

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Војна академија Универзитета одбране у Београду



Назив студијског програма: Војноиндустријско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Наоружање

Предмет: Производне технологије

Број индекса: 509/2012

Милан Ј. Чукановић

Технологија израде цеви резањем

Дипломски рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Проф. др Богдан Недић - ментор
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

Крагујевац, септембар, 2016.

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да:

Приликом израде рада неопходно је описати основне поступке обраде отвора. Потребно је описати поступак дубоког бушења, методе које се примењују том приликом, утицај сила које делују на алат и врсте машина које се користе. Сагледати рад уређаја који функционишу у оквиру машине за дубоко бушење, то се пре свега односи на систем за хлађење и одвођење струготине и систем за заптивање. На основу прикупљене литературе, између осталог и из каталога иностраних фирми, треба указати на нове правце развоја алата и машина за дубоко бушење. Код израде цеви захтева се одређени квалитет обрађене површине, у том погледу треба описати завршне методе које се примењују за обраду канала цеви.

Препоручена литература:

Винко Павелић: Технологија производње наоружања, Центар војнотехничких школа KoV JNA, Загреб, 1988.

Audrey S. Taptun: Production of artillery systems, US Army Foreign Science and Technology Center, 1972.

Крагујевац, септембар 2016.

ментор:

Проф. др Богдан Недић

Резиме

У оквиру рада представљене су технологије које се користе при изради цеви наоружања. У раду глави акценат је дат на опис технологија дубоког бушења. Представљене су карактеристике самог процеса и специфичности које га прате. Описане су савремене методе које се користе приликом обраде дубоким бушењем (бушење топовском бургијом, STS односно ВТА поступак и ејектоски поступак). Посебан акценат дат је на силе које делује на алат у току бушења, као и машине које се примењују за овај поступак. Након тога описане су завршне методе обраде цеви које треба да задовоље захтеве у погледу квалитета обрађене површине (хоновање и полирање), као и алати који се приликом тих обрада користе.

Кључне речи: дубоко бушење, обрада метала резањем, хоновање, полирање.

Abstract

In the paper itself are presented technologies that are used in the process of making the pipes of the weapon. The main accent is on a description of the technology of deep drilling. The characteristics of the process itself, as well as specificities that are following it are also presented. The modern methods that are used during processing with deep drilling are described(gun drilling, STS system, ejector system). The special focus is on forces that are influencing on tools during drilling, as well as on machines that are used for this procedure. After that it was made a description of final methods of processing the pipes that need to satisfy the requests regarding to quality of the processed surface area; those are processes of honing and polishing, as well as tools that are used in the processing.

Key words: deep drilling, metal cutting, honing, polishing.

Садржај

1. Увод	5
2. Поступци обраде отвора	7
2.1. Бушење	7
2.2. Упуштање и проширивање.....	8
2.3. Развртање	9
3. Дубоко бушење.....	10
3.1. Поступци дубоког бушења.....	13
3.1.1. Бушење отвора топовском бургијом	13
3.1.2. Бушење отвора STS поступком (бушење отвора ВТА поступком).....	14
3.1.3. Бушење ејекторским поступком (DTS поступак)	15
3.2. Алати за дубоко бушење	17
3.2.1. Алати за дубоко бушење малих отвора.....	19
3.2.2. Алати за дубоко бушење средњих и великих пречника.....	24
3.3. Дефекти при бушењу дубоких отвора.....	33
3.4. Проширивање дубоких отвора.....	35
3.4.1. Алати за проширивање дубоких отвора.....	37
4. Машине за израду дубоких отвора	38
4.2. Машине за дубоко бушење типа струга.....	39
4.3. Машине за дубоко бушење са варијатором	40
4.3. Машине за дубоко бушење код којих се не обрће предмет обраде	43
5. Завршне обраде цеви.....	45
5.1. Хоновање.....	45
5.2. Полирање	50
6.Закључак.....	52

1. Увод

Поступци обраде метала резањем су поступци обликовања (промене облика, димензија, храпавости обрађене површине и карактеристика површинског слоја) уклањањем вишка материјала механичким дејством резног алата на предмет обраде.

Главна карактеристика поступака резањем је да се обрада врши одвајањем струготине захваљујући дејству алата дефинисане или недефинисане резне геометрије (облика резног клина) или пак одвајањем ситних, микронских честица захваљујући дејству различитих физичко-хемијских процеса. Овакав опсег различитих обрада условљен је пре свега, захтевима производње делова веће тачности мера и облика, као и квалитета обрађене површине који се другим поступцима (поступци ливења, синтеровања, обраде деформацијом итд.) тешко, или уопште не могу постићи.

Поступци обраде метала резањем имају велику улогу код израде наоружања, због захтеване тачности код израде појединих делова наоружања. То се посебно односи на цеви које представљају главно део ових система. Цеви наоружања се конструкционо изводе као моноблок или вишеделне. Моноблок цеви се израђују из једног полуфабриката, док се вишеделне цеви израђују из више полуфабриката који се након обраде спајају обрадом пресовања у топлој стању или на неки други начин. У неким случајевима спољна цев се навлачи на унутрашњу, са одређеним зазорима. Поступак израде цеви је прилично сложен и захтева низ операција, које је неопходно извршити одређеним редоследом. Операција дубоког бушења је незаобилазан поступак при изради цеви као стрељачког тако и артиљериског наоружања, јер се ради о деловима код којих је дужина много већа у односу на пречник. Сам поступак израде цеви започиње загревањем ингота, који прате поступци ковања и жарења. После термичких обрада следи процес дубоког бушења. Након бушења канала цеви врши се термичка обрада па исправљање цеви. Затим обрада на стругу, проширивање канала цеви па проширивање барутне коморе. Следећа операција је олучење канала цеви, после чега долазе завршне обраде хоновања и полирања. Када се заврше све обраде неопходно је извршити контролу добијене цеви.

Дозвољено одступање пречника канала цеви d увек је позитивно и креће се у границама од 0,1 до 0,2 mm. Мања вредност се узима за пречнике канала од 45 до 85 mm, а већа вредност за пречнике канала изнад 85 mm. Квалитет обраде канала цеви и барутне коморе одговара класи храпавости N5 или N6, а остварује се полирањем и хоновањем. Термички обрађена цев, базирана на канал, подвргава се спољној грубој обради стругањем. Полуфабрикат се базира преко канала цеви. Грубо спољно стругање се изводи одређеним редоследом, при чему стругање и скраћивање представљају операције финог стругања и служе за базирање при грубом проширивању канала. После грубог проширивања изводи се полукрива обрада

стругањем спољних површина и скраћивање на одређену дужину. Даље следи получисто проширивање канала, фина спољна обрада и завршно (фино) проширивање канала. Код већег броја артиљеријских цеви, изузев оних великих дужина и танкозидних цеви, получиста спољна обрада представља завршну спољну обраду стругањем. После fine обраде канала цеви, врши се обрада барутне коморе уз остављање додатака дуж целог канала цеви за завршне операције хоновања и полирања.

У материјалу полуфабриката остају након термичке обраде унутрашњи напони који, после скидања струготине механичком обрадом, изазивају деформације. Услед деформација код цеви се јавља искривљеност, а њена последица је различита дебљина зидова цеви. Да би се одстранила искривљеност и различите дебљине зидова цеви, неопходно је при механичкој обради наизменично изводити операције спољне обраде стругањем, а затим операције проширивања цеви. Такође ако се проширивање врши из више пролаза, при сваком следећем пролазу треба окренути предмет обраде и вршити проширивање са супротне стране.

Друго поглавље обухвата поступке обраде отвора, где су описани главни поступци обраде (бушење, упуштање и проширивање, развртање). Треће поглавље се односи на операције дубоког бушења које су карактеристичне по томе што је пречник отвора много мањи од дубине самог отвора, што захтева посебне услове рада. У овом поглављу представљене су методе дубоког бушења које се примењују, поступци израде дубоких отвора, врсте алата које се користе и њихова конструкциона решења, силе које делују на главу алата и резну плочицу у процесу дубоког бушења. Након тога, у четвртном поглављу су описане машине које се користе за израду дубоких отвора. Завршне обраде су представљене у петом поглављу. Код израде цеви као завршне обраде користе се обрада хоновањем и обрада полирањем, да би се постигао захтевани квалитет обрађене површине. Такође су приказани алати који се употребљавају приликом ових обрада.

2. Поступци обраде отвора

Поступци обраде отвора представљају групу поступака којима се израђују пролазни и непролазни отвори различите тачности и квалитета обрађене површине. То су поступци обраде вишесечним алатима при чему свака резна ивица алата реже исту струготину. Постоје три главне групе поступака:

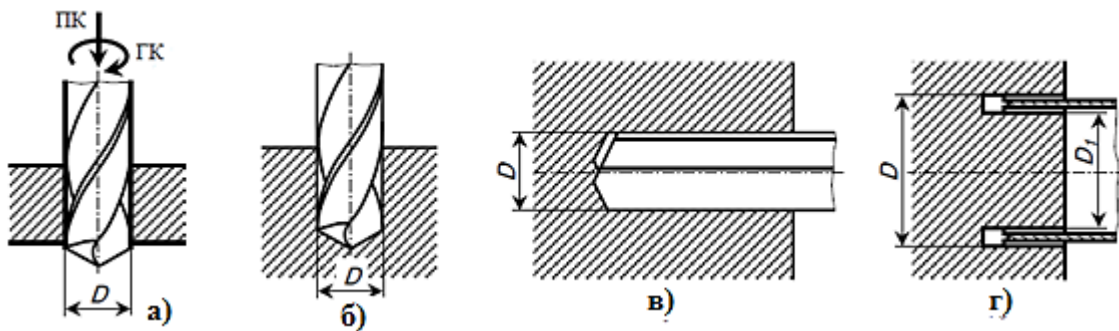
- Бушење
- Упуштање и проширивање
- Развртање

2.1. Бушење

Бушење је поступак којим се у пуном комаду, коришћењем одговарајућег алата – бургије, израђују пролазни и непролазни отвори. Бушење пролазног отвора завојном цилиндричном бургијом приказано је на слици 2.1 а), а на слици 2.1 б) бушење непролазног отвора завојном цилиндричном бургијом. Главно и помоћно кретање виши алат – бургија. Главно кретање представља обртно кретање алата, а помоћно кретање представља праволиниско кретање алата. Карактеристика бушења је да се у току обраде попречни пресек струготине не мења. Само променом посмака пре почетка обраде могуће је мењати пресек струготине. При класичном бушењу се не може постићи нарочита тачност отвора, нити квалитет обрађене површине. Класичним бушењем се назива бушење при коме дужина отвора не прелази од 5 до 8 пречника бургије, из разлога што код прекорачења овог односа долази до отежаног одвођења струготине уздужним жлебовима на бургији (који служе за одвођење струготине из зоне резања).

Бушење дубоких отвора је поступак израде отвора са употребом посебних алата. На слици 2.1 в) приказана је израда дубоког бушења употребом такозване топовске или вретенасте бургије. При дубоком бушењу топовском бургијом главно и помоћно кретање, као код класичног бушења врши алат, мада су могуће и друге опције.

Бушење са језгром слика 2.1 г) представља посебан поступак израде отвора при чему се коришћењем алата у облику цеви са формираним резним ивицама на ободу, врши исецање дела материјала у облику цилиндра. На тај начин се израђује отвор пречника D , а истовремено остаје језгро пречника D_1 . За бушење са језгром отвора мањих и средњих пречника користе се крунасте и цевасте бургије. Док за бушење већих отвора користе се специјалне бургије за дубоко бушење са језгром. [1]



Слика 2.1. Основне врсте бушења [1]

2.2. Упуштање и проширивање

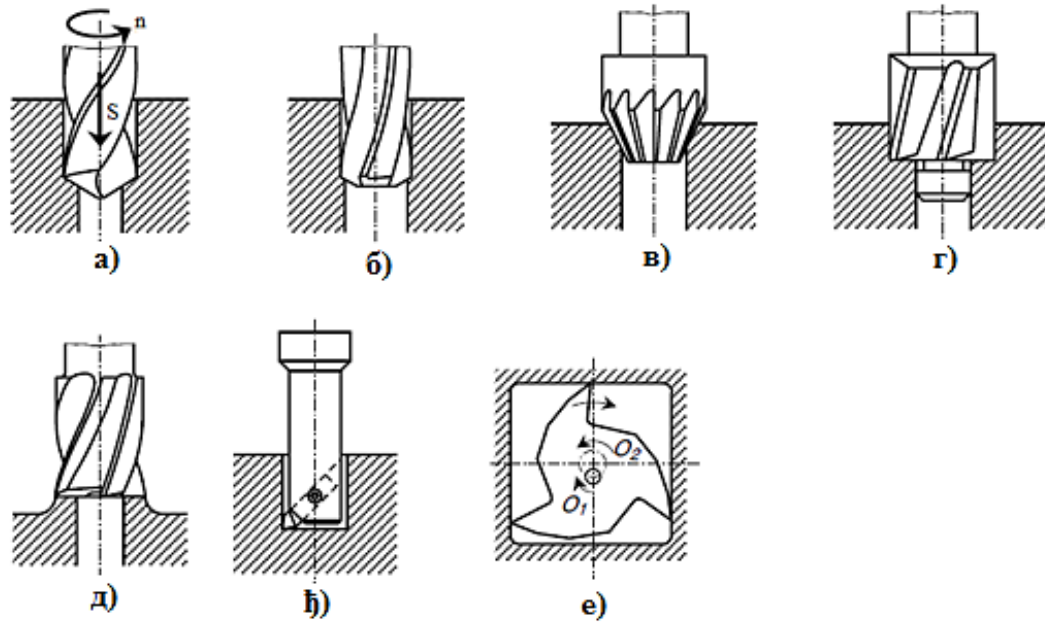
Упуштање и проширивање представљају поступак обраде већ избушених отвора или отвора формираних ливењем или ковањем. Главно кретање представља обртно кретање алата, а помоћно аксијално померање такође врши алат. Проширивање представља операцију ширења већ избушеног отвора слика 2.2 а) и ако се као алат користи завојна бургија, тада се ради о такозваном грубом проширивању или разбушивању. Принцип који се у пракси често користи је бушење у пуни материјал, после чега следи једно или више проширивања са повећањем отвора за око 60% од претходног избушеног. Тако се на пример отвор $\varnothing 25 \text{ mm}$, прво буши бургијом $\varnothing 10 \text{ mm}$ затим проширује бургијом $\varnothing 16 \text{ mm}$ и коначно бургијом $\varnothing 25 \text{ mm}$.

Фино проширивање слика 2.2 б) је таква операција где се са посебним алатом – проширивачем претходно избушен отвор фино проширује с циљем добијања квалитета површине и тачности отвора. Као алат за фино проширивање користе се разне врсте проширивача; завојни, насадни, од брзорезног челика, од тврдог метала и тд. Слика 2.2 в), г) и д) представљају операције упуштања отвора при чему се крајевима отвора дају другачији облици, на пример конусни слика 2.2 в), степенасте слика 2.2 г). Такође упуштањем се могу обрађивати и насадне површине на отворима слика 2.2 д).

Операција проширивања и упуштања употребом једносечног упуштача (проширивача), слика 2.2 ђ) може се сврстати и у унутрашње стругање, с обзиром да је алат једносечан и врло сличан стругарском ножу за унутрашњу обраду. Овде алат врши главно обртно кретање тако да се не може рећи да је унутрашње стругање у питању, јер код стругања обрадак врши главно обртно кретање.

