

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: 546/2011

Бојан С. Милосављевић

**Анализа технолошког поступка
површинске заштите хромирањем
унутрашње трасе цеви оружја за метак
5,56 mm SS109**

Дипломски рад

Комисија за преглед и одбрану:

- 1. в.проф. др Маринко Петровић, дипл. инж. – ментор**
- 2. проф. др Богдан Недић, дипл. инж. – председник**
- 3. доц. др Михаел Бучко – члан**

Датум одбране:_____

Оцена:_____

У оквиру овог дипломског рада кандидат треба да обради следеће:

1. Анализа врста, облика и примењених технологија ожљебљења унутрашњег отвора код цеви оружја/оруђа у погледу погодности за површинску заштиту
2. Анализа трибо-механичког система
3. Историја хромирања унутрашњег отвора цеви оружја
4. Анализа карактеристика и параметара технолошког поступка хромирања:
 - Врсте хромне превлаке унутрашњег отвора цеви оружја/оруђа
 - Карактеристике технолошког процеса хромирања
 - Карактеристике хромног слоја
 - Основни параметри процеса
 - Уређаји и постројења
 - Ток процеса
 - Тачност обрађених површина
 - Храпавост и тврдоћа површина
 - Провера хромног слоја
5. Закључак
6. Литература

Препоручена литература:

- [1] М. Петровић, *Технологија производње наоружања*, Предавања, 2013.-2014.
- [2] М. Петровић, *Механика аутоматског оружја*, уџбеник, ВА, Београд, 2007.
- [3] М. Петровић, *Технологија производње наоружања*, Предавања, 2014.-2015.
- [4] В. Павелић, *Технологија производње наоружања*, ЦВТШ КоВ Загреб, 1988.
- [5] Интернет презентације

Крагујевац, Јун 2016.

Ментор:
в.проф. др Маринко Петровић, дипл. инж.

Садржај

1. Увод.....	2
2. Цев оружја и ожљебљење водишта пројектила	3
2.1. Цев оружја	3
2.2. Ожљебљење цеви	4
2.3. Врсте ожљебљења.....	5
3. Технологије ожљебљења унутрашњег отвора цеви	9
3.1. Ожљебљење резањем.....	9
3.2. Ожљебљење радијалним ковањем	9
3.3. Ожљебљење поступком хладног ротационог истискивања	10
3.4. Ожљебљење хемијским нагризањем.....	12
3.5. Ожљебљење протискивањем	12
4. Трибомеханички систем цев – пројектил и хабање цеви	14
5. Историја хромирања унутрашњег отвора цеви оружја.....	18
6. Анализа врста, облика и примењених технологија ожљебљења унутрашњег отвора код цеви оружја/оруђа у погледу погодности за површинску заштиту.....	23
7. Анализа карактеристика и параметара технолошког поступка хромирања.....	30
7.1. Хемијска и физичка својства хрома	30
7.2. Хромирање.....	31
7.3. Карактеристике хромног слоја	32
7.4. Ток процеса хромирања	33
7.4.1. Поступци припреме површине	33
7.4.2. Механичка обрада површине.....	33
7.4.3. Одмашћивање у органском одмашћивачу	33
7.4.4. Заштита површина које се не хромирају	34
7.4.5. Монтажа делова на вешалице	34
7.4.6. Одмашћивање у алкалном раствору.....	34
7.4.7. Хемијско активирање – декапирање	35
7.4.8. Електрохемијско активирање.....	35
7.4.9. Процес хромирања	35
7.4.10. Поступци обраде после таложења хрома.....	36
7.5. Контрола квалитета превлака хрома.....	37
8. Анализа захтева за унутрашњу трасу припремка цеви оружја калибра 5,56 mm пре хромирања	39
9. Анализа захтева за хромирану унутрашњу трасу цеви оружја калибра 5,56 mm.....	44
10. Специфичности технолошког процеса хромирања унутрашњег отвора цеви оружја.....	46
10.1. Хромирање отвора цеви оружја.....	47
10.2. Технолошки поступак хромирања отвора цеви калибра 5,56 mm	49

11. Закључак	55
12. Литература.....	56

Резиме:

У оквиру овог рада анализирани су различити типови и профили ожљебљења цеви у погледу погодности за наношење површинске заштите хромом. Такође су представљени технолошки поступци ожљебљења цеви оружја и поступак хромирања унутрашњег отвора цеви.

Поступак наношења површинске заштите хромирањем је објашњен на цеви 5,56 mm за метак SS109. Анализа припремке цеви пре и после хромирања и технички цртежи се односе на цев овог калибра.

Технолошки поступак наношења површинске заштите хромом је описан и приказан кроз слике.

Кључне речи:

Цев оружја, калибар 5,56 mm, унутрашњи отвор цеви, ожљебљење, хромирање, аутоматска пушка M21A

Summary:

This paper is analyzing different types and profiles of barrel rifling in terms of benefits for applying chrome surface protection. Also presented are technological procedures used for gun barrel rifling and chromium plating process of inner tube bore weapons.

Method of application of surface protection chroming is explained on the tube 5.56 mm for bullet SS109. Analysis of tube preparation before and after chromium plating and technical drawings refer to this tube.

The technological process of applying chrome surface protection is described and shown through pictures.

Key words:

The barrel, caliber 5,56 mm, inner bore weapons, barrel rifling, chromium plate, assault rifle M21A

1. Увод

При сагоревању барутних гасова унутрашња површина цеви оруђа и оружја је изложена комбинованом механичком, термичком и хемијском деловању. Ови процеси доводе до оштећења унутрашњих површина и смањења балистичког живота цеви. Долази до пада механичких карактеристика материјала цеви (појава напрезања и ерозије, повећање кртости површинског слоја). Ове промене су израженије ако су захтеви за повећањем дмета, прецизности и брзине гађања оштрији. Одговарајућим конструкцијским и технолошким решењима цеви, обезбеђује се спорије хабање, односно ерозија, што одржавање чини лакшим и ефикаснијим [5].

Један од повољних начина да се повећа отпорност унутрашњих површина цеви на механичка, термичка и хемијска дејства је заштита превлакама електролитичког хрома. Досадашњим истраживањем заштите унутрашњих површина цеви електролитичким превлакама хрома, утврђени су најутицајнији параметри тог процеса: припрема површине која се хромира, параметари процеса хромирања (густина струје, температура електролита), дебљине превлаке и накнадна обрада хромног слоја. Електролитички исталожен хром је корозионо постојан у присуству разних корозионих агенаса, термостабилан и тврд, што се регулише технолошким процесом хромирања. Таложењем хрома преко основног метала знатно се повећава отпорност према хабању и корозији. То упућује на чињеницу да се таложењем хрома на основни метал цеви може продужити балистички живот оружја и оруђа, у знатној мери олакшати одржавање и повећати борбена готовост [5].

Циљ овог дипломског рада је да, кроз анализе конструкционо – технолошких параметара ожљебљења унутрашње трасе цеви оружја/оруђа, анализе трибомеханичког система цев – пројектил и технолошког поступка хромирања те унутрашње трасе, прикаже овај технолошки процес код производње цеви савременог оружја калибра 5,56 mm.

У раду се најпре приказује унутрашњи отвор цеви са освртом на врсте, облике и технологије ожљебљења.

Затим се даје осврт на историју увођења процеса хромирања, са посебном анализом патената у области увођења хромирања унутрашњег отвора код цеви оружја и примењених шема хромирања.

Детаљно су анализирани профили ожљебљења у погледу погодности примене технологије хромирања.

Посебна пажња посвећена је анализи хромних превлака и анализи целокупног технолошког поступка хромирања и контроле квалитета превлака хрома.

Такође су анализирани и представљени захтеви за унутрашњу трасу цеви *калибра 5,56 mm TW7* кроз приказ цртежа цеви после дубоког бушења, електрополирања и хромирања.

Ради лакшег разумевања и праћења, технолошки поступци хромирања цеви *кал.5,56 mm TW7* и накнадне обраде, приказани су кроз фотографије операција.

2. Цев оружја и ожљебљење водишта пројектила

2.1. Цев оружја

Цев стрелачког оружја је најважнији и најодговорнији део у којем непосредно долази до сагоревања барутног пуњења и активним дејством барутних гасова пројектилу даје почетна брзина у жељеном правцу. Зато цев захтева посебну пажњу при пројектовању и производњи [1].

Комбинација цеви и метка одређује балистичка својства оружја.

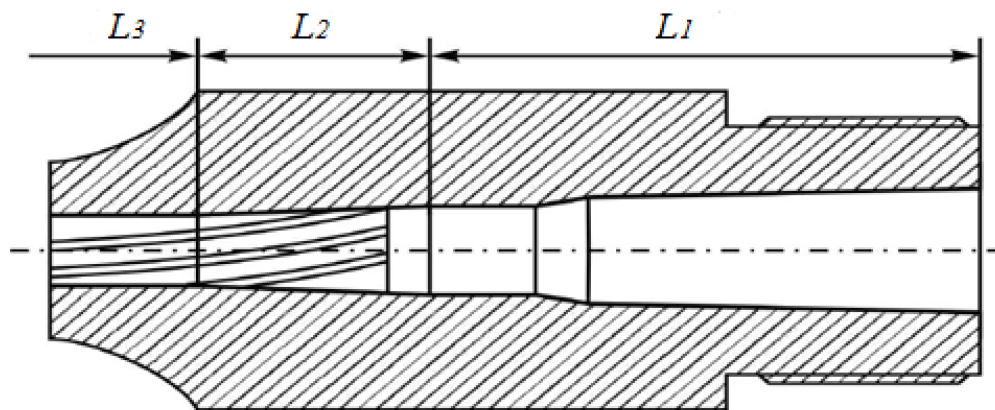
Цев је део оружја, израђен у виду специјалног шупљег цилиндра – тубе одређене размере и унутрашњег пречника, и намењена је за:

- Задавање пројектилу потребног правца лета,
- Задавање пројектилу обртног кретања,
- Саопштавање пројектилу потребне почетне брзине лета и
- Обезбеђивање услова за потпуно сагоревање барутног пуњења.

Цев споља има свој облик и димензије који зависе од конкретног типа оружја и захтева балистике.

Унутрашња шупљина цеви често се назива отвор цеви. Замишљена права линија која пролази кроз средину отвора цеви назива се оса цеви или оса отвора цеви. Предњи део цеви, тачније предњи пресек цеви назива се уста цеви, а задњи пресек дно цеви.

Посматрајући уздужни пресек цеви унутрашња шупљина цеви (отвор цеви) најчешће се састоји од: лежишта метка, прелазног конуса и водишта пројектила (слика 2.1).



Слика 2.1. Конструкција унутрашњег отвора цеви
 L_1 – лежиште метка, L_2 – прелазни конус, L_3 – водиште пројектила [1]

Лежиште метка (код оружја или барутна комора код оруђа) је задњи део отвора цеви који је намењен за смештај метка. Облик и димензије лежишта метка одређени су обликом и димензијама метка који се користи.

Прелазни конус је део отвора цеви између лежишта метка и водишта пројектила. Прелазни конус повезује лежиште метка са водећим делом отвора цеви и служи да обезбеди равномеран гладак улазак пројектила у водиште као и за урезивање пројектила у ожљебљени део цеви. Водиште пројектила је ожљебљени део цеви који зрну задаје правац и обртно кретање [1].

2.2. Ожљебљење цеви

Ожљебљење цеви је примењено крајем 15. века (1498.г.) у Аугсбургу, Немачка, када је 1500 оружара ожљебило своје пушке аркебузе.

Године 1520. Аугуст Котер, као оружар у Нирнбергу, Немачка, побољшао је ову идеју. Иако истинско ожљебљење датира из средине 16. века, оно није постало уобичајено до 19. века [14].

Пушчана или пиштољска цев - Унутрашњи отвор пушчане или пиштољске цеви је ожљебљен, што даје пројектилу обртно кретање и већу прецизност



Слика 2.2.a Унутрашњи отвор цеви оружја [18]

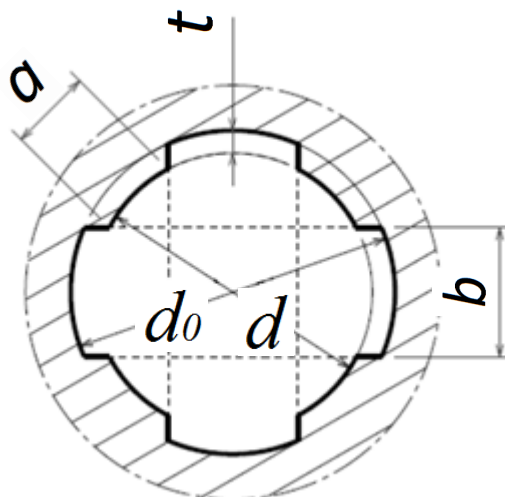


Слика 2.2.b Унутрашњи отвор цеви оруђа [19]

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. Испусти између жљебова називају се пољима. Пречник мерен од поља до наспрамног поља одређује калибар d [2].

Основне карактеристике водишта пројектила су:

- Калибар d ,
- 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 .



Слика 2.3. Попречни пресек водишта пројектила
(a – ширина поља, b – ширина жљеба, t – дубина жљеба, d – калибар, d_0 – растојање између жљебова) [8].

Ожљебљени део цеви обезбеђује пројектилу потребно транслаторно и ротицаоно 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 [1].

2.3. Врсте ожљебљења

Жљебови у отвору цеви представљају завојне трасе чији је положај према оси отвора цеви одређен углом α . Овај угао се зове угао нагиба или угао уздизања 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 [2].

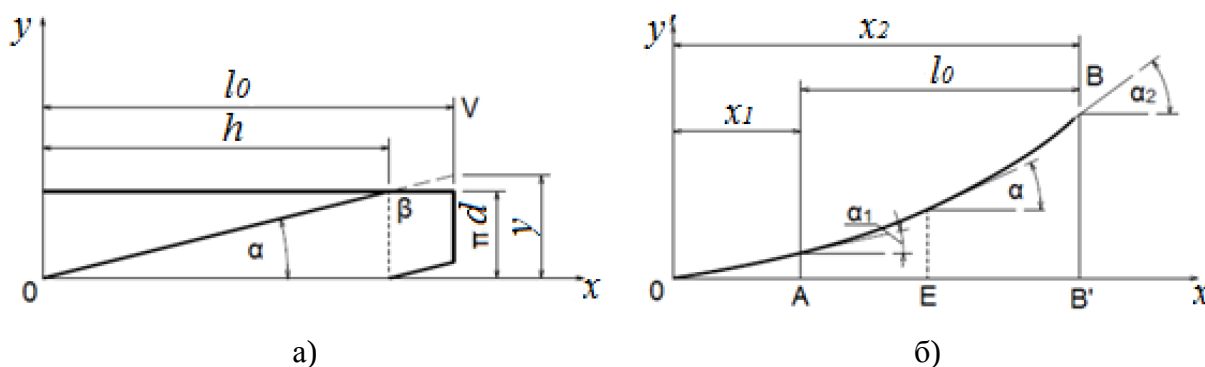
О предностима и недостацима једне или друге врсте нарезивања постоје два мишљења. Једни аутори сматрају да је свеједно на коју ће страну бити извршено ожљебљење цеви, док други дају предност ожљебљењу у леву страну и при томе дају следеће аргументе. При гађању из пушке која је наслоњена на раме стрелца, 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 путање пројектила [1].

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

Према карактеру нагиба, жљебови могу да буду [6]:

- Са константним увијањем, када је угао на целој ожљебљеној дужини цеви константан (слика 2.4 а);
- Са променљивим (прогресивним) увијањем, када је угао на целој ожљебљеној дужини цеви променљив и повећава се према устима цеви (слика 2.4 б);
- Са мешовитим увијањем, када на једном делу отвора цеви жљебови имају прогресивно увијање, а на другом константно.

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



Слика 2.4. Жљебови са константним а) и прогресивним углом увијања б)

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)

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 на нормалну силу интеракције зрна и бојеве стране поља:

$$N \approx 0,5 \frac{pS}{n} \operatorname{tg} \alpha \quad (2.1)$$

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 [2].

Код прогресивног 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 [1].

Основни недостатак овог типа увијања је сложеност израде. Код стрељачког оружја готово и да се не примењује.

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, [1].

Дубина жљебова код стрељачког наоружања обично је:

$$t = (0,015 \div 0,02)d \quad (2.2)$$

где је d – калибар цеви. При томе се узима да је мањи калибар оружја то 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 меких оружја примењен троугласти облик поља). Са друге стране, смањењем ширине поља смањује се њихова чврстоћа. Зато се обично усваја да је ширина поља duplo мања од ширине жљебова, [2].

Ширина жљебова се израчунава као:

$$a + b = \frac{2\pi d}{n} \quad (2.3)$$

односно усваја се:

$$a \geq \frac{2\pi d}{n} \quad (2.4)$$

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.

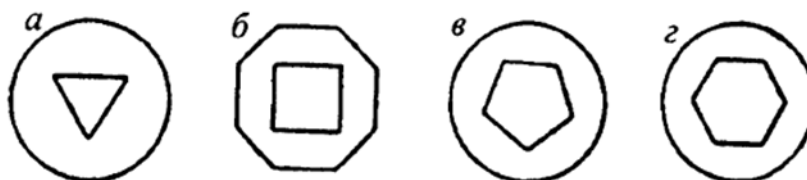
Такође, ако су познати ширина поља (a) и жљебова (b), број жљебова може се одредити из израза:

$$n = \frac{\pi d}{b+a} \quad (2.5)$$

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

Полигонално ожљебљење 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 [1].



