

**ФАКУЛТЕТ ИНЖЕЊЕРСКИХ НАУКА
УНИВЕРЗИТЕТ У КРАГУЈЕВЦУ**

Филип З. Шиник

**ПРОИЗВОДНО И РЕПАРАТУРНО НАВАРИВАЊЕ
ДЕЛОВА ГРАЂЕВИНСКЕ МЕХАНИЗАЦИЈЕ**

Завршни рад

Крагујевац, 2016. године

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Производне технологије/Технологија заваривања

Број индекса: 26/2013

Филип З. Шиник

Производно и репаратурно наваривање делова грађевинске механизације завршни рад

Komisija za pregled i odbranu: 1. Prof. dr. Vukić Lazić –mentor 2. _____ 3. _____	Датум одбране: _____ Оцена: _____
---	---

У оквиру овог завршног рада кандидат треба да

- Укаже на основне принципе, узрочнике и механизме оштећења делова грађевинске механизације.
- Опише и покаже најкоришћеније методе регенерације делова-наваривања (производно и репаратурно).
- На бар једном примеру да покаже процедуру за избор додатног материјала, метода наваривања и технологије наваривања и да укаже на предности примене наведених технологија

Препоручена литература:

- [1] **М. Јовановић, В. Лазић**, *Технологија ливења и заваривања*, универзитетски уџбеник, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2015.
- [2] **М. Јовановић, Д. Адамовић, В. Лазић**, *Технологија заваривања*, приручник, друго издање, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2011.
- [3] **М. Mutavdžić**, *Моделирање репаратурног и производног наваривања, радних делова грађевинске механизације*, Докторска дисертација, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2015.

Крагујевац, септембар 2016

Ментор:

Др Вукић Лазић, ред. проф.

Садржај:

Резиме:	6
1. Увод.....	7
2. Основни узрочници настанка оштећења делова машина и уређаја.....	9
2.1 Оштећења настала услед триболошких утицаја	10
2.1.1 Основни појмови теорије трења.....	10
2.1.2 Основни појмови теорије хабања.....	13
2.2 Оштећење која настају услед дејства корозије	20
2.2.1 Уводне напомене о корозији	20
2.2.2 Врсте корозија и основне карактеристике	20
3. Улога и значај познавања особина агрегата- стенских материјала	25
3.1 Најважнија техничка својства стенског материјала и њихова основна подела.....	25
3.2 Одређивање петрографских својстава неких стена	26
3.3 Експериментално одређивање неких физичких својстава стена.....	29
3.3.1 Одређивање специфичне масе (густине) стена	29
3.3.2 Одређивање запреминске масе стена.....	29
3.4 Одређивање порозности стена.....	30
3.4.4 Одређивање могућности збијања стена	30
3.4.5 Утицај воде, ниских и високих температура на промену својстава стена.....	31
3.5 Експериментално одређивање неких механичких својстава стена	32
3.5.1 Одређивање тврдоће неких врста стена.....	32
3.5.2 Одређивање ударне жилавости неких врста стена	33
3.4.3 Одређивање еластичности стена.....	34
3.4.4 Одређивање јачине стена.....	34
3.4.5 Одређивање отпорности на хабање неких врста стена	36
4. Преглед најважнијих метода наваривања и термичке метализације.....	37
4.1 Термичка метализација	38
4.2 Наваривање.....	41
4.2.2 Ручно електролучно наваривање (РЕЛ).....	44
4.3 Наваривање отвореним луком	46
4.4 Наваривање ТИГ поступком.....	47

Репаратурно и производно наваривање делова грађевинске механизације

4.5 Наваривање под прахом (ЕПП)	47
4.6 Наваривање плазмом.....	49
4.6.1 Плазмено наваривање прашком	49
4.6.2 Плазмено ТИГ-наваривање	50
4.6.3 Плазмено МИГ-наваривање	51
5. Избор додатног материјала, метода наваривања, и најповољније технологије производног и репаратурног наваривања	52
5.1 Основни принципи при избору додатног материјала	52
5.2 Избор додатног материјала са аспекта отпорности на хабање.....	52
5.2.1 Утицај легирајућих елемената на структуру и особине челика.....	53
6. Пример изведеног репаратурног наваривања дела грађевинске механизације	57
6.1 Наваривање ножева плуга за чишћење снега.....	57
6.1.1 Грађевинска машина, уређај, функција испитиваног дела и уочени недостаци ...	57
6.1.2 Примена технологије наваривања.....	58
6.1.3 Одређивање отпорности на хабање	60
7. Закључак	63
Литература	64

Резиме:

У овом раду представљене су различите методе производног и репаратурног наваривања и метализације, основни механизми хабања као и дејство корозије, као главних узрочника оштећења елемената и делова. Такође, део рада се односи на различите стенске материјале и њихово испитивање ради добијања основних механичких карактеристика. На крају је на конкретном примеру, приказан одабир технологије наваривања, додатног материјала и разна механичка испитивања ради утврђивања основних карактеристика на одабраним узорцима.

Кључне речи: производно наваривање, репаратурно наваривање, метализација, хабање, корозија, стенски материјали, механичке карактеристике, технологија наваривања, додатни материјал.

Summary:

This paper introduces a variety of methods of hardfacing and metalization that help with repairment or improvement to some of the elements and parts of civil engineering mechanization, as well as some basic mechanisms of wear and corrosion, as they are the main reason for damage caused to these parts. Also, a part of paper is related to various rocky materials and different tests that help us determinate their basic mechanical properties. At the end, a specific practical example shows the way of choosing the right technology, additional materials and also various of test conducted in order to determinate the basic mechanical characteristics of the selected parts.

Key words: reparatory hardfacing, production hardfacing, civil engineering mechanization, wear, corrosion, rocky materials, mechanical properties, hardfacing technology, additional materials.

1. Увод

Сматра се, да је у данашње време, у више од 50% случајева оправдано рапаратурним наваривањем повратити функционалност делу и као таквог га вратити у експлоатацију. Наравно, мора се водити рачуна о неповољним структурним променама, заосталим напонима, прелинама и другим последицама које прате репаратурно наваривање. С обзиром на то, од изузетног је значаја прописати одговарајућу технологију наваривања која ће не само омогућити дужи радни век дела, већ и знатно смањење трошкова у односу на куповину новог дела. Неопходно је такође спровести испитивања ради одређивања петографских, физичких, механичких и технолошких својстава грађевинских материјала.

Применом наваривања остварују се знатне материјалне уштеде и друге бројне предности које су могуће искључиво ако се репаратурном наваривању приступи као текућој производној пракси што подразумева разна истраживања наваривања реалних радних делова.

Уопштено посматрано различитим поступцима наваривања могу се извести следећи радови:

- **репаратурно наваривање**-регенерација делова и уређаја оштећених услед трења, различитих видова хабања, корозије или прелома,
- **производно наваривање**-наваривање површине или делова површине нових елемената и
- **дорада нових одливака** од легура гвожђа или нежелезних метала, ако се завршном контролом открије нека од спољних ливачких грешки.

Област примене репаратурног наваривања данас је знатна. Наварују се алати (за обраду деформисањем, ливењем и резањем), зупчаници, коленаста вратила, делови мотора СУС, радни делови машина за обраду камена и земље и разни делови транспортних уређаја, ваљци ваљаоничких станова, облоге судова у хемијској индустрији и др. Исто тако, наваривањем се поправљају неке ливачке грешке на челичним одливцима, одливцима од ливеног гвожђа, алуминијума, месинга, бронзе и тел.

Такође, при навариравању потребно је водити рачуна о степену мешања основног и додатног материјала који је у првом прелау увек у корист основном материјалу, па је из тог разлога потребно нанети више слојева (најчешће три) како би тај однос превагнуо на страну додатног материјала.

Поред основног циља да се наваривањем постигну тражене особине, треба тежити и да се разблаживање навара основном материјалом сведе на најмању меру, што омогућује да се са мање пролаза постигну особине декларисане у каталозима произвођача легура за наваривање.

При истраживању појава које прате наваривање мора се узети у обзир више чинилаца:

- температурско поље и температурски циклуси,
- металуршке реакције растопа основног метала и превлаке,
- заостали термички и структурни напони,
- примењена термичка обрада,
- врста накнадне машинске обраде и др.

Репаратурно и производно наваривање делова грађевинске механизације

Поред овога, од великог је значаја познавање различитих механизма хабања, који су значајни узрочници оштећења радних делова у току њихове експлоатације. Абразивно хабање, као најзаступљенији механизам хабања због свог високог коефицијента трења, који је и до хиљаду пута већи у односу на остале, уводи честице (абразиве) који нису иницијано део система и проузрукују велика оштећења.

2. Основни узрочници настанка оштећења делова машина и уређаја

На основу дугогодишњих искустава из којих је проистекло много публикованих радова, може се увидети да постоји доста разлога услед којих долази до превременог отказа делова машина и њихових елемената у експлоатацијским условима.

Сви откази се могу поделити у две основне групе:

- откази изазвани из техничких разлога
- откази изазвани људским утицајем

Откази изазвани из техничких разлога огледају се у трошењу материјала услед триболошких процеса у току експлоатације (трење, хабање) као и откази изазвани дејством корозије и тел.

Откази изазвани људским фактором се пре свега односе на људску непажњу, нестручно руковање, недовољно добро дефинисаним планским одржавањем и тел.

Отклањањем или смањењем негативног дејства ових утицаја снижавају се и трошкови. На неке од ових узрока могуће је утицати спровођењем правилне организације, применом планског одржавања техничких система, израдом оптималних конструкција, правилном експлоатацијом машина, подизањем нивоа стручности радног особља итд.

Истраживања су показала, да је у више од 50% случајева последица отказа техничких система проузрокован триболошким процесима у току њихове експлоатације. С обзиром на то, од кључног је значаја познавање могућих механизма хабања, како би се извршило пројекторвање одговарајуће технологије регенерације. Поред потребе за регенерацијом делова који су похабани у току експлоатације треба имати у виду да се такође наварују и делови оштећени због хаварије, као и нови одливци израђени са грешкама. Све већи значај, има и наваривање нових делова, при чему се потребна тврдоћа површинских слојева постиже наношењем тврдих легура, уместо традиционалним методама цементације односно нитрирања. Све досад речено, допринело је да наваривање заузме важно место међу тзв. напредним (престижним) технологијама.

Радни делови машина, склопова, уређаја, најчешће се израђују од веома скувих легура па се репаратуром, осим скраћења времена застоја због поправке, постиже и уштеда како у скупом основном материјалу тако и у обради делова на коначне димензије.

Економски је најоправданије да се оштећени редни делови регенеришу наношењем слојева неком од метода наваривања или метализације. У највећем броју случајева критеријум за извођење репаратуре је тај, да цена регенерације дела не превазилази цену израде новог дела, и да се тиме обезбеди дуготрајан рад репарираниог дела. Посебно је ово значајно код делова великих димензија и масовне производње, док се код специјалних машина и уређаја изводи репаратура без обзира на цену.

Због знатног смањења трошкова при обезбеђивању регенерације похабаних делова, наношењу антикорозивних превлака, као и при доради нових делова израђених са грешком, поступци репаратуре имају све ширу примену. Како би се постигао добар квалитет репарираниог дела, односно повећање века делова, од прворазредног је значаја избор адекватног поступка наваривања.

2.1 Оштећења настала услед триболошких утицаја

Основни чиниоци који утичу на триболошке појаве класификовани су као:

- **Геометријски чиниоци:** односе се на макро геометрију контакта (геометријски облик површине контакта - површински, линијски или тачкасти), микро геометрију контакта (дефинисану преко храпавости, валовитости, коефицијента нерегуларности профила, линијском и површинском носивошћу), деформације макро и микро зона контакта и површину стварног контакта;
- **Кинематски чиниоци:** везани су за врсту и карактер кретања, брзину и време трајања контакта;
- **Динамички чиниоци:** односе се на расподелу и вредност нормалних притисака (оптерећења) и карактер и промену оптерећења;
- **Физичко-хемијски чиниоци:** везани су за врсту материјала спрегнутих парова, хемијски афинитет материјала контактних парова, кристалну грађу парова, врсту оксида насталих у процесу прераде на топло и врсту мазива;
- **Енергетски чиниоци:** зависе од температуре микро зона контакта, топлотног биланса у макро и микро зонама контакта, и др.

Геометријски и физичко-хемијски чиниоци дефинишу основне особине контактних парова, а остали дефинишу основне параметре процеса трења.

Под појмом хабање се подразумева непожељно и прогресивно одстрањивање материјала са површина елемената и делова машина, настало углавном као резултат деловања механичких сила.

Најдоминантнији видови оштећења материјала изазвани су триболошким процесима, а трошкови из тих разлога су изузетно високи. За њихово смањење неопходно је придржавање и примена савремених сазнања из области трибологије, како при конструисању и експлоатацији, тако и узимањем у обзир сталних захтева за економичније коришћење материјала, рационалније трошење енергената, смањење трошкова одржавања, као и повећање века и поузданости производа.

2.1.1 Основни појмови теорије трења

Трење се дефинише као отпор кретању два тела, у условима релативног кретања, за чије је савладавање потребно утрошити одређену енергију. Трење се јавља и при кретању честица унутар чврстих материјала, течности и гасова и дефинише се као „унутрашње трење”, док се “спољашње трење” јавља између површина делова при релативном кретању уз деловање контактеног оптерећења, при чему долази до преноса масе и енергије у механичким системима.

Разликујемо трење клизања, трење котрљања, трење ротације и комбиновано трење, у зависности од врсте релативног кретања спрегнутих тела.

Коефицијент трења представља односе између силе трења и нормалног оптерећења и дат је односом:

$$\mu_T = \frac{F_T}{F_N}; F_T = \mu_T F_N \quad (2.1)$$

где је:

F_T - сила трења у N и

F_N - нормална сила у N .

Коефицијент утрошеног рада представља однос између рада утрошеног на савладавање силе трења и укупног утрошеног рада на остваривање кретања и дефинисан је односом:

$$\mu_W = \frac{W_T}{W_U}; W_T = \mu_W W_U \quad (2.2)$$

где је:

W_T - рад који се троши на савладавање силе трења и Nm , а

W_U - укупан рад који се троши на остваривање релативног кретања у Nm .

Основне теорије трења:

- адхезивна теорија трења
- модификована теорија трења
- молекуларна теорија трења
- молекуларно-механичка теорија трења
- енергетска теорија трења

2.1.1.а Адхезивна теорија трења

Адхезивна теорија трења је развијена тридесетих година двадесетог века од стране аустралијског научника Филипа Бовдена (*eng. Philip Bowden*) и британског научника Давида Табора (*eng. David Tabor*).

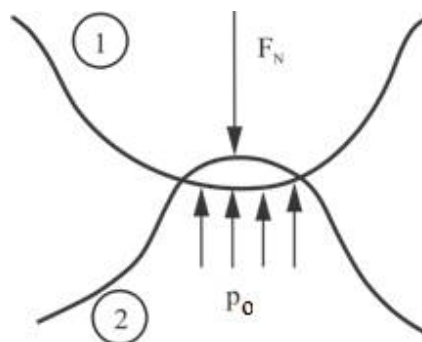
Процес пластичне деформације материјала у зонама контакта се одвија све до тренутка настанка реалне контактне површине A_r и равнотеже спољашњег оптерећења F_N и унутрашњих сила-напона. Услов равнотеже је дат изразом:

$$F_N = p_0 A_r \quad (2.3)$$

где је:

p_0 - притисак на граници пластичног течења материјала и

A_r - реална површина контакта.



Слика 2.1 Шема зоне контакта

У зони контакта долази до појаве адхезивних сила које доводе до појаве ”хладног заваривања” материјала оба тела у додиру, тј. до формирања заварених спојева на местима јединичних контаката који се називају и фриксионе везе.

Сила трења се код адхезивне теорије трења састоји од два дела. Први део силе трења јавља се као отпор приликом раскидања фриксионих веза, а други део силе трења јавља се као отпор кретању врха неравнине тврђег тела кроз контактни слој тела мање тврдоће. Ова појава назива се и микрорезање, јер врх неравнине тврђег тела делује као резни клин у процесу остваривања контакта.

Адхезивном теоријом трења потврђују се два основна закона трења:

- Сила трења је независна од величине контактне површине
- Сила трења F_T је пропорционална величини нормалног оптерећења F_N

2.1.1.b Модификована адхезивна теорија трења

Даљи рад на развоју трења довео је до модификоване адхезивне теорије трења. Полазна претпоставка за развој ове теорије трења је да раст реалне површине елементарног контакта A_r , не зависи само од величине нормалног оптерећења већ и од тангенцијалних сила које се у зони додира појављују при кретању једног тела по другом.

Веза између нормалног напрезања и напрезања у равни смицања може се написати у облику:

$$p^2 + \alpha \tau^2 = k^2 \quad (2.4)$$

где су:

α и k – константе чије величине зависе од механичких карактеристика материјала елемената у контакту.

Основни закључци који се на основу адхезивне теорије могу извести су:

- реална површина контакта одређена је величином пластичне деформације материјала у зонама елементарног додира.
- контакт између елемената трибомеханичког система остварује се преко спољашњих граничних слојева на контактним површинама, чије су критичне вредности на смицање мање од критичне вредности напона на смицање основног материјала.
- величине силе трења и коефицијента трења зависе од критичне вредности напона на смицање спољашњег слоја и притиска на граници течења основног материјала.

2.1.1.ц Молекуларна теорија трења

Молекуларна теорија трења заснива се на чињеници да се у зонама контакта два елемента јављају привлачне и одбојне молекуларне силе. Једначина равнотеже молекуларних сила има облик:

$$F_N + \sum p_p = \sum p_n \quad (2.5)$$

где је:

$\sum p_p$ - збир привлачних сила у зони контакта,

$\sum p_n$ - збир одбојних сила у зони контакта и

F_N - нормална компонента силе спољашњег оптерећења.

Сила трења представља отпор кидању насталих међумолекуларних веза у зони контакта и дата је изразом:

$$F_T = \mu F_N \quad (2.6)$$

где је:

p – величина спољашњег оптерећења које може да уравнотежи један пар молекула и
 n – број парова молекула.

2.1.1.δ Молекуларно-механичка теорија трења

Молекуларно-механичка теорија трења заснива се на претпоставци да је сила трења двојачке природе, те се може разложити на два дела према изразу:

$$F_T = F_{Tm} + F_{Td} \quad (2.7)$$

где је:

F_{Tm} - молекуларна компонента која се јавља као последица међумолекуларних сила услед фрикционих веза у зонама контаката, а

F_{Td} - деформацијска компонента која представља отпор деформисању контактеног слоја материјала елемента мање тврдоће.

Прорачун силе трења и коефицијента трења на основу ове теорије условљен је познавањем бројних експерименталних података, који се односе како на микрогеометрију контактних површина, тако и на механичке карактеристике контактних слојева.

2.1.1.φ Енергетска теорија трења

Енергетска теорија трења заснива се на следећим претпоставкама:

- да је трење одређено радом који се троши на савладавање силе трења на путу x , и бројно је једнак количини енергије која се у процесу трења претвара у топлоту;
- на процес трења могуће је применити први закон термодинамике;
- да постоји директна веза између количине рада који се утроши на савладавање трења и количине продуката који при томе настају;
- у процесу трења могућа је појава промене физичко-хемијских карактеристика контактних слојева елемената у додиру.

