

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: Технологија производње наоружања

Број индекса: 528/2011

Стефан А. Шћепановић

**Анализа технолошког поступка ожљебљења
електрохемијским нагризањем унутрашње
трасе цеви оружја за метак 7,62x54 mm (R)**

Дипломски рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. в.проф. др Маринко Петровић, дипл. инж. –ментор

2. проф.

3. проф.

Датум одбране: _____

Оцена: _____

У оквиру овог дипломског рада кандидат треба да обради следеће:

1. Анализа ожљебљења, врсте, профили ожљебљења и примењени материјали
2. Анализа поступака ожљебљења према примењеним технологијама код цеви оружја/оруђа, са посебним освртом на технолошки процес ожљебљења **електрохемијским нагризањем**
3. Анализа захтева за унутрашњу трасу цеви за метак 7,62x54 mm (R)
4. Анализа захтева за унутрашњу трасу припремка цеви оружја за метак 7,62x54 mm (R) пре ожљебљења
5. Анализа карактеристика и параметара технолошког поступка ожљебљења **електрохемијским нагризањем**
 - Шема процеса
 - Алати и машине
 - Основни параметри процеса
 - Процес анодног растварања
 - Тачност обрађених површина
 - Квалитет обрађених површина
6. Приказ технолошког поступка
7. Закључак
8. Литература

Препоручена литература:

- [1] М. Петровић, *Технологија производње наоружања*, Предавања, 2015-2016.
- [2] И. Стевановић: *Анализа и пројектовање технолошког поступка ожљебљења протискивањем унутрашње трасе цеви оружја за метак 12,7x108 mm*, дипломски рад, ФИН, Крагујевац, 2015.
- [3] М. Миловановић, *Анализа и дефинисање технолошког поступка дубоког бушења унутрашње трасе цеви оружја калибра 40 mm*, дипломски рад, ФИН, Крагујевац, 2015.
- [4] Б. Милосављевић, *Анализа технолошког поступка површинске заштите хромирањем унутрашње трасе цеви оружја за метак 5,56 mm SS109*, Дипломски рад, ФИН, Крагујевац, 2015.
- [5] М. Петровић, *Механика аутоматског оружја*, уџбеник, ВА, Београд, 2007.
- [6] В. Павелић, *Технологија производње наоружања*, ЦВТШ КоВ Загреб, 1988.
- [7] Интернет презентације

Крагујевац, октобар 2016.

Ментор:

Ванр. проф. др Маринко Петровић, дипл.маш.инж.

Садржај:

Увод	6
1. Анализа ожљебљења, врсте и профили ожљебљења и примењени материјали	7
1.1. Анализа ожљебљења	7
1.2. Врсте ожљебљења.....	9
1.3. Профили ожљебљења.....	12
1.4. Материјал цеви оружја/оруђа	16
2. Анализа поступака ожљебљења према примењеним технологијама код цеви оружја/оруђа.....	18
2.1. Ожљебљење радијалним ковањем	18
2.2. Ожљебљење протискивањем	19
2.3. Ожљебљење поступком хладног ротационог истискивања	20
2.4. Ожљебљење резањем	20
2.5. Основи процеса електрохемијске обраде	21
2.5.1. Ожљебљење хемијском обрадом	23
3. Анализа захтева за унутрашњу трасу цеви цеви за метак 7,62x54 mm (R)	28
3.1. Метак 7,62x54 mm (R)	28
3.2. Захтеви за метак 7,62x54 mm (R)	29
3.3. Захтеви за унутрашњу трасу цеви калибра 7,62 mm	31
4. Анализа захтева за унутрашњу трасу припремка цеви оружја за метак 7,62x54 mm (R) пре ожљебљења	35
5. Анализа карактеристика и параметара технолошког поступка ожљебљења електрохемијским нагризањем	39
5.1. Инсталација за електрохемијску обраду	42
5.2. Машине и алати	43
5.3. Основни параметри процеса	46
5.4. Процес анодног растварања.....	50
5.5. Карактеристике електролита и процеса електрохемијске обраде.....	52
5.6. Суштина - физика процеса.....	53
5.7. Пасивизација анодне површине	55
5.8. Тачност обраде.....	55
5.9. Квалитет обраде	57
6. Приказ технолошког поступка	58
6.1. Митраљез М84	63
6.1.1 Муниција за митраљез М84	64
7. Закључак	66
8. Литература	67

Резиме:

У оквиру овог рада анализиран је технолошки поступак ожљебљења електрохемијским нагризањем унутршње трасе цеви за метак 7,62x54 mm (R). Такође су представљени остали технолошки поступци ожљебљења цеви оружја.

Извршена је анализа захтева за унутрашњу трасу цеви за метак 7,62x54 mm (R) као и анализа захтева цеви пре технолошког поступка ожљебљења. Рад приказује мере припремке цеви кроз све операције које претходе операцији електрохемијског нагризања.

Технолошки поступак електрохемијског полирања и електрохемијског нагризања приказан је кроз низ фотографија.

Кључне речи:

Цев оружја, калибар 7,62x54 mm (R), унутрашња траса цеви, ожљебљење цеви оружја, електрохемијка обрада, митраљез 7,62x54 mm (R).

Summary:

In this paper the technological procedure rifling electrochemical machining of an inner bore weapons of 7,62x54 mm (R) round. Featured are other technological procedures rifling barrel weapons.

Requirements analysis for bore of 7,62x54 mm (R) round and analyze bore require before rifling technological process. The paper presents measures ingot through all operations that precede the processing operation.

The technological process of electrochemical polishing or electrochemical machining is shown through a series of photos.

Key words:

The barrel weapons, caliber 7,62x54 mm(R), inner bore weapons, barrel rifling, electro chemical machining, machine gun 7,62x54 mm (R)

Увод

Од првих зачетака оружаних сукоба и ратова, наука и техника развијале су се под окриљем војноекономског комплекса. Због тога је већина научних тековина прву примену налазила у производњи наоружања и војне опреме, што је, по природи ствари, иницирало нове промене и нови развој. Та повратна спрега, условљена првенствено потребом за повећањем војне моћи, доводила је до новог квалитета у развоју и производњи наоружања, што је утицало и на одговарајуће промене како у ратној доктрини и вештини, тако и у непосредној производњи и одржавању [5].

Цев је најважнији део оружја, у њој се врши сагоревање барутних гасова. Енергија, чији су извор барутни гасови, примарно се користи да саопшти пројектилу транслаторно кретање одређене брзине. Правац осе цеви даје правац полетања пројектила.

Цев оружја омогућава да се пројектилу саопшти и обртно кретање око осе цеви, а ради остваривања потребне стабилности пројектила на путањи ван цеви. Овај задатак решава се ожљебљењем унутрашњег отвора цеви.

У току испалења метка ствара се веома велики притисак барутних гасова у унутрашњем отвору и на зидове цеви. Максималне вредности овог притиска, који код стрељачког оружја достиже вредност до 5000 баг-а, зидови цеви и ожљебљење морају да издрже без могућности надувавања, прскања и смицања поља [5].

Проблем квалитетног ожљебљења унутрашњег отвора решава се конструкционим и технолошким решењима.

У раду се најпре приказује унутрашња траса цеви код оружја, анализа врста и профила ожљебљења унутрашње трасе цеви оружја, технолошки поступци добијања жљебова у унутрашњем отвору цеви са посебним освртом на технолошки процес ожљебљења **електрохемијским нагризањем**.

У другом делу дипломског рада врши се анализа захтева за унутрашњу трасу цеви за метак 7,62x54 mm (R), затим анализа захтева за унутрашњу трасу припремка цеви оружја за метак 7,62x54 mm (R) пре ожљебљења, као и анализа карактеристика и параметара технолошког поступка ожљебљења електрохемијским нагризањем.

У последњем делу рада је на конкретном примеру цеви калибра 7,62 mm приказан технолошки поступак. Ради лакшег праћења и разумевања, технолошки поступак ожљебљења цеви електрохемијским нагризањем приказан је кроз фотографије операција.

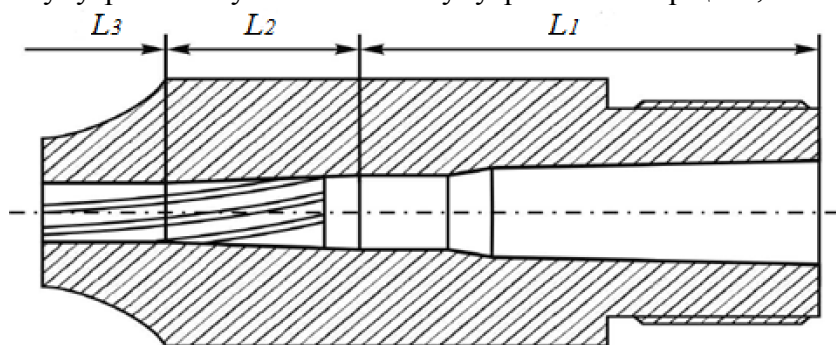
Циљ овог рада је да кроз анализу технолошког поступка ожљебљења унутрашње трасе цеви електрохемијским путем, прикаже овај технолошки процес код савремених цеви оружја калибра 7,62x54 mm (R).

1. Анализа ожљебљења, врсте и профили ожљебљења и примењени материјали

1.1. Анализа ожљебљења

Цев је основни елемент оруђа/оружја и представља топлотну машину у којој се одвијају динамички процеси претварања потенцијалне хемијске енергије барута у кинетичку и топлотну енергију у веома кратком интервалу. Сви процеси и појаве су импулсног карактера, јер је време за које се одвијају реда неколико μs , а ослобођена енергија неколико MJ [21].

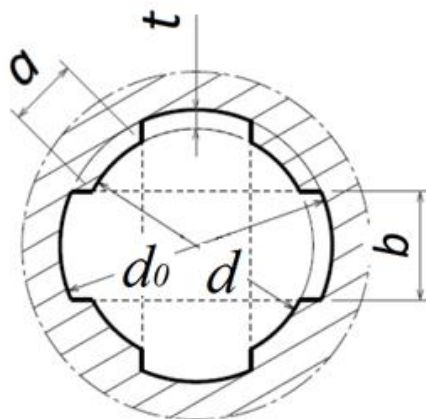
У цеви се врши опаљење метка и лансирање пројектила са дефинисаном почетном брзином и правцем лета. Према конструктивном решењу, цев је начелно дебелозидни цилиндар чија се унутрашња шупљина назива унутрашњи отвор цеви, слика 1 [5].



Слика 1. Конструкција унутрашњег отвора цеви

L_1 - лежиште метка, L_2 - прелазни конус, L_3 - водиште пројектила [5]

Унутрашњи отвор цеви састоји се од лежишта метка 1, прелазног конуса 2 и водишта пројектила 3. Лежиште метка је део у који се смешта метак. Прелазни конус спаја лежиште метка са водиштем пројектила.



Слика 2. Попречни пресек водишта пројектила

(a - ширина поља, b - ширина жљеба, t - дубина жљеба, d - калибар, d_0 - растојање између жљебова) [2]

Основни параметар цеви је калибар. Калибар цеви d , приказан на слици 2 представља растојање мерено дуж два наспрамна поља у попречном пресеку цеви.

Водиште пројектила је предњи део цеви по којем се креће пројектил за време опаљења. Водиште пројектила се формира на унутрашњој површини цеви оружја у облику уздужно ожљебљеног цилиндра на коме се налазе уздужни канали (жљебови).

Жљебови описују завојне линије по цилиндричној унутрашњости цеви, слева удесно. Испусти између жљебова називају се пољима. Растојање мерено дуж два супротна поља назива се калибар цеви.

Основне карактеристике водишта пројектила су:

- Калибар,
- Облик поља и жљебова,
- Корак жљебова h ,
- Дубина жљебова t ,
- Угао увијања жљебова α ,
- Ширина поља и жљебова a, b ,
- Број поља и жљебова n .

Ожљебљени део цеви обезбеђује пројектилу потребно транслаторно и ротационо кретање. На тај начин пројектил добија стабилност при кретању и прецизност на циљу. После опаљења почиње кретање пројектила у ожљебљеној цеви, при чему се водећи прстен (кошуљица пројектила) утискује у жљебове и попуњава их.

Облик поља и жљебова мора да обезбеди:

- Максимално испуњавање жљебова кошуљицом пројектила при његовом кретању кроз цев (максимално заптивање),
- Лако чишћење цеви и
- Једноставност производње цеви [4].

Профил жљеба има оптерећену (радну), неоптерећену страну и дно. При избору елемената профила и броја жљебова треба обезбедити, пре свега, лако урезивање, што захтева мали број жљебова и малу дубину и, друго, поуздано вођење зрна у цеви, за шта су потребни већи број и већа дубина жљебова. Параметри жљебова зависе од:

- Почетне брзине пројектила,
- Материјала цеви и водећег прстена,
- Облика водећег прстена.

Дубина жљеба у стрељачком оружју обично се узима да је $1/50 d$ до $1/70 d$. Мала дубина жљеба доводи до смањења века трајања цеви услед брже истрошености, већа дубина жљеба проузрокује неповољне услове деформације пројектила при урезивању и вишак непотребног рада при урезивању [5].

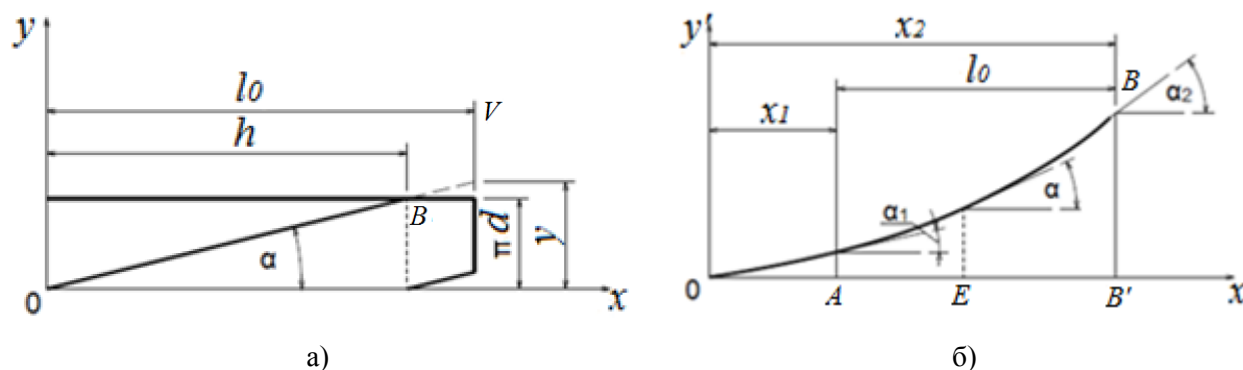
1.2. Врсте ожљебљења

Жљебови у отвору цеви представљају завојне трасе чији је положај према оси отовра цеви одређен углом α . Овај угао се зове угао нагиба или угао уздицања завојне линије жљеба или угао увијања жљебова. Ако се пројектил обрће у смеру обртања казаљке на сату (посматрана од лежишта метка), завојница се зове десна - у противном је лева[1].

О предностима и недостацима једне или друге врсте нарезивања постоје два мишљења. Једни аутори сматрају да је свеједно на коју ће страну бити извршено ожљебљење цеви, док други дају предност ожљебљењу у леву страну и при томе дају следеће аргументе.

При гађању из пушке која је наслоњена на раме стрелца, под дејством силе трзања раме стрелца заједно са пушком трза назад и даје одређени отклон оружју удесно, чиме и путања пројектила скреће у десно. Ако је цев ожљебљена у десну страну, такво ожљебљење изазива скретање путање од равни гађања у леву страну, тј. лево ожљебљење компензује део деривације путања пројектила [5].

Дужина на којој жљеб чини потпуни обрт завојне линије назива се корак увијања жљеба и означава се са h .



Слика 3. Жљебови са константним а) и прогресивним углом увијања б) [2]

а) Жљеб са константним углом увијања у развијеном стању (l_0 - дужина ожљебљеног дела цеви, d - калибар цеви и OB - завојница у развијеном стању)

б) Жљеб са прогресивним углом увијања у развијеном стању ($\alpha_1 = (2^\circ - 4^\circ)$ - угао увијања на почетку жљеба и $\alpha_2 = (7^\circ - 12^\circ)$ - угао увијања на крају жљеба)

Према карактеру нагиба, жљебови могу да буду:

- Са константним увијањем, када је угао на целој ожљебљеној дужини цеви константан (слика 3а),
- Са променљивим (прогресивним) увијањем, када је угао на целој ожљебљеној дужини цеви променљив и повећава се према устима цеви (слика 3б),
- Са комбинованим увијањем, када на једном делу отвора цеви жљебови имају прогресивно увијање, а на другом константно [2].

Жљебови са прогресивним углом увијања се задају са квадратом или кубном параболом, односно синусоидом.

Корак жљеба је основна карактеристика водишта пројектила која одређује стабилност пројектила.

Угао увијања жљеба је угао који заклапа оса цеви (или произвољна права линија паралелна оси цеви) и тангента на спиралну линију жљеба. Предност константног угла увијања је такође и једноставност производње. Велики недостатак је неравномерност хабања цеви. До највећег хабања долази на почетку водишта пројектила и крива хабања прати криву притиска барутних гасова у току опаљења.

То се може видети из израза за нормалну силу интеракције зрна и бојеве стране поља:

$$N \approx 0,5 \frac{pS}{n} \operatorname{tg} \alpha \quad (1.1)$$

где су: N - сила нормалног притиска на бојеву страну поља, n - број жљебова, p - притисак барутних гасова у отвору цеви, S - површина попречног пресека цеви (узимајући у обзир и жљебове) и α - угао увијања жљебова [1].

Код прогресивног угла увијања жљебова угао увијања расте ка устима цеви. У том случају нормална сила на радну страну поља је приближно константна, па је и хабање дуж цеви мање - више равномерно. Основни недостатак овог типа увијања је сложеност израде. Код стрељачког оружја готово и да се не примењује [5].

Од дубине жљебова зависи висина испуста на кошуљици пројектила. Ако су жљебови превише плитки може доћи до свлачења кошуљице зрна и неравномерног урезивања. Зато се, по правилу, дубина жљебова бира да буде већа. Такође, већа дубина жљебова отежава чишћење цеви, омогућава веће деформације пројектила, а већа висина водећег прстена на пројектилу доводи до повећане силе отпора ваздуха на пројектил у току лета [5].

Дубина жљебова код страљачког наоружања обично је:

$$t = (0,015 \div 0,02)d \quad (1.2)$$

где је d - калибар цеви. При томе се узима да што је мањи калибар оружја то је већа релативна дубина жљеба.

Сличан је случај и код избора ширине поља и жљебова. Ширина жљебова обично је већа од ширине поља, што је везано са равномерним оптерећењем цеви и пројектила.

С једне стране, за добијање водећих прстена веће чврстоће и због лакшег чишћења цеви оружја, бира се већа ширина жљебова. Такође, урезивање поља у кошуљицу пројектила је лакше (због чега је код неких оружја примењен троугласти облик поља). Са друге стране, смањењем ширине поља смањује се њихова чврстоћа. Зато се обично усваја да је ширина поља дупло мања од ширине жљебова.

Ширина жљебова се израчунава као:

$$a + b = \frac{2\pi \cdot d}{n} \quad (1.3)$$

односно усваја се:

$$a \geq \frac{2\pi \cdot d}{n} \quad (1.4)$$

где су: d - калибар цеви, n - број жљебова, a - ширина поља, b - ширина жљебова.

Број жљебова зависи од калибра оружја и најчешће се усваја да је једнак половини калибра израженог у милиметрима.

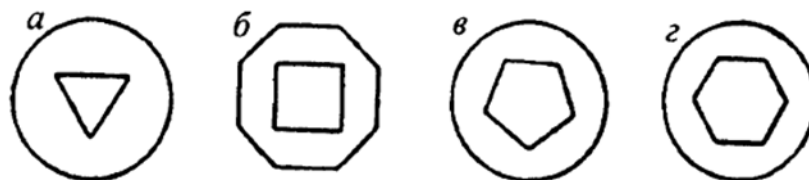
Такође, ако су познати ширина поља (a) и жљебова (b), број жљебова може се одредити из израза:

$$n = \frac{\pi \cdot d}{b + a} \quad (1.5)$$

За стрелачко оружје калибра 6,5 - 8 mm узима се 4 жљеба, ређе 3, 5 или 6, а за калибре 8 - 13 mm од 6 - 8 жљебова. Из технолошких разлога углавном се узима паран број жљебова.

Полигонално ожљебљење (слика 4) је такав тип ожљебљења код којег попречни пресек цеви има унутрашњи облик неке геометријске фигуре. Најраспрострањеније полигоналне цеви имају у попречном пресеку шестоугао.

