

**Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу
Војна академија Универзитета одбране у Београду**



Назив студијског програма: Војноиндустријско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Наоружање

Предмет: Производне технологије

Број индекса: 535/2014

Алекса Д. Аничкић

**Утицај услова обраде гравирања ласером на
карактеристике обрађене површине**

Дипломски рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Богдан Недић, - ментор

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____



Универзитет у Крагујевцу
Факултет инжењерских наука



Основне студије: **Војноиндустријско инжењерство**

Студијско подручје (усмерење): **Наоружање**

Име и презиме: **Алекса Аничих**

Број индекса: **535/2014**

ПРИЈАВА ДИПЛОМСКОГ РАДА

Тема рада: **Утицај услова обраде гравирања ласером на карактеристике обрађене површине**

Задатак: У оквиру завршног рада потребно је извршити прикупљање и систематизацију података о машинама за гравирање помоћу ласера. Дати основне напомене о суштини процеса обраде ласером и описати операције гравирања ласером. У посебном делу рада извршити гравирање у предузећу "Завод за испитивање оружја и муниције" Крагујевац, са различитим параметрима услова и на различитим материјалима и извршити профилометрисање обрађене површине.

Дипломски рад треба да садржи следеће целине:

1. Уводна разматрања,
2. Анализа процеса обраде ласером,
3. Машине за гравирање ласером,
4. Експериментална испитивања гравирања ласером,
5. Закључци,
6. Литература.

Ментор:

Др Богдан Недић, редовни професор

Крагујевац, 05.07.2019.

Резиме:

Рад се заснива на упознавању са технологијом ласерског гравирања и експериментално одређивање зависности карактеристика гравираних површина од параметара ласерске машине. Дате су основне информације о начину рада и примени машине за ласерско гравирање на челику, месингу и алуминијуму. Испитивање утицаја параметара гравирања ласером на топографију површине гравуре је извршено ласерском машином "AMAN AM-FL20" у предузећу "Завод за испитивање оружја и муниције" Крагујевац. Описане су основне карактеристике, предности и недостаци ове машине за гравирање. Резултати испитивања су представљени на графицима и у табелама. Испитивањем је констатовано да снага извора ласерског снопа, брзина кретања ласерског снопа на површини предмета и број пролаза значајно утичу на облик и топографију гравираних површина. Снага ласера је мала (20 W) због чега у највећем броју случајева испитивања није дошло до одношења материјала већ до топљења и брзог хлађења материјала при чему настају значајне неравнине на обрађиваној површини.

Кључне речи: Ласер, Гравирање, Оружје

Summary:

The paper is based on introducing the technology of laser engraving and experimental determination of the dependence of the engraved surface characteristics on the parameters of the laser machine. The basic information about the working method and use of machine for laser engraving on steel, brass and aluminium are provided. The testing of laser engraving parameters on the topography of the surface of engraving is done with the laser machine „AMAN AM-FL20“ at the Proofhouse for Testing of Weapons and Ammunition in Kragujevac. The main characteristics, advantages and disadvantages of this machine are presented. Results are presented through graphs and tables. The testing revealed that the power of the laser beam source, the speed of laser beam movement on the object surface and the number of passages significantly influence the shape and topography of the engraved surface. The laser power is low (20 W), which is why in most testing cases there was no removal of the material but melting and rapid cooling of the material, resulting in significant irregularities on the treated surface.

Key words: Laser, Engraving, Weapon

САДРЖАЈ

Увод	5
1. Историја гравирања	7
2. Машине за гравирања	13
2.1. Машинско гравирање-пантографи	13
2.2. Гравирање CNC машином	15
2.3. Гравирање ласером	16
2.2.1. Начин рада ласера који се користи за гравирање	17
2.2.2. Материјали на којима се врши ласерско гравирање	21
3. Машина за гравирање ласером "AMAN AM-FL20"	23
3.1. Опис машине "AMAN AM-FL20"	23
3.2. Принцип рада машине "AMAN AM-FL20"	26
4. Испитивање утицаја параметара гравирања ласером на топографију површине гравуре	28
4.1. Гравирање на челику	28
4.2. Гравирање на месингу	34
4.3. Гравирање на алуминијуму	42
Закључак	49
Литература	51

Увод

Конкуренција на домаћем и светском тржишту излаже производњу притисцима за повећањем квалитета, смањењем времена израде, смањењем цена и променама производног програма у циљу задовољења потреба купаца. Нове технологије доводе до повећања конкуренције, побољшања квалитета као и до нових захтева купаца. Промене су присутне у свим гранама индустрије, што је омогућило развој и стварање производа који су утицали на развој различитих технолошких поступака, тј. техничких система и алата.

Прве употребе машина су подразумевале коришћење више ручних алата што је олакшавало технолошки процес у односу на коришћење и рад само једног алата. Коришћење таквих машина је и даље подразумевало физички рад онога који њом управља. Временом је дошло до развоја нових технологија и усавршавања начина рада машина, што нас доводи до закључка да машина обрађује одређени материјал замењујући ручни рад појединца.

Аутоматско управљање машина је довело до нових могућности, изгледа и производних способности. Самим тим се смањује физичко учешће човека у производњи и негативан утицај људског фактора на управљање машина а повећава се продуктивност, економичност и репетитивност. Аутоматским управљањем машином се повећава тачност израде, уједначеност израђених комада, док се трошкови производње по јединици производа смањују.

Ласерска обрада је савремена технологија која је брзо постала неопходна у многим производним гранама индустрије. Представља најпрецизнији и најекономичнији метод. Од свих поступака ласерске обраде најраспрострањеније је ласерско сечење и ласерско гравирање. Сноп ласерских зрака је нови универзални резни алат који може практично да наноси ознаке на готово све познате материјале. Карактеристике ласерског гравирања су брзина, флексибилност и прецизност. Трошкови производње се рапидно смањују што омогућава повратак инвестиције. Технолошки проблеми у вези примене ласерског обраде су недовољно познавање примене ласерске технике и непостојање довољно поузданих практичних података и знања о значајним параметрима на сам процес обраде. Последица тога је недовољна искоришћеност технологије ласерске обраде с обзиром на могућности које она пружа. Познавањем процеса ласерске обраде, и њене зависности од различитих параметара обраде, побољшава се квалитет обраде као и њена ефикасност.

Циљ овог рада је упознавање са технологијом ласерског гравирања као и експериментално утврђивање зависности квалитета обраде од радних параметара ласерске машине.

У првом поглављу је дата историја гравирања где је представљен развој гравирања кроз историју, ручно гравирање као први начин гравирања, као и коришћење алата за ручно гравирање. Осим гравирања уз помоћ бурина и длета, представљено је и пнеуматско гравирање.

У другом поглављу је објашњен рад машина за гравирање као и њихова подела. Друго поглавље обухвата опис машинског гравирања употребом пантографског система који је настао у другој половини 19. века и који је потиснуо ручно гравирање, као што је и њега потиснуло нумеричко CNC гравирање крајем 20. века. Описано је гравирање CNC машином које су веома поуздане јер су смањене могућности грешака приликом рада. У складу са темом рада, ласерско гравирање је описано у истом поглављу обухватајући начин рада ласера, предости и недостаци гравирања ласером и материјале на којима се врши ласерско гравирање.

У трећем поглављу је описана ласерска машина “AMAN AM-FL20”, која је намењена искључиво за гравирање које омогућава гравирање текстова, графика, логотипа, баркодова и ознака. Представљен је принцип рада ласерске машине који се заснива на добијању ласерског зрака који се преноси са огледала на радну површину. Ова врста ласера се разликује од осталих јер су глава ласера и радни непокретни, а сочиво покретно. У овом поглављу су дате основне техничке карактеристике од којих су најбитније снага ласера, максимална брзина обележавања, пулсна фреквенција, таласна дужина и минимална дебљина линије.

У четвртм поглављу су приказани резултати истраживања утицаја параметара гравирања ласером на профил обрађене површине. Испитивања су вршена на машини “AMAN AM-FL20” у Заводу за испитивање оружја и муниције у Крагујевцу. Испитивања су вршена на челику, месингу и алуминијуму, односно материјалима који имају највећу примену у производњи наоружања и војне опреме. Резултати испитивања су представљени уз помоћ графика и табела на основу којих су донети закључци о томе које врсте параметара су најпогодније за изабране материјале.

На крају рада је изведен закључак на основу испитивања вршених на машини “AMAN AM-FL20” и добијених резултата који се анализирају и представљени у раду.

На крају рада је преглед коришћене литературе и извора.

1. Историја гравирања

Гравирање је технички поступак урезивања линија, украса, знакова или ликова у тврду, обично равну површину прављењем канала у њој. Резултат гравирања може бити декорисани предмет ако се гравира сребро, злато, челик или стакло. Отисак урезаних слика назива се гравура или гравира. Остали термини који се често користе за штампане гравуре су бакрорез, бакарно гравирање или линијско гравирање. Гравирање челика на челичним или почеличеним плочама је једнака техника. Углавном се користи за израду новчаница и илустрација у књигама.

Гравирање је кроз историју била важна метода стварања слика на папиру, како у уметничком штампању тако и за комерцијалне репродукције и илустрације у књигама. Традиционално гравирање резбарским длетом или употребом машина наставили су оружари, златари, стакларски гравери и други. Модерније индустријске технике попут фотогравирања и ласерског гравирања имају многе важне примене [11].

Једино гравирање метала које се могло изводити у античком добу видљиво је у плитким жлебовима пронађеним на драгуљима након почетка 1. миленијума п.н.е. Највећи део такозваних гравираних дизајна на античким златним прстеновима или другим предметима израђивала се удубљивањем или понекад комбинацијом технике удубљивања.

Употреба гравирања за урезивање декоративних сцена или фигура на стаклено посуђе појавило се тек у раном првом веку после Христа, а наставило се све до четвртог века нове ере у градским центрима попут Келна и Рима, те је ишчезло негде у петом веку. Декорација се у почетку заснивала на грчкој митологији, пре него што су сцене лова и циркуса постале популарне, као и на сликама исцртаним из Старог и Новог завета. Чини се да се користило за опонашање изгледа судова од племенитих метала из истог периода укључујући примену златних листића, а вероватно је урезивани голом руком или помоћу штапића. До сада је идентификовано 20 одвојених стилистичких радионица и чини се вероватним да су занимања гравера и произвођача судова била одвојена један од другог [11].

Први и највећи период гравирања трајао је од 1470. до 1530. са мајсторима попут Мартина Сцхонгауера, Албрехта Дирера и Луцаса ван Леида. У средњем веку у Европи су златари користили гравирање за декорисање и металних радова. Многи рани гравери имали су златарску позадину. У периоду од 1790. до раног 20. века техника гравирања је почела да губи популарност осим у изради новчаница и других облика сигурне штампе.

Ручно гравирање

Ручно гравирање се користи за персонализацију или украшавање оружја, трофеја, ножева или других ствари од различитих врста материјала, слика 1.1 и 1.2. Гравери користе алат од ојачаног челика названог бурин за урезивање дизајна у површину која је традиционално најчешће бакарна плоча. Длета постоје у много облика и величина од којих сваки даје различите врсте линија. Бурин производи јединствен и препознатљив квалитет линије која је карактерисана својом постојаношћу, одмереним изгледом и чистим ивицама. Угаони алат има благо закривљен врх који се обично користи у штампи. Равна длета се користе за обављање испуне на словима као и код највећег дела гравирања музичких инструмената. Округла длета обично се користе на сребру за стварање јасних резова (што се назива гравирање јасним резом) као и на другим металима тешким за урезивање попут никла и челика. Бурини су четвртастог облика или у облику издуженог дијаманта где се користе за урезивање равних линија. Остали алати попут мезотинтних длета, рулета и лаштила користе се за текстурне ефекте [11].



Слика 1.1: Гравирање на оружју [3].



Слика 1.2: Гравирање на оружју [7].

Поред ручног гравирања уз помоћ бурина и длета постоји и пнеуматско гравирање. Пнеуматско гравирање се састоји од комбинације штампе и манипулације делом. Овај се процес данас још увек изводи, а модерна технологија омогућила је разне механичке системе гравирања. На слици 1.3 је приказан пример опреме за пнеуматско гравирање. На слици 1.4 је приказана савремена опрема за гравирање помоћу пнеуматског погонског извора кретања алата.

У суштини ова опрема има дршку сличну као бурин а унутар њих је пнеуматски пиштољ који дуби тачку попут пнеуматске бушилице са брзином до 15.000 удараца у минуто, редукујући тако напор потребан код традиционалног ручног гравирања.

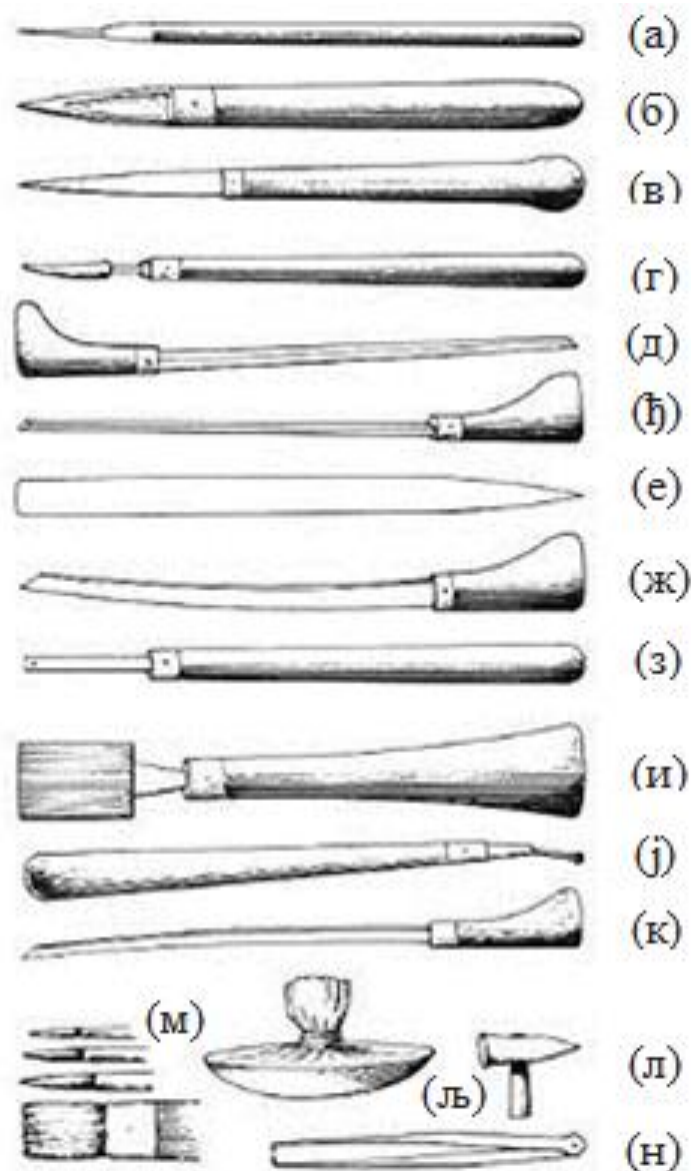


Слика 1.3: Опрема за пнеуматско гравирање старије производње [13].



Слика 1.4: Савремена опрема за пнеуматско гравирање [15].

Сваки алат за гравирање је посебан и користи се за одређену сврху. Постоје кружни алати за гравирање који раде кружне резове и угаони алати за гравирање који праве правоугаоне резове. Ови алати имају врло мале резне врхове, слика 1.5. Неке резне линије су широке испод 1 mm. Линије широке 3 mm представљају огроман рез за ручног гравера.



Слика 1.5: Ручни алати за гравирање [16].

