

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу

Немања Д. Кнежевић

Чишћење чистим воденим млазом високог притиска

Мастер рад

Крагујевац, 2020.

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Мастер академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Неконвенционални поступци обраде

Број индекса: 417/2018

Немања Д. Кнежевић

Чишћење чистим воденим млазом високог притиска

Мастер рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. **Пр. др Богдан Недић - ментор**
2. _____
3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____

УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ
ФАКУЛТЕТ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА
Катедра за: Производно машинство
Предмет: Неконвенционални поступци обраде

МАСТЕР РАД

са темом:

Чишћење чистим воденим млазом високог притиска

За кандидата: Кнежевић Немања, број индекса: 417/2018

У оквиру мастер потребно је да кандидат изврши прикупљање и систематизацију података о технологијама механичког чишћења делова у процесу њихове израде. Посебно разматрати чишћење делова чистим воденим млазом високог притиска. Потребно је описати опрему и приказати њихове техничке карактеристике. У посебном делу рада дати примере примене чишћења чистим воденим млазом. На крају рада извршити пројектовање уређаја за чишћење воденим млазом високог притиска.

Мастер рад треба да садржи следеће целине:

1. Уводна разматрања,
2. Технологије механичког чишћења,
3. Чишћење чистим воденим млазом – *Wash-out*,
4. Примери уређаја и делова пре и после чишћења,
5. Пример пројектовања уређаја,
6. Закључци,
7. Литература.

ПРЕДМЕТНИ НАСТАВНИК
Проф. др Богдан Недић

Крагујевац, 2020. год.

РЕЗИМЕ

У раду је извршена анализа о технологијама механичког чишћења делова у процесу њихове израде. Посебно је посвећена пажња о чишћењу делова чистим воденим млазом високог притиска- *Wash-out* са објашњеним основним компонентама једног оваквог система за чишћење. У наставку рада дати су примери делова пре и после чишћења воденим млазом високог притиска, као што је: санитарно чишћење канализације, чишћење измењивача топлоте, чишћење резервоара. На крају рада приступило се пројектовању млазног пиштоља и млазнице високог притиска и описана је функција истих.

Кључне речи: Водени млаз, млаз високог притиска, *Wash-out*, млазни пиштољ, млазница

ABSTRACT

This paper presents analysis of the technologies of mechanical cleaning of works in the process of their production. Special attention is paid to cleaning parts with high pressure water- *Wash-out* with the basic components of the system explained. The following are examples of parts before and after cleaning with high pressure water, such as: sanitary cleaning of sewers, cleaning of heat exchangers, cleaning of tanks. At the end of the work, the design of the high pressure trigger jet gun and the nuzzle is represented with their functions explained.

Keywords: *Water jet, high pressure jet, Wash-out, trigger jet gun, nuzzle*

САДРЖАЈ

1. Увод	1
2. Технологије механичког чишћења.....	3
2.1 Пескарење	3
2.2 Чишћење четкама.....	11
2.3 Брушење и полирање	14
2.4 Чишћење и полирање у добошима.....	17
3. Чишћење чистим воденим млазом – WASH-OUT	20
3.1 Преоперативно чишћење	21
3.2 Разарање водом високог притиска (енг. <i>Hydrodemolition</i>)	23
3.4 Чишћење водом високог притиска у функцији делаборације.....	25
3.3 Делови и опрема	29
4. Примери уређаја и делова пре и после чишћења	39
4.1 Санитарно чишћење канализације	39
4.2 Чишћење резервоара.....	40
4.3 Чишћење измењивача топлоте	42
5. Пројектовање млазног пиштоља и млазнице	44
6. Закључак.....	53
7. Литература	54

1. УВОД

Чишћење водом високог притиска се разликује од осталих метода чишћења јер користи енергију воде која својим високим притиском млаза чисти жељене површине (500 - 2000 бара). Овај вид чишћења, са или без додавања абразива, омогућава потпуно чишћење оштећеног горњег слоја површине а основни слој оставља нетакнутим. Млаз под високим притиском има додатну предност јер уклања и све (невидљиве) остатке хлорида и сулфата са металних површина. Чишћење воденим млазом се може одвијати под високим или ниским притиском, вруће или хладно, са или без абразива или прашка за припрему метала пре фарбања. Вода сама по себи не може нагризати металну површину, самим тим чишћење воденим млазом није намењено да замени абразивно чишћење водом. Нагризање метални површина се постиже када се абразив убризга у млазницу. Поступак чишћења воденим млазом има добро прихватање у ситуацијама када постоји присутност прашине и прљавштина од сувог абразивног чишћења опасног за људе и машине. Са стране економичности, чишћење водом је боље од ручног или електричног чишћења, када је у питању одржавање боје, где посао захтева да се уклоне све насlage боје, рђе и да се темељно оперу површине.

Мастер рад се састоји из два дела, теоретског и дела где је приказано пројектовање млазног пиштоља и млазнице.

Први део рада овухвата кратак приказ технологија механичког чишћења површина, где је мало ближе објашњено зашто је припрема површина основни првостепени третман инжењерских површина пре наношења било којег премаза. Дата је основна подела основних технологија механичке припреме површина. Објашњен је поступак пескарења, мокрог абразивног пескарења, пескарење млазом честица као и њихове мане и предности. Објашњени су и сликовито приказани абразивни материјали који се користе за технологију механичког чишћења као и њихово подручје примене. Методе припреме површине метала помоћу ручних алата и електричних алата су тако такође приказане и објашњено је која је њихова примена.

Пошто је завршна обрада код металних површина веома битна, у наставку рада су објашњени поступци брушења (који уклањају масноћу, прашину, оксиде, сулфиде и друге производе од корозије), процеси полирања, чишћење и полирање у добошима са сликовитим приказом машине и њених компоненти.

Посебну пажњу мастер рада је посвећено чишћењу чистим воденим млазом-*wash-out*. У склопу овог поглавља посвећена је пажња избору поступка преоперативног чишћења и шта све треба узети у обзир када се дефинише један такав поступак. Поступак разарања водом високог притиска, који спада у поступке чишћења водом високог притиска, је веома битан код поправке и рестаурације бетона јер не изазива микрорукотине и не штети арматуру бетона приликом чишћења. Чишћење водом високог притиска у функцији делаборације је објашњено кроз експериментално истраживање где су сликовито приказане тестиране чауре као и резултати експеримента.

Основни делови и опрема уређаја за чишћење водом високог притиска су објашњени у наставку рада, а то су: пумпа високог притиска, црева високог притиска, спојница, млазни пиштољ, млазница и др. У посебном делу рада су дати примери уређаја и делова пре и после чишћења, ту спада: санитарно чишћење канализације, чишћење резервоара, чишћење измењивача топлоте.

У другом делу мастер рада је приступљено пројектовању млазног пиштоља за прање под високим притиском од 345 бари, максималним протоком од 39,7 l/min као и пројектовању млазнице која се користи за притиске до 350 бари. Сликаом је дат полупресек млазног пиштоља који приказује основне елементе једног млазног пиштоља овог типа и сам начин функционисања пиштоља је такође објашњено.

2. ТЕХНОЛОГИЈЕ МЕХАНИЧКОГ ЧИШЋЕЊА

Припрема површине је основни првостепени третман инжењерских површина пре наношења било којег премаза и опште је прихваћен као најважнији фактор који утиче на укупан успех система за заштиту од корозије.

На перформансе премаза значајно утиче његова способност да се правилно прилепи за материјал подлоге. Преостали водени камен на инжењерским површинама је незадовољавајућа основа за наношење савремених заштитних премаза високих перформанси и због тога се уклања честицама абразивног материјала. Остали површински загађивачи на инжењерској површини, попут уља и масти, такође су непожељни и морају се уклонити пре поступка чишћења [1].

Припрема површине може уштедети време и новац, као и значајно смањити могућност оштећења премаза и скупе прераде. С обзиром да се на инжењерским површинама јављају нечистоће различитог порекла и састава, са аспекта технологија припреме површине најзначајније је одстранити механичке нечистоће и продукте корозије. Поред чишћења површина и програмирање микрогеометријских карактеристика површина има значајно место у припреми материјала за наношење превлака и модификовање површина.

Квалитетно припремљена површина за наношење премаза (боја и лакова) је чак 80% заштите од корозије, док квалитет премаза уз технологију наношења чини 20% заштите. Ако је површина третирана ручним чишћењем четкама или брушењем, већ после две године биће потребно поновно чишћење и заштита. Коришћењем хемијских средстава за чишћење површина трајање премаза расте до 8 година. Уколико се припрема површина врши пескарењем абразивним средствима, век премаза премашује 10 година [2].

Основне технологије механичке припреме површина су:

- пескарење,
- чишћење четкама,
- полирање и
- чишћење ултразвуком.

2.1 Пескарење

Припрема инжењерских површина и других конструкционих материјала представља витални задатак у многим инжењерским браншама и обично се постиже применом абразивних честица, као што је песак или вода потиснута до великих брзина.

Пескарење је такође познато као и абразивно пескарење. У основи, то је поступак потискивања медијума абразивног материјала на површину. Поступак пескарења се врши под високим притиском како би се очистила и изравнала храпава површина како би се уклонили њени загађивачи. Како би се добила жељена кинетичка енергија абразивних честица, то се постиже компримованим ваздухом или центрифугалним системима. Такође постоје и неабразивни материјали као што су

индустријска сода, суви лед и др. Ако се правилно изведе поступак пескарења, површина ће бити темељно очишћена и створиће се површински профил за механичку адхезију. Да би се постигла економичност током процеса пескарења, оператер мора одржавати продуктивност и ефикасност система за чишћење и обратити пажњу на све компоненте уређаја. Принцип абразивног пескарења је врло елементаран. Три компоненте се налазе у већини поступака пескарења, и то су: опрема, абразив и оператер. Обраћање пажње на ове три основне компоненте је кључ успеха или неуспеха читавог поступка обраде [2,4,5]

Абразивно пескарење се углавном користи у индустријским условима за уклањање корозије и осталих хемијских остатака са машинских компоненти, док се млаз воде или хидро-пескарење користи за уклањање боја и превлака. У цивилној инфраструктури пескарење и млаз воде су коришћени за уклањање нагомилане органске материје и других отпадака из подлога као што су бетон, челик и дрво. Постизање чисте и једнолике подлоге је витални предуслов за примену специјализованих премаза и материјала за поправку [2].

Материјали који се могу пескарити су [5]:

- стакло,
- камен,
- метали,
- дрво,
- пластични челици,
- месинг,
- алуминијум,
- сребро и др.

Материјали који се користе за пескарење:

- абразиви,
- кварцни песак,
- алуминијум оксид,
- силикон карбид,
- гарнет,
- пластични гранулат,
- стаклене куглице и др.

Предности пескарења су следеће [5]:

- Абразивно дејство на површини: абразивни материјали који се користе у процесу који имају агресивно дејство на површине,
- Погодно за грубе површине: снажно дејство процеса пескарења може уклонити загађиваче са тврдих површина попут бетона.
- Брзо уклањање загађивача: поступак пескарења помаже у уклањању наслага загађивача врло брзо са различитих површина,
- Мање машина је укључено: пескарење абразивом не укључује сложене машине за процес.

Мане пескарења су следеће [5]:

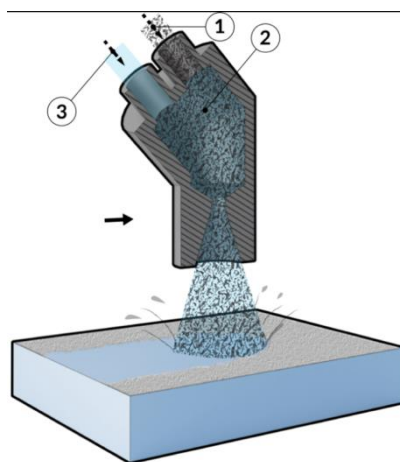
- Није погодно за глатке површине: за чишћење глатких површина, пескарење абразивима није погодно због употребе абразива. Према томе, уместо пескарења можете користити пескарење содом, што је такође сличан поступак за припрему површине, али на различите начине,
- Абразиви: абразиви који се користе у процесу пескарења су врло груби. Стога, ако се користи регуларно за одређену припрему површине, могло би се истрошити површина појединости.,
- Употреба силицијум-диоксида: забрањен је у већини земаља због различитих здравствених опасности.
- Генерисање топлоте: овај процес укључује пројекцију честица велике брзине, па се током процеса ствара пуно топлоте која може наштетити здрављу и површини,
- Захтева мере предострожности: овај поступак захтева пуно мера предострожности како би се спречиле различите врсте опасности. Осим тога, оператер мора покрити све делове свог тела у време његовог процеса.

По својим карактеристикама, пескарење у одређеној мери личи на брушење, међутим, површина након пескарења је мање груба. Поред тога, пескарење омогућава прецизно уклањање контаминације са места као што су шупљине које су недоступне традиционалним методама. Припрема површине овом методом се препоручује као замена за стандардне операције брушења на припремцима сложене геометрије. Штавише саветује се да површина након пескарења буде заштићена од штетног утицаја ваздуха [6].

Мокро абразивно пескарење (eng. *Wet abrasive blasting*)

Уобичајене карактеристике укључују: могућност употребе изузетно финих или грубих медија густине у распону од пластике до челика, способност употребе топле воде и сапуна како би се истовремено омогућило одмашћивање и пескарење, уклањање прашине, тако да се силикатни материјали могу без бриге користити, опасан материјал или се отпад може уклонити без опасности (уклањање азбеста, радиоактивних или

других отровних производа из компонената и структура што доводи до ефикасне деконтаминације). Шематски приказ процеса мокрог абразивног пескарења је приказан на слици 1.



Слика 1. Мокро абразивно пескарење [7]

Абразив се прво помеша са течностју која се обично састоји од воде у резервоару како би се створила каша. Каша [1] се затим доводи у комору за мешање [2] која је под притиском компримованог ваздуха [3]. Смеша се избацује кроз млазницу и капљице воде и абразива ударају и уклањају материјал са површине радног предмета.

Поступак је доступан у свим конвенционалним форматима, укључујући ручне ормаре, улазне кабине, аутоматизоване производне машине и преносне јединице за пескарење са укупним губицима. Брзине процеса могу бити брзе као и конвенционално суво пескарење када се користе еквивалентне величине и врсте медијума. Међутим, присуство воде између подлоге и подлоге која се обрађује ствара подмазујући слој који може да заштити и подлогу и површину од вишка оштећења. Ово има двоструку предност у смањењу стопе распадања медијума и спречавању импрегнације страних материјала на површини. Стога су површине након мокрог пескарења изузетно чисте, нема уграђених секундарних контаминација из медијума или из претходних процеса пескарења, а нема статичког лепљења прашине на пескарену површину. Поступци наношења слоја или лепљења су увек бољи након мокрог пескарења него код сувог пескарења због постигнутог нивоа чистоће. Недостатак површинске поновне контаминације такође омогућава употребу појединачне опреме за више операција пескарења (предмети од нерђајућег челика и угљеничног (благог) челика не могу се без проблема обрађивати у истој опреми са истим медијумима) [4].

Пескарење млазом честица (eng. shot blasting)

Техника без које ниједан власник металне индустрије не може функционисати јесте пескарење млазом честица. Користи се у скоро свакој индустрији која користи метале попут ваздухопловства, грађевинарства, аутомобилске индустрије, ливнице, железнице, бродоградње и многих других. Процес пескарења је постао незаменљив аспект металне грађевине и индустрије челичних конструкција. Ова техника пескарења пружа велике користи за заштиту и одржавање производа од челика и метала.

Овај вид пескарења представља поступак површинске обраде који користи абразив челика велике брзине (65-110 m/s). Методом пескарења млазом честица могуће је добити изврсно чишћење и припрему површине за операције секундарне дораде.

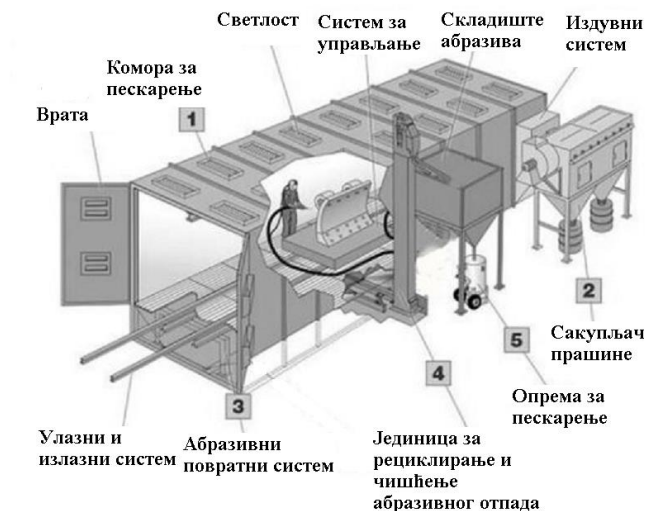
Почетком 1930-тих у процесу пескарења коришћен је компримовани ваздух за погон челичних сачми. Ова метода се користи и дан данас за чишћење металних оквира и заварених елемената. Производне линије пескарења млазом честица, како ручни тако и аутоматизовани системи, постале су изводљиве увођењем центрифугалних машина за пескарење.

Систем пескарења помоћу центрифугалне машине је продуктивнији од компримованог ваздуха и постиже бољу и уједначенију завршну површину. Критеријуми који се користе за одабир врсте пескарења који ће се користити зависе од величине и облика делова, стања површине која се чисти, коначна спецификација завршне обраде површине и потребан целокупан процес [8,9,10,].

Предности везане за пескарење млазом честица код процеса припрема површине јесу [9]:

- елиминисана је потреба за коришћење грубих хемикалија и не-еколошких ствари,
- пружа већу производну стопу, већи распон при одабиру абразива као и већу прецизност млаза честица код припреме површине,
- површине обрађене овом методом су апсолутно слободне од хемијских наслага, каменца и садржаја прашине,
- пескарење олакшава стварање трајне везе између заштитних слојева и пескарене површине. Такође помаже у откривању површинских грешака и недостатака.
- повећава издржљивост и дуготрајност заштитних површинских слојева јер боље пријања за очишћену површину и пружа површину без каменца.

