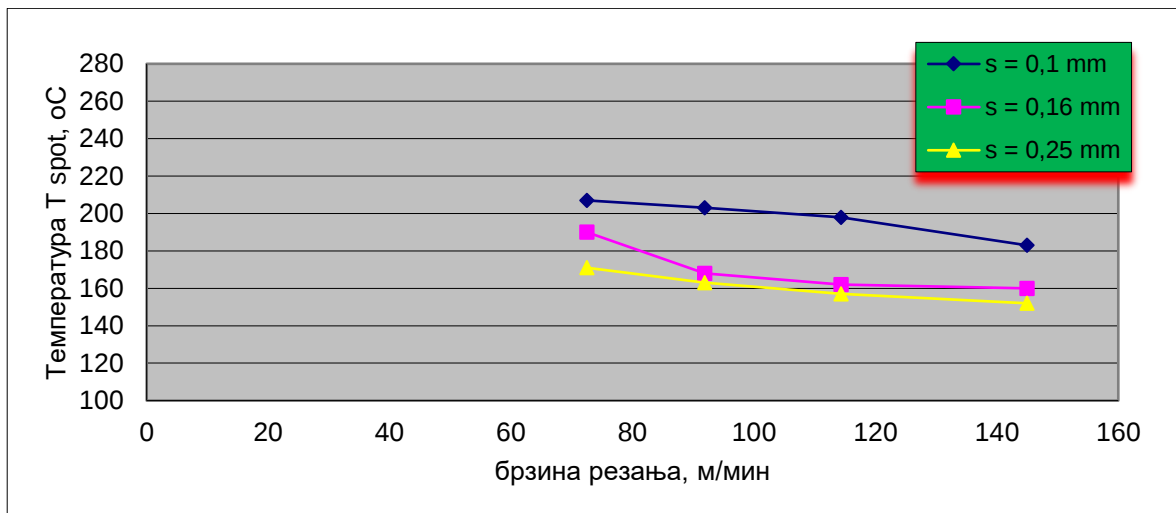
TT32



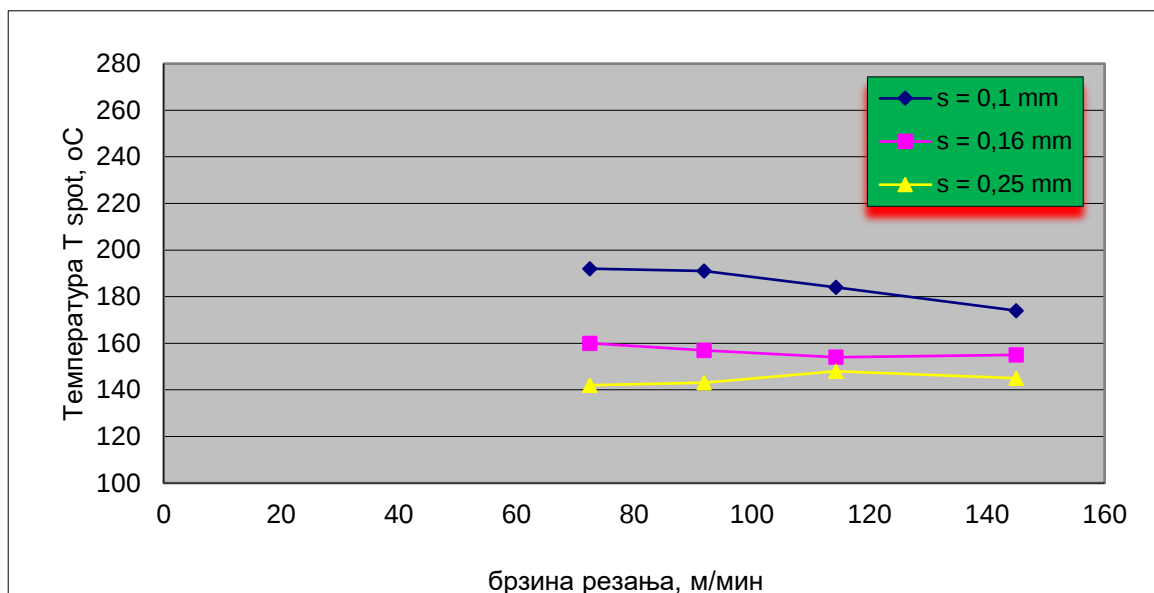
Графицима од ТТ1 до ТТ36 представљени су резултати температура добијени анализирањем снимака термовизијске камере. Очитавање температуре је вршено три пута у току једне секунде (очитавањем температуре са сваке десете слике камере, термовизијска камера FLIR E50 прави 30 слика у секунди). Црвеном кривом на графицима представљена је температура струготине, док је плавом кривом представљена температура резног алата.