Као пример овог ожљебљења може се узети пиштољ Desert Eagle и аутоматска пушка 5,56 mm M21. Према мишљењу специјалиста из ове области овакве цеви имају дужи животни век, а оружје је прецизније.



Слика 4. Полигонално ожљебљење цеви

а) стара руска козачка пушка „тројка“, б) немачка експериментална пушка из 1791. године, в, г) Витвортова пушка из 1857. године [1]

Животни век цеви је период у којем цев у границама задатих тактичко - техничких захтева задржава своје балистичке карактеристике (прецизност, почетну брзину, домет и др). Животни век цеви мери се бројем испалених метака, али у великој мери зависи и од режима ватре, услова чувања и одржавања, врсте муниције [5].

За повећање животног века цеви, без обзира на врсту ожљебљења унутрашњост цеви се хромира. У пракси се хромира цела дужина унутрашњости цеви или само лежиште метка и прелазни конус.

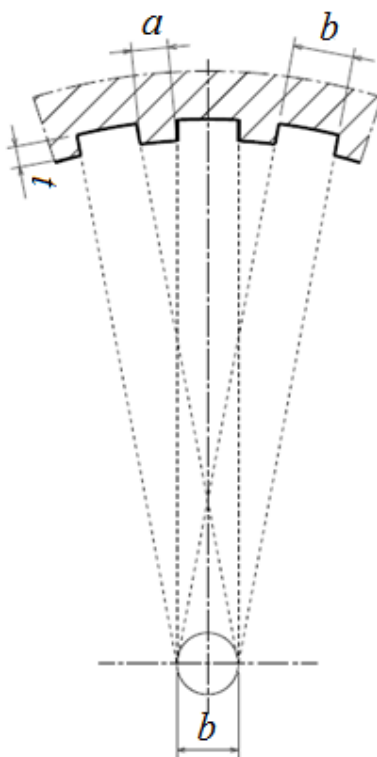
1.3. Профили ожљебљења

Фигура која се образује пресецањем жљеба са равни нормалном на осу канала цеви назива се жљеб цеви. Облик жљеба у попречном пресеку може бити различит [5].

Најчешће се среће:

- Правоугли,
- Трапезни,
- Кружни,
- Сегментни облик.

Правоугли профил (слика 5) је профил жљеба код којег су бочне стране међусобно паралелне. Правоугли облик жљеба је основни профил жљеба усвојен у руској војној индустрији [13].



Слика 5. Шема конструкција правоуглих жљебова
(a - ширина поља, b - ширина жљеба, t - дубина жљеба) [2]

Жљебови са правоуглим профилем се најшире примењују код свих врста и калибра оружја. Код савремених оружја мере жљеба су везане следећим односом [6]:

$$b = (1,5 \div 2,0)a \quad (1.6)$$

где је:

b - ширина подножја жљеба,
 a - ширина поља.

Уколико ширина поља a за дату ширину жљеба b не задовољи проверу отпорности, врши се поновно разматрање свих мера жљебова. Према технолошким захтевима, број жљебова мора бити паран да би омогућио ожљебљење главама са више ножева (шест, осам, итд) [1].

Број жљебова n за оружја малих и средњих калибара је могуће одредити помоћу следеће емпиријске формуле:

$$n = 3,5d + 2 \quad (1.7)$$

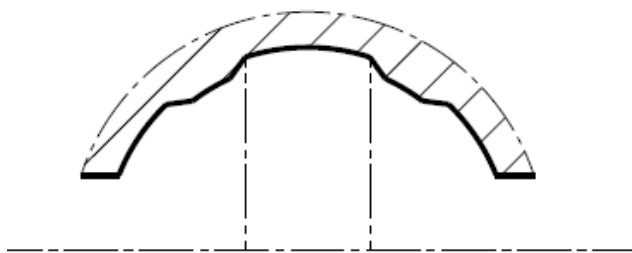
Предност овакве врсте жљебова је релативно једноставна и јефтина израда алата за нарезивање цеви.

Недостаци су следећи:

- Оштри углови између страна и дна жљеба недовољно се испуњавају кошуљицом зрна при урезивању,
- Тешко се уклањају струготине и продукти сагоревања барутног пуњења из оштрих углова жљеба [1].

Код класичног правоугаоног облика ожљебљења површине су релативно мале, па се хабају радни бокови жљебова цеви и стварају зазори на страни наредних бокова. Кроз те зазоре продиру усијани млазеви барутних гасова врло великом брзином, знатно већом од брзине пројектила. Услед тога долази не само до пада почетне брзине, већ и до много бржег изгарања и пропадања површине водишта пројектила у цеви [1].

Код трапезног профила жљеба стране и дно жљеба заклапају туп угао, што је приказано на слици 6.



Слика 6. Трапезни облик ожљебљења [2]

Предности оваквог типа жљебова су:

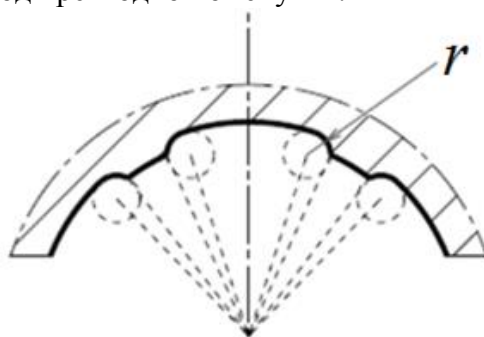
- Боље заптивање цеви кошуљицом зрна у току урезивања и кретања зрна кроз цев,
- Посебно код кошуљица израђених од материјала веће тврдоће,
- Боље искоришћење енергије барутних гасова,
- Бољи услови за чишћење цеви оружја.

Недостаци су:

- Скупа израда алата за нарезивање и
- Сложенија производња цеви [5].

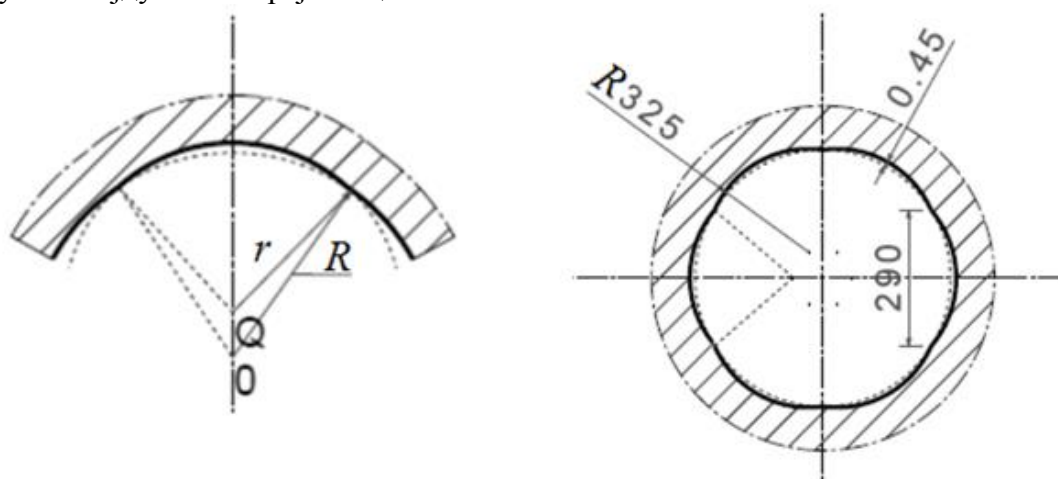
Кружни облик жљеба (слика 7) је такав облик жљеба код којег су стране поља, односно жљеба, делови кружне површине дефинисане полупречником кружнице r [6].

Код овог профила јавља се боље заптивање кошуљице зрна у току урезивања као и код трапезног облика, затим енергија барутних гасова има већи проценат искоришћења и цев ожљебљена овим профилем је лакша за чишћење од цеви ожљебљене правоуглим профилем. Израда алата за нарезивање ових профила је скупља и захтевнија, а поступци производње су сложенији од претходно поменутих.



Слика 7. Кружни облик ожљебљења [2]

Сегментни облик жљеба (слика 8) је облик који настаје урезивањем кружних лукова мањег полупречника од половине калибра. Због веома скупе и сложене технологије производње овај тип ожљебљења се ређе јавља од осталих облика, без обзира што омогућава најдужи век трајања цеви.



Слика 8. Сегментни облик ожљебљења (лево) и Арисакијев сегментни облик ожљебљења (десно) [2]

Предности овог облика ожљебљења су:

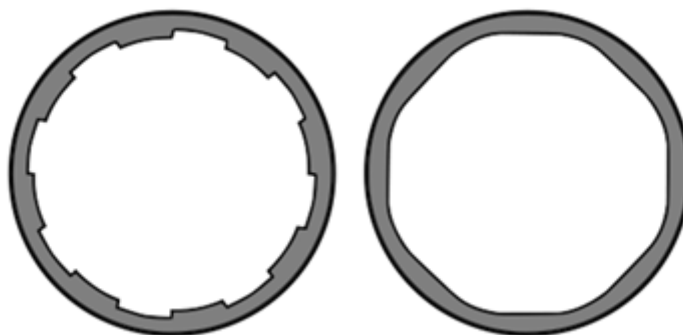
- Нема оштрих прелаза између поља и жљебова,
- Лако чишћење цеви оружја,
- Продужава се век употребе оружја јер отвор цеви има савршено глатку површину.

Недостаци су:

- Веома сложена и скупа технологија производње.

Полигонални облик

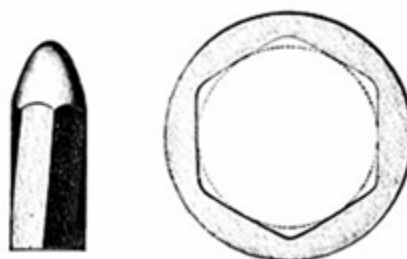
Основне предности ове конструкције су побољшано заптивање, смањено хабање, продужење века трајања цеви за приближно 60% и олакшано чишћење и одржавање. Прецизност погодака таквих цеви је боља од оне које имају досадашње цеви, а што је најважније, ниво прецизности одржава се готово до краја века цеви [14].



Слика 9. Поређење попречног пресека класичног правоугаоног ожљебљења (лево) и осмоугаоног полигоналног ожљебљења (десно) [4]

Када је утврђен корак увијања жљебова, пројектовање оптималног водишта пројектила-профила наставља се дефинисањем облика, броја жљебова, вредности калибра, пречника жљебова, ширине жљеба, прелаза с поља на жљеб итд [14].

Полигонално ожљебљење (слика 9-десно) као основну претпоставку подразумева промену природе деформисања пројектила при урезивању. Повољнија природа пластичног течења материјала кошуљице пројектила код полигоналног водишта пројектила обезбеђена је конвексношћу прелаза поље-жљеб које смањује могућност локалних оштећења поља у водишту приликом израде и у експлоатацији (слика 10) [14].



Слика 10. Деформација кошуљице пројектила код шестоугаоног полигоналног ожљебљења цеви [4]

Природа пластичне деформације кошуљице код полигоналне цеви дозвољава смањење величине попречног пресека водишта, чиме се побољшава заптивање.

Специфични притисак на радни бок је утолико мањи, уколико је мања сила притиска кошуљице с једне стране, односно већа дужина водећег дела кошуљице, дубина и број поља, с друге стране.

Опредељење за мали број жљебова је у складу са чињеницом да таква цев садржи мање извора локалних напрезања, могућих оштећења, дисконтинуитета и грешака израде [14].

1.4. Материјал цеви оружја/оруђа

Пошто је цев изузетно битан део оружја/оруђа тако и материјал од кога се она производи је изузетно важан. Пошто треба да има добре механичке карактеристике како би цев издржала високу температуру и притисак, најчешће се израђује од челика [3].

Као материјал за припремке цеви оружја/оруђа примењује се висококвалитетни угљенични челик (челик 50А, челик 50РА) или високо легирани челици типа 30ННМФА, 30НН2МФА топљени под троском.

Челици за цеви оружја/оруђа могу се поделити на челике за [3]:

- цеви стрелачког наоружања,
- цеви минобацача,
- цеви артиљеријских оруђа (топова, хаубица и топ хаубица),
- цеви ракетних лансера.

Ови челици се израђују према посебним техничким условима у зависности од оптерећења и услова рада при експлоатацији. Такви челици морају имати следеће физичко - механичке карактеристике [3]:

- високу чврстоћу, добру еластичност и жилавост, како при високим притисцима барутних гасова не би дошло до пластичних деформација, прскотина и разарања,
- довољну тврдоћу и високу отпорност на ударна оптерећења и механичка трења,
- хомогену структуру без неметалних укључака по дужини и у било ком попречном пресеку полуфабриката,
- високу отпорност на хемијска дејства продуката сагоревања и утицај атмосфере,
- низак интензитет ширења прслина, односно што већи критични коефицијент интензивности напона K_{IC} .

Табела 1. Особине челика за цеви стрелачког оружја [3]

Челик	Механичке карактеристике			
	Јачина кидања, МПа	Граница течења, МПа	Релативно издужење, %	Релативно сужење, %
50РА	800	550	10	40
30НН2МФА	900	800	10	40

Од легирајућих елемената се, дакле, тражи да челику дају високу чврстоћу, потребну резерву у жилавости и добру прокаљивост дебелослојних цеви.

У земљама које производе наоружање усвојен је низ квалитетних челика за цев што је приказано у табелама 2 и 3.

Као материјал за припремке цеви за стрелачко оружје примењује се висококвалитетни угљенични челик (челик 50А, челик 50РА), а за припрему цеви аутоматских топова - високо легирани челици типа 30ННМФА, 30НН2МФА.

Табела 2. Хемијски састав челика за цеви оружја [3]

Челик	Садржај елемената, % масе				
	C	Si	Mn	Cr	Ni
50РА (50РА)	0,47... 0,55	0,17... 0,37	0,50... 0,80	0,10... 0,30	0,30
30НН2МФА (30ХН2МФА)	0,27... 0,34	0,17... 0,37	0,30... 0,60	0,60... 0,90	2,00... 2,40
Челик	Садржај елемената, % масе				
	Mo	B	P	S	Cu
50РА	-	0,001... 0,004	до 0,025	до 0,025	до 0,20
30НН2МФА	0,20... 0,30	-	до 0,025	до 0,025	до 0,30

Табела 3. Особине челика за цеви оруђа [3]

	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	$\sigma_{0,2}$	σ_m	δ	ψ	ρ	K _{IC}
30NiCrMo16	0,30	0,25	0,40	1,35	4,0	0,50	$\geq$ 980	1180 do 1340	9	46	≥ 34 (-40°C)	34 (40°C)
Č4737T	0,23 do 0,31	0,24 do 0,45	0,40 do 0,60	0,70 do 3,40	0,20	0,40 do 0,60	$\geq$ 930	$\geq$ 1030	12	40	27do56 (+20°C)	-

У табели 3, неке од величина представљају механичка својства челика за цеви оруђа:

$\sigma_{0,2}$, [MPa] - граница течења материјала,

σ_m , [MPa] - затезна чврстоћа,

δ , [%] - издужење,

ψ , [%] - контракција,

ρ , [J] - жилавост.

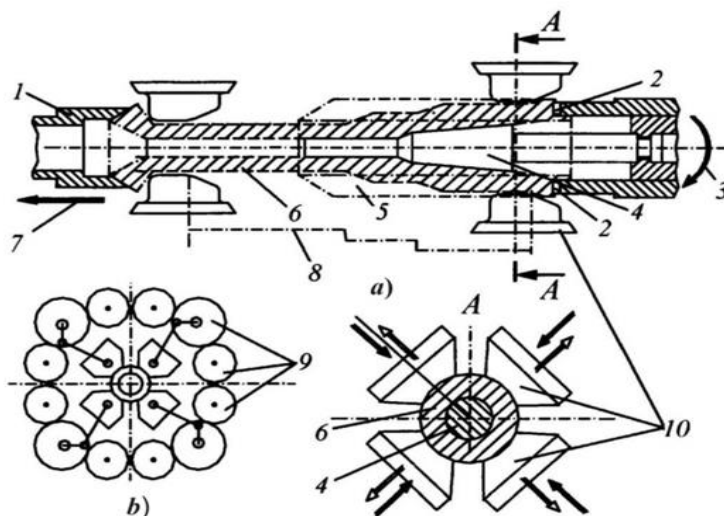
2. Анализа поступака ожљебљења према примењеним технологијама код цеви оружја/оруђа

Отворе цеви могуће је ожљебити на један од наведених начина [1]:

- радијалним ковањем,
- протискивањем,
- хладним ротационим истискивањем,
- резањем,
- електрохемијски.

2.1. Ожљебљење радијалним ковањем

Познати светски произвођачи ковачких машина развили су машине и технологије хладног ковања цеви на трну. Ковањем се добијају коначне мере ожљебљених или глатких отвора и барутних комора (слика 11) [6].



Слика 11. Шема процеса радијалног ковања припремке цеви оружја [4]

Пречници отвора ожљебљених цеви који се добијају ковањем налазе се у дијапазону од 4,5 до 105 mm.

Након ковања није потребна обрада отвора цеви ради постизања вишег квалитета обраде. Квалитет обрађених површина одговара обради полирањем и нема никаквих зареза који би могли да представљају иницијације прскотина. Отвор у припремку има већи пречник од највећег пречника у отвору цеви. Мере овог отвора се одређују тако што се трн на коме се врши ковање лако помера у отвору припремка.

Припремак за хладно ковање цеви је краћи од готове цеви и, након завршеног ковања, попречни пресек му се смањи на рачун издужења за 15 - 20%.

Цеви чији је калибар до 8 mm кују се на вертикалним ковачким машинама, а цеви већег калибра на хоризонталним ковачким машинама.

2.2. Ожљебљење протискивањем

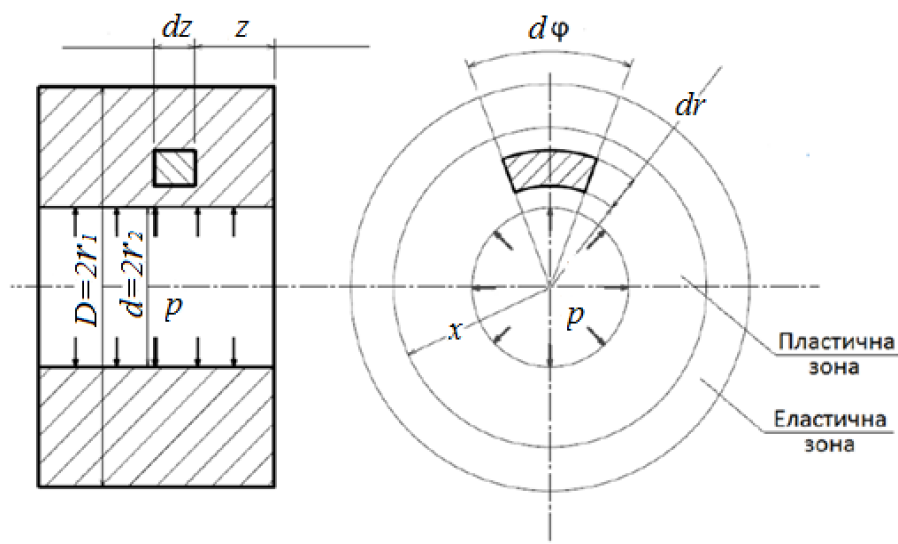
Процес обраде протискивањем спада у прогресивне видове обраде и он најчешће замењује обраду резањем. Протискивањем се остварује интензивно локално деформисање у зони контакта алата и површине отвора комада дуж чије се осе и креће алат. При томе се остварује преклоп, чиме се мењају мере и/или профил попречног пресека отвора, почетна храпавост унутрашње површине и сл [2].

У принципу се разликује површинско и просторно протискивање. У првом случају ради се о калибрисању, када се овом обрадом замењује брушење, хоновање и провлачење, при чему се може остварити површина са $R_a = 0,32 \div 0,04 \mu\text{m}$.

Просторно - запреминско протискивање се масовно примењује у црној металургији код израде цеви и цилиндара већих дужина округлог или сложеног попречног пресека. При протискивању цеви уобичајене тачности, са алатом који има више радних површина (вишезубни алати), може се постићи и површина квалитета $R_a = 0,63 \div 0,04 \mu\text{m}$.

Добра особина ових поступака је могућност лаке механизације и укључења у аутоматске линије за обраду.

Поступак ожљебљења унутрашње трасе цеви оружја/оруђа протискивањем (у литератури се често среће термин механичко аутофретовање) заснива се на теорији аутофретовања цеви развијеној код артиљеријских оруђа.