Слика 2.5. Полигонално ожљебљење цеви

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

Животни век цеви је период у којем је цев у границама задатих тактичко – техничких захтева задржава своје балистичке карактеристике (прецизност, почетну брзину, домет и др.). Животни век цеви мери се бројем испаљених метака, али у великој мери зависи и од режима ватре, услова чувања и одржавања и врсте муниције [1].

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.

3. Технологије ожљебљења унутрашњег отвора цеви

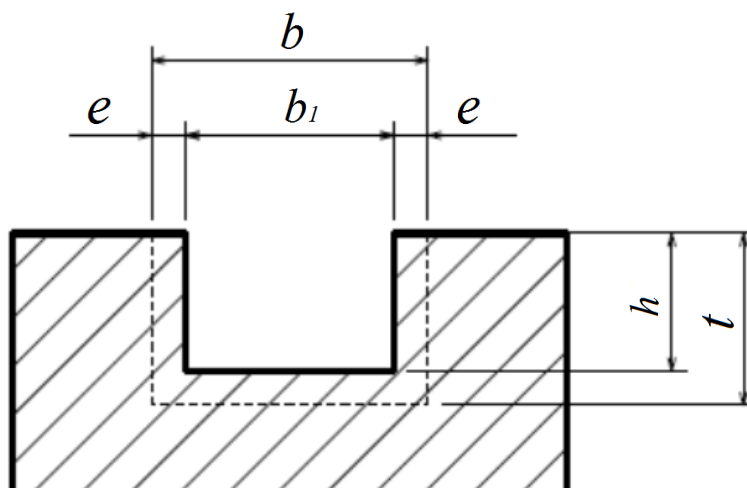
Отворе цеви могуће је ожљебити на један од наведених начина [2]:

- резањем (шпалирањем – ожљебљење гарнитуром ножева, главама за ожљебљење, провлачењем),
- радијалним ковањем,
- хладним ротационим истискивањем,
- електрохемијски и
- протискивањем.

3.1. Ожљебљење резањем

Данас је најраспрострањеније ожљебљење провлачењем кроз унутрашњи отвор специјалних глава за ожљебљење. Код жљебова ширина $b \leq 12$ mm ожљебљење се изводи помоћу једног комплета 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 две главе за ожљебљење, од којих прва има комплет ножева чија је ширина резних ивица $b = (7 \div 10)$ mm, а изводи резање до дубине h . За комплет ножева друге главе за ожљебљење оставља се бочни додатак $e = (2 \div 2,5)$ mm и додатак по дубини од 0,4 mm (слика 3.1).

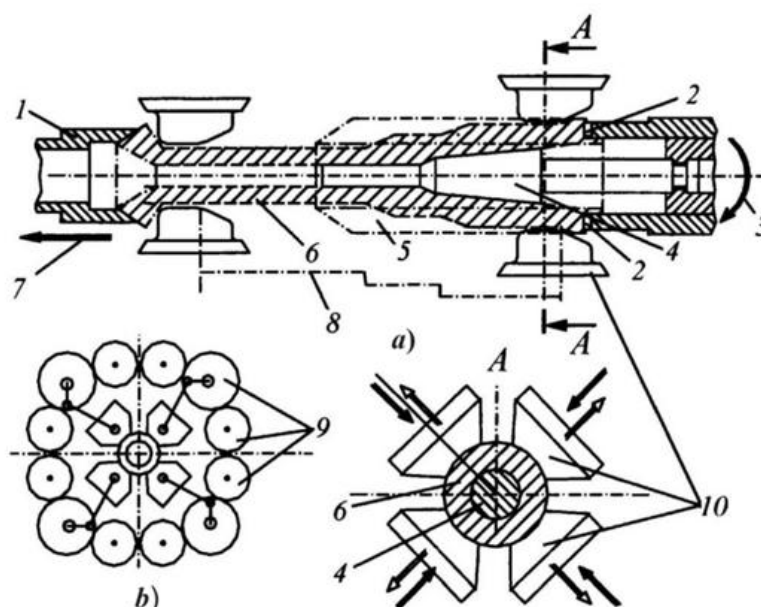


Слика 3.1. Шема ожљебљења са два комплета ножева [8]

При оваквом ожљебљењу изводе се грубе и fine 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 се остварује брзина резања од 6 до 9 m/min и 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.

3.2. 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 код цеви [6].



Слика 3.2. Шема процеса радијалног ковања припремке цеви оружја [2]

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 представљати 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.

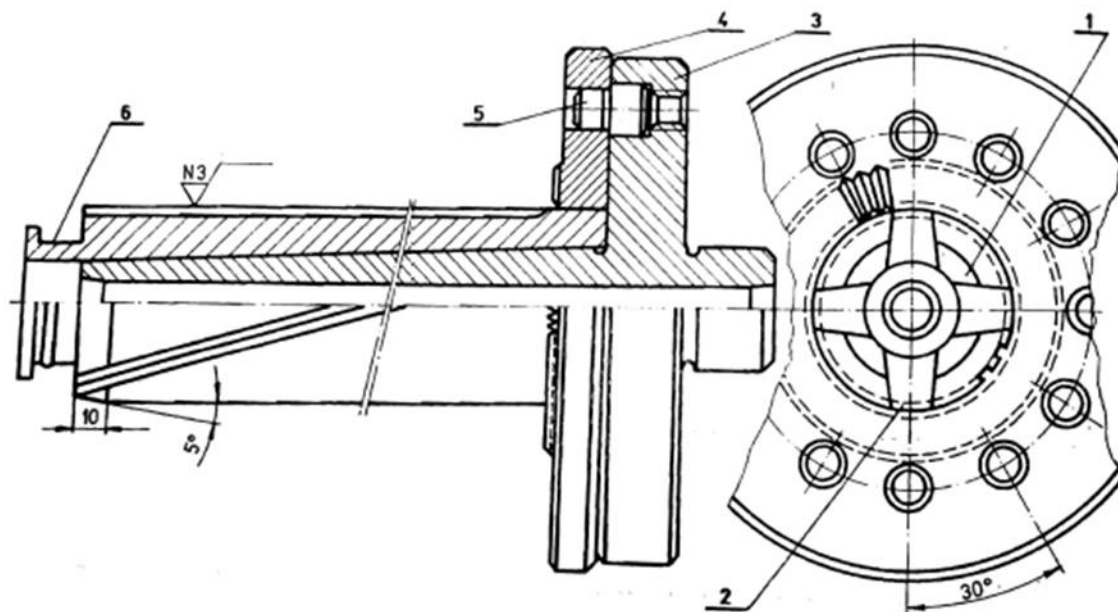
Припремак за хладно ковање цеви је краћи од готове цеви и, након завршеног ковања, попречни пресек му се смањи на рачун издужења за 15 – 20%.

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

3.3. Ожљебљење поступком хладног ротационог истискивања

Ожљебљење цеви мањих димензија и дебљине зида изводи се и поступком хладног ротационог истискивања. 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].

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



Слика 3.3. Трн за хладно ротационо истискивање и ожљебљење цеви:
1 и 2 – ожљебљени сегменти трна; 3 – језгро трна; 4 – зупчаста прирубница;
5 – чеп; 6 – држач сегмената [6]

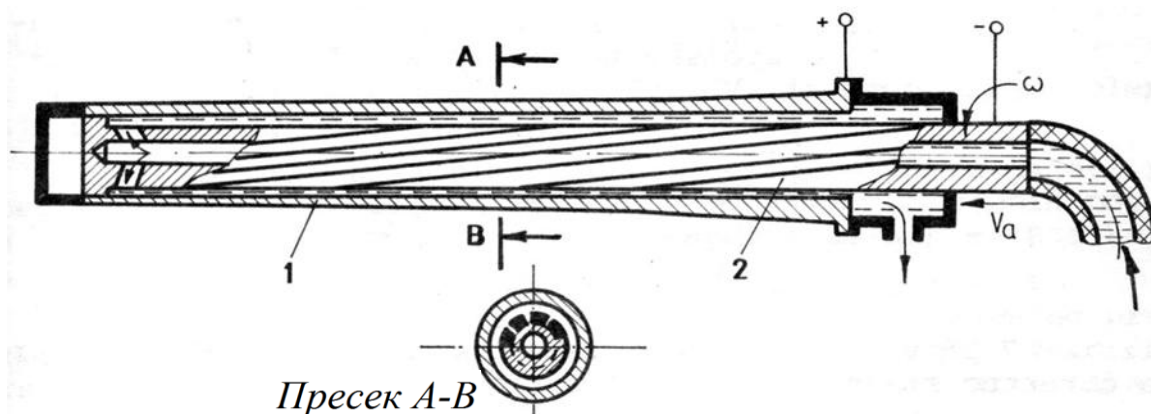
Посебан проблем чини израда вишеделних трнова (слика 3.3.) који омогућавају добијање жљебова овим поступком, јер морају омогућити:

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

3.4. Ожљебљење хемијским нагризањем

Код оваквог поступка аноду предстаља цев, а катода је обично шипка од месинга у коју су урезани канали геометријског облика и корака као што су жљебови у цеви. У канале катоде стављају се умети од плексигласа [6].

Умети су ширине поља и штите материјал од анодног растварања. Зато, након завршетка обраде, у цеви остаје ненагрижени део који представља поља у цеви. Процес се обавља тако што се катода помоћу посебног уређаја уводи у цев и креће одређеном аксијалном и обртном брзином. Истовремено се електролит, температуре 8 до 40°C, доводи под притиском у простор између месингане катоде и отвора цеви. Однесени метал са аноде (коју представља радни предмет) таложи се у купатилу за хемијско нагризање.



Слика 3.4. Шема ожљебљења цеви електрохемијским поступком:
1- цев – анода; 2 – катода [2]

3.5. Ожљебљење протискивањем

Процес обраде протискивањем спада у прогресивне видове обраде и он најчешће замењује уобичајену 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.

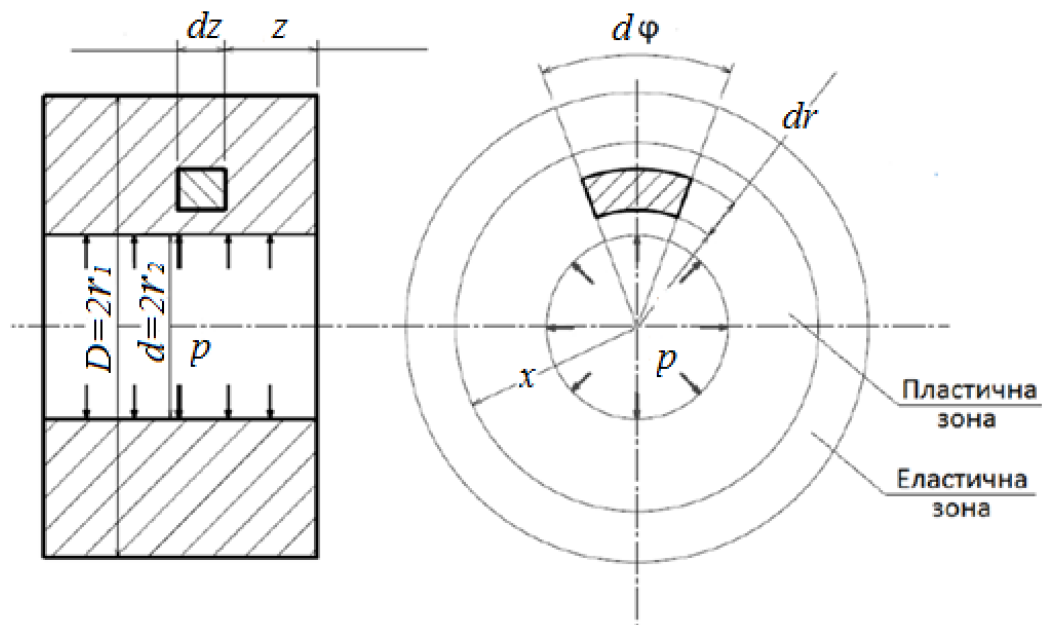
У принципу се разликује површинско и просторно протискивање. У првом случају ради се о калибрисању, када се овом обрадом замењује брушење, хоновање и провлачење, при чему се може остварити површина са $Ra = 0,32 \div 0,04 \mu m$ [8].

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 (вишезуби алати), може се постићи и површина квалитета $Ra = 0,63 \div 0,04 \mu m$.

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.

Ако се моноблок – цев (слика 3.5), 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 [6].



Слика 3.5. Цев оптерећена унутрашњим притиском p [8]

Оваквим довођењем материјала цеви у еластично – пластично стање, граница развлачења која је имала величину σ_{v0} пре оптерећења притиском p_1 повећава се на величину σ_v .

4. Трибомеханички систем цев – пројектил и хабање цеви

Радни век ватреног оружја ограничен је услед комплексног процеса механичког и ерозионог хабања. Контактне површине тела у додиру, које чине трибомеханички систем цев – пројектил, састоје се од врхова и удубљења микрорелефа, контаминираних разним продуктима декомпозиције уља и адитива. При сагоревању барутних гасова унутрашња површина цеви оружја је изложена комбинованом механичком, термичком и хемијском деловању. Ови процеси доводе до оштећења унутрашње површине цеви и смањења балистичког живота цеви, под балистичким животом цеви подразумева се број метака које цев може да испали а да се у знатној мери прецизност и домет не умање. Долази до пада механичких карактеристика материјала цеви (појава напрезања и ерозије, повећање кртости површинског слоја). Ове промене су израженије ако су захтеви за повећањем домета прецизности и брзине гађања оштрији [3].

Изложеност цеви комбинованом дејству топлоте, високих притисака, хемијском дејству барутних гасова високоенергетских карактеристика спољашњим утицајима, указује на неопходност свеобухватног истраживања овог елемента стрелачког оружја. Узроци хабања цеви су многобројни, врло сложени и још увек недовољно испитивани. Због тога није могуће унапред одредити колики ће радни век (живот) цеви бити [3].

Табела 1. Карактеристике елемената у контакту

		Цев	Пројектил
1.	Материјал	Ћ 5730 VP Ћ 4832 VP	томбак
2.	Тврдоћа, HRC	60	34
3.	Класа храпавости	Ra 0,8	Ra 1,6
4.	Релативно кретање елемената у контакту	клизање	
5.	Напомена	додир по површини	

За израду цеви најчешће се користе хром – никл – молибденски (Cr – Ni – Mo) челици зато што они постижу најбоља својства од 350 – 400 °C. Пројектил је елемент који се креће дуж цеви и који лети кроз ваздух до циља. Језгро пројектила је обично од олова, а кошуљица од томбака – легуре бакра и цинка. Кошуљица служи за урезивање у жљебове цеви и за вођење зрна дуж цеви. Карактеристике елемената у контакту дате су у табели 1. Хемијски састав материјала цеви и његова термичка обрада имају велики утицај на процес хабања цеви и зато су предмет детаљних и обимних студија [3].

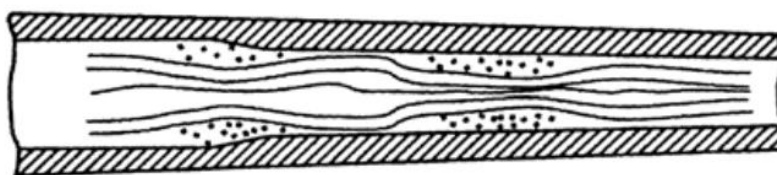
Хабање цеви

Хабање цеви се манифестује на више начина али су три појаве карактеристичне код свих цеви:

- Механичко хабање,
- Ерозија и
- Појава прстена.

Механичко хабање, настаје са једне стране изазвано трењем клизања кошуљице по површини цеви и нарочито је изражено на прелазном конусу и са друге стране усијани барутни гасови, без обзира што процес траје само неколико хиљадитих делова секунде делује на цев разорним притиском, температуром, брзином и хемијким саставом. Дејство барутних гасова утиче на пропадање цеви знатно више од трења у трибомеханичком систему цев - пројектил. Притисак гасова условљава и велику силу која делује на жљебове што резултира њиховим заморним хабањем. Способност цеви се умањује са бројем испалених метака. У тренутку опаљења, притисак у цеви достиже вредност од 400 МПа, што је граница течења материјала. Кретањем кроз цев, при изузетно великим брзинама и високим притисцима, пројектил носи са собом честице са унутрашње површине цеви, а такође и честице материјала са површине пројектила прелазе на унутрашњу површину цеви. Унутрашњи пречник се повећава, а компресија смањује [3].