слика 5.6 а график зависности температуре алата од брзине при константној дубини резања $a = 0,3$ мм

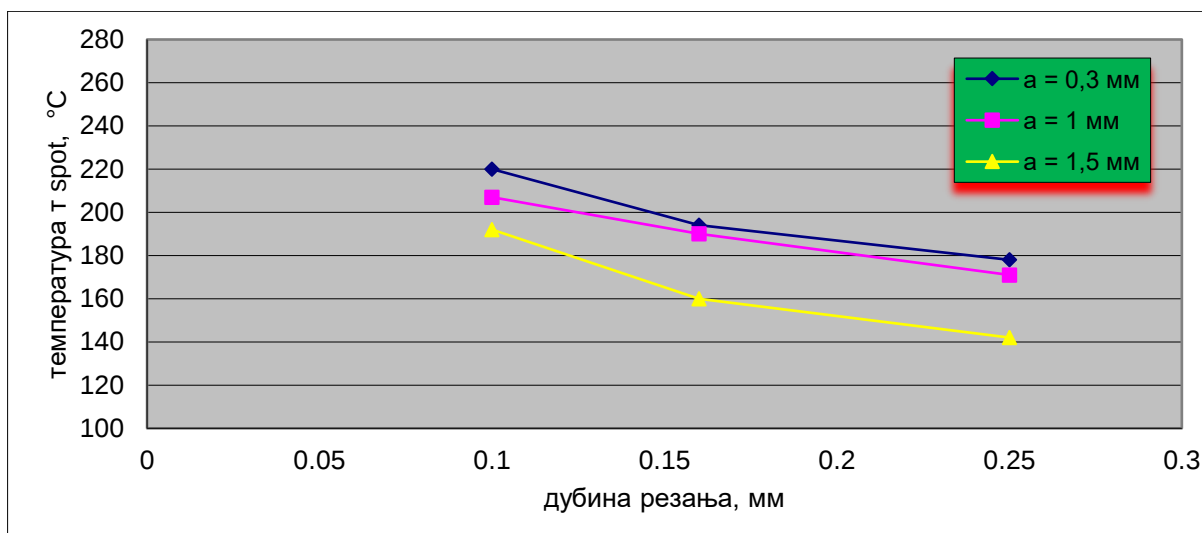


Слика 5.6 б зависност температуре алата од брзине при константној дубини резања $a = 1$ мм

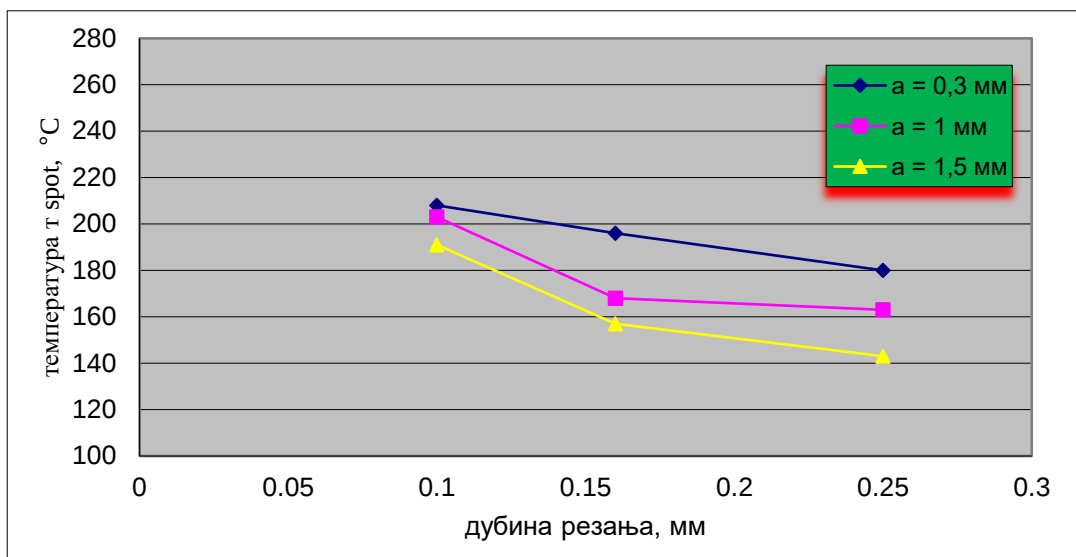


Слика 5.6 в зависност температуре алата од брзине при константној дубини резања $a=1,5$ мм

