

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: 505/2010

Ивана М. Стевановић

**Анализа и пројектовање технолошког поступка
ожљебљења протискивањем унутрашње трасе
цеви оружја за метак 12,7x108 mm**

Дипломски рад

Комисија за преглед и одбрану:

- 1. ванр. проф. др Маринко Петровић - председник**
- 2. ред. проф. др Богдан Недић - члан**
- 3. др Дамир Јерковић - члан**

Датум одбране: _____

Оцена: _____

Крагујевац, јун 2015.

У оквиру овог дипломског рада кандидат треба да обради следеће:

1. Анализа ожљебљења, врсте и профили ожљебљења
2. Анализа поступака ожљебљења према примењеним технологијама код цеви оружја/оруђа, са посебним освртом на технолошки процес протискивања
3. Анализа захтева за унутрашњу трасу цеви противавионског митраљеза кал. 12,7x108 mm пре хромирања
4. Анализа захтева за унутрашњу трасу припремка цеви противавионског митраљеза кал. 12,7x108 mm пре ожљебљења
5. Анализа карактеристика и параметара технолошког поступка протискивања
 - Шема процеса протискивања
 - Основни параметри процеса протискивања
 - Напонско – деформационо стање при протискивању
 - Сила протискивања
 - Тачност обрађених површина
 - Заостали напони при слободном протискивању
 - Храпавост и тврдоћа површина
6. Одређивање силе протискивања
7. Дефинисање технолошког поступка
8. Закључак
9. 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] Б. Јеремић, С. Каралазић, В. Зарић, *Извештај о освајању унутрашње трасе цеви протискивањем*, Застава НП, 1986

Крагујевац, јун 2015.

ментор:

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

Резиме:

У оквиру овог рада су анализирани различити типови и профили ожљебљења цеви. Такође су представљени технолошки поступци ожљебљења цеви оружја.

Поступак протискивања је објашњен на цеви противавионског митраљеза кал. 12,7x108 mm. Прорачун силе протискивања и технички цртежи се односе на ову цев.

Технолошки поступак од завршетка дубоког бушења цеви, па до припремања за хромирање је описан и приказан кроз слике.

Кључне речи:

Цев оружја, ожљебљење, протискивање, сила протискивања, митраљез

Summary

This paper is analyzing different types and profiles of barrel rifling. It is also presenting technological procedures used for gun barrel rifling.

Process of button rifling is explained on barrel used on anti – aircraft machine gun caliber 12,7x108 mm. Calculation of button rifling force and drawings are referring to this particular barrel.

Technological process from the end of deep drilling the barrel until preparation for chrome plating is described and shown through pictures.

Key words:

Gun barrel, rifling, button rifling, button rifling force, machine gun

САДРЖАЈ

УВОД.....	5
1. АНАЛИЗА ОЖЉЕБЉЕЊА, ВРСТЕ И ПРОФИЛ ОЖЉЕБЉЕЊА.....	6
1.1. Ожљебљење цеви.....	6
1.2. Врсте ожљебљења	6
1.3. Угао увијања и корак жљеба	7
1.4. Профил ожљебљења.....	8
2. АНАЛИЗА ПОСТУПКА ОЖЉЕБЉЕЊА ПРЕМА ПРИМЕЊЕНИМ ТЕХНОЛОГИЈАМА КОД ЦЕВИ ОРУЖЈА/ОРУЂА, СА ПОСЕБНИМ ОСВРТОМ НА ТЕХНОЛОШКИ ПРОЦЕС ПРОТИСКИВАЊА	12
2.1. Ожљебљење резањем	12
2.2. Ожљебљење радијалним ковањем	12
2.3. Ожљебљење поступком хладног ротационог истискивања	13
2.4. Ожљебљење хемијским нагризањем	13
2.5. Ожљебљење протискивањем.....	13
3. АНАЛИЗА ЗАХТЕВА ЗА УНУТРАШЊУ ТРАСУ ЦЕВИ ПРОТИВАВИОНСКОГ МИТРАЉЕЗА кал. 12,7x108 mm ПРЕ ХРОМИРАЊА.....	19
4. АНАЛИЗА ЗАХТЕВА ЗА УНУТРАШЊУ ТРАСУ ПРИПРЕМКА ЦЕВИ ПРОТИВАВИОНСКОГ МИТРАЉЕЗА кал. 12,7x108 mm ПРЕ ОЖЉЕБЉЕЊА.....	21
5. АНАЛИЗА КАРАКТЕРИСТИКА И ПАРАМЕТАРА ТЕХНОЛОШКОГ ПОСТУПКА ПРОТИСКИВАЊА	23
5.1. Шема процеса протискивања	23
5.2. Основни параметри процеса протискивања	24
5.3. Напонско – деформационо стање при протискивању.....	24
5.4. Сила протискивања	25
5.5. Тачност обрађених површина	27
5.6. Заостали напони при слободном протискивању	32
5.7. Храпавост и тврдоћа површина	33
6. ОДРЕЂИВАЊЕ СИЛЕ ПРОТИСКИВАЊА	34
7. ДЕФИНИСАЊЕ ТЕХНОЛОШКОГ ПОСТУПКА	39
8. ЗАКЉУЧАК.....	51
9. ЛИТЕРАТУРА.....	52

УВОД

Цев представља најважнији део на оружју јер у њој долази до сагоревања барутног пуњења и активним дејством барутних гасова пројектилу се задаје почетна брзина у жељеном правцу. Унутрашња шупљина (отвор) цеви стрељачког оружја најчешће се састоји од лежишта метка, прелазног конуса и водишта пројектила. Водиште пројектила је ожљебљени део цеви који пројектилу даје правац и обртно кретање. Обртно кретање пројектилу даје стабилност при лету. Зато цев захтева посебну пажњу при пројектовању и производњи.

При производњи цев је могуће ожљебити на један од наведених начина:

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

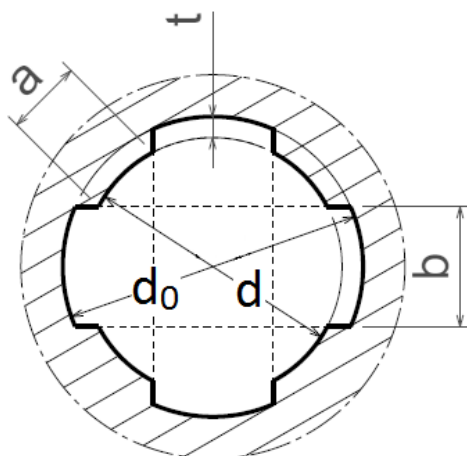
Циљ овог рада је да размотри и укаже на пут теоријског и практичног решавања проблема ожљебљења унутрашње трасе цеви, са посебним нагласком на технолошки процес протискивања, којим се повећава ниво радног притиска који цев може да издржи без трајних деформација, а истовремено се повећава век цеви на замор кроз спречавање ширења прскотина деловањем негативног тангенцијалног напона на унутрашњем слоју цеви.

Резултат те анализе је дефинисање технолошког поступка цеви за противавионски митраљез кал. 12,7x108 mm.

1. АНАЛИЗА ОЖЉЕБЉЕЊА, ВРСТЕ И ПРОФИЛ ОЖЉЕБЉЕЊА

1.1. Ожљебљење цеви

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 [1].



Слика 1.1. Попречни пресек водишта пројектила

Ожљебљени део цеви обезбеђује пројектилу потребно транслаторно и ротационо кретање. На тај начин пројектил добија стабилност при кретању и прецизност на циљу.

После опаљења почиње кретање пројектила у ожљебљеној цеви, при чему се водећи прстен утискује у жљебове и попуњава их.

1.2. Врсте ожљебљења

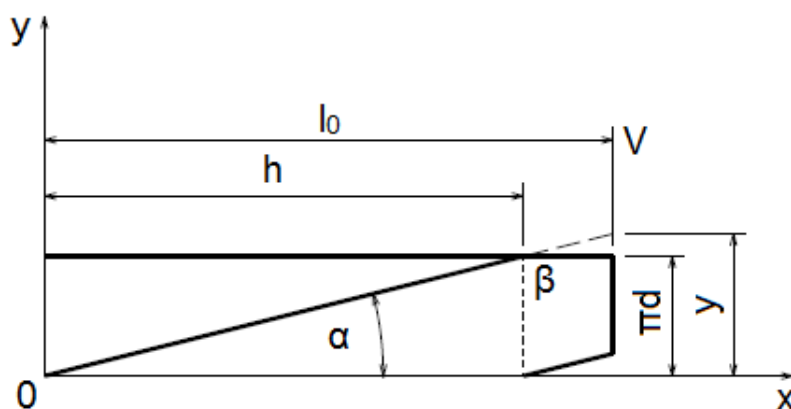
Жљебови у отвору цеви представљају завојне трасе чији је положај према оси отвора цеви одређен углом α . Овај угао се зове угао нагиба или угао уздицања завојне линије жљеба или угао увијања жљебова. Ако се пројектил у цеви обрће у смеру обртања казаљке на сату (посматрано од лежишта метка), завојница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

Дужина на којој жљеб чини потпуни обрт завојне линије назива се корак увијања жљеба.

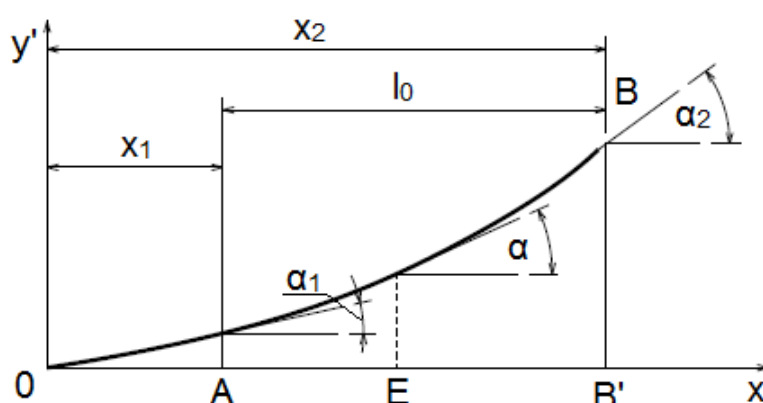
Према карактеру нагиба, жљебови могу да буду:

- са константним увијањем, када је угао на целој ожљебљеној дужини цеви константан (слика 1.2);
- са променљивим (прогресивним) увијањем, када је угао на целој ожљебљеној дужини цеви променљив и повећава се према устима цеви (слика 1.3);
- 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 квадратном или кубном параболом, односно синусоидом.



Слика 1.2. Жљеб са константним углом увијања у развијеном стању (l_0 - дужина ожељбеног дела цеви, d - калибар цеви и OB - завојница у развијеном стању)



Слика 1.3. 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)

1.3. Угао увијања и корак жљеба

Са слике 1.3 одређује се угао увијања и корак жљеба:

$$\tan \alpha = \frac{\pi \cdot d}{h} \quad (1.1)$$

$$h = \frac{\pi \cdot d}{\tan \alpha} \quad (1.2)$$

Корак жљеба се може одредити бројем калибра оружја из следећег односа:

$$\frac{h}{d} = \eta = \frac{\pi}{\tan \alpha} \quad (1.3)$$

Жљебове са прогресивним углом увијања најчешће одређује парабола другог реда:

$$y = a \cdot x^2 \quad (1.4)$$

Коефицијент a одређује се са слике 1.3:

$$\frac{dy}{dx} = 2 \cdot a \cdot x = \tan \alpha (x) \quad (1.5)$$

за $x = x_1$

$$\tan \alpha_1 = 2 \cdot a \cdot x_1 \quad (1.6)$$

за $x = x_2$

$$\tan \alpha_2 = 2 \cdot a \cdot x_2 \quad (1.7)$$

Како је $x_2 - x_1 = l_0$,

то је:

$$\tan \alpha_2 - \tan \alpha_1 = 2 \cdot a \cdot (x_2 - x_1) = 2 \cdot a \cdot l_0 \quad (1.8)$$

па је:

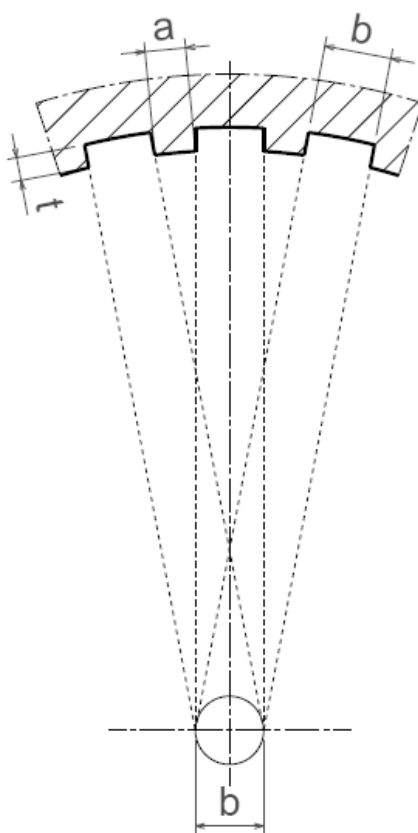
$$a = \frac{\tan \alpha_2 - \tan \alpha_1}{2 \cdot l_0} \quad (1.9)$$

Помоћу параметра параболе a и координата произвољне тачке Е, лако се може одредити угао увијања жљеба.

1.4. Профил ожљебљења

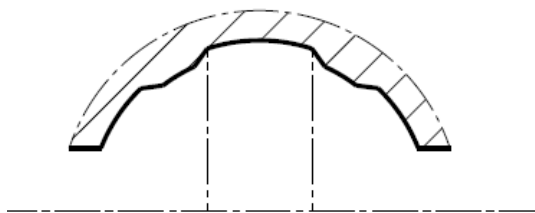
Фигура која се образује пресецањем жљеба са равни нормалном на осу отвора цеви назива се профил жљеба. Облик жљеба у попречном пресеку може бити различит. Најчешће се среће правоугли, трапезни, кружни и сегментни облик [2].

Правоугли профил (слика 1.4) је профил жљеба код којег су бочне стране међусобно паралелне. Правоугли облик жљеба је основни профил жљеба усвојен у руској војној индустрији.



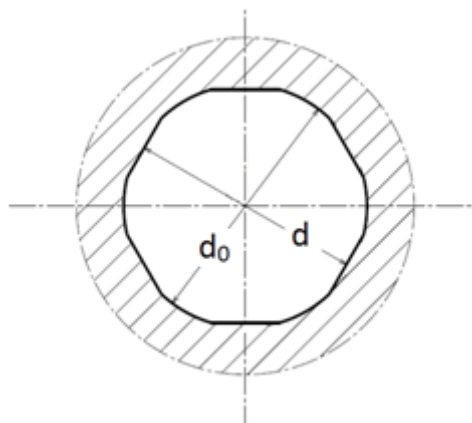
Слика 1.4. Шема конструксања правоуглог облика ожљебљења

Код трапезног облика ожљебљења (слика 1.5) стране и дно жљеба заклапају туп угао.