Укупан рад који се троши на савладавање силе трења на путу x , одређен је изразом:

$$W_R = F_T x \quad (2.8)$$

2.1.2 Основни појмови теорије хабања

Хабање се дефинише као прогресиван процес губитка материјала са површина елемената механичких система. Процес хабања развија се на елементима трибо-механичких система (ТМС) као последица рушења њихових контактних слојева (чврста тела) и промене физичко-хемијских карактеристика (мазиво). Процесом хабања долази до расипања маса и расипања енергије. Расипање енергије последица је појаве трења у зонама контакта, док расипање маса у систему доводи до хабања сва три елемента система. Честице материјала које у процесу остваривања контакта одлазе са контактних слојева чврстих елемената трибомеханичких

система називају се *”продукти хабања”*. Губитак материјала са контактних слојева два тела у релативном кретању проузрокује промену облика и карактеристика елемената механичких система, па према томе и промену њихових функционалних карактеристика.

Хабање може бити: **линијско, површинско и запреминско**. Линијско хабање представља губитак или деформисање спољних слојева и дефинише се помоћу линеарних мера управно на површину трења и изражава се у μm или mm . Површинско хабање је губитак (маса) материјала са површина трења. Запреминско хабање представља губитак масе са контактних (тарних) површина, при истовременом деловању више чинилаца (узрока) као што су трење и трибо-хемијски процеси. Под интензивним хабањем подразумева се губитак масе или линеарни губитак у јединици времена и још се назива брзином хабања.

Класификација хабања се може дефинисати из више аспеката:

- са аспекта врсте релативног кретања(клизање, котрљање, удар, осциловање, струјање течности, струјање гаса)
- са аспекта доминантног механизма хабања
- са аспекта врсте елемената у интеракцији(метали, неметали...)

2.1.2.a Подела и карактеристике основних механизма хабања

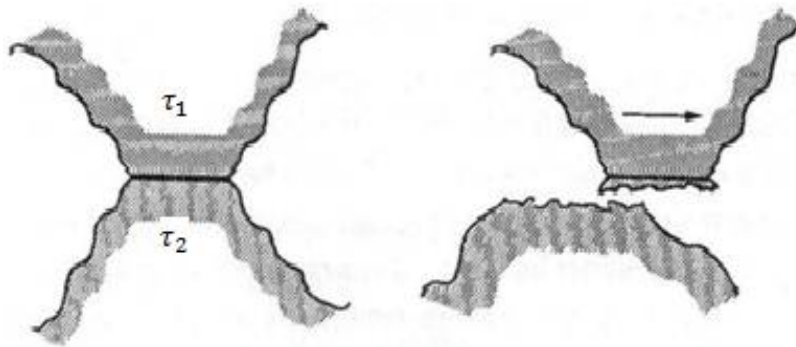
Основни механизми хабања:

- Адхезивно хабање
- Абразивно хабање
- Заморно хабање
- Трибохемијско хабање
- Вибрационо хабање
- Ерозионо и кавитационо

Треба напоменути да су адхезивно, абразивно и заморно хабање последица интеракције између чврстих елемената у трибомеханичким системима, односно, појава деформација и фрикционих веза у зонама контакта. Са друге стране, код трибохемијског хабања у интеракцији се јавља и трећи елемент, односно мазиво, које представља средину у којој се одвија интеракција два елемената у контакту.

Адхезивно хабање

Како површине елемента никада нису потпуно равне, тако ће се и контант ових површина одвијати по одређеном броју микронеравнина. Услед дејства контактеног оптерећења, односно нормалне силе, долази првенствено до деформисања микронеравнина, затим њиховог спајања у хладне заварене спојеве, и на крају, услед дејства тангентијалне силе, до разарања микрозаварених спојева и пренос материјала. Површински слојеви материјала ојачавају због пластичне деформације, па до раздвајања не долази на местима почетних контаката површине, већ унутар материјала једног од делова. Честице које се преносе после разарања спојева, могу се поново везати за прво тело, или се слободно кретати између радних површина.



Слика 2.2 Шема механизма адхезивног хабања

Адхезивна теорија хабања се заснива на:

- Адхезивној теорији трења
- Две основне претпоставке по Арчарду (eng. John F. Archard):
 - Претпоставки да су реалне површине свих елементарних додира кружног облика и једнаког полупречника
 - Претпоставки да продукти хабања, настали на путу клизања $2r$ по сваком додиру, имају облик полусфере запремине:

$$\Delta V_j = (2/3)pr^3 \quad (2.9)$$

Према Арчарду запремина материјала уклоњеног адхезивним хабањем може се изразити релацијом:

$$V_a = K'(F_N/H)L \quad (2.10)$$

која важи за услове трења без подмазивања
где су:

K' – коефицијент хабања (функција карактеристика материјала у контакту)

F_N – сила нормалног оптерећења

H – тврдоћа мекшег контактеног материјала

L – пут трења

На основу овога можемо закључити:

- Запремина похабаног материјала пропорционална је величини пута клизања,
- Запремина похабаног материјала пропорционална је величини спољашњег оптерећења (нормалне силе F_N),
- Запремина похабаног материјала обрнуто је пропорционална напону на граници течења материјала мање тврдоће.

Данас се на бази истраживања механизма хабања сматра да се адхезивно хабање јавља у највећем броју случајева трења, али да нема пресудну улогу како се то традиционално прихватало.

Доминација овог вида хабања присутна је само у одређеним условима карактеристичним за трење у вакууму, у атмосфери инертног гаса, или при генерисању веома високих локалних контактних температура на местима микроконтаката.

Абразивно хабање

Абразивно хабање се одвија при процесу трења елемената од материјала чије се тврдоће значајније разликују, или при присуству абразива у зони контакта. Услед кретања врхова неравнина тврдих тела кроз површински слој тела мање тврдоће, настаје микрорезање и деформација материјала контактних слојева. Сматра се, да је овај механизам хабања у далеко већој мери заступљен у индустрији у односу на друге механизме хабања.

Постоје два основна разлога за то:

- Коефицијент хабања (запремина похабаног материјала по јединици нормалног оптерећења и пута трења) је до 1000 пута већа него код других врста хабања
- Абразивно хабање је често узроковано контаминацијом абразивних честица које су на неки начин доспеле у систем, а с обзиром на велики коефицијент абразивног хабања, ове се честице лако уводе у процес хабања и проузрукују велика оштећења што доводи елементе у стање отказа

Абразивно хабање може се смањити повећањем тврдоће металне површине која се хаба (више од 30% тврдоће абразива). Највише су абразији изложени делови грађевинске и рударске механизације, делови пољопривредних машина, елементи транспортних уређаја, радни делови постројења у металургији, поједини делови алатних машина, делови железничке опреме (скретнице, погонски точкови од челичног лива и др.), радна кола хидрауличних и гасних турбина, бургије за бушење нафтних извора, делови опреме за пескарење итд.

Разликујемо „*two-body*” и „*three-body*” абразију. „*Two-body*” абразија представља интеракцију две површине, код којих се, услед већ објашњеног механизма, јавља микрорезање и оштећење површине. Код „*three-body*” абразије се између две површине јавља и трећи елемент, односно абразив, због кога долази до хабања и оштећења елемената.

Постоје три основна типа абразивног хабања:

- Абразивно хабање при удару
- Абразивно хабање у условима великих притисака
- Абразивно хабање у условима малих притисака

I тип - Абразивно хабање при удару

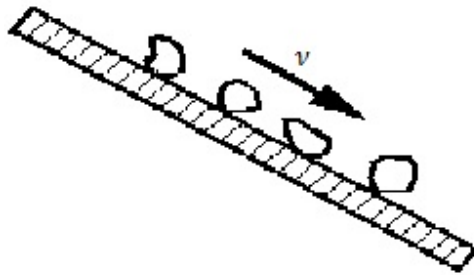
Јавља се при *удару* тврдог тела о површину тела мање тврдоће (на пример при транспорту растреситих материјала - камена, угља...).

II тип - Абразивно хабање у условима великих притисака

Јавља се у условима појаве великих притисака у зонама додира елемената трибо-механичких система, као што је ситњење и млевење руда и тсл.

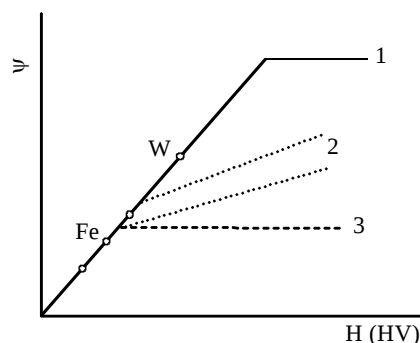
III тип - Абразивно хабање у условима малих притисака

Јавља се у условима контакта које карактеришу релативно мали притисци у зонама контакта елемената трибо-механичког система (кретање руде по платформи без додатног спољашњег оптерећења (сл. 2.4)).



Слика 2.4 Кретање руде по платформи уз мале контактне притиске

Експериментална истраживања су показала да су одређене зависности отпорности на абразивно хабање, зависне од механичких особина метала. Стога се на основу неких механичких особина, пре свега тврдоће, може предвидети понашање метала према хабању. Дубина продирања страних честица је директно сразмерна тврдоћи површинских слојева. Графички приказ зависности релативне отпорности на абразивно хабање од тврдоће (сл. 2.5) проистекао је као резултат бројних експеримената. Из тог графика се види, да између отпорности на хабање чистих метала при абразивном хабању (ψ) и њихове тврдоће (H) постоји линеарна зависност $\psi = b \cdot H$, где је b - константа.



Слика 2.5 Зависност релативне отпорности на хабање од тврдоће: 1- чисти метали, 2- термички обрађени челици, 3- челици ојачани на хладно

Заморно хабање

Заморно хабања настаје у условима дејства цикличног оптерећења и растерећења површине, при чему долази до замарања површинског слоја материјала, што се даље манифестује појавом пукотина које се временом шире све док не дође до одвајања материјала са површине. Код материјала који имају мању способност за пластично деформисање, заморно хабање се огледа у оштећењу површинских слојева кртим ломом. Заморно хабање се јавља код читавог низа машинских елемената, као што су зупчаници, котрљајућа лежишта, подизачи вентила, точкови вагона и тсл. У овим се случајевима, поред циклички понављаног нормалног напона, јављају и смичући напони, изазвани трењем између радних површина.

Заморно хабање се може посматрати на макро и микро нивоу:

- Класично макро заморно хабање карактеристично је пре свега за услове *Hertz*-овог контакта и трења котрљања, односно котрљања са клизањем
- Заморно хабање које се јавља на микро ниво, нивоу микронеравнина контактних површина, у процесима клизања према *Suh*-у представља тзв. делиминационо хабање које представља резултат понављања следећих појава:

- Генерисање напона у тачкама контакта,
- Раст пластичних деформација током циклуса,
- Одвајање у потповршинском слоју и стварање језгра пукотина,
- Формирање и нарастање пукотина и
- Одвајање продуката хабања

Контактном заморно хабање (Hertz-ов контакт), испољава се образовањем јамица које могу бити дубине неколико десетих делова милиметара. Настајању ових јамица доприноси и мазиво које под великим притиском продире у површинске прслине и својим хидростатичким деловањем утиче на њихово ширење.

На количину продуката хабања, који настају као последица замора материјала у контактном слоју, утичу:

- микрогеометрија контактних површина,
- механичка својства материјала елемената у контакту,
- спољашње оптерећење,
- услови под којима ради ТМС.

За услове клизања запремина материјала похабаног услед замора може се одредити на бази релације:

$$V_z = C(hg/e_1^2 H)F_N L \quad (2.11)$$

где су:

h - дистрибуција висине микронеравнина,

g - константа у функцији крупноће продуката хабања и

e_1 - напон разарања у једном циклусу

Трибохемијско хабање

За разлику од претходно поменутих механизма хабања код којих се процес одвијао услед директног контакта две површине елемената трибомеханичког система, код трибохемијског хабања, обе површине елемената су у директном контакту са трећим чланом, односно окружењем (мазиво).

Процес трибохемијског хабања се одвија кроз више фаза:

- У реалним условима на контактним површинама стварају се танки спољашњи оксидациони слојеви као продукт хемијске интеракције са окружењем;
- У процесу релативног кретања ови слојеви се уклањају механизмима заморног и абразивног хабања и поново формирају;
- Пошто је основни материјал (О.М.) контактних површина садржан у продуктима реакције са окружењем, са њиховим уклањањем уклања се и основни материјал;
- При томе, сам процес трења на рачун генерисања повишених контактних темпепратура доприноси повећању површинске активности, односно интензивирању генерисања површинских слојева, али истовремено порасту њихове кртости, што погодује развоју трибохемијског хабања.

Вибрационо хабање (fretting)

Fretting означава процес хабања у зонама контакта трибомеханичких система у којима се остварује осцилаторно релативно кретање са врло малим амплитудама (мањим од 0.2 mm).

Јавља се код чврстих спојева више машинских елемената, зупчастих спојница и осталим елементима који су изложени динамичком оптерећењу.

Процес вибрационог хабања се одвија кроз четири фазе:

Прва фаза:

- појава фрикцијоних веза (заварених спојева) на местима елементарних додира под дејством нормалног оптерећења;
- рушење фрикционих веза при релативном клизању једног чврстог елемента по другом и
- настанак првих продуката хабања и њихово гомилање у удубљењима на контактним површинама.

Друга фаза:

- продукти хабања, чија је тврдоћа већа од тврдоће материјала оба елемента у контакту, делују као абразивне честице;
- стварање нових продуката хабања и
- повећава се зона хабања

Трећа фаза:

- излазак продуката хабања из зоне хабања (јер продукти хабања достижу одређену количину и више не могу да се задржавају само у почетној зони хабања) и
- нагомилавање продуката хабања ван елементарних површина додира.

Четврта фаза:

- контакт између два елемента постаје, после нагомилавања велике количине продуката хабања, еластичне природе јер се остварује преко врло тврдих честица које на обе контактне површине производе јамице чије дубине и пречници расту са временом трајања контакта.

На смањење вибрационог хабања се може утицати смањењем вибрација, коришћењем материјала веће тврдоће за израду елемената у контакту и добрим одабиром чврстог мазива.

Ерозионо хабање представља вид хабања код површина чврстих тела преко којих се креће неки флуид са или без абразивних честица. У основи, ерозиони процеси су последица абразивног деловања чврстих честица ношених флуидом и замора материјала на контактним површинама чврстих тела тј. ерозиони процеси су последица абразивног и заморног механизма хабања.

Кавитационо хабање је процес губитка масе материјала са контактне површине, на местима додира са флуидом, као последица нестајања раније формираних парних мехурова.

Нестајање парних мехурова прати појава високих локалних притисака и температура, чиме се и стварају услови за појаву продуката хабања са одговарајућих површина.

Анализом развоја процеса хабања у трибо-механичким системима свих врста, дошло се до закључка да се, у општем случају, процес хабања развија у три фазе:

I фаза:

- Реакције између контактних површина и средине у којој се контакт остварује - појава различитих хемијских превлака,
- Стварање првих фрикцијоних веза - адхезивни процеси.

II фаза:

- Разарање формираних фрикционих веза (услед релативног кретања у зони контакта) - појава првих продуката адхезивног хабања,
- Еластично-пластична деформација контактнoг слоја материјала мање тврдоће,
- Појава продуката абразивног и трибохемијског хабања.

III фаза:

- После одређеног броја поновљених додира (циклуса), појављују се и продукти заморног хабања.

2.2 Оштећење које настају услед дејства корозије

2.2.1 Уводне напомене о корозији

Назив корозија потиче од латинске речи **corrodere** што значи изглодати, изгристи. Корозија се може дефинисати као постепено површинско разарање материјала изазвано физичко-хемијским или електрохемијским процесима. То је у ствари обрнут процес од процеса добијања метала из руда, па је корозија природна појава која омогућава да се метали врате у своје почетно стање минималне енергије и стабилне равнотеже. Проучавање појаве корозије и начина да се она умањи битно је због великих губитака метала који годишње износе око 25 милиона тона. Иако се велики део зарђалог (кородираног) материјала поново користи (рециклира) процењује се да се око 8% целокупног уграђеног челика, због рђања неповратно губи. Корозија смањује радни век челичних конструкција као што су мостови, бродови, авиони, електротехничка постројења и микроелектроника, прехранбена индустрија, свемирска индустрија, нуклеарна и остала постројења за производњу енергије и многе друге. Корозија челика се може умањити на различите начине али то и даље остаје један од највећих инжењерских проблема, јер је челик незаменљив у многим индустријским гранама, а поготову у машинству. Стога се данас све више посвећује пажња заштитним мерама да се дејство корозије умањи.

2.2.2 Врсте корозија и основне карактеристике

Губици због корозије могу се умањити применом материјала веће корозивне отпорности, смањивањем агресивности околне атмосфере, воде и тла путем филтрирања сагорелих гасова (у термоелектранама, топланама, у издувним гасовима моторних возила) као и примарним пречишћавањем и неутрализацијом отпадних вода и заштитним превлакама које се наносе на металне конструкције. Главни задатак металних и неметалних превлака је да се умање или спрече неке врсте корозије:

- **атмосферска корозија** која настаје у влажном ваздуху, киши која захвата аеросоле из ваздуха и хемијске загађиваче ваздуха (углавном сумпорних једињења), која је такође највећи узрочник оштећења металних конструкција,
- **корозија у течности** која се односи на разарање материјала у директној реакцији са водом, воденим растворима киселина, база или соли, тј. електролита¹,
- **подземна корозија** која оштећује металне предмете укопане у земљу (цевоводе, цистерне за нафту, стубове мостова и грађевина). Ако корозију изазивају само састојци влажне земље, онда је реч о електрохемијској корозији, али ако је тле богато водом може настати

¹ Електролити су водени раствори који спроводе електричну струју. Водени раствори шећера или глицерина не делују корозивно јер не спроводе струју.

Репаратурно и производно наваривање делова грађевинске механизације

и микробиолошка корозија (анаеробне бактерије имају веома погодне услове за развој, те разарају заштитни поларизовани слој водоника и увелико оштећују разне челичне делове (цеви, стубове).

Лабораторијска испитивања корозивног деловања одређене средине, заснивају се на одређивању губитка масе метала или смањењу пресека пробних узорака у одређеним временским интервалима. На основу резултата ових испитивања метали се разврставају на:

- *веома постојане*, ако им је брзина корозије до 0.001 mm/god ,
- *постојане*, за брзину корозије од 0.01 до 0.05 mm/god и
- *непостојане*, за брзину корозије преко 0.10 mm/god .

Свеобухватно посматрано корозија се може разврстати према:

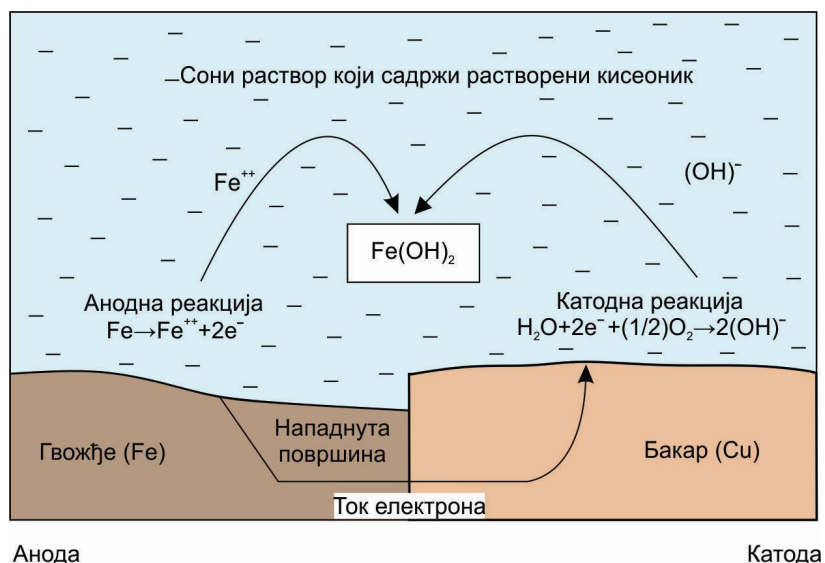
- механизму деловања:
 - хемијска и
 - електрохемијска,
- облику испољавања:
 - равномерна и
 - неравномерна,
- претежном узрочнику:
 - хемијска;
 - напонска и
 - заморна,
- корозивном медијуму:
 - у електролитима;
 - у агресивној атмосфери;
 - у земљи и
 - у сувим гасовима.

