



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Производне технологије

Број индекса: 53/2013

Иван Љ. Нишавић

Примена термовизије за мерење температуре резања

Завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Богдан Недић-ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да:

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да да преглед развоја и употребе термовизије при обради метала резањем. На почетку анализирати теоријске аспекте топлоте и методе мерења температуре резања. У следећем делу рада описати мерење температуре термовизијском камером у зони резања и донети одређене закључке. На крају рада дати закључак и преглед коришћене литературе.

Препоручена литература:

[1] Д. Вукеља, *Термодинамика резања*, Београд, 1970.

[2] Миодраг Лазић, Богдан Недић, *Производне технологије, обрада метала резањем*, Крагујевац, 2007.

[3] Миодраг Лазић, *Технологија обраде метала резањем*, Крагујевац 2002

[4] Миодраг Лазић, *Обрада метала резањем монографија*, Крагујевац 2002

Завршни рад треба да садржи следеће целине:

1. Увод,
2. Теоријски аспекти топлоте
3. Методе мерења температуре резања
4. Основи термовизије
5. Експериментална испитивања
6. Закључак
7. Литература

У Крагујевцу,
септембар 2016. године

Ментор:

Проф. др Богдан Недић

Резиме

Суштина овог рада заснива се на упознавању савремених услова мерења температуре резања при обради метала које се јављају у току процеса.

У првом делу рада реч је о теоријским аспектима топлоте и генерисању температуре у зони резања. Такође, реч је и о факторима који утичу на вредност температуре резања и методама мерења температуре.

Други део рада односи се на термовизију, термовизијско мерење температуре и на примену термовизије у различитим гранама индустрије. Такође је реч и о мерењу температуре у зони резања термовизијском камером и на основу експерименталних испитивања добијених су резултати.

Кључне речи:

- температура,
- термовизија,
- камера.

Abstract

The essence of this work is based on informing about modern conditions of temperature measurement cutting, during the metal processing which occurs during the process.

In the first part of the work we are talking about theoretical aspects of heat and temperature generating in the zone of cutting.

The second part of the work refers to termography, termography measurement of temperature and termography using in different industries. Also, there is a part about temperature measurement in the zone of cutting with termography camera and on the bases of experimental tests, results were obtained.

Keywords:

- temperature,
- thermography,
- camera.

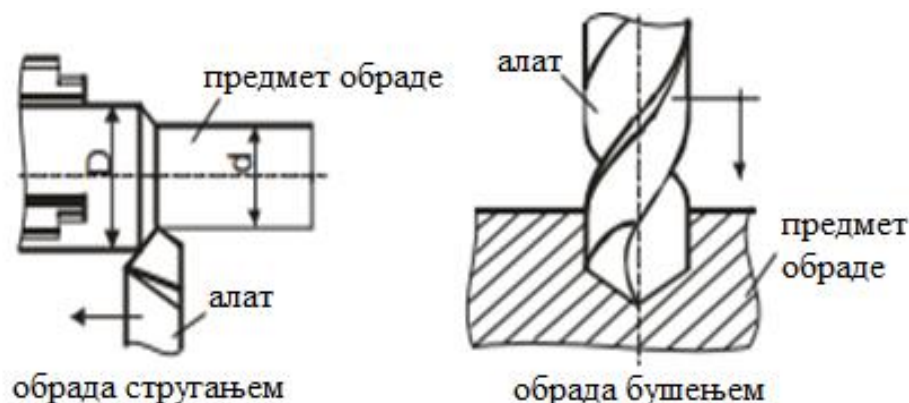
Садржај

1. Увод	1
2. Теоријски аспекти топлоте	3
2.1. Термодинамика резања	3
2.2. Генерисање топлоте	4
2.3. Дистрибуција топлоте	4
2.4. Температура резања	6
2.5. Фактори утицајни на вредност температуре резања	8
2.6. Методе одређивања температуре резања	9
2.7. Методе прорачуна температуре резања	9
2.8. Методе електротоплотне аналогije	10
3. Методе мерења температуре резања	11
3.1. Методе мерења средње температуре резања	11
3.2. Методе мерења температуре у тачки	16
4. Основи термовизије	18
4.1. Примена термовизијске камере	20
5. Експериментална испитивања	27
5.1. Мерење температуре у зони резања	31
6. Закључак	36
7. Литература	37

1. Увод

У савременим условима производње при обради резањем главни циљ је обезбеђивање високог квалитета производа уз минималне трошкове обраде. Решење тих задатака везано је за изучавање и управљање топлотним појавама [1].

Обрада метала резањем (стругање, бушење, глодање...) је поступак обликовања уклањањем вишка материјала механичким путем алатима најчешће знатно веће тврдоће од тврдоће материјала предмета обраде (слика 1.1) [2].



Слика 1.1 Илустрација неких поступака резања [2]

Поступци обраде метала резањем су поступци обликовања (промене облика, димензија, храпавости обрађене површине и карактеристика површинског слоја) уклањањем вишка материјала механичким дејством резног алата на предмет обраде. Најчешће се разврставају на поступке:

- Претходне-грубе обраде и
- Завршне-фине обраде

Поступци претходне обраде (стругање, бушење, глодање, рендисање...) имају, првенствени циљ да уклоне што већу количину материјала.

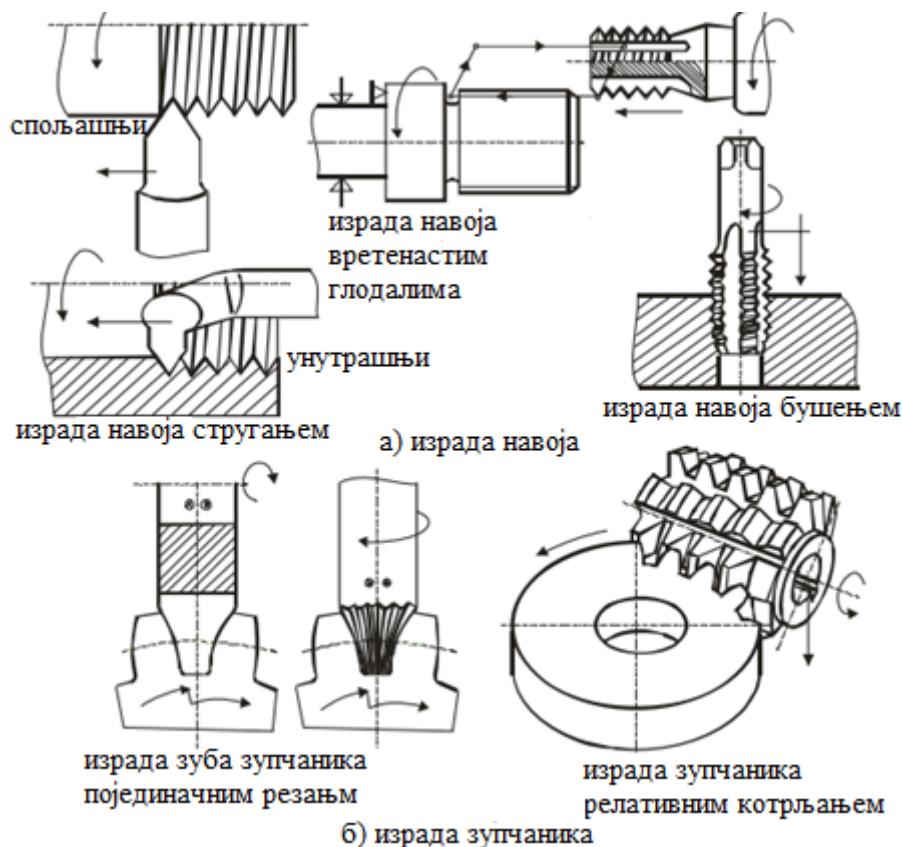
Поступцима завршне обраде (развртање, провлачење, брушење, хоновање, леповање...) се остварује захтевани квалитет обраде (тачност и квалитет обрађене површине).

Основни поступци ОМР су: стругање, бушење, глодање, тестерисање (одсецање), рендисање, провлачење, брушење и глачање (леповање, суперфиниш, хоновање и полирање) [2].

Поступци ОМР се развијају и према облику обрађиваног дела на поступке (слика 1.2):

- Обраде ротационих делова (осовине, вратила)
- Обраде призматичних површина (кућишта, блокови мотора...)
- Израде навоја (спољашњи, унутрашњи)
- Израде зупчаника (цилиндричних, коничних...)
- Израде ожљебљених вратила

У поступке ОМР се често убрајају и комбиновани поступци обраде као што су поступци: вибрационог резања, обраде у абразивној средини, обраде на повишеним температурама, ојачања површинских слојева деформисањем, нарецкивања и сл. То су различити поступци којима се обезбеђује побољшање ефекта обраде класичних поступака[2].



Слика 1.2 Поступци израде навоја и зупчаника [2]

У оквиру рада говори се о теоријским аспектима топлоте, о термодинамици резања која описује термодинамичко стање процеса као и о генерисању топлоте где се и до 99% енергије генерисане претвара у топлоту.

Фактори који утичу на вредност температуре резања су такође веома битни јер тада треба обратити пажњу на материјал предмета обраде и алата, геометрију алата, степен похабаности алата и сл. Наведене су и методе мерења температуре резања као и термовизија којој је посвећено највише пажње.

2. Теоријски аспекти топлоте

Појава топлоте у зони резања последица је претварања механичке енергије у топлотну. Топлота утиче на: процес образовања струготине, пластично деформисање струготине и фактор сабијања струготине, отпоре резања, појаву наслаг, интензитет развоја процеса хабања резних елемената алата и на струкруту и дебљину дефектног слоја [3].

Квалитет обраде предмета, његова поузданост и трајност, у експлоатацијским условима директно зависе од топлотних оптерећења која су била присутна у току обраде.

У погледу продуктивности температурско поље настало у зони резања испољава свој утицај преко периода резања и параметара режима обраде између којих постоји корелација. Ова веза може бити искоришћена за брже долажење до параметара режима обраде и управљања самооптимизирајућих обрадних система. Ваља истаћи при томе, да висина температуре у температурском пољу различито утиче на постијаност алата од брзорезног челика и тврдог метала.

Алати од тврдог метала губе резне способности код нижих температура, док је примена алата од брзорезног челика ограничена висином температура. Наиме постоји критична температура изнад које се не могу користити алати од брзорезног челика. Познавајући температурско поље у струготини, алату и предмету могуће је да се боље подеси хлађење и тако умањи неповољан утицај топлотних оптерећења на период резања.

Поред овога познавањем температурских поља у процесу резања омогућује се правилније сагледавање проблема процеса хабања алата (интензитет хабања) у различитим условима обраде, боље одабирање алатног материјала за одговарајућу обраду, боље постављање захтева за развој нових алатних материјала који треба да обезбеде најповољније режиме обраде као и процена утицаја и квалитета расхладних средстава која се примењују у процесу резања. Дакле, изучавање топлотних појава у зони резања има велики практичан значај [1].

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 наслаг, силе резања, фактор сабијања струготине и пратеће феномене процеса, развој система управљања итд. [4].

2.2. Генерисање топлоте

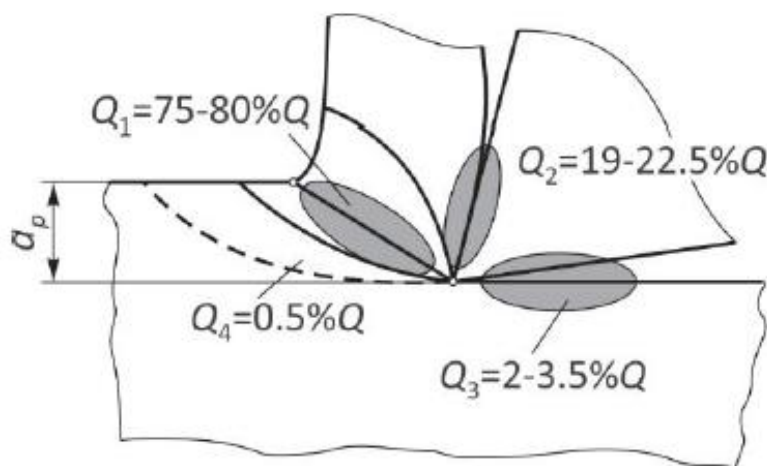
Више од 99,5% енергије која се троши у процесу резања на деформисање материјала предмета обраде и савладавање сила трења на контактним површинама резног клина алата (грудној и леђној) претвара се у топлоту:

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

Генерисана топлота (Q) је резултат појаве четири топлотна извора (слика 2.1) у различитим зонама и то у зони:

- $Q_1 = (75-80) \% Q$ - смицања (примарна зона деформисања), у којој се изоди 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

Кратка анализа топлотних извора показује да се највећа количина топлоте генерише у зони деформисања и на контакту грудне површине резног клина алата и струготине. Управо су то и области којима се, у анализи проблематике процеса резања и посвећује највећа пажња [4].



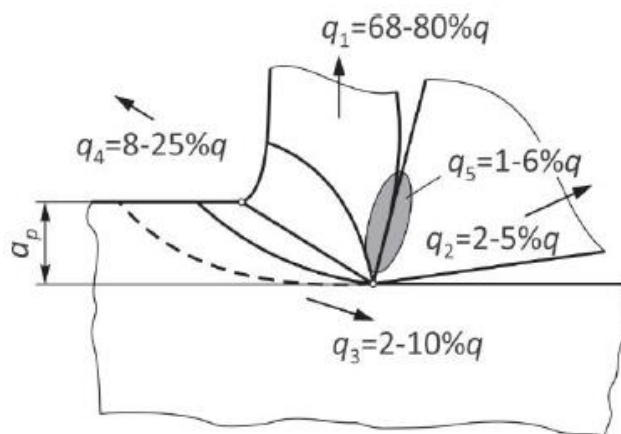
Слика 2.1 Топлотни извори [4]

2.3. Дистрибуција топлоте

Карактер дистрибуције топлоте зависи од поступка обраде, брзине резања, топлотне проводљивости материјала предмета обраде и алата, димензија предмета обраде и алата и сл. Генерисана количина топлоте се одводи топлотним понорима (слика 2.2):

- $q_1 = (68-80) \% q$ - **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.