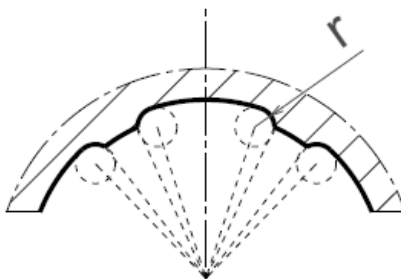
Слика 1.5. Трапезни облик ожљебљења

Полигонални облик ожљебљења (слика 1.6) представља заобљен полигон (најчешће са 6 или 8 углова).



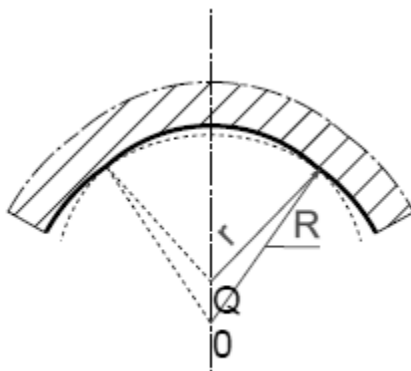
Слика 1.6. Полигонални облик ожљебљења

Кружни облик ожљебљења (слика 1.7) има такав облик жљеба код којег су стране делови кружне површине.

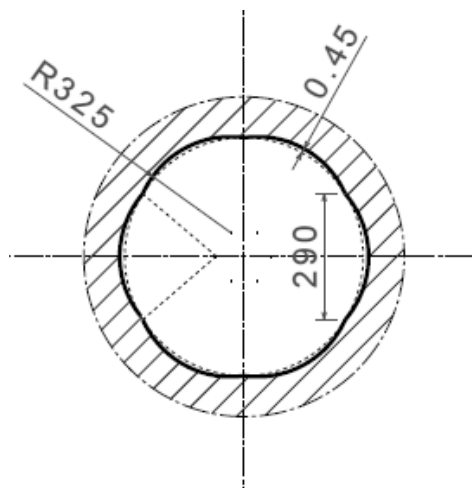


Слика 1.7. Кружни облик ожљебљења

Сегментни облик (слике 1.8 и 1.9) је облик који настаје урезивањем кружних лукова мањег полупречника од половине калибра.



Слика 1.8. Сегментни облик ожљебљења



Слика 1.9. Арисакијев сегментни облик ожљебљења

Табела 1.1. Предности и недостаци различитих облика ожљебљења

Облик ожљебљења	Предности	Недостаци
Правоугли	- релативно једноставна израда алата за ожљебљење цеви	- оштри углови између страна и дна жљеба недовољно се испуњавају кошуљицом пројектила при урезивању и - тешко се уклањају струготине и продукти сагоревања барутног пуњења из оштрих углова жљеба.
Трапезни	- боље заптивање цеви кошуљицом пројектила у току урезивања и кретања пројектила кроз цев, посебно код кошуљица израђених од материјала веће тврдоће, - боље искоришћење енергије барутних гасова и - бољи су услови за чишћење цеви оружја.	- скупа израда алата за ожљебљење и - сложенија производња цеви.
Полигонални	- добро заптивање цеви - нема губитка гасова - мања деформација метка	- углавном се користе за пиштоље и оружја малог калибра
Кружни	- има предности и недостатке као трапезни профил ожљебљења	
Сегментни	- нема оштрих прелаза између поља и жљебова, - лако чишћење цеви оружја и - продужава се век употребе оружја јер отвор цеви има савршено глатку површину	- веома сложена и скупа технологија производње

Од дубине жљебова зависи висина испуста на кошуљици пројектила. Ако су жљебови превише плитки може доћи до свлачења кошуљице пројектила 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. Дубина жљебова код стрелачког наоружања обично је [2]:

$$t = (0,01 \div 0,02)d \quad (1.10)$$

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

Ширина жљебова b обично је већа од ширине поља a , што је везано са равномерним оптерећењем цеви и пројектила. С једне стране, за добијање водећег прстена веће чврстоће и због лакшег чишћења цеви оружја бира се већа ширина жљебова. Такође, урезивање ужих поља у кошуљицу пројектила је лакше (због чега је код неких оружја примењен троугласти облик поља). Са друге стране, смањењем ширине поља смањује се њихова чврстоћа. Зато се обично усваја да је ширина поља дупло мања од ширине жљебова, тј:

$$a \approx \frac{b}{2} \quad (1.11)$$

где су: a – ширина поља, b – ширина жљебова.

Ширина жљебова се израчунава као:

$$a + b = \frac{2 \cdot \pi \cdot d}{n} \quad (1.12)$$

где су: d – калибар цеви, n – број жљебова.

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

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

$$n = \frac{\pi \cdot d}{b + a} \quad (1.13)$$

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 до 8 жљебова. Из технолошких разлога углавном се узима паран број жљебова.

2. АНАЛИЗА ПОСТУПКА ОЖЉЕБЉЕЊА ПРЕМА ПРИМЕЊЕНИМ ТЕХНОЛОГИЈАМА КОД ЦЕВИ ОРУЖЈА/ОРУЂА, СА ПОСЕБНИМ ОСВРТОМ НА ТЕХНОЛОШКИ ПРОЦЕС ПРОТИСКИВАЊА

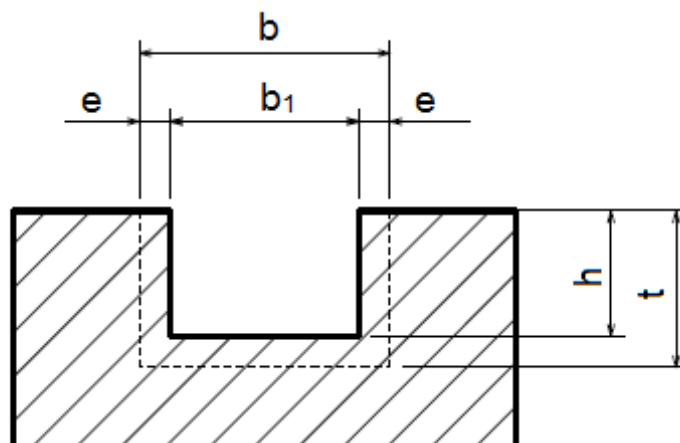
Отворе цеви могуће је ожљебити на један од наведених начина [3]:

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

2.1. Ожљебљење резањем

Данас је најраспрострањеније ожљебљење провлачењем специјалних глава за ожљебљење. Код жљебова ширина $b \leq 12 \text{ mm}$ ожљебљење се изводи помоћу једног комплета ножева чија је ширина резних ивица једнака ширини жљебова [4].

Ако је ширина жљебова већа од 12 mm , а дубина преко $2,5 \text{ mm}$, ожљебљење се изводи са две главе за ожљебљење, од којих прва има комплет ножева чија је ширина резних ивица $b = (7 \div 10) \text{ mm}$, а изводи резање до дубине h . За комплет ножева друге главе за ожљебљење оставља се бочни додатак $e = (2 \div 2,5) \text{ mm}$ и додатак по дубини од $0,4 \text{ mm}$ (слика 2.1).



Слика 2.1. Шема ожљебљења са два комплета ножева

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

2.2. 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 [4].

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

Након ковања није потребна обрада отвора цеви ради постизања вишег квалитета обраде. Квалитет обрађених површина одговара обради полирањем и нема никаквих зареза који би могли 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.

2.3. 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 [4].

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

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

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

2.4. 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 [4].

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.

2.5. 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 $R_a=0,32 \div 0,04 \mu\text{m}$ [5].

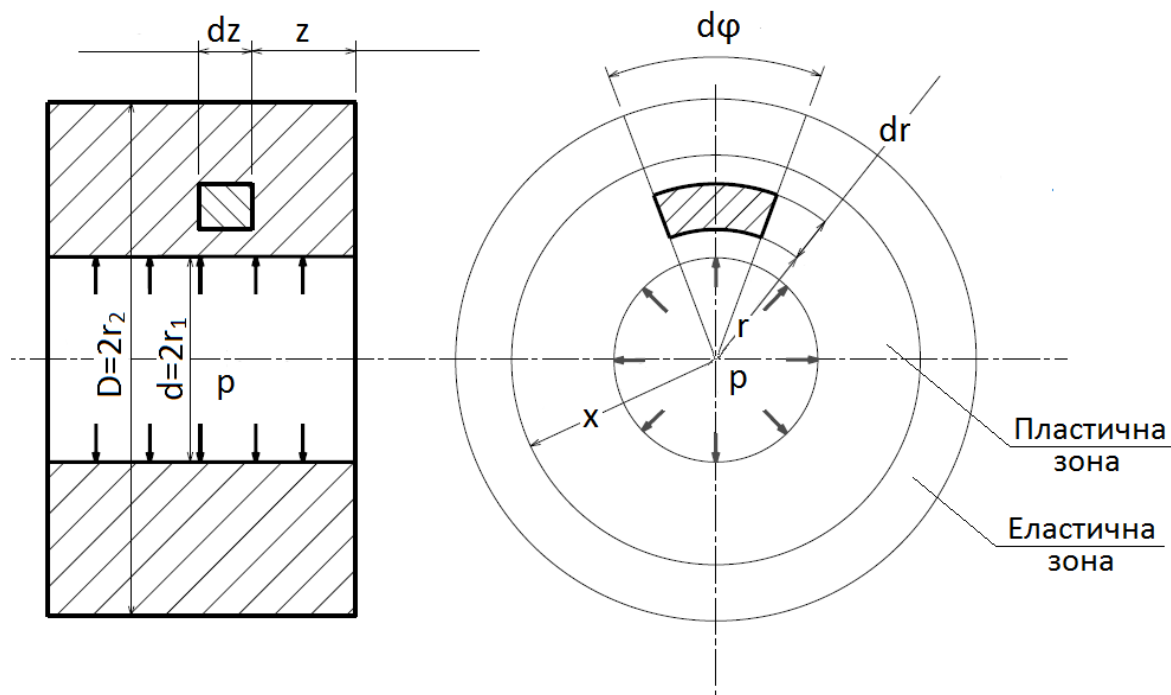
Просторно – запреминско протискивање се масовно примењује у црној металургији код израде цеви и цилиндара већих дужина округлог или сложеног попречног пресека. При протискивању безшавних цеви уобичајене тачности, са алатом који има више радних површина (вишезуби алати), може се постићи и површина квалитета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

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

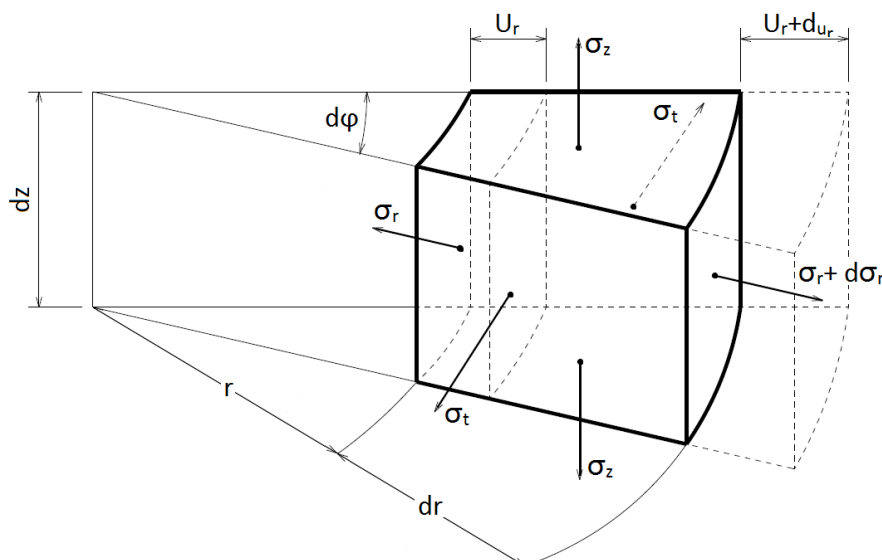
Поступак ожљебљења унутрашње трасе цеви оружја/оруђа протискивањем (у литератури се често среће термин механичко аутофретовање) заснива се на теорији аутофретовања цеви развијеној код артиљеријских оруђа.

Суштина те теорије је у следећем:

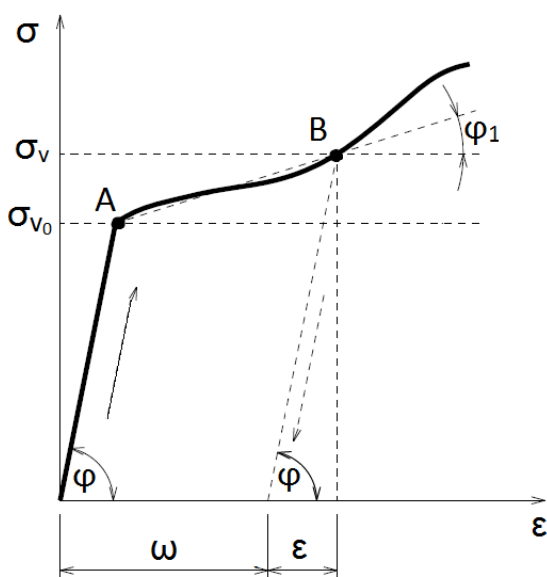
Ако се моноблок – цев (слика 2.2), од материјала чија је граница еластичности σ_e , унутрашњи полупречник r_1 , а спољни r_2 , подвргне знатно већем унутрашњем притиску p_1 од радног p , појавиће се у слоју цеви до радијуса x већи напон од напона σ_e . Тако у унутрашњем слоју цеви до радијуса x настају трајне деформације, а у спољњем слоју ($r_2 - x$) еластичне деформације [4].



Слика 2.2. Цев оптерећена унутрашњим притиском p

Слика 2.3. Шема напона цеви оптерећене унутрашњим притиском p

Оваквим довођењем материјала цеви у еластично – пластично стање, граница развлачења која је имала величину σ_{v_0} пре оптерећења притиском p_1 повећава се на величину σ_v (слика 2.4).



Слика 2.4. Дијаграм очершћавања материјала услед затезања при аутофретовању

Напонско стање, које настаје у цеви на напред описан начин, повећава границу еластичности, односно границу развлачења у цеви. После растерећења цеви и поновног оптерећења притиском p_1 , у материјалу неће доћи до појаве пластичних деформација, јер су код материјала повећане границе еластичности и границе развлачења.

Из напред наведеног се види да је дошло до самоојачања цеви, па је, на основу тога, у производњи цеви развијен поступак самоојачања или аутофретовања цеви артиљеријских оруђа.

На основу усвојеног степена аутофретовања

$$C = \frac{x - r_1}{r_2 - r_1} \quad (2.1)$$

у границама $0 < C < 1$, одређује се полупречник x пластичне зоне. Радијални напони σ_r , тангенцијални σ_t и аксијални σ_z одређују се за усвојени полупречник x користећи теорију пластичности [4].

Знајући ове напоне и уз занемаривање напона σ_z , добија се напон σ_v из једначине:

$$\sigma_v = \sqrt{\sigma_r^2 + \sigma_t^2 - \sigma_r \cdot \sigma_t} \quad (2.2)$$

У практичним прорачунима одређује се напон из једначине:

$$\sigma_v = \sigma_{v_0} + \frac{\omega \cdot E_1}{1 - \frac{E_1}{E}} \approx \sigma_{v_0} + \omega \cdot E_1 \quad (2.3)$$

где су:

$\tan \varphi = E$ – модул еластичности материјала цеви;

$\tan \varphi = E$ – модул пластичности материјала цеви;

$\omega = 0,02/0,03$, представља величину означену на дијаграму (слика 2.4).