Слика 2 представља приказ једне кабине за пескарење. Унутар кабине се налази прашина и абразив. Сакупљач прашине смањује ваздушни притисак унутар кабине за пескарење чиме спречава да прашина излази ван кабине. Отвори за приступ материјалу на улазу и излазу из кабине морају бити дизајнирани и заштићени да спрече абразивно расипање. Кабина је прављена од ниско угљеничног челика са унутрашњом шкољком направљеном од абразивног материјала који укључује легуре високе чврстоће и густе мешавине гуме. У деловима који су изложени директном удару млазнице високе брзине, користе се плоче од легираног челика (тврдоће 64 RC) које имају много већу отпорност на хабање од осталих чешће коришћених материјала попут манган челика [10].



Слика 2. Кабина за пескарење [12]

Абразивни материјали

Почетком 1900-их претпостављало се да зрна са оштрим ивицама пружају најбоље перформансе, али је касније показано да то није тачно.

Минерални: Силицијум диоксид се може користити као врста минералног абразива. Тежи да се брзо разбије, стварајући велике количине прашине, излажући оператера потенцијалном развоју силикозе које могу изазвати плућне болести. Да би се супротставио овој опасности, силикатни песак за пескарење често је премазан смолама за контролу прашине. Предност употребе овог абразива је у ниској цени, која га чини најјефтинјим од свих абразива за пескарење. Недостатак је што силицијум диоксид нема оштре ивице, постојеће ивице се брзо заобљавају и није могуће у кратком временском периоду обрадити површину до високог квалитета. Употреба силицијум диоксида (слика 3) као абразива из овог разлога није дозвољена у многим Европским државама.



Слика 3. Силицијум диоксид [13]

Још један уобичајени минерални абразив је гранат. Гранат (слика 4-лево) је скупљи од силицијум диоксида, али ако се правилно користи, нудиће еквивалентне стопе производње, а истовремено производи мање прашине и не представља опасност од гутања прашине. Магнезијум сулфат (слика 4-десно) се често користи као алтернатива соде бикарбоне.



Слика 4. *Гарнет (лево) и Магнезијум сулфат (десно)* [14, 15]

Пољопривредни: Обично се користе уситњене љуске ораха или зрна воћа (слика 5). Ови ”мекани” абразиви се користе за избегавање оштећења основног материјала, на пример при чишћењу цигли или камена, уклањању графита или уклањању премаза са штампаних плоча које се поправљају.



Слика 5. *Пољопривредни абразив (љуска ораха)* [16]

Синтетички: Ова категорија укључује кукурузни скроб, пшенични скроб, натријум бикарбонат и суви лед (слика 6). Ови ”мекани” абразиви се такође користе за избегавање оштећења основног материјала. Као средство за пескарење, код пескарења субим ледом, користе се пелете израђене од чврстог угљен диоксида на температури - 79 °C, пречника око 3mm, дужине 5-15 mm. Предност код пескарења сувим ледом је у томе што при раду оставља као отпад само субстрат који је био предмет пескарења, док он испари у атмосферу. Користи се за скидање површинске корозије, скидање лепкова, уља, мазива, боје, лакова, угљене прашине и др. Код пескарења содом користи се сода бикарбона (натријум бикарбонат) која је изузетно ломљива, а микро фрагментација при удару експлодира и отклања површинске материјале без оштећења подлоге. Употребљава се за чишћење осетљивијих делова код којих не сме доћи до оштећења основног материјала, за одстрањивање уља и масти из вентила, разних погонских механизма, лежајева итд.



Слика 6. Суви лед, натријум бикарбонат и кукурузни скроб [17, 18, 19]

Додатни синтетички абразиви укључују нуспроизводе процеса (нпр. Бакарна шљака, никл шљака и угаљ), конструисани абразиви (нпр. Алуминијум-оксид, силицијум-карбид или карбонат, стаклене куглице, керамичка сачма / песак) и рециклирани производи (нпр. пластични абразив, песак од стакла).

Бакарна троска је најбоља замена кварцном песку зато што честице имају већу чврстоћу, тврдоћу и абразивност од кварцног песка и због чега се могу више пута рециклирати. Користи се при одстрањивању нечистоћа, храпављењу, припреми површина за наношење заштитних превлака итд. Овај абразив не садржи слободне честице прашине која изазива силикозу. Што се тиче стаклених куглица, оне се користе за чишћење, ојачање и полирање површина свих металних и неметалних предмета. Најчешћа примена им је за чишћење варова и пескарење делова од нерђајућих челика у прехранбеној и у индустрији угоститељске опреме, али и за пескарење електронских компоненти и прецизних механизма.

Метални: Челична сачма, челични песак, сачма од нерђајућег челика, пресечена жица, бакарна сачма, алуминијумска сачма, цинк сачма.



Слика 7. Челична сачма (лево) и Цинк сачма (десно) [18]

Пескарење челичном сачмом се постиже равномерна, врло храпава, оштра и мат површина. Његов гранулат има веома високу чврстоћу и абразивност и грануле су угласте. Користи се за пескарење у коморама, за уклањање корозије, боје и других нечистоћа итд.

Многи грубљи медији који се користе у пескарењу често резултирају енергијом која се одаје у виду варнице или светлости при удару. Боје и величина варнице или светлости значајно варирају, од јако јарких наранџастих искри насталих пексаарењем челичном сачмом, до слабог плавог сјаја (често невидљивог на сунчевој светлости или јарко осветљеним радним местима) од абразива гарнета [4].

2.2 Чишћење четкама

Механичко чишћење је метода припреме површине метала помоћу ручних алата или алата са погоном, као што су жичане четке, чекићи за уситњавање, стругачи и вибрационе пиштоље са иглама. То је најмање задовољавајући метод чишћења, посебно за челичне радове изложене тешким или умереним условима. Не пружа задовољавајућу основу за многе премазе али величина подручја које се третирају или друге околности могу спречити употребу ефикаснијих метода [20].

Ручно чишћење је један од најстаријих процеса који се користи за припрему површина пре фарбања. Не уклања љуске (нпр. љуске топлотом ваљаног челика) и све трагове рђе, па је прихватљив само на изузетно малим површинама. Алати који се користе за ручно чишћење укључују жичане четке, неткане абразивне подлоге, стругала, ножеве, чекиће за уситњавање и у неким случајевима конвенционалне обложене абразиве.

Жичане четке могу бити практично било ког облика и величине. Два општа типа су дугуљаста четка са дугачком дршком и плочаста четка. Чекиће су направљене од опружне жице. Четке треба бацити када више нису ефикасне због лоше савијених или истрошених чекића. Неткани абразиви долазе у једноставном облику подлоге или се могу наносити на резервни држач са ручком.

Стругачи су дизајнирани на више начина. Требали би бити израђени од алатног челика, каљен и држан оштро да би био ефикасан. Неки стругачи се праве оштрењем крајева равних турпија или рашпи ширине 3,5 - 5 cm и причвршћавају се за дршку. Дршка може бити до 1,5 m дуга како би се повећала површина до које се може доћи. Остали алати за уситњавање и стругање израђени су од старих рашпи које су изоштрене на оба краја. Турпија је савијена под правим углом у тачки удаљеној неколико центиметара од једног краја.

Чекићи за ручно уситњавање препоручују се у радовима одржавања тамо где се створила рђа. Чекић за уситњавање дугачак је око 10-15 cm, а на оба краја главе налазе се два клинаста лица, једно лице је окомито на линију дршке, а друго под правим углом на прво лице. Помоћна опрема укључује четке за прашину, метле, разне величине ножева за гитове, стругаче, обложене абразиве и сигурносну опрему као што су заштитне наочаре и респиратори за прашину [20].

Сликом 3 дат је приказ различитих врста четки које се користе за чишћење.



Слика 3. *Различите врсте четки за чишћење* [21]

Основни недостатак ручног поступка је низак квалитет чишћења, мала производност и велики физички напор радника.

Чишћење електричним алатом даје бољи темељ за наношење боје од ручног алата, посебно када су површине прекривене јаком рђом, каменцима или другим чврсто налепљеним наслагама. Генерално, чишћење електричног алата погодно је само за мале површине, јер је релативно споро. Електрични алати (слика 4) не остављају толико остатака нити стварају толико прашине као абразивно пескарење, а често се користе тамо где прашина од пескарења може оштетити окружење. Међутим, могу полирати или оштетити површину ако се користе пребрзом брзином или предуго држе на једном месту. Чишћење електричним алатом треба да се преклапа за најмање 25 mm на било којој суседној премазној површини.



Слика 4. *Електрични алат за чишћење површина* [22]

Електрични алати који се користе за чишћење површина деле се у три основне групе [20]:

- Ударни алати за чишћење,
- Ротациони алати за чишћење,
- Ротационо ударни алати за чишћење.

Алати у свакој групи имају јединствене карактеристике због којих су прилагодљиви за различите операције чишћења и захтева. Врста електричног алата који ће се користити зависи од тога да ли постоји прихватљив профил на површини коју треба очистити. Ротациони алати за чишћење производе профил од приближно 10–15 мм, док ударни и ротационо ударни алати производе профил од 25 мм или више. Профил зависи од абразива уграђеног у ротационе клапне или пречника игала у игленим пиштољима [20].

Ударне алате за чишћење карактеришу чекићи за уситњавање и скалирање. Ова врста алата је корисна када се из метала морају уклонити тешке насlage рђе, каменца, густа стара боја, талог заваара, шљака и други крхки производи. Имају различите облике и израђени су од разних материјала. Чишћење површине чекићима за љуштење и уситњавање релативно је спор процес. Међутим, када се морају уклонити знатне насlage рђе или тешке боје, то може бити најбољи и најекономичнији метод.

Ударни алати се могу користити за уклањање уског каменца и рђе на површини, али то нису најпрактичнији или најекономичнији алати јер метал који се мора изравнати да би се темељито обавио посао. Алати морају бити оштри јер могу довести до појаве рђе и каменца на површини.

Ротациони алати за чишћење брзо обављају већину послова чишћења. Постоје три основне врсте средстава чишћења ових алата [20]:

- Неткани абразиви,
- Жичане четке,
- Обложени абразиви.

Ови медији се могу користити на две основне врсте алата:

- Равне или линијске машине,
- Вертикалне или правоугаоне машине.

Раван или линијски тип машине користи се са радијалним жичаним четкама, обложеним абразивним заклопним точковима и неткани абразивни точкови. Вертикални тип машине погодан је за четкасте жичане четке, обложене абразивне дискове, обложене абразивне дискове, неткане абразивне дискове, чашасте точкове и др. Тип машине варира у зависности од услова посла. Препоручљиво је имати оба типа при руци, јер се углавном оба користе на спољашњим пословима. Ротационим машинама за чишћење може се управљати пнеуматским или електричним мотором [20].

Већина машина на ваздушни погон садржи регулаторе за ограничавање слободне брзине рада. Управљачи реагују на оптерећење алата које настаје услед потиска на радну површину и доводе више ваздуха у мотор, повећавајући излазну снагу и одржавајући номиналну брзину док је под оптерећењем. Маchine на електрични погон раде фиксном брзином.

Неткани абразивни точкови се препоручују тамо где се основни метал не сме уклањати, али жичане четке нису довољно агресивне. Ови точкови се троше контролисаном брзином. Свежи радни абразив пружа константну брзину чишћења површине уз минимално оптерећење. Неткани абразиви се такође препоручују за уклањање каменца и премаза, јер је подложност оптерећењу мања у поређењу са обложеним абразивом.

Жичане четке долазе у радијалном облику и у облику чаше. Могу се састојати од жичаних чекиња различитог облика и величине које могу бити наборане или замршене. Стил и врста коришћеног чекиња или нетканог абразивног састава требају се заснивати на испитивањима [20].

Ротациони ударни алати раде на истом основном принципу као и други ударни алати, кроз резање или уситњавање. Али ови алати користе центрифугални принцип када се секачи или чекићи ротирају великом брзином и прислоне на површину. Ротациони алати за сечење користе три главне врсте медија: снопове резача (или звезде), обртне чекиће и обртне клапне за тешке услове рада. Све три се могу користити на пнеуматским или електричним алатима [20].

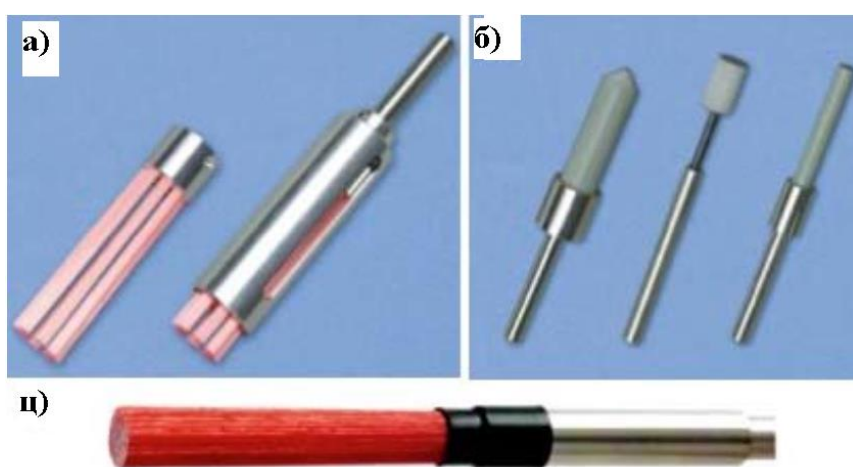
2.3 Брушење и полирање

У већини случајева обрада металних предмета захтева њихову правилну завршну обраду. У ту сврху се користе различите технологије као што су брушење и зарубљавање, којима су потребне скупе појединачне специјализоване машине и алати. Решење овог проблема је завршна обрада на истом машинском алату (нпр. CNC машинском алату) на коме је извршена операција. За то се могу користити ротирајући алати са скупом влакана израђених од челика, најлона, полипропилена или керамичког материјала, што је релативно нов материјал за такве алате.

Површинско брушење уклања не само масноћу, прашину и друге прљавштине, већ и сва упијена једињења и слојеве неметалног типа: оксиде, сулфиде и друге производе корозије. Њихова примена дата је сликом 5. Озбиљан недостатак челичних или полимерних алата је трајна деформација њихових влакана која узрокује низак квалитет обрађених површина и резултира ниском трајношћу алата. Изводљива алтернатива су ротирајући алати који се састоје од снопова керамичких влакана или компактних тврдых блокова алата типа брусне плоче (слика 6). Главна компонента керамичког материјала је алуминијум-оксид, Al_2O_3 .



Слика 5. Пример примене алата са челичним влакнима: а) обрада завареног споја, б) равнање храпаве ивице зупчаника [23]



Слика 6. Основни типови керамичких ротационих алата: а) алаз за брушење од снопова керамичких влакана, б) алат за брушење од компактних тврдих блокова, ц) алат за брушење у облику четкице од снопова керамичких влакана [23]

Брушење је једна од најзначајнијих производних операција завршне обраде, јер обезбеђује високу тачност мера и висок квалитет обрађене површине. Користи се такође као груба обрада одливака, отковака и заварених спојева и као фина обрада делова после термичке обраде. Могу се обрађивати све врсте метала и легура, обрађују се равне површине, ротационе и профилне површине, спољашње и унутрашње. Зупчаници, навоји и сл., се такође могу обрађивати.

За грубо брушење се користе брусне плоче са одговарајућим величинама брусних зрна. Фино брушење се изводи са еластичним брусним котурима од брусних трака или са неприкидном брусном траком са слојем абразивних зрна. Брушењем се добија равна и глатка површина погодна за наношење премаза (боја и лакова) али не и за наношење галванских и других тврдих превлака [2, 24].

Предности модернијих алата за брушење су [24]:

- Систем - веома једноставно руковање и удобност при држању,

- Монтирање - изузетно брза и једноставна промена алата смањује трошкове поступка,
- Ефекат хлађења - веома добро хлађење алата и материјала,
- Флексибилно брушење - мекано и посебно флексибилно понашање при брушењу код чеоног брушења.

Процеси **полирања** и брушења су завршна операција заглађивања површине помоћу абразивних честица и ротирајућег точка. Абразивни материјал се наноси између точка и радне површине како би се сјајио тај део. У процесу брушења углавном се користи растресити абразив који се наноси на точак, док је поступак полирања релативно оштрији. Точак за полирање наилази на радни део под силом и површинском брзином. Трење на додирном месту точка за полирање и радне површине изазива истрошивање и постепено заглађује површину дела. Полирање се поред механичког поступка, може изводити хемијским и електрохемијским поступцима [25].

Механичко полирање се врши обртањем диска за полирање и сукцесивним уклањањем и стварањем оксидног слоја под дејством активних материја из састава пасте (стеарин, силикагел и др.). Оваквим, наизменичним, поступком уклањају се чак и најмање неравнине (добива се огледаласта површина).

Алати за брушење и полирање садрже абразивне материјале (различите величине, тврдоће и броја зрна) и везивног материјала. За брушење се користе веће тврдоће абразивних зрна у односу на полирање. Абразивна зрна се током употребе ломе уз стварање нових оштрих ивица.

Најчешће коришћени материјали за абразивна зрна су:

- електрокорунд, садржи до 99% Al_2O_3 . Тврдоћа по Мосовој скали је 9.5-9.7. Користи се за брушење и полирање живих материјала, као што су челик и темперлив.
- природни корунд (шмиргла) има тврдоћу 8-9 по Мосовој скали. Оксид гвожђа је редовни састојак тако да су зрна оштра, крта и лако ломљива. Употребљава се за израду трака и папира за полирање на високи сјај.
- силицијум-карбид, SiC , по Мосовој скали има тврдоћу 9.5-9.7. Има веома оштре ивице које добро секу материјал. Користи се обраду ливеног гвожђа, бакра, месинга, бронзе, алуминијума и др.
- Оксид гвожђа (природан или вештачки) садржи 70-95% Fe_2O_3 и употребљава се за полирање сребра и злата и чест је састојак пасте за полирање челика, месинга и др. за завршно полирање и добијање високог сјаја.
- Оксид хрома, Cr_2O_3 , има тврдоћу 9 по Мосовој скали, састојак је паста за полирање челика, превлака хрома и др.
- Бечки креч садржи преко 94.5% CaO , нема оштре ивице као друга абразивна зрна, због чега се користи за полирање метала до високог сјаја.

