

Универзитет у Крагујевцу
Факултет инжењерских наука
Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер студије

Модул: Индустријски инжењеринг

Предмет: Неконвенционални поступци обраде

Број индекса: 387/2011

Ненад Д. Ђорђевић
Хемијска обрада

мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:
Проф. др Богдан Недић, ред. проф.

1. _____
2. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру мастер рада кандидат треба да размотри проблематику хемијске обраде, изврши анализу производне операције, елемената опреме и начин коришћења. Кандидат треба да обрати пажњу и на квалитет обрађених површина, тачност обраде, употребу радне течности. Такође, у оквиру рада, извршити одговарајућа испитивања утицаја режима обраде на квалитет израде дела.

Препоручена литература:

[1] Проф. др Лазих Миодраг, Неконвенционални поступци обраде, Научна књига, Крагујевац, 1990.

[2] Проф. Др. Драгоје Миликић, Неконвенционални поступци обраде, Приручник за студије и праксу. Нови Сад, 2002.

[3] Проф. Стресо Трајковски, Неконвенционални методи на обработка, Машински факултет, Скопље 1999.

ментор:

Проф. др Богдан Недић, ред. проф.

Крагујевац, јул 2013.године

Резиме:

Обрада метала хемијским путем *СМ (Chemical Machining)*, подразумева скидање материјала растварањем помоћу киселина, течности, водени раствори сумпорне, фосфорне, азотне, соне и других киселина, база или соли, унутар купатила. Такав вид обраде материјала се може вршити са целокупне површине обратка, са одређених делова али суштина се огледа у контролисаном уклањању вишка материјала.

Кључне речи:

Хемијска обрада, неконвенционални поступци обраде, хемијско нагризање, хемијско глодање, хемијско просецање, хемијско гравирање.

Summary:

Metal chemically CM (Chemical Machining) involves material removal by acid leaching, liquid, aqueous solutions of sulfuric, phosphoric, nitric, hydrochloric and other acids, bases or salts inside the bathroom. That type of material processing can be done with the entire surface of the workpiece, with some parts but the essence is reflected in the controlled removal of excess material.

Keywords:

Chemical processing, unconventional treatment methods, chemical etching, chemical milling, chemical cutting, chemical engraving.

Садржај

1. Увод	5
2. Хемијска обрада	9
2.1 Основе процеса обраде	9
2.2 Производне операције хемијске обраде	11
3. Производне операције СМ	15
3.1 Хемијско глодање	15
3.1.1 Хемијско глодање по целој површини	16
3.1.2 Селективно хемијско глодање	17
3.2 Хемијско просецање	18
3.3 Хемијско гравирање	20
3.4 Хемијско полирање	20
3.5 Заштитни слој – маске	21
3.6 Резане маске	22
3.7 Фото маске	23
3.8 Штампане маске	24
5. Постројења за хемијску обраду	28
5.1 Производност	29
6. Тачност обраде и квалитет обрађених површина	32
6.1 Тачност обраде	32
6.2 Квалитет обрађене површине	35
7. Експериментална испитивања	36
7.1 Израда узорака	37
7.1.1 Припрема цртежа	38
7.1.2 Исецање	39
7.1.3 Чишћење бакарне површине	39
7.1.4 Ослојавање и сушење	39
7.1.5 Осветљавање	40
7.1.6 Развијање фото лака	40
7.1.7 Нагризање	41
8. Закључак	53
9. Литература	55
10. Корисни линкови	55

1. Увод

У гранама индустрије се јавља потреба за коришћењем нових материјала специфичних особина који су неопходни авионској индустрији, нуклеарној ракетној, итд. Произведене су нове легуре које се одликују топлоотпорношћу и тврдоћом, великом затезном чврстоћом, како су нашле примену и у другим гранама индустрије, тако и при изради одређених врста алата. Код оваквих типова легуре са врло великом тврдоћом и топлоотпорношћу обрадити класичним методама је врло компликовано и тешко. Током времен су се усвојиле нове методе обраде које се заснивају на новим принципима, а те методе називамо неконвенционални поступци.

Од неконвенционалних поступака обраде најширу примену имају обраде ултразвуком, електроерозиом, електронским снопом, плазмом, ласером и експлозијом. Ови поступци, већина, спадају у термичке поступке, односно поступке код којих на обрађеним површинама заостају непожељни термички деформисани слојеви или зоне материјала промењених у негативном смислу, технолошких и механичких особина. Тамо где је неопходно избећи термички деформисане слојеве материјала, у близини обрађиваних површина, примењују се поступци обраде на хладно, тзв. "хладни поступци".

Неконвенционални поступци обраде - НПО (електрохемијска - ЕЦМ, електроерозиона - ЕДМ, хемијска обрада – ЦМ, ласерска обрада,...) су поступци обликовања уклањањем вишка материјала различитим физичко-хемијским механизмима, коришћењем електричне, хемијске, светлосне, магнетне и других видова енергије.

Неконвенционални поступци обраде појавили су се први пут крајем XVIII века. Године 1770. Енглески научник Џ. Пристли је први уочио појаву ерозионог разарања метала при дејству електричне струје. На месту раздвајања електричног кола долази до појаве електричне варнице (искре) или електричног лука. И варница и лук изазивају разарање метала у зони прекида електричног кола, односно појаву електро-ерозионе обраде.

Постоји велики број неконвенционалних поступака обраде, који се међусобно битно разликују по врсти енергије коју користе и по начину скидања материјала са обратка.

Применом различитих критеријума неконвенционални поступци обраде се могу поделити.

Према врсти енергије коју користе разликују се:

- механички поступци,
- термоелектрични поступци,
- електрохемијски поступци и
- хемијски поступци.

Према основном механизму којим се остварује скидање материјала обратка разликују се:

- поступци ерозије,
- поступци растапања или испаравања и
- поступци електрохемијског и хемијског растварања.

Према врсти медијума којима се преноси енергија потребна за скидање материјала, разликују се поступци који користе:

- честице високе брзине,
- електролит,
- сноп електрона,
- фотонски сноп,
- плазму и др. [2]

Већина поступака обраде је знатно касније развијена и уведена у производну праксу у односу на конвенционалне поступке обраде (КПОР) који имају веома дуг период развоја и примене.

И поред тога, данас су многи НПО достигли висок степен развоја, који чак ни мало не заостаје за најразвијенијим КПОР, а у неким случајевима их и превазилазе.

Због тога се слободно може рећи да НПО у неким подручјима примене све више потискују КПОР због тога што су економичнији или што дају много боље резултате саме обраде (нпр. тачност и квалитет).

Овакав тренд развоја и увођења НПО последица је пре свега захтева као што су:

- Пораст конструкцијских захтева машинских делова ка повећању удела тешко обрадљивих материјала за њихову израду.
- Повећани захтеви ка сложености облика алата за различите намене: алати за обраду облико-вањем (пластична деформација и ливење под притиском), алати за прераду стакла, пластичних маса, гуме и сл. материјала.
- Повећани захтеви ка сложености резних алата од брзорезног челика и тврдог матала (нпр. профилни ножеви, профилна глодала, провлакачи и др.).
- Повећани захтеви за комплексношћу израде алата за обраду обликовањем, проузроковане потпуно новим конструктивним схватањем производа.
- Повећани захтеви при изради минијатурних делова повећане тачности.
- Повећани захтеви у погледу продуктивности и стварања претпоставке за увођење аутома-тизације и аутоматизованих производних система у горе наведене специфичне области произ-водње.

При вредновању НПО треба имати у виду и неке њихове заједничке карактеристике које се углавном могу резимирати као: независност брзине обраде, квалитета обрађене површине и производности од механичких својстава материјала обратка (тврдоће, јачине на кидање, жилавости и др.).

Међутим, ово не значи да је обрадљивост свих материјала овим поступцима обраде иста. Разлике у обрадљивости постоје, али су оне условљене физичким и хемијским особинама материјала обратка, као што су топлотна и електрична проводљивост, склоност ка растварању у појединим срединама и др., а не механичким својствима.

Поступци хемијске обраде (посебно хемијског контурног нагризања) уведене су у производњу 1954/55. Тих година оштро су постављени захтеви везани за смањење тежине конструкције, без снижења крутости и стабилности.

У овом раду биће више речи и објашњења везано за хемијску обраду. Метода заснована на уклањању вишка материјала хемијским међудејствима материјала предмета обраде и радне течности унутар одговарајућег купатила. Поглавље 3. описује производне операције које се примењују код овакве обраде а то су: хемијско глодање, селективно хемијско глодање, хемијско просецање, гравирање, полирање. Поступак наношења заштитних превлака, материјал од кога ће бити маска и радне течности које се користе за овакву обраду.

У поглављу 7. су представљена експериментална испитивања и детаљнији опис израде цртежа, чишћења бакарних површина, ослојавање, осветљавање, ратвијање и нагризање. Крајњи резултат је приказан на топографији површине као и табеларно поређење резултата.

Циљ је и упознавање са технологијом са посебним освртом на технологију израде штампаних плочица као и експериментално утврђивање зависности квалитета обраде од радних параметара.

2. Хемијска обрада

Обрада метала и њихових легура хемијским путем СМ (Chemical Machining), састоји се у скидању материјала растварањем помоћу киселина, течности, водени раствори сумпорне, фосфорне, азотне, соне и других киселина, база или соли, унутар купатила. Скидање материјала се може вршити са целокупне површине обратка или само са одређених делова и суштина се огледа у контролисаном уклањању вишка материјала.

У случају локалног скидања, површине са којих не треба скидати материјал, заштићују се пресвлакама отпорним на хемијске утицаје растварача (различите врсте боја и лакова, специјалне лепљиве траке, гумене или галванске превлаке итд.). Ове пресвлаке се називају маске и играју веома важну улогу при овој обради.

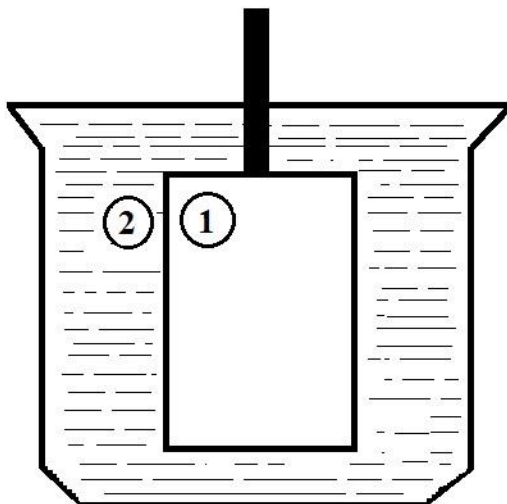
Хемијска обрада се користи за извођење производних операција као што су дубоко контурно нагризање или хемијско глодање, хемијско полирање и олакшање предмета обраде на неоптерећеним или слабо оптерећеним деловима, без промене механичких карактеристика (крутости, стабилности и сл.), итд.

Постоје бројни примери примене хемијске обраде, поготово у данашње време када је коришћењем високоаутоматизованих постројења искључена свака опасност од штетног утицаја ове обраде на здравље радника

Одавно познат принцип хемијске обраде је своју индустријску примену нашао тек за време другог светског рата у САД везано за ваздухопловну индустрију и то за обраду алуминијумских лимова релативно велике површине за крила авиона. Касније се ова обрада почиње шире примењивати и за друге производне операције. [1]

2.1 Основе процеса обраде

Метода заснована на уклањању вишка материјала хемијским међудејствима материјала предмета обраде (слика 1. -1) и радне течности (киселине или базе – 2) унутар одговарајућег купатила представља хемијску методу обраде материјала.



Слика 1. Елементарна шема хемијске обраде [1]

Суштина процеса је уклањање вишка материјала са комплетне површине или њених делова контролисано. При самој изради делова хемијском обрадом, имамо површине и делове који се не подвргавају обради и такви делови се прекривају заштитним слојем.

Пре обраде предмета у кади се врши чишћење, заштићивање површина које не подвргавамо обради и затим предмет одлази у радну течност односно раствор за нагризање.

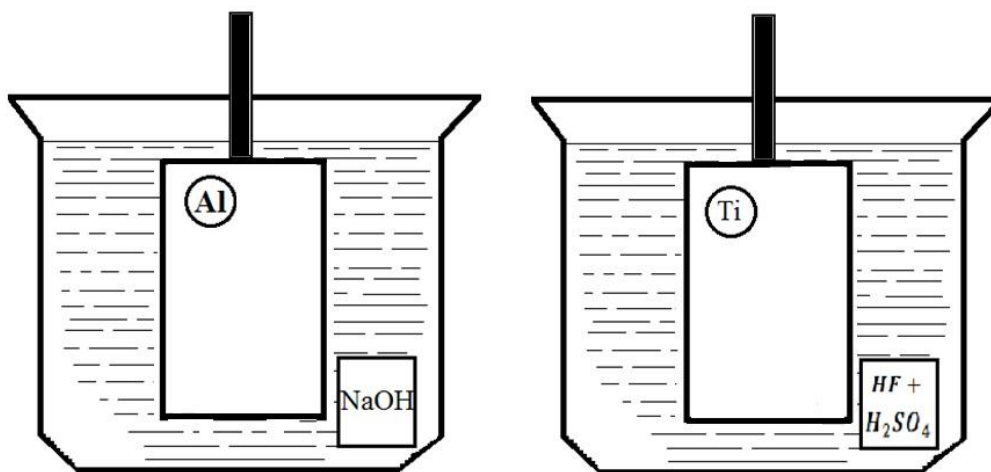
Незаштићени делови површина су у контакту са растварачем и долази до растварања материјала и његовог уклањања помоћу хемијске реакције.

У зависности од раствора и његових карактеристика добија се и различит интензитет процеса, а степен обраде је одређен одговарајућим карактеристикама објекта односно предмета обраде или се аутоматски регулише применом одговарајућих програмских уређаја, уз унапред задате карактеристике процеса обраде.

Као резултат завршене обраде добијамо скинут у уклоњен вишак материјала предмета обраде помоћу хемијских реакција и раствора, без деловања спољашњег извора електричне енергије. У зависности од материјала предмета обраде, врсте и раствора у коме се врши обрада, одиграва се низ реакција а чији је крајњи ефекат уклањање вишка материјала. (слика 2).

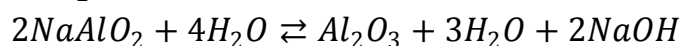
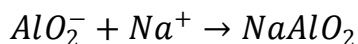
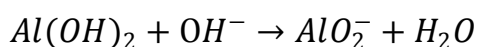
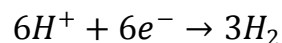
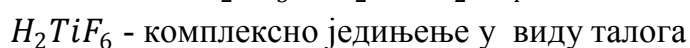
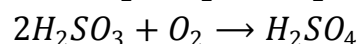
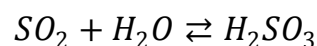
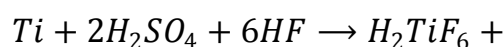
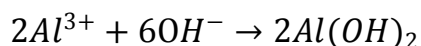
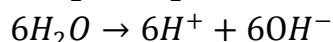
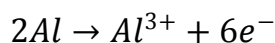
Метода се примењују и за обраду алуминијумских и магнезијумских легура, бакарних легура, титана, челика, берилијума и других метала и легура са циљем, најчешће, смањења укупне масе предмета обраде и до 50 – 60 %, без смањења његових механичких карактеристика.