Посебна операција упуштања с циљем промене облика отвора је обрада многоуглих отвора. На слици 2.2 е) приказана је обрада четвороугаоног отвора коришћењем специјалног алата. Алат у овом случају врши главно обртно кретање око своје осе O_1 а истовремено и кружно кретање по кружници O_2 . Смер обртања алата око своје осе мора бити супротан смеру кружног кретања његовог центра по кружници O_2 . Упуштач (проширивач) који се користи за

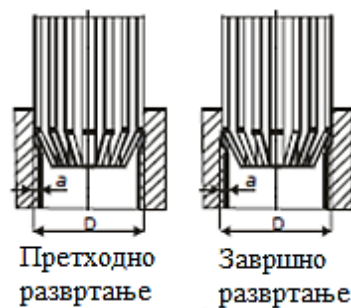
ову операцију је специјалног облика (мали углови резног клина, велики леђни углови и засечене леђне површине) и има за једну резну ивицу (зуб) мање него што отвор који се обрађује има страница. [1]



Слика 2.2. Основне операције упуштања и проширивања [1]

2.3. Развртање

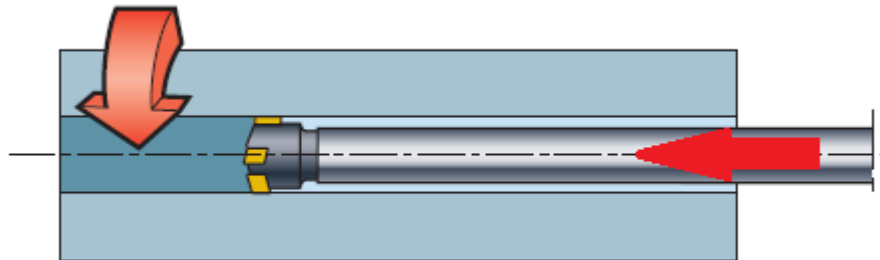
Развртање представља поступак најфинијег ширења (проширивања) отвора који су претходно фино обрађени употребом проширивача. Развртањем се повећава тачност мера (димензија) отвора, а истовремено се смањује храпавост обрађене површине. Обично се поступак развртања састоји од претходног и завршног развртања, а добија се квалитат обрађене површине N5 до N6 (са $R_a = 0,4$ до $0,8 \mu m$, односно $R_a = 2,5$ до $5,0 \mu m$). На слици 2.3 приказан је поступак развртања где нам главно – обртно и помоћно – праволиниско кретање врши алат. Алати за развртање се називају развртачи. При развртању се скида веома танак слој материјала (веома мала дубина резања) на рачун чега се постиже најбољи квалитет обраде. [1]



Слика 2.3. Развртање [1]

3. Дубоко бушење

У свим областима машинства примењују се делови који имају дубоке отворе. Данас имамо масовне потребе за деловима са дубоким отворима и деловима који се јављају у општем и војном машинству, нафтној индустрији и другим областима. Они се производе различитим поступцима, са различитим тачностима и квалитетима обрађених површина. Материјали од којих се раде делови са дубоким отворима су разних квалитета, а имају широк дијапазон пречника и дужина. Велики број металних и неметалних делова са дубоким отворима се не раде поступком дубоког бушења већ другим техничким поступцима, као што су: ливење, савијање лимова уз накнадно заваривање у цилиндри, разни поступци извлачења, ваљање, електроерозивне методе. Поступак дубоког бушења се користи за обезбеђивање веће продуктивности у односу на расположиве поступке, као и у случајевима када се од делова захтева висока тачност и квалитет површина дубоких отвора. Дубоки отвори се добијају непрекидним бушењем уз принудно спољно или унутрашње одвођење струготине, и то помоћу течности која се у зону резања доводи под притиском. Понекад се за одвођење струготине уместо течности користи компримовани ваздух. Захваљујући томе што припремци цеви стрелачког и аутоматског топовског оружја практично увек представљају обртна тела и што су њихови габарити и масе релативно мали, њихова кинематика бушења је следећа: припремак се окреће, док алат има кретање погона, као на слици 3.1. [3]

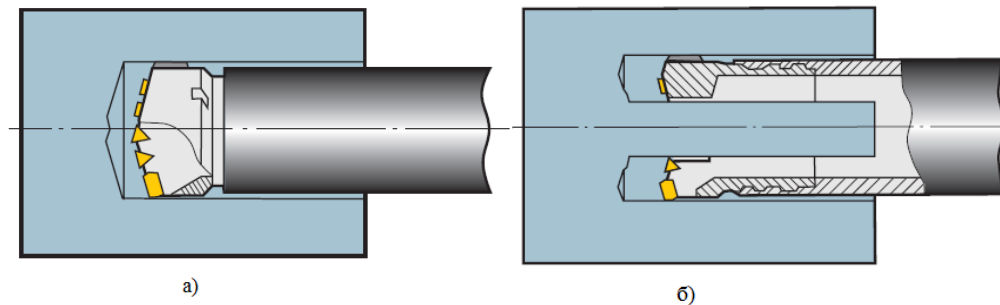


Слика 3.1. Кинематика бушења цеви стрелачког и аутоматског топовског оружја [2]

Специфичност операција дубоког бушења састоји се у томе што алат себи мора створити пут у пуном материјалу, без претходно обезбеђених ослонаца и чврстог вођења. Од квалитета оствареног дубоким бушењем зависи број структура осталих технолошких операција. Код дубоког бушења се разликује пуно и прстенасто бушење (бушење са вађењем језгра), (слика 3.2). [3]

При пуном бушењу (слика 3.2, а), сав материјал из будућег дубоког отвора се претвара у струготину, а при прстенастом бушењу, у струготину се претвара прстена запремина материјала (слика 3.2, б). У средшту отвора ствара се језгро које се може употребити за разне 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.



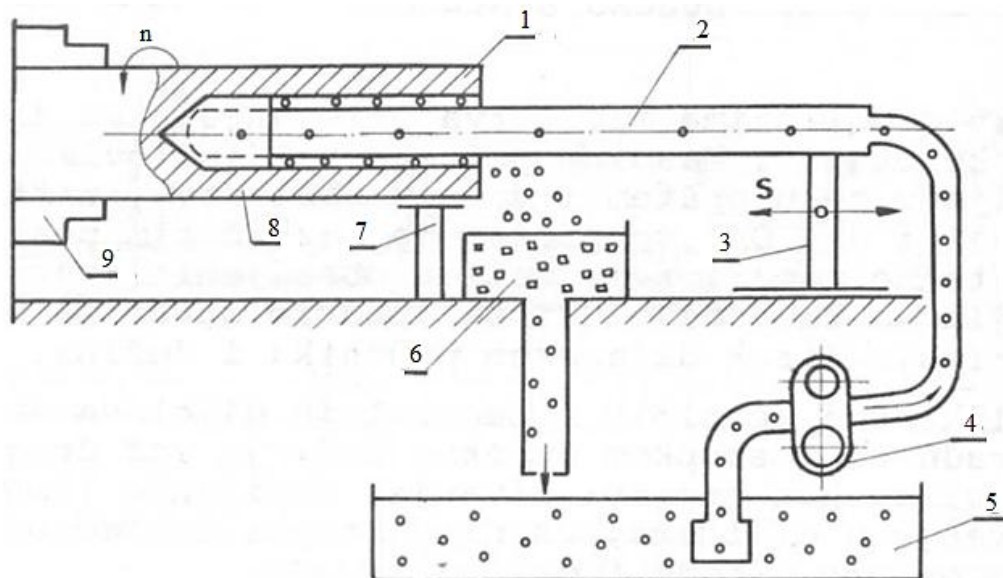
Слика 3.2. Врсте дубоког бушења: а) пуно бушење, б) прстенасто бушење [2]

У највећем броју случајева, када је потребно бушити слепе отворе, изводи се поступак пуног дубоког бушења. Када се буше пуни отвори велике релативне дубине или тешко обрадиви материјали, изводи се двострано бушење.

На сликама 3.3 и 3.4 дат је шематски приказ дубоког бушења према начину одвођења струготине. Раликујемо две методе дубоког бушења са:

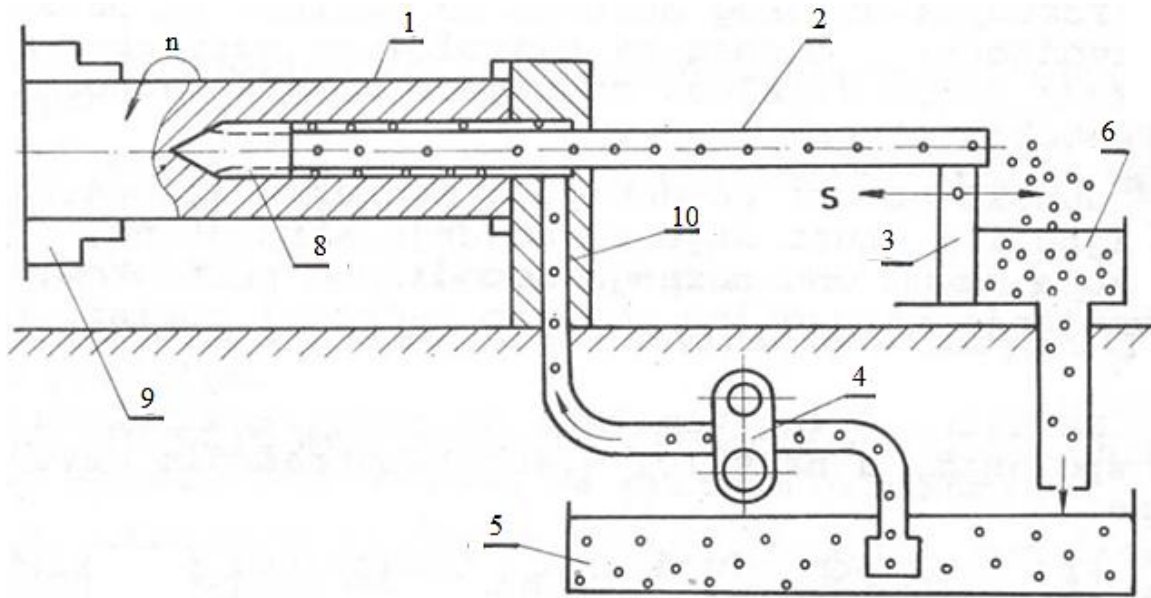
- спољним одвођењем струготине
- унутрашњим одвођењем струготине

Код спољњег одвођења 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 контејнер струготине (6) где се задржава, а течност одлази у резервоар (слика 3.3). [3]



Слика 3.3. Шема спољњег одвођења струготине [3]

При унутрашњем одвођењу струготине, које је приказано на слици 3.4, течност се доводи у апарат за заптивање (10), а онда, између зидова 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 контејнера са струготином (6). Радни предмет се стеже у радној глави (9) бушилице, а ослања се предњим крајем на лимету (7) или апарат за заптивање (10). Носач алата се премешта помоћу супорта (3).



Слика 3.4. Шема са унутрашњим одвођењем струготине [3]

Пројектовани поступак дубоког бушења обично се оцењује са три показатеља:

- производношћу
- степеном остварених захтева за радни предмет
- ценом делова, односно операција, добијених дубоким бушењем

Производност дубоког бушења се оцењује преко дужине остварене бушотине и току једног сата бушења.

$$L_h = 0,05 \cdot S \cdot n \text{ [m/h]} \quad (3.1)$$

или

$$L_H = 0,05 \cdot \frac{S}{d} \cdot V \text{ [m/h]} \quad (3.2)$$

где је:

S – посмак за један обрт алата, mm/obr

V – брзина резања при бушењу, m/min

d – пречник бушења, mm

n – број обрта радног предмета при бушењу, o/min

Оцена производности дубоког бушења чешће се изражава бројем комада који се избуше за једну серију:

$$K_s = \frac{60(T_s + T_o)}{t_k}, (\text{komada/smeni}) \quad (3.3)$$

T_s – време бушења у једној смени, h

T_o – губитак времена у односу на време пројектовано режимима обраде у смени, h

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

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. На основу чега се може закључити да цену технолошке операције не треба посматрати изоловано, већ у склопу цене комплетне обраде радног предмета код кога је изведена операција дубоког бушења. [3]

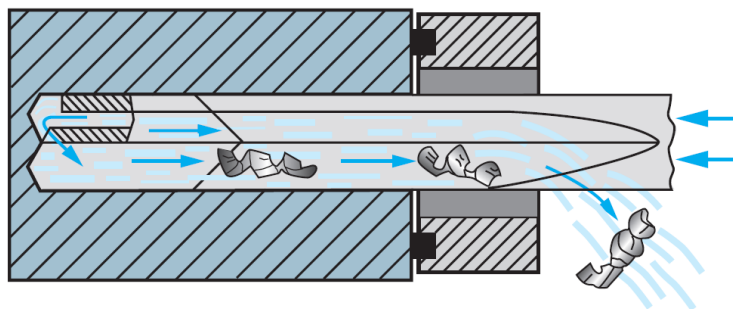
3.1. Поступци дубоког бушења

Дубоким бушењем се сматра бушење отвора дубљих од $10xD$. Дубина која се може постићи са резним алатима за дубоко бушење се креће и преко $150xD$. У већини случајева код дубоког бушења главно ротационо кретање врши предмет обраде, а праволинијско помоћно кретање врши алат. Код дубоког бушења главни проблем је хлађење алата и крутост алата, због тога је развијено више поступака дубоког бушења: [2]

- Бушење отвора топовском бургијом
- Бушење отвора STS поступком (бушење отвора ВТА поступком)
- Бушење ејекторским поступком (DTS поступак)
- Бушење отвора спиралном бургијом

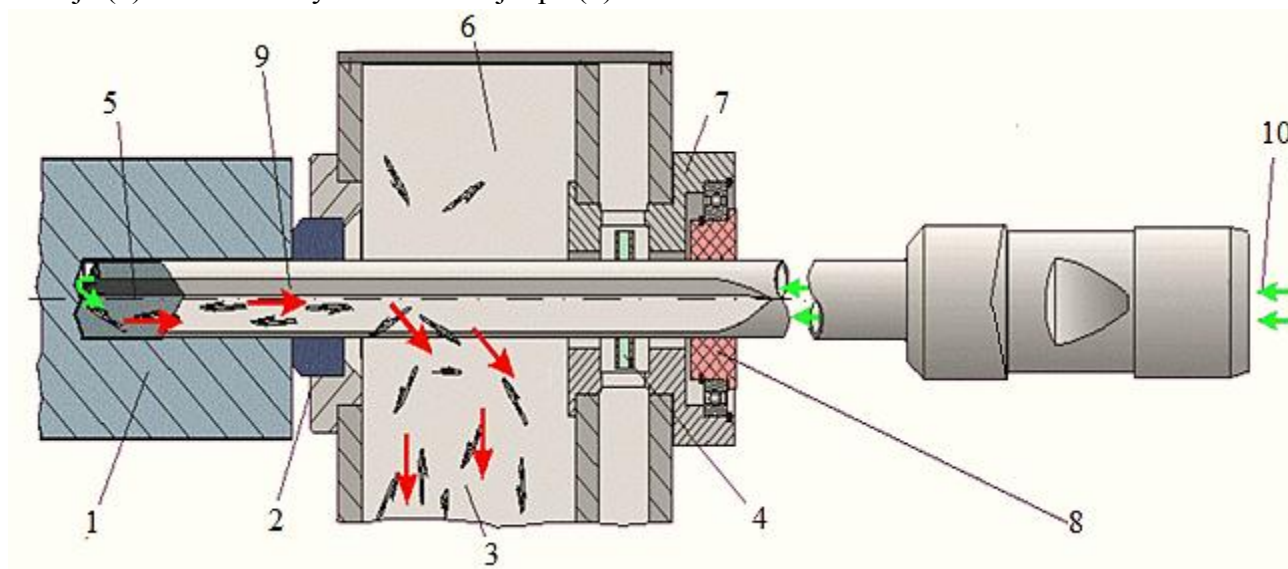
3.1.1. Бушење отвора топовском бургијом

Бушење отвора топовском бургијом је поступак којим се могу бушити мањи отвори него STS поступком, али притом има мању продуктивост. За извођење овог поступка бушења потребне су машине намењене за дубоко бушење топовском бургијом. Овај поступак користи најстарији начин довођење средства за хлађење у зону резања, или из зоне резања. Течност се доводи кроз отвор унутар алата у зону резања, док се заједно са струготином из зоне резања одводи кроз спиралу V – жљеба дуж целог алата. 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 3.5). [2]



Слика 3.5. Шема поступка бушења топовском бургијом [2]

Код поступка бушења са топовском бургијом имамо принцип спољњег одвођења струготине (слика 3.6). 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). Заптиваче се врши помоћу заптивача (2 и 4), а носач алата се преко лежаја (8) ослања на кућиште контејнера (7).

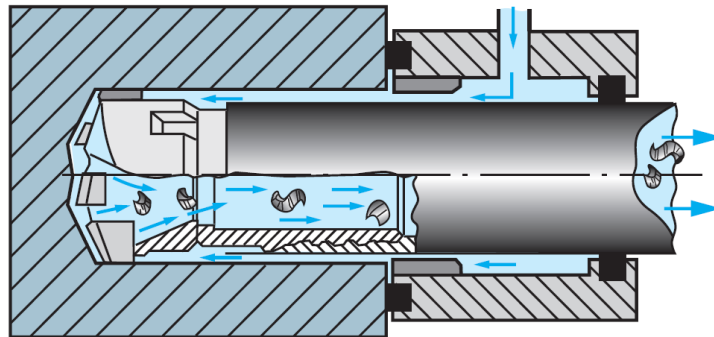


Слика 3.6. Спољње одвођење струготине код дубоког бушења топовском бургијом [5]

3.1.2. Бушење отвора STS поступком (бушење отвора ВТА поступком)

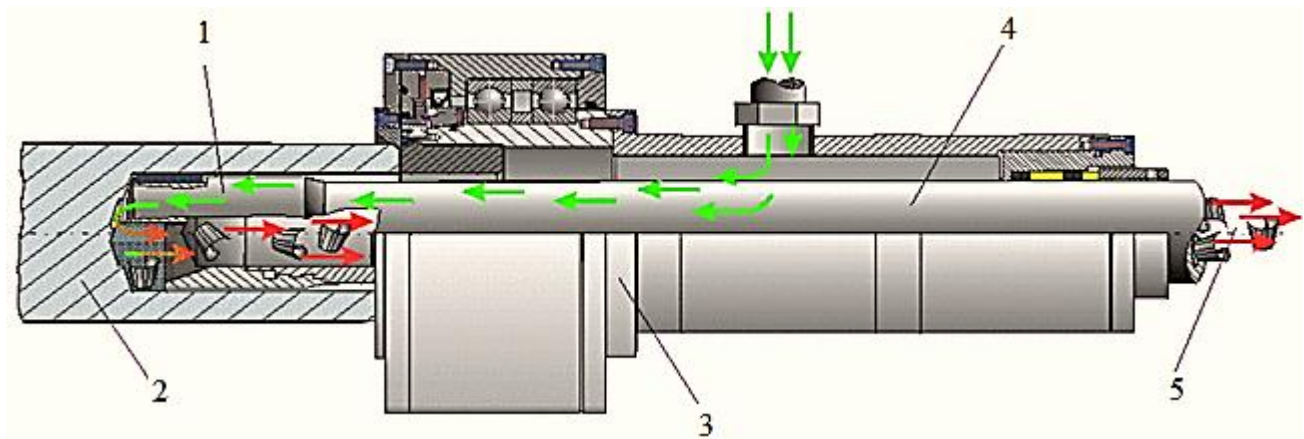
STS (eng. Single tube system) поступак бушења отвора је повољан за велико-серијску производњу. Да би се могло бушити овим поступком потребна је посебана машина. Из тог разлога продуктивност је повећана шест пута у односу на бушење са топовском бургијом. Користи се код материјала са лошим својствима одвајања честица, попут нерђајућег и ниско угљеничног челика. STS поступак функционеше тако да се средство за хлађење доводи

споља, а струготина и средство за хлађење се одводе унутрашњи отвором. Резна глава је причвршћена на цилиндрично тело мањих димензија тако да ће остати простор између тела алата и отвора као што је приказано на слици 3.7. Средство за хлађење се доводи под притиском те се на тај начин одводи струготина кроз унутрашњи отвор. [2]



Слика 3.7. Шема бушења отвора STS поступком [2]

Бушење отвора STS поступком за разлику од бушења топовском бургијом има принцип унутрашњег одвођења струготине као што се може видети на слици 3.8. 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 непходно је поуздано заптивање које обезбеђује заптивач (3). Струготина се са течношћу одводи кроз унутрашњи отвор (5).