(а) игла за нагризање, (б) стругач, (в) и (г) лаштило, (д) длето, (ђ) црпилица, (е) стругач за мецотинта, (ж) закривљени стругач, (з) рулет за мецотинта, (и) сенка за мецотинта, (ј) рулет за мецотинта, (к) длето са сувим врхом, (л) чекић, (љ) држач језгра за примену „основе“, (м) четкице за примену лака, (н) калиперни компаси.

Ручно гравирање се користи за персонализацију или украшавање драгуља, оружја, трофеја, ножева и осталих ствари направљених од финих метала. Понекад се ручно гравирају и калупни делови због додавања одређених информација као што су бројеви делова.

Висок ниво микроскопских детаља може да постигне само врхунски гравер, фалсификовање гравирних дизајна је готово немогуће, па се за потребе штампања новца и других вредносних папира користе плоче за штампање новца, чекова, обвезница и осталих вредносних папира увек гравирају ручно. Гравирање је толико прецизно да гравери не могу створити исти детаљ на ручно гравираним сликама.

У Канцеларији за гравирање и штампање САД-а на истој табли ради више од једног ручног гравера што чини готово немогућим да једна особа дуплира читаву гравуру за појединачну новчаницу или документ.

Многе су се класичне поштанске марке гравирале, али ова пракса је сада готово препуштена појединим државама или се користи када се жели добити "елегантнији" дизајн па је прихватљив лимитиран распон боја.

Ручно гравирање се може видети само на специјализованим пољима. Ручно гравирање се најчешће користи да би се предмету повећала цена. Ручно гравирање се може видети на различитим врстама ватреног и хладног оружја, драгуљима и музичким инструментима.

Ловачко и спортско оружје, карабини, пиштољи за личну употребу и друго оружје са „потписом“ гравера фабрике оружја налази се у власништву познатих светских државника, амбасадора, уметника, политичара, глумаца, спортиста, чувених колекционара од Блиског истока и Русије, па до Лондона и Америке. Комбинацијом племенитих метала са челиком израђују се рељефне слике, најчешће мотиви из лова.

У металне делове оружја често се интарзијом наносе племенити метали злато и сребро што, осим уметничког утиска, оружју знатно увећава вредност. Једно комплетно оружје (метал и дрво) гравира и резбари један мајстор гравер. Пример ручне гравуре на оружју са сребрним и златним нитима је дат на сликама 1.6 и 1.7.



Слика 1.6: Ручна гравура и линијска интарзија са утиснутом сребрном и златном жицом на пиштољу ЦЗ 999 [17].



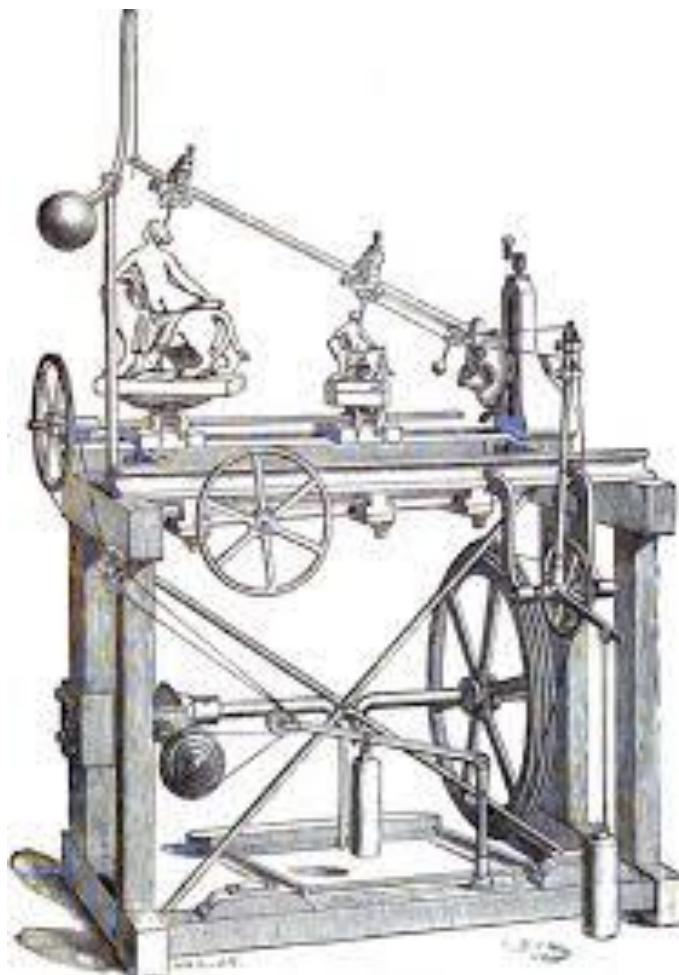
Слика 1.7: Ручна гравура и линијска интарзија са утиснутом сребрном и златном жицом на пиштољу ЦЗ 999 [17].

2. Машине за гравирање

У овом делу рада је представљена анализа машина за гравирање. Гравирање се може извршити уз помоћ различитих машина и то пантографа где се користи електрични погон алата, CNC машина за гравирање и машина са ласером за гравирање.

2.1. Машинско гравирање - пантографи

Постоје машине за гравирање које се обично користе за штампу слова употребом пантографског система. Такви уређаји се обично користе за инскрипцију на прстењу, медаљонима и украсним предметима.



Слика 2.1: Пантограф [18].

Пантографски систем гравирања настао је у другој половини 19. века, а пуни процват доживео је почетком 20. века. Потиснуо је ручно гравирање, као што ће и њега потиснути нумеричко CNC гравирање крајем 20. века. Пример пантографа на ножни

погон је приказан на слици 2.1. На слици 2.2 је приказан савремени пантограф са електричним мотором као погоном алата за гравирање.



Слика 2.2: Пантограф са електричним погоном [19].

Главни део машине за гравирање је пантограф механизам. Састоји се од четири међусобно повезана дела који омогућавају да се облик копира, смањи или увећа. Пантограф је врло лак за прављење и може бити претворен у машину за гравирање додавањем електричног мотора који ће преносити обртни момент алату за гравирање [14]. Гравирање се изводи тако да радник-гравер ручно води копирни пипак по копиру. Путем лењира пантографа кретање се преноси на сто машине са предметом обраде који врши кретање, а алат је стабилан који изводи само кретање по вертикалној оси, слика 2.3.



Слика 2.3: Ручно вођење пипка по копиру

2.2. Гравирање CNC машином

Технологија CNC машина, у данашњој индустрији има велику примену. Могло би се рећи да се CNC машине данас користе у свим производним делатностима. Од краја двадесетог века, CNC технологија је постала стандардна и незаменљива због своје поузданости и прецизности [16]. Најчешће области примене CNC машина су обрада дрвета, метала, пластике, гравирање, израда алата, моделирање, гравирање, хоби, итд. На слици 2.4 је приказана машина за гравирање.

CNC системи су се доста променили у протеклих 10,15 година. Од самосталних (black box) компоненти до потпуно интегрисаних, РС вођених, умрежених ћелија. Данас се CNC системи састоје од машине (струг, глодалица, рутер,...), степ-мотора, драјвера, РС рачунара и софтверског система, односно софтвера.

CNC технологија и машине су веома поуздане јер су смањене могућности грешака приликом рада. Људски фактор је присутан али је могућност грешака далеко мања него код мануелног система контроле машина. CNC машине омогућују да се „Систем контроле квалитета“ подигне на највиши могући ниво. У данашњим условима пословања ово је јако битан фактор [16].

Предност CNC система се огледа у великој прецизности израде и обраде, малим трошковима производње, поузданости и брзини рада као и у лакој и брзој едукацији запослених.



Слика 2.4: CNC машина за гравирање [20].

2.3. Гравирање ласером

Ласерско гравирање је процес коришћења ласера за урезивање или означавање натписа. Ласером се може гравирати стакло, дрво, метал и други материјали. Различити ефекти се постижу у зависности од материјала. Ласером угравиран дизајн је дуготрајан и отпоран на воду. За гравирање се користе посебне ласерске машине, а ласерска обрада варира у зависности од стопе апсорпције специфичне ласерске дебљине материјала и одабране технике. Цели процес и трошак енергије зависи од материјала. Ласерско гравирање користи се за посебно дизајниране материјале, као и за неке боје. То укључује и ласерски осетљиве полимере и нове металне легуре.

Ласерско обележавање је метода којом се остављају трагови на објекту, који укључују и промену боје због хемијске односно молекуларне промене, нагорености, пежења, растворљивости и других фактора. Техника не укључује коришћење мастила, нити алата који троше површину. То су својства која разликују ласерско од алтернативног гравирања или осталих технологија, у којима се мастила редовно мењају.

Појам ласер се користи и као генерички појам, који покрива широк спектар техника, укључујући штампу, маркирање и ласерско штампање. Понекад се термини "машина за ласерско гравирање" и "ласер" мешају јер су слични онима који немају искуства [21].

За покретање процеса се користи рачунар, који је повезан повезан управљачким делом преко специјалног програма са машином за гравирање. Када програм учита жељени модел он генерише облак тачкица. До момента гравирања, корисник може да манипулише облаком тачкица по питању густине и позиције, чиме се мења облик модела. Веома прецизне и чисте гравуре могу се постићи у релативно кратком времену, који зависи од финалног броја тачкица у облаку модела и брзине машине.



Слика 2.5: Пример ласерског гравирања [24].

Код гравирања транспарентних материјала као што је стакло помоћу машина за гравирање са ласером, ласерски зраци се фокусирају у унутрашњост материјала. Успешни резултати се постижу строго фокусираним зраком, јер у супротном финални производ има мутну структуру. Температура у фокусу краткотрајно достиже и до

20.000°C. Охлађени материјал добија непрозиран слој који одбија светлосне зраке и даје жељени облик. Тродимензионални облици се добијају померањем ласерског фокуса по све три осе унутар транспарентног материјала. На слици 2.6 је приказано гравирање жига на оружју.



Слика 2.6: Гравирање жига на оружју [сопствена слика].

Ласерско гравирање приказано на слици 2.6 је процес који помоћу ласерских зрака светлости утискује узорак или слику у предмете попут стакла, пластике, дрвета, метала и осталих тврдых материјала. Слика или узорак предмета који се гравира се налази у рачунару како би контролисале ласерске зраке и што прецизније означиле жељени објекат. Интензитет ласерских зрака зависи од врсте материјала на којој се врши гравирање. Гравирање врши помоћу светлости и не укључује употребу никаквих додатних алата. Ово је врло сигурној метода означавања објеката, која могућава чак и гравирање на врло крхком стаклу без оштећења [21].

2.2.1. Начин рада ласера који се користи за гравирање

Ласерска машина за гравирање се састоји из три дела:

1. Извора ласерског снопа, најчешће у облику штапа, цеви или оловке. Ласерски сноп се формира у извору и након изласка се усмерава ка обрађиваној површини.
2. Управљачког система који омогућује усмеравање ласерског снопа, интензитет, брзину кретања и фокусирање ласерског снопа ка површини.
3. Радног стола са системом за вођење на који се поставља предмет са обрађиваном површином.

Ласерски сноп се усмерава према ротирајућем или вибрирајућем огледалу. Огледало се креће тако да фокус ласерског снопа врши исписивање (гравирање) бројева и слова на

површини, чиме се врши најчешће обележавање производа. Најчешће предмет на коме се врши гравирање мирује. Постоје материјали попут пластичних маса и стакла који се могу гравирати у покрету. Овакав вид обележавања се може често пронаћи на амбалажама. Назив ових машина за обележавање (гравирање) је најчешће "MARKING LASER STATION".

Тачка где ласерски зрак додирује површину мора да буде на жаришној равнини ласерског оптичког састава. Ова тачка је мала, обично око 0,02mm или више. Она значајно утиче на структуру када ласерски зрак прелази преко површине. Енергија испоручена од стране ласера мења површину материјала испод тачке. Тако се загрева површина, након чега материјал испарава или може да се ломи резањем о ољушти са површине. На тај начин се материјал уклања са површине и настаје гравура. Вентилација помоћу вакум пумпе уклања дим и штетне гасове који настају током процеса [6].

Три главна начина гравирања су:

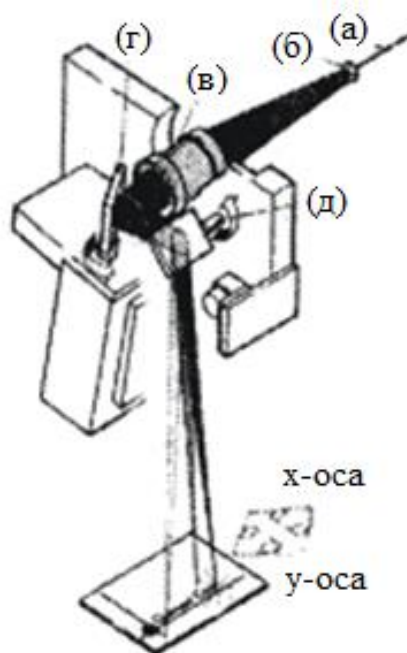
1. Први и најчешћи начин је гравирање помоћу непокретног XY стола, када предмет мирује, а ласерски систем са огледалом и сочивима се креће у X и Y правцима, усмеравајући ласерски сноп на жељену површину.
2. Дути начин рада је путем шаблона, односно цилиндричног или равног додатка који се поставља око извода ласерског снопа, у коме се налази шаблон. Укључивањем и искључивањем извора ласерског снопа, долази до пулсирања и формирања жељене слике, односно гравуре или ознаке на површини предмета.
3. Трећи начин подразумева да је предмет непокретан и постављен тако да се ласерски сноп усмерава помоћу огледала његову површину.

Ласерски сноп ефикасно мења структуру материјала. Ласерски сноп се фокусира и усмерава, тако да се на већини нерелефних материјала као што су дрво, пластика и грубе површине, енергија претвара у топлотну, чиме се и опрема загрева. Применом пулсирајућег ласерског снопа се смањује претерано загревање. Брзина којом се ласерски зраци крећу преко материјала мора бити такође контролисана. Променом интензитета и ширине жице тачке (односно површине) омогућава се већа флексибилност при дизајну и обради. Управљачки систем омогућује управљање сваким импулсом ласерског снопа, тако да се са великом тачношћу може доводити енергија на површину и вршити потребна обрада.

Гравирање ласером или ласерска контурна обрада се користи за различите намене:

1. Обележавање (маркирање) на предметима при чему се врши наношење серије бројева или других ознака за идентификацију укључујући и израду логаритамских скала.
2. Израда разних врста гравура

При коришћењу ласера за маркирање, најчешће се користи YAG-ласер са акустичним оптичким модулатором, чији је режим рада пулсирајући. За ову намену довољна је просечна снага ласера до 50 W. Поред YAG-а, користе се и CO₂ ласери за веома квалитетно гравирање. На слици 2.7 је приказано гравирање помоћу огледала које се помера и ствара гравуру [6].



Слика 2.7: Шема рада система ласера [6].

- а) ласерски сноп, б) удубљено сочиво, в) испупчено сочиво, г) огледало за x-осу,
д) огледало за y-осу

Померање ласерског снопа по програмираној контури врши се уз помоћ два огледала, слика 2.8а). Једно огледало се креће око вертикалне а друго око хоризонталне осе. При томе се фокус (жижа) ласерског снопа може, слагањем кретања, кретати по одређеној линији у једној равни. Методе гравирања вођењем ласерског зрака по x и y осе се користи у случајевима када је потребан висок квалитет гравирања и велика флексибилност на предметима већих димензија.