2.2.2.a Електрохемијска корозија

Електрохемијска корозија доводи до површинског разарања метала услед његове реакције са околним електролитима (водом, влажним ваздухом и воденим растворима киселина, база и соли). Електрохемијска корозија настаје у следећим условима: ако постоје електрични контакти између тих зона, као и контакта аноде и катоде са електролитом, као и да електролит садржи слободне јоне. Дакле, при контакту два различита метала у корозивној средини може настати "галвански пар" између аноде и катоде, на којима се одвијају две главне реакције, анодна и катодна.

Галвански пар

При контакту два различита метала (нпр. Fe, Cu) у корозивној средини може настати "галвански пар" између аноде (Fe) и катоде (Cu) (сл. 2.6), на којима се одвијају две главне реакције, анодна (Fe) и катодна (Cu). Анодна је оксидациона јер се метал у виду јона, оксида или хидроксида раствара у електролиту. Каже се да анода кородира или се оксидише, док се на катоди одвија редукција која незнатно утиче на метал катоде.



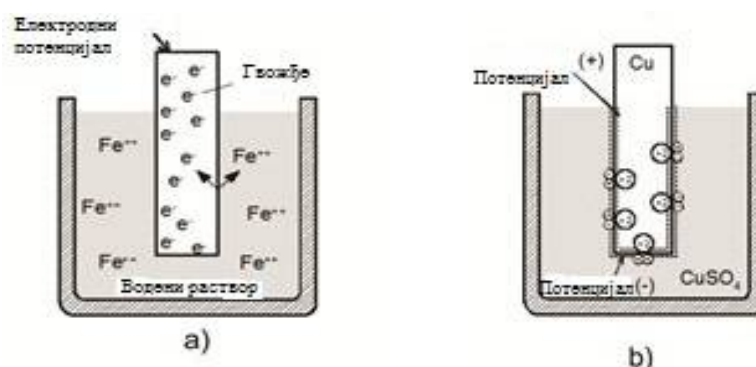
Слика 2.6 Шематски приказ типичне електрохемијске корозије

Електрони ослобођени на аноди (Fe, слика 2.6) пролазе кроз контактну површину гвожђа и бакара, а на граничној површини Cu са електролитом учествују у катодној реакцији $2e^- + H_2O + \frac{1}{2}O_2 \rightarrow 2(OH)^-$. Хидроксид OH одлази у електролит и са јонима Fe^{2+} гради $Fe(OH)_2$.

Расподела продуката анодно-катодне реакције увелико утиче на даље одвијање процеса, посебно на брзину корозије; продукти се могу растворити у електролиту, испаравати из њега или образовати нерастворљива једињења која се таложе на катода (или анода), што успорава корозију (настаје тзв. поларизација, катодна или анодна).

Стандардни електродни потенцијал

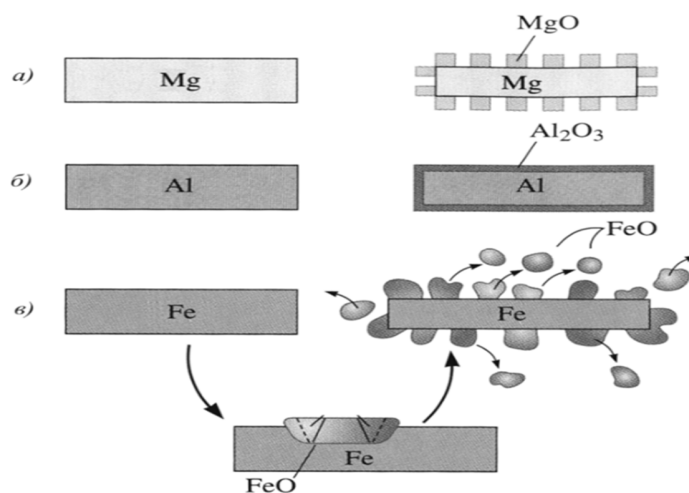
Мања или већа склоност појединих метала према електрохемијској корозији може се проценити помоћу *стандардног електродног потенцијала* $E^0(V)$. Ако се неки метали загњеуре у електролит, у зависности од E^0 могу настати две различите појаве приказане на слици 2.7а,б. Пример под (а) односи се на *анодну реакцију*, а под (б) на *катодну реакцију*. Са површинских слојева гвоздене плочице (сл. 2.7а), валентни електрони се ослобађају, а позитивни јони Fe^{2+} прелазе у електролит, све док је притисак растварања довољно висок; због тога Fe-плочица постаје негативно наелектрисана. Супротно томе, бакарна плочица уроњена у електролит (сл. 2.7б) биће наелектрисана позитивно, јер се јони Cu^{2+} нагомилавају на површини, а електрони на граничној површини Cu-плочице и електролита; тако се на тој површини ствара двојни електрични слој, позитивног (Cu^{2+}) и негативног наелектрисања (-). Ако се слободни крајеви плочица споје жицом, електрони ће се кретати од аноде ка катода, што се може регистровати амперметром, или се у отвореном струјном колу може измерити напонска разлика.



Слика 2.7 а) Анодна реакција, б) катодна реакција

2.2.2.b Хемијска корозија-оксидација

Хемијска корозија је последица реакције метала са кисеоником и сувим гасовима на повишеним температурама. Тако настали оксиди могу бити нестабилни, као код злата, па се корозија не јавља, или испарљиви, као код молибдена, где се оксидација одвија константном брзином. На површини неких метала настаје само једна врста оксида, као нпр. код алуминијума и титана, док се код гвожђа јављају три различита оксида. Плитки оксидни површински слојеви, дебљине (до 300 nm) зову се филмови, а дебљи од тога скраме. Код алуминијума се оксидни филм образује на собној температури, а код челика у температурском интервалу 230-320°C, тако што се најпре уочавају оксиди светло-сламасте боје, а потом тамно-плаве. Оксидни слојеви могу бити заштитни или незаштитни у зависности од тога да ли потпуно прекривају површину (нпр. код Al, Ti) или су порозни. Три типична типа оксида, који се образују на неким техничким металима, приказани су на слици 2.8.

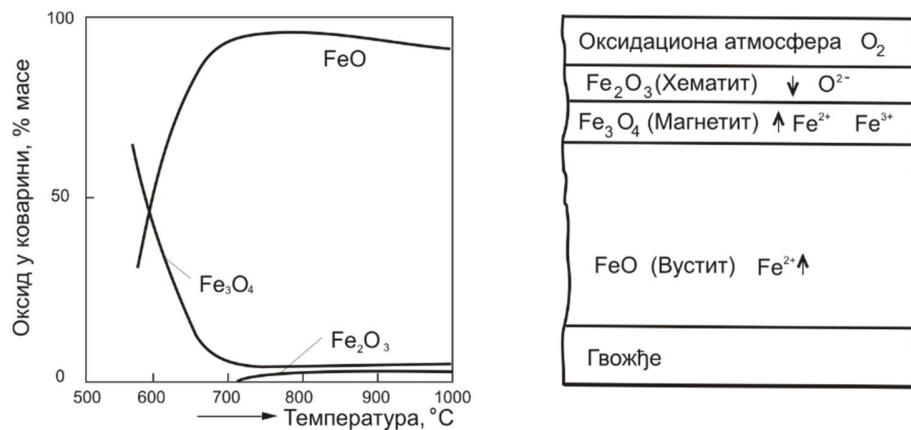


Слика 2.8 Врсте оксида зависно од односа специфичне запремине метала и оксида:
а) на магнезијуму настаје порозан оксидни филм, б) на алуминијуму се ствара непорозан оксидни филм и ц) на гвожђу се формира прекидни оксидни филм који не штити од корозије

Спољашњи фактори који утичу на хемијску корозију односе се на врсту гасова, као и на њихову температуру и мањој мери на притисак.

Температура, као што је познато, знатно утиче на стабилност неких оксида. Ако превлаку образује више оксида, њихов релативни удео зависи од температуре. Као пример је на слици

2.9.а дат састав оксидне превлаке на гвожђу у зависности од температуре. За температуру изнад 538°C (б) приказани су поједини слојеви превлаке у зависности од удаљења од површине. Изнад 538°C (а) изразито расте удео FeO на рачун Fe_3O_4 ; због познате чињенице да јони кисеоника (O^{2-}) и гвожђа (Fe^{2+}) брже дифундују кроз FeO него кроз Fe_3O_4 , (FeO има већи број грешака кристалне решеке) долази до убрзавања корозије. Пошто дебљина мање порозног оксида Fe_3O_4 опада са порастом температуре то се оксидација гвожђа изнад 570°C увелико убрзава. Због тога се нискоугљенични челици не употребљавају за дужи рад при температурама изнад 538°C .



Слика 2.9 Састав оксидног слоја на гвожђу: а) у зависности од температуре, б) у зависности од удаљености од граничне површине при температури вишој од 700°C

3. Улога и значај познавања особина агрегата- стенских материјала

У току радова на изградњи грађевинских објеката различите намене, користе се различите грађевинске машине које су у току свог рада изложене разним врстама високих напрезања, а посебно њихови радни делови који су у директном контакту са каменим материјалима. На век трајања грађевинске механизације утиче како грађевински материјал, тако и особине радних елемената механизације као и експлоатација и њихово правилно одржавање. При експлоатацији, радни делови грађевинских машина стално су изложени различитим врстама хабања и корозије, а повремено или стално ударним оптерећењима. Радни делови грађевинске механизације су у контакту са различитим врстама камена, песка, земље, асфалта, бетона, а често су у контакту и са водом.

Од посебног значаја је и познавање физичко-механичких особина стенских минерала, не само за њихову експлоатацију, већ и за прераду и уградњу. Будући да је реч о сложеним трибо-механичким процесима, у којима суделују радни делови грађевинске механизације, минерали и трећа тела, од посебног је значаја правилан избор материјала за радне делове грађевинских машина, као и избор технологије репаратуре оштећених и похабаних делова тих машина.

Испитивања грађевинског материјала (камена) спроведена на основу четири доступна налазишта, дају корисне податке како за пројектовање тако и репаратуру радних делова грађевинских машина намењених за експлоатацију минерала, њихову прераду и уградњу у путеве.

3.1 Најважнија техничка својства стенског материјала и њихова основна подела

Својства стена директно зависе од минерала који улазе у њихов састав. Најчешће се могу срести седам група минерала: **силикати, карбонати, оксиди, сулфати, сулфиди, хлориди и хидроксиди**. Минерали у земљиној кори могу се наћи у везаном (каменом) и невезаном (расутом) облику, па се и стене према јачини деле на слабе, чврсте и изузетно чврсте стене, будући да минерали могу бити у кристалном, кристаластом и аморфном облику. Особине стена се при дејству воде, ниских и високих температура знатно мењају, па је изузетно важно познавати законитост тих промена.

Петрографска² својства стена која имају технички значај су:

- минерални састав,
- структура и
- текстура стена.

Физичка својства стена која се одређују квантитативно и квалитативно могу бити: оптичка, водно-оптичка, топлотна, електрична, магнетна, радиоактивна и др. Оптичка својства стена дефинишу се бојом која је одраз хемијског састава присутних минерала; деле се на светле (САЛ-ске) и тамне (ФЕМ-ске). Светли минерали су богати алуминијумом и силицијумом, док су тамни минерали богати гвожђем и магнезијумом. Водно-физичке особине односе се на специфичну масу, запреминску масу, порозност, збијеност,

² Петрографија (грч.)-наука о саставу, појављивању и распрострањености стена.

стишљивост, влажност, водопропустљивост, капиларност, лепљивост, бубрење, проветривост и др.

Механичка својства стена која имају практичан значај јесу јачина на притисак, јачина на савијање, тврдоћа и жилавост. Јачина на притисак одређује се на узорцима облика коцке, а јачина на савијање на призматичним узорцима. У оба случаја мора се водити рачуна о евентуалној слојевитости камена. Осим тога, испитује се отпорност камена на хабање и испитивање постојаности на атмосферске утицаје.

Технолошка својства су њихове особености које се испољавају при обради и уградњи, и ту спадају: обрадљивост, дробљивост, бушивост, ломљивост-цепљивост и растреситост.

Према начину постанка стене које су у саставу Земљине коре, могу се сврстати у три велике групе: *магматске* (еруптивне), *седиментне* (таложне) и *метаморфне* (преображене) стене.

Експерименталним испитивањима својстава стена одређује се њихова погодност за примену у грађевинарству и другим привредним гранама, могућност правилније експлоатације грађевинске механизације при обради и уградњи камених материјала и њихових агрегата, стабилност терена на коме се изводи изградња различитих објеката и др.

За изградњу саобраћајница користе се различите врсте грађевинских материјала, али највећу примену нашле су чврсте стене кречњака (изградња доњих носећих слојева и посебно хабајућих слојева) и еруптивних чврстих стена, најчешће андезита (изградња завршног хабајућег слоја). Због тога су и радни делови грађевинске механизације, која је укључена у процес експлоатације у путној привреди, најчешће изложени процесима хабања услед дејства ових камених материјала и њихових агрегата.

3.2 Одређивање петрографских својстава неких стена

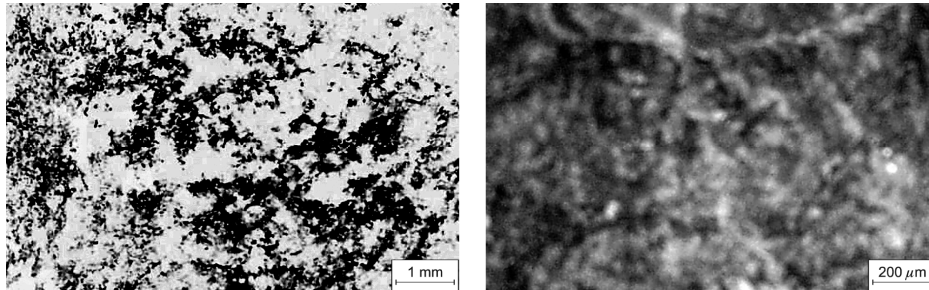
У најбитнија петрографска својства стена убрајају се: минерални састав, структура и текстура стена. Начин на који они утичу на механичка, физичка и технолошка својства је приказан на слици 3.1



Слика 3.1. Шематски приказ утицаја петрографских својстава на остала својства стена

Испитивање петрографских својстава стена изводи се на основу одређених стандарда и то помоћу: визуелне контроле, микроскопа и помоћу компаратора. Ова се испитивања спроводе на четири познате врсте стена које се у највећој мери користе при изградњи саобраћајница.

Лежиште кречњака "Вучјак" је углавном састављено од органогено-детричког³ кречњака. Структура стене може бити кристаласта до микрокристаласта. Масивна текстура стене означава неправилан распоред у маси. Приказ микроскопског и макроскопског изгледа ове стене је дат на слици 3.2.

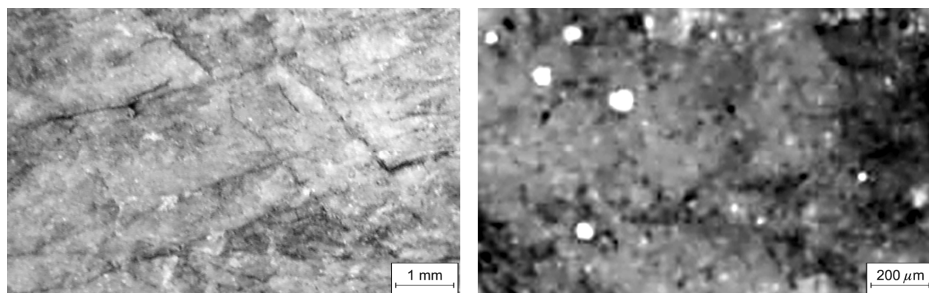


Слика 3.2. Изглед структуре стене кречњака; а) макроскопски изглед (10×), б) микроскопски изглед (50×)

Макроскопски изглед стене је камени материјал сиво до сивосмеђе боје, масивне текстуре, неравног до иверастог прелома са фином храпавошћу преломљене површине и оштрим ивицама лома. Интензивно је тектозирана, испресецаана жилама и жилицама које су повезане лимонитом и испуњене калцитом дебљине до 2 mm. У маси стене запажају се и стилолити попуњени глином, као и гнездасте накупине калцита димензија до 1.5×0.8 mm.

Микроскопски изглед стене је камени материјал састављен од одломака микрокристаластих и органогених кречњака са траговима олилитичких кречњака и знатне количине фосилних остатака везаних спаритским цементом. Одломци микрокристаластих кречњака су заобљених до угластих форми, док су одломци органогених кречњака заобљени и изграђени од фосилних остатака везаних микритским везивом делимично прекристалисали у микрокристаласти калцит. Од секундарних састојака присутан је лимонит који је фино диспергован по зрнима микрокристаластог и кристаластог калцита.

Лежиште доломитског мермера "Самар" је углавном састављено од доломитског мермера - доломита. Структура ове врсте стене је гранобластична. Текстура је масивна и некомпактна. На слици 3.3 приказан је макроскопски и микроскопски изглед структуре ове стене.



Слика 3.3. Изглед структуре доломитског мермера; а) макроскопски изглед (10×), б) микроскопски изглед (50×)

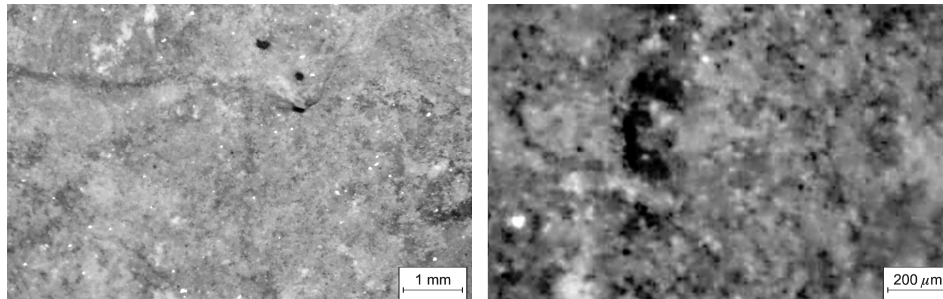
Макроскопски изглед стене је камени материјал сиве до сивожуте боје, масивне до тектозиране текстуре, неравне преломљене површине са грубом храпавошћу површине

³ Детриус-скуп ситних делића истрошених стена.

прелома и оштре ивице прелома. Интензивно је тектозирана што се манифестује присуством великог броја жица и жилица беле до жутобеле боје које су везане лимонитом и испуњене калцитом.

Микроскопски изглед стене је камени материјал од изометричних зрна уједначене величине која мозаички срастају. Величина зрна варира и највећи број је од $0.5 \times 0.2 \text{ mm}$, а дуж равни слојевитости приметна је појава рекристализације. Калцита има у малим количинама и јавља се у облику неправилних гнездастих нагомилања. Од споредних састојака присутан је кварц и металични минерали, као и секундарни лимонит који везује присутне жилице у стени.

Лежиште калцитског-доломитског мермера "Градац" је углавном састављено од доломитског мермера. Структура ове стене је гранобластична. Текстура стене је хомогена и компактна. На слици 3.4 приказан је макроскопски и микроскопски изглед структуре ове стене.