Слика 12. Цев оптерећена унутрашњим притиском p [1]

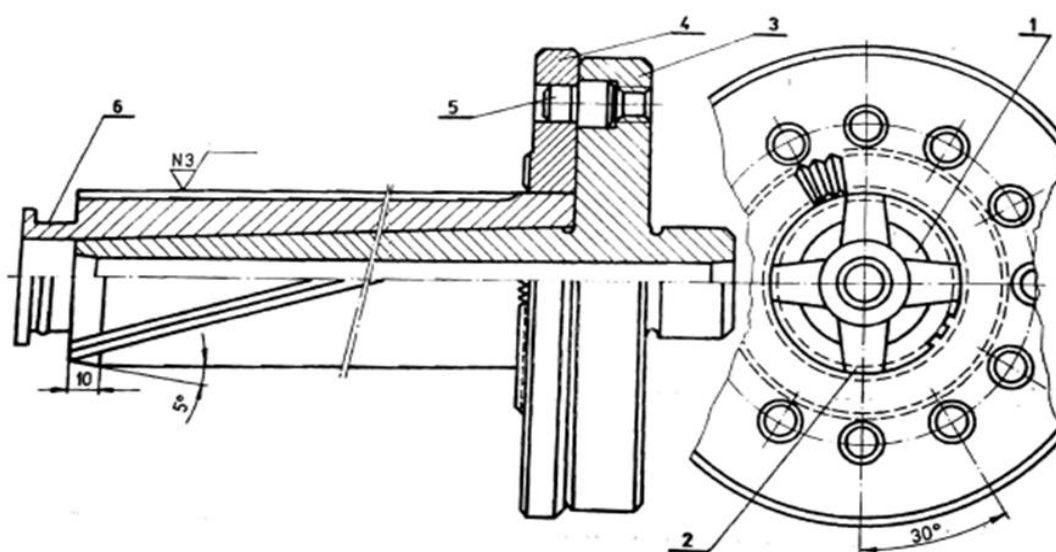
Ако се моноблок - цев (слика 12), од материјала чија је граница еластичности σ_e , унутрашњи полупречник r_1 , а спољни r_2 , подвргне знатно већем унутрашњем притиску p_1 од радног p , појавиће се у слоју цеви до радијуса x већи напон од напона σ_e . Тако у унутрашњем слоју цеви до радијуса x настају трајне деформације, а у спољњем слоју ($r_2 - x$) еластичне деформације.

Оваквим довођењем материјала цеви у еластично - пластично стање, граница развлачења која је имала величину σ_{vo} пре оптерећења притиском p_1 повећава се на величину σ_v [6].

2.3. Ожљебљење поступком хладног ротационог истискивања

Ожљебљење цеви мањих димензија и дебљине зида изводи се поступком хладног ротационог истискивања (слика 13). Жљебови добијени таквим технолошким поступком добијају механичке особине делова израђених поступком хладног ротационог истискивања.

При томе се, поред ваљања жљебова, обавља и ваљање цеви као целине. Након ваљања, у зависности од спољашње конфигурације цеви (навоји, отвори за клинове и сл), изводи се обрада резањем [6].



Слика 13. Трн за хладно ротационо истискивање и ожљебљење цеви:
1 и 2 - ожљебљни сегменти трна, 3 - језгро трна, 4 - зупчаста прирубница, 5 - чеп, 6 - држач сегмента [6]

Посебан проблем чини израда вишеделних трнова који омогућавају добијање жљебова овим поступком, јер морају омогућити:

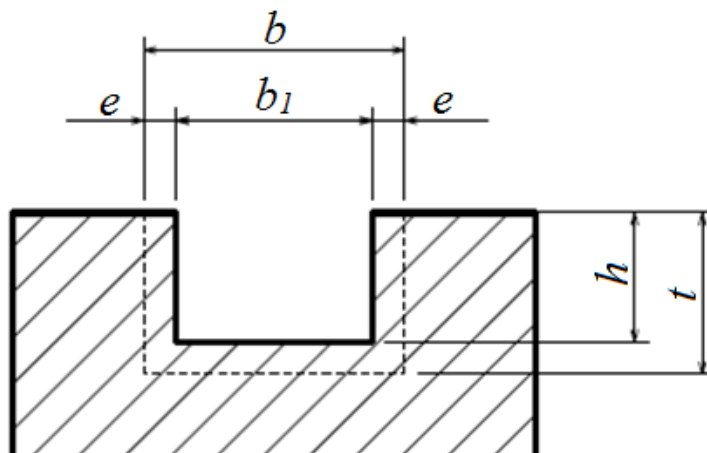
- једноставну монтажу и демонтажу,
- једноставно скидање радног предмета због проблема трења између жљебова на радном предмету и трну.

Припремци за израду и ожљебљење цеви овим поступком треба да испуњавају захтеве дате код припремка за истосмерно и супротносмерно хладно ротационо истискивање.

2.4. Ожљебљење резањем

Данас је најраспрострањеније ожљебљење провлачењем специјалних глава за ожљебљење кроз унутрашњи отвор цеви. Код жљебова ширина $b \leq 12 \text{ mm}$ ожљебљење се изводи помоћу једног комплекта ножева чија је ширина резних ивица једнака ширини жљебова [6].

Ако је ширина жљебова већа од 12 mm, а дубина преко 2,5 mm, ожљебљење се изводи са два главама за ожљебљење, од којих прва има комплет ножева чија је ширина резних ивица $b = (7 - 10)$ mm, а изводи резање до дубине h . За комплет ножева друге главе за ожљебљење оставља се бочни додатак $e = (2 - 2,5)$ mm и додатак по дубини од 0,4 mm (слика 14).



Слика 14. Шема ожљебљења са два комплета ножева [2]

При овом ожљебљењу изводе се грубе и фине операције ожљебљења. Код грубог ожљебљења брзина резања је око 10 m/min, а дубина резања 0,10 - 0,12 mm за сваки радни ход. При фином ожљебљењу остварује се брзина резања од 6 до 9 m/min а дубина резања од 0,06 до 0,08 mm за сваки радни ход. Код последња три радна хода дубина резања не треба да прелази 0,05 mm по једном радном ходу.

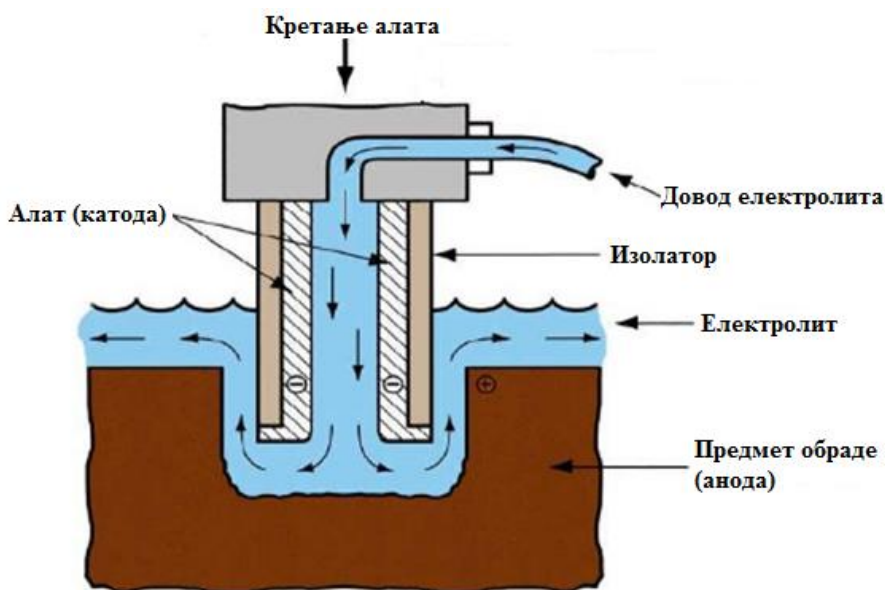
Отворе цеви могуће је ожљебити резањем на један од следећих начина:

- на машинама за ожљебљење вучењем или гурањем главе за ожљебљење кроз унутрашњи отвор цеви,
- на специјалним машинама за провлачење и обичним машинама за ожљебљење, истовременим провлачењем свих жљебова помоћу специјалних провлакача и
- глодањем.

2.5. Основи процеса електрохемијске обраде

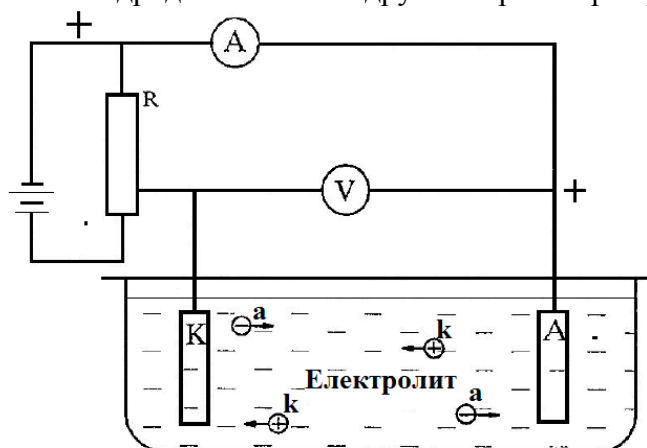
Електрохемијска обрада се заснива на хемијским процесима, који настају при проласку једносмерне струје кроз електрично коло које чине електроде које су у контакту са електролитом (слика 15).

Проласком једносмерне струје, на аноди (предмету обраде) долази до анодног растварања метала и његовог преласка у електролит. Интензивним кретањем електролита растопљени метал се одстрањује из зоне обраде, а предмет обраде поприма облик катодне алате. Алат и предмет обраде се налазе на одређеном растојању [11].



Слика 15. Шема процеса електрохемијске обраде [7]

Основу процеса обраде чине процеси локалног анодног растварања при проласку једносмерне електричне струје високе густине (слика 16), кроз електролит који циркулише. Анодно растварање површинских слојева предмета обраде доводи до измене конфигурације зазора (величине 0,05 - 1 mm) између електрода, прерасподеле густине електричне струје, измене хидродинамичких и других параметара процеса.



Слика 16. Шематски приказ принципа електрохемијске обраде [12]

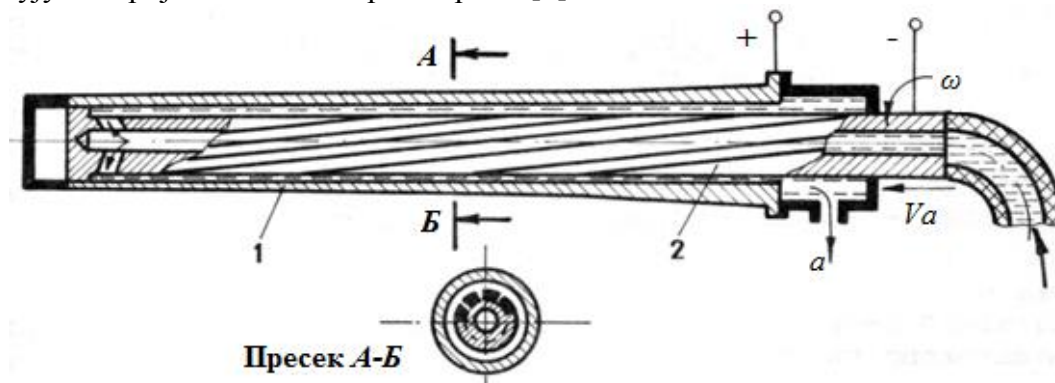
Интензивним кретањем електролита обезбеђује се одношење продуката анодног растварања из зоне обраде и копирање профила катодe на површини аноде, стабилност и висока производност обраде, одвођење топлоте, и одговарајућа вредност осталих показатеља процеса [12].

Зависно од параметра режима обраде разликује се два основна поступка електрохемијске обраде: обрада при константним (постепеним или споро изменљивим) и променљивим (периодичним или импулсним) параметрима обраде (брзина кретања алата, напон, притисак електролита итд).

Велики број конструктивних материјала одлично се обрађује електрохемијским поступком обраде на машинама са константним или постепено изменљивим параметрима режима обраде. Међутим, у неким случајевима као што је, на пример, обрада нерђајућих челика и других тешко-обрадљивих материјала, погодније је користити поступке обраде при променљивим параметрима режима обраде, а најчешће при импулсној промени напона. Трајање импулса се креће у границама од 0,01 - 0,4s. Импулсни режим рада омогућује смањење брзине протицања електролита, поједностављење конструктивног решења машине и система циркулације електролита, побољшање квалитета обраде и сл.

2.5.1. Ожљебљење хемијском обрадом

Код овог поступка аноду представља цев, а катода је обично шипка од месинга у коју су урезани отвори геометријског облика и корака као што су жљебови у цеви. У канале катоде стављају се умети од плексигласа, слика 17. Умети су ширине поља и заштићују материјал од анодног растварања [1].



Слика 17. Шема ожљебљења цеви електрохемијском обрадом: 1 - анода, 2 - катода [1]

Електрохемијско добијање жљебова засновано је на Фарадејевом закону. Катода се помоћу посебног уређаја уводи у цев и креће одређеном аксијалном и обимном брзином, истовремено се електролит температуре 8 до 40 °C доводи под притиском у простор између месингане катоде и отвора цеви. Однешени метал са аноде таложи се у купатилу за хемијско нагарање. При ожљебљењу цеви овим поступком углавном се користи водени раствор кухињске соли NaCl [1].

Као резултат хемијске реакције на аноди (полуфабрикату цеви) образује се пасивирајући слој хидрата гвожђе оксида $\text{Fe}(\text{OH})_3$ који се због непрекидности процеса уклања циркулацијом електролита. После завршетка обраде, у цеви остаје ненагрижени део који представља поља у цеви.

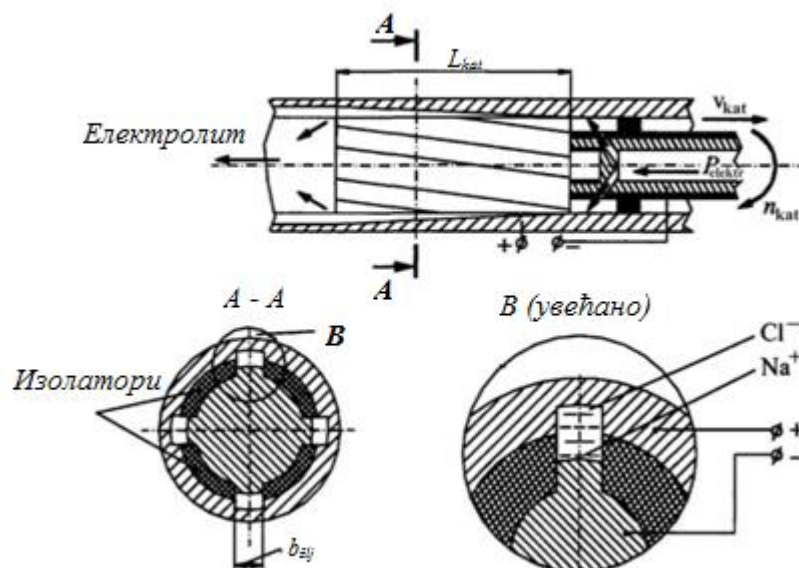
Шема процеса електрохемијске израде жљебова у цевима покретном катодом приказана је на слици 18.

Из шеме се види да струјање електролита пролази кроз изолаторе на катоди распоређене адекватно броју жљебова ширине која је једнака са ширином поља и неопходним углом њиховог увијања у цеви.

Да би жљебови били формирани читавом дужином отвора са неопходном спиралом, катода се при раду, осим аксијалног кретања, мора још и окретати.

Растварање материјала аноде на површини отвора у току пролаза катоде било ког пресека, у том пресеку доводи до стварања отворића одређене дубине. Та дубина зависи од слагања електрохемијских параметара и брзине аксијалног кретања катоде и мора се добијати у току растојања које пролази катода, једнаког њеној дужини.

У тренутку отпочињања аксијалног кретања катоде дубина жљеба биће једнака нули.



Слика 18. Шема електрохемијског добијања жљебова покретном катодом [1]

Процес електрохемијског ожљебљења обично пролази кроз две фазе:

- на почетку се отвор обрађује цилиндричном катодом на глатко,
- затим се обавља процес ожљебљења.

На пример, додатак за обраду на глатко за топ калибра 23 mm износи од 0,7 - 0,8 mm по пречнику. Квалитет одвијања електрохемијског процеса на глатко и ожљебљења зависи од зазора између површине отвора која се обрађује и изолатора катоде. На пример, за цев калибра 23 mm ти зазори износе 0,02 mm [1].

Конструкције тих катода за такве операције дате су на слици 19.

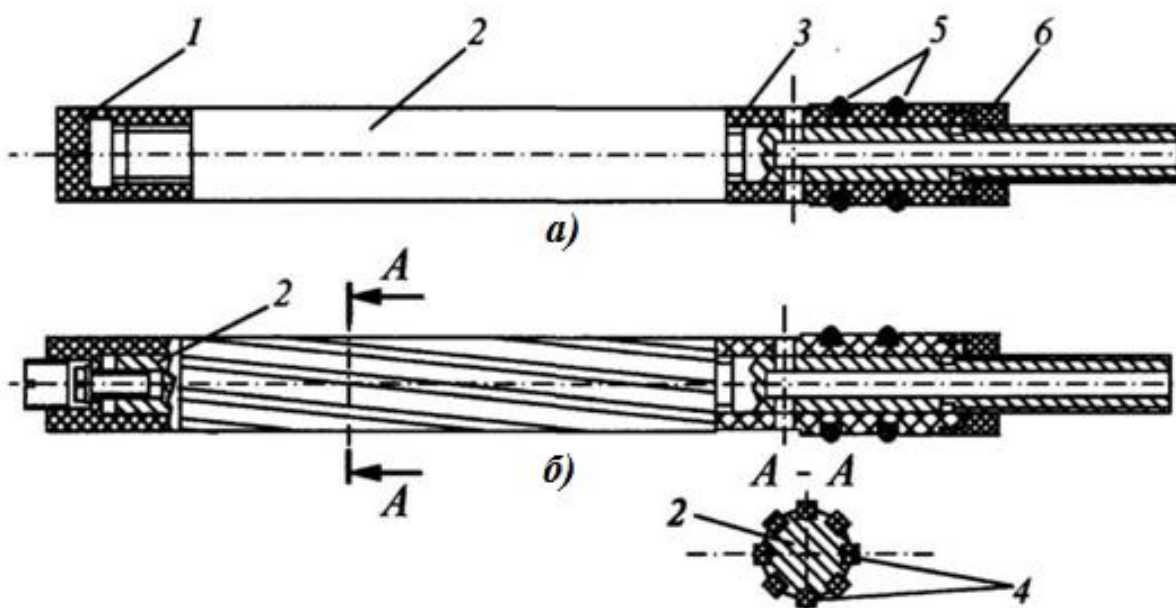
Табела 4. Режији електрохемијске обраде отвора цеви и састав електролита [1]

Напон	10 - 15	V
Густина струје	20	A/cm ²
Брзина циркулације електролита на катоди	8 - 12	m/s
NaCl	20	%
H ₂ O	80	%

После обављања операције електрохемијске обраде отвора припремак се пажљиво испира врелом водом, хладном водом и пасивизирајућим раствором чији је састав дат у табели 2.

