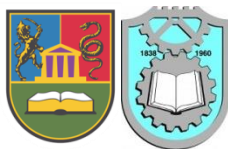


Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу



Назив студијског програма: Машинско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Производно машинство

Предмет: Машине алатке

Број индекса: 169/2016

Андријана С. Дамјановић

**Анализа утицаја храпавости обрађене површине на
настанак корозије**

Завршни рад

Комисија за преглед и одбрану:

1. Др Богдан Недић, ред. проф.

2. _____

3. _____

Датум одбране: _____

Оцена: _____



Универзитет у Крагујевцу
Факултет инжењерских наука



Основне студије: **Машинско инжењерство**

Студијско подручје (усмерење): **Производно машинство**

Име и презиме: **Андријана Дамјановић**

Број индекса: **169/2016**

ПРИЈАВА ЗАВРШНОГ РАДА

Тема рада: **Анализа утицаја храпавости обрађене површине на настанак корозије**

Задатак: У оквиру завршног рада потребно је да кандидат изврши прикупљање и систематизацију података о квалитету обрађене површине са аспекта храпавости. Потребно је описати процес настанка корозије и начине мерења отпорности на корозију. У посебном делу рада уколико се створе услови извршити експериментална испитивања утицаја различитих топографија обрађених површина на настанак корозије, односно прикупити податке о утицају различитих стања површине на развој корозије.

Завршни рад треба да садржи следеће целине:

1. Уводна разматрања,
2. Дефинисање храпавости обрађене површине,
3. Корозија и мерење отпорности на корозију,
4. Анализа утицаја различитих стања површине на развој корозије,
5. Закључци,
6. Литература.

Ментор:

Др Богдан Недић, редовни професор

Крагујевац, 27.03.2020.

Резиме:

У оквиру овог завршног рада извршена је анализа утицаја храпавости обрађене површине на настанак корозије на основу експерименталних истраживања. У раду је дефинисана храпавост обрађене површине, корозија, као и њихова међусобна зависност. На основу анализа које су извршене, представљени су резултати експеримената настанка корозије на различитим топографијама површина, премазаних различитим смешама соли.

Кључне речи: топографија површине, храпавост, корозија

Abstract:

In the framework of this final paper, an analysis of the influence of the roughness of the treated surface on the occurrence of corrosion was performed on the basis of experimental research. The paper defines the roughness of the treated surface, corrosion, as well as their interdependence. Based on the analyzes performed, the results of corrosion experiments on different surface topographies, coated with different salt mixtures, are presented.

Key words: surface topography, roughness, corrosion

Садржај:

1. Увод	6
2. Дефинисање храпавости обрађене површине	7
2.1. Одступање од идеалне површине	8
2.2. Класификација површинске храпавости	16
2.3. Основни параметри храпавости	19
3. Корозија и мерење отпорности на корозију	25
3.1. Фактори који утичу на корозију.....	25
3.2 Врсте корозије.....	27
3.3 Видови корозије.....	30
3.4 Испитивање отпорности према корозији	33
3.5 Мерење степена корозије.....	33
3.6 Примери мерења отпорности на корозију.....	34
3.6.1 Испитивање у сланој комори.....	34
3.6.2 Испитивање у влажној комори.....	35
3.6.3 Испитивање ураћањем	36
4. Анализа утицаја различитих стања површине на развој корозије	39
4.1.1 Оцена корозије и корозијске постојаности	39
4.1.2 Класификација испитивања.....	39
4.1.3 Показатељи брзине корозије	40
4.1 Примери анализа.....	42
4.2.1 Први пример [7]	42
4.2.2 Други пример [8]	51
5. Закључак.....	59
6. Литература	60

1. Увод

Трења и хабања елемената у контакту као и агресивно физичко-хемијско дејство околине, одвија се на ограниченим површинама реалних трибо-механичких система. Веома мали део запремине контактних елемената, у танким слојевима материјала изложен је високим оптерећењима и штетним дејствима окружења, тако да је евидентна потреба за неједнаким карактеристикама материјала по дубини. Експлоатацијске карактеристике изражене преко коефицијента трења, отпорности на хабање, заморне чврстоће, отпорности на корозију и др. условљени су физичко-механичким својствима материјала у танким површинским слојевима. [1]

Појаве везане за процесе трења и хабања, корозије и других оштећења у интеракцији контактних елемената техничких система или елемената и околине у суштини су локализоване на веома танке слојеве материјала изложене контактним оптерећењима или утицају околине. Интензитети контактних и других процеса у интеракцији са околином, који представљају основни узрок губитка радне способности и поузданости техничких система, смањења укупног века њиховог трајања и дисипације (губитка) енергије, директно су условљени карактеристикама (структурним, физичким, хемијским, триболошким и сл.) површинских слојева. [1]

У другој тачки је дефинисана храпавост обрађене површине, класификација површинске храпавости као и параметри храпавости.

У трећој тачки је првобитно дат нагласак на штетан утицај корозије на грађевински материјал. Корозија је данас један од важних фактора глобалне, материјалне и енергетске кризе и узрок је значајних губитака у економији сваке земље. Кроз даљи рад наведене су врсте корозије као и начин њиховог настанка.