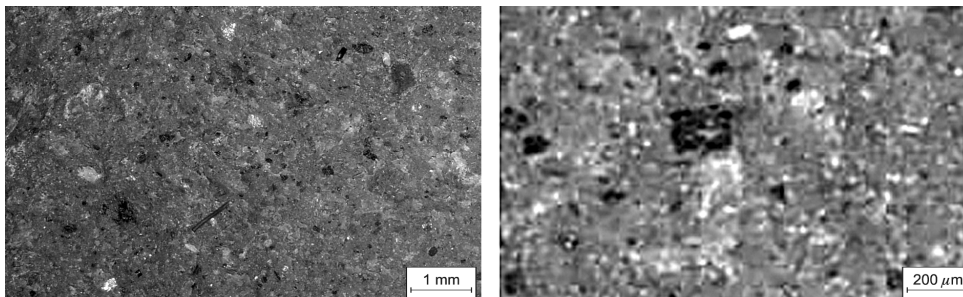


Слика 3.4. Изглед структуре стене калцитско-доломитског мермера; а) макроскопски изглед (10×), б) микроскопски изглед (50×)

Микроскопски изглед је камени материјал беле боје и хомогене структуре. Преломљена површина је равна са грубом храпавошћу и умерено оштрим ивицама лома.

Микроскопски изглед стене је камени материјал састављен од кристаластог доломита повезаног калцитским цементом (око 90%), величине зрна $0.5\text{--}1.0 \text{ mm}$. Око 10% су ситнија зрна доломита величине $0.1\text{--}0.3 \text{ mm}$ и незнатан део лиски мусколита (око 0.5%) величине $0.2\text{--}0.3 \text{ mm}$.

Лежиште андезита "Шумник" је углавном састављено од различитих врста андезита. Структура стене је холокристаласто-порфирска. Текстура стене је масивна. На слици 3.5 приказан је макроскопски и микроскопски изглед структуре ове стене.



Слика 3.5. Изглед структуре стене андезита; а) макроскопски изглед (10×), б) микроскопски изглед (50×)

Макроскопски изглед стене је камени материјал сивозелене боје, масивне текстуре и порфирске структуре, а макроскопски се још запажају и обојени фенокристали најчешће идиоморфних форми, величине до 4 mm. Преломљена површина стене је неправилна и грубе је храпавости са изузетно оштрим ивицама лома.

Микроскопски изглед стене је камени материјал састављен од фенокристала и биотита, који леже у холокристалој основној стенској маси. Као секундарни минерали у стени јављају се калцит и кварц у облику кристала.

3.3 Експериментално одређивање неких физичких својстава стена

Од физичких својстава везаних стена-камена и њихових агрегата, при изградњи саобраћајница, најчешће се експериментално испитују специфичне масе (густине), запреминске масе, порозност, упијање воде и збијеност, јер су ова својства директни фактори који утичу на промену механичких и технолошких својстава стена и њихових агрегата. Начини и поступци испитивања прописани су одговарајућим стандардима.

3.3.1 Одређивање специфичне масе (густине) стена

Специфична маса каменних стена је маса чврстих честица њених минерала у јединици запремине $\rho_s = m_s / V_s$, где су: ρ_s – специфична маса чврстих честица стене у g/cm^3 , m_s – маса суве минералне супстанце у g и V_s – запремина минералне супстанце у cm^3 . За одређивање запреминске масе користи се прах минерала масе око 50 g. Овај прах мора проћи кроз сито са величином отвора (окаца) од 0.09 mm без остатка. Како би испитивања била веродостојна врши се најмање три пробе. Специфична маса стене може се одредити лабораторијски на спрашеним узорцима помоћу пикнометра. На основу специфичне масе одређује се и апсолутна порозност стена.

3.3.2 Одређивање запреминске масе стена

Запреминска маса стена је јединица укупне запремине узорка (чврстих честица и пора) $\gamma_v = m_s / V$, где су: γ_v – запреминска маса са порама и шупљинама у kg/m^3 , m_s – маса сувог пробног узорка у kg и V – запремина пробног узорка у m^3 . Одређивање запреминске масе најчешће се изводи на узорцима правилног облика (коцка, призма), а може се извести и на узорцима неправилног облика. Уколико се испитивања изводе на узорцима правилног облика, ниједна ивица не сме бити мања од 40 mm, док код узорака неправилног облика маса им не сме бити мања од 150 g. Испитивање се спроводи на основу пет пробних узорака за сваку врсту стена. Узорци су били дужине 50 ± 1 mm. Мерење дужина ивица изводи се са тачношћу од 0.25%, а мерење масе са тачношћу од $\pm 0.1\%$. Испитивања се врши на собној температури од $20 \pm 2^\circ C$. У табели 3.1 приказане су средње вредности запреминске масе узорака различитих врста стена, добијених поменутих испитивањима.

Таблица 3.1. Запреминске масе испитиваних узорака различитих врста стена

Испитивано својство стена	Кречњак - Вучјак	Доломитски мермер - Самар	Калцитско- доломитски мермер-Градац	Андезит- Шавник
Запреминска маса са порама, $\gamma_v = m_s/V$	2690	2780	2820	2630
Специфична маса без пора и шупљина, $\rho_s = m_s/V_s$	2730	2870	2850	2750
Коефицијент запреминске масе, $i = m_s/V_s$	0.985	0.969	0.989	0.956

3.4 Одређивање порозности стена

Порозност стене представља укупан празан простор по јединици запремине који није испуњен минералном супстанцом, а завијан је од структуре и текстуре стена. Порозност се одређује помоћу израза:

$$p = [1 - (\gamma_v)/\rho_s] \cdot 100\%, \quad (3.1)$$

где су:

p - порозност у %,

γ_v - запреминска маса са порама и шупљинама и

ρ_s - специфична маса без пора и шупљина

3.4.4 Одређивање могућности збијања стена

Збијеност стена представља њихову способност повећавања запреминске масе услед дејства притиска. Могућност за њихово збијање се разликује у зависности од тога да ли су стене кохерентне или некохерентне, па се због тога на различите начине изводи њихово испитује.

Израз којим се одређује могућности збијања стена:

$$I_D = e_{max} - e / (e_{max} - e_{min}), \quad (3.2)$$

где су:

I_D - индекс збијености у %,

e - коефицијент порозности стене (природно стање),

e_{max} - коефицијент порозности растресите стене и

e_{min} - коефицијент порозности збијене стене

Осим величине зрна, на могућност збијања везаних стена утиче и њихова кохезија. Од јачине кохезионих веза зависи и могућност истискивања воде из пора приликом збијања.

Образац према коме се рачуна збијеност ових стена гласи:

$$K_d = e_{wL} - e / (e_{wL} - e_{wp}), \quad (3.3)$$

где су:

K_d - коефицијент збијености у %,
 e_{wL} - коефицијент порозности стене на граници почетка пластичног течења,
 e_{wp} - коефицијент порозности стене на граници завршетка пластичног течења и
 e - коефицијент порозности стене у природном стању када има природну влажност и збијеност.

3.4.5 Утицај воде, ниских и високих температура на промену својстава стена

Утицај поменутих фактора има велики значај јер долази до знатне промене техничких својстава стена и утиче на њихову експлоатацију. У зависности од распона температура, у контакту са водом, долази до извесних промена својстава стена.

Вода на стену може деловати на два начина и то: физичко и хемијско дејство. Када је у питању физичко дејство воде, стене се могу поделити у три основне групе:

- стене на које вода не утиче
- стене код којих вода изазива извесне промене физичких својстава
- стене које под дејством воде добијају потпуно нова физичка својства

У прву групу спада мали број стена, а то су неке свеже магматске стене и кварцни пешчари са силицијумским везивом. Код њих еластичност, јачина, жилавост и друга својства остају непромењена без обзира да ли су испитивани узорци суви, природно влажни или потпуно засићени водом. У другу групу спада најбројнија група стена код које под дејством воде долази до смањења еластичности, јачине и жилавости, а мења се боја, проводљивост електрицитета и долази до промене других својстава. Трећу групу чине стене код којих под дејством воде оне добијају потпуно нова својства која немају док су суве (лепљивост, бубрење и др.), а ово се углавном дешава код глиновитих стена.

Код хемијског дејства воде, стене се такође могу поделити у три групе:

- практично нерастворљиве стене,
- слабо растворљиве стене и
- лако растворљиве стене

У прву групу спадају стене силицијског и силикатног састава без обзира на начин на које су настале. У ову групу се могу разврстати кварцити, кварцни пешчари, рожнаци, глине, глинци, аргилошисти, филити, гранити, дацити, андацити и друге магматске стене. Другу групу чине стене чији су минерали растворљиви у води али се тај процес споро одвија, што је случај са карбонатним стенама (кречњаци, доломити, мермери, карбонатне брече и конгломерати). Трећу групу чине стене чији се минерали лако растварају у води, а у ову групу се могу разврстати хлоридне, сулфатне и нитратне стене (гипсит, анхидрит, соли, шалитра и др.).

Ниске температуре (мраз) имају значајан утицај на својства стена. Својства стена и њихова промена посебно зависе од наглих промена температура. Услед наизменичног загревања и хлађења долази до великих промена својстава стена, али промене су мање ако су оне равномерније. Такође, при инсолацији, због разлике дневне и ноћне температуре (10 до 20°C) и сезонске температуре (-30 до +50°C), долази до промене својстава стена услед цикличног ширења и скупљања, што током времена доводи до смањења њихове јачине. Све суве стене добро подносе дејство ниских температура, док влажне стене и стене потпуно

засићене водом имају знатно мању отпорност, јер долази до њиховог разарања услед леђења воде у њиховим шупљинама.

Високе температуре (ватра) имају велики утицај на својство стена. Високе температуре (до 500°C) не узрукују значајне промене на састав стена јер већина стена добро подноси температуре ових размера. Уколико дође до загревања изнад ове температуре, долази до промена које су лако уочљиве. Промене које се јављају су: губитак карактеристичног звука звона при удару, значајног смањења јачине и појаве круњења и потпуно се разграђују ако се прелију хладном водом. За температуре изнад 850°C јављају се стене израђене од минерала чија се топлотна проводљивост знатно разликује.. Кречњаци и мермери имају добру отпорност све до температуре калцинисања (око 800°C) када се одвија њихов преображај у негашени креч (СаО).

3.5 Експериментално одређивање неких механичких својстава стена

Испитивања која се спроводе у циљу одређивања механичких својстава су претежно испитивање на притисак, тврдоћу, еластичност, жилавост и отпорност на хабање. Начин испитивања механичких својстава стена сличан је начину испитивања металних материјала у машинству, уз одређене разлике, односно специфичности. Сва испитивања механичких својстава стена су дефинисана одређеним стандардима.

3.5.1 Одређивање тврдоће неких врста стена

Тврдоћа представља значајно својство јер директно утиче на друга механичка својства а дефинише се као отпор продирању страног чврстог тела у површину стене. Помоћу Мосове скале врши се одређивање релативне тврдоће стена која је за практичне потребе довољан показатељ. Мосова скала је направљена тако да сваки следећи минерал реже све претходне, а тврдоћа је дефинисана на скали од 1-10 при чему јединица представља тврдоћу талка, док је 10 тврдоћа дијаманта.

У табели 3.4 приказана је тврдоћа различитих стенских минерала који су садржани у стенама. Највећу тврдоћу имају криптокристаласте ситнозрне стене изграђене од минерала велике тврдоће чија су зрна непосредно везана, а то су магматске стене, кварцити, кварцни пешчар и др. Малу тврдоћу имају стене формиране од минерала мале тврдоће и чија су зрна посредно везана природним везивима (цемент).

Процентуални састав испитиваних врста стена и Мосова скала на основу се одређује тврдоћа стенских минерала, омогућавају одређивање релативне тврдоће стена. Основни минерал који гради све врсте кречњака је калцит па је њихова тврдоћа најчешће око 650 НВ. Тврдоћа калцитско-доломитског минерала зависи од процентуалног учешћа калцита и доломита, па се она најчешће креће у границама од 650-850 НВ, док доломитски мермер има најчешће тврдоћу од 850-1150 НВ. Поред ова два минерала у структури мермера се могу наћи зрна кварца, лискуна, хлорита, графита, спидота и других најчешћих метаморфних силиката.

Од тврдоће стена зависи и њихова обрада и примена у експлоатацији, као и утицај на радне грађевинске елементе и њихово хабање и остећење. Зато се при обради и уградњи стенских материјала (камена и каменог агрегата) морају користити метали са карбидима у металној основи који имају велику тврдоћу или релативно меки челици који под притиском или ударима могу да обезбеде мартензитну трансформацију аустенита-Хадфилдови челици.

Таблица 3.4 Тврдоћа различитих стенских минерала

Врста минерала	Тврдоћа по Мосу	Врста минерала	Тврдоћа по Мосу	Врста минерала	Тврдоћа по Мосу
Силикати		Оксиди		Хидроксиди	
Фелдспати	6.0-6.5	Кварц	7.0	Лимонит	5.0
Лискуни	2.0-3.0	Магнетит	5.5-6.5	Боксит	2.5-6.5
Амфиболи	5.0-6.0	Хематит	5.5-6.5	Опал	5.5-6.5
Пироксени	3.1-6.0	Корунд	9.0	Сульфати	
Каолини	2.0-2.5	Карбонати		Анмиорит	3.0-4.0
Гранати	7.0-7.5	Калцит	2.5-3.0	Гипс	2.0
Талк	1.0	Магнезит	2.5-3.5	Сульфиди	
Серпентин	2.5-4.0	Доломит	3.5-4.5	Пирит	6.0-6.5
Оливин	6.5-7.0	Арагонит	3.5-4.5	Хлориди	
Епидот	5.0-6.0			Халит	2.0

3.5.2 Одређивање ударне жилавости неких врста стена

Жилавост стена првенствено зависи од саме структуре стене, па тек онда од минерала који је граде. Највећу жилавост имају стене афитске, затим криптокристаласте (зрнасте), па порфирске структуре. . Отпорност стена на удар не мора бити сразмерна јачини на притисак, јер стене које имају релативно велику јачину на притисак могу имати малу ударну жилавост. Испитивање ударне жилавости стена дефинисано је одговарајућим стандардима и изводи се слично као и за металне материјале.

У табlici 3.5 дате су ударне жилавости стенског материјала проучаваних налазишта. Испитивање је изведено у три међусобно управна правца (правац I-I је паралелан са правцем слојевитости стене, правац II-II је управан на претходни правац и лежи у равни слојевитости и правац III-III је управан на правац простирања слојевитости стене). Овако утврђени правци важе за сва испитивања везана за механичка својства стена. Ово је важно истаћи јер су неке стене изразито анизотропне због слојевитости и шкриљавости-нехомогености стена.

Таблица 3.5 Ударна жилавост неких врста стена

Ударна жилавост, МПа	Кречњак - Вучјак	Доломитски мермер - Самар	Калцитско- доломитски мермер- Градац	Андезит-Шавник
Правоц I-I	22.40	17.00	27.20	13.40
Правоц II-II	24.20	20.60	26.10	17.20
Правоц III-III	28.80	24.60	28.30	22.40
Средња вредност	25.13	20.73	27.20	17.67

Резултати дати у табели показују да се ради о стенама веома мале ударне жилавости, а према изгледу места прелома може се извести сличан закључак, јер је место лома грубе храпавости и оштрих ивица.

3.4.3 Одређивање еластичности стена

Под еластичношћу стене, сматра се њена способност да се еластично деформише под дејством спољне силе, пре него што наступи лом. Ово се својство односи на чврсто везане стене и зависи од врсте и тврдоће стенских минерала, структуре и текстуре, зглобљености зрна и свежине минерала, влажности, јачине и смера наношења оптерећења и др. Ситнозрне стене са добро зглобљеним зрнима имају веће вредности модула еластичности од крупнозрних стена истог састава. Код слојевитих и нехомогених стена модул еластичности је већи у управном правцу него у правцу паралелном са спојевима и шкриљцима.

3.4.4 Одређивање јачине стена

Како би се прецизно одредила јачина стена потребно је најмање три, а најчешће и до пет узорка исечених из стене у три међусобна управна правца. Сва испитивања су дефинисана одговарајућим стандардима.

Јачина стене зависи од: тврдоће минерала, врсте структуре, облика и величине додирних површина зрна, свежине минерала, врсте и количине везива, порозности, механичке оштећености, влажности, температуре, начина припреме узорка, правца и начина наношења оптерећења и др. Стене које имају доста кварца амфибола, пироксена, свежих фелдспата и других тврђих минерала, имају и већу јачину. Стене које су суве имају већу тврдоћу у односу на стене које су водом zasiћене и које су притом биле изложене замрзавању као и оне стене које нису биле изложене експлозивима и тектонским поремећајима.

Утицај влажности стена на њихову јачину изражава се тзв. *степеном омекшавања*, који представља однос водом zasiћеног узорка и јачине узорка суве стене. Овај коефицијент најчешће је мањи од један и најповољније за коришћење су стене са величином коефицијента од 0.6-0.9, док се коришћење стена са коефицијентом мањим од 0.6 не препоручује.

Стене се најчешће испитују у сва три стања (сувом, zasiћеном и после циклуса замрзавања). За извођење експерименталних испитивања јачине стена користе се: универзална хидраулична преса са могућношћу постизања силе од 60000-100000 daN и уређаја за читавање резултата тачности од 1%, машина за резање стена, машина за брушење

стена, сушара са могућношћу постизања и регулације температуре од $110\pm 5^{\circ}\text{C}$, дигитална вага тачности $\pm 0.01\%$ и помоћни уређаји (каде за потапање испитиваних узорака, каде за замрзавање и др.).

Јачина на притисак се одређује на сувим и водом засићеним узорцима облика коцке дужине ивице $40\pm 1\text{ mm}$, чије су површине брушене и планпаралелне. Средња вредност јачине на притисак, узорака кречњака из лежишта Вучјак (петнаест узорака, по пет за сваки правац) износи $R_{cm} = 131\text{ MPa}$.

За добијање резултата јачине на притисак после 25 циклуса замрзавања коришћена су по три узорка у облику коцке дужине ивице $100\pm 1\text{ mm}$ (таб. 3.6).

Таблица 3.6. Јачина на притисак неких врста стена

Врста и порекло стена	Јачина на притисак, R_{cm} , МПа			Коефицијент омекшавања, K_{om}
	Суви узорци	Водом засићени узорци	Узорци после 25 циклуса замрзавања	
Кречњак - Вучјак	131	123	117	0.94
Доломитски мермер - Самар	150	136	130	0.91
Калцитско-доломитски мермер-Градац	161	140	138	0.87
Андезит-Шавник	195	186	184	0.95

Јачина на затезање- њено одређивање се изводи ређе, али је такође битно својство. Испитивање се врши на узорцијам који су истих димензија и облика у истим условима испитивања с тим што је испитивање вршено само на сувим узорцима.

Таблица 3.7. Јачина на затезање неких врста стена

Врста и порекло стена	Јачина на затезање, R_m , МПа			Средње вредности
	Правац I-I	Правац II-II	Правац III-III	
Кречњак - Вучјак	5.97	6.14	5.89	6.00
Доломитски мермер - Самар	5.26	5.42	3.72	4.80
Калцитско-доломитски мермер-Градац	5.64	5.36	4.03	5.00
Андезит - Шавник	9.48	9.82	8.90	9.40

Јачина на савијање изводи се само по једном узорку за сваку врсту од испитиваних стена, на узорцима који су суви и испитивање је изведено за правац који је управан на раван простирања слојева и шкриљаца, како би се добили најбољи резултати (таб. 3.8).

Таблица 3.8. Јачина на савијање неких врста стена

Врста стена	Кречњак - Вучјак	Доломитски мермер – Самар	Калцитско-доломитски мермер-Градац	Андезит-Шавник
Јачина на савијање $\sigma_s = \frac{3FL}{2bh^2}, MPa$	13.20	5.46	6.25	9.82

Испитивање **јачине на смицање** је изведено само на узорцима кречњака из лежишта Вучјак методом директног смицања. Најчешће је у примени метода директног смицања помоћу Касаграндеовог уређаја. Овај уређај има могућност да се испитивање на смицање узорка стене може извести под различитим угловима, а да би се одредили параметри јачине на смицање (кохезиона јачина- С и угао унутрашњег трења- ϕ ; тест се најчешће изводи под угловима од 45° и 60°).