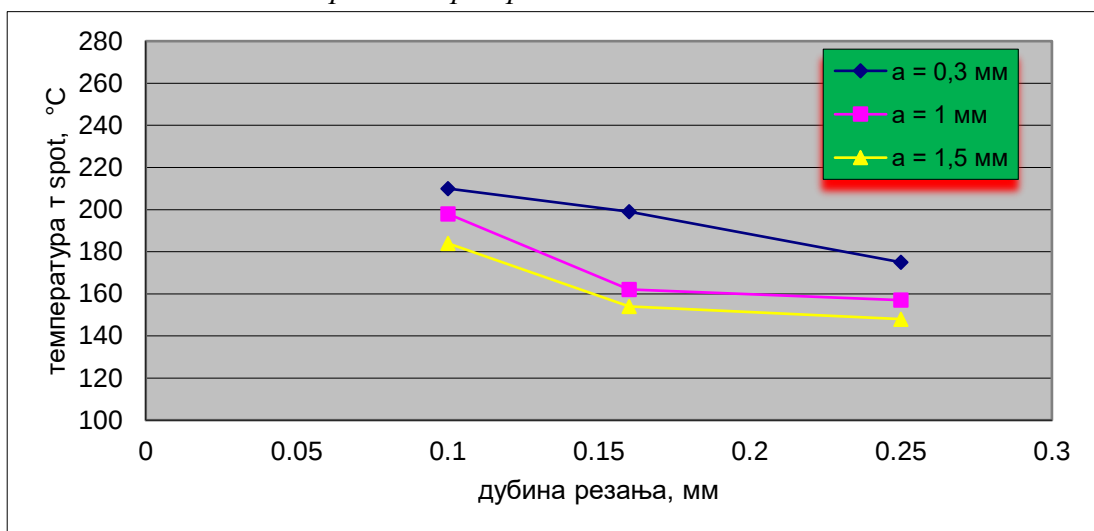
Графицима са слика 5.6 а, 5.6 б и 5.6 в представљена је зависност температуре резања од брзине резања при константној дубини резања. Жута крива представља резултате добијене резањем при константном кораку $s = 0,25$ мм црвеном кривом означени су резултати добијени резањем при кораку $s = 0,16$ мм, док су плавом кривом представљени резултати добијени при кораку $s = 0,1$ мм



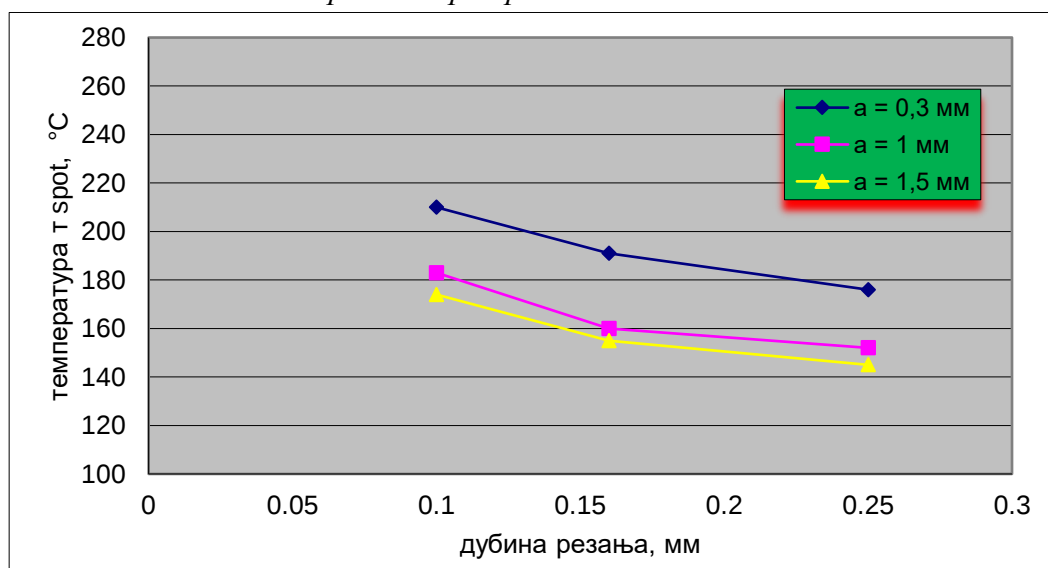
Слика 5.7 а зависност температуре алата од корака при константној дубини резања при брзини $V= 355$ O/min