Табела 5. Састав пасивизирајућег раствора [1]

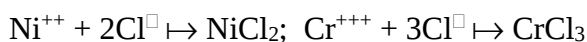
Домаћи сапун	10,1 - 15	%
Калцинирана сода	2 - 2,5	%
Вода	87,5 - 88	%



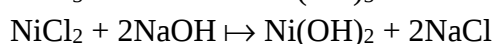
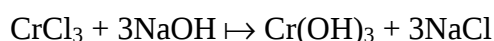
Слика 19. Конструкција катода за електрохемијску обраду отвора цеви: а - катода за обраду отвора на глатко, б - катода за израду жљебова [1]

При електрохемијском ожљебљењу, нпр. челика легираних с никлом и хромом у воденом раствору натријум-хлорида (NaCl), процес анодног растварања тече према следећем поступку [1]:

Јони хлора, који се налазе у раствору, ступају у реакцију с никлом и хромом у воденом раствору натријум-хлорида (NaCl), процес анодног растварања тече према следећем поступку:



Дисоцирана хлоридна једињења никла и хрома ступају у реакцију с натријум-хидроксидом:



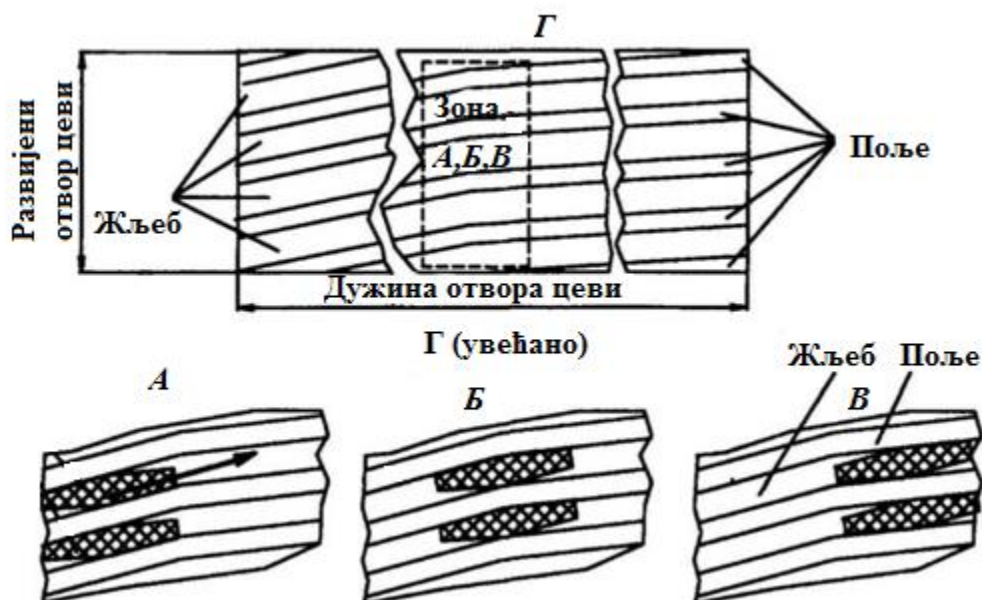
Хидрати метала се сједињују у колоидне честице, димензија $0,1 \div 10 \mu\text{m}$, и талоче на површини аноде. На катода се издваја водоник.

Посебно треба истаћи задатак потребе добијања цеви малог калибра са жљебовима променљиве завојнице. Шеме ожљебљења које смо раније разматрали (шпалирање, дорновање, електрохемијско ожљебљење и радијално ковање) не дозвољавају добијање променљиве завојнице ожљебљења.

Овај задатак се може решити реално за калибре 15 | 16 mm применом главе за стругање са једним ножем. Тај процес је крајње непродуктиван, јер се сваки жљеб мора радити појединачно. У главу алата ових калибара конструкционо је немогуће убацити неколико ножева.

За стрелачке калибре могућа је примена шпалира са једном резном ивицом, што захтева веома велики утрошак времена за израду једне цеви, а за серијску или масовну производњу, оваква шема је нереална. Интересантан је један уређај који се појавио 1950. године за електрохемијску обраду отвора цеви аутоматских топова калибра 23 mm. Главна особеност овог уређаја била је катода, чије су радне ламеле биле не у правоугаоним, већ у ромбоидним плочама.

Шема тог ожљебљења са променљивом завојницом приказана је на слици 20.



Слика 20. Шема електрохемијске израде жљебова променљивом завојницом [1]

При разматрању шеме у зонама А, Б, В (зоне промене завојнице жљебова) положај ромбоидних ламела очигледно дају могућност обраде криволинијског жљеба. Несумњиво, у тим зонама, захваљујући копиру, или програму програмског управљања, мора се мењати брзина окретања катоде при њеном сталном аксијалном покретању.

Технологија електрохемијске обраде жљебова у отвору цеви спроводи се кроз неколико фаза [1]:

- Припрема машине за рад,
- Редослед процеса ожљебљења,
- Редослед регулисања процеса.

После извршеног ожљебљења обавља се хемијска обрада отвора цеви због одстрањења свих остатака електролита од операције нагризања и спречавања процеса оксидације унутрашњег отвора цеви.

Процес се изводи овим редоследом:

- прање цеви у хладној проточној води,
- прање у кади раствором од 5 до 6 % каустичне соде, при температури од 60°C,
- прање у кади хладном проточном водом, потапањем цеви,
- прање у кадама сапуницом, која садржи 15 до 30 g/l сапуна и 1,5 до 3 g/l калциниране соде, при температури од 70 до 90 °C,
- сушење радног предмета на ваздуху,
- подмазивање вретеновим уљем.

3. Анализа захтева за унутрашњу трасу цеви цеви за метак 7,62x54 mm (R)

3.1. Метак 7,62x54 mm (R)

Метак калибра 7,62x54 mm (R) је најстарији метак који се данас примењује у војскама широм света, а датира још из времена Руског царства. Метак је дизајниран 1881. године, а са масовном производњом се почело 1891. године. Метак је конструисан за пушку Mosin-Nagat. Овај метак се у Русији данас користи за снајперску пушку „Dragunov“, као и за друге пушке овог калибра [16].

Овај калибар је сличан НАТО калибру 7,62x51 mm. У 21. веку овај метак има сврху код снајперских пушака, пушкомитраљеза и митраљеза. Неке од снајперских пушака које су користила овај метак су:

- Mosin - Nagat,
- Winchester Model 1895,
- AVB-7,62,
- AVS-36,
- Dragunov,
- SV-98.

Митраљези који су користили овај калибар су:

- DS-39,
- PK mitraljez,
- PV-1 mitraljez,
- SG-43 Gorjunov,
- UK vz 59,
- Zastava M84.

Метак 7,62x54 mm (R) (слика21) се користио и користи се широм света, а самим тим је коришћен и у бројним ратовима. Неки од ратова где се користио овај пројектил су:

- Руско – Јапански рат,
- Светски рат,
- Октобарска револуција,
- Други светски рат,
- Рат између СССР-а и Авганистана,
- Рат на простору бивше СФР Југославије.

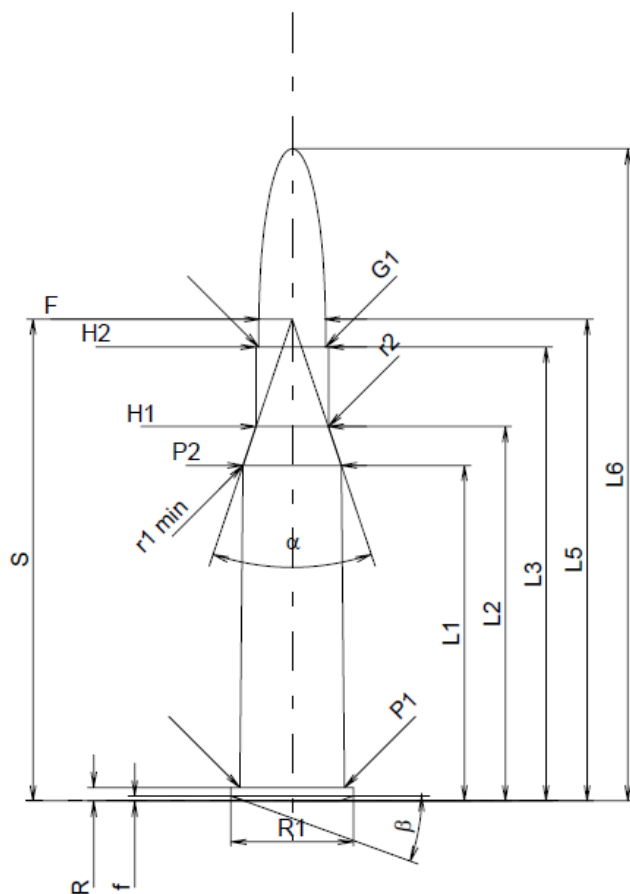


Слика 21. Метак 7,62x54 mm (R)

3.2. Захтеви за метак 7,62x54 mm (R)

На слици су приказане димензије које мора имати метак 7,62x54 mm (R) како би задовољио захтеве за кретање кроз унутрашњу трасу цеви калибра 7,62 mm. Димензије које се односе на чауру захтевају одређене димензије барутне коморе и прелазног конуса. Димензије које се односе на пројектил захтевају одређене димензије водишта пројектила.

На слици 22 приказана је скица метка 7,62x54 mm (R) а у табели 6 су дате вредности свих димензија са приказане скице. Димензије овог метка се препоручују за цев дужине 600±10 mm.



Слика 22. Скица метка 7,62 x 54 mm (R) [19]

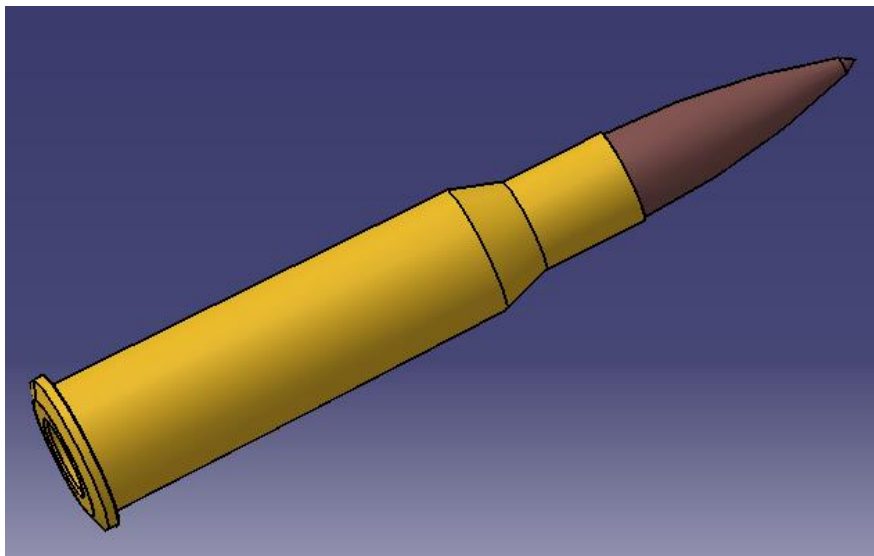
Табела 6. Приказ вредности свих ознака са слике 22

Ознака	Вредност	Ознака	Вредност
L1	39.70 mm	B	20°
L2	44.50 mm	P2	11.61 mm
L3	53.72 mm	α	37°01'09"
L5	57.00 mm	S	57.04 mm
L6	77.16 mm	r1min	0.50 mm
R	1.60 mm	r2	0.50 mm
R1	14.48 mm	H1	8.53 mm
f	0.60 mm	H2	8.53 mm

Метак 7,62x54 mm (R) је једноделни (сједињени метак) и захтева барутну комору која има спојни конус и конус урезавања. На спојни конус барутне коморе наслања се конус метка а конус урезавања служи за урезавање кошуљице пројектила. Ожљебљење почиње при крају конуса урезавања.

Технички цртеж метка и све вредности датих димензија преузете су из *Commission Internationale permanente Pour l'Epreuve des Armes à Feu portatives*.

На слици 23 је приказан метак 7,62x54 mm (R) који је измоделиран у софтверском пакету CATIA V5R21 - Part Desing. Модел је направљен на основу димензија преузетих из *Commission Internationale permanente Pour l'Epreuve des Armes à Feu portatives*.



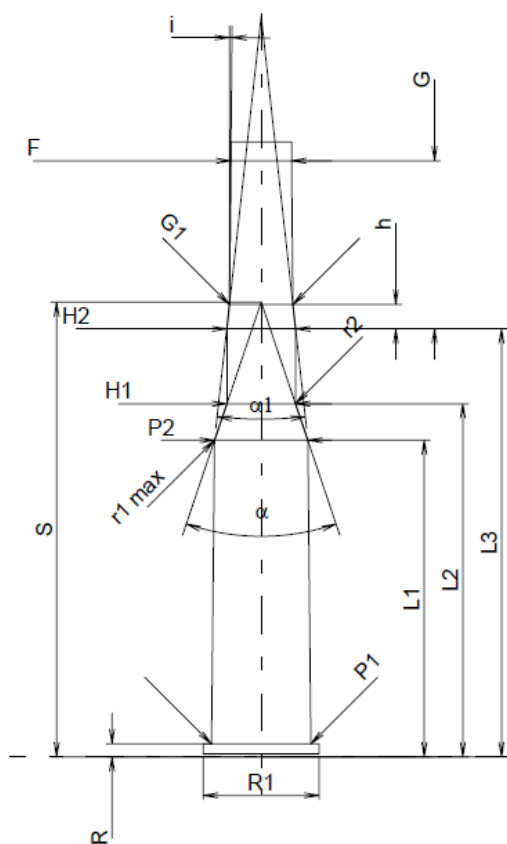
Слика 23. Модел метка 7,62x54 mm (R)

3.3. Захтеви за унутрашњу трасу цеви калибра 7,62 mm

На слици 24 приказане су димензије унутрашње трасе цеви калибра 7,62 mm које мора имати цев након свих технолошких операција. Захтеви за унутрашњу трасу цеви произилазе из димензија претходно описаног метка.

Димензије које су дате на слици 24 углавном се односе на димензије барутне коморе и димензије у зони прелазног конуса.

На слици 24 дате су ознаке свих геометријских величина унутрашње трасе цеви калибра 7,62 mm, а у табели 7 су приказане вредности свих величина са слике.



Слика 24. Захтеви за унутрашњи део цеви калибра 7,62mm [19]

Табела 7. Приказ вредности свих величина са слике 24

Ознака	Вредност	Ознака	Вредност
L1	39.73 mm	r2	0.50 mm
L2	44.30 mm	H1	8.61 mm
L3	53.70 mm	H2	8.60 mm
R	1.63 mm	G1	7.93 mm
R1	14.50 mm	G	21.08 mm
P1	12.48 mm	α_1	12°31'48"
P2	11.68 mm	h	3.05 mm
α	37°14'45"	i	0°29'33"
S	57.06 mm	F	7.62 mm
r1max	0.50 mm	Z	7.92 mm

Последње две димензије F и Z односе се на водиште пројектила. Ознака F представља калибар у водишту пројектила а ознака Z представља растојање између два жљеба у водишту. Димензије у водишту пројектила представљају основни захтев за правилно кретање пројектила калибра 7,62 mm.

Приказана чаура метка 7,62x54 mm (R) пројектована је за максимални притисак барутних гасова од 4875 bar-а. Степен сигурности захтева да се ова чаура пуни барутним зрнцима чији максимални притисак при опаљењу може износити 3900 bar-а. Енергија метка 7,62x54 mm (R) износи 3960J.

Приказана унутрашња траса цеви треба да има 4 жљеба ширине $3,81^{+0.1}$ mm. Корак увијања у водишту треба да буде 240mm, а површина попречног пресека на почетку ожљебљења $47,99 \text{ mm}^2$.

Финалне мере унутрашњег отвора цеви добијају се технолошким процесом хромирања. Хромни слој који се наноси на унутрашњи отвор цеви мора да задовољи унапред дефинисане захтеве, којима се обезбеђује његов квалитет, временска и експлоатациона постојаност. Из тих разлога за хромни слој дефинишу се:

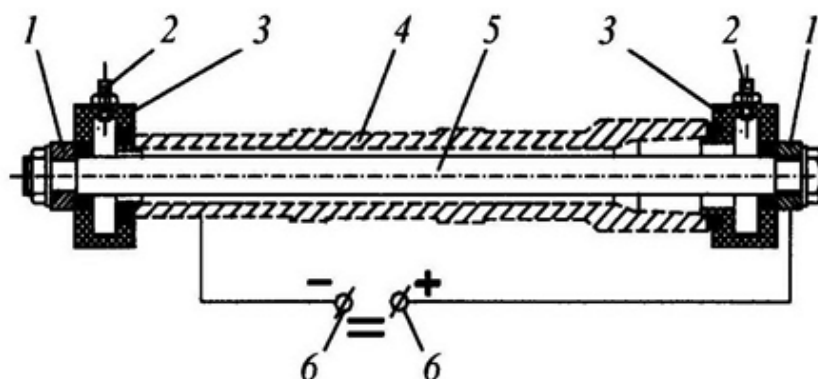
Захтеви за квалитет:

- Хромни слој мора да задовољи захтеве стандарда народне одбране - СНО 2328

Захтеви за дебљину хромног слоја и његов утицај на димензије унутрашњег отвора цеви и методологију провере:

- Минимална дебљина хромног слоја у водишту пројектила треба да буде 0.01 mm, а у лежишту 0.005 mm,
- Дебљина се одређује као разлика пре и после хромирања,
- Мера калибра хромиране цеви мора бити у границама $7,62^{+0.02}$ mm.

Хромирање отвора и лежишта метка аутоматског оружја доста широко се примењује у циљу повећања издржљивости цеви и дуготрајнијег чувања оружја. На слици 25 приказана је шема процеса хромирања.



Слика 25. Шема хромирања отвора цеви оружја: 1 - навртка, 2 - млазница за довод електролита, 3 - спојница, 4 - цев оружја (катода), 5 - анода, 6 - извор напајања [2]

Хромирање се врши протоком електролита загрејаног до $50 \div 60$ °С. Његов приближни састав изгледа овако:

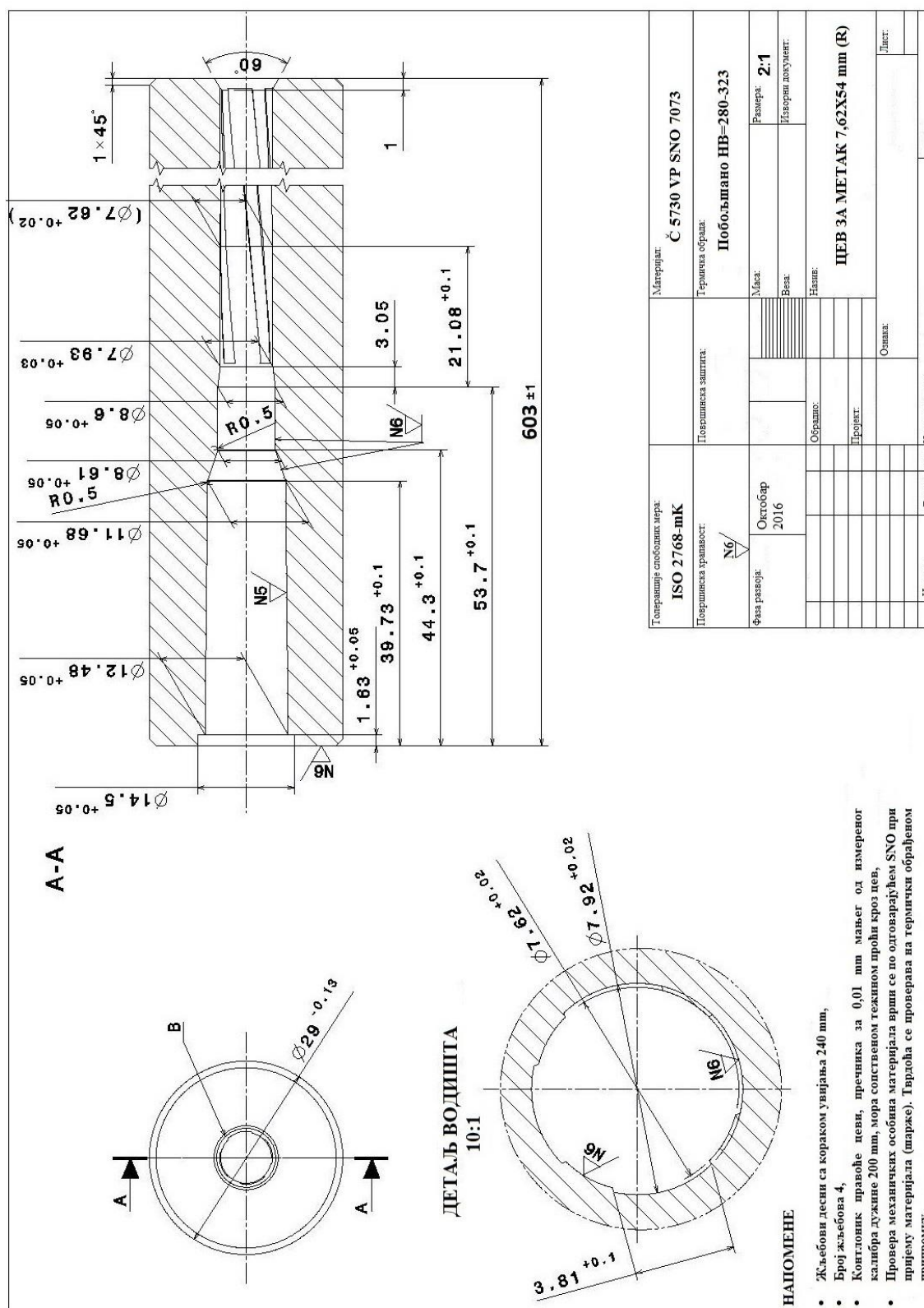
- хромтриоксид CrO_3 , (150g),
- сумпорна киселина H_2SO_4 , (1,5g),
- вода H_2O , (1l).

