

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: 514/2014

Тања М. Ракочевих

Израда цеви наоружања дубоким бушењем

дипломски рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Недић Богдан, редовни професор - ментор

2. _____

Датум одбране: _____

3. _____

Оцена: _____

Резиме

На основу истраживања и анализе расположиве литературе у овом раду је приказана технологија израде цеви оружја дубоким бушењем, прорачун цеви, осцилација цеви, загревање цеви и начин њеног хлађења, као и само ожљебљење цеви. У посебном поглављу приказане су врсте и методе дубоког бушења, дефекти дубоког бушења, а посебан значај у овом поглављу имају поступци и алати дубоког бушења. На крај, представљене су машине за бушење и проширивање дубоких отвора.

Кључне речи: технологија , цев, дубоко бушење, алати.

Summary

On the basis of research and analysis of the available literature in this paper, the technology of producing pipe pipes with deep drilling, piping calculation, tube oscillation, heating of the pipe and the way of its cooling, as well as only grouting of the pipe is shown. A special chapter presents the types and methods of deep drilling, deep drilling defects, and the features and deep drilling tools in this chapter have special significance. At the end, machines for drilling and deepening of deep openings are presented.

Key words: technology, tube, deep drilling, tools.

УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ

МАШИНСКИ ФАКУЛТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ

Катедра за: ПРОИЗВОДНО МАШИНСТВО

Предмет: Технологија производње наоружања

ДИПЛОМСКИ РАД

са темом:

ИЗРАДА ЦЕВИ НАОРУЖАЊА ДУБОКИМ БУШЕЊЕМ

За кандидата: Ракочевић Тања број индекса 514/2014.

У оквиру дипломског рада потребно је прикупити и систематизовати податке о врстама цеви наоружања и њиховим карактеристикама, начину прорачуна цеви и технологијама израде цеви. Посебан део рада посветити опису технологија дубоког бушења, при чему детаљно описати поступке дубоког бушења, алате који се користе за дубоко бушење и машине за ту намену.

Препоручена литература:

1. Маринко Петровић, Технологија производње наоружања, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2017, књига у рукопису.
2. Павелић В. (1988): Технологије производње наоружања, Центар војнотехничких школа, Загреб.
3. Ристић З., Јаковљевић М., (2001): Основи наоружања, Војна академија, Београд.

У Крагујевцу,
Јун, 2018.

Проф. Др Богдан Недић

Садржај:

1. Увод	1
2. Цев оружја	2
2.1. Прорачун цеви.....	4
2.2.1. Прорачун дебљине зида цеви	6
2.2. Осцилације цеви	8
2.3. Загревање цеви и начини њеног хлађења.....	10
2.4. Израда цеви	12
2.5. Ожљебљење унутрашњости цеви оружја/оруђа	13
2.5.1. Ожљебљење протискивање трном	14
2.5.2. Ожљебљење хладним ковањем на трну.....	15
2.5.3. Ожљебљење цеви електрохемијском обрадом.....	17
2.5.4. Ожљебљење хладним ротационим истискивањем	20
2.6. Технолошки поступци завршне обраде унутрашњости цеви оружја/оруђа	22
2.6.1. Хоновање	22
2.6.2. Полирање отвора цеви	25
2.6.3. Љуштење и роловање	27
3. Дубоко бушење	28
3.1. Врсте дубоког бушења	29
3.2. Методе дубоког бушења	29
3.3. Показатељи за оцену технолошког поступка дубоког бушења	31
3.4. Дефекти при бушењу дубоких отвора.....	31
3.5. Поступци дубоког бушења	33
3.5.1. Бушење отвора топовском бургијом	33
3.5.2. Бушење отвора STS (BTA) поступком	35
3.5.3. Бушење ејекторским поступком (DTS поступак)	37
3.6. Алати за дубоко бушење.....	38
3.6.1. Алати за дубоко бушење малих отвора	42
3.6.2. Алати за дубоко бушење средњих пречника с одређеним базирањем.....	46
3.6.3. Алати за дубоко прстенасто бушење	55
3.7. Носачи за дубоко бушење.....	56
3.8. Увођење алата у дубоки отвор	57
3.9. Проширивање дубоких цилиндричних отвора	58
3.9.1. Алати за проширивање дубоких отвора	60
3.10. Проширивање дубоких конусних отвора	62
4. Машине за бушење и проширивање дубоких отвора.....	65
4.1. Класификација машина за дубоко бушење	65

4.1.1. Машине за дубоко бушење типа струга.....	67
4.1.2. Машине за дубоко бушење с варијатором	68
4.1.3. Машине за дубоко бушење код којих се не обрће полуфабрикат	69
4.1.4. Машине за двострано дубоко бушење.....	70
5. Закључак	72
6. Литература	73

1. Увод

На развој целокупног друштва, а такође и на сам живот човека, један од највећих утицаја има привредна грана под називом индустријска производња. Она доноси капитал и њен развој је узроковало нагло јачање и развој, како обрадних система, тако и један од најраширенијих и најзаступљенијих поступака обраде делова – обраде одвајањем честица.

Технологија производње наоружања у једној фабрици зависи од врсте и технолошког нивоа фабрике, те конструкционе сложености и величине серије производа. У производњи се истовремено може налазити један или више производа које су различите конструкционе и технолошке сложености.

Често се процес израде простих делова завршава у једном производном погону, док се сложенији делови обрађују у више радионица. Одређени делови и склопови производа обрађују се у специјализованим фабрикама по принципу кооперације, а затим се по утврђеном плану достављају фабрици која финализира производ.

Технологије производње наоружања карактеришу развијени оригинални процеси производње и прераде припремка уз стварање специјалних машина и прибора у циљу обезбеђења висококвалитетних производа.

Технологије производње наоружања се изучавају преко карактеристика израде типичних делова стрељачког система, аутоматских топова и оруђа, а посебно, најважнијег дела цеви.

У овом раду је приказана израда цеви наоружања дубоким бушењем. У оквиру другог поглавља је представљена сама цев оружја, њена намена, проказан је изглед пресека цеви оружја. Дат је прорачун цеви за добијање дужине цеви. При гађању цев оружја врши попречна и уздужна осцилаторна кретања, па су приказани облици осцилација. Како је улога цеви најважнија, јер служи да се у њој изврши опаљење метка, често долази до загревања цеви, па је такође у овом поглављу објашњено како се цев све хлади. Детаљно су описана ожљебљења унутрашњости цеви оружја/оруђа. Крај овог поглавља је описан са поступцима завршне обраде унутрашњости цеви оружја/оруђа. У поглављу три је детаљно описано дубоко бушење. Приказане су врсте дубоког бушења као и методе. Највећи значај у овом поглављу имају поступци и алати дубоког бушења. Разликујемо три поступка, који су детаљно описани и шематски приказани. Знатан део овог поглавља односи се на конструктивна решења алата за дубоко бушење. У поглављу четири су представљене машине за бушење и проширивање дубоких отвора. Шематски је приказана подела машина, затим дате су пар слика машина за дубоко бушење мањих и већих калибра, фирме *Unising*.

Животни век цеви је период у којем цев у границама задатих тактичко-техничких захтева задржава своје балистичке карактеристике (прецизност, почетну брзину, домет и др.). Животни век цеви мери се бројем испалених метака, али у великој мери зависи и од режима ватре, услова чувања и одржавања и врсте муниције. За повећање животног века цеви, без обзира на врсту ожљебљења унутрашњост цеви се најчешће хромира. У пракси се хромира цела цев или само лежиште метка и прелазни конус.

Алати за обраду дубоким бушењем као један од најчешће коришћених операција обраде у производној индустрији потребно је побољшати. Сви светски произвођачи алата за обраду дубоким бушењем раде на смањењу времена обраде, повећању квалитета обрађене површине и повећавању продуктивности. Савремени алати за обраду дубоким бушењем прате овај тренд, тако да постоји велики број алата доступних на тржишту за различита бушења дубоких отвора.

2. Цев оружја

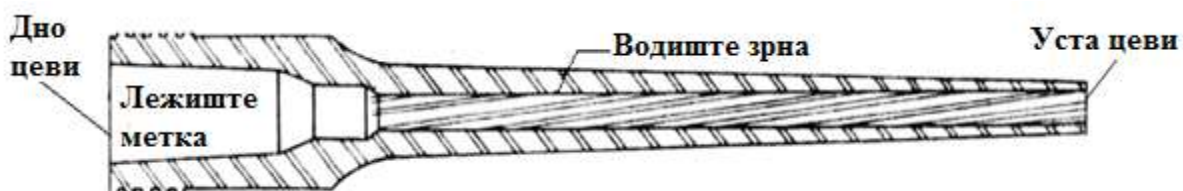
Цев стрелачког оружја је најважнији и најодговорнији део у којем непосредно долази до сагоревања барутног пуњења и активним дејством барутних гасова зрну задаје почетна брзина у жељеном правцу. Зато цев захтева посебну пажњу при пројектовању и производњи. Цев служи да се у њој изврши опаљење метка и да зрну да правац, обртну брзину и стабилност при лету кроз ваздух. Комбинација цеви и метка одређује балистичка својства оружја. Цев је део оружја, израђена у виду специјалног шупљег цилиндра – тубе одређеног облика и унутрашњег пречника, и намењена је за:

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

Споља цев има свој облик и димензије који зависе од конкретног типа стрелачког оружја и захтева балистике. Унутрашња шупљина цеви често се назива канал цеви. Замишљена права линија која пролази кроз средину канала цеви назива се оса цеви или оса канала цеви. Предњи део цеви, тачније предњи пресек цеви назива се уста цеви а задњи пресек дно цеви.

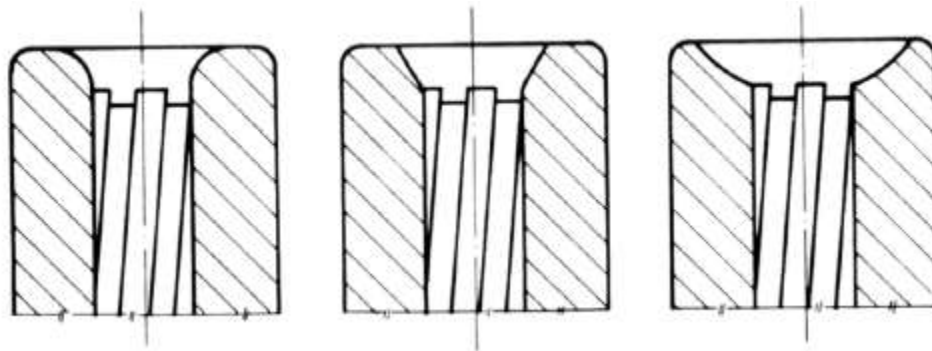
Цев оружја конструкционо се изводи као моноблок и може се поделити на четири секције:

- Задњи отворени део или дно цеви,
- Лежиште метка,
- Отвор цеви – водиште пројектила,
- Предњи отворени део – уста цеви.



Слика 1. Изглед пресека цеви оружја [1]

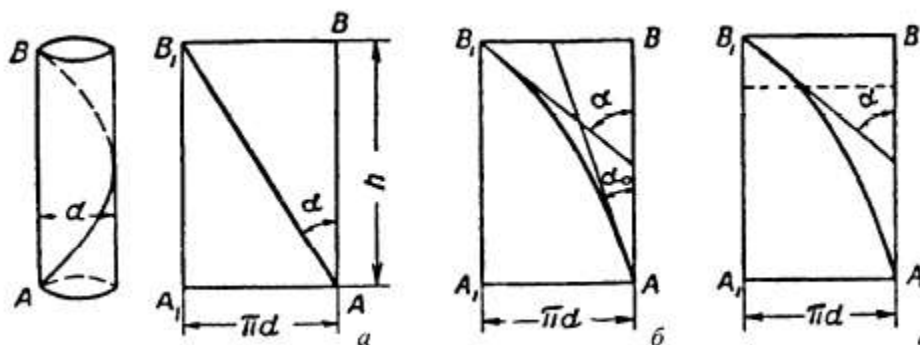
Свака неисправност завршетка канала цеви и уста цеви (огреботине, нагњечења, оштећења) приметно указује на жесток режим рада оружја. Облик уста цеви се бира тако да се избегну наведене нежељене појаве слика 2.



Слика 2. Облици уста цеви оружја [1]

Предњи део цеви оружја чија је примарна улога да спрече случајна оштећења површина предњег дела ожљебљења цеви. Сферни и конусни облици уста цеви погодни су за примену код оружја која користе појачнике трзања. Предњи део цеви код уста цеви и као додатак на који се поставља предњи нишан, разбијач нишана или гасна кочница, који су извори великих сила које се преносе на цев преко навоја или чврстих спојева.

Угао увијања жљеба је угао који заклапа оса цеви (или произвољна права линија паралелна оси цеви) и тангента на спиралну линију жљеба. Угао увијања може бити константан, прогресиван или комбинован.



Слика 3. Угао увијања жљебова

а) константан, б) прогресиван, в) комбинован [1]

Предност константног угла увијања је једноставност производње. Велики недостатак је неравномерност хабања цеви. До највећег хабања на почетку водишта зрна и крива хабања прати криву притиска барутних гасова у току опаљења. То се може видети из израза за нормалну силу интеракције зрна и бојева стране поља:

$$N \approx 0,5 \frac{pS}{n} \tan \alpha \quad (1)$$

где су:

N – сила нормалног притиска на бојеву страну поља,

n – број жљебова,

p – притисак барутних гасова у каналу цеви,

S – површина попречног пресека цеви (узимајући у обзир и жљебове) и

α – угао увијања жљебова.

Код прогресивног увијања жљебова угао увијања расте ка устима цеви. У том случају нормална сила на радну страну поља је приближно константан, па је и хабање дуж цеви мање-више равномерно. Основни недостатак оваквог типа увијања је сложеност израде. Код стрелачког наоружања скоро да се и не примењује. Угао увијања жљебова се одређује из услова обезбеђења стабилности зрна у лету.

2.1. Прорачун цеви

Прорачун цеви врши се за изабрану врсту муниције. У основи прорачуна су моћ оружја, коју даје барутно пуњење, калибар муниције и почетна брзина зрна коју треба да обезбеди цев. Унутрашњи пречник цеви се лако одређује – једнак је калибру изабраног метка. Дужину цеви одређује дужина лежишта метка, прелазног конуса и водишта зрна.

$$l_c = l_{lm} + l_{pk} + l_{vz} \quad (2)$$

Дужина лежишта метка се одређује се као дужина чауре изабраног метка. Дужина прелазног конуса узима се да је приближно једнака двоструком калибру цеви:

$$l \approx 2d \quad (3)$$

За даљи прорачун цеви потребно је имати криву притиска и брзине кретања зрна за изабрани метак. Дужина ожљебљеног дела цеви одређује се на следећи начин. Имајући криву брзине кретања зрна из тачке задате почетне брзине зрна повлачи се хоризонтална линија до пресека са кривом брзине, а затим од тачке пресека вертикална линија до x осе. Измеривши дужину од 0 до вертикалне линије добија се у одговарајућој размери тражена дужина цеви. Да би се завршио прорачун унутрашње трасе цеви потребно је прорачунати ожљебљење.

Корак жљеба одређује се из израза:

$$h = \frac{V_o S_z^2}{332000 \cdot l} \quad (4)$$

где су:

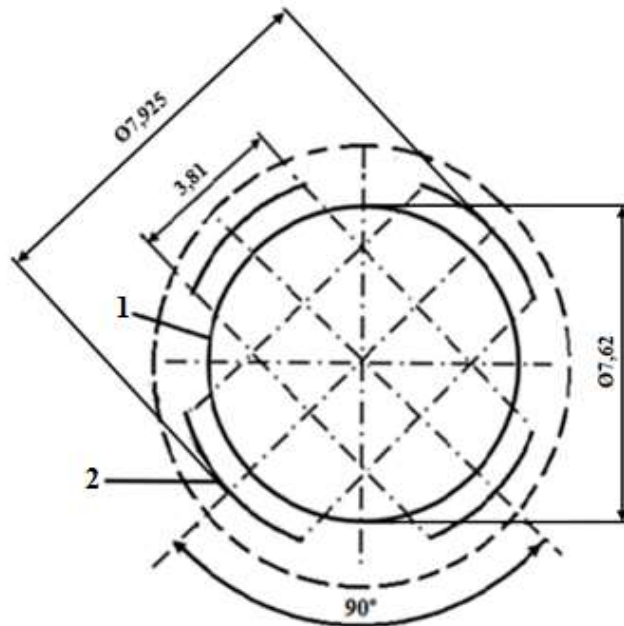
h - корак жљеба, v_o - почетна брзина зрна, l - дужина зрна, S_z - површина попречног пресека зрна и 332000 - емпиријски коефицијент који зависи од материјала зрна.

Површина попречног пресека ожљебљеног дела цеви (слика 4) одређује се из зависности:

$$S = (0,81 \div 0,82)d \quad (5)$$

где је:

d - калибар цеви



Слика 4. Попречни пресек ожљебљене цеви калибра $d = 7,62 \text{ mm}$ [1]

Угао увијања жљеба је :

$$\tan \alpha = \frac{\pi d}{x} \quad (6)$$

Код цеви са константним углом увијања ($\alpha = \text{const}$) корак жљеба је:

$$X = \frac{\pi d}{\tan \alpha} \quad (7)$$

Па је број обртаја на устима цеви:

$$K = \frac{Bo}{x} \quad (8)$$

Дубина жљебова се усваја у интервалу:

$$t = \left(\frac{l}{50} \div \frac{l}{70} \right) d \quad (9)$$

Број поља и жљебова израчунава се помоћу израза:

$$n = \frac{\pi d}{a + b} \quad (10)$$

Где су: d - калибар цеви, a - ширина жљеба, b - ширина поља.

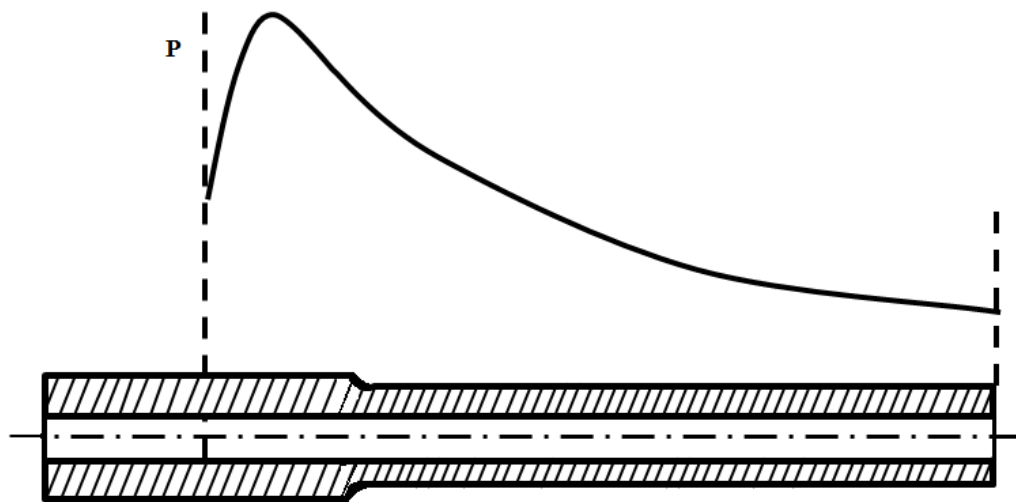
Ширина поља се усваја да је приближно једнака половини ширини жљеба:

$$b = \frac{a}{2} \quad (11)$$

2.2.1. Прорачун дебљине зида цеви

Чврстоћа цеви зависи од дебљине њеног зида. Зид цеви треба да обезбеди неопходну резерву чврстоће. Дебљина зида цеви у сваком пресеку зависи од притиска барутних гасова у датом пресеку. Другим речима, спољна траса цеви директно прати криву притиска барутних гасова.

Методологија прорачуна дебљине зида цеви и детаљна анализа дати су у раду А.А. Благоднарова, па ће се овде користити само крајњи прорачунски изрази. Прорачун се врши на бази криве притиска (слика 5). [1]



Слика 5. Крива притиска барутних гасова [1]

Како се у методологији користи термин граница еластичности, даће се његово ближе одређење. Граница еластичности представља максимално напрезање које ако се прекорачи доводи до трајних (пластичних) деформација тј. цев не задржава свој првобитни облик. За прорачун дебљине зида цеви ($r_2 - r_1$) користи се прорачунски притисак p_1 и граница еластичности материјала цеви σ_e :

$$p_1 = \frac{3}{2} \sigma_e \frac{r_2^2 - r_1^2}{2r_2^2 + r_1^2} \quad (12)$$

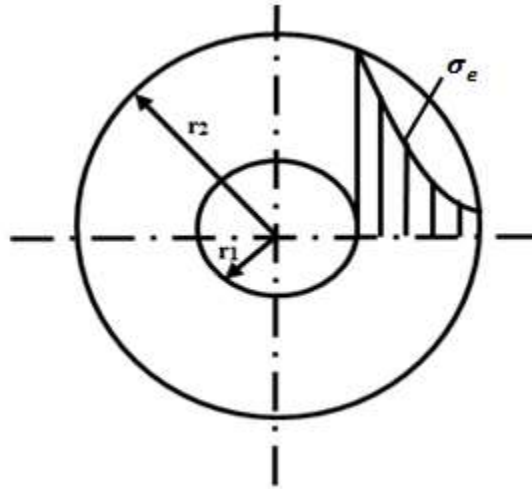
где су:

p_1 - прорачунски притисак,

σ_e - граница еластичности материјала цеви,

r_2 - спољни полупречник цеви,

r_1 - унутрашњи полупречник цеви (слика 6).



Слика 6. Напрезања зида цеви [1]

Ако се усвоји да је релативна дебљина зида цеви:

$$a_{21} = \frac{r_2}{r_1} \quad (13)$$

онда се израз за прорачунски притисак може написати у облику:

$$p_1 = \frac{3}{2} \sigma_e \frac{a_{21}^2 - 1}{2a_{21}^2 + 1} \quad (14)$$

Аналогно, релативна дебљина зида цеви је:

$$a_{21}^2 = \frac{3\sigma_e + 2p_1}{3\sigma_e - 4p_1} \quad (15)$$

Величина прорачунског притиска је преко коефицијента сигурности повезана са притиском барутних гасова у каналу цеви:

$$p_1 = n \cdot p \quad (16)$$

Коефицијент сигурности n , у ствари, представља резерву чврстоће коју цев мора да има и најчешће се усваја у границама $n = 1,3 \div 1,5$. Да не би дошло до пластичних деформација цеви, потребно је изабрати материјал цеви следеће чврстоће:

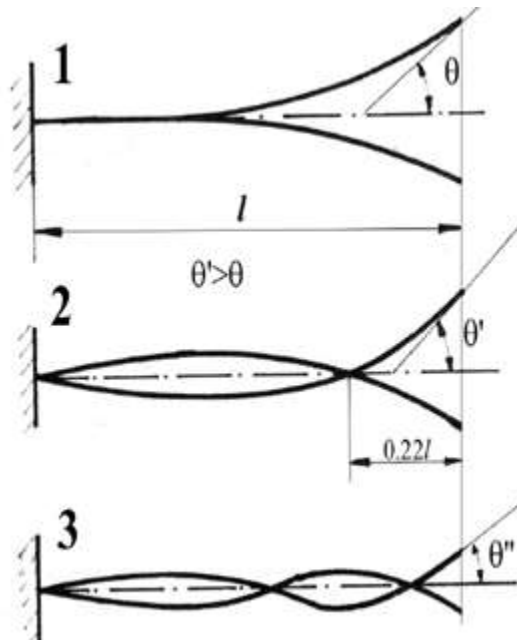
$$\sigma_e \geq \frac{2}{3} p_1 \frac{2a_{21}^2 + 1}{a_{21}^2 - 1} \quad (17)$$

2.2. Осцилације цеви

При гађању цев оружја врши попречна и уздужна осцилаторна кретања. Карактеристике осцилација зависе од више фактора: дужине цеви, попречних димензија, начина учвршћења итд. Ради олакшања анализе осцилаторних кретања, усваја се да цев има облик цилиндричног штапа с једним учвршћеним крајем.

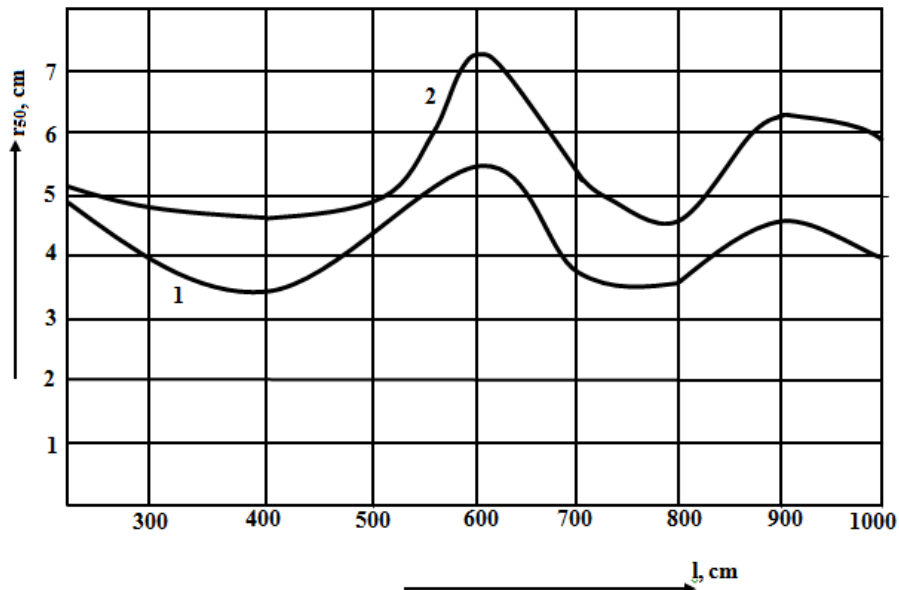
Такав штап обично има следеће облике попречних осцилација (слика 7):

- Осцилације првог реда или основног тона; чвор ових осцилација налази се у тачки учвршћења краја цеви;
- Осцилације другог реда; један чвор ових осцилација се налази у тачки учвршћења краја а други на удаљењу $0,22l$ од слободног краја цеви;
- Осцилације вишег реда; с одговарајућим бројем чворова осцилација.