Да би се установио степен отпорности метала према корозији примењује се низ начина испитивања. Поступак испитивања се одређује од случаја до случаја, у зависности од материјала који се испитује, од експлоатационих услова и од врсте амбијента у којем ће материјал радити. [2] У трећој тачки су описане три врсте испитивања отпорности материјала на корозију.

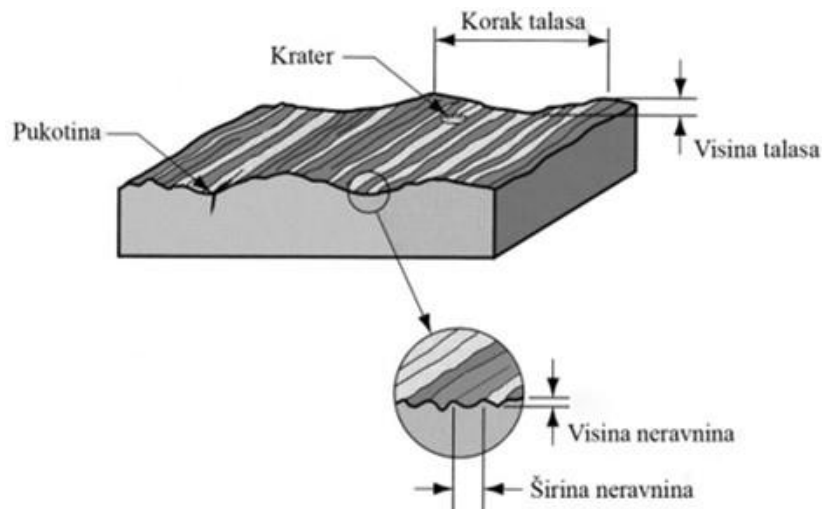
Теоријски није могуће ни у једноставним случајевима поуздано одредити брзину и механизам процеса корозије. Због тога су неопходна експериментална испитивања отпорности материјала према корозији. У пракси се користи велики број разноврсних метала и легура у различитим условима. У четвртој тачки је приказана класификација испитивања корозије, параметри брзине настанка корозије и приказана су два примера настанка корозије на различито обрађеним површинама.

2. Дефинисање храпавости обрађене површине

Инжењерске површине су све оне површине које су добијене неком врстом обраде са или без скидања струготине. Свака површина је током обраде, експлоатације и интеракције са околином изложена деловању различитих утицаја (механичких, хемијских, топлотних, електричних, биолошких), који доводе до појаве хабања, корозије и других оштећења на контактним површинама.

Све ове појаве представљају основни узрок губитка радне способности и поузданости техничких система, смањења укупног века њиховог трајања и дисипације (губитка) енергије и директно су условљени карактеристикама (структурним, физичким, хемијским, триболошким) површинских слојева.

Међусобна интеракција контактних површина зависи како од материјала у контакту тако и од облика контактне површине. Када се посматра на микро нивоу, контактне површине нису идеално глатке, него су то храпаве површине које се састоје од низа микронеравнина у облику брегова различитих облика, величина и распореда. [1]



Слика 2.1 Пример храпаве површине

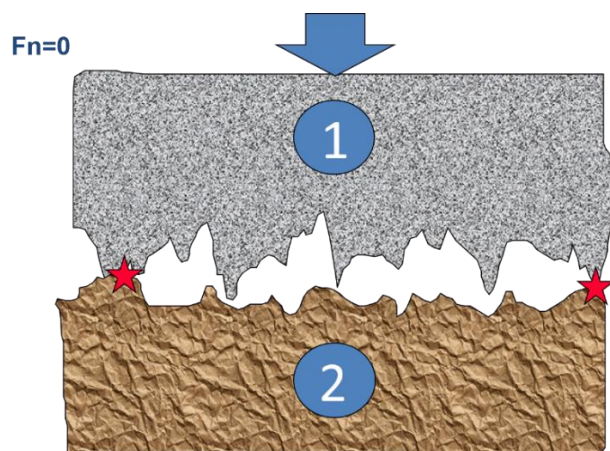
Дистрибуција неравнина директно зависи од процеса завршне обраде и последица је:

- Облика алата,
- Стања његових резних ивица и
- Других мање или више релевантних фактора (вибрације, крутост, стабилност технолошког система, пластичне деформације и др.).

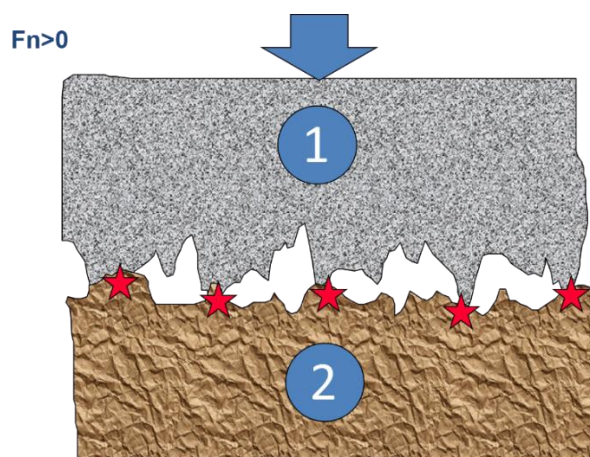
Површине чврстих тела, обрађене било којом врстом обраде, садрже на себи мање или веће неравнине, у зависности од услова под којима су настале.