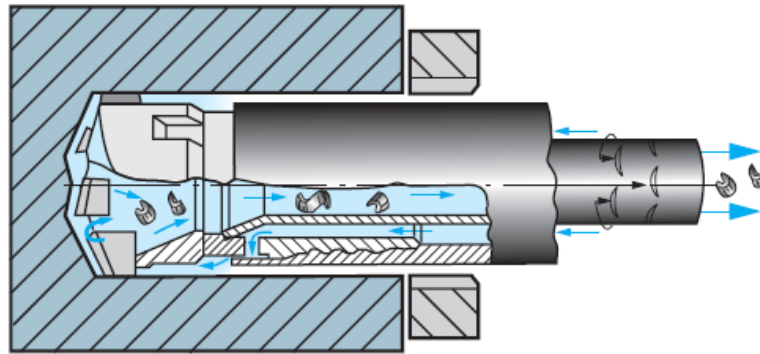


Слика 3.8. Принцип бушења STS поступком [5]

3.1.3. Бушење ејекторским поступком (DTS поступак)

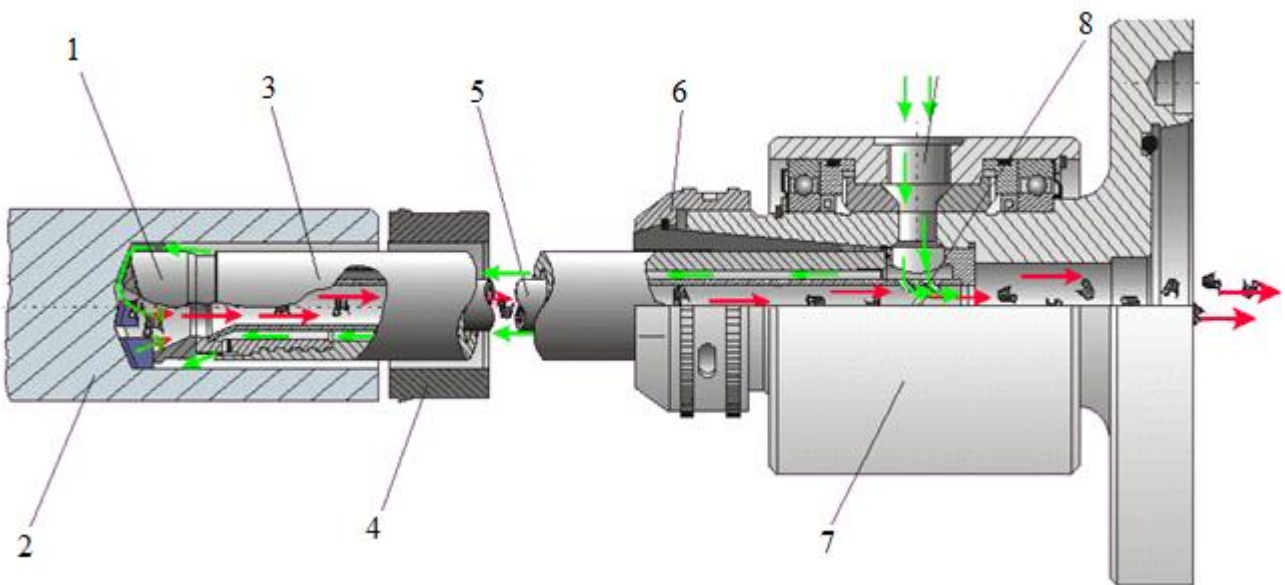
Овај поступак је модификација STS односно ВТА поступка бушења. Разлика је у поступку заптивања. Бушење ејекторским поступком је погодно за примену на обрадним машинама са

хоризонталним вретеном. Дубине резања које се могу достићи су до $150 \times D$. Овакав поступак дубоког бушења у програму ISCAR-а се назива DTS (Dual Tube), (слика 3.9). [2]



Слика 3.9. Шема ејекторског поступка бушења [2]

Овакав 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 3.10. На унутрашњој цеви су поред тога израђени коси отвори (8) кроз које један део течности продире у унутрашњу цев непосредно по улаку 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 причвршћивање, линете (6). Чаура (4) треба да обезбеди правилно позиционирање алата.



Слика 3.10. Ејекторски поступак дубоког бушења [5]

3.2. Алати за дубоко бушење

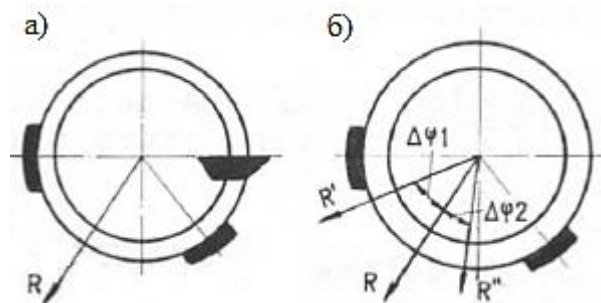
У систему – машина, прибор, алат и полуфабрикат - при дубоком бушењу алат је изложен најтежим условима рада. Затвореност у току технолошког процеса, форсирање режима обраде, као и многобројне функције, чије извршење мора обезбедити конструкција алата, доводе до знатног оптерећења тела алата, ножева и вођица. Тиме се и објашњава разноврсност конструкција ових алата који веома често имају сасвим оригиналне елементе. [4]

Алати за дубоко бушење се могу поделити у три основне групе:

1. алати за пуно бушење,
2. алати за прстенасто бушење;
3. алати за 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 многобројна испитивања са циљем да се вадим језгро и код дубоких отвора чији је пречник мањи од 30 mm. За ширу примену овог бушења, ограничавајући фактори су мања сигурност и већа сложеност примене у поређењу са пуним бушењем.

Базирање алата може да буде одређено и неодређено (слика 3.11). Сила отпора резања (R), која настаје у току бушења код алата са 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 3.11, а). Одређеност базирања подразумева поуздани контакт, ослонац вођица алата на површину канала обрађену овим алатом. Овај контакт добија се захваљујући пројектовању резних ивица алата, тако резултанта силе резања мора да пролази између вођица ослоних елемената. Код неодређеног базирања, ова сила у току процеса дубоког бушења мења интензитет и правац (слика 3.11, б). 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. Конструкционим решењима алата, када је то могуће, треба избећи неодређено базирање. [3]



Слика 3.11. Деловање сила на алат при одређеном (а) и неодређеном (б) базирању [3]

Већ је напред речено да се пуним бушењем буше отвори пречника 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 дубоког отвора.

Према томе, максимално препоручена ширина бушења при пуном бушењу не треба да је већа од $B = d/2 = 60/2 = 30$ mm. Број резних ивица које учествују у дељењу ширине бушења (B), одређује се по формули: [3]

$$Z = \frac{K \cdot B}{b \cdot \sin \varphi} \quad (3.4)$$

где је:

b - ширина резне ивице (плочице), mm

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

φ - половина угла врха алата.

Према начину одвођења струготине, алати се могу поделити на:

1. алате са спољним одвођењем струготине и
2. алате са унутрашњим одвођењем струготине.

Шире примену имају алати са 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, јер мали пречници тела алата не обезбеђују сигурно унутрашње одвођење струготине.

При дубоком прстенастом бушењу, такође се примењују алати 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. Овome треба додати и то да се процес дубоког бушења великих отвора са вађењем језгра одвија са мањим посмацима у односу на пуно бушење дубоких отвора средњег пречника, што олакшава одвођење струготине. Поред тога, при бушењу великих отвора са спољним одвођењем струготине нису потребни апарати за заптивање и довођење уља, што поједнотављује опрему машина за дубоко бушење. [4]

Класификација алата може се такође извести на основу:

1. конструкције ножева и вођица;
2. конструкције елемената за везу са 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 наставака носача алата. Код алата за бушење дубоких отвора, пречника већих од 40 mm, ножеви и вођице су најчешће промењиви. 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]

3.2.1. Алати за дубоко бушење малих отвора

Дубоко бушење малих отвора изводи се помоћу алата са дугим ожлебљеним носачем, као што је случај код топовске бургије. Пречници отвора који се буше овим алатима су од 3 до 20 mm. Максимално могуће дубине бушења зависе од пречника отвора бушења и износе (табала 1):

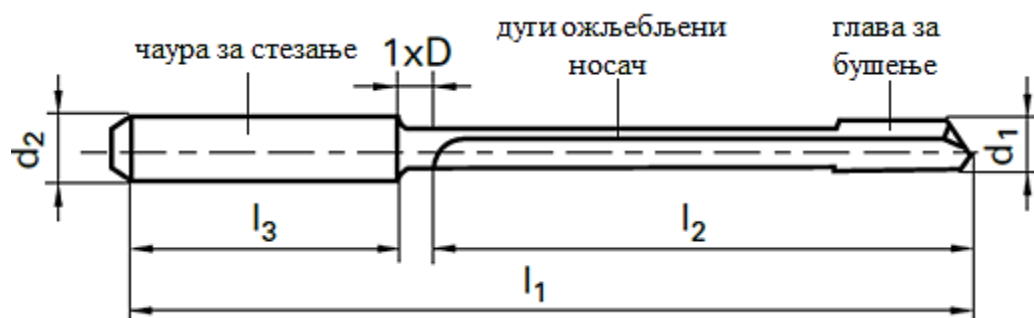
Табела 3.1. Максимална дубина бушења у зависности од пречника [3]

Пречник бушења, [mm]	Максимална дубина бушења, [mm]
3,00 ÷ 4,20	400
4,21 ÷ 6,70	800
6,71 ÷ 20,00	1500

Ови алати имају дуге, уздужно ожлебљене, носаче главе за бушење (слика 3.12). 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 жлеб на дугом носачу. [3]

Са функционалног становишта, алати се састоје од следећих основних делова:

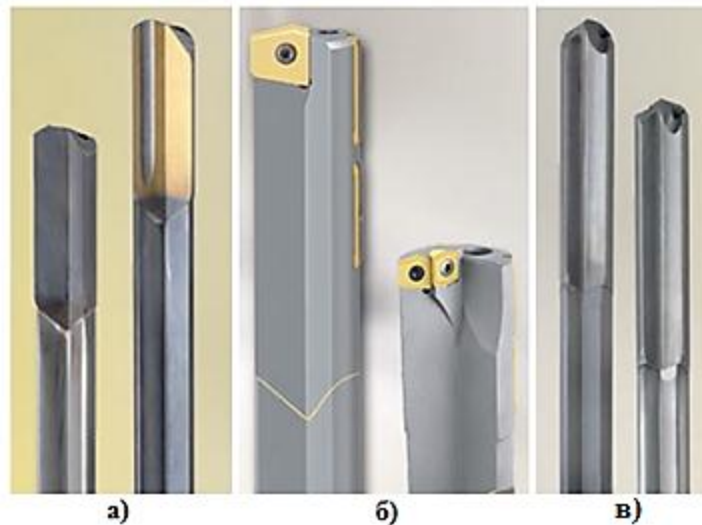
- главе за бушење радног предмета (радни део алата),
- дугог ожлебљеног носача и
- чауре за стезање алата.



Слика 3.12. Шема алата за дубоко бушење малих отвора [6]

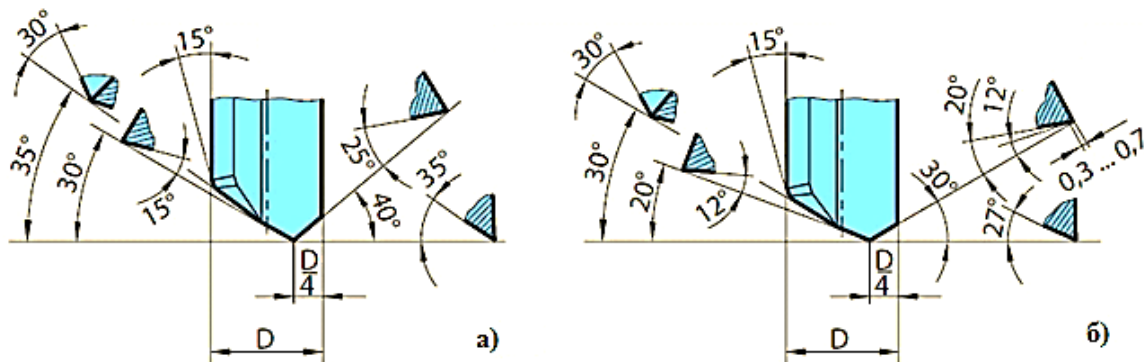
Главе се производе у три конструкциона облика: (слика 3.13)

- глава од брзорезног или угљеничног алатног челика вари се за носач (слика 3.13, а), а њене резне ивице оштре се под потребним угловима на специјалним машинским уређајима за оштрење;
- глава од конструкционог челика вари се за носач, а у главу се тврдо леме резне плочице и водећи елементи – вођице, а може се остварити и механичка веза помоћу вијака. Код савремених бургија ради бољег одвођења струготине уграђују се две резне плочице. Резне плочице и вођице израђују се од тврдих легура (слика 3.13, б);
- монолитна глава од тврде легуре вари се уз носач, а на њему се формирају (брушењем) потребни облици разних ивица и вођица (слика 3.13, в).

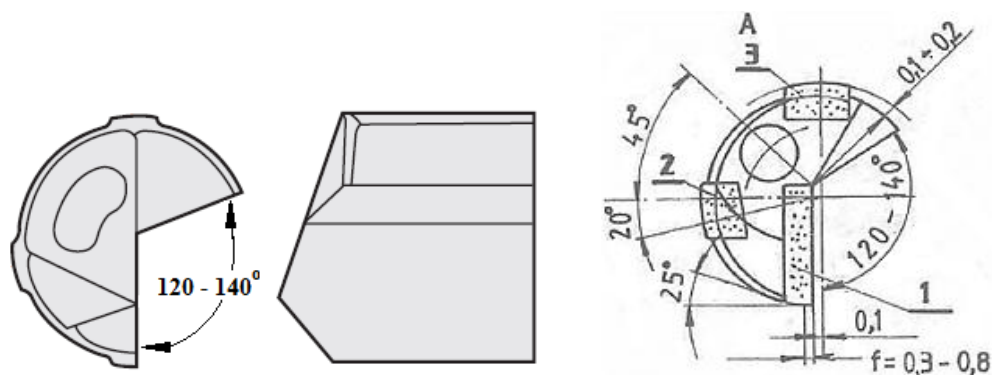


Слика 3.13. Облици глава код топовских бургија [12]

Према разним конструкцијским концептима радног дела алата, могу се сусрести и разне модификације облика главе за бушење. Пример са уметнутим плочицама и вођицама од тврдог метала приказан је на слици 3.15. У зависности од пречника главе алата за бушење резликује се геометрија резних ивица за израду отвора (слика 3.14).