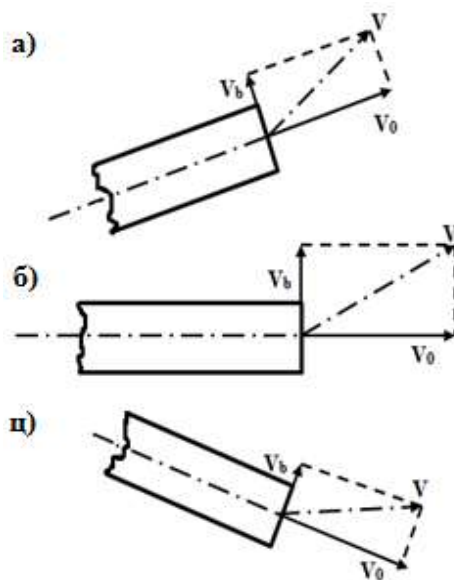
Слика 7. Облици попречних осцилација цеви [2]

Све те осцилације врше се углавном у вертикалној равни и надовезују се једна на другу. Оне утичу на прецизност гађања при јединачној и аутоматској паљби. На слици 8 приказан је дијаграм прецизности оружја у зависности од дужине цеви при гађању оружјем које гађа само јединачном паљбом (по подацима Д.А. Вентцеља). С изменом дужине цеви мењају се услови осцилације и периодички се мењају растурања погодака. Крива 1 означава растурање при гађању са лаким зрном, а крива 2 при гађању са тешким зрном.



Слика 8. Дијаграм прецизности у зависности од дужине цеви [1]

При осцилацији цеви, услед извијања, долази до померања предњег дела цеви одређеним брзинама дуж осе цеви (V_0) и у радијалном правцу (V_b), стварајући резултујућу брзину померања (V) што утиче на прецизност оружја (слика 9). Да би се постигла боља прецизност, потребно је да у моменту излаза зрна из уста цеви при сваком опаљењу буде фаза осцилација иста тј. да у моменту излаза зрна из уста предњи део цеви има приближно исти нагиб.



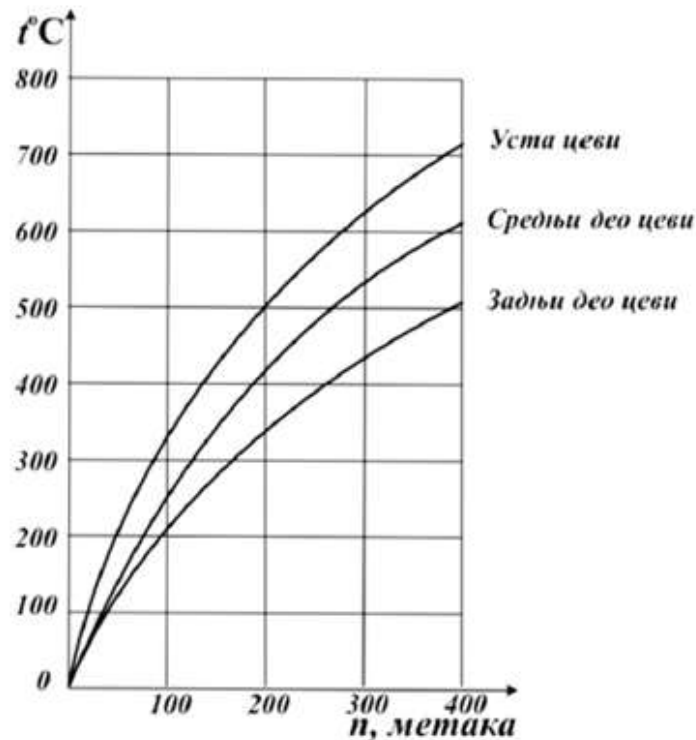
Слика 9. Осциловање уста цеви: а) навише; б) хоризонтално, ц) наниже [2]

2.3. Загревање цеви и начини њеног хлађења

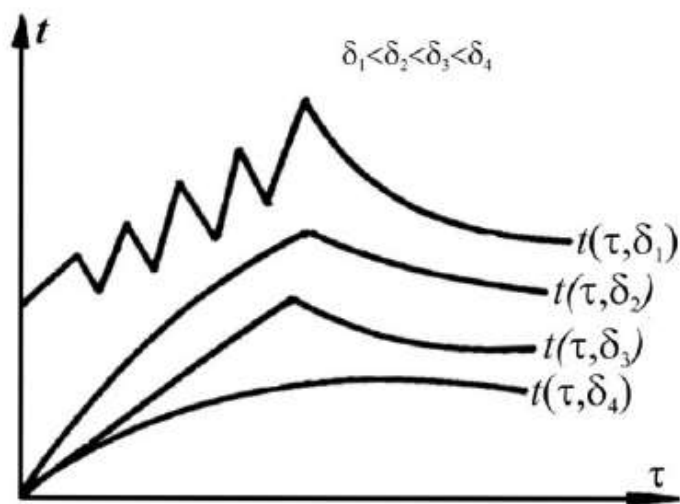
При гађању из оружја цев се загрева и њена температура расте у зависности од броја опаљења, времена у којем су извршена опаљења и димензије цеви. Услед загревања цеви појављују се:

- Смањење живота цеви;
- Снижење механичких карактеристика материјала и смањење отпорности зидова цеви;
- Отежано извлачење чаура услед смањења модула еластичности и погоршавања услова предаје топлоте од чауре зидовима цеви;
- Отежаног нишањења услед струјања топлог ваздуха око цеви између задњег и предњег нишана;
- Извијање цеви услед неравномерног загревања зидова цеви;
- Повећање калибра цеви;
- Могућност самоопаљења метка који се налази у лежишту при прекиду гађања;
- Ограничење режима гађања, односно борбене могућности оружја;
- Отежано руковање оружјем при гађању, нарочито при отклањању застоја.

Загревање цеви није равномерно по дужини (слика 10) и дебљини зида цеви (слика 11). До неравномерности загревања цеви долази услед различите дебљине зидова цеви, неуједначености температуре и притиска барутних гасова по дужини цеви и различитости у дужини времена деловања барутних гасова на појединим пределима цеви.

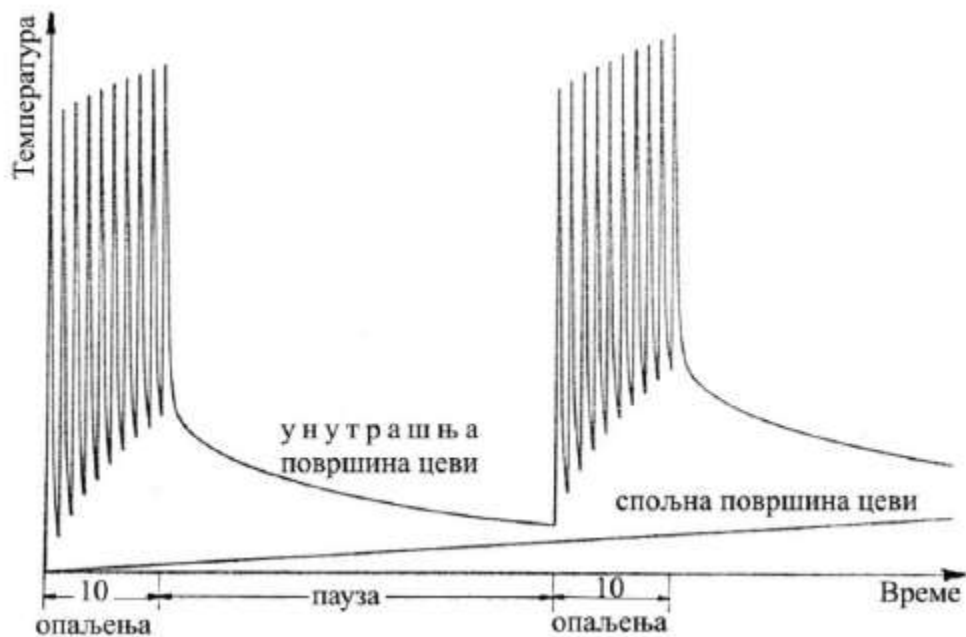


Слика 10. Промена температуре цеви у зависности од броја испаљених метака [2]



Слика 11. Промена температуре цеви у времену за различите дебљине цеви [2]

На слици 12 приказане су апроксимативне температурне криве на унутрашњој и спољашњој површини цеви митраљеза код два рафала отварања ватре са по 10 метака и паузом између њих.



Слика 12. Промена температуре цеви при рафалној паљби са паузом [2]

Поред избора масе цеви (дебљине зидова цеви) којом се избегава прегревање цеви, примењују се посебни системи за смањење загревања цеви. Начин смањења загревања цеви (хлађење) се бира у зависности од практичне брзине гађања која се захтева од датог

модела оружја. У пракси се примењује више начина за смањење загревања цеви, као што су: замена загрејане цеви са хладном цеви, повећање спољне површине цеви ради интензивнијег одвођења топлоте са цеви, хлађење цеви помоћу течности (најчешће помоћу воде), вештачко струјање ваздуха око спољне површине цеви или кроз унутрашњост цеви. Сваки од тих начина смањења загревања цеви има добрих и лоших особина и бира се у зависности од врсте оружја и његових конструктивних особина. Код оружја којем се може заменити цев резервном, могуће је постићи већу практичну брзину гађања и обезбедити да загревање цеви не прелази дозвољену вредност. Међутим, то решење има извесне недостатке, као што су: неопходност постојања резервне цеви (једна или две) што смањује покретљивост оружја, отежано обезбеђење тачности оружја с различитим цевима, посебно када је предњи нишан утврђен на облози. Повећањем спољне површине цеви, израдом кружних или уздужних ребара омогућава се интензивније одвођење топлоте са цеви на околну атмосферу, а с тим и брже хлађење цеви. У том случају знатно се поскупљује израда цеви. Мерења су код реализованих модела показала да се цеви са ребрима незнатно брже хладе од цеви без ребара, приближно исте масе и дебљине зидова.

Код оружја са хлађењем цеви помоћу воде, најчешће су примењивана решења са цилиндричним хладњаком кроз који пролази цев. У хладњак се стављала одређена количина воде. При томе је било неопходно обезбедити заптивање између цеви и зидова хладњака. При хлађењу цеви са водом појављује се нагло снижење температуре цеви при прекиду паљбе. Основни недостаци система хлађења цеви са водом су следећи:

- Повећава се маса оружја;
- Могућност смрзавања воде у хладњаку при ниској околној температури;
- Отежана припрема оружја за гађање;
- Потребне за обезбеђењем резервне количине воде.

Због тих недостатака хлађење цеви са водом на описани начин не примењује се код оружја која су развијена после првог светског рата, мада се код неких нових модела цев хлади убризгавањем воде у унутрашњост цеви или струјањем водене паре око цеви као што је случај код авионског тома 30mm ГШ 30/1 на авиону МИГ 29. Хлађење цеви помоћу вештачког струјања ваздуха око спољне површине цеви или кроз унутрашњост цеви може се користити за хлађење цеви аутоматских оружја уграђених на авионима, бродовима и другим борбеним средствима. Код стрелачког оружја: пиштоља, аутомата, аутоматских пушака и пушкомитраљеза хлађење цеви се врши ваздухом без замене цеви, а код митраљеза такође ваздухом, при чему је код неких модела могућа брза замена цеви (нпр. код митраљеза 7,9 mm M.53).

2.4. Израда цеви

Један од основних захтева према цеви оружја је и да има потребну жилавост. Жилавост цеви обезбеђује водиште зрна цеви. Канал цеви, од којег зависе захтеване балистичке карактеристике цеви, у току опаљења подрвргнут је различитим напрезањима која доводе до хабања цеви и оштећења цеви. Хабање унутрашњости цеви одређује се специјалним алатом за мерење калибра цеви.

Цев је у току опаљења изложена следећим напрезањима:

- Механичким (трење зрна о поља и жљебове и удари несагорелих барутних честица). Ова напрезања доводе до оштећења поља и жљебова и стварања микродеформација;
- Термичким. При сагоревању барута у току опаљења у цеви се ствара висок притисак и температура који изазивају ширење канала цеви. Скокови температуре могу изазвати топљење унутрашњег слоја цеви, а микропукотине прерастају у мрежасту структуру;
- Хемијским. Она су изазвана солима којих има у саставу гаражи, и која, уз влагу из ваздуха образују раствор. Такав раствор је изузетно корозиван.

Материјал од којег се израђује цев мора да испуњава следеће услове:

- Висока граница еластичности, јер што је виша граница еластичности, мања је маса цеви,
- Велика жилавост, односно отпорност цеви на хабање услед урезивања и кретања зрна кроз цев,
- Отпорност на хемијска и температурна оптерећења,
- Да буде јефтин и доступан у нашој земљи.

За израду цеви ловачког оружја (нпр. пиштоља ТП-82 и Вепар-2) користе се специјални челици који имају велику отпорност, еластичност, вискозност, антикорозивност. У састав челика од којег се израђују цеви осим гвожђа и угљеника улазе и манган, хром, никл, ванадијум, молибден и др.

2.5. Ожљебљење унутрашњости цеви оружја/оруђа

На слици 13 приказан је изглед унутрашњег отвора цеви оружја/оруђа. Ожљебљење унутрашњости цеви оружја врши се код пиштоља, пушака, пушкомитраљеза, аутомата, револвера и др. , док се ожљебљење унутрашњости цеви оруђа врши код хаубица, топова, минобацача и др.



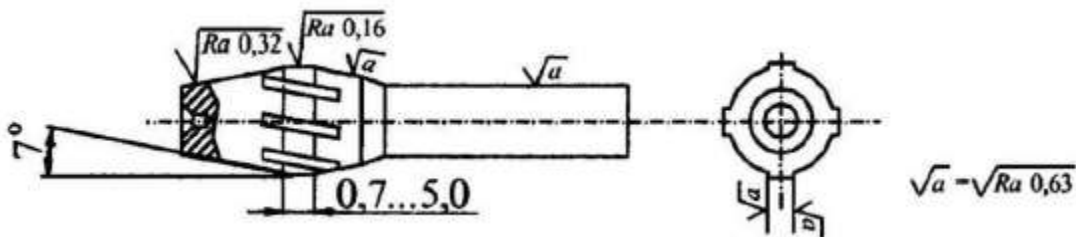
Слика 13. Унутрашњи отвор цеви оружја (лево) и оруђа (десно) [3]

Врсте ожљебљења унутрашњости цеви оружја/оруђа:

- Протискивање трном;
- Хладно ковање на трну;
- Ожљебљење електрохемијском обрадом и
- Ожљебљење хладним ротационим истискивањем.

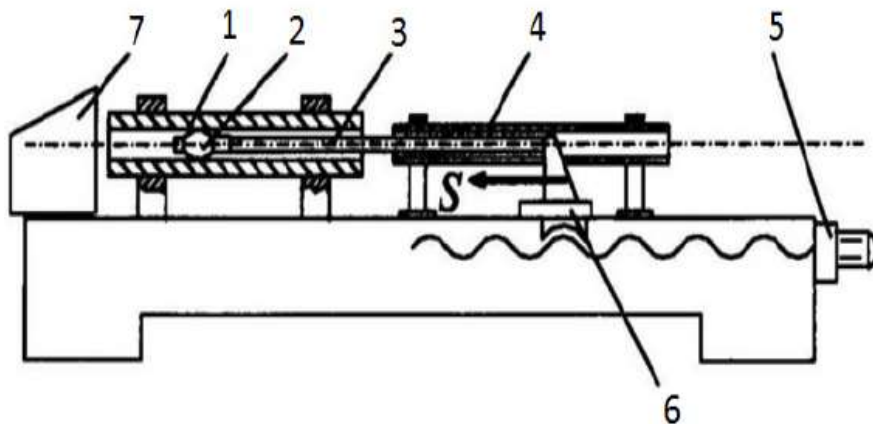
2.5.1. Ожљебљење протискивањем трном

Алат за протискивање: протискивач-трн-дорн. Користи се аналогија са механичким аутофретовањем.



Слика 14. Шематски приказ трна за ожљебљење малокалибарских цеви [4]

Кроз отвор цеви се под притиском повлачи алат – трн (дорн), нешто већег пречника него што је сам отвор. При томе на трну постоје испусти сагласни броју жљебова са димензијама и кораком који одговара жљебовима. Специфични контактни притисци су толико велики, да се уз постојање течног мазива на површини отвора и дорна образују налепљени слојеви материјала који доводе до шкарта, како цеви тако и алата. Процес је погодан за производњу цеви оружја са аутоматским режимом гађања.



Слика 15. Принципијелна шема протискивања отвора цеви оружја:

1 – припремак цеви, 2 – протискивач (трн), 3 – потискивач протискивача, 4 – цилиндрична цев, 5 – погон, 6 – супорт, 7 – хватач протискивача [4]

На слици 16 приказан је изглед алата који се користи за ожљебљење протискивањем.



Слика 16. Приказ алата за ожљебљење протискивањем [3]

Док се на слици 17 може видети изглед машине која се користи за протискивање. Лежиште трна је у оси задњег ослонца цеви А. Цев је и бочно ослоњена у призмама за стезање Б и Ц, а аксијално на предњем ослонцу Д.

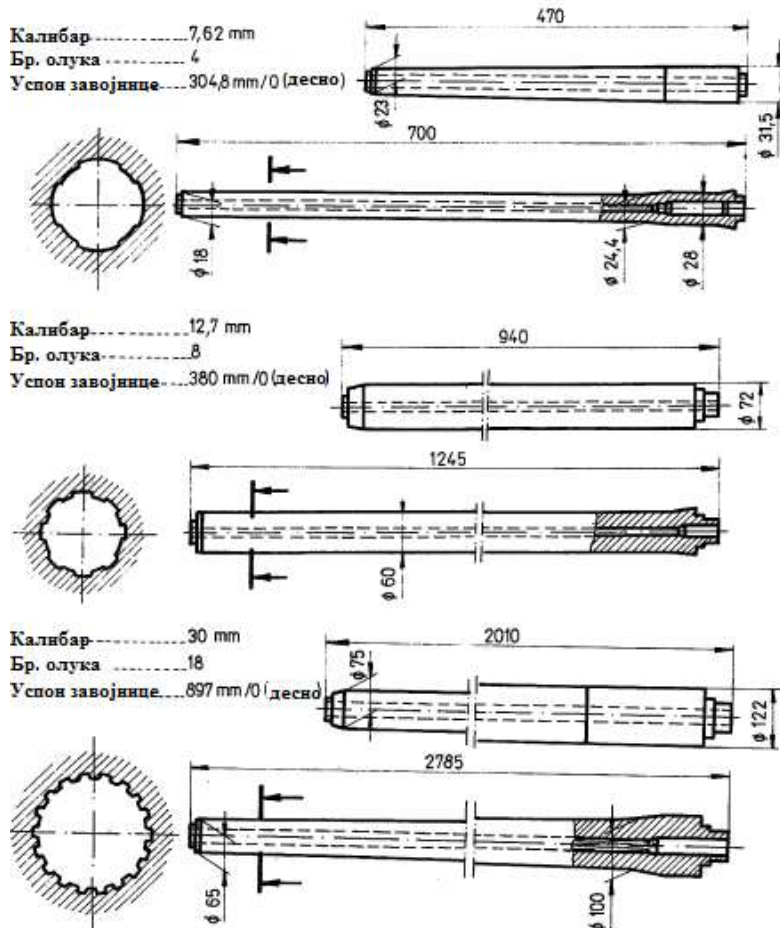


Слика 17. Машина за протискивање МП - 42 ЈК Црвена Застава [3]

2.5.2. Ожљебљење хладним ковањем на трну

Ковањем се добијају коначне мере ожљебљених или глатких отвора и лежишта метака код цеви. При ковању се остављају незнатни додаци за механичку обраду спољне трасе цеви. Пречници отвора ожљебљених цеви, који се данас добијају ковањем: у распону од 4,5 до 105 mm. Тачност мера отвора цеви, добијена ковањем, није мања од тачности постигнуте осталим поступцима обраде отвора цеви. Толеранције ожљебљених отвора цеви остварују се у границама $\pm 0,0004 d$. Квалитети обрађених површина одговарају обради полирањем. Отвор у припремку има већи пречник од највећег пречника у отвору цеви. Припремак за хладно ковање цеви је краћи од готове цеви и после завршеног ковања,

попречни пресек му се смањи на рачун издужења. При ковању припремак се издужује за 15 – 20%. У процесу ковања, дебљина зидова отковка се мења. Цеви чији је калибар 8 mm, кују се на вертикалним машинама за ковање, а цеви већег калибра на хоризонталним ковачким машинама. Трн за ковање и чекићи, којих је у ковачкој глави најчешће четири, израђују се од алатних челика највиших механичких особина, или пак од тврдог метала. На слици 18 приказани су изгледи припремака и цеви за неке од калибара који се добијају хладним ковањем.



Слика 18. Изгледи припремака и цеви за неке од калибара који се добијају хладним ковањем [3]

Захтеви за полазни отвор припремака за радијално ковање:

- Тачност израде отвора 0,2 ... 0,3 mm,
- Квалитет обраде површине $R_a = 0,8 \mu m$,
- Непожељни су прстенасти рисеви (прскотине).

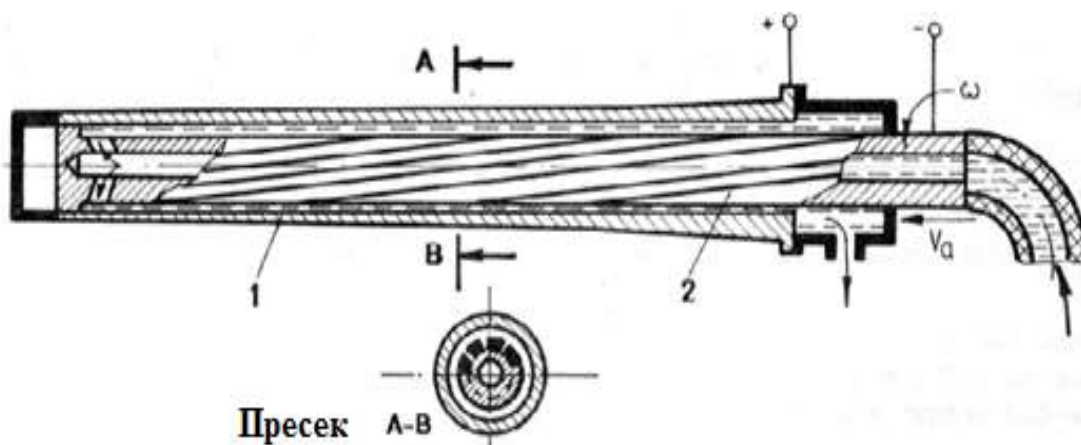
Пре ковања, отвор се подмазује специјалним течним мазивом ради спречавања налепљивања метала припремака за дорн. После ковања урађени комади пролазе специјалну термичку обраду ради елиминисања заосталих напона. На слици 19 приказана је вертикална машина ковања, где се могу видети припремак и изглед готове цеви.