Равномерност наношења хрома битно утиче на експлоатационе карактеристике отвора цеви. Она зависи од квалитета припреме површине отвора за хромирање, од стабилности одржавања режима процеса и од прецизности положаја аноде у односу на осу отвора [1].

Основни фактори који утичу на квалитет хромне превлаке су: састав електролита, температура електролита и катодна густина струје. На радни интервал температуре и густине струје, као и на својства превлака хрома, утичу такође, режим примењене струје и мешање електролита..

Технолошким поступком хромирања, код ове цеви обезбеђено је:

- Смањење броја застоја при употреби,
- Значајно продужење века трајања цеви,
- Повећана тврдоћа унутрашњег отвора цеви,
- Побољшани услови клизања у систему цев-пројектил,
- Смањење силе оптерећења у систему цев-пројектил,
- Повећана отпорност на топлоту у унутрашњем отвору цеви,
- Смањење абразије водишта пројектила,
- Смањење корозије водишта пројектила,
- Смањење ерозије водишта пројектила и
- Могућност репарације (дехромирање и поновно хромирање).



Слика 26. Цртеж ожељевљене цеви калибра 7,62 mm [10], [19]

4. Анализа захтева за унутрашњу трасу припремка цеви оружја за метак 7,62x54 mm (R) пре ожљебљења

Балистички циклус у цеви оружја је екстремно кратак и траје неколико милисекунди. У том кратком времену цев је подвргнута екстремно високим температурама, брзом преносу притиска и инерцијалним силама [5].

У том циљу посвећује се посебна пажња свим технолошким процесима обраде унутрашње трасе цеви. Технолошки процеси обраде унутрашње трасе цеви кроз које пролази припремак цеви оружја су: дубоко бушење, развртање, полирање и електрохемијско нагризање унутрашње трасе цеви у циљу добијања ожљебљења.

За производњу цеви оружја калибра 7,62 mm користе се ваљане шипке цилиндричног облика од високо квалитетног легираног челика по досадашњој ознаци Č.5730VP по SNO 7073 или 30HH2BA по GOST-у 5160-70.



Слика 27. Ваљане шипке које се користе за производњу цеви калибра 7,62 mm

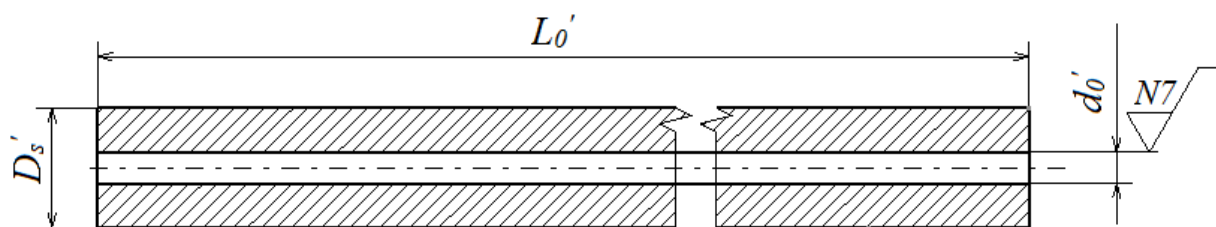
Шипке које су приказане на слици 27 набављају се са мером пречника D_s' који обезбеђује мере финалне цеви и зависна је од дефинисаних додатака за спољашњу обраду цеви оружја.

Од таквих шипки, најпре се формира припремак цеви дужине L_o' који се термички обрађује уз услов да тврдоћа задовољи захтев: HB = 280 - 323 ($R_m = 952 - 1148 \text{ N/mm}^2$).

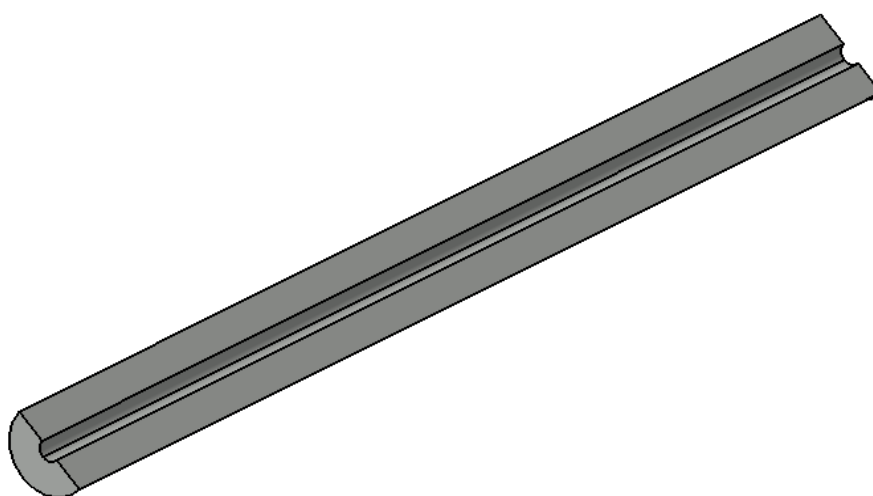
На припремку цеви врши се спољашња обрада и припрема крајева за дубоко бушење са конусима за центрирања при стезању припремака у стезну главу.

Затим се врши дубоко бушење таквог припремка цеви, при чему се формира унутрашњи пречник са квалитетом обраде површине N7 до N8.

После технолошке операција дубоког бушења врши се операција развртања унутрашњег отвора цеви оружја калибра 7,62 mm на пречник d_o' који износи $7,68^{+0,04} \text{ mm}$, са квалитетом обраде N7 (слика 28).

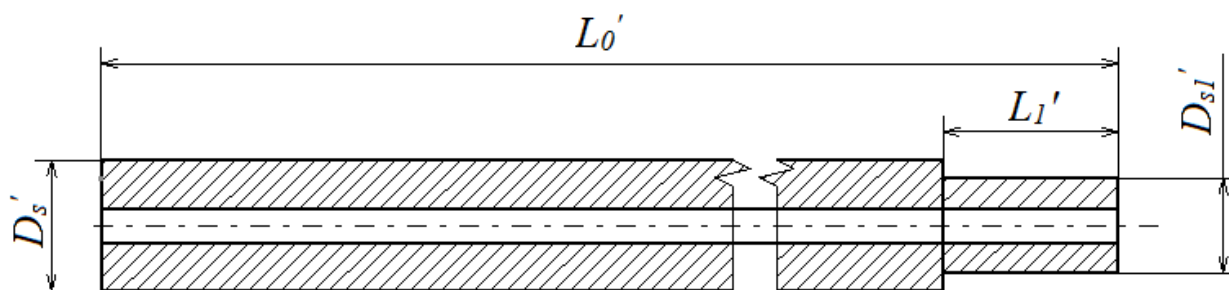


Слика 28. Уздужни пресек цеви после поступка дубоког бушења и развртања са унутрашњом мером и са мером квалитета обраде



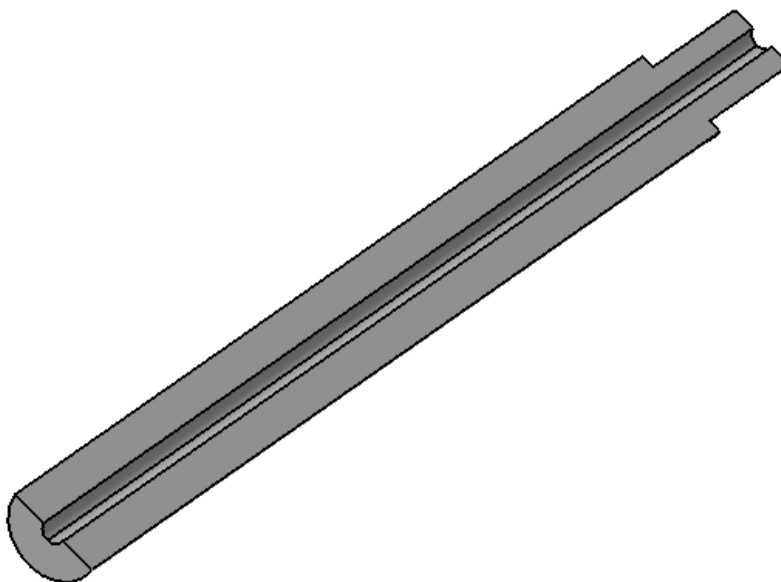
Слика 29. Модел аксонометријског попречног пресека цеви након технолошких операција дубоког бушења и развртања

Да би се обезбедило поуздано и тачно стезање припремка цеви при полирању, спољашњост задњег дела цеви на дужини L_1' , обрађује се на пречник D_{s1}' . На пречник D_{s1}' обрађује се дужина 40,5 mm од дна цеви (слика 30).



Слика 30. Уздужни пресек цеви после спољашње обраде на пречник D_{s1}' на дужини L_1'

На слици 31 приказан је аксонометријски приказ цеви након обраде спољашњег задњег дела цеви. Модел цеви је урађен у софтверком пакету CATIA V5R21-Part Desing.



Слика 31. Модел аксонометријског попречног пресека цеви након спољашње обраде задњег дела цеви



Слика 32. Припремци цеви калибра 7,62 mm спремни за електрохемијску обраду

У циљу постизања потребног квалитета N5 до N6 за површину унутрашњег отвора, на припремку цеви се затим врши електрохемијско полирање тог унутрашњег отвора са остварењем пречника d_0 .

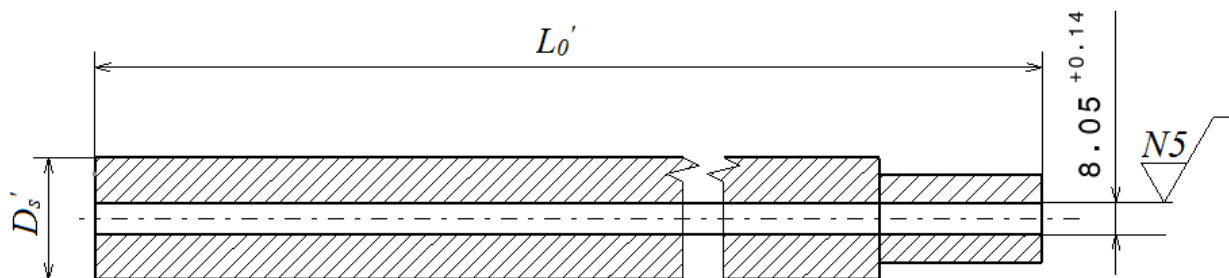
Процес електрохемијског полирања врши се анодним растварањем материјала са непокретном катодом (слика 33). Потпуна равномерност обраде се постиже равномерним струјањем електролита [17].



Слика 33. Катода са заптивним елементима убачена у припремак цеви калибра 7,62mm

Катода за електрохемијско полирање припремка цеви 7,62 mm је исте дужине као и сам припремак, дебљина катодe је 6 mm.

Пречник припремка цеви који је добијен дубоким бушењем и развртањем износио је $7,68^{+0,04}$ mm, после операције електрохемијског полирања износи $d_0''=8,05^{+0,140}$ mm (слика 34), са квалитетом обраде унутрашњег отвора цеви N5.



Слика 34. Уздужни пресек цеви после поступка електрохемијског полирања са унутрашњом мером и са мером квалитета обраде унутрашњег отвора цеви

Затим се врши ожљебљење унутрашње трасе цеви електрохемијским нагризањем непокретном катодом уз равномерно струјање електролита. При томе се остварује ожљебљење са десним кораком увијања од 240 ± 10 mm, са квалитетом површине N6.

Ожљебљењем се добијају жљебови ширине $3,81^{+0,1}$ mm, а пречник два наспрамна жљеба износи 8,31 mm. Пречници жљебова раде се у толеранцији од 0,03 до 0,06 mm.

Након електрохемијског ожљебљења врши се хромирање унутрашњег канала цеви. Пречник два наспрамна поља после технолошке операције хромирања износи $7,92^{+0,140}$ mm.

5. Анализа карактеристика и параметара технолошког поступка ожљебљења електрохемијским нагризањем

Основна подела електрохемијске обраде отвора разврстава се према врсти кретања коју реализују предмет обраде, алат (катода) и електролит. На основу овога разликују се следећи поступци обраде.

- Између предмета обраде и цилиндричног алата (катоде) не постоји међусобно померање, у правцу обраде креће се једино електролит,
- предмет обраде је непомичан, цилиндрични алат (катода) у односу на њега ротира, а електролит реализује помоћно праволинијско кретање,
- предмет обраде мирује, цилиндрична катода се помера праволинијски у оси предмета обраде, а електролит струји у правцу обраде брзином $V_{elek} > V_{kat}$,
- предмет обраде мирује, конусна катода се помера праволинијски по оси предмета обраде, а електролит струји у правцу обраде брзином $V_{elek} > V_{kat}$,
- цилиндрична катода се помера праволинијски по оси предмета који ротира, електролит струји у правцу кретања катоде брзином $V_{elek} > V_{kat}$,
- конусна катода се помера праволинијски по оси предмета обраде који ротира, електролит струји у правцу кретања катоде брзином $V_{elek} > V_{kat}$ [11],

где су:

V_{elek} – брзина кретања електролита,

V_{kat} – брзина померања катоде.

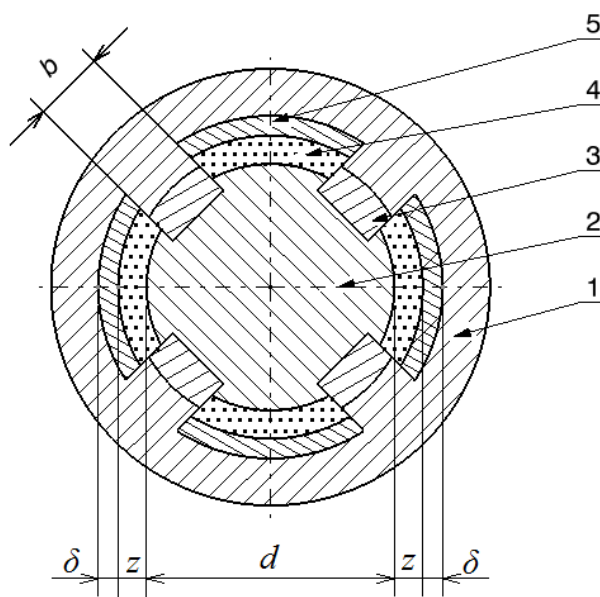
Који ће се поступак обраде применити зависи пре свега од могућности одржавања стабилности технолошких параметара у строго прописаним границама и геометријских карактеристика како површине која се обрађује, тако и од контура и од габарита производа. Ми ћемо применити први наведени поступак због:

- захтеване високе стабилности свих параметара везаних за електролит, алат, предмет обраде и електричну струју,
- лаког, једноставног и тачног центрирања катоде - алата у предмету обраде,
- потребне тврдоће и стабилности катоде - алата при протицању електролита и одсуства попречних померања и
- стабилне - непроменљиве брзине струјања електролита дуж осе обраде и релативно стабилне електропроводљивости електролита дуж целе површине која се обрађује.

Код овог поступка аноду представља цев, а катода је обично шипка од бакра у коју су урезани отвори геометријског облика и корака као што су жљебови у цеви. У канале катоде стављају се умети од плексигласа. Умети су ширине поља и штите материјал од анодног растварања. Однешени метал са аноде таложи се у купатилу за хемијско нагризање. При ожљебљењу цеви овим поступком углавном се користи водени раствор кухињске соли NaCl.

Слој електролита под притиском p , и брзином струјања V_{sr1} , на почетку обраде за време t раствори сегмент материјала (1.1), који је приказан на слици 36, прстенастог попречног пресека унутрашњег пречника $d+2z$, дебљине $d\delta_{11}$ и дужине $d l_{11}$. Слој електролита (1) по завршетку обраде носи са собом честице раствореног сегмента (1.1)

материјала и потиснут од наредног слоја (2) наставља кретање у правцу обраде, растварајући сегмент материјала (1.2) [11].

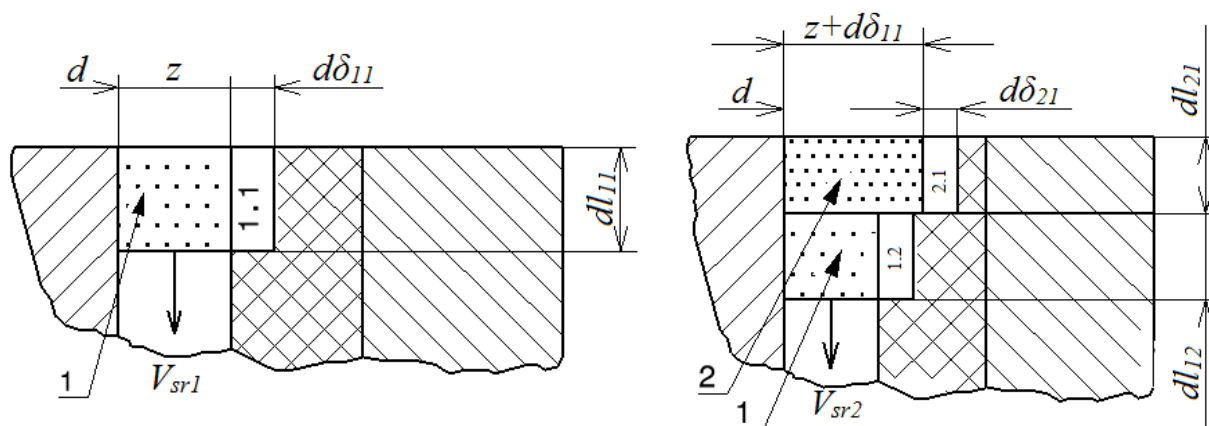


Слика 35. Геометрија обраде од припремка цеви до ожљебљења цеви:

1 - радни предмет, 2 - алат (катода), 3 -изолациони материјал, 4 - електролит, 5 - додатак за електрохемијску обраду [12]

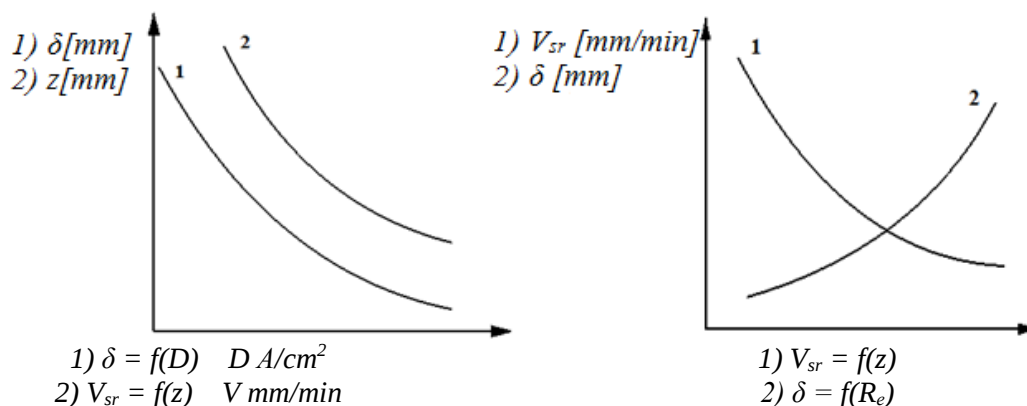
Електролит (1) због присуства честица раствореног материјала не поседује више иста својства (специфична проводљивост, густина), што при даљој обради има за последицу промену режима обраде сегмента (1.2). У међувремену нови слој електролита (2) долази на место електролита (1), услед повећања зазора за величину $d\delta_{11}$, смањиће се брзина струјања која сада износи V_{sr2} , смањиће се густина струје, а повећати дубина растварања (слика 37), $\delta=f(D)$.

Повећањем зазора $d\delta_{11}$ смањиће се брзина промене димензије у правцу обраде $V=f(z)$.



Слика 36. Шематски приказ растварања метала: 1, 2 - електролит [12]

Бочни зазори настали растварањем сегмената материјала смањују брзину обраде по дубини захвата, међутим у правцу обраде по "дужини" захвата зазори су још увек мањи, па је анализирајући слојеве електролит, брзина промене димензија сегмената у правцу струјања електролита већа [11].