Обезбедити смањење масе производа без опасности да ће доћи до промена у карактеристикама самог производа се постиже хемијским олакшавањем лимова и различитих производа израђених од лимова, на неоптерећеним и слабо оптерећеним површинама.



Ток процеса

Слика 2. Ток процеса хемијске обраде (уклањање вишка материјала, стварање талога и регенерација раствора [1])



2.2 Производне операције хемијске обраде

За формирање производа различитих конфигурација примењује се хемијска обрада а користи се и за извођење низа производних операција. У низ производних операција подразумева се: дубоко контурно нагризање или хемијско глодање, хемијско полирање и олакшавање предмета обраде на неоптерћеном или слабо оптерћеном делу и тако даље.

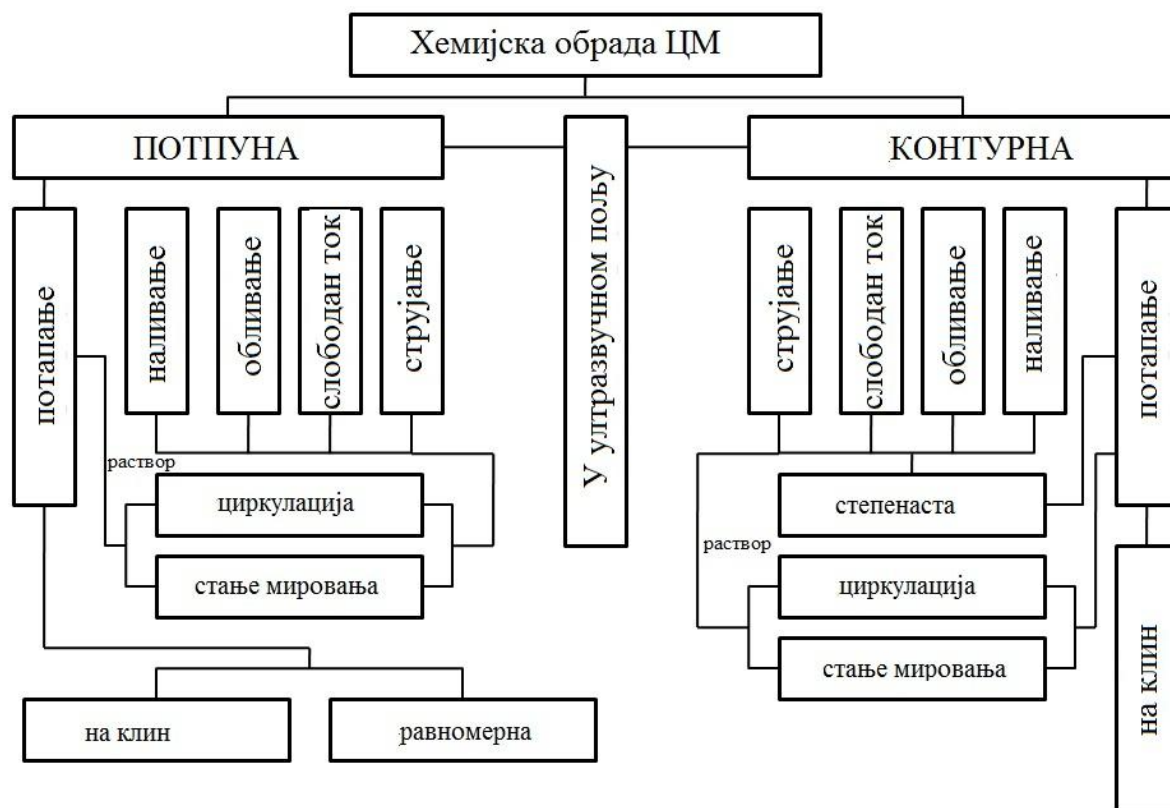
Некада се хемијска обрада користила за израду типографских матрица, натписа и декорацију производа од метала а у савременим производним условима оваква примена обраде је знатно проширена.

Усавршавањем и развојем, потенцијалне могућности њене обраде значајно расту. Тако да је овакав вид примена хемијске обраде могућа и у условима серијске производње. Када имамо случајеве серијске производње обрада не би служила за извођење помоћних радова, већ извођење низа основних производних операција у процесу израде производа различитих конфигурација, конструкција и квалитета.

Оваквом обрадом постиже се могућност формирања производа константне чврстоће са минималном масом која је потребна, а такав неконвенционални поступак обраде проналази примену у областима код којих је потребно смањење габарита производа као што су авио и радио техника и сл.

На слици 3. приказана је класификација поступака хемијске обраде а може бити веома разнолика и разноврсна.

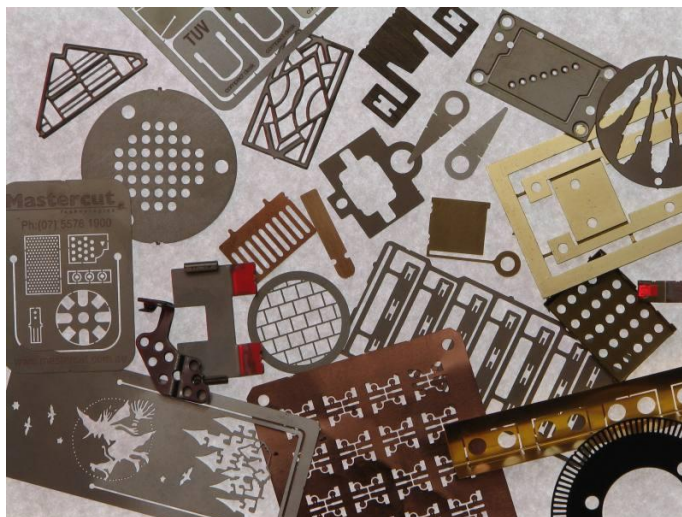
Потпуно и делимично нагризање чине основу које се може изводити и које се изводи на различите начине у складу са основним елементима.



Слика 3. Класификација поступака хемијске обраде са приказом основних параметара [1]

Када је реч о потпуном нагризању, имамо поступак код којег се уклања вишак материјала са отковака, одливка, отпресака и слично.

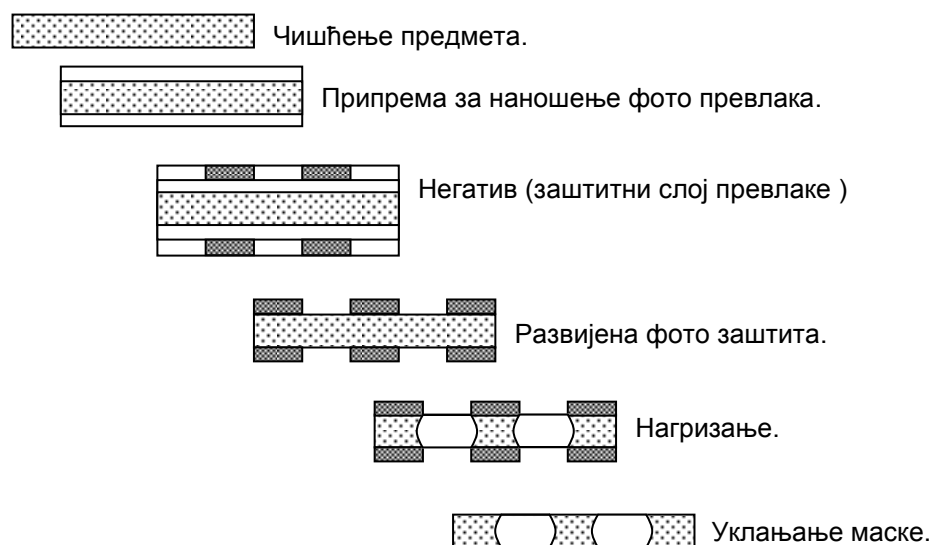
Код контурног нагризање обезбеђује се израда производа различитих конфигурација и карактеристика (слика 4.).



Слика 4. Неке од конфигурација производа формираних хемијским поступцима обраде [4]

Хемијска обрада дели се на четири карактеристичне фазе процеса (слика 5.) :

- **I фаза** - Подразумева претходно чишћење површина предмета обраде. Обухвата растварање и уклањање превлаке и осталих нечистоћа са површина које спречавају квалитет и тачност обраде. Овакав тип уклањања изводи се у активнијем раствору па су самим тим створени услови за убрзање процеса чишћења и повећање производности процеса хемијске обраде.
- **II фаза** – Захтева наношење заштитних слојева превлаке на површине или делове површина које нису за обраду. Наношењем превлака омогућено је формирање производа различитих конфигурација.
- **III фаза** – Фаза у којој се одиграва процес разарања, уклањање вишка материјала под дејством киселина, база или соли, нагризањем предмета обраде.
- **IV фаза** – Након добијања крајњег производа ,након обраде, следи чишћење и потребна контрола којом се утврђује тачност обраде.



Слика 5. Карактеристичне фазе процеса

Предност оваковог процеса је да скоро имамо потпуно одсуство механичких и топлотних процеса у зони обраде, могућност обраде скоро свих материјала. Самим тим добија се веома висока производност обраде и једноставност увођења у производњу.

Основни недостаци процеса су да је релативно тешко и компликовано одржавање константног састава раствора, сложеност израде и наношења заштитног слоја, као и немогућност израде отвора мањег пречника.

Хемијском обрадом се може успешно обрађивати велики број метала и њихових легура, као што су: алуминијум и његове легуре, бакар и његове легуре (месинг, бакар-берилијум, бронза и др.), магнезијум, злато, сребро, молибден, никл и његове легуре, титан, волфрам, цинк, хром, силицијум, германијум, разне врсте челика (угљенични каљени и некаљени, хладно ваљани, нерђајући, магнетни и др.).

Ова обрада карактеристична је, између осталог, и по томе што се уклањање вишка материјала, ради добијања жељене контуре дела, врши без деформација, унутрашњих напрезања или других непожељних појава које неминовно прате конвенционалне поступке обраде.

Разликују се више видова хемијске обраде и то:

- хемијско глодање,
- хемијско просецање,
- хемијско гравирање и др.

3. Производне операције СМ

3.1 Хемијско глодање

Хемијско глодање је процес уклањања одређене количине метала помоћу хемијског нагризања. Све металне врсте и облици су кандидати за хемијско глодање, посебно обликовани делови који нису лаки за обраду. Подразумева се као јефтина метода уклањања метала под одређеним условима. Пошто је стопа уклањања метала ниска, у смислу пар милиметра у минути, многи делови могу да се истовремено обрађују у циљу добијања нижих трошкова обраде. Трошкови обраде су нижи од еквивалентне обраде конвенционалним поступком.

Нема штетних ефеката по материјал, не јавља се замор и промена чврстоће материјала као што је то могуће код класичне обраде.

Постиже се смањивање масе делова великих површина, танкозидих или делова сложеног геометријског облика без умањивања њихових механичких карактеристика. У већини случајева се механичке карактеристике тих делова побољшавају и то знатно, као нпр. када се равном лиму са једне стране обради низ удубљења у виду правилно или неправилно распоређених секција.

Конвенционалним глодањем оваква обрада би се тешко могла обавити или је чак могуће али уз велике материјалне трошкове. У таквим случајевима силе резања, при класичном глодању, лако могу да деформишу овакав тип обрадка, или ако је то и могуће, тада би обрада, због великих димензија које се обрађују, сувише дуго трајала и била би скупа.

Хемијско глодање се нарочито пуно користи у авионској и космичкој индустрији и то пре свега за смањење масе лимова који се користе за спољашњу оплату летилица, али и других сличних делова. Овакав тип глодања материјала се користи и за добијање тродимензионалних облика кроз селективно нагризање.

Хемијско глодање користи се и за:

- Израду плитких бразди, канала, или неки облик који садржи различите форме а како би се и врло мало умањила тежина предмета.
- Обрада плитких секција на деловима који не могу да приме напрезања.
- Уклањање нежељених површинских слојева (оштећени слој, оксидни слој, слој са садржајем нечистоћа, итд.)
- Производња делова малих димензија, обрада делова од изузетно тешких и кртих материјала.

3.1.1 Хемијско глодање по целој површини

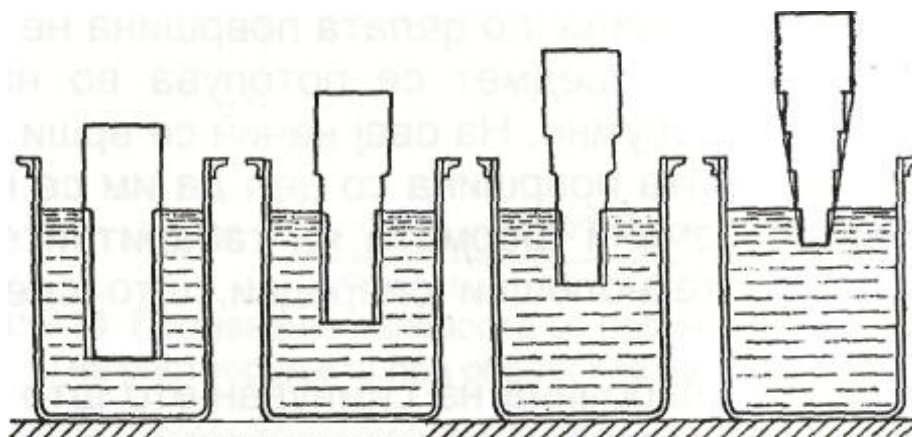
Први корак хемијског глодања је да се изврши темељно чишћење површина обратка од прљавштине, оксидних превлака и масноћа.

Чишћење оксидних превлаке врши се механичким или хемијски путем осим за алуминијум, код ког не постоји такав вид оксидације па није потребно механичко одстрањивање већ се чишћење врши само хемијски.

Одмашћивање се најчешће изводи органским растварачима као нпр. бензин, трихлоретилен, а понекад и хемијским течностима коју су намењени за скидање таквог типа нечистоћа.

Након одмашћивања предмета органским средствима материјал треба добро осушити, а након одмашћивања са хемикалијама, обрадак треба опрати топлом водом а након тога осушити. Чак и након механичког чишћења оксидирајућих површина, даље је предмет подвргнут хемијском третману, а по завршетку прање и сушење.

Степенасто нагризање металних плоча или лимова може бити непрекидан, постепено или континуирано скидање вишка материјала. На слици 6. могу се видети фазе етапног хемијског глодања. У овом случају постепено извлачење предмета из радне течности и задржавање на одређеним местима добија се степенасти облик. Уколико је временски размак између корака мањи добија се ситнија контура.