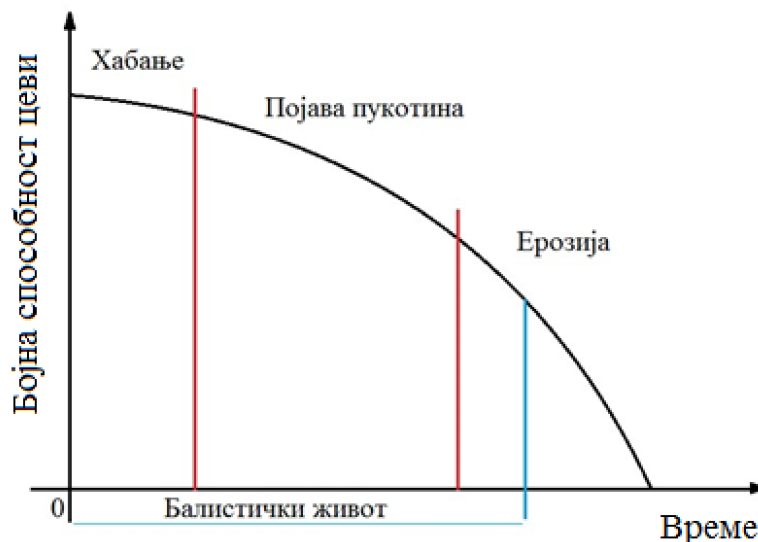
Барутни гасови улазе у настале пукотине и хабање се манифестује стварањем бразди и оштећења површине, што условљава смањење ефикасности оружја. Пошто се процес одиграва у веома кратком временском интервалу, можемо га представити динамичким ударима, који као при ковању материјала, на површини стварају слој различитих механичких особина у односу на основни материјал. Формирани повшински слој се одликује повећаном тврдоћом, а самим тим и већом кртошћу и мањом еластичношћу. Под дејством наредних удара проласком следећих пројектила у површинском слоју се јављају пукотине и долази до појаве љуспања површине. Брзина барутних гасова, која зависи од притиска утиче како непосредним ударом гасова о површину, тако и трењем гасова. Рад трења је велики, мали део се троши на загревање а већи део на хабање загрејане површине. Хабање је израженије ако је температура цеви виша а унутрашња траса храпавија. Велика брзина гасова у цеви изазива и друге појаве, које се објашњавају стварањем ударних таласа у цеви (слика 4.1) [3].



Слика 4.1. Настали ударни таласи у цеви услед активирања барутног пуњења

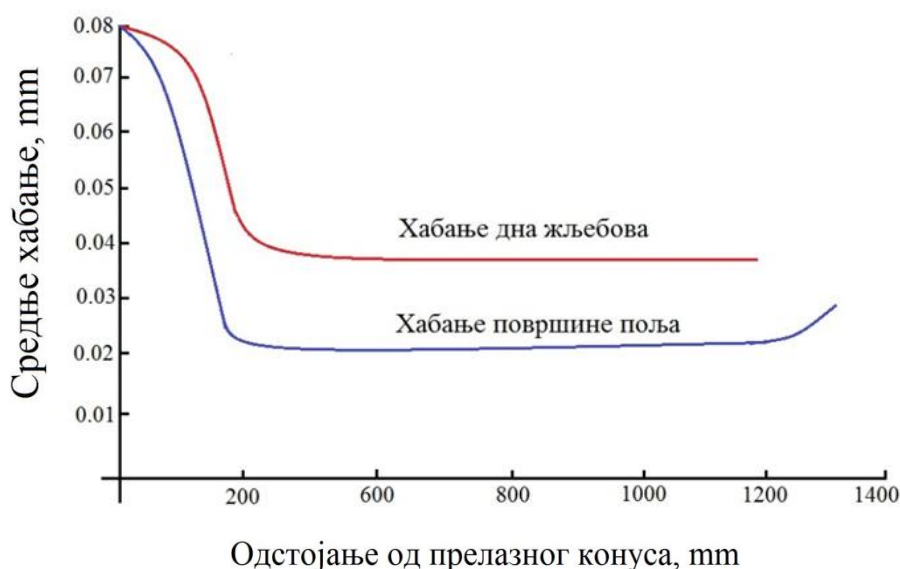
Струјањем гасова може се објаснити и појава прстена у цеви. Повременим ширењем и сужавањем млаза условљене су и његова минимална и максимална брзина. Како су таласна кретања код свих метака са истом величином пуњења иста, следи да таласи на местима где им је брзина највећа, највише оштећују унутрашњи отвор цеви. На тај начин се на унутрашњој траси јављају удубљене и испупчене прстенасте

површине, често видљиве и голим оком. Због свих наведених узрока способност цеви опада са бројем испалених метака. Прво долази до појаве „лизања“ цеви, затим следи настанак ситних пукотина и на крају ерозија (слика 4.2) [3].



Слика 4.2. Опадање бојне способности цеви [3]

Хабање елемената водишта зависи од међусобних сила притиска и величине тарних површина. Како су тарне површине релативно мале, хабају се радни делови жљеба цеви и стварају се зазори на страни наредних блокова. Кроз те зазоре бризгају усијани млазови барутних гасова, услед чега долази не само до пада почетне брзине пројектила већ и до много бржег изгарања и пропадања површине водишта пројектила у цеви. Однос хабања дна жљебова и површине поља приказан је на слици 4.3 [3].



Слика 4.3. Однос хабања дна жљебова и површине поља [3]

Кроз истрошену цев пројектил лакше пролази, јер је калибар цеви повећан, а пречник водећих делова пројектила је увек исти (код стрељачког оружја водећи део је кошуљица). Услед лакшег кретања пројектила кроз цев отпор је мањи, а тиме и притисак односно почетна брзина. Губитак почетне брзине услед хабања цеви може

достигли до 5% њене вредности, и та вредност је опште прихваћен критеријум истрошености цеви. Одговарајућим конструкцијским и технолошким решењима цеви, обезбеђује се спорије хабање, односно ерозија, што одржавање чини лакшим и ефикасним. Један од начина повећања отпорности унутрашњих површина цеви на механичка, термичка и хемијска дејства је заштитна превлака од електролитичког хрома [3].

Многобројним практичним испитивањима, могуће је дати апроксимативну слику балистичког живота цеви и он се може израчунати по формули:

$$U = \frac{K \cdot 10^{12}}{V_H^5 d^{1,37} (T - 1500)^{1,66}} \quad (4.1)$$

где су:

U – балистички живот цеви,

K – коефицијент (2,1 за кошуљицу; 2,7 за блок цеви),

V_H – почетна брзина,

d – калибар,

T – температура сагоревања барута.

Најновији поступци заштите унутрашње трасе цеви оружја подразумевају специфична средства која са површином метала формирају металокерамичке превлаке дебљине до 10 μm , повећане микротврдоће, отпорности на корозију и смањење површинске храпавости [3].

5. Историја хромирања унутрашњег отвора цеви оружја

Ожљебљење је имало неколико ефеката осим веће прецизности. То је мало смањење излазне брзине и повећање губитка топлоте у цеви. Смањење брзине је занемариво, а губитак топлоте се решава металуршким побољшањима. Међутим ожљебљење такође утиче на нагризање сагоревањем барута у водишту пројектила; а корозија је изузетно штетна за ожљебљење. Стварање кратера код ожљебљења можда неће имати превише ефекта на прецизност, али повећање наслага у кратерима има. Корозија такође слаби материјал цеви.

Насlage и кратери су били проблеми од пушака у Аугсбургу па до данас. Лоше цеви са кратерима могу да се врате само поправком цеви. Дорада никада није опште прихваћена од било које војске широм света.

Кроз историју, стручњаци за оружје користили су најчешће три начина да се продужи век трајања цеви: употребом материјала отпорног на корозију, иновацијама профила водишта пројектила и увођењем површинске заштите унутрашњег отвора цеви оружја (пре свега хромирањем).

Хромирање је измишљено од 1911.-1924.године.

Почетком 20. века, амерички научници и инжењери развили су нову технологију – електро наношење хрома. Џорџ Сарџент (George Sargent, UNH and Cornell), радио је са хромом већ 1911. године, а научници са Универзитета Колумбија развили су 1924.г. комерцијално практичан процес коришћења електрода за наношење хрома.

Електро наношење је коришћено за пиштоље деценијама, наравно, али то је било никловање – које прија оку, али меко и склоно љуштењу, није погодно за отворе, и није отпорно на корозију као хром [15].

Хром се на унутрашњи отвор цеви оружја примењује од 1925-1932.г.

Једна ствар која је држала хромирање по страни је недостатак практичне методе контроле квалитета.

Хромирање унутрашњег отвора цеви војног и спортског оружја први пут је примењено у Олиновом и Шурихтовом (Olin's and Schuricht's) патенту из 1932.г., САД патент бр. 1.886.218 [16].

Они су пријавили патент 1927. године, уз напомену, као што је сада познато, да отвори морају бити мало већи да одговарају за димензије промене од таложења хрома. Они такође, виде хромну превлаку као начин враћања истрошеног ожљебљења и ерозије цеви [15].

Њихов проналазак се састојао у следећем:

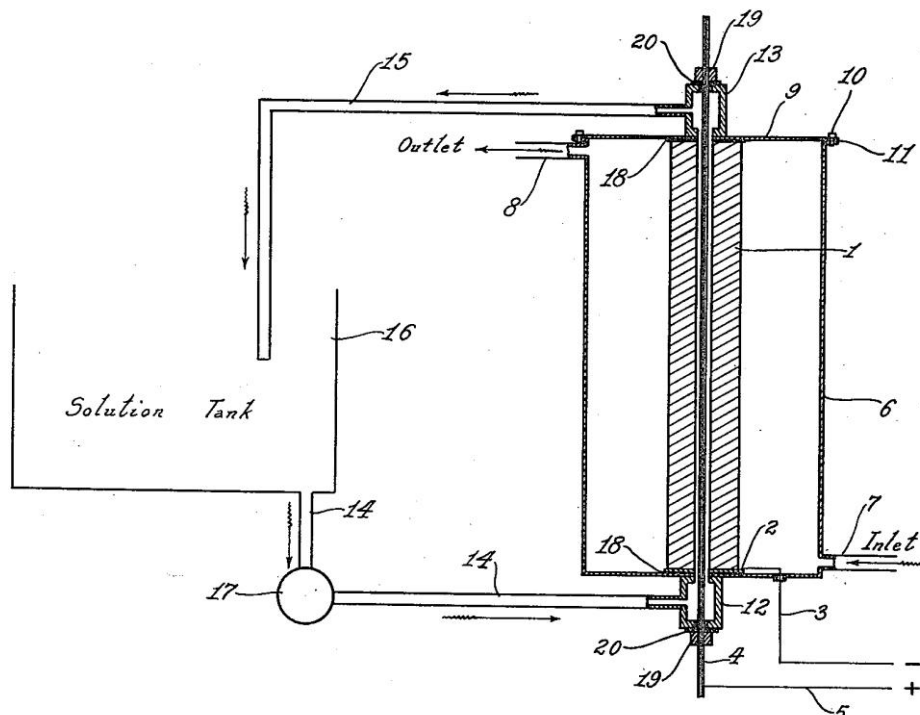
На унутрашњи отвор цеви оружја наноси се хромна превлака.

Пре почетка наношења хромне превлаке пречник водишта пројектила је мало већи од жељеног калибра. У складу са тим дебљина превлаке на зидовима водишта се затим подешава у мери која је довољна да се добије жељени калибар.

Превлака или слој зидова унутрашњег отвора може се постићи на било који погодан начин и било којим познатим поступком; пожељно је, међутим, да се за наношење примењује електро-наношење. У наношење хрома на челику, међутим, наилази се на тешкоће које захтевају електро-наноси уз одговарајуће решење и под одговарајућим унапред одређеним условима, и специјални уређаји и апарати су пожељни па чак и неопходни; услови под којима би требало да се одржава наношење

морају пажљиво да се контролишу, тако да ће превлака имати одговарајуће физичке карактеристике; сагласно томе, раствор, температура, густина струје и однос између аноде и катоде мора бити контролисан [16].

У складу са овим проналаском, превлака се наноси на зидове унутрашњег отвора док раствор превлаке циркулише између како би могла бити задржана правилна концентрација. Одговарајућа предодређена температура треба да се одржава током операције наношења. Електроде, а посебно анода, треба поставити унутар унутрашњег отвора цеви, али равномерно распоређене од зидова отвора; а пожељно је да површина аноде има одређени однос са површином зидова унутрашњег отвора цеви...



Слика 5.1. Шема поступка наношења хромног слоја [16]

Проналазак се позива на пратећи цртеж (слика 5.1.) који означава цев оружја, који може бити цев пушке, а та цев може бити повезана на негативни пол одговарајућег извора електричне струје контактом 2 до одговарајућег проводника или жицом 3. Анода 4, која се састоји од оловне шипке или жице, је повезана на позитивни пол извора снабдевања, проводником 5. Цев је окружена водом у резервоару 6 која има улаз 7 и излаз 8, тако да вода може да циркулише кроз њих, а врх овог резервоара воде има поклопац 9 који је везан на било који погодан начин, рецимо вијцима 10 који пролазе кроз прирубнице 11, тако да може да се постави цев. Међутим, треба разумети да се могу извести и други погодни, брже одвојиви начини за причвршћивање. Спојнице 12 и 13 су прикључене на дну и врху резервоара воде, повезане су цевима 14 и 15 и воде од и до резервоара 16 са електролитским раствором, а пумпа 17 је уметнута у цеви 14 првенствено да би циркулисао раствор кроз цев; Међутим, циркулација може да се одржава и на други погодан начин, као нпр. путем гравитације или радом термо-сифона. Подлошке 18 могу да обезбеде да се заптију крајеви цеви од резервоара воде. Анода 4 се одржава централно у односу на унутрашњи отвор суспендовањем у крајевима спојница 12 и 13, и погодним завртњима 19 који се могу причвршћивати или навијати на аноди како би је држали у одређеном положају. Крајеви спојница могу бити затворени погодним изолационим и заптивним подметачима 20 [16].

Раствор који се користи може бити било који од стандардних раствора који се користе у електролитичком хромирању, пример би био следећи:

Унца по галону

- Хромацид CrO_333
- Хром сулфат $\text{Cr}_2(\text{SO}_4)_3$0.4
- Хром карбонат $\text{Cr}_2\text{O}(\text{CO}_3)_2$1

Раствор циркулише у правцу стрелице из резервоара са раствором кроз унутрашњи отвор цеви између зидова водишта и аноде, док се електрода одржава централно дуж унутрашњег отвора цеви. Ова циркулација је неопходна, пошто је запремина раствора у цеви оружја мала због потребног простора који заузима анода, а раствор у цеви би се брзо потрошио уколико његов метални садржај не би био допуњен, то се постиже циркулацијом, где се концентрација раствора може одржавати значајно константном и ако запремина у резервоару са раствором може бити мала. Ова концентрација може, међутим, бити одржавана додавањем додатног електролита правилне концентрације. То, наравно, треба схватити да је раствор резервоара обезбеђен са погодним уређајем за мешање тако да ће концентрација у целом резервоару бити одржавана униформно. Резервоар са водом омогућава да се потребна температура одржава, а подразумева се да може бити обезбеђен погодан термометар па чак и аутоматска контрола температуре.

Пожељна температура се одржава око 113°F . Анода је таквог пречника да његова површина износи око једне половине ($1/2$) површине унутрашњег отвора цеви, и тако је центрирана да је на подједнакој удаљености од унутрашњег отвора цеви целом његовом дужином. Са уређајем као што је описано, наношење се наставља док се осигура жељена дебљина превлаке. Подразумева се да се отвор третира при наношењу превлаке на било који погодан и познат начин, и са сваким погодним раствором, тако да дозволи наношење превлаке. У случају потрошених цеви, подразумева се, да се отвор дорађује да се елиминишу кратери, а наношење се затим наставља у мери која је довољна за враћање на калибар [16].

У међувремену, 1937. године, Т.К. Винсент је забележио да:

Хромирање унутрашњих отвора малих калибара оружја доводи до дужег трајања прецизности. Међутим, трошкови превлачења су превелики у поређењу са добијеним резултатима [15].

Технологија хромирања наставила је да напредује, чак и дизајнери оружја су се борили да донесу практичне предности ове технологије малокалибарском наоружању [15].

Усвајање хрома од стране светских војски

Царство Јапана било је најранија нација која је хромирала унутрашње отворе својих пушака. Минору Аракијевим (Minoru Araki) патентом Но.131175 (1937), "метод којим се наноси тврда и дебела метална хромна превлака". којим су закључили да хромирани меки челик може да замени неке брзорезне и високе угљеничне челике [15].

Пушка Тип 99 Арисака кал.7,7 mm, имала је хромирани унутрашњи отвор, а како пише Давид Петзал (David Petzal), оне су биле "прве војне цеви које су икада имале ову намену."

Сједињене Америчке Државе у почетку су хромирале само унутрашње отворе цеви великих калибара артиљеријских оруђа.

У 1930-им годинама су почели са хромним превлакама унутрашњих отвора већине оружја на дебљину од 0,0005 инча (0.013 mm). Ова превлака повећава век цеви за чак 25% [15].

Хром није стандардизован за САД - ове унутрашње отворе малокалибарског оружја све до после Другог светског рата - у ствари, све до средине 1950-их, после јапанског и руског усвајања технологије.

Прво америчко оружје са произведеним новим хромираним унутрашњим отвором је пушка М14.

Пушка М16 је првобитно произведена без хромираног унутрашњег отвора цеви, што је касније уведено на побољшаној верзији М16А1 и М16А2.