Како идеално глатких површина нема, додир две површине се остварује у одређеним броју тачака.

Број тачака у којима се остварује контакт између два чврста тела у додиру, зависи од величине неравнина на њима и од њиховог распореда.



Слика 2.2 Додир два храпава тела без спољашњег оптерећења, где се контакти остварају у малим бројевима тачака



Слика 2.3 Додир два храпава тела са спољашњим оптерећењем, где се контакти остварају у великим бројевима тачака

2.1. Одступање од идеалне површине

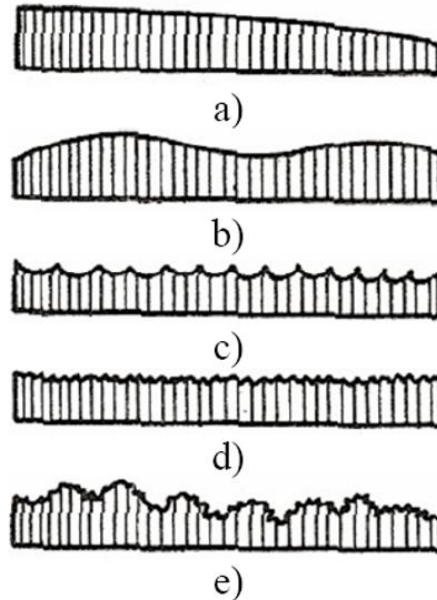
Под геометријом неке површине подразумева се облик и димензија те површине.

Врсте одступања од идеалне површине:

- Макрогеометријска – облик и димензије неравнина на површинама чврстих тела (непаралелност површина, валовитост)
- Микрогеометријска – последица обрадних процеса (избразданост, храпавост)

➤ Наногеоетријска – геометријске границе и неправилности кристалне и молекуларне структуре

Сва ова одступања заједно дају површину која се значајно разликује од идеално равне површине.



Слика 2.4 Врсте одступања од идеалне површине:

- | | | |
|----------------------|---|----------------|
| ➤ а) Непаралелност | ➡ | Макронеравнине |
| ➤ б) Валовитост | | |
| ➤ ц) Избраданост | ➡ | Микронеравнине |
| ➤ д) Храпавост | | |
| ➤ е) Реална површина | | |

Површинска грешке: одступање неког дела површине од предвиђеног геометријског облика (настале у току или после обраде, деловањем непредвиђених, случајних ненамерних оштећења површине).

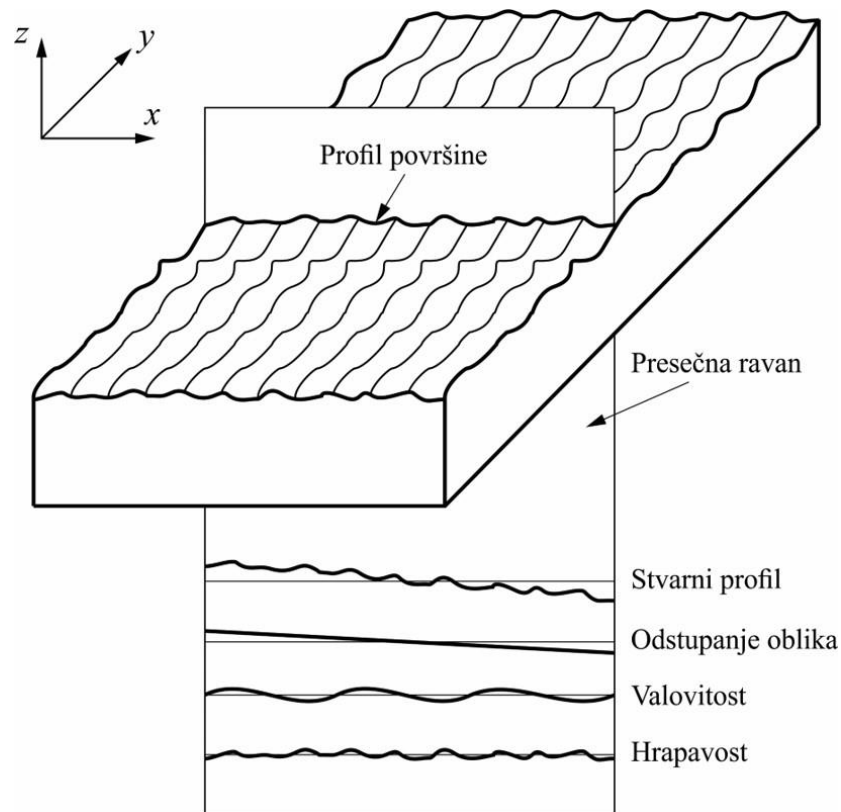
Грешке облика: одступање од задате геометрије. Последица су обрадних процеса (грешке вођења алата, предмета обраде, стезања, угиба, хабања, крутости).