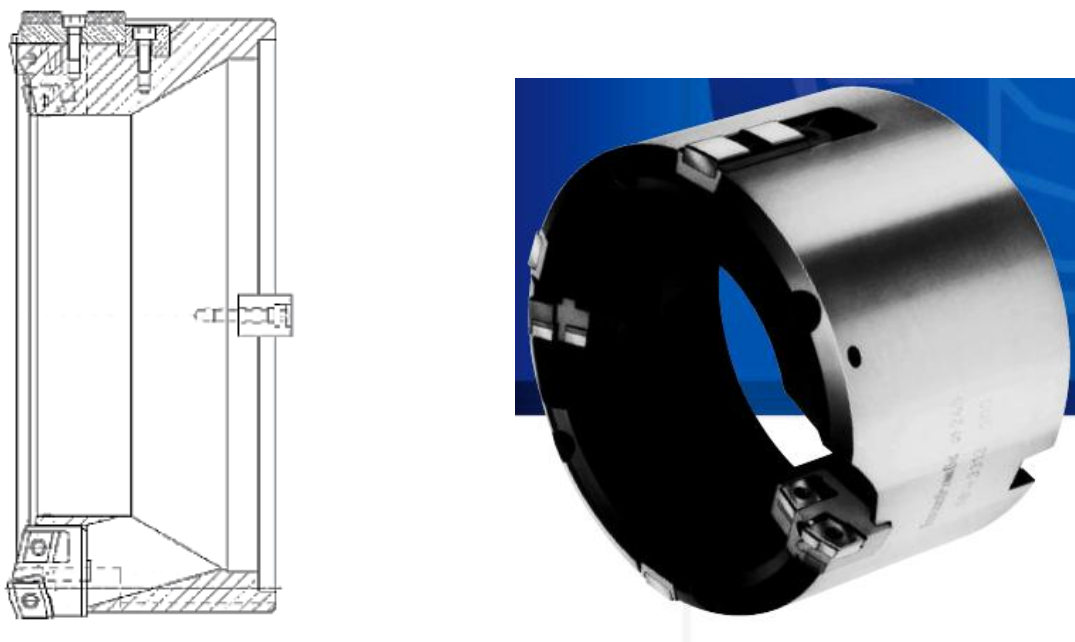
Слика 3.14. Геометрија резних ивица главе алата за пречнике од 2,00 ÷ 4,00 mm (а) и од 4,01 ÷ 20,00 mm (б) [6]



Слика 3.15. Шема алата за дубоко бушење малих отвора и геометриске величине: 1 – резна плочица; 2 и 3 – вођица [6]

Глава за бушење или залемљене плочице и вођице израђују се првенствено од тврдог метала (K10 или K20), а дуги ожлебљени носач од побољшаног челика. Овим алатима се може остварити квалитет обрађене површине $R_t = 5 \div 10 \mu\text{m}$ и брзина резања која је 4 до 6 пута већа од брзине резања при бушењу уобичајених отвора завојном бургијом.

На слици 3.16 приказана је савршенија конструкција цевастог алата за дубоко бушење отвора са резним делом од тврдог метала. Средство за хлађење, под притиском од 3 до 5 МПа, долази у зону резања кроз простор између цевастог дела алата и површине избушеног отвора. Расхладно средство, заједно са струготином, удаљава се кроз унутрашњи канал тела алата. Цевасто тело алата повећава крутост, а алат се користи за бушење дубоких отвора чији се пречници крећу преко 80 mm. [8]

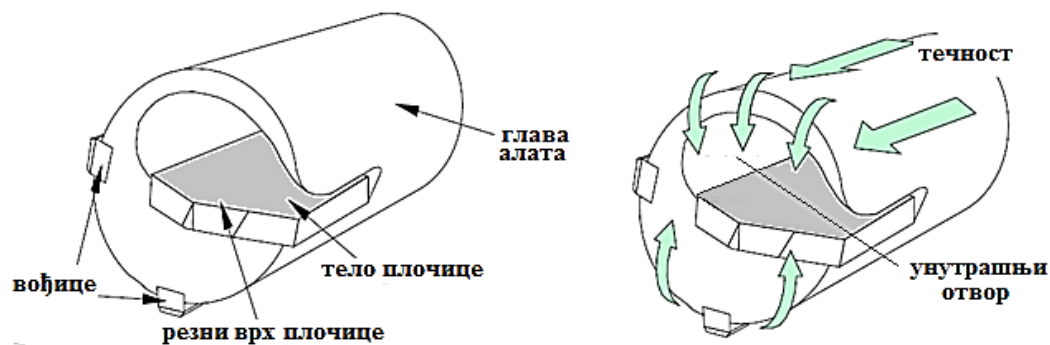


Слика 3.16. Цеваста алати за дубоко бушење отвора [8]

Дубина степенице код разног дела алата износи $(0,3 \div 0,5)$ mm. Број степеница на спољној резној ивици износи $Z = 2$ за $D = 10$ mm, $Z = 3$ за $D = (10 \div 20)$ mm и $Z = 4$ за $D = (20 \div 30)$ mm. Храпавост обрађене површине после бушења налази се у границама $R_a = 2,5 \div 1,25$ μm .

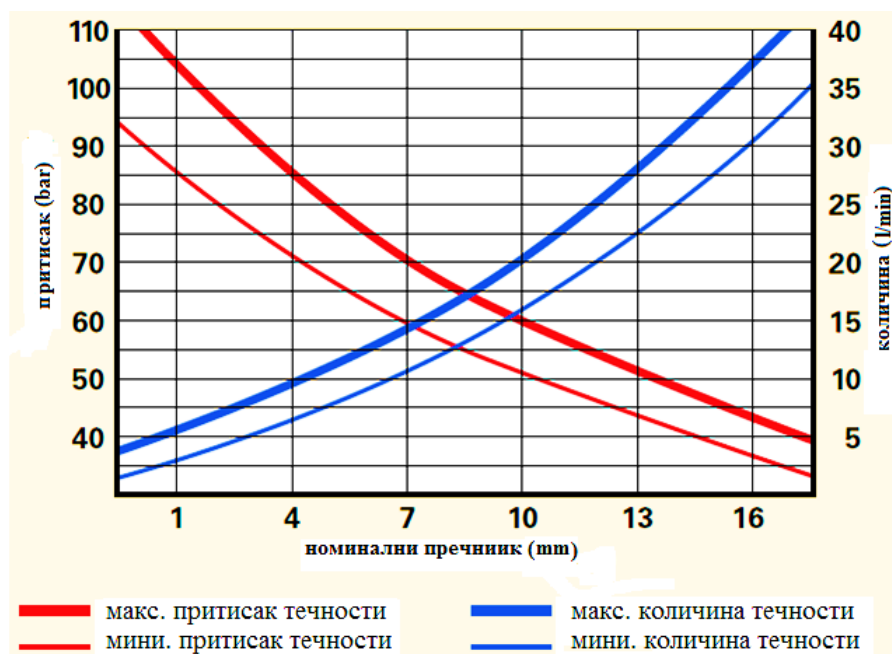
Цевасти алати с резним делом од тврдог метала остварују брзине резања $2 \div 3$ пута веће од брзина које је могуће остварити истим алатом од брзорезног челика. Брзина резања се налази у границама $V = 80 \div 120$ m/min при обради челика и $V = 65 \div 100$ m/min при обради ливеног гвожђа. Посмак се узима у границама $S = 0,01 \div 0,2$ mm/o. Ова врста алата је нарочито погодна за дубоко бушење високолегираних челика.

На слици 3.17 приказане су бургије са одређеним базирањем и унутрашњим одвођењем струготине које се такође могу користити при изради дубоких отвора малог пречника.



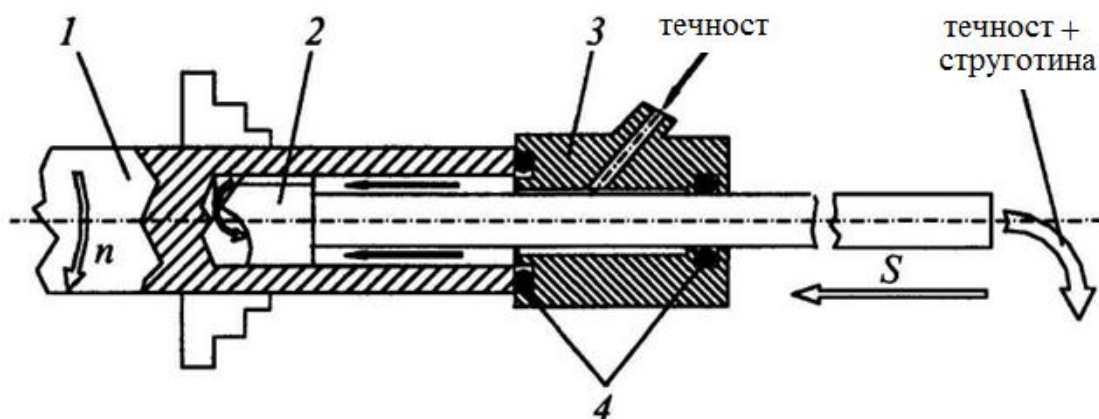
Слика 3.17. Бургије са одређеним базирањем и унутрашњим одвођењем струготине (бушење отвора STS поступком) [5]

Код дубоког бушења, као расхладне, најчешће се користе течности на основи минералних уља са додацима против задирања на бази сумпора и хлора. Овакве течности имају предности при одвођењу струготине из канала. Поред тога, оне добро подмазују вођице бургија и задовољавајуће хладе резне ивице. Расхладна течност уводи се у бургију под притиском $20 \div 40$ атм. и утрошком од $8 \div 25$ l/min, а односи се за пречнике отвора $6 \div 30$ mm. Вредности утрошка и притиска расхладне течности очигледно показују номограми из проспеката иностраних фирми које се специјализују за обраде дубоких отвора. Пример оваквог номограма представљен је на слици 3.18.



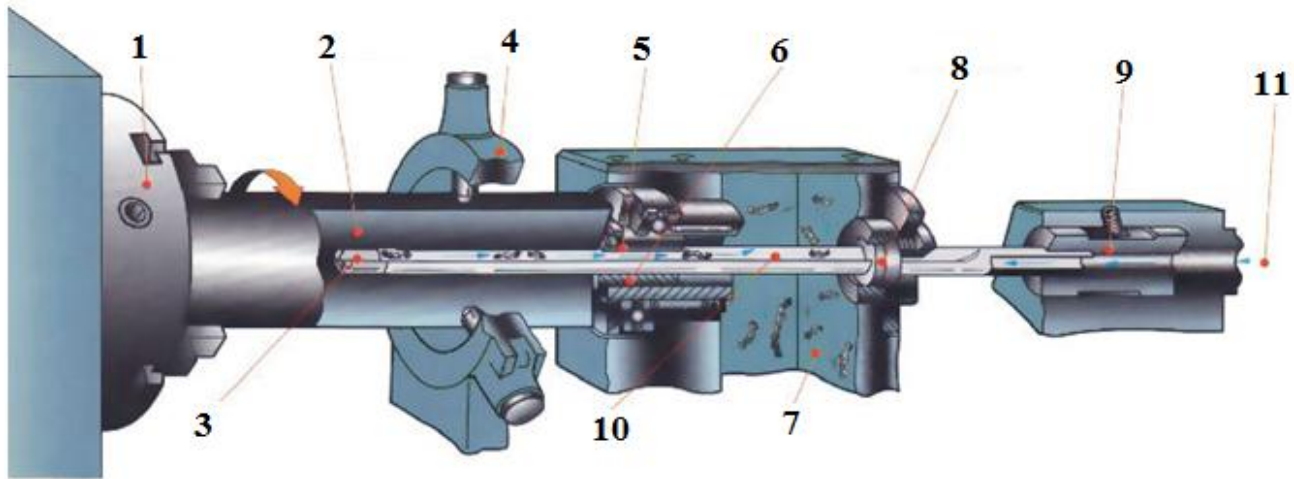
Слика 3.18. Номограми избора утрoшка и притиска расхладне течности при бушењу дубоких отвора малог пречника [12]

За циркулацију расхладне течности у бургију са унутрашњим одвођењем струготине користе се специјални уређаји – скупљачи уља. Шематски приказ уређаја скупљача уља приказан је на слици 3.19. Свакако, праве конструкције скупљача уља су битно сложеније, него на показној шеми. У основи, то се тиче заптивки, које морају радити у режиму трења. Сам скупљач уља везује се на кућишту машине и не окреће се. Заптивка, која се налази на слици са десне стране, осим трења о шипку бургије при раду, може такође интензивно да тере о стабло бургије, при раду са чеоним окретањем комада и алата. [3]



Слика 3.19. Шема рада скупљача уља при бушењу дубоких отвора са спољашњим одвођењем расхладне течности и унутрашњим одвођењем струготине: 1- радни предмет, 2- бургија, 3- скупљач уља, 4- заптивање скупљача [3]

На слици 3.20 приказан је алат за дубоко бушење отвора малих пречника, са спољним одвођењем струготине у процесу бушења.



Слика 3.20. Алат за дубоко бушење малих отвора у процесу бушења: 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 – носач алата, 11 - канал за довод расхладно - подмазне течности. [2]

3.2.2. Алати за дубоко бушење средњих и великих пречника

Приликом израде дубоких отвора средњег пречника обично се примењује STS поступак или ејекторски принцип бушења којима се могу бушити пречници преко 400 mm.

Неопходно је извршити анализу сила које делују на алат при бушењу. У процесу резања, на алат делују одређене силе, приказане на слици 3.21.

1. Силе отпора резања, које делују на резне ивице алата су:

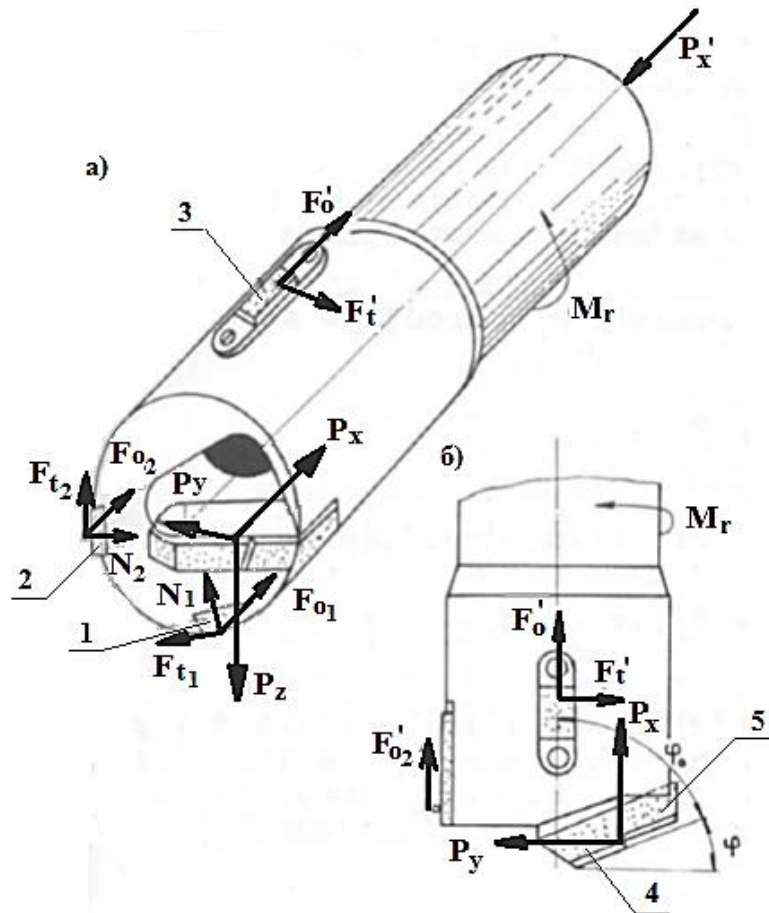
- сила отпора резања P_z , која делује паралелно са правцем брзине бушења V ;
- сила отпора посмаку P_x , која делује паралелно оси алата, а у супротном смеру од посмака;
- сила P_y , која делује у равни нормалној на осу алата, обично сила P_y , која се зове радијална компонента отпора резања, делује у правцу радијуса алата ка центру радијуса.

2. Силе трења на вођицама алата. Ове силе могу такође 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 је супротан 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 силе 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 са носачем је неуравнотежен.

Најједноставнији, са становишта конструкције и израде, јесу **алати с једним ножем**. Због тога су алати с једним ножем и унутрашњим одвођењем струготине нашли широку примену. Шема тог алата и сила које га оптерећују дата је на слици 3.21.



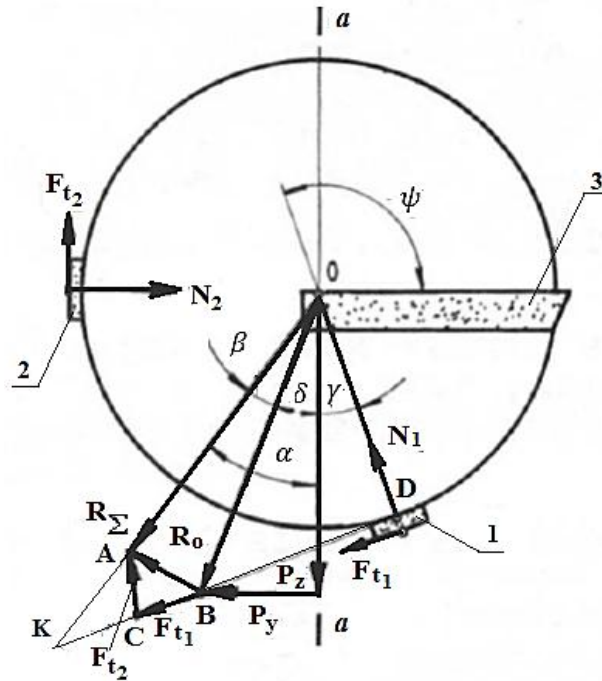
Слика 3.21. Шема деловања сила на алат с једним ножем: а - носач алата са алатом, б - алат у пројекцији; 1 и 2 - вођице за базирање, 3 - еластична вођица, 4 - резна плочица, 5 - периферна резна ивица [3]

Висок притисак вођица на површину бушења изазива њихово убрзано трошење и неконтролисано отврдњавање обрађене површине. Трошење вођица је углавном неравномерно, а највеће је код вођице смештене испод резне ивице (слика 3.22).

Да би се обезбедило једнако оптерећење вођица за базирање, а тиме и њихово равномерно трошење, потребно је нападну линију резултанте силе R_Σ довести у правац бисектрисе

централног угла између вођица. Сила делује у равни попречној на осу алата, а примају је вођице за базирање алата.

На слици 3.22 дата је шема деловања сила на алат са једним ножем у равни попречној на уздужну осу алата.