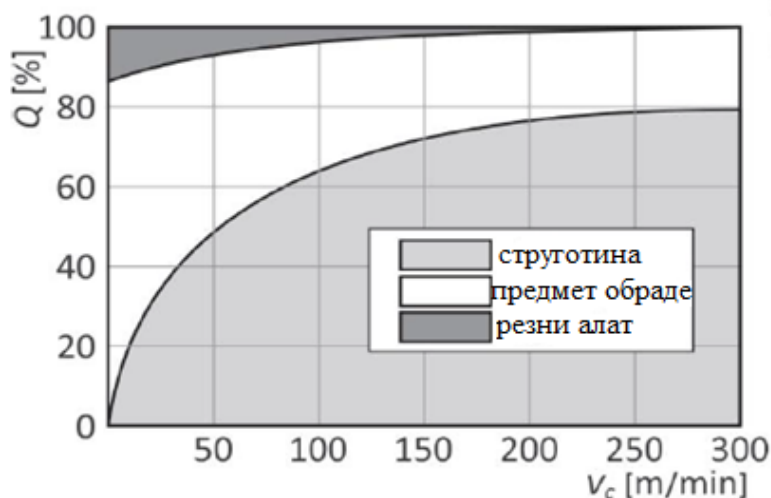


Слика 2.2 Топлотни понори [4]

Највећи део генерисане топлоте се одводи струготином (слика 2.3). Код малих брзина резања количина генерисане топлоте која се одводи струготином и предметом обраде је приближно иста. Са повећањем брзине резања смањује се количина топлоте која се одводи предметом обраде. При примени савремених поступака обраде високим брзинама резања струготина одводи и до 95% генерисане топлоте тако да су алат и предмет обраде практично хладни [4].

Познавањем топлотних извора и понора може се формирати и једначина топлотног биланса процеса резања облика:

$$Q=Q_1+Q_2+Q_3+Q_4=q_1+q_2+q_3+q_4+q_5$$

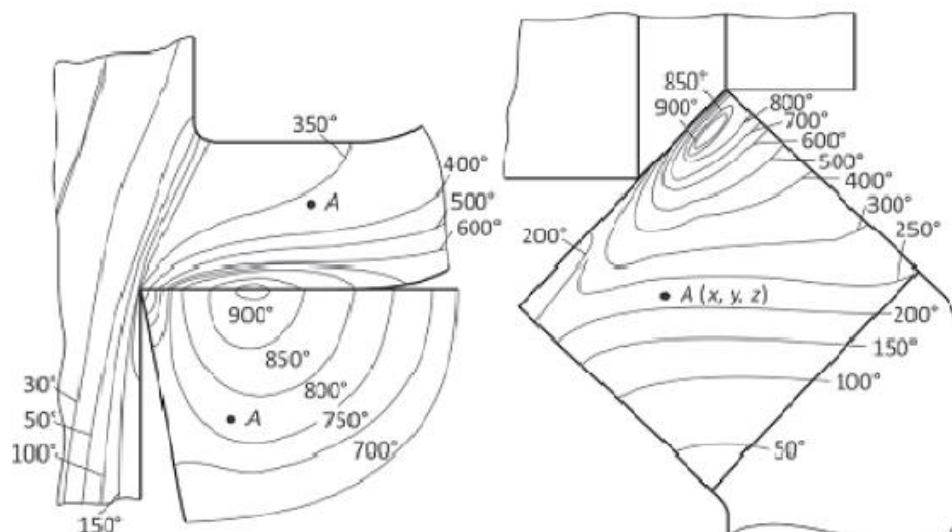


Слика 2.3 Процентуални удео одвођења топлоте

2.4. Температура резања

Генерисана топлота у зони резања доводи до загревања предмета обраде, струготине и резног алата и појаве карактеристичних температурних поља и температура (слика 2.4.).

Са слике 2.4 је евидентно да се различите тачке струготине и грудне површине резног клина налазе на различитим температурама [4].



леђна површина резног клина

грудна површина резног клина

Слика 2.4 Температурна поља при обради челика [5]

У оба случаја максимална температура је на средини контакта. Температура било које тачке у зони резања зависи од координата те тачке (x, y, z) и времена (t) за нестационарне услове:

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

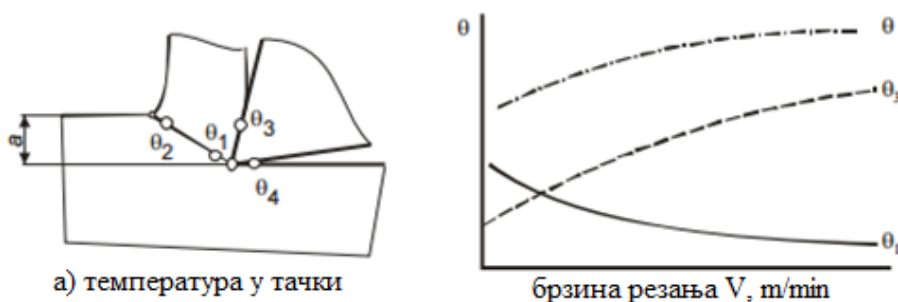
Док је за стационарне услове обраде температура неке тачке:

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

Функција координата те тачке (на пример тачке А), за разлику од температурских области ограничених карактеристичним температурним појавама, изотермама (кривама константне температуре).

Поред температуре у било којој тачки за сагледавање процеса обраде резањем значајне су и:

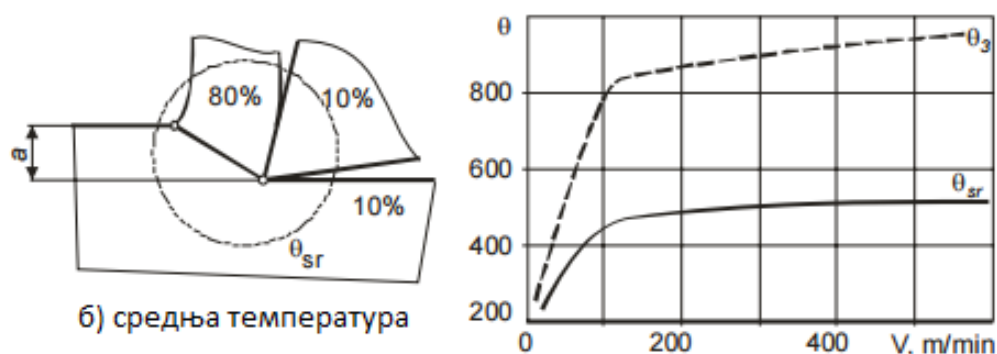
- Температуре у карактеристичним тачкама зоне резања (слика 2.5) и
- Средња температура резања (слика 2.6)



а) температура у тачки

брзина резања $V, \text{m/min}$

Слика 2.5 Температура у карактеристичним тачкама[4]



Слика 2.6 Средња температура резања [4]

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. Зато се често и назива температуром брзине резања.

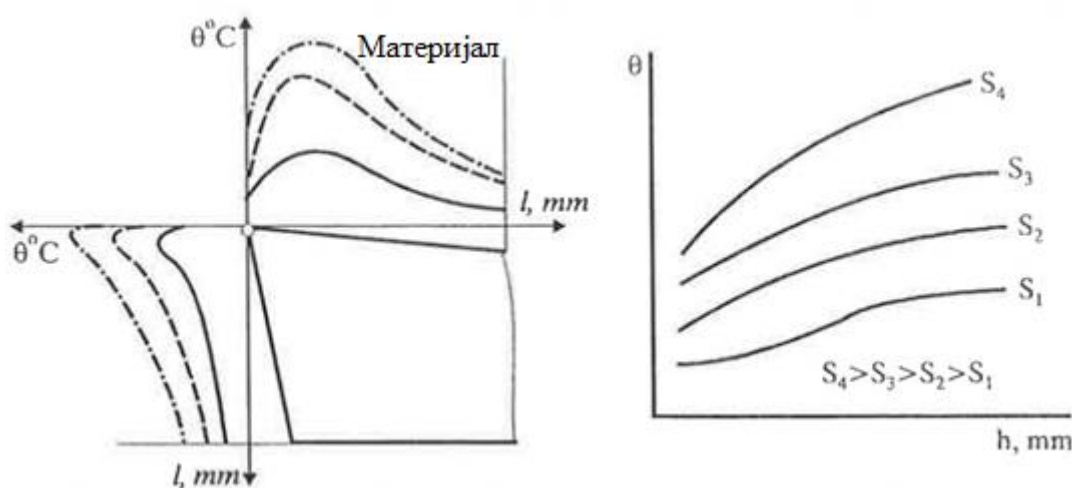
Температура отпора резања θ_2 настаје у корену струготине као резултат сабијања и деформисања струготине. У мањој мери зависи од брзине резања.

Температура 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} .

На слици 2.7а је приказана промена температуре резања различитих тачака на грудној и леђној површини резног клина алата, а на слици 2.7б промена температуре предмета обраде у функцији корака и дебљине струготине. [4]



Слика 2.7 Температура резног клина алата и предмета обраде [4]

Температура резања (у тачки или средња) зависи од снаге топлотних извора и интензитета одвођења топлоте. При резању једног те истог материјала расте са порастом димензија резног слоја (дубине резања и корака) и брзине резања. На основу експерименталних испитивања формирана је зависност облика:

$$\theta = C_{\theta} \cdot V^x \cdot S^y \cdot a^z \cdot \prod_{i=1}^n K_i ,$$

У којој се утицај врсте и механичких особина материјала, геометријских параметара алата, СХП и сл. дефонише преко константе, експонената и корекционих фактора K_i .

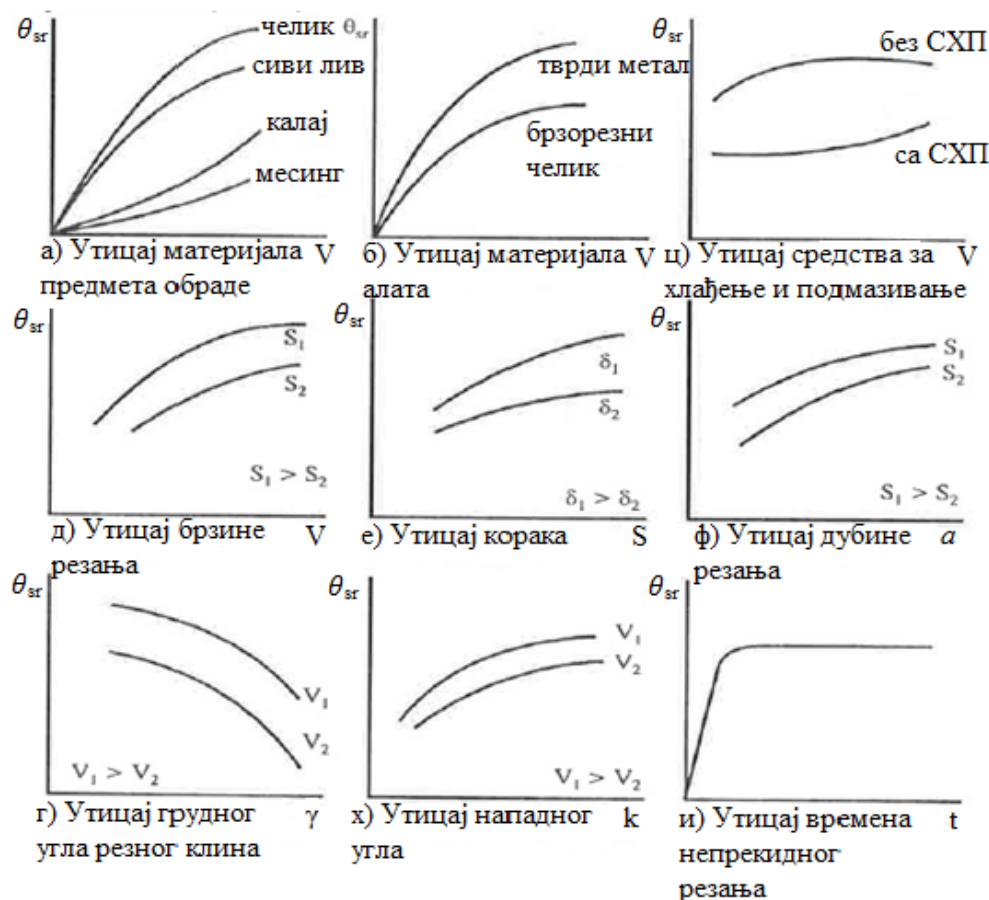
2.5. Фактори утицајни на вредност температуре резања

На вредност температуре резања утичу материјал предмета обраде и алата, геометрија алата, степен похабаности алата, параметри режима резања, средство за хлађење и подмазивање и сл. (слика 2.8). Највећи утицај има материјал предмета обраде и алата, брзина резања и средство за хлађење и подмазивање.

Утицај материјала предмета обраде и алата на температуру резања се објашњава врстом, механичким и топлотним особинама материјала. Температура резања је нижа при обради сивог лива (крти материјали се мање деформишу, уз мању дужину контакта струготине са грудном површином) и обојених метала (већа топлотне проводљивости) него при обради челика. Са повећањем тврдоће, чврстоће и жилавости повећава се и температура резања.

Повећање топлотне проводљивости алатног материјала смањује се температура резања, што значи да је температура нижа при раду алатима од брзорезног челика него при раду алатима са резним елементима од тврдог метала.

Утицај параметара режима резања, нарочито брзине резања је значајан. Код мањих брзина резања утицај брзине је израженији. При већим брзинама резања повећава се брзина клизања струготине, која одводи и највећу количину генерисане топлоте. Након достизања максималне вредности, при промени брзине резања температура опада, што ствара могућности за развој високобрзинских (високопродуктивних) поступака обраде [4].