Поред абразивних зрна, алати за брушење и полирање садрже везивни материјал који омогућује формирања чврсте и постојане везе. Везивни материјал може бити керамички, од гуме, вештачке смоле, магнезитно везиво или водено стакло. Различитим комбинацијама величине, тврдоће и броја зрна и везивних материјала могу се добити различити материјали за брушење и полирање у циљу добијања захтеваних квалитета обрађиваних површина.

Пасте за полирање су посебно значајне за квалитет површине. За полирање површина од Ni, Al и Ag користе се посније пасте, за челике пасте средње масноће, а за Cu, месинг и бронзу масније пасте. Пасте садрже: абразивни материјал (60–70 %), везивна средства (30–40 %) и површински активне материје до 2 %. Додавањем сумпора, терпентина и керозина мења се вискозитет и квалитет пасте.

Развој нових материјала допринео је развоју нових брусних средстава на бази флиса и пенастих материјала. Ова средства су нарочито флексибилна и погодна за чишћење и полирање тешко приступачних места или профилисаних површина. Поред брусних плоча за полирање у употребу све више улазе бескрајне траке од тканине или папира који на себи носе абразиве.

Квалитетно брушење и полирање захтева адекватан избор обимне брзине, односно броја обртаја. Мала брзина смањује дејство брушења и полирања, поједина зрна абразива се лако чупају из везивног средства. Велика брзина доводи до претераног загревања брусне плоче, услед чега везиво попушта и зрна испадају. Такође, долази и до повећаног хабања абразивних зрна. За обраду тврдих и кртих материјала користе се брусне плоче са ситним и мекшим зрном и обрнуто. За обраду меких и жилавих материјала користе се тврда и крипна зрна абразива. За скидање веће количине материјала користи се крупније зрно абразива, код кога дужина додирног лука брусне плоче и обрађиваног дела може бити већа.

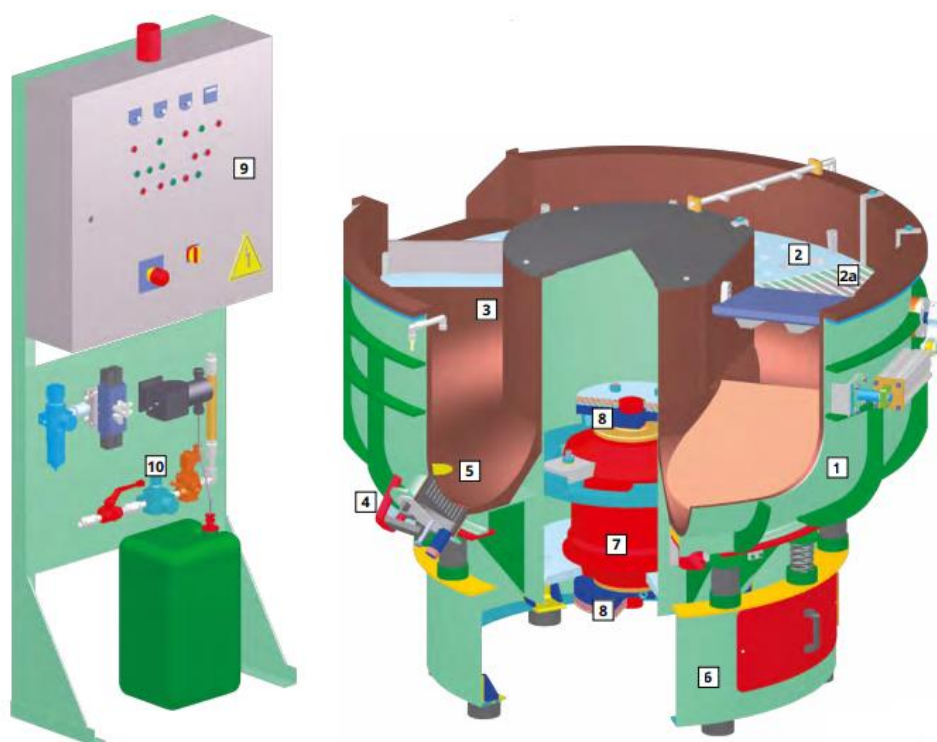
При брушењу и полирању обавезно се јавља прашина која се мора одводити одговарајућом вентилацијом [2, 26, 27].

2.4 Чишћење и полирање у добошима

Још од педесетих година прошлог века вибрациона обрада се широко користи у производњи за побољшање изгледа површине и отпорности на хабање, за полирање, повећање тврдоће, за чишћење и сушење површина. Поступак је примењен на металне, керамичке и пластичне делове који користе широк спектар медијума попут челичних куглица, грубих керамичких куглица и цилиндра са резним углом и мекших материјала као што је здробљени кукуруз.

Систем вибрационе завршне обраде обично се састоји од отворене коморе монтиране на опругу која садржи зрнасти додатак, на коју је причвршћен генератор вибрационих покрета. Генератор покрета се обично састоји од једне или две ротирајуће осовине са ексцентричним теговима. Подешавање ексцентричне тежине или брзине погонског система, амплитуда и фреквенција могу се контролисати. Комора у којој се врши полирање може бити округла или овална посуда или дуга када "U" попречног пресека.

Фреквенција вибрације се покреће на 30 Hz са компонентама амплитуде од неколико милиметара у три димензије. Као резултат, додаци се флуидизују и развијају сложена поља протока унутар посуде. Делови који се полирају ухваћени су у текућем медијуму и достижу спорију релативну брзину. Када су делови који се обрађују већих димензија, они се учвршћују у добошима ради спречавања међусобног додира и оштећења. Медији долазе у контакт са површином обрађиваног дела уз комбинацију удара и клизања по површини. У зависности од параметара процеса, ово може произвести широк спектар услова контакта који обухватају различит степен трљања, брушења, резања и абразивног трошења. Због тога ово вибрациону обраду чини свестраном техником. Применом овог поступка добија се хомогена, веома квалитетна завршна обрада свих површина, чак и веома доступних површина. Не долази до оштећења чак ни најсложенијих контура [2,28]. Сликаом 7 дат је шематски приказ *Rösler* машине за вибрационо полирање.



Слика 7. Уређај *Rösler* за полирање у добошу [28]

Уређај за полирање у добошу се састоји од [29]:

1. Радна посуда;

2. Интегрисана јединица за одвајање- вибрација доводи до померања медија и готових делова преко екрана за одвајање. Медијум пада кроз отворе екрана назад у радну посуду, док се готови делови премештају на излаз машине. Робусну преградну клапну активира спољни пнеуматски цилиндар. Носач екрана су отпорни на вибрације.

2а. Екранизација премалих медија;

3. Облога радне посуде отпорна на хабање- пре облагања, унутрашњост радне посуде се пескари ради бољег приањања хабајућих облога. Постоје следеће опционалне облоге:

- Калупљени полиуретан;
- Прскани полиуретан;
- Лепљене гумене или полуретанске плоче.

4. Утикач за истовар медија- има двоструку функцију: уклањање медија из радне посуде и главног одвода за отпадне воде из радне посуде. Може се очистити споља.

5. Доњи одводи у радној посуди- за посебне поступке масовне завршне обраде, као што су брушење куглицама и кисељење (енг. *pickling*), препоручује се употреба додатних одвода поред главног одвода.

6. Стабилна суспензија посуде- подножје машине и специјални распоред спиралних опруга осигуравају висок степен стабилности без ограничавања вибрационог кретања. Лак приступ нижим теговима неравнотеже.

7. Специјални систем вибрационог погона- вибрациони мотор са директним погоном посебно је развијен за ротационе вибрационе машине попут *Rösler*-а. Овај моћан и робустан погонски систем пружа довољно капацитета за пренос енергије вибрације у радну посуду. Доказани систем учвршћивања мотора са двоструком прирубницом гарантује постављање вибрационог мотора отпорног на вибрације на унутрашњу куполу радне посуде. Лежајеви мотора могу се подмазати аутоматским системом подмазивања. Ово гарантује висок животни век. Постоје две стандардне брзине мотора овог произвођача: 1500 и 1000 о/min при 50 Hz (1800 и 1200 о/min при 60 Hz).

8. Подешавање тежина неравнотеже- две основна горња и доња неравнотежна тега су сигурно причвршћена за осовину мотора. Угао помака се лако може поставити помоћу диска постављеног на осовину који показује различите углове. У зависности од потребне вибрационе перформансе, лако се могу додати додатне плоче са тежином за неравнотежу.

9. Електрично управљање- релејне команде или PLC омогућавају централно управљање свим функцијама машине.

10. Процесно снабдевање водом- одвојене контроле протока за доводи свеже воде и једињења. Систем за рециклажу процесне воде је опционално.

3. ЧИШЋЕЊЕ ЧИСТИМ ВОДЕНИМ МЛАЗОМ – *WASH-OUT*

Вода под високим притиском се користила још од 1920-те године у сврхе чишћења и испирања. Од тада највише су се истраживања базирала на повећању притиска воде и повећање њеног протока. После 1963-е користила се вода под притиском од око 700 - 1000 бара, помоћу које је могло користити у сврхе индустријског чишћења и уклањање муља, уклањање чврсто наталожених загађивача попут бетона, чађи и угља. Како су године пролазиле, све већи притисци су се користили за обављање послова водом, али трошкови опреме учинили су да ова метода буде забрањена метода за припрему површине. Године 1996-те коначно је направљен пробој у технологији пумпи за економичан пораст притиска воде до 2800 бара. Под овим притиском вода може скинути боју, рђу и загађиваче одмах са металних површина.

Како су обављена даља истраживања, вода се сада може користити у разне сврхе: сечење челика са веома малом количином убризгавања абразива, смањивање потребе за плазма сечењем, сечењем кисеоником, могућношћу да се изводе пројекти на градилишту када се то раније није могло. Ово омогућава да се посао обави на опасним местима за које би претходно било потребно комплетно искључење постројења, способност рада у гасовитом атмосферском стању у којима се раније није могло ићи [30].

Чишћење воденим млазом се може одвијати под високим или ниским притиском, вруће или хладно, са или без абразива или прашка за припрему метала пре фарбања. Чишћење воденим млазом није намењено да замени абразивно чишћење водом. Вода сама по себи не може нагризати металну површину. Убризгавањем абразива у млазницу постиже се површинско нагризање. Чишћење водом има широко прихватање у ситуацијама у којима постоји присутност прашине и прљавштина од сувог абразивног чишћења опасног за особље и машине. Код одржавања боје, где посао захтева да се уклоне све насlage боје, рђе и да се темељно оперу површине, чишћење водом је економичније од ручног или електричног чишћења. Ова обрада такође може бити пожељна тамо где постоје ограничења чишћења сувим абразивом.

Абразивно чишћење водом може се користити за чишћење неправилних облика, углова, кородираних вентила, морских бродова са корозијом од морске воде, измењивачи топлоте, котлови, катрани који се љуште, запушени цевоводи, гумирани калупи, филтери за засад биљака итд [30, 31].

Веома је тешко одредити који ће се поступак чишћења користити без проверавања и отварања опреме система који ће се чистити (измењивач топлоте, кондензатор, цеви, пумпе, компресора итд.) и идентификовања хемијског састава прљавштине, каменца и наслага. За сваку врсту прљавштине, постоји одређени поступак његовог отклањања и чишћења. Понекад је довољно воденим млазом отклонити органске насlage, лагане карбонатно- сулфатне каменце или рђу. У већини случајева потребно је натапати погодну киселину и њену концентрацију за растварање каменца / наслага. Мора се узети у обзир да након отклањања корозије и рђе, чиста гола метална површина биће изложена киселини за чишћење. Због тога треба

дефинисати њихову корозивност и проценити могуће губитке од корозије. Киселе растворе треба користити са инхибиторима корозије (углавном органске амине).

Ови кисели раствори не растварају каменац/наслаге ако су органске супстанце присутне и у наслагама. Самим тим, први корак је алкално чишћење (одмашћивање) које се врши помоћу алкалних раствора са детергентима за уклањање органских супстанци које се налазе у наслагама. Ако је само прљавштина присутна онда треба извршити механичко и хемијско чишћење. Оперативне мере укључују контролу свих параметара који утичу на стварање нечистоћа (брзина протока, температура, хемијски састав млаза, убризгавање дисперзаната итд.)и усклађеност са препорученим вредностима [32].

3.1 Преоперативно чишћење

Да бисмо се одлучили за преоперативни поступак чишћења, требали бисмо узети у обзир материјал израде, одређену услугу опреме и потребан степен чистоће. Прво треба прегледати унутрашње површине опреме и донети одлуку о поступку чишћења. Обично се само предоперацијско чишћење (само одмашћивање) користи за покретање процесне опреме (дестилациони и други стубови, реактори), цевоводи за пару и воду. Код цевовода за кондензат воде је одмашћивање довољно [32].

На пример, за парне цевоводе ниског притиска (3–14 bar, 145–225 °C) одмашћивање и издувавање паром је довољно. Чишћење пасивизацијом користи се за котлове који производе пару (притисак 35 bar, 250 °C) и компресиони системи, системи за расхладну воду (цевоводи, измењивали топлоте). Преоперативни поступци чишћења су различити за угљенични челик, нерђајући челик и легуре бакра.

Поступак за чишћење котлова се назива ”кључање” (енг. *boil-out*) и обезбеђује одмашћивање, уклањање каменца и формира заштитни филм магнетита (Fe_3O_4). Ово је једини оксид гвожђа (међу три FeO , Fe_2O_3 , и Fe_3O_4) који поседује својство антикорозивне заштите у додиру са паром на високим температурама. Према томе, магнетит је произведен у завршном кораку (пасивизације) поступка чишћења котлова и компресора са цевоводом намењеним за контакт са паром. Магнетит нема заштитна својства у додиру са атмосфером (кондензована водена пара) и воде. Због тога није потребно производити слој магнетита унутар опреме (измењивача опреме, цеви и пумпе) која је намењена за контакт са водом за хлађење. Зато се спроводи посебан поступак чишћења и формирање фосфатног заштитног пасивног слоја.

Цевоводи и измењивачи топлоте (изнутра, посебно након постављања нове јединице) могу садржати прљавштину, песак, шљунак, масноћу, растреситу боју, рђу и каменце. Прљавштину, песак, шљунак и растреситу боју можемо уклонити испирањем водом или дувањем паром или компримованим ваздухом. Маст и друге угљоводоничне загађиваче (уље, масти) се уклањају алкалним воденим раствором који садржи детергенте на 50–60 °C. Понекад је потребно механичко чишћење, у зависности од количине распрканог зава, рђе и каменца [32].

Механичко чишћење укључује хидрауличне, абразивне и термичке методе. Хидраулично чишћење се врши под притиском од 20 - 2200 бара и укључује чишћење водом, млазом воде високог притиска и ултра високог притиска (енг. *hydrojetting*),

чишћење паром, ултразвучно чишћење и експлозивне методе. Абразивно чишћење се примењује тамо где хидраулично чишћење није практично. За абразивно чишћење користе се следећи облици: средства за чишћење од ливене пластике и четке за уклањање меких наслага, муља и биолошких прљавштина (унутар цеви), средства за чишћење метала за тврђе врсте наслага унутар цеви (мала цилиндрична жичана четка од нерђајућег челика или опружни калем [32].

Притисак воде од 20 бара веома је ефикасан за покретање алата за чишћење цеви. Обично снопови измењивача топлоте садрже између 500 и 1100 цеви дужине 6m и пречника 25,4 mm. Термичко чишћење укључује употребу паре за уклањање остатака, кеманца и полимера. Такође, периодични супротносмерни проток расхладне воде у измењивачима топлоте односи се на механичко чишћење водом. Примена одређене методе зависи на својства задржаности, опрему и медијум. На пример, за чишћење унутрашњих површина пумпи намењених за керозин, довољно је користити пару. За чишћење унутрашњих површина пумпи намењених за лаку и тешку нафту или воденом кондензату, потребан је млаз воде ултра високог притиска.

Цевасти измењивачи топлоте обично захтевају демонтажу и уклањање цеви, превоз до објекта за чишћење и чишћење, поновно њено састављање и тестирање на цурење. Механичко чишћење је вишестепени поступак, посебно сложен и опасан када су измењивачи топлоте постављени високо изнад, а приступ им је отежан. У већини случајева потребна је посебна опрема за извлачење снопа цеви. Механичко чишћење може трајати између 3 и 14 дана, у зависности од величине измењивача топлоте. његове тежине и тежине обраштања. Због свега наведеног, развијени су поступци хемијског чишћења који су јефтинији од механичког чишћења и који се могу спровести у кратком периоду, обично за 1 дан или чак и мање (не рачунајући време за припрему, која траје обично 8 сати) [32].

Хемијско чишћење је техника употребе течних хемикалија за растварање и уклањање чврстих наслага. Хемијско чишћење се врши циркулацијом раствора кроз опреме или натапањем без демонтажа опреме. Ова метода има неколико предности у односу на механичко [32]:

- јефтиније је и брже;
- нема потребе за демонтажом опреме;
- равномерније уклањање наслага (хемијски раствори доспевају у неприступачна подручја);
- дужи су интервали између чишћења.