Слика 6. Степенасто нагризање металних плоча [3]

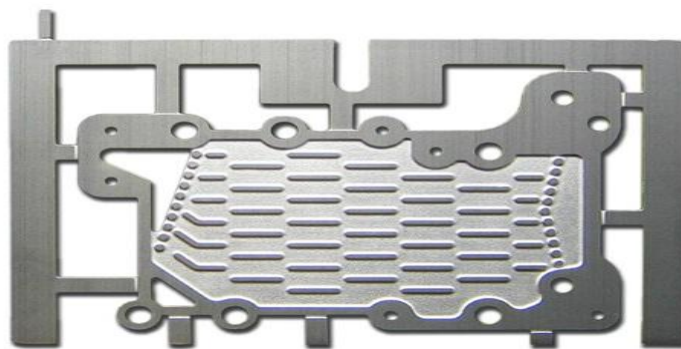
Уколико желимо добијање равне површине онда предмет обраде треба равномерно извлачити са константном брзином извлачења. Ако је брзина извлачење мала а константна онда добијамо већи угао клина ако је брзина извлачење већа и такође константна онда добијамо мањи угао.

3.1.2 Селективно хемијско глодање

За селективно хемијско глодање користи се маске и предмет се обрађује углавном са једне стране. (слика 7.)

При селективном хемијском глодању очишћена површина предмета је прекривена материјалом, тј. маском а на страни где треба да се изврши обрада, откривају се области које треба да буду изложене нагризању. Након завршетка процеса, откривају се области које се нису обрађивале.

По завршетку обраде, односно након уклањања предмета из купатила, треба га опрати (хладна и топла вода, сушење са чистим и сувим компримованим ваздухом). Затим извршити одлагање изолације (заштитни слој) и онда опет кратко прање хладном и врућом водом а након тога осушите чистим компримованим ваздухом.



Слика 7. Селективно хемијско глодање [5]

3.2 Хемијско просецање

Обраду делова од танких лимова или перфорирање лимова можемо постићи хемијским просецањем, што одговара операцијама које се врше на преси при пресецању. Делови од лима који се израђују просецањем, захтевају одговарајуће алате чија је израда скупа и дуготрајна.

Осим тога, код ових алата током рада настаје неизбежно трошење резних елемената, што се одражава на мере израђеног дела. Делови израђени овим поступком имају повијене оштре ивице, што у неким случајевима захтева и накнадну обраду.

Недостаци просецања могу се у многим случајевима превазићи применом хемијског просецања. За такву примену нису потребни алати који су скупи, већ се уместо њих користе прецизно израђене маске за заштиту оних површина дела које не треба обрађивати. Трошкови као и време за израде маски су неупоредиво мањи него код израде алата за просецање. Када се ради о обради танких металних фолија и неких материјала који су крти, обради лимова који се јако пуно користе у електротехници, онда је овај поступак незаменљив.

При хемијском просецању маска се примењује на обе стране предмета, тако да се обрада врши истовремено на обе стране. Као маске за овакав тип обраде користе се обично фото-маске и штампане маске.

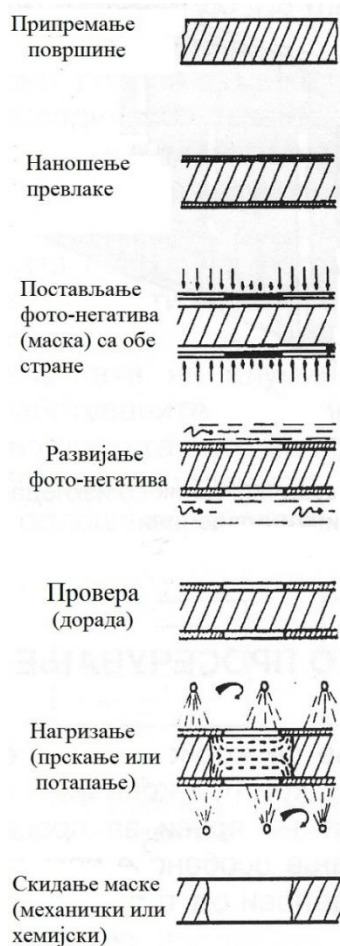
За фото маске захтева се да површине предмет на који се наноси буду врло чисте, тако да пре наношења маске, површине треба да буду чисте и а. Веома се води рачуна да код обрадка не дође до механичких оштећења, да не дође у контакт са, тако да је неопходно чисто и уредно радно окружење.

Типични делови који се израђују хемијским просецањем су делови од лима који су неопходни за саму контуру ротора електромотора, најљепљени еластични дискови, електрични прикључци и контакти, фина сита и сита од нерђајућег челика за хемијску индустрију, перфориране металне маске за ТВ екране, заштитне мреже.

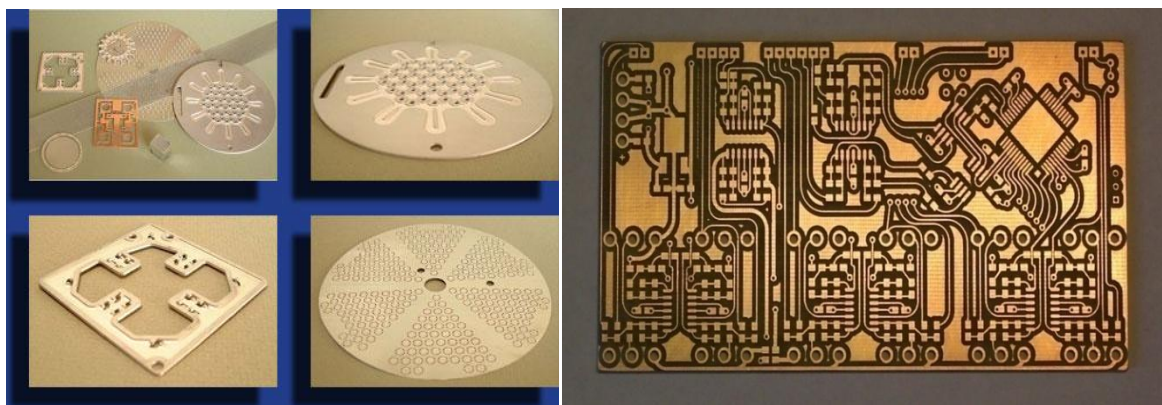
На слици 8. је шематски приказ редоследа операција код хемијског просецања помоћу фото маски.

Код првог корака материјал се очисти од прашине и прљавштине, врши се од одмашћивање и сушење. Затим се наноси фото осетљив материјал на површину обрадка а након тога следи постављање негатива, са обе стране. Као код израде фотографије је развијање и ради се са обе стране. Наноси се развијач, растварање неосветљеног, тј неекспонираног материјала и откривање површина која треба да се обради. Што би значило да оно што је експонирано остаје покривено, а неекспонирано се раствара и та површина се обрађује.

Након тога иде провера и евентуално ретуширање, тј дорада, у случају да није све развијено. Даље долази до нагризања, потапањем у средство за нагризање, или прскањем и на крају скидање маске растварачима, или механичким путем. Крајњи резултат можемо видети на слици 9.



Слика 8. Операције при хемијском просецању [3]



Слика 9. Делови израђени хемијским просецањем [6]

3.3 Хемијско гравирање

Хемијско гравирање представља прецизну обраду која се примењује за израду прстенова, мерних скала на лењирима, кружним плочама и елементима који се користе у индустрији мерних инструмената, фото оптици, индустрији мерно-регулационе опреме и др. Погодно је за израду идентификационих плочица за трајну употребу као и израда натписа за означавање производа других потребе у индустрији и свакодневном животу (слика 10).

Поступак веома погодан за серијску производњу, а како се коришћењем фото маски постиже висока тачност тако и продуктивност обраде.

Хемијска обрада се користи и за неке друге производне операције које се не могу сврстати ни у једну од три претходно наведене, као што су нпр. декорација металних производа, израда типографских матрица у штампарској индустрији и др.



Слика 10. Делови израђени хемијским гравирањем помоћу фото маски [7]

3.4 Хемијско полирање

Суштина хемијског полирања је у одстрањивању силних неравнина и хрпавости са металних површина и довођење тих површина до огледаластог сјаја. (Слика 11.) Полирање се врши у специјалним купатилима.

Веома је значајан састав и концентрација тих купатила, јер се, ако се овоме не посвети пажња, могу постићи супротни ефекти. За полирање се користе сумпорна, фосфорна киселина и разне соли тешких метала као катализатори.

Технологија полирања

Растворе за купатила се загревају на температури до 90°C. Предмети који се полирају стављају се у купатила, временски период држања је неколико минута, после чега следи прање у топлој води, па затим сушење. За хемијско полирање се користе посуде од ватроотпорног стакла, керамике или метала (превучене (обложене) са ПВЦ-ом). Предмети се пре полирања одмашћују. Ако метал садржи више од 2% силицијума, хемијски се не може полирати. Површине које су хемијски полиране, веома су погодне за фарбање.



Слика 11. Хемијско полирање [8]

3.5 Заштитни слој – маске

Проблеми који се јављају при хемијској обради је тај да мора постојати добар избор заштитног слоја, којим се обезбеђује заштита одговарајућих површина или њених делова од процеса нагризања.

При избору заштитног слоја мора се обратити пажња на:

- поузданост заштитних површина,
- способност лаког и једноставног обликовања усмереног ка формирању одговарајућих конфигурација постојаност и отпорност на дејство раствора,
- антикорозиону способност,
- једноставност наношења (потапањем, четком, прскањем, ...),
- одговарајућу чврстоћу,
- лако уклањање након обраде итд.

Поступак наношења заштитних превлака и материјал од кога ће бити маска зависи и од врсте материјала предмета обраде, концентрације и температуре раствора и времена које је неопходно за овакав процес обраде. Као материјал слоја користе се различите врсте боја и лакова, понекад лепљиве траке специјалне за овакву намену, а могу послужити гумене или галванске превлаке.

Избор најпогоднијих материјала за маске и начин њиховог наношења на површину обратка, једно је од кључних питања при хемијској обради. Према начину израде маске могу бити:

- **резане,**
- **фото маске и**
- **штампане маске.**

У оваквом неконвенционалном поступку обраде, маске можемо поредити са алатима класичног поступка обраде који постоје у различитим формама.

3.6 Резане маске

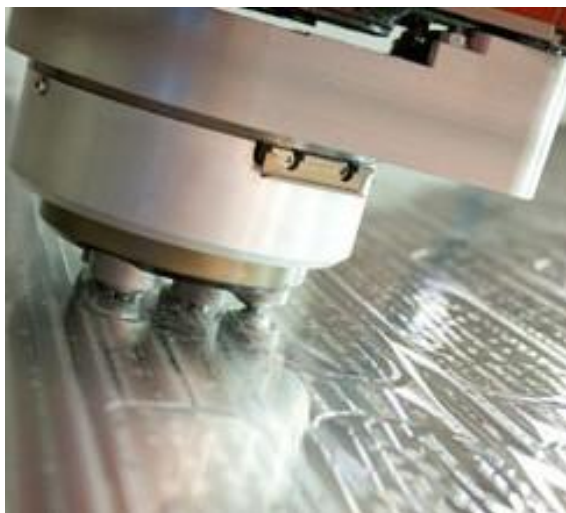
Ове маске се карактеришу релативно дебелим, заштитним слојем, филмом који се креће од 25 до 125 μm , а најчешће коришћење при хемијском глодању.

Маска може бити од специјалног типа филма који се лепи на површину објекта или се наноси боја на исти начин као што се наносе боје при бојењу металних предмета, тј. четком, потапањем или прскањем. Фолије могу бити и од гуме или пластике.

Након сушења, следи поступак цртања жељеног облика или се директно изрезује скапелом преко претходно израђених шаблона, који одговарају жељеним облицима површина које треба да буду изложене, тј заштићене од нагризања.

Након означавања и сечења контура маске, заштитна превлака се одстрањује механичким стругањем или гребањем.

Генерално, резане маске се користе кад је потребно извршити дубоко нагризање, како би заштитни слој остао читав и после дужег времена нагризања, а примену има и при обради великих површина. У данашње време се за израду маски користе и ласерски уређаји, при чему се добија на тачности и прецизности. слика 12.



Слика 12. Израда резаних маски уз помоћ ласера [9]

Материјал маски често зависи од врсте материјала који се обрађује или од типа средства за нагризање. јер за различите материјале иду различите радне течности. Маске могу бити на бази поливинила, бутала или неопрена. Бутол и неопрен се употребљавају при обради титанових и легура гвожђа, када се користе јака нагризајућа средства.

Резане маске се користе тамо где се не тражи нарочито велика тачност израде, односно не већа од $\pm 0,2$ мм.

3.7 Фото маске

Фото маске се израђују слично као и обичне фотографије, такозваним фото поступком. Фото осетљив материјал наноси се на површину обратка, где се експонира, развија, фиксира и суши, а при томе се на површини обратка ствара хемијски отпоран позитив или негатив у облику жељене контуре. Врло танак заштитни филм карактерише овакве фото маске, па је њена примена ограничена на релативно плитка нагризања. Поред тога овакав тип маски омогућује добијање слика са пуно финих детаља велике тачности, што у појединој изради много утиче на комплексност и величину самог производа.

Примена је првенствено окренута на операције просецања лимова малих дебљина које се крећу од 0,005 до 1 мм у великосеријској и масовној производњи, а примењује се и за израду ситних делова код којих се тражи тачност израде у границама од $\pm 0,005$ до $\pm 0,025$ мм итд.

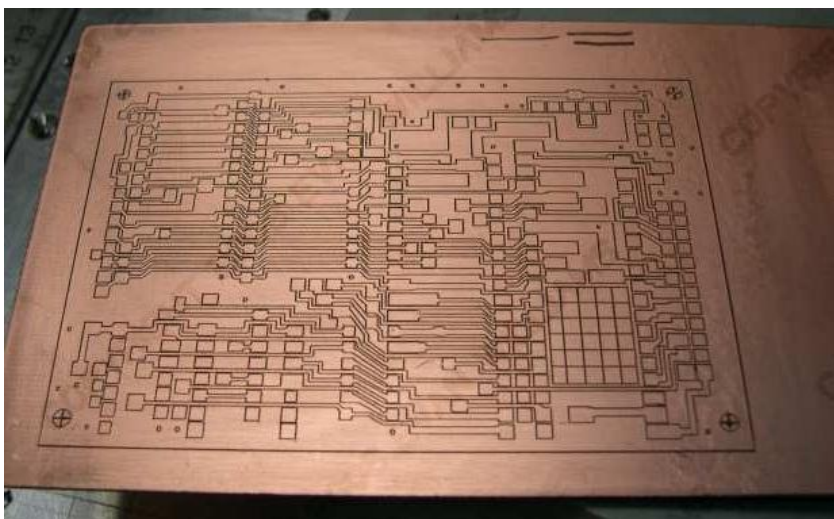
Недостатак који се јавља код фото маски је то што се помоћу њих не може постићи дубље нагризање, захтевају врло чисту површину пре њиховог наношења на обрадак. Мора се строго водити рачуна да не дође до механичких оштећења и не могу се применити за јака нагризајућа средства.

3.8 Штампане маске

Штампане маске подразумевају наношење познатим штампарским техникама офсет или сито штампа (слика 13). Можемо рећи да се овај тип маски налази између резаних и фото маски а карактерише га дебљина филма, хемијска отпорност, дубина нагризања и тачност ових маски.