У СССР-у је увођење хромне превлаке у унутрашњем отвору цеви почело са пушкама СКС и АК47 од 1951.г.

Кинеске АК и СКС пушке су произведене са хромираним унутрашњим отвором цеви од њиховог увођења 1956.г.

Белгија је почела примену хрома на пушци FAL, прво хромирањем лежишта метка, а касније и хромирањем целог унутрашњег отвора цеви.

Британија је усвојила хромиране унутрашње отворе цеви после Другог светског рата.

Кроз историју, примењивале су се две верзије хромирања унутрашњих отвора цеви оружја: хромирано лежиште метка и хромиран цео унутрашњи отвор (лежиште метка и водишта пројектила).

Хромирање целе цеви је скупо, повећавају се захтеви за проверу тачности, потребно је да се пресек мало повећа (како би се омогућило таложење хрома), а то често доводи до шкарта.

Хромирање лежишта метка је компромис који побољшава извлачење - проблем лепљења код многих аутоматских оружја - без трошкова и проблема повезаних са хромирањем пуне дужине водишта пројектила.

Искуство је показало да хромирање само лежишта метка не решава проблем заштите унутрашњости цеви због проблема који се јављају на прелазу у водиште пројектила.

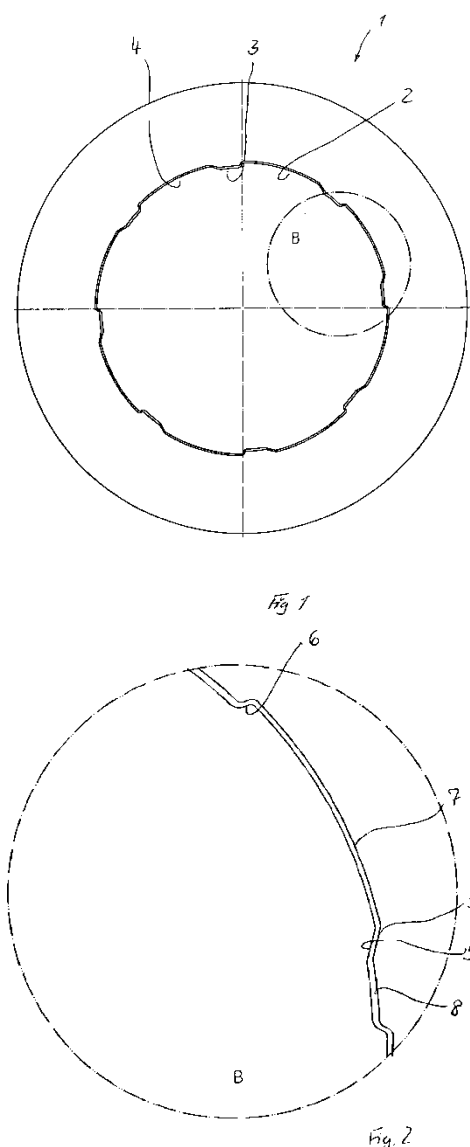
Добијање квалитетне хромне превлаке је скуп процес, а јефтина превлака производи много шкарта.

Хромна превлака одржава своје место насупрот других антикорозионих технологија, укључујући некорозивне метале и има веома јаку позицију гледано на борбу са ерозијом, нарочито у цевима изложеним високој температури (аутоматска паљба) [15].

И инжењери оружја настављају да примењују нове врсте третмана хрома у унутрашње отворе цеви. Недавна пријава патента од Рајнметала (recent patent application by Rheinmettal) покрива наношење различите дебљине хрома у пољу и жљебу на ожљебљеној цеви, слика 5.2 [17].

Овим проналаском се предлаже "ватрено оружје (1) са пољима и жљебовима и жљебове унутрашњег профила (3, 4) за малокалибарска аутоматска оружја, при чему је цео унутрашњи профил (3, 4) хромиран. Поља (3) унутрашњег профила (3, 4) су дизајнирана - трапезоидно асиметрично - као полигони и значајно ужи него жљебови

(4). С' једне стране, полигони или поља (3) имају релативно дуг успон (5) у виду успона и, на другој страни, имају брзо силазни бок (6). Хромни слој (7) на жљебовима (4) је у овом случају тањи од хромног слоја (8) на пољима (3). Дебљина слоја (9) прелази од поља (3) до жљеба (4) и од жљеба (4) до поља (3), а остварује се на успонима (5) и боковима (6)" [17].



Слика 5.2. Наношење различите дебљине хрома у пољу и жљебу на ожељбеној цеви [17]

Једно од највећих достигнућа у овој области је да хромирани унутрашњи отвор цеви, ако се ради са довољном пажњом, може бити тачан или тачнији од голог отвора (отвор без превлаке).

Хромиране цеви су тренутно стандарди војног лаког наоружања. Ово ће се променити ако и када дође нешто боље - не пре [17].

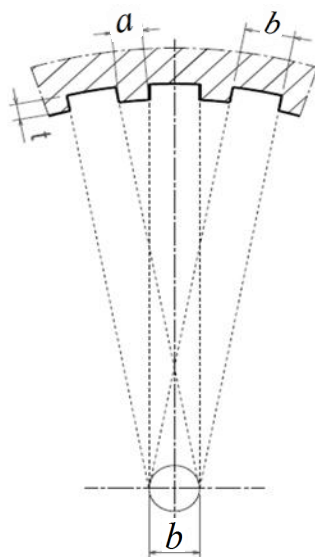
6. Анализа врста, облика и примењених технологија ожљебљења унутрашњег отвора код цеви оружја/оруђа у погледу погодности за површинску заштиту

Фигура која се образује пресецањем жљеба са равни нормалном на осу канала цеви назива се профил жљеба. Облик жљеба у попречном пресеку може бити различит [1].

Најчешће се среће:

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

Правоугли профил (слика 6.1) је профил жљеба код којег су бочне стране међусобно паралелне. Правоугли облик жљеба је основни профил жљеба усвојен у руској војној индустрији [6].



Слика 6.1. Шема конструисања правоуглих жљебова
(a – ширина поља, b – ширина жљеба, t – дубина жљеба)

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

$$b = (1,5 \div 2,0)a \quad (6.1)$$

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.) [2].

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

$$n = 3,5d + 2 \quad (6.2)$$

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

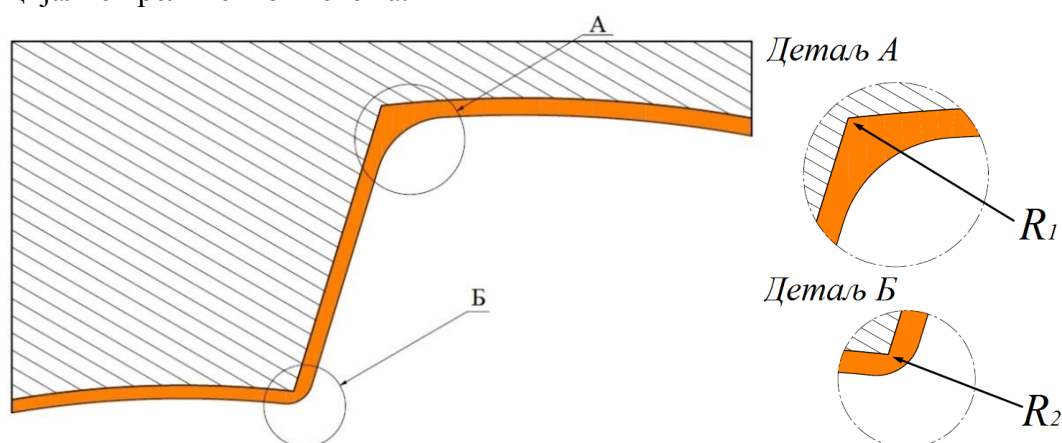
Недостаци су следећи:

- Оштри углови између страна и дна жљеба недовољно се испуњавају кошуљицом зрна при урезивању и
- Тешко се уклањају струготине и продукти сагоревања барутног пуњења из оштрих углова жљеба [2].

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 [2].

У погледу погодности за наношење површинске заштите на површину унутрашње трасе цеви, поготову код стрелачког оружја код којег се јавља мањи калибар, овај тип ожљебљења није најповољнији. Мана код овог облика ожљебљења је у томе што се јавља велики број оштрих ивица у пресецима бочних страница поља, односно жљебова и горње површине поља и дна жљебова.

Приликом наношења заштите по површини ожљебљене унутрашње трасе ових калибара, долази до неравномерног наношења заштитног слоја. Јавља се нагомилавање честица хрома (дендрита) у угловима жљебова и недовољно нанешеног слоја заштите по ивицама поља (слика 6.2). Ова места су најосетљивија у погледу трајања заштитног слоја и одговорна за скраћење животног века цеви. На овим местима се очекују потенцијалне прслине и оштећења.



Слика 6.2. Таложјење заштитног слоја хрома у углу жљеба (детал А) и недостатак таложјења на ивицама поља (детал Б)

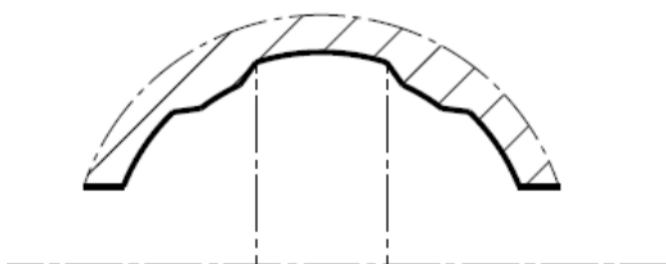
Правилан избор радијуса подножја жљеба R_1 повећава отпорност поља, искључује могућа засецања цеви, побољшава услове чишћења канала и смањује могућност сакупљања гаражи и појаве корозије.

Овај радијус треба одредити из односа

$$R_1 = (0,5 - 0,6)t \quad (6.3)$$

Оштре ивице поља се заобљавају на радијус $R_2 = (0,1 - 0,15) \text{ mm}$, што се технолошки постиже полирањем цеви.

Код **трапезног профила** жљеба стране и дно жљеба заклапају туп угао.



Слика 6.3. Трапезни облик ожљебљења [8]

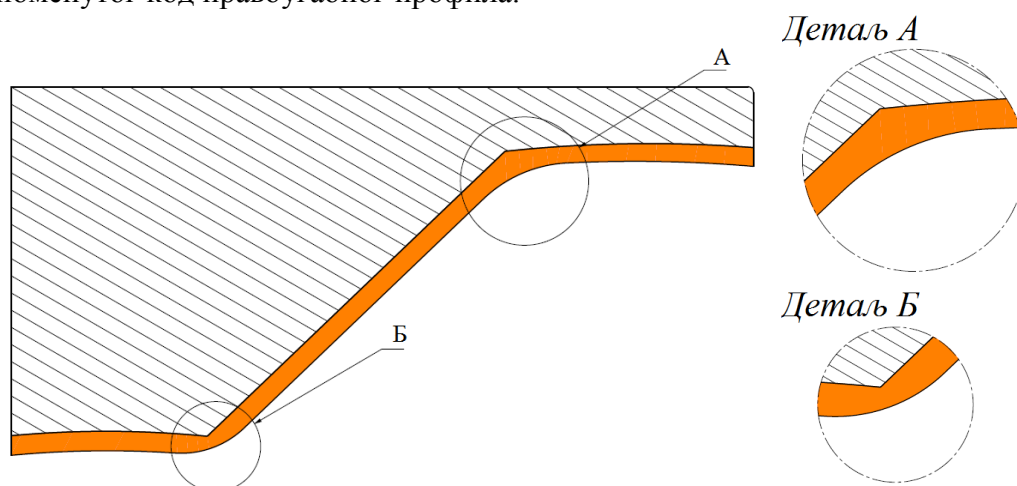
Предност оваквог типа жљебова су:

- 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 и
- Бољи услови за чишћење цеви оружја.

Недостаци су:

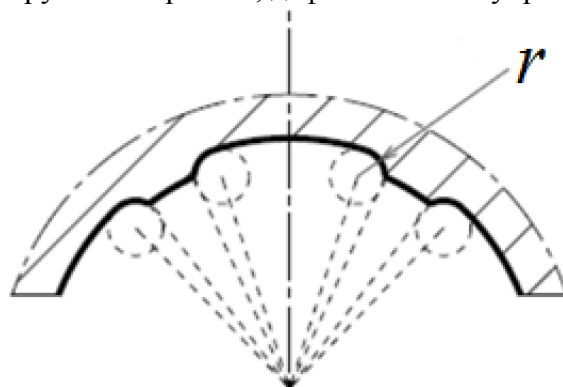
- Скупа израда алата за нарезивање и
- Сложенија производња цеви [1].

У погледу погодности за наношење слоја површинске заштите по унутрашњој површини овако ожљебљене цеви, овај профил је погоднији од правоугаоног профила. Предност овако ожљебљене цеви у односу на цев ожљебљену правоуглим профилем жљеба јесте у томе што овакав профил садржи мање оштрих ивица, односно мање оштрих углова у пресецима површина страница жљеба и горњих површине поља и дна жљебова. Приликом наношења заштитног слоја на овако профилисане површине, слој се равномерније распоређује од поменутог слоја код правоугаоних профила (слика 6.4). Јавља се мање таложење дендрита у угловима и слој је постојанији од претходно поменутог код правоугаоног профила.



Слика 6.4. Таложење заштитног слоја хрома код трапезног профила,
Детаљ А – таложење хромног слоја у подножју жљеба, Детаљ Б – таложење хромног слоја на ивици поља

Кружни облик жљеба (слика 6.5) је такав облик жљеба код којег су стране поља, односно жљеба делови кружне површине, дефинисане полупречником кружице r [1].

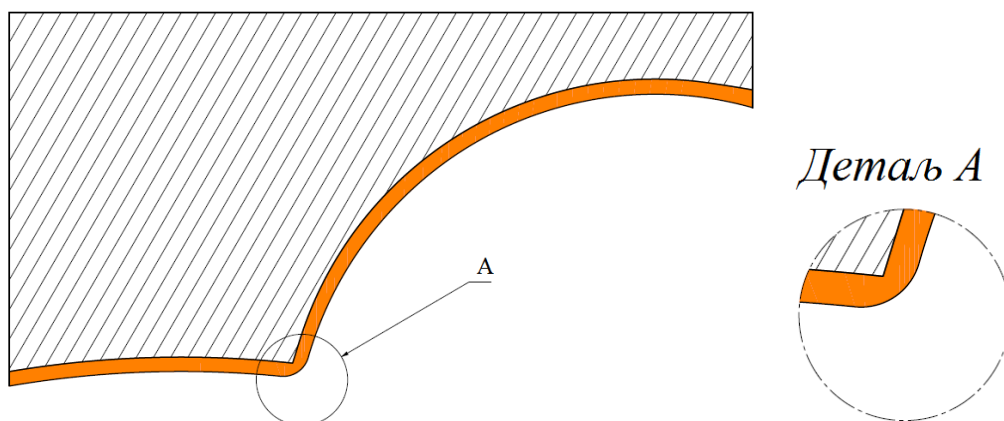


Слика 6.5. Трапезни облик ожљебљења [8]

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.

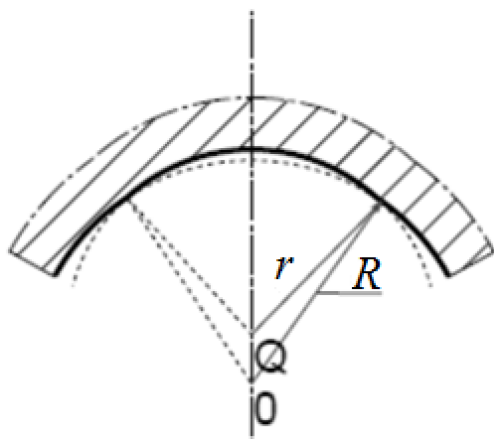
Израда алата за нарезивање ових профила је скупља и захтевнија и поступци производње су сложенији од претходно поменутих.

Овакав тип ожљебљења приликом наношења површинске заштите има повољније карактеристике од правоуглог из разлога што су му углови у подножју поља замењени радијусима и уместо стрмих страница жљеба јављају се делови кружних површина, по којима се нанешени слој равномерније распоређује. Редукцијом ових углова, редуковало се и таложење честица хрома и тиме омогућила постојанија заштита у тој области. Међутим, заобљавањем страница овог профила јављају се оштри углови (пикови) по ивицама горње површине поља и самим тим неправилно наношење хромне превлаке. Ова места су потенцијална места оштећења заштитног слоја и појаве прелина.

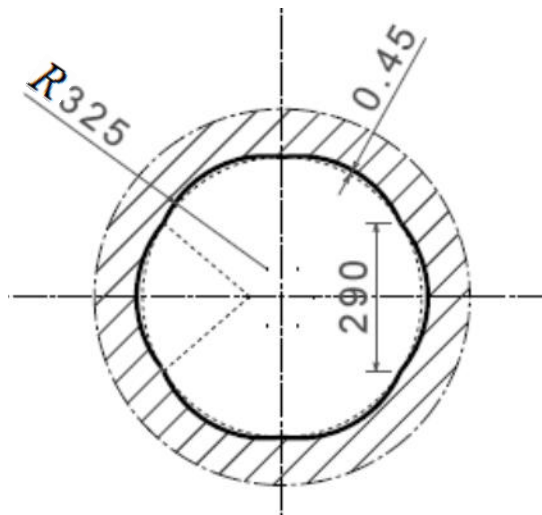


Слика 6.6. Таложење заштитног слоја хрома код кружног профила на ивице поља (детаљ А)

Сегментни облик (слике 6.7 и 6.8) је облик који настаје урезивањем кружних лукова мањег полупречника од половине калибра.