Слика 2.8 Утицајни фактори на вредност температуре резања [4]

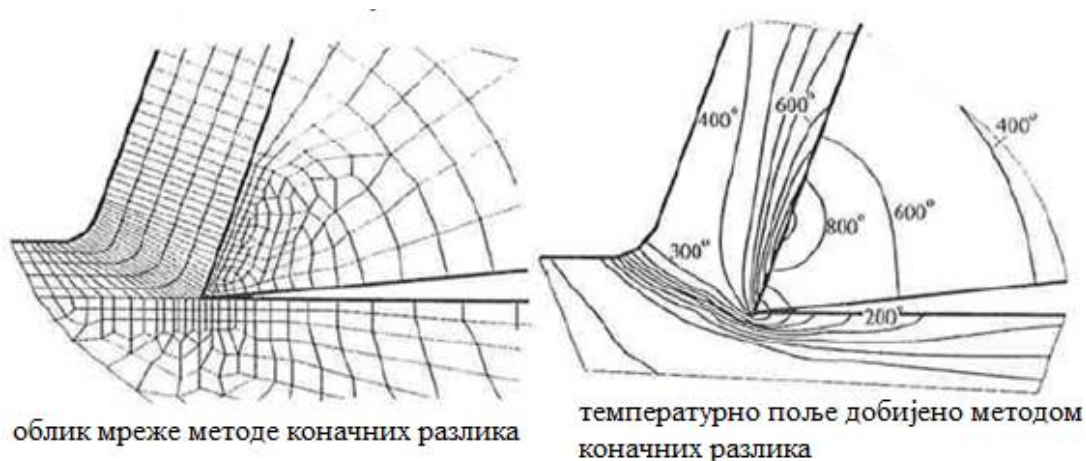
2.6. Методе одређивања температуре резања

За одређивање вредности температуре резања, моделирање, моделирање и симулирање термодинамичких процеса у зони резања користи се велики број мање или више тачних, прецизних и поузданих метода. Све методе одређивања температуре резања се деле у три групе и то на методе:

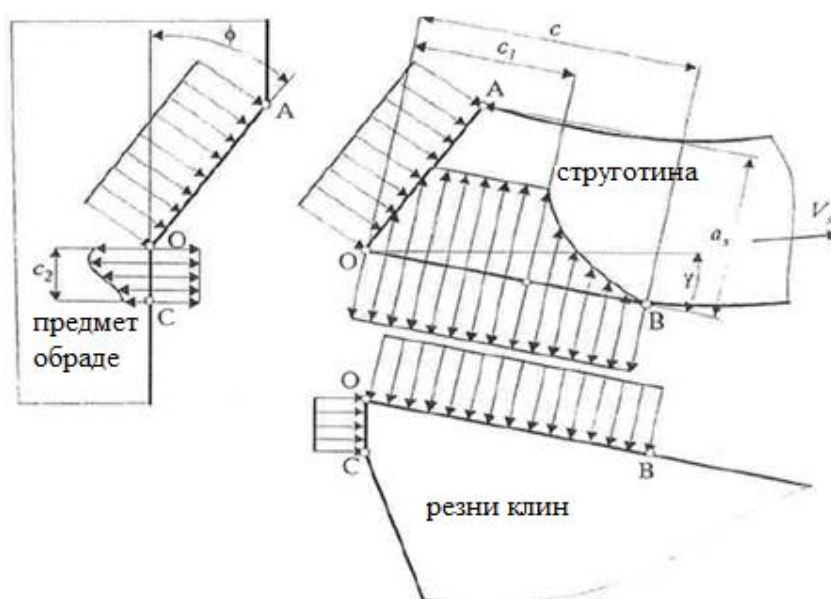
- прорачуна температуре резања
- електротоплотне аналогije
- мерења температуре резања

2.7. Методе прорачуна температуре резања

Основни недостатак свих експерименталних метода (мерења температуре резања) је немогућност утврђивања довољно тачних и поузданих температурних поља у струготини и на резном клину алата (слика 2.9). Зато се и примењују методе прорачуна температуре резања [4].



Слика 2.9 Облик мреже методе коначних разлика и температурног поља [4]



Слика 2.10 Извори и понори топлоте у зони резања [4]

Методе прорачуна температуре резања се деле на рачунсе (диференцијалне једначине) и графичке (диференцијални поступак). Рачунске методе су методе коначних разлика, варијационе, тренутних тачкастих извора топлоте, раздвајања променљивих, Лапласове трансформације, моделирања на рачунару и сл.

Суштине свих рачунских метода се састоји у дефинисању физичких тела (предмет обраде, струготина, резни алат,..., која учествују у размени топлоте), топлотних извора у којима се генерише и топлотних понора на које се дистрибуира генерисана топлота (слика 2.10).

За решавање диференцијалне једначине проводљивости користе се различите аналитичке (класичне, операционе, топлотних извора) и нумеричке методе (коначних разлика, моделирања топлотних појава). Метод топлотних извора и моделирања топлотних појава на рачунару су најчешће коришћени методи. Суштина метода топлотних извора је у идентификовању температурног поља насталог у датом телу (струготини, резном клину алата), под дејством топлотног извора (покретног или непокретног, повремених или непрекидних) и суперпонирањем температурних поља насталих под дејством система тренутних тачкастих извора топлоте [4].

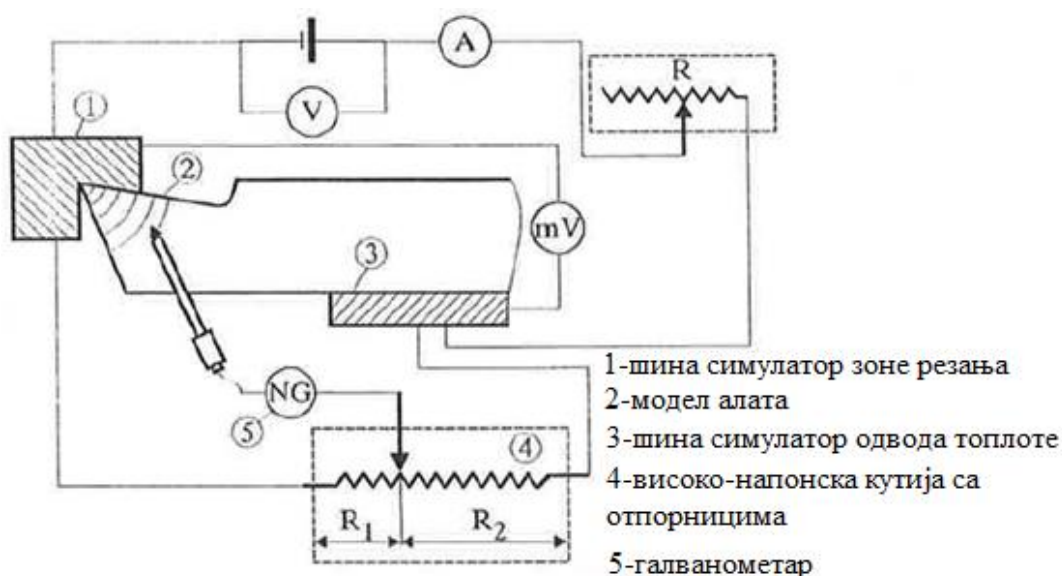
2.8. Методе електротоплотне аналогије

Две основне методе електротоплотне аналогије се заснивају на примени електролитичког папира или електролитичког купатила.

Метод електротоплотне аналогије применом електролитичког папира базира се на мерењу температуре резног алата мерењем електричног потенцијала на моделу процеса резања (слика 2.11). Модел ножа је израђен од електропроводне хартије. Шилком проводника се идентификују тачке истог потенцијала, а температура појединих изотерми θ се дефинише преко израза:

$$\frac{\theta - \theta_1}{\theta_1 - \theta_2} = \frac{R_1}{R_1 + R_2};$$

У коме су θ_1 - температура на симулатору зоне резања, θ_2 - температура на симулатору одвођења топлоте, R_1 и R_2 - отпорници.



Слика 2.11 Принципијална шема електротоплотне аналогије [4]

3. Методе мерења температуре резања

Методе мерења температуре алата, струготине и предмета обраде се разврставају у две групе, зависно од тога да ли се мери температура у зони резања или у тачки, тачније у уском подручју алата, струготине или предмета обраде, и то на методе мерења:

- Средње температуре резања
- Температуре у тачки

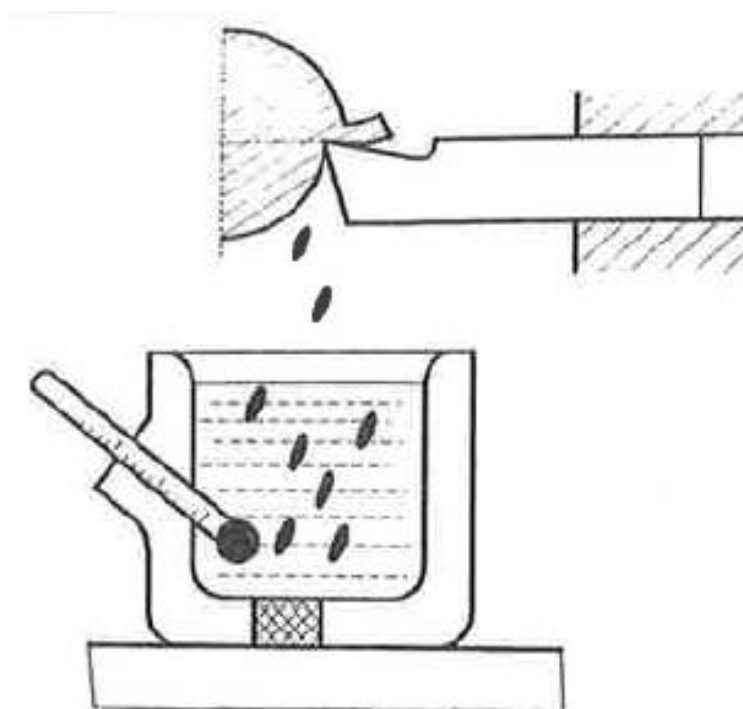
Подела метода мерења температуре је могућа и применом других критеријума. Тако се разликују контактне и безконтактне методе. Контактне методе су методе засноване на термоелектричном ефекту (природни, вештачки или поливештачки термопарови) и промене структуре или тврдоће површинског слоја под утицајем топлоте (промене на основном или додатном материјалу). Безконтактне методе користе принцип зрачења топлоте и заснивају се на термичком (термистори-полупроводници), фотохемијском (инфрацрвена фотографија) или термоелектричном ефекту (фотоотпорници, фотоелементи-диоде, триоде, инфрацрвени претварач слике, инфрацрвена телевизија).

3.1. Методе мерења средње температуре резања

За мерење средње температуре резања најчешће се користе методе:

- Калориметарска
- Термоосетљивих боја или премаза
- Промене боје танког оксида
- Природних термопарова

За одређивање средње температуре струготине, коју је имала до пада у калориметар, и укупне генерисане топлоте у струготини користи се калориметарски метод (слика 3.1).

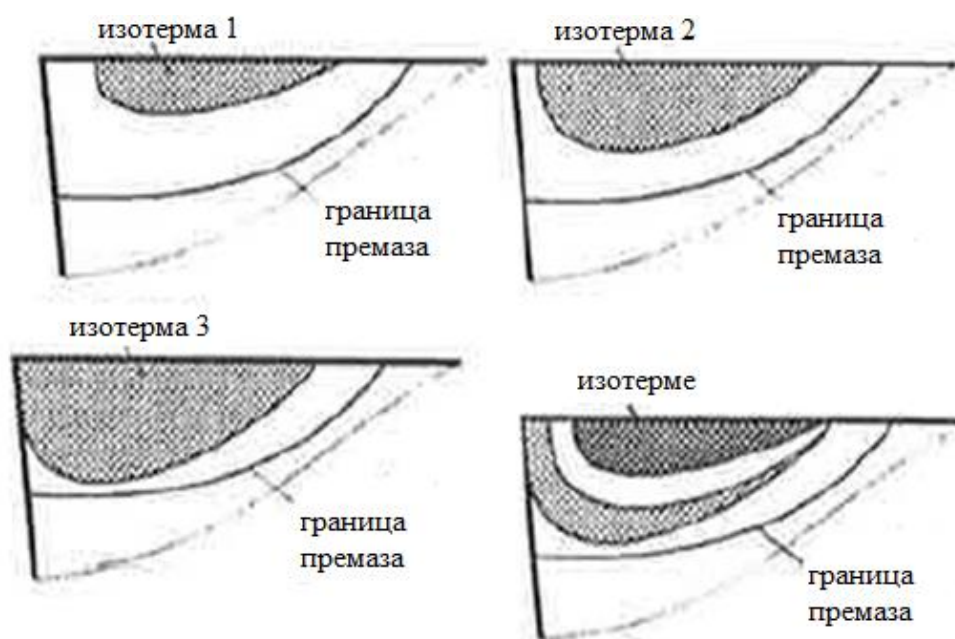


Слика 3.1 Калориметарски метод [4]

На основу резултата мерења температуре течности у калориметру, пре (θ_0) и након пада струготине у калориметар (θ_k) и масе струготине (m_s), при познатој маси течности (m_1) и специфичној топлоти материјала предмета обраде (c), средња температура струготине је:

$$\theta_{sr} = \theta_0 + \frac{(\theta_k - \theta_0) \cdot m_1}{c \cdot m_s}$$

Код метода термоосетљивих боја или премаза користе се хемијска једињења осетљива на промену своје првобитне боје након достизања одговарајуће температуре. Одређеној температури одговара и одређена боја премаза. Тако добијена боја се мења након хлађења, па је метод погодан за формирање температурних зона (поља) на резном клину алата (слика 3.2.).

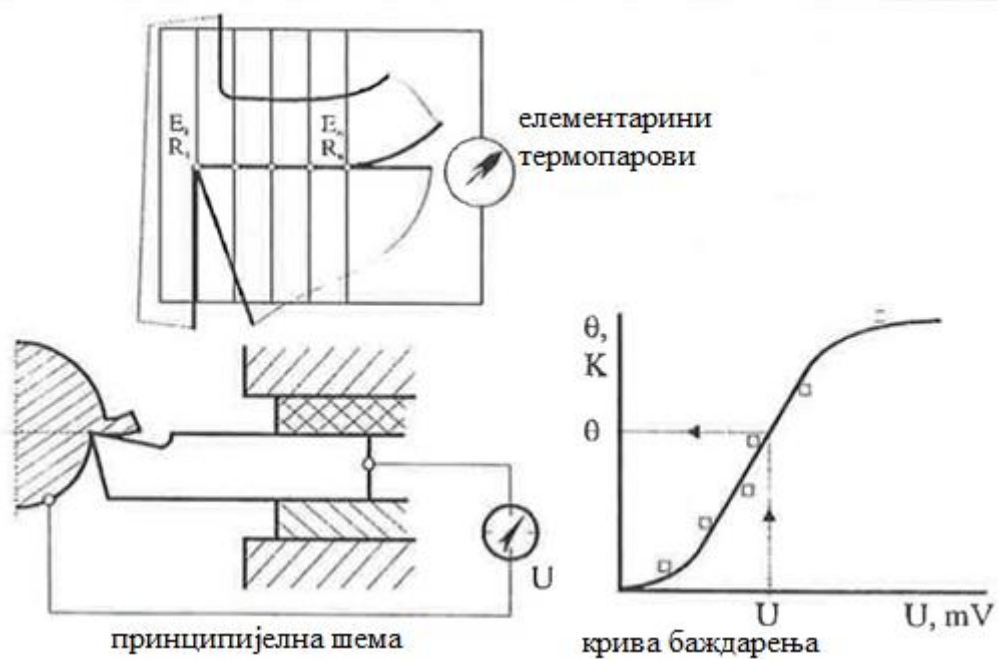


Слика 3.2 Метод термоосетљивих боја или премаза [4]