Притисак аутофретовања у пластичној зони ($x < r_2$) означен са p_{1p} , у еластичној зони ($r_2 - x$), означен са p_{1e} и при потпуној пластичности зидова цеви ($x \geq r_2$), означен са p_{2a} , одређује систем једначина:

$$p_{1p} = \sigma_v \cdot \left(\ln \frac{x}{r_1} + \frac{r_2^2 - x^2}{2 \cdot r_2^2} \right) \quad (2.4)$$

$$p_{1p} = \sigma_v \cdot \frac{x^2}{r_2^2} \cdot \frac{r_2^2 - r^2}{2 \cdot r_2^2} \quad (2.5)$$

$$p_{2a} = \sigma_v \cdot \ln \frac{r_2}{r_1} \quad (2.6)$$

Испитивања су показала да се код дебелозидних цеви граница еластичности σ_e повећава за (10 – 11)%, а код танкозидних за (3 – 4)%. Степен повећања σ_e зависи од односа σ_m/σ_e и већи је што је овај однос већи.

Основне предности аутофретовања су:

- повећање еластичне отпорности цеви, односно нивоа притиска који цев може да издржи без трајних деформација;
- повећање века цеви на замор кроз спречавање ширења прскотина, и то деловањем негативног тангенцијалног напона на унутрашњем слоју цеви;
- цев се у току аутофретовања подвргава дејству притисака који су већи од радних, па се на тај начин врши и провера њене структурне отпорности.

Предности протискивања у односу на хидраулично аутофретовање су:

- потребна је знатно мања завршна механичка обрада цеви;
- нису потребне посебне мере заштите;
- нису потребни специјални (сложени) системи заптивања за високе хидрауличне притиске који се код хидрауличног аутофретовања крећу до 1000 МПа;
- површинском деформацијом унутрашњих слојева цеви, знатно се смањује утицај површинских прскотина и остварује повољнији ефекат на заморни век цеви.

Недостатак протискивања је појава аксијалних напона (σ_z) и дуже трајање процеса. Ти се напони могу смањити избором димензија трна, одговарајућим подмазивањем и везивањем радног предмета са граничним елементима.

Протискивање је поступак обраде унутрашњости цеви оружја хладном пластичном деформацијом. При томе се алат (за алат се користе термини трн, дорн, протискивач)

помера уздуж отвора цеви, деформацијом ојачава материјал при чему се мења попречни пресек променом мера отвора и спољашњег пречника цеви.

Протискивање отвора цеви настало је у вези са потребом повећања продуктивности ожљебљења.

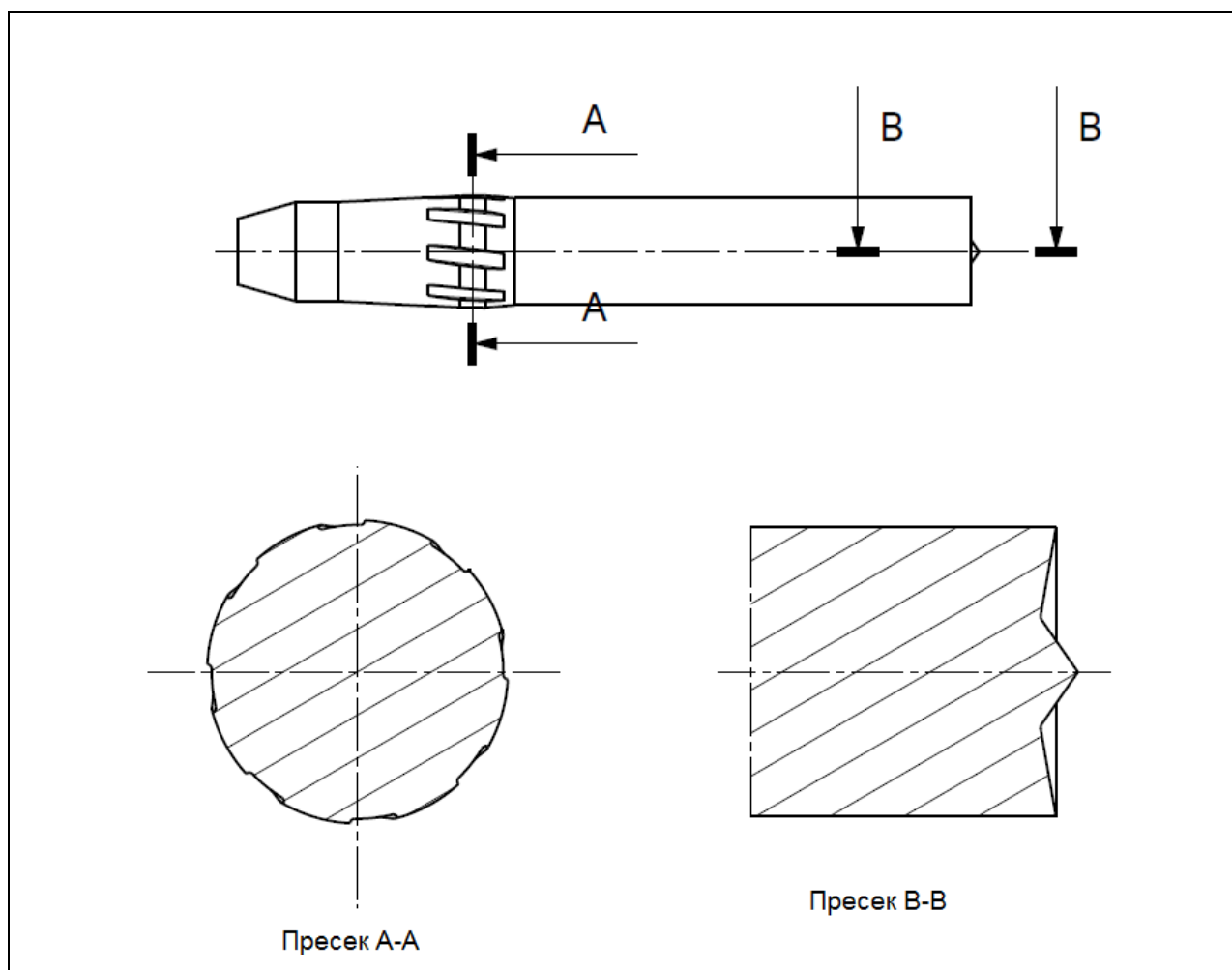
Суштина процеса је једноставна: кроз отвор цеви се под притиском провлачи алат – протискивач, нешто већег пречника него што је сам отвор. При томе на протискивачу постоје испусти саобразни броју жљебова са димензијама и кораком увијања који одговара жљебовима [3].

Протискивач (слика 2.5) се израђује од тврдих легура за стрелачке калибре, а од алатних челика за топовске калибре.

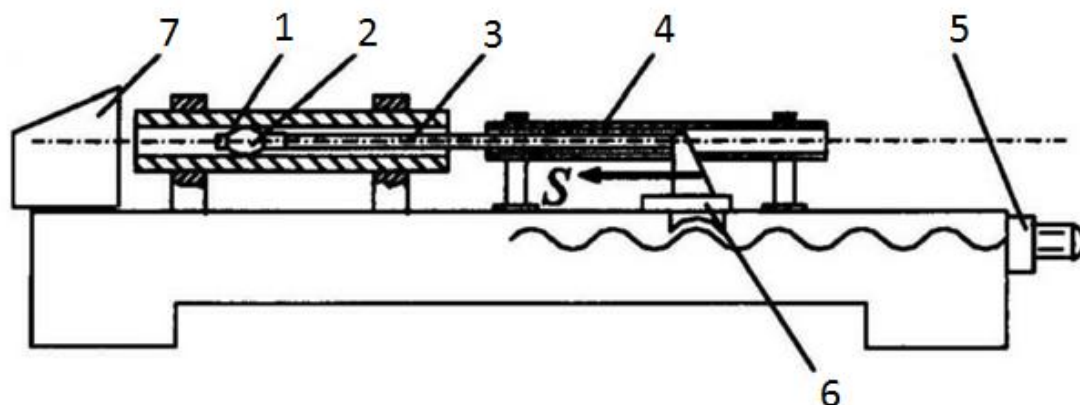
При пролазу кроз отвор, протискивач истовремено утискује профил свих жљебова. Брзина протискивања протискивача кроз отвор цеви стрелачких оружја износи реда величине 1 m/min. Дакле, утрошци времена ожљебљења пушчане цеви су испод минута.

Процес протискивања карактерише се тиме што су специфични контактни притисци толико велики, да се уз постојање течног мазива на површини отвора и протискивача образују налепљени слојеви материјала који доводе до шкарта, како цеви, тако и алата.

Процес протискивања постаје стабилан по квалитету површине отвора тек пошто се отвор пресвуче металним мазивом или мастима већег вискозитета.



На слици 2.6 приказана је принципијелна шема протискивања отвора цеви оружја. Треба истаћи да се шипка 3 при протискивању стеже и при излазу протискивача из комада избацује протискивач напред. Протискивач испада у хватач 7.

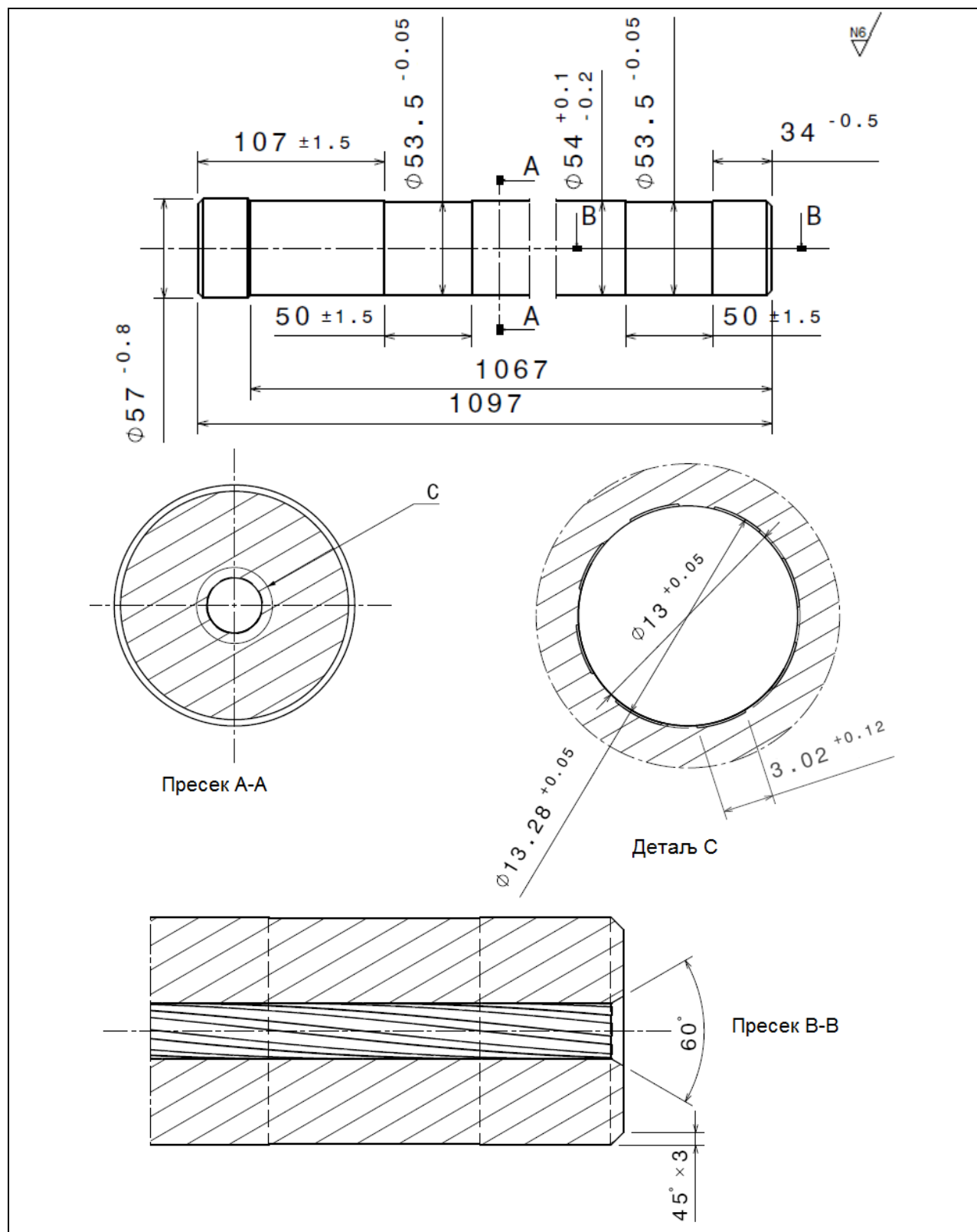


Слика 2.6. Принципијелна шема протискивања отвора цеви оружја.; 1 - припремак цеви; 2 – протискивач; 3 – шипка; 4 – клип; 5 – погон; 6 – супорт; 7 – хватач протискивача

Процес протискивања је погодан за производњу цеви оружја са аутоматским режимом ватре, док се за високопрецизне цеви овај процес не примењује.

3. АНАЛИЗА ЗАХТЕВА ЗА УНУТРАШЊУ ТРАСУ ЦЕВИ ПРОТИВАВИОНСКОГ МИТРАЉЕЗА кал. 12,7x108 mm ПРЕ ХРОМИРАЊА

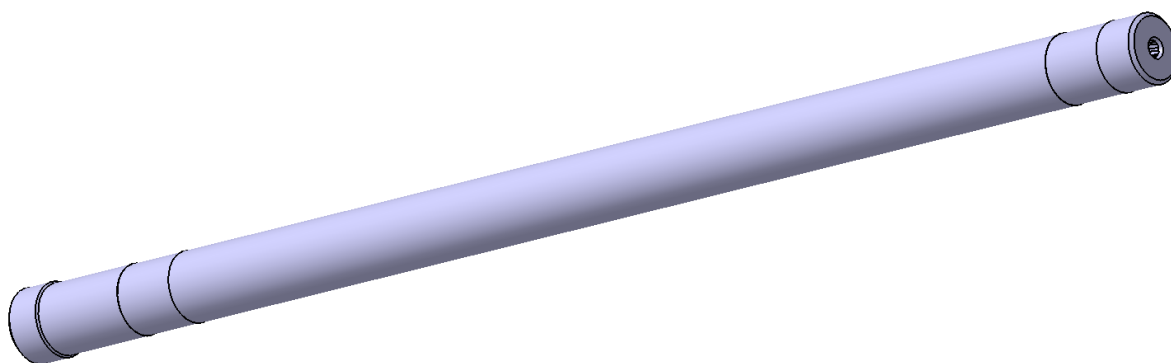
За метак кал. 12,7x108 mm користи се позната геометрија профила унутрашњости полуфабриката – цеви.