Валовитост: Последица карактеристика машине, грешке стезања алата и последица вибрација.

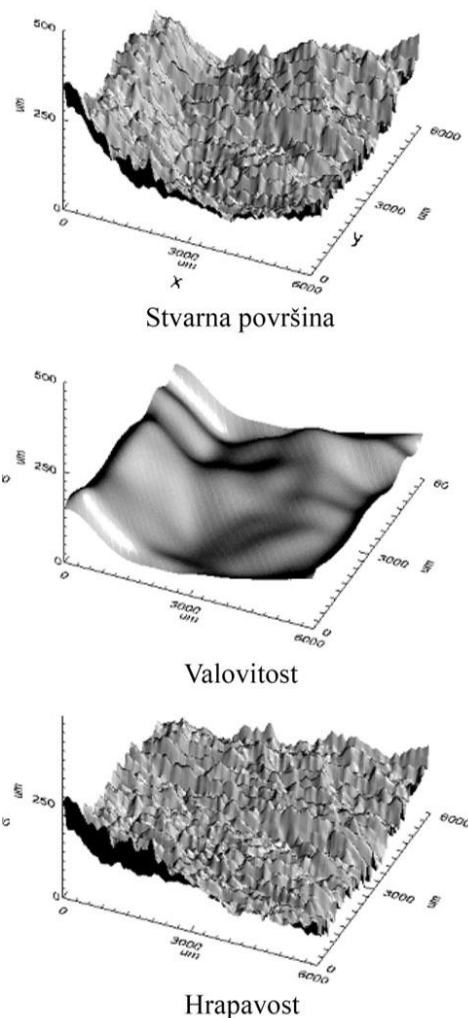
Храпавост: Последица поступка обраде, али која не укључују валовитост, одступање од облика и површинске грешке. Између све три групе одступања, одступања од облика,

валовитости и хrapавости површине, не може се одредити строга граница и у пракси није увијек јасно како то учинити.

Када се квантитативно мери квалитет површине, најчешће, хrapавост је та која се анализира, а валовитост и елементи облика су ти који се механички, електричним или дигиталним путем филтрирају од прикупљених података.



Слика 2.5 Профил површине у равни нормалној на површину



Слика 2.6 Основна одступања на површинском слоју

Величина храпавости површина може утицати на:

- смањење динамичке издржљивости,
- повећање трења и хабања оптерећених површина,
- смањење преклопа код стезних спојева,
- убрзавање корозије.

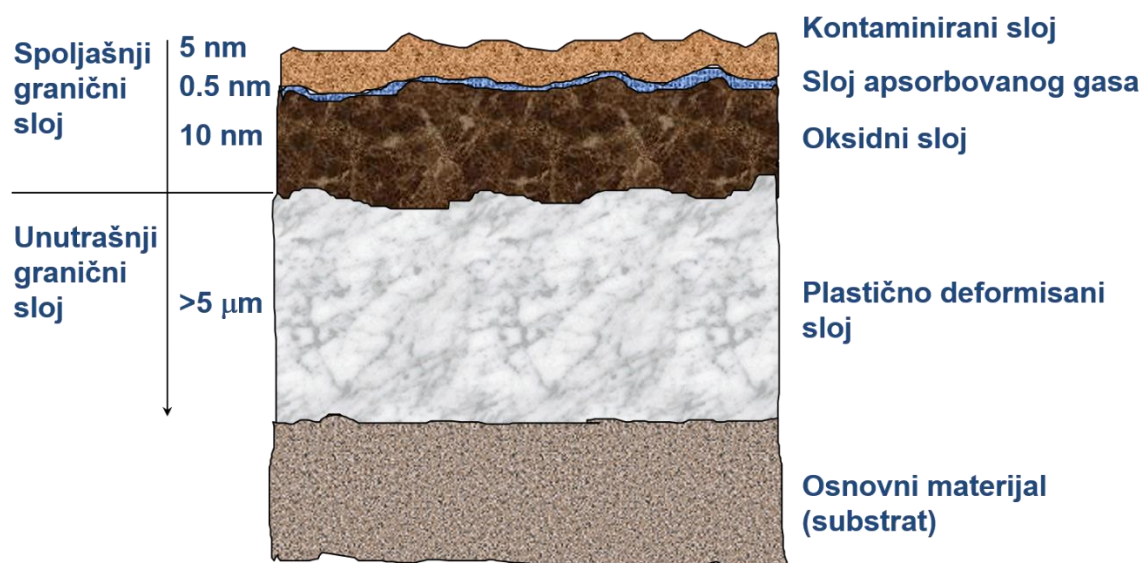
Према степену неправилности одређује се квалитет обрађене површине који утиче на:

- смањење трења код клизних површина,
- спречавање појаве концентрације напона,
- херметичност,
- отпорност на корозију и
- естетски изглед производа.