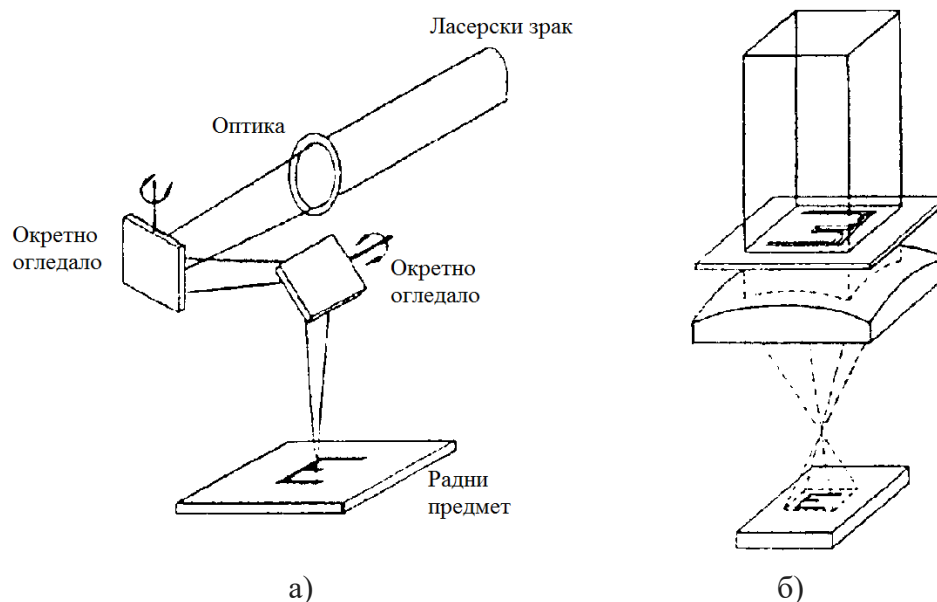
Критеријуми за оцену квалитета гравирања су:

- 1) Контраст
- 2) Оштрина контуре
- 3) Храпавост површине
- 4) Отпорност на механике и хемијске утицаје и др.

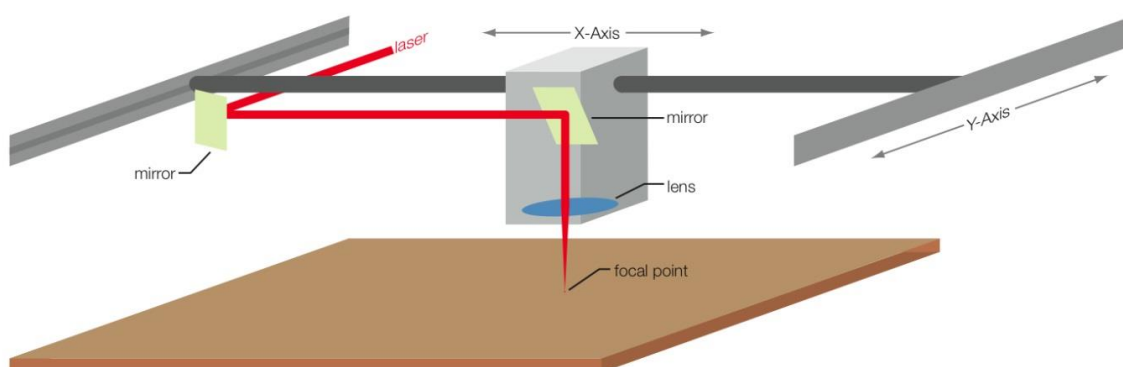
Велику примену у масовној производњи има метод гравирања маском, који је погодан за означавање радних предмета. За гравирање маском користе се импулсни ласери. Ласерски зрак осветљава маску на којој се налазе све информације које треба да се пренесу на радни предмет. Пресликавање се врши уз помоћ сочива, једним импулсом ласера на површину радног предмета, слика 2.8б).

Сви процеси ласерског гравирања су праћени термичким дејством ласерских зрака. Најважнији параметри код методе ласерског гравирања маском су снага и енергија ласерског импулса. Учесталост импулса није битна, обзиром да се гравирање врши једним импулсом.

Код методе гравирања вођењем ласерског зрака учесталост ласерског импулса је веома битна, јер се гравирање врши низом појединачних импулса са одређеним временским размаком (слика 2.9) [6].



Слика 2.8: Шематски приказ ласерског гравирања маском [6].



Слика 2.9: Шематски приказ ласера који врши гравирање померањем главе ласера у ху равни [23].

Предности гравирања ласером су следеће:

1. Висока брзина обраде;
2. Немања механичког контакта са предметом обраде те је избегнуто механичко оштећење и прљање;
3. Могућност гравирања на неприступачним површинама (тврдим, сјајним и неравним површинама);
4. Могућност повезивања са удаљеним рачунарским системом, итд.

Највећи недостатак гравирања ласером је скупа опрема. Међутим, уз помоћ ове опреме се постиже висока продуктивност, флексибилност и квалитет, па је зато и исплатива за употребу.

2.2.2. Материјали на којима се врши ласерско гравирање

Најчешћи материјали на којима се гравирање може вршити помоћу машина са ласерским снопом су:

1) Метали

За гравирање метала користе се ласери са кратким таласним дужинама. На тај начин је решен већи део проблема рефлексије. Међутим постоје метали код којих се означавање (гравирање) ласером може само вршити маркирањем.

2) Обојени метали

Обојени метали су одлични за гравирање јер се код њих гравирањем скида само површинска боја, односно формиран оксид тог метала. Уколико су метали обојени константним слојем боје, онда је резултат још бољи. Најчешће се примењује за идентификационе плочице, кућне бројеве, разне натписе и слично.

3) Пластичне масе

Ласер се користи за гравирање пластике, ливене смоле, двослојне граверске пластике, натписне плоче и слично. Како је ласер извор топлоте, различите врсте пластичних маса реагују различито. Код неких врста пластичних маса је могуће формирање дубоких гравура јер долази до топљења, тако да пластичне масе треба другачије третирати и обрађивати у односу на метале.

4) Дрво

Директно „спаљивање“ слике на дрвету је један од првих начина коришћења гравирања ласерским снопом. Машина за гравирање ласером може радити снагом мањом од 10W, при чему снага зависи од материјала који се гравира (орак, буква, храст и др.) и потребне дубине и ширине гравуре.

5) Камен и стакло

Ласерски снап са импулсним дејством својим наизменичним загревањем и хлађењем ("ударањем") камена ствара ефекат чекића који разбија ситне делове камена. Тако се у камену могу изгравирати слова, слика па чак и фотографија. Тврдоћа стакла се мери поређењем са тврдоћом челика. Код стакла се добија ефекат топљења при великој

температури коју ласер производи. На стаклу је могуће исто као и на мермеру изгравирати текст или фотографију како на равним површинама тако и на ваљкастим предметима као што су чаше, вазе и слично. Захваљујући новим технологијама и машинама могу се угравирати и дводимензионални и тродимензионални облици [21].

3. Машина за гравирање ласером "AMAN AM-FL20"

Обзиром на широку примену ласера, као и материјала на које се наносе различите врсте ознака, у овом делу је описана ласерска машина за гравирање, принцип рада и његове особине.

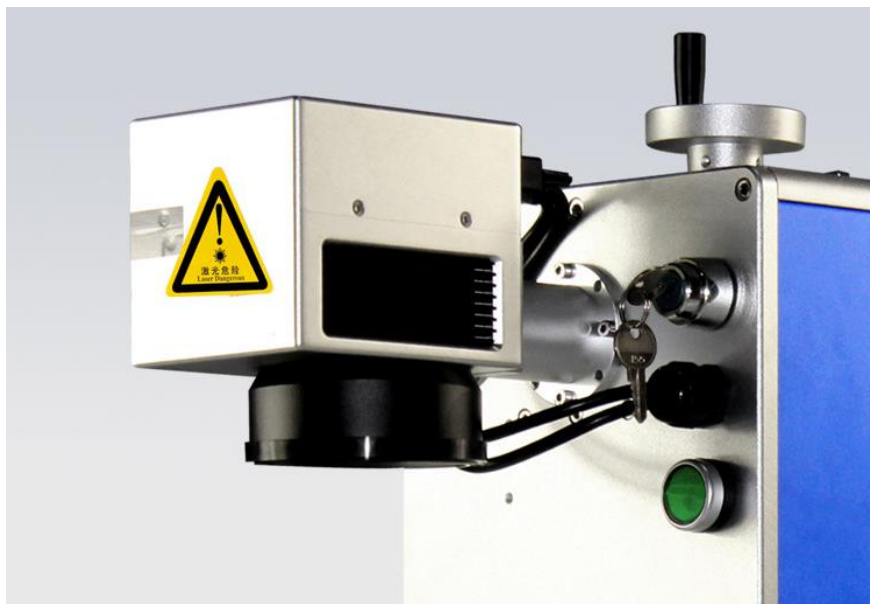
Машина за ласерско гравирање се може поделити на три главна дела: ласер, контролер и површина. Ласер је као оловка-емитује ласерске зраке који омогућавају контролеру гравирање узорака. Контролер (рачунар) контролише смер, интензитет, брзину кретања и ширења ласерских зрака усмерених на површину. Површина је усмерена тамо где ласер може деловати.

3.1. Опис машине "AMAN AM-FL20"

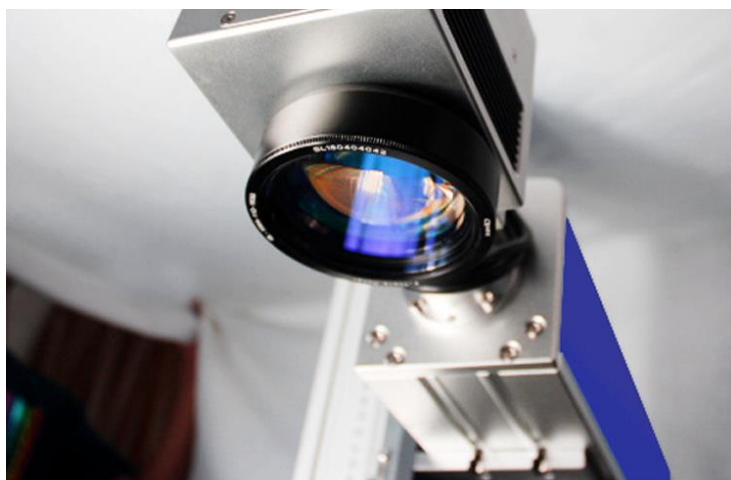
Машина за ласерско гравирање „ AMAN AM-FL20 “ (слика 3.1) се користи искључиво за гравирање. Машина може гравирати плочасте и цилиндричне материјале. Гравура добијена овим ласером је доброг квалитета, и оставља неизбрисив траг на материјалу уколико су правилно изабрани параметри за наношење ознака. Систем обележавања ласером се састоји од главе ласера, која је непокретна, огледала, сочива, које је покретно и које својим кретањем преноси ласер од главе на површину која се обрађује и ствара жељену гравуру, и контроле софтвера. Ова машина за гравирање омогућава гравирање текста, графика, логотипа, баркодова [24]. Све слободне површине ове машине су галвански заштићене што обезбеђује дуг и квалитетан рад машине. На сликама 3.2 и 3.3 су приказане главе са системом огледала и излазно сочиво, а на слици 3.4 радни сто машине.



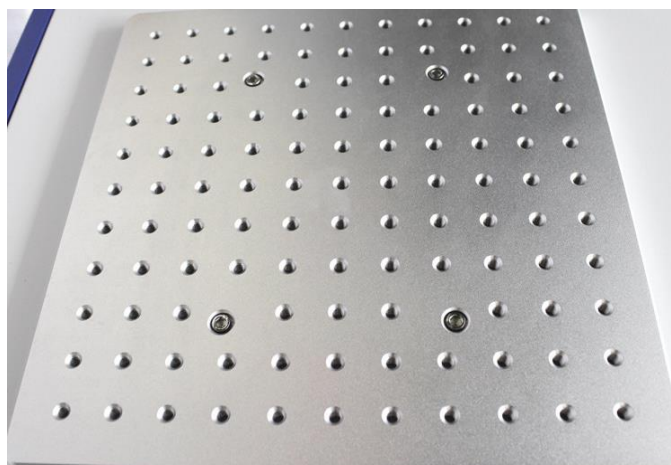
Слика 3.1: Машина за ласерско гравирање "AMAN AM-FL20" [8].



Слика 3.2. Глава са системом огледала



Слика 3.3: Излазно сочиво машине



Слика 3.4: Радни сто машине на који се поставља предмет обраде

Основни делови и карактеристике машина за гравирање ласером "AMAN AM-FL20" су:

1. Ласер

- | | |
|---------------------------------|-------------------|
| • Снага | 20 W |
| • Таласна дужина | 1064 nm |
| • Пулсна фреквенција | 20-100 KHz |
| • Систем за хлађење | Ваздушно хлађење |
| • Радна површина | 200 x 200 mm |
| • Минимална дебљина линије | 0,01 mm |
| • Минимална димензија карактера | 0,15 mm x 0,15 mm |
| • Максимална брзина обележавања | 8000 mm/sec |
| • Максимална дубина гравирања | 0,2 mm |

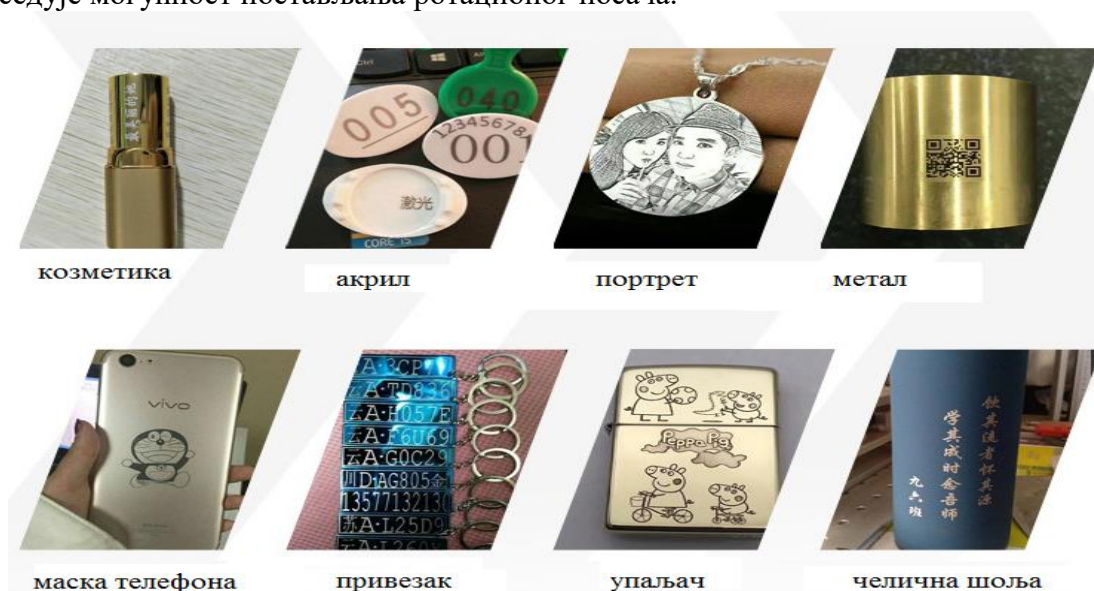
2. Снабдевање струјом и механички склоп

- Челична структура са системом електронике и хлађења
- Потребна енергија 230V 50-60 Hz