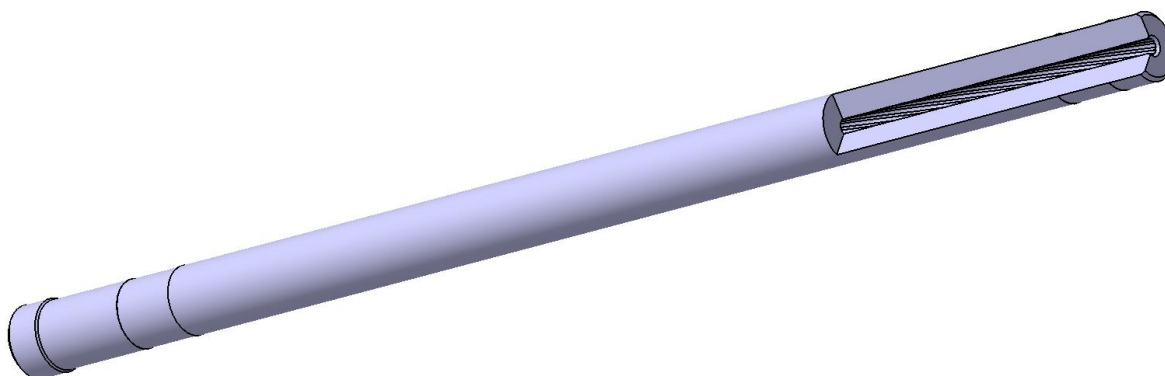
Слика 3.1. Технички цртеж ожљебљене цеви 12,7x108 mm

Унутрашњост цеви се хромира тако што се дефинише дебљина хрома по пољима и жљебовима на следећи начин: дебљина хрома по пољима је $0,135 - 0,205 \mu\text{m}$, а по жљебовима је $0,090 - 0,180 \mu\text{m}$. Тиме су одређене мере профила унутрашњости цеви пре хромирања:

- пречник жљеба $d_0 = 13,28^{+0,05} \text{ mm}$;
- пречник поља $d = 13^{+0,05} \text{ mm}$;
- број жљебова $n = 8$;
- ширина жљеба $b = 3,02^{+0,12} \text{ mm}$;
- корак спирале (корак увијања жљебова) $381^{\pm 10} \text{ mm}$.



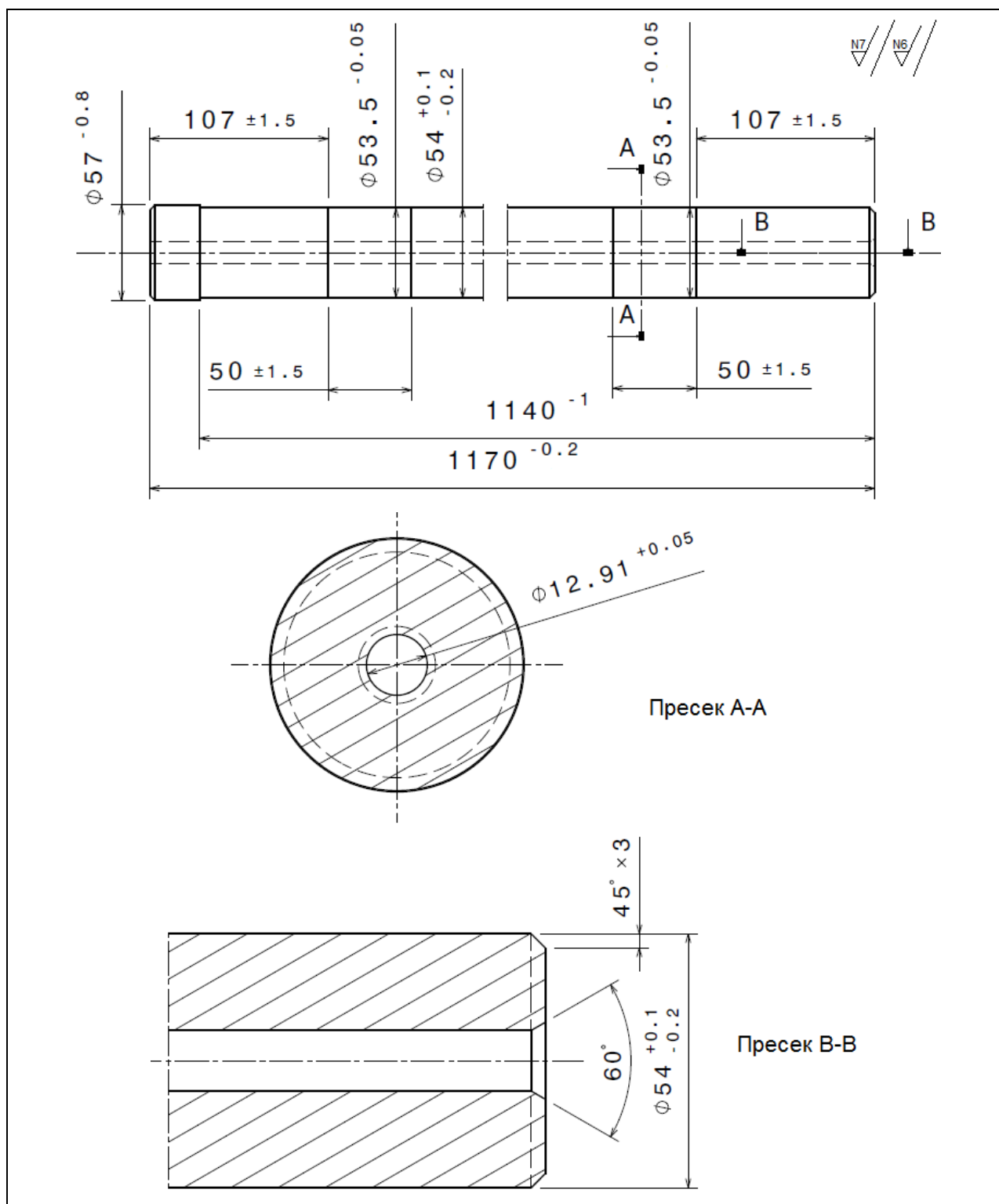
Слика 3.2. Модел ожљебљене цеви противавионског митраљеза 12,7x108 mm



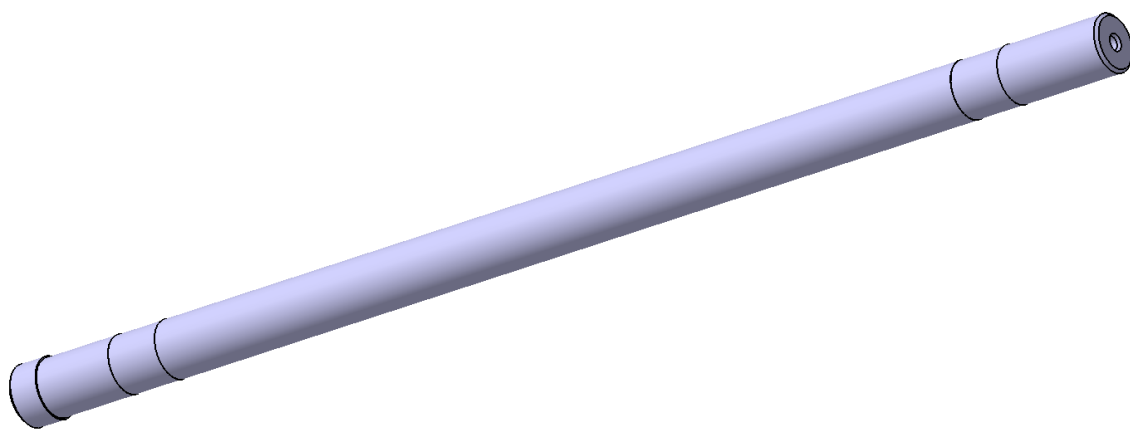
Слика 3.3. Модел ожљебљене цеви противавионског митраљеза 12,7x108 mm (пресек)

4. АНАЛИЗА ЗАХТЕВА ЗА УНУТРАШЊУ ТРАСУ ПРИПРЕМКА ЦЕВИ ПРОТИВАВИОНСКОГ МИТРАЉЕЗА кал. 12,7x108 mm ПРЕ ОЖЉЕБЉЕЊА

Да би се добио профил цеви према тачки 3., односно слици 3.1, цев је потребно обрадити тако да унутрашњи пречник отвора буде $\varnothing 12,91$ mm. Ова димензија се може добити технолошким процесом дубоког бушења, при чему се остварује мера $\varnothing 12,91^{+0,05}$ mm.



Слика 4.1. Технички цртеж цеви 12,7x108 mm пре ожљебљења

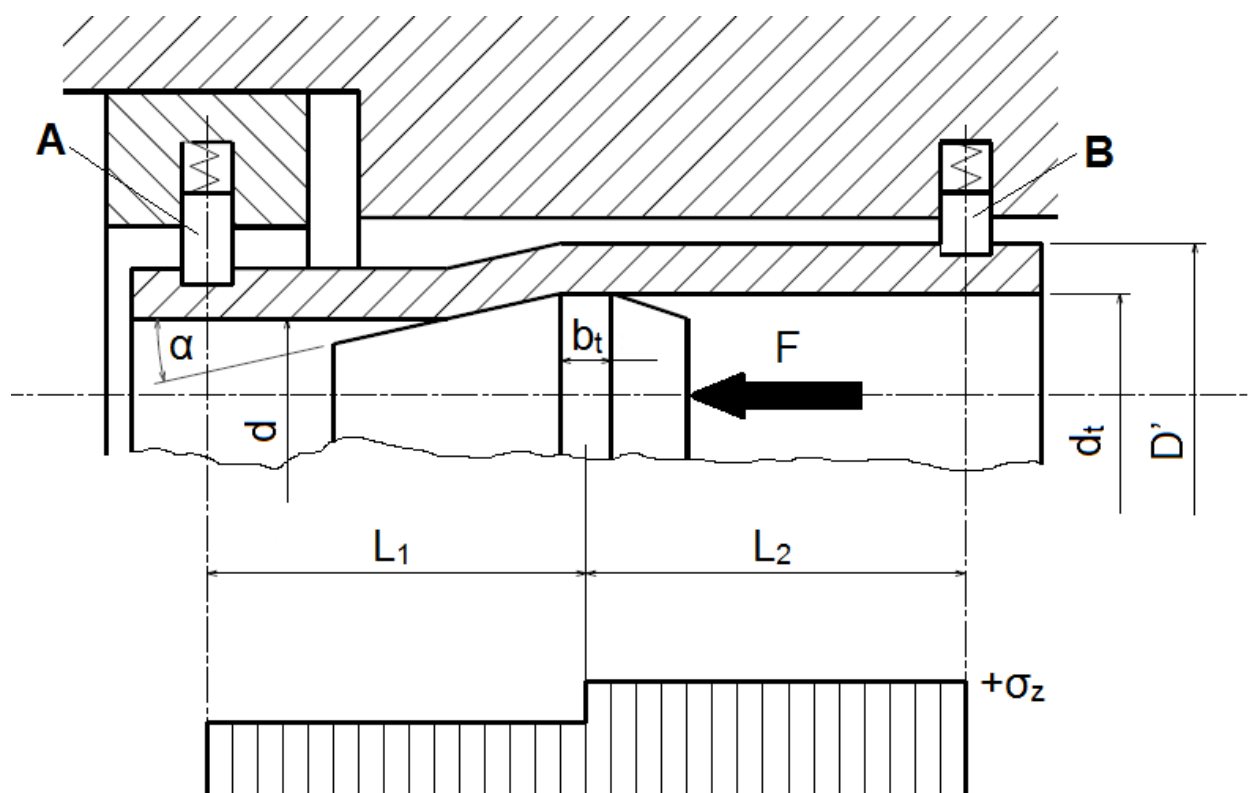


Слика 4.2. Модел цеви противавионског митраљеза 12,7x108 mm пре ожљебљења

5. АНАЛИЗА КАРАКТЕРИСТИКА И ПАРАМЕТАРА ТЕХНОЛОШКОГ ПОСТУПКА ПРОТИСКИВАЊА

5.1. Шема процеса протискивања

Општа шема могућих реализација процеса протискивања, с обзиром на класу напрезања у полуфабрикату који се обрађује, приказана је на слици 5.1 [4], [5].



Слика 5.1. Уопштена шема протискивања и промена аксијалних напонских стања

Могуће шеме обраде, с обзиром на активирање држача А и В су [5]:

- Шема сабијања – на дужини L_1 комад је напрегнут на притисак (активан је само држач А);
- Шема затезања – на дужини L_2 комад је напрегнут на затезање (активан је само држач В);
- Комбинована шема – на дужини L_1 постоји притисак, на дужини L_2 затезање (активни су држачи А и В, клизач држача А се помера удесно);
- Шема са активним, неутралним или пасивним противнапрезањем (активни су контакти А, В, клизач се помера).

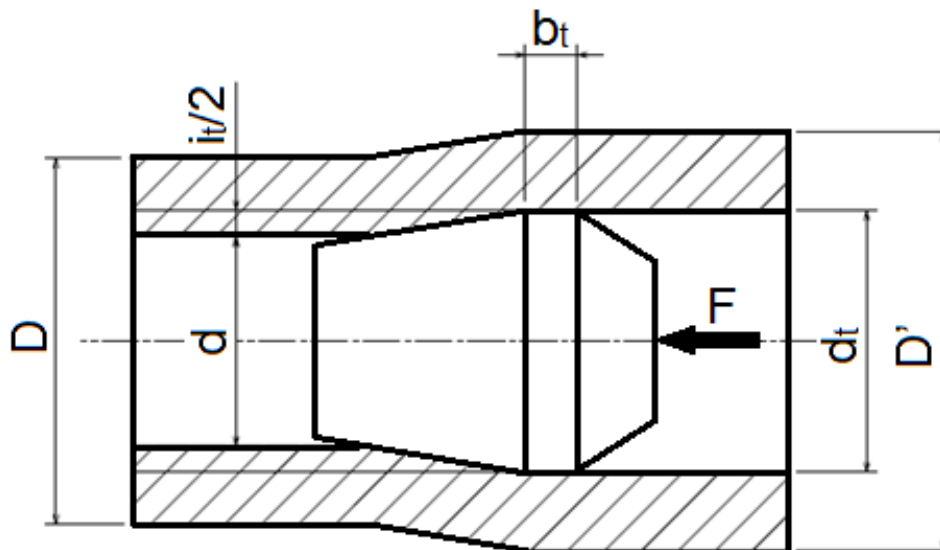
Која ће од ових шема бити реализована зависи од димензија радног комада (унутрашњи и спољашњи пречник, дужина), као и од степена сложености конструкције машине за протискивање.

Према условима деформисања спољашњих површина комада, протискивање се дели на слободно и затворено. При слободном протискивању увек одсуствују ограничења према деформисању спољашњих површина. Овако се најчешће обрађују комади дебелих или средње дебелих зидова. Затворено протискивање захтева непроменљив пречник

спољашње површине и може се реализовати на различите начине. При овоме је ојачање интензивно по читавом пресеку, а најизраженије близу површине отвора.