Слика 37. Међусобна зависност параметара електрохемијске обраде [12]

На слици 37 приказана је међусобна зависност параметара електрохемијске обраде где су:

$\delta, [mm]$ - дебљина однешеног материјала из зоне обраде,

$z, [mm]$ - дебљина прстенастог попречног пресека кроз који се креће електролит,

$V_{sr}, \left[\frac{mm}{min} \right]$ - средња брзина кретања електролита,

$D, \left[\frac{A}{mm^2} \right]$ - густина електричне струје,

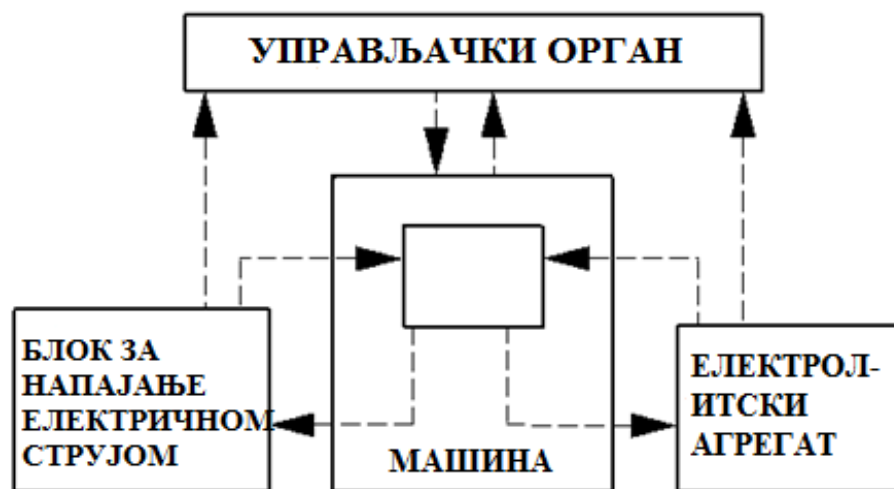
$R_e, [\Omega]$ - електрични отпор електролита.

Начин израчунавања величина D , R_e и V_{sr} објашњен је у поглављу 5.3.

5.1. Инсталација за електрохемијску обраду

Инсталација за електрохемијску обраду (слика 38) се у основи састоји од [12]:

- машине алатке,
- извора напајања,
- система циркулације електролита и
- система контроле и управљања процесом електрохемијске обраде материјала.



Слика 38. Структурна (блок) шема инсталације за електрохемијску обраду [11]

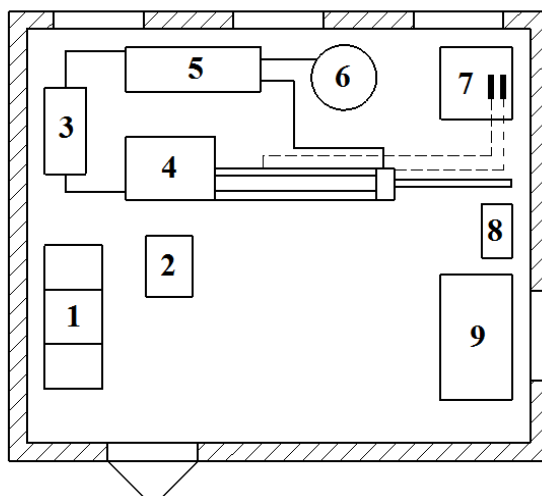
Због корозивног дејства електролита, пожељно је да неки агрегати (извор за напајање електричном струјом, органи за управљање и др) буду изоловани од хидрауличних агрегата. Под дејством влаге и паре електролита може доћи до оштећења електричних и електронских уређаја [12].

У пракси се примењује неколико варијанти размештања агрегатне опреме:

1. Уколико је машина за електрохемијску обраду укључена у аутоматску линију између машина за механичку обраду, добијају се краћи транспортни путеви производа у току његове обраде, мању захваћену површину и мањи губитак енергије. Међутим, тада је мања радна сигурност електронских уређаја машине, а већа је опасност од корозије суседне опреме и сложенији је систем вентилације. Поред овога може доћи до падања струготине по водовима за електричну струју од суседних металопрерађивачких машина, и то може да проузрокује кратак спој и оштећење система за напајање.

2. Постављањем машине у одвојену просторију, избегавају се напред наведени недостаци, али се продужују транспортни путеви и инвестициона улагања за организацију радног места. На слици 39 је приказана шема овако постављене инсталације. У одељење за електрохемијску обраду треба да се доведе вода до хелија и у систем за хлађење органа за напајање електричном енергијом, да се предвиде резервоари за сакупљање воде и електролита, да се доведе компримовани ваздух и др. Под је поплочан са отворима за одвођење течности у канализацију. Одељење треба да буде снабдевано и системом за вентилацију.

Данас се у индустријској примени налази велики број различитих инсталација за електрохемијску обраду које се међусобно разликују како по својој намени, тако и по конструктивном решењу. Покушај да се направи једнозначна класификација инсталације за електрохемијску обраду наилази на озбиљне потешкоће, зато што оне представљају комплексну структуру, при којој често и при инсталацији за исту намену електронски агрегат може да има различита конструктивна решења, док системи за различите намене имају низ заједничких елемената [12].



Слика 39. Диспозициона шема распореда инсталације за електрохемијску обраду са једном машином [12]:

1 - машина, 2 - извор електричне енергије, 3 - сталак за прибор, 4 - када за чишћење делова, 5 - резервоар за електролит, 6 - пумпа, 7 - агрегат за регулисање састава електролита, 8 - агрегат за прочишћавање електролита, 9 - складиште за чување хемикалија електролита

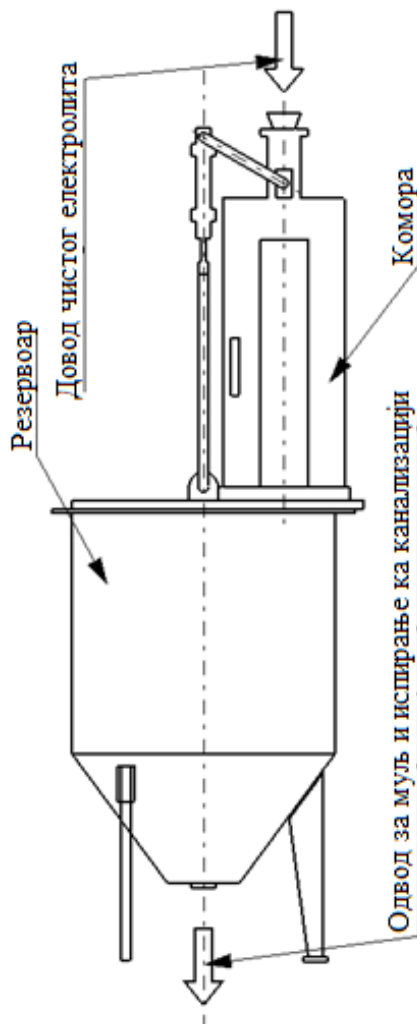
Међутим, уколико се узме да машина представља извршни орган у инсталацији по којој се одређује намена инсталације, погодна је класификација система за електрохемијску обраду по врсти машина заступљених у инсталацији.

Машине за електрохемијску обраду се деле на основу различитих критеријума:

- по технолошкој намени,
- по кретању електроде - алата,
- по степену универзалности,
- по нивоу аутоматизације,
- по габаритним димензијама и др.

5.2. Машине и алати

Компоненте постројења за електрохемијско ожљебљење отвора у функцији су остварења свих кретања електролита без којег је процес разарања материјала немогућ. Дефинисати начин припреме, хлађења и филтрирања, помоћне и главне резервоаре и цевоводе, начин заптивања, притисак и проток између предмета обраде и алата (катоде) и потребну мерну технику и манипулацију са запрљаним електролитом, значи одредити основну производно-технолошку основу и структуру за постројење у целини. Шематски приказ машине за електрохемијску израду жљебова у унутрашњем отвору цеви представљен је на слици 40.



Слика 40. Шематски приказ машине за електрохемијску израду ожљебљења цеви [12]

Количина потребног електролита у оквиру постројења за електрохемијску обраду зависи од: производности процеса, брзине хлађења, броја хидрауличких компоненти у којима је радни медијум, дужина и пречника цевовода, начина пречишћавања и допуштене максималне температуре у самом процесу обраде. Запремина резервоара W која ће прихватити сву потребну претходно дефинисану количину електролита одређује се једначином [11]:

$$W = 60 \frac{q \cdot m \cdot t}{q_1} \quad (5.1)$$

где су:

$q, \left[\frac{g}{\min} \right]$ - количина однетог материјала при електрохемијској обради,

$q_1, \left[\frac{g}{l} \right]$ - максимална дозвољена запрљаност електролита,

$t, [\min]$ - време растварања и

m - временски коефицијент анодног растварања.

Може се закључити да примена система за пречишћавање електролита битно смањује запремину резервоара.

– Резервоар запремине $W=2000\text{l}$, обезбеђује смештај електролита и система за хлађење. На њему се налазе прикључци за термометар, довод хладне и одвод топле воде, одвод електролита ка систему за филтрирање и испирање резервоара.

– Хидраулична инсталација се састоји из: пумпе, филтера, електроVENTИЛА, вентила за регулацију притиска и елемената за довод електролита у зону обраде као и система за хлађење електролита и електро блока.

– Електро блок као елемент аутоматизације дефинише све параметре електричне струје као главног чиниоца процеса електрохемијске обраде. Осим овог задатка, елементи електроблока обезбеђују квалитетну заштиту од било каквог поремећаја у току процеса.

Резервоар за припрему електролита. Састоји се из посебне перфориране преграде у коју се сипа NaCl , а са друге стране се преко цевовода доводи чиста вода. На посебним бочним носачима је електромотор са редуктором из којег излази вратило са пропелерима, чијим се радом врши мешање раствора, док се предвиђена количина соли не растопи у води. На дну резервоара је отвор који цевоводом и пумпом врши претакање чистог електролита у посебне радне резервоаре.

Резервоар за смештај електролита који кружи у циклусу обраде. Резервоари су међусобно спојени запремине од по 1m^3 и имају заједнички одвод за испуштање талога и испирање. У њима је уроњена бакарна спирала кроз коју протиче хладна вода при чему се из електролита одводи створена топлота.

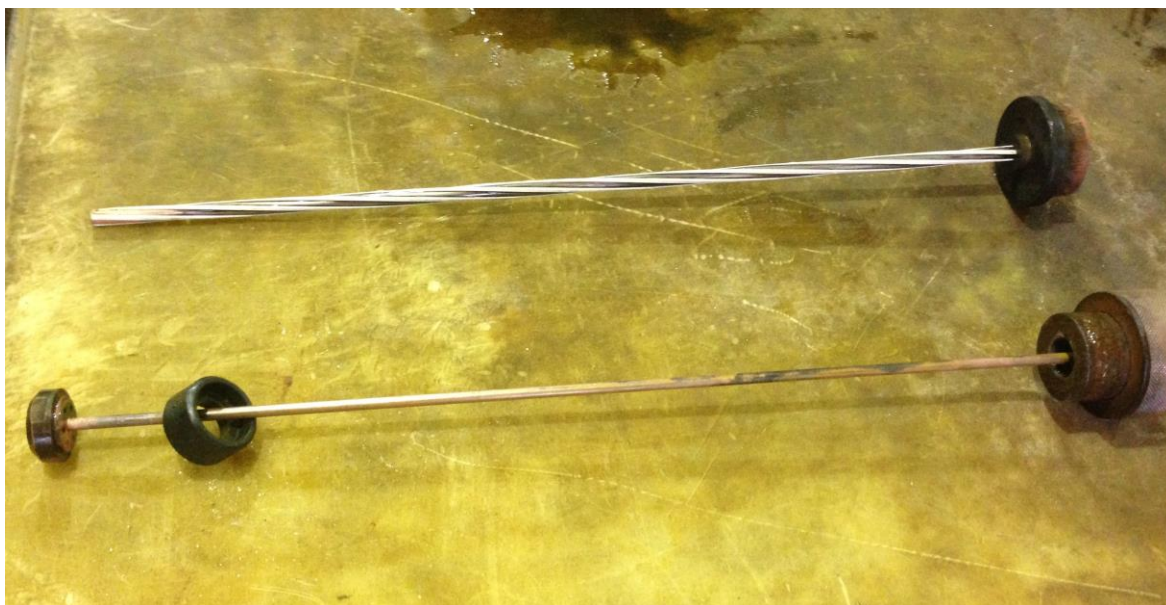
Хемијско одмашћивање и испирање. Састоји се из две међусобно одвојене целине. У левом делу су грејачи који загревају раствор воде и мерипула (115l воде на $1,5\text{ kg}$ мерипула), а у другој прегради је чиста вода у којој се врши испирање претходно одмашћених цеви. Свака преграда има посебан довод чисте воде, као и одвод за испирање садржаја и талога и одвођење истог у канализацију.

Када са уређајем за чишћење и прање цеви. Изграђена је од челичног лима са ојачањима од нестандартних лимених профила. Опремљена је грејачима, прикључцима за прање, пражњење и прелив. Радни медијум је раствор воде и перила (400 l воде на 1 kg перила).

Алат. Као алат за електрохемијско ожљебљење користи се катода која је израђена од бакра. Бакар се користи зато што треба да задовољи основне захтеве процеса електрохемијске обраде. То значи да су основне особине материјала добра проводљивост електричне струје и топлоте и висока отпорност на корозију. У изузетним случајевима, за израду електрода се као материјали користе и месинг, бронза, као и други материјали сличних карактеристика.

Катода за електрохемијско ожљебљење је превучена изолатором од специјлане пластике у виду завојнице са кораком који је једнак кораку увијања жљебова у унутрашњем отвору цеви. Ширина изолатора одговара ширини поља цеви [17].

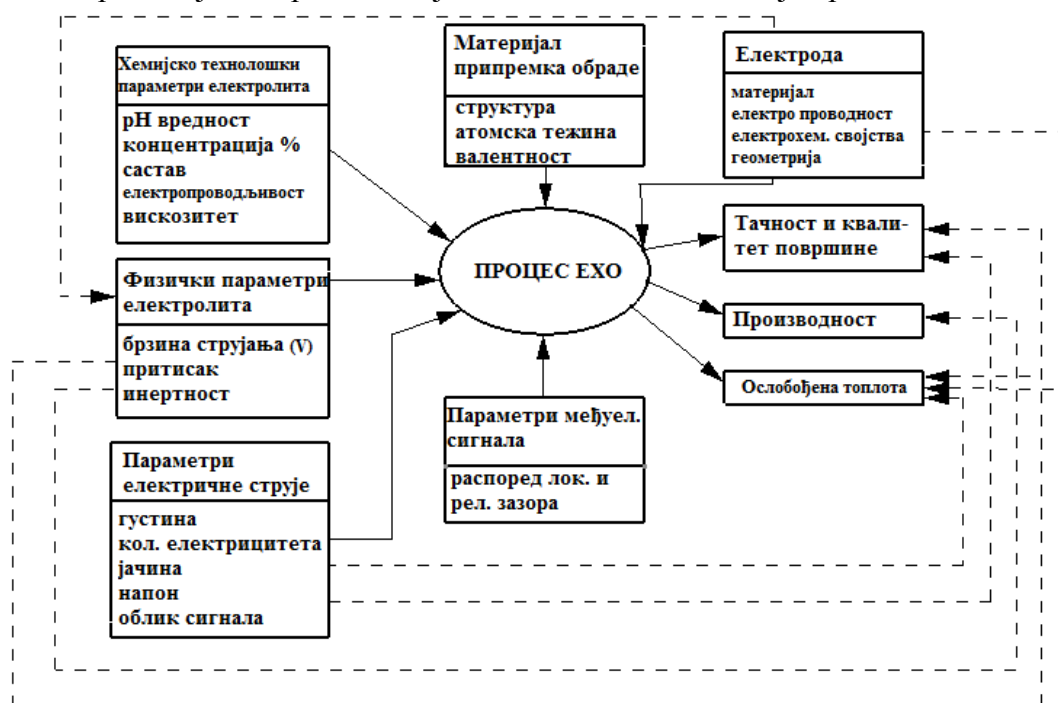
Катода за електрохемијско полирање је цилиндричног облика без икаквих спирала. Израђује се такође од бакра. Катоде су приказане на слици 41.



Слика 41. Катода за електрохемијско нагризање (горе) и катода за електрохемијско полирање (доле) за цев калибра 7,62 mm

5.3. Основни параметри процеса

За извођење процеса електрохемијске обраде (ЕХО) потребно је дефинисати улазне параметре на основу којих се добијају излазни параметри процеса. Самим тим процес електрохемијске обраде постаје доста комплексан што је приказано на слици 42.



Слика 42. Модел комплексне структуре процеса електрохемијске обраде [11]

Основни параметри струјног кола су [12]:

- густина електричне струје:

$$D = \frac{I}{A} = \frac{k_e}{\delta}, \left[\frac{A}{mm^2} \right] \quad (5.2)$$

- електрични отпор електролита:

$$R_e = \frac{\delta}{k_e \cdot A}, [\Omega] \quad (5.3)$$

- јачина електричне струје

$$I = \frac{U}{R_e} = \frac{U \cdot k_e \cdot A}{\delta}, [A] \quad (5.4)$$

У изразима су:

$U, [V]$ - напон на крајевима електрода,

$k_e, \left[\frac{1}{\Omega mm} \right]$ - специфична електропроводљивост електролита,

$\delta, [mm]$ - зазор између електрода,

$A, [mm^2]$ - површина предмета обраде која учествује у процесу.

Брзина одношења материјала (растварања, промене димензија предмета обраде или кретања алата) је [12]:

$$V = K_m \cdot D = K_m \frac{U \cdot k_e}{\delta}, \left[\frac{mm}{min} \right] \quad (5.5)$$

Посебно је актуелан утицај запреминске производности, која се посматра и као параметар електрохемијске обрадљивости:

$$K_m = K_e \frac{6000}{\rho}, \left[\frac{mm^3}{Amin} \right] \quad (5.6)$$

где су:

$K_e, \left[\frac{g}{Ah} \right]$ - електрохемијски еквивалент материјала,

$\rho, \left[\frac{g}{cm^3} \right]$ - густина материјала предмета обраде.

Утицај густине електричне струје на брзину растварања материјала је разнолик. До одређених вредности густине електричне струје постоји линеарна зависност брзине растварања материјала и густине електричне струје. Значајније повећање интензитета уклањања материјала може се постићи при густини електричне струје од 200 до 250 A/cm² [12].

Међутим, повећање густине електричне струје доводи до интензивирања секундарних процеса и успоравање процеса анодног растварања материјала. Већа густина електричне струје изазива значајнију појаву различитих соли и једињења, који се не растварају у електролиту.

Створена једињења проузрокују већи електрични отпор проласку електричне струје кроз електролит и пасивизирање процеса електрохемијске обраде.

Најповољнија вредност брзине растварања материјала се може одредити и преко параметара циркулације електролита.

$$V = K_m \sqrt{\frac{\theta \cdot k_e \cdot c_e \cdot \rho_e \cdot V_{sr}}{L}}, \left[\frac{mm}{min} \right] \quad (5.7)$$

где су:

$\theta, [K]$ - температура електролита,

$\rho_e, \left[\frac{g}{cm^3} \right]$ - специфична густина електролита,

$c_e, \left[\frac{J}{^\circ C kg} \right]$ - специфични топлотни капацитет електролита,

$V_{sr}, \left[\frac{m}{sec} \right]$ - средња брзина струјања електролита и

$L, [mm]$ - ширина зазора.

Параметри струјања електролита:

- проток електролита:

$$Q = L \cdot \delta \cdot \rho_e \cdot V_{sr}, \left[\frac{m^3}{s} \right] \quad (5.8)$$

- средња брзина струјања електролита:

$$V_{sr} = \alpha_D \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot \Delta \cdot p}{\gamma_e}} = 1 \div 30, \left[\frac{m}{s} \right] \quad (5.9)$$

У процесу електрохемијске обраде електролит се загрева услед топлотног ефекта хемијске реакције и услед механичких утицаја. Ако се не предузимају потребне мере загревање може да достигне такав степен, што може да изазове нарушавање или прекид процеса.

Механичко загревање електролита проузроковано радом пумпе за електролит, узрокује повећање температуре од улаза до излаза пумпе:

$$\theta_1 = \frac{P}{c_e \cdot \rho_e \cdot \eta_p}, [^\circ C] \quad (5.10)$$

где су:

$p, \left[\frac{N}{cm^2} \right]$ - притисак пумпе,

$\eta_p, [\%]$ - коефицијент корисности пумпе.

Механичко загревање електролита при протицању кроз зазор између електрода узима се као разлика температура на излазу и улазу у радни зазор:

$$\theta_2 = \frac{\Delta p}{c_e \cdot \rho_e}, [^{\circ}C] \quad (5.11)$$

где је:

$\Delta p, \left[\frac{n}{cm^2} \right]$ - разлика притисака на улазу и излазу из радног зазора.