3.4.5 Одређивање отпорности на хабање неких врста стена

Отпорност стена на хабање представља њихову способност, односно постојаност стена, да при различитим процесима хабања дође до мањег или већег губитка масе. Отпорност на хабање стена зависи од различитих својстава и структуре. Кад су у питању везане стене (камен) мању отпорност према хабању имају стене настале од минерала мање тврдоће (лискун, талк, крупнозрни калцит и др.). Може се рећи да мању отпорност на хабање имају хлоридне, сулфидне и карбонатне стене, а већу имају силицијске и силикатне стене изграђене од свежих минерала.

Таблица 3.9 Резултати испитивања хабања стена

Врста и порекло стена	Величина хабања, %			Средње вредности, %
	Узорак 1	Узорак 2	Узорак 3	
Кречњак - Вучјак	22.80	23.10	23.40	23.10
Доломитски мермер - Самар	27.70	27.30	28.10	27.70
Калцитско-доломитски мермер-Градац	29.30	28.80	28.60	28.70
Андезит - Шавник	11.80	12.20	12.40	12.10

На основу добијених резултата који су приказани у таб. 3.9 може се закључити да узорци кречњака имају средњу или добру отпорност на хабање, узорци доломитског мермера имају добру отпорност на хабање, узорци калцитског-доломитског мермера имају средњу или добру отпорност на хабање, док узорци андезита имају добру отпорност на хабање.

4. Преглед најважнијих метода наваривања и термичке метализације

Термичка метализација и наваривање се примењују за наношење антикорозивних превлака (плакирање, платирање), поправку (репаратуру) похабаних делова машина и уређаја и дораду нових одливака израђених са грешкама.

Основна разлика између метализације и наваривања је у томе што се при метализацији једино топе дотатни материјали, а основни само загрева док се спој не оствари адхезивно или механички. При наваривању топи се не само додатни материјал већ и повшински слој подлоге. Осим тога, при метализацији се добијају шупљикаве превлаке што код клизних лежишта делује позитивно јер се ту нагомилава и задржава мазиво.

Познато је да челик, челични лив и ливено гвожђе слично као и неки други нежелезни метали и легуре подлежу хемијским реакцијама због деловања физичких, хемијских и климатских чинилаца. Највеће штете изазива атмосферска корозија која напада машинске и грађевинске конструкције у загађеној атмосфери нарочито у индустријским зонама, градским срединама, у рудницима, морској води, у земљи и др. Лабораторијско испитивање корозионог деловања датог медијума заснива се на одређивању губитка масе метала или смањења дебљине пресека епрувете у неком временском периоду.

Губици услед корозије могу се умањити избором метала веће корозивне отпорности, смањивањем агресивности атмосфере, воде и тла путем филтрације сагорелих гасова и загађеног ваздуха из индустријских погона као и примарним пречишћавањем и неутрализацијом отпадних вода и такође применом различитих врста заштитних превлака које се наносе на металне конструкције.

Главни је задатак металних превлака да се спречи корозија у условима:

- **атмосферске корозије** која такође обухвата процесе у земљи, природној и морској води,
- **електрохемијске корозије** која обухвата појаву разарања материјала у директној реакцији са околном средином
- **гасне корозије** која обухвата процесе високотемпературске оксидације метала агресивним загађивањем као што су сумпорни оксиди, сумпорводоник, азотни оксиди и хлор.

Осим отпорности на корозију много машински делови треба да буду отпорни према абразији, ерозији, хабању метала са металом, према оксидацији на високим температурама, све зависно од услова рада. Зато се хемијски састав и дебљина заштите превлаке бирају тако да се испуне неки од горе наведених захтева.

Што се тиче поступака наношења превлака, данас се углавном примењују:

- електролитичка или галванска техника,
- метод потапања,
- термичка метализација,
- метализација у високом вакууму и
- дифузна метализација.

Заједничко је за све поступке, осим понекад наваривања да се особине превлаке знатно разликују од особина метала подлоге. Не улазећи детаљније у проблематику заштите од корозије, само се истиче да превлаке не штите само механички од околне атмосфере већ и

хемијским деловањем метала подлоге на метал превлаке. У том смислу се отпорност на корозију разматра и као отпорност анодних или катодних превлака с обзиром на електродни потенцијал⁴ подлоге.

Анодне превлаке се израђују од метала који имају електродни потенцијал знатно негативнији од потенцијала штићеног метала, у нашем случају челика.

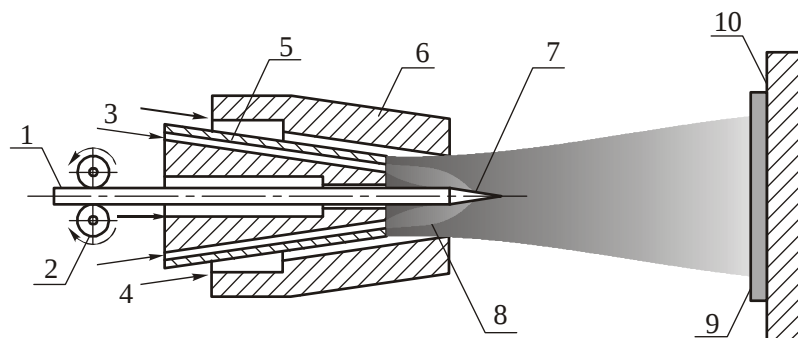
Катодне превлаке наносе се од метала који су у напонском низу испред гвожђа. У случају челичне подлоге то су бакарне, никлове, хромне и оловне превлаке. Ове превлаке штите подлогу само док су потпуно херметичке што значи да на превлаци не сме бити пора, прлина или подлупљивања.

4.1 Термичка метализација

Термичка метализација заснива се на растапању заштитног метала-превлаке и набацивању растопљених капљица на површину предмета који се метализира. Заштитни метали се на тржишту могу наћи у облику праха, жице, или керамичких штапова.

Разликују се гасни горионици за метализацију (за жицу, прашак, керамику) и пиштољи за електролучну и плазмену метализацију.

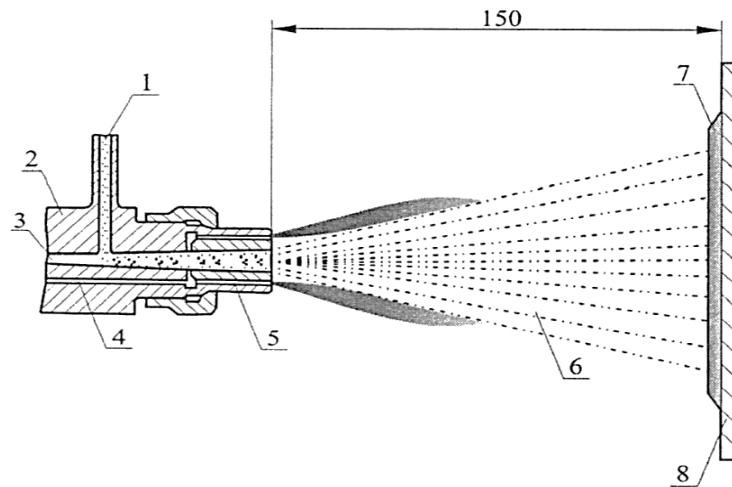
Гасни горионик са жицом као додатним материјалом (сл. 4.1) је уређај који омогућава посебно довођење мешавине горивог гаса ($C_2H_2 + O_2$) за континуално топљење врха жице) и компримованог ваздуха за распршивање и набацивање растопљених капљица на подлогу. Препоручује се предгревање метала подлоге до $100^{\circ}C$ ради отклањања површинске влаге и смањења заосталих напона.



Слика 4.1 Гасни горионик за метализацију помоћу жице; 1- жица, 2- погонски ваљци, 3- смеша горивог гаса, 4- компримовани ваздух, 5- млазница мешавине горивог гаса, 6- млазница за ваздух, 7- растопљени крај жице, 8- гасни пламен, 9- превлака, 10- подлога.

Гасни горионик са прашком се од претходног разликује по дужем пламену који даје и што се зрнца праха делом топе на врху млазнице, а делом за време преношења кроз пламену бакљу (сл. 4.2).

⁴ Стандардни електродни потенцијал хемијских елемената одређује се мерењем напона који се јавља у електролиту (растворима киселина, база соли) између водоничне електроде и испитиваног метала.

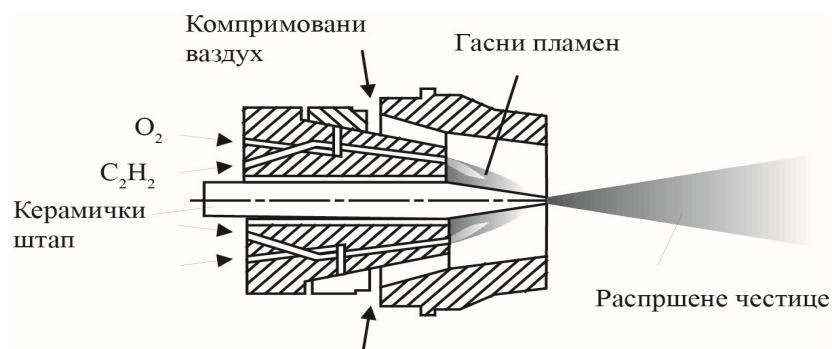


Слика 4.2 Принципијски цртеж горњика са прашком; 1- прашак, 2- кућиште горњика, 3- компримовани ваздух, 4- горива смеша, 5- млазница, 6- млаз честица, 7- превлака, 8- подлога

Метализација на хладно се најчешће користи за делове који су изложени адхезивним хабању, кавитацији и корозији. Припрема површина се врши механичком обрадом тако да се повећа хrapавост, и врши се прегревање на 100°C , а затим се наноси пластични међуслој од Ni-Al и најзад радни слојеви величине од 0.2-0.4 mm.

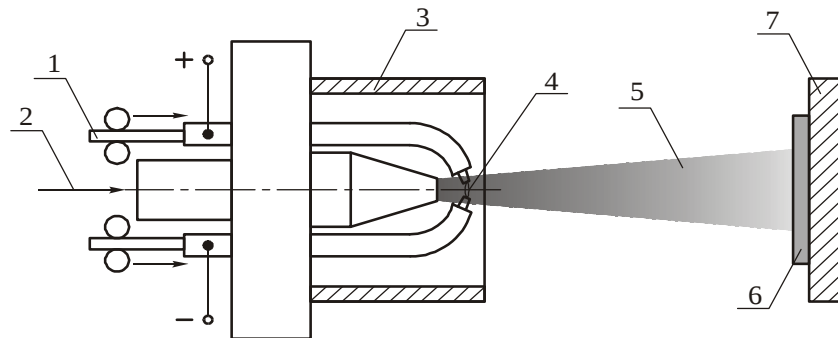
Метализација на топло се првенствено примењује код делова који су изложени абразији, корозији, ударним оптерећењима и високим температурама. Пре свега се, редукујућим или неутралним пламеном врши прегревање површине на $150\div 500^{\circ}\text{C}$ а затим се све поново загрева на $600\div 700^{\circ}\text{C}$. После тога, наносе се слојеви дебљине до 2 mm, све до постизања потребних димензија. После завршеног процеса, предмет се хлади на мирном ваздуху или под изолационим покривачем ради смањења термичких напона.

Гасни горњик са керамичким додатним материјалом (сл. 4.3) стапа и распршава керамику усмеравајући капљице на подлогу. Метализација керамичким штапом (дужине 600 mm и пречника $3.5\div 8$ mm) слична је метализацији помоћу жице, али је горњик друкчије конструкције, јер су у питању више температуре. Углавном се примењују керамике које су ватроотпорне, отпорне на корозију, на хабање и које су електрични, односно, топлотни изолатори. Метализација керамиком може се извести на деловима било ког облика и димензија; подлога не мора бити само од метала већ и од керамичких материјала, вештачких метала и стакла. Металне подлоге се предгревају на $100\div 500^{\circ}\text{C}$ због отклањања влаге и елиминисања разлике термичког ширења и депоновања слоја.



Слика 4.3 Шема горњика за гасну металнизацију

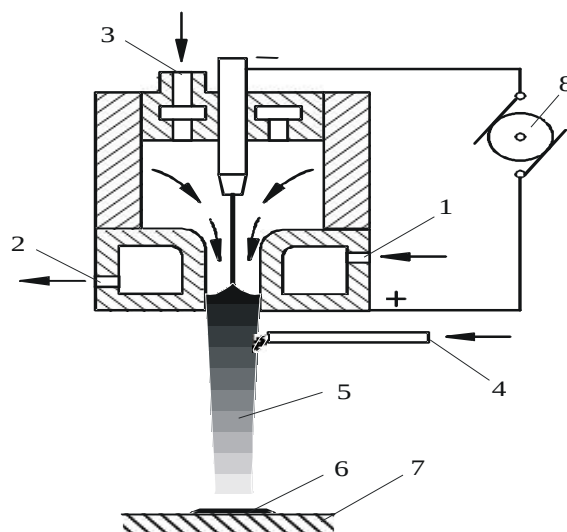
Електролучни пиштољ за метализацију (сл. 4.4) могу се користити додатни материјали само у облику жице. Посебно се синхронизовано доводе две електродне жице, на њиховим крајевим успоставља се електрични лук, топе врхови жица а растоп захвата млазом компримованог ваздуха и набацује на подлогу. Извор струје треба да обезбеди једносмерну струју напона $30 \div 40$ V и јачине 250 A. Савремени пиштољи могу се водити ручно или имају уграђене уређаје за нумеричко управљање, са циљем да се смањи утицај људског фактора, што представља предност овог поступка у односу на друге.



Слика 4.4 Шема електролучне метализације; 1- електродна жица, 2- додатни материјал, 3- оклоп млазнице, 4- лук, 5- растопљене честице, 6- превлака, 7- подлога

Плазмени пиштољи служе за метализацију прашком који се топи у електричном луку успостављеном између волфрамске катодe и бакарне аноде (сл. 4.5).

Основни пламени гас може бити аргон, хелијум и азот, а помоћни је водоник ($5 \div 25\%$). Ако се набацје оксид алуминијума и оксид цирконијума, може се применити азот који знатно повећава брзину депоновања. У осталим случајевима коришћење азота се избегава јер састојци праха могу хемијски реаговати са азотом, а постоји и опасност од прегревања подлоге.



Слика 4.5 Принциш рада плазног пиштоља; 1- текућа вода за хлађење млазнице, 2- одвод воде, 3- довод плазног гаса, 4- довод спрашеног метала, 5- млаз плазме, 6- превлака, 7- подлога, 8- извор струје

Као материјали за метализацију плазмом користе се углавном Mo, W, Al, Cu, Ni, Cr, већина оксида метала Al, Ti, Cr, Zr, карбиди (Ti, W, Cr), легуре (Ni-Cr, Ni-Cr-Co-Al и синтеровани метало-керамички материјали (Ni-оксид² Mg, Ni-оксид Al). Радна површина дела се мора очистити од нечистоћа (уља, масти, боје) и повећати храпавост сачмарењем, нагризањем или механичком обрадом. Предгревање се препоручује на 100÷500°C да се спречи кондензација водене паре и смање термички напони. Дебљина слоја може бити од неколико делова милиметара до 12÷15 mm. Овај начин метализације има велику примену у машинству, авијацији, хемијској индустрији, електротехници.

4.2 Наваривање

Наварени слојеви се наносе на површине радних делова с циљем повећавања отпорности према абразији, ерозији, трењу, ударних оптерећења, отпорности на повишеним температурама. Нанети слојеви се, као и код платирања, не узимају у обзир при димензионисању. Главна разлика наваривања у односу на метализацију је топлење како легура за наваривање, тако и површинског слоја. Због тога се мора водити рачуна о још једном чиниоцу при наваривању, односно степену мешања или како се у англосаксонској литератури каже, разблаживање навара. Наваривање се уопштено примењује да се одређеним деловима врати радни облик- репаратурно наваривање или се користи у циљу побољшања одређених карактеристика површина или њихових сегмената.

Када говоримо од легурама за наваривање, оне се по хемијском саставу разликују од материјала подлоге када је у питању репаратурно наваривање, а приближно су истог хемијског састава када се поправљају одливци изливени са грескама или поломљени делови. Пошто се у већини случајева ипак разликују хемијски састави подлоге и легуре за наваривање, то је пожељно да дубина уваривања буде што мања јер се тиме смањује разблаживање навара. Због разблаживања се корисне особине навара (тврдоћа, отпорност на хабање и др.) које су декларисане од стране произвођача, могу постићи тек у трећем пролазу. Првим пролазом се остварује дебљина слоја у границама (0.8÷5) mm у зависности од поступка наваривања и облика легуре за наваривање. У случајевима где је потребна дебљина слоја мања од 0.8 mm, изводи се метализација. Најбитнији критеријум при избору поступка наваривања који у принципу могу бити сви поступци заваривања топлењем и заваривачко ливење, јесте да се постигне што мање разблаживање и избегне да навар буде дебљи него што је за радне услове потребно.

Преглед поступка наваривања, степена могуће механизације (Р- ручно, А- аутоматско, ½ А- полуаутоматско), облика легура за наваривање, разблаживање, брзина депоновања, препоручених минималних дебљина слоја и одговарајућих врста легура за наваривање дат је у табели 4.1.

Поред поступка наведених у табели 4.1, у мањој мери се користе ГМА поступци који се одвијају у заштити Ar, CO₂, било појединачно или у комбинацијама, са или без мале количине кисеоника. Код ових поступка додатни материјал мора бити у облику електродне жице што ограничава примену ГМА за тврда наваривања. Ипак се овим поступком могу нанети превлаке од бронзе и других корозионо – отпорних метала на делове од челика. Исто тако употребом пуњених жица, знатно се проширује подручје примене ГМА методе

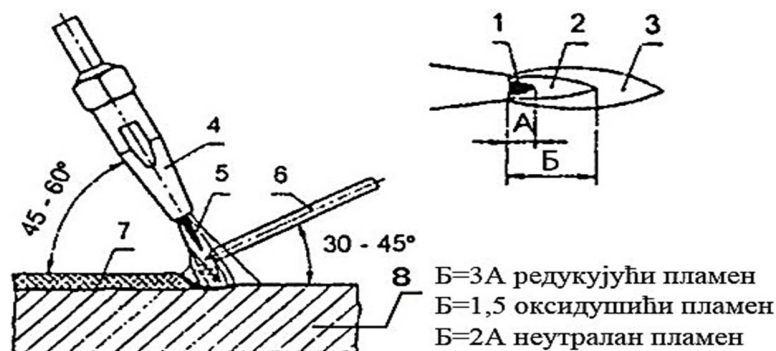
Таблица 4.1 Карактеристике поступака наваривања

	Поступак наваривања	Начин извођ.*	Облик легуре за тврдо наваривање	Разблаж. основ. металом	Брзина депоновања kg/h	Мин. деб. стапања mm	Преп. легуре за наваривање
1	Окси-ацетиленски	P P A	ливене шипке, пуњење шипке, прашак, веома дуге ливене шипке, пуњења жица	1÷10 1÷10 1÷10	0.45÷2.7 0.45÷2.7 0.45÷2.7	0.8 0.8 0.8	легуре на бази: Fe, Ni, Co; Композитне карбиде W
2	Ручно електролично	P	обложене ливене шипке, обложене пуњене шипке	15÷25	0.45÷2.7	3.2	као под 1
3	Отворен лук	1/2 A A	легурама пуњење жице легурама пуњење жице	15÷25	2.27÷11.35 2.27÷11.35	3.2 3.2	на бази Fe на бази Fe
4	ТИГ	P A	ливене шипке, пуњење шипке, пуњење зице, дуге ливене шипке (300 mm), карбид W у ливеној шипки или пуњеној зици	10÷20 10÷20	0.45÷3.6 0.45÷3.6	2.4 2.4	као под 1
5	Под прахом	1/2 A A1 AB	голе пуњене зице голе пуњене зице голе пуњене зице	20÷60 30÷60 15÷25	4.5÷9 4.5÷11.3 11.3÷27	3.2 3.2 4.8	на бази Fe на бази Fe на бази Fe
6	Пламени лук	A	прашак са или без гранула карбида W	5÷30	0.45÷6.8	0.8	као под 1

4.2.1 Гасно (окси-ацетиленско) наваривање

При гасном наваривању користи се исти опрема као и за заваривање с тим што додатни материјал може бити пуна или пуњена жица, шипка или прашак. Од горивих гасова највише се користи ацетилен јер има могућност регулисања пламена, двофазног сагоревања и јасно одвојене зоне пламена.