5.2. Основни параметри процеса протискивања

Основни технолошки елементи процеса протискивања су, према слици 5.2:



Слика 5.2. Мере комада при слободном протискивању

- Преклоп протискивања: разлика почетних и номиналних мера (пречника) контактних површина алата и отвора у попречном пресеку

$$i_t = d_t - d \quad (5.1)$$

- Релативни преклоп протискивања: бездимензионална величина, представља однос преклопа и почетног пречника:

$$I_r = \frac{i_t}{d} \quad (5.2)$$

- Релативна деформација при протискивању: стандардни показатељ, изражен у процентима узима у обзир деформацију по спољашњем пречнику комада пре и после обраде:

$$\varepsilon_D = \frac{D' - D}{D} \cdot 100 \% \quad (5.3)$$

5.3. Напонско – деформационо стање при протискивању

Процес протискивања, као специфичан поступак хладног деформисања има све карактеристике обраде у хладном стању: ојачање материјала, измену дужинских мера припремака који се обрађују, трење и високе притиске у контакту. Потребна деформација се може остварити из једног или више радних ходова, при чему се увек тежи мањем броју пролаза, односно мањем износу деформације. Тачност обраде је изузетно важан критеријум, који се увек мора узимати у обзир када се говори о ефикасности овакве обраде.

Познато је да је пластична деформација могућа само при строго одређеном односу напона, који настају у припремку који се обрађује под дејством спољашњих сила (услови

пластичности). Слободно протискивање се по правилу карактерише просторним деформационим стањем (ознаке: r - радијално, t - тангенцијално, z - аксијално, у правцу осе припремка) са компонентама ε_t , ε_r , ε_z .

Радијални напон σ_r је при слободном протискивању променљив са координатама r и z , при чему је на слободној површини једнак нули.

При слободном протискивању присутно је нехомогено деформисање, што доводи до заосталих напона, смањења пластичности, повећања деформационе силе и сл. Напон у правцу осе припремка (σ_z) је променљив и зависи од координата r и z . Највећу вредност напон σ_z има у почетку контакта алата са припремком, када може бити и већи од радијалног напона σ_r . Напонско стање је неједнородно у зони деформисања, и од општег – просторног може у делу калибрисања, при малој сили трења прећи у раванско ($\sigma_z \approx 0$). Зависност напона σ_z од координата r и z доводи до увећања неравномерности деформација. Протискивање при шеми притиска, омогућава најмање стањење зида припремака и најбоље укрућење припремка.

Општа шема измене мера при протискивању је дата на слици 5.5 и са њом одређујемо деформациону силу и деформације.

Читаву зону деформације метала условно можемо поделити на три зоне: предњу и задњу зону еластичних деформација и средњу – зону пластичности. Зона пластичних деформација је ограничена ширином зоне контакта са алатом; подручје еластичности нема тачно дефинисане границе.

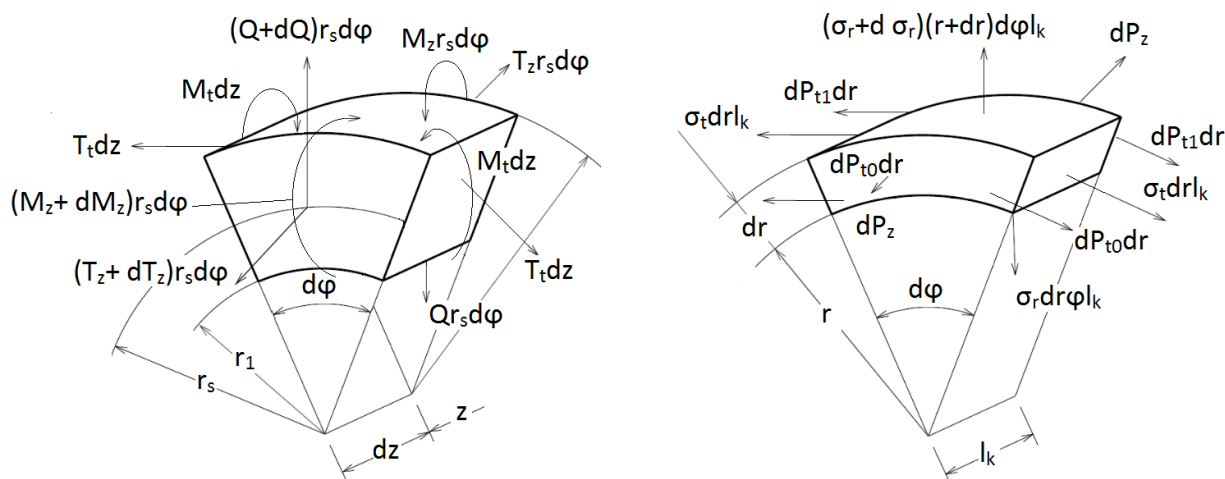
Напони и деформације у све три зоне настају под дејством сила, које се предају у зони контакта, при чему се само део ових сила троши на пластично деформисање. Ширина ове зоне је одређена преклопом и улазним углом алата за протискивање. У условима високог преклопа, зона пластичности се може проширити и ван граница које одређује ширина алата.

Улазни угао алата битно утиче на процес обраде и са повећањем овог угла расту и моменти савијања као и напон σ_z у предњој зони еластичности. Ово је знатно изражено код делова тањих зидова. Коначни резултати – тачност и квалитет обрађиване површине – зависе од стабилности еластичних деформација и померања, која су окарактерисана не само апсолутним износивањем већ и пољем расипања мера. У принципу треба избегавати појаву зоне пластичности ван граница контакта алата, на шта углавном утиче улазни угао.

Детаљна разматрања се морају вршити за сваку зону посебно, при чему основу представљају релације из теорије пластичности (једначине равнотеже, услови пластичности, везе напона и деформација). Општи прикази шема сила у поменутих зонама дате су на слици 5.3.

5.4. Сила протискивања

Познавање величине силе протискивања неопходно је при дефинисању технологије обраде, пре свега при конструкцији и избору машине за протискивање. Величина деформационе силе зависи од мера обрађиваног комада, геометрије алата, физичко – механичких својстава обрађиваног материјала, триболошких услова у контакту и других фактора чије је међудејство сложено.



Слика 5.3. Шема сила које делују на елемент при обради (лево – еластична зона, десно – пластична зона)

Сила деформисања се при протискивању непосредно предаје у зони контакта алата и материјала, те је за њено одређивање неопходно познавати величину и распоред нормалних и тангенцијалних напона на површини контакта. За величину нормалних напона обично се узимају вредности радијалних напона, а тангенцијалне напоне одређују услови трења у зони контакта. При протискивању са малим преклопом може се сматрати да је распоред контактних притисака и сила трења приближно равномеран површини контакта. Пројектовањем компонованата нормалних и тангенцијалних сила на правац деформационе силе, може се одредити укупна сила протискивања.

Прорачун силе протискивања врши се према једначинама, које се добијају различитим методама теорије обраде метала деформисањем. При извођењу ових једначина морају се уводити одговарајуће претпоставке и упрошћења неопходна при решавању задатака у области запреминског напонског стања. Тачних решења у коначном облику за поставке ове врсте нема, те су добијена аналитичка решења приближна.

Један од поступака за одређивање деформационе силе базира се на услову равнотеже активних и сила отпора у контакту (могуће су и методе на основу баланса деформационих радова и сл.). Претпоставља се да је контактни притисак p_k равномерно распоређен по површини додира алата са комадом. У правцу кретања алата делује деформациона сила, једнака производу притиска и пројекције контактне површине на раван управну на правац сила.

$$F_1 = p_k \cdot \frac{i_t \cdot \pi \cdot d_t}{2} \quad (5.4)$$

Сила трења на површини конуса, пројектована на правац кретања алата, зависи од величина нормалног напона и коефицијента трења. Конична површина алата, при малим вредностима улазног угла α , може се заменити цилиндричном. Компонента која узима у обзир трење рачуна се према једначини:

$$F_2 = \frac{\pi}{2} \cdot \mu \cdot d_t \cdot p_k \cdot \frac{i_t}{\tan \alpha} \quad (5.5)$$

На цилиндричном делу алата, ширине b_t такође долази до трења:

$$F_3 = \pi \cdot \mu \cdot d_t \cdot b_t \cdot p_k \quad (5.6)$$

Укупна сила протискивања се добија сумирањем претходних компоненти:

$$F = \pi \cdot d_t \cdot p_k \cdot \left[0,5 \cdot i_t \cdot \left(\frac{\mu}{\tan \alpha} + 1 \right) + \mu \cdot b_t \right] \quad (5.7)$$

Према приказаној једначини, сила протискивања битно зависи од притиска и трења на контактним површинама, геометрије алата, мера комада и преклопа при обради. Са порастом свих основних фактора, осим угла α , сила F се увећава. Утицај улазног угла алата α је сложенији. Смањењем овог угла, сила F брже расте од умањења притиска p_k , што доводи до увећања силе протискивања. Увећање угла до неких износа доводи до снижења деформационе силе, а затим она поново почиње да расте. Тражењем минимума функције $F = F(\alpha)$ могуће је одредити оптималне вредности угла α , и оне се обично крећу у границама од $4 \div 7^\circ$. Оптимални угао алата расте са преклопом и дебљином зида комада.

Контактни притисак p_k у једначини за силу деформисања, зависи од више фактора, пре свега од деформационе чврстоће материјала K и односа спољашњег и унутрашњег пречника комада $m = D/d$:

$$p_k = \beta \cdot K \left\{ \ln m + \frac{2 \cdot d \cdot \tan \alpha}{i_t} \cdot C_1 \cdot \left[\frac{f_1 \cdot (m-1)}{\frac{d}{2} \cdot A \cdot m} - \mu \cdot \frac{d}{2} \cdot A \cdot f_2 \cdot C_3 \right] \right\} \quad (5.8)$$

Значење коефицијента из горње једначине је следеће:

$$C_1 = \frac{\frac{1+m^2}{2 \cdot m^2} - \mu \cdot k_\sigma \cdot \left(1 - \frac{m-1}{\ln m}\right)}{1 + \mu \cdot \left(\frac{d}{2}\right)^2 \cdot A^2 \cdot (m-1)} \quad (5.9)$$

$$C_3 = (m+1) \cdot \ln m - 2 \cdot (m-1) \quad (5.10)$$

$$A = \frac{2}{d} \cdot \left[\frac{6 \cdot \ln m}{(1+m) \cdot (m-1)^3} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (5.11)$$

$$f_1 = 0,43 \quad (5.12)$$

$$f_2 = 0,70 \quad (5.13)$$

Деформациона чврстоћа се одређује из криве ојачања, познавајући вредност остварене релативне деформације $\varepsilon = i_t/d$.

Коефицијент трења битно утиче на вредност силе протискивања и уобичајено је да при подмазивању савременим мазивима износи 0,05 до 0,12.

Корекција претходне једначине с обзиром на релативну дебљину зида врши се преко једначине:

$$F_u = F \cdot \left[\frac{2 \cdot (5 \cdot m - 3)}{5 \cdot m} \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5.14)$$

5.5. Тачност обрађених површина

Тачност површина, добијених протискивањем, зависи од великог броја фактора, од којих су најважнији: грешке припремног комада, неједнородност механичких својстава обрађиваног материјала, променљивост преклопа при обради, геометријски параметри алата, услови и шема обраде. Грешке при обради је могуће одредити аналитички и статистички.

Прорачун грешака има смисла искључиво при строго детерминисаним условима реализације технолошког процеса, како би се тачно одредиле мере комада и додаци, и тиме поправио квалитет урађених комада. Израчунавања се врше према аналитичким или емпиријским једначине, којима се описује процес и услови образовања површина.

Све грешке при обради се могу поделити на следеће групе [5]:

1. грешке мера профила у попречном пресеку комада,
2. грешке облика профила,
3. температурне деформације и
4. промена профила у уздужном пресеку.

При анализи грешака изузетан значај се придаје хомогености механичких особина по уздужном и попречном пресеку обрађиваног комада. Механичка својства, пре свега деформациона чврстоћа, оцењује се преко тврдоће с обзиром да између ових величина постоји чврста корелациона веза. Поред стабилности механичких особина материјала неопходно је претходно припремити комад тако, да се реализује стални преклоп. Случајна грешка обраде се знатно смањује коректном припремом отвора. Грешке у облику попречног пресека профила су директна последица нехомогености физичко – механичких својстава материјала комада у границама прстенастог пресека посматраног отвора.

Такође је битан и утицај макрогеометрије профила који се добија као и величина преклопа (при малим преклопима еластична компонента деформације је значајна, те су и грешке веће). Основно правило при избору преклопа, с обзиром на умањење грешке при обради односи се на неопходност довођења комплетног попречног пресека у област пуног оптерећења (повећање компоненте пластичности).

Мере алата и промене услед хабања такође су важне са аспекта обезбеђења тачности комада. Такође, може доћи и до еластичних деформација алата у радијалном правцу, с обзиром на високе притиске у зони преноса сила.

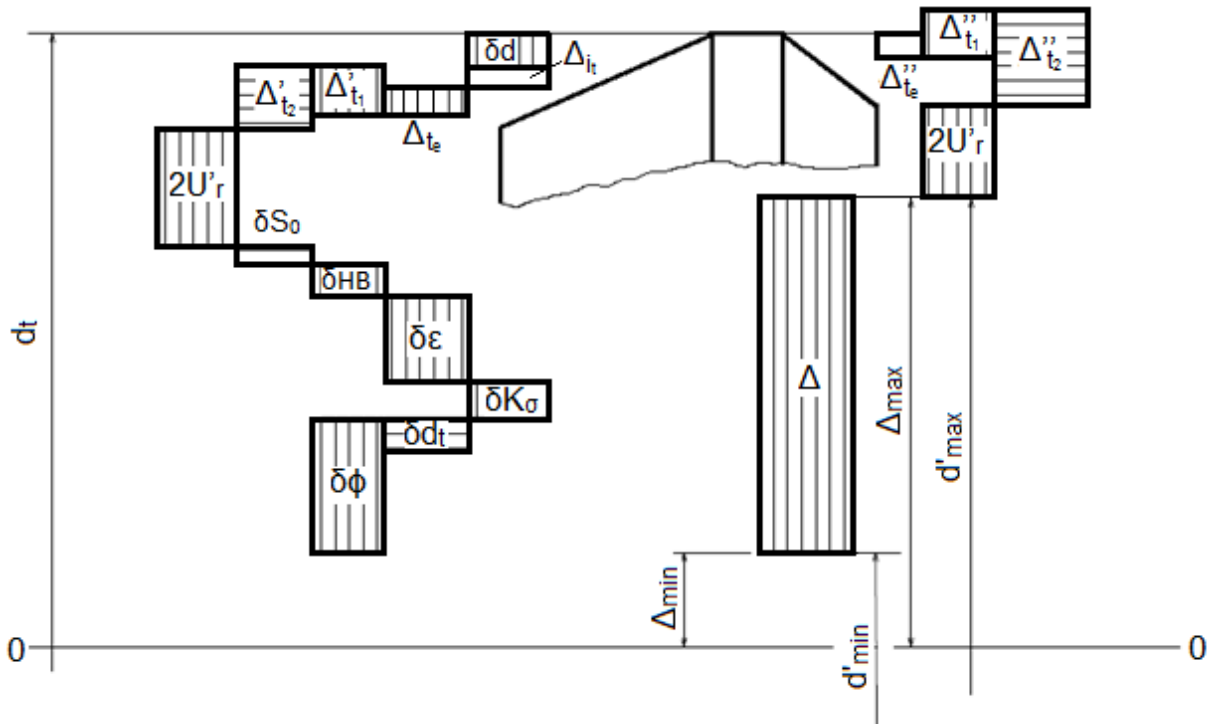
При обради долази до грејања алата и промена његових мера услед утицаја топлоте. Грешке овог типа су системске и могу се узети у обзир при конструисању алата. С обзиром да се пластичност челика умањује у распону $100 \div 300^{\circ}\text{C}$, требало би мазивом утицати на хлађење комада при обради.