Хемијско чишћење се користи за уклањање органских и неорганских наслага, и ако је потребно, за пасивизацију. Генерално, поступци хемијског чишћења састоје се из 5 фаза, а свака се надгледа ради постизања бољих резултата (квалитета) пре него што се пређе на следећу, а фазе су [32]:

1. Алкално чишћење (одмашћивање) - циљ је уклањање органских наслага или органских делова (масти, уља, мазива) како би се аноргански део

учинио хидрофилним и тако учинио следеће киселинско чишћење ефикасним.

2. Испирање - циљ је уклањање физичко омекшаног материјала насталог током одмашћивања.
3. Киселинско чишћење - циљ је уклонити неоргански део (соли, хидроксиде и оскиде) обрастања.
4. Неутрализација и испирање - циљ је да се неутралишу и уклоне заостале киселине, растворена неорганска једињења и муљ настао током чишћења киселином.
5. Пасивизација - циљ је стварање заштитног антикорозивног пасивног филма на површине металне опреме. Пасивизација у суштини значи "деактивација".

Међутим, није свих пет фаза реализовано у свим случајевима уклањања нечистоћа. То зависи од врсте обраштања и опреме потребне за чишћење [32].

3.2 Разарање водом високог притиска (енг. *Hydrodemolition*)

Поправка и рестаурација бетона обично захтева отклањање оштећеног бетона, припрему за поправку површине, и чишћење челика за ојачање и уграђених предмета. Разарање водом је метод за уклањање бетона и припрему површине коришћењем млаза воде високог притиска. Када се користи за отклањање бетона, преостала површина је довољно храпава да побољша везу и помогне у осигурању композитног дејства између основног бетона и поправљаног материјала (слика 8) [33, 34].

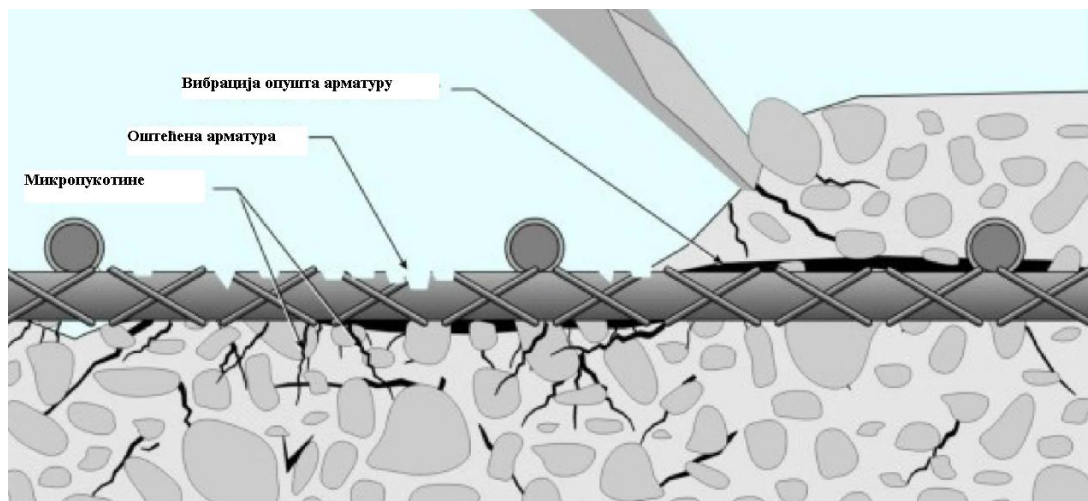


Слика 8. Профил површине након разарања водом [34]

За разлику од ударних метода разарања, разарање водом не изазива микропукотине (стање које може бити штетно за дуготрајност поправке). Негативна страна коришћења ударних метода разарања (нпр. вибрационим чекићима) су [33]:

- звучни бетон се уклања заједно са оштећеним бетоном;

- удarci вибрационог чекића оштећују ојачање;
- вибрације стварају микропукотине унутар звучног бетона (слика 9);
- загађења од прашине и буке;
- оставља лошу површину лепљења за нови бетон;
- хлориди и соли остају заробљени у постојећем бетону.

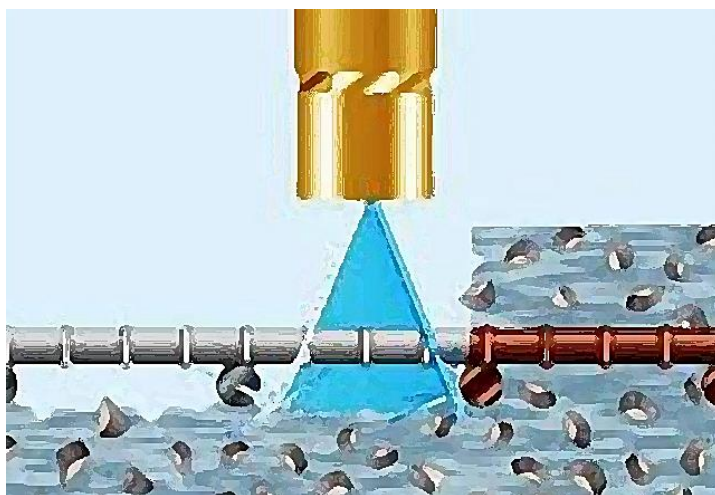


Слика 9. Оштећења настала вибрационим чекићем [35]

Технике ударања могу нагрести површину стварајући сломљени слој који се обично протеже од 3 до 10 mm дубоко и често резултира мањом чврстоћом везе у поређењу са површинама припремљеним методама без удара. Тамо се користе технике уклањања ударањем, разарање водом се може користити за завршно уклањање бетона и припрему површине за уклањање микропукотина.

Неке од предности примене разарања водом су:

- нема прашине;
- бука је знатно смањена;
- врхунска површина лепљења подлоге;
- не стварају се додатна структурна оштећења;
- селективно уклања инфериорни бетон;
- арматура је очишћена, неоштећена и отклоњен је каменац;
- бржи је поступак од поступка механичког отклањања;
- минимализовано је уклањање звучног бетона;
- уклања скроз хлориде и соли.



Слика 10. Отклањање бетона воденим разарањем [35]

Након разарања водом, површина се мора очистити да би се отклонио сав отпад, мрља и отпадних вода. То се може постићи употребом вакуумске опреме, уређаја за усисавање воде која ради до 70 МПа (700 бара), уређаја за прање под притиском и другим уређајима који ће отклонити отпак са подлоге за поправку. Операције чишћења треба да операцију уклањања воденим разарањем да би се спречило поновно очвршћавање остатака који могу настати ако се остаци осуше. Површину треба темељито испрати како би се уклониле све цементне ситнице (каша) [34].

3.4 Чишћење водом високог притиска у функцији делаборације

Генерално, данашње методе уклањања експлозива са тешке артиљеријске муниције и ракета се ослањају на [56]:

- процес топљења прегрејане паре;
- процес сагоревања и ложења;
- поступак испитања топлотом водом;
- механичко уклањање;
- испирање млазом воде високог притиска или не тако често, криогеним млазом.

Како би се извршила истраживања најважнијих физичких фактора који се појављују у процесу испирања експлозива из тешке артиљеријске муниције млазом воде високог притиска, веома је важно анализирати динамички утицај млаза високог притиска. Главна експериментална поставка (слика 11) која се користи у испитивању млазне ерозивности таквих експлозива заснива се на новом систему *Hammelman* пумпи типа HDP 483 (слика 12) који даје снагу од 750 kW.



Слика 11. *Експериментално постоље: а) погон муниције, б) систем високог притиска, ц, д) различите фаце процеса испирања експлозива [56]*

Овакво експериментално постоље производи млаз воде који осигурава притисак у опсегу од $p = 20\text{--}330 \text{ МПа}$ и излаз воде при $Q_w = 0.5\text{--}2.6 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1}$.



Слика 12. *Hattemann HDP 483 систем пумпи ($p_{\text{max}} = 150 \text{ МПа}$, $Q_{\text{max}} = 2.6 \text{ dm}^3 \text{ s}^{-1}$) [56]*

Општа шема испитиваног предмета који омогућава успостављање објективног плана испитивања процеса ерозије експлозива изведеног у аспекту његове оптимизације, приказан је на слици 13.



Слика 13. Општа шема испитиваног предмета [56]

Као што се може видети, приказани су најважнији детаљи испитиваних фактора ерозивног млаза. Сликаом 14 приказана је још једна шема испитиваног предмета која је реализована у циљу да би се дефинисала ефикасност ерозије током испирања под млазом високог притиска.



Слика 14. Општа шема испитиваног предмета са дефинисаном ефикасношћу ерозије [56]

Овде су такође представљени најважнији фактори детаља у аспекту минимизирања ефикасности процеса чишћења узимајући у обзир важне безбедносне разлоге.

Прва фаза истраживања била је усмерена ка откривању такозваног модела (замене) експлозива који обезбеђује безбедност експерименталног процеса. Циљ истраживања је био развити узорак материјала који се одликује механичким и техничким својствима, нпр. могућност уситњавања, тврдоћа и отпорност на удар који би био сличан типичним експлозивима. Узето је у обзир преко тридесет таквих композита, који су се састојали од различитих једињења на бази цемента са додатком нитроцелулозних лакова, епоксидних смола, ланеног уља и дрвене прашине као и кромпировог брашна као материјала за пуњење. Материјал који је изабран поседовао је механичке карактеристике који одговарају ТНТ-у. Употреба горе наведеног материјала резултира сигурном обрадом испирања чаура воденим млазом под високим притиском.

Главна истраживања спроведено је за артиљеријске гранатне чауре калибра 85 – 125 mm (слика 15).



Слика 15. Тестиране чауре калибра 85 – 125 mm [56]

У наставку су објашњени резултати ефективног чишћења материјала за чауре калибра 100 mm употребом воденог млаза под притиском од 50 МПа. Резултати који су приказани у раду (*Borkowski P., Borkowski J., Wozniak D.*), су показали да пречник млазнице се повећава заједно са притиском воде, што резултира повећаном ефикасношћу испирања експлозивом. На пример, употреба млазнице пречника 1,0 mm доводи до тога да је време испирања двоструко дуже него код употребе млазнице пречника 1,5 mm. Док остали параметри процеса, нпр. дужина воденог млаза или уграо прскања, немају значајан утицај на време процеса испирања. Такође је примећено да поређењем чаура калибра од 100 mm са чаурама калибра од 125 mm, време чишћења се повећава преко 65%, док се време чишћења калибра од 85 mm смањује за око 20% [56].

3.3 Делови и опрема

У овом делу поглавља биће описани основни делови и опрема уређаја за чишћење високим притиском.

Типичан систем за прање високим притиском се састоји од неколико примарних компоненти: пумпе високог притиска, цева високог притиска, спојница, контролног пиштоља и млазнице.

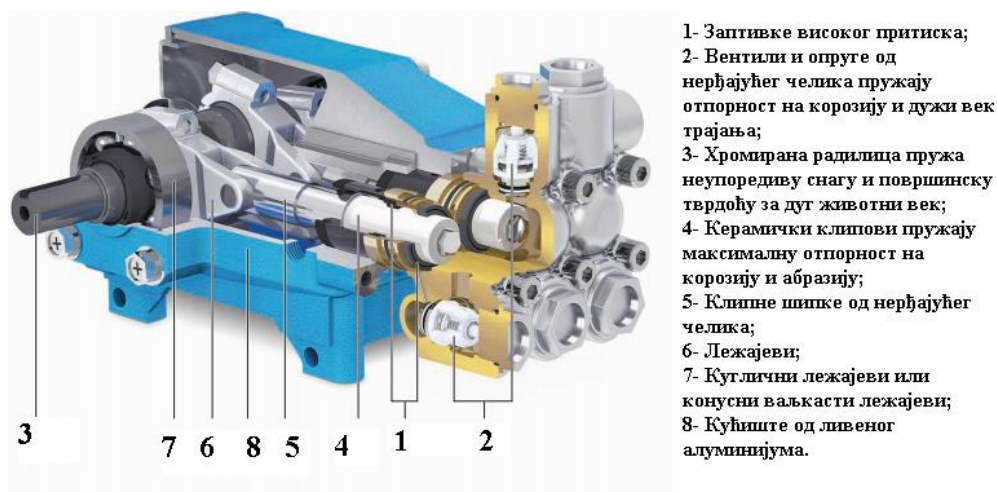
Мотор пружа погонску снагу за покретање пумпе високог притиска. Типично, то је дизел мотор, али може се користити мотор на електрични погон. Снага мотора се креће од 100 - 600 коњских снага [36].

Пумпа високог притиска је пумпа са клипом позитивног померања са три или више клипова. Многе пумпе високог притиска могу се претворити у пумпе већег или мањег протока променом величине клипова. Пумпа високог притиска је подељена у два различита дела [36]:

- Погонски део, у коме се налазе радилица и клипњаче;
- Крајњи део (излазни део течности), у коме су клип и вентили.

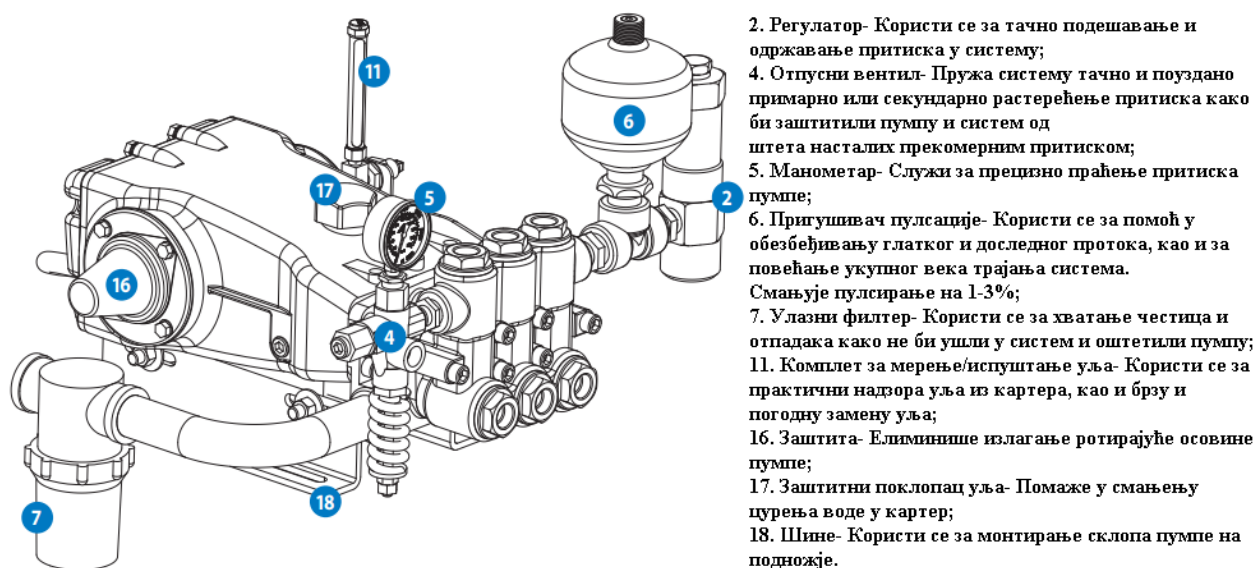
Погонски део пумпе високог притиска је у принципу сличан кратеру аутомобилског мотора. Кућиште пумпе повезано је погонским водом са мотором, кућиште садржи велику радилицу са клипњачама. Овај погонски део пумпе је предвиђен за максималну улазну снагу и максималну брзину ротације.

Крајњи део пумпе високог притиска је предвиђен за максимални притисак. Када се клипови помакну уназад (према погонском делу), уисни вентил се отвара и увлачи се вода ниског притиска у пумпу. Када се клип помакне унапред (ка крајњем делу), отвара испустни вентили за испуштање воде под високим притиском кроз пумпу и у цева високог притиска [36].



Слика 16. Клипна пумпа [37]

Слика 17 представља илустративни приказ типичне инсталације клипне пумпе или клипа високог притиска.

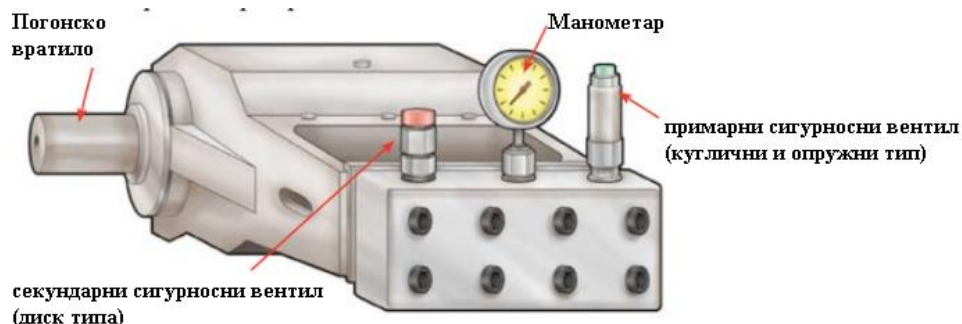


Слика 17. Инсталација клипа високог притиска [37]

Филтрирање- Одговарајућа филтрација воде за напајање пумпе помоћи ће у смањењу хабања делова пумпе високог притиска и умањити ризик од блокирања млазнице прљавштином или отпадом. Филтери се морају одабрати, користити и одржавати у складу са упутствима произвођача. Филтери, препоручује се, се проверавају свакодневно и морају се заменити када се испрљају [36].

Манометар- Свака пумпа високог притиска мора бити опремљена манометром који показује притисак у систему. Мерач има опсег скале од најмање 50% изнад максималног радног притиска пумпе високог притиска. Манометар треба поставити у положај тако да читавање притиска буде јасно видљиво руковаоцу пумпе када подешава притисак [36].

Уређај за смањење притиска- Свака пумпа високог притиска мора бити опремљена са најмање једним, а пожељно два уређаја за смањење притиска. Примарни уређај за растерећење треба подесити за 1,2 пута већи од максималног радног притиска, а секундарни уређај за 1,4 пута већи од максималног радног притиска пумпе високог притиска. Слика 18 представља пумпу високог притиска која приказује уређаје за растерећење притиска [36].