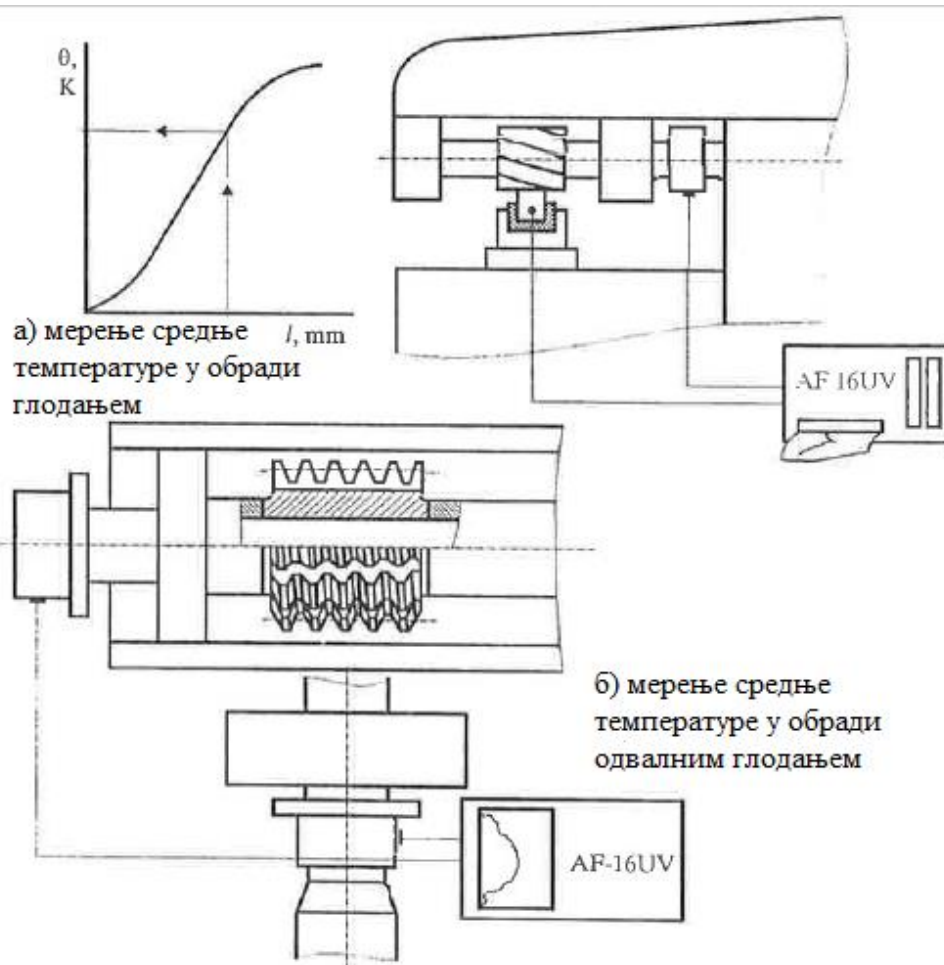
Метод промене боје танког слоја оксида на струготини се састоји у праћењу боје оксида на струготини, непосредно након резања. У зависности од боје танког слоја оксида могуће је, на бази вишегодишњих испитивања, орјентационо констатовати вредност средње температуре резања. На пример: *светло сива боја 637 K, плавкаста 623K, тамно жута 523 K, жута 473 K итд.*

Метод природних термопарова (слика 3.3) је најчешће, скоро искључиво примењиван метод мерења средње температуре резања, због своје једноставности, тачности и поузданости. Природни термопар чине алат и предмет обраде који су изоловани од осталих елемената машине.

Ако се алат и предмет обраде повежу у струјно коло (слика 3.3), услед загревања места контакта (зоне резања) у процесу резања долази до индуковања електромоторне силе. Њеним регистровањем (применом одговарајућих мерних ланаца који укључују одговарајуће индикаторске јединице, (слика 3.4) при познатој кривој баждарења (зависност средње температуре и напона за дати термопар, дате материјале предмета обраде и алата), стварају се услови за идентификовање средње температуре резања.

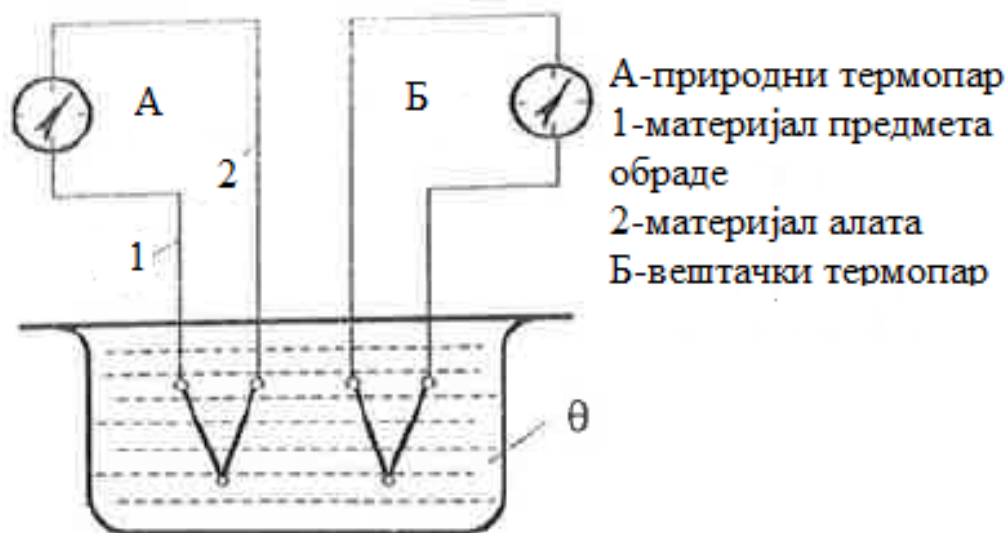


Слика 3.3 Шематски приказ природног термопара [4]

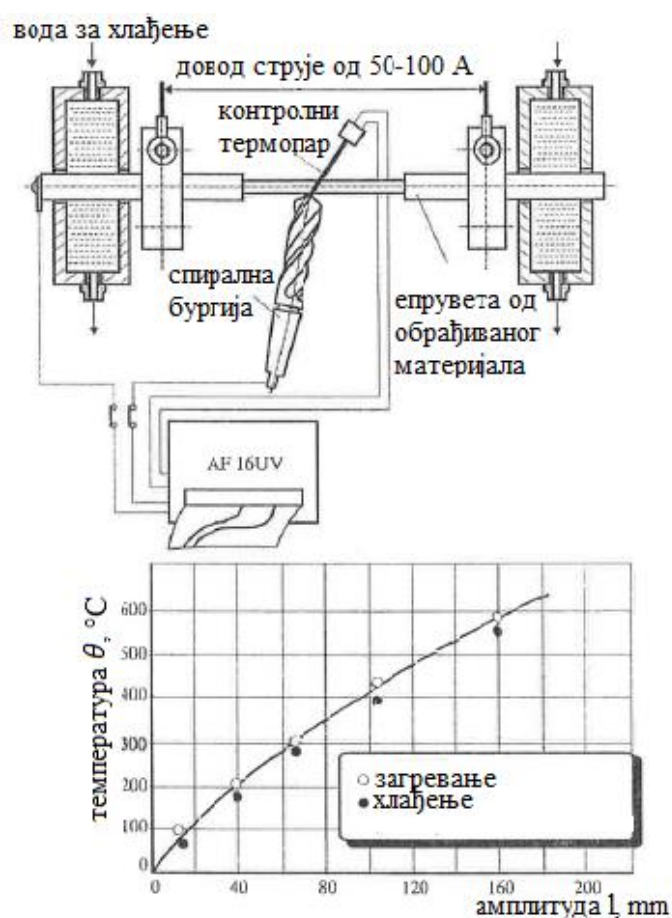


Слика 3.4 Мерни ланац за мерење средње температуре резања у обради глодањем и одвалним глодањем [4]

Баждарење природног термопара се изводи уз помоћ вештачког термопара, када су оба постављени у одговарајућу средину (раствор), који се загрева (слика 3.5). Истовременим праћењем показивања оба термопара формира се крива баждарења природног термопара (кога сачињавају елементи израђени од материјала алата и предмета обраде). Баждарење је могуће извести у куполним или електричним пећима, применом специјалних уређаја (слика 3.6).

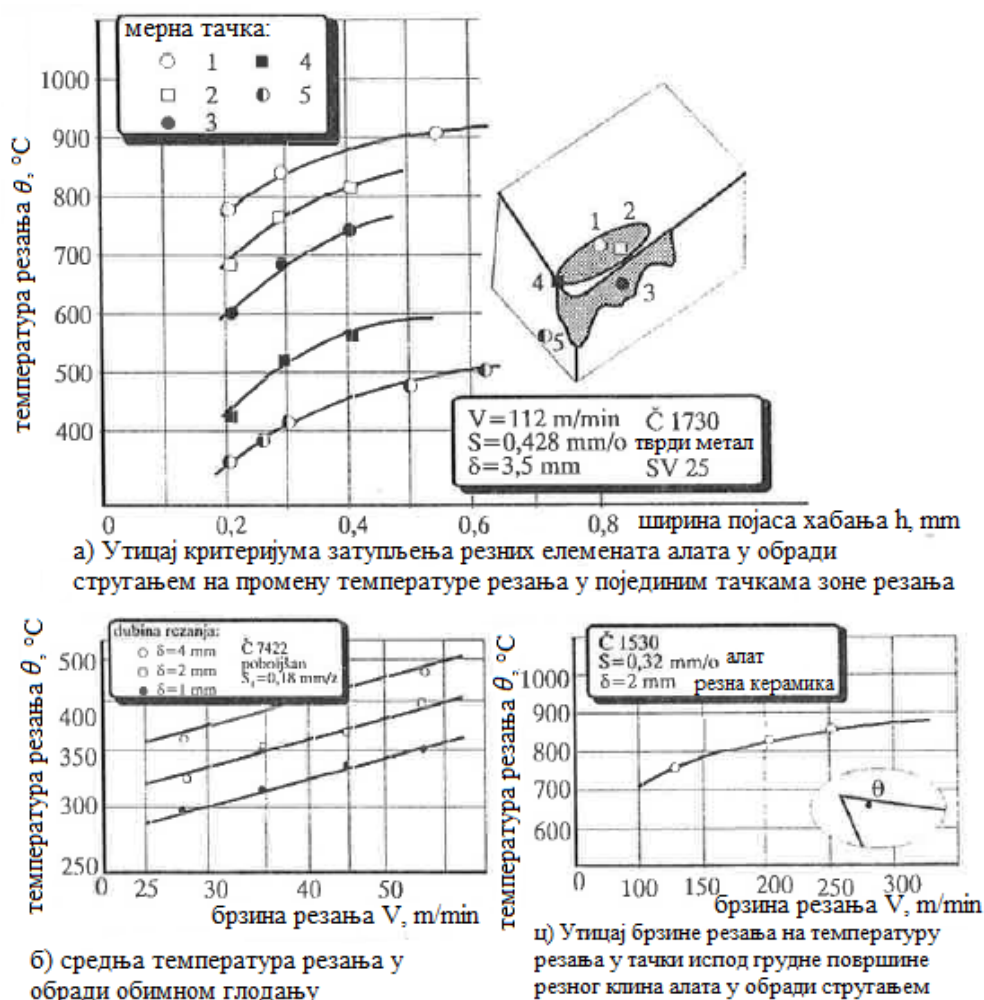


Слика 3.5 Принципијелна шема баждарења природног термopара [4]



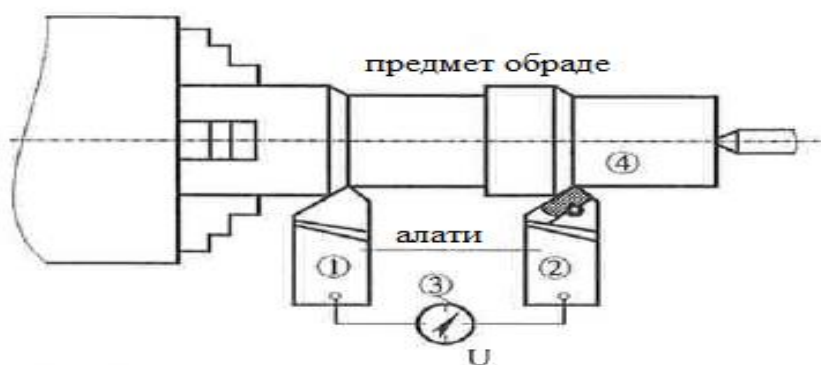
Слика 3.6 Шема уређаја за баждарење природних термопарова

Применом природних термопарова у лабораторији за обраду метала резањем добијене су многобројне зависности температуре резања и параметара обраде, као што су на пример зависности приказане на слици 3.7.



Слика 3.7 Зависност температуре резања и параметара обраде

Метод два ножа елиминише утицај материјала предмета обраде на облик криве баждарења. У обради стругањем се користе два ножа идентичних геометријских параметара, димензије и резне геометрије, израђене од брзорезног челика (1) и тврдог метала (2), спојена у електрично коло са индикатором (миливолтмертом-3, као на слици 3.8).