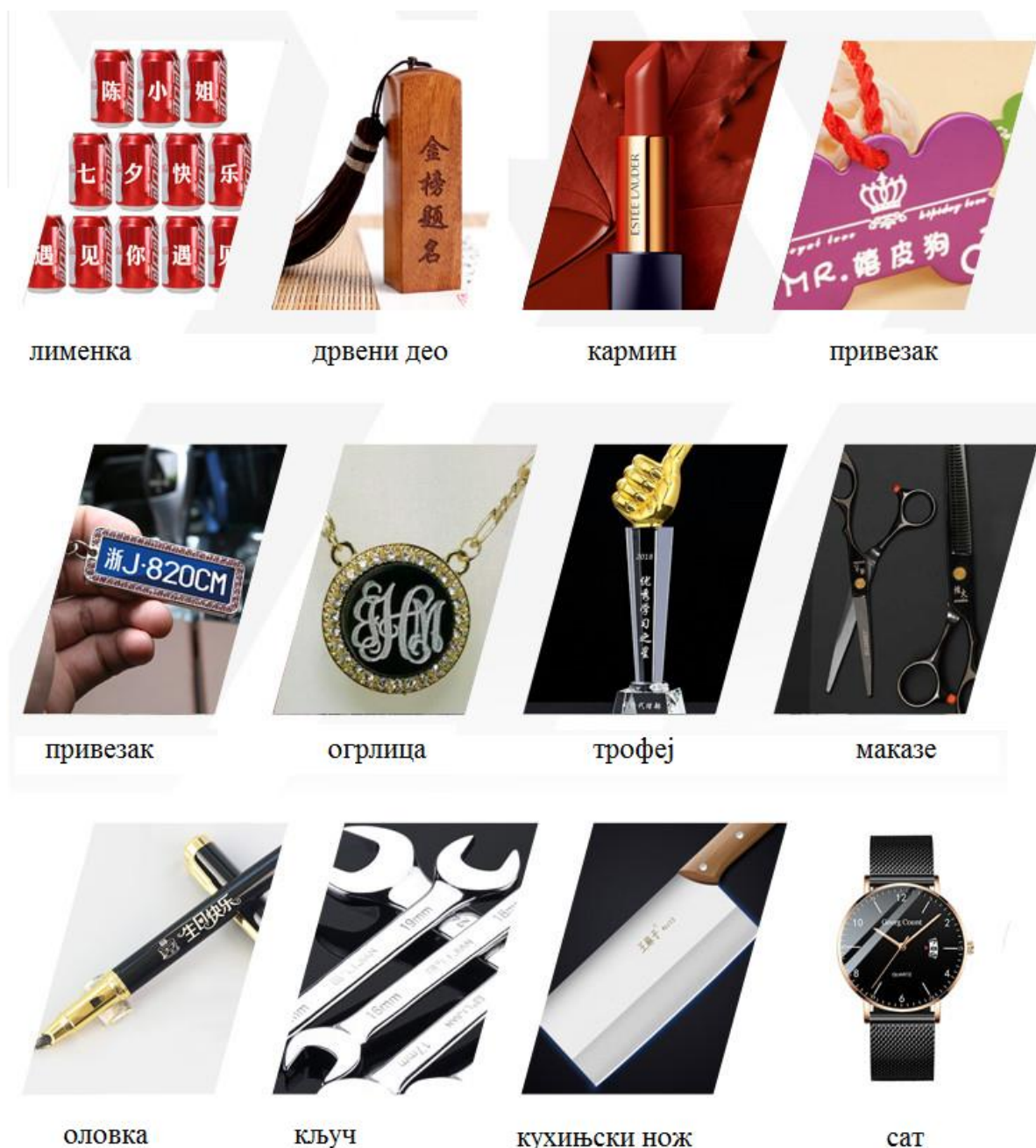
3. Карактеристике коришћеног рачунара за рад су:

- Microsoft Windows 7
- Процесор 2.1 GHz
- RAM меморија 2 GB
- Хард диск 500 GB
- CD rom јединица
- Floppy disc јединица
- Монитор
- Миш и тастатура.

На сликама 3.5 и 3.6 су приказани примери гравирања са овом машином. Машина поседује могућност постављања ротационог носача.



Слика 3.5: Примери гравирања са машином "AMAN AM-FL20" [30]



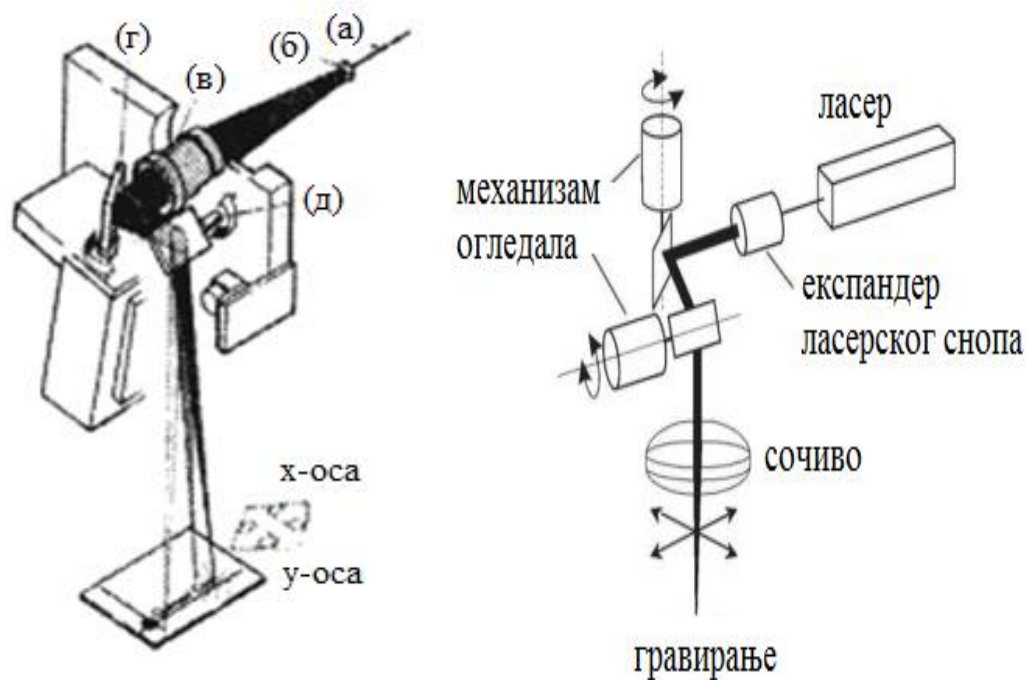
Слика 3.6: Примери гравирања са машином „AMAN AM-FL20“ [30]

3.2. Принцип рада машине "AMAN AM-FL20"

Код ове машине ласерски сноп је фокусиран у једну тачку на површини предмета, због чега и мала количина снаге може довести до обраде материјала. Управљачки систем ове машине обезбеђује велику прецизност при раду, због чега није потребна накнадна обрада гравиране површине. Принцип рада је приказан на слици 3.7.

Ласер се од његовог изворишта, преко огледала преноси на радну површину. Број огледала зависи од величине машине али и положаја ласера. Ласер се одбија од огледала и долази до сочива за гравирање. Сочиво врши померање ради фокусирања на

материјал који се обрађује и на тај начин се ствара унапред задата гравура. Ова врста ласера се разликује од осталих зато што су глава ласера и радни сто непокретни, а огледала и излазно сочиво су покретни.



Слика 3.7: Принцип рада система ласера [31]

- а) Ласерски снап, б) Удубљено сочиво, в) Испупчено сочиво, г) Огледало за х-осу,
д) Огледало за у-осу

4. Испитивање утицаја параметара гравирања ласером на топографију површине гравуре

Да бих се утврдили одговарајући параметри гравирања ласером за одређени материјал, потребно је извршити гравирање ласером на различитим врстама материјала користећи различите комбинације параметара машине и различит број пролаза. Одређивање одговарајућих параметара у раду је вршено профилометрисањем обрађене површине, односно на основу топографије гравираних површина.

За израду стрељачког оружја и оружја уопштено челик и алуминијум се највише користе, а месинг за израду муниције различитих калибара, тако да су изабрани ови материјали за испитивање.

Испитивање је вршено са различитим снагама ласерског снопа, брзинама кретања ласерског снопа по предмету и са различитим бројем пролаза. Циљ гравирања је била израда линије дужине 6 mm и дебљине 0.5 mm.

- Испитивани материјали: челик, алуминијум, месинг,
- Снага ласерског снопа: 55%, 80% и 100% од максималне снаге (код коришћене машине је то 20W),
- Брзина кретања ласерског снопа по предмету: 100, 500 и 1000 mm/s,
- Број пролаза: 1, 2 и 3.

4.1. Гравирање на челику

Челик је метастабилно кристализована Fe-C легура са садржајем угљеника мањим од 2,11%. Додавањем волфрама, хрома, молибдена, ванадијума, мангана, никла, кобалта и других метала, појединачно или у комбинацијама, добијају се легирани челици за специјалне сврхе, изузетно механички, хемијски или топлотно постојани. Велики распон и флексибилност особина (уз помоћ легирања, термичке обраде и механичке обраде) као и релативно ниска цена производње чине га и даље најраспрострањеније коришћеним металним материјалом.

Челик, може бити врло мек и као такав изузетно погодан за дубоко извлачење. Насупрот томе челик може бити и врло тврд и крт. Пред модерну производњу челика постављају се врло високи захтеви, који најчешће укључују оптималну комбинацију особина, као што су затезна чврстоћа са једне и деформабилитет са друге стране. Поред тога мора се стално водити рачуна о исплативости производње што је последица непрестане промене цена легирајућих елемената.

Челик као један од најзаступљенијих материјала у свим гранама индустрије се користи за различите врсте производа које имају различиту крајњу намену. У наменској индустрији употреба челика и његових легура је високо заступљена. Примена производа од челика је од најситнијих делова стрељачког оружја па до сложених система наоружања и војне опреме. Код наменских производа на челичним деловима се

налазе ознаке произвођача које углавном описују калибар оружја, број, назив произвођача, модел, итд.

У табели 4.1 су дати услови испитивања гравирања на површинама од челика. Профилометрисање, односно мерење топографије површине је вршено помоћу мерног система *Talysurf-6* у Лабораторији за обраду метала резањем и трибологију. На сликама 4.1 до 4.9 су приказани профили топографије гравираних површина и фотографија исте.

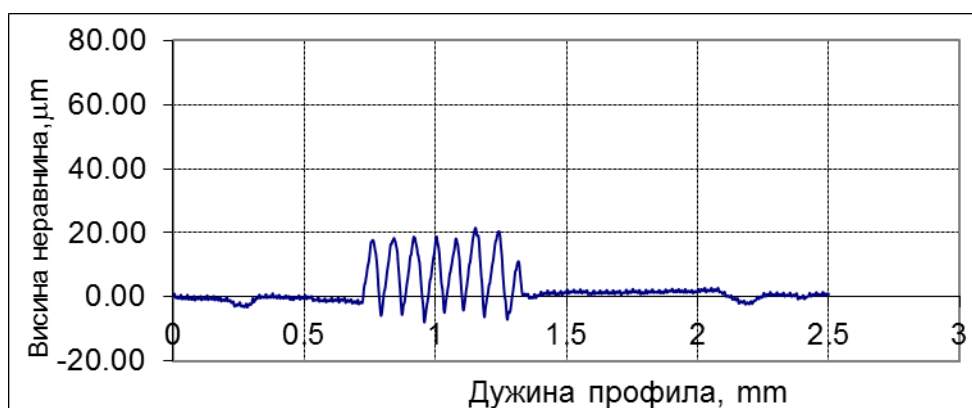
Табела 4.1. Услови испитивања гравирања на челику

Редни број узорка	Број пролаза	P, % од максималне снаге*	V, mm/s
1	1	55	500
2	2	55	500
3	3	55	500
4	1	80	100
5	2	80	100
6	3	80	100
7	1	100	100
8	2	100	100
9	3	100	100

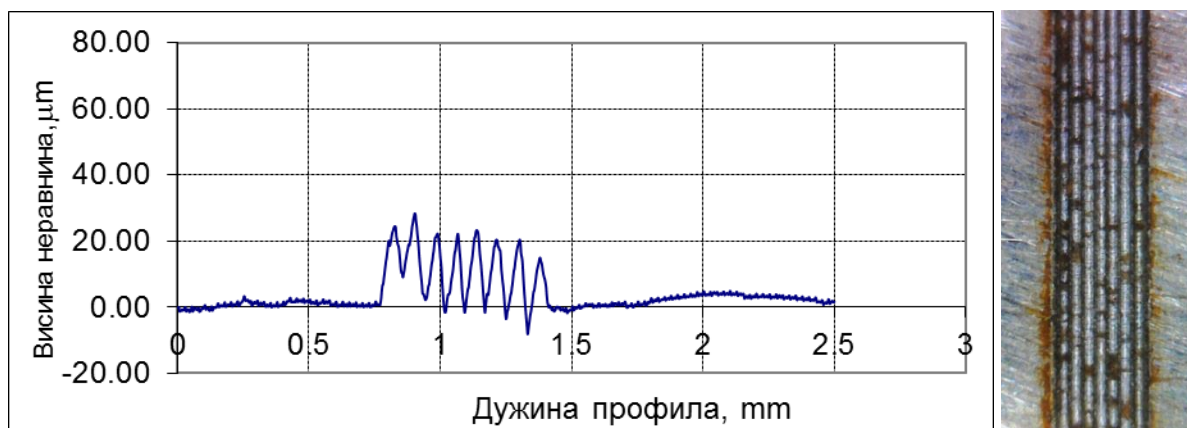
* максимална снага извора ласерског снопа је 20W.