Код веће дубине нагризања при просецању се користе штампане маске и када се не тражи већа тачност израде од $\pm 0,1$ мм. Примењују се у великосеријској и масовној производњи.

Методe које се примењују за израду фото и штампаних маски, су данас врло ефикасне из разлога јер су обавезно подржане рачунарима, самим тим време припреме и израде вишеструко се скраћује, а са друге стране се истовремено добија на тачности и квалитету.



Слика 13. Израда плоче помоћу штампане маске [10]

4. Радне течности или средства за нагризање – раствори

Савршену радну течност карактерише равномерно нагризање, без обзира на температуру купатила, циркулацију течности, спољних нечистоћа, варијација у механичким својствима материјала и величини отвора итд.

Средства за нагризање, раствори, су врста алата који се примењују у овом поступку обраде и ког саставе ће бити, зависи од низа фактора, међу којима су:

- материјала који се обрађује
- дубина ерозије и врста маске
- жељени квалитет и тачност
- брзина нагризања
- степен загађивања радног окружење
- токсичност
- економичност и други фактори

У пракси сва агресивна средства реагују на неке од наведених фактора и само један или два фактора могу се свести на минималне вредности опредељеног раствора.

Врста материјала маске и његова дебљина, такође утичу на избор средстава за нагризање. Средство не сме ни у ком случају да у току обраде на неки начин раствори или оштети маску.

Неке резане маске могу да издрже сате у кади каустичне соде (NaOH), док нпр фото-маске ће бити уништене у само неколико секунди. Нека агресивна средства нападају подручја под маском тј гранични слој између маске и објекта па наступа подизање и одлепљивање маске.

Неки материјали од којих су узрађене маске су осетљиве на вишим температурама док су добри изолатори у релативно ниским температурама купатило. Када се ови материјали користе за маске, температуру купатила треба одржавати константно.

Један од значајних параметара раствора поред температуре је и чистоћа. Степен загађености раствора има битан значај при процесу. Код дужег трајања процеса обраде јављају се веће концентрације продуката хабања и смањење интензитета одвијања процеса, као и погоршања квалитета обраде. Периодичном заменом раствора или регенерацијом могу се избећи сви нежељени ефекти изазвани загађењем раствора.

Утицај на хемијску обраду има температура предмета обраде као и раствора. У зависности од габарита предмета обраде, конфигурације, у процеси обраде може доћи до мање или веће температурне разлике у појединим тачкама.

Оваква разлика може да изазове и појаву код које долази до различите брзине нагризања што се везује и за тачност.

Потребно је обезбедити мешање раствора са компримованим ваздухом или појачати његову циркулацију чиме се обезбеђује хлађење и одржавање константе температуре.

Поједина агресивна средства су тежа за прање и уклањање по престанку обраде тако да настављају нагризање површине док се кроз не уклоне, а мање агресивна се лако спирају.

Овај проблем је посебно важан при избору раствора за обраду штампаних кола и елемената који се користе у електронској индустрији.

Брзина нагризања (агресивност) је такође важна карактеристика. Ако је раствор агресивнији, он омогућава бржу обраду, али нажалост, у овом случају може доћи и више нежељених ефеката :

- погоршан квалитет
- интензивно грејање купатила
- велика промена у интензитету ерозије
- површинске температуре лоше утиче на маске и предмет обраде, итд.

Загађеност радне средине може да биде ограничавајући фактор при избору радне течности. Неки јаки раствори као што је HF (флуороводонична) и друга високоагресивна средства са теоријског аспекта могу се користити, али због њихове велике токсичности, треба избегавати или користити са посебним мерама предострожности.

Поред тога, неки агресивна средства при процесу обраде развијају отровне или експлозивне гасове и ослобађају екстремно високу температуру.

Складиштење течног отпада из купатила за нека агресивна средства могу ограничити њихову примену због еколошких аспеката (не смеју бити пуштена у отпадне воде и тешко их је неутралисати).

Можемо рећи да сигурно сви технолошки параметри хемијске обраде, тј. производност, тачност и квалитет обрађене површине, директно су повезани са врстом, саставом, концентрацијом и температуром средства за нагризање. Што се тиче врсте средстава за нагризање, као што је раније истакнуто, то су киселине базе и соли.

Киселине које се најчешће користе:

- ❖ (HNO_3) азотна
- ❖ (HF) флуороводонична
- ❖ (H_2SO_4) сумпорна
- ❖ (HCl) хлороводонична

Соли:

$(\text{NH}_3\text{F} \cdot \text{HF})$, амонијум - флуорид

- ❖ (FeCl_3) фери - хлорид
- ❖ (NCl_3) азот - трихлорид
- ❖ (CuCl_2) купри - хлорид
- ❖ $[(\text{NH}_4)_2\text{S}_2\text{O}_8]$ амонијум - персулфат

Базе:

- ❖ (NaOH) натријумхидроксид
- ❖ (KOH) калијумхидроксид

Када је реч о процесуирању великих димензија, тада је потребна већа количина средства, цена може бити ограничавајући фактор за избор раствора. Међутим, када је у питању нпр сложена гравура са много детаља и када је укупна количина уклоњеног материјала мала, трошкови средства за нагризање имају мали утицај на укупне трошкове обраде. [9]

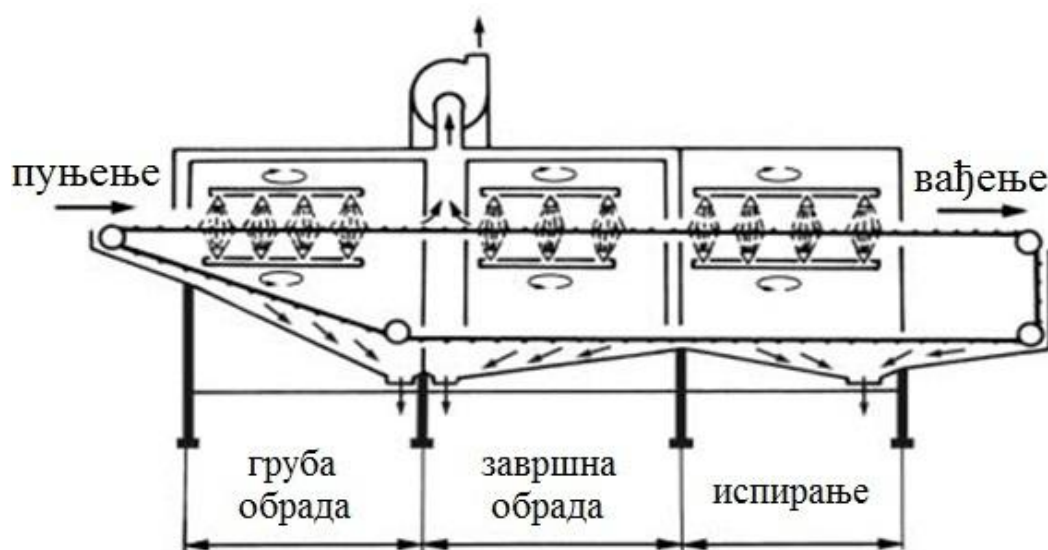
5. Постројења за хемијску обраду

На слици 14. приказана је шема постројења са транспортном траком и брызгалкама за прскање обрадака, која се користи код обраде делова хемијским просецањем.

Да би се могли реализовати сви захтеви хемијске обраде, постројење мора да садржи следеће најважније елементе:

- Каду са елементима за прихват и померање обрадака, уколико се ради о обради са потапањем, односно покретну траку или весећи транспортер, уколико се ради о обради са прскањем обрадака;
- Резервоар за раствор са уређајима за грејање/хлађење и пречишћавање раствора;
- Потисну пумпу за раствор;
- Одводно-доводне цеви за транспорт раствора између каде и резервоара;
- Систем за испирање водом и сушење обрадака и
- Систем за контролу и управљање процесом обраде.

Савремена постројења за хемијску обраду су високо аутоматизована, како би се што боље обезбедила константна брзина скидања материјала и одговарајућа тачност и квалитет обраде. Осим тога, ово је потребно и због токсичности раствора, па би мануелно руковање постројењем могло да угрози здравље радника.



Слика 14. Шема аутоматског постројења за хемијско просецање прскањем обрадака [2]

На самом улазу машине је покретна трака, дуж целе машине, на коју се спушта обрадак или више обрадака а даљим кретањем долази до прве фазе и грубе обраде. У тој фази се преко дизне врши прскање обрадка. Дизне дуж целе машине су преко доводних цеви везане за резервоаре у којима је радна течност.

Одређени притисак се постиже потисном пумпом, која радну течност путем цеви доводи до брызгалки усмерених ка обрадку. Сам резервоар садржи уређаје за грејање, хлађење и пречишћавање раствора.

Транспортна трака долази у положај друге фазе где се постиже завршна обрада у којој и најситнији делови бивају растворени од стране радне течности. Одводне цеви за транспорт раствора између каде и резервоара и даље врше своју функцију али засебно од коморе у којој се врше испирања.

Постројње садржи и вентилацију која штетне гасове помоћу вентилатора издувава из саме машине.

Након завршетка ове две фазе, обрадак је спреман за завршни део у коме се одвија испирање и сушење самог обрадка. Испирања се врше помоћу воде док топли ваздух својим кружењем суши обрађени предмет.

Хемијско просецање прскањем обрадака је завршено и трака доводи обрадак у фазу вађења. Крајњи систем је систем за контролу и управљање процесом обраде.

5.1 Производност

При хемијској обради производност се изражава брзином линијског растварања материјала (мм/мин) или, због релативно малих вредности, $\mu\text{м/мин}$.

Код производности хемијске обраде, треба знати да се скидање материјала врши истовремено са свих површина обратка које нису заштићене маском. И поред релативно мале брзине растварања материјала, производност ове обраде је релативно велика.

У ствари, са повећањем концентрације, брзине растварања расте до одређене вредности, а затим опада. Међутим, није увек пожељна обрада са максималном брзином, јер многи други лоши ефекти утичу на тачност и квалитет обрађене површине

Дакле, постоји одређена оптимална брзина растварања у којој имамо оптималне резултате. Генерално, код свих раствора са повећањем температуре повећава се и брзина растварања метала, али висока температура има лоше последице на технолошке карактеристике процеса.

За повећање продуктивности процеса и уклањање наталоженог вишка материјала по обрађеној површини, комад обраде треба повремено или периодично окретати а течност да константно циркулише. За интензивирање процеса понекад се комад подвргује вибрацијама или се меша течност са компримованим ваздухом.

Иако је брзина нагризања релативно мала, у исто време може да се обради више комада великих површина и запремина, тако да продуктивност по комаду може бити релативно велика. Авио компаније су при хемијском глодању постизали производност реда $140 \text{ cm}^3/\text{min}$.

Производност зависи од: врсте материјала обратка, врсте и концентрације средства за нагризање, температуре купатила и интензитета одстрањивања раствореног материјала из зоне обраде.

Таблица 1. садржи брзине растварања које се остварују при обради различитих врста метала и легура у зависности од врсте средства за нагризање, концентрације и температуре раствора.

Материјал обратка	Средство за нагризање	Концентрац- ија	Температура (°C)	Брзина растварања ($\mu\text{m}/\text{мин}$)	Фактор нагризања f_{ng}
<u>Al и</u> <u>Al- легуре</u>	FeCl ₃ NCl ₃ :HNO ₃ : H ₂ O	12÷18 Bé 10:1:9	49 49	25 25÷50	1,5÷2,0
<u>Хладно</u> <u>ваљани</u> <u>челици</u>	FeCl ₃ HNO ₃	42 Bé 10÷15%	49 49	25 25	2:1 1,5÷2,0
<u>Си и</u> <u>Си-легуре</u>	FeCl ₃ CuCl ₂	42 Bé 35 Bé	49 55	50 14	2,5÷3,0 2,5÷3,0
<u>Каљени</u> <u>алатни</u> <u>челици</u>	HNO ₃	10÷15%	38	13÷25	1÷2
<u>Si-челик</u>	FeCl ₃	42 Bé	55	25	1,5÷2,0
<u>Нерђајући</u> <u>челици</u>	FeCl ₃	42 Bé	55	20	1,5÷2,0
<u>Титан</u>	HF HF:HNO ₃ :H 2O NH ₄ F: H ₂ O	10÷50% Различно Различно	38÷49 38÷49 38÷49	-	-
<u>Берилијум</u>	NH ₄ F	10÷15%	26÷32	25	-
<u>Цинк</u>	HNO ₃	10÷15%	45	25	-

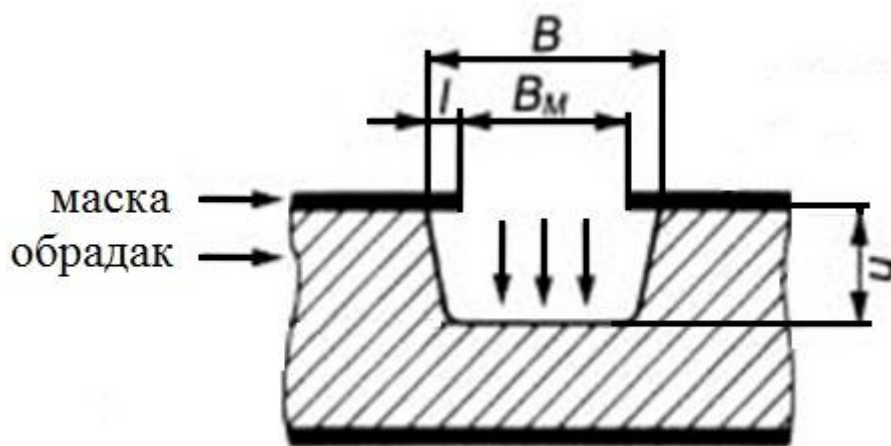
Таблица 1. Преглед режима хемијске обраде метала и њихових легура [2]

Можемо закључити да брзина растварања има релативно малу вредност и креће се у границама од 13 до 50 $\mu\text{m}/\text{мин}$. У случајевима када се не постављају строги захтеви за квалитет и тачност обрађене површине, брзина растварања достиже вредност од 120 до 180 $\mu\text{m}/\text{мин}$.

6. Тачност обраде и квалитет обрађених површина

6.1 Тачност обраде

Може се рећи да на тачност хемијске обраде зависи првенствено тачност израђене маске, величине фактора нагризања, опсега варијације брзине растварања и др. Фактор нагризања, подгризања, подразумева се однос дубине нагризања h и величине бочног нагризања l (слика 15).



Слика 15. Величине којима се дефинише тачност обраде [2]

Овакав фактор нагризања односи се само на једну страну површине која се нагриза (слика 15).

Формула за фактор нагризања гласи: $f_{ng} = h/l$ и мора се узети у обзир при одређивању мера маске. При том ако је готова мера дела дефинисана величином B , онда мера маске B_M мора износити:

$$B_M = B - 2l = B - 2 \frac{h}{f_{ng}}$$

Образац се односи на хемијско глодање, јер код хемијског просецања бочно нагризање траје и после просецања лима како би се добиле равне бочне површине лима.