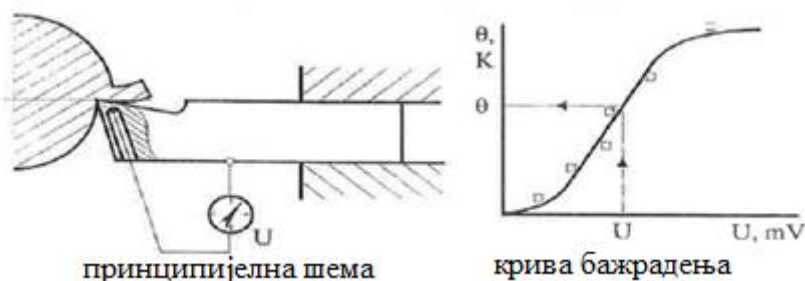
Слика 3.8 Шема мерења температуре резања методом два ножа [4]

3.2. Методе мерења температуре у тачки

За методе мерења температуре резања у тачки примењују се:

- Метод вештачких термопарова
- Метод полувештачких термопарова
- Радијацијски или оптички метод
- Метод миктоскопске анализе
- Метод електротоплотне аналогije

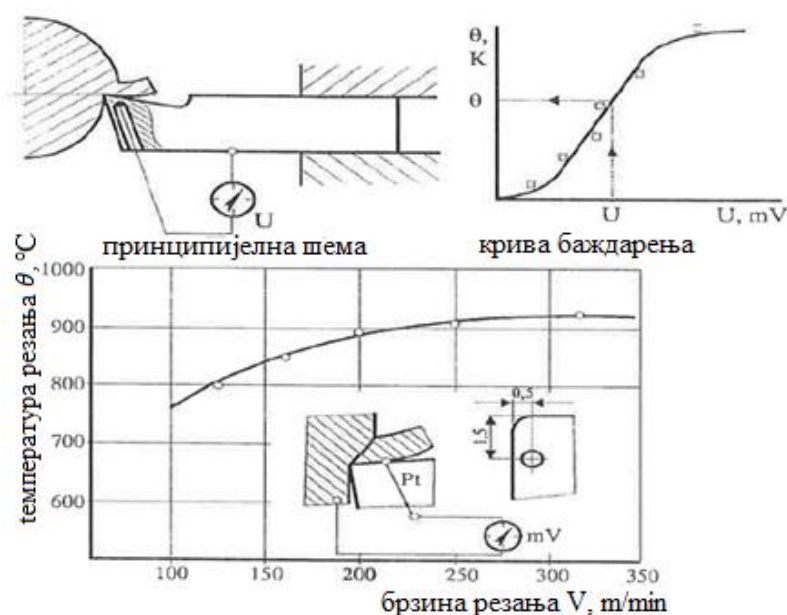
Метод вештачких термопарова се састоји у постављању вештачког термопара (гвожђе-константан, платина-иридијум, месинг-константан и сл.) у претходно избушен отвор пречника 0.5-1,5 mm, на алату или предмету обраде, зависно од тога у којој тачки се мери температура резања. У процесу резања долази до загревања контактне тачке термопара и промене параметара струјног кола (напона, на пример) које чине елементи термопара и одговарајући проводници (слика 3.9).



Слика 3.9 Принципијелна шема вештачког термопара

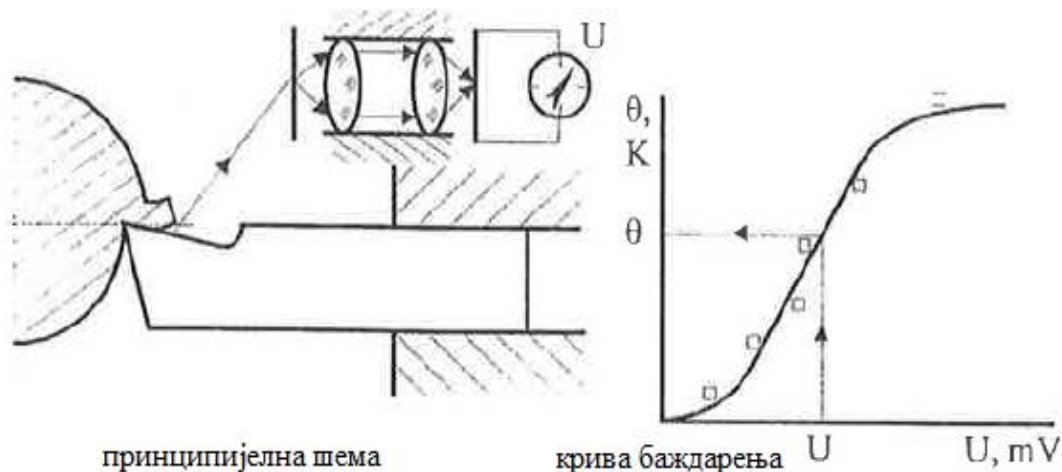
На основу познатих вредности параметара струјног кола и криве баждарења конкретног термопара идентификује се температура резања.

Код метода полувештачких термопарова један од елемената термопара је алат или предмет обраде, а други проводник израђен од одговарајућег материјала (константан, платина, иридијум и сл.) постављен у претходно избушен отвор (слика 3.10).



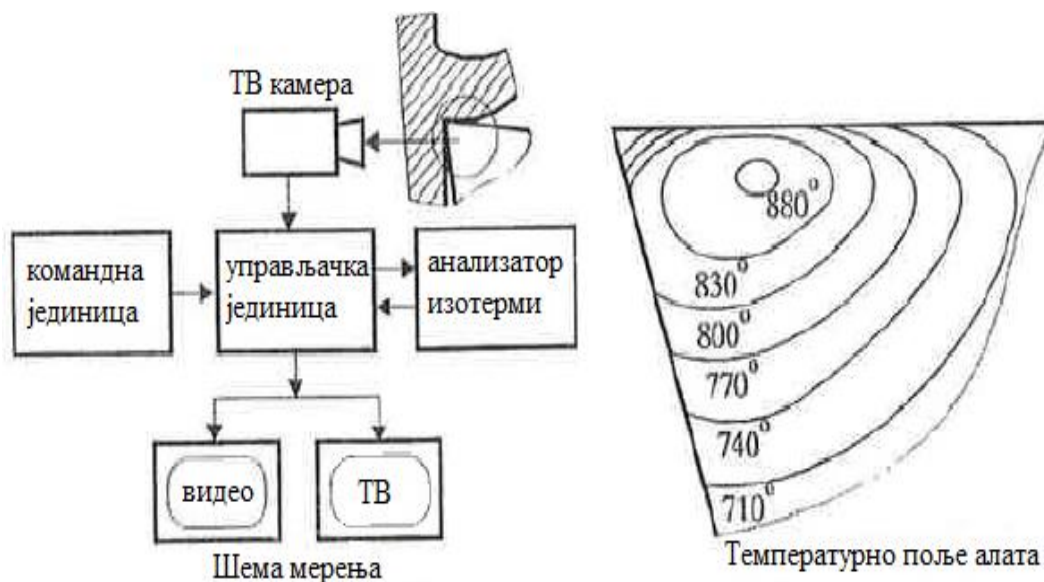
Слика 3.10 Принципијелна шема и резултати мерења методом полувештачког термопара [4]

Фотоелектрични, радијацијски или оптички метод се занима на принципу скупљања-сабирања зрака топлотног зрачења са једног одређеног места на коме се мери температура резања (слика 3.11). Код првог поступка, инфрацрвене термометрије, топлотно зрачење се фокусира на термоосетљиви елемент. Таласне дужине топлотног зрачења се налазе у невидљивом, ИС подручју таласног спектра. Мерењем напона на главном галванометру створени су услови за идентификовање температуре резања [4].



Слика 3.11 Принципијелна шема радијацијског метода и инфрацрвене термовизије

Даљи развој радијацијског поступка довео је до методе телевизијске термометрије (слика 3.12). За непосредно квантитативно праћење промене температурног поља на резном клину алата у току процеса обраде. Камера снима зону резања, а преко управљачког блика се изводи анализа изотерми и њихово праћење на екрану.



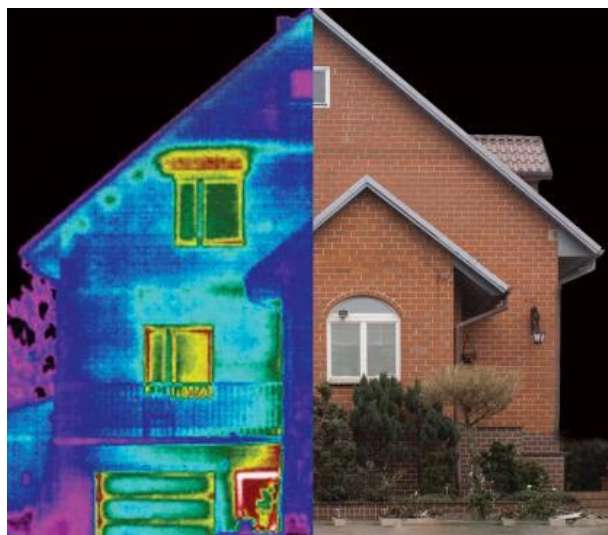
Слика 3.12 Шема телевизијске термометрије

Метод микроскопске анализе се занима на утврђивању температуре резања применом поступка микроскопске анализе стања, микротврдоће и микроструктуре материјала површинског слоја. У циљу потпуне анализе неопходне је познавање и микроструктуре, фазног стања и тврдоће основног материјала и материјала алата на одређеним температурама. На основу квантитативног идентификовања промена може се одредити и температура, не само на предмету обраде већи на алату [4].

4. Основи термовизије

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 (слика 4.1) [6].



Слика 4.1 Објекат сниман инфрацрвеном камером [7]

Камере за термовизијско снимање (слика 4.2) су по спољашњем изгледу сличне ЦЦТВ камерама, али су посебно прилагођене да „виде“ онај део инфрацрвеног спектра који је за људско око невидљив.



Слика 4.2 Термовизијска камера [6]

Велики број технологија које ми данас сматрамо уобичајеним порекло имају у војној индустрији. Радар и млазни мотор су првобитно развијени од стране војске. Глобални позициони систем (ГПС) је развијен раних седамдесетих од стране Америчког министарства одбране како би наводили пројектиле. Када је први овакав систем интегрисан у аутомобил за цивилну употребу, ГПС је и даље био веома скуп систем. Данас је ГПС практично инсталиран у сваки аутомобил.

Данас постоји технологија која, такође, потиче из војне индустрије и која своју примену све више налази у цивилној индустрији. То је технологија која ће не само променити наше животе, већ ће их и спашавати. Ова технологија је названа термална слика.

Камерама које се данас највише примењују - такозваним ЦЦТВ камерама - потребна је светлост како би давале слику. Термалне камере, које се некада називају и инфрацрвене камере, способне су 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 види и у тоталном мраку. Њој светло уопште није потребно.

Прве термалне камере намење војсци развијене су у Шведској 1958. године од стране компаније која се звала АГА, данас познате као ФЛИР Системс.

Ова технологија пружа могућност стварања јасне слике у тоталном мраку, магли, киши или снегу. Пошто камере које користе термалну технологију могу да "виде" и кроз дим, то их чини још интересантнијим за свакодневну употребу.

Прва инфрацрвена камера за комерцијалну употребу развијена је 1965. Коришћена је за испитивање струјних водова. Било је потребно да се чека до 1973. да би се произвела прва инфрацрвена камера која ради са лако преносивом батеријом.

Иако се називао "преносивим", овај систем је и даље био веома кабаст. Технологија која је коришћена у то време захтевала је да камера буде пуњена са течним нитрогеном, који је расхлађивао инфрацрвени детектор интегрисан у систем. Ово је трајало све до 1985. када је ФЛИР Системс представио први систем који није захтевао да течни азот расхлађује детектор. Уместо тога интегрисан је такозвани cryocooler.

Да би се направила термална камера са нехлађеним детектором, чекало се до 1997. када је пронађен такозвани микроболометар (microbolometer). Једна од главних предности микроболометра је то што он нема покретних делова, па је због тога мање подложен ломовима. Трошкови производње су такође смањени, што је омогућило да произвођачи термалних камера смање цене својих производа.

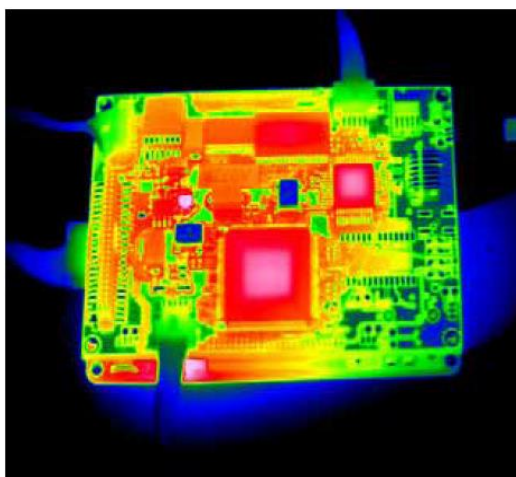
Ова технологија све више примене налази у системима надгледања и заштите (слика 4.3). Иако је ова технологија била привилегија граничних патрола и осталих државних корисника, данас све више индустријских објеката користи моћ термалних камера за заштиту своје имовине и људства [6].



Слика 4.3 Систем за надгледање и заштиту [6]

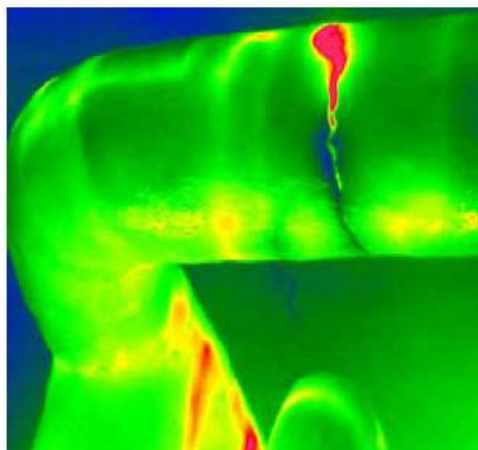
4.1. Примена термовизијске камере

Са могућношћу да види мале објекте нерегуларног облика и да даљински одређује термичке карактеристике и температуру, инфрацрвене камере су стекле вредну предност како у производњи тако и у областима дијагностике у електронској индустрији. Оне су омогућиле електронским компанијама да брзо идентификују електричне проблеме у њиховим производима, много пре него што се много већи проблеми открију у процесу експлоатације производа. На тај начин, оне могу максимализовати ефикасност производње, минимизовати време потребно да се нови производ пласира на тржиште и спречити стварање трошкова одржавања производа у гарантном року. (слика 4.4).



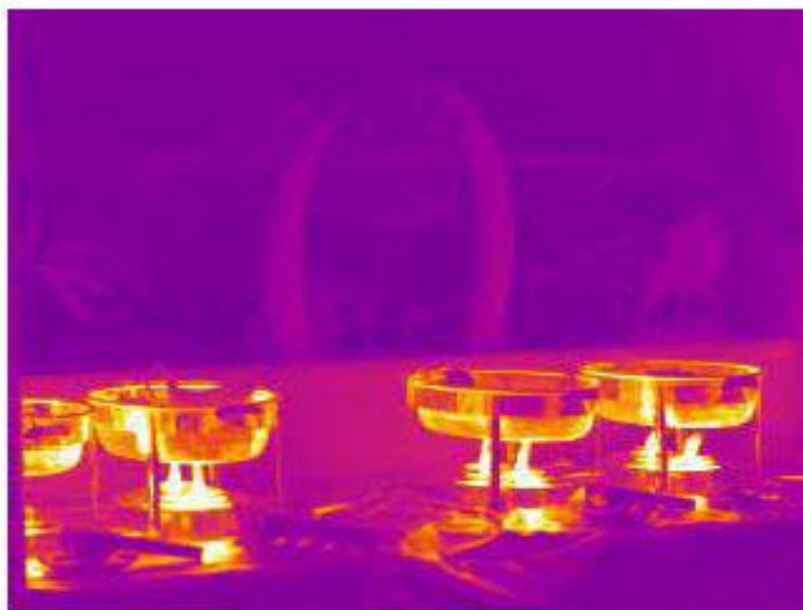
Слика 4.4 Примена термалне камере у производњи електронике [8]

Као изузетно енергетски осетљив, рафинеријски процес у петрохемијској индустрији захтева пажљиво термичко праћење, за повећање безбедности и термичке ефикасности свих процедура. Испитивање таквих термалних процеса са високо температурним мерењима, помоћу инфрацрвене термичке камере може обезбедити бржу и тачнију дијагностику проблема и смањити веома високе трошкове, који се јављају у случајевима кварова у рафинеријама. Рафинерије могу постићи виши ниво продуктивности и повећати профитабилност употребом инфрацрвених камера, за проверу нивоа у резервоарима, дијагностику пера кондензатора, одржавање пећи, управљању губицима у ватросталним материјалима и електричном и механичком одржавању (слика 4.5).