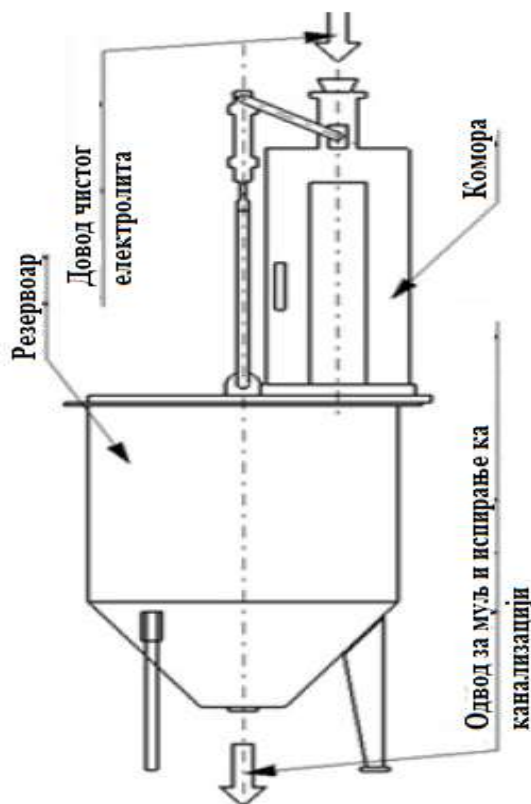
Слика 19. Вертикална машина ковања [3]

2.5.3. Ожљебљење цеви електрохемијском обрадом

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



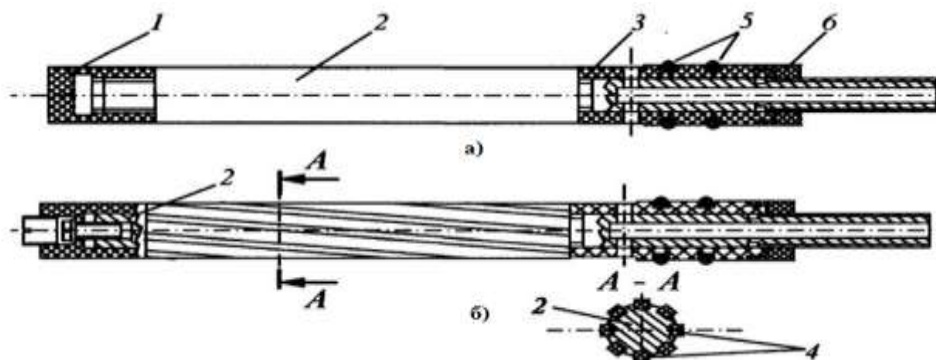
Слика 20. Шема ожљебљења цеви електрохемијским поступком: 1 – цев – анода, 2 – катода [4]



Слика 21. Шематски приказ процеса за електрохемијско ожљебљење цеви [4]

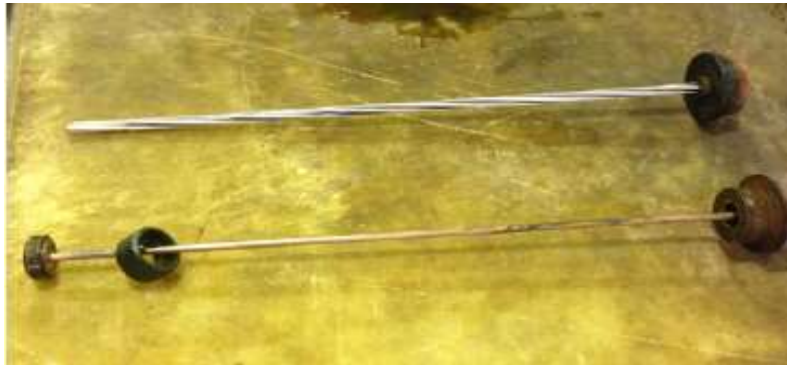
После завршетка обраде, у цеви остаје ненагрижени део који представља поља у цеви. Електрохемијско добијање жљебова засновано је на Фарадејевом закону. Обављање процеса: Катода се помоћу посебног уређаја уводи у цев и креће одређеном аксијалном и обимном брзином. Истовремено се електролит, температуре од 8 до 40 °С, доводи под притиском у простор између месингане катоде и отвора цеви. Однесени метал са аноде таложи се у купатилу за хемијско нагризање. Процес електрохемијског ожљебљења обично пролази кроз две фазе:

- На почетку се отвор обрађује цилиндричном катодом, на "глатко" , а
- Затим се обавља процес ожљебљења.

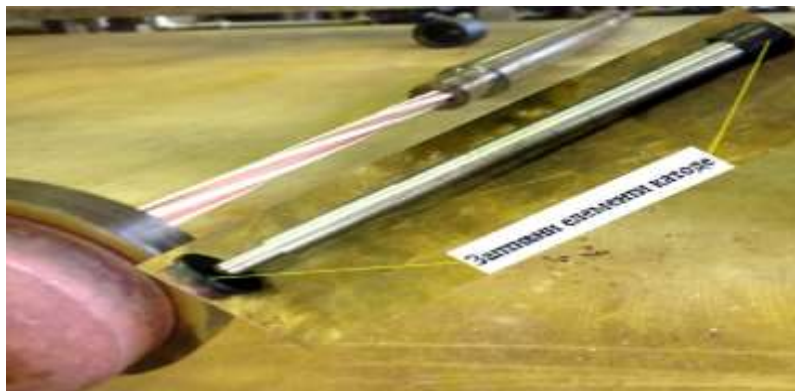


Слика 22. Конструкције катода за електрохемијску обраду отвора цеви: а) катода за обраду отвора на "глатко", б) катода за израду жљебова. [4]

Као алат за електрохемијску обраду користе се катоды израђене од бакра. Катоды за полирање је цилиндричног облика. Катоды за електрохемијску обраду ожљебљење је превучена изолатором од специјалне пластике у виду завојнице са кораком који је једнак кораку увијања жљебова у цеви.



Слика 23. Катоды [3]



Слика 24. Припремак цеви са катодом за електрохемијско ожљебљење [3]



Слика 25. Припремак цеви на машини за електрохемијско ожљебљење [3]

Обе електрохемијске обраде врше се кроз три фазе:

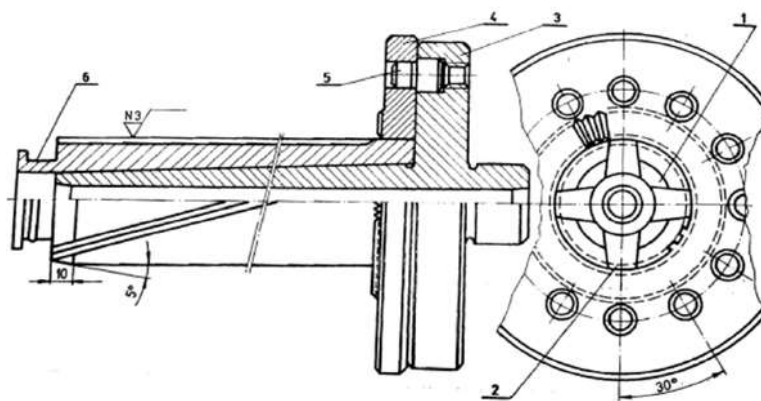
1. Припрема машине за рад – кроз проверу нултих параметара уређаја (мерачи, водови, електролит...) . Замена електролита се врши после обраде од 50 цеви.
2. Припрема процеса ожљебљења – припрема отвора, мерење отвора, подешавање циркулације електролита, притиска, температуре, напона...
3. Ток процеса – одржавање радног напона, струје, осталих параметара...

После извршене електрохемијске обраде обавља се хемијска обрада отвора цеви ради одстрањења свих остатака електролита од операције нагризања и спречавања процеса корозије. Обрада се изводи овим редоследом:

- Прање цеви у хладној проточној води;
- Прање у кади, раствором од 5 до 6% каусичне соде, при температури од 60 °С;
- Прање у кади хладном проточном водом, потапањем цеви;
- Прање у кадама сапуницом, која садржи 15 ÷ 30 g/l сапуна и 1,5 ÷ 3 g/l калциниране соде, при температури 70 – 90 °С ;
- Сушење радног предмета на ваздуху;
- Подмазивање вретеновим уљем.

2.5.4. Ожљебљење хладним ротационим истискивањем

Релативно нова техника обраде метала, пронађена 1950. г. у Шведској. Суштина поступка: у унутрашњости округле бешавне металне цеви деформацијом се формира негативна слика рељефа трна.



Слика 26. Трн за ожљебљење цеви хладним ротационим истискивањем: 1 и 2 – ожљебљени сегменти трна, 3 – језгро трна, 4 –зупчаста прирубница, 5 – чеп, 6 – држач сегмента. [4]

Трн и комад ротирају, ваљци притискају комад и CNC су управљани ка врху трна. Комад се издужује и деформише. Ваљци могу да делују у више пролаза.



Слика 27. *Кратки и шупљи комад на трну са ваљцима [3]*



Слика 28. *Изглед ожљебљења и завршене цеви оружја [3]*

Израдак има врло висок квалитет завршне обраде и тачне мере ожљебљења. Припремак је $\frac{1}{3}$ дужине израдка. Процес траје само око 30 секунди. Због загревања обрадка користи се течности за хлађење током процеса. Предности овог процеса су многобројне:

- Завршна обрада је добра и тачност димензија је веома висока,
- Кратко трајање процеса,
- Повећава тврдоћу припремка слично ковању на трну,
- Смањује број будућих операција на цеви,
- Пошто ваљци делују околно постоји нето уштеда енергије у односу на друге процесе,
- Применљив је код нерђајућих челика и тешко обрадивих материјала,
- Опрема је јефтинија од опреме за ковање.

Недостатак је генерисање топлоте услед деформација и трења па је нужно коришћење течности за хлађење.

2.6. Технолошки поступци завршне обраде унутрашњости цеви оружја/оруђа

2.6.1. Хоновање

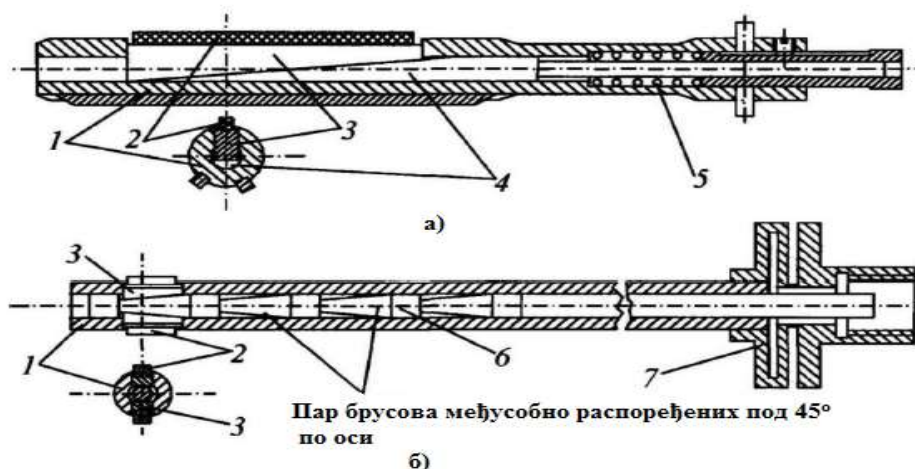
Хоновање је завршна механичка обрада површина помоћу абразивних брусева који су причвршћени на специјалним главама.

Примена:

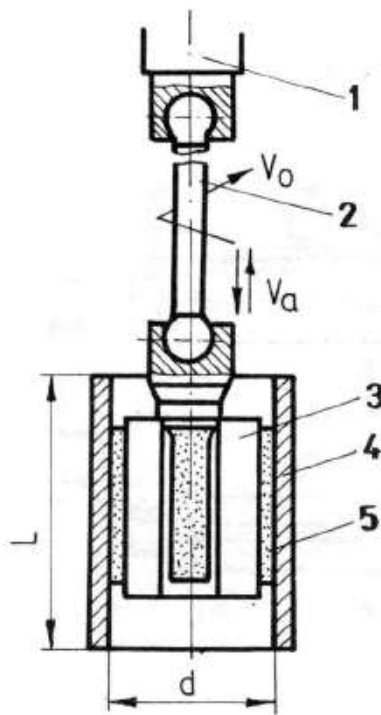
- За обраду глатких цилиндричних отвора

У наоружању: обрада отвора цеви пре и после ожљебљења, отвори глатких цеви, цилиндри противтрзајућих уређаја, цилиндри изравњача, цилиндри дизалица итд. За мање калибре, хоновање отвора изводи се главама за хоновање са једним брусом за мале пречнике ($4 \div 6 \text{ mm}$) и са више брусова за веће пречнике ($8 \div 30 \text{ mm}$). При хоризонталном положају припремка на машини, окретање врши и припремак и алат, да се смањи елиптичност због утицаја масе, а код вертикалног само алат тј. глава за хоновање. Истовремено, са окретањем по обе шеме, алат се помера повратно – степенасто и ствара густу мрежицу огреботина. Продуктивност, процес и квалитет обрађене површине, зависе од:

- Типа бруса;
- Абразива;
- Међуодноса брзина обртног и повратно – степенастог кретања и
- Специфичност притиска бруса на површину отвора.



Слика 29. а) Глава за хоновање са једним брусом и б) и са више брусова: 1 – тело главе, 2 – абразивни брус, 3 – челични држач бруса, 4 – клин бруса, 5 – опруга, 6 – флексибилна спојница. [4]



Слика 30. Кретање алата при хроновању: 1 – вретено хонерице, 2 – носач главе, 3 – глава за хоновање, 4 – радни предмет, 5 – брусеве. [4]

Однос V_{okr}/V_{aks} утиче на квалитет површине и продуктивност хоновања. Чисто хоновање врши се код односа 2:1 и 3:1. Притисак бруса на површину отвора цеви износи од $0,2 \div 0,3$ МПа. Мање вредности притиска користе се код прецизнијих пролаза. Ради поузданијег испирања микроструготине, доспелих зрна абразива и честица везива брусева при хоновању, обавезна је употреба средстава за хлађење и подмазивање (SHP). Добру способност испирања има SHP које се састоји од 50% керозина и 50% машинског (вретеновог) уља. Процес хоновања поуздано обезбеђује захтев да храпавост површине отвора припремка цеви за наредни процес радијалног ковања буде у границама $R = 0,8 \div 1,25 \mu m$ без прстенастих посекотина. Додатак за хоновање је реда величине $0,02 \div 0,2 mm$, а за веће пречнике узима се од $0,05$ до $0,30 mm$ по пречнику. Квалитет површине пре хоновања не сме бити лошији од две класе у односу према квалитету хоноване површине. За веће пречнике, број брусева може да буде од 4 до 12, а у зависности од пречника отвора који се хонује и снаге машине за хоновање. Брусеве су постављени под углом од 20 до 30° један у односу према другоме по обиму главе за хоновање. Радијални посмак хоновања одређује се по обрасцу:

$$S_t = \frac{W}{S_o \cdot V_o \cdot 10^3} S \quad (18)$$

Запремина W скинутог материјала у јединици времена:

$$W = C_w \cdot d \cdot R_2^x \cdot \delta^{0,4} \cdot L_{ak} \quad (19)$$

Посмак S_o главе за хоновање:

$$S_o = \frac{1000 V_a}{Z} \quad (20)$$

Технолошко време хоновања одређује се по обрасцу:

$$T_t = \frac{2(l + 2e)k}{1000V_a} \quad (21)$$

где су:

C_w - Коефицијент зависан од материјала обраде,

d - Пречник хоновог отвора,

R_2 - Двострука храпавост за траж.квалитет хоновања,

δ - Величина толерантног поља израде,

x - Коефицијент зависан од врсте обрађиваног материјала,

L_{ak} - Активна дужина бруса, у mm,

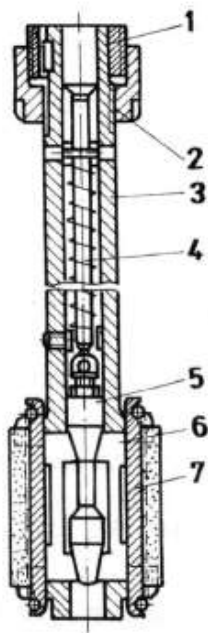
L - Дужина хоновог обрадка,

e - Излаз главе захоновање изван обрадка,

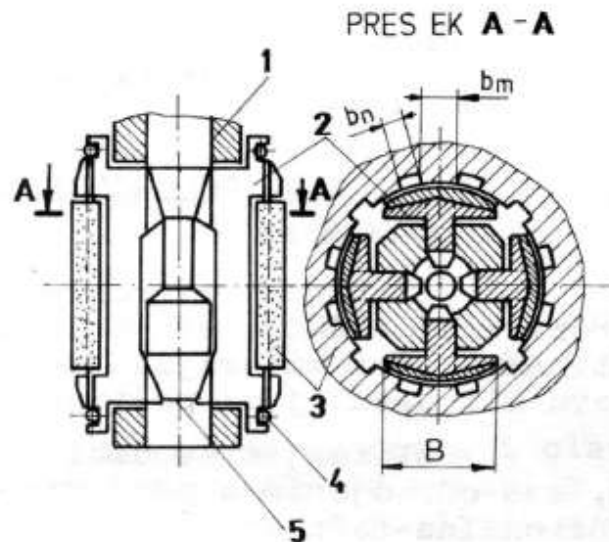
k - Број двоструких ходова до завршетка хоновања,

Z - Број брусев на глави за хоновање,

V_a - Аксијални посмак (m/mm).



Слика 31. Глава за хоновање цилиндричних отвора: 1 – вретено, 2 – стезна чаура, 3 – носач, 4 – потискивач, 5 – распињујући конус, 6 – плочица, 7 – носач бруса. [4]



Слика 32. Глава за хоновање ожљебљених отвора: 1 – тело, 2 – плочица-вођица, 3 – брусеви, 4 – стезна опруга, 5 – распињући конус. [4]

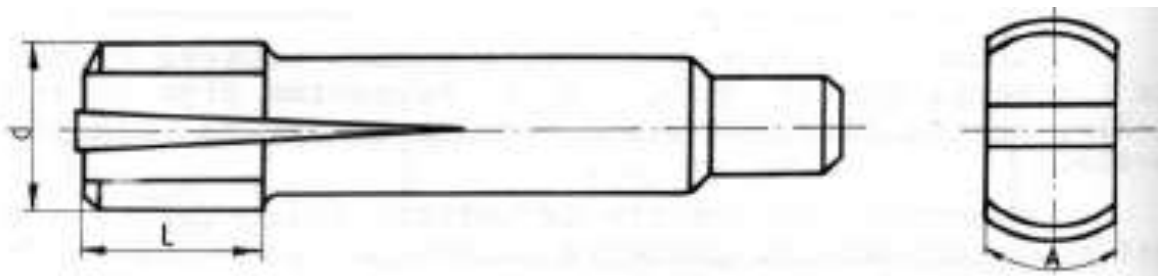
2.6.2. Полирање отвора цеви

Код мањих калибара, глава се по пречнику израђује са мером калибра цеви, а по дужини за око 10 калибара.



Слика 33. Оловна глава за полирање отвора цеви оружја [4]

Глава се "силом" провлачи по површини на коју се насипа абразивни прашак. За полирање код већих калибара, тело главе за полирање се најчешће израђује од брезе, клена, храста или бреста.

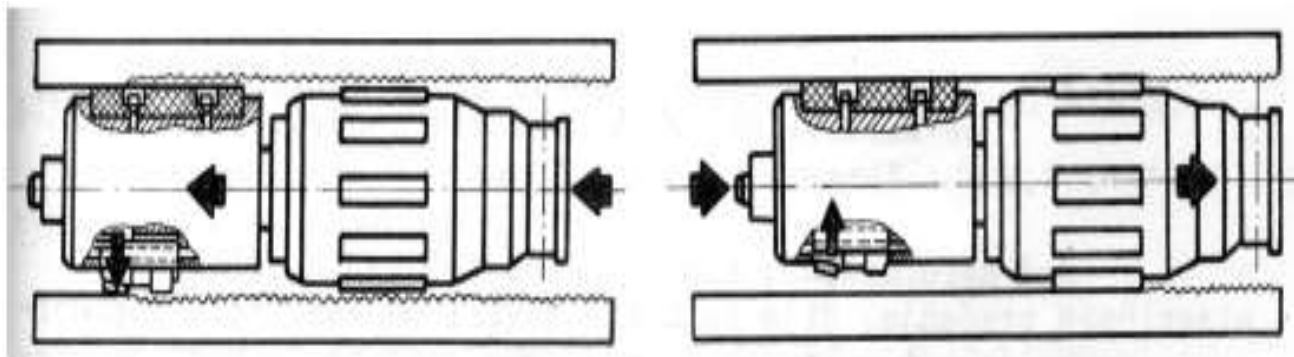


Слика 34. Изглед главе за полирање [4]

Полирање је процес механичке обраде површина помоћу абразивних прашкова ситно зрнасте структуре или специјалних пасти. Полирањем се добија висок квалитет обрађене површина, а у одређеним случајевима се обезбеђује и потребна димензионална тачност. При получистом полирању површина главе се облаже кожом, док се за завршну обраду полирањем радна површина прекрива шињелним сукном у два слоја. Получистим полирањем се скида додатак који пречник отвара повећава од 0,10 до 0,15 mm и остварује квалитет обрађене површине класе храпавости N7 до N8. Зрност коришћених прашака је $120 \div 150$. Завршним полирањем се добија квалитет обрађене површине класе храпавости N4 ÷ N6. Зрност прашка за завршно полирање креће се од 200 до 280. При завршном полирању се скида слој материјала који пречник отвара повећава од 0,1 до 0,005 mm. У одређеним случајевима полирање се користи за отклањање овалности код барутне коморе и отвора цеви. При извођењу ове операције глава за полирање врши обртно и праволинијско кретање, а цев мирује.

2.6.3. Љуштење и роловање

Технологија љуштења и роловања све више замењује технологију завршне обраде дубоких отвора хоновањем. Шематски изглед комбиноване главе за љуштење и роловање у процесу обраде, приказан је на слици 35.



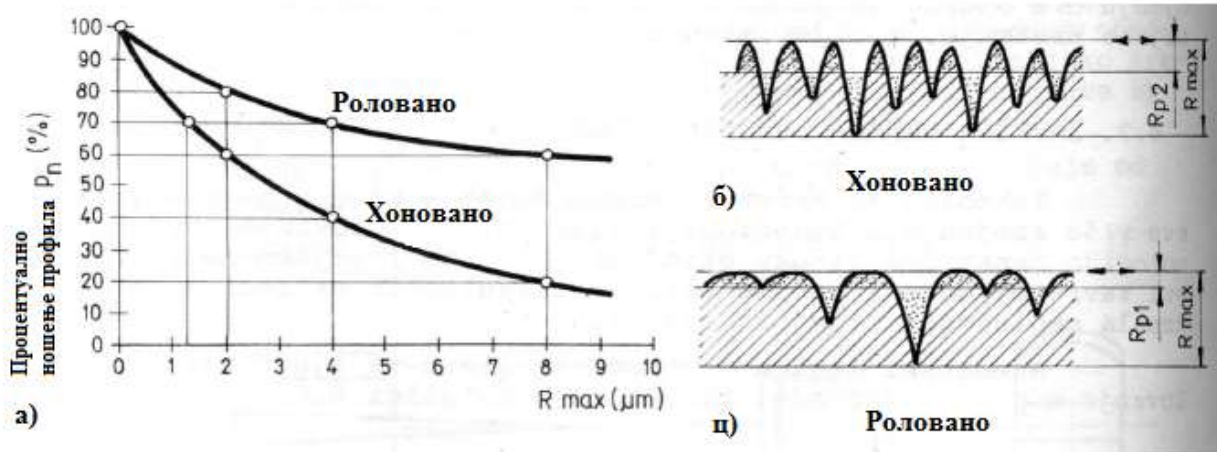
Слика 35. Глава за љуштење и роловање у процесу обраде [3]

Ова технологија данас има широку примену у општем и у војном машинству при завршној обради пнеуматских и хидрауличних цилиндара, као и отвора неожљебљених цеви оруђа. У једном смеру кретања нож за љуштење скида танак слој струготине, а ваљчићи нису у додиру с обрађиваном површином. У повратном ходу ножеви за љуштење се искључују, а у захват с обрађеном површином улазе ваљчићи који обезбеђују тражену дефинитивну меру отвора и елиминишу храпавост љуштене површине. Данас сусрећу решења главе које обављају само завршну операцију роловањем.

Завршна обрада љуштењем и роловањем, у односу на технолошке операције финог проширивања, брушења и хоновања, има следеће предности:

- Ојачава се површински слој и до 1,7 пута на дубини од 220 до 250 μm ;
- Повећава се отпорност на хабање од 25 до 30% у односу на површине обрађене брушењем и хоновањем;

- Смањује се конусност отвора у пресеку за 35 до 50% у односу на конусност отвора обрађених брушењем и хоновањем;
- Смањује се елиптичност отвора за 25 до 40% у односу на елиптичност отвора обрађених брушењем и хоновањем;
- За исту максималну храпавост при роловању и завршној обради хоновањем знатно се повећава процент ношења профила (P_n) према JUS M.A1.020 и M.A1.021;
- Процес је продуктивнији за 7 до 10 пута од процеса хоновања.



Слика 36. Дијаграм ношења профила а) у зависности од максималне храпавости при хоновању б) и роловању ц) [3]

Код деформисаног слоја, након роловања долази до еластичних враћања, чија величина зависи од квалитета обрађиваног материјала и вредности средњег одступања профила храпавости обрађене површине пре роловања. Хоновање је завршна механичка обрада површина помоћу абразивних брусевача који су причвршћени на специјалним главама. Хоновање може бити:

- Хоризонтално и
- Вертикално.

При хоризонталном положају пречника на машини окретање врши и комад и алат, а код вертикалног само алат тј. глава за хоновање. Ради избегавања појаве водоничне крстои слоја хрома при хромирању канала цеви из њега је потребно уклонити водоник. То се постиже загревањем цеви до $150 \div 300$ °С. Цеви са тањим слојем хрома загревају се на мањој температури.

3. Дубоко бушење

Поступак дубоког бушења се користи за обезбеђење више производности у односу на расположиве поступке, те у случајевима када се од делова захтева висока тачност и квалитет површина дубоких отвора. Данас се сматра да је под дубоким отвором то отвор дубљи од $10 \times d$. Дубина која се може постићи са резним алатима за дубоко бушење износи до $150 \times d$. Дубоки отвор настаје као резултат непрекидног бушења уз принудно спољашње или унутрашње одвођење струготине помоћу течности (SHP) која се у зону резања доводи под притиском.

Поступак дубоког бушења се користи за обезбеђење веће производности у односу на расположиве поступке, као и у случајевима када се од делова захтева висока тачност и квалитет површина дубоких отвора.