Слика 3.22. Шема деловања сила на алат са једним ножем у равни која је управна на уздужну осу алата; 1 и 2 – вођице за базирање, 3 – резна плочица [3]

Резултанта отпора резања одређује се по формули:

$$\vec{R}_0 = \vec{R}_z + \vec{R}_y \quad (3.5)$$

Резултанта сила деловања свих сила одређује се према обрасцу:

$$\vec{R}_\Sigma = \vec{R}_0 + \vec{R}_{t1} + \vec{R}_0(N) \quad (3.6)$$

Периферна вођица (2) и резна ивица алата (3) постављају се на истом правцу (пречнику), како би се избегле потешкоће при мерењу пречника алата у производним условима. Из слике 3.22 се може видети да је резултанта свих сила једнака: [3]

$$R_\Sigma = 2N_1 \cdot \cos \frac{\psi}{2} = 2N_2 \cdot \cos \frac{\psi}{2} (N) \quad (3.7)$$

где су N_1 и N_2 нормални притисци силе R_Σ на вођице:

$$N_1 = N_2 = \frac{R_\Sigma}{2 \cos \psi/2} (N) \quad (3.8)$$

Силе трења, које делују на вођице за базирање, изражавају се преко силе R_{Σ} као:

$$F_{t1} = F_{t2} = \frac{\mu \cdot R_{\Sigma}}{2 \cos \psi/2} \quad (3.9)$$

Где је μ коефицијент трења између вођица и површине избушеног отвора. Анализа формула показује да сила R_{Σ} не делује по бисектриси угла ψ , те се због тога јавља неравномерно трошење вођица. Стварни угао између сила R_o и R_{Σ} износи:

$$\beta = \frac{\psi}{2} - (\delta + \gamma) \quad (3.10)$$

Испитивања су показала да угао ψ треба да је мањи од 120° и да је оптимална вредност овог угла $\psi_{opt} \cong 110^\circ$. Како се вођица (2) налази на истом пречнику на коме је и резна ивица (3), онда је $\gamma = \psi_{opt} - 90^\circ = 20^\circ$. Са слике се види да је:

$$\delta = \arctg \frac{P_y}{P_z} \quad (3.11)$$

Угао δ зависи од угла врха алата $2\psi_o$, који се обично узима у границама: $110^\circ \leq 2\psi_o \leq 170^\circ$. Тако се при бушењу остварује неједнакост :

$$P_y > P_x > P_z; \quad P_y = P_x \operatorname{ctg} \varphi_o \quad (3.12)$$

Из претходне формуле се види да је при већим угловима φ_o мања сила P_y . Треба имати у виду да се остварује још мања вредност силе P_y од претходне вредности, јер угао врха алата често одређују два различита угла φ_1 и φ' .

Разматрајући троуглове AOB, CAB, ODK , може се закључити да је угао $AOB = 90^\circ$, те да угао β представља угао трења, тако да је:

$$AB = R_{\Sigma} \cdot \operatorname{tg} \beta, \quad (3.13)$$

а из троугла CAB

$$AB = 2F_{t1} \cos \frac{\psi}{2} \quad (3.14)$$

Узимајући у обзир формулу (3.8) добија се:

$$\mu = \operatorname{tg} \beta, \quad (3.15)$$

одакле следи да је:

$$R_{\Sigma} = R_o \cdot \cos \beta = \sqrt{P_z^2 + P_y^2} \cdot \cos \beta = \frac{R_o}{1+\mu^2} (N) \quad (3.16)$$

Ако се у формули (3.9) угао β изрази помоћу коефицијента трења μ , добија се однос компонената P_x и P_z :

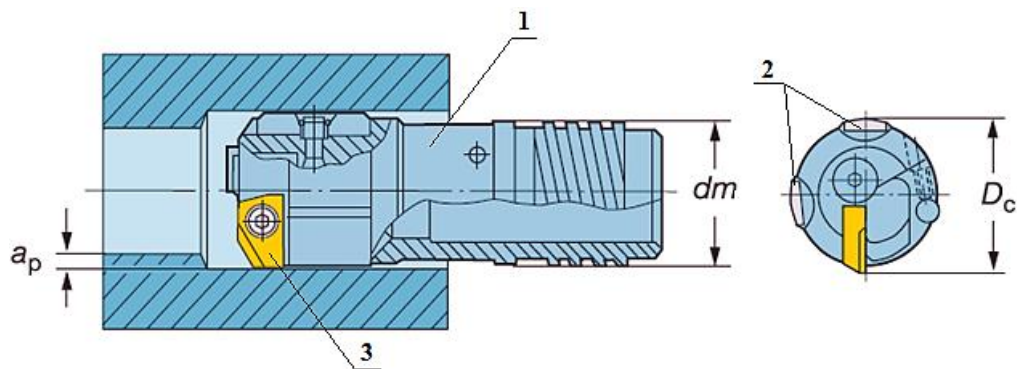
$$\arctg \mu = 0,96 - \left(\arctg \frac{P_y}{P_z} + 0,35 \right) \quad (3.17)$$

Обично се коефицијент трења вођица по материјалу приближава вредности $\mu = 0,1$. При тој вредности коефицијента трења, однос компонената сила резања има вредност: [3]

$$\frac{P_y}{P_z} = 0,51 \quad (3.18)$$

Однос дефинисан релацијом (3.17) даје вредност угла трења $\beta = 5 \div 6^\circ$. Многобројна испитивања показују да се однос (3.17) налази у границама $0,2 \div 0,25$, што даје угао $\delta = 11 \div 14^\circ$ и угао $\beta = 22,5^\circ$.

Алат са једним ножем примењује се код бушења и проширивања дубоких отвора пречника од 30 до 60 mm. Алат се састоји од тела (1), које се израђује од челика за побољшање, вођица (2) и ножа (3) (слика 3.23). Пречник dm обезбеђује вођење при спајању са носачем алата.



Слика 3.23. Алат за проширивање отвора са једним ножем (ВТА глава) [2]



Слика 3.24. Облици резних плочица [2]

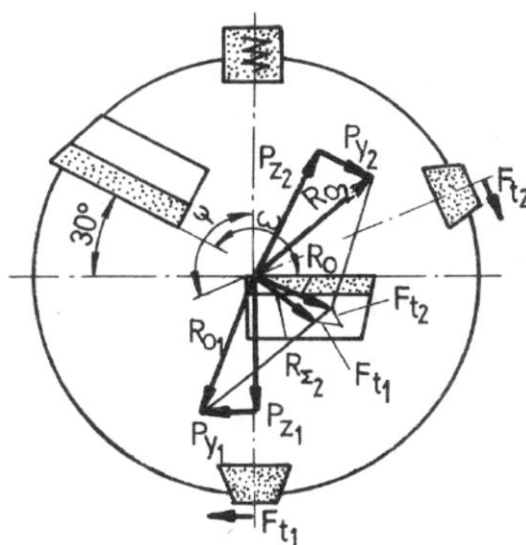
За израду резних плочица примењују се тврди метали, при бушењу захтева се обилато хлађење и подмазивање у зони резања. Код алата се једном резном ивицом присутан је проблем нестабилности, па се они данас углавном примењују за проширивање дубоких отвора. Резне плочице могу бити различитог облика неки од њих су приказани на слици 3.24.

Да би се обезбедила заменљивост ножева користе се плочица са механичким причвршћивачем. Такви алати се данас користе тамо где се погони за дубоко бушење ослањају на централизоване алатнице које су развиле стандардизацију и типизацију елемената код алата за дубоко бушење. При бушењу радних предмета, тврдоће $HB = 179 \div 229$, алатима са једним ножем и брзинама резања $V = 70 \div 90 \text{ m/min}$, уз посмаке $S_o = 0,08 \div 0,15 \text{ mm/o}$, постиже се производност од $L_h = 2,5 \div 3,5 \text{ m/h}$.



Слика 3.25. Алат за дубоко бушење са једним ножем (ејекторски принцип); 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 [7]

Алати за дубоко бушење са два ножа (слика 3.26) омогућили су дељење ширине бушења без степеница на резним ивицама. Тако је знатно смањено оптерећене вођица, а ножеви и вођице се производе као измењиви елементи.



Слика 3.26. Шема сила које делују на алат са два ножа у равни попречној на уздужну осу алата [3]

Према слици 3.26 може се одредити сумарна равнотежна попречна сила која је једнака:

$$\vec{R}_{\Sigma} = \vec{R}_{o1} + \vec{R}_{o2} + \vec{F}_{t1} + \vec{F}_{t2}$$

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

$$0 \leq R_{\Sigma 2} < R_{\Sigma}$$

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 R_{zi} се занемарује. [3]

Алати са два ножа израђују се са једнаким или различитим ширинама ножева. Уколико су ширине ножева различите, онда централни нож треба да је шири од периферног, 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. [3]

Увођењем треће (опружне) вођице извршена су следећа побољшања у раду алата:

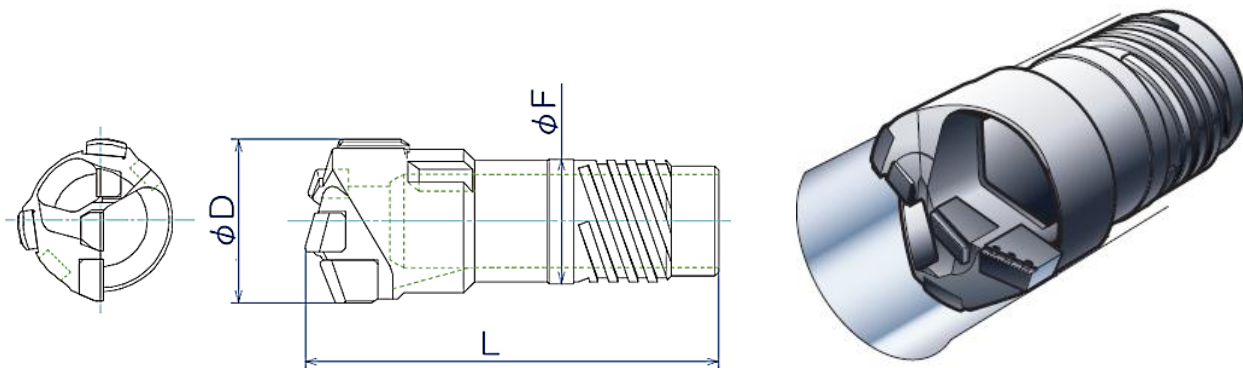
- повећана је стабилност алата,
- избегнуто је трошење тела алата због трења о површину избушеног отвора,
- омогућен је стабилан рад алата и када централни нож заврши бушење и изађе изван радног предмета.

Средња производност бушења алатом за дубоко бушење са два ножа износи $L_p = 3,5 \div 5,5$ m/h, при бушењу челичног припремка тврдоће $HB = 179 \div 229$, уз брзину бушења $V = 75$ до 130 m/min и посмак $S = 0,15$ до $0,2$ mm/o.



Слика 3.27. Алат за дубоко бушење са два ножа (ејекторски принцип); а) делови главе за бушење; 1 – тело алата, 2 и 3 – резне плочице, 4 и 6 – вођице, 7 – вијак за причвршћивање резне плочице, 5 – вијак за причвршћивање вођице. б) глава за бушење [7]

Даљи развој идеје о дељењу резне ивице ножа довео је до конструкције алата за дубоко бушење са **три ножа** (слика 3.28). Овај алат омогућује дељење струготине на три дела без изоштравања чеоних степеница резних ивица. Од примарне важности у операцијама бушења је да се струготина одводи даље од резне ивице бургије, односно добијање задовољавајућег струјања. Претерано дуги и велики делови струготине могу да се заглаве у каналима алата. Међутим, ни ломљење струготине није повољно из разлога што се губи додатна енергија. Струготина дужине 3÷4 пута веће од ширине може бити прихватљива, под условом да може да прође кроз канал цеви без потешкоћа. Формирање струготине утиче на материјал, геометрију алата, брзину сечења и тачност сечења.



Слика 3.28. Алат за дубоко бушење са три ножа (ВТА глава) [2]

Средња производност при бушењу челичних полуфабриката чија је тврдоћа $HV = 179 \div 229$, за алате са три ножа износи $L_n = 2,5 \div 5$ m/h. Мање вредности се односе на веће пречнике. Ова производност се остварује са брзином бушења $V = 70 \div 120$ m/min и посмаком $S_o = 0,18 \div 0,22$ mm/o.

Ејекторске главе за дубоко бушење са три ножа. Ове главе се код савремених поступака користе за бушење дубоких отвора пречника и до 200 mm (слика 3.29). [7]

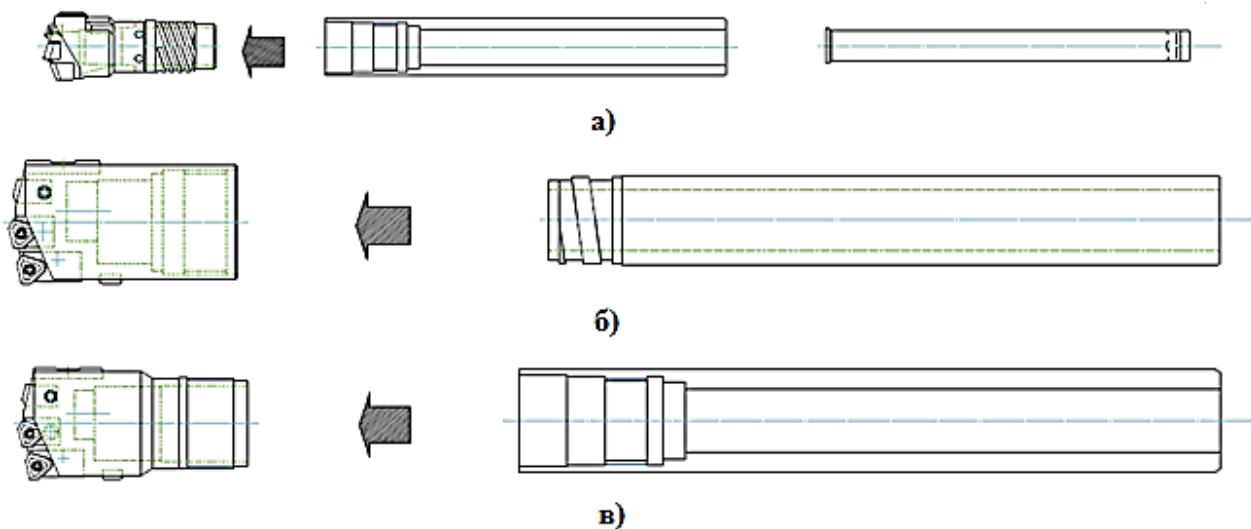


Слика 3.29. Ејекторска глава са три ножа [7]

Тело главе се уврће у носач алата. Ножеви су израђени од плочица од тврдог метала, а имају шаховски распоред на телу. На резним ивицама су урађени степенасти усеци, ширине $b = 1,5$ до 2 mm и дубине $a = 0,4$ до 0,55 mm, помоћу којих се ломи и уситњава струготина.

Веза алата са носачем алата најчешће се остварује помоћу унутрашњег вишеходног завоја (слика 3.30, б), док се везе помоћу вишеходног спољњег навоја ређе сусрећу, (слика 3.30, в). [2]

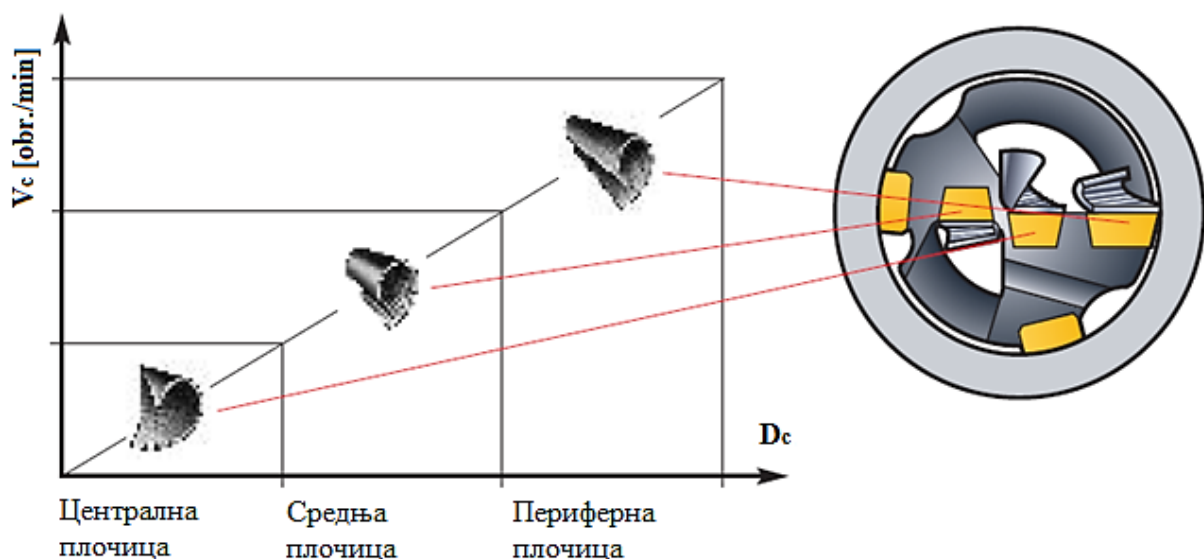
Код ејекторског бушења услед специфичног начина довођена течности, носач алата се састоји од унутрашње цеви која служи за одвођење течности и струготине и од спољне цеви (слика 3.30, а). Течност се доводи између унутрашње и спољне цеви.