За већину легура одговара благо редукујући или неутралан пламен, а само за легуре бакра благо оксидишући. Примењује се како техника улево тако и удесно, при чему се техником улево постиже мање разблаживање навара. Погодна је за наношење кобалта на челичне предмете као и олова и других нискотопљивих метала.



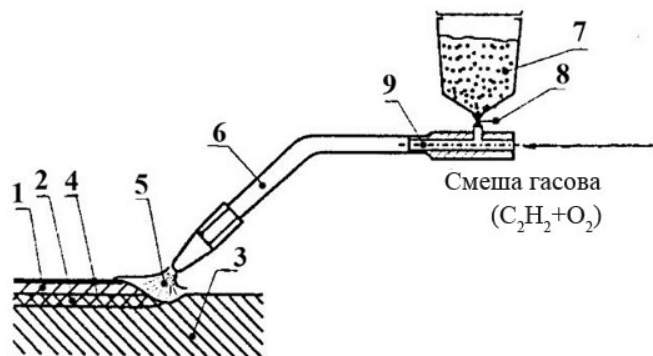
Слика 4.6 Шема гасног наваривања и препоручено регулисање окси-ацетиленског пламена; 1- жезро, 2- редуциона зона, 3- оксидујућа зона, 4- гасни горионик, 5- гасни пламен, 6- шипка, 7- навар

4.2.1.а Гасно наваривање жицом или шипком

Ова метода се користи при репаратури или тврдом наваривању делова од челика, челичног лива, ливеног гвожђа, бронзе и месинга. Додатни материјали су од: нисколегираних и високолегираних легура на бази Fe као и легура Ni, Co, Cr, односно легура Cu и легура Pb. Практично се наварују чауре од легура бакра, одливци од челика и ливеног гвожђа, кола ротационих пумпи, лопатике турбина, зупчаници, брегасте осовине и тсл. Пре наваривања потребно је очистити одговарајуће површине; за челике топитељ није потребан ако је радна површина чиста и сува, али ако су неке површине неприступачне за механичко чишћење потребан је топитељ. За тврдо наваривање ливеног гвожђа увек се употребљава топитељ, мада и легура за наваривање обично садржи дезоксидатор. По потреби делови се после чишћења предгревају, а затим загревају гасним пламеном до црвеног усијања без обзира на то да ли је било или није предгревање. Кад топљење започне површина заблиста, “озноји се”, онда капљице жице квасе подлогу и разливају се по њој. За тврдо наваривање стелитним шипкама (60% Co, 25% Cr, 6% W, 1.5% C, 1% Si) примењује се благо редукујући пламен - троперни пламен (вишак C_2H_2 , 20-30%). Овај пламен потпомаже редукацију оксида и такође обогаћује угљеником површински слој чиме му се смањује температура топљења у односу на дубинске слојеве. Тврди карбидни материјали су обично зрнастог облика и смештају се у металну цевчицу од нискоугљеничног челика да би могло да се наварује са обичном опремом за гасно заваривање. Топљењем површинских слојева радног комада ствара се матрица у коју се равномерно утискују карбиди, веома отпорни на хабање.

4.2.1.б Гасно наваривање прашком

За овај поступак наваривања неопходно је имати специјалано конструисан горионик који има резервоар и дозатор за прашак где се помоћу ручице регулише протицање прашка (сл. 4.7). Прах гранулације 0.03-0.010 mm бива усисан потпритиском који ствара млаз горивог гаса, затим стопљен у пламену и набачен на радну површину. Основна предност ове методе наваривања јесте могућност да се искористе и оне легуре које је немогуће направити у облику жице или шипке. У једном пролазу добијају се глатки непорозни слојеви, дебљине 0.02-3.5 mm.



Слика 4.7 Гасно наваривање прашком; 1- навар, 2- зона стапања (разблаживање 2-10%), 3- основни материјал, 4- треска, 5- растопљени метални прах, 6- горионик, 7- резервоар са металним прахом, 8- вентил за дозирање, 9- комора

Често се први везивни слој дебљине око 0.25 mm наноси тек после предгревања на 400-800°C, а затим се наноси завршни слој тражене дебљине. За дебљине навара до 0.5 mm није потребан посредан слој већ се изводи једнопролазан навар.

Главне предности овог поступка су пре свега могућност наваривања равних, цилиндричних, закошених површина, минималног уваривања и високо квашење навара. Недостаци су често предгревање и накнадна термичка обрада из разлога појаве заосталих напона и структурних промена у зони утицаја топлоте (ЗУТ).

Када је у питању попуњавање дубоких легура или пукотина уобичајена је пракса да се прво стопљеним прашком само обложе локално оштећене површине, а затим се празан простор попуњава топљењем жице или шипке, да би се на крају покривни слој опет нанео топљењем прашка. Треба напоменути да прашак и жица не морају бити истог састава. Када се јави случај где је потребан навар велике дебљине, главни његов део се наварује топљењем шипке која даје релативно пластичан навар, а завршни слој помоћу прашка који садржи 50% или више волфрам карбида или неки други веома тврд метал.

Како се сиви, темпер и нодуларни лив знатно лошије заварују од челика, избегава се гасно наваривање ливеног гвожђа, са изузетком као што је ковно гвожђе.

4.2.2 Ручно електролучно наваривање (РЕЛ)

За овај се поступак користи иста опрема као и код РЕЛ заваривања са разликом величина енергетских параметара (I , v_z , U) који су модификовани тако да се смањи дубина уваривања, а тиме и разблаживање навара стопљеним металом подлоге. Будући да је неизбежно разблаживање у границама од 10÷40%, те је потребно нанети три слоја ради добијања чистог металног навара. Дебљина слоја се креће у границама од 1÷5 mm. Електроде које се употребљавају могу бити рутилне, базичне или рутилно-базичне и данас се поред уобичајених обложених електрода пречника 2.5÷6 mm израђују и електроде пуњене прашком које су пречника 4÷11 mm.

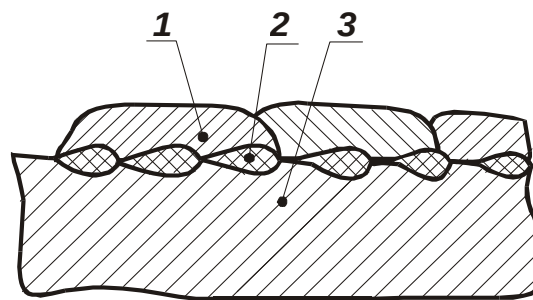
Разлог коришћења пуних електрода је што оне већ у другом пролазу постижу тражен хемијски састав захваљујући састојцима у језгру а такође омогућују и наваривање струјом веће јачине.

РЕЛ наваривање има широку примену како за репаратуру делова тако и за наношење тврдих слојева на радне површине чиме се обезбеђује побољшање површинског слоја и

отпорност на абразију, ерозију, отпорност на повишене температуре и тсл. Овим се поступком могу наваривати делови од челика, ЛГ, легура Cu, легура Al, легура Ni.

Када је у питању предгревање и накнадна термичка обрада не могу се дати опште препоруке. У већини случајева наваривање се може извести без предгревања, док се за случајеве полагања дебелих навара на масивне челичне подлоге са садржајем угљеника изнад 0.35% мора извести предгревање на 150°C и држати та температура за сво време обављања процеса. У случају наваривања аустенитног Мп челика⁵, који ојачава мартензитном трансформацијом услед површинске деформације на хладно, тражи се минимална унета топлота (кратки навари) и брзо хлађење нпр. директно принудним струјањем ваздуха или посредно водом.

Код материјала који су склони ка појави прслина у ЗУТ-у, наносе се кратки завари ширине 1÷2 пречника електроде што умањује разблаживање, сопствене напоне и деформације. Супротно томе се код материјала добре заварљивости полажу широки завари и наварује струјом веће јачине. Посебно се при наваривању великих површина кртим легурама препоручује израда пластичног међуслоја у облику растављених завара нанетих никловим или аустенитним електродама. Наредни тврди слојеви изводе се са максимално допушеном јачином струје, широким заварима (10 d_e) који се преклапају како је приказано на слици 4.8.

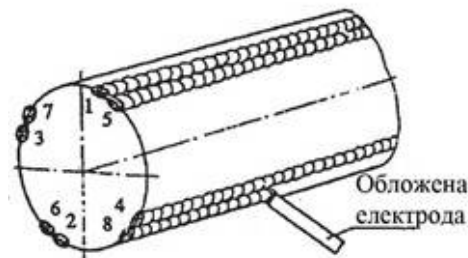


Слика 4.8 Начин наношења дебелих навара од кртих материјала; 1- навар од легуре на основу 60% волфрама карбида, 2- навар од челика 18Cr8Ni₃- угљенични челик Č1212

Уопштено се пластичан међуслој препоручује не само када се наносе крти материјали, већ и у случајевима када се по физичким особинама знатно разликују легуре за наваривање и подлоге. Тако се на пример при наваривању ливеног гвожђа бронзом (Cu-Ni-Al-Mg) препоручује наношење пластичног међуслоја електродом од никла.

Наваривање цилиндричних површина може се извести полагањем уздужних, или код делова већег пречника, кружних навара. Тако се код рукаваца, осовина и тсл. први навари наносе на дијаметрално супротним странама да би се уравнотежиле термичке деформације (сл. 4.9).

⁵ Hadfield- челик: 1.0-1.4% C, 10-14% Mn, испоручује се у ливеном или кованом облику



Слика 4.9 Редослед полагања навара РЕЛ поступком у циљу смањења деформација

Цилиндричне делове већег пречника најбоље је наваривати широким кружним наварима (сл. 4.10), уз примену тзв. окретаљки или позиционера чији је задатак да радни део доведе у положај погодан за наваривање.



Слика 4.10 Препоручени начин наваривања уз помоћ окретаљки

Такође је, битно истаћи могућност РЕЛ наваривања стелитним електродама, у случајевима када је неопходна велика тврдоћа на повишеним температурама, велика отпорност на корозију и ерозију у сагорелим гасовима и прегрејаној пари. Осим тога, стелитни навари имају високу отпорност на абразију, термичке ударе, као и добре клизне особине и могућност полирања. Стелитне легуре за наваривање израђују се у облику шипки и обложених електрода, па се може наваривати гасним пламеном, ТИГ и РЕЛ-поступком. Пре употребе, стелитне електроде се морају сушити при температури од 300°C, у току 2÷4 сата. Наварује се струјом позитивног поларитета (Е+) са најмање два слоја и са што мањом јачином струје. Оштећене делове треба припремити, да би се у одговарајућим гнездима сместила стелитна легура. После површинске припреме, наваривани део треба предгрејати до 600°C и ту температуру одржавати за све време наваривања. Хлађење до 400°C не сме да буде брже од 50°C/h, најбоље у пећи у којој је извршено предгревање.

4.3 Наваривање отвореним луком

Ово је полуаутоматски поступак ГМА-наваривања код којег се не користи ни топитељ нити заштитни гас већ само пуњена електродна жица која у језгру садржи спрашене легирајуће елементе и дезоксидаторе. Предност овог, у односу на друге електролучне

поступке, јесте једноставна опрема, јер нису потребни сложени прибори за довођење прашка или заштитног гаса. Зато се сврстава у најједноставније поступке полуаутоматског заваривања или наваривања, који може користити исти извор струје и исти пиштољ као и за ГМА поступак.

Пуњене жице, како за наваривање отвореном луком, тако и за ГМА поступак могу бити израђене у облику попречних пресека који су дати у одговарајућој литератури. Ове жице су пречника $0.5 \div 1.6 \text{ mm}$ а ређи су случајеви већих пречника од 2.4 mm до 8 mm . При наваривању овим жицама могу се користити како извори једносмерне тако и извори наизменичне струје.

Дебљина навареног слоја у једном пролазу креће се у границама $3 \div 6 \text{ mm}$, а већ се у првом пролазу постижу потребне експлоатационе особине. Ипак се у бројним примерима наваривања равних и цилиндричних површина траже бар два слоја. Пуњене жице које се данас производе могу бити коришћене за наваривање отвореним луком, али се може применити и додатна заштита углавном помоћу CO_2 или $\text{Ar} + \text{CO}_2$ (најчешће 82% Ar и 18% CO_2).

4.4 Наваривање ТИГ поступком

Овај се поступак углавном примењује за репаратурно наваривање ситнијих делова. Поред ручног вођења пиштоља за наваривање могућа је адаптација поступка помоћу посебних механизма којима се доводи легура за наваривање. У том смислу је карактеристична примена ТИГ-наваривања за пооловљивање зидова челичних резервоара. Оловна жица аутоматски се доводи у зону лука који се одржава између волфрамске електроде и челичне подлоге у заштити аргона. Поларитет је негативан (Е-). Чешће је у примени ручно ТИГ наваривање које се изводи слично као и гасно-пламено заваривање (ГПЗ), с тим што се предност ТИГ-а у односу на ГПЗ огледа у томе да код ТИГ поступка нема штетног утицаја окси-ацетиленског пламена на неке метале и легуре.

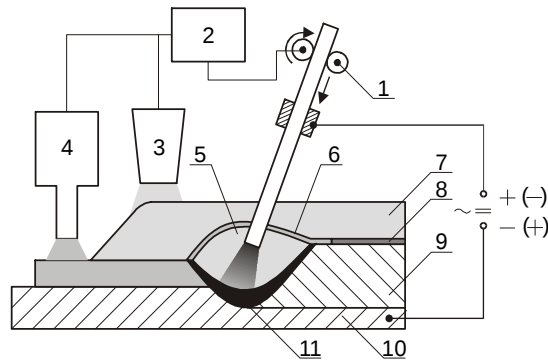
Једна модификација ТИГ-поступка јесте примена легуре за наваривање у виду праха насутог на површине које се наварују. То су најчешће грануле карбида волфрама или хрома од којих се не могу направити жице или шипке. Стапањем површинског слоја подлоге, поменути карбиди се у њу чврсто утискују, што се користи за тврдо наваривање резних ивица сврдла за камен.

ТИГ-поступком се наварују делови од челика, челичног лива, ливеног гвожђа, легура бакра и легура алуминијума, а легуре за наваривање најчешће су стелити, олово, бронзе, легуре никла и аустенитни челик. Ови додатни материјали за ТИГ-поступак могу бити у облику жице, шипке, пуњене жице, или код модификованог ТИГ поступка и у облику праха.

4.5 Наваривање под прахом (ЕПП)

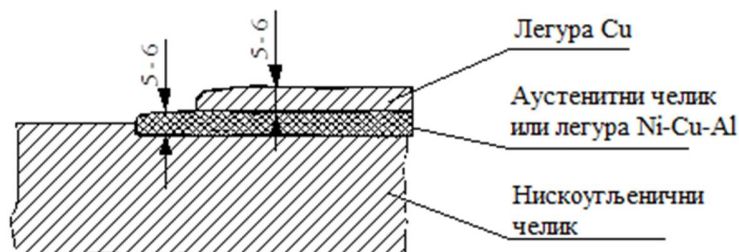
Овај поступак (сл. 4.11) налази примену за репаратурне радове и за наношење превлака од нерђајућих метала и легура. Под прахом се углавном наварују велике цилиндричне и равне површине искључиво у положеном положају. Поступак је већином аутоматизован тако да се легура за наваривање у облику пуне или пуњене жице, односно пуне или пуњене траке доводи непрекидно у зону наваривања. При томе се заваривачки део цилиндричног облика окреће, а уређај за наваривање аксијално помера помоћу завртња одговарајућег корака. Прашак- керамички или топљени који спада у додатни материјал, не само да штити растоп, већ пречишћава метално купатило, регулише хемијски састав навара, стабилизује лук и утиче на облик лица шава.

Највећу примену наваривање под прахом има за репаратуру железарских ваљака, точкова шинских возила, затезних ваљака гусеничних возила. Кад су у питању репаратурни радови потребно је да тврдоћа навара и његова отпорност на абразију буду већи него код основног материјала. Као и код других поступака наваривања делови се претходно пажљиво чисте и по потреби предгревају, нарочито ако садрже више од 0.35% С или су израђени од легираних челика



Слика 4.11 Шема ЕПП наваривања под прахом; 1- вођица жице, 2- управљачки модул, 3- резервоар за прах, 4- резервоар за метални прах, 5- гасни простор, 6- течна троска, 7- прашак, 8- очврсла троска, 9- навар, 10- подлога, 11- заваривачко купатило

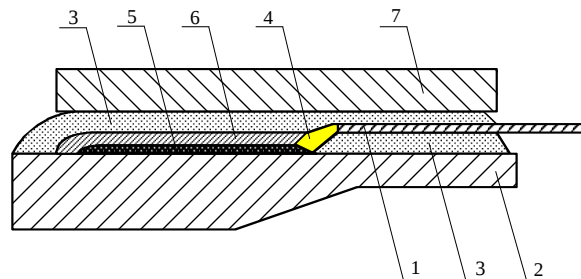
Друга област примене наваривања под прахом јесте наношење навара од нерђајућег челика, легура никла, или легура бакра на дебелозидне резервоаре за водену пару и хемијски активне материје. У случајевима када се на челичне зидове наноси заштитни слој од бакарних легура потребно је најпре нанети пластичан међуслој (сл. 4.12).



Слика 4.12 Начин полагања плакирног бакарног слоја на дебелозидни челични резервоар

С обзиром на већ дугу примену заваривања под прахом, ова је метода довољно усањена па се њоме могу постићи како квалитетни навари, тако и једна од највећих продуктивности наваривања. Из тих разлога, у индустрији се примењује заваривање једном електродном жицом, са две електродне жице и са пуњеном тракастом електродом. Нарочито је у примени наваривање са осцилаторним кретањем заваривачке главе 30-100 mm, са допунским довођењем додатног праха испред заваривачке главе, све у циљу да се смањи разблаживање, повећа продуктивност и снизи потрошња прашка и жице. Применом пуњених трака потрошња прашка може се смањити и до 30%, уз истовремено смањивање разблаживања и повећање продуктивности, све у односу на пуну жицу. Траке које се пуне одговарајућим легирајућим састојцима израђују се од нискоугљеничног челика дебљине 0.5 mm.

Једну варијанту наваривања под прахом могуће је извести и без заваривачког аутомата помоћу лежеће електроде и насута праха (сл. 4.13). Најпре се на подлогу насипа прах дебљине 20-30 *mm*, а затим поставља тракаста електрода која се опет засипа прахом. На крају се подлога повезује са извором струје заваривања, а помоћу графитног штапа лук се успоставља на другом крају електроде. Даље се процес одвија сам од себе као код уобичајеног ЕПП наваривања.