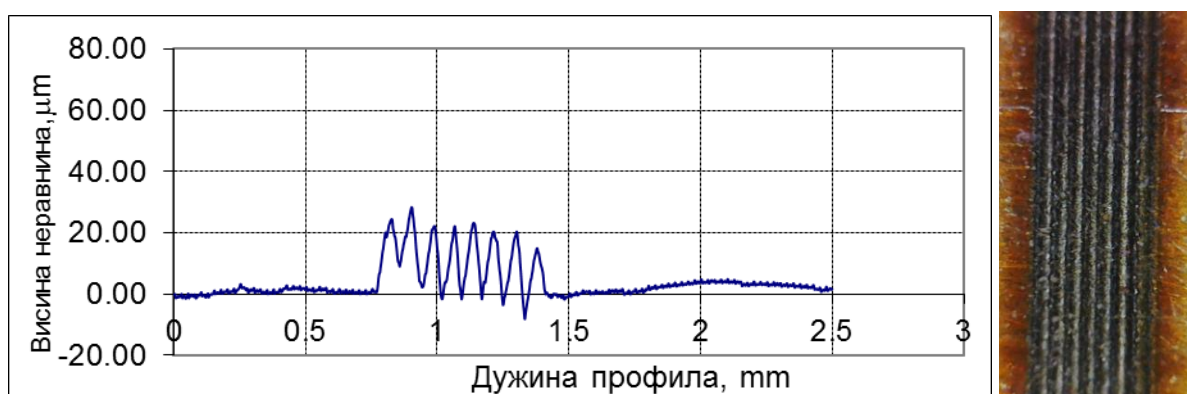
Слика 4.1: Профил топографије површине узорка 1 од челика



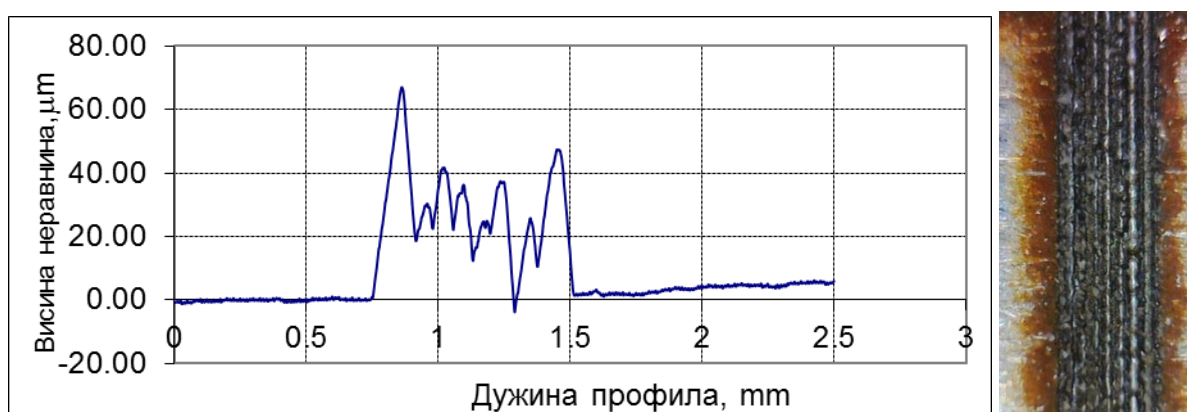
Слика 4.2: Профил топографије површине узорка 2



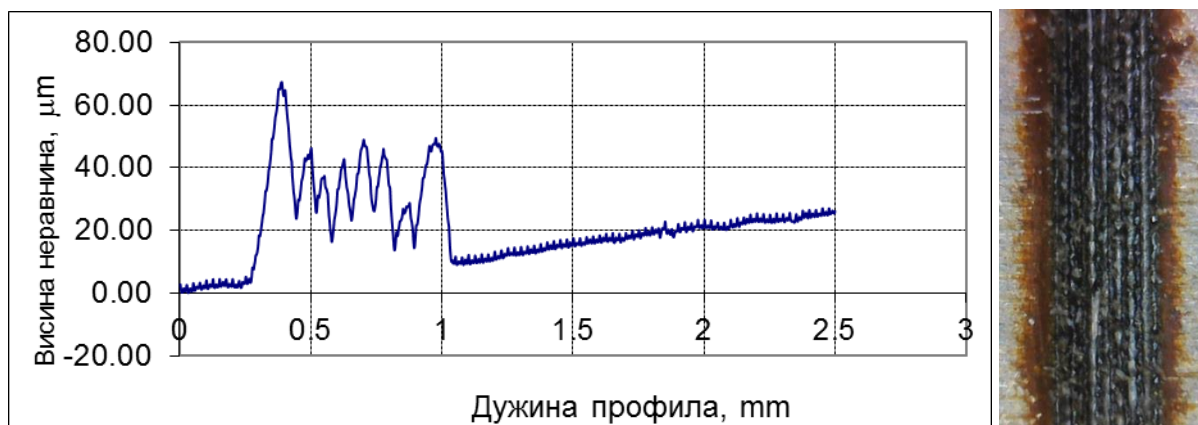
Слика 4.3: Профил топографије површине узорка 3 од челика



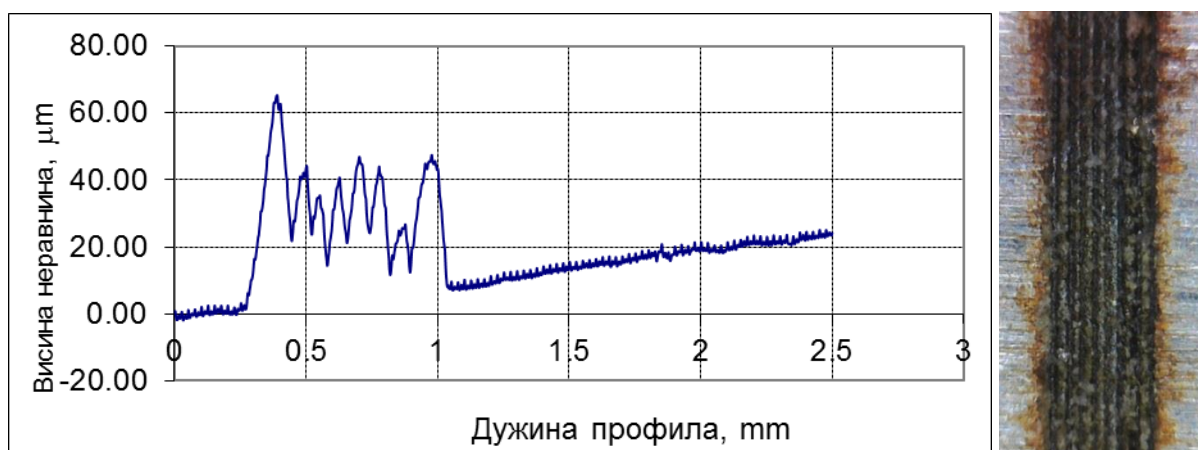
Слика 4.4: Профил топографије површине узорка 4 од челика



Слика 4.5: Профил топографије површине узорка 5 од челика



Слика 4.6: Профил топографије површине узорка 6 од челика



Слика 4.7: Профил топографије површине узорка 7 од челика



Слика 4.8: Профил топографије површине узорка 8 од челика



Слика 4.9: Профил топографије површине узорка 9 од челика

У табели 4.2 су приказани резултати испитивања. Након профилометрисања и добијених профила топографија површина извршено је мерење висине, односно дубине профила. На основу слика 4.1 до 4.9 може се констатовати да није дошло до одношења материјала већ је дошло до формирања храпаве површине са израженим врховима неравнина. Због тога је вршено мерење средње максималне висине профила површине и дубине профила.

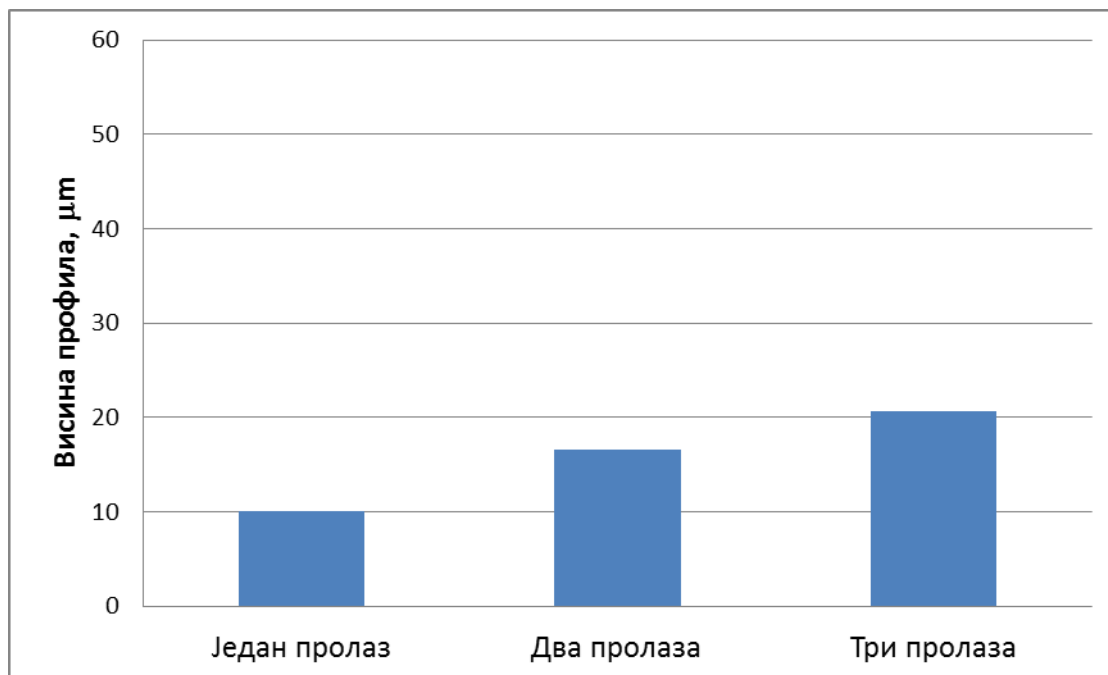
Анализом површине гравираних линија под микроскопом и профила топографије добијене профилометрисањем може се констатовати да је добијена површина ширине приближно 0.7 mm са 8 изражених трагова проласка ласерског снопа, односно 8 изражених врхова неравнина.

Табела 4.2. Резултати испитивања гравирања челика

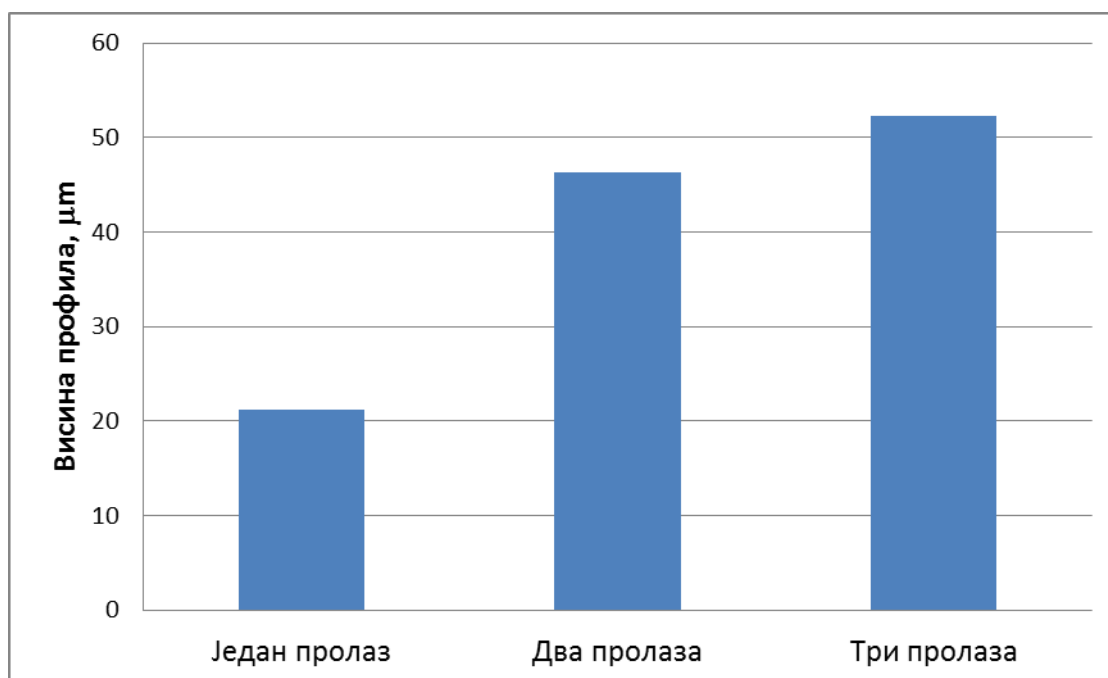
Редни број узорка	Број пролаза	P, % од максималне снаге*	V, mm/s	f Hz	Макс. висина μm	Дубина μm
1	1	55	500	20	10,1	2,9
2	2	55	500	20	18,6	4,8
3	3	55	500	20	20,6	1,7
4	1	80	100	20	21,2	1,2
5	2	80	100	20	46,3	1,1
6	3	80	100	20	52,3	0
7	1	100	100	20	41,2	0
8	2	100	100	20	13,6	2,7
9	3	100	100	20	49,1	1,3

* максимална снага извора ласерског снопа је 20W.

На сликама 4.10, 4.11 и 4.12 су приказани дијаграми зависности средње максималне висине неравнина (на дијаграму означено као висина профила) од броја пролаза за различите остале услове обраде.



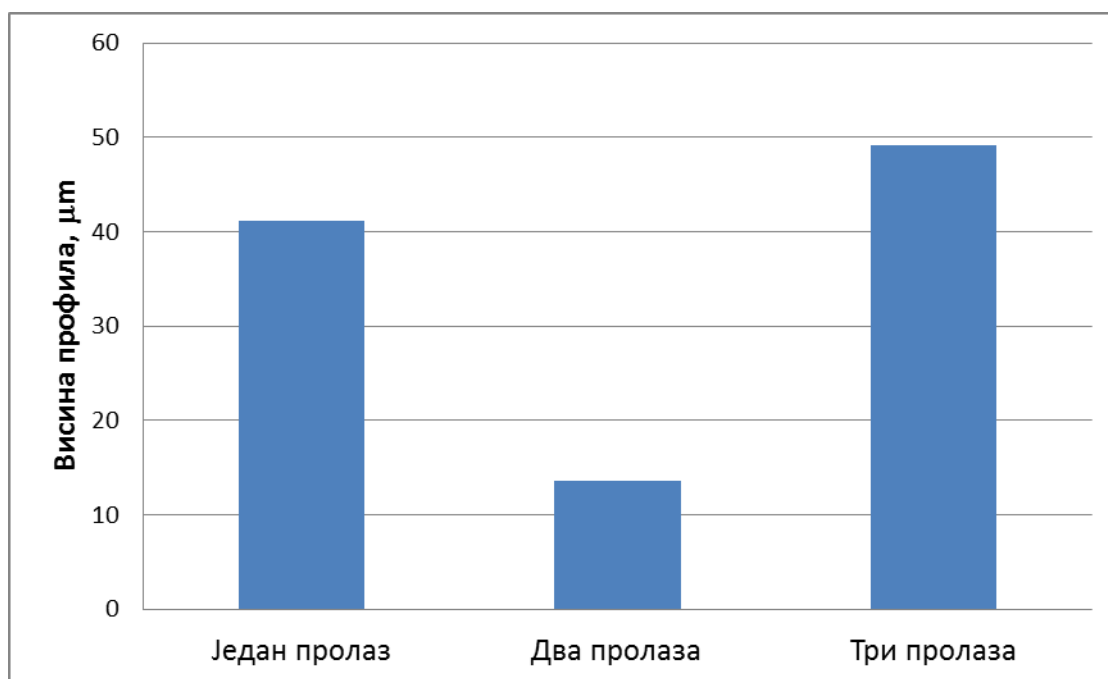
Слика 4.10. Утицај броја пролаза на средњу максималну висину профила (обрада челика, снага = 55 %, $V = 500 \text{ mm/s}$)



Слика 4.11. Утицај броја пролаза на средњу максималну висину профила (обрада челика, снага = 80 %, $V = 100 \text{ mm/s}$)

Анализом података из слика 4.1 до 4.9, табеле 4.2 и хистограма може се констатовати да параметри услова гравирања значајно утичу на топографију обрађене површине. У свим случајевима дошло је до формирања изражених врхова неравнина. То значи да је највероватније дошло до топљења материјала и његовог брзог хлађења, што је довело

до формирања врхова неравнина. Како је за мерење топографије површине коришћена контактна метода, мерна игла мерне машине *Talysurf-6* са својом геомеријом врха игле то није било могуће утврдити дубину неравнина профила површине, односно стварну дубину гравирања.



Слика 4.12. Утицај броја пролаза на средњу максималну висину профила (обрада челика, снага = 100 %, $V = 100 \text{ mm/s}$)

Код мале снаге ласерског снопа при једном пролазу је најмања висина неравнина профила. Са повећањем снаге долази до повећања висине неравнина. Код мале снаге ласерског снопа са повећањем броја пролаза долази такође до повећања висине неравнина. Ради утврђивања утицаја брзине кретања ласерског снопа потребна су даља истраживања.

4.2. Гравирање на месингу

Месинг је легура бакра и цинка. У зависности од њихове размере, својства месинга се мењају у веома великом распону. Месинг се користи у свим гранама индустрије. Примењује се у изради лимова, цеви и жица, док у наменској индустрији највећу примену има у производњи муниције.

Чаура која је саставни део метка, и у великом проценту се прави од месинга због мањег хабања лежишта метка у односу на челик и бакар. Месингане чауре се праве за калибре стрелачке муниције од "22 L.R." до артиљериске муниције калибра "155 mm".