Када је мера маске B_M релативно мала и када је неповољан положај обратка, може доћи до значајног нагомилавања продуката обраде и гасова у зони растварања.

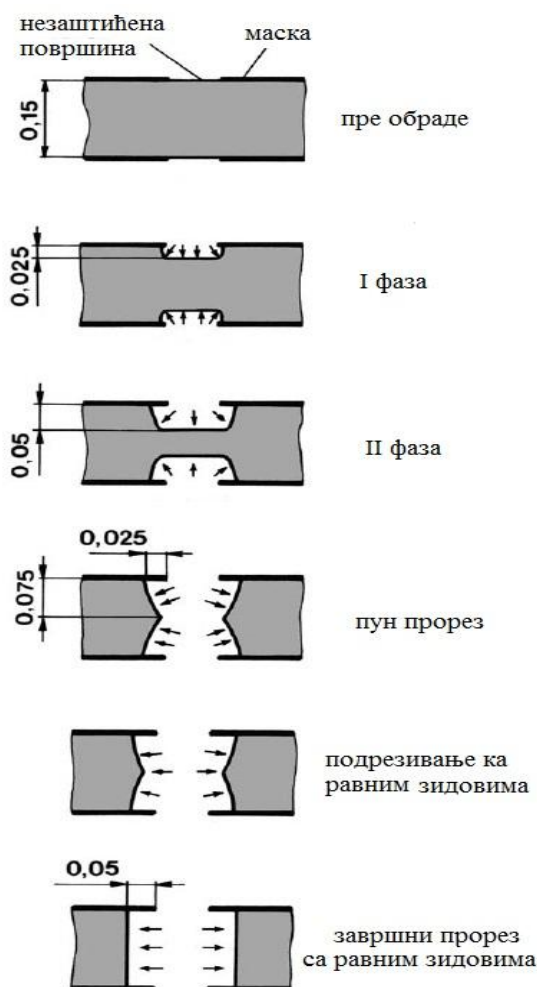
Тиме се успорава или потпуно зауставља процес нагризања, а може довести и до смањења тачности обраде.

Када је реч о томе онда постоје ограничења величине отвора и прореза које се при овој обради могу постићи.

Најмање мере отвора или прореза могу бити:

- код челика $1,0 \cdot h$
- код нерђајућих челика $1,4 \cdot h$
- код бакра и легура бакра $0,7 \cdot h$

На слици 16. дате су фазе скидања материјала при обостраном хемијском просецању лима дебљине 0,15 мм, са неким карактеристичним појавама.



Слика 16. Фазе скидања материјала са карактеристичним појавама [2]

I фаза је фаза и којој се започиње нагризање постепено, на местима где нема заштитне маске тј на деловима који нису заштићени, а затим се наставља и бочно нагризање које прелази испод маске.

II фаза је време у којој је ерозија у одмаклој фази и врши се на обе стране, док се не направи пробој у материјалу.

Добијамо пун прорез недовољно тачне обраде а фактор нагризања и овом случају је:

$$f_{ng}=0,075/0,025$$

$$f_{ng} = 3$$

Овим случајем се може показати да фактор ерозије зависи од:

- типа течности за нагризање,
- обрађеног материјала и
- услова обраде.

Ако је све усклађено може се постићи прецизнија и веома тачна обрада. Као што се види, при добијању пуног прореза после просецања се не добијају равне површине. Међутим, ако се настави са процесом обраде (у истим или другим условима) долази до подрезивања ка равним зидовима а након тога добијамо завршни прорез са равним зидовима.

Само нагризање у потпуности зависи искључиво од материјала обратка, начина нагризања, као и врсте, концентрације и температуре средства за нагризање. Сви ови утицаји се могу утврдити или су утврђени експерименталним путем и резултати су у специјализованим литературама. Вредности овог фактора за неке метале и њихове легуре су дате у табlici 1.

Вредности тачности обраде за хемијско просецање од $\pm 0,005$ до $\pm 0,300$ мм док за хемијско глодање се крећу од $\pm 0,025$ до $\pm 0,120$ мм, зависно од врсте материјала обратка и дубине нагризања, код хемијског глодања, односно дебљине лима код хемијског просецања.

6.2 Квалитет обрађене површине

Обрађене површине и њен квалитет зависи углавном од: врсте, концентрације и температуре средства за нагризање, материјала обратка и његове микро структуре, претходне обраде и брзине растварања.

Нека средства за нагризање нападају границе кристалних зрна и проузрокују неуједначено нагризање, док друга имају тенденцију образовања сунђерасте површине. Постоје и средства за нагризање која дају местимично глатке површине, па се јавља неуједначено нагризање и мања тачност обраде.

На храпавост обрађене површине утиче и полазна храпавост површине, обзиром да се раства-рањем материјала она само пресликава. Микро структура материјала обратка, такође, утиче на храпавост обрађене површине. Уколико је материјал обратка ситније и уједначеније микро структуре, при обради се добија равнија површина. Због тога се практикује да се пре хемијске обраде материјал термички обради, нпр. да се окали, да би се тиме добила ситнозрна микро структура, па према томе и бољи квалитет обрађене површине.

Врста претходне обраде утиче на величину храпавости површине при хемијској обради преко стања површинског слоја који настаје после претходне обраде. Тако нпр. при обради делова добијених ваљањем и пресовањем, након хемијске обраде добија се површина која је за $1,0 \div 1,5$ класу лошијег квалитета, а за делове добијене ковањем за $1,5 \div 2,5$ класе. Најгрубља обрађена површина при хемијској обради добија се код неких врста одливака, због порозности у структури, па се по правилу хемијска обрада не препоручује код тако добијених делова. Повећањем брзине растварања, повећава се и храпавост обрађене површине.

При обради угљеничних челика често се јавља тзв. водонична кртост па би због тога хемијску обраду требало изводити пре термичке обраде.

Уколико се сумња да у површинским слојевима обратка има заосталих напона од претходне обраде, тада након хемијске обраде може доћи до нарушавања равнотежног стања и кривљења обратка. Обзиром да се хемијском обрадом у површински слој не унесе никакви напони, делови обрађени хемијском обрадом имају мању динамичку чврстоћу у односу на оне обрађене конвенционалним методама. [10]

7. Експериментална испитивања

Практична реализација неког електронског уређаја је, једноставно речено, поступак којим се све компоненте тог уређаја повезују у целину. То повезивање може да се оствари на више начина. Почетници користе готова, врло једноставна штампана кола која се састоје од узаних, паралелних бакарних линија са избушеним рупама. Уз мало вештине и на њима је могуће реализовати многа електрична кола. Међутим, право решење на које сви љубитељи електронике дођу су штампане плоче. У експерименталном делу рада биће објашњен процес добијања штампане плоче.

PCB (printed circuit board) је основа на којој се слажу елементи електронског кола. У зависности од сложености електронског кола и *PCB* је сложенија. Пројектовање *PCB*-а ради се на компјутеру у неком од програма за ту намену. Поменуо бих пар програма: *Tango*, *Eagle*, *Protel*, *OrCad* и слични. Крајњи резултат пројектовања на компјутеру је филм за *PCB* на паусу.

Штампана плочица може да се уради ручно или машински. Овде ће бити описане верзије ручне израде.

Поступак израде саме *PCB* плочице ће бити заснован на тзв. фото поступку. Фото поступак даје одличне резултате за хоби и за мале серије или прототипове. Описани поступак важи за рад са позитив фото лаком.

Експериментална испитивања имала су за циљ да се утврди утицај параметара обраде на квалитет код хемијске обраде. Испитивано је колико се квалитет обраде мења у зависности од промена дужине експозиције и времена обраде, тј нагризања у радној течности, за исто време развијања.

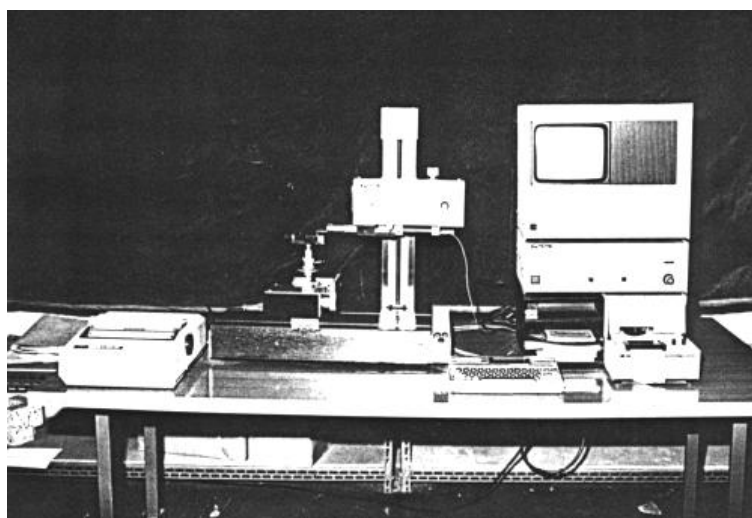
Записи профила трага вршено је на профилометру *Talusurf 6* док су на микроскопу мерене ширине линија.

Систем *Talusurf 6* служи за мерење карактеристика микрогеометрије контактних површина (слика 17.).

Уређај је компјутеризован и има широк спектар могућности као што су:

- мерење основних и допунских параметара храпавости и валовитости,
- статистичка обрада резултата мерења параметара храпавости,
- приказивање резултата на екрану, њихово меморисање, штампање и цртање,
- просторно скенирање површине.

Коришћењем овог мерног система добили смо вредности параметара микрогеометрије површине обрађеног материјала.

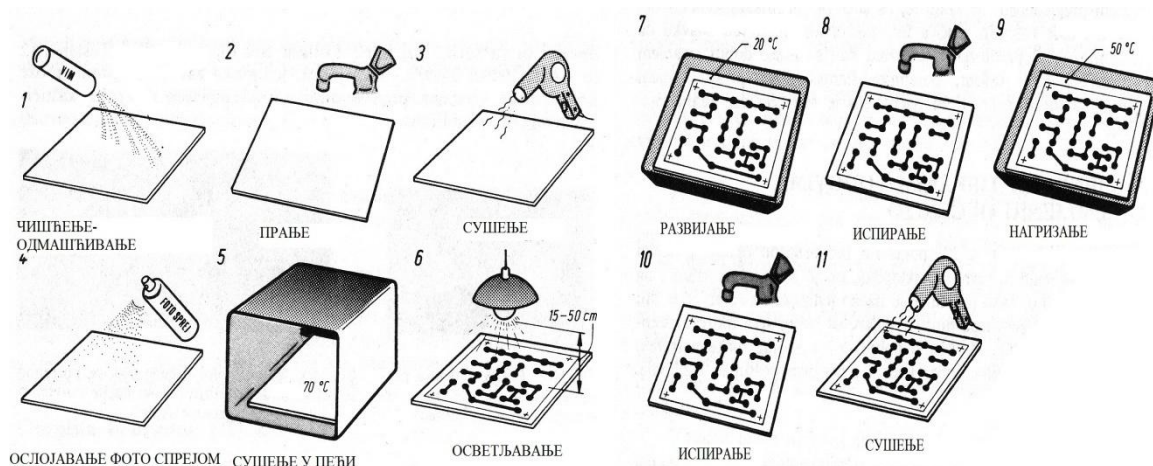


Слика 17. Уређај за мерење храпавости Talysurf 6.

7.1 Израда узорака

Прво је потребно изабрати одговарајући материјал за израду, па приступити изради *PCB* -а, која се састоји из неколико фаза.

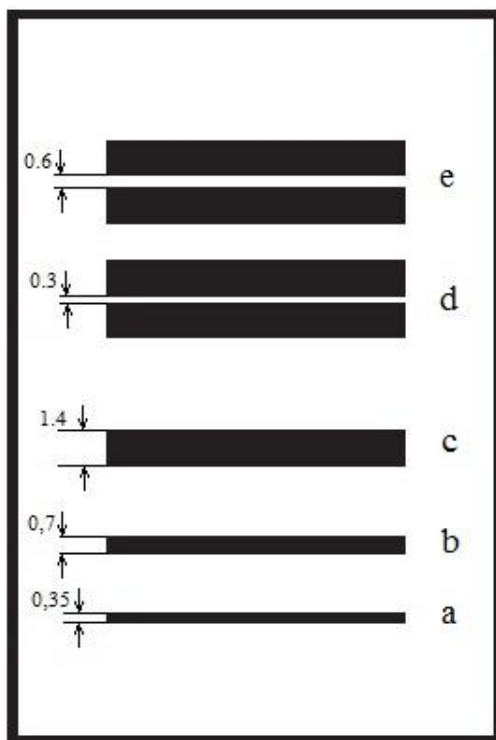
Фазе у изради су следеће: чишћење бакарне површине, прање плочице, сушење, ослојавање фото лаком, печење, осветљавање, развијање, испирање, нагризање, испирање, сушење (слика 18.). Затим следи нагризање непотребних бакарних површина и скидање заштите са бакра.



Слика 18. Фазе у изради

7.1.1 Припрема цртежа

Први део посла при изради штампаног кола је прављење цртежа, филм за *PCB* на паусу (слика 19.), са распоредом бакарних линија. Некада се то радило ручно, а данас уз помоћ програмског пакета можемо добити савршен распоред компонената, како би смо уштедели на материјалу. Након израде цртежа следи штампање на паус папиру.



Слика 18. Димензије (mm) и филм за *PCB* на паусу

7.1.2 Исецање

Наредна етапа у добијању готове плоче је одсецање. Плоче се израђују од пертинакса тј. танке плоче од изолационог материјала на коју је са једне стране нанесен танак слој бакра. С обзиром да је пертинакс врло крт материјал, треба бити пажљив при исецању да плочица не пукне тамо где не треба. Материјал који је коришћен за ово испитивање је пертинакс плоча са бакарним слојем дебљине 30 μm .

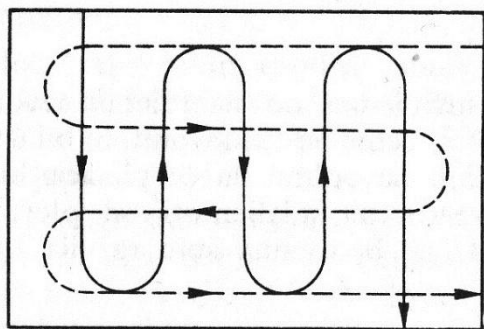
7.1.3 Чишћење бакарне површине

Припрема бакарне површине за ослојавање фото лаком. Уколико је бакар у добром стању без огреботина и корозије добољно је да се бакар накваси водом и влажном ватом или још боље парчетом fine шмиргле исполирати бакарну површину. Бакар је одмашћен кад вода лепо пријања по површини. Заостале масноће не примају воду и треба их даље одмастити а за одмашћивање је најбоље употребити неки детергент за судове или слично средство. Овако одмашћену плочицу добро испрати и осушити. Током одмашћивања бакар никако не пипати прстима.

7.1.4 Ослојавање и сушење

У просторији без прашине наноси се фото лак у спреју с удаљености на око 20cm од саме плочице при пругушеном светлу на собној температури. Код наношења фото лака треба обратити пажњу да буде једнолично наношење које се постиже прскањем у вијугама, најпре у једном а затим у другом смеру без прекидања (слика 19.). Мора се водити рачуна да дебљина слоја буде равномерна.