Слика 5.7 б зависност температуре алата од корака при константној дубини резања при брзини $V = 450$ O/min



Слика 5.7 б зависност температуре алата од корака при константној дубини резања при брзини $V = 560$ O/min



Слика 5.7 г зависност температуре алата од корака при константној дубини резања при брзини $V = 710$ O/min

Графицима са лика 5.7 а, 5.7 б, 5.7 б, 5.7 г, представљена је зависност температуре резног алата од корака при константној дубини резања. Плавом кривом представљени су добијени резултати при дубини $a = 0,3\text{мм}$, црвеном кривом су приказани резултати добијени при обради резањем са дубином $a = 1\text{мм}$, док су жутом бојом приказани резултати постигнутих температура при обрадом са дубином резања $a = 1,5\text{мм}$.

6. Закључак

Обрада метала резањем представља један од најзначајнијих и најчешће коришћених метода обраде метала. Као и при сваком другом обрадном процесу и при обради метала резањем тежи се ка што већој производности. Са повећањем производности повећава се и количина генерисане топлоте. Температура која се ствара у току самог процеса има низ негативних утицаја на алат и обрадак. Одрађена су многобројна истраживања на тему мерења и смањења количине генерисане топлоте у току самог процеса.

Први део рада посвећен је теоријским аспектима топлотних процеса, као и методама мерења температуре.

Истраживањем су утврђене законитости промене температуре у односу на режим обраде, материјал предмета обраде, материјал алата и похабаност резних ивица алата. Такође дефинисани су топлотни извори и топлотни понори, као и њихов процентуални удео у стварању односно одвођењу топлоте.

Током протеклих деценија развијен је велики број метода мерења температуре.

Све ове методе се могу сврстати у две групе:

Методе за контактено мерење

Методе за бесконтактно мерење

Контактне методе подразумевају да мерни инструмент буде у директном контакту са делом чија се температура мери. Због тога долази до смањења тачности измерених резултата, јер је готово немогуће поставити мерни инструмент тачно на место чија нас температура занима.

Код бесконтактних метода алат и материјал нису у контакту, такође мерење температуре овим методама нема никаквог утицаја на сам процес резања. Поред тога инструменти за бесконтактно мерење имају бржи одзив система, па је помоћу њих могуће мерење скоковитих промена температуре.

На почетку практичног дела извршено је снимање процеса резања посредством термовизијске камере. Снимање је вршено при раличитим режимима обраде. При сваком режиму обраде прављен је нов снимак коме је додељен назив (од ТТ1 до ТТ36) на основу којих је вршена даља анализа.

У наставку експерименталног дела вршена је анализа видео снимака, записивање вредности температура у тачки као и максималних температура, исцртавање графика са карактеристичним температурама алата и струготине, као и прорачунавање средње температуре алата и струготине.

Последњи део експеримента посвећен је графичком предстаљању зависности добијених средњих вредности температура алата са повећањем брзине резања при константној дубини резања, као и изради графика који представљају зависност температуре резања од корака при константној дубини и брзини резања.

7. Литература

- [1] – Миодраг Лазић, обрада метала резањем монографија, Крагујевац 2002.
- [2] – Јако Станић, Милисав Калајџић, Радован Ковачевић, Мерна техника у технологији обраде метала резањем, Београд 1983.
- [3] – Драгоје Миликић, Нова метода за мерење температура при обради резањем и могућности њене технолошке и сензорске примене докторска дисертација, Нови Сад 1980.
- [4] - Миодраг Лазић, Богдан Недић, Производне технологије, *обрада метала резањем*, Крагујевац, 2007.
- [5] – Анђелија Митровић, Моделирање процеса обраде резањем докторска дисертација, Нови Сад 2016
- [6] – Дејан Таникић, Миодраг Манић, Горан Девеџић, Моделирање температуре струготине коришћењем метода вештачке интелигенције оригинални научни рад, 2008.
- [7] - Петар Тодоровић, основи одржавања, Крагујевац 2016