Слика 6.7. Сегментни облик ожљебљења



Слика 6.8. Арисакијев сегментни облик ожљебљења

Предности овог облика ожљебљења су:

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

Недостаци су:

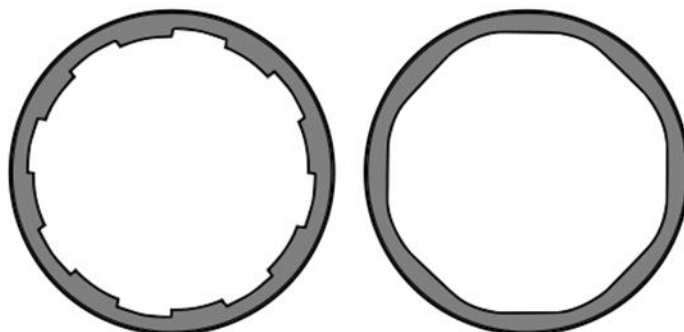
- Веома сложена и скупа технологија производње

У погледу погодности наношења површинске заштите на унутрашњу трасу цеви овако ожљебљених профила, овај облик је најпогоднији. Недостатак оштрих прелаза између површина поља и жљебова омогућава правилно и равномерно наношење заштитног слоја на унутрашњу површину. Не долази до нагомилавања честица заштитног слоја и тиме смањује шансу за појаву прелина и оштећења приликом коришћења цеви.

Због веома скупе и сложене технологије производње овај тип ожљебљења се ређе јавља од осталих облика, без обзира што омогућава најдужи век трајања цеви.

Полигонални облик (Слика 6.9)

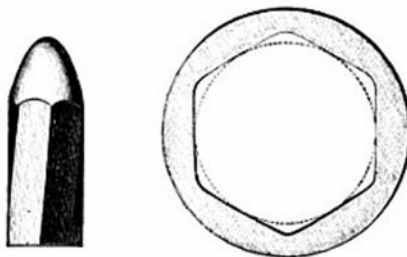
Основне предности ове конструкције су побољшано заптивање, смањено хабање, продужење века трајања цеви за приближно 60% и олакшано чишћење и одржавање. Прецизност погодака таквих цеви је боља од оне коју имају досадашње цеви, а што је најважније, ниво прецизности одржава се готово до краја века цеви [4].



Слика 6.9. Поређење попречног пресека класичног правоугаоног ожљебљења (лево) и осмоугаоног полигоналног ожљебљења (десно)

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. [4].

Полигонално ожљебљење, као основну претпоставку, подразумева промену природе деформисања пројектила при урезивању (слика 6.10). 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 [4].



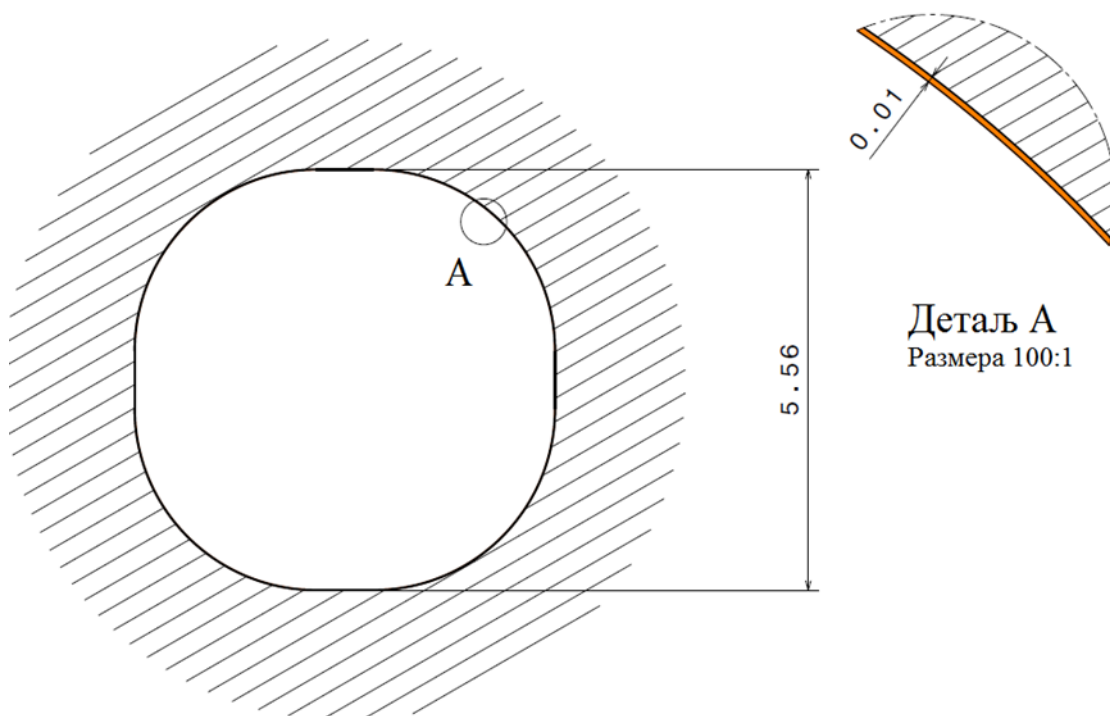
Слика 6.10. Деформација кошуљице пројектила код шестоугаоног полигоналног ожљебљења цеви

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

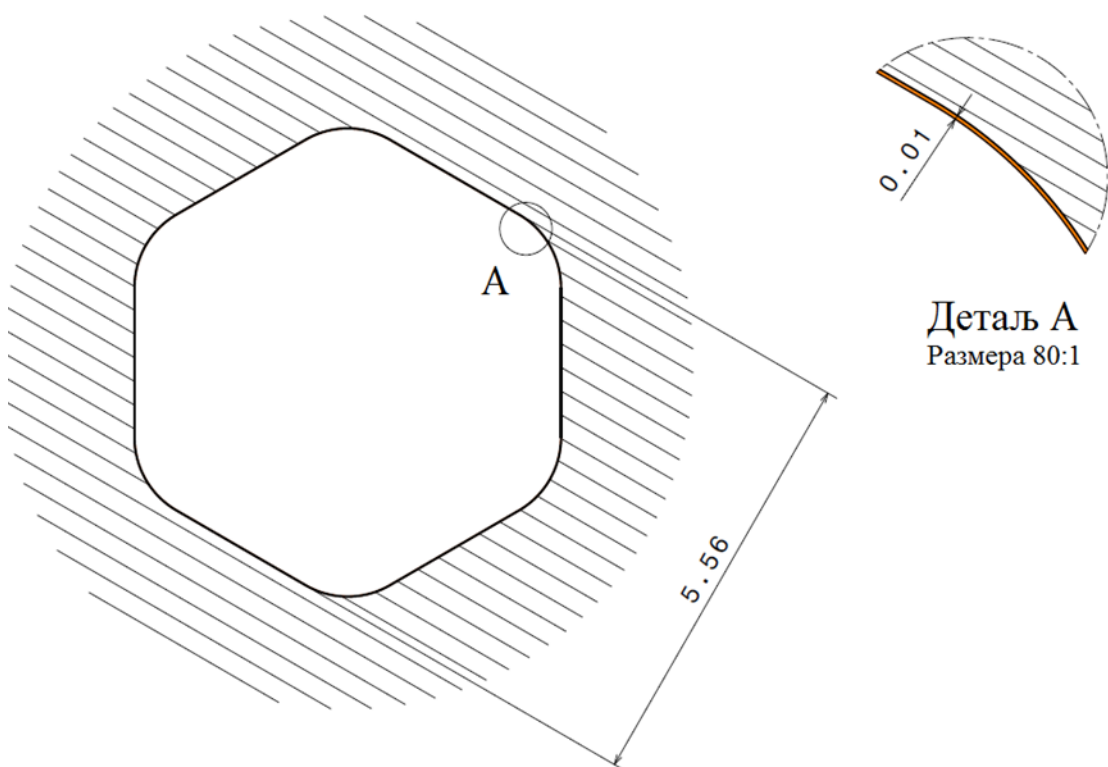
Специфични притисак на радни бок је утолико мањи, уколико је мања сила притиска кошуљице, с једне стране, односно већа дужина водећег дела кошуљице, дубина и број поља, с друге стране [4].

Опредељење за мањи број жљебова је у складу са чињеницом да таква цев садржи мање извора локалних напрезања, могућих оштећења, дисконтинуитета и грешака израде [4].

У случају примене површинске заштите код оваквих цеви, због непостојања оштрих прелаза, значајно се смањује шкарт и олакшава производња.



Слика 6.11. Четвороугаono полигонално ожљебљење код цеви за метак 5,56 mm



Слика 6.12. Шестоугаono полигонално ожљебљење код цеви за метак 5,56 mm

7. Анализа карактеристика и параметара технолошког поступка хромирања

7.1. Хемијска и физичка својства хрома

Електролитички хром је метал сребрне боје са сивим нијансама (слика 7.1.) Хром по свом потенцијалу од $-0,56\text{ V}$ у случају активног стања, треба да се понаша као неплеменити метал, а у погледу корозије да се понаша као гвожђе. У пракси то није случај, хром се понаша као племенит метал и овом стању одговара стандардни електродни поенцијал од $+1,36\text{ V}$, то је пасивно стање. Хром се при врло slabим оксидационим условима површински пасивира и тиме постаје врло племенит. Хром је отпоран на различите хемијске утицаје, нагризају га само хлороводонична киселина и врела сумпорна киселина. Атмосферски је постојан и не црни као што је случај са сребром. Добра постојаност хрома према корозији појачана је и тиме што се површина хрома тешко кваси водом и уљима. Површине хрома због лоше квашљивости се не могу спајати лемљењем [7].



Слика 7.1. Кристали хрома [11]

Атомска маса је $52,01$, а у воденим растворима се јавља у $2,3$ и 6 валентном стању. При таложењу хрома из шестовалентног стања електрохемијски еквивалент износи $0,324\text{ g/Ah}$, а при таложењу из тровалентног стања је $0,646\text{ g/Ah}$.

Док је хром добијен ливењем релативно мек метал, електролитички исталожен хром има велику тврдоћу. Температура топљења је од $1850 - 1900\text{ }^{\circ}\text{C}$, а коефицијент линеарног ширења хрома од 0 до $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ је $6,6 \times 10^{-6}\text{ 1/}^{\circ}\text{C}$. Густина сјајног хрома је $7,0\text{ g/dm}^3$, млечног $7,1\text{ g/dm}^3$, а мат $6,9\text{ g/dm}^3$. Рефлексија сјајног хрома је од 60 до 65% , а црног хрома од 1 до 10% . Способност рефлектовања светлости хрома практично се не мења, што није случај са сребром и никлом [7].

У техничкој документацији и према СНО-е означава се са:

- Cr – t - превлаке тврдог хрома,
- Cr – m - превлаке млечног хрома,
- Cr – c - превлаке црног хрома и
- Cr – d - превлаке декоративног хрома.

7.2. Хромирање

Електролитичко таложeње хрома има широку и разноврсну примену, што је условљено карактеристичним особинама ових превлака. Електролитичке превлаке хрома имају велику тврдоћу и добру отпорност према хабању, мали коефицијент трења, отпорне су према атмосферским корозионим деловањима при нормалној и повишеној температури, а могу да се добију сјајне без накнадне обраде [7].

Према наведеним особинама разликују се следеће врсте превлака хрома:

- Превлаке хрома отпорне на хабање познате као „тврди“ хром, чији је циљ да се повећа трајност површине на деловима машина и уређаја, који су изложени хабању. Ове превлаке користе се и за регенерацију исхабаних делова машина или алата, тј. ради довођења на првобитну меру.
- Заштитне и декоративне или заштитно – декоративне превлаке хрома, које се наносе на делове да би их украсиле и заштитиле од корозије.
- Порозне превлаке хрома које су намењене заштити површина које се у експлоатацији морају подмазивати.
- Превлаке црног хрома ради постизања одређених оптичких и декоративних особина.

Електролитичке превлаке хрома наносе се директно на основни метал (челик, бакар, легуре бакра, алуминијум, легуре алуминијума) или преко подслоја (бакра, никла).

Технолошки поступак хромирања из хроматно – сулфатних електролита има низ специфичности у односу на друге електролитичке поступке таложeња метала, а то су: таложeње из електролита ниске таложне моћи, примена нерастворних анода и ниско искоришћење струје.

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.

Заштитна и декоративна својства превлака хрома знатно зависе од структуре и дебљине превлаке. Како хромна превлака представља катодну заштиту основе од челика, то је веома важно дефинисати порозност ових превлака. Често је у питању заштита система са комбинованим деловањем променљивих оптерећења и агресивне средине на хромирану површину у којој се налази тачка. У тим случајевима потпуна заштита постиже се комбинованим слојевитим превлакама хрома.

На усавршавању технолошког процеса хромирања радило је низ научно – истраживачких института и организација широм света. Процес је знатно усавршен развојем електролита за хромирање, применом проточног хромирања, нестационарних режима струје као и програмираног вођења процеса [7].

7.3. Карактеристике хромног слоја

- Тврдоћа хрома износи 63 – 66 Роквел јединица (галвански хром има 5 – 10 пута већу тврдоћу од металуршког хрома). У Мосовој скали тврдоћа хрома је 9, што значи да има тврдоћу корунда.
- Специфична тежина електролитичког хрома износи $6,5 \text{ gr/cm}^3$.
- Тврди хром поседује ниски коефицијент трења услед корисне особине одбијања, односно недостатка моћи лепљења материјала. Тако коефицијенти отпора против клизања су: челик по челику = 0,20; хром по челику = 0,16. Хром је отпорнији на хабање за око 2 пута од цеметираних делова (мада имају сличну тврдоћу), а за 4 пута од никла.
- Хром почиње да омекшава изнад температуре од 350°C , да губи боју (оксидише) изнад 500°C , док му је тачка топљења око 1600°C .
- Адхезија хрома за основу је врло јака, у чему има предност над осталим галванским превлакама и омогућава његову примену и за најоптерећеније машинске делове.
- Превлака хрома може да се наноси на челике у природном и термичком обрађеном стању, јер се процесом хромирања не мења структура материјала.
- Тврди хром поседује велику хемијску отпорност и на високим температурама на већину гасова, алкалија, соли и киселина, сем киселина халогена на свим температурама и сумпорне киселине на топло.

Услед своје хемијске пасивности превлаке хрома су постојане на ваздуху, не тамне и зато их не треба чистити (док превлаке и никла и сребра оксидишу), тако да предмети с превлакама хрома добијају изглед племенитог метала [10].

Ако је део са хромном површином изложен у току експлоатације повећаној температури и разлици температуре (као у случају код цеви стрелачког оружја) или локалном хлађењу, онда је пожељно узети мањи слој хрома, јер због разног термичког ширења челика и хрома (хром има мањи коефицијент топлотног истезања од ливеног гвожђа и челика, а знатно мањи од бакра и никла) може да наступи одвајање хромне насlage од основног материјала. Насупрот томе, у случају неке челичне основе, нарочито при појави већих оптерећења, танак слој хрома може да се утисне у основу, па настаје трошење хрома, љуштење и др. [10].

Што се тиче заштитних особина од корозије, због тога што је хромоксид, који се ствара при хромирању и обавија зрна гвожђа, електропозитивнији од гвожђа, та заштита је механичке природе. Да не би наступила још јача корозија дела с хромном превлаком, потребно је да она сасвим прекрије површину и да слој има довољну дебљину. Ако има рупица у материјалу, због настанка корозије између основе и хрома настаје одвајање - љуштење превлаке.

7.4. Ток процеса хромирања

7.4.1. Поступци припреме површине

Припрема површине за таложeње превлаке обухвата:

- Механичку обраду површине (брушење, сачмарење, полирање).
- Одмашћивање у органском одмашћивачу (на хладно и топло, односно у пари).
- Заштиту површина на деловима које се не хромирају (тракама и лаковима).
- Монтажу делова на вешалице.
- Одмашћивање делова у алкалном раствору, а затим испирање.
- Хемијско нагризање у раствору киселина, а затим испирање.
- Електрохемијско активирање (анодно нагризање).

На деловима од челика велике чврстоће примењује се допунска термичка обрада на температури од 200 – 230°C у трајању од 2 – 3 часа ради уклањања унутрашњих напрезања, заосталих после механичке обраде и површинског очвршћавања једном од метода површинске пластичне деформације.

Делови од челика високе чврстоће не смеју се нагризати у киселим растворима нити електрохемијски одмашћивати [7].

7.4.2. Механичка обрада површине

Површина основног метала пре таложeња подслоја или превлаке хрома, мора бити тако одређена да не сме бити видљивих оштећења као што су поре, прскотине и непожељне превлаке или било која оштећења која би погоршала завршну обраду.

Површине делова на које се таложe заштитно декоративне превлаке треба да буду исполиране. Степен обраде је у складу са таложeњем подслоја бакра и никла. Сви недостаци полирања видљиви су на сјаним превлакама хрома.