Слика 3.30. Шематски приказ спајања главе алата са носачем при ејекторском дубоком бушењу (а), и при ВТА дубоком бушењу (б) и (в) [2]

Од примарне важности у операцијама бушења је одвођење струготине од резне ивице бургије, односно добијање задовољавајућег облика струготине. Претерано дуги и велики делови струготине могу да се заглаве у каналима за одвођење. Међутим, струготину не треба ломити теже него што је неопходно, јер се тако троши енергија, а топлота која настаје неповољно утиче на резне плочице. Струготина са дужином $3 \div 4$ пута већом од ширине је прихватљива, под условом да може да прође кроз отвор канала цеви без потешкоћа. [2]

Код бушења дубоких отвора, повољан облик струготине добија се одговарајућом комбинацијом геометрије алата, брзине бушења, материјала који се буши и избора течности за хлађење. Битно је да струготина буде формирана тако да даје облик и величину који ће глатко и несметано да пролазе кроз канале за одвођење. На слици 3.31 приказана су три различита облика струготине добијена у односу на положај резне плочице у глава алата, (централне, средње и периферне плочице) у зависности од брзине.



Слика 3.31. Облик струготине у зависности од положаја ножа и обимне брзине [2]

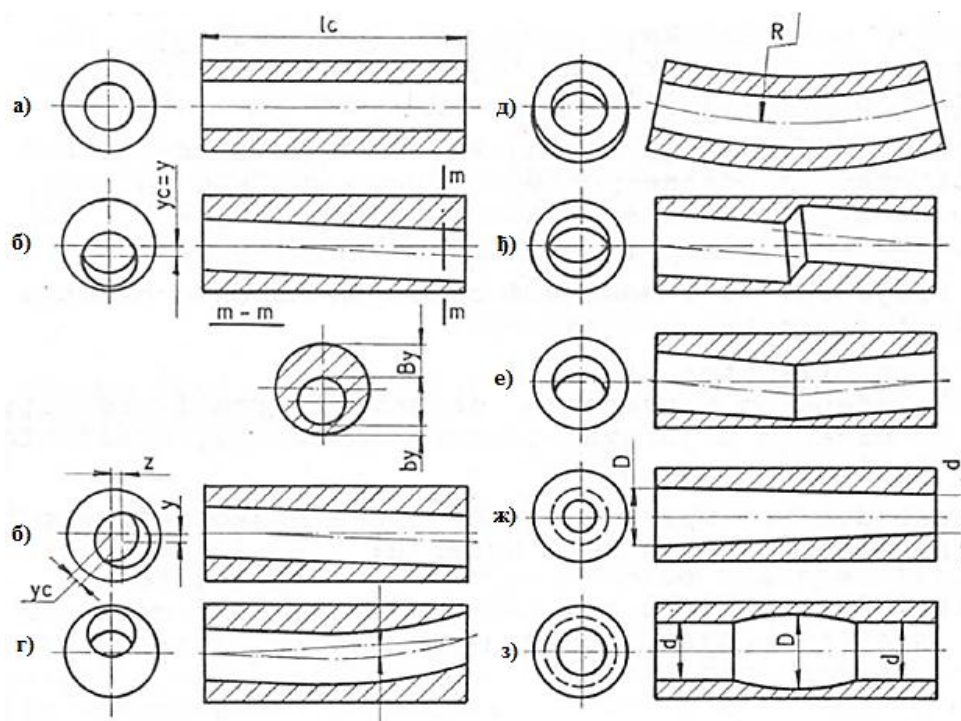
3.3. Дефекти при бушењу дубоких отвора

Према природи настанка, сви се дефекти при дубоком бушењу (слика 3.32) могу поделити у пет група.

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 заданог. 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. [4]



Слика 3.32. Дефекти при дубоком бушењу: а - правилно избушен отвор, б - одступање осе отвора у равни $x-y$, в - одступање које се налази између површина $x-y$ и $x-z$, г - закривљеност осе отвора, д - закривљеност осе отвора изазвана кривљењем, е - одступање при двостраном бушењу, ж - конусност, з - проширење отвора [3]

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 додатци.

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. [4]

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 сулфофрезолом. Конусност се отклања проширивањем или хоновањем. Проширење отвора у виду бурета настаје када је радијална компонента силе резања P_y усмерена према периферним калибрирајућим резним ивицама ножева.

Пету групу дефеката сачињавају укупи, велике огреботине и површинска хрпаваост обрађених отвора. Дефекти ове групе могу узроковати шкарт због иницираних прскотина при

термичкој обради или када дубине укопа и огреботина прелазе величине додатака потребних за наредне операције проширивања, хоновања и роловања. [3]

Ови дефекти настају због лошег постављања вођица, повећаног трошења периферних резних ивица или оштећења површине при повратку алата у празном ходу. На повећану храпавост може утицати лоше филтрирана расхладна течност и коришћење водених емулзија уместо сулфофрезолоа, као и спољно одвођење струготине.

3.4. Проширивање дубоких отвора

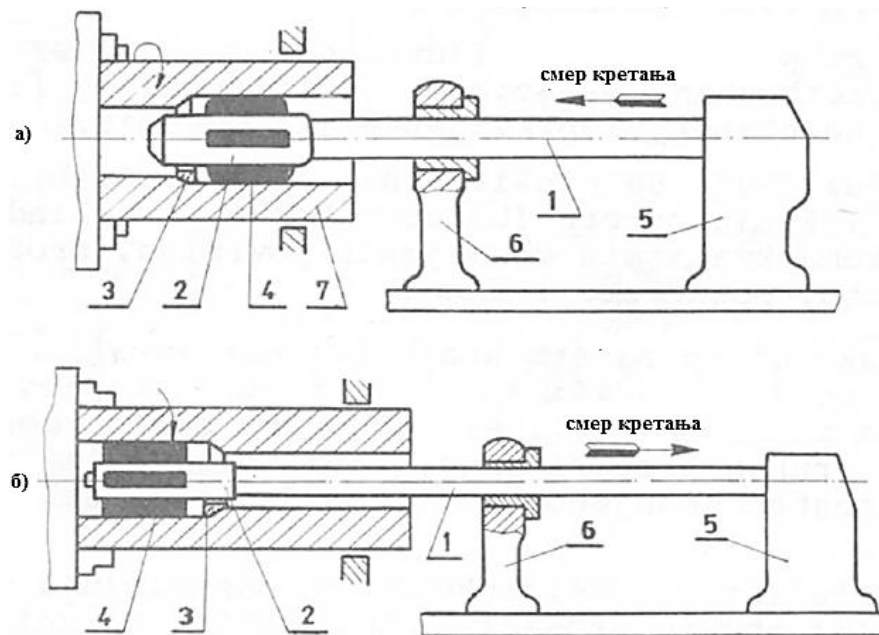
Проширивање дубоких отвора је операција механичке обраде помоћу које се скидањем додатака материјала добијају цилиндрични отвори са фином површином. При проширивању цеви, одстрањују се дефекти који су настали у претходним операцијама центрифугалног ливења, ваљања, термичке обраде, исправљања или бушења. Разликује се проширивање цилиндричних, конусних и геометријски сложених отвора (барутне коморе – лежишта метка и цилиндрично-конусне цеви). Према квалитету обрађених површина, проширивање може да буде грубо, получисто и фино. Грубо проширивање се изводи са максималним брзинама и посмацима како би се за што краће време извршило проширивање отвора. При овој операцији се скида 50÷65% укупног додатка материјала код полуфабриката, што одговара бочном додатку од 4 до 7 mm. После грубог проширивања, канал цеви има одређену конусност са знатно смањеном разликом дебљине зидова и искривљености. Получистим проширивањем се одстрањују дефекти који остају после грубог проширивања канала и получистог 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 канала цеви. Када се бушењем и термичком обрадом постигне висока тачност полуфабриката, не изводи се операција получистог проширивања. Поред тога код полуфабриката, чија је дужина 3 до 4 m и пречник отвора 90 до 100 mm, ова операција се најчешће не изводи. [4]

После получистог проширивања постиже се:

- конусност канала од 0,2 mm на целој дужини цеви,
- квалитет обрађене површине чија је класа храпавости N9,
- искривљеност и разлика у дебљинама зидова цеви у границама које су прописане конструкционом документацијом или ове величине незнатно одступају од прописаних вредности.

Финим проширивањем канала цеви обезбеђују се захтеви који су прописани техничким условима и цртежима. Обрађена површина има класу храпавости N8. Код највећег броја цевастих делова, који се уграђују у оруђа, фино проширивање представља завршну операцију. Додатак за фино проширивање обично износи од 0,5 до 1,5 mm. Фина обрада се

обавља после получисте обраде канала, као и фина обрада спољних површина стругањем. Површине канала артиљеријских, минобацачких и цеви ракетних лансера као и цилиндри противтрзајућих уређаја подвргавају се, после финог проширивања, операцијама хоновања и полирања, при чему се добија квалитет обрађене површине чија је класа храпавости N5 или N6. За операције хоновања и полирања оставља се додатак од 0,05 до 0,15 mm. Све операције проширивања цеви обављају се на специјалним машинама за дубоко бушење и проширивање. Према погону главе за проширивање, разликује се проширивање са вучењем и проширивање гурањем главе за проширивање (слика 3.33 а и б).



Слика 3.33. 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, 7 – радни предмет [4]

При проширивању по методу гурања главе за проширивање, глава је оптерећена на притисак, а носач алата на извијање и увијање. Код проширивања по методу вучења, носач алата је напет на истезање. У производњи цеви оба метода проширивања имају широку примену. Проширивање по методу гурања примењује се код дубоких отвора чији је пречник већи од 80 mm. Овај метод проширивања захтева велику крутост носача алата и главе за проширивање. Монтажа и припрема главе за овај метод проширивања је једноставна, а настала струготина не пада на тело главе и не лепи се на вођице. При примени овог метода за проширивање дубоких отвора, који су мањи од 80 mm, јавља се проблем смањене крутости носача алата и главе за проширивање, услед чега долази до вибрација као и лошег квалитета и смањења тачности обрађене површине. Због тога се за бушење дубоких отвора мањих од 80 mm примењује метод проширивања са вучењем алата. Када се врши проширивање дубоких отвора малих пречника (30÷45 mm) вучењем алата за проширивање, глава алата и носач раде релативно мирно, уз незнатне вибрације. Припрема алата за овај метод проширивања је

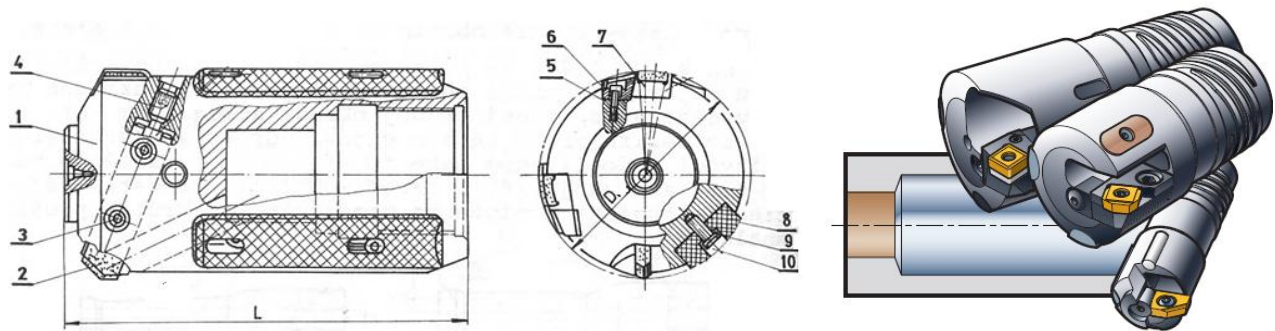
сложенија, а струготина при одвођењу прелази преко тела главе за проширивање, услед чега долази до лепљења струготине на вођице главе. Ови проблеми ограничавају ширу примену метода проширивања са вучењем алата. У пракси је најраспрострањенији метод проширивања при коме полуфабрикат врши обртно, а алат праволинијско кретање. Ређе се примењује метод проширивања дубоких отвора с истовременим обртањем полуфабриката и алата. [4]

3.4.1. Алати за проширивање дубоких отвора

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

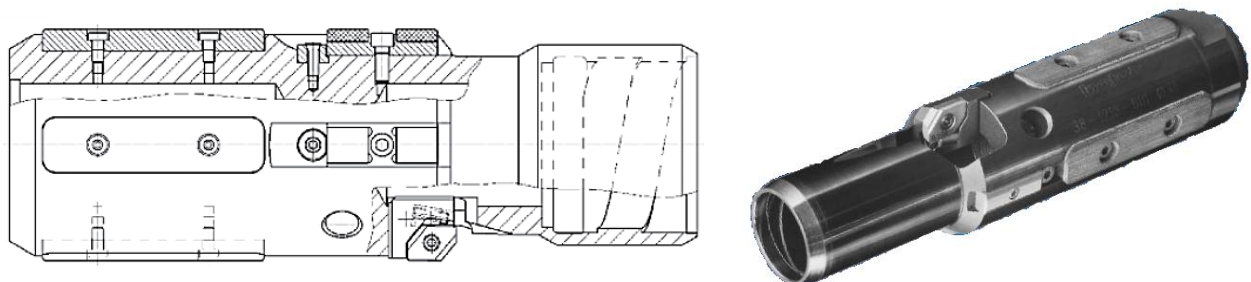
- по броју и положају ножева (с једним, два и више ножева, који имају једностран или двостран излаз),
- по начину спајања главе са носачем алата и причвршћивању ножева у телу главе,
- по дељењу додатног материјала за проширивање и начину дробљења струготине.

На слици 3.34 приказана је глава за проширивање дубоких отвора с једним ножем по методу гурања, а на слици 3.35 приказана је глава за проширивање по методу вучења.



Слика 3.34. Глава за проширивање дубоких отвора по методу гурања: 1 – тело главе; 2 – нож; 3,4,5,10 – вијак; 6 – притезач; 7,8 – вођица; 9 – подлошка [2]

Основна разлика код ова два алата је у положају алата, који зависи од смера кретања главе, односно да ли је реч о методи вучења или методи гурања.



Слика 3.35. Глава за проширивање дубоких отвора методом вучења [8]

4. Машине за израду дубоких отвора

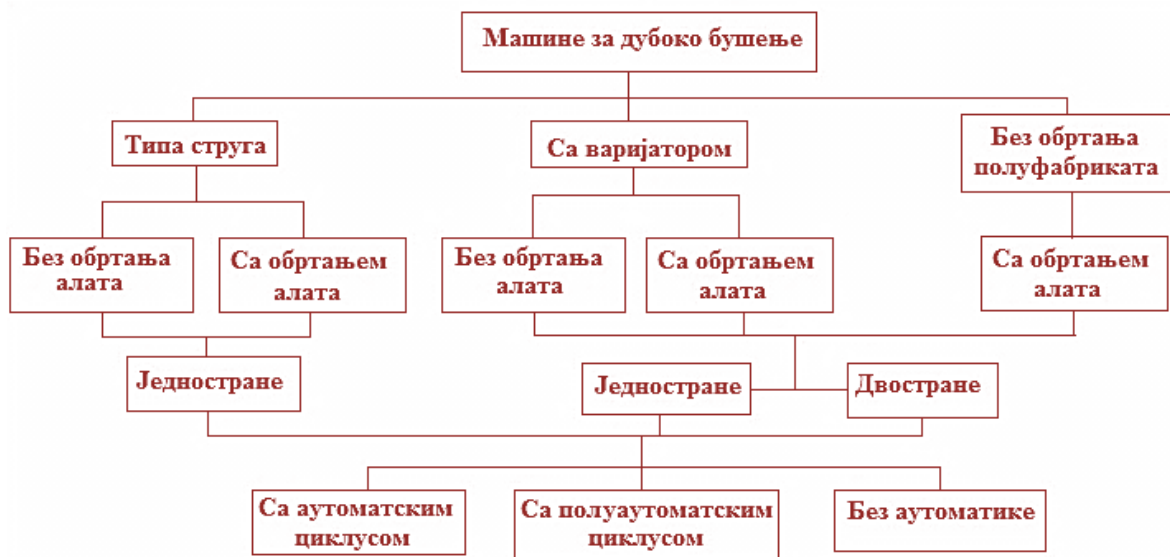
За разлику од осталих машина радилица, машине за дубоко бушење су намењене првенствено за обраду припремака великих димензија, машине имају следеће особине:

- Машине у погонима заузимају велике површине. Најчешће су хоризонталне, а дужина им је најмање једнака двострукој дужини обрађиваног припремка. Постоља машина се обично конструишу као вишеделна ради лакше израде и монтаже.
- У саставу машина веома важно место заузимају уређаји за транспорт струготине и течности за хлађење и подмазивање резног алата. Циркулациони систем обухвата: пумпу, вод за довод хладне течности у зону резања, вод за одвођење струготине, spremник струготине, резервоар течности, магнетне таложнике чврстих честица из течности и хладњаке.
- Сви типови машина за дубоко бушење углавном се могу користити за пуно бушење и проширивање отвора.
- 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 обезбедити следеће захтеве:

- једноставно и брзо постављање и скидање припремка,
- потребне режиме обраде, уз континуалну регулацију посмака,
- непрекидно одвођење струготине,
- филтрирање и хлађење течности,
- непрекидну контролу процеса са аутоматским деловањем заштитних уређаја,
- брзо премештање радних органа машине (супорта, носача алата и др.).