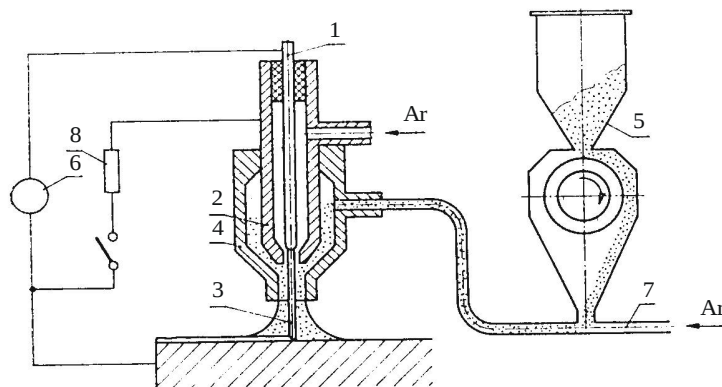
Слика 4.13 Шема ЕПП наваривања тракастом лежећом електродом; 1- електрода, 2- основни материјал, 3- прах, 4- лук, 5- навар, 6- троска, 7- плоча

4.6 Наваривање плазмом

4.6.1 Плазмено наваривање прашком

Овај поступак је погодан за полуаутоматско или аутоматско наваривање. Легура за наваривање доводи се у облику праха који се усмерава дуж плазмене млазнице (сл. 4.14), потискује кроз сужени отвор и убрзава до брзине звука при чему температура плазме достиже 18000°C. Стопљени прах удара великом брзином у површински отопљену подлогу и тако формира навар са минималним разблаживањем (5-10%). Наваривање се изводи по правилу у једном пролазу, а дебљина навара може бити од 0.25 па до 6-7 *mm*. Када се тражи већа дебљина навара може се применити вишеслојно наваривање. Лице навара је толико глатко да се понекад може избећи завршна механичка обрада као нпр. код пужа екструдера.

Плазменим луком се могу наваривати равни и цилиндрични предмети од угљеничних, легираних и нерђајућих челика, челични лив као и одређене врсте ливеног гвожђа. У облику прашка за наваривање се примењују легуре на бази Co, Ni, Fe, Cr, Cu и Sn. Исто се тако добри резултати се постижу наношењем праха од нерђајућих челика, тешко топљивих метала као и честица карбида волфрама уклињених у матрицу легура Ni или Co.

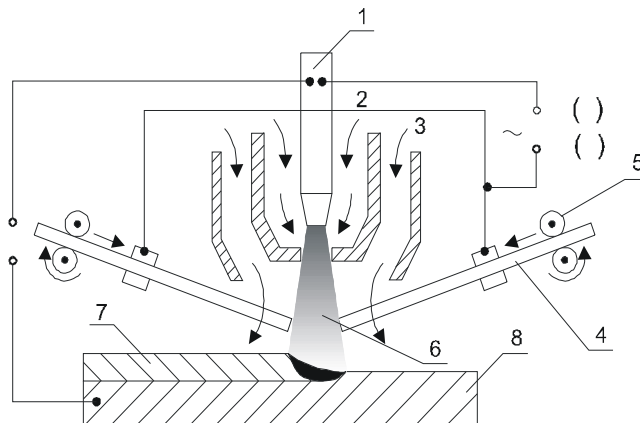


Слика 4.14 Шема плазменог наваривања прашком; 1- волфрамска катода, 2- плазмена млазница, 3- пламени лук, 4- млазница заштитног гаса, 5- дозатор прашка, 6- извор струје, 7- цев за пренос прашка, 8- отпорник за регулисање струје помоћног лука

Практично се плазмено наваривање прашком користи за репаратуру или производно наваривање делова мотора са унутрашњим сагоревањем (вентили и др.), алата за обраду резањем, ивица резних алата за земљане радове, рукаваца железарских ваљака, спиралних бургија, делова водоводних арматура и др.

4.6.2 Плазмено ТИГ-наваривање

Ово је потпуно механизован поступак заснован на довођењу загрејане или хладне жице у зону лука која се топи и стапа са површинским слојем подлоге и тако образује навар. Жицу загревану електричним отпором увела је фирма *Union Carbide Corporation*, што обезбеђује мање уваривање и већу продуктивност (сл. 4.15).



Слика 4.15 Шема ТИГ-наваривања плазмом; 1- волфрамска електрода, 2- пламени гас, 3- заштитни гас, 4- жица, 5- давач, 6- лук плазме, 7- навар, 8- подлога

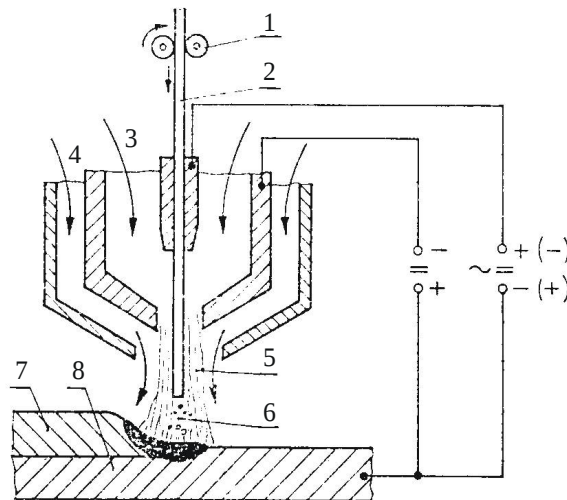
Легуре за наваривање у облику пуне или пуњене жице ($1.2 \div 2 \text{ mm}$) доводе се преко електронски управљаног давача у зону лука, у близини плазмене млазнице. Дебљина депонованог навара у једном пролазу је у границама $2 \div 15 \text{ mm}$. Пошто се унета топлота може одржавати на минималној вредности, спречава се деформисање наварене конструкције, а промене у ЗУТ-у су веома мале.

Предност је овог поступка је и у томе што се електрични лук одржава између волфрамске електроде и додатне жице, тако да процес није осетљив на примицање или одмицање пиштоља у односу на предмет. Најчешће се израђују навари од аустенитног челика, легура никла као и легура бакра. Растварање је мање од 10% па је довољно нанети само један слој да се постигну тражене особине навара. Вишеслојно наваривање долази у обзир за наваре дебље од 15 mm, или када је пожељно да се термички обради зона утицаја топлоте подлоге.

4.6.3 Плазмено МИГ-наваривање

Овај поступак (сл. 4.16) је увела фирма *Philips* да би се истовремено искористиле предности МИГ- наваривања и плазменог ТИГ- наваривања.

Лук се успоставља заваривачким МИГ- луком између додатне жице и основног метала, а после неколико милисекунди спонтано се пали плазмени лук између млазнице и навариваног предмета. Споља гледано поступак личи на обично МИГ- наваривање, с тим што заштитни пламени лук херметички опкољава електрични лук W- електроде и тиме потпуно елиминише прштање. Плазмени гас је аргон, а заштитни Ar, CO₂ или њихова комбинација зависно од врсте навариваног материјала. Жице могу бити пуне или пуњене, пречника 0.8÷2.4 mm, а дају наваре састава: угљеничних челика, легура отпорних на корозију, легура никла, легура бакра и легура алуминијума. Удео основног материјала раствореног у навару, тј. разблаживање је у границама 5÷15%, а навар је дебљине 5÷6 mm, и ширине 40÷50 mm.



Слика 4.16 Шема плазменог МИГ-наваривања; 1-давач, 2- жица, 3- плазмени гас, 4- заштитни гас, 5-плазмени лук, 6- МИГ-лук, 7- навар, 8- подлога

Висока цена уређаја за МИГ- наваривање се може оправдати високим квалитетом навара, великом продуктивношћу и могућношћу да се процес може изводити аутоматски или полуаутоматски. Највише се примењује за наношење плакирних слојева на челичне резервоаре, за репаратуру железарских ваљака, седишта вентила, похабаних рукаваца и тсл.

5. Избор додатног материјала, метода наваривања, и најповољније технологије производног и репаратурног наваривања

5.1 Основни принципи при избору додатног материјала

Када се говори избору додатног материјала, постоје различите препоруке у зависности од тога у које се сврхе додатни материјал користи. Произвођачи на основу испитивања у лабораториским условима, дају своје препоруке, међутим, резултати тако добијени често се не поклапају са експлоатационим условима којима је радни део изложен. Ту су такође и препоруке разних научних друштава и установа која се баве испитивањима у циљу одређивања веродостојних резултата који помажу при лакшем избору материјала навара. Према тим препорукама, постоје различите класификације у зависности од поступка, али у основи све садрже:

- стање испоруке додатног материјала (шипке, прах, обложене електроде, жице и електродне траке - пуне и пуњене),
- тачно дефинисане димензије и масу упакованог додатног материјала (пречник жице или шипке, димензије траке, пречнике гранула прашка или карбида, дужину електрода, масу катура жице или трака, масу прашка, топитеља и тсл.),
- препоручене параметре регенерације (струја, напон, проток горивог гаса, смеше или прашка, проток заштитног гаса и тсл.),
- одговарајући хемијски састав,
- излазне особине додатног материјала (механичке, структурне, отпорност на хабање и хемијско-термичке утицаје и тсл.),
- препоруке за одговарајуће услове рада и др.

Хабање као највећи узрочник оштећења и отказа радних делова грађевинске механизације, је главна смерница при избору додатног материјала навара-превлаке. Избор додатног материјала такође зависи и од хемијског састава и условима експлоатације. Главни узрок појаве хабање је због појаве трења контактних површина, али се као проблем јављају и други чиниоци као што је рад на високим температурама (ваљање, ковање, пресовање) и тсл. Поред хабање чести узрочник оштећења је корозија, уколико радни део обавља своју функцију у средини у којој је појачано дејство корозије.

5.2 Избор додатног материјала са аспекта отпорности на хабање

Главни чиниоци при избору материјала намењених за репаратуру су њихов хемијски састав и структура. Легуре за наваривање отпорне на хабање и корозију могу се у основи груписати у шест класа: **челици**, **ливена гвожђа (бела)**, **карбиди волфрама**, **легуре кобалта**, **легуре никла** и **легуре бакра**. У табелици 5.1 дате су наведене легуре према њиховој структури и отпорности на хабање, корозију, кавитацију, ерозију и нека специфична оптерећења. Најотпорнији су на хабање материјали велике тврдоће. Иако та особина може бити једини критеријум за оцену, ипак тврдоћа навара углавном служи за контролу квалитета додатних материјала за наваривање.

Таблица 5.1 Утицај структуре додатног материјала на излазне особине превлаке

СТРУКТУРА		ГЛАВНЕ ОСОБИНЕ
1. Перлитна структура		Отпорност на ударно оптерећење, абразивно хабање
2. Карбиди W у мекој основи		Велика отпорност на абразивно хабање, навар је релативно крт
3. Аустенитна структура са већим садржајем Cr ($Cr \geq 12\%$)		Добра отпорност на ерозију, оксидацију и корозију
4. Аустенитне легуре са већим садржајем Co		Добра отпорност на високим температурама (500-1000°C), оксидацију, корозију и абразивно хабање
5. Аустенитне легуре са већим садржајем Ni		Добра отпорност на корозију и оксидацију
6. Мартензитна структура		Велика отпорност на абразивно хабање, као и отпорност на притисак (гњечење)
7. Мартензитни челици		Добра отпорност на абразивно хабање, ударно оптерећење, на дејство притискујућих сила и др.
8.	8.1 Аустенитни нерђајући челици - CrNi	Dobra otpornost na koroziju i oksidaciju, srednja otpornost na abrazivno habanje
	8.2 Аустенитни мангански челици ($\approx 13\%$ Mn)	Velika otpornost na udarno opterećenje, posebno posle sabijanja na hladno
9. Фосфорне бронзе		Отпорне на адхезију и корозију
10. Алуминијумске бронзе		Отпорне на удар, кавитацију и корозију
11. Никал - алуминијумске бронзе		Отпорне на удар и кавитацију

5.2.1 Утицај легирајућих елемената на структуру и особине челика

Потребне особине челика постижу се легирањем помоћу једног или више легирајућих елемената. Степен утицаја сваког легирајућег елемента на структуру и својства челика зависи не само од његове количине, већ такође и од садржаја других елемената у челику.

Хемијски елементи садржани и челику, деле се према утицају на структуру на две основне групе: **аустенизаторе** (Ni, Mn, Cu, C и N) и **феритизаторе** (Cr, Mo, W, Si, V, Ta, Al, Ti и Nb).

Силицијум повећава тврдоћу (HB) и границу еластичности (R_e), као и затезну јачину (R_m), а смањује жилавост (KU, KV). У обичним конструкционим челицима његов садржај је око 0.3%. Челик са 2.5-3% Si користи се за опруге (лиснате, завојне, спиралне, торзионе). Челици са сацајем Si > 3% постаје крт као стакло. Силицијум се раствара у фериту и повећава му јачину и стога је у мањим садржајима пожељан легирајући елемент. Силицијум изазива смањење отпорности према прелинама на топло, нарочито при вишим садржајима угљеника. У високолегираним челицима силицијум спречава оксидацију хрома. Већина аустенитних челика садржи до 1% Si. У нерђајућим челицима типа 18Cr8Ni, силицијум доприноси образовању ферита и доводи до ојачања, као и до повећавања његове отпорности према међукристалној корозији. Сам не подлеже сегрегацији и отежава груписање нечистоћа односно сумпора и фосфора. Легуре Fe-Si-C по очвршћавању могу имати следеће

структуре: феритну, подеутектоидну, надеутектоидну и ладебуритну. Практичну примену налазе легуре прве три структуре које припадају челику, док се легура ледебуритне структуре убраја у ливено гвожђе. При великом садржају угљеника и силицијума ($C > 0.8\%$ и $Si > 0.8\%$) у челику долази до велике склоности ка графитизацији. Због тога се и не производе високоугљенични алатни челици једноструко легирани силицијумом.

Манган повећава тврдоћу (HB), затезну јачину (R_m) и нарочито отпорност на хабање. Челик Š3160 (1% C, 12% Mn) познат је као Хадфилдов мангански челик отпоран на хабање и служи за израду железничких и трамвајских скретница, ланаца гусеница, чељусти багера, ударних греда и чељусти дробилица, кугли за дробљење/млевење минерала и тсл. Раствара се у γ -Fe, α -Fe и у цементиту. Манган има већи афинитет према угљенику него гвожђе, па углавном настаје $(Fe, Mn)_3C$. У угљеничним и нисколегираним челицима повећан садржај мангана повећава отпорност заварених спојева према прслинама на топло јер образује сулфид MnS (температуре топљења ($T_T \approx 1620^\circ C$) који смањује количину створене нискотопљиве еутектике Fe-FeS ($T_T = 975-985^\circ C$). Повећавањем садржаја мангана у челицима до 1.5% расту јачина и жилавост уз одржање добре пластичности.

Хром је главни легирајући елемент нерђајућих и термопостојаних челика. При садржају хрома већем од 12% у челику се скоковито мења електродни потенцијал и од негативног прелази у електропозитивни. Хром се у угљеничним челицима може наћи као примеса од 0.3%, у нисколегираним челицима 0.7-3.5% у хромовим челицима 12-18% и у хром-никловим челицима 9-35%. Хром садржан у угљеничним и нисколегираним челицима погоршава њихову заварљивост али побољшава прокаљивост. Челици високолегирани са хромом поседују отпорност на хемијску корозију, тј. на дејство загрејаног ваздуха или врућих гасова на температуре преко $550^\circ C$. Сваки челик има своју горњу граничну температуру изнад које челик губи ватроотпорност.

Никл до 5% повећава затезну јачину (R_m) и нарочито жилавост на сниженим температурама. Деловање никла као аустенитизатора зависи у великој мери од сацаја хрома у челику. Легирани челици типа Cr-Ni са садржајем Ni изнад 8% при односу $Cr/Ni < 1.8-1$ имају чисто аустенитну структуру. Навари са чисто аустенитном структуром склони су ка прслинама на топло. Никл је састојак отпоран према оксидацији, а легуре које садрже 30-40% Ni оксидишу се веома споро, приближно као и чисти елементи. Смањењем сацаја никла умањује се стабилност аустенита јер се мартензитна промена одвија на вишој температури. Никл снижава критичну брзину хлађења и повећава прокаљивост челика. Доприноси графитизацији цементита и зато челици са већим садржајем никла, морају имати што мању садржај угљеника.

Молибден се у конструкционим челицима креће у границама од 0.15 до 0.8%. Он доводи до уситњавања металних зрна и повећава жилавост при високим температурама, али и веће закаљивости. Из тих разлога је пре заваривања неопходно предгревање челика са већим садржајима Мо. С обзиром на то да се активно оксидише, његов садржај у челицима се ограничава. Његов додатни утицај на термопостојаности челика намењених за рад на повишеним температурама, повезан је углавном са повећаном стабилношћу двојног карбида $(Fe, Mo)_3C$ и ојачавањем граница зрна. Са повећањем садржаја Мо расте затезна јачина и напон течења, али се већ при $Mo > 2.3\%$ запажа пад својстава пластичности.

Ванадијум се у специјалним челицима налази у границама 0.2-0.85%, а у челицима за рад на топло 1-1.5%. Заваривање ових челика је отежано јер имају велику прокаљивост. С друге стране они нису осетљиви на прегревање – карбиди ванадијума коче пораст зрна. При процесу заваривања, ванадијум се интензивно сједињује са гасовима из ваздуха O_2 и N_2 , те

додатни материјал мора имати повећан садржај алуминијума. Утицај ванадијума на термостојаност је назнатан. У комбинацији са ниобијумом и силицијумом повећава се отпорност према међукристалној корозији заварених спојева изведених аустенитним електродама. Незнатно повећава отпорност аустенитних челика према прслинама на топло.

Волфрам даје челику ситнозрнасту грађу јер образује тешко растворљиве карбиде. Прокаљивост челика повећава се релативно мало, азаварљивост погоршава услед пораста тврдоће зоне завареног споја, нарочито при већем садржају угљеника. Јако оксидише на повишеним температурама. Донеке повећава корозиону отпорност челика, посебно према међукристалној корозији аустенитних челика. У аустенитним челицима који садрже мале количине угљеника (испод 0.15%) садржај волфрама до 3% не погоршава азаварљивост. Практичну примену имају све ове структуре које се, према садржају угљеника, убрајају у челике. Са повећањем садржаја W, опада термичка проводност, повећава се густина (само до W=7.6 %) и повећава специфична електрична отпорност.

Титан је елемент веће склоности ка образовању карбида (TiC), него хром, па се често примењује као стабилизатор у нерђајућим аустенитним челицима јер спречава међукристалну корозију при заваривању топљењем. Титан са азотом образује тешко топлјив нирид (TiN, $T_r = 2930^{\circ}\text{C}$), који при очвршћавању купке делује као центар кристализације доприносећи уситњавању металних зрна. Такође повећава отпорност заварених спојева према прслинама на топло.

Ниобијум показује велики афинитет према угљенику и образује карбид NbC. У неким микролегираним челицима додаје се до 0.05%. Његов користан утицај на особине челика заснива се пре свега на кочењу процеса сегрегације. Такође, хромни феритни челици који садрже ниобијум мање су осетљиви према прслинама на топло. Сужава аустенитно подручје, смањује прокаљивост и побољшава азаварљивост.

Алуминијум има велики афинитет према азоту, образује изнад 800°C нитрид AlN, чиме се смањује склоност челика ка дисперзионом старењу. У малим количинама алуминијум не само што кочи пораст зрна, већ и смањује склоност ка закаљивању прелазне зоне. Челици са садржајем алуминијума изнад 1% су тешко азаварљиви. Додатак алуминијума нерђајућим челицима повећава отпорност на оксидацију, тј. хемијску корозију или једном речју, ватроотпорност.

Бакар се може наћи у конструкционим челицима у износу до 0.5%. Повећава напон течења и јачину (R_{eh} и R_m), а притом не опадају битније особине пластичности. При заваривању високолегираних челика могу се појавити топле прслине, које су последица образовања нискотопљиве еитектика на границама зрна аустенита. Бакар повећава отпоност према атмосферској корозији.