Површина делова, где се таложeње превлаке хрома већих дебљина врши директно на основи метала обично се бруси до класе обраде 6 и 7 према JUS M.A1.020. Димензија нових делова пре хромирања смањује се за дебљину превлаке хрома.

Припрема површине одвија се и сачмарењем у циљу побољшања трајне динамичке чврстоће. Интензитет сачмарења мора бити такав да буде прилагођен врсти основног метала, облику и димензијама делова [7].

7.4.3. Одмашћивање у органском одмашћивачу

Први поступак хемијске припреме површине за таложeње превлаке хрома је грубо одмашћивање делова у органском одмашћивачу. У ту сврху користе се разни органски одмашћивачи у зависности од материјала који се одмашћује, врсте делова, нечистоћа на њима, као и касније хемијске обраде. За одмашћивање у погонима битно је да на собној температури одмашћивачи буду у течном стању и незапаливи. У том смислу погодан је мали број хлорираних угљоводоника, као: трихлоретилен, тетрахлоретилен, дихлорметан и 1,2 дихлоретан [7].

Код нас је најраширенија примена трихлоретилена (вероватно што се најлакше набавља). Одмашћивање у трихлоретилену се заснима на његовом својству доброг растварања масти, уља и воскова. Често се користи у хладном стању за ручно одмашћивање, као замена за бензин, а што је веома штетно. Са загревањем његова делотворност се повећава, тако да се најчешће користи за одмашћивање на топлотом у

специјалним уређајима. Да би се добили бољи резултати одмашћивања често се комбинују одмашћивање у течной и парној фази. При одмашћивању у парној фази паре растварача долазе у додир са површином метала при чему долази до кондензације паре у течности, која се слива са површине предмета односећи растворене масти, при чему ова течност одлази у котао уређаја где се врши дестилација, тако да паре растварача поново долазе у простор где се налазе делови које треба одмастити. Када се у растварачу накупи много масти и уља дестилацијом се растварач од њих одвоји [7].

7.4.4. Заштита површина које се не хромирају

Површине на деловима које се не хромирају, као и вешалице (изузев места контакта) треба да буду изоловане. Посебно добро треба да буде обављена изолација површина на деловима које се хромирају у силикофлуоридним електролитима. Изолациони материјали који се примењују при хромирању треба да буду хемијски постојани у средствима за одмашћивање, нагризање као и у електролитима за хромирање на температури 50 – 70 °C у току дужег времена.

Уколико на деловима који се хромирају има отвора, њих треба затворити материјалом постојаним према електролиту или премазати изолационим лаком [7].

7.4.5. Монтажа делова на вешалице

Вешалице и алати за хромирање морају бити конструисани тако да омогуће довођење потребне количине струје на делове који се хромирају и да се струја равномерно расподели по површини која се хромира. Поузданост контакта при хромирању има велики значај, јер је кроз њих нужен проток велике струје. Површина контакта треба да буде чиста пре постављања делова који се хромирају.

Распоред делова који се хромирају у кади за хромирање је битан за добијање доброг квалитета превлаке хрома. Ако се таложи хром на спољне површине, треба обратити пажњу да један део не заклања други. Ради таложења хрома на унутрашње површине, често се користе допунске аноде, причвршћене на вешалице, на које је причвршћен и део који се хромира. Тада је важна добра изолација катодних од анодних водова [7].

Све површине вешалица, осим контактних и заштитних катода, како је наглашено треба да буду изоловане, да не би дошло до непотребног губитка струје. Рационално конструисан алат и правилна монтажа доводе до велике поузданости хромирања и доброг квалитета превлаке [7].

7.4.6. Одмашћивање у алкалном раствору

Одмашћивање у алкалном раствору може се обавити на топлотом, хемијском и електрохемијском.

Средства за алкално одмашћивање морају да испуњавају следеће захтеве: високи алкалитет, способност варења пuffers, способност дисперговања, способност стварања комплекса и способност уклањања нечистоћа у облику дисперзних честица.

Најчешће компоненте алкалних раствора су: натријумхидроксид, натријумфосфат, натријумкарбонат, натријумсиликат, алкил – арил – сулфонети, полигликолни етри масних алкохола, а однос и концентрација основних компоненти зависе од делова који се одмашћују (врсте основног метала).

Поступак електрохемијског одмашћивања се састоји у томе што се делови у алкалном раствору за кратко време изложе деловању једносмерне струје или периодично променљиве, при чему делови који се одмашћују могу бити катоде или

анодне или наизменично катодне па потом анодне или обрнуто. Процес чишћења објашњава се интензивним развијањем гаса водоника на катоди или кисеоника на аноди, при чему се на катоди издваја два пута већа количина гаса. Овим мехурићи гаса одстрањују нечистоће са површине метала и односе их са собом, при чему оне касније бивају емулговане од алкалног раствора [7].

Поступак електрохемијског одмашћивања је једноставан, не захтева неку специјалну апаратуру [7].

7.4.7. Хемијско активирање – декапирање

Пре уношења делова у каду за електролизу делови морају имати чисту металну површину, да би се постигло добро пријањање превлаке хрома за основни метал. Полиране и одмашћене површине превучене су танким слојем оксида који се не може уочити посматрањем голим оком. Овај оксидни филм отклања се процесом који је познат под именом декапирање. Декапирање се изводи погодним раствором који првенствено треба да раствара оксиде. Међутим, обично у веома слабом облику долази једновременно и до нагризања метала чиме се открива кристална структура метала што повољно утиче на зарашћивање металне превлаке за подлогу. Декапирање се изводи непосредно пре електроличког поступка. Декапирани предмети се морају добро опрати пре уношења у електролит за наношење металне превлаке [7].

За декапирање најчешће се користе раствори сумпорне или хлороводоничне киселине на собној температури у кратком временском интервалу.

7.4.8. Електрохемијско активирање

Електрохемијска припрема може да се састоји у електрохемијском нагризању површине метала и електрохемијском полирању металне површине.

Пре електролитичког хромирања делови од челика се анодно нагризају у хроматно – сулфатном електролиту, на температури која одговара температури таложења хрома. После анодног активирања обавља се испирање делова водом. Често се у случају таложења превлака хрома већих дебљина, после загревања до температуре електролизе активирање врши у кади за таложење превлаке хрома [7].

При анодном активирању у електролиту за хромирање раствара се гвожђе. Међутим пракса је показала, да је при таложењу превлаке већих дебљина процес таложења дуг, а нагризање основног метала ретко тако да је скупљање гвожђа у електролиту споро [7].

Анодно активирање у хроматно – сулфатном електролиту је веома важно, јер од квалитета извођења ове операције у знатној мери зависи пријањање хрома за основни метал. При извођењу ове операције метална површина се у потпуности чисти уз бурно одвајање кисеоника.

7.4.9. Процес хромирања

Процесу хромирања приступа се на различите начине, зависно од асортимана делова, одабраног режима рада са електролитом, као и одабраног режима струје.

Важно је да у почетку електролизе делови односно површине на које се таложе превлаке хрома треба да буду загрејане на температуру електролита. При томе треба узети у обзир основни метал делова, јер делови од челика могу се загревавати и у електролиту за хромирање, док се делови од бакра и легура бакра загревају у врућој води. Битна је величина делова на које се таложи хром: ситнији делови се брже

загревају, док се делови већих димензија спорије греју хладећи при томе електролит у коме се греју [7].

Код хромирања профилисаних делова препоручује се да у почетку електролизе струја таложења буде дупло већа, а потом да се постепено смањује до прорачунате за задати режим.

Уколико се у технолошком процесу хромирања користи једносмерна струја тада се по прекиду струје не препоручује поново таложење хрома на исту површину, јер је врло вероватно да следећи слој хрома неће имати добро пријањање за претходни.

Трајање хромирања прорачунава се на основу задате дебљине превлаке и брзине таложења за одабрани режим таложења. Код дефинисања дебљине задатог слоја треба узети у обзир неравномерност превлаке по површини и минималну дебљину која се добија одабраним режимом таложења у одређеном времену. Зато је важно одабрати процес таложења који ће повећати равномерност таложења превлаке, односно који ће бити ефикаснији [7].

Брзина таложења хрома при равномерној расподели превлаке може се израчунати по формули:

$$v = 0,047 l_k \eta \quad (7.1)$$

v – брзина таложења хрома ($\mu\text{m/h}$)

l_k – катодна густина струје (Adm^{-2})

η – искоришћење струје (%)

7.4.10. Поступци обраде после таложења хрома

Након завршетка процеса хромирања делови се испирају у штедној (непроточној) кади са водом, која служи за надоливање електролита, затим у проточној хладној, топлој води, па се онда суше у струји топлог ваздуха.

Зависно од функционалних захтева према превлакама хрома и према основном металу после хромирања врши се обрада механички или термички.

Термичка обрада делова заштићених превлакама електролитичког хрома врши се ради смањења водоничне кртости. Термичка обрада се врши након хромирања, али не касније од 4 сата после таложења превлаке и пре било које завршне обраде.

Термичка обрада ради смањења водоничне кртости, делова од челика заштићених превлакама хрома, углавном се врши на температурама од 190 – 220 °C у трајању од 2 до 18 сати у зависности од максималне затезне чврстоће челика. Термичка обрада ради смањења водоничне кртости и враћања трајне динамичке чврстоће делова који нису сачмарени, врши се најмање 1 сат на температури од 400 до 480 °C.

Када се врши загревање делова од алуминијума заштићених превлакама хрома, треба имати у виду да се механичке особине неких легура алуминијума могу погоршати. Ако се термичка обрада може извести и ако се захтева испитивање пријањања превлака онда се делови са превлакама загревају на ваздуху повећањем температуре од 2 до 3 °C/min док се не достигне температура између 130 и 140 °C. Ова температура се одржава најмање од 2 до 3 сата.

Обзиром да електролити за хромирање имају слабу таложну моћ, делови који се заштићују превлакама хрома већих дебљина тешко се хромирају у границама

толеранције, па је нужна механичка обрада. Механичка обрада се изводи брушењем. Брушење превлаке не само што доводи део на потребне мере, већ је добра провера пријањања превлаке за основни метал. Абразивно брушење има велико механичко и термичко деловање на површину хромне превлаке, услед чега се мења микротврдоћа, порозност, храпавост и унутрашње напрезање. Ради тога је нужно хлађење површине хрома при брушењу.

7.5. Контрола квалитета превлака хрома

Квалитет површинске заштите превлакама хрома одређен је квалитетом основног метала и квалитетом превлаке односно подслоја.

Контрола основног метала пре таложења превлаке обухвата одређивање храпавости, као и утврђивање присуства недозвољених дефеката; зареза, огреботина, трагова корозије, укључака и прскотина.

Контрола квалитета електролитичког хрома зависно од типа превлаке односно функционалних захтева обухвата испитивање основних својстава превлака (спољни изглед, дебљина, пријањање, порозност, микротврдоћа, отпорност према корозији) и специјалних својстава (отпорност према хабању и ерозији) [7].

Основне методе за контролу својстава превлака електролитичког хрома приказане су у SNO 1633/90 и то за:

- Спољни изглед:
 - Метода 3 (визуелни преглед на дневној или вештачкој светлости већој од 300 лукса)
 - Дебљину превлаке,
 - Магнетна метода,
 - Метода повратне дисперзије β – зрака,
 - Спектрометријска метода x – зрака,
 - Кулометријска метода,
 - Микроскопска метода,
 - Метода капи и
 - Гравиметријска метода;
- Пријањање превлаке:
 - Метода зареза,
 - Метода загревања,
 - Метода брушења и тестерисања;
- Порозност превлаке:
 - Фероксилна метода;
- Микротврдоћу превлаке:
 - Метода по Викерсу;
- Отпорност према корозији:
 - Метода магле,
 - CASS метода и
 - Corrodokte метода;
- Отпорност према хабању: метода Табер абразера.

Отпорност према ерозионом деловању барутних гасова испитује се коришћењем специјалног уређаја који представља модификацију оружја на који се уграђује хромирани део.

Набројане методе контроле превлака могу се поделити на неразарајуће и разарајуће. Неразарајуће методе користе се у производњи где је потребно 100% контрола великог броја сличних делова, посебно када су у питању профилисани делови [7].

Тако када је у питању контрола дебљине превлака од неразарајућих метода најчешће се користе електромагнетна и гравиметријска, као и метода директног мерења. Микроскопска метода је разарајућа метода, али најчешће се користи као атрибутска метода.

У истраживањима упоредо са развојем технолошких поступака хромирања постављају се задаци развоја нових метода контроле основних и специјалних параметара. Аутоматском обрадом резултата мерења основних својстава, прати се одвијање процеса таложења хрома и по потреби корекција улазних вредности за параметре струје и температуре [7].

За таложење превлака хрома одређеног квалитета важна је контрола електролита, која обухвата анализе и корекције основних компоненти раствора.

8. Анализа захтева за унутрашњу трасу припремка цеви оружја калибра 5,56 mm пре хромирања

Као што је раније већ наглашено, основа квалитета површинске заштите превлаком хрома јесте квалитет основног метала на који се превлака хрома наноси.

У том циљу посебна пажња у технолошком процесу се посвећује обезбеђењу што бољег квалитета површине, елиминисању недозвољених дефеката, зареза, огреботина, укључака и прскотина.

Те услове обезбеђују претходни технолошки поступци кроз које пролази припремак цеви оружја: дубоко бушење унутрашњег отвора цеви и ковање у циљу ожљебљења унутрашње трасе цеви.

За производњу цеви оружја кал. 5,56 mm користе се ваљане шипке цилиндричног облика од високо квалитетног легираног челика по досадашњој ознаци $\check{C}.5730VP$ по SNO 7073 или 30XH2BA по GOST-у 5160-70 (слика 8.1).



Слика 8.1. Ваљане шипке цилиндричног облика које се користе за производњу цеви кал. 5,56 mm

Шипке се набављају са мером пречника D'_s који обезбеђује мере финалне цеви и зависна је од дефинисаних додатака за спољашњу обраду цеви оружја.

Од таквих шипки, одсецањем се најпре формира припремак цеви дужине L'_0 који се термички обрађује уз услов да тврдоћа задовољи захтев: HB = 285 - 340 ($R_m = 952 - 1148 \text{ N/mm}^2$).

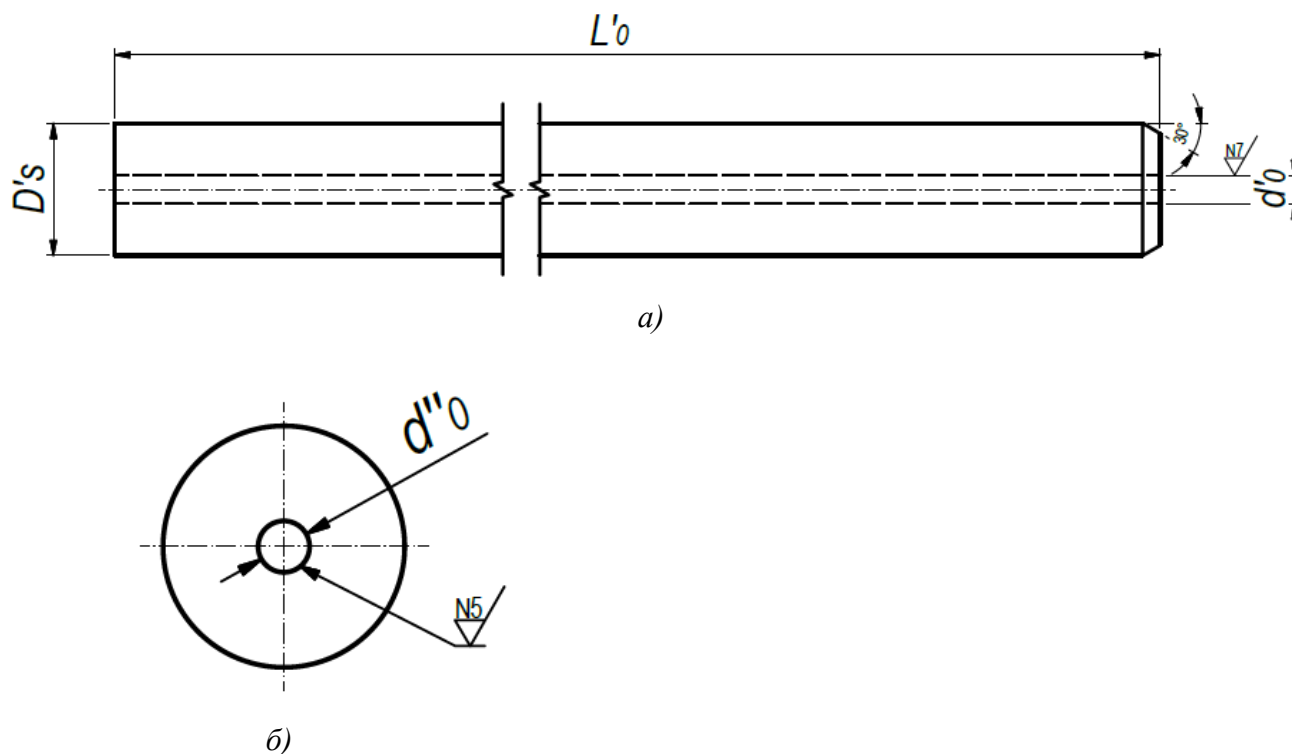
На припремку се врши спољашња обрада и припрема крајева за дубоко бушење са конусима за центрирање при стезању припремка у стезну главу.