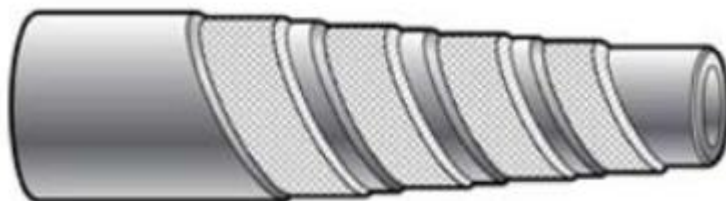


Слика 18. Уређај за смањење притиска [36]

Црева високог притиска- Црева високог притиска која се користе за чишћење под високим притиском посебно су дизајнирана и произведена за ову примену.

Типично се састоје од пластичне облоге ојачане вишеструким слојевима челика. Спољашњи слој цева високог притиска може бити гума или пластика.

Црева високог притиска су предвиђена за максимално дозвољени радни притисак и за притисак пуцања. Притисак пуцања је притисак при коме црево пуца. Разлика између максимално дозвољеног радног притиска и притиска пуцања је конструктивни фактор. Треба изабрати црево са конструктивним фактором најмање 2,5 пута од највећег дозвољеног радног притиска. На слици 19 дато је исечено црево високог притиска које приказује унутрашњу пластичну облогу ојачану са више слојева челика.



Слика 19. Црево високог притиска [36]

На радни век било ког цева високог притиска могу утицати многи фактори, као што су старост, услови складиштења, циклуси притиска и топлоте, хемијска изложеност, радијус савијања, вибрације, аксијално и торзионо оптерећење итд.

Не смеју се користити црева која имају очигледне знаке оштећења. Знаци оштећења укључују: дробљење, истезање или стварање мехурића, оштећене или сломљене арматурне жице итд [36].

Фитинзи и спојнице- Све компоненте опреме морају бити оцењене према намени. Већина компоненти у систему високог притиска биће означена са максимално дозвољеним радним притиском. Ако максимално дозвољени радни притисак није лако препознатљив на опреми, део се не сме користити, осим ако се максимални дозвољени радни притисак може утврдити у документацији коју је доставио произвођач или инжењер [36].

Приликом састављања фитинга и спојница за високи притисак, сви прикључци морају се прегледати на оштећења и монтирати помоћу одговарајућег алата. Компоненте високог притиска су доступне са различитим типовима прикључака на основу притиска који се користи (слика 20). Свака врста користи различите типове навоја да би обезбедила механичку везу између сваког дела и створила заптивку високог притиска.

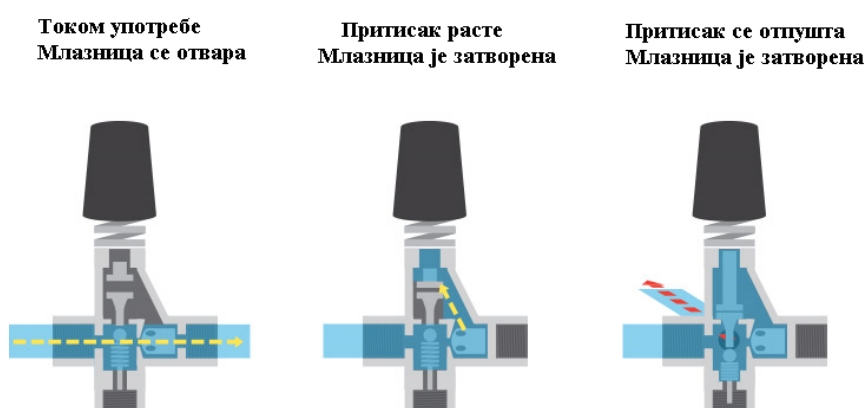


*МДРП- Максимални дозвољени радни притисак

Слика 20. Фитинзи [36]

Неки типови конектора могу изгледати слично у дизајну навоја, али ако су повезани, неће пружити одговарајућу механичку везу или заптивку високог притиска. Ако се не користе компатибилни фитинзи, резултираће неуспехом везе, што ће створити опасност за раднике због изложености води под високим притиском или гелеру експлодираних делова.

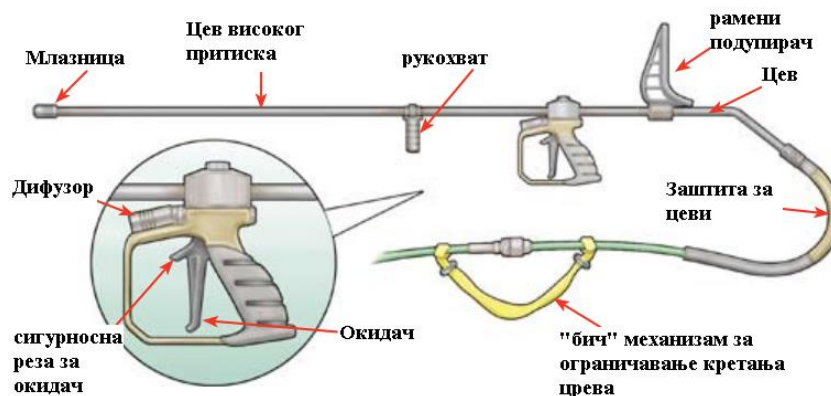
Одводни вентил- Термин „одводни вентил“ може се односити на два различита уређаја: одводни вентил са ручним окидачем или ножним (педалним) вентилом. У основи раде на исти начин, помоћу полуге за активирање положаја малог вентила типа кертриџа који усмерава воду кроз круг високог притиска (када је укључен) или кроз дифузор ниског притиска (када се отпусти). Примарна разлика је у томе што се млазним пиштољем ручно управља, а ножним одводом ногом. Сликаом 21 је приказано како одводни вентил отпушта притисак [36].



Слика 21. Одводни вентил [38]

Када је млазница за прскање отворена, вода протиче, али када се млазница за прскање искључи, притисак расте. Притисак расте и присиљава средишњи вентил на ниже. Тада вода под притиском може да изађе кроз бочно пражњење како би отпустила вишак притиска на пумпи [38].

Млазни пиштољ- млазни пиштољи су доступни у разним врстама, стиловима и конфигурацијама. Пример приказан на слици 22 типичан је за млазни пиштољ. Млазни пиштољ испушта воду кроз дифузор на млазном пиштољу када се окидач отпусти [36].



Слика 22 Млазни пиштољ [36]

У раду са било којим цревом високог притиска, било да се ради о течностима или ваздуху, увек треба користити ”бич” проверу, која је обавезна јер тако закон налаже. Када су црева високог притиска спојена заједно или са делом опреме, треба користити ”бич” проверу да би се ограничило кретање црева под притиском. Овај механизам (слика 18) треба да буде причвршћен на било којој тачки где су два црева спојена или причвршћен за пумпу на страни испуштања воде или где се црево причвршћује на било који део опреме за чишћење воденим млазом [39].

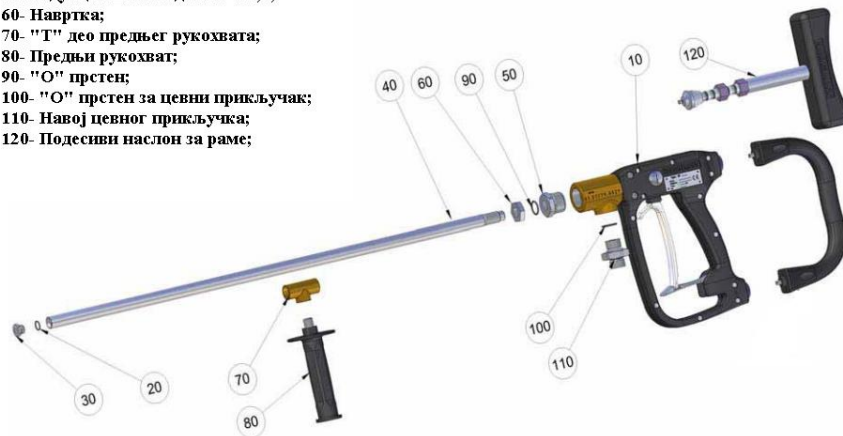


Слика 22. Механизам за ограничење кретања црева [39]

На слици 23 је такође приказан млазни пиштољ ”HAMMELMANN” произвођача са карактеристикама [40]:

- Максимални оперативни притисак: 400 бара;
- Максимална брзина протока на Δp 5 бари: 33 l/min;
- Навој за повезивање: М 22x1,5 женски;
- Дужина: 980 mm;
- Тежина: 3,1 kg;
- Млазнице: типа ”С” или ”D”.

- 10- Комплетни ручни вентил;
- 20- "О" прстен;
- 30- Уметак за млазницу;
- 40- Цев високог притиска;
- 50- Редукциони комад М 30 х 1,5;
- 60- Навртка;
- 70- "Т" део предњег рукохвата;
- 80- Предњи рукохват;
- 90- "О" прстен;
- 100- "О" прстен за цевни прикључак;
- 110- Навој цевног прикључка;
- 120- Подесиви наслон за раме;



Слика 23. Млазни пиштољ за чишћење водом високог притиска [40]

Млазнице- Млазнице су доступне за многе примене у различитим типовима, дизајном и величинама. Важно је одабрати и користити одговарајућу млазницу за сваки задатак како би осигурали сигурност примене и продуктивну употребу опреме за прање под високим притиском [36].

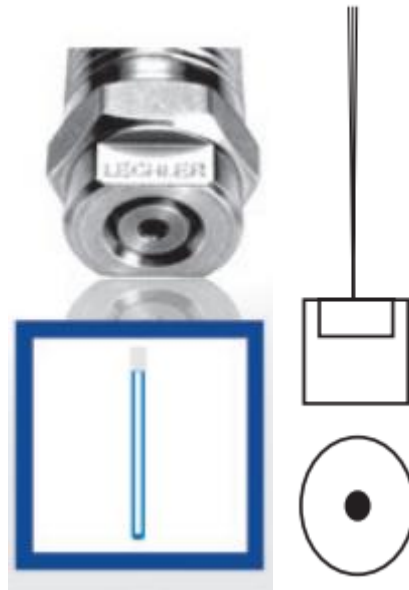
Избор исправне млазнице важан је за излаз и несметану функцију машине за прање под високим притиском. Ако је млазница премала, машина се трајно пребацује у бајпас (енг. *bypass*) или се искључује, а када је млазница преширока, машина има мали излаз и нижи притисак.

Млазница се може препознати по броју млазнице, петоцифреном или шестоцифреном броју који је утиснут на млазници, која означава угао прскања и величину отвора. У већини случајева друга и трећа цифра млазнице означава угао прскања у степенима. На пример: 00 је 0 степени, 15 је 15 степени и 40 је 40 степени. Последња два броја млазнице означавају величину отвора, стандардну индустријску ознаку. На пример: 60 је отвор 6,0; 55 је отвор од 5,0; 55 је отвор 5,5 [41].

Ови бројеви одговарају стварним димензијама, дајући величину отвора. Међутим, они директно не указују на то колики је проток воде (l/min), брзину протока или пречник отвора.

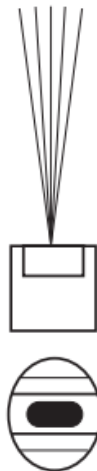
Примена млазница на основу њиховог угла распршивања [41, 42]:

- Млазница са углом распршивања од 0° (слика 24) се користи за прскање и ова млазница испоручује врло концентрован млаз воде. Треба бити опрезан како би се избегло издубљивање дрвета или оштећивање крхких површина. Употребљава се за уклањање корова из пукотина на тротоару, тврдокорних наслага блата са тешких опрема за грађевинарство, фарми или травњака. Млазницу треба усмерити под угао од 45° према површини и користити као стругач за уклањање боје, масти и прљавштине.



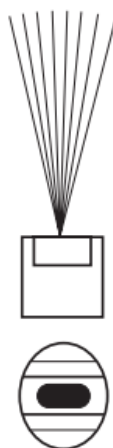
Слика 24. Млазница са углом распршивања од 0° [41, 43]

- Млазница са углом распршивања од 15° (слика 25) се користи за скидање или гуљење боје са дрвета, зида или метала. Уклањање масти или прљавштине са опреме. Уклањање тешких мрља од буђи, уклањање морског раста са чамаца и морске опреме и за уклањање рђе од челика и оксидације од алуминијума.



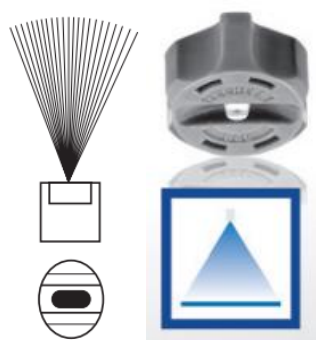
Слика 25. Млазница са углом распршивања од 15° [41]

- Млазница са углом распршивања од 25° (слика 26) се користи за чишћење и најпогоднија је за испирање прљавштине и блата. Употребљава се и за чишћење лишћа са шеталишта, ивичњака и прилаза, за чишћење подова, прање дна базена као и за испирање површина у припреми за фарбање.



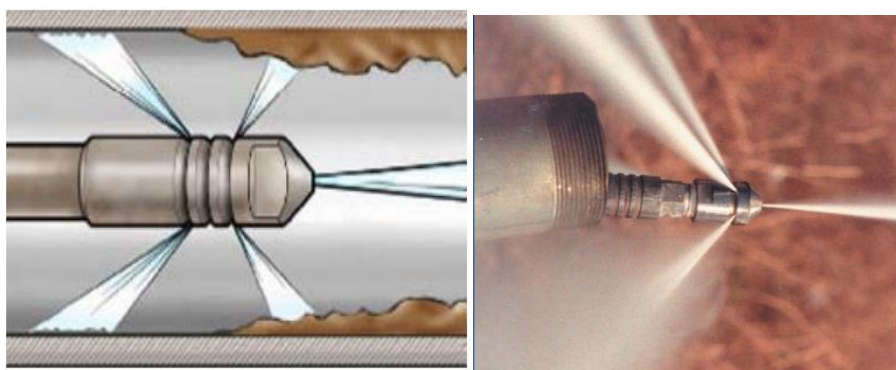
Слика 26. Млазница са углом распршивања од 26° [41]

- Млазница са углом распршивања од 40° (слика 27) због свог широког угла распршивања препоручује се за испирање и умерено прање. Користи се за прање алуминијумских облога, чишћење прозора, прање возила, прскање тротоара, возних стаза и тераса.



Слика 27. Млазница са углом распршивања од 40° [41,43]

Такође се могу споменути и цевне млазнице које су конфигуриране са више отвора (слика 28) за самоходно покретање млазница и пружају путању млазница од 360° за чишћење унутрашњих површина цеви.



Слика 28. Цевна млазница [30, 36]

Ове млазнице се могу избушити по мери, користећи прецизне технике обраде, према специфичним захтевима притиска и протока од стране купца [30].

Ротирајуће млазнице за цеви од произвођача "BLASTMASTER" (слика 29) се користе за цеви мањег пречника од око 13 mm. Оне раде под притиском од око 1000 - 2800 бари и okreћу се до око 7000 o/min за максимални ефекат чишћења.



Слика 29. "BLASTMASTER" ротирајућа млазница за цеви мањег пречника [30]

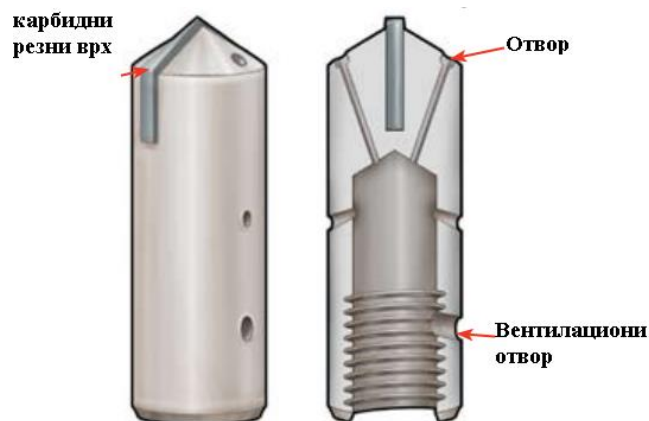
Ротирајућа млазница која је направљена за пречнике цеви од око 150 - 250 mm, ради под притиском који иде до 1650 бари, која постиже проток од око 76 l/min и ротира око 50 до 500 o/min, дата је сликом 30.



Слика 30. Ротирајућа млазница за пречнике до 250mm [30]

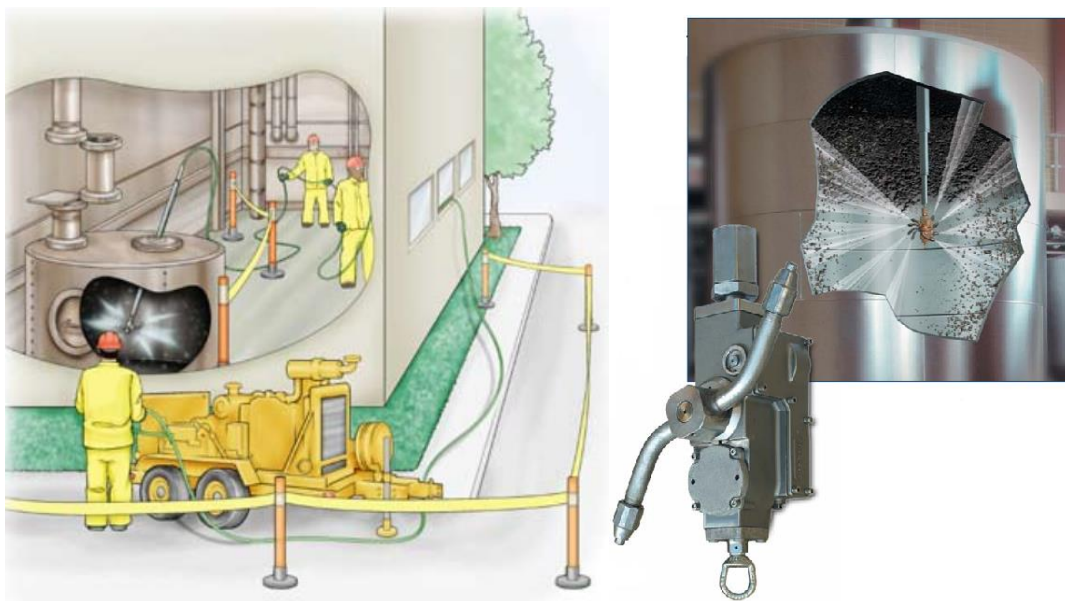
Млазнице имају пет сафирних млазница постављених за врхунску ефикасност, једну спреда и четири са стране. Кућиште је прецизно израђено од нерђајућег челика за дужи животни век и тешка је само 1,35 kg. Вискозна уљна кочница осигурава врхунску контролу брзине.