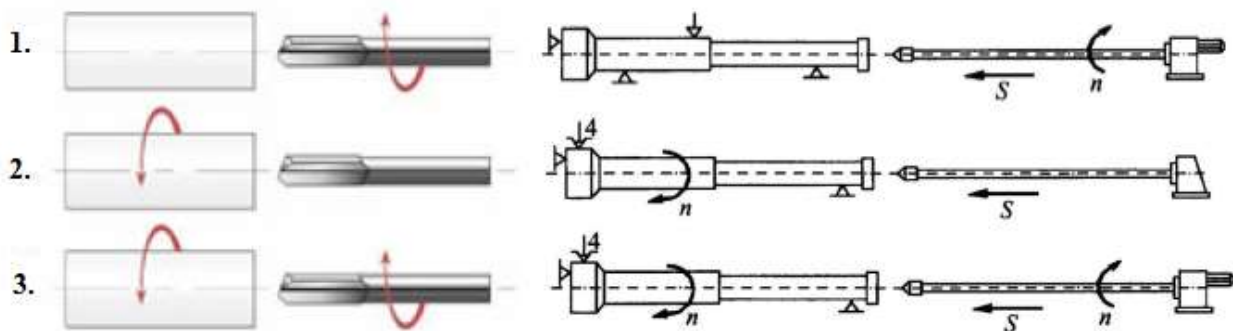
Релативна дужина отвора δ у пуном материјалу је:

$$\delta = \frac{L}{d} \quad (22)$$

Због великих дужина цеви, бушење унутрашњег отвора цеви представља једну од сложенијих и тежих операција укупног технолошког процеса израде цеви, посебно средњих и великих калибара.

Кинематика бушења дубоког отвора у цевима оружја/оруђа, слика 37:

- 1 – обртање алата, погон алата,
- 2 – обртање полуфабриката, погон алата,
- 3 – обртање полуфабриката и алата, погон алата.



Слика 37. Конематичке шеме бушења дубоких отвора у цевима [3]

Код дубоког бушења, у већини случајева стрелачког оружја и топова, главно ротационо кретање врши предмет обраде, а погон – праволинијско помоћно кретање врши алат.

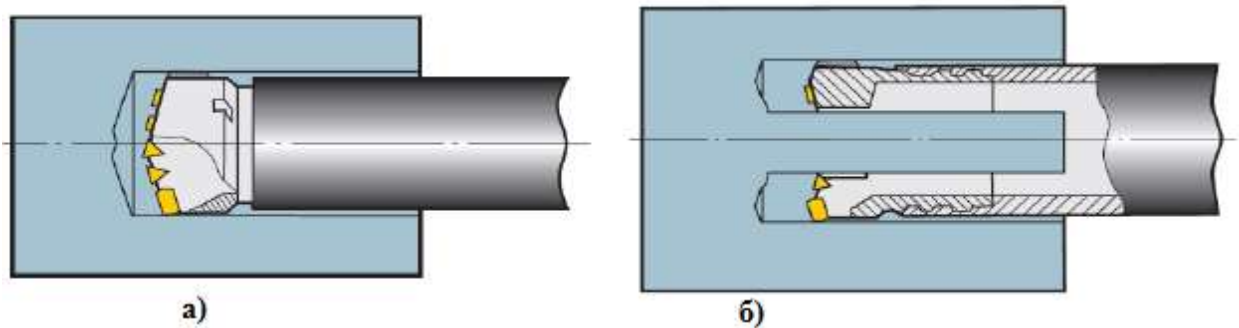
3.1. Врсте дубоког бушења

Специфичност операција дубоког бушења састоји се у томе што алат себи мора да створи пут у пуном материјалу, без претходно обезбеђених ослонаца и чврстог вођења. Од квалитета дубоким бушењем зависе остале технолошке операције.

Разликују се две врсте дубоког бушења:

- Пуно и
- Прстенасто бушење (бушење са вађењем језгра).

При пуном бушењу, сав материјал из будућег дубоког отвора се претвара у струготину, а при прстенастом бушењу, у струготину се претвара прстенаста запремина материјала.



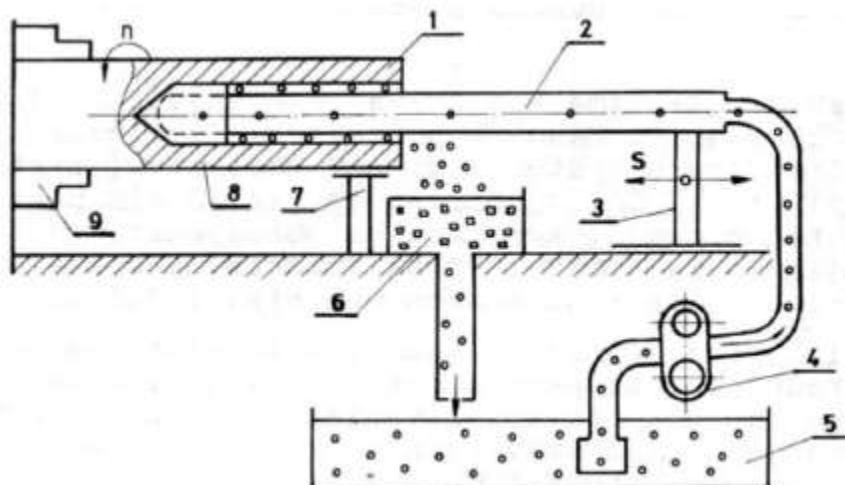
Слика 38. Врсте дубоког бушења: а) Пуно бушење, б) Прстенасто бушење [3]

Код прстенастог бушења, у средишту отвора ствара се језгро које се може употребити за друге делове. То се језгро код пролазног бушења одваја од полуфабриката после завршног бушења. Ако се буше слепи дубоки отвори са вађењем језгра, одвајање језгра се врши специјалним алатом за одсецање. У највећем броју случајева, када је потребно бушити слепе отворе, изводи се поступак пуног дубоког бушења. Када се буше пуни отвори велике релативне дужине ($\delta \geq 80$) или тешко обрадиви материјали, изводи се двострано бушење.

3.2. Методе дубоког бушења

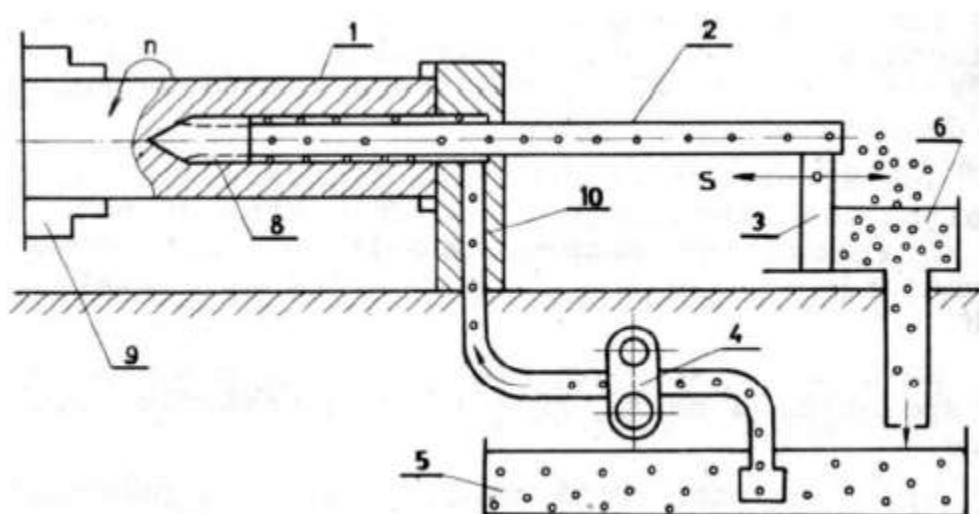
Према начину одвођења струготине, разликују се две методе дубоког бушење:

- Метода са спољним одвођењем струготине и
- Метода са унутрашњим одвођењем струготине.



Слика 39. Метода са спољним одвођењем струготине [5]

При спољном одвођењу струготине, пумпа (4) из резервоара (5) кроз цевовод и носач алата (2) потискује течност у зону резања алата (8). Струготина се из зоне резања, кроз слободни део дубоког отвора у радном предмету (1), потискује у spremник струготине (6) где се задржава, а течност одлази у резервоар.



Слика 40. Метода с унутрашњим одвођењем струготине [5]

При унутрашњем одвођењу струготине, течност се доводи у апарат за заштитање (10), а онда, између зида отвора и носача алата (2), у зону резања. Из зоне резања струготина се, под притиском, транспортује кроз отворе у алату и отвор у носачу алата до spremника струготине (6). Радни предмет се стеже у стезној глави (9) бушилице, а ослања се предњим крајем на линету (7) или апарат за заштитање (10). Носач алата се премешта помоћу супорта (3).

3.3. Показатељи за оцену технолошког поступка дубоког бушења

Пројектовани поступак дубоког бушења обично се оцењује са три показатеља:

1. Производност,
2. Степен остварених захтева,
3. Цена делова, односно операција ДБ.

Производност дубоког бушења се оцењује преко дужине оствареног отвора у току једног сата бушења:

$$L_h = 0,005 \cdot S \cdot n \quad (23)$$

$$L_H = 19,1 \frac{S}{d} V \quad (24)$$

где су:

S – посмак за један обрт алата, mm/obr

V – брзина резања при бушењу, m/min

d – пречник бушења, mm

n – број обрта радног предмета, o/min

Производност се изражава и бројем комада који се избуше за једну смену:

$$K_s = \frac{60(T_s - T_o)}{t_k} \quad (25)$$

где су:

T_s – време бушења у једној смени, h;

T_o – губитак времена у смени, h;

t_k – прорачунско време предвиђено за операцију бушења једног комада, min;

K_s – комада/смени.

Од степена остварених захтева за радни предмет и величине додатака за наредне операције зависи технологија даље обраде, како отвора, тако и радног предмета као целине. Цена технолошке операције се не посматра изоловано, већ у склопу цене комплетне обраде радног предмета код кога је изведена операција дубоког бушења.

3.4. Дефекти при бушењу дубоких отвора

По правилу, цеви оружја и оруђа се буше од уста цеви. При дубоком бушењу појављују се дефекти који се према природи настанка могу поделити у пет група, слика 41:

Прва група обухвата следеће дефекте:

- Одступање осе отвора на крајевима радног предмета или у датом пресеку у односу на задани правац;

- Искривљеност осе отвора у пресеку радног предмета;
- Разнозидност полуфабриката у датом пресеку;
- Мимоилажење оса отвора при двостраном бушењу;
- Прелом осе при двостраном бушењу;
- Елиптичност отвора;

Набројани дефекти осим елиптичности, настају због одступања правца кретања алата од задњег. Елиптичност отвора настаје при проширивању дубоких отвора као последица различите величине додатака и променљиве тврдоће на путу алата за проширивање. Елиптичност се одстрањује проширивањем, провлачењем или хоновањем.

Друга група дефеката настаје због кривљења радног предмета после спољног стругања и проширивања. Дефекти се одстрањују исправљањем или накнадном механичком обрадом ако су за то довољни додаци.

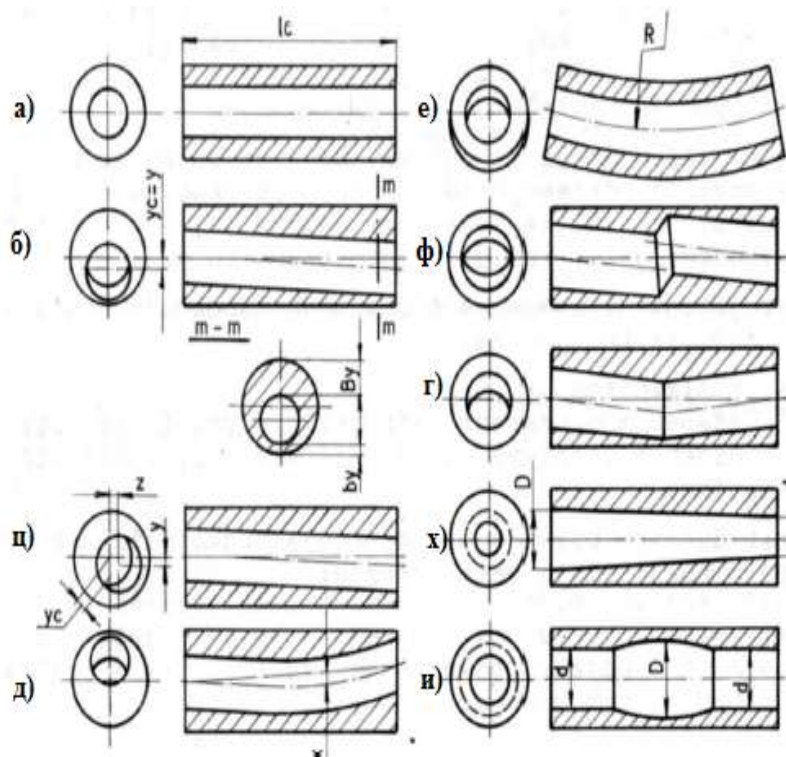
У *трећу групу* дефеката спадају трагови алата на површинама отвора. Настају због вибрација носача алата за дубоко бушење и проширивање, а одстрањују се проширивањем или хоновањем ако су дубине трагова мање. Ако се не тражи висок квалитет обрађене површине, ови дефекти се не одстрањују.

У *четврту групу* дефеката спада конусност и проширење отвора у виду бурета. Конусност настаје због истрошености периферних ножева или вођица. Већа конусност настаје при бушењу алатима са спољним одвођењем струготине. Повећана конусност настаје при хлађењу воденом емулзијом у односу на хлађење сулфифрезом. Конусност се отклања проширивањем или хоновањем.

Проширивање отвора у виду бурета настаје када је радијална компонента силе резања P_y усмерена према периферним калибрирајућим резним ивицама ножева.

Пету групу дефеката сачињавају укопи, велике огреботине и површинска хрпавост обрађених отвора. Дефекти ове групе могу узроковати шкарт иницираних прскотина при термичкој обради или када дубине укола и огреботина прелазе величине додатака потребних за наредне операције проширивања, хоновања и роловања.

Ови дефекти настају због лошег постављања вођица, повећаног трошења периферних резних ивица или оштећења површине при повратку алата у празном ходу.



Слика 41. Дефекти при дубоком бушењу: а) правилно избушен отвор, б) одступање осе отвора у равни $x-y$, ц) одступање које се налази између површина $x-y$ и $x-z$, д) закривљеност осе отвора, е) закривљеност осе отвора изазвана кривљењем, ф) одступање при двостраном бушењу, г) прелом осе отвора при двостраном бушењу, х) конусност, и) проширење отвора, буричастост [5]

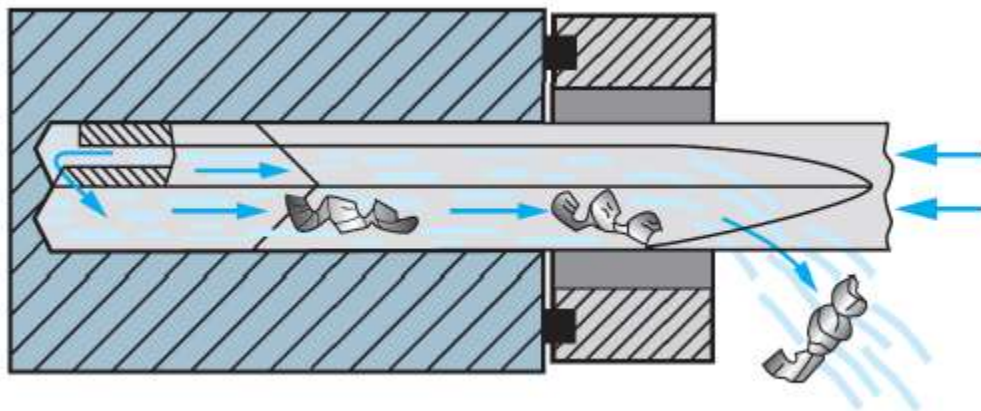
3.5. Поступци дубоког бушења

Код дубоког бушења највећи проблем је хлађење алата и крутост алата, због тога је развијено више поступака дубокога бушења:

1. Бушење отвора топовском бургијом,
2. STS поступак бушења отвора (ВТА поступак бушења),
3. Бушење ејекторским поступком (DTS поступак).

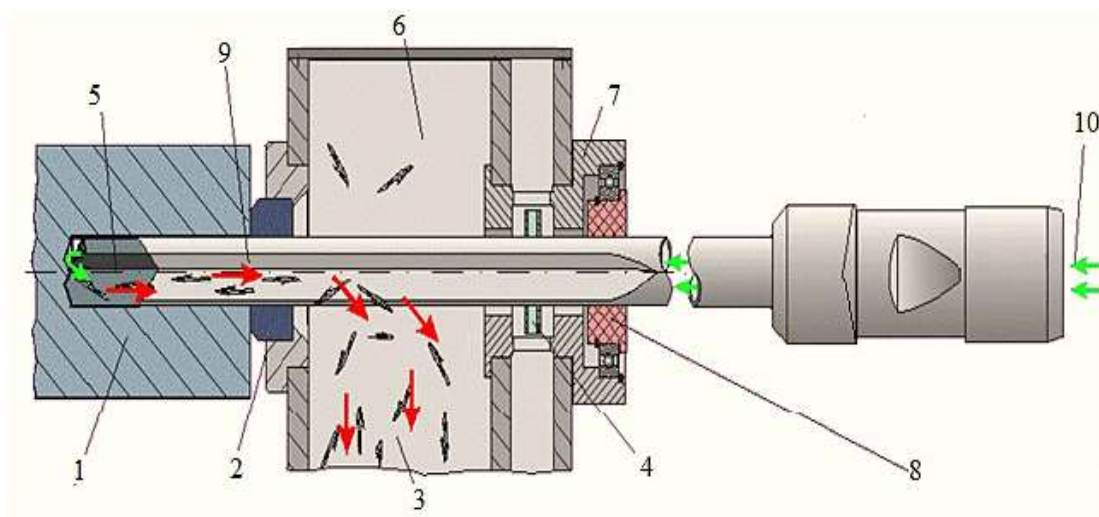
3.5.1. Бушење отвора топовском бургијом

Бушење отвора топовском бургијом је поступак којим се могу бушити мањи отвори него STS поступком. Код овог поступка највећи проблем је што средство за хлађење мора да буде под пуно већим притиском него код STS поступка бушења. У већини случајева користи се топовска бургија са једном резном ивицом, док се ређе користи са две.



Слика 42. Шема поступка бушења топовском бургијом [3]

Топовска бургија има принцип спољњег одвођења струготине слика 43. Течност се под притиском доводи из резервоара (10), и кроз отвор у носачу алата и самом алату (5) допрема до места на ком се одвија процес бушења, односно до радног предмета (1). Течност треба да обезбеди хлађење алата и одвођење струготине. Одвођење струготине се обавља кроз V – жлеб на алату и носачу алата (9), течност потискује струготину из зоне резања у контејнер за одвођење струготине (6), у којем заједно одлазе и струготина и течност (3). Заптивање се врши помоћу заптивача (2 и 4), а носач алата се преко лежаја (8) ослања на кућиште контејнера (7).



Слика 43. Принцип спољњег одвођења струготине [3]



Слика 44. Неки од облика једнорезних бургија предузећа BOTEK [8]

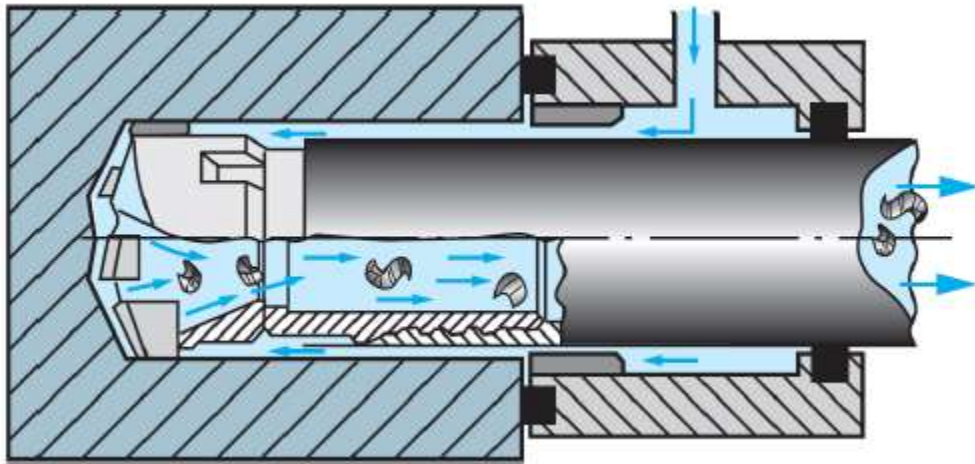


Слика 45. Дворезна топовска бургија предузећа BOTEK [8]

3.5.2 Бушење отвора STS (BTA) поступком

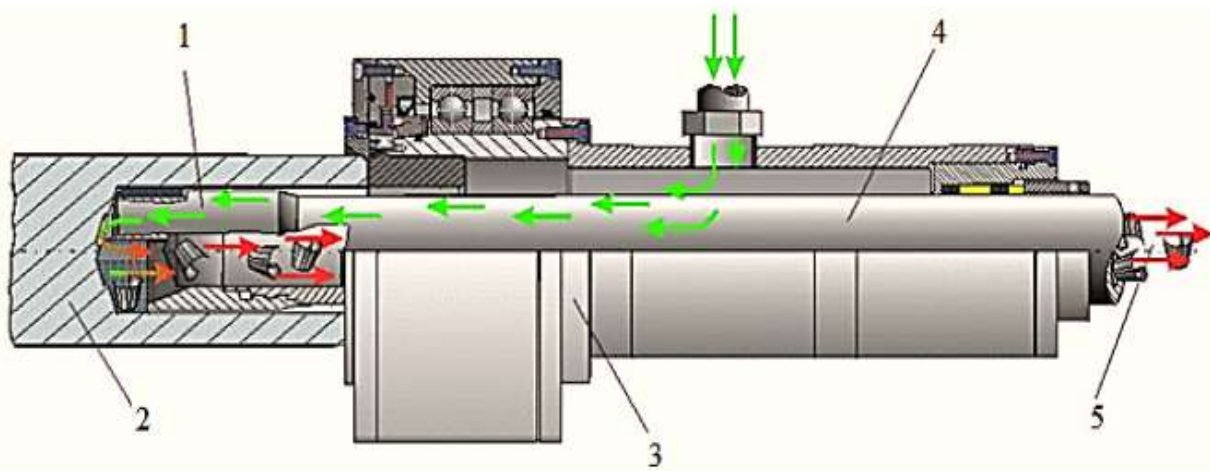
STS (eng. Single tube system) и BTA поступци бушења су идентични по принципу рада па се само разликују по имену код разних произвођача. STS назив користе произвођачи алата Sandvik и Iscar, док BTA назив користи Botek. Поступак је повољан за велико-серијску производњу. Продуктивност је већа око шест пута у односу на бушење са топовском бургијом. Користи се за материјале са лошим својствима одвајања честица, попут нерђајућег и ниско угљеничког челика. STS поступак функционише тако да се средство за хлађење доводи споља, а струготина и средство за хлађење се одводе кроз унутрашњи отвор.

Резна глава је причвршћена на цилиндрично тело мањих димензија тако да остаје простор између тела алата и отвора као што је приказано на слици 46. Средство за хлађење се доводи под притиском те се на тај начин одводи струготина кроз унутрашњи отвор.



Слика 46. Шема бушења отвора STS поступком [3]

Бушење отвора STS поступком за разлику од бушења топовском бургијом има принцип унутрашњег одвођења струготине као што се може видети на слици 47. Како је носач алата мањег пречника од отвора који се буши остаје простор између носача алата (4) и радног комада (2) којим се доводи течност за хлађење и одвођење струготине. Услед великог притиска под којим се доводи течност неопходно је поуздано заптивање који обезбеђује заптивач (3). Струготина се са течношћу одводи кроз унутрашњи отвор (5).