Затим се врши дубоко бушење таквог припремка цеви, при чему се формира унутрашњи пречник d'_0 са квалитетом обраде површине N7 до N8 (слика 8.2.).

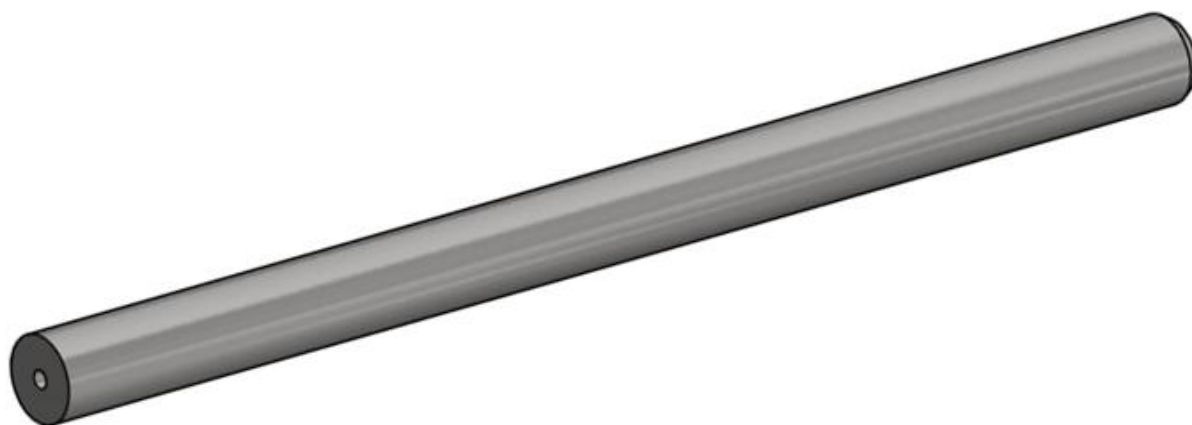
При дубоком бушењу избушени отвор има пречник $d'_0 = d''_0 - 0,2 \text{ mm}$.

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 .

Другим речима, ако је пречник отвора добијен дубоким бушењем износио 5,6 mm, после операције електрохемијског полирања износи $d''_0 = 5,8$ mm.

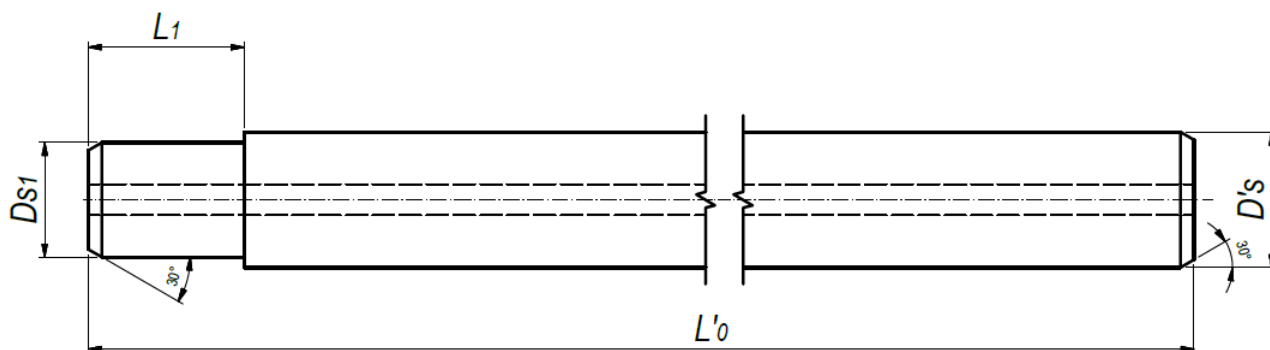


Слика 8.2. Цртеж припремка цеви непосредно после поступка дубоког бушења са мерама и квалитетом обраде унутрашњег отвора пре електрохемијског полирања (слика а) и после електрохемијског полирања (слика б)



Слика 8.3. Аксонометријски приказ припремка цеви након поступка дубоког бушења

Да би се обезбедило поуздано и тачно стежање припремка цеви при ковању, спољашњост задњег дела цеви, на дужини L_1 , се обрађује на пречник D_{s1} (слика 8.4.).



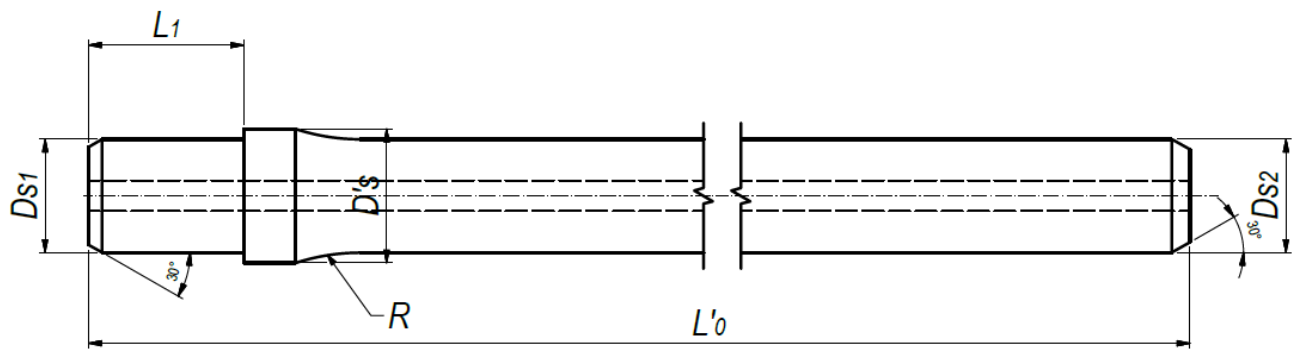
Слика 8.4. Цртеж припремка цеви кал. 5,56 mm TW7 за ковање



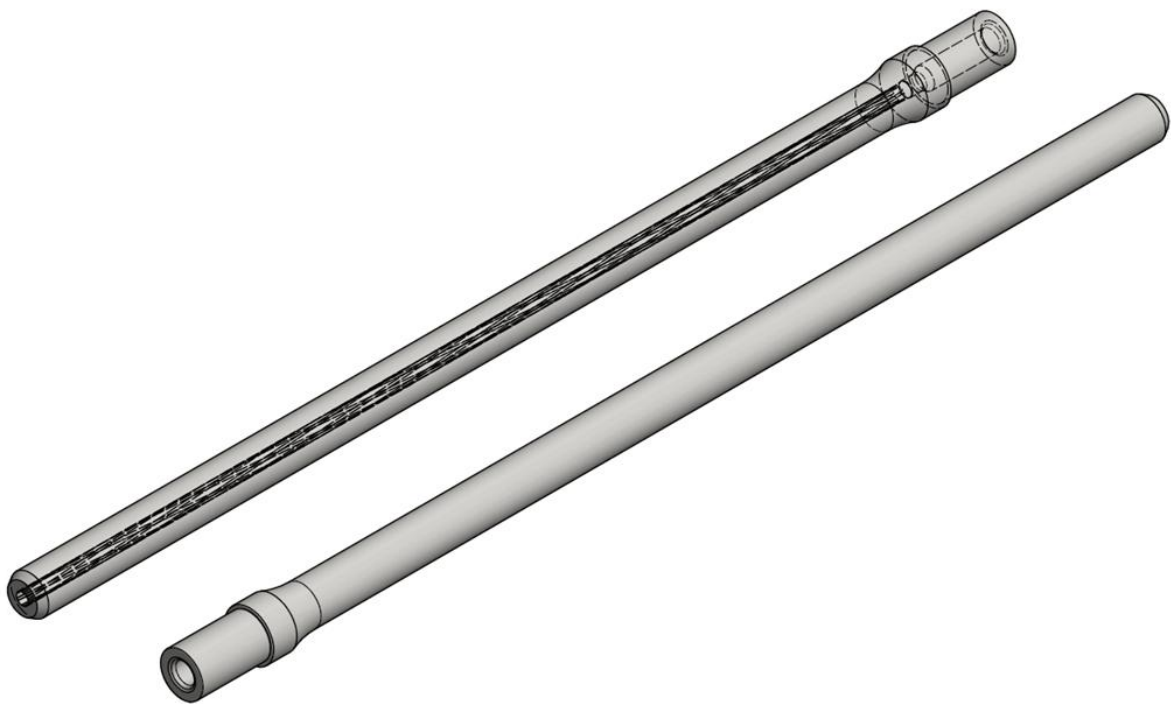
Слика 8.5. Припремци цеви кал. 5,56 mm TW7 за ковање

После ове операције, припремак цеви се подвргава хладном ковању при коме се остварује спољашњи пречник D_{s2} , а при томе се врши ожљебљење унутрашње трасе (слика 8.5.) са десним жљебовима који имају корак увијања 177,8 mm, са квалитетом површине N5.

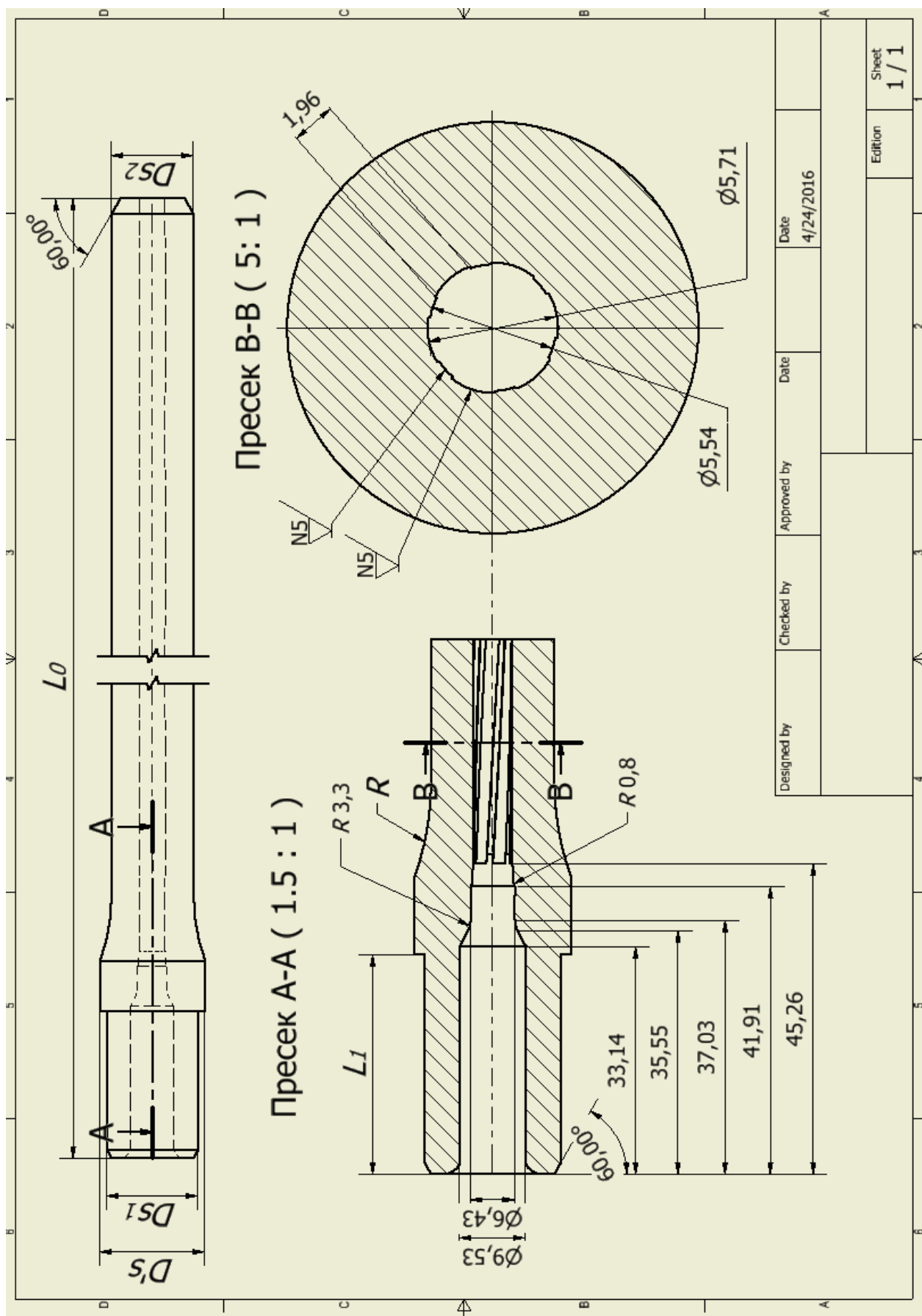
Затим се врши одсецање крајева припремка цеви на дужину $L'o$ уз обраду крајева којима се обезбеђује постављање у алат за хромирање (слика 8.6.).



Слика 8.6. Цртеж отковане цеви кал. 5,56 mm TW7



Слика 8.7. Аксинометријски приказ отковане цеви кал. 5,56 mm TW7



Слика 8.7. Цртеж ожељбљене цеви кал. 5,56 mm TW7

9. Анализа захтева за хромирану унутрашњу трасу цеви оружја калибра 5,56 mm

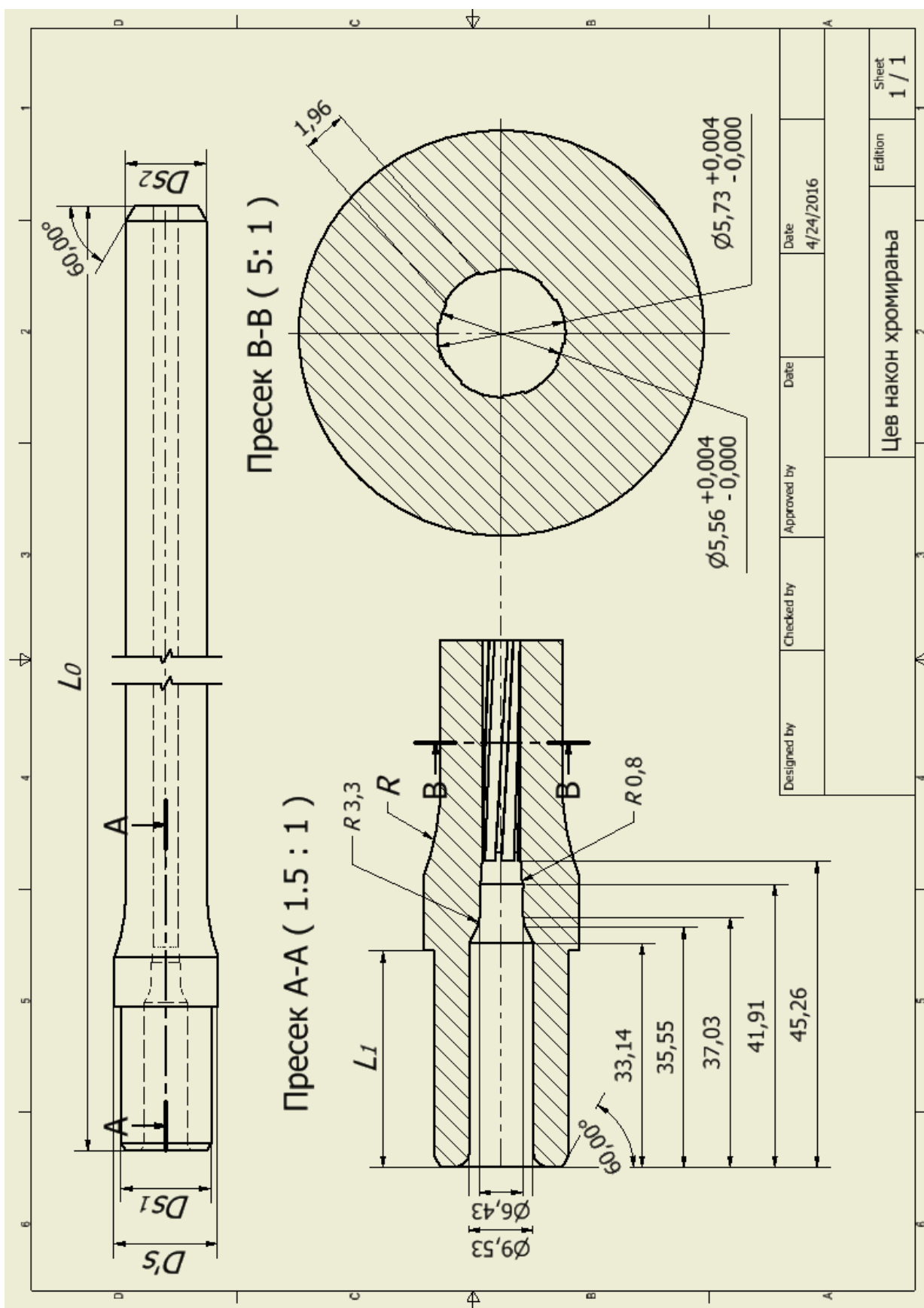
Хромни слој који се наноси на унутрашњи отвор цеви мора да задовољи дефинисане захтеве, којима се обезбеђује његов квалитет, временска и експлоатациона постојаност. Из тих разлога у техничкој документацији, за хромни слој се дефинишу:

- Захтеви за квалитет:
 - Хромни слој мора да задовољи захтеве стандарда народне одбране - SNO 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 $5,56^{+0,04}$.