Грешке по дужини профила се могу поделити у три групе:

1. грешке које зависе од шеме обраде,
2. грешке проузроковане граничним условима (значајан је утицај угла α) и
3. грешке услед савијања комада, због променљиве дебљине зида.

Збирна грешка обраде једнака је разлици највеће и најмање карактеристичне мере профила (разлици максималног и минималног пречника отвора), добијене при протискивању серије комада са различитим геометријским и физичко – механичким својствима. На слици 5.4 приказана је шема за одређивање укупне грешке обраде у попречном пресеку профила.

При обради унутрашњих профила, мењају се и димензије спољашњег пречника комада, с обзиром на услов сталне запремине. Уколико се спољашња површина обрађује, није потребна детаљнија анализа ових промена.



Слика 5.4. Шема одређивања грешке мерења

Максимални пречник отвора цеви d_{max} добиће се при протискивању припремака код којих су најмање дебљине зидова и најмање остварене деформације $i_t = d_t - d$. При томе се узима претпоставка да полуфабрикати немају геометријских грешака облика, а материјал припремка има минималне механичке карактеристике [4].

Максимални пречник отвора после протискивања зависи од пречника трна d_t и величине утицаја грешака еластичне деформације трна Δ_{te}'' , од температурног ширења полуфабриката Δ_{t1}'' и температурног ширења трна Δ_{t2}' и од радијалних деформација полуфабриката U_r' , како је то приказано на слици 5.4:

$$d'_{max} = d_t - \Delta_{te}' + \Delta_{t1}' - \Delta_{t2}' - 2 \cdot U_r' \quad (5.15)$$

Утицајне грешке се одређују помоћу следећих једначина:

$$\Delta_{te}'' = p_k \cdot \frac{d_t}{E_u} \cdot \left(\frac{D^2 + d^2}{d_t^2 - d^2} - \nu \right) \quad (5.16)$$

$$\Delta_{t1}'' = \alpha_1 \cdot d_t \cdot T_1 = \alpha_1 \cdot d_t \cdot \frac{K_t \cdot F}{C \cdot \rho_p \cdot A} \cdot \left(1 + \frac{L_t}{L} \right) \quad (5.17)$$

$$\Delta_{t2}'' = \alpha_2 \cdot d_t \cdot T_2 = \alpha_2 \cdot d_t \cdot \frac{K_t \cdot F}{C \cdot \rho_t \cdot A} \cdot \left(1 + \frac{L_t}{L} \right) \quad (5.18)$$

где су:

α_1, α_2 - коефицијенти топлотног ширења материјала полуфабриката и трна,

T_1, T_2 - средње температуре загревања трна и полуфабриката, која достиже вредност $100 \div 300^\circ\text{C}$,

C - специфична топлота полуфабриката,

ρ_p, ρ_t - густине материјала полуфабриката и трна,

K_t - корективни коефицијент који узима у обзир специфичну топлоту трна, полуфабриката и околине, а има вредност $0,5 \div 0,7$.

L, L_t - дужине полуфабриката и трна,
 A - површина попречног пресека полуфабриката,
 E - уздужни модул еластичности,
 ν - Пуасонов коефицијент ($\nu = 1/3$)

$$U_r' = \frac{\beta \cdot \sigma_v}{E \cdot (1 - \nu)} \cdot \frac{r_1}{1 + \nu \cdot (r \cdot a)^2 \cdot (m - 1)} \quad (5.19)$$

где су:

$$m = \frac{D}{d} \quad (5.20)$$

$$\beta = \frac{\sigma_t - \sigma_r}{\frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \sigma_v} \quad (5.21)$$

$$a = \frac{1}{r_1 \cdot \sqrt[4]{6 \cdot \ln \left[\frac{m}{m+1} \right] \cdot (m-1)^3}} \quad (5.22)$$

Минимални пречник отвора који се добије протискивањем настаје код полуфабриката с максималном дебљином зида и при максималним деформацијама $i_t = d_t - d$.

Тврдоће ових полуфабриката имају горње граничне вредности, а на мере отвора добијеног протискивањем утичу и одступања облика отвора који је припремљен за протискивање.

На основу слике 5.4, минимални пречник отвора, који је добијен протискивањем серије полуфабриката, одређују је се према једначини:

$$d_{min}' = d_t - \delta d - \Delta_{i_t} - \Delta_{t_e}' - \Delta_{t_1}' - \Delta_{t_2}' - 2 \cdot U_r' - \delta S_0 - \delta HB - \delta \varepsilon - \delta K_\sigma - \delta d_t - \delta \phi \quad (5.23)$$

Поље расипања мера пречника d отвора полуфабриката δd , деформације $\delta \varepsilon$, еластичне деформације трна Δ_{t_e}' , грешке услед температурног ширења полуфабриката Δ_{t_1}' и трна Δ_{t_2}' , расипања мера отвора после протискивања δS_0 , грешке пречника отвора због расипања тврдоће код полуфабриката δHB , грешке пречника отвора услед одступања осних напона δK_σ , грешке израде пречника трна δd_t и грешке кружности полуфабриката $\delta \phi$ у једначини (5.23) одређују се геометријским мерењима серије полуфабриката и прорачуном неких од ових грешака помоћу следећих једначина:

$$\Delta_{i_t} = U_0 \cdot n_k \cdot L \quad (5.24)$$

где су:

U_0 - релативна истрошеност трна,
 n_k - број обрађених комада,
 L - дужина протиснутог отвора;
 $\Delta_{t_e}' = \Delta_{t_e}''$
 $\Delta_{t_1}' = \Delta_{t_1}''$

Поље расипања мера отвора после протискивања геометријски је приказано на слици 5.5, а одређује се по једначини:

$$\delta S_0 = 2 \cdot U_r' \cdot \frac{1 + v \cdot \sqrt{\frac{6 \cdot \ln m}{m^2 - 1}}}{1 + v \cdot \sqrt{\frac{6 \cdot \ln \left(m + \frac{\delta S}{r_1}\right)}{\left(m + \frac{\delta S}{r_1}\right)^2 - 1}}} \quad (5.25)$$

где је δS поље расипања мера дебљине зида,

$$\delta \phi = \frac{34 \cdot \bar{S} \cdot \omega_1}{4000 \cdot \omega_1 + 1} \quad (5.26)$$

где је $\bar{S}$ карактеристика расипања дебљине зида која се одређује према једначини:

$$\bar{S} = \left(\frac{S_{max}}{S_{min}} - 1 \right) \quad (5.27)$$

$$\omega_1 = \frac{\omega_d}{d} \quad (5.28)$$

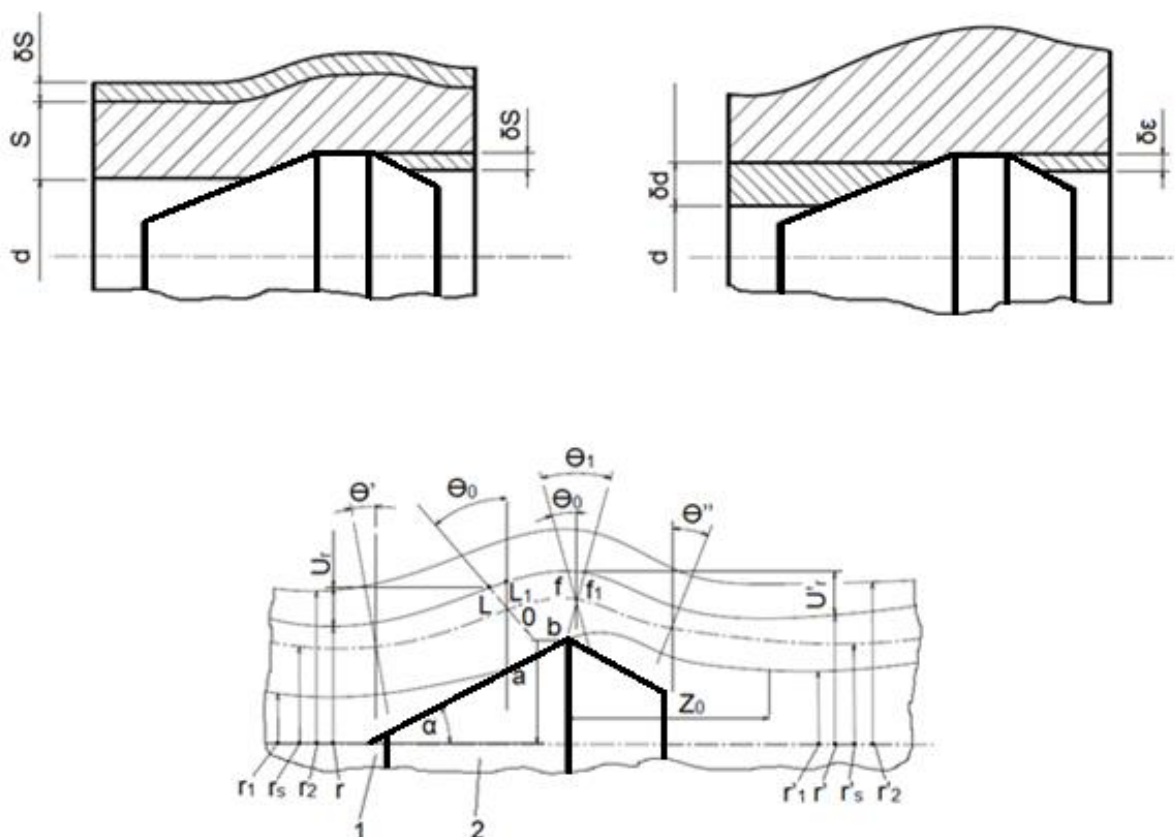
$$\delta K_\sigma = 2 \cdot U_r' \cdot \frac{v \cdot (K_{\sigma min} - K_{\sigma max})}{1 - v \cdot K} \quad (5.29)$$

$$K_\sigma = \frac{\pm 4 \cdot F}{\beta \cdot \pi \cdot (D^2 - d^2) \cdot \sigma_v} \quad (5.30)$$

Сила F се узима са знаком "+" када је при протискивању полуфабрикат напрегнут на истезање, а са знаком "-" ако је припремак напрегнут на притисак.

$$\delta HB = 2 \cdot U_r' \cdot \frac{\Delta HB}{1 + (HB_0 - \Delta HB)} \quad (5.31)$$

У једначини (5.31) ΔHB означава поље расипања тврдоће код полуфабриката који су припремљени за протискивање, а HB_0 је вредност доње граничне тврдоће полуфабриката.



Слика 5.5. Поље расипања дебљине зида полуфабриката (слика лево горе), пречника отвора (слика десно горе) и деформација уздужног пресека (слика доле)

Поље расипања мера отвора после протискивања представља разлику максималног и минималног пречника отвора (слика 5.4):

$$d = d'_{max} - d'_{min} = \delta d + \delta d_t + \delta \varepsilon + (\Delta'_{t_e} - \Delta''_{t_e}) + (\Delta'_{t_1} - \Delta''_{t_1}) + (\Delta'_{t_2} - \Delta''_{t_2}) + (\delta S_0 + \delta HB + \delta K_\sigma + \delta \phi) \quad (5.32)$$

Ако се у обзир узму претпоставке $(\Delta'_{t_e} - \Delta''_{t_e}) = 0$ и $(\Delta'_{t_1} - \Delta''_{t_1}) = 0$ и уведе смена $(\Delta'_{t_2} - \Delta''_{t_2}) = \delta t = \alpha_2 \cdot d_t \cdot \Delta_t$, добија се поље расипања мера отвора:

$$\Delta = \delta d + \delta d_t + \delta \varepsilon + d_t + \delta S_0 + \delta HB + \delta K_\sigma + \delta \phi \quad (5.33)$$

Због великог броја утицајних фактора на меру отвора цеви, која се добија после протискивања, тешко је жељену меру добити без обимних експеримената на конкретним материјалима.

Зато се редовно код артиљеријских цеви после протискивања врши завршна спољна и унутрашња механичка обрада.

5.6. Заостали напони при слободном протискивању

При протискивању као и при осталим видовима обраде деформисањем у хладном стању долази до квалитативних измена површинског слоја и основе материјала. Материјал ојачава у читавом попречном пресеку, а у зиду комада се јављају заостали напони, који достижу високе вредности на периферији цилиндричне површине. Храпавост површине се битно умањује, а тврдоћа површинског слоја се увећава [5].

Заостали тангенцијални напони у околини отвора су притисни, а на спољашњој површини су затежући. Оваква расподела заосталих напона је веома повољна са гледишта експлоатације радних комада.

Заостали радијални напони су једнаки нули на слободној површини и по величини су знатно нижи од тангенцијалних напона.

Увећањем преклопа, посебно код дебелозидних полуфабриката, повећава се вредност заосталих напона. Заостали напони су уравнотежени унутар тела полуфабриката и њихов утицај се испољава тек у случају поремећаја створене равнотеже, нпр. при накнадној механичкој обради резањем. У том случају би дошло до промене мера оствареног профила и до неупотребљивости полуфабриката.

Најједноставнији начин за уклањање заосталих напона је жарење (отпуштање), како би се створили услови за накнадну обраду цеви резањем.

5.7. Храпавост и тврдоћа површина

Високи контактни притисци и силе трења при протискивању, који изазивају пластично течење, доводе до интезивног смицања пикова неравнина. Висина неравнина се смањује са увећањем контактнoг притиска, који углавном зависи од преклопа, дебљине зида полуфабриката и улазног угла конуса алата [5].

Са повећањем преклопа смањује се храпавост; при једнаким преклопима бољи квалитет се постиже увећањем угла конуса. Претходна обрада унутрашње површине је веома значајна и пожељно је да она буде што квалитетнија.

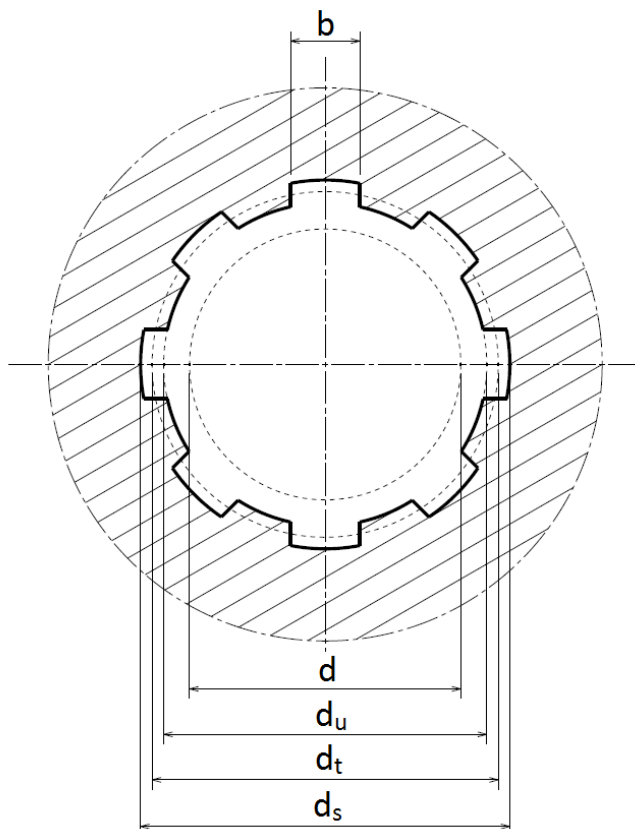
Протискивањем се добија квалитет обрађене површине чија је класа храпавости N6.