Сушење је вршено у пећници загрејаној на 70°C , па је време скраћено на свега 30 до 35 минута у односу на собну температуру којом се исто тако може сушити.



Слика 19. Смер наношења фото спреја

7.1.5 Осветљавање

За даљи рад нам је потребан комад стакла (мора бити већи од наше плоче) и комад шперплоче или сличног материјала, истих или већих димензија. На шпер плочу постављамо плочицу, са бакром одозго. Преко ње постављамо папир са цртежом, а преко свега тога иде стакло. Цртеж се мора поставити тако да боја којом је цртеж прављен лежи на бакру. Када погледамо кроз стакло морамо видети цртеж онако како треба да изгледа на плочици.

Када смо све намонтирали долази време за светлост. Сендвич са стаклом на горе се стави испод сијалица и држи испод ње неколико минута. Плочицу треба ставити испод сијалице тако да светлост пада директно на стакло (слика 20.).



Слика 20. Комора са осветљавање

При самом испитивању извршено је варирање 2 параметра:

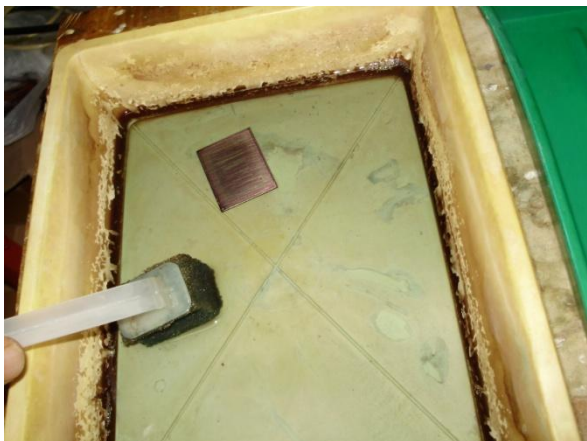
- Брзина експозиције (мин): 4 ; 8 ; 12
- Време нагризања (мин): 2 ; 2,3 ; 2,8

Приликом испитивања сечени су комади димензија 20 x 30 mm.

7.1.6 Развијање фото лака

Осветљени узорци су развијани у NaOH (каустична сода) (слика 21.). Убацивањем у раствор фото лак почиње да се раствара на местима где је осветљен а након развијања следи испирање у води (слика 22.).

Током развијања неопходно је сунђером или фином четкицом стално скидати слој лака који се раствара како би се добио жељени ефекат. Развијање свих узорака рађена је у временском интервалу од 38 сек.



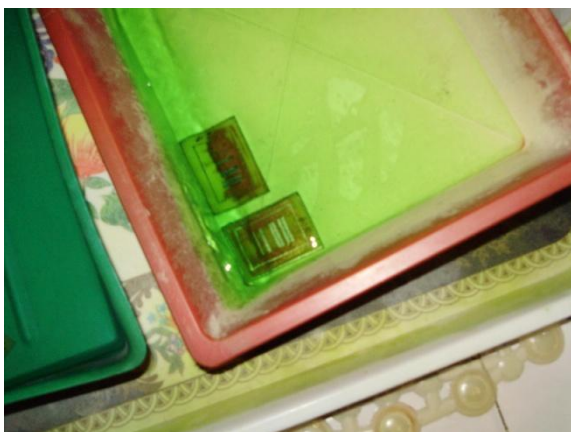
Слика 21. Развијање



Слика 22. Испирање

7.1.7 Нагризање

Завршни део у добијању штампане плочице је нагризање односно одстрањивање вишка бакра са плочице који није био заштићен цртежом. За нагризање је коришћена смеша воде, соне киселине (30%) и хидрогена (30%). (слика 23.)

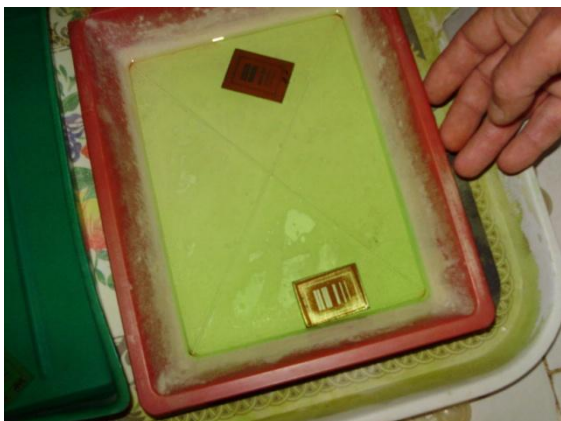


Слика 23. Процес нагризања

Повремено треба подизати и спуштати један па други крај посуде тако да течност која је била на површини склизне, а на њено место дође нова течност (слика 24.).

Процес нагризања је готов када на плочици више не буде било незаштићеног бакра.

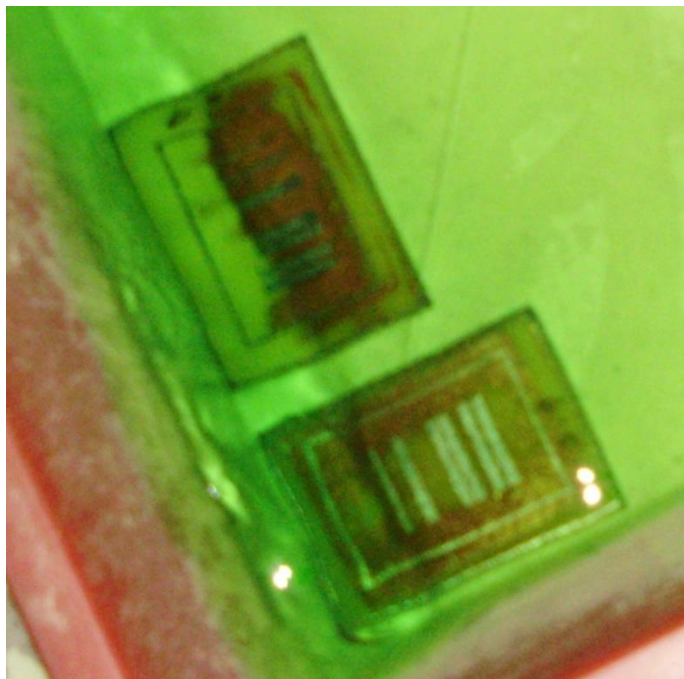
Плочицу тада треба извадити из течности, опрати је водом (слика 25.). Разлика нагризања у процесу приказана је на слици 26.



Слика 24. Благо мешање раствора



Слика 25. Испирање



Слика 26. Разлика у нагризању

7.2 Резултати испитивања узорака

Испитивање No.1

Код испитивања **No.1** време експозиције (излагање светлости) на сва три узорка је 12 мин, време развијања у каустичној соди је 38 сек. Време нагризања узорка 1.1, проведено у радној течности, је 2:50 мин, код узорка 1.2 је 2:20 док време код трећег узорка је 2 мин.

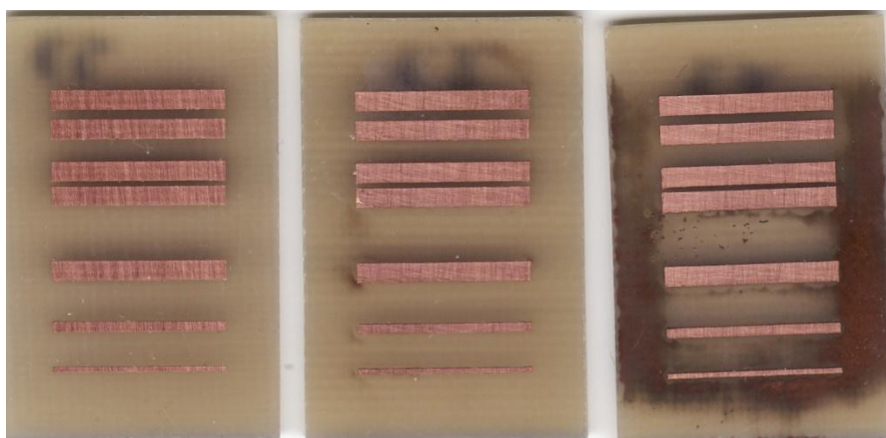
Време експозиције : 12 мин.

Развијање : 38 сек.

Нагризање 1.1 : 2:50 мин

Нагризање 1.2 : 2:20 мин

Нагризање 1.3 : 2:00 мин



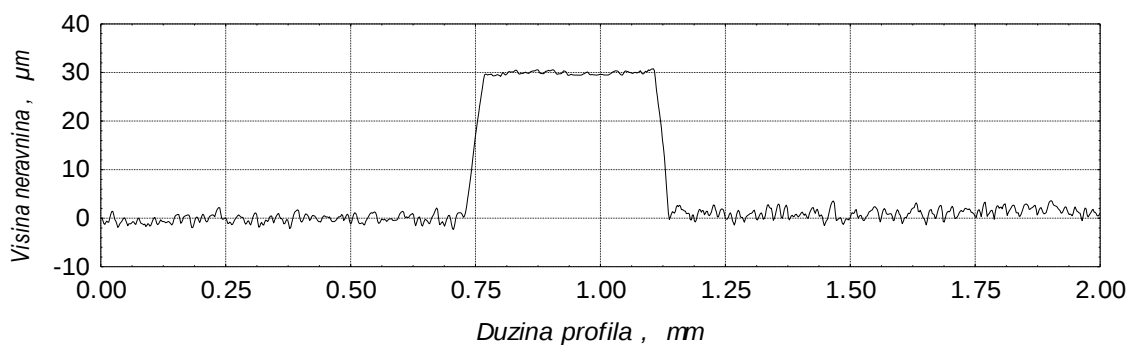
Нагризање 1.1

Нагризање 1.2

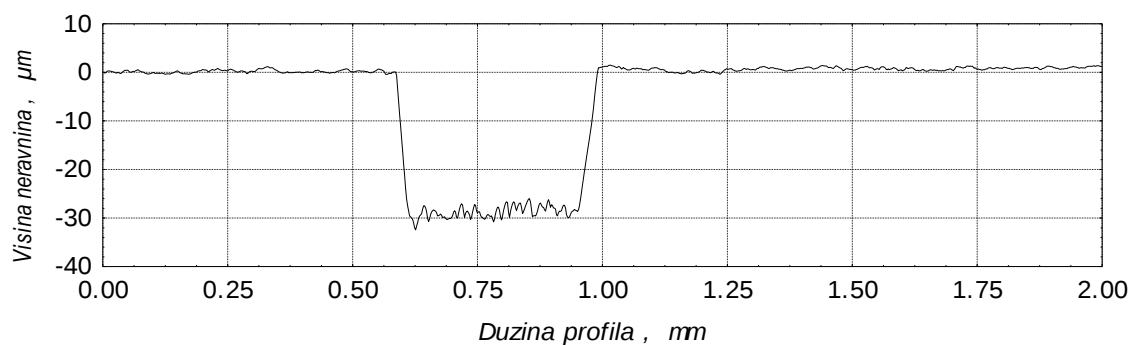
Нагризање 1.3

Топографија код испитивања **No.1** представља површину *a* и *d* а показује колико је дошло до оштећења при самом нагризању.

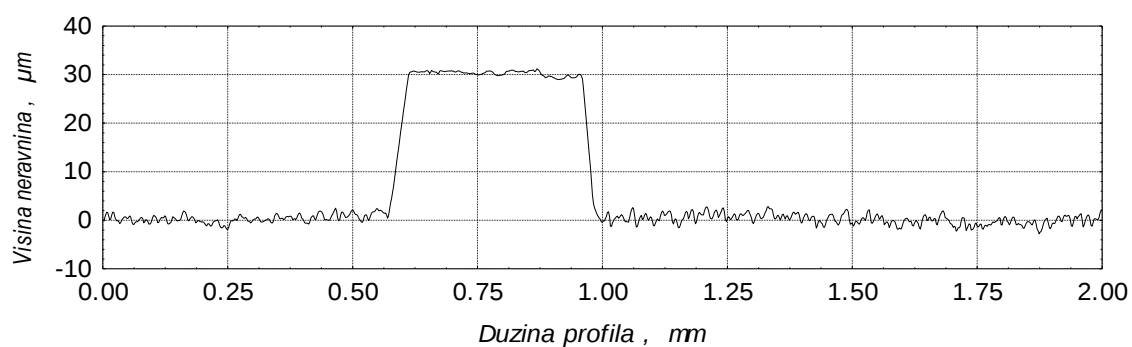
1.1a



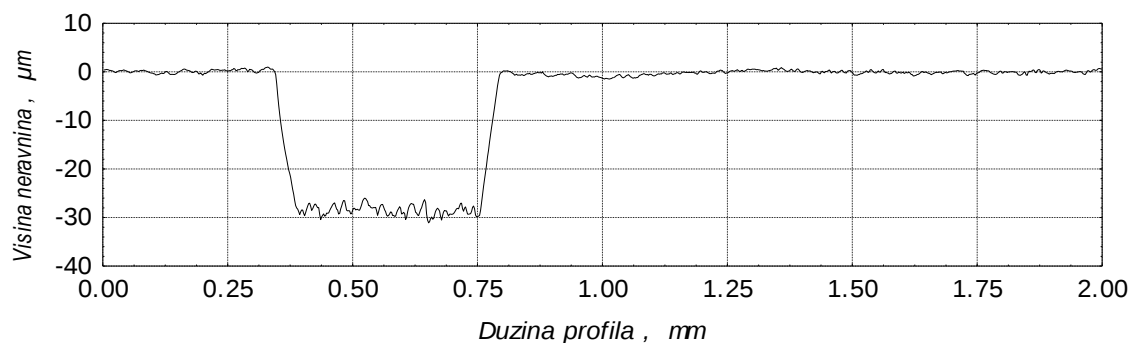
1.1d



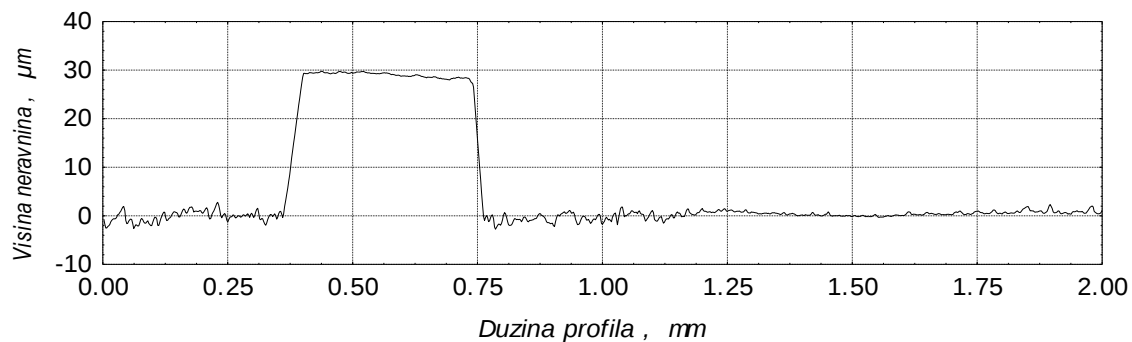
1.2a



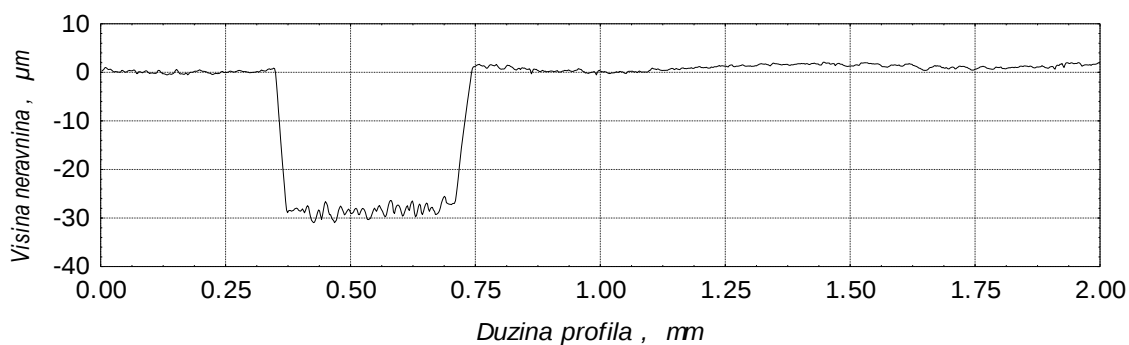
1.2d



1.3a



1.3d

Слика 27. Топографије површине за испитивање **No.1**

Испитивање **No.2**

Код испитивања **No.2** време експозиције (излагање светлости) на сва три узорка је 8 мин, време развијања у каустичној соди је 38 сек. Време нагризања узорка 2.1, проведено у радној течности, је 2:50 мин, код узорка 2.2 је 2:20 док време код узорка 2.3 је 2 мин.