Искоришћене чауре различитих калибара су повољне за рециклажу тако да се у одређеној мери високи проценат чаура рециклира. На месинганим чаурама се налазе ознаке произвођача које углавном описују калибар метка (пројектила), дужину чауре, назив произвођача и годину производње. Због потребе гравирања производа од месинга у индустрији производње средстава наоружања, у оквиру овог рада вршено је испитивање и анализа гравирања површине од месинга.

У табели 4.3 су дати услови испитивања гравирања на површинама од месинга. На сликама 4.13 до 4.24 су приказани профили топографије гравираних површина и фотографија исте.

Табела 4.3. Услови испитивања гравирања на месингу

Редни број узорка	Број пролаза	P, % од максималне снаге*	V, mm/s
1	1	80	1000
2	2	80	1000
3	3	80	1000
4	1	55	500
5	2	55	500
6	3	55	500
7	1	80	100
8	2	80	100
9	3	80	100
10	1	100	100
11	2	100	100
12	3	100	100

* максимална снага извора ласерског снопа је 20W.



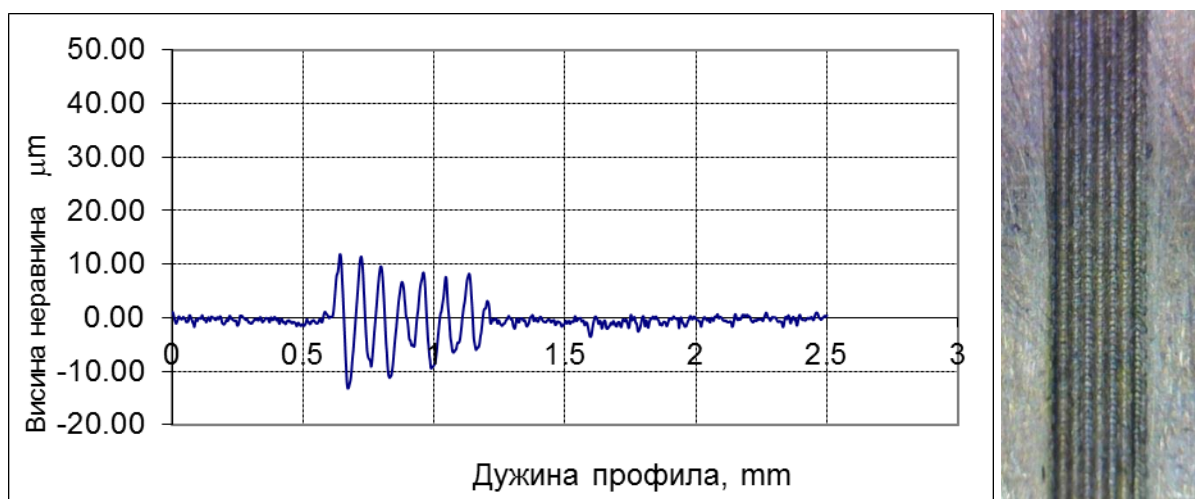
Слика 4.13: Профил топографије површине узорка 1 од месинга



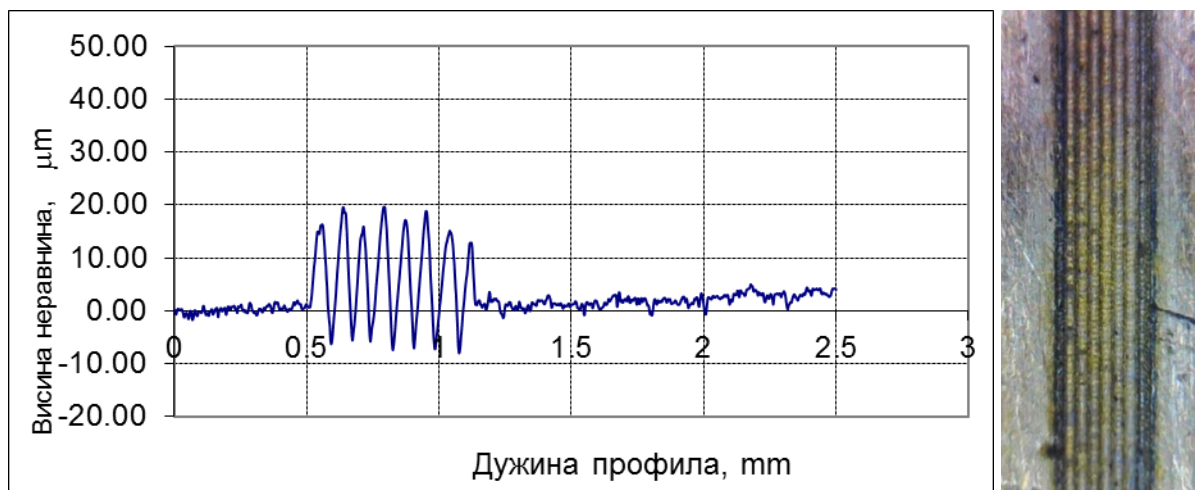
Слика 4.14: Профил топографије површине узорка 2 од месинга



Слика 4.15: Профил топографије површине узорка 3 од месинга



Слика 4.16: Профил топографије површине узорка 4 од месинга



Слика 4.17: Профил топографије површине узорка 5 од месинга



Слика 4.18: Профил топографије површине узорка 6 од месинга



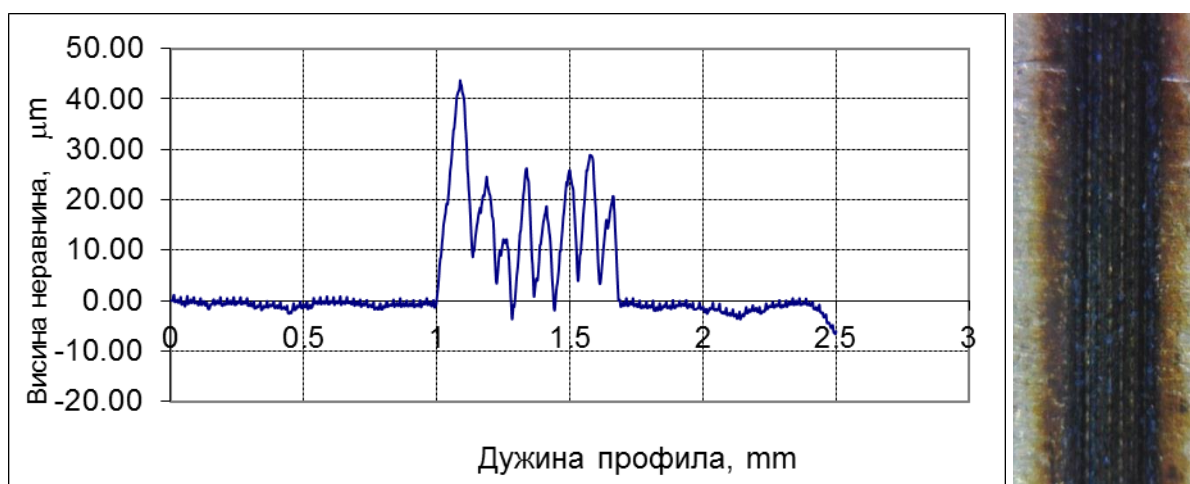
Слика 4.19: Профил топографије површине узорка 7 од месинга



Слика 4.20: Профил топографије површине узорка 8 од месинга



Слика 4.21: Профил топографије површине узорка 9 од месинга



Слика 4.22: Профил топографије површине узорка 10 од месинга



Слика 4.23: Профил топографије површине узорка 11 од месинга



Слика 4.24: Профил топографије површине узорка 12 од месинга

У табели 4.4 су приказани резултати испитивања гравирања на месингу. Након профилометрисања и добијених профила топографија површина извршено је мерење висине, односно дубине профила. На основу слика 4.13 до 4.24 може се констатовати да у највећем броју случајева није дошло до одношења материјала већ је дошло до формирања храпаве површине са израженим врховима неравнина. Због тога је вршено мерење средње максималне висине профила површине и дубине профила.

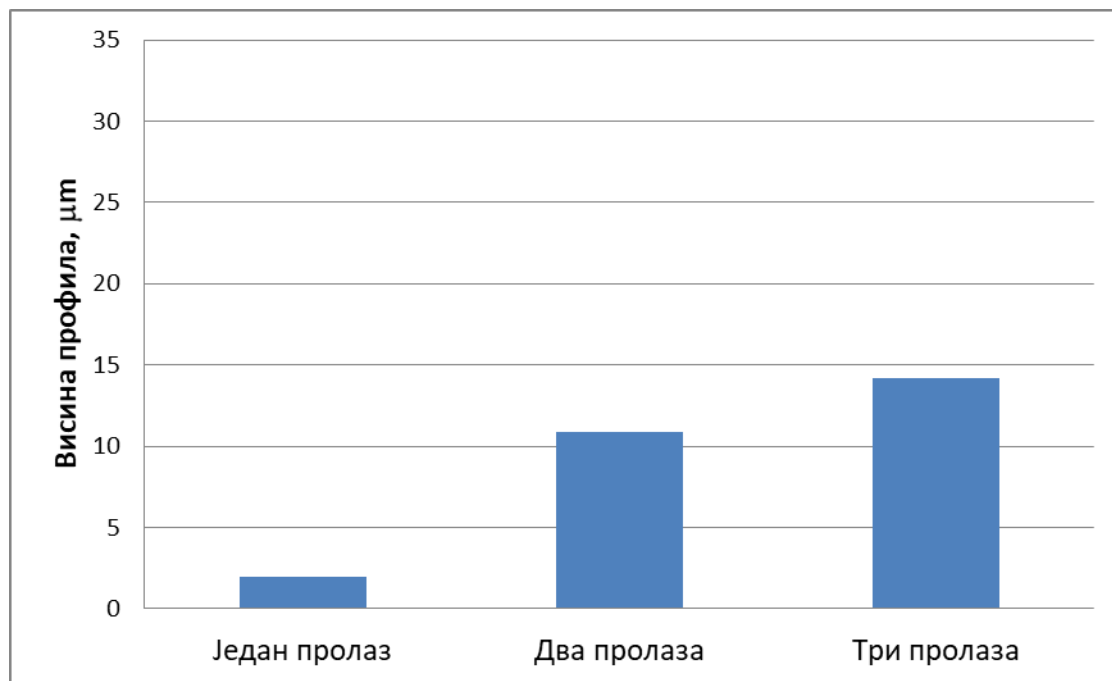
Табела 4.4. Резултати испитивања гравирања месинг

Редни број узорка	Број пролаза	P, % од максималне снаге*	V, mm/s	f Hz	Макс. висина μm	Дубина μm
1	1	80	1000	40	2,0	5,7
2	2	80	1000	40	10,9	9,1
3	3	80	1000	40	14,2	6,4
4	1	55	500	20	7,5	8,2
5	2	55	500	20	18,1	6,2
6	3	55	500	20	15,3	5,1
7	1	80	100	20	20,1	3,1
8	2	80	100	20	26,6	0
9	3	80	100	20	30,2	0
10	1	100	100	20	27,3	1,4
11	2	100	100	20	28,2	0,5
12	3	100	100	20	31,2	14,2

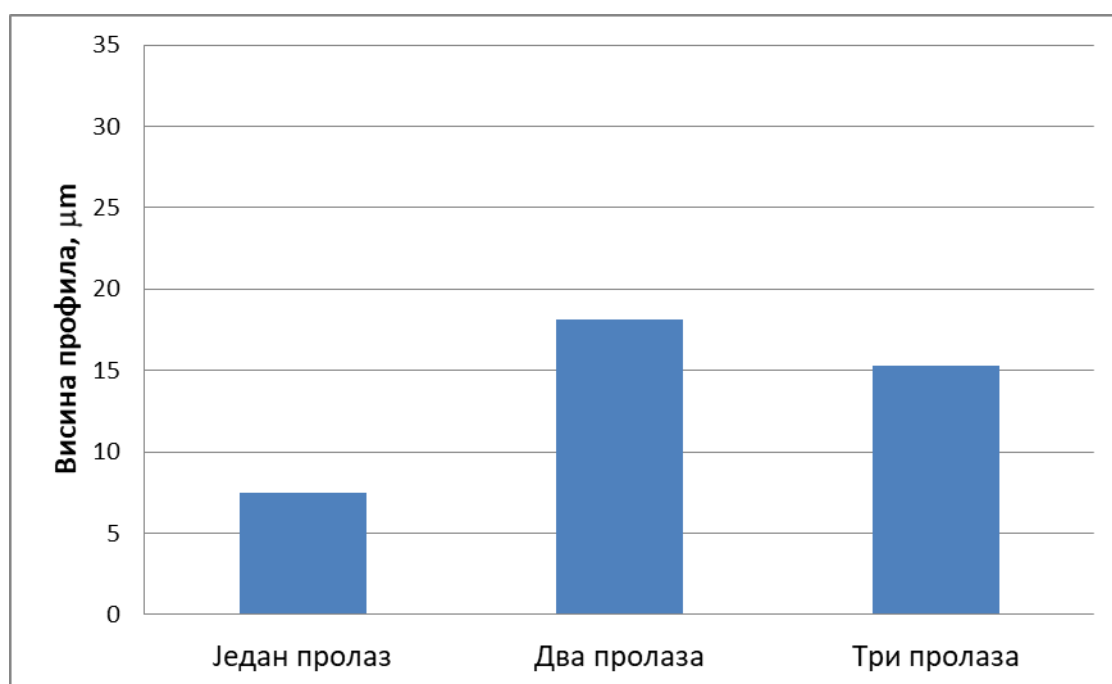
* максимална снага извора ласерског снопа је 20W.

Анализом површине гравиране линије под микроскопом и профила топографије добијене профилометрисањем може се констатовати да је добијена површина ширине приближно 0.7 мм са 8 изражених трагова проласка ласерског снопа, односно 8 изражених врхова неравнина.

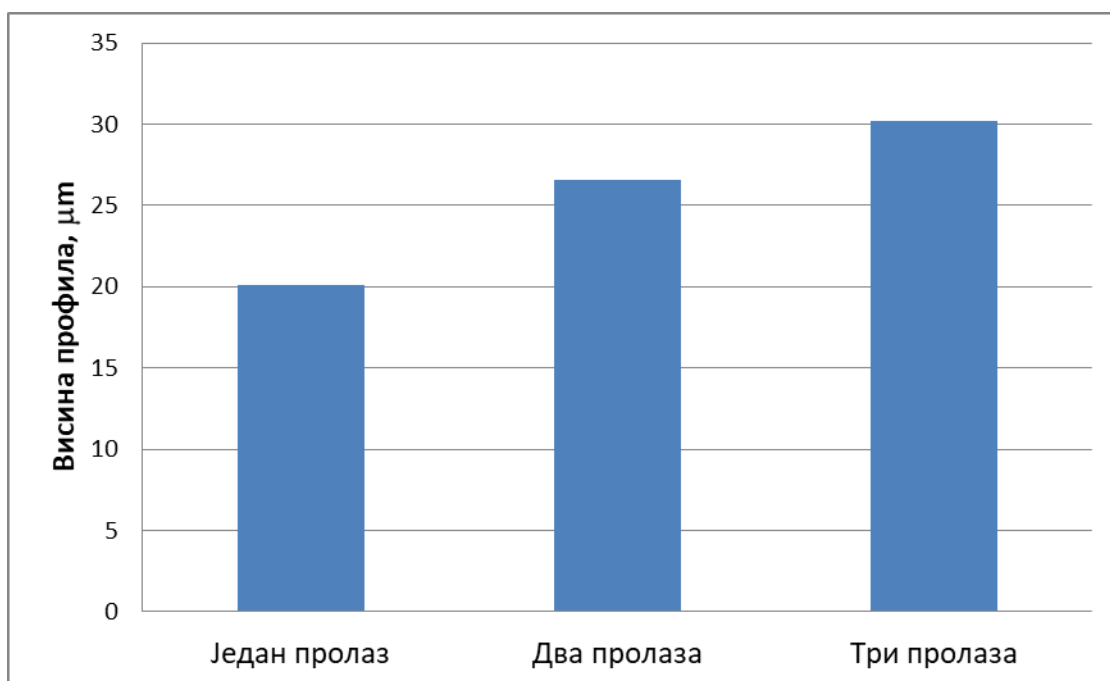
На сликама 4.25 до 4.28 су приказани дијаграми зависности средње максималне висине неравнина (на дијаграму означено као висина профила) од броја пролаза за различите остале услове обраде.