Млазница за механизоване алате- Млазнице које се користе са механизованим алатима доступне су за многе примене и углавном су дизајниране да испоруче максималан проток под жељеним притиском. Са употребом механизованих алата, сила реакције на руковаоца и потреба за самоходним млазницама често нису разматрање. Млазнице (слика 31) се могу произвести и по мери са резним главама од стране произвођача млазнице за воду и могу имати један или више отвора.



Слика 31. Млазница за механизоване алате [36]

Предност употребе механизованих алата и млазница је повећани ниво сигурности и висока ефикасност чишћења коју они генерално пружају. Тамо где руковаоци могу бити уклоњени из поступка ручног чишћења, њихова изложеност воденим млазницама је знатно смањена, а сигурност и продуктивност су побољшани. Пример примене механизованог алата је дата сликом 32.



Слика 32. Чишћење механизованог резервоара коришћењем само-ротирајућу 3D млазницу [30,36]

Опције механизованог алата могу се лако применити на пројекте који се понављају, планирају или су кратког или дугог трајања. Употреба механизованог алата у затвореним просторима додатно смањује ризик за раднике и често може омогућити да се посао заврши раније, ако је планирано ручно чишћење. Оперативни притисак код ових млазница се креће од 210 до 1400 бари, са протоком од око 49 - 416 l/min.

4. ПРИМЕРИ УРЕЂАЈА И ДЕЛОВА ПРЕ И ПОСЛЕ ЧИШЋЕЊА

Тешко да постоје ограничења за могућу употребу чишћења водом под високим притиском. Може се користити на улицама, тротоарима или на зидовима за дегумирање, уклањање графита, обнављање фасаде, рестаурацију зграда или за обележавање путева. Такође је могуће уклањање рђе, уклањање боје и уклањање каменца на радним предметима различитих врста.

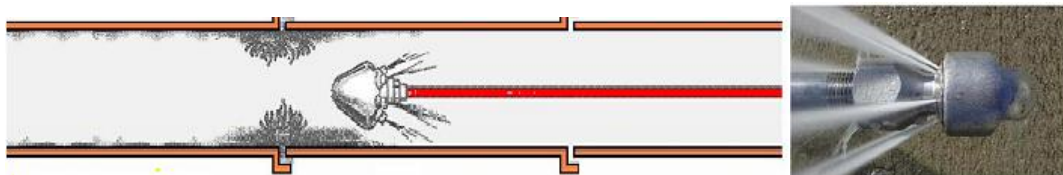
Даља подручја примене су чишћење вагона цистерни, чишћење грађевинских машина, чишћење система и чишћење канализације. Индустрије које се ослањају на тај процес укључују грађевинску индустрију, металну индустрију, бродоградилишта, нафтну и гасну индустрију, шумарство и ваздухопловство итд.

4.1 Санитарно чишћење канализације

Је метода чишћења канализационих и одводних водова водом под високим притиском. Мотор или други извор енергије напаја пумпу за воду високог притиска која производи воду под притиском. Све јединице за млаз под високим притиском су оцењене према притиску и протоку воде и оба параметра си директно одговорни за расположиву снагу мотора [44].

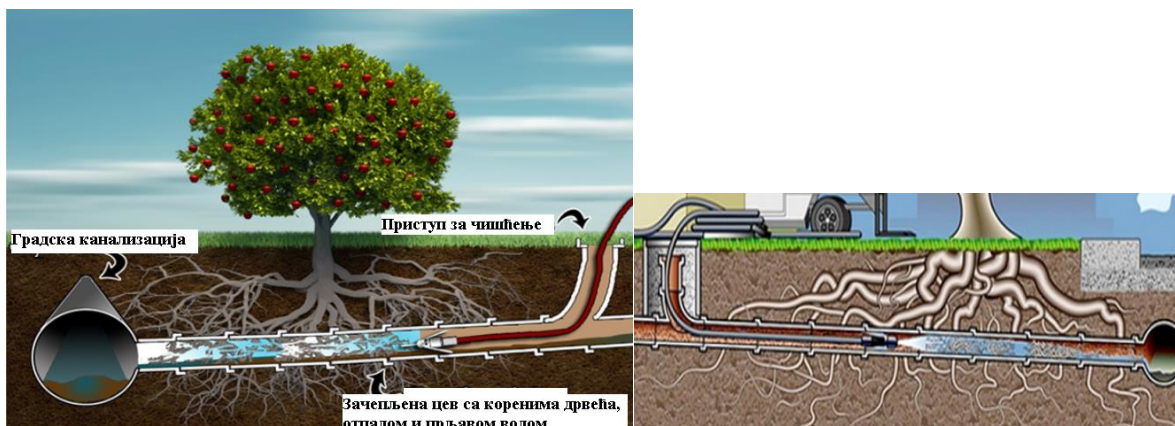
Вода из пумпе високог притиска допрема се до црева под високим притиском прилагођено притиску и протоку система. Када је млазница причвршћена на крај црева, ствара се притисак у систему. Млазнице су димензионисане тако да одговарају дизајну мотора и пумпе за воду, плус фактору губитка притиска због пречника и дужине црева за млаз под високим притиском. Угао под којим водени млаз излази из млазнице може се мењати: водени ток усмерен више према површинама зида цеви даје боље резултате чишћења, а истовремено смањује вучну снагу млазнице. Водени ток усмерен ка средњој линији цеви пружа максималну вучну снагу, али смање ефикасност чишћења зида цеви [44].

Млазница причвршћена за црево високог притиска користи воду под притиском да провуче црево кроз цев, док истовремено чисти зидове цеви и испира прљавштину низводно, као што је приказано на слици 33.



Слика 33. Чишћење канализације са млазницом чији водени ток је усмерен уназад

За зачепљене цеви, млазница са предњим млазом користи се за уклањање блокаде ради обнављања дренажног тока (слика 34). Након обновљене проходности цеви, користи се млазница са воденим током уназад или ротирајуће млазнице да би се завршио поступак чишћења цеви.



Слика 34. Чишћење зачепљене канализације млазницом предњег млаза [46]

Резултат чишћења цеви водом високог притиска је приказано сликом 35.



Слика 35. Резултат чишћења цеви: слика лево пре, слика десно после чишћења [47]

Чишћење под високим притиском обично генерише притисак на пумпи од 100 до 250 бара. Максимални притисак мора бити ограничен тако да систем цеви није оштећен, али истовремено мора бити довољно висок да у потпуности уклони накупљене наслаге [47].

4.2 Чишћење резервоара

Интерно чишћење је главна ствар одржавања резервоара. У циљу ометања што мање производног процеса, брзо и темељито чишћење резервоара, реакторских резервоара је пресудно. Спољно чишћење резервоара јавља се првенствено због избегавања корозије или из визуелних разлога.

Велики број различитих дизајна резервоара је изазов за унутрашње чишћење: величина, пречник, материјал, да ли су окренути водоравно или вертикално, положај и величина отварање, састав и величина јединице за мешање. У врло великим резервоарима, не може се на сва места чистити ручно. Савремени одговор на сва питања у вези са унутрашњим чишћењем резервоара је чишћење 3D млазницом (слика 29) [48].

Технологија аутоматског чишћења резервоара уклања наслаге укључујући очврсле материјале са унутрашњих зидова резервоара под притиском до 1800 бари. Уређаји раде снагом воде под високим притиском, тако да нису потребни други извори енергије или додатни материјали за чишћење. Јединице могу бити опремљене са једним или два крака (слика 36) [49].



Слика 36. 3D млазница са два крака [49]

Будући да улазак у резервоаре може бити опасно, користе се тродимензионалне млазнице за дување воде које могу елиминисати потребу за „уласком“. Ова технологија ротира два млаза воде на 90 степени један до другог, како би у потпуности очистила читав резервоар. Глава за чишћење резервоара ради на основу хидродинамичког принципа. Снага одбијања воде при изласку из млазница покреће главу за чишћење. Заједно са полугом на ротору, ово ствара обртни моменат који доводи до ротације осовине. Спољни погон није потребан. Унутрашњи мењач преноси ротационо кретање на уграђену кочницу вртложне струје и на прикључно вратило главе за чишћење резервоара. Поред тога, глава се окреће око своје уздужне осе и ротира у два нивоа.

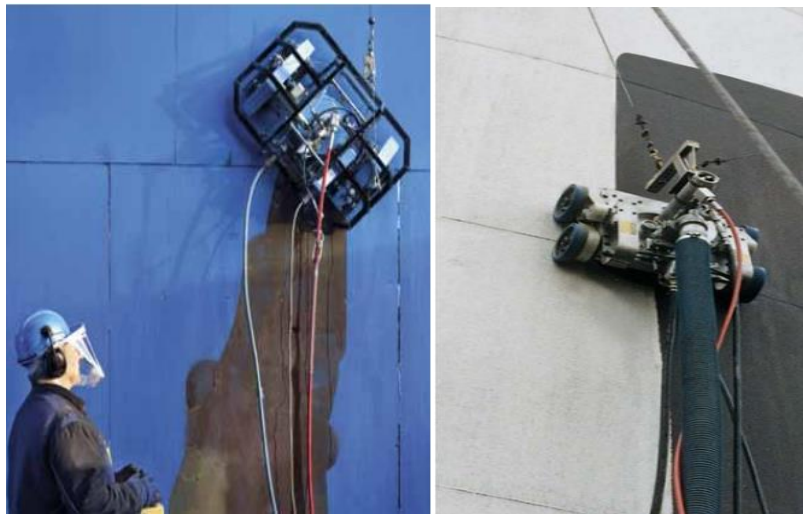
Резултат примене 3D млазнице за унутрашње чишћење резервоара приказано је на слици 37. Проблем код овог резервоара за мешање је био што произвођач полимера и смоле није лепо направио однос супстанци у једном од резервоара, а то је резултирало да цела смеша постане чврста. Конзистентност блокаде у резервоару онемогућило је чишћење редовним методама чишћења резервоара [50].



Слика 37. Чишћење унутрашњости резервоара: пре (слика лево) и после (слика десно) [50]

Након анализе величине резервоара и конзистенције очврсле смоле на дну, одлучено је да се користи 3D млазница за чишћење. Из пумпе високог притиска испоручен је притисак од 1000 бара са протоком воде од 260 l/min.

Ефикасно решење за спољно чишћење челичних резервоара је магнетни ”гуштер”. Овако високо водени алат под притиском до 2500 бара, брзо, темељно и поуздано уклања наслаге свих врста. Магнетни ”гуштер” (слика 38), са трајним магнетима и ланчаним погоном, креће се хоризонтално или вертикално по спољном зиду до велике висине и штеди време за постављање скеле за ревизију или демонтажу.



Слика 38. Магнетни ”гуштер” [30,48]

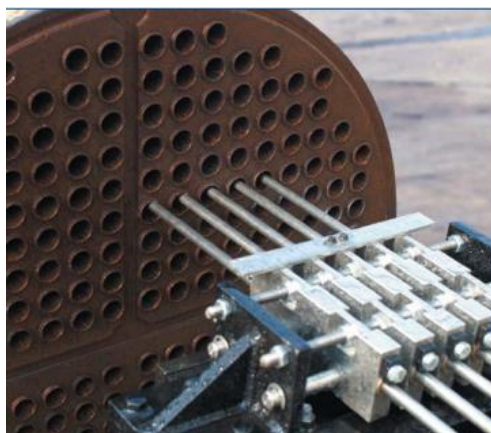
Неке од предности магнетног ”гуштер” — а су:

- способност да скине 50m² боје са резервоара за сат времена;
- вода је око 50-60°C, тако да се префарбавање може извршити одмах након чишћења;
- може се користити и на бродовима;
- могуће је даљинско управљање.

4.3 Чишћење измењивача топлоте

Процес топлотне размене у измењивачима топлоте често доводи до накупљања тврдокорних наслага, које могу очврснути и смањити проток, или чак у потпуности блокирати уређај. Чисте површине и несметан проток материјала су основа за ефикасне производне процесе, који су потребни за сталне производне температуре. Редовним чишћењем измењивача топлоте, процес ефикасности се може побољшати а енергија може бити истовремено сачувана.

Готово све врсте измењивача топлоте лако се чисте водом високог притиска (слика 39). Код плочастих измењивача топлоте или спиралних измењивача топлоте, уклањање наслага попут креча, битумена и других процесних медија високим притиском је темељито и истовремено нежно за материјале [48].



Слика 39. Чишћење измењивача топлоте [30]

Чишћење под високим притиском може се користити и за унутрашње и за спољно чишћење. Цеви или измењивачи топлоте у сложеном облику и у експлозивно-непробојној околини могу се лако очистити одговарајућим системом за чишћење. Посебна предност методе чишћења водом под високим притиском, за разлику од механичког чишћења, је што вода не оштећује измењивач топлоте. Слика 40 приказује измењивач топлоте пре и после чишћења [51].



Слика 40. Топлотни измењивач пре и после чишћења [48]

Чишћење се може постићи са притиском воде до 2800 бари. Постоје системи за уметање једне, две, три или пет цеви у сноп цеви одједном, ради максималне продуктивности. Сви су једноставни за подешавање и управљање помоћу тастера или даљинских управљача. Предности примене овог система су:

- већа стопа продуктивности у односу на ручно чишћење;
- смањена изложеност руковаоца рушевинама и води високог притиска;
- поједностављено чишћење цеви до 22m дужине;
- интегрисани дизајн за брзо постављање.

5. ПРОЈЕКТОВАЊЕ МЛАЗНОГ ПИШТОЉА И МЛАЗНИЦЕ

У овом поглављу је приказан пример млазног пиштоља и млазнице која се поставља на млазни пиштољ за чишћење чистим воденим млазом високог притиска. Димензије млазног пиштоља, млазнице су узете произвољно на основу слика из каталога производа од произвођача истих. Сlike које су дате у овом поглављу служе за лакше схватање изгледа млазног пиштоља и млазнице, као и њихове функције и примену у различите сврхе чишћења.

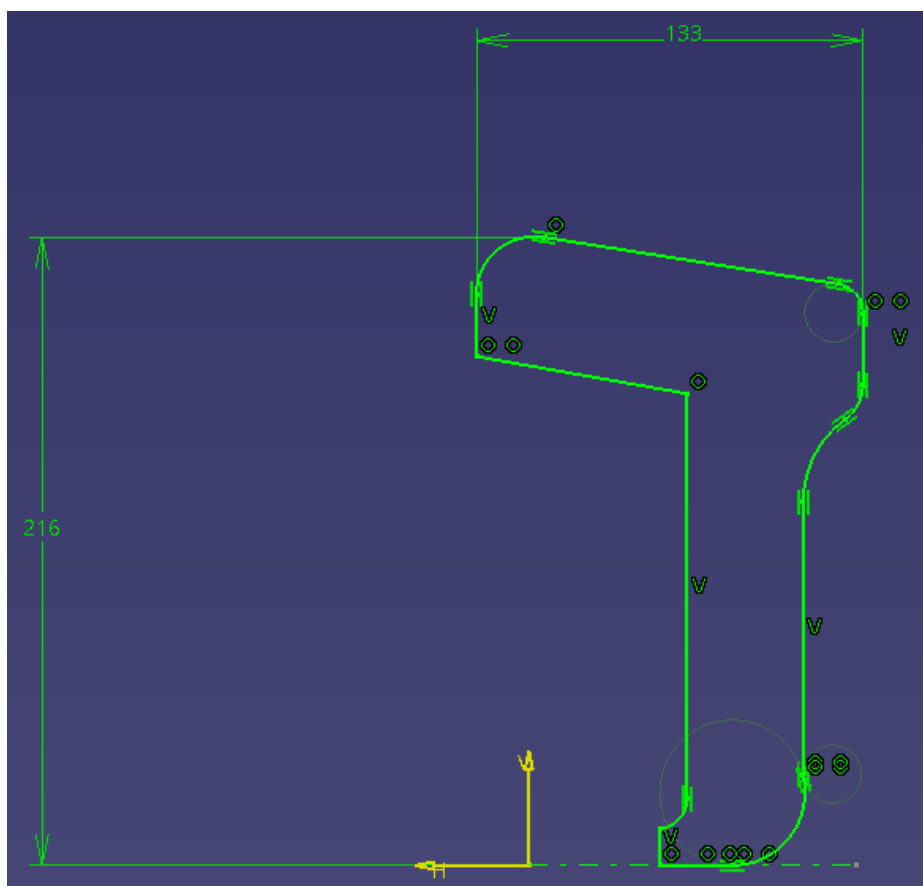
Млазни пиштољ- у склопу софтверског пакета “*CATIA V5 R21*” приступљено је пројектовању млазног пиштоља којег производи “*CAT PUMPS*”. Овај тип пиштоља се углавном користи за прање аутомобила, чишћење површина или зазора којима је тешко прићи класичним већим млазним пиштољима који имају већи радни притисак од овог пиштоља. Пиштољ је углавном најчешћа опција коју купци бирају када је у питању одржавање теже приступачних површина у дворишту, индустрији и сл. Постоје две врсте млазних пиштоља, и то пиштољ код кога проток воде пролази до краја кроз пиштољ а вентил је изнад окидача и пиштољи са предњим прикључцима или предњим улазом дизајнирани тако да су улазни и излазни прикључци и вентили управни са окидачем.