Површине чврстих тела представљају, у основи, танке слојеве материјала чији се састав и особине знатно разликују од особина основне масе материјала. Под површинским слојем материјала подразумева се танак слој материјала састављен од два дела:

- спољашњег граничног слоја (СГС) или спољашњег површинског слоја и
- унутрашњег граничног слоја (УГС) или унутрашњег површинског слоја.

Развој триболошких процеса у зонама контакта тврдих тела зависи, у великој мери од карактеристика спољашњих и унутрашњих граничних слојева оба тела у додиру.



Слика 2.7 Шематски приказ површинског слоја чврстих тела по дубини[1]

Спољашњи гранични слој последица је деловања окружења, атмосфере, температуре и радних услова којима је површина била изложена у процесу формирања. Слојеви металних оксида у спољашњем граничном слоју настају у зависности од врсте атмосфере којој је површина била изложена и температуре обраде. На врху спољашњег граничног слоја налазе се нечистоће чије честице су адхезијски привучене на површину.

Испод спољашњег слоја налази се унутрашњи гранични слој, најчешће у пластично деформисаном стању са заосталим напонима. Пластично деформирани унутрашњи слој је микроструктурно анизотропан, а таква су му механичка и корозиона својства.

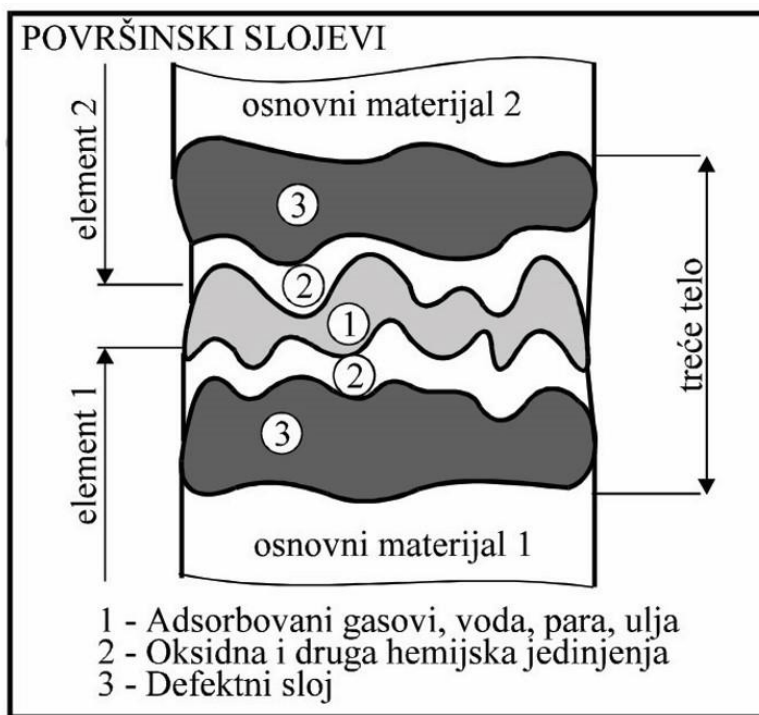
Вредности дебљине унутрашњих слојева, тврдих тела металне природе, добијене су експерименталним истраживањима вршеним више година у одговарајућим научно истраживачким лабораторијама.

Vrsta obrade	Unutrašnji granični sloj (μm)	Vrsta obrade	Unutrašnji granični sloj (μm)
Struganje	30 - 80	Spo. brušenje	15 - 25
Glodanje	25 - 60	Un. brušenje	20 - 30
Bušenje	50 - 60	Ravno bruš	15 - 25
Razvrtanje	10 - 30	Kovanje u kalupima	500
Rendisanje	30 - 50	Valjanje	300

Табела 2.1 Дебљина унутрашњег граничног слоја

Контактни слојеви, на пример трибомеханичких система најчешће, се дефинишу као трећа тела састављена од:

- апсорбованих гасова, воде, пара, уља,
- оксидних и других превлака и
- дефектног (отврднутог) слоја.



Слика 2.8 Контактни слојеви трибомеханичких система[1]

Контактни слојеви, на пример трибомеханичких система у обради резањем, обради деформисањем, транспортним системима и системима преноса информација (слика 2.9) се, најчешће, дефинишу као трећа тела састављена од:

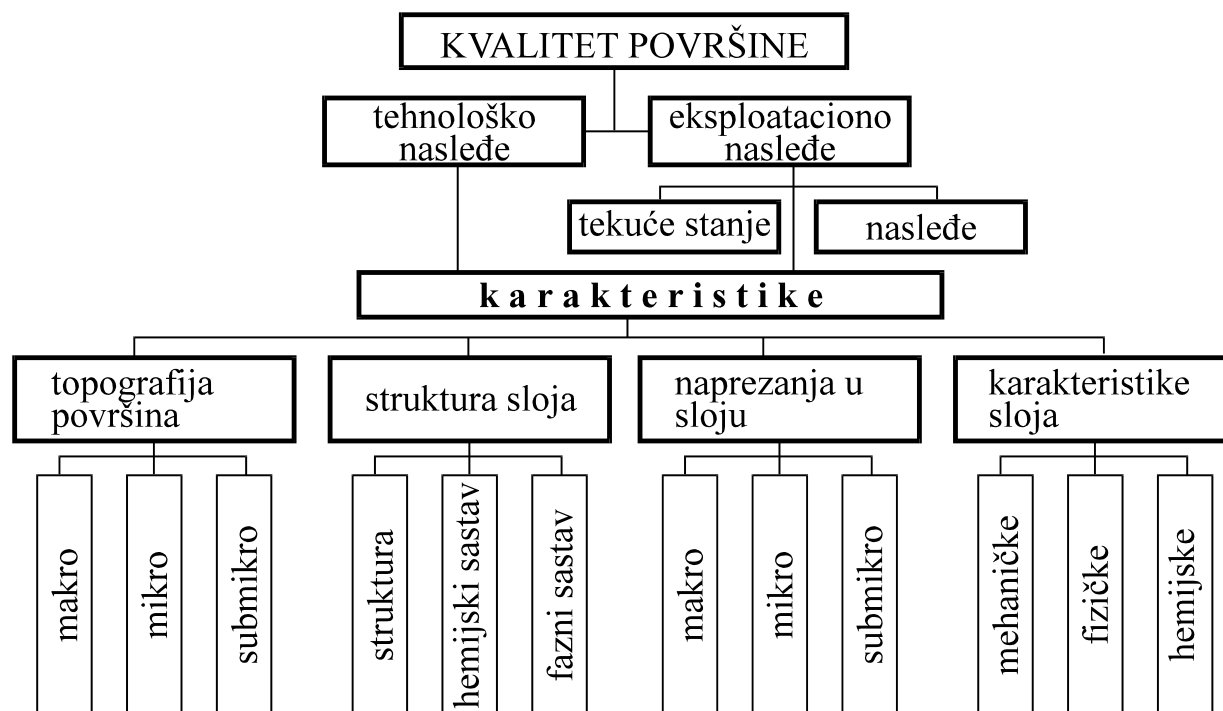
1. апсорбованих гасова, воде, пара, уља,
2. оксидних и других превлака,
3. дефектног слоја.



Слика 2.9 Карактеристике површинског слоја

Особине површинског слоја су резултат дејства сложеног и међусобно условљеног комплекса кинематских и физичкохемијских фактора, међу којима одлучујућу улогу има пластично деформисање, отврдњавање и загревање предмета обаде. Две групе показатеља квалитета површинских слојева су (слика 2.9):

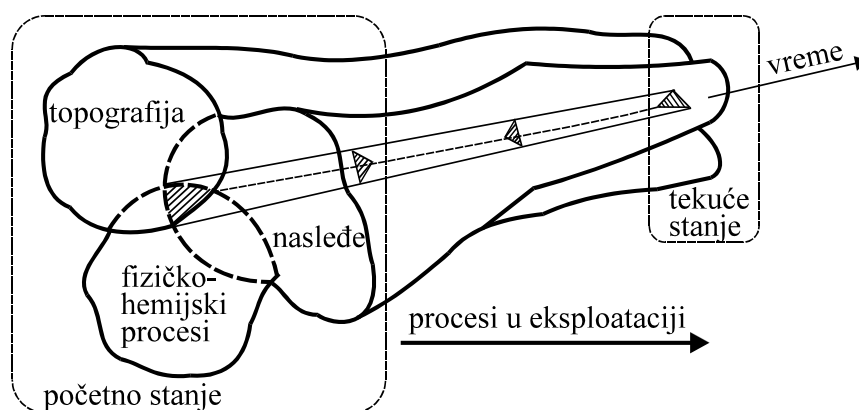
- геометријске (одсупање облика, валовитост и храпавост)
- физичкомеханичке карактеристике површинског слоја (структура, микротврдоћа, заостали напони)



Слика 2.10 Квалитет површине

Карактеристике контактнoг слоја, тиме и трећег тела, дефинисане су:

- технолошким наслеђем,
- експлоатационим наслеђем и
- текућим деловањем улазних величина на технички систем.



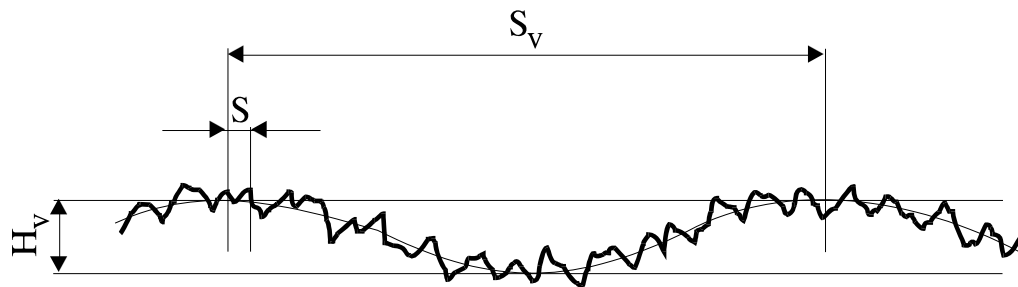
Слика 2.11 Карактеристике контактнoг дела[1]

У процесу експлоатације техничких система, у зависности од различитих фактора (оптерећења, окружење, итд.) долази до промене структуре, макрогеометрије и микрогеометрије, чврстоће и других карактеристика површинских слојева.