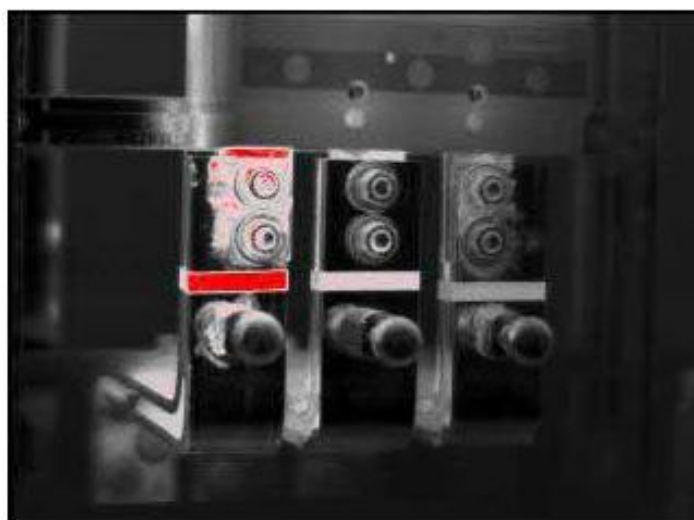
Слика 4.5 Примена термалне камере у петрохемијској производњи [8]

Необично је важно у процесу производње стакла пратити температуре на критичним спојевима на производу. Пошто је сам процес производње у природи термички, квалитет произведеног стакла је у чврстој вези са добијањем тачних резултата мерења температуре различитих елемената, као што су калупи за стакло, „отвори“, челичне бескрајне траке и пећи. Употребом лако постављајућих инфрацрвених камера за праћење тих температура, као и за превенцију од електричних и механичких кварова, искључивањем традиционалног превентивног одржавања, постиже се са оваквом опремом већи квалитет производа, као и минимални трошкови, јер се избегавају кварови (слика 4.6) [8].



Слика 4.6 Примена термалне камере у производњи стакла [8]

ИЦ термографија је веома користан алат за испитивање разне механичке опреме (слика 4.7), као што се лепо види на термичкој слици механизма са грешком у повезаном грејању за време покретања и заустављања као и нормалног рада. Употребом лако постављајућих инфрацрвених камера за праћење тих температура, као и за превенцију од електричних и механичких кварова, искључивањем традиционалног превентивног одржавања, постиже се са оваквом опремом већи квалитет производа, као и минимални трошкови, јер се избегавају кварови.



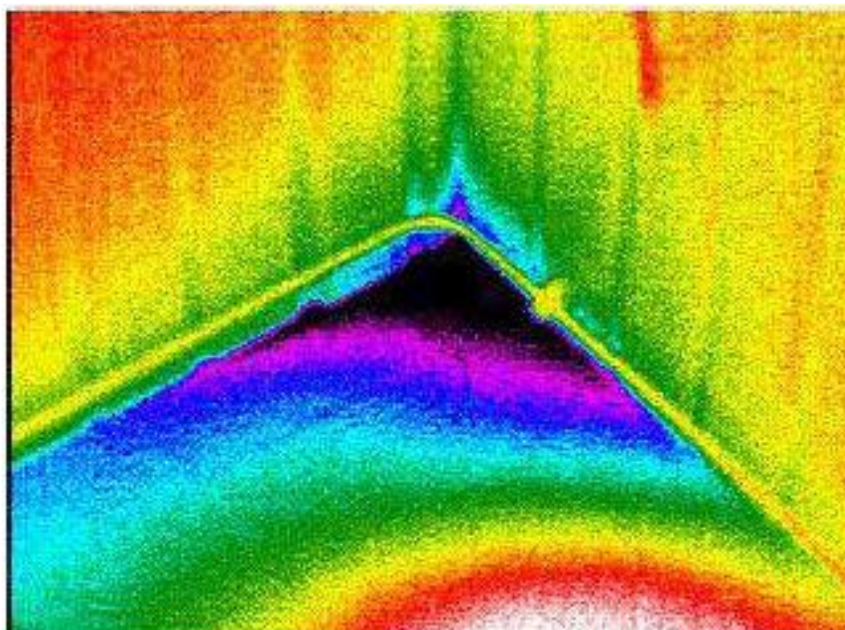
Слика 4.7 Примена термалне камере код механичке опреме [8]

На слици 4.8 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.



Слика 4.8 Прекомерно грејање у електроенергетском систему [8]

Исправљање неисправности у конструкцији игра значајну улогу у повећању ефикасности градње и ојачању конструкција (слика 4.9). Заснован на механизму да површинска температура варира на површини градавине показујући проблеме у структури, 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.

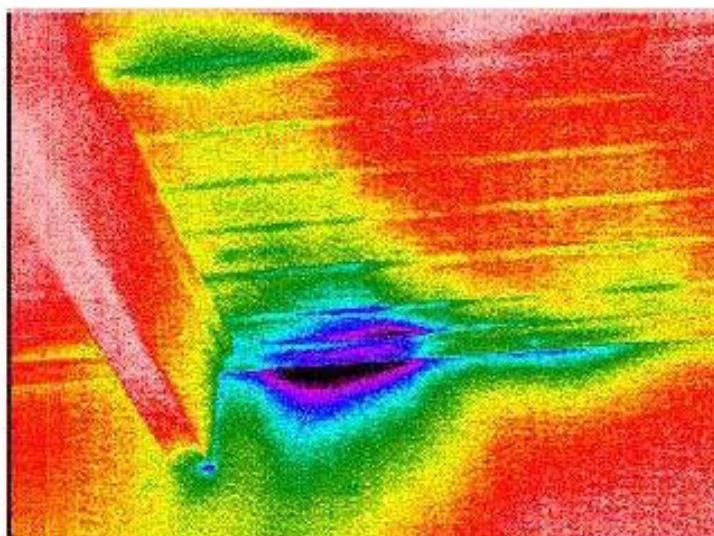


Слика 4.9 Примена термовизијске камере у грађевинарству [8]

Физика која се користи за термичко испитивање плафона, је да сува плафонска изолација загрева и хлади простор брже него влажна плафонска изолација. Инфрацрвено испитивање иде даље од обичног проналажења места цурења, лоцирањем степена продора влаге кроз изолацију. Уместо тога, ми користимо инфрацрвену камеру за тестирање и прикупљање података и слика о температурним разликама између дана и ноћи.

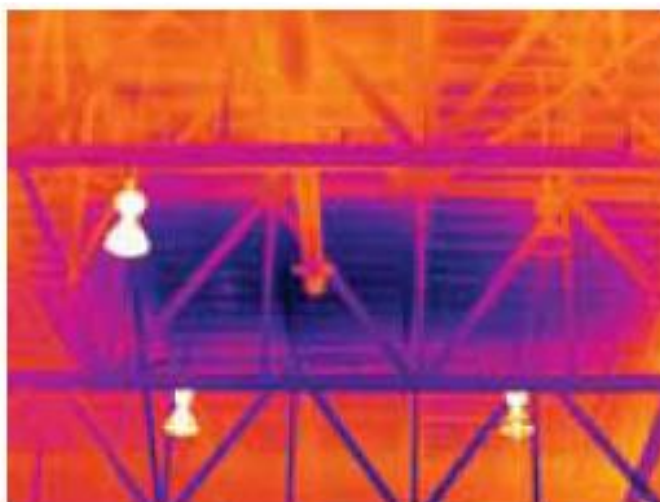
Примери примене:

- Детекција пропуштања равних кровова на зградама, фабрикама, објектима.
- Идентификација оштећења куда продире вода на крововима.
- Елиминација ненеопходних интервенција и замена ваљаних делова кровова.



Слика 4.10 Примена термовизије код плафонских система [8]

Сакупљање влаге због кондензације, или продирања је основни разлог за развијање буђи. Ипак не постоји практичан начин за елиминисање спора гљивица у унутрашњем простору. Најбољи начин за контролу развоја гљивица је контрола влаге. Инфрацрвено испитивање је брз метод, код кога нема потребе за продирање у материјал, и користи се за откривање продора влаге унутар зидова зграде. Инфрацрвено испитивање не открива директно постојање гљивица, али проналази влагу, а тамо је могућ развој гљивица (слика 4.11).

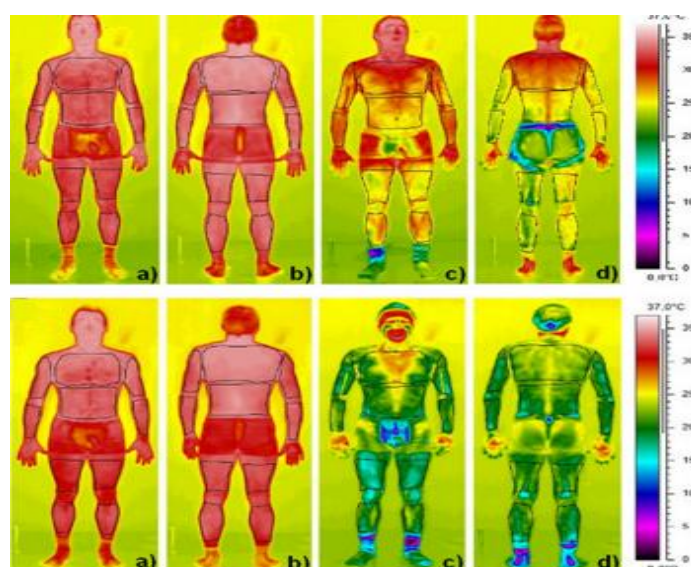


Слика 4.11 Детекција влаге термовизијском камером [8]

ИЦ термографија чини бригу о здрављу људи, па чак и животиња много једноставнијом и лакшом, због њене тачности и практичности. Она помаже за дијагностику, откривање и праћење резултата терапије, без потребе отварања и уласка у људско тело и нарушавања и узнемиравања мира животиња (слика 4.12).

Примери примене:

- Испитивање медицинских повреда кичме код наглог покрета главе, повреде кичме
- Стоматологија, дисфункција вилицне кости итд.
- Развитак спортских повреда и напредак терапије.
- Повреде код коња, испитивање стресног стања услед повреде, хромост.
- Испитивање инфекционих болести међу људима, животињама, и чак између људи и животиња.



Слика 4.12 Примена термовизије у медицини [6]

Систем инфрацрвеног термичког снимања помаже при физичкој заштити материјалних добара, и смањује могуће ризике, како дању тако и ноћу. Он спроводи разумљиву и јасну присмотру шума, нуклеарних термоелектрана, аеродрома, мостова, петрохемијских погона, ценовода, товарних терминала, комерцијалних комплекса и приватних поседа. Било по дневној светлости, или мрклом мраку, у условима када су друге технике неефикасне, термичко снимање је идеалан избор за активно надгледање против нежељеног улаза, неовлашћеног приступа, и других евентуалних безбедносних опасности у широким просторима отворених вода, обала, свих врста лука итд. Омогућите им да снимају без опасности за извршиоца, без особа које их опслужују, из напуштених аутомобила, тајних склоништа у зидовима, скривених места у земљи, скривених одељака у возилима итд. Инфрацрвено термичко снимање даје полицији и професионалцима из јавне безбедности веома снажан доказни материјал за заштиту људских живота и алат за детекцију и доказивање криминалних радњи.

Примери примене:

- Противпожарна заштита шума
- Безбедносно обезбеђење јавних и приватних зграда и поседа
- Безбедност транспортних простора за пријем и отпрему људи и добара
- Безбедност објеката производње и развоја

- Безбедност галерија, музеја и изложби
- Безбедност банака и зграда

Инфрацрвено термичко снимање претставља веома важно и јефтино решење за широк спектар војних задатака као што су преживљавање, потеря и спасавање, заштита војних снага, спречавање уноса дрога, обезбеђивање сигурности простора итд. Са технологијом инфрацрвеног термичког снимања, повећавање слика или екстра осветљавање објеката није потребно, као код традиционалних метода обезбедења. Чак и под лошим временским условима, инфрацрвено термичко снимање даје оператеру неприметан начин посматрања, најсавременији начин снимања, и спровођење вишенаменских мисија на систематски и флексибилан начин. На тај начин, ИЦ снимање се доказало као кључни систем за војне и паравојне примене (слика 4.13.).

Примери примене:

- Претрага и спасавање
- Обезбедење простора
- Обезбедење лука
- Обалско патролирање
- Ноцно осматрање
- Главно осматрање
- Працење бродског транспорта



Слика 4.13 Примена термовитије у војсци [8]

Осматрањем старих електричних жица, машина које необично дуго раде, слабости у структури и осталих скривених и потенцијалних извора ватре, инфрацрвене термичке камере могу спречити кобне последице, пре него што настану. Инфрацрвене термичке камере такође помажу у налажењу жртава у окружењу густог дима, виде у мраку, и лоцирају место и центар ватре, јер виде ток врелих гасова који излазе из ње, што чини да ватрогасци не лутају више слепо. Након што се ватра угаси, термичко снимање за време отклањања последица пожара може детектовати скривене и невидљиве жеравице, које опасно вребају спасиоце неоткривених преживелих. Доказано је да су инфрацрвене термичке камере необично важан противпожарни алат, који дају огроман прилог и допринос на много различитих и јединствених начина (слика 4.14) [8].