Карактеристике овог млазног пиштоља (слика 41) су [52]:

- Издржљиво тело пиштоља од Z- најлона (свестрана и јака нит за 3D штампу која је отпорна на високе температуре и разне хемикалије) са окидачем отпорним на топлоту, што продужује век трајања и смањује ломљивост;
- Контурнији дизајн и глатко реаговање окидача смањује тежину управљања пиштољем;
- Квалитетна конструкција куглице и седишта од нерђајућег челика осигурава непрекидан циклус;
- Специјална сигурносна брава спречава нехотичан рад.

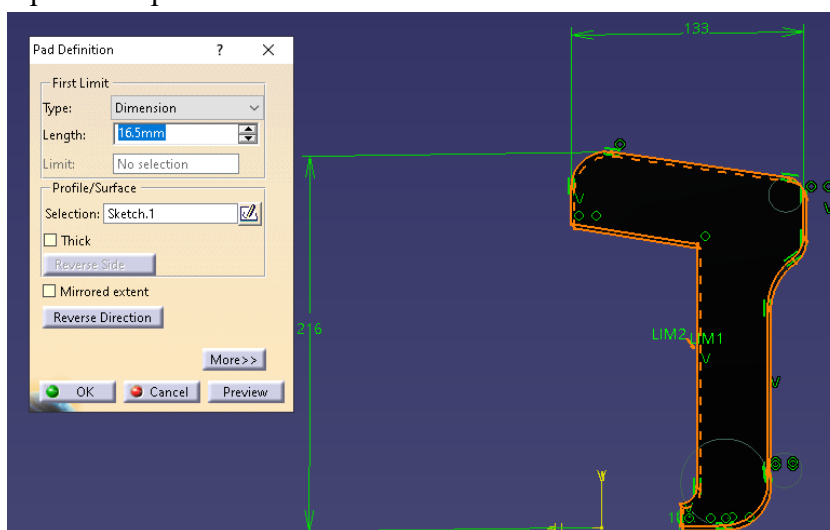
Избор је пао на модел 36141 млазног пиштоља, који је узет из каталога производа “*CAT PUMPS*” произвођача, и по каталогу има прописану димензију која износи 216 x 133 x 31 mm и она је максимално испоштована, као што се може видети на сликама 41 и 42.

У радном окружењу софтверског пакета “*CATIA V5 R21*” након одабира равни у којој ће се пиштољ нацртати, приступило се цртању почетне скице за исти.



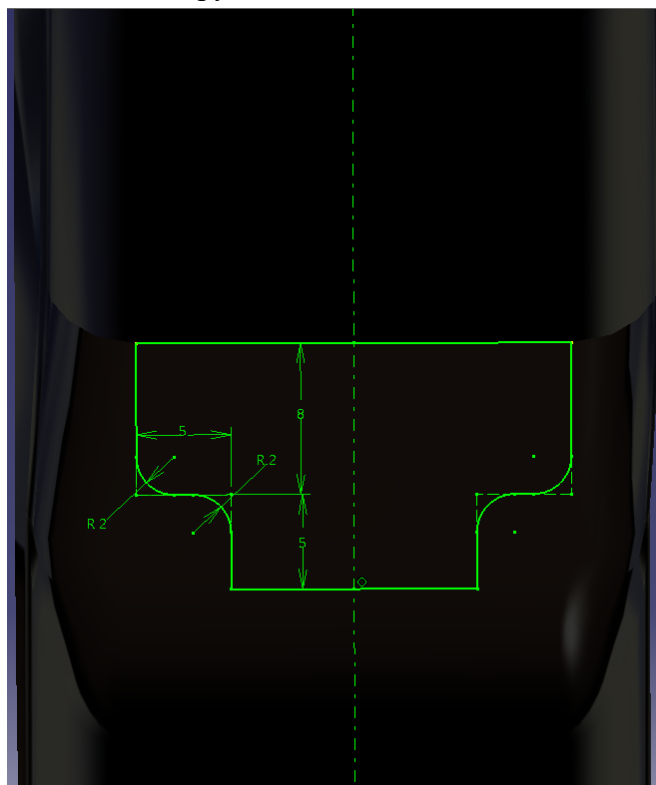
Слика 41. Почетна скица млазног пиштоља

Потребно је, поред габаритних кота које су дате од стране произвођача, димензионисати остале странице млазног пиштоља како би скица млазног пиштоља позеленила, јер се након тога може приступити дефинисању дебљине млазног пиштоља од стране произвођача. Остале коте су сакривене јер нису толико битне колико габаритне, јер је и циљ изпројектовати млазни пиштољ а да буду испоштоване прописане габаритне мере.



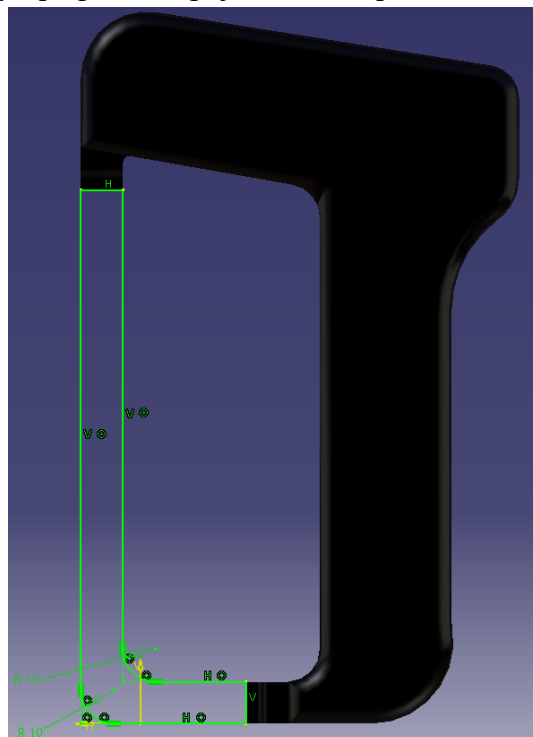
Слика 42. Дефинисање дебљине млазног пиштоља

Сликама 43,44,45 дат је поступак цртања и моделирања рукохвата и окидача млазног пиштоља. Димензије су узете произвољно како би се уклопиле у габаритне мере млазног пиштоља. Дебљина рукохвата и окидача млазног пиштоља износи 10 mm.

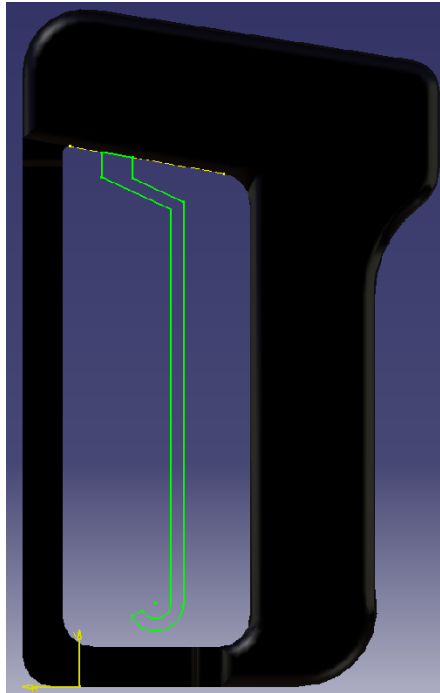


Слика 43. Профил рукохвата млазног пиштоља гледаног спреда

Профил као што се може видети је симетричан, тако да је било довољно котирати једну половину профила и пројектовати преко осе симетрије на другу страну.

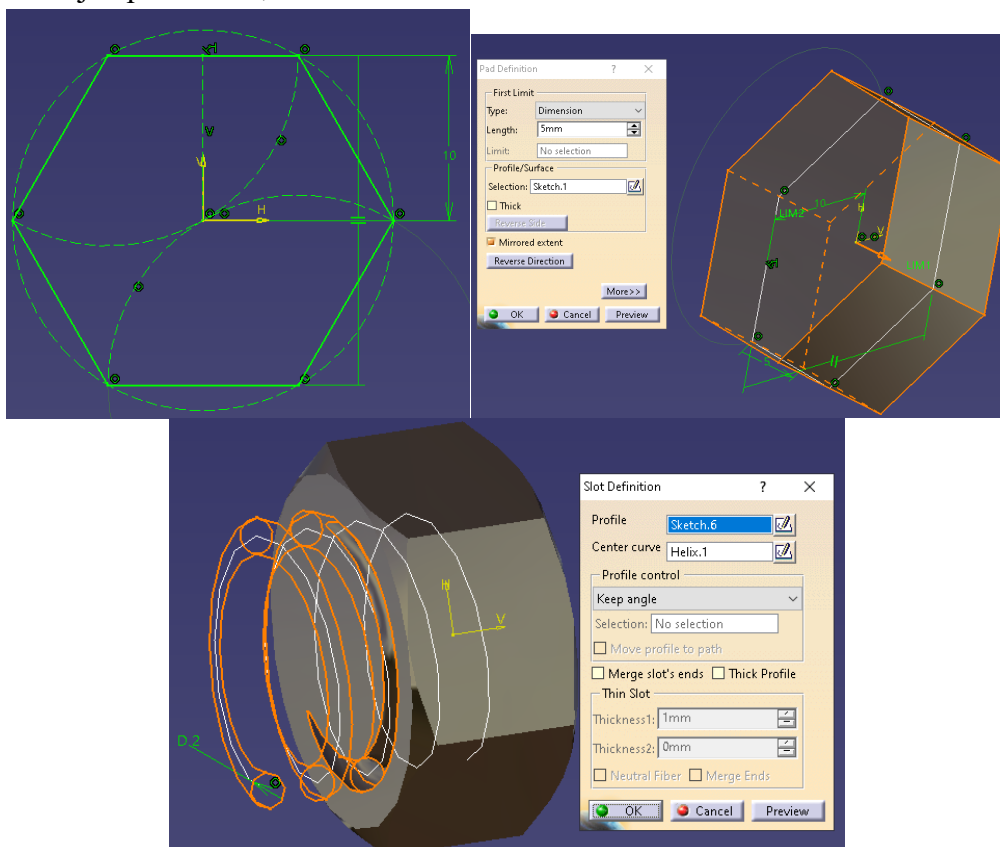


Слика 44. Профил рукохвата млазног пиштоља гледаног бочно

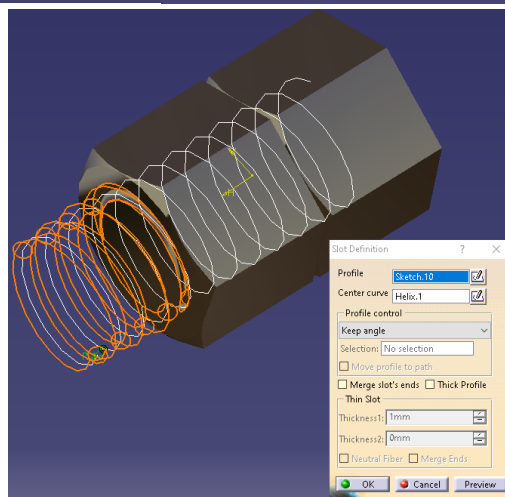
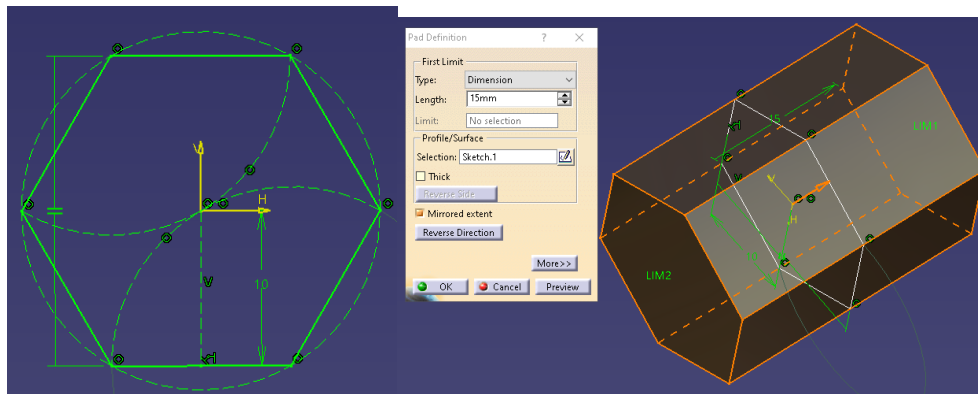


Слика 45. Профил окидача млазног пиштоља гледаног бочно

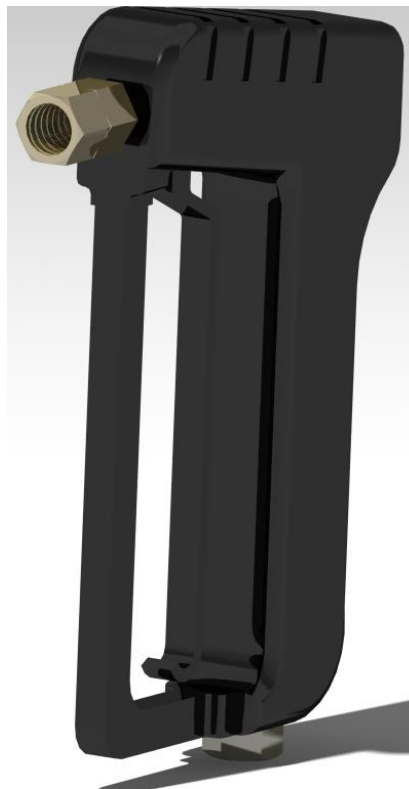
Излазни отвор млазног пиштоља је пречника 4,75 mm а улазни пречника 9,5 mm. Следећим сликама 46 и 47 биће приказане скице за цртање и моделирање прикључних навоја за цев од месинга, излазног навоја са пречником отвора 4,75 mm и улазног навоја пречника 9,5 mm.



Слика 46. Излазни прикључни навој за цев пречника 4,75 mm



Слика 47. Улазни прикључни отвор пречника 9,5 mm



Слика 48. Млазни пиштољ без млазнице

Млазни пиштољ за прање под високим притиском, захваљујући свом ергономском дизајну пружа лако и удобно руковање. Када се користе млазни пиштољи било ког типа који могу да зауставе проток воде, тај исти пиштољ мора бити опремљен са одводним вентилом. Коришћење отвореног пиштоља или пиштоља за одлагање (енг. *dump guns*) елиминира потребу за одводним вентилом. Млазни пиштољ са окидачем има улазни отвор који је причвршћен за црево високог притиска. Индустријски стандард за величину улазног отвора је 9,5 mm а стандардна величина за излазни отвор је 4,75 mm.

Табела 1 приказује мало детаљније информације о спецификацијама овог млазног пиштоља које су прописане од стране произвођача “CAT PUMPS”.

Табела 1. Спецификације млазног пиштоља [52]

Спецификације	Јединице
Максимални проток	39,7 l/min
Максимални притисак	345 bar
Максимална температура	149°C
Улазни отвор	9,5 mm
Излазни отвор	4,75 mm
Тежина	1,03 kg
Димензије	216x133x31 mm

Полупресек млазног пиштоља за чишћење, дат је сликом 49 заједно са битнијим деловима у његовом склопу.



Слика 49. Полупресек млазног пиштоља [53]

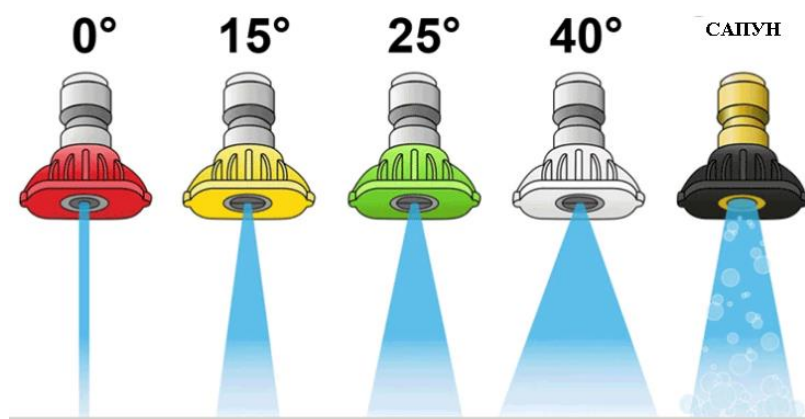
Најчешћи пиштољи са окидачем су они који се користе заједно са одводним вентилом (као на слици 49). Овакви пиштољи имају опругу, куглу и седиште које

контролишу проток воде. Оператер управља куглом, опругом и седиштем помоћу окидача. Када се окидач притисне, он притиска иглу на кугли, избацујући куглу из свог седишта и отвара пут до млазнице. Када се окидач поново опустити, опруга враћа лопту на своје место и проток је блокиран. Одводни вентил је у *bypass* режиму када је окидач затворен. Вода циркулише у обилазном кругу од пумпе до одводног вентила и затим назад до пумпе. Овај пиштољ има напреднији окидач који има *stop* функцију која смањује силу воде која протиче кроз пиштољ и гура окидач и самим тим оператер са лакоћом може да савлада тај притисак воде.

На основу млазног пиштоља, приступило се бирању одговарајуће млазнице која се навлачи на излазни отвор и таква даје проток воде под одговарајућим углом и притиском.

Млазница- Као што се већ може закључити на основу карактеристика млазног пиштоља, млазница се бира тако да њен притисак приближно једнак са притиском млазног пиштоља како би се постигла најбоља уравнотеженост изабраних елемената.

На овај млазни пиштољ могу се користити разне млазнице са различитим углом млаза воде који обликује претходно изабрана, дефинисана млазница. Најчешће коришћене млазнице за овај тип пиштоља приказане су сликом 50,51.