Промене изазивају губитак радне способности (физичко старење) и поузданости елемената техничког система, а резултат су појава наслеђивања. Дакле, експлоатацијско наслеђивање представља промену почетних особина елемената техничких система у процесу експлоатације, у зависности од услова и режима експлоатације, а експлоатационо наслеђе очување измењених својстава током времена.

2.2. Класификација површинске храпавости

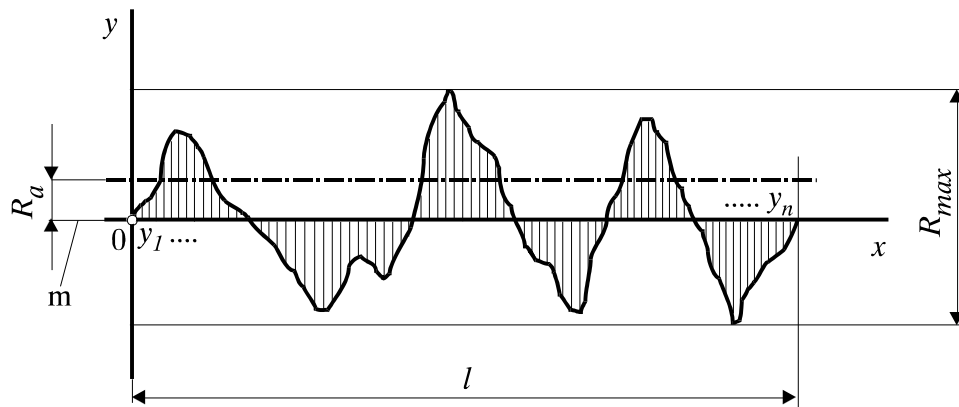
Површина машинских елемената није апсолутно глатка. Машински елементи после грубе обраде имају неравнине реда 100 до 200 μm . После завршних операција од 0.01 до 0.1 μm . Глатки кристали кварца су покривени неравнинама висине 0.01 μm , а површине лискуна 0.002 μm . Ово указује на чињеницу да је површина тврдих тела храпава. Под утицајем оптерећења, у процесу експлоатације, храпавост активних површина машинских елемената се мења. Од макронеравнина које се јављају на активној површини машинских елемената, најчешће је присутна ВАЛОВИТОСТ. Под валовитошћу површина подразумевају се наравнине које се јављају на површинама у валовима (таласима) приближно једнаког корака и висине. При томе је корак вала (растојање између два врха вала) знатно већи од висине вала. Кораци вала S_v крећу се, најчешће од 0.7 до 5 мм, а висине валова H_v су знатно мање и крећу се између 0.001 и 0.03 мм.



Слика 2.12 Валовитост $S_v/H_v > 40$

Под храпавошћу површина подразумевају се неравнине чије је међусобно растојање релативно мало (2 и 800 μm), а висине неравнина могу бити веома различите (0.03 до 400 μm). Храпавост је проузрокована:

- обликом алата
- стањем његових резних ивица, и
- низом других, мање или више, релевантних фактора (вибрације, крутост система резни алат – машина – прибор – предмет обраде, наслага на резним елементима алата и др.)

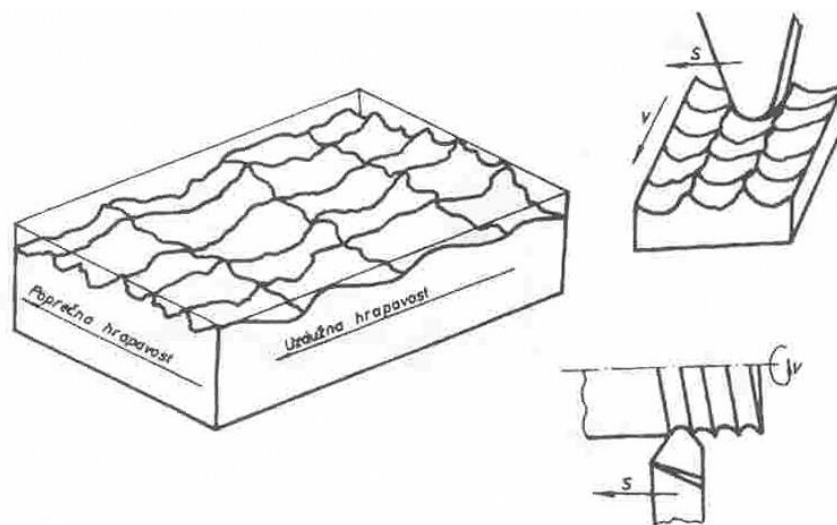


Слика 2.13 Храпавост површине

У односу на правац праћења разликује се попречна и уздужна храпавост.