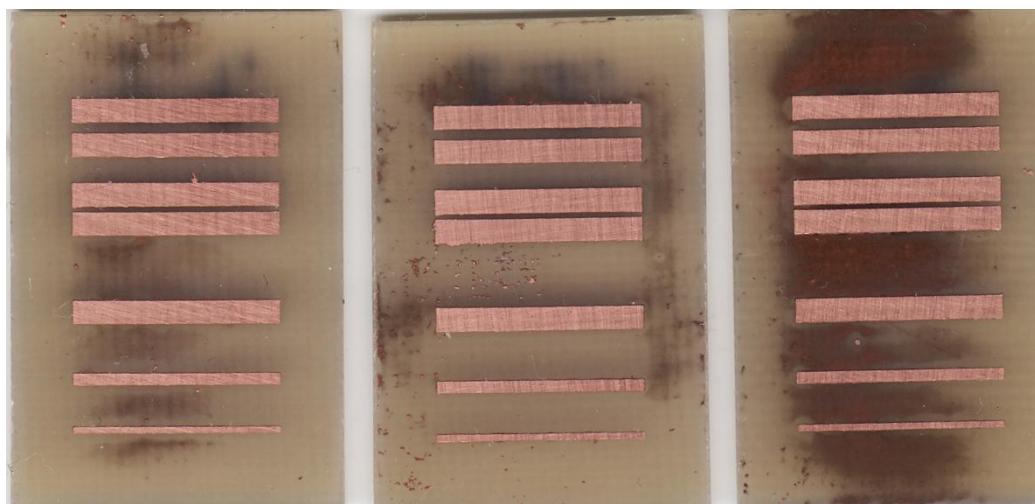
Време експозиције : 8 мин.

Развијање : 38 сек.

Нагризање 2.1 : 2:50 мин

Нагризање 2.2 : 2:20 мин

Нагризање 2.3 : 2:00 мин



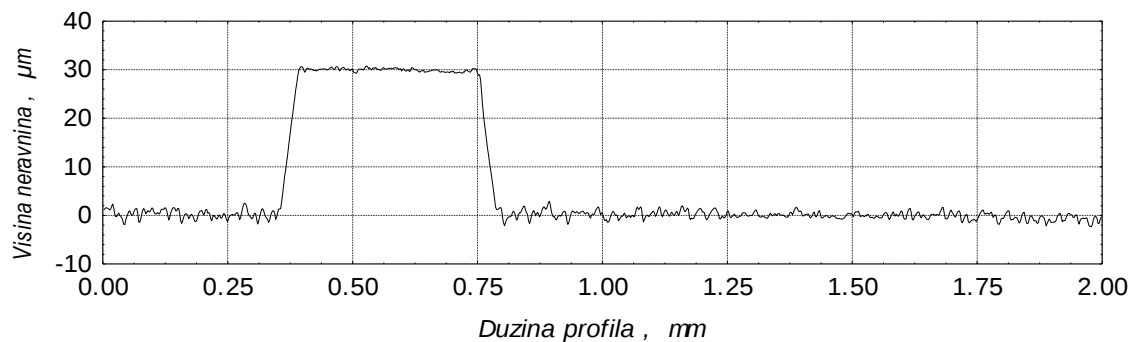
Нагризање 2.1

Нагризање 2.2

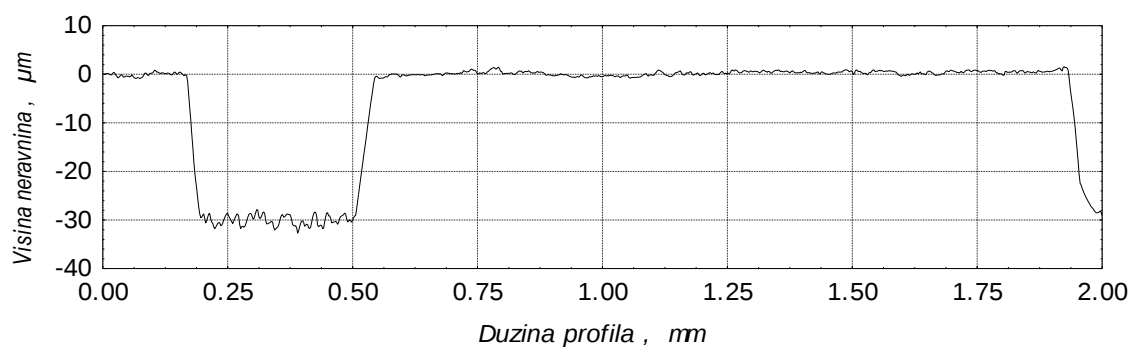
Нагризање 2.3

Топографија код испитивања **No.2** представља површину *a* и *d* а показује колико је дошло до оштећења при самом нагризању.

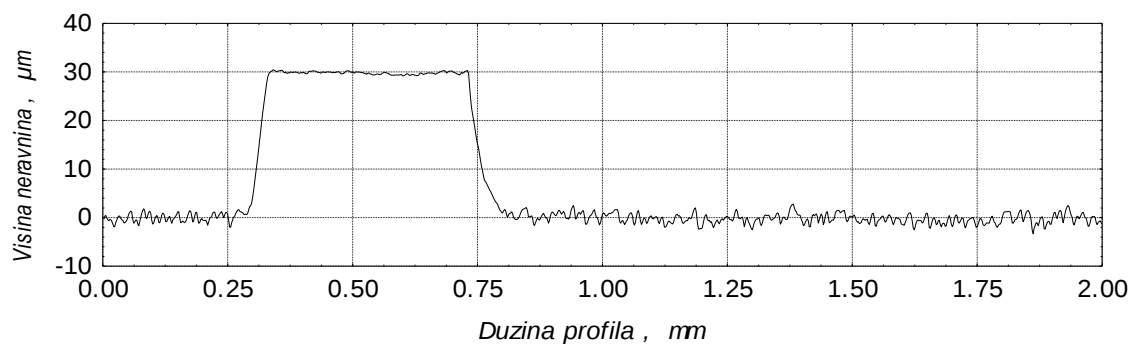
2.1a



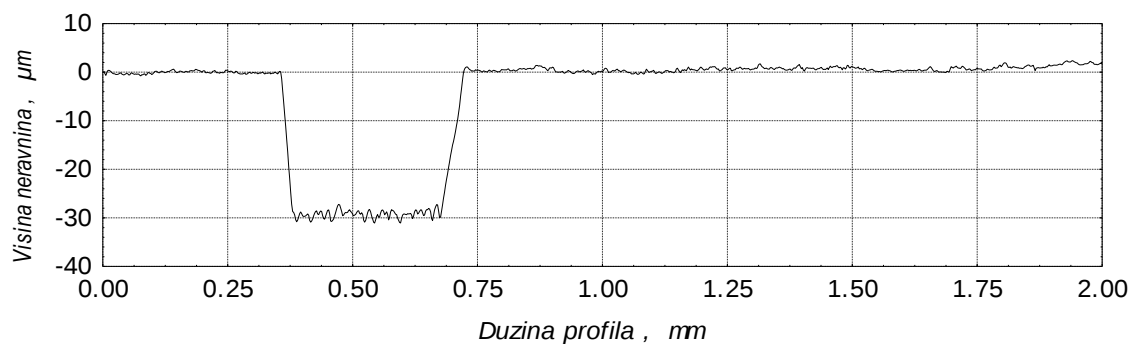
2.1d



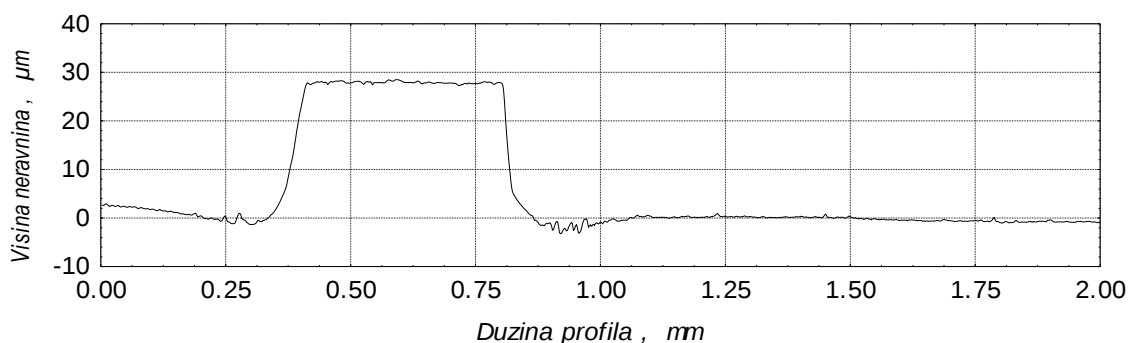
2.2a



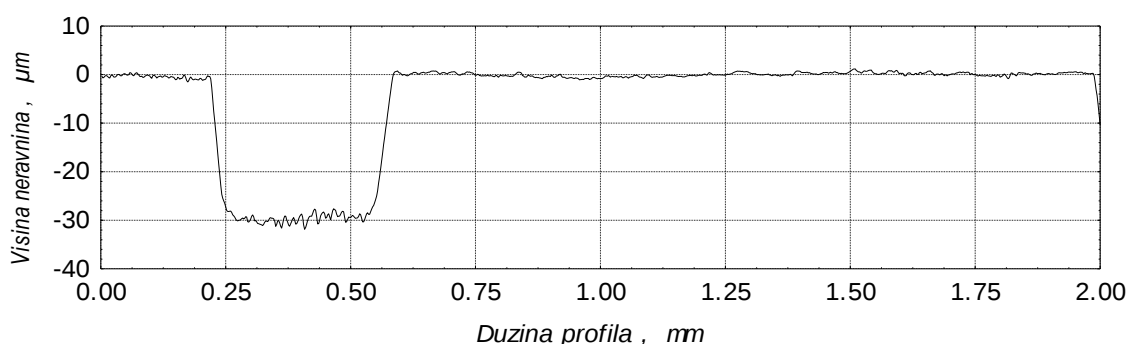
2.2d



2.3a



2.3d

Слика 28. Топографије површине за испитивање **No.2**

Испитивање **No.3**

Код испитивања **No.3** време експозиције (излагање светлости) на сва три узорка је 4 мин, време развијања у каустичној соди је 38 сек. Време нагризања узорка 3.1, проведено у радној течности, је 2:50 мин, код узорка 3.2 је 2:20 док време узорка 3.3 је 2 мин.

Време експозиције : 4 мин.

Развијање : 38 сек.

Нагризање 3.1 : 2:50 мин

Нагризање 3.2 : 2:20 мин

Нагризање 3.3 : 2:00 мин



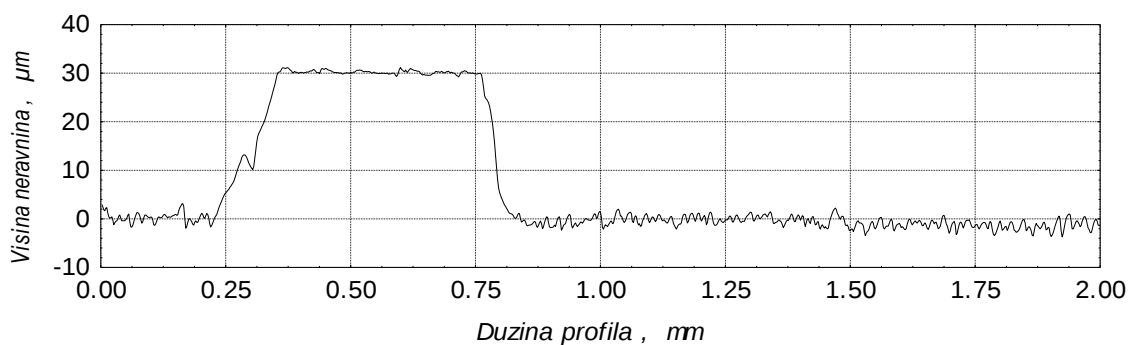
Нагризање 3.1

Нагризање 3.2

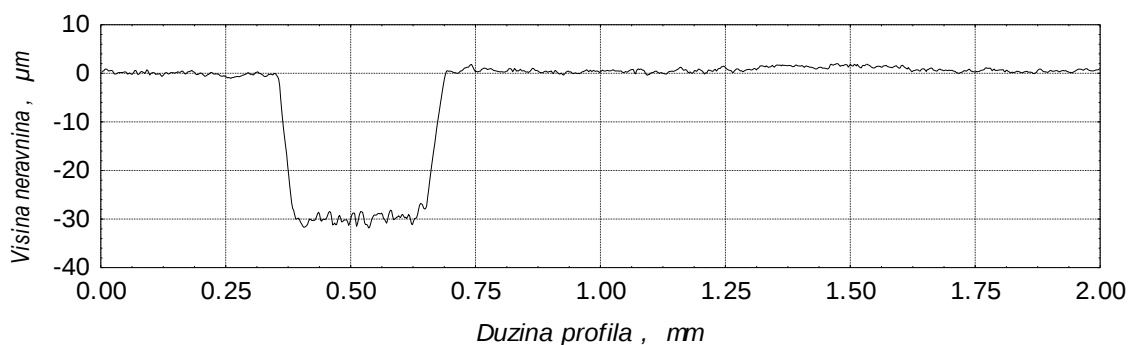
Нагризање 3.3

Топографија код испитивање **No.3** представља површину *a* и *d* а показује да ли је дошло до оштећења при самом нагризању.