Слика 50. Млазнице са различитим углом распршивања [54]

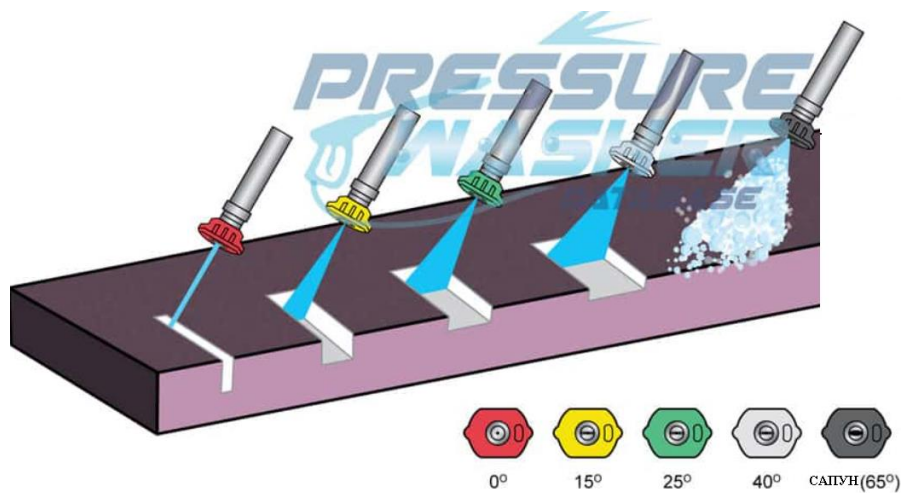
Црвене млазнице (0° угао) дају најјачи млаз и ретко се користе за кућно чишћење. Имају мали отвор без ширења, што резултира врло моћним млазом. Притисак је довољно висок да оштети или уништи меке површине и може чак да пресече кожу.

Жута млазница (15° угао) често се назива и млазница за издубљивање, одлична је за клесање боје када се користи под углом од 45°. Због тога је и ова млазница моћнија за уобичајене потребе чишћења.

Зелена млазница (25° угао) се углавном користи за испирање и она је прва погодна млазница за чишћење површине али се препоручује да се њена употреба ограничи на метал и бетон.

Бела млазница (40° угао) је уједно и најчешћи избор за прање и чишћење већину површина.

Црна млазница (65° угао) се најчешће зове млазница за сапун и користи се за наношење сапуна (детерџента) на површину.

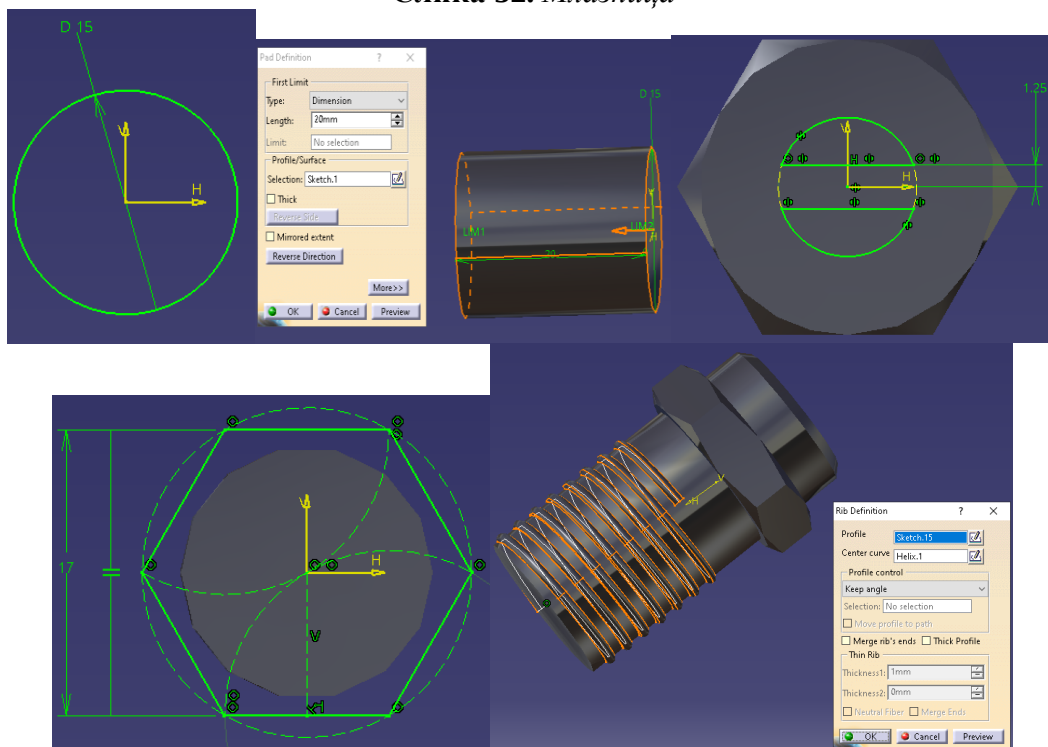


Слика 51. Практичан пример млазница са различитим угловима распршивања [55]

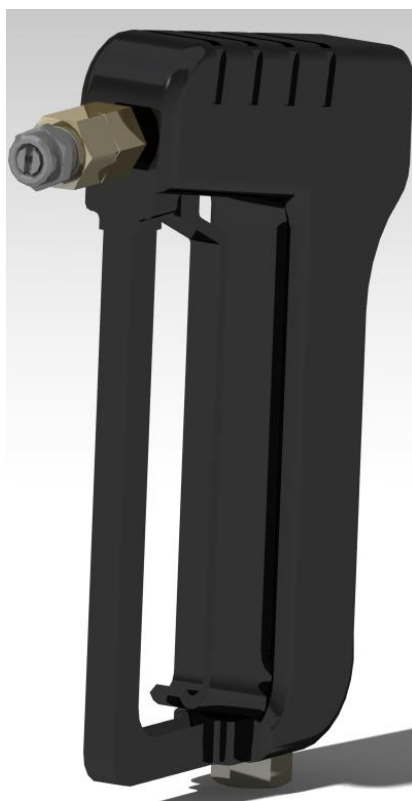
На основу приказаних слика и закључка да је најбољи избор за чишћење млазница са углом од 40°, приступило се пројектовању млазнице (слика 52) од нерђајућег челика произвођача “GENERAL PUMP” са наведеним углом распршивања.



Слика 52. Млазница



Слика 53. Млазница високог притиска



Слика 54. *Склоп млазног пиштоља и млазнице*

Млазница се користи за притисак до 350 бари, њен ојачани уложак од нерђајућег челика нуди дужи век трајања млазнице. Како се вода високог притиска пробија кроз млазницу, то може проузроковати хабање млазнице, повећавајући величину, омогућавајући већи проток воде и мањи притисак воде. Уметак млазнице од нерђајућег челика помаже у смањењу овог хабања и продужава животног века млазнице.

Као савет за избор млазница, млазница мора да понуди:

- мора да има довољну чврстоћу да издржи преко хиљаду циклуса коришћења под притиском у опсегу од 70-275 бари;
- чврсту везу са деловима како се не би сломила од стране корисника током постављања;
- мора да поседује отпорност на корозију пошто се користи вода;
- треба бити довољно јефтина како би посао био профитибилнији.

6. ЗАКЉУЧАК

Употреба воде у сврхе чишћења под високим притиском показала се као веома битна прекретница још у 19-ом веку где се још од тада користила у сврхе чишћења и испирања. Са већом потребом и захтевима, са људске стране, да се створи још већи притисак воде и њен проток, дошло је до веома битног пробоја у технологији пумпи за економичан пораст притиска воде до чак 2800 бара. Овај притисак воде може да скине боју, рђу и загађиваче одмах са металних површина. Захваљујући овим истраживањима, вода је нашла своју примену у разне сврхе: чишћење кородираних вентила, морских бродова са корозијом од морске воде, чишћење измењивача топлоте, котлова, цевовода и др.

Мотор или други извор енергије напаја пумпу за воду високог притиска која производи воду под притиском. За расположиву снагу мотора су директно одговорни притисак и проток воде. Вода из пумпе високог притиска се допрема до црева под високим притиском са прилагођеним притиском и протоку систему. Млазнице су димензионисане тако да одговарају дизајну мотора и пумпе за воду, плус фактору губитка притиска због пречника и дужине црева за млаз под високим притиском.

Код млазница за млазни пиштољ веома је битно да се бирају на основу млазног пиштоља, пожељно је да имају ојачани уметак од нерђајућег челика како би се продужио век трајања млазнице. Хабање млазнице је један од највећих проблема код млазница и због тога је као фактор при збору млазнице био и тај да уметак буде од нерђајућег челика. Избор млазница са углом распршивања је широк, али пошто се млазни пиштољ користи највише у сврхе чишћења површина, аутомобила и отклањање прљавштина на теже приступачним местима, избор је пао на млазницу са углом распршивања од 40° јер је ово уједно и најчешћи избор за прање и чишћење већине површина. Пример лошег избора млазнице би била млазница са углом распршивања од 0° јер ствара веома моћан млаз и притисак на излазу млазнице који може да оштети површину која се чисти или чак да повреди особу која рукује са њом.

Што се тиче млазних пиштоља, чији притисци прелазе 500, 600 бари, обавезна је примена механизма за ограничење кретања црева јер се помоћу њега ограничава кретање црева под притиском. Код млазних пиштоља, као што је пример пројектованог пиштоља у овом раду, нема потребе за тим јер је у питању мањи притисак а и самим тим млазни пиштољ је модернијег дизајна, тј. поседује модернији дизајн окидача на млазном пиштољу који има *stop* функцију која смањује силу воде која протиче кроз пиштољ и гура окидач и самим тим оператер са лакоћом може да савлада тај притисак воде. Индустријски стандард за величину улазног отвора је 9,5 mm а стандардна величина за излазни отвор је 4, 75 mm.

7. ЛИТЕРАТУРА

- [1] **Steel Bridge Group**, *Guidance notes on best practice in steel bridge construction*, sixth issue, 2015.
- [2] **Недић Б., Васиљевић Б.**, *Модификовање површина*, Машински факултет, Крагујевац, 2003.год.
- [3] **Lauren R.M., James W.G.**, *Environmental Evaluation of Abrasive Blasting with Sand*, University of Miami, United States, 2012.
- [4] **Karadhbhuje S.W., Raghuwanshi A.N.**, *Abrasive blasting*, VSRD International Journals, 2013.
- [5] **Интернет страница:** https://issuu.com/shotblasting5/docs/sand_blasting_-_introduction_mater, приступљено: 15.08.2020.
- [6] **Rudawska A.**, *Surface treatment in bonding technology*, Faculty of Mechanical Engineering, Lublin University of Technology, Lublin, Poland, 2019.
- [7] **Интернет страница:** <https://www.manufacturingguide.com/en/wet-abrasive-blasting>, приступљено: 17.08.2020.
- [8] **Интернет страница:** https://www.academia.edu/38211423/Know_How_a_Shot_Blasting_Machine_Works_pptx, приступљено: 17.08.2020.
- [9] **Интернет страница:** <https://www.slideserve.com/shotblasting/abrasive-blasting-media-for-sandblasting-equipment>, приступљено: 17.08.2020.
- [10] **СУМ Materiales SA**, *General introduction to shot blasting*, техничка брошура.
- [11] **Интернет страница:** <https://www.seminarstopics.com/seminar/3375/shot-blasting>, приступљено: 17.08.2020.
- [12] **Интернет страница:** <https://qdbesttech.en.made-in-china.com/product/dvQEJrhZXkUs/China-Sand-Blasting-Booth-Shot-Blasting-System-Sand-Blasting-Room.html>, приступљено: 17.08.2020.
- [13] **Интернет страница:** <http://www.absoluteplc.com/different-types-of-abrasive-sandblasting/>, приступљено 01.10.2020.
- [14] **Интернет страница:** <https://midvaleindustries.com/finishing/sand-blasting-media/>, приступљено 01.10.2020.
- [15] **Интернет страница:** <https://www.tradeindia.com/fp6062851/Magnesium-Sulphate.html>, приступљено 01.10.2020.
- [16] **Интернет страница:** <https://midvaleindustries.com/finishing/sand-blasting-media/>, приступљено 01.10.2020.
- [17] **Интернет страница:** <http://www.sunshinetrading.co/sodium-carbonate/>, приступљено 01.10.2020.
- [18] **Интернет страница:** <https://midvaleindustries.com/finishing/sand-blasting-media/>, приступљено 02.10.2020.
- [19] **Интернет страница:** <https://www.escablast.com/dry-ice/>, приступљено 02.10.2020.
- [20] **Bahadori A.**, *Surface preparation for coating, painting, and lining. Essentials of coating, painting, and lining for the oil, gas and petrochemical industries*, Elsevier science & Technology, United States, 2015.
- [21] **Lessmann**, *The german brush company*, katalog, 2020.
- [22] **Интернет страница:** <https://www.cactusindustrial.com/bristle-blasters/>, приступљено: 18.08.2020.
- [23] **Salacinski T., Chmielewski T., Winiarski M., Cacko R., Świercz R.**, *Roughness of metal surface after finishing using ceramic brush tools*, University of Technology, Warsaw, 2018.
- [24] **PFERD**, *Алати за фино брушење и полирање*, брошура.

- [25] **Tevinoibanphan P., Prombanpong S., Tangwarodomnukun V.**, *Investigation into the Polishing of Stainless Steel Using Sisal Wheels*, Department of production Engineering, Thailand, 2014.
- [26] **Интернет страница:** <http://www.eng.utoledo.edu/pmmc/polishing.pdf>, приступљено: 12.08.2020.
- [27] **Rebeggiani S., Rosén B.G.**, *A Step-by-Step Analysis of Manual Polishing Sequences*, Halmstad University, The Functional Surfaces Research Group, Halmstad, Sweden.
- [28] **Wang S., Timsit R.S., Spelt J.K.**, *Experimental investigation of vibratory finishing of aluminum*, Department of Mechanical & Industrial Engineering, University of Toronto, 2000.
- [29] **Интернет страница:** https://rs.rosler.com/fileadmin/Files/Prospekte/Gleitschlifftechnik/RS_SR_Rotary_vibrator_GB_145.pdf, приступљено 03.10.2020.
- [30] **Blastmaster**, *Water jet solutions*, брошура, 2012.
- [31] **Bahadori A.**, *Essentials of Coating, Painting, and Lining for the Oil, Gas and Petrochemical Industries*, Gulf professional publishing, 2015.
- [32] **Groysman A.**, *Corrosion problems and solutions in oil refining and petrochemical industry*, Association of Engineers and Architects in Israel, 2017.
- [33] **Интернет страница:** <http://www.ferret.com.au/ODIN/PDF/Showcases/103585.pdf>, приступљено 03.10.2020.
- [34] **Интернет страница:** https://www.concrete.org/store/productdetail.aspx?ItemID=ERAP14&Format=DOWNLOAD&Language=English&Units=US_Units, приступљено 03.10.2020.
- [35] **Интернет страница:** <https://africatuff.co.za/hydro-demolition/>, приступљено 03.10.2020.
- [36] **WorkSafeBC**, *High pressure washing - safe work practices*, брошура, Workers' Compensation Board of British Columbia, 2008.
- [37] **Cat Pumps**, *High-Pressure system design guide*, брошура, Cat Pumps Corporation, 2015.
- [38] **Интернет страница:** <https://www.pressurewashersdirect.com/stories/1333-How-Unloader-Valves-Can-Save-Your-Pump.html>, приступљено: 01.09.2020.
- [39] **Интернет страница:** <https://www.hydroblast.co.uk/whip-checks-high-pressure-hoses/#:~:text=Working%20with%20any%20high%2Dpressure,hose%20should%20it%20become%20uncoupled.>, приступљено: 01.09.2020.
- [40] **Hammelmann**, *Product catalogue - high pressure water blasting guns*, брошура, Hammelmann Maschinenfabrik GmbH, Germany.
- [41] **Интернет страница:** https://www.pressure-pro.com/wp-content/uploads/2017/03/PRESSURE_WASHER_MANUAL_HR.pdf, приступљено: 04.09.2020.
- [42] **Интернет страница:** <https://www.dkaghaulage.com.au/pdf/products/highpressureaccessories.pdf>, приступљено: 04.09.2020.
- [43] **Hennlich**, *Млазнице за индустрију*, брошура, HENNLICH d.o.o. Beograd.
- [44] **Интернет страница:** <http://www.watex.com/article/1861.html>, приступљено: 07.09.2020.
- [45] **Интернет страница:** <https://jtv-cipp.com/sewer-cleaning-florida.html>, приступљено: 07.09.2020.
- [46] **Интернет страница:** <http://mrdrain.com/hydroflush.php>, приступљено: 07.09.2020.
- [47] **Интернет страница:** <https://www.uraca.com/en/applications/cleaning/cleaning-pipes-and-sewers/>, приступљено: 07.09.2020.

- [48] **WOMA**, *High pressure water jetting in the oil and gas industry*, брошура, WOMA GmbH, Duisburg, 2015.
- [49] Интернет страница: <https://www.cleancosystems.com/tank-cleaning/>, приступљено: 08.09.2020.
- [50] Интернет страница: <https://www.hydroblast.co.uk/polymer-resin-tank-clean/>, приступљено: 10.09.2020.
- [51] Интернет страница: <http://www.watex.com/article/1841.html>, приступљено: 08.09.2020.
- [52] Интернет страница: https://www.catpumps.com/sites/default/files/products/pdfs/36140_F.pdf, приступљено: 14.10.2020.
- [53] Интернет страница: <https://www.yumpu.com/en/document/read/19538512/stainless-steel-high-pressure-shut-off-guns-data-sheet-cat-pumps>, приступљено: 14.10.2020.
- [54] Интернет страница: <https://www.garagetooladvisor.com/cleaning/pressure-washer-nozzle-chart/>, приступљено: 14.10.2020.
- [55] Интернет страница: <https://pressurewasherdb.com/blog/nozzles/>, приступљено: 14.10.2020.
- [56] **Borkowski P., Borkowski J., Wozniak D.**, *The basis of high explosives washing out technology from heavy-artillery ammunition*, American WJTA Conference and Expo, Texa, 2007