Тантал је елемент са великом склоношћу ка образовању карбида и примењује се у аустенитним хром-никл челицима као стабилизатор који сузбија међукристалну корозију. Он мора бити уведен у таквој количини, да веже угљеник издвојен из чврстог γ - раствора и спречи образовање карбида хрома при хлађењу од $843-425^{\circ}\text{C}$

Бор образује карбиде и знатно повећава прокаљивост челика уколико се он налази у микроскопским величинама. Већи садржај прокаљивости челика опада и настаје крта грубозрнаста структура. У аустенитним хром-никл челицима микрододаци бора повећавају термостојаност јер доводи до ојачања границе металних зрна. У аустенитним челицима узима се да горња граница садржаја бора износи 0.005-0.01%

Азот се сматра легирајућим елементом у аустенитним нерђајућим челицима типа Fe-Cr-Mn-N као замена за веома скупи никл. Главна мана је недовољна отпорност на међукристалну корозију. Због тога, заварени спојеви који имају повећан садржај азота могу бити подложни међукристалној корозији и поред уобичајеног садржаја титана као стабилизатора. Један део титана, образује TiN, те се умањује горенаведени садржај титана предвиђен за везивање угљеника издвојеног из чврстог раствора γ -решетке гвожђа.

Угљеник је пресудан елемент за одређивање структуре и особине челика. Повећава јачину, тврдоћу, отпорност на хабање, прокаљивост, а снижава својства пластичности и жилавости, па погоршава заварљивост. У угљеничним и нисколегираним челицима, при садржају 0.20-0.25%, не утиче битније на заварљивост. С друге стране, повећан садржај угљеника у додатном материјалу може изазвати порозност шави, због формирања CO у металној купки који се задржава у очврслом завареном споју-шаву. У легираним челицима, угљеник, поред цементита, образује карбиде са неким легирајућим елементима (Cr, Mo, W), или пак легирајуће карбиде ((Fe, Cr)₃C, (Fe, Mn)₃C). Издвајање карбида хрома код нерђајућих аустенитних челика доводи до електрохемијске корозије познате као међукристална корозија. У циљу спречавања процеса издвајања карбида хрома, додатни материјал за заваривање нерђајућих челика треба да садрже титан и ниобијум као стабилизирајуће елементе с тим што садржај ових елемената у челику мора бити: $T_i = (5 - 6)\% C$ или $N_b = 10\% C$

Сумпор се у челику по правилу, сврстава у нечистоћу која показује велику склоност ка сегрегацији. У легурама Fe-S, при повишеном садржају сумпора, настаје нискотопљива еутектита Fe-FeS ($\approx 975-985^\circ\text{C}$) распоређена на границама металних зрна, што у суштини при заваривању или ковању умањује отпорност према прслинама на топло. Критичан садржај сумпора од величине прелазних термичких затежућих напона, степена мешања, основног и додатног материјала, хемијског састава навара, а нарочито од садржаја угљеника и мангана.

Фосфор умањује отпорност према прслинама на топло али знатно снижава жилавост, нарочито на нижим температурама. Посебно негативан утицај фосфора испољава се код челика са повећаним садржајем угљеника и никла. Утврђено је, да у неким аустенитним челицима фосфор повећава ватропостојаност.

6. Пример изведеног репаратурног наваривања дела грађевинске механизације

6.1 Наваривање ножева плуга за чишћење снега

Ножеви плугова за чишћење снега сврставају се у делове грађевинске механизације који су за време свог експлоатисања изложени истовремено абразивном хабању, корозији и повременим ударним оптерећењима јаког интензитета. Чишћењем снега, радни делови долазе у директан контакт са путном подлогом, при чему до највећег хабања долази при контакту са асфлатом или бетонском подлогом јер на тај начин долазе у директан контакт са стенама и минералима који су садржани у асфалтној или бетонској подлози. Такође, чести су случајеви да у раду ових делова, услед велике брзине дође до удара у ивичњаке или стенске материјале већих габарита или до удара у различита испупчења који су из различитих разлога остала на путу. Сви наведени проблеми и случајеви којима су изложени ови радни делови доводе до честе хаварије и отказа.

6.1.1 Грађевинска машина, уређај, функција испитиваног дела и уочени недостаци

Машина на коју се монтира плуг је универзална машина UNIMOG-640. Плуг за чишћење снега се монтира на камионима који се надограђују са носачем плуга и хидрауличним системом, којим се омогућује манипулација над плугом, и даје се погон посипачу мешавине индустријске соли и стенског агрегата, како би се извело посипање пута. Када се изврши монтажа плуга и посипача, камион који је био превозно средство, постаје радна машина. UNIMOG -640 са плугом за чишћење снега и посипачем је приказан на слици 6.1.



Слика 6.1 Изглед радне машине UNIMOG-640 са уређајима за чишћење снега

Плуг за чишћење снега монтира се на предњи крај радне машине или возила којим се врши механичко уклањање снега са коловоза. Помоћу хидрауличног система омогућава се манипулацијом плуга, односно његово подизање, спуштање и закошење под одговарајућим углом. Заштитним системом омогућава се да се при изненадном удару у неку препреку на путу плуг подигне или заокрене под одговарајућим углом. На слици 6.2 приказан је изглед једног плуга са ножевима за чишћење снега. На задњој страни види се конструкција плуга

са елементима за уградњу на машину или возило, и хидраулични систем. На предњој страни се јасно види расподела интензитета хабања по читавој његовој површини, и карактеристичан начин хабања.



Слика 6.2 Изглед плуга са ножевима који се монтирају на радне машине или возила; а) предња страна; б) задња страна

Плугови се израђују у више различитих варијанти и величина и могу бити израђени као једноделни или могу бити и вишеделни (дводелни, троделни, четвороделни). Најчешћа изведба су вишеделни плугови са монтираним ножевима на сваком делу засебно, ради бољег налагања на површину пута.

Ножев плугова за чишћење снега израђују се најчешће сечењем из табли од неког челика применон опреме за гасно резање, после чега се ове табле накнадно обрађују на потребне димензије, а ређе се добијају ливењем. Монтажа се изводи уз помоћ отвора дефинисаног пречника, који се буше на истим растојањима на којима су и отвори плугова. Формирање оштрице ножа врши се механичком обрадом. Ножеви се причвршћују за плугове помоћу завртњева и навртки чиме се добија раскидива веза које је неопходна због њихове честе замене због похабаности. Димензије узорака који су испитивани, у оквиру докторске дисертације су $1600 \times 200 \times 20 \text{ mm}$, а радна ширина ножа је 150 mm .

Првенствена намена ножева је да штите плуг од процеса хабања при чишћењу снега, јер су они у директном контакту са коловозом и расутим стенским агрегатом. Главни недостатак ових ножева, који су израђени од О.М.-Ћ1530, је изузетно кратак радни век што за последицу има знатно смањење искоришћења радног капацитета машине или возила услед честих застоја која су неопходна ради замене похабаних ножева. Истраживања спроведена у оквиру докторске дисертације, била су са циљем иститивања могућности продужетка радног века ових ножева применом технологија наваривања њихових радних повшина. Као додатни материјал коришћен је D.M.-E DUR 600 јер он омогућава добијање навара велике тврдоће као и велике жилавости.

6.1.2 Примена технологије наваривања

Основни материјал од кога су израђени испитивани узорци ножева плугова је Ћ1530, који спада у групу челика за побољшање. С обзиром на висок садржај угљеника, овај челик се сврстава у групу условно заварљивих челика, па је због тога неопходно предузети додатне мере при избору технологије наваривања, да би се побољшала његова заварљивост.

Испитивање је извршено на укупно три ножа радне површине димензија $1600 \times 200 \text{ mm}$. Наваривање свих испитиваних узорака дебљине $s=20 \text{ mm}$ изведено је применом

предгревања на температуре од 300°C. Из таблице 6.1 може се видети поступак одређивања температуре предгревања применом методе Сеферијана.

Таблица 6.1 Одређивање температуре прегревања за О.М.-Ћ1530

Начин одређивања Тр	Модификована формула Сеферијана	Врста О.М. s=20 mm	Температура предгревања	
			Рачунска	Усвојена
Метода Сеферијана	$CE = CE_h + CE_s = CE_h (1 + 0,005 \cdot s), \%$ $CE_h = C + \frac{Mn + Cr}{9} + \frac{Ni + 7Mo}{18}, \%$ $T_p = 350 \sqrt{CE - 0,25}, ^\circ C$	Ћ1530	221	300

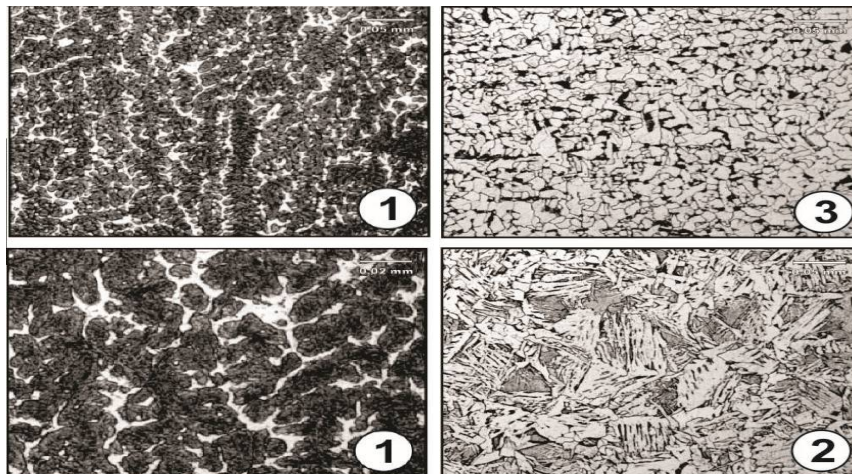
Оцена заварљивости, односно процена новонастале структуре ЗУТ-а, за овај основни материјал, изведена је израчунавањем времена хлађења $t_{8/5}$ применом формуле јапанских аутора коришћењем КН-дијаграма за челик са ознаком С45 који има приближно исти хемијски састав. Као и код претходних примера, варирањем параметара наваривања, изведена је процена новонастале структуре ЗУТ-а, и оцена могућности добијања структуре са најбољим својствима.

Додатни материјал коришћен за наваривање сва три ножа је Е DUR 600, који је за овај случај изабран због најбољих показаних резултата на основу претходних испитивања на више реалних радних делова. За наваривање овог додатног материјала коришћен је РЕЛ метод заваривања са прегревањем на 300°C наношењем вишеслојних навара, који су полагани уздужно на радну површину ножа. Сви коришћени параметри наваривања дати су у табlici 6.2

Таблица 6.2 Технолошки параметри наваривања на реалним радним деловима (ножевима плуга за чишћење снега) РЕЛ поступком

Дебљина О.М. s, mm	Ознака електроде SŽ -Elektrode Jesenice d.o.o	Пречник језгра електроде de, mm	Струја наваривања I, A	Радни напон U, V	Брзина наваривања v _z , cm/s	Погонска енергија наваривања $q_l \frac{U \cdot I}{v_z} \eta_i, J/cm$
20	E DUR 600	5,00	120-200	25-28	0,20	12000-22400

Моделска испитивања-Одабраном технологијом извршена су пробна, такозвана моделска испитивања на узорцима одређеног геометријског облика. На тако навареним узорцима проверавана је геометрија навара, ширина и дубина, мерена тврдоћа у попречном пресеку навара и процењивана структура појединих зона навара (ЗУТ-а, метала шава, О.М.). На слици 6.3 дата је микроструктура појединих зона навара нанетих електроном Е DUR 600.



Слика 6.3 Микроструктура навареног слоја; 1-мартензитно-карбидна са заосталим аустенитом, 2-3УТ-грубозрна, 3-перлитно-феритна структура

Поред металографских испитивања спроводе се и триболошки тестови, с циљем да се установи отпорност на хабање наведене електроде и измери коефицијент трења.

Реална испитивања-После изведених наваривања, на једном од ножева је изведено његово оштрење брушењем под истим углом као и код ненавареног новог ножа, док код преостала два није изведено никакво преоштравање. Такође, нису извршене ни накнадне термичке обраде. Дебљина навареног слоја додатног материјала на грудној површини наоштреног ножа је била $s=20\text{ mm}$, односно десети део од укупне ширине ножа. За преостала два ножа обрада навара је изведена брушењем по њиховој дебљини до уједначавања дебљине са основним материјалом. Одстрањивање дела материјала последњег навара изведено је паралелно по ширини ножа тако да остане дебљина навара од 20 mm , колика је дебљина основног материјала од кога су израђени ножеви.

6.1.3 Одређивање отпорности на хабање

Изведена су три случаја праћења процеса хабања ножева. Први случај је подразумевао праћење процеса хабања на наоштреном ненавареном и навареном ножу. Монтажа навареног ножа на плуг је изведена помоћу завртњева и навртки и он је монтиран на десном сегменту плуга, а ненаварен нож је на исти начин монтиран на левом сегменту плуга. Поступак је спроведен на основу искуства које је показало да је нож који чисти ивицу пута изложен јачем интензитету хабања, услед чега долази до губитка веће количине материјала па је на овај начин извршена ригорознија провера отпорности ножа на хабање. Још један искуствени податак је да је радни век ножева израђених од О.М.-Џ1530 око 150 h ефективног рада. У другом случају испитивани су ненаоштрени ножеви од којих је један био наварен и један ненаварен, при чему су ножеви монтирани на исти начин као у првом случају. У трећем случају је извршена замена места монтаже навареног и ненавареног ножа, тако да ненаварени нож чисти ивицу, а наварени средину пута.

Губитак масе на испитиваним ножевима је био меродаван за одређивање отпорности на хабање, при чему је ефективно радно време испитиваних узорака ножева био 140 h ефективног рада. Знатна разлика у ширини ножева после процеса испитивања је била видљива визуелно а даље се мерењем линијске похабаности дошло до сазнања о вишеструко већој отпорности на хабање наварених од ненаварених ножева. Због неуједначености

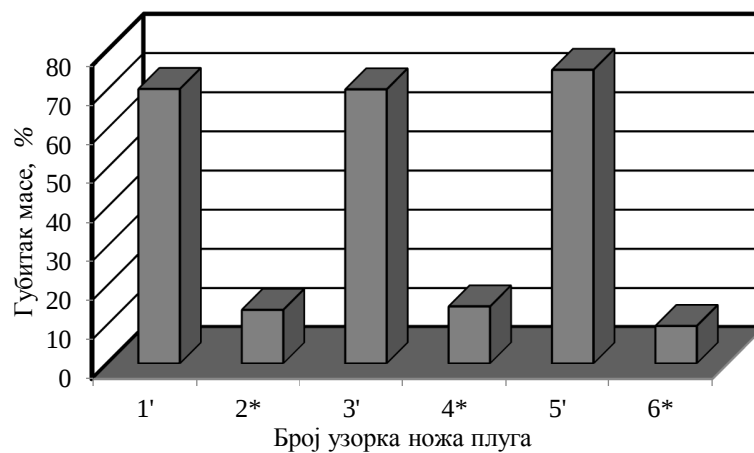
Репаратурно и производно наваривање делова грађевинске механизације

похабаности контактне површине по читавој дужини ножева, на основу разлике маса пре и после испитивања је утврђена отпорност на хабање ових ножева. Резултати добијени на основу ових испитивања су приказани у табlici 6.3

Таблица 6.3 Отпорност на хабање испитиваних узорака ножева плуга за чишћење снега после 140 h рада у реални радним условима

Маса испитиваних ножева	Репаратурно наварени ножеви					
	1*	2*	3*	4*	5*	6*
На почетку испитивања, kg	46,80	46,80	48,00	48,00	48,00	48,00
На крају испитивања, kg	14,00	40,40	14,40	41,00	12,00	43,40
Похабана маса материјала, kg	32,80	6,40	33,60	7,00	36,00	4,60
Проценат похабане масе материјала, %	70,10	13,68	70,00	14,58	75,00	9,58

Напомена: Бројевима 1 и 2 означени су наоштрени ножеви, а бројевима 3,4,5 и 6 ненаоштрени ножеви, при чему су непарним бројевима (1,3 и 5) означени ненаварени, а парним (2,4 и 6) наварени ножеви



Слика 6.5 Графички приказ отпорности на хабање ножева плуга за чишћење снега после 140 h ефективног рада

На слици 6.6 се могу најбоље видети позитивни ефекти примењене технологије наваривања испитиваних ножева где су приказана два суседна сегмента ножева који су у току испитивања изложени скоро истим условима рада.



Слика 6.6 Похабаност ненаварених и наварених ножева плуга за чишћење снега: а) похабаност предње стране ножева, б) похабаност задње стране ножева

Максимална укупна ширина ножа која се у току експлоатације може похабати, а да не дође до оштећења дела плуга који носи ножеве је око 150 mm. Испитивања су показала да је губитак материјала код ненаварених ножева по њиховој ширини у просеку око 120 mm, а код наварених ножева просечна ширина је око 20 mm, што је приближно једнако дебљини навареног материјала. На основу овога изведен је закључак да је отпорност на хабање испитиваног додатног материјала, при овим радним условима, најмање пет пута већа од отпорности на хабање испитиваног основног материјала, за све случајеве изведених испитивања. Применом процеса производног наваривања радни век ових ножева може се вишеструко продужити. Такође, похабани ножеви се могу и репарирати променом технологије репаратурног наваривања, чиме се њихов радни век додатно може продужити, али је због техно-економске оправданости потребно њихову репаратуру извести на време, односно када њихова похабаност по ширини не прелази 20 mm.

7. Закључак

Циљ овог рада био је да на конкретном примеру покаже како се уз правилан одабир технологије и додатног материјала, наваривањем може знато утицати на смањење губитка материјала услед хабања радног дела, и то до пет пута. Из овог примера се може закључити да се благовременом применом репаратурног и производног наваривања као и правилним одржавањем могу знатно елиминисати трошкови и што је најбитније, продужити радни век ових делова.

Такође, извршена су и разматрања триболошких процеса, односно механизма хабања, којима су подлегнути радни делови грађевинске механизације, као једног од главних елемената система при обради, транспорту и уградњи грађевинског материјала. Стенске материјале, као саставни део система, неопходно је испитати и одредити њихова физичко-механичка својства јер резултати добијени из експеримената могу послужити за лакши и правилнији одабир додатног материјала. Испитивања су вршена на узорцима четири врсте стена које се најчешће користе за радове на путевима.

Литература

1. **М. Јовановић, В. Лазић**, *Технологија ливења и заваривања*, универзитетски уџбеник, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2015.
2. **В. Лазић, Д. Арсић, М. Мутавцић, Р. Николић, С. Александровић, М. Ђорђевић, И. Самарџић, Б. Хадзима**, *Technology for reparatory hard facing of snow plough blades*, 8. International Scientific-Professional Conference „DESIGN, PRODUCTION AND SERVICE OF WELDED CONSTRUCTIONS AND PRODUCTS, SBZ 2015.“, Slavonski Brod, Croatia, 21. - 23. October 2015, Proceedings ISBN 978-953-6048-80-9, pp. 135-142.
3. **М. Јовановић, Д. Адамовић, В. Лазић**, *Технологија заваривања*, приручник, друго издање, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2011.
4. **В. Лазић, Р. Чукић, С. Александровић, Д. Милосављевић, Д. Арсић, Б. Недељковић, М. Ђорђевић**: *Techno-economic justification of reparatory hard facing of various working parts of mechanical systems*, Tribology in Industry, Vol. 36, No. 3, 2014, ISSN 0354-8996, pp. 287-292.
5. **М. Mutavdžić**, *Моделирање репаратурног и производног наваривања, радних делова грађевинске механизације*, Докторска дисертација, Факултет инжењерских наука, Крагујевац, 2015.
6. **Чукић, Р.:** *Техно-економска анализа производног и репаратурног заваривања и наваривања различитих делова техничких система*, Докторска дисертација, Унирвезитет у Београду, Београд, 2010.