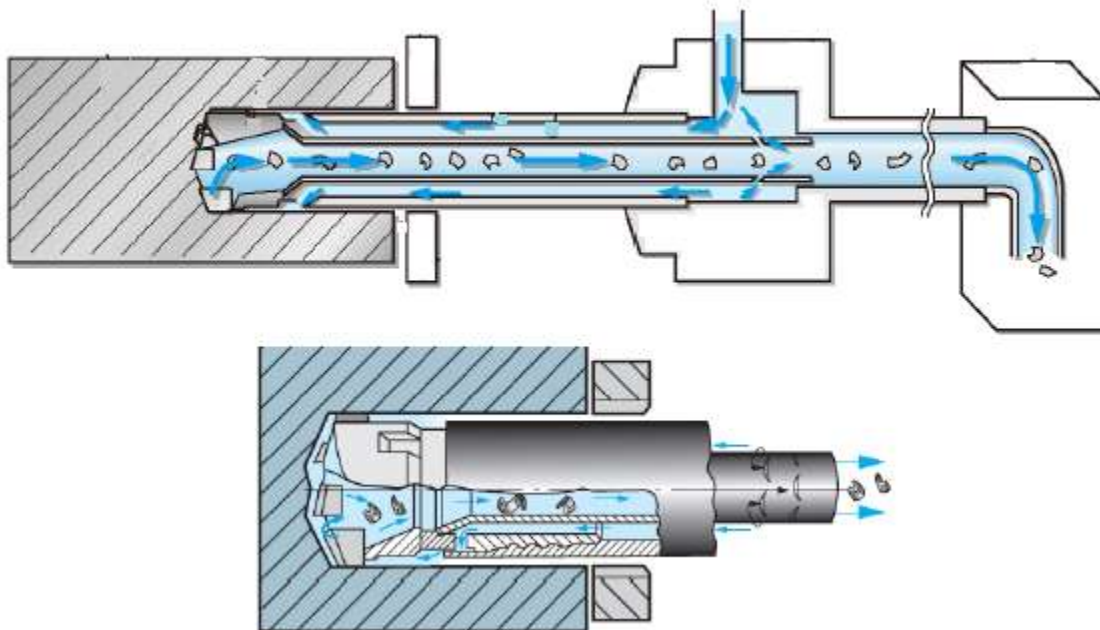
Слика 47. Принцип унутрашњег одвођења струготине [3]



Слика 48. *Главе (алати) за бушење ВТА поступком [7]*

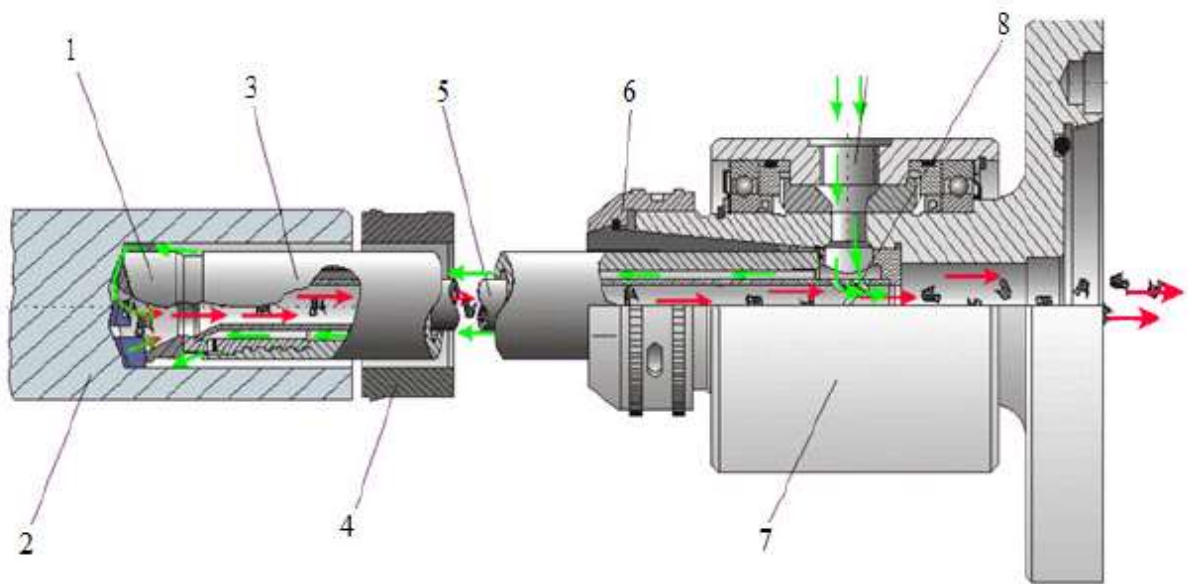
3.5.3. Бушење ејекторским поступком (DTS поступак)

DTS (eng. Double tube system) је поступак који карактерише конструкција његове две цеви и зато се назива систем двоструке цеви. Овај поступак је модификација STS односно ВТА поступка бушења. Разлика је у поступку заптивања. Бушење ејекторским поступком је погодно за примену на обрадним машинама са хоризонталним вретеном. Дубина резања које се могу достићи су до $150xD$.



Слика 49. *Шема бушења отвора DTS поступком [3]*

DTS поступак не захтева заптивање између предмета обраде (2) и алата (1) јер се течност доводи под притиском између унутрашње (5) и спољне цеви (3), а честице струготине и течност се одводе кроз унутрашњу цев као што је приказано на слици 50. На унутрашњој цеви поред тога израђени су коси отвори (8) кроз које један део течности продире у унутрашњу цев непосредно по уласку у међупростор ових цеви. Управо струјање течности кроз те отворе и њено усмеравање и кретање према излазној страни унутрашње трасе цеви ствара одређени притисак на предњем делу цеви. Тај притисак делује на струју течности, која долази у зону резања, чинећи је тако много ефикаснијом у смислу одвођења струготине. Течност се доводи помоћу прикључног система (7), а тело алата се центрира помоћу уређаја за причвршћење, линете (6). Чаура (4) треба да обезбеди правилно позиционирање алата.

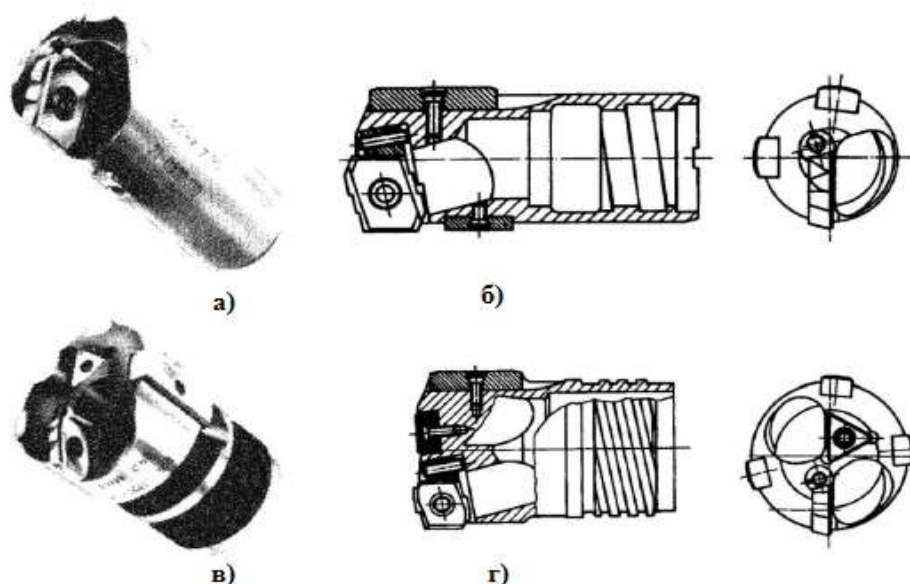


Слика 50. *Принцип одвођења честица струготине и течности кроз унутрашњу цев [3]*

3.6. Алати за дубоко бушење

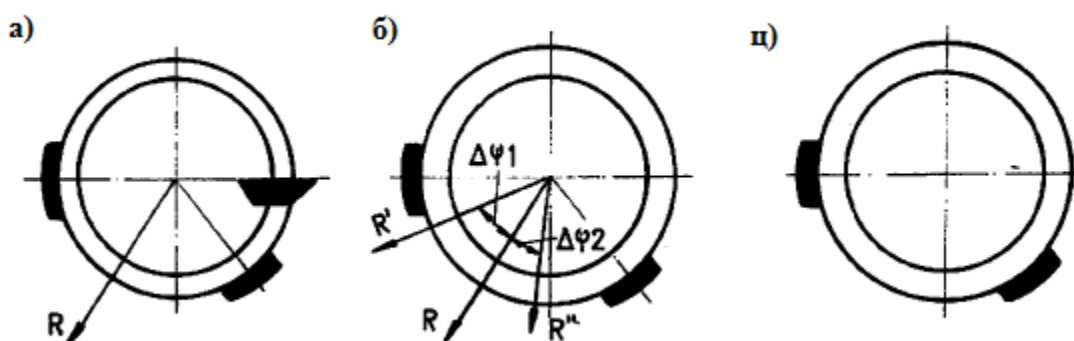
У систему машина, прибор, алат и полуфабрикат при дубоком бушењу алат је изложен најтежим условима рада. Затвореност у току технолошког процеса, форсирање режима обраде, те многобројне функције, чије извршење мора обезбедити конструкција алата, доводе до знатног оптерећења тела алата, ножева и вођица. Тиме се и објашњава разноврсност конструкција ових алата који веома често имају сасвим оригиналне елементе. Алати за дубоко бушење се могу поделити у три групе:

- Алати за пуно бушење;
- Алати за прстенасто бушење;
- Алати за проширивање дубоких отвора.



Слика 51. Бургије фирме VOTEK: а, б – бургија са једним ножем за пуно бушење (изглед и конструција); в, г – бургија са два ножа за пуно бушење (изглед и конструција) [3]

Пуно бушење се користи при бушењу отвора чији је пречник до 80 mm, при чему је препоручљиво да се отвори пречника до 60 mm буше из једног пролаза. Отворе пречника између 60 и 80 mm треба бушити кроз две операције, од којих је једна пуно бушење, а друга проширивање дубоких отвора. Прстенасто бушење се користи при бушењу отвора чији је пречник већи од 80 mm и сматра се прогресивнијим од пуног бушења. Врше се многобројни опити са циљем да се вади језгро и код дубоких отвора чији је пречник мањи од 30 mm. Базирање алата може да буде одређено и неодређено (слика 52). Сила отпора резања (R), која настаје у току бушења код алата с одређеним базирањем, делује у попречној равни алата и има увек исти смер у односу на вођице алата. Ова сила преко вођица алата остварује притисак на избушени отвор (слика 52.а).



Слика 52. Деловање сила на алат при одређеном (а) и неодређеном (б и ц) базирању. [5]

Код неодређеног базирања, ова сила у току процеса дубоког бушења мења интензитет и правац (слика б и ц). Због сталне промене нападне линије и интензитета, сила (R) код овог бушења изазива неравномерно трошење алата. Ова променљивост силе доводи до појаве лошег квалитета избушеног отвора, а нарочито при форсираном режиму обраде. Конструктивним решењима алата, када год је то могуће, треба избећи неодређено базирање.

Максимална препоручена ширина бушења при пуном бушењу не треба да је већа од $B = d/2 = 60/2 = 30 \text{ mm}$. Број резних ивица које учествују у дељењу ширине бушења (B), одређује се по формули:

$$z = \frac{K \cdot B}{b \cdot \sin \varphi} \quad (26)$$

где су:

b – ширина резне ивице (плочице),

K – коефицијент прекривања резних ивица ($K = 1,2 - 1,4$),

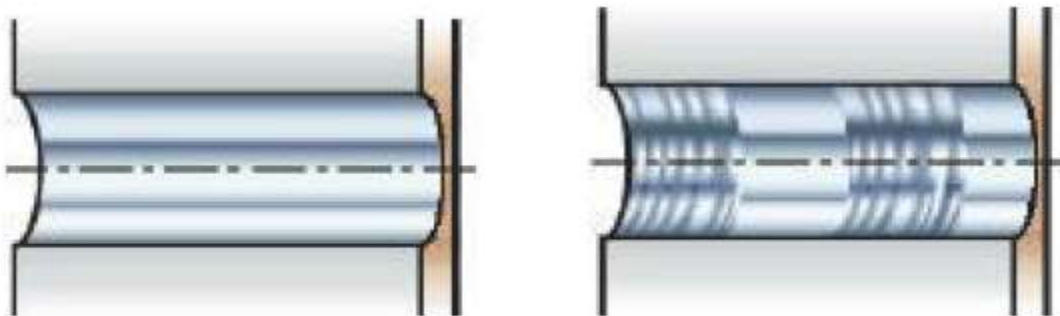
φ – половина угла врха алата.

Према начину одвођења струготине, алати се могу поделити на:

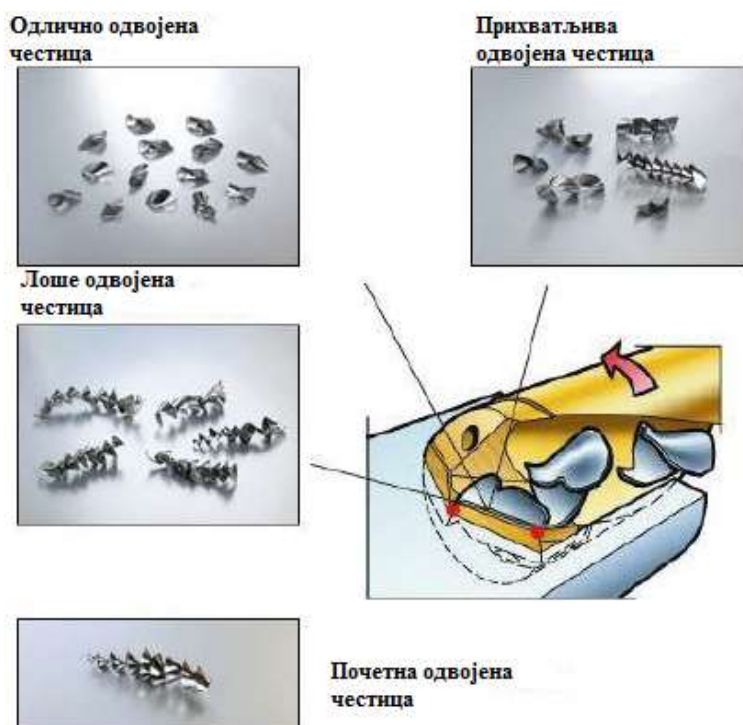
1. Алате са спољним одвођењем струготине;
2. Алате са унутрашњим одвођењем струготине.

Ширу примену имају алати с унутрашњим одвођењем струготине, и поред велике сложености због потребе уграђивања апарата за заптивање. Ови алати обезбеђују висок квалитет избушених отвора, јер струготина која се одводи не оштећује површину избушеног отвора нити се заклињава између алата и радног предмета. Поред тога, ови алати имају нешто мање трошење вођица. Алати за бушење отвора, чији је пречник мањи од 35 mm, углавном врше спољно одвођење струготине. При дубоком прстенастом бушењу, такође се примењује алат са спољним одвођењем струготине. У том случају од операције бушења се не траже високи захтеви за квалитет обрађене површине, а мере алата и носача алата омогућују несметано спољне одвођење струготине. Процес дубоког бушења отвора са вађењем језгра одвија се мањим посмацима у односу на пуно бушење дубоких отвора средњег пречника, што олакшава одвођење струготине. При бушењу великих отвора са спољним одвођењем струготина нису потребни апарати за заптивање и довођење SHP, што појефтиније опрему машина за дубоко бушење.

Веома важан и сложен проблем при бушењу дубоких унутрашњих отвора је проблем поузданог уклањања струготине из зоне резања у спремиште за сакупљање струготине. Уколико се струготина добија као широка трака, она одмах у грлићу бургије ствара чеп. То неминовно доводи до лома алата у отвору и шкартирање радног предмета.



Слика 53. Отвор са добрим одвођењем овојене честице (лево) и отвор са лошим одвођењем одвојене честице (десно) [6]



Слика 54. Изглед одвојене честице код класичне спиралне бургије [6]

Брзина помоћног кретања је једнака:

$$V_f = f_n \times n \quad (27)$$

где су:

f_n – посмак бургије

n – број обртаја бургије

Класификација алата се такође може извести на основу:

1. Конструкције ножева и вођица;
2. Конструкције елемената за везу с носачем алата.

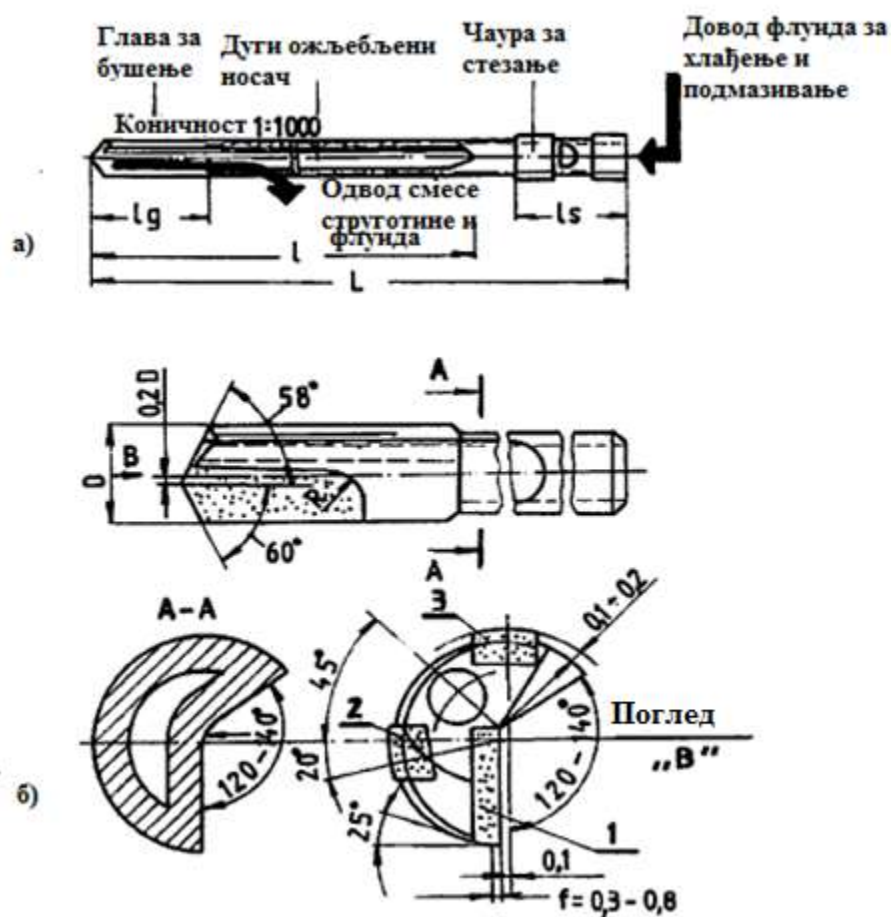
Код алата за бушење малих отвора, резне плочице и вођице су залемљене. Алати од брзорезних и алатних челика израђују се из једног дела у виду настанка носача алата. Код алата за бушење дубоких отвора, пречника већих од 40 mm, ножеви и вођице су најчешће променљиви. Веза алата са носачем алата најчешће се остварује помоћу унутрашњег вишеходног завоја, док се везе помоћу вишеходног спољњег навоја ређе сусрећу. Спајање алата великих пречника са носачем алата помоћу навоја често је отежано због појава заривања. Због тога се веза ових алата често изводи помоћу вијака, клинова или чивија.

3.6.1. Алати за дубоко бушење малих отвора

Дубоко бушење малих отвора изводи се помоћу алата са дугим ожљебљеним носачем. Пречници отвора који се буше овим алатима су од 3 до 20 mm. Максимално могуће дубине бушења зависе од пречника отвора бушења и дате су у табели 1:

Пречник бушења , mm	Макс. дужина бушења , mm
3,00-4,20	400
4,21-6,70	800
6,71-20,00	1500

Ови алати имају дуге, уздужно ожљебљене, носаче главе за бушење према слици 55. Флуид за хлађење и подмазивање долази у зону резања кроз унутрашњи уздужни отвор дугог носача. Тако се остварује хлађење у зони резања, подмазивање периферних вођица алата и одвођење струготине, која се транспортује кроз спољашњи уздужни жљеб на дугом носачу. Овај жљеб обично у пресеку заузима угао од 120°, приближно једну трећину попречног пресека бургије. Овим алатима се може остварити квалитет обрађене површине 5 до 10 μm и брзина резања која је 4 до 6 пута већа од брзине резања при бушењу уобичајених отвора завојном бургијом.



Слика 55. Пример алата за дубоко бушење малих отвора (а) и геометријске величине (б):
1 – резна плочица, 2 и 3 – вођице [4]

Оружарске бургије

Бургије са одређеним базирањем и спољашњим одвођењем струготине често се називају оружарске бургије. Са функционалног становишта, алати се састоје од следећих основних делова:

1. Главе за бушење радног предмета (радни део алата);
2. Дугог ожљебљеног носача и
3. Дршка за стезање алата.

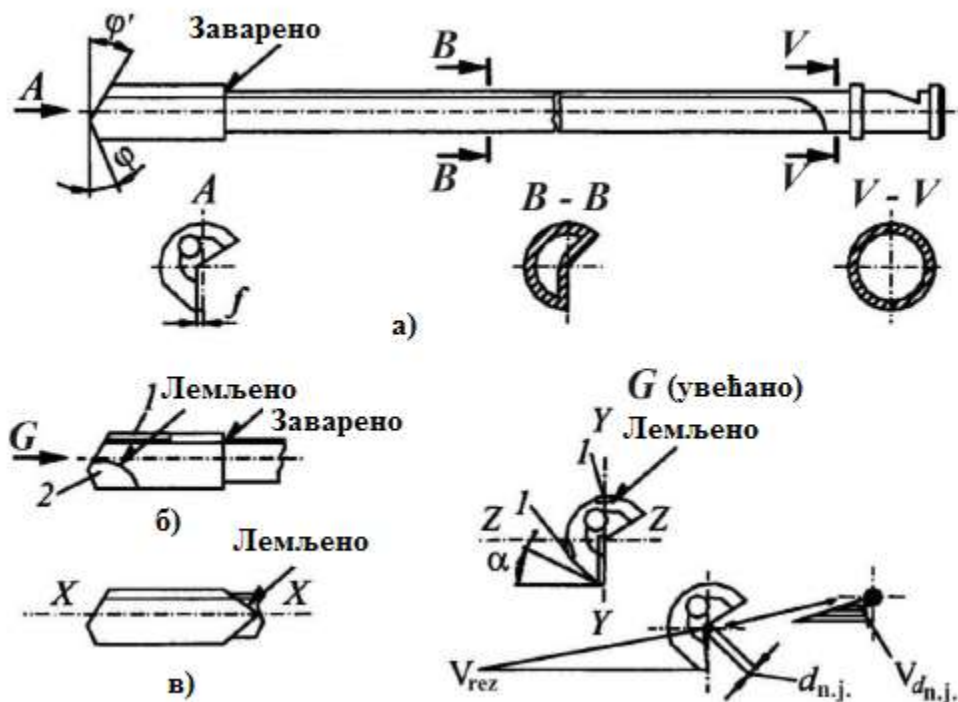
Резни делови бургија за дубоко бушење израђују се од тврдог метала или брзорезних челика, ређе од алатних угљеничних челика. Носачи бургија израђују се као цеви од побољшаног челика. Материјал вођица практично је увек тврди метал волфрам групе.



Слика 56. Алат оружарске бургије [3]

Радни делови оружарских бургија израђују се на три конструктивна начина:

- Глава за бушење од брзорезног или угљеничног алатног челика (слика 57.а) приварује се за носач, и његове резне ивице оштре се под потребним угловима на специјалним машинским уређајима за оштрење;
- Глава за бушење од конструкционог челика (слика 57.б) приварује се за носач, и на главу за бушење се тврдо леме резне плочице 2 и вођице 1. Резне плочице и вођица израђују се од тврдог метала;
- Монолитна глава за бушење од тврдог метала (слика 57.в) приварује се на носач, и на њему се брушењем формирају потребни облици резних ивица и вођица.

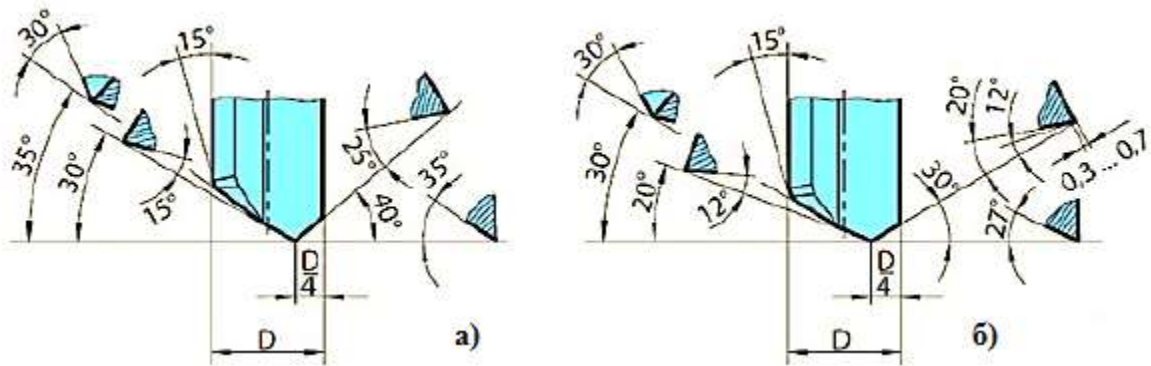


Слика 57. Радни делови оружарских бургија [4]

Главе за бушење:

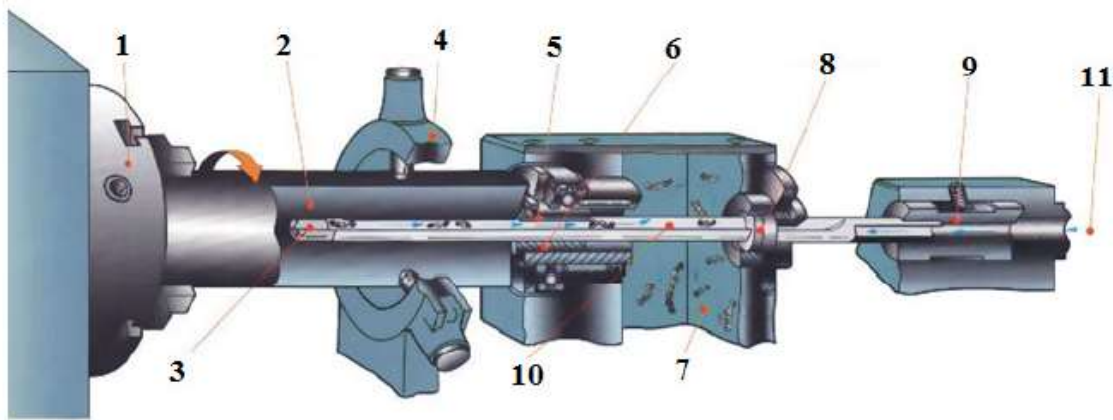


Слика 58. а) Глава од брзорезног или угљеничног алатног челика; б) Глава од конструкционог челика; ц) Монолитна глава од тврде легуре [9]



Слика 59. Геометрија резних ивица главе алата за пречнике од 2,00 до 4,00 mm (а) и од 4,01 до 20,00 mm (б) [9]

На слици 60 приказан је алат за дубоко бушење отвора малих пречника, са спољним одвођењем струготине у процесу бушења.