Примери примене:

- Детекција скривених и нескривених извора ватре
- Трагање и спасавање жртава.
- Уочавање скривених жаришта



Слика 4.14 Примена термовизије као противпожарна заштита [8]

Системи инфрацрвених термичких камера значајно повећавају безбедност и ефикасност транспортних система (слика 4.15). Помоћу система инфрацрвених термичких камера, саобраћај, бициклисти и пешаци се могу разликовати. Скривене опасности, препреке и опасности у најцрњим ноћима се могу уочити. На тај начин могућности незгода и опасности се значајно смањују. Отпорне на промене у нивоима осветљености, позадине и окружења, системи за инфрацрвено термичко снимање могу такође обезбедити тачне и благовремене информације о броју учесника у саобраћају и транспорту, који се опет могу користити у просуђивању ефикасности транспортног програма. Холови на станицама и аеродромима се могу надгледати да би се добиле информације о броју пролазника, загушењу и протоку путника на терминалима за долазак и одлазак, као и просторима за вршење услуга. Више камера може бити повезано, да би се обезбедило покривање већих простора.



Слика 4.15 Примена термовизије у транспорту

5. Експериментална испитивања

Експериментална испитивања обраде стругањем реализована су у реалним, индустријским условима. Услови у којима је реализован експеримент односе се на материјал обратка, машину алатку на којој је вршена обрада, коришћени резни алат и изабрани режим обраде.

У експерименталном испитивању циљ је био да се измери температура у зони резања при обради стругањем у зависности од примењених параметара режима обраде и да се на основу добијених резултата креирају дијаграми промене температуре у различитим временским интервалима.

При испитивањима материјал предмета обраде је 90MnCrV8 (Č3840), тврдоће 55 HRC, пречника 35mm. При испитивању коришћена је полочица од тврдог метала са негативном геометријом CNMG 120404-MP (HC7620) фирма ATORN. Носач алата PCLNR 2525 M12 CORUN, Užice.

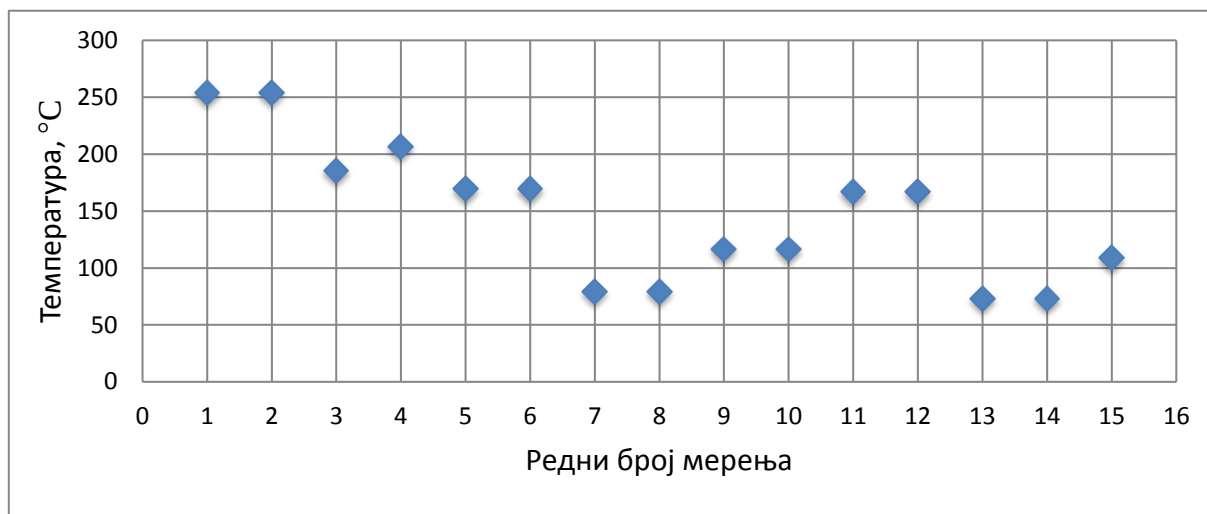
Режим обраде (табела 5.1) обухватио је следеће елементе:

- Дубину резања a (mm)
- Корак S (mm/o)
- Брзину резања V (m/min)

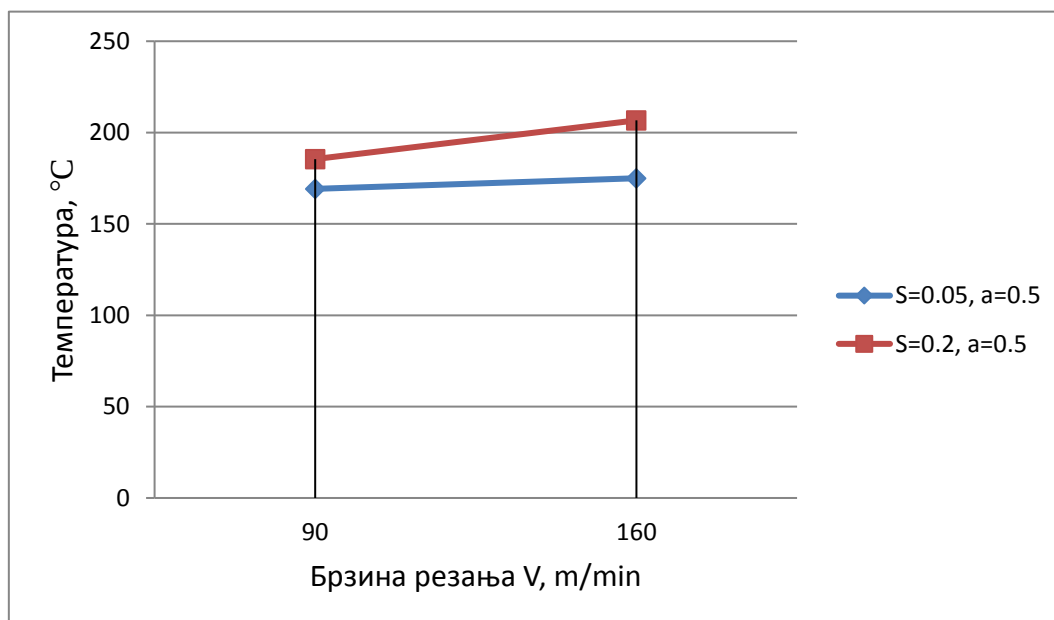
Редни број	Дубина a , mm	Корак s , mm/o	Брзина резања V , m/min	Средња температура °C	Фајлови за температуре MOV
1	0.7	0.1	120	254.06	130
2	0.7	0.1	120	254.06	130
3	0.5	0.2	90	185.5	131
4	0.5	0.2	160	206.7	132
5	0.5	0.05	90	169.2	133
6	0.5	0.05	160	175	133
7	0.1	0.05	90	79.1	134
8	0.1	0.05	160	79.1	134
9	0.1	0.2	90	116.4	135
10	0.1	0.2	160	116.4	135
11	0.07	0.1	120	166.7	136
12	0.07	0.1	120	166.7	136
13	0.22	0.25	120	72.9	137
14	0.22	0.25	120	72.9	137
15	0.22	0.1	180	108.8	138

Табела 5.1 Параметри режима обраде

На основу параметара из табеле 5.1 добијен је дијаграм средње температуре (слика 5.1) а затим је приказан однос температуре и брзине резања (слика 5.2).



Слика 5.1 Средња температура



Слика 5.2 Однос температуре и брзине резања

Следеће испитивање је испитивање са плочицом од кубног нитрида бора са негативном геометријом NU-CNMA 120404 (BN250), фирма SUMIBORON. Носач алата PCLNR 2525 M12 CORUN, Užice.

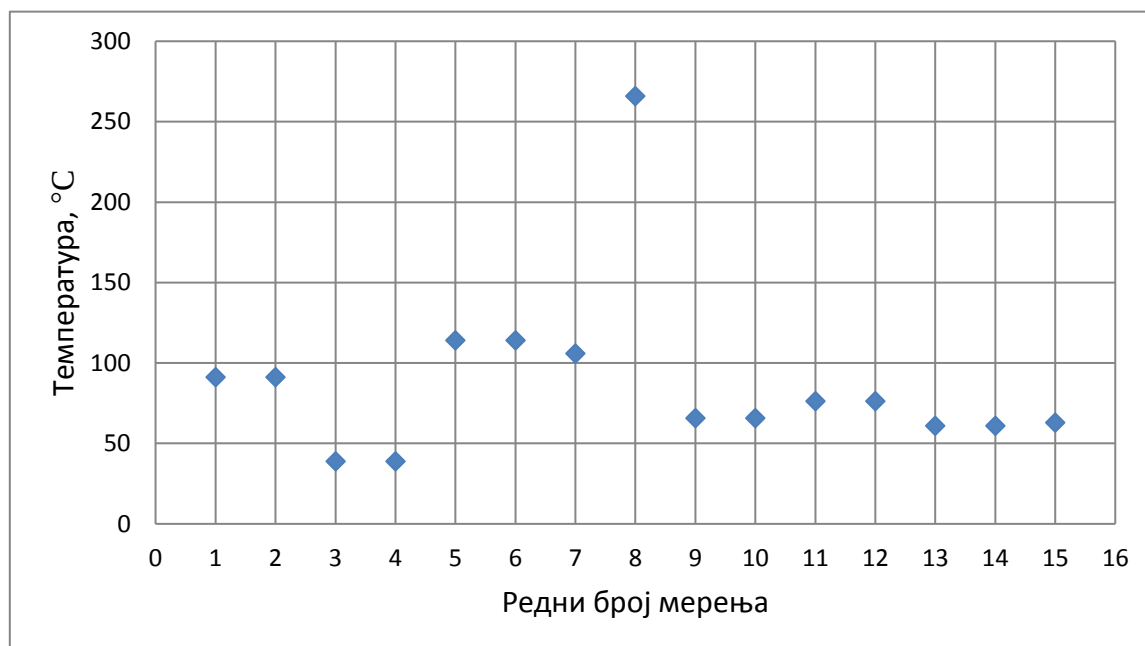
Режим обраде (табела 5.1) обухватио је следеће елементе:

- Дубину резања a (mm)
- Корак S (mm/o)
- Брзину резања V (m/min)

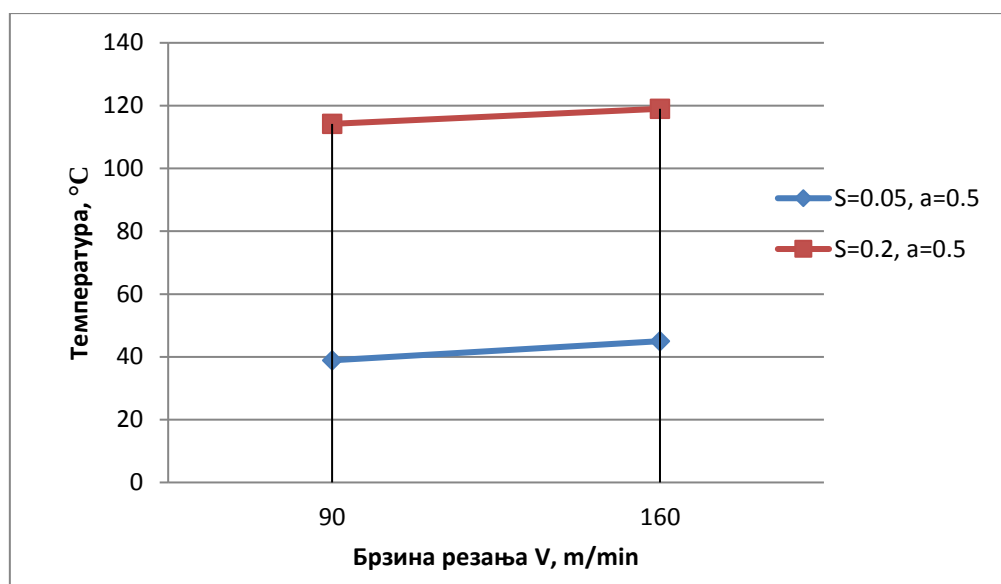
Редни број	Дубина а, mm	Korak s, mm/o	Брзина резања V, m/min	Средња температура °C	Фајлови за температуре MOV
1	0.7	0.1	120	91.3	151
2	0.7	0.1	120	91.3	151
3	0.5	0.2	90	38.9	153
4	0.5	0.2	160	45	153
5	0.5	0.05	90	114.2	152
6	0.5	0.05	160	119	152
7	0.1	0.05	90	106	142
8	0.1	0.05	160	265.9	143
9	0.1	0.2	90	65.8	144
10	0.1	0.2	160	65.8	144
11	0.07	0.1	120	76.4	145
12	0.07	0.1	120	76.4	145
13	0.22	0.25	120	61.1	150
14	0.22	0.25	120	61.1	150
15	0.22	0.1	180	63.1	149

Табела 5.2 Параметри режима обраде

На основу параметара из табеле 5.2 добијен је дијаграм средње температуре (слика 5.3) а затим је приказан однос температуре и брзине резања (слика 5.3).



Слика 5.3 Приказ средње температуре



Слика 5.4 Однос температуре и брзине резања

Наредно испитивање је са плочицом од кубног нитрида бора са позитивном геометријом CCMW 120404 T (19034CBN), фирма Eultool. Носач: SCLCR 2525 M12 Firma Corun, Užice.