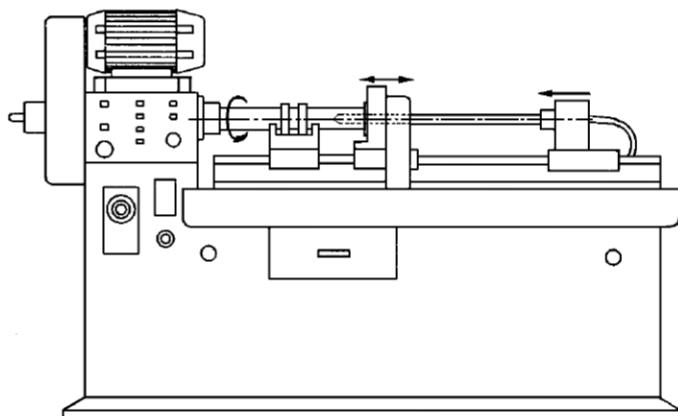
У поређењу с многим другим машинама радилицама, ове машине имају већу потрошњу електричне енергије, при чему се само за одвод струготине троши око 30% укупне електричне енергије. Шема поделе машина приказана је на слици 4.1. [3]



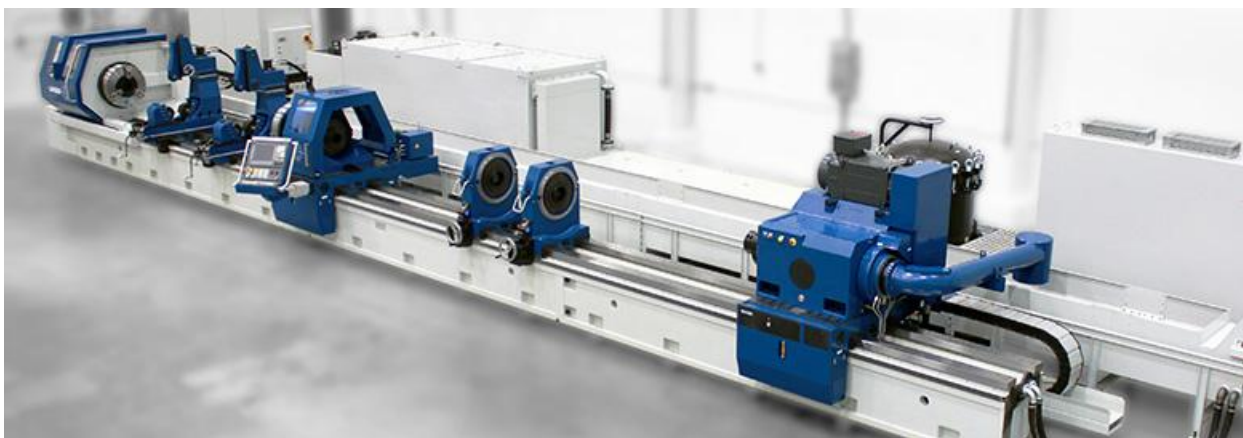
Слика 4.1. Шема поделе машина за дубоко бушење [3]

4.2. Машины за дубоко бушење типа струга

Ове машине заузимају велику површину и неекономичне су са становишта утрошка електричне енергије, али ради могућности остваривања великог броја обртаја, имају најширу примену код дубоког бушења. Сви ротациони радни предмети мањих габарита буше се на овим машинама. На овим бушилицама не изводи се двострано бушење дубоких отвора. Средњи и крупни делови, који немају велик дебаланс, често се обрађују на овом типу машина. Ако се буше радни предмети великих дужина, машине се опремају линетама затвореног типа. Уколико је потребно обезбедити већи број обртаја радног предмета, потребно је на машини омогућити допунско обртање алата за дубоко бушење. Ове бушилице дају висок квалитет обраде дубоких отвора и представљају тип машина у коме је најпогодније извршити аутоматизацију дубоког бушења. [4]



Слика 4.2. Шема машине за дубоко бушење типа струга [5]



Слика 4.3. Машина за дубоко бушење немачке фирме TIBO Tiefbohrtechnik [10]

4.3. Машине за дубоко бушење са варијатором

Код бушилица овог типа радни предмети се делимично постављају у шупље вретено преносника главног кретања које се назива варијатором. Варијатор, у поређењу са главним вретеном бушилица типа струга, има знатно већи попречни пресек. Ово говори да се димензионисање варијатора не врши помоћу великих брзина радног предмета. Брзина бушења код машина које раде са истовременим обртањем радног предмета и алата одређује се по обрасцу: [3]

$$V_b = \frac{d(n_p \pm n_a)}{1000} [m/min] \quad (4.1)$$

где су:

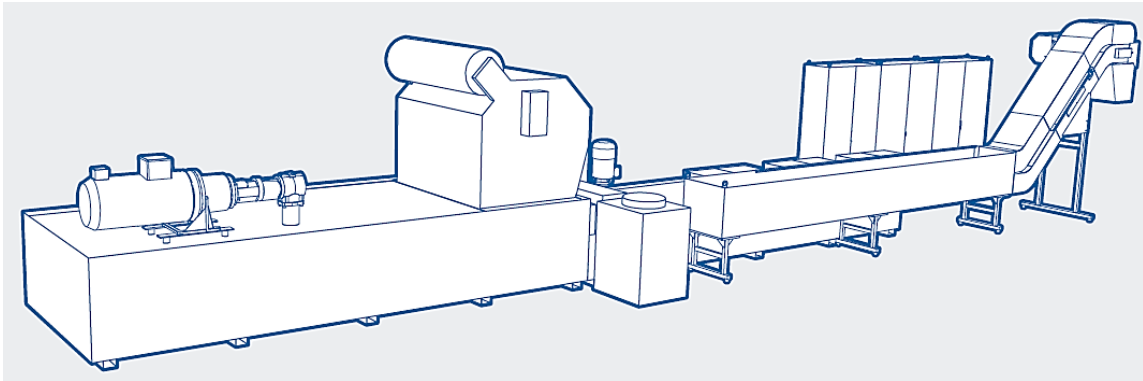
d – пречник бушења, mm

n_p – број обртаја алата, o/min

n_a – број обртаја радног предмета, o/min

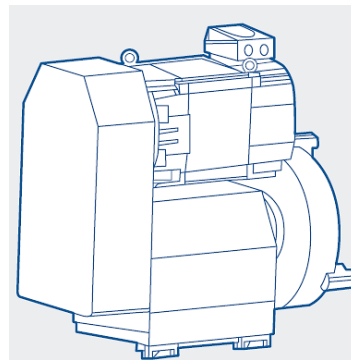
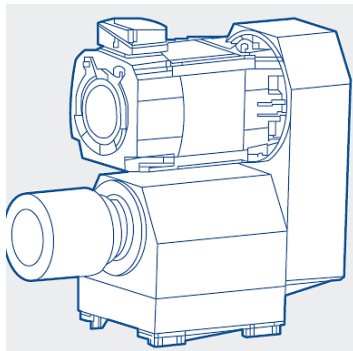
Код машина овог типа при обради могу да се окрећу у радни предмет и алат. Знак "плус" се ставља при обртању радног предмета и алата у истом смеру, а знак "минус" при обртању радног предмета и алата у различитим смеровима. Бушилице с варијатором имају све елементе као бушилице типа струга. Веома често вретено варијатора има две стезне главе помоћу којих се врши стезање радног предмета. Обично се на овим машинама обрађују делови који при дубоком бушењу не смеју да имају велики број обртаја. То су отковци, ваљани и други делови који нису ротационог облика. Ротационе делове, који имају велике спољне пречнике, а мале пречнике бушења, препоручљиво је да се буше са два краја и са

великим брзинама глава за дубоко бушење. Конструкција ових машина је компактна и омогућује безбедан рад. На машинама се буше делови средњих димензија. Машина за дубоко бушење се састоји од неколико подсистема. Подсистем за хлађење и одвођење струготине има улогу да обезбеди хлађење резних плочица алата услед непрекидног процеса дубоког бушења. Поред тога он треба да врши несметано одвођење струготине и расхладне течности (слика 4.4). [10]



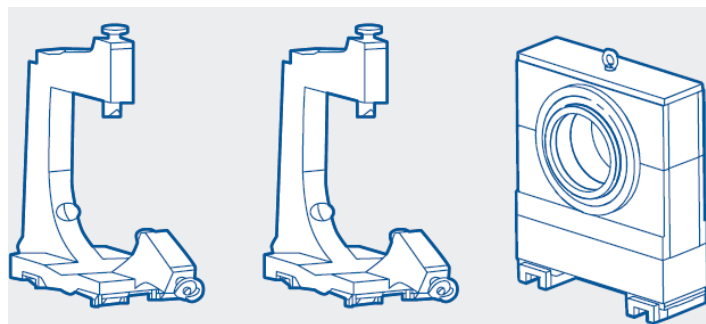
Слика 4.4. Систем за хлађење и одвођење струготине [10]

Код машина са варијатором неопходно је кретање и алата и предмет обраде, то се обезбеђује помоћу одвојених електромотора (слика 4.5).



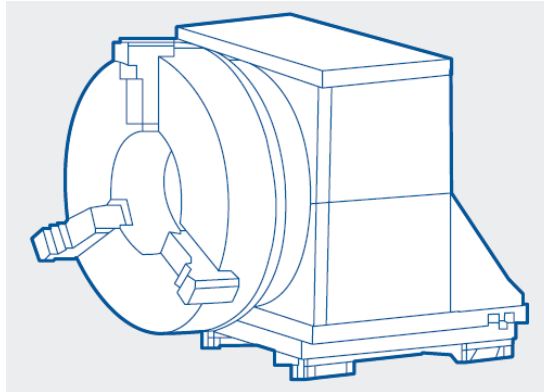
Слика 4.5. Електромотори за покретање вретена алата и предмета обраде [10]

Да би се обезбедило правилно вођење предмета обраде, нарочито ако се ради о деловима већих димензија неопходна је употреба линета (слика 4.6).



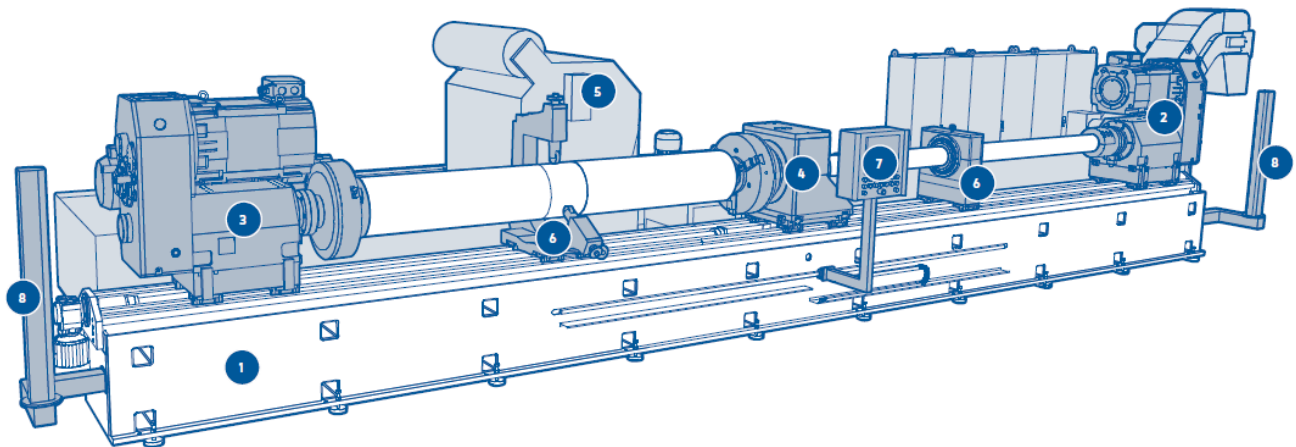
Слика 4.6. Линете [10]

Код дубоког бушења течност за хлађење се доводи под великим притиском па је код ВТА поступка бушења неопходно постојање заптивног подсистема који је приказан на слици 4.7. Поставља се на контату алата и радног предмета.



Слика 4.7. Подсистем за заптивање [10]

На слици 4.8 је приказана машина за дубоко бушење и њени сатавни делови и уређаји.



Слика 4.8. Машина за дубоко бушење: 1 – постолје, 2 – електромотор за покретања алата, 3 – електромотор за покретање предмета обраде, 4 – подсистем за заптивање, 5 – подсистем за хлађење и одвођење струготине, 6 – линете, 7 – управљачка јединица, 8 – сигурносне шипке [10]



Слика 4.9. Машина за дубоко бушење фирме GSM drilling [9]

4.3. Машине за дубоко бушење код којих се не обрће предмет обраде

Ове бушилице имају мању примену од претходне две врсте бушилица за дубоко бушење. 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. Бушилице су веома компактне и имају најмању потрошњу електричне енергије. Недостатак овог типа бушилица 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, при чему није потребно обезбеђивати леве и десне главе за дубоко бушење. [4]

Постоје два типа ових машина:

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

Машине за двострано бушење 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. Међутим, 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 су:

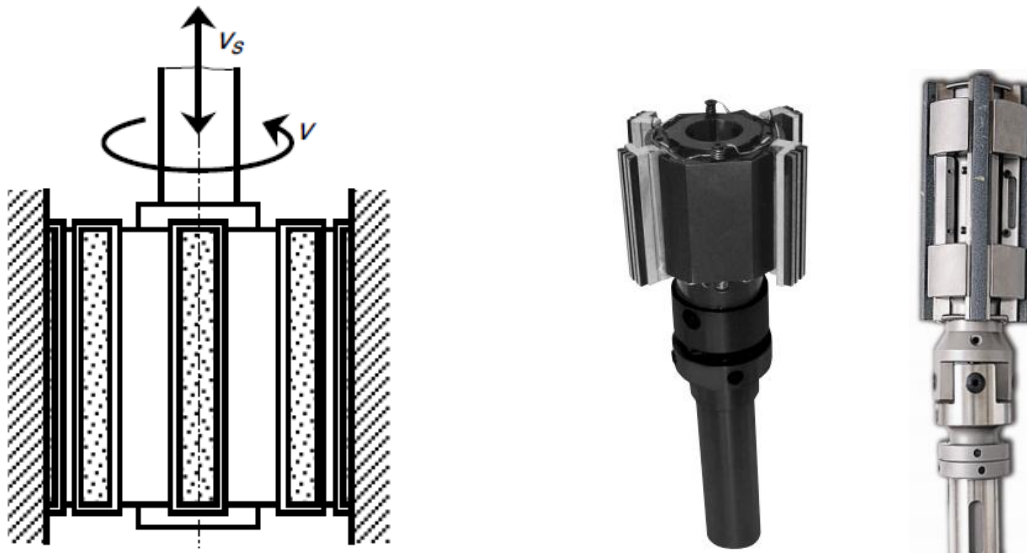
- прелом осе дубоког отвора и
- одступања осе отвора од предвиђеног правца

5. Завршне обраде цеви

Да би смо добили захтевани квалите обраде унутрашње површине цеви неопходна је примена такозваних завршних обрада цеви. Обрађене цеви требало би да буду квалитета N5 или N6 што се постиже завршним обрадама полирања и хоновања.