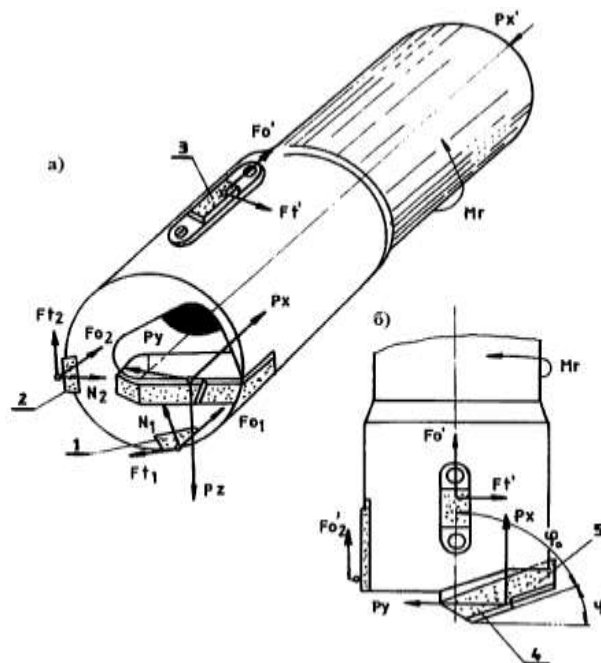
Слика 60. Принципом алата за дубоко бушење малих отвора: 1 – стезна глава бушилице; 2 – радни предмет; 3 – глава алата; 4 – линета; 5 – чеони заптивач; 6 – предња вођица алата; 7 – кућиште за смештај вођица алата, заптивних елемената и сакупљање струготине; 8 – задња вођица носача алата; 9 – стезач носача алата; 10 – канал за довод течности за хлађење и подмазивање (SHP); 11 – супорт [3]

3.6.2. Алати за дубоко бушење средњих пречника с одређеним базирањем

А) Анализа сила које делују на алат при бушењу. У процесу резања, на алат делују одређене силе, на слици 62.

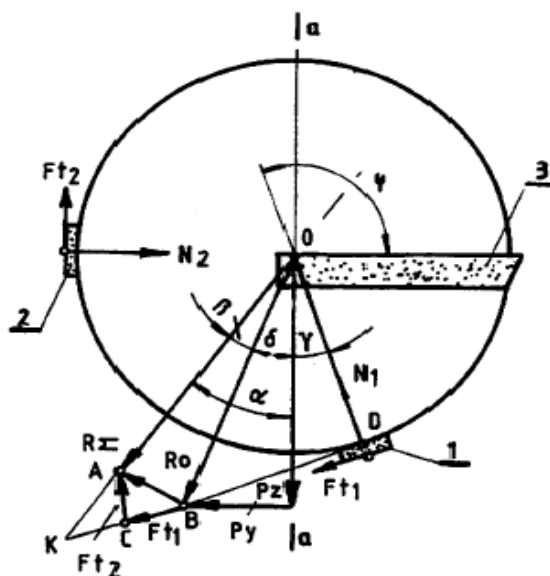
1. Силе отпора резања, које делују на резне ивице алата, јесу:
 - Сила отпора резања P_z , која делује паралелно с правцем брзине бушења V ;
 - Сила отпора посмака P_x , која делује паралелно оси алата, а у супротном смеру од посмака;
 - Сила P_y , која делује у равни нормалној на осу алата. Обично сила P_y , која се зове радијална компонента отпора резања, делује у правцу радијуса алата ка центру радијуса.
2. Силе трења на вођицама алата. Ове силе такође могу бити разложене на компоненте које делују на алат у равнима које су нормалне (F_{ti}) и паралелне (F_{oi}) у односу на осу алата. Силе F_{ti} делују у смеру супротном од смера обртања, а силе F_{oi} делују у смеру који супротну смеру посмака алата.
3. Силе масе носача алата и самог алата. Ове силе делују у тежиштима алата и носача алата. Како су ове силе углавном знатно мање од 4силе отпора резања, оне се могу занемарити.
4. Центрифугалне силе инерције P_{ci} , које делују на алат, ако се бушење врши при великом броју обртаја, а алат с носачем је неуравнотежен.

Б) Алат с једним ножем. Са становишта конструкција и израде, јесу алати с једним ножем. Због тога су алати с једним ножем и унутрашњим одвођењем струготине нашли најширу примену. Шема тог алата и сила које га оптерећују дата је на слици 61.



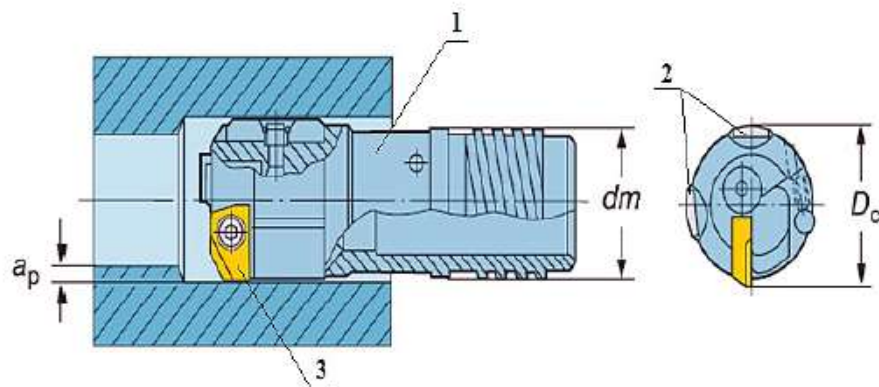
Слика 61. Шема деловања сила на алат с једним ножем: а) носач алата с алатом; б) алат у пројекцији; 1 и 2 – вођице за базирање; 3 – еластична вођице; 4 – резна плочица; 5 – периферна резна ивица [4]

На слици 62 дата је шема деловања сила на алат с једним ножем у равни попречној на уздужну осу алата.

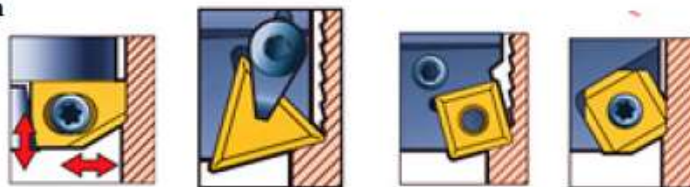


Слика 62. Шема деловања сила на алат с једним ножем у равни [4]

Алат за дубоко бушење отвора средњих пречника са одређеним базирањем се састоји од тела (1), које се израђује од челика за побољшање, вођица (2) и ножа (3). Пречник d_m обезбеђује вођење при спајању са носачем алата.



Облици резних
плочица



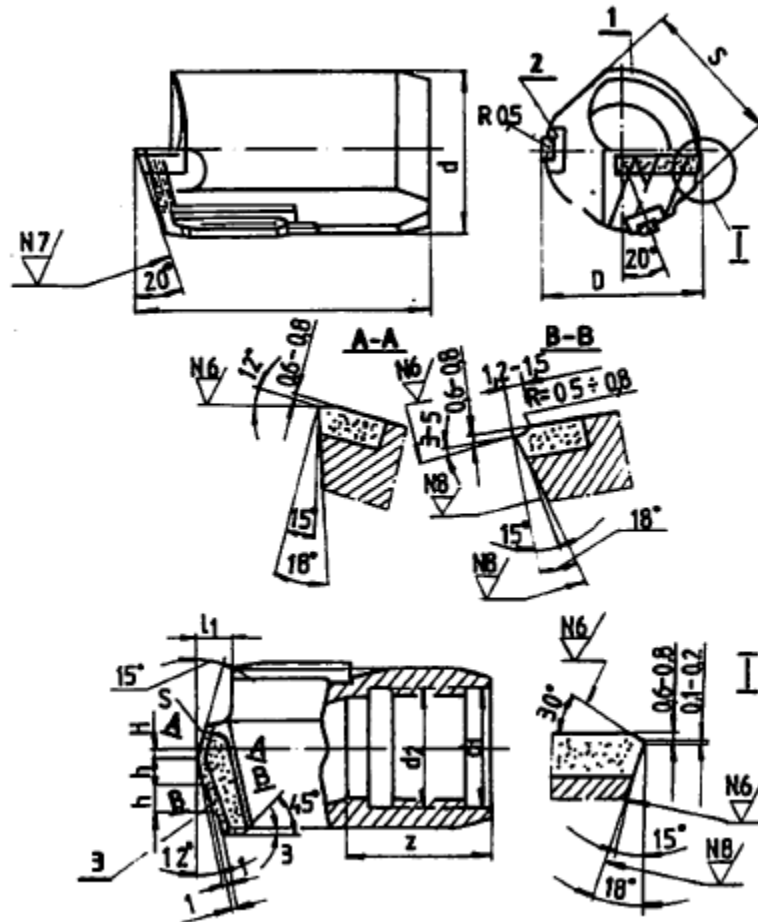
Слика 63. Пример алата за дубоко бушење отвора средњих пречника са одређеним базирањем [3]

Алат за дубоко бушење са једним ножем састоји се од: а) делови главе за бушење; 1 – тело алата, 2 – резна плочица, 3 – вођице, 4 – вијак за причвршћивање резне плочице, 5 – вијак за причвршћивање вођице. б) глава за бушење [2]



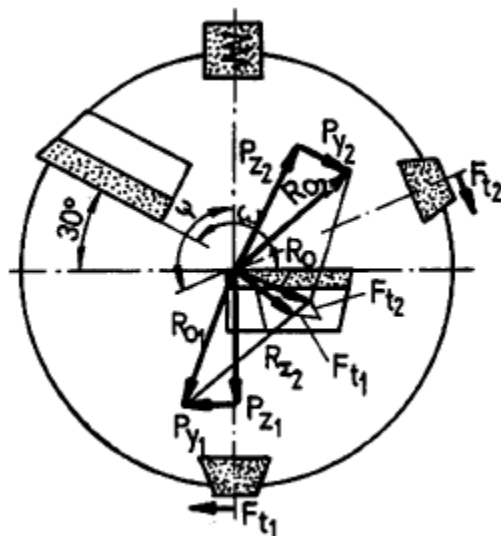
Слика 64. Изглед алата за дубоко бушење отвора средњих пречника са одређеним базирањем [3]

Алат са једним ножем примењује се код бушења и проширивања дубоких отвора пречника 30 до 60 mm. Алат са једним ножем се састоји од: тела (1), које се израђује од челика за побољшање, вођица (2) и ножа (3). У телу алата се налази отвор за довод течности за хлађење или одвод струготине настале при дубоком бушењу. Пречник d_1 обезбеђује вођење при спајању са носачем алата, а завој d_2 служи за везу алата с његовим носачем. На слици 65 су приказани углови ножа, геометријски однос мера и квалитет обраде површине.



Слика 65. Конструкција алата за дубоко бушење са једним ножем [5]

Ц) Алат са два ножа. Алати за дубоко бушење са два ножа (слика 66) омогућили су дељење ширине бушења без степеница на резним ивицама. Тако је знатно смањено оптерећење вођица, а ножеви вођице се производе као измењиви елементи. Из слике 66 може се одредити сумарна равнотежа попречна сила која је једнака:



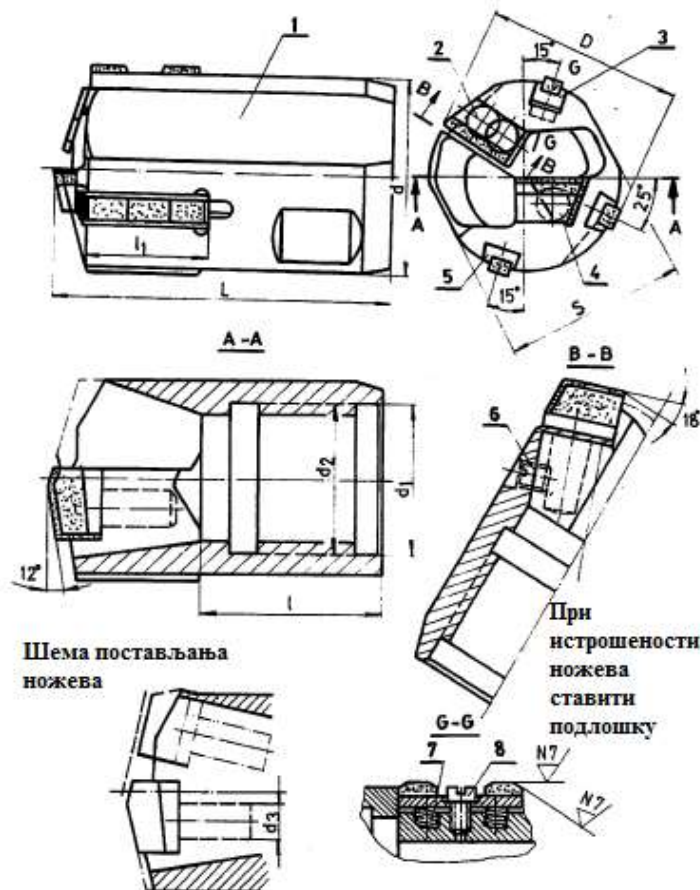
Слика 66. Шема сила које делују на алат са два ножа у равни попречној на уздужну осу алата [5]

$$\vec{R}_{\Sigma 2} = \vec{R}_{01} + \vec{R}_{02} + \vec{F}_{t1} + \vec{F}_{t2} \quad (28)$$

Попречна равнотежна сила је $R_{\Sigma 2}$ знатно је мања од равнотежне силе R_{Σ} која делује на алат с једним ножем, када алат с једним ножем ради с истим режимима, тј.

$$0 \leq R_{\Sigma 2} < R_{\Sigma} \quad (29)$$

Претходна неједначина показује да сила $R_{\Sigma 2}$ може да буде једнака и нули. Овај случај се јавља при вредности угла $\omega = 180^\circ$. У случају када је $R_{\Sigma 2} = 0$, утицај брзине резања на силе отпора резања P_{zi} се занемарује. Алати са два ножа израђују се с једнаким или различитим ширинама ножева. Уколико су ширине ножева различите, онда централни нож треба да је шири од професионалног, и то зато што централни нож скида материјал чија је запремина приближно три пута мања од запремине материјала који скида периферни нож. Осим тога, централни нож ради са знатно мањим брзинама резања. Алати са два ножа знатно су погоднији за примену од алата с једним ножем.

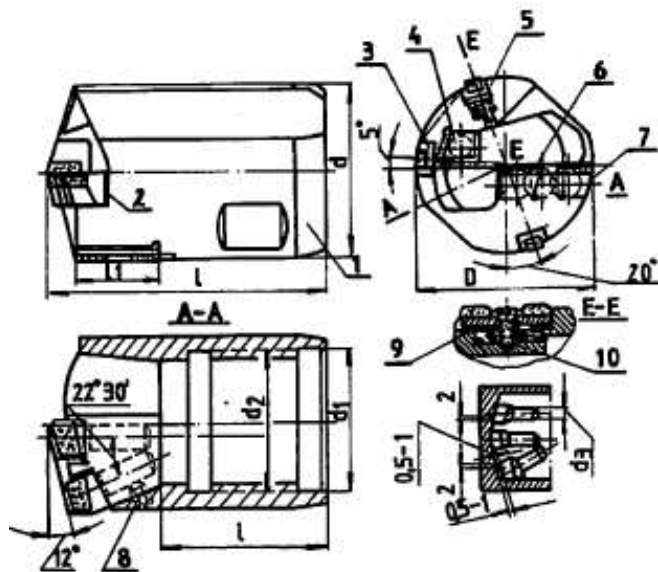


Слика 67. Конструкција алата за дубоко бушење са два ножа: 1 – тело алата; 2 и 4 – ножеви; 3 – еластична вођица; 5 – вођица; 6 и 8 – вијци; 7 – опруга [5]



Слика 68. Алат за дубоко бушење са два ножа: а) делови главе за бушење: 1 – глава, 2 и 3 – резне плочице, 4 и 6 – вођице, 5 – вијак за причвршћивање вођица, 7 – вијак за прочвршћивање резне плочице, б) глава за бушење [3]

Д) Алати са три ножа. Алати за дубоко бушење са три ножа представља даљи развој идеје о дељењу резне ивице ножа, слика 69. Овај алат омогућује дељење ширене струготине на три дела без изоштавања чеоних степеница резних ивица. Бургије са три ножа користе се за израду отвора преко 100 mm.

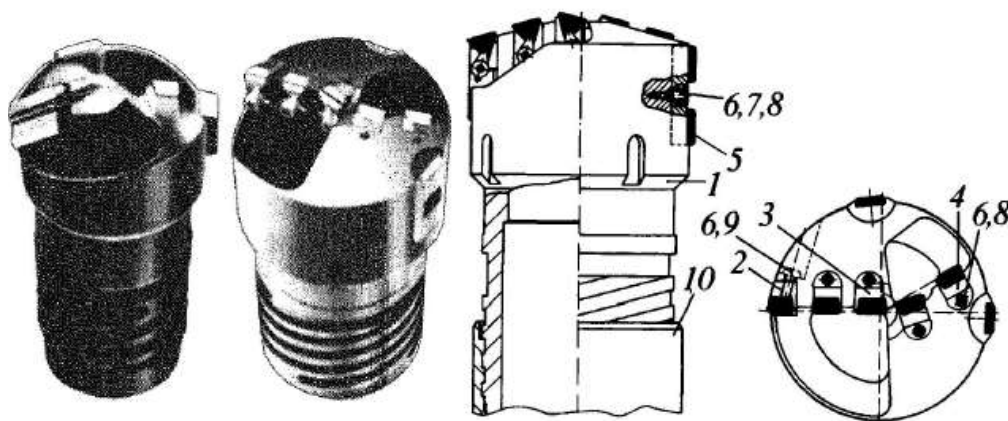


Слика 69. Конструкција алата за дубоко бушење са три ножа: 1 – тело алата, 2 – подметач, 3 – вођица, 4, 6 и 7 – ножеви, 5 – опруга вођице, 8 и 10 вијци, 9 – опруга [5]

Пошто резултанта попречних сила износи:

$$\vec{R}_{\Sigma 3} = \vec{R}_{01} + \vec{R}_{02} + \vec{R}_{03} + \vec{F}_{t1} + \vec{F}_{t2} \quad (30)$$

$$\text{Тада је } 0 \leq R_{\Sigma 3} \leq R_{\Sigma 2} < R_{\Sigma} \quad (31)$$



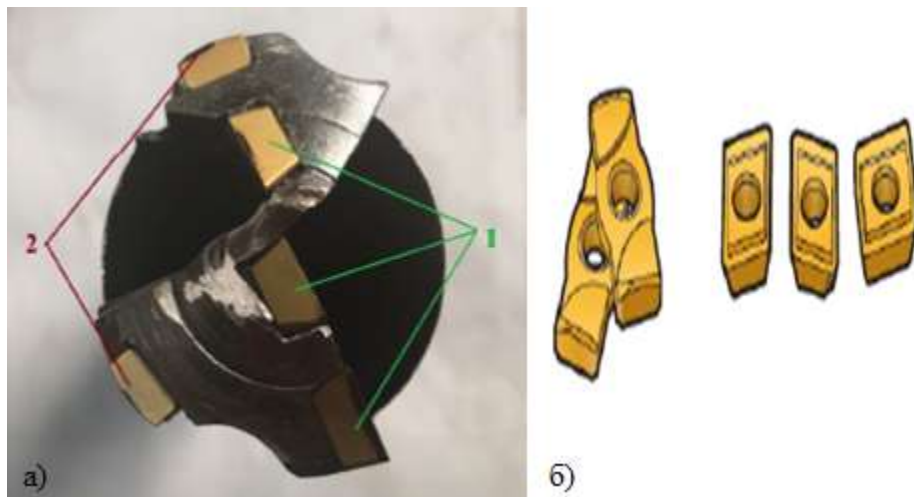
Слика 70. Бургије фирме COROMANT за бушење отвора великог пречника са механичким везивањем ножева од тврдог метала: 1 – тело главе; 2 – држач спољашњег ножа; 3 – држач централног ножа; 4 – држач међуплочице; 5 – плочица вођице; 6 – вијак; 7 – чивија(WV3); 8 – чивија(WV4); 9 – спољна чаура; 10 – спољна чаура [3]

Бургије са више ножева имају следеће предности:

- Смањују се оптерећења на вођице због раздвајања ножева у односу на један нож;
- Раздвајање ножева омогућава поделу струготине по ширини без додатних испуста;
- Ножеви оваквих бургија раде се од тврдог метала.

Средња производност бушења алатом за дубоко бушење за три ножа износи: $L_h = 2,5 \div 5$ m/h, ако је:

- Припремак од челика тврдоће HB = 179-229,
- Брзина бушења $V = 70 \div 120$ m/min,
- Посмак $S_o = 0,18 \div 0,20$ mm/o.



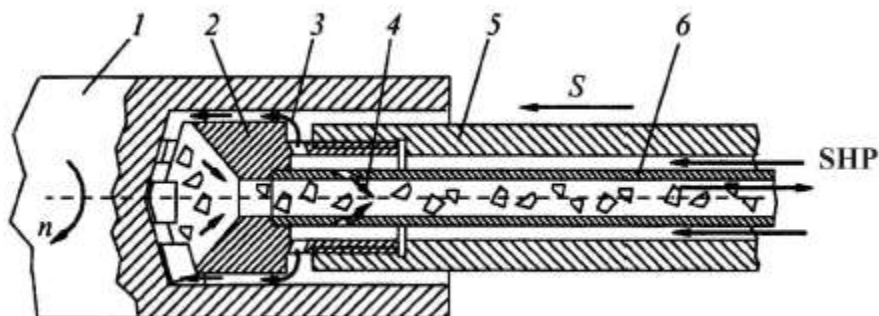
Слика 71. а) Глава бургије за дубоко бушење са три ножа: 1 – резни ножеви, 2 – вођице;
б) Вођице и резни ножеви главе бургије са три ножа [3]



Слика 72. Примери бургија са три ножа [3]

Е) Ејекторске главе за дубоко бушење са три ножа

Користе се за бушење дубоких отвора пречника 20... 100 mm. Носач бургије се састоји од сегмента: спољашњег (6), који представља цев дебелих зидова у унутрашњег 5 – са танким зидовима. Спољашњи носач учвршћује се на супорт машине и прима на себе оптерећења од главе бургије. Између унутрашњег и спољашњег носача постоји зазор, у који се под притиском уводи SHP. Млаз SHP се у зони бургије дели (раздваја). Већи део млаза кроз млазнице унутрашњег сегмента се усмерава по централном каналу према излазу. У радној зони бургије, због протицања SHP из тих млазница, настаје под притисак. Други део млаза SHP кроз млазнице бургије струји, као и код бургије са спољашњим доводом, према ножевима и вођицама, хлади их и подмазује их, захвата елементе струготине и увлачи их у левак бургије.



Слика 73. Шема дубоког бушења отвора цеви ејекторском бургијом: 1 – радни комад, 2 – ејекторска глава бургије, 3 – млаз SHP који тече из млазнице главе, 4 – млаз SHP кроз млазнице унутрашњег носача бургије, 5 – спољашњи носач бургије, 6 – унутрашњи носач бургије [4]

Предности и мане ејекторског бушења:

Предност ејекторског бушења је непостојање SHP - сложеног склопа, који захтева пажљиво одржавање. Велика мана бушења цеви ејекторском бургијом је стабилан рад ејекторске бургије само под условима поузданог апсолутног дељења струготине по дужини на комадиће, који слободно пролазе кроз грлић бургије. Код нестабилне поделе у грлићу бургије може се створити чеп.



Слика 74. BOTEK Type 70E [6]

3.6.3. Алати за дубоко прстенасто бушење

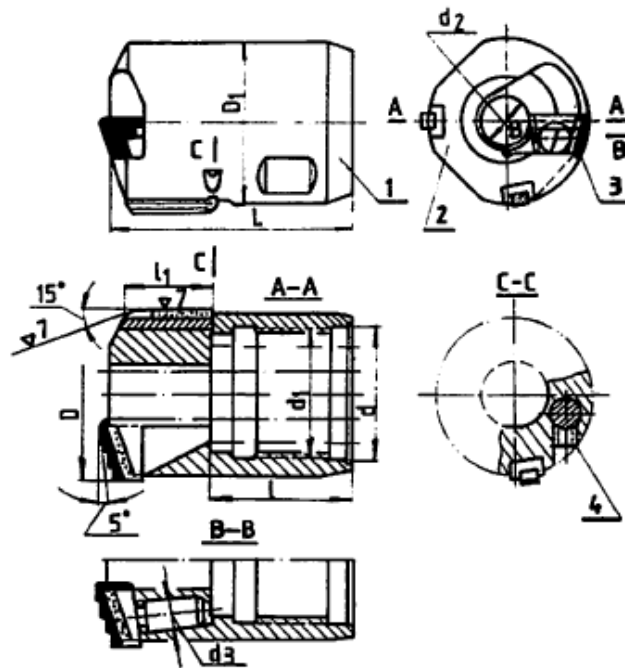
А) Алати са једним ножем. Прстенасто дубоко бушење се примењује код отвора пречника 60-130 mm. Бушење се изводи брзинама $V = 80 - 120 \text{ m/min}$, уз посмаке $S = 0,15 - 0,22 \text{ mm/o}$. При бушењу се формира језгро пречника $d_o = (0,27 - 0,31) d$. Производност бушења је у границама $L_h = 2,5 - 5,5 \text{ m/h}$.