Повећањем температуре електролита услед хемијске реакције:

$$\theta_3 = \frac{(U - U_{POL}) \cdot I}{Q \cdot c_e}, [^{\circ}C] \quad (5.12)$$

где су:

$U, [V]$ - напон генератора,

$U_{POL}, [V]$ - поларизациони напон.

Сабирајући разлике температура добија се укупна разлика температура на улазу и излазу из радног зазора:

$$\theta = \theta_1 + \theta_2 + \theta_3 \quad (5.13)$$

Заменом претходних израза у израз за температуру, укупна температура електролита износи:

$$\theta = \frac{U \cdot I}{Q \cdot c_e} = \frac{V^2 \cdot L}{K_m^2 \cdot k_e \cdot c_e \cdot \rho_e \cdot V_{sr}}, [L] \quad (5.14)$$

где су:

$\alpha_D = 0,4 \div 0,8$ - бездимензионални проточни коефицијент,

$g, \left[\frac{m}{s^2} \right]$ - убрзање земљине теже,

$\Delta p = p - p_{iu} = 5 \div 300 \left[\frac{n}{cm^2} \right]$ - разлика притисака електролита на улазу и излазу из

засора и

$\gamma_e, \left[\frac{N}{cm^3} \right]$ - специфична тежина електролита.

На основу приказаних релација могуће је формирати и зависност величине чеоног зазора и параметара обраде:

$$\delta = K_m \frac{U \cdot k_e}{V}, [mm] \quad (5.15)$$

и кориговати односно формирати одговарајући израз за јачину електричне струје:

$$I = D \cdot A = V \cdot \frac{A}{K_m}, [A] \quad (5.16)$$

Главно време израде зависи од величине додатака за обраду $Z[mm]$, и брзине промене димензија предмета обраде, тј:

$$t_g = \frac{Z}{V}, [\min] \quad (5.17)$$

Укупна количина топлоте која се створи при електрохемијској обради је:

$$Q_t = Q \cdot \theta \cdot c_e \cdot \rho_e, [J] \quad (5.18)$$

5.4. Процес анодног растварања

Електрохемијска обрада заснива се на електрохемијској реакцији између припремка цеви и јона који настаје у електролиту под дејством електричне струје [20].

У складу са Фарадејевим законом, маса цеви која се раствара при овој електрохемијској реакцији је пропорционална јачини струје која протиче између цеви и алата и времена њеног протицања. Њена теоријска вредност може се одредити на основу емпиријске једначине [20]:

$$m_T = K \cdot I \cdot t \quad (5.19)$$

где је:

$K, \left[\frac{g}{A \min} \right]$ - масени електрохемијски еквивалент који представља карактеристику

материјала припремка,

$I, [A]$ - јачина електричне струје,

$t, [\min]$ - време протицања електричне струје кроз електролит.

Види се да је интензивност електрохемијског процеса директно сразмерна јачини струје. Ипак, стварна маса раствореног метала m_o је мања од масе m_T .

Проценат одступања, рачунски и стварно издвојене масе метала:

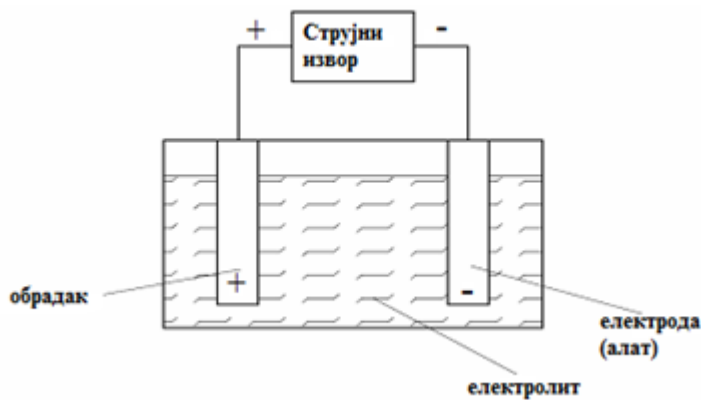
$$\xi = \frac{m_o}{m_T} 100, \quad (5.20)$$

може бити близак проценту 100% само у случају ако се обезбеди непрестано скидање наталоженог оксидног слоја са аноде - цеви.

Процес електрохемијске обраде у основи се заснива на појави електролизе. То је контролисано скидање одређене количине метала са унутрашње трасе цеви путем анодног растварања у електролитичкој ћелији у којој је обрадак (припремак цеви) анода (+) а алат катода (-).

Анодно растварање цеви се остварује под дејством електричне струје која протиче кроз електролит када су полови повезани са извором једносмерне струје. Под дејством електродинамичких сила, спољашњи електрони из унутрашњег канала цеви улазе у

електрично коло чиме у алату настају позитивно наелектрисани јони. На овај начин долази до рушења везе распоређених атома са масом цеви, па тако створени позитивно наелектрисани јони (анјони) прелазе у електролит и ступају у везу са јонима електролита, образујући једињења која се потом растварају у електролиту.



Слика 43. Шема анодне обраде [20]

Обе електроде су прикључене на генератор једносмерне струје (слика 43) који даје струју велике јачине, а малог напона. Јачина струје зависи од зазора δ између катоде и аноде. Што је већа густина струје, то је већа брзина анодног растварања у појединим деловима анодне површине.

Предност анодног растварања [11]:

- обрада припремака цеви од тешко обрадљивих материјала,
- не постоји механички контакт алата (катоде) и предмета обраде (анодне),
- практично нема хабања алата а загревања у минимална,
- нема очвршћавања материјала предмета обраде,
- бешуман рад,
- безопасност од напона и
- већа производност него код других поступака ожљебљења.

Недостаци:

- корозија предмета обраде услед присуства воде у раствору,
- потребна је велика количина електролита ради одношења талог анодног растварања,
- неопходност интензивне циркулације електролита у процесу обраде.

5.5. Карактеристике електролита и процеса електрохемијске обраде

Електролит је један од најзначајних елемената процеса обраде. Основни задаци електролита су [11]:

- уклањање честица формираних анодним растварањем,
- хлађење алата и предмета обраде,
- уклањање пасивизирајућег слоја и створених гасова, стварање неопходних предуслова за одвијање електрохемијског процеса.

За реализацију наведених задатака електролит треба да има:

- високу специфичну електропроводљивост,
- одговарајућу рН вредност,
- висока антикорозиона својства,
- малу вискозност,
- висок степен погодности за руковање (припремање и експлоатацију у току процеса рада),
- висок ниво заштитних својстава (безопасност при раду),
- високу економичност примене.

Средње брзине струјања електролита су :

- кроз доводни цевовод: $V_{sr} = 8,7 \text{ m/s}$
- кроз спроводни цилиндар: $V_{sr} = 8,7 \text{ m/s}$
- кроз наглавак: $V_{sr} = 62 \text{ m/s}$
- кроз жљебове између алата и материјала: $V_{sr} = 98 \text{ m/s}$ [12].

Специфична запремина раствореног материјала: $K_M = 3,2 \frac{\text{cm}^3}{\text{Amin}}$

Специфична количина топлоте за обраду јединице површине: $q_T = 2 \div 3 \frac{\text{kW}}{\text{cm}^2}$

Регулација притиска у зони обраде се остварује регулационим ручним вентилом са конусним седиштем.

Радна температура електролита се креће од 20 - 30 °С, иста се одржава хлађењем воде из рецикулационог система. Електромагнетни вентил се отвара чим температура електролита достигне 40 °С.

Из поменутог система вода протиче кроз спирални хладњак и са собом односи вишак топлоте, све док температура не спадне на 20 °С. У том тренутку се затвара вентил за воду.

Технолошки параметри електролита (електро проводљивост, степен концентрације, рН вредност) имају велики утицај на квалитет обрађене површине.

Електролит има рН вредност 7,2 што значи да је врло мало базни. На обрађеној површини при повећању рН вредности појављују се разни дефекти, при чему се погоршава стабилност електрохемијске обраде. Његовим регулисањем се повећава век трајања електролита.

Састав електролита: 250 kg раствор (NaCl) кухињске соли на 1000 l (H₂O) воде. Основни задатак електролита, конкретно 25 % раствора кухињске соли у води, у процесу обраде цеви је:

- уклањање честица раствореног материјала из зоне обраде насталих анодним растварањем,
- хлађење предмета обраде (аноде) и алата (катоде),
- скидање наталоженог пасивизирајућег слоја са површине електрода и одношење створених гасова посебно угљеника.

Напајање уређаја врши се једносмерном електричном струјом следећих карактеристика које су приказане у табели 8:

Табела 8. Напајање уређаја једносмерном електричном струјом [17]

	Електрохемијско полирање за цев калибра 7,62mm	Електрохемијско ожљебљење за цев калибра 7,62mm
Напон	5 - 12 V	5 - 12 V
Струја	850 A	750 A

Време обраде по комаду је $t_g = 38 - 78$ s, што зависи од хемијско-технолошких и физичких параметара електролита, материјала предмета обраде и електроде и од међуелектродног зазора.

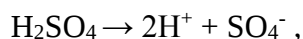
Опрема којом би се реализовала електрохемијска обрада мора да задовољи следеће захтеве:

- константност количине, брзине и притиска електролита,
- константан радни зазор између електрода,
- непромењена температура за обраду једног комада из серије.

Описани поступак са промењеним електролитом може се користити за обраду 2000 цеви калибра 7,62 mm. Анализа приказаног уређаја треба да послужи као основа за пројектовање уређаја за веће калибре оружја/оруђа.

5.6. Суштина - физика процеса

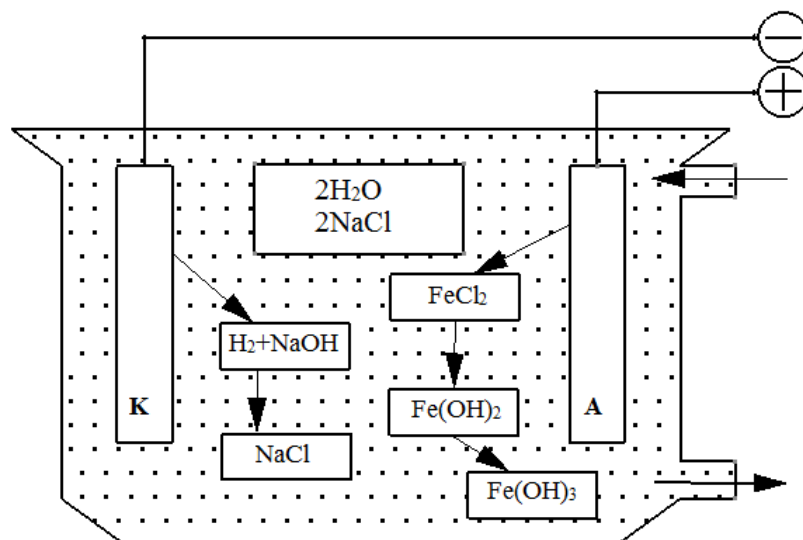
Под дејством електричне струје у току електрохемијске обраде долази до распадања - дисоцирања молекула електролита на јоне водоника, метала или молекуларног остатка (слика 44) [11].



када се, на пример, обрада изводи у воденом раствору сумпорне киселине:

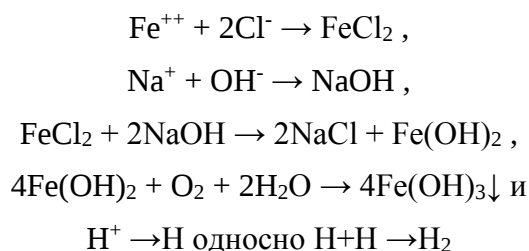


када се као електролит користи водени раствор натријум - хлорида[11].



Слика 44. Дисоцијација молекула електролита на јоне и ток примарних и секундарних реакција при електрохемијској обради [12]

Дејством јона на материјал предмета обраде изазива се низ реакција, које доводе до анодног растварања материјала, формирање талоба, регенерације електролита и стварања велике количине водоника. Тако, на пример, при електрохемијској обради угљеничног челика у воденом раствору натријум - хлорида долази до следећих реакција:



Резултат наведених реакција је појава:

- анодног растварања (формирање гвожђехлорида FeCl_2),
- талоба (стабилни гвожђе хидроксид Fe(OH)_3),
- регенерација електролита (натријум - хлорида NaCl) и
- вишка водоника (H_2).

Талог пада у електролит и уклања се заједно са електролитом. Издваја се у систему циркулације електролита. Одстрањивање развијене количине водоника остварује се заједно са електролитом (у затвореном систему обраде, кади или кућишту) или применом посебних мера заштите, кроз развој одговарајућих издувних система.

Продукти образовани при електрохемијској обради представљају масу која садржи 60 – 80% воде, 8 -10% основног једињења и 12-20% оксида или хидрата у виду нерастворљивих талоба. Подесним избором електролита и параметара режима обраде процес се усмерава ка катоди или алату.

5.7. Пасивизација анодне површине

За унутрашњост цеви кажемо да је пасивна ако се брзина њеног растварања у неким срединама, где се очекује велика брзина растварања смањи до занемарљиво малих вредности [19].

Производност процеса, односно брзина анодног растварања зависи од количине електрицитета која пролази кроз електроде у јединици времена. Међутим, повећањем само густине струје није могуће убрзати процес анодног растварања. Анодно растварање пропраћено је присуством специфичне појаве - пасивизације анодне површине која се испољава у формирању танког анодног слоја. Овај слој у зависности од електрода садржи оксиде, хидроксиде и нераствориве соли који при електролизи изолују удубљења и храпавости на анодној површини обрадка и успоравају процес електролизе, нарочито нагло код дужих обрада. Суштина формирања анодног слоја објашњава се на следећи начин. Ако брзина стварања анодних продуката превазилази брзину њиховог укљањања са површине аноде, то се близу аноде или на њеној површини таложе слабо топлјива једињења која спречавају узајамно дејство електрода са електролитом. Интензивност образовања пасивног слоја на аноди зависи од густине струје и већа је при већој густини струје, што може довести и до прекида процеса електролизе.

При анодно механичкој обради пасивизирајући анодни слој се отклања механички или помоћу електролита са абразивом који се може употребити и при аноднохидрауличној обради.

При електрохемијској обради примењују се различити начини отклањања пасивизирајућег слоја са аноде [18]:

- интензивно чишћење површине аноде јаким млазом електролита,
- интензивно обнављање електролита,
- примена ултразвучних или механичких вибрација на електроди.

5.8. Тачност обраде

Под појмом тачност обраде подразумева се степен поклапања димензија обрађеног дела са задатим вредностима [12].

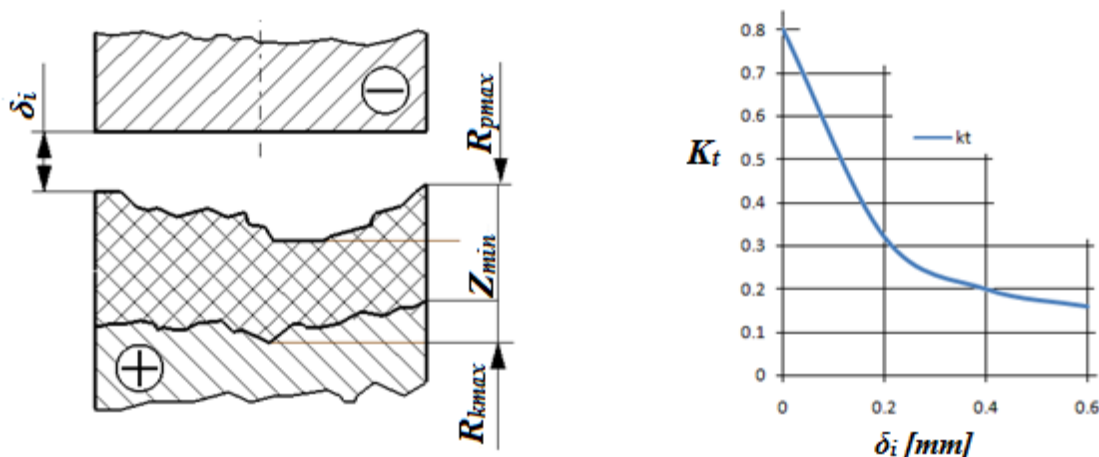
Висока тачност обраде, значајна посебно у условима завршне обраде, обезбеђена је високим квалитетом обрађене површине и незнатним хабањем алата, а зависи од грешака обраде.

Узроци грешке при обради могу бити двојаки: општи узроци су исти као и за све методе обраде: нетачна израда машине, инструмената и уређаја, некрутост машине, инструмената и уређаја, некрутост система машина-алат-предмет обраде, температурна деформација делова, нетачност причвршћивања алата и предмета обраде и сл.

Посебни узроци су они који зависе од самог процеса обраде: радни зазор, врста електролита, радни напон, густина струје, брзина струјања електролита, промена температуре и електропроводности електролита и сл.

Основна карактеристика тачности обраде је коефицијент изједначавања K_t (слика 45) чија је вредност одређена изразом (5.21).

$$K_t = \frac{R_{p \max} - R_{k \max}}{z_{\min} + R_{p \max}} \quad (5.21)$$



Слика 45. Коефицијент изједначавања при електрохемијској обради [12]

У изразима су:

$R_{p \max}$ и $R_{k \max}$, $[\mu m]$ - максимална висина неравнина пре и после електрохемијске обраде и

$z_{\min}$, $[\mu m]$ - минимална вредност додатка за обраду,

δ_p , $[mm]$ - радни зазор између алата и предмета обраде.

Повећањем вредности коефицијента изједначавања површине повећава се и тачност обраде, посебно у условима када су вредности додатка за обраду релативно мале.

Грешке при електрохемијској обради у суштини проистичу из несталности радног зазора. На колебање радног зазора првенствено утиче промена услова процеса од којих су најважнији: електрична проводљивост, степен искоришћења електричне струје, напон на електродама, електрохемијски еквивалент материјала и др.

Нестабилност електропроводљивости у радном зазору, заједно са нестабилношћу напона, основни је узрок несталности зазора, а тиме и нетачност обраде. Променљивост количине гаса и температуре драстично се одражава на нестабилност електропроводљивости.

Стабилизација температуре се врши на улазу у радни простор. У ту сврху се користе измењивачи топлоте са аутоматском регулацијом размењене топлоте. Нестабилност електропроводљивости може се отклонити и регулацијом напона у зависности од величине електропроводљивости мерене на излазу из радне зоне.

Нестабилност напона има велики утицај на тачност обраде. Сва спољашња колебања напона се морају мерити због великог утицаја на тачност, а у припреми технолошког процеса треба предвидети регулисање напона.

Нестабилност густине струје, брзине струјања електролита и поларизационих напона имају, такође знатан утицај на тачност обраде. За оцену утицаја тих фактора користе се емпиријске вредности.

Полазећи од захтеване тачности може се методом теорије грешке одредити подручје стабилизације сваке величине која утиче на зазор. Међутим, ово важи за оне величине које се могу измерити са тачношћу довољном за управљање процесом (померање алата, напон на електродама, температура електролита и електропроводљивост). Друге величине (степен корисног дејства, електрохемијски еквивалент, поларизациони напон) није могуће измерити у току процеса, па се зато и не могу регулисати.

Решење проблема тачности електрохемијске обраде остварује се у два процеса: усавршавањем постојећих начина обраде и откривањем и разрадом нових шема обраде. Усавршавањем постојећих шема огледа се у следећем: стабилизацији параметара процеса, применом нових електролита, увођењем гаса у зону обраде, смањење радног зазора и корекцији алата. У пракси се користе електролити који олакшавају пасивизацију површине предмета обраде, чиме се повећава тачност обраде.

Електрохемијска обрада се може остварити на машинама са константим и импулсним током струје. За већи број материјала предмета обраде, обрада константном струјом даје добре резултате. Повећање тачности путем умањења бочних зазора, смањења радног напона или применом пасивизирајућег електролита не даје увек добре резултате, што је довело до разраде импулсних режима.

Услед ослобађања водоника и загревања раствора, у релативном малом зазору, јављају се високи притисци који могу довести до размицања електрода. Да се због тога не би смањила тачност обраде, нужно је да механички делови машине поседују велику крутост.

5.9. Квалитет обраде

Квалитет обраде карактерише се особинама површинског слоја и храпавошћу обрађене површине, а зависи од структуре материјала предмета обраде, електричних и хидродинамичких параметара режима обраде и низа других мање или више релевантних параметара (материјал, квалитет електролита, величина зазора) [11].