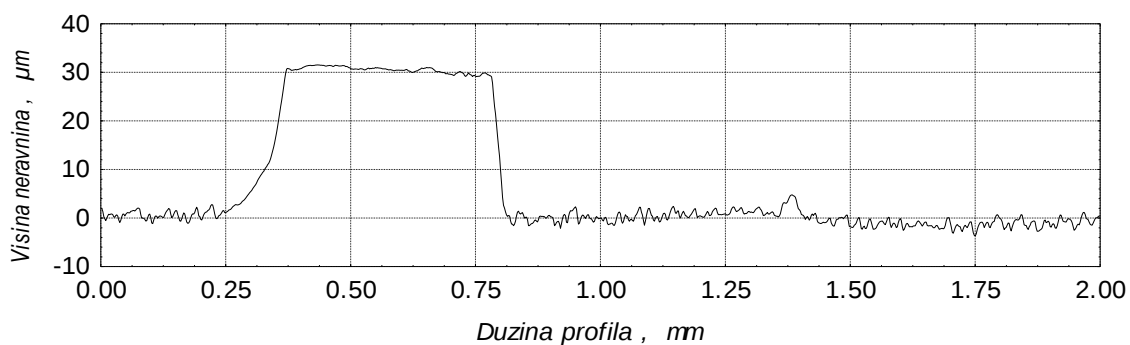
3.1a



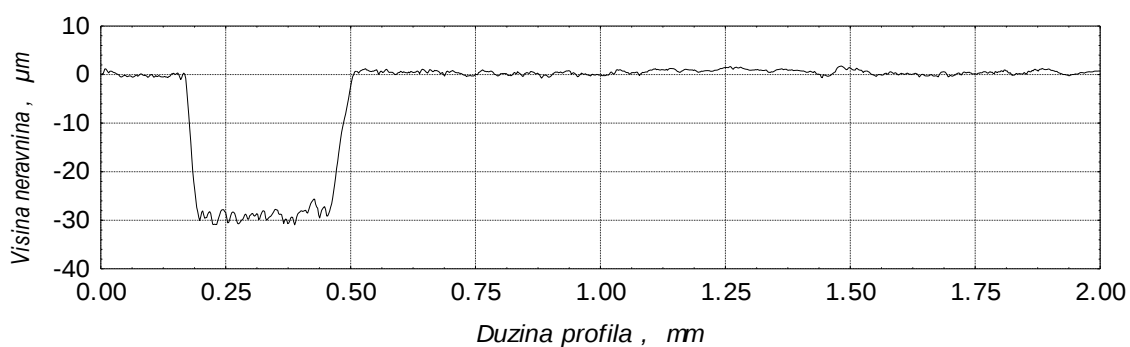
3.1d



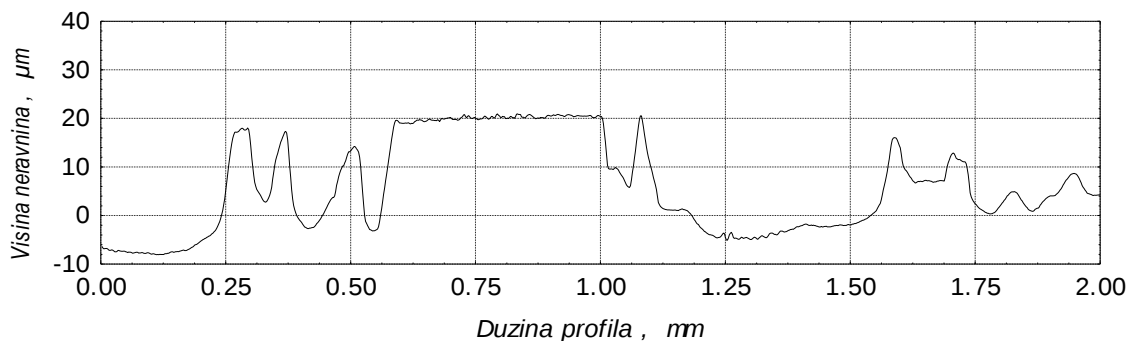
3.2a



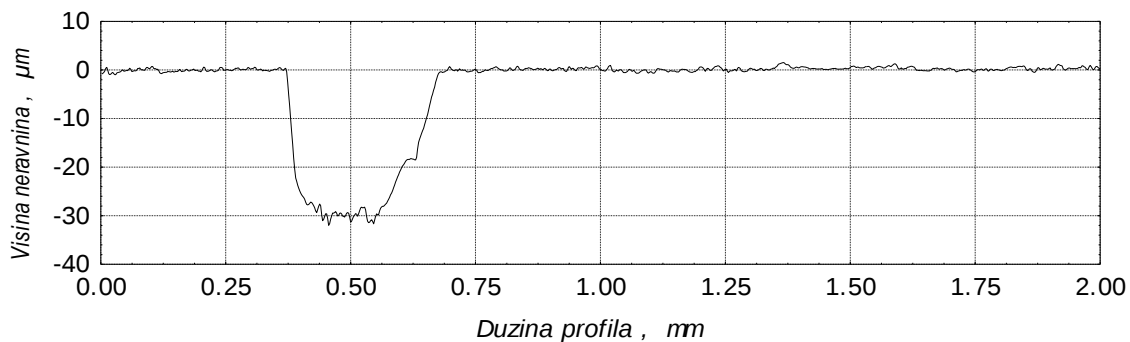
3.2d



3.3a



3.3d



Слика 29. Топографије површине за испитивање **No.3**

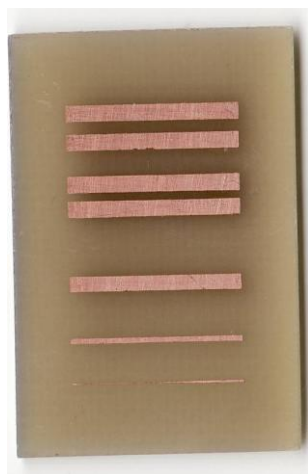
Испитивање No.4

Код овог узорка време нагризања је 2 пута дуже од идеалног а последице превеликог времена се могу видети на слици 27.

Време експозиције : 12 мин.

Развијање : 38 сек.

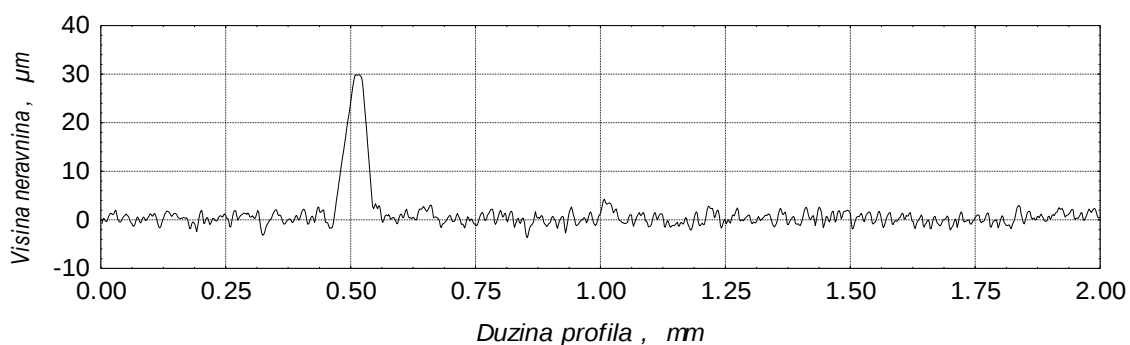
Нагризање : 5 мин



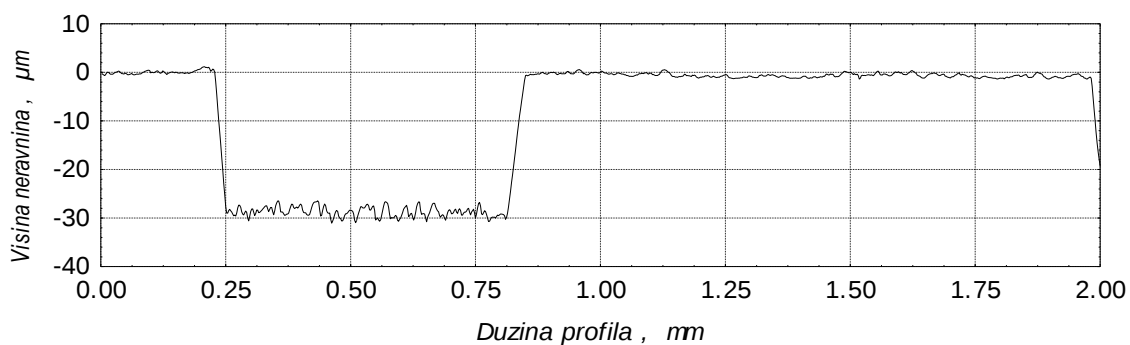
Слика 27. Превелико време нагризања

Топографија код испитивања **No.4** показује колико је дошло до оштећења површине *a* и *d* при превеликом времену нагризања.

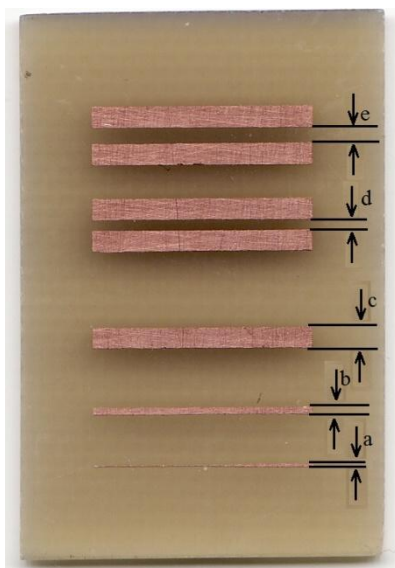
4.0a



4.0d

Слика 30. Топографије површине за испитивање **No.4**

У табели 2. можемо видети разлику у ширини испупчене линије (a, b, c) и ширину удубљене линије (d, e) за различито време експозиције и нагризања, мерене на микроскопу.



Ознака мерења	Ширина испупчене линије			Ширина удубљене линије	
	a	b	c	d	e
1.1	0.36	0.7	1.382	0.4	0.685
1.2	0.34	0.658	1.385	0.384	0.703
1.3	0.39	0.688	1.503	0.355	0.68
2.1	0.423	0.715	1.408	0.337	0.64
2.2	0.408	0.725	1.412	0.33	0.675
2.3	0.4	0.698	1.43	0.34	0.67
3.1	0.43	0.758	1.447	0.313	0.59
3.2	0.403	0.74	1.431	0.3	0.627
3.3	0.41	0.74	1.32	0.341	0.618
4.0	0.055	0.468	1.09	0.603	0.906

Таблица 2. Ширине испупчене и удубљене линије

Из дате табеле можемо приметити да узорак 1.1 у отпималним условима има приближно једнаке мере у поређењу са почетним условима док при промени времена експозиције и нагризања значајне промене се могу видети на узорку 3.3. Смањењем параметара се првенствено добија лоше развијена слика без детаља велике тачности што утиче на укупни квалитет производа, док смањењем времена нагризања добијамо делимично одношење материјала али не и потпуно (узорак 2.3).

Код узорка 4.0 имамо повећање времена нагризања (дупло дуже) тако да, при потпуној експозицији и развијању, добијамо производ код кога је дошло до превеликог нагризања и оштећења самих водова што се и голим оком на самом узорку може приметити.

8. Закључак

У данашње време када је коришћењем високо аутоматизованих постројења, за примену хемијске обраде искључена је свака опасност од штетног утицаја ове обраде на здравље радника. У замену са тим добија се производност, тачност и квалитет обрађене површине које могу да задовоље и најстрожије захтеве.

Процес хемијске обраде, у односу на остале неконвенционалне и конвенционалне поступке обраде, карактерише низ предности:

- ✓ Скоро потпуно одсуство механичких и топлотних процеса у зони обраде. То обезбеђује обраду производа било које крутости и конфигурације, уз високу тачност и квалитет обрађене површине.
- ✓ Могућност обраде скоро свих материјала без обзира на основне механичке карактеристике.
- ✓ Висока производност обраде, обезбеђена једновременим протицањем процеса уклања вишка материјала по комплетној, незаштићеној, површини предмета обраде.
- ✓ Могућност алуминијумских легура до дубине 50мм, а челика и титанових легура до 20мм, при тачности обраде $\pm 0.05\text{мм}$ и квалитету обрађене површине који одговара квалитету обрађене површине формиране брушењем.
- ✓ Једноставно смањење масе код виталних делова, чиме се постижу максималне експлоатацијске карактеристике елемената, при њиховим минималним габаритима.
- ✓ Могућност једновремене обраде већег броја производа.
- ✓ Једноставност увођења у производњу и тако даље.

Недостаци хемијске обраде су слабо одвођење продукта обраде, чиме се нарушава равномерност процеса и смањује квалитет и тачност обраде, релативно тешко одржавање константног састава раствора, сложеност израде и наношења заштитног слоја, велика потрошња раствора и тако даље.

Стални развој и усавршавање поступака обраде обезбеђује и његову ширу примену за производне операције код којих се захтева максимална ефективност и производност.

Из овог рада можемо закључити да се хемијском обрадом ипак могу обрадити веома комплексни и захтевни делови, велике тачности и доброг квалитета само се велика пажња мора обратити на време, саму припрему, начин рада, одабир праве радне течности итд. Тачним одабиром свих параметара обраде добијамо прави и жељени облик или производ.

9. Литература

[1] Проф. др Лазић Миодраг, Неконвенционални поступци обраде, Научна књига, Крагујевац, 1990.

[2] Проф. др Драгоје Миликић, Неконвенционални поступци обраде, Приручник за студије и праксу. Нови Сад, 2002.

[3] Проф. Стрезо Трајковски, Неконвенционални методи на обработка, Машински факултет, Скопје 1999.

10. Корисни линкови

[4] http://www.mastercut.com.au/images/IMG_2097.JPG

[5] <http://www.photofabrication.com/photo-gallery/>

[6] <http://www.ece.illinois.edu/eshop/pcbdesign/WeidmannBoard.JPG>
http://www.nwetch.com/Images/Home_Img1.jpg

[7] http://www.bras mold.ca/wp-content/uploads/2011/12/slide_3.jpg
http://i01.i.aliimg.com/img/pb/561/528/403/403528561_313.jpg

[8] http://www.sitet.it/media/incisione/thumbs/04_b.jpg

[9] http://www.mtorres.es/sites/default/files/productos/caracteristica_surface.jpg

[10] <http://www3.telus.net/metalshopborealis/cm1.jpg>

[11] <http://www.scribd.com/doc/46322577/Nekonvencionalne-metode-obrade>

[12] http://www.mfkg.kg.ac.rs/index2.php?option=com_docman&task=doc_view&gid=715&Itemid=27

[13] <http://www.scribd.com/doc/46639425/PROIZVODNE-TEHNOLOGIJE>