5.1. Хоновање

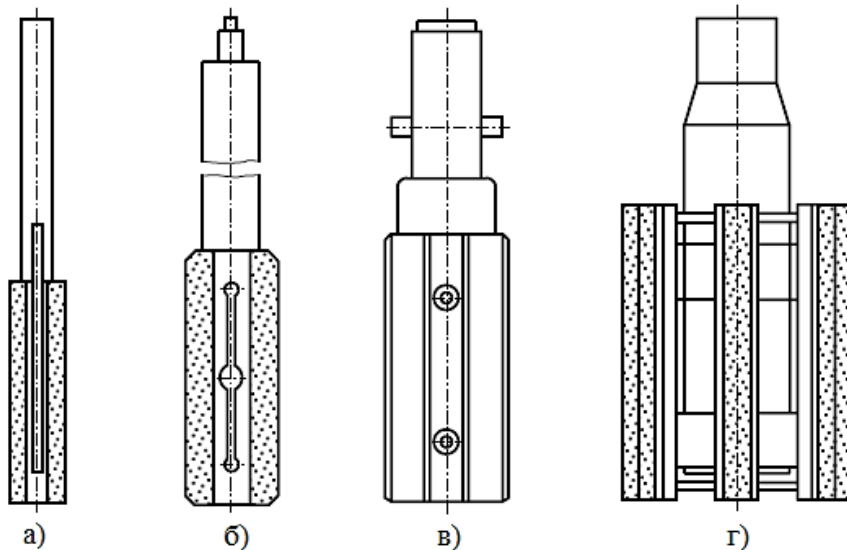
Хоновање је поступак обраде скоро искључиво округлих отвора који су претходно обрађени развртањем, најфинијим унутрашњим стругањем, провлачењем или брушењем. Хоновањем се обрађују отвори пречника од 5 до 1100 mm са дужинама до неколико метара. Овај поступак завршне обраде служи искључиво за завршно "дотеривање" облика и смањење храпавости обрађене површине без могућности повећања димезија или поправљања положаја или конусности отвора. Хоновањем се добија веома квалитетно обрађена површина, квалитет тачности мера око $\pm 0,01 \text{ mm}$, па чак и до $\pm(0,003 \text{ до } 0,007) \text{ mm}$, и храпавости обрађене површине $Ra = 0,08 \text{ до } 0,32 \text{ }\mu\text{m}$. На слици 5.1 (лево) приказана је шема хоновања цилиндричних отвора. Хоновање је слично унутрашњем брушењу јер је алат израђен од истог материјала као и брусно тоцило, али код хоновања алат врши сва кретања: главно обртно и помоћно праволинијско (напред – назад), са карактеристиком дуплог хода. [1]



Слика 5.1. Шематски приказ поступка хоновања и изглед алата за хоновање [11]

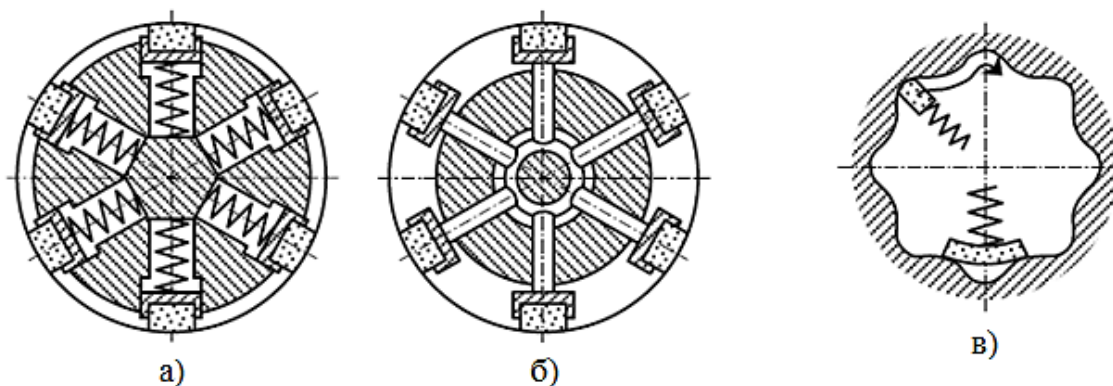
Алати за хоновање су састављени од два основна дела: труп (глава) и брусни сегменти. Најчешће су брусни сегменти залепљени на металне носаче у глави који се могу радијално

померати те на тај начин fino подешавати на потребну димензију. На слици 5.2 приказане су нека најчешће коришћена решења алата за хоновање. За предмете мањих димензија (2 до 10 mm) користе се вретенасти алати или трнови за хоновање, слика 5.2, а), а за делове од 12 до 48 mm (изузетно до 60 mm) користе се ваљкасти алати, слика 5.2, б), док се за предмете димензија од 32 до 200 mm користе алати са широким сегментима, слика 5.2, в) и главе за хоновање, слика 5.2, г). Алати са широким сегментима су нарочито нашли примену код обраде претходно обрађених отвора са ниском тачношћу. У принципу се уски брусни сегменти лепе за носаче посебним лепком, а широки сегменти причвршћују вијцима. Иначе, брусни сегменти заједно са носачима, у глави могу бити еластични или круто постављени.



Слика 5.2. Алати за хоновање: а) вретенасти алати, б) ваљкасти алати, в) алати са широким сегментима, г) главе за хоновање [1]

Слика 5.3 представља попречне пресеке алата за хоновање. Код старијих решења, слика 5.3, а), сегменти се ослањају на опруге које их константно притискају према обрађиваној површини. Услед тога, са повећањем времена хоновања, отвор постаје све већи. Недостатак овог решења је да се претходно неокругли отвори не могу поправити у округле, јер сегменти, нарочито уски, прате претходно урађену контуру отвора. Ово се шематски може показати сликом 5.3, в). Због наведеног, алати са еластичним ослањањем сегмената по правилу имају шире сегменте. Код новијих решења, слика 5.3, б) сегменти се ослањају преко цепова на два конуса у средини главе. Померањем конуса се могу фиксирати радијални положаји брусних сегмената. Оваквим алатима је могуће неокругле отворе "поправити" у округле. [1]



Слика 5.3. Конструкциона решења алата за хоновање: а) и б), шематски приказ путања уских и широких брусних сегмената са еластичним ослањањем в) [1]

Најчешће се примењује за обраду глатких цилиндричних отвора (цилиндри мотора, пумпи, дизалица и др.). У производњи наоружања хоновањем се обрађују канали цеви пре и после олучења, канали глатких цеви, цилиндри противтрзајућих уређаја, цилиндри изравњача, цилиндри дизалица итд.

Број брусева може да буде од 4 до 12, у зависности од пречника отвора који се обрађује и снаге машине за хоновање. Брусеви су постављени под углом од 20 до 30° један у односу према другоме по обиму главе за хоновање.

Процес хоновања за делове типа цеви има, у зависности од положаја цеви, има различиту кинематику. При хоризонталном положају припремка на машини, окретање врши и комад и алат, а код вертикалног – само алат тј. глава за хоновање. Истовремено, са окретањем по обе шеме, алат се помера повратно-степенасто. Слагање ових кретања на површини канала даје за јединичну тачку бруса (тј. за абразивно зрно главе) путању огреботине у облику мрежице. Брусеви на својој површини имају мноштво абразивних зрна, зато се на површини канала који се обрађује ствара густа мрежица огреботина.

Продуктивност процеса и квалитет обрађене површине, зависе од типа бруса и њиховог абразива, од међуодноса брзина обртног и повратно-степенастог кретања и специфичног притиска бруса на површину канала. Брусеви се раде од електрокорунда са керамицким везивом или вештачких дијаманата са металним везивом.

Притисак бруса на површину канала комада износи од 0,3÷0,2 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). Доста добру способност испирања има SHP које се састоји од 50% керозина и 50% машинског (вретеновог) уља. Потребна храпавост површине канала припремка цеви за наредни процес радијалног ковања лежи у дијапазону

$R_a = 0,8 \div 1,25 \text{ } \mu\text{m}$ без прстенастих рисева (посекотина). Процес хоновања поуздано обезбеђује овакав захтев.

При обради хоновањем алат врши обртно кретање брзином V_o и праволинијско посмично кретање брзином V_A . За разлику од осталих поступака обраде, код хоновања је утицај посмине на брзину резања веома значајан. [1]

$$V_o = \frac{D \cdot n \cdot \pi}{1000}, \text{ m/min} \quad (5.1)$$

D – пречник алата, mm

n – број обртаја алата, o/min

$$V_A = 2 \cdot n_{dh} \cdot L_h, \text{ m/min} \quad (5.2)$$

n_{dh} - број дуплих ходава алата у минути, dh/min

L_h - дужина хода алата, mm

Брзина резања при хоновању V_{rez} једнака је:

$$V_{rez} = \sqrt{V_1^2 + V_s^2}, \text{ m/min} \quad (5.3)$$

Радијални посмак хоновања одређује се по обрасцу:

$$S_t = \frac{W}{S_o \cdot V_o \cdot 10^3}, \text{ mm/prolazu} \quad (5.4)$$

Запремина W скинутог материјала у јединици времена одређује се по формули:

$$W = C_w \cdot d \cdot R_2^x \cdot \delta^{0,4} \cdot L_{ak}, \text{ mm}^3/\text{min} \quad (5.5)$$

C_w – коефицијент зависан од материјала обраде,

d – пречник хонованиг отвора,

R_2 – двострука храпавост за тражени квалитет хоновања,

δ – величина толеранциског поља, mm

x – коефицијент зависан од врсте обрађиваног материјала,

L_{ak} – активана дужина бруса, mm

Посмак S_o главе за хоновање одређује се по обрасцу:

$$S_o = \frac{1000 \cdot V_A}{z}, \text{ mm/obr} \quad (5.6)$$

z – број брусев на глави за хоновање

Технолошко време хоновања одређује се на основу формуле:

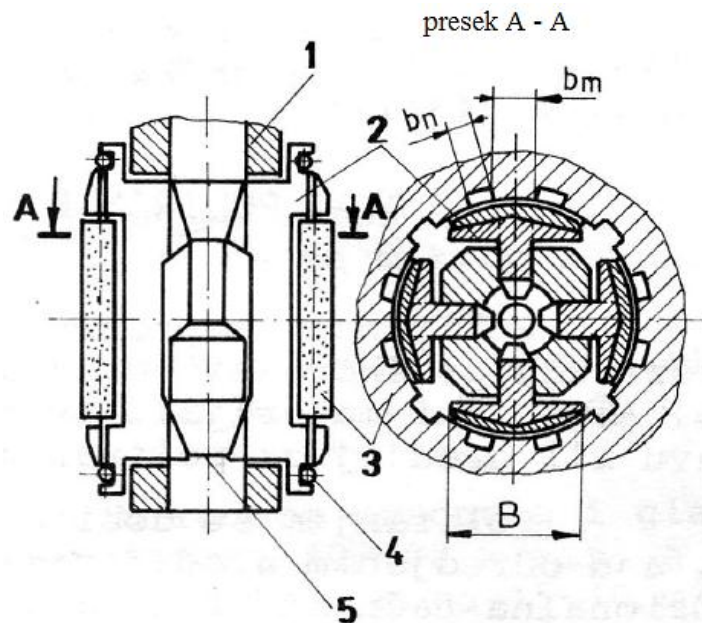
$$T_t = \frac{2(L+2e) \cdot k}{1000 \cdot V_A}, \text{ min} \quad (5.7)$$

L – дужина хоновог радног предмета,

e – излаз главе за хоновање изван радног предмета,

k – број двоструких хода до завршетка хоновања

Додатак за хоновање се узима 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. Померање брусев на глави до жељеног пречника остварује се механичким или хидрауличним путем помоћу конуса на које належу носачи брусев. На слици 5.4 приказана је глава за хоновање ожљебљених цилиндричних отвора.

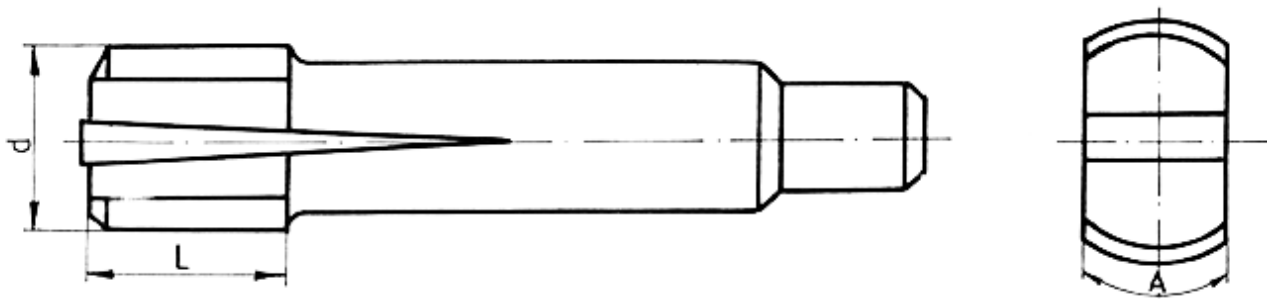


Слика 5.4. Глава за хоновање ожљебљених отвора: 1 – тело, 2 – плочица – вођица, 3 – брусев, 4 – стезна опруга, 5 – распињујући конус [3]

5.2. Полирање

Полирање је процес механичке обраде површина помоћу абразивних прашкова ситнозрнасте структуре или специјалних паста. Абразивни материјали се равномерно наносе на специјалну главу или уређај за полирање. Полирањем се добија висок квалитет обрађене површине, а у одређеним случајевима се обезбеђује и потребна димензионална тачност. Полиране површине, које су претходно хромиране или никловане, добијају декоративан изглед. У производњи пешадијског и артиљеријског наоружања полирају се барутне коморе, канали неолучених цеви, канали олучених цеви пре и после олучења, цилиндри против-трзајућих уређаја и др. [3]

При полирању се радни предмет обрће у једном, а глава за полирање (која врши и праволинијско кретање) у супротном смеру. У одређеним случајевима главе за полирање се не обрћу. Тело главе за полирање се најчешће израђује од брезе, клена, храста или бреста. Изглед главе је приказан на слици 5.5.



Слика 5.5. Глава за полирање [3]

Дужина лука А радне површине главе износи $1/4 \div 1/6$ обима круга, а укупна радна површина 30 до 50% кружне површине главе пречника d . При полирању конусних површина, дужина L не треба да је већа од 50 до 70 mm. При получистом полирању површина главе се облаже кожом, док се за завршну обраду полирањем радна површина прекрива шињелним сукном у два слоја. На површину коже или сукна равномерно се наносе абразивни прашкови. У току полирања врши се обилно подмазивање машинским или вретеним уљем. Получистим полирањем се скида додаток који пречник отвора повећава од 0,10 до 0,15 mm и остварује квалитет обрађене површине класе храпавости 7 до 8. Зрност кориштених прашака је $120 \div 150$. Завршним полирањем се добија квалитет обрађене површине класе храпавости $N4 \div N6$. Зрност прашка за завршно полирање креће се од 200 до 280. При завршном полирању се скида слој материјала који пречник отвора повећава од 0,1 до 0,005 mm. У одређеним случајевима, када се тражи квалитет обрађене површине класе храпавости $N2$, користе се микропрашкови или специјалне пасте. За полирање канала неолучених оруђних цеви и цилиндара, мера пречника отвора пре полирања је за 0,05 до 0,15 mm мања од мере после полирања. Брзина полирања при обртању радног предмета и главе за полирање у различитим смеровима износи $40 \div 100 \text{ m/min}$, а при обртању само радног предмета брзина се смањује на

15÷40 m/min. Уздужни посмак главе износи 4÷10 m/min. У одређеним случајевима полирање се користи за отклањање овалности код барутне коморе и канала цеви. При извођењу ове операције глава за полирање врши обртно и праволинијско кретање, а цев мирује. Машина за полирање приказана је на слици 5.6.



Слика 5.6. Машина за хоновање и полирање цеви [11]

6. Закључак

Већина металних делова који се уграђују у различите машине и уређаје свој коначан облик најчешће добијају поступцима обраде резањем. Правилним планирањем полазног комада, редоследом операција и прилагођавањем делова условима производње добићемо делове који су добро обликовани, много лакше се израђују, смањен је број операција којима се подвргавају, самим тим смањено је и време израде, значајне су уштеде на резном и стезном алату, нарочито ако се резни алати правилно употреби. Уштеде се јављају и када се користе стандардни алати. Све ово доприноси и тачнијој изради делова, па се може планирати и израда знатно прецизнијих делова, што доприноси квалитету крајњег производа. Све ово доводи и до уштеда на енергентима и потрошном материјалу (уља, мазива, емулзије...) Обрада отвора као једна од најзаступљенијих поступака обраде одвајањем честица користи алате намењене само за ту сврху. Водећи светски произвођачи због тога шире своју понуду алата за обраду отвора да би остали конкуренти, док неки од произвођача се фокусирају на одређене операције код обраде отвора и са константним унапређењем. Исто тако развијају се специјални алати којима је сврха да обаве више операција одједном и самим тиме скрате време обраде. Пример томе је развој ејекторске технологије за дубоко бушење где се види како је ејекторски поступак произашао из STS поступка и да је отклонио већину мана тог поступка за дубоко бушење.

Код обраде дубоким бушењем веома је важан материјал од ког је направљена резна плочица као и њен облик. Примена савремених материјала омогућила је бушење отвора веома великих пречника, поред тога треба обратити пажњу и на конструкциона решења глава алата, респоред резних плочица уколико их има више, и број степеница код алата са једном резном ивицом. Све ово се спроводи у циљу бољег одвођења струготине, уколико би делови струготине били исувише велики постојала би могућност заглављивања струготине у глави алата или носачу алата. Веома битну улогу има течност за хлађење јер се ради о непрекидном бушење па долази до великог загревања алата што неповољно утиче на резне плочице. Завршне обраде код израде цеви наоружања треба задовоље захтеве у погледу квалитета обрађене површине то се постиже употребом одговоријућих абразива код обраде хоновањем, док се код обраде полирањем користе одговарајуће пасте и абразиви ситније гранулације.

Поступак израде цеви обухвата низ операција са скидањем струготине, поред наведених (дубоко бушење, хоновање и полирање), непходно је вршити и спољну обраду на стругу, проширивање барутне коморе и израде ожљебљења уколико је реч о жљебљеним цевима. Приликом ових обрада долази до појаве заосталих напона, па се из тог разлога врши наизменично једна спољна па једна унутрашња обрада.

Литература

- [1] Сабахудин Екиповић: Поступци обраде метала резањем, Машински факултет, Зеница, 2005.
- [2] SANDVIK: Deep hole drilling; каталог алата, 2004.
- [3] Винко Павелић: Технологија производње наоружања, Центар војнотехничких школа KoV JNA, Загреб, 1988.
- [4] Audrey S. Taptun: Production of artillery systems, US Army Foreign Science and Technology Center, 1972.
- [5] Rodrigo Lima Stoeterau: Processos de usinagem, Universidade federal de santa catarina, Florianópolis, 2005.
- [6] BOTEK: System single flute gundrills; каталог алата, 2014.
- [7] BOTEK: Ejector system; каталог алата, 2013.
- [8] BOTEK: Trepanning tools Type 28 / Type 48; каталог алата, 2012.
- [9] <http://www.gsmdrilling.com>; септембар 2016.
- [10] <http://tibo.com/en>; септембар 2016.
- [11] SUNNEN: Precision honing supplies; каталог алата, 2012.
- [12] GUHRING KG: каталог алата, 2014.