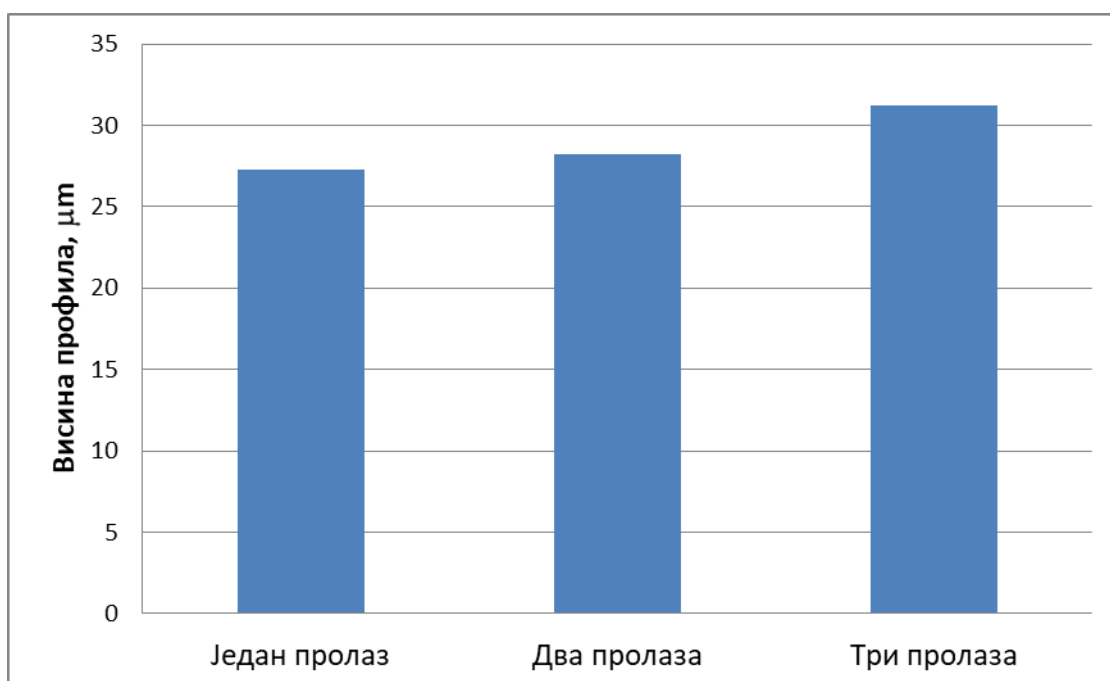
Слика 4.25. Утицај броја пролаза на средњу максималну висину профила (обрада месинга, снага = 80 %, $V = 1000 \text{ mm/s}$)



Слика 4.26. Утицај броја пролаза на средњу максималну висину профила (обрада месинга, снага = 55 %, $V = 500 \text{ mm/s}$)



Слика 4.27. Утицај броја пролаза на средњу максималну висину профила (обрада месинга, снага = 80 %, $V = 100 \text{ mm/s}$)



Слика 4.28. Утицај броја пролаза на средњу максималну висину профила (обрада месинга, снага = 100 %, $V = 100 \text{ mm/s}$)

Анализом података из слика 4.13 до 4.24, табеле 4.4 и хистограма може се констатовати да параметри услова гравирања на месингу значајно утичу на топографију обрађене површине. У свим случајевима дошло је до формирања изражених врхова неравнина. То значи да је при гравирању месинга, као и код челика, највероватније дошло до топлјења материјала и његовог брзог хлађења и формирања изражених врхова неравнина. Како је за мерење топографије површине коришћена контактна метода, мерна игла мерне машине *Talysurf-6* са својом геомеријом врха игле

није могла утврдити дубину неравнина профила површине, односно стварну дубину гравирања.

Код мале снаге ласерског снопа при једном пролазу је најмања висина неравнина профила. Са повећањем снаге долази до повећања висине неравнина. Код мале снаге ласерског снопа са повећањем броја пролаза долази такође до повећања висине неравнина. Испитивањем утицаја брзине кретања ласерског снопа по површини предмета може се закључити да код већих брзина је мања висина неравнина.

4.3. Гравирање на алуминијуму

Због своје мале густине, алуминијум се често употребљава код стрељачког наоружања и борбених сложених система у случајевима где је неопходно смањити тежину а не угрозити захтеване карактеристике. То се нарочито односи на наоружање и војну опрему. Осим примене у војној индустрији, значај алуминијума је порастао и у индустрији производње аутомобила. Легирањем са магнезијумом, силицијумом и другим металима, алуминијуму се може повећати чврстоћа, која се може поредити чак са челиком. Због тога, употреба алуминијумума ради смањења тежине се углавном примењује у условима где цена материјала не игра велику улогу.

Нарочито употреба алуминијума и његове легуре дуралуминијума (легура алуминијума са бакром и молибденом) је раширена у индустрији производње авиона (цивилних и војних). Код наменских производа на алуминијумским деловима се увек налазе ознаке произвођача које углавном описују калибар оружја, број, назив произвођача, модел, итд. Због свих ових карактеристика алуминијума и његове велике заступљености у индустрији наоружања вршена су испитивања гравирања површина од алуминијума.

У табели 4.5 су дати услови испитивања гравирања на површинама од алуминијума. Услови испитивања су исти као код гравирања челика. Профилометрисање, односно мерење топографије површине је вршено помоћу мерног система *Talysurf-6* у Лабораторији за обраду метала резањем и трибологију. На сликама 4.29 до 4.37 су приказани профили топографије гравираних површина од алуминијума и фотографија исте.

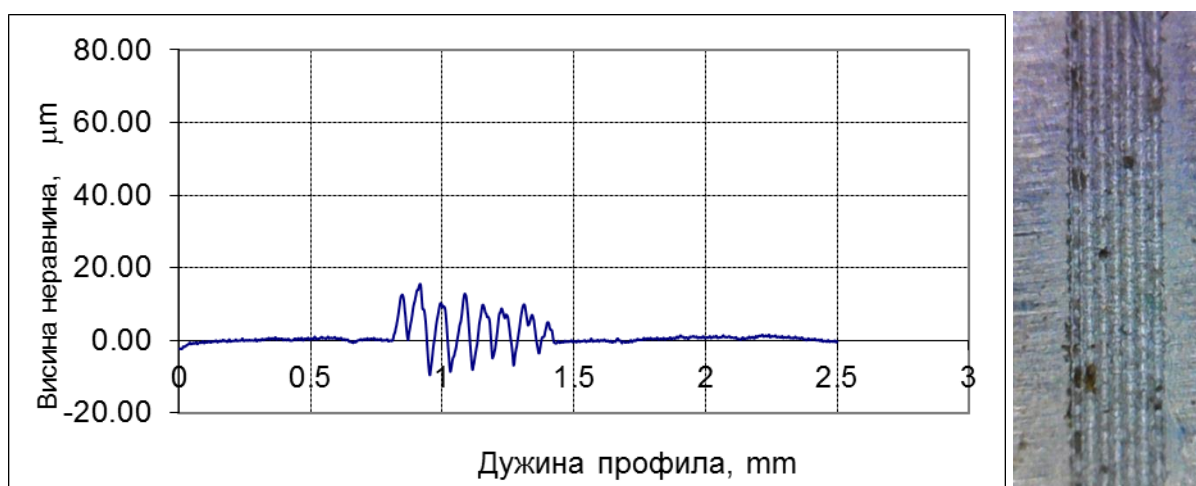
Табела 4.5. Услови испитивања гравирања на алуминијуму

Редни број узорка	Број пролаза	Р, % од максималне снаге*	V, mm/s
1	1	55	500
2	2	55	500
3	3	55	500
4	1	80	100
5	2	80	100
6	3	80	100
7	1	100	100
8	2	100	100
9	3	100	100

* максимална снага извора ласерског снопа је 20W.



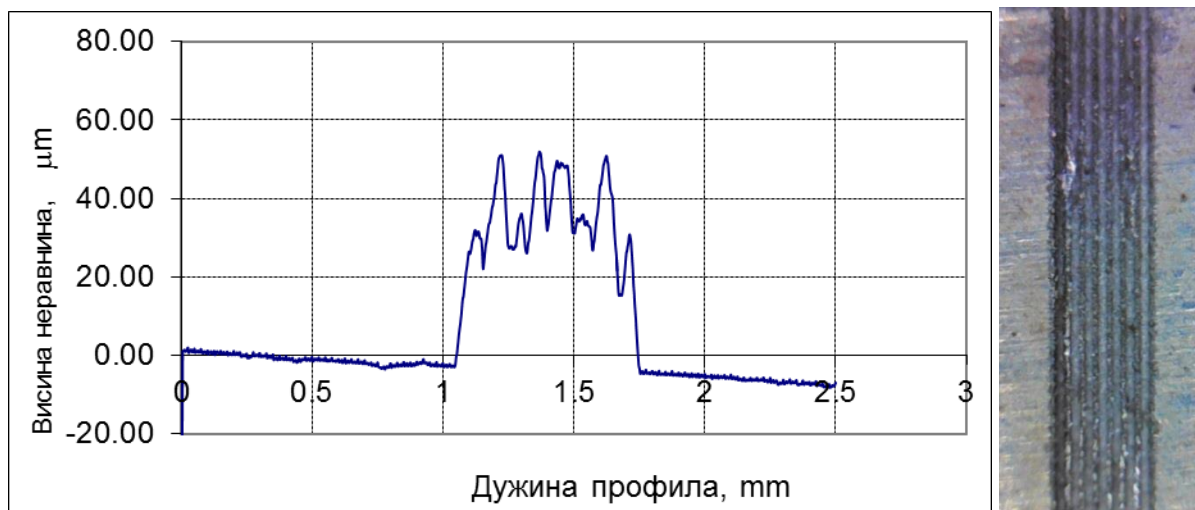
Слика 4.29: Профил топографије површине узорка 1 од алуминијума



Слика 4.30: Профил топографије површине узорка 2 од алуминијума



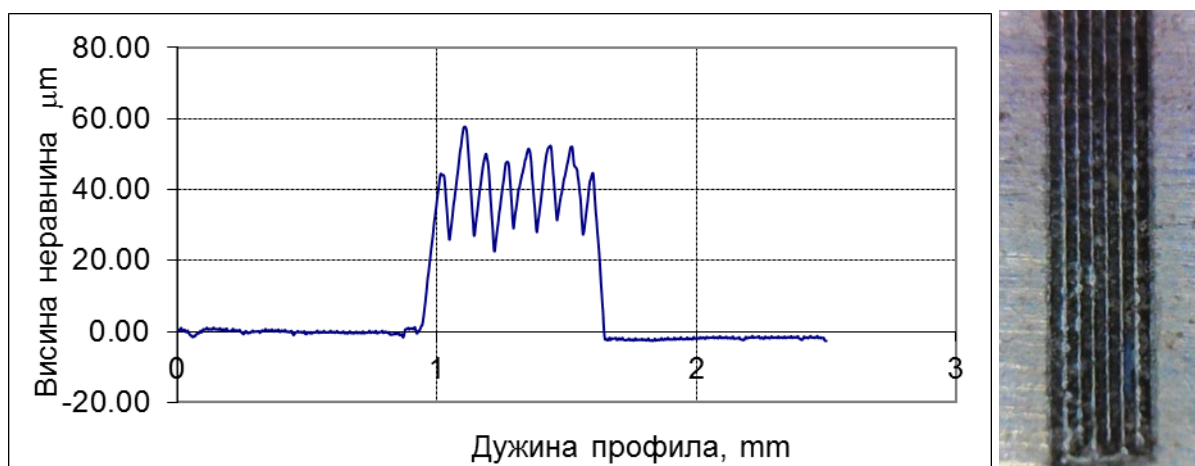
Слика 4.31: Профил топографије површине узорка 3 од алуминијума



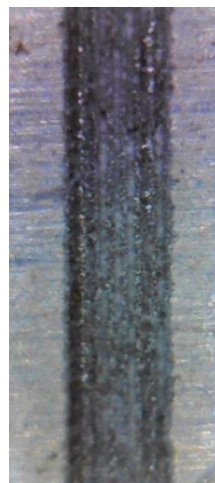
Слика 4.32: Профил топографије површине узорка 4 од алуминијума



Слика 4.33: Профил топографије површине узорка 5 од алуминијума



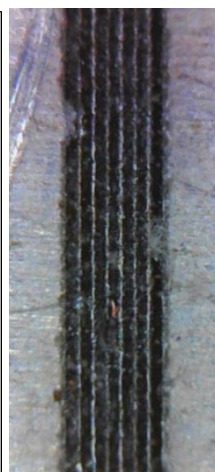
Слика 4.34: Профил топографије површине узорка 6 од алуминијума



Слика 4.35: Профил топографије површине узорка 7 од алуминијума



Слика 4.36: Профил топографије површине узорка 8 од алуминијума



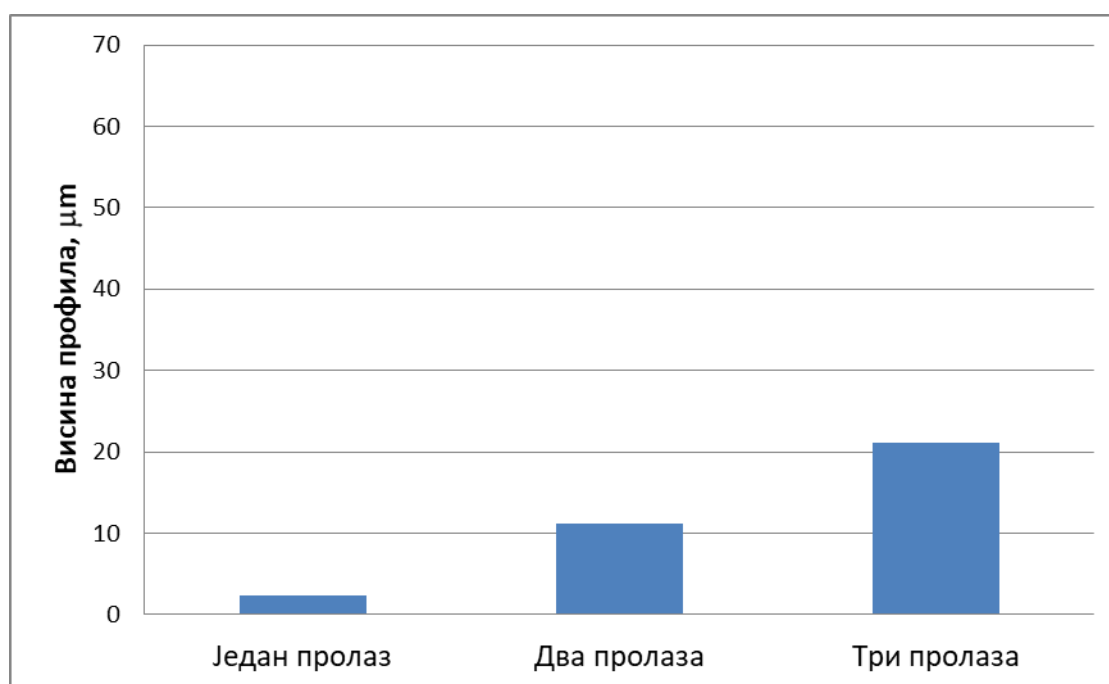
Слика 4.37: Профил топографије површине узорка 9 од алуминијума

У табели 4.6 су приказани резултати испитивања гравирања на алуминијуму. Након профилометрисања и добијених профила топографија површина извршено је мерење висине, односно дубине профила. На основу слика 4.38 до 4.40 може се констатовати да није дошло до одношења материјала (то је констатовано и код обрада других материјала), већ је дошло до формирања храпаве површине са израженим врховима неравнина. Због тога је вршено мерење средње максималне висине профила површине и дубине профила.