Калибар се проверава помоћу гарнитуре контролника калибра, који полазе од минималног контролника пречника 5,56 mm па до максималног контролника пречника 5,60 mm, при чему је разлика између контролника једне гарнитуре 0,01 mm. Кроз цев мора проћи својом сопственом тежином минимални контролник калибра 5,56 mm без икаквог запињања и кочења, док максимални контролник калибра 5,60 mm не сме проћи кроз цев.

Залажење максималног контролника после хромирања дозвољава се до 2,54 mm са уста цеви и до 92 mm са стране лежишта метка.

- Дозвољава се конусност према устима цеви,
- Правост цеви, треба проверавати контролником дужине 200 mm који је за 0.02 mm мањи од стварно измереног калибра. При томе овај контролник мора под деловањем сопствене тежине да прође кроз цев.
- Захтеви у погледу покривености хромне превлаке:
 - Непокривеност хрома проверава се брунирањем
- Захтеви у погледу могућности дораде хромне превлаке:
 - Дозвољава се полирање лежишта метка. Изузетно се дозвољава полирање водишта на укупно 10% цеви од хромиране количине. Крупноћа зрна за полирање износи 320.



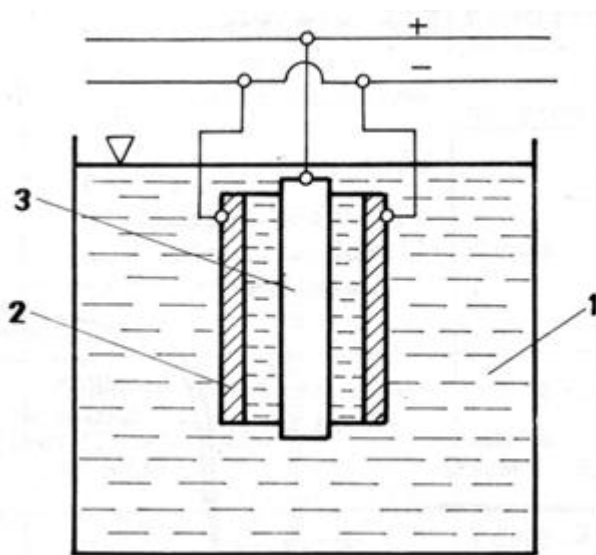
Слика 9.1. Припремак цеви кал.5,56 mm TW7 после хромирања

10. Специфичности технолошког процеса хромирања унутрашњег отвора цеви оружја

Превлаке хрома су постојане према атмосферској корозији при нормалној и повишеној температури. Веома су тврде и отпорне на хабање, имају мали коефицијент трења и могу се добити сјајне без накнадне обраде [6].

За аноду се при хромирању може употребити чисто олово или легирано са антимоном (7% Sb), калајем (1% Sn) или сребром (0,5% Ag).

На слици 10.1 приказана је шема постављања аноде и катодe (радни предмет) у електролит при хромирању цилиндричног дела.



Слика 10.1. Шема хромирања: 1-када с електролитом; 2-радни предмет (катода); 3-анода [2]

Данас се тврдим хромним превлакама хромирају цеви оружја и оруђа. Млечним хромним превлакама заштићују се цилиндри и клипњаче, противтрзајући уређај, цилиндри изравњача, клипњаче и цилиндри хидрауличних дизалица као и делови који се не могу адекватно заштитити другим заштитама.

Разликују се три врсте електролита за хромирање:

1. *разблажени електролит* са садржајем 150 g/l хромтриоксида (CrO_3) и 1,5 g/l сумпорне киселине. Његове карактеристике, у поређењу са другим електролитима, јесу боља расподела талога по површини катодe (радног предмета) у поређењу са другим електролитима, веће искоришћење струје и мањи губици у електролиту при вађењу предмета;

2. *стандардни електролит* садржи 250 g/l CrO_3 и 2,5 g/l сумпорне киселине. Најчешће се употребљава за добијање тврдых превлака;

3. *концентровани електролит*, који садржи 350 ÷ 450 g/l CrO_3 и 3,5 ÷ 4,5 g/l H_2SO_4 . Карактеристике ове хромне превлаке јесу:

- добра покривна моћ,
- мање искоришћење струје,
- већа постојаност и
- већи губитак електролита због вађења мокрих предмета.

Овај електролит се употребљава за добијање декоративних превлака.

Код тврдых хромних превлака наношење се врши директно на челик, а дебљина нанесеног слоја износи од 0,001 до 0,5 mm. Предмети који се хромирају треба да су брушени или хоновани и да им тврдоћа не прелази 57 до 62 HRC, јер челици с већом тврдоћом, после хромирања, постају крти. При температури од 55°C препоручује се густина од 35 A/dm². За један сат се у просеку таложи 0,0254 mm хрома. Вишак хрома се одстрањује брушењем. Пошто је брушење хрома веома тешко, те се углавном желе добити предмети хромирани на меру, у ком смислу се и води технолошки процес.

Да би се избегла кртост челика услед присуства водоника, после хромирања се врши загревање радних предмета на температуру од 150 до 260°C у времену од 1 до 5 сати. Пре хромирања, радни предмети се морају одмастити [6].

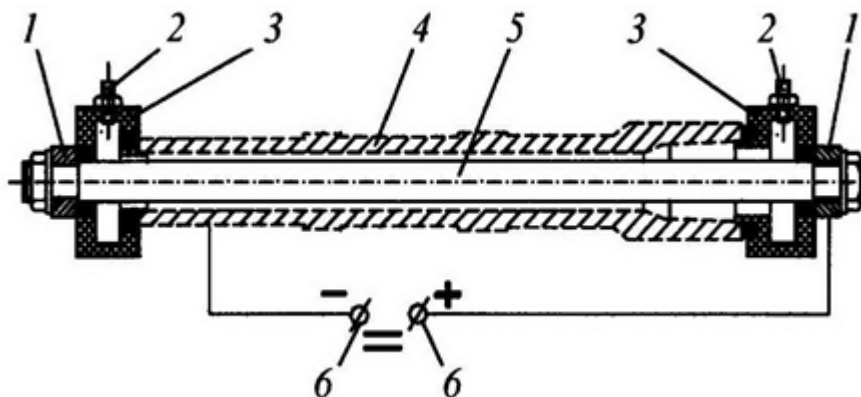
10.1. Хромирање отвора цеви оружја

Хромирање отвора и лежишта метка аутоматског оружја доста широко се примењује у циљу повећања издржљивости цеви и дуготрајнијег чувања оружја [2].

Хромирање се врши протоком електролита загрејаног до 50 ÷ 60 °C. Његов приближни састав изгледа овако:

- хромтриоксид CrO₃, g 150,
- сумпорна киселина H₂SO₄, g 1,5,
- вода H₂O, l 1.

Густина струје износи 30 ÷ 35 A/dm². Електролит протиче отвором цеви кроз зазоре између катоде 4 и аноде 5 (слика 10.2).



Слика 10.2. Шема хромирања отвора цеви оружја: 1 - навртка; 2 - млазница за довод електролита; 3 - спојница; 4 - цев оружја (катода); 5 - анода; 6 – Извор напајања [2]

Дебљина хромне превлаке отвора износи 40 ÷ 150 μm у зависности од калибра.

С друге стране, када се хромира унутрашњи отвор, дебљина превлаке зависи од удаљења унутрашње површине од спољашње површине електроде. Зато је наношење дебљине хрома у пољу и жљебу на ожљебљеној цеви различито. Мања је дебљина хрома на жљебу него на пољу (слика 5.2).

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 [2].

При ексцентричном положају аноде на месту најмањег зазора дебљина хромне превлаке је већа.

При неуједначеној дебљини слоја хрома цеви се подвргавају дехромирању (обрнутим поларитетом) и поновном наношењу хромног слоја.

Аноде се раде од челичне жице са додатним превлачењем. Пречник аноде за цеви калибра 5,56 mm износи 2 mm.

Процес хромирања подељен је у три фазе.

Прва фаза – припремна:

- чишћење отвора;
- сортирање отвора по групама пречника;
- одмашћивање у базној кади;
- нагризање;
- заштита површина које се не хромирају;
- испирање у проточној води;
- стављање у алате за хромирање.

Друга фаза – хромирање; Даљи ток обраде и заштите тече по технолошком поступку за електролитичко хромирање који је објашњен у тачки 6.4.9.

Трећа фаза – завршна:

- испирање у проточној води (пре и после вађења из алата),
- неутрализација (када $5 \div 8\%$ водени раствор каустичне соде – на температури реда величине 50°C) и
- сушење природно или компримованим ваздухом.

Ради избегавања појава водоничне кртости слоја хрома из њега је потребно уклонити водоник. Ово се постиже загревањем цеви до $150 \div 300^{\circ}\text{C}$ (цеви са тањим слојем хрома загревају се на мањој температури) [2].

После хромирања, отвор цеви се шмиргла оловом до потребне класе храпавости. Квалитет обраде и мере лежишта метка и унутрашњег отвора цеви после поступка хромирања дати су на слици 8.2.

Провера хромираних узорака цеви се посматра визуелно, након чега се узорци у зависности од дозвољених или недозвољених одступања захтеваних параметара у току поступка селекују на оне са дозвољеним и недозвољеним грешкама. Они са дозвољеним грешкама се шаљу на дораду полирањем, а са недозвољеним недостацима на поновно хромирање.

10.2. Технолошки поступак хромирања отвора цеви калибра 5,56 mm

За производњу ових цеви калибра 5,56 mm примењује се поступак хромирања из претходног одељка, уз уважавање правила према одељку 7.4.

Ради лакшег праћења и разумевања, технолошки поступак хромирања отвора цеви калибра 5,56 mm приказан је кроз фотографије операција са приказом контролника који се користе за проверу унутрашње трасе и начином провере. Приказане су такође и фотографије аутоматске пушке калибра 5,56 mm M21A у коју се уграђује анализирана цев, као и карактеристике тог оружја и муниције коју користи.

Припремак цеви калибра 5,56 mm за метак 5,56 mm SS109, израђује се од материјала Č.5730 VP, чији је унутрашњи отвор добијен дубоким бушењем (слика 12.3).



Слика 10.3. Припремице цеви после операције дубоког бушења



Слика 10.4. Припремице цеви пре операције дубоког бушења – десно, припремице цеви после операције дубоког бушења (лево)

Након операције ожљебљења цеви, припремак се шаље на поступак наношења површинске заштите унутрашњег отвора, који је објашњен у тачки 7.4.



Слика 10.5. Припремак цеви након ожљебљења, спреман за хромирање унутрашње површине

Поступак хромирања цеви калибра 5,56 mm, приказан је кроз следеће фотографије операција:



Слика 10.6. Монтирање цеви на вешалице



Слика 10.7. Поступак електрохемијског одмашћивања цеви



Слика 10.8. Потапање рама са цевима у хроматно – сулфатни електролит



Слика 10.9. Вешалице заједно са припремцима цеви потопљене у електролит за хромирање

Да би се добиле димензије према захтевима конструкционе документације и површине до класе обраде N6 водишта пројектила цеви које то нису задовољиле подвргавају се операцији тесног провлачења оловом или шмирглом на уређају за тесно провлачење према слици 10.10.



Слика 10.10. Уређај за тесно провлачење водишта пројектила

Цев овог калибра, која је прошла овакав третман механичке обраде и наношења површинске заштите хромног слоја, користи пушка домаће производње М21А (слика 10.11). Основне карактеристике ове пушке дате су у табели 2.



Слика 10.11. Аутоматска пушка Застава М21А [12]

Цев ове аутоматске пушке пролази поступак наношења заштитне превлаке хрома само по унутрашњој траси водишта пројектила и лежишта метка.

Технолошким поступком хромирања, код овог оружја 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).

Табела 2. Технички подаци пушке М21А калибра 5,56 mm за метак SS109

Калибар, mm	5,56
Корак увијања жљебова, mm	177,8
Број жљебова код класичне цеви	6
Дужина цеви, mm	460
Брзина гађања пушке, метака/мин	550 – 650
Капацитет оквира, метака	30
Врста паљбе	Јединачна и рафална
Почетна брзина пројектила SS109, m/s	≥ 900

Аутоматска пушка М21А је калибра 5,56 mm са пројектилом SS109 и користи муницију према слици 10.12., са карактеристикама према табели 3.



Слика 10.12. Метак калибра 5,56 mm са пројектилом SS109 [13]

Табела 3. Техничке карактеристике метка 5,56 mm

Маса метка, <i>g</i>	12,1
Маса пројектила, <i>g</i>	4
Врста барута	Сферични
Чаура	Месингана
Каписла	Боксер, некорозивна
Брзина пројектила, <i>m/s</i>	914
Притисак барутних гасова, <i>MPa</i>	<380
Прецизност; <i>cm</i>	<11,7
Пробојност пројектила (НАТО челична плоча), <i>mm</i>	3,4
На 600 m, %	≥96

11. Закључак

У цеви стрелачког оружја се приликом опаљења одвија снажан и сложен триболошки процес. Он својим механичким, топлотним и хемијским деловањем изазива вишеструке механизме трошења цеви: абразију, адхезију, замор материјала и трибокорозију. Истрошеност цеви утиче на промену балистичких карактеристика оружја, у првом реду доводи до пада почетне брзине пројектила и поремећаја прецизности на циљу.

Због тога треба примењивати одговарајуће триболошке мере за продужење века трајања цеви оружја/оруђа. То су првенствено избор одговарајућег материјала трибоелемената и заштита површине од трошења и корозије.

У том смислу, заштита површине основног материјала унутрашњег отвора цеви оружја/оруђа хромном превлаком показала је добре резултате у експлоатацији.

Анализираним технолошким поступком хромирања, производи се цев *кал. 5,56 mm TW7* којом се обезбеђује 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) већ коришћених цеви.

Анализирана цев уграђује се у аутоматска оружја *кал. 5,56 mm M21 ЗАСТАВА*, која раде са аутоматским режимом паљбе, па је примена описаног технолошког поступка тим значајнија, јер се овим поступком обезбеђује дуготрајност са непромењеним балистичким карактеристикама.

Извршене анализе могу бити од користи код пројектовања технолошког поступка хромирања за цеви оружја/оруђа и других калибара код којих се покаже да је оправдано увођење ове технологије.

12. Литература

- [1] Петровић М.: *Механика аутоматског оружја*, уџбеник, ВА, Београд, 2007.
- [2] Петровић М.: *Технологија производње наоружања*, Предавања, 2015.-2016.
- [3] Недић Б., Јовановић Д.: *Хабање унутрашње трасе цеви стрелачког оружја*, SERBIATRIB'07, 10th International Conference on Tribology, 2007
- [4] Петровић М.: *Приказ нумеричког и програмског решавања новог профила олучених цеви оружја*, Научно-технички преглед бр. 1, 2001.
- [5] Петровић Б., Стојановић М.: *Испитивање утицаја хромирања на отпорност према ерозионом деловању барутних гасова*, Научнотехнички преглед, вол.Л, бр. 6, 2000.
- [6] Павелић В.: *Технологија производње наоружања*, ЦВТШ КоВ Загреб, 1988.
- [7] Петровић Б.: *Површинска заштита превлакама електролитичког хрома*, Научнотехничка информација, 17, ВТИ, Београд, 2000.
- [8] Стевановић И.: *Анализа и пројектовање технолошког поступка ожљебљења протискивањем унутрашње трасе цеви оружја за метак 12,7x108 мм*, Дипломски рад, ФИН Крагујевац, 2015.
- [9]. Миловановић М: *Анализа и дефинисање технолошког поступка дубоког бушења унутрашње трасе цеви оружја калибра 40 мм*, Дипломски рад, ФИН Крагујевац, 2015.
- [10] http://www.bestav.co.rs/o_tvrdom_hromiranju.html, 09.04.2016; 14:00
- [11] <https://www.thinglink.com/scene/596692090490978305>, 09.04.2016; 16:38
- [12] <http://www.zastava-arms.rs/en/militaryproduct/assault-rifle-m21>, 10.04.2016; 12:07
- [13] <https://www.midwayusa.com/product/953188514/federal-american-eagle-ammunition-556x45mm-nato-62-grain-xm855-ss109-penetrator-full-metal-jacket-bulk-packs>, 11.04.2016; 9:12
- [14] <https://en.wikipedia.org/wiki/Rifling>, 19.05.2016; 11h
- [15] <http://weaponsman.com/?p=12779>, 18.05.2016; 11h
- [16] <http://www.google.com/patents/US1886218>, 06.05.2016; 10:21
- [17] <http://www.google.com/patents/WO2013107578A1?cl=en>, 06.05.2016; 10:15
- [18] <http://www.hunter-ed.com/images/graphics/bores.gif>, 06.05.2016; 10:18
- [19] https://encryptedtbn2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcT5iIYtwORe9nOhg1Y0F7TsJNLwe5DYRSR6cRy_AXONQzsuWaFN, 06.05.2016; 10:20