Одвођење струготине при бушењу је унутрашње, а притисак течности у зони резања је у границама $p = 14 - 15 \text{ bara}$.

Основне предности:

- Мањи обим метала који се скида;
- Мање силе резања;
- Мања потребна снага;
- Уштеда метала због језгра високог квалитета која се може искористити за другу намену.

На слици 75 приказан је алат за прстенасто бушење с једним ножем.

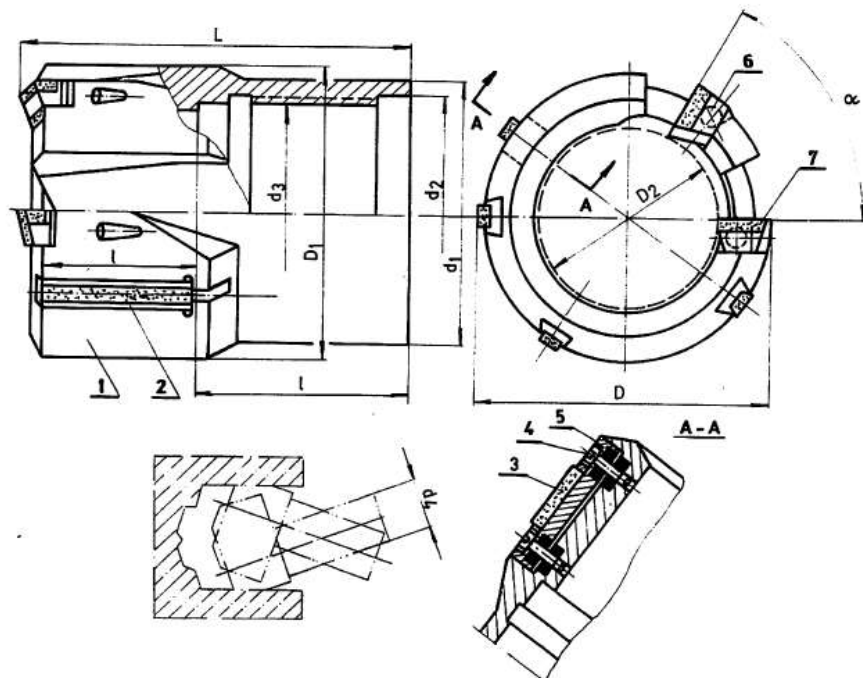


Слика 75. Алат за дубоко прстенасто бушење: 1 – тело, 2 – вођица, 3 – нож, 4 – вијак [5]

Б) Алати са два ножа. Алати за прстенасто дубоко бушење са два ножа предвиђени су за бушење отвора пречника $110 \div 220 \text{ mm}$. Бушење челичних полуфабриката изводи се брзинама $V = 50 \div 80 \text{ m/min}$ и посмацима $S = 0,18 \div 0,25 \text{ mm/o}$. Алати раде по методи дељења ширине бушења, са спољним одвођењем струготине. Добијено језгро након бушења има пречник $d_o = (0,56 - 0,71) d, [\text{mm}]$.

Течност за хлађење се потискује помоћу пумпе, капацитета $Q = 400 \text{ l/min}$. Притисак течности у зони резања износи $P = 3 - 10 \text{ bara}$. Производност бушења износи $L_h = 1 - 3,5$

m/h . Код ових алата ножеви су постављени у две равни на међусобном угаоном растојању $\alpha = 70 - 50^\circ$ и деле струготину по ширини на четири дела. Како се види из шеме резања на слици 76, ножеви имају цилиндричне вођице и постављени су у односу на осу алата под углом од $\pm 18^\circ$. Ножеви се брусе ван склопа алата, а при њиховој монтажи се убацују компензационе подлошке. Алат има четири вођице, од којих су три чврсте, а једна еластична.

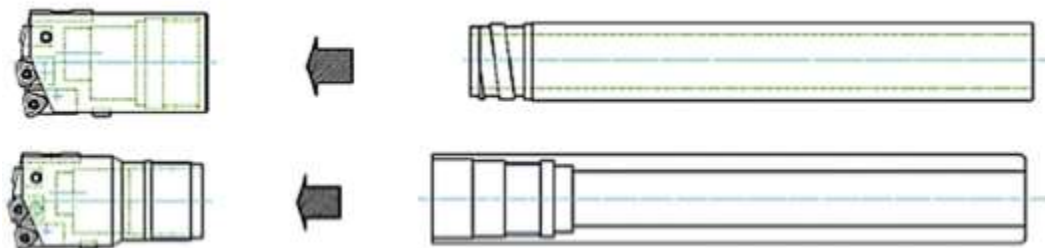


Слика 76. Конструкција алата за прстенасто дубоко бушење: 1 – тело главе; 2 – вођица; 3 – еластична вођица; 4 – вијак; 5 – опруга; 6 и 7 – нож [5]

3.7. Носачи за дубоко бушење

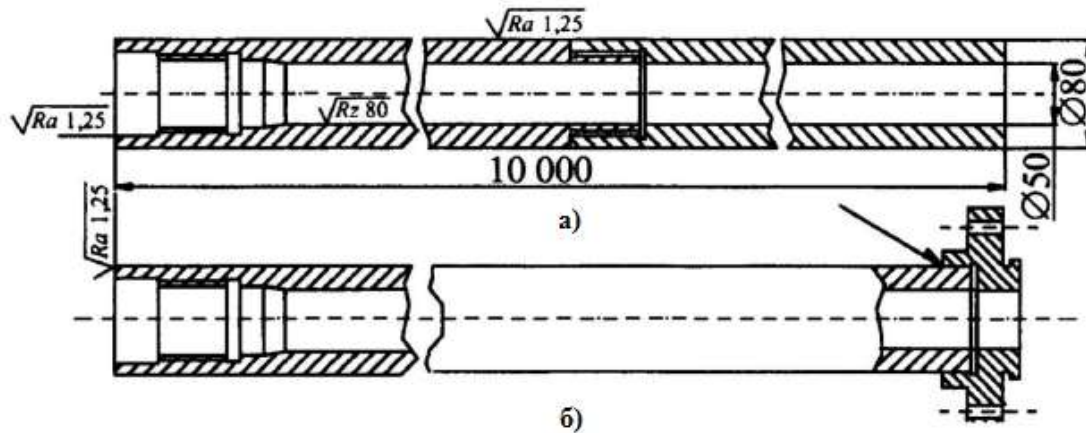
Глава за бушење се спаја са носачем бургије, при чему се тело главе уврће у носач алата, најчешће трапезним навојем ради тога, да глава бургије, при замени после рада, може лако да се одвије.

Веза алата са носачем алата најчешће се остварује помоћу унутрашњег вишеходног навоја, док се везе помоћу вишеходног спољњег навоја ређе сусрећу.



Слика 77. Шематски приказ спајања главе алата са носачем [3]

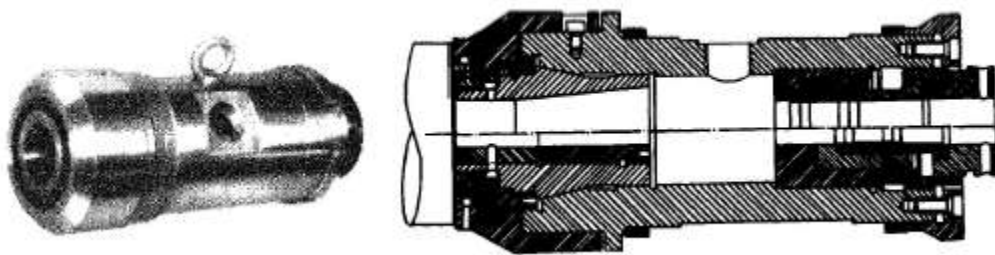
Носачи су цеви дебелих зидова од челика Č50. Обично се раде од једне цеви, а изузетно од више цеви. При овоме се морају задовољити строги захтеви за тачност и храпавост спољне површине, пошто при раду тару о лежајеве придржавајућих линета, а у шеми бушења са окретањем алата још интензивније се тару о заптиваче посуде за SHP. За учвршћивање на машину носача главе бургије за дубоко бушење обично се користе два решења.



Слика 78. а) варијанта спајања у стезачу супорта; б) стезање преко прирубнице [4]

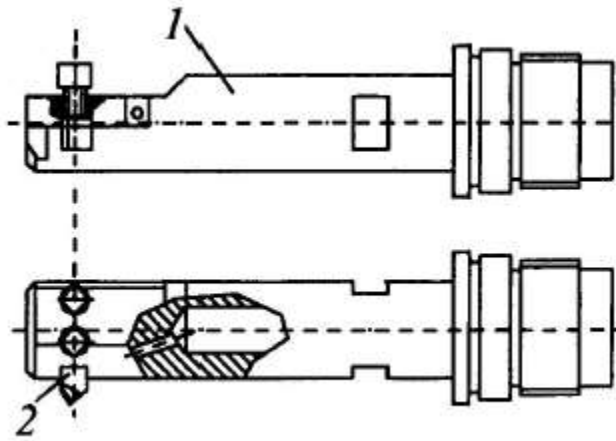
3.8. Увођење алата у дубоки отвор

Алату за израду дубоких отвора цеви оружја, у тренутку уласка у радни комад потребно је створити ослонац за вођице. То се решава челичном чауром за увођење у пријемнику SHP, која је квалитетно брушена по унутрашњој страни. Зазори између чауре за увођење и вођица бургија су реда величине 0,03... 0,05 mm.



Слика 79. Општи изглед и конструкција пријемника уља за дубоко бушење отвора цеви оружја бургијама са спољашњим доводом SHP у зону резања [3]

SHP монтира се на машину, центрира и фиксира помоћу два пара расклапајућих прстенова. При развоју или код појединачне производње примењује се решење обраде увођења у отвор цеви алатом према слици 80.



Слика 80. Алат за стругарску обраду улазног отвора за базирање бургије у радном комаду: 1 – глава; 2 – нож [4]

Стругарски алат 1 који има належуће површине једнаке са главама за бушење, навијају се у носач бургије. Нож 2 убацује се помоћу индикатора уређаја на радијус бургије, а радни комад је раније пробушен за дубину улаза вођица бургије и проширује се на пречник базирања.

3.9. Проширивање дубоких цилиндричних отвора

Проширивање дубоких отвора је операција механичке обраде где се скидање додатака материјала добијају цилиндрични отвори са фином површином. При проширивању цеви оружја, одстрањују се дефекти који су настали у претходним операцијама: центрифугалног ливења, ваљања, термичке обраде, исправљања или бушења. У пракси се користи проширивање цилиндричних, конусних и геометријских сложених отвора (барутне коморе - лежишта метка и цилиндрично – конусне цеви) .

Према квалитету обрађених површина разликују се:

- Грубо,
- Полуфино и
- Фино проширивање.

Све операције проширивања цеви обављају се на специјалним машинама за дубоко бушење и проширивање. Грубим проширивањем скида се 50-65% укупног додатка материјала код полуфабриката, што одговара бочном додатку од 4 до 7 mm. Полуфино проширивање одстрањивање дефеката који остају после грубог проширивања отвора и полуфиног стругања спољних површина цеви. При том проширивању потпуно се елиминише разлика у дебљинама зидова и искривљеност. Дебљина слоја материјала која се скида при овој операцији износи 2 до 4 mm и иста је по целој дужини и обиму отвора цеви. После полуфиног проширивања постиже се:

- Конусност отвора од 0,2 mm на целој дужини цеви;

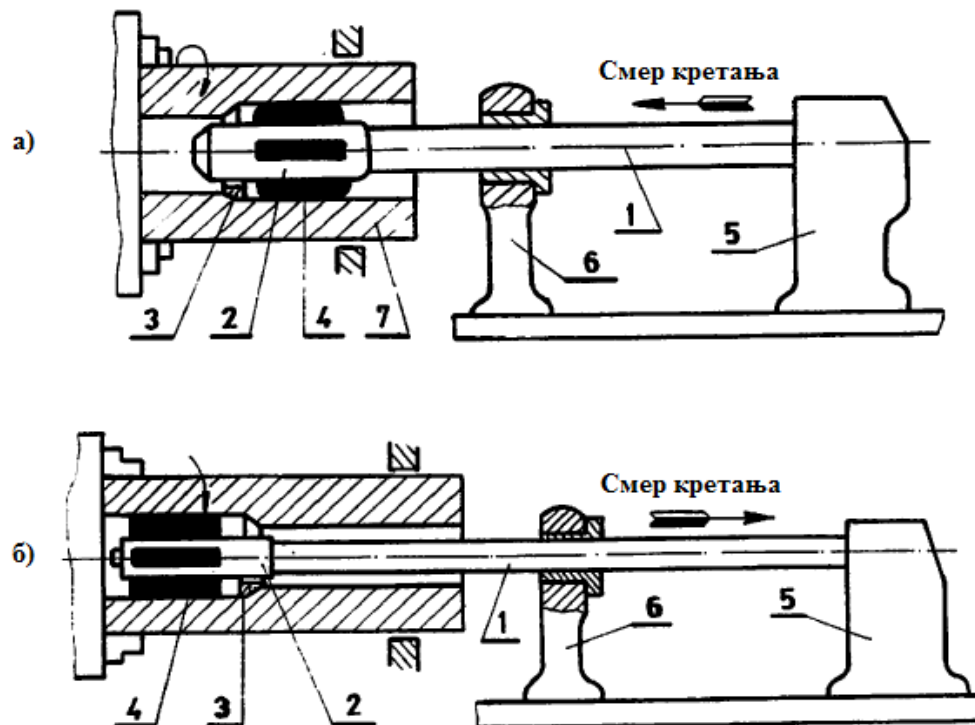
- Квалитет обрађене површине чија је класа храпавости N9;
- Искривљеност и разлика у дебелинама зидова цеви у границама по KD.

Фино проширивање подразумева обезбеђивање захтева који су прописани TU и KD. Обрађена површина има класу храпавости N8. Код највећег броја цевастих делова, фино проширивање представља завршну операцију. Додатак за фино проширивање обично износи од 0,5 до 1,5 mm.

Методe проширивања

Према погону главе за проширивање, разликују се:

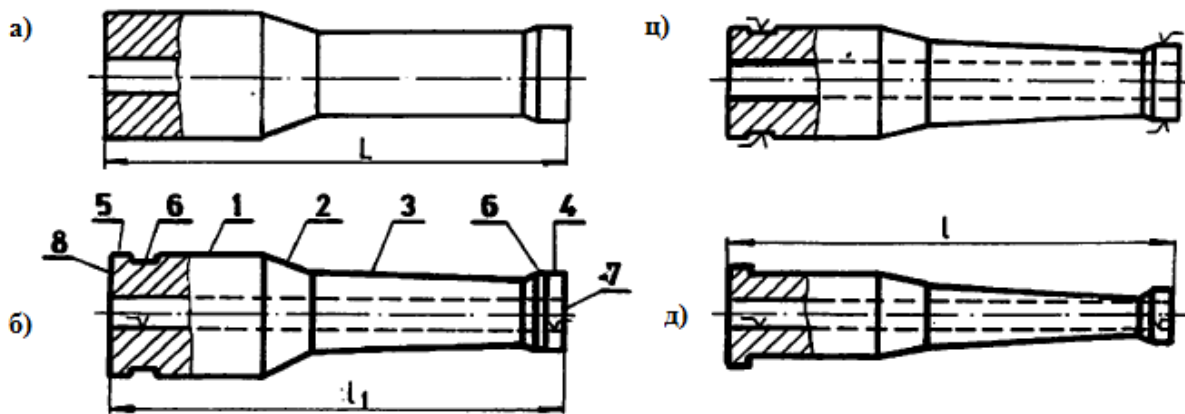
- Проширивање гурањем и
- Проширивање вучењем главе.



Слика 81. Шема проширивања по методу гурања (а) и методу вучења (б): 1 – носач алата; 2 – алат за проширивање; 3 – нож; 4 – вођица; 5 – супорт; 6 – ослонац носача алата [5]

Проширивање по методи гурања користи се за дубоке отворе пречника већи од 80 mm. Проширивање по методи вучења алата користи се за дубоке отворе чији је пречник мањи од 80 mm. Код методе гурања главе за проширивање, глава је оптерећена на притисак, а носач алата на извијање и увијање. Код проширивања по методи вучења, носач алата је напет на истезање. При проширивању полуфабрикат најчешће врши обртно, а алат

праволинијско кретање, а ређе се примењује метод проширивања дубоких отвора с истовременим обртањем полуфабриката и алата. На слици 82 је приказан редослед операција при проширивању цеви. Термички обрађена цев (а), базирана на канал, подвргава се спољној грубој обради стругањем (б). Полуфабрикат се базира преко канала цеви. Грубо спољно стругање (б) се изводи редоследом како је то бројкама означено на скици, при чему стругање (6) и скраћивање (7) представљају операције финог стругања и служе за базирање при грубом проширивању канала (ц).



Слика 82. Шема редоследа спољне и унутрашње обраде цеви [4]

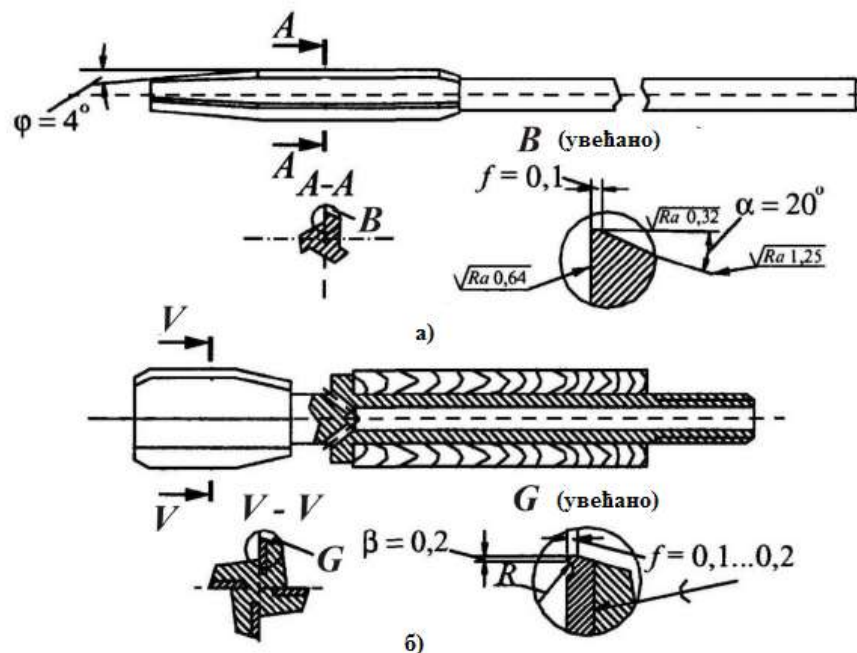
Након грубог проширивања изводи се получиста обрада стругањем спољних површина (82.д) и скраћивање на дужину l . Даље следи получисто проширивање канала, фина спољна обрада и завршно (фино) проширивање канала. Получиста спољна обрада (82.в) представља завршну спољну обраду стругањем.

3.9.1. Алати за проширивање дубоких отвора

Главе за проширивање дубоких отвора у основи се разликују по следећем:

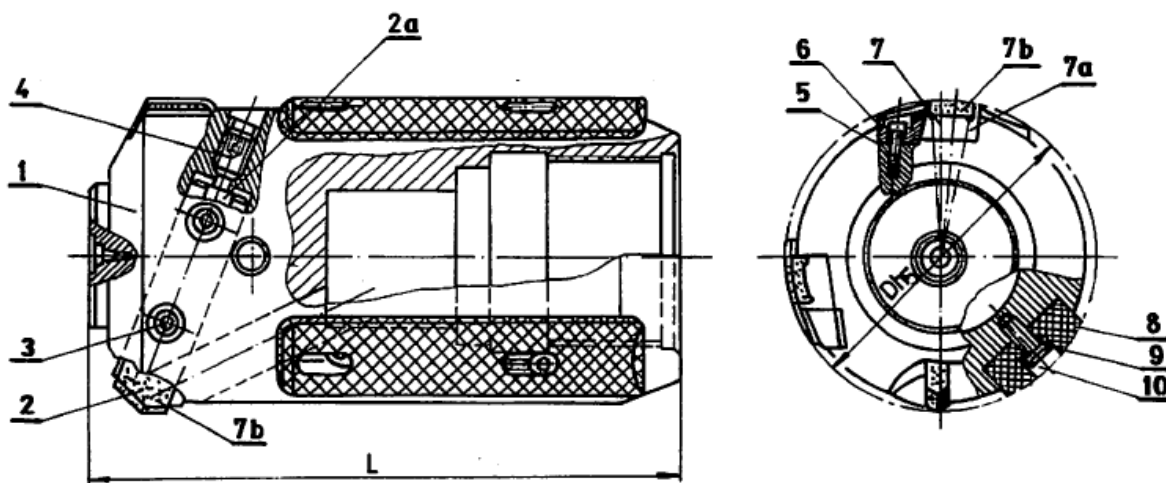
- По броју и положају ножева;
- По начину спајања главе са носачем алата и причвршћивању ножева у телу главе;
- По дељењу додатног материјала за проширивање и начину дробљења струготине.

Полуфино и фино проширивање - развртање отвора цеви оружја после бушења врши се развртачима од алатних челика или ножевима са плочицама од тврде легуре. Развртачи на слици (83.а) раде по методи гурања, а на слици (83.б) по методи вучења.

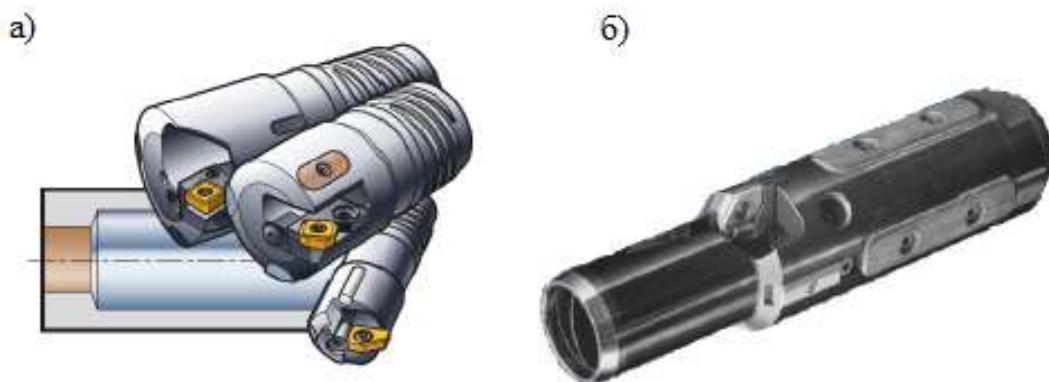


Слика 83. Развртачи за полуфину и фину обраду отвора цеви оружја: а) челични и б) са тврдом легуром [4]

Развртачи са челичним радним делом (према слици 83.а) користе се за обраду отвора стрелачких калибара $4 \div 12$ mm. Развртачи са ножевима од тврде легуре (према слици 83.б) обрађују отворе пречника $10 \div 30$ mm. Они имају испред резних ножева водећу чауру од дрвета. На слици 84 приказана је глава за проширивање дубоких отвора с једним ножем.



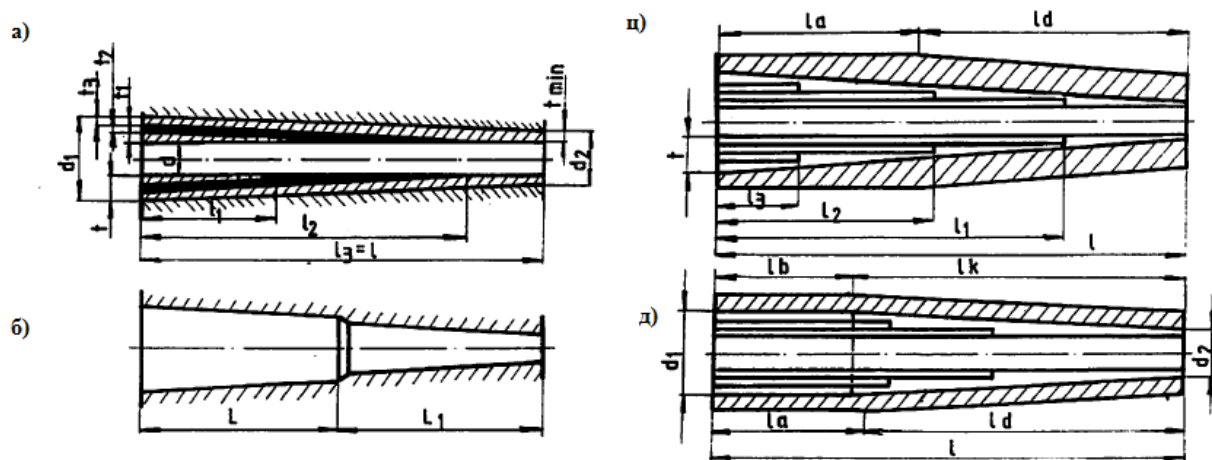
Слика 84. Глава за проширивање дубоких отвора: 1 – тело главе; 2 – нож; 3,4,5,10 – вијак; 6 – притезач; 7,8 – вођица; 9 – подлошка [4]



Слика 85. а) Глава за проширивање дубоких отвора по методи гурања; б) глава за проширивање дубоких отвора по методом вучења [3]

3.10. Проширивање дубоких конусних отвора

Ови конусни отвори раде се код цеви артиљеријских оруђа које се користе као омотачи вишеделних цеви.