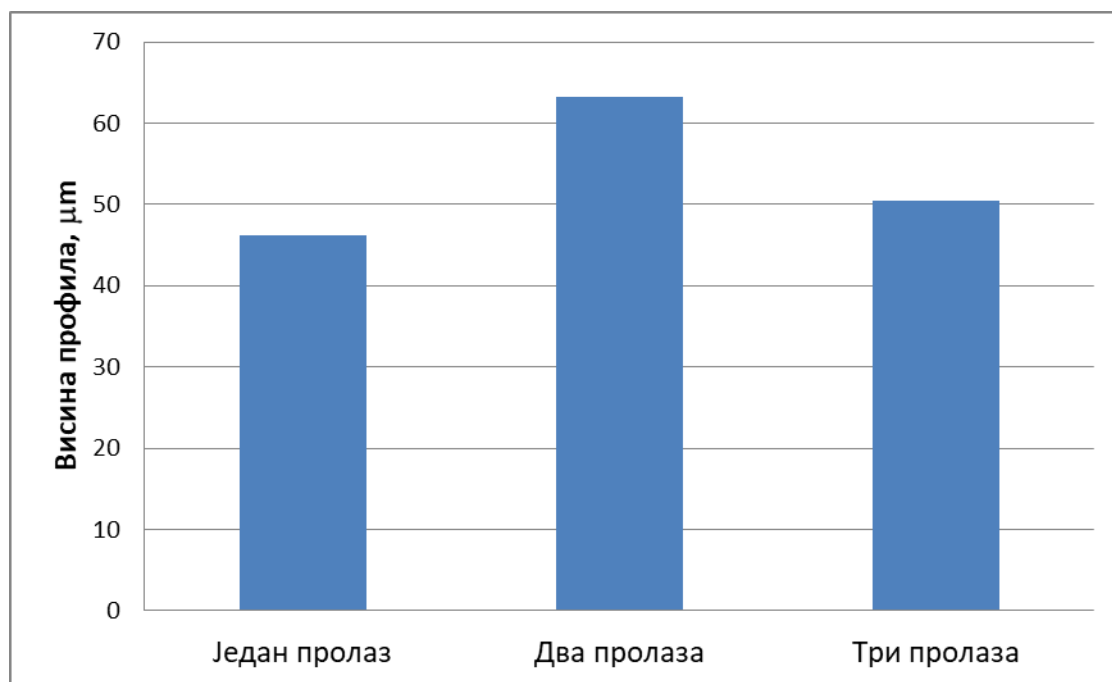
Табела 4.6. Резултати испитивања гравирања алуминијума

Редни број узорка	Број пролаза	P, % од максималне снаге*	V, mm/s	f Hz	Макс. висина μm	Дубина μm
1	1	55	500	20	2,4	0,6
2	2	55	500	20	11,2	7,1
3	3	55	500	20	21,1	2,0
4	1	80	100	20	46,2	0
5	2	80	100	20	63,3	0
6	3	80	100	20	50,4	0
7	1	100	100	20	48,8	0
8	2	100	100	20	38,1	0
9	3	100	100	20	42,3	0

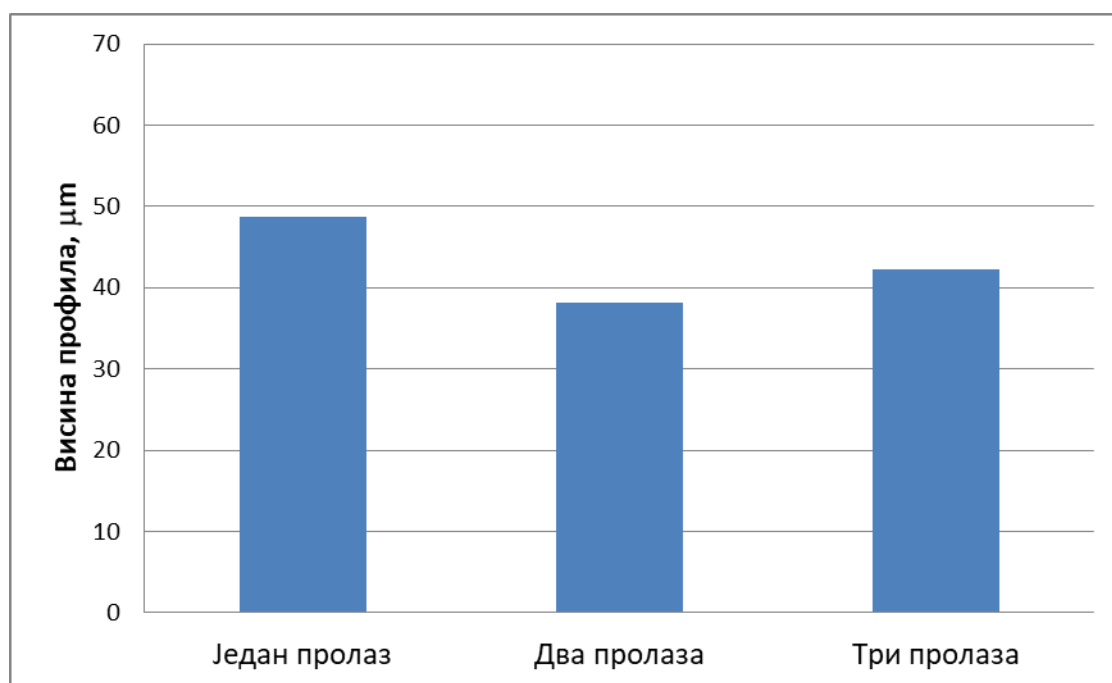
* максимална снага извора ласерског снопа је 20W.



Слика 4.38. Утицај броја пролаза на средњу максималну висину профила (обрада алуминијума, снага = 55 %, V = 500 mm/s)



Слика 4.39. Утицај броја пролаза на средњу максималну висину профила (обрада алуминијума, снага = 80 %, $V = 100 \text{ mm/s}$)



Слика 4.40. Утицај броја пролаза на средњу максималну висину профила (обрада алуминијума, снага = 100 %, $V = 100 \text{ mm/s}$)

Анализом података из слика 4.29 до 4.37, табеле 4.6 и хистограма може се констатовати да параметри услова гравирања на алуминијуму значајно утичу на топографију обрађене површине. У свим случајевима дошло је до формирања изражених врхова неравнина. То значи да је при гравирању алуминијума, као и код осталих материјала, највероватније дошло до топљења материјала и његовог брзог хлађења и формирања изражених врхова неравнина. Како је за мерење топографије

површине коришћена контактна метода, мерна игла мерне машине *Talysurf-6* са својом геомеријом врха игле није могла утврдити дубину неравнина профила површине, односно стварну дубину гравирања.

Код мале снаге ласерског снопа при једном пролазу је најмања висина неравнина профила. Са повећањем снаге долази до повећања висине неравнина. Код мале снаге ласерског снопа са повећањем броја пролаза долази такође до повећања висине неравнина. Испитивањем утицаја брзине кретања ласерског снопа по површини предмета може се закључити да значајно утиче. Код велике брзине висина неравнина је значајно мања у односу на висину неравнина код мање брзине кретања ласерског снопа. Утицај броја пролаза код већих снага захтева даља истраживања, јер се не може закључити значајна разлика у висини неравнина.

Закључак

Ласером се може вршити гравирање са високом прецизношћу и квалитетом обраде. Као новија технологија гравирања материјала, она омогућава гравирање и израду различитих врста ознака и гравура на готово све врсте материјала. Примена машине за гравирање ласером омогућује ефикасније обављање послова у различитим гранама индустрије. Гравирање се може вршити на различитим материјалима након чега додатна обрада није потребна. Велика прецизност и брзина омогућују обележавање на малим деловима као и израду разних врста ознака и гравура.

Машина "AMAN AM-FL20" се користи за ласерско гравирање у "Заводу за испитивање оружја и муниције" Крагујевац за наношење ознака калибра, произвођача, модела, фабричког броја и жигова торментације, онеспособљавања, коначног пријема, итд.

Испитивања су показала да се коришћењем ове ласерске машине не постиже израда гравуре већих дубина већ долази до храпављења површине која је изложена ласерском снопу. тј. до издизања материјала тако да гравура има одређену висину. У наставку рада висина је утврђена коришћењем различитих параметара на различитим материјалима.

У зависности од параметара се добија одређени квалитет гравуре на челику, месингу и алуминијуму. Правилан одабир параметара доводи до повећања квалитета гравирања обрађених материјала.

Анализом површине гравираних линија под микроскопом и профила топографије добијене профилометрисањем може се констатовати да је добијена површина ширине приближно 0.7 мм са 8 изражених трагова проласка ласерског снопа, односно 8 изражених врхова неравнина. Задата ширина гравирања је била 0.5 мм.

Анализом података из слика профила храпавости површина за све материјале може се констатовати да параметри услова гравирања значајно утичу на топографију обрађене површине. У свим случајевима дошло је до формирања изражених врхова неравнина. То значи да је највероватније дошло до топљења материјала и његовог брзог хлађења, што је довело до формирања врхова неравнина. Како је за мерење топографије површине коришћена контактна метода, односно мерна игла мерне машине *Talysurf-6* са својом геомеријом врха игле није могла да допре до дна удубљења храпаве површине, то није било могуће утврдити дубину неравнина профила површине, односно стварну дубину гравирања.

Код најмање коришћене снаге ласерског снопа при једном пролазу је најмања висина неравнина профила код свих материјала. Са повећањем снаге долази до повећања висине неравнина. Код мале снаге ласерског снопа са повећањем броја пролаза долази такође до повећања висине неравнина.

Ради утврђивања утицаја брзине кретања ласерског снопа код обраде челика потребна су даља истраживања. Испитивањем утицаја брзине кретања ласерског снопа по

површини предмета од месинга може се закључити да код већих брзина је мања висина неравнина. Испитивањем утицаја брзине кретања ласерског снопа по површини предмета од алуминијума може се закључити да значајно утиче. Код велике брзине висина неравнина је значајно мања у односу на висину неравника код мање брзине кретања ласерског снопа. Утицај броја пролаза код већих снага захтева даља истраживања, јер се не може закључити значајна разлика у висини неравнина.

Са повећањем снаге долази до сагоревања материјала тако да се трагови сагоревања шире од поља гравуре и то код свих испитиваних материјала.

Највеће висине неравнина су остварене у највећем броју случајева код гравирања челика, затим алуминијума, а најмање код месинга. Најмање висине неравнина су добијене код гравирања на алуминијуму са најмањом коришћеном снагом и већом брзином кретања ласерског снопа.

Резултати испитивања се могу сматрати за прелиминарна испитивања. Ради формирања математичке зависности утицаја параметара услова гравирања потребна су обимнија испитивања.

Литература

- [1] Лазич М. Неконвенционални поступци обраде, Научна књига, Београд, 1990.
- [2] Драгоје Миликић, Неконвенционални поступци обраде, Факултет техничких наука, Нови Сад, 2002.
- [3] <http://www.engraving.zastava-arms.rs/> (24.07.2019)
- [4] Проф. др. Младен Бошњакловић, Нумерички управљани алатни стројеви (поглавље о CNC машинама, књига у рукопису), 2006.
- [5] Анте Мишковић, Данијел Согоровић, Обрада ласером, 2003.
- [6] Недић, Б., Обрада ласером, скрипта, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2013.
- [7] <http://www.engraving.zastava-arms.rs> (24.07.2019)
- [8] Каталог „AMAN“ машина и уређаја, 2017.
- [9] „LaserCut“ упуство за употребу, Београд, 2016.
- [10] https://en.wikipedia.org/wiki/Numerical_control (24.07.2019)
- [11] <https://sh.wikipedia.org/wiki/Graviranje> (24.07.2019)
- [12] <http://www.samsvojmajstor.com/portal/forums/uradi-sam/obrada-drвета/rezbarenje-drвета-ili-duborez-alat-i-%C5%A1ablioni> (25.07.2019)
- [13] http://www.airgraver.com/engraving_evolution.htm (25.07.2019)
- [14] <https://en.wikipedia.org/wiki/Pantograph> (25.07.2019)
- [15] <https://www.made-in-china.com/showroom/hajettool/product-detailYjynsJLEOgcR/China-Jewelry-Engraving-Machine-Grs-Gravermate-G8-Engraver-Gravermate.html> (25.07.2019)
- [16] <https://sh.wikipedia.org/wiki/Graviranje> (25.07.2019)
- [17] <http://www.engraving.zastava-arms.rs/2018/01/23/br-09003/?fbclid=IwAR2w69LqZ-9zoaobgp1Puu-GEH5O5a5lcfRjOD8yyfOr564B809KhmetdPo> (25.07.2019)
- [18] <http://www.galleyrack.com/temp/pantochron.pdf> (24.07.2019)
- [19] https://www.indiamart.com/proddetail/vmt-37-pantograph-engraving-machine-2998823197.html?fbclid=IwAR1E_0xzUQwi0YkMilmWK1kndYLwonSkVUXJGTVNLGLvCom4Iy4xLFr5Pco (24.07.2019)
- [20] https://www.indiamart.com/proddetail/cnc-wood-engraving-machine-14827992155.html?fbclid=IwAR37Yi1G1iBQ5WXslB8zYHc8z0b3_6U52dfD1iJXPWshENAZzrNzYoFmDxA (03.08.2019)
- [21] https://bs.wikipedia.org/wiki/Lasersko_graviranje (03.08.2019)
- [23] http://mchalegentile.com/duartsshop/lc_howto.html (03.08.2019)

- [24] <https://www.youtube.com/watch?v=-JhQHIo7fSw&fbclid=IwAR3HOH9PRdTVn6PuolIBiXAEUrLIlNXH989YgwKAKh0I-lchZzNS957EoA> (27.07.2019)
- [25] <https://www.linkedin.com/pulse/work-theory-laser-cutting-machine-apple-he> (27.07.2019)
- [26] <http://www.technologystudent.com/laser1/laser8.html> (03.08.2019)
- [27] <https://sr.wikipedia.org/sr-ec/%D0%A7%D0%B5%D0%BB%D0%B8%D0%BA> (03.08.2019)
- [28] <https://sr.wikipedia.org/srec/%D0%9C%D0%B5%D1%81% %D0%BD%D0%B3> (03.08.2019)
- [29] <https://sr.wikipedia.org/sr-ec/%D0%90%D0%BB%D1%83%D0%BC%D0%B8%D0%BD%D0%B8%D1%98%D1%83%D0%BC> (03.08.2019)
- [30] <http://cncman-net.quality.chinacsw.com/pz672f2d4-fiber-laser-20w-portable-fiber-laser-marking-machine-for-stainless-steel-color.html> (10.08.2019.)
- [31] <http://www.xtlaser.ru/new-users-6-select-laser-machines-main-parts-laser-marking-machine-max-xt-laser/> (10.08.2019.)