До највеће измене тврдоће долази у приконтактном слоју метала, који је напрегнут силама трења. Пик тврдоће се обично налази на самој површини, или непосредно уз њу. При истом степену деформације достигнута вредност тврдоће зависи од величине притиска на контактним површинама; микротврдоћа површине при слободном протискивању се умањује са смањењем дебљине зида и улазног угла алата.

6. ОДРЕЂИВАЊЕ СИЛЕ ПРОТИСКИВАЊА

За профил унутрашње трасе цеви за метак кал 12,7x108 mm дефинисан у тачки 3., најпре треба одредити силу протискивања, на основу спроведене анализе поступка протискивања и усвојене шеме обраде.

Геометрија унутрашњег отвора и профила који се протискује показана је на слици 3.1. Узимају се средње карактеристичне мере и пречник трна d_t .



Слика 6.1. Изглед профила који се добија протискивањем

- Истиснута површина:

$$A = A_1 + A_2 = (d_u^2 - d^2) \cdot \frac{\pi}{4} + 4 \cdot (d_s - d_u) \cdot a \quad (6.1)$$

$$A = (13^2 - 12,91^2) \cdot \frac{\pi}{4} + 4 \cdot (13,28 - 13) \cdot 3,02 \quad (6.2)$$

$$A = 5,22 \text{ mm}^2 \quad (6.3)$$

где су:

$$d = 12,91 \text{ mm}$$

$$d_s = 13,28 \text{ mm}$$

$$d_u = 13 \text{ mm}$$

$$b = 3,02 \text{ mm}$$

- Фиктивни пречник протискивања:

$$A_p = (d_t^2 - d^2) \cdot \frac{\pi}{4} \quad (6.4)$$

$$A_p = (13,14^2 - 12,91^2) \cdot \frac{\pi}{4} \quad (6.5)$$

$$A_p = 4,7 \text{ mm}^2 \quad (6.6)$$

где је:

$$d_t = 13,14 \text{ mm}$$

- Преклоп при обради (рачунски):

$$i_t = d_t - d \quad (6.7)$$

$$i_t = 13,14 - 12,91 \quad (6.8)$$

$$i_t = 0,23 \text{ mm} \quad (6.9)$$

- Стварни највећи преклоп:

$$i' = d_s - d \quad (6.10)$$

$$i' = 13,28 - 12,91 \quad (6.11)$$

$$i' = 0,37 \text{ mm} \quad (6.12)$$

Одређивање осталих величина из једначине за силу:

а) Деформациона чврстоћа

Материјал припремка је Č – 5730 VP.

За овај челик, на основу дијаграма ”сила – притисак”, према подацима произвођача, добија се крива ојачања у облику:

$$K = K_0 + C_1 \cdot \varepsilon^{n_1} \quad (6.13)$$

$$K = K_0 + (K_M - K_0) \cdot \left(\frac{\varepsilon}{\varepsilon_M} \right)^{\frac{K_M - K_0}{K_M - K_0} \cdot \frac{\varepsilon_M}{1 + \varepsilon_M}} \quad (6.14)$$

Добијене вредности су:

$$\sigma_M = 1108 \text{ MPa}$$

$$\sigma_v = 1082 \text{ MPa}$$

$$\sigma_e = 1050 \text{ MPa}$$

$$\varepsilon_R = 13\%$$

Крива ојачања има облик:

$$K = 1082 + 760,5 \cdot \varepsilon^{0,75} \text{ MPa} \quad (6.15)$$

Релативна деформација при протискивању:

$$\varepsilon = \frac{i_t}{d} \quad (6.16)$$

$$\varepsilon = \frac{0,23}{12,91} \quad (6.17)$$

$$\varepsilon = 0,018 \quad (6.18)$$

и одговарајућа деформациона чврстоћа:

$$K = 1082 + 760,5 \cdot 0,018^{0,75} \quad (6.19)$$

$$K = 1119,373 \text{ MPa} \quad (6.20)$$

б) Коефицијент трења

На основу ранијих искустава за технолошки процес протискивања користе се мазива за обраду „MOLI DAG“ и „OIL DAG“ и према тим искуствима може се приближно узети да је $\mu = 0,1$.

в) Карактеристика дебљине зида

Карактеристика m се одређује као однос спољашњег и унутрашњег пречника:

$$m = \frac{D}{d} \quad (6.21)$$

$$m = \frac{54}{12,91} \quad (6.22)$$

$$m = 4,183 \quad (6.23)$$

где је:

$$D = 54 \text{ mm}$$

Према овој карактеристици, припремни полуфабрикат спада у дебелозидне, чиме се значајно увећава радни притисак и деформациона сила. У оваквим условима обрада по шеми сабијања је веома стабилна.

г) Угао нагиба улазног конуса алата

Према извршеним анализама и препорукама, овај угао се даје у износу $\alpha = 3^\circ \pm 0,67^\circ$.

д) Коефицијент β

Контактни притисак се може приказати [4]:

$$p_k = M \cdot \sigma_e \cdot \ln\left(\frac{x}{r}\right) + \sigma_e \cdot \frac{r_2^2 - x^2}{\sqrt{3 \cdot r_2^4 - x^4}} \quad (6.24)$$

што одговара једначини (5.8) при чему је:

$$M = \frac{\sigma_t - \sigma_r}{\sigma_e} \quad (6.25)$$

$$M = 1,08 \quad (6.26)$$

На основу једначине (5.21) коефицијент β се може приказати:

$$\beta = \frac{M \cdot \sigma_e}{\frac{2}{\sqrt{3}} \cdot \sigma_v} \quad (6.27)$$

$$\beta = \frac{1,08 \cdot 1050}{\frac{2}{\sqrt{3}} \cdot 1082} \quad (6.28)$$

$$\beta = 0,908 \quad (6.29)$$

ђ) Расипање осних напона K_σ и прорачун силе протискивања F

На основу једначине (5.30) за примењену технологију сабијања користи се једначина:

$$K_{\sigma} = \frac{-4 \cdot F}{\beta \cdot \pi \cdot (D^2 - d^2) \cdot \sigma_v} \quad (6.30)$$

Једначина (6.30) важи када је позната сила F . Како величина K_{σ} има малу вредност у првом приближењу рачуна се вредност коефицијента C_1 према једначини (5.9) са вредношћу $K_{\sigma}=0$.

За израчунавање коефицијента C_1 потребно је израчунати коефицијент A према једначини (5.11).

$$A = \frac{2}{0,01291} \cdot \left[\frac{6 \cdot \ln 4,183}{(1 + 4,183) \cdot (4,183 - 1)^3} \right]^{\frac{1}{4}} \quad (6.31)$$

$$A = 73,753 \quad (6.32)$$

Коефицијент C_1 када је $K_{\sigma}=0$ израчунава се:

$$C_1 = \frac{\frac{1 + 4,183^2}{2 \cdot 4,183^2} - 0,1 \cdot 0 \cdot \left(1 - \frac{4,183 - 1}{\ln 4,183}\right)}{1 + 0,1 \cdot \left(\frac{0,01291}{2}\right)^2 \cdot 73,753^2 \cdot (4,183 - 1)} \quad (6.33)$$

$$C_1 = 0,493 \quad (6.34)$$

Даље се са коефицијентом $C_1=0,493$ одређује контактни притисак p_k према једначини (5.8). За одређивање овог притиска потребно је израчунати коефицијент C_3 према једначини (5.10).

$$C_3 = (4,183 + 1) \cdot \ln 4,183 - 2 \cdot (4,183 - 1) \quad (6.35)$$

$$C_3 = 1,051 \quad (6.36)$$

Контактни притисак p_k са коефицијентом C_1 када је $K_{\sigma}=0$ израчунава се:

$$p_k = 0,908 \cdot 1119,373 \cdot 10^6 \cdot \left\{ \ln 4,183 + \frac{2 \cdot 0,01291 \cdot \tan 3^\circ}{0,23} \cdot 0,493 \cdot \left[\frac{0,43 \cdot (4,183 - 1)}{\frac{0,01291}{2} \cdot 73,753 \cdot 4,183} - 0,1 \cdot \frac{0,01291}{2} \cdot 73,753 \cdot 0,7 \cdot 1,051 \right] \right\} \quad (6.37)$$

$$p_k = 3362,396 \text{ MPa} \quad (6.38)$$

Даље се одређује минимум функције F са добијеним контактним притиском према једначини (5.7):

$$F = \pi \cdot 0,01314 \cdot 3362,396 \cdot 10^6 \cdot \left[0,5 \cdot 0,000023 \cdot \left(\frac{0,1}{\tan 3^\circ} + 1 \right) + 0,1 \cdot 0,003 \right] \quad (6.39)$$

$$F = 8825,433 \text{ daN} \quad (6.40)$$

Добијену силу F је потребно уврстити у једначину (6.30) да би се добила вредност K_σ .

$$K_\sigma = \frac{-4 \cdot 88254,33}{0,908 \cdot \pi \cdot (0,054^2 - 0,01291^2) \cdot 1082 \cdot 10^6} \quad (6.41)$$

$$K_\sigma = -0,042 \quad (6.42)$$

Са добијеном вредношћу K_σ може се израчунати вредност коефицијента C_1 , контактнoг притиска p_k према једначинама (5.9) и (5.8) и кориговати сила F , према једначини (5.7).

$$C_1 = \frac{\frac{1 + 4,183^2}{2 \cdot 4,183^2} - 0,1 \cdot (-0,042) \cdot \left(1 - \frac{4,183 - 1}{\ln 4,183}\right)}{1 + 0,1 \cdot \left(\frac{0,01291}{2}\right)^2 \cdot 73,753^2 \cdot (4,183 - 1)} \quad (6.43)$$

$$C_1 = 0,488 \quad (6.44)$$

$$p_k = 0,908 \cdot 1119,373 \cdot 10^6 \cdot \left\{ \ln 4,183 + \frac{2 \cdot 0,01291 \cdot \tan 3^\circ}{0,23} \cdot 0,488 \cdot \left[\frac{0,43 \cdot (4,183 - 1)}{\frac{0,01291}{2} \cdot 73,753 \cdot 4,183} - 0,1 \cdot \frac{0,01291}{2} \cdot 73,753 \cdot 0,7 \cdot 1,051 \right] \right\} \quad (6.45)$$

$$p_k = 3343,045 \text{ MPa} \quad (6.46)$$

$$F = \pi \cdot 0,01314 \cdot 3343,045 \cdot 10^6 \cdot \left[0,5 \cdot 0,000023 \cdot \left(\frac{0,1}{\tan 3^\circ} + 1 \right) + 0,1 \cdot 0,003 \right] \quad (6.47)$$

$$F = 8774,642 \text{ daN} \quad (6.48)$$

Стварна сила се увећаваа због постојања тангенцијалне компоненте силе протискавања, као последице израде завојних жљебова. Величина ове компоненте, као и увећање због дебелозидности износи око 20% од рачунске силе. На тај начин се добија номинална вредност силе у износу од $F = 10530 \text{ daN}$.

7. ДЕФИНИСАЊЕ ТЕХНОЛОШКОГ ПОСТУПКА

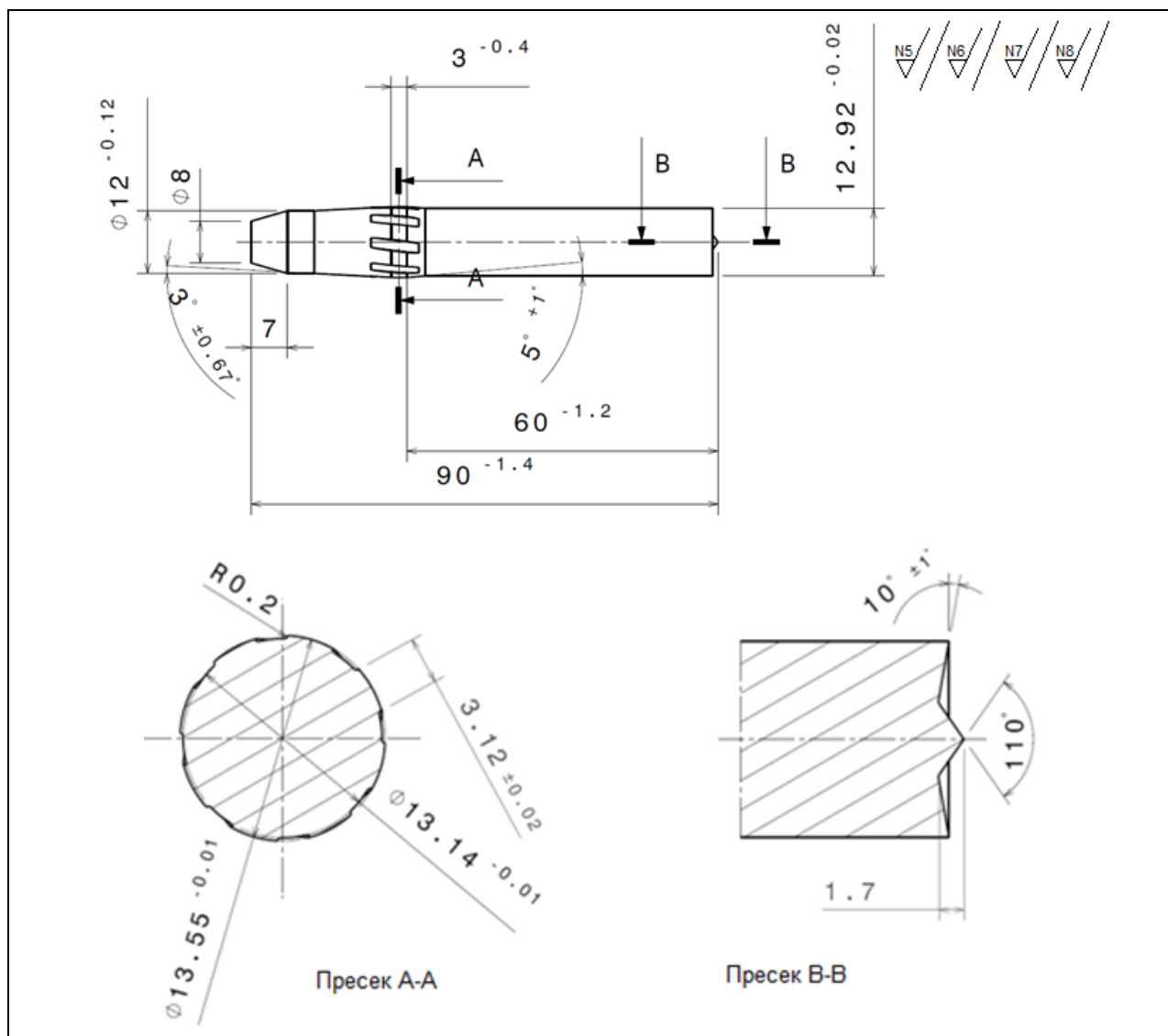
За технолошки процес протискивања профила унутрашње трасе цеви за метак кал 12,7x108 mm може се користити машина за протискивање МП – 42 ЖК Црвена Застава, која постоји у фабрици „Застава оружје“ у Крагујевцу и пројектована је за технологију протискивања.