Електрохемијска природа уклањања вишка материјала и непостојање механичких оптерећења, алата, условљавају и основне карактеристике квалитета обраде (равномерна храпавост обрађене површине и значајно повећање чврстоће и отпорности на хабање површинских слојева). Равномеран распоред микроудубљења и микроузвишења у свим правцима, обезбеђује повећање динамичке отпорности цеви, а измена микрорељефа обрађене површине није резултат кинематике обраде, већ измене особина електролита дуж зазора.

Проблем квалитета површина унутрашње трасе цеви решава се [13]:

- хромирањем унутрашње трасе цеви,
- новим материјалима за израду цеви и
- плазма технологијама, у новије време.

Најчешће примењен начин повећања балистичког века цеви је хромирање. Разлог за то је изванредна поузданост ове продукције у смислу достигнутог нивоа перформанси цеви у односу на остале технологије [12].

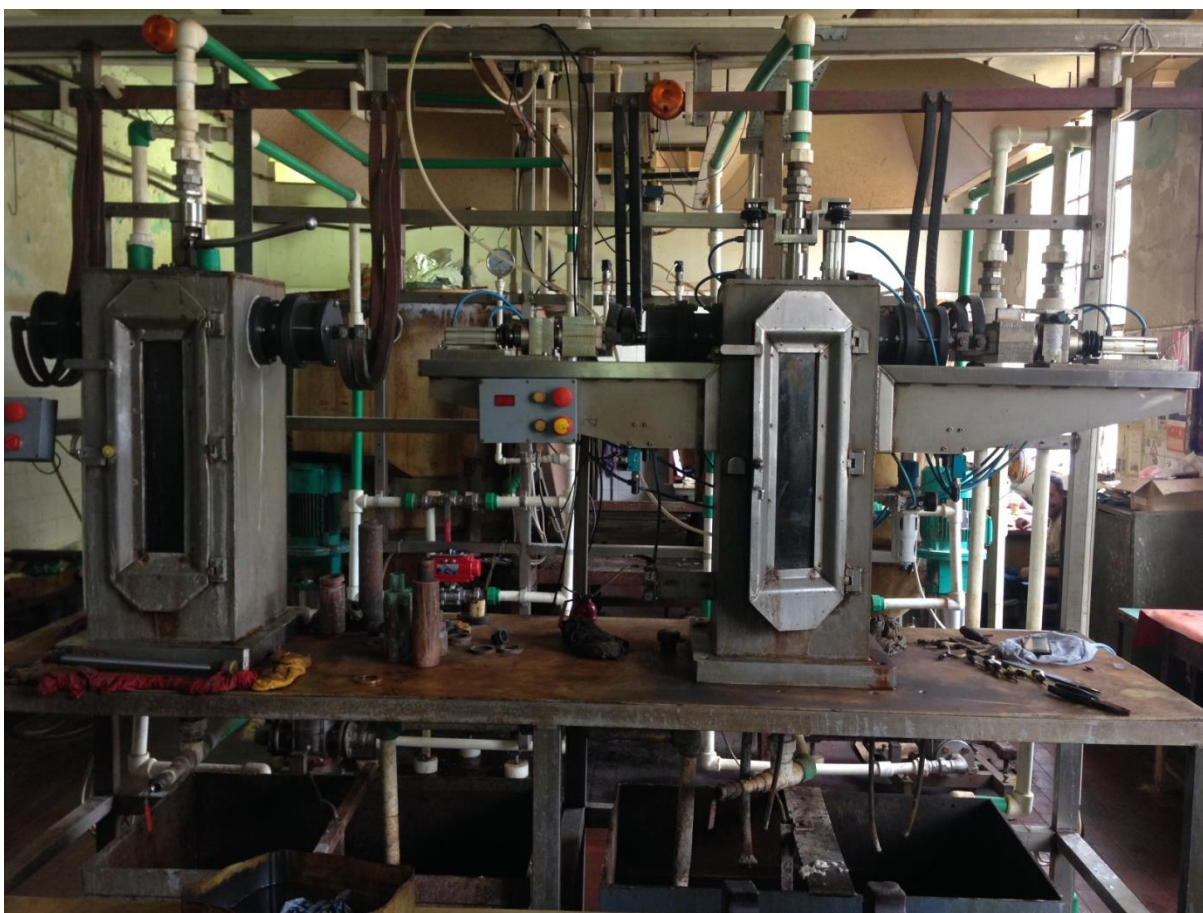
Квалитет обрађености унутрашње трасе цеви калибра 7,62 mm у водишту је N5 и добија се електрохемијским полирањем, а након хромирања N6 [10].

6. Приказ технолошког поступка

За технолошки процес ожљебљења унутрашње трасе цеви оружја електрохемијским путем за метак 7,62x54 mm (R) користи се машина коју су израдили конструктори у Црвеној застави, која постоји у фабрици "Застава оружје" у Крагујевцу. Машина је приказана на слици 46.

Машина је пројектована за израду жљебова електрохемијским путем и налази се у посебној просторији од 60 квадратних метара, са свим потребним инсталацијама.

Технолошки процес ожљебљења унутрашње трасе цеви подразумева добијање тачних димензија како у пољима, тако и у жљебовима цеви. Постројење за електрохемијско нагризање обухвата и мањи део за електрохемијско полирање. Машина омогућава нагризање материјала, уз помоћ електролита, у одређеној количини по унапред дефинисаним правцима уз помоћ катоде.



Слика 46. Постројење за електрохемијску обраду: електрохемијско полирање цеви (лево) и електрохемијско ожљебљење цеви (десно)

Ради лакшег праћења и разумевања, технолошки процес ожљебљења цеви електрохемијским путем приказан је кроз фотографије операција кроз које пролази цев.

Припремак цеви који долази у постројење за електрохемијску обраду пролази пре тога кроз операције дубоког бушења и развртања.

Приказ технолошког поступка:

1. Узети припремак цеви калибра 7,62 mm, који је израђен од материјала Č5730 VP, тврдоће НВ од 280 до 323, чији је унутрашњи отвор добијен дубоким бушењем и развртањем. Отвор припремка цеви износи $7,68^{+0,04}$ mm.



Слика 47. Припремки цеви након операције дубоког бушења

Цеви се након операције дубоког бушења колицима у секцијама доводе до постројења за електрохемијску обраду. Сваки припремак цеви се пре следеће технолошке операције испира у води.

2. У постројењу за електрохемијску обраду припремак цеви се прво подвргава технолошкој операцији електрохемијско полирање што је приказано на слици 48.



Слика 48. Убацивање катодe за електрохемијско полирање у припремак цеви

Електрохемијско полирање се изводи са непокретном катодом и покретним електролитом. Припремак цеви се прво издува компримованим ваздухом како би се одстраниле веће честице од претходних технолошких операција а затим се у цев убаци катода за електрохемијско полирање.

Електрични напон при полирању износи 12V а јачина електричне струје износи 850A.



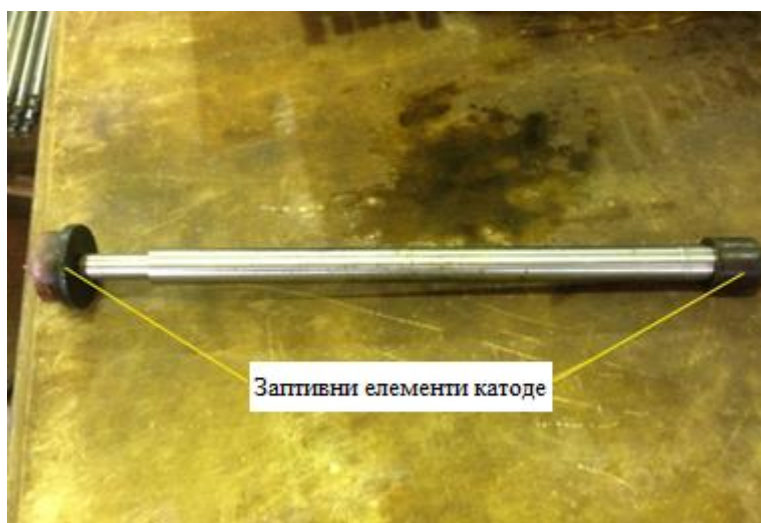
Слика 49. Машина за електрохемијско полирање цеви

3. Након операције електрохемијског полирања припремак цеви подвргава се технолошкој операцији електрохемијског ожљебљења. Ожљебљење се врши у истом постројењу, али на другој машини.



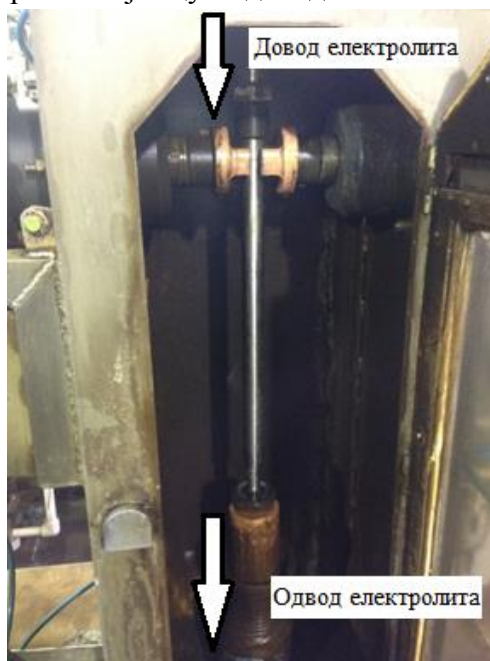
Слика 50. Убацивање катодe за електрохемијско ожљебљење у припремак цеви

Катода за електрохемијско ожљебљење цеви има заптивне елементе на крајевима како би се притисак електролита одржавао на одређеном нивоу и како би се спречило растварање материјала на ободима припремка цеви.



Слика 51. Припремак цеви на који је монтирана катода за електрохемијско ожљебљење

Припремак цеви са катодом се монтира на машину за електрохемијско ожљебљење у вертикалном положају. Прво се доњи крај припремка цеви позиционира у доњи отвор а затим горњи део припремка цеви стегне чељустима машине. Припремак цеви је сада стегнут и потребно је монтирати спојницу за довод електролита на врху припремка цеви.



Слика 52. Припремак цеви монтиран на машину за електрохемијско ожљебљење

Електрохемијско ожљебљење цеви калибра 7,62 mm изводи се у просеку око 40 секунди, при електричном напону од 12V и јачини електричне струје од 750A.



Слика 53. Изглед унутрашњег канала припремак цеви након електрохемијског ожљебљења

4. Након операције електрохемијског ожљебљења, припремак цеви се подрвгава стабилизационом попуштању. Време између ожљебљења и стабилизационог попуштања не сме бити веће од 8 сати.

5. Последња операција којом се добијају финалне мере припремак цеви јесте хромирање. Припремак цеви пре хромирања пролази кроз поступак електрохемијског одмашћивања. Након хемијског одмашћивања припремак цеви се потапа у електролит за хромирање (слика 54).

Хромни слој који се наноси на унутрашњи отвор цеви мора да задовољи унапред дефинисане захтеве којима се обезбеђује његов квалитет, временска и експлоатациона постојаност.



Слика 54. Припремци цеви потопљени у електролит за хромирање [4]

6.1. Митраљез М84

Приказана цев у технолошком поступку користи се за митраљез домаће производње М84 који производи фабрика "Застава Оружје АД" и који је приказан на слици 55.

Митраљези су тешко, али и моћно аутоматско оружје. Намењени су за гађање групних живих циљева на даљинама до 1000 m. Могу успешно да се користе и за гађање лакооклопљених борбених возила, као и за циљеве у ваздуху.

Митраљези се разликују од осталог аутоматског оружја истог калибра по томе што имају постоља, која им дају стабилност и омогућавају лакше управљање ватром, имају масивнију и заменљиву цев и храњење редеником [5].



Слика 55. Митраљез М84 Застава [8]

Митраљез М84 је намењен употреби у пешадијским јединицама и карактерише га одлична прецизност на великим даљинама.

Троножно постоље обезбеђује лако прилагођавање различитим теренским условима. Функционише на принципу позајмице барутних гасова, са ротирајућим затварачем као системом брављења. Унутрашњост цеви је израђена електрохемијским нагризањем након чега је хромирана, што гарантује њену дуготрајност и постојане балистичке карактеристике. У екстремним условима коришћења, ради хлађења, цев се лако демонтира и замењује резервном. Коначни изглед цеви митраљеза М84 приказана је на слици 56.



Слика 56. Коначан изглед цеви калибра 7,62 mm митраљеза М84 [8]

Задњи нишан са преклапачем и реглетом обезбеђује брзо заузимање даљине гађања, чиме се постиже прецизно нишањење на статичке и покретне циљеве.

Регулатор барутних гасова осигурава поуздано функционисање у свим климатским и теренским условима.

Скривач пламена на устима цеви распршује барутне гасове и смањује бљесак пламена чиме се маскира положај оружја.

Пуњење митраљеза се обавља из реденика смештеног у муницијску кутију капацитета 100 и 250 метака [8].

Техничке карактеристике митраљеза М84 приказане су у табели 9.

Табела 9. Техничке карактеристике митраљеза М84

Калибар (mm)	Корак увијања (mm)	Број жљебова	Капацитет реденика (метака)	Дужина цеви (mm)	Дужина (mm)	Маса (kg)	Брзина паљбе (met/min)	Максимални ефективни домет (m)
7,62x54R	240	4	100/250	603	1175	13,3	700-800	1000

6.1.1 Муниција за митраљез М84

Митраљез М84 користи метак који носи ознаку 7,62x54 mm (R). Послугу митраљеза чине три члана: нишанција, помоћник нишанције и доносилац муниције.

Храњење митраљеза се врши из реденика од 50 метака, реденици се могу настављати и сложити у муницијске кутије од 100 или 250 метака, кутија за 100 метака може да се постави са доње стране сандука митраљеза [22].

Код нас је у употреби највише метак 7,62x54 mm (R) производње фабрике "Први Партизан Ужице" (слика 57). Овај метак се производи са 6 типова зрна који су представљени у табели 10:



Слика 57. Метак 7,62x54 mm (R) производње фабрике "Први Партизан Ужице" [9]

Табела 10. Типови метка 7,62x54 mm (R) произвођача "Први Партизан Ужице" [9]

Тип зрна	Тежина зрна (g)	Тежина метка (g)	Дужина цеви (mm)
FMJ BT	9.70	150	724
SP BT	9.70	150	724
FMJ BT	11.00	170	724
SP BT	11.70	180	724
FMJ BT	11.80	182	724
SP BT	12.30	190	724

FMJ BT (Full Metal Jacket Boat Tail) су специјално обликована зрна у циљу смањења отпора ваздуха (слика 58). Задњи конус у комбинацији са аеродинамички обликованим оживалом зрна обезбеђује висок балистички коефицијент, а тиме и мали пад брзине на путању и положенију путању [9].



Слика 58. Изглед FMJ BT зрна [9]

SP BT (Soft Point Boat Tail) су зрна са специјално обликованим задњим делом смањеног пречника, који смањује отпор ваздуха (слика 59). Повољни балистички коефицијент ових зрна омогућава успешно гађање и на већим даљинама, на којима зрно задржава већу енергију уз смањени утицај ветра.



Слика 59. Изглед SP BT зрна [9]

Балистика метка 7,62x54 mm (R) са зрном типа SP BT (11.70 g) која садржи брзину пројектила, енергију пројектила и путању приказана је у табели 11:

Табела 11. Балистика зрна типа SP BT [9]

	0	50	100	150	200	250	300
Брзина [m/s]	805	768	732	697	663	630	598
Енергија [J]	3780	3441	3127	2836	2567	2318	2084
Путања [cm]	-5	0.9	2.8	0	-1.9	-21.3	-40.5

7. Закључак

У овом раду анализиран је технолошки поступак ожљебљења електрохемијском обрадом (ЕХО), односно нагризањем унутрашње трасе цеви за метак 7,62x54 mm (R). Информативно су представљени и остали технолошки поступци ожљебљења цеви оружја.

Извршена је анализа захтева за унутрашњу трасу цеви за метак 7,62x54 mm (R) као и анализа захтева за унутрашњи отвор цеви пре технолошког поступка ожљебљења. Рад приказује мере припрема цеви кроз све операције које претходе операцији електрохемијског нагризања.

Израда жљебова у цеви оружја електрохемијским нагризањем спада у неконвенционалне видове обраде.

Електрохемијско нагризање унутрашњег отвора цеви заснива се на хемијским процесима, који настају при проласку једносмерне струје кроз електрично коло које чине цев и катода. Проласком једносмерне струје, на аноди (цев), долази до растварања метала и његовог преласка у електролит. Интензивним кретањем електролита, растопљени метал се одстрањује из зоне обраде, а цев поприма облик катоде.

У раду је детаљно анализиран електрохемијски процес са приказом структурне шеме инсталације за електрохемијску обраду, машина и алата као и приказ методологије дефинисања улазних параметара процеса на основу којих се добијају излазни параметри процеса. Анализирана је физика и карактеристике процеса, тачност и квалитет површина добијени овим процесом.

У раду је посебно апострофиран процес електрохемијског нагризања унутрашње трасе цеви митраљеза М84 за метак 7,62x54 mm (R) који се реализује са непомичним алатом (катодом) која се убацује у припремак цеви и који се заједно стављају на машину за електрохемијско ожљебљење.

Унутрашњост ове цеви се после ожљебљења хромира, што обезбеђује продужење века трајања цеви, побољшано заптивање и смањено хабање током експлоатације.

У циљу лакшег праћења и разумевања, ожљебљење цеви ЕХО поступком приказано је кроз фотографије операција кроз које пролази припремак цеви.

Поступак ожљебљења електрохемијским путем је перспективни метод израде, посебно код челика који су тешко обрадљиви. Овим поступком обраде се обезбеђује висока тачност и високи квалитет обраде површине водишта пројектила.

Резултати примењених анализа могу се користити код пројектовања технолошког поступка ожљебљења електрохемијским нагризањем за цеви оружја/оруђа и других калибара код којих се покаже да је оправдано увођење ове технологије.

8. Литература

- [1] М. Петровић, *Технологија производње наоружања*, Предавања, 2015-2016.
- [2] И. Стевановић: *Анализа и пројектовање технолошког поступка ожљебљења протискивањем унутрашње трасе цеви оружја за метак 12,7x108 mm*, дипломски рад, ФИН, Крагујевац, 2015.
- [3] М. Миловановић, *Анализа и дефинисање технолошког поступка дубокогбушења унутрашње трасе цеви оружја калибра 40 mm*, дипломски рад, ФИН, Крагујевац, 2015.
- [4] Б. Милосављевић, *Анализа технолошког поступка површинске заштите хромирањем унутрашње трасе цеви оружја за метак 5,56 mm SS109*, Дипломски рад, ФИН, Крагујевац, 2015.
- [5] М. Петровић, *Механика аутоматског оружја*, уџбеник, ВА, Београд, 2007.
- [6] В. Павелић, *Технологија производње наоружања*, ЦВТШ КоВ Загреб, 1988.
- [7] <http://www.slideshare.net/todkarmahesh/electrochemicalmicromachiningemm>, Септембар 2016
- [8] <http://www.zastava-arms.rs/sr>, Септембар 2016
- [9] <http://www.prvipartizan.com/sr/index.php>, Септембар 2016
- [10] "Застава оружје", *Технолошки поступци електрохемијске обраде цеви оружја*, Крагујевац, Септембар 2016.
- [11] М. Лазић, *Неконвенционални поступци обраде*, Научна књига, Београд, 1990.
- [12] Г. Аранђеловић, *Анализа поступака електрохемијске обраде*, дипломски рад, МФКГ, Крагујевац, 2000.
- [13] В. Павелић, *Технологија производње наоружања*, ЦВТШ КоВ Загреб, 1988.
- [14] М. Петровић, *Приказ нумеричког и програмског решавања новог профила олучених цеви оружја*, Научно-технички преглед бр. 1, 2001.
- [15] А. Стаматовић, *Конструкција пројектила и упаљача*, Београд 1995.
- [16] <https://en.wikipedia.org/wiki/7.62%C3%9754mmR>, Октобар 2016.
- [17] http://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=electrochemical_machining, Септембар 2016.
- [18] В. Вујичић, *Корозија и технологија заштите метала*, Београд, 2002.
- [19] *Commission Internationale permanente Pour l'Epreuve des Armes à Feu portatives*.
- [20] Б. Пејовић, *Прилог истраживању хртавости код електрохемијске обраде*, К. Митровица, 2012.
- [21] Н. Христов, Г. Јовичић, *Одређивање животног века цеви оруђа - оружја*, ВА Београд, ФИН Крагујевац, 2012.
- [22] <http://www.vti.mod.gov.rs/index.php?view=actuality&type=reference&category=1&id=104>, Септембар 2016.