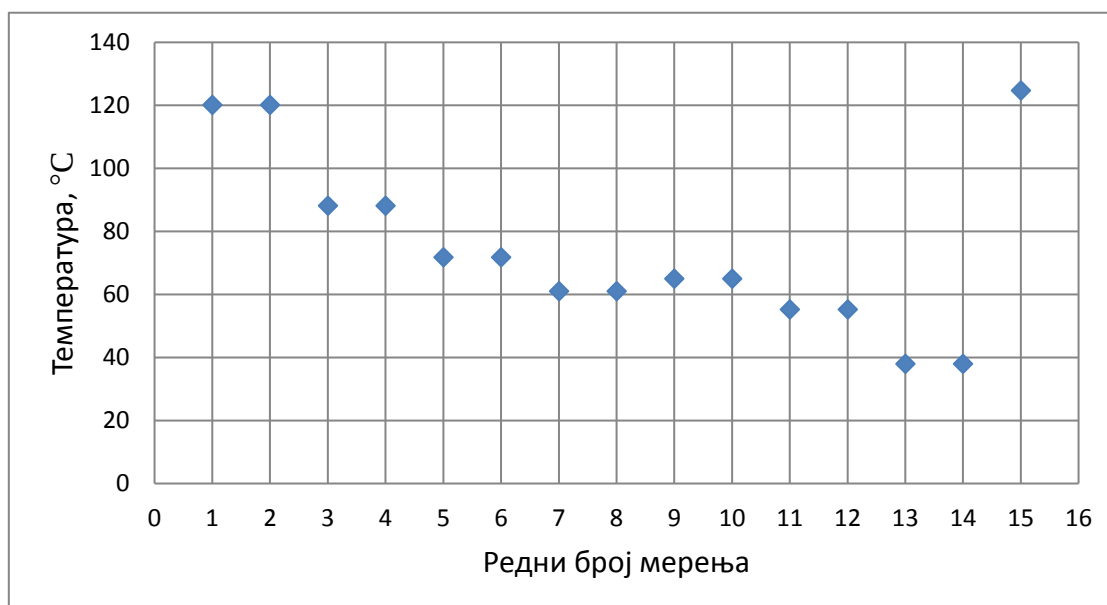
Режим обраде (табела 5.3) обухватио је следеће елементе:

- Дубину резања a (mm)
- Корак S (mm/o)
- Брзину резања V (m/min)

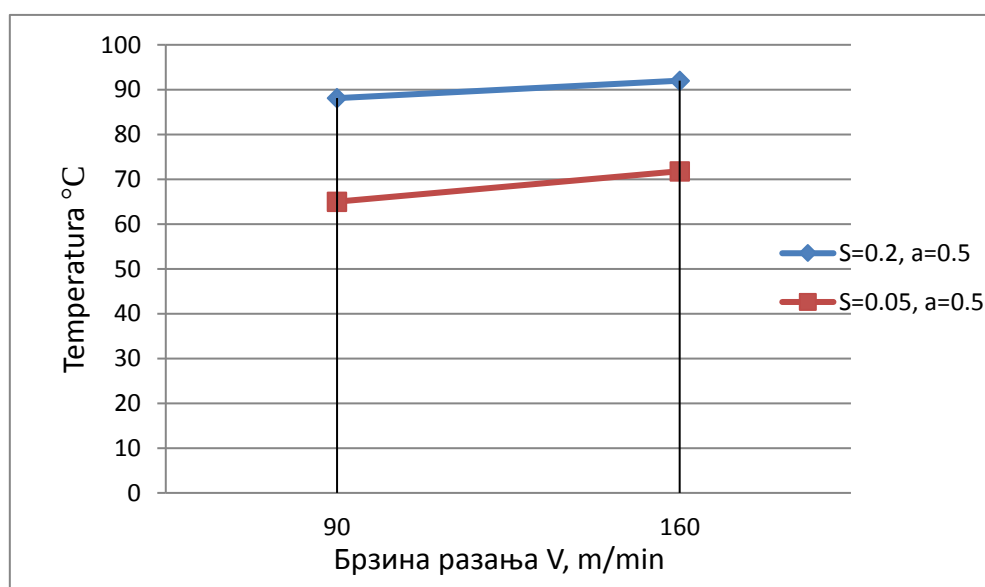
Редни број	Дубина a , mm	Корак s , mm/o	Брзина резања V , m/min	Средња температура °C	Фајлови за температуре MOV
1	0.7	0.1	120	120.1	163
2	0.7	0.1	120	120.1	163
3	0.5	0.2	90	88.1	164
4	0.5	0.2	160	92	164
5	0.5	0.05	90	65	165
6	0.5	0.05	160	71.8	165
7	0.1	0.05	90	61	160
8	0.1	0.05	160	61	160
9	0.1	0.2	90	65	161
10	0.1	0.2	160	65	161
11	0.07	0.05	120	55.2	162
12	0.07	0.1	120	55.2	162
13	0.22	0.25	120	38	158
14	0.22	0.25	120	38	158
15	0.22	0.1	180	124.7	157

Табела 5.3 Параметри режима обраде

На основу параметара из табеле 5.3 добијен је дијаграм средње температуре (слика 5.5) а затим је приказан однос температуре (слика 5.6).



Слика 5.5 Приказ средње температуре



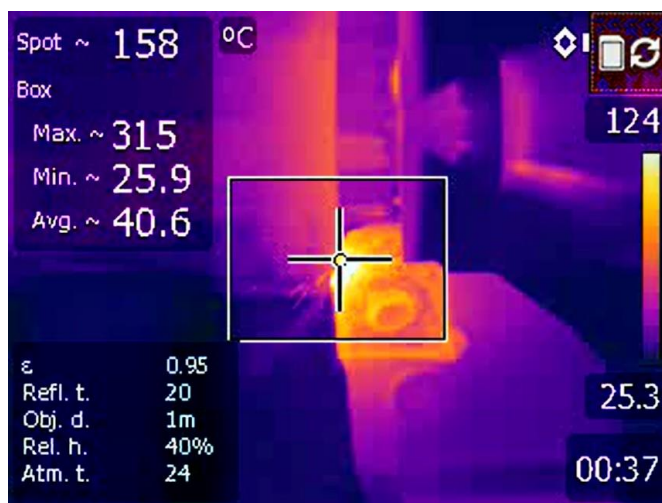
Слика 5.6 Однос температуре и брзине резања

5.1. Мерење температуре у зони резања

За мерење температуре у зони резања (слика 5.1) 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 објеката 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 емисивности 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 [5].



Слика 5.7 Мерење температуре у зони резања

Снимање температуре током експеримента спроведено је посредством термовизијске камере FLIR E50 приказане на слици 5.8.



Слика 5.8 Термовизијска камера FLIR E50 [9]

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]

Резултати експерименталних истраживања дати су у следећој табели:

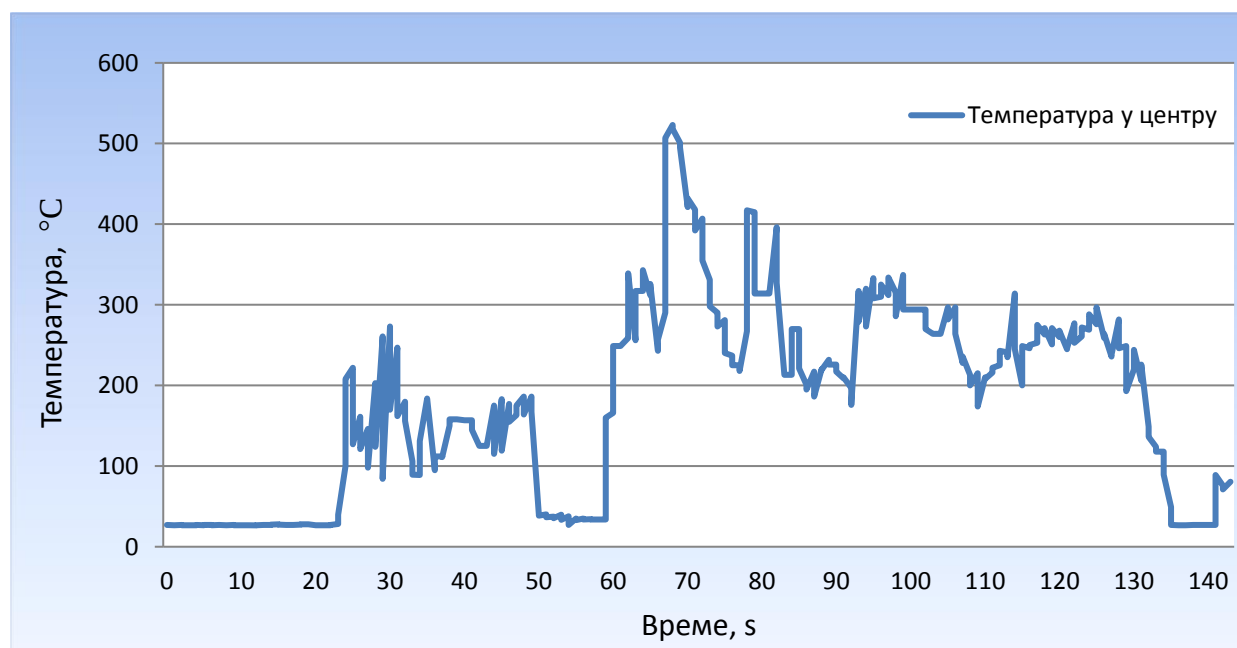
Време	Температура	Време	Температура	Време	Температура
0.5	26.9	48	186	95.5	308
1	26.8	48.5	164	96	310
1.5	26.8	49	186	96.5	325
2	26.9	49.5	167	97	312
2.5	26.8	50	39.6	97.5	334
3	26.8	50.5	38.6	98	315
3.5	26.7	51	40.2	98.5	286
4	26.8	51.5	36.5	99	337
4.5	26.9	52	37.5	99.5	294
5	26.8	52.5	35.4	100	294
5.5	26.9	53	39.6	100.5	294
6	26.9	53.5	33.5	101	294
6.5	26.8	54	37.7	101.5	294
7	27	54.5	26.9	102	294
7.5	27	55	35.1	102.5	270
8	26.7	55.5	33	103	264
8.5	26.7	56	35	103.5	264
9	27	56.5	33.7	104	264
9.5	26.7	57	34.2	104.5	264
10	26.8	57.5	33.7	105	297

10.5	26.7	58	33.7	105.5	282
11	26.7	58.5	33.7	106	297
11.5	26.6	59	33.7	106.5	264
12	26.5	59.5	160	107	228
12.5	26.6	60	166	107.5	236
13	27	60.5	249	108	213
13.5	27.2	61	249	108.5	200
14	27.2	61.5	249	109	215
14.5	27.3	62	259	109.5	174
15	27.7	62.5	339	110	210
15.5	27.3	63	256	110.5	208
16	26.9	63.5	317	111	216
16.5	27.2	64	317	111.5	222
17	27	64.5	343	112	225
17.5	27.2	65	312	112.5	243
18	27.3	65.5	326	113	241
18.5	28	66	243	113.5	235
19	28	66.5	257	114	314
19.5	28	67	290	114.5	245
20	26.8	67.5	507	115	200
20.5	26.7	68	523	115.5	249
21	26.7	68.5	518	116	246
21.5	26.7	69	501	116.5	250
22	26.7	69.5	495	117	253
22.5	26.9	70	421	117.5	275
23	28.1	70.5	432	118	263
23.5	39.6	71	418	118.5	271
24	100	71.5	392	119	251
24.5	208	72	407	119.5	271
25	222	72.5	355	120	260
25.5	127	73	331	120.5	268
26	161	73.5	298	121	245
26.5	121	74	290	121.5	246
27	146	74.5	273	122	277
27.5	97.9	75	281	122.5	253
28	203	75.5	240	123	261
28.5	124	76	237	123.5	272
29	261	76.5	225	124	269
29.5	84.3	77	225	124.5	288
30	273	77.5	218	125	276
30.5	170	78	267	125.5	297
31	247	78.5	417	126	259
31.5	162	79	415	126.5	264
32	180	79.5	314	127	236
32.5	156	80	314	127.5	238
33	106	80.5	314	128	282
33.5	89.5	81	314	128.5	246
34	88.9	81.5	314	129	249
34.5	131	82	396	129.5	193
35	184	82.5	327	130	220

35.5	184	83	213	130.5	244
36	94.9	83.5	213	131	206
36.5	112	84	213	131.5	226
37	112	84.5	270	132	149
37.5	111	85	270	132.5	136
38	150	85.5	221	133	124
38.5	158	86	201	133.5	118
39	158	86.5	195	134	118
39.5	158	87	217	134.5	89.4
40	157	87.5	186	135	49.4
40.5	157	88	220	135.5	27
41	157	88.5	219	136	26.8
41.5	145	89	232	136.5	26.8
42	125	89.5	226	137	26.8
42.5	125	90	226	137.5	26.8
43	125	90.5	217	138	27.1
43.5	125	91	209	138.5	26.9
44	175	91.5	210	139	26.9
44.5	115	92	197	139.5	26.9
45	183	92.5	176	140	26.9
45.5	119	93	317	140.5	26.9
46	177	93.5	279	141	27
46.5	155	94	320	141.5	89
47	163	94.5	273	142	76
47.5	175	95	333	142.5	71

Табела 5.4 Резултати мерења термовизијском камером

На основу резултата мерења који се налазе у табели 5.4 направљен је дијаграм зависности времена и температуре (слика 5.9) а затим је израчуната средња температуре (181.1 °C).



Слика 5.9 Однос температуре и времена

6. Закључак

Обрада стругањем је један од најважнијих конвенционалних поступака обраде који се користи у индустрији. Ова обрада је под утицајем многих улазних параметара, док је код излазних параметра један од најважнијих параметара температура јер утиче на хабање и постојаност алата.

За мерење температуре стругања током протеклих деценија развијен је велики број експерименталних метода али је експериментални приступ скуп и временски дуготрајан посебно када је укључена широк опсег геометрије алата, материјала као и параметара обраде. Због ових потешкоћа развијени су алтернативни приступи као што су математичке симулације у којима се користе нумеричке методе.

Што се тиче термовизијске фотографије, оне привлаче пажњу због својих живописних боја и чињенице да приказују свет који је људском оку недоступан. Ипак, њихова сврха је да реално прикажу постојеће стање емитовања топлоте, а тек након њихове обраде могу се изводити закључци. Сваки термограм представља слику за себе, јер поседује сопствену палету боја, и два термограма се не могу поредити по бојама, чак и у случају када се ради о истим објектима. Стога, уз сваки термограм мора постојати скала боја, која боје доводи у везу са температуром.

Да би се прецизно могле одредити температуре, термовизијска камера сачињава и температурни дијаграм који приказује промену температуре на објекту и то само дуж линије која је повучена на термограму.

Што су боје уједначеније на термограму, то је уједначеније одавање топлоте, и обрнуто. Да би се установила оквирна мера одавања топлоте потребно је узети у обзир разлику између спољашње и унутрашње температуре зида и ваздуха (спољашњи и унутрашњи снимак).

Светлије и топле боје (жута, црвена) указују на топлија места, а тамније и хладне боје (плава, љубичаста) на хладна места.

7. Литература

- [1]. Д. Вукеља, *Термодинамика резања*, Београд, 1970.
- [2]. Миодраг Лазић, Богдан Недић, *Производне технологије, обрада метала резањем*, Крагујевац, 2007.
- [3]. Миодраг Лазић, *Технологија обраде метала ретањем*, Крагујевац 2002
- [4]. Миодраг Лазић, *Обрада метала резањем монографија*, Крагујевац 2002
- [5]. Mr Anđelija Mitrović, *Modeliranje procesa obrade rezanjem*, doktorska disertacija, Novi Sad, 2016.
- [6]. <http://www.termalnekamere.rs/osnovi-termovizije-termografija> (3.10.2016.)
- [7]. <http://www.zelenaenergija.org/blobs/stickies/1ece372c-138b-4378-a363-0e21d30a0c8d.jpg> (3.10.2016.)
- [8]. <http://www.merniinstrumenti.com/userfiles/files/PDF/Primena%20infracrvenog%20snimanja.pdf> (7.10.2016.)
- [9]. http://www.flir.com/uploadedFiles/Thermography_USA/Products/Product_Literature/flir-e-series-datasheet.pdf (8.10.2016.)