Ова машина концепцијски је пројектована за слободно протискивање по шеми сабијања, при чему притисак који одговара горе дефинисаној сили износи 60 bar-a.

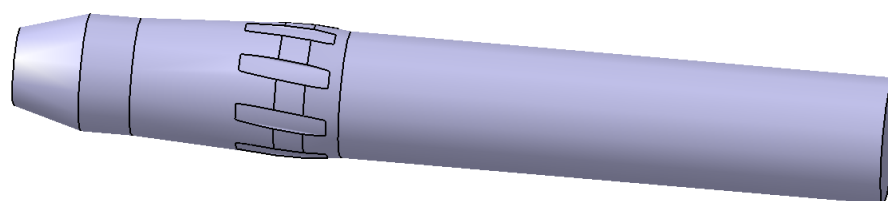
Претходним анализама створени су услови за дефинисање технолошког процеса протискивања према следећем:

- 1) Узети припремак цеви кал. 12,7x108 mm, који је израђен од материјала $\check{C}$ – 5730 VP, побољшан, тврдоће HB 285, чији је унутрашњи отвор добијен дубоким бушењем.
- 2) Унутрашњи отвор цеви очистити сувом крпом.
- 3) Извршити визуелну проверу унутрашњег отвора цеви.
- 4) Унутрашњи отвор цеви подмазати на целој дужини равномерним наношењем масти „MOLI DAG 49“.
- 5) У унутрашњи отвор цеви ушприцати маст „OIL DAG“.
- 6) На улазној страни трна – протискивача формирати чеп од масти „MOLI DAG 49“.
- 7) Трн подмазати умакањем у „MOLI DAG 49“. Ставити трн у отвор ослонца (А) са конусном страном према унутрашњем отвору цеви.
- 8) Трн поставити да се ослони на чело потискивача трна у лежиште трна; лежиште трна и потискивач трна налазе се на задњем ослонцу (А) на машини.
- 9) Цев поставити на машину за протискивање МП.- 42ЖК на следећи начин:
 - цев поставити између предњег ослонца (D),
 - на стезаче (B) и (C) (цев на месту стезања има коте $\varnothing 53h8$) и
 - задњег ослонца (A); призме за стезање (стезачи B и C) су у оси са лежиштем трна у ослонцу (A), тако да су цев и трн аутоматски саосни, односно поклапају им се осе.
- 10) Извршити протискивање гурањем трна протискивачем трна по шеми слободног протискивања тако да сила деловања потискивача на трн буде 10530 daN (ова сила одговара притиску хидроцилиндра до 60 bar-a), брзином протискивања $v=280 \text{ mm/min}$.

Протискивање извршити алатом према сликама 7.1, 7.2 и 7.3.



Слика 7.1. Цртеж протискивача са попречним пресецима (корак спирале 355^{+15} μm)



Слика 7.2. Модел протискивача



Слика 7.3. Протискивач

- 11) Унутрашњи отвор цеви који је протиснут, опрати у кади средством за прање „FAMIN“.
- 12) Унутрашњи отвор цеви обрисати сувом крпом.
- 13) Извршити контролу димензија и стања унутрашњег отвора
(за димензије користити гарнитуре контролника, а за стање унутрашњости цеви уређај за оптичку контролу цеви KARLHEINZ-HINZE MESSTECHNIK-OPTRONIK).
- 14) Извршити стабилизационо попуштање цеви. Време између протискивања и стабилизационог попуштања не сме бити дуже од 8 сати.

Ради лакшег праћења и разумевања, технолошки поступак ожљебљења цеви протискивањем приказан је кроз фотографије операција са приказом контролника који се користе за проверу унутрашње трасе и начином провере. Приказане су такође и фотографије противавионског митраљеза М02 Којот на који се уграђује анализирана цев, као и карактеристике тог митраљеза.

- 1) Узети припремак цеви кал. 12,7x108 mm, који је израђен од материјала $\check{C}$ – 5730 VP, побољшан, тврдоће HB 285, чији је унутрашњи отвор добијен дубоким бушењем.



Слика 7.4. Припремци цеви



Слика 7.5. Припремак цеви кал. 12,7x108 mm на машини за дубоко бушење

- 2) Унутрашњи отвор цеви очистити сувом крпом.
- 3) Извршити визуелну проверу унутрашњег отвора цеви.

- 4) Унутрашњи отвор цеви подмазати на целој дужини равномерним наношењем масти „MOLI DAG 49“.



Слика 7.6. Поступак сипања масти

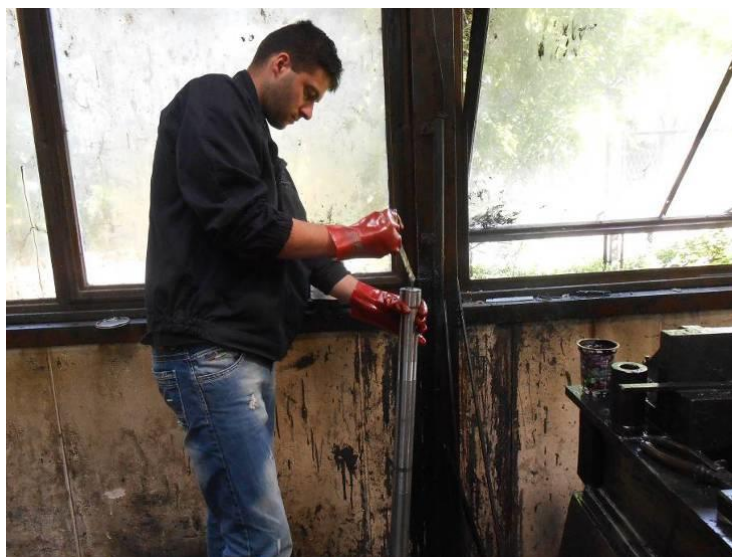


Слика 7.7. Поступак распоређивања масти шипком по обиму целе дужине цеви

- 5) У унутрашњи отвор цеви ушприцати маст „OIL DAG“.



Слика 7.8. Масти за подмазивање



Слика 7.9. Ушприцавање масти „OIL DAG“

- 6) На улазној страни трна – протискивача формирати чеп од масти „MOLI DAG“.



Слика 7.10. Поступак формирања чепа од масти

- 7) Трн подмазати умакањем у „MOLI DAG 49“. Ставити трн у отвор ослонца (А) са конусном страном према унутрашњем отвору цеви.



Слика 7.11. Постављање трна у отвор ослонца (А)

- 8) Трн поставити да се ослони на чело потискивача трна у лежиште трна; лежиште трна и потискивач трна налазе се на задњем ослоњу (А) на машини.



Слика 7.12. Поступак постављања потискивача

- 9) Цев поставити на машину за потискивање МП.- 42ЈК Црвена Застава на следећи начин:



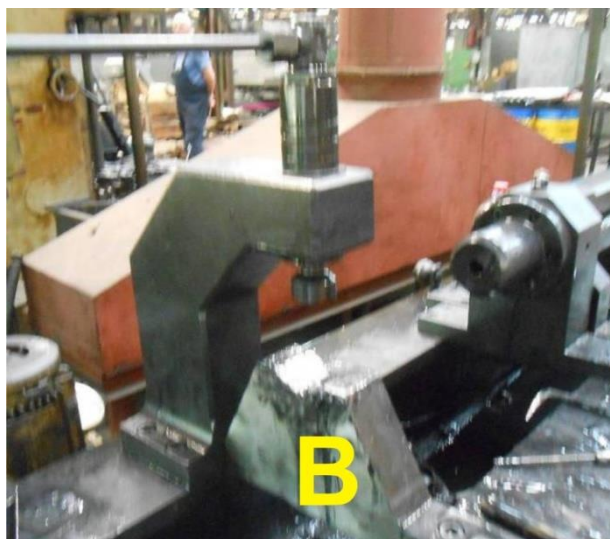
Слика 7.13. Машина за потискивање МП-42 ЈК Црвена Застава

- цев поставити између предњег ослоња (D),



Слика 7.14. Предњи ослонац (D)

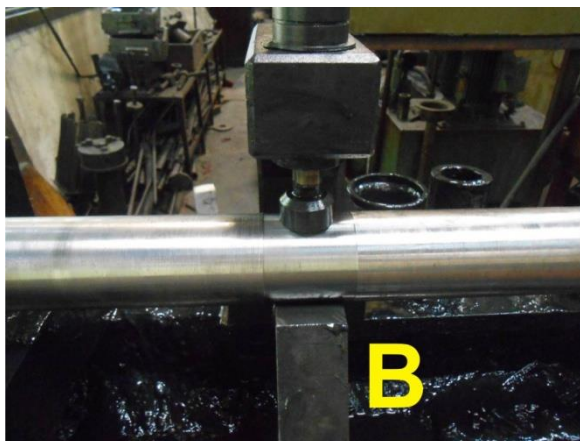
- на стезаче (B) и (C) (цев на месту стезања има коте $\varnothing 53h8$) и



Слика 7.15. Стезач (В)



Слика 7.16. Барометар (притисак од 120 bar-а из кога произилази сила стезања цеви стезачима (В) и (С))



Слика 7.17. Постављена цев у стезач (В)

- задњег ослонца (А); призме за стезање (стезачи В и С) су у оси са лежиштем трна у ослонцу (А), тако да су цев и трн аутоматски саосни, односно поклапају им се осе.
- 10) Извршити протискивање гурањем протискивача потискивачем по шеми слободног протискивања тако да сила деловања потискивача на протискивач буде 10530 daN (ова сила одговара притиску хидроцилиндра до 60 bar-а), брзином протискивања $v=280 \text{ mm/min}$.



Слика 7.18. Смер протискивања на машини



Слика 7.19. Контрола силе протискивања преко притиска (60 bar-a)

- 11) Унутрашњи отвор цеви који је протиснут, опрати у кади средством за прање „FAMIN“.



Слика 7.20. Поступак прања цев у кади

- 12) Унутрашњи отвор цеви обрисати сувом крпом.
- 13) Извршити контролу димензија и стања унутрашњег отвора (за димензије користити гарнитуре контролника (табела 7.1), а за стање унутрашњости цеви уређај за оптичку контролу цеви KARLHEINZ-HINZE MESSTECHNIK-OPTRONIK (слике 7.26 и 7.27)).



Слика 7.21. Контрола цеви

Табела 7.1. Контролници

Гарнитура контролника	Пречник (mm)	„Иде/не иде“
682 42 3010	13 ^{+0,05}	„иде“
682 42 3020	13 ^{+0,05}	„не иде“
682 42 3030	13,02 ^{+0,05}	„иде“
682 42 3040	13,02 ^{+0,05}	„не иде“
682 42 3090	13,28 ^{+0,05}	„иде“



Слика 7.22. Контролници цеви



Слика 7.23. Контролници за жљебове у цеви



Слика 7.24. Контролници калибра цеви



Слика 7.25. Контролник правоће цеви

- Очна контрола цеви врши се помоћу уређаја *KARLHEINZ-HINZE MESSTECHNIK-OPTRONI*.

Слика 7.26. Уређај за очну контролу цеви (*KARLHEINZ-HINZE MESSTECHNIK-OPTRONIK*)

Слика 7.27. Очна контрола цеви

- 14) Извршити стабилизационо попуштање. Време између протискивања и стабилизационог попуштања не сме бити дуже од 8 сати.



Слика 7.28. Митраљез М02 Којот – 12,7x108 mm /.50 Browning [6]



Слика 7.29. Митраљез М02 Којот (детал) [6]

Табела 7.2. Техничке карактеристике митраљеза M02 Којот – 12,7x108 mm /.50 Browning [6]

Калибар (mm)	12,7x108 / .50Browning
Корак увијања (mm)	381
Број жљебова	8
Капацитет реденика (метака)	60
Дужина цеви (mm)	1100
Дужина (mm)	1970
Маса (kg)	48,8
Маса постоља (kg)	24
Брзина паљбе (мет/min)	700
Максимални ефективни домет (m)	1500

8. ЗАКЉУЧАК

Уобичајену обраду резањем најчешће замењује процес обраде протискивањем који спада у прогресивне видове обраде. Процес протискивања се реализује алатима (трновима – протискивачима – дроновима) који раде при преклопу у условима израженог трења клизања или котрљања при кретању уздуж осе отвора који се обрађује, чиме се мењају мере профила или мере и облик профила попречног пресека отвора.

При ожљебљењу цеви протискивањем, протискивач истовремено утискује профил свих жљебова, чиме се смањује време ожљебљења. Иако поступак протискивања кратко траје није погодан за све типове цеви. Процес протискивања је погодан за производњу цеви оружја са аутоматским режимом палбе, док се за високопрецизне цеви овај процес не примењује. Протискивање се изводи на дебелозидним цевима са једноставним алатима. При протискивању долази до квалитативних измена површинског слоја и основе материјала. Материјал се ојачава у читавом попречном пресеку, али као проблем представљају заостали напони који се јављају у зиду цеви и неопходно их је отклонити како би се створили услови за накнадну обраду цеви резањем. Најједноставнији начин за уклањање заосталих напона је жарење (отпуштање).

Цев калибра 12,7x108 mm ожљебљена поступком протискивања поставља се на противавионски митраљез М02 Којот. Овај митраљез ради са аутоматским режимом палбе. Унутрашњост цеви је хромирана, што са претходно извршеним протискивањем обезбеђује дуготрајност са непромењеним балистичким карактеристикама.

Овим радом су представљени захтеви за унутрашњу трасу ове цеви пре хромирања и пре ожљебљења кроз техничке цртеже. Ради дефинисања технологије обраде извршен је избор шеме протискивања, одређени основни параметри процеса и прорачун силе протискивања. За одређивање ове силе коришћен је услов равнотеже активних сила и сила отпора у контакту. Дефинисан је технолошки поступак протискивања за машину за протискивање која постоји у фабрици Застава оружје у Крагујевцу, а ради лакшег праћења и разумевања, технолошки поступак ожљебљења цеви протискивањем приказан је кроз фотогрфије операција и приказ контролника који се користе за проверу унутрашње трасе као и начин провере.

Примењена методологија може се користити код пројектовања технолошког поступка протискивањем за цеви оружја/оруђа и других калибара код којих се покаже да је оправдано увођење ове технологије.

9. 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] Б. Јеремић, С. Каралазић, В. Зарић, *Извештај о освајању унутрашње трасе цеви протискивањем*, Застава НП, 1986.
- [6] <http://www.zastava-arms.rs/sr/militaryproduct/mitraljez-m02-kojot-127x108-50-browning> (мај 2015.)