Слика 86. Шема проширивања конусних канала: а) канал с једним конусом; б) канал са два конуса; ц) ступенасто проширивање канала с једним конусом ; д) ступенасто проширивање канала са цилиндром и конусом [4]

Конусни отвори обично имају конусност од 0,002 до 0,004. Конусност се одређује по изразу:

$$K = \frac{d_1 - d_2}{l} = 2 \tan \alpha \quad (32)$$

где су:

d_1 и d_2 – највећи и најмањи пречник конусног отвора,

l – дужина конусног отвора, а

α – угао нагиба конуса.

Ако је конусност отвора $K = 0,002 \div 0,004$, онда је пречник d_1 већи од пречника d_2 за 2 или 4 mm на дужини отвора од једног метра. Дужине цеви са конусним отвором крећу се од 2500 до 5500 и више. При дужини цеви изнад 6000 mm најчешће се раде два конуса отвора исте конусности, са малим прелазом који служи као ослонац и спречава уздужно померање уметнуте цеви (алучај б са слике). Пре проширивања конусних отвора, цев пролази механичку обраду: спољну, грубу и полуфину обраду, уз остављање додатака за завршну спољну обраду и полуфино проширивање конусног отвора.

Додаци за проширивање:

- Најмањи додатак

$$t_{min} = \frac{d_2 - d}{2} \quad (33)$$

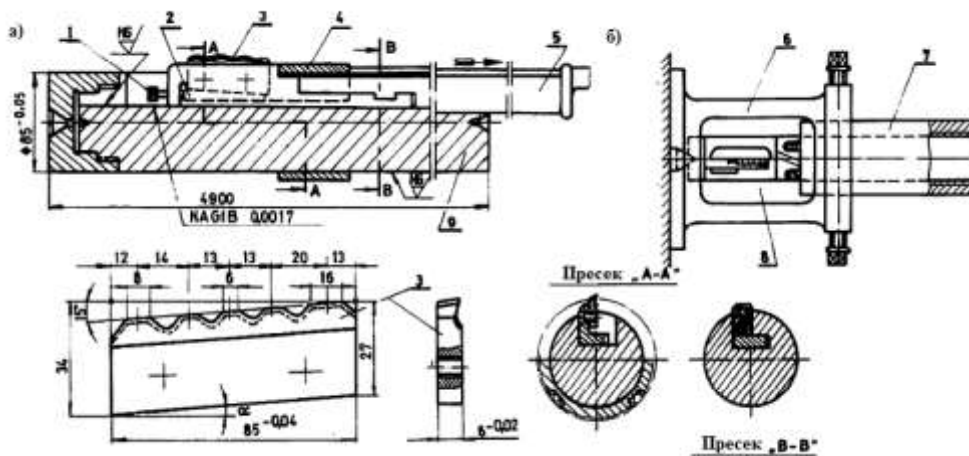
- Највећи додатак

$$t_{max} = \frac{K \cdot l}{2} + t_{min} \quad (34)$$

Минимални додатак t_{min} одређује се на основу практичних могућности проширивања конусних отвора и обично износи 0,8-0,16 mm. Код додатака $t_{max} > 5 \text{ mm}$, проширивање треба вршити са два или више пролаза. Код степенастих цилиндричних отвора дужине l_1 , l_2 , l_3 , задњим пролазом се врши проширивање на конус по целој дужини отвора цеви. Проширивање конусних отвора велике дужине врши се:

- Алатима;
- Уређајима;
- Конструкционим решењима који помоћу стругова са копирима омогућују обраду конусних отвора.

На слици 87 дата је шема копирног алата за израду конусног канала цеви.



Копир (9) има канал L - облика чији нагиб обезбеђује добијање конусног отвора чија је конусност 0,0034. На копиру и његовом наставку постоје средишња гнезда која омогућују центрирање алата при монтажи на машину за обраду конусног отвора. По каналу се помера носач са ножем (3) за проширивање и вучна полука (5). Помоћу клина (2) и вијка (1) омогућено је подешавање оштрица ножа на одређену меру пре и после оштрења. Вучна полука (5) је својим крајем везана за супорт машине. На цилиндрични део копира (9) слободно је навучен водећи прстен (4), чији пречник одговара пречнику d цилиндричног отвора. Укупни зазор између копира (9) и прстена не може да буде већи од 0,05 mm. На слици 87.6 је дата шема постављања алата (8) на струг и стезање цеви (7) у прирубницу. Нож (3) за проширивање има уздужно кретање по каналу копира, а обртно кретање врши радни предмет. Шема уређаја за обраду конусних канала велике дужине приказана је на слици 88.

Глава с ножевима за проширивање (1) помера се по конусу (6), који добија кретање преко пужног преноса (8) на супорту машине. Уздужно кретање се врши помоћу носача алата и супорта за уздужно кретање. Обртно кретање изводи радни предмет. Проширивање почиње од највећег пречника, а завршава се када носач алата с ножевима (1) сиђе на крај конуса (6).

4. Машине за бушење и проширивање дубоких отвора

4.1. Класификација машина за дубоко бушење

За разлику од осталих машина радилица, машине за дубоко бушење су намењене првенствено за обраду комада великих димензија.

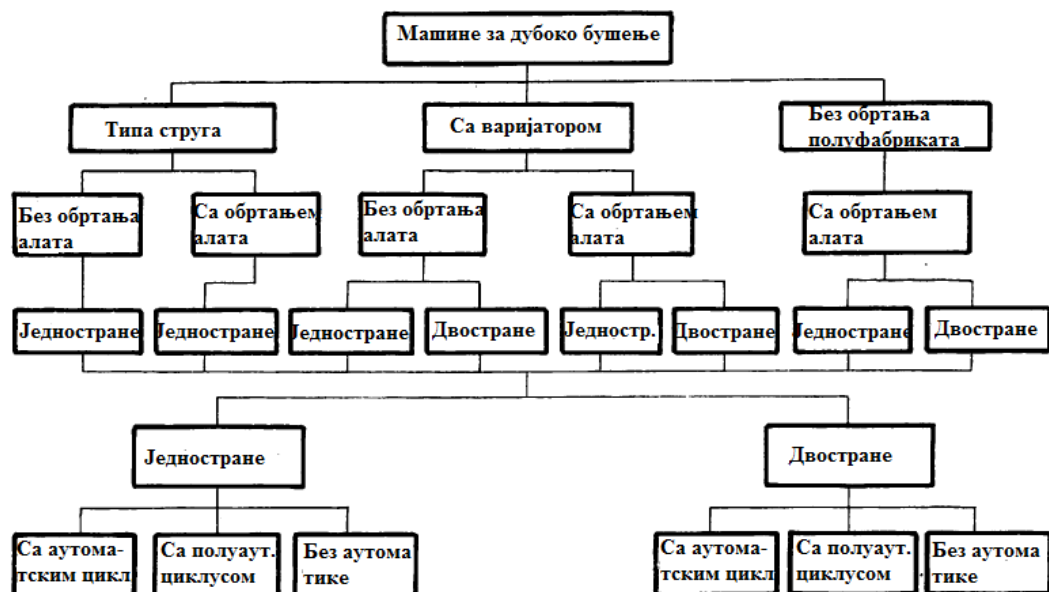
Ове машине имају следеће особине:

1. Машине у погонима заузимају велике површине. Најчешће су хоризонталне, а дужина им је најмање једнака двострукој дужини обрађиваног предмета. Постоља машина се обично конструишу као вишеделна ради лакше израде и монтаже.
2. У саставу машина веома важно место заузимају уређаји за транспорт струготине и течности за хлађење и подмазивањем резног алата. Циркулациони систем обухвата: пумпу, вод за довод хладне течности и зону резања, вод за одвођење струготине, спремик струготине, резервоар течности, магнетне таложнике чврстих честица из течности и хладњака.
3. Сви типови машина за дубоко бушење углавном се могу користити за пуно бушење и проширивање отвора.
4. Уколико дође до квара машине за дубоко бушење, веома је тешко, а често и немогуће, решити израду делова на некој другој опреми. Због тога је при планирању производних капацитета потребно предвидети одређену резерву машинских капацитета за дубоко бушење.

Машине за дубоко бушење морају да задовоље следеће захтеве:

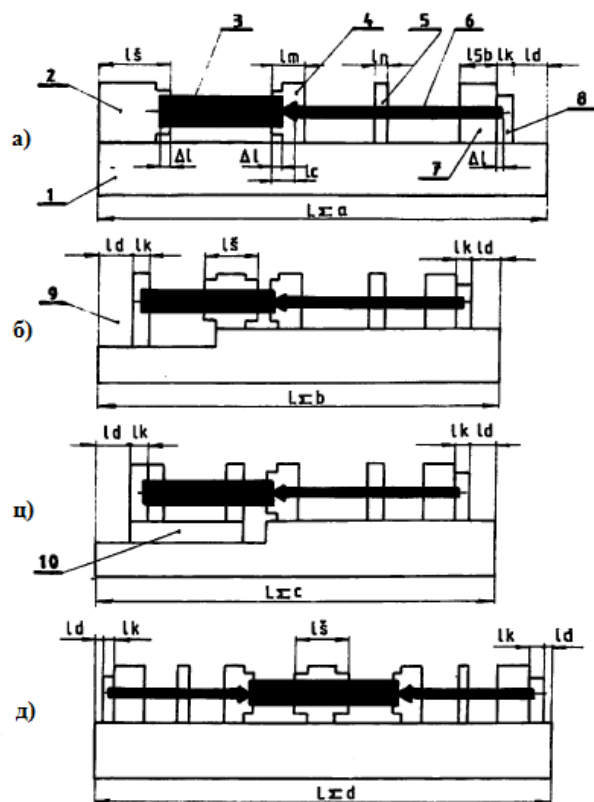
- Једноставно и брзо постављање и скидање предмета рада;
- Потребне режиме обраде, уз континуалну регулацију посмака;
- Непрекидно одвођење струготине;
- Филтрирање и хлађење течности;
- Непрекидну контролу процеса с аутоматским деловањем заштитних уређаја;
- Брзо премештање радних органа машине (супорта, носача алата и др.).

Све машине за дубоко бушење се могу поделити у три основне групе, као што је приказано на слици 89. Свака од машина из поделе на слици 90 предвиђена је за обраду одређених врста полуфабриката.



Слика 89. Шема поделе машина за дубоко бушење [5]

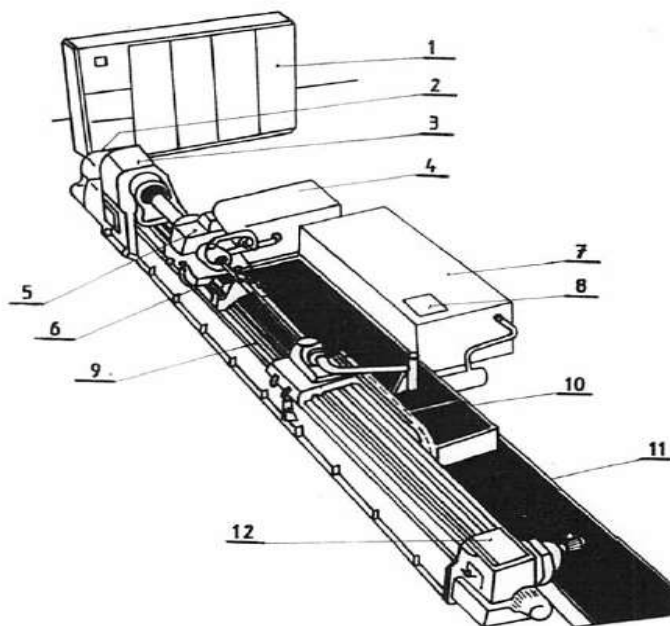
На слици 90 шематски су приказане машине из основне поделе на слици 89.



Слика 90. Машине за дубоко бушење: а) типа струга; б) са варијатором; ц) без обртања радног предмета; д) са двостраним бушењем 1 – постоље; 2 – преносник главног кретања; 3- радни предмет; 4 – апарат за уље; 5 – ослонац носача алата; 6 – носач алата; 7 – преносник помоћног кретања; 8 – скупљач струготине; 9 – кућиште; 10 – саонице [5]

4.1.1. Машине за дубоко бушење типа струга

Шема машине овог типа приказана је на слици 90.а. Преносник главног кретања (2) је аналоган преносницима код стругова. Главно вретено је шупље и прорачунато је на основу великог броја обртаја. Попречни пресек главног вретена је углавном мали. Задњи крај полуфабриката, код кога се изводи дубоко бушење, стеже се помоћу стезне главе која се налази на главном вретену. Предњи крај полуфабриката се поставља у апарат за заптивање (4), уколико се бушење врши с унутрашњим одвођењем струготине. Ако се врши спољно одвођење струготине, онда се предњи крај полуфабриката поставља у линети. Дужи полуфабрикати се додатно ослањају на линету. Носач алата (6) је ослоњен и причвршћен на уздужном супорту или преноснику за помоћно кретање (7). На простору између стегнутног краја носача алата и апарата за заптивање поставља се ослонац носача алата (5). На овом типу машина за дубоко бушење обрађују се ротациони предмети, чије су спољне површине претходно обрађене. Ове машине заузимају велику површину и неекономичне су са становишта утrophка електричне енергије. На слици 92 приказана је бушилица овог типа коју производи италијанска фирма "UTITA". Бушилица је предвиђена за бушење радних предмета пречника до 400 mm и дужине до 2800 mm. На машини је могуће бушити отворе до $\varnothing 120$ mm. Број обртаја главног вретена остварује се помоћу континуалног преносника у границама од 250 до 1700 o/min. Посмак бушења се такође остварује помоћу континуалног преносника и налази се у границама од 40 до 240 mm/min. Убрзано премештање носача алата врши се брзинама до 4 m/min. Укупна снага свих електромотора износи 80 KW.



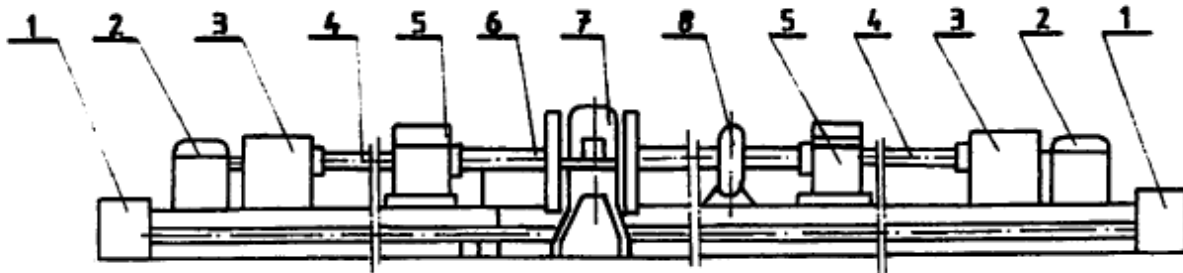
Слика 91. Машина за дубоко бушење AF 55/120 фирме "UTITA": 1 – електроорман; 2 – електромотор главног вретена; 3 - кућиште главног вретена; 4 – хидроагрегат; 5 – апарат за уље; 6 – линета; 7 – резервоар охлађене течности; 8 – магнетни сепаратор; 9 – супорт; 10 – сакупљач струготине; 11 – резервоар; 12 – кућиште погона помоћног кретања [5]



Слика 92. Машина за дубоко бушење фирма "UNISING" [11]

4.1.2. Машине за дубоко бушење с варијатором

Код бушилаца овог типа (слика 90.б) радни предмети се делимично постављају у шупље вретено преносника главног кретања који се назива варијатором. Варијатор представља шупље вретено преносника главног кретања. Варијатор, у поређењу са главним вретеном бушилаца типа струга, има знатно већи попречни пресек. На слици 93 шематски је приказана бушилица фирме "ZOEST" за дубоко двострано бушење с варијатором чији је пречник отвора 350 mm и за дужине полуфабриката до 7000 mm.



Слика 93. Машина с варијатором за двострано бушење дубоких отвора: 1 – кућиште помоћног кретања; 2 – скупљач струготине; 3 – кућиште носача алата; 4 – носач алата; 5 – апарат за уље; 6 – полуфабрикат; 7 – варијатор; 8 – линета [5]

На овим машинама обрађују се делови који при дубоком бушењу не смеју да имају велики број обртаја:

- ❖ Отковци, ваљани и други делови који нису ротационог облика.

Димензионисање вретена варијатора врши се на основу брзине бушења која се код машина које раде са истовременим обртањем радног предмета и алата одређује из обрасца:

$$V_b = \frac{d(n_p \pm n_a)}{1000} \quad (35)$$

где су:

d - Пречник бушења, mm,

n_a - Број обртаја алата, o/min

n_p - Број обртаја радног предмета, o/min.

Знак " плус" се ставља при обртању радног предмета и алата у истом смеру, а знак " минус"при обртању радног предмета и алата у различитим смеровима.

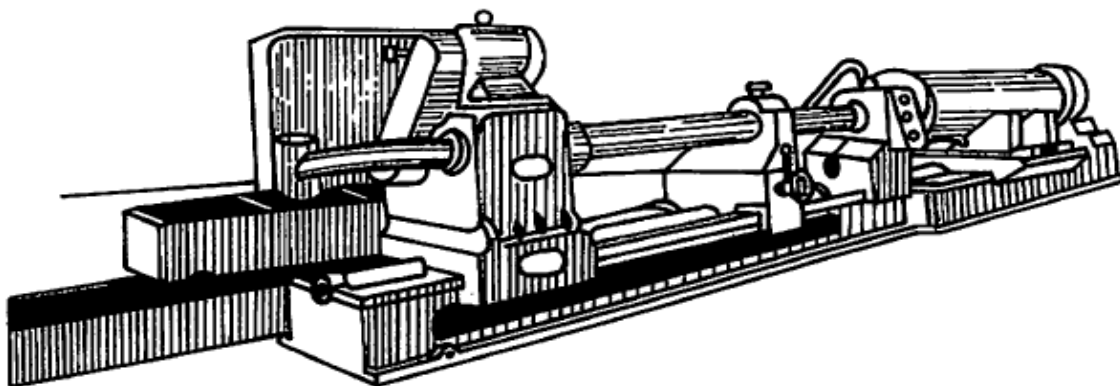


Слика 94. ВТА машине за бушење дубоких отвора [11]

4.1.3. Машине за дубоко бушење код којих се не обрће полуфабрикат

При бушењу дубоких отвора не обрће се радни предмет, а његовим померањем попречно на уздужну осу машине, могуће је бушити два или више паралелних отвора. Недостатак овог типа бушилаца је низак квалитет обрађене површине. Најчешће се користе за дубоко бушење полуфабриката чије је обртање отежано или немогуће. Машине је могуће користити и за двострано бушење полуфабриката. Буши пречнике до 200 mm и дужине до 3500 mm. Постоје два типа ових машина:

- Машине с уздужно покретним кућиштем за стезање алата и
- Машине с уздужно покретним столом за стезање радног предмета.



Слика 95. Машина за дубоко бушење, производње фирме "UTITA" [5]



Слика 96. Машина за дубоко бушење фирме "UNISING" [3]

4.1.4. Машине за двострано дубоко бушење

Машине овог типа (слика 90.д) намењене су за обраду полуфабриката с отворима великих дубина у високосеријској и масовној производњи. Карактерише их висока производност, јер се време бушења двоструко смањује у односу на време бушења истих радних предмета на другим машинама. Код ових бушилица за бушење истих радних предмета потребна је двоструко већа снага електромотора у односу на друге типове бушилица. Недостатак им је што користе леве и десне главе за дубоко бушење, чиме се повећава номенклатура потребних алата. Специфични дефекти на избушеним полуфабрикатима који се везују за овај тип машине јесу:

- ❖ Прелом осе дубоког отвора и
- ❖ Одступања осе отвора од предвиђеног правца.



Слика 97. *Машина за двострано дубоко бушење [12]*



Слика 98. *Машина за дубоко бушење мањих калибра фирме "UNISING" [13]*

5. Закључак

Технологија производње наоружања у једној фабрици зависи од врсте и технолошког нивоа фабрике, те конструкционе сложености и величине серије производа. У производњи се истовремено може налазити један или више производа који су различите конструкције и технолошке сложености.

Циљ овог рада био је приказати израду цеви оружја дубоким бушењем, затим прорачун добијања дужине цеви, као и осцилације цеви које се могу јавити при гађању. Улога цеви је најважнија, јер служи да се у њој изврши опаљење метка. Један од најчешћих проблема који се јављају код цеви током гађања из оружја јесте загревање цеви, као и њено хлађење. Мерења су код реализованих модела показала да се цеви са ребрима незнатно брже хладе од цеви без ребара, приближно исте масе и дебљине зидова. Унутрашњи отвор цеви оружја/оруђа је ожљебљен, што даје пројектилу обртно кретање и већу прецизност. У поглављу два је детаљно описано ожљебљење. Ожљебљење може бити: протискивањем трном, хладним ковањем на трну, електрохемијско и обрадом хладним ротационим истискивањем. Као завршна обрада унутрашњости цеви оружја/оруђа у поглављу два су описани технолошки поступци. Разликују се три технолошка поступка: хоновање, полирање, љуштење и роловање.

Код дубоког бушења највећи проблем је хлађење алата и крутост алата, због тога је развијено више поступака дубокога бушења. Разликују се три поступка дубоког бушења: бушење отвора топовском бургијом, STS поступак бушења отвора и бушење ејекторским поступком. У раду су објашњени ти поступци, а затим су наведени који принцип одвођења струготине имају. Поступак дубоког бушења се користи за обезбеђивање више производности у односу на расположиве поступке, у случајевима када се од делова захтева висока тачност и квалитет површина дубоких отвора. Дубоки отвори се добијају континуалним бушењем одвођења струготине, уз помоћ течности. Понекад се за одвођење струготине уместо течности користи компримирани ваздух. При дубоком бушењу алат је изложен најтежим условима рада. Алати за дубоко бушење се деле у три групе: алати за пуно бушење, алати за прстенасто бушење и алати за проширивање дубоких отвора. У поглављу три приказане су бургије са једним и два ножа за пуно бушење, фирме Botek. Детаљно су описани алати за дубоко бушење малих отвора, алати за дубоко бушење средњих пречника са одређеним базирањем, алати за дубоко прстенасто бушење и алати за проширивање дубоких отвора. Код алата за дубоко бушење средњих пречника, алати могу бити са једним, два и три ножа, чија је конструкција приказана у поглављу три, као и примери бургија са три ножа, Botek type 70A и Sandvik corodrill 800.20. Алати за дубоко прстенасто бушење, такође могу бити са једним и два ножа. Алати за прстенасто дубоко бушење са два ножа предвиђени су за бушење отвора пречника $110 \div 220$ mm. Разликују се две методе проширивања: проширивање гурањем и проширивање вучењем. Главе алата за проширивање дубоких отвора по методи гурања и по методи вучења су приказана у поглављу три. Данас постоји велики број алата доступних на тржишту за различита бушења дубоких отвора.

Најодговарајуће су бушилице за дубоко бушење с варијаторима и бушилице код којих се не обрће радни предмет. Мање су одговарајуће бушилице типа струга. Највеће површине заузимају бушилице за двострано бушење. У производњи наоружања сусрећу се веома сложени правилни и неправилни геометријски облици који се обрађују глодањем. Да би се постигла максимална заменљивост делова и утицај радника на квалитет свео се на најмању меру, све више се у производњи уводе NC и CNC глодалице.

6. Литература

- [1]Ристић З., Јаковљевић М., (2001): Основи наоружања, Војна академија, Београд.
- [2]А. Кари, Конструкција аутоматског наоружања, презентације за наставу, Војна академија, Београд.
- [3]Маринко Петровић, Технологија производње наоружања, презентације за наставу, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2018.
- [4]Маринко Петровић, Технологија производње наоружања, Факултет инжењерских наука, Крагујевац 2017, књига у рукопису.
- [5]Павелић В. (1988): Технологије производње наоружања, Центар војнотехничких школа, Загреб.
- [6]http://repozitorij.fsb.hr/3221/1/Fumic_2015_zavrsni_preddiplomski.pdf (преузето 19.07.2018. год)
- [7]<https://www.scribd.com/document/335029623/04-03-2011-Zavrsni-Tomislav-Jaklenec-Got> (преузето 19.07.2018. год)
- [8]http://repozitorij.fsb.hr/443/1/15_01_2009_DIPLOMSKI_RAD_Mario_Salopek_FSB_Zagreb.pdf (преузето 21.07.2018. год)
- [9] <http://focusferramentas.com.br/catalogos.html> (преузето 21.07.2018. год)
- [10]<http://teco.net.au/pdf/botek/deep-hole-drilling-tools-ejector-system.pdf> (преузето 01.08.2018. год)
- [11]<http://www.unisig.com/products-and-technology/machines/> (преузето 01.08.2018. год)
- [12]<https://www.ame.com/gun-drilling-machines> (преузето 01.08.2018. год)
- [13]<https://vimeo.com/channels/unisig/115281160> (преузето 06.08.2018. год)