Попречна храпавост се прати и мери у правцу нормалном на трагове обраде (у правцу помоћног кретања), а уздужна дуж трагова обраде (у правцу главног кретања).

Попречна храпавост је у нормалним условима обраде метала резањем, већа од уздужне, и меродавна је за оцену квалитета обрађене површине.



Слика 2.14 Попречна и уздужна храпавост

Према нашем стандарду ХРАПАВОСТ се дефинише као скуп неравнина које образују рељеф површине у границама одабраног исечка, такве величине да су елиминисане грешке облика и валовитости.

Основни параметри храпавости су:

- Максимална висина неравнина R_{max} ,
- Средње аритметичко одступање профила од средње линије профила R_a ,
- Средња висина неравнина R_z .

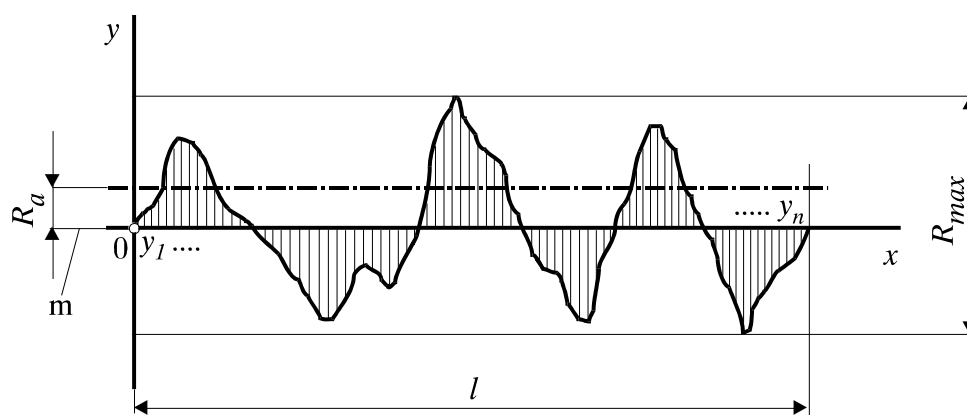
Пре него што се дефинишу основни параметри храпавости неопходно је дефинисати следеће величине:

Референтна дужина l , је минимална дужина исечка профила, неопходна за поуздано дефинисање храпавости на којој је елиминисан утицај других врста неправилности (валовитост, грешке облика и др.).

Средња линија профила, је линија која сече профил површине тако да је у границама референтне дужине, збир квадрата одсупања свих тачака профила минималан.

Горња линија профила површине пролази кроз највишу тачку профила и еквилидистантна је средњој линији профила на референтној дужини l .

Доња линија профила површине пролази кроз најнижу тачку профила и еквилидистантна је средњој линији профила на референтној дужини l .



Слика 2.14 Параметри храпавости

Референтна дужина се бира у зависности од класе храпавости и врсте обраде тако да се, при мерењу, елиминисе утицај валовитости и грешака облика на вредност параметра микрогеометрије.

Vrsta obrade metala rezanjem	Referentna dužina l u mm				
Struganje, provlačenje, razvrtanje, poliranje		0.8	2.5	8	
Bušenje, glodanje		0.8	2.5		
Brušenje	0.25	0.8	2.5		
Brušenje i struganje dijamantskim alatima, honovanje, lepovanje	0.25	0.8			
Rendisanje			2.5	8	25

Табела 2.2 Референтне дужине профила површина[1]

Са порастом референтне дужине повећава се тачност одређивања основних параметара храпавости површина, али у исто време расте и утицај валовитости површина на резултате мерења.

2.3. Основни параметри храпавости

Максимална висина неравнина, $R_{\max}$, је растојање две паралелне праве, са средњом линијом профила, повучене тако да у границама референтне дужине, додирују најнижу и највишу тачку профила (растојање између горње и доне линије профила).

Средње аритметичко одступање профила од средње линије профила, R_a , је средња аритметичка вредност одступања свих тачака ефективног профила ($y_1, y_2, \dots, y_n$) од средње линије профила.

$$R_a = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n y_i, \quad R_a = \frac{1}{l} \int_0^l y(x) dx$$

- y_i - растојање сваке тачке профила од средње линије профила.
- n - број тачака профила површине.
- l - референтна дужина профила.

Средња висина неравнина, R_z , је разлика аритметичких вредности висина 5 највиших врхова и 5 најнижих удубљења, у границама референтне дужине.

$$R_z = \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 |y_{\max i}| - \frac{1}{5} \sum_{i=1}^5 |y_{\min i}|$$

Oznake klase hrapavosti				Hrapavost u μm		
JUS st.	JUS nov.	DIN	GOST	Ra	Rz	Rmax
1/ 	0.012/ 		$\nabla 14$	0.012	0.050	0.080
2/ 	0.025/ N1/ 		$\nabla 13$	0.025	0.10	0.16
3/ 	0.05/ N2/ 		$\nabla 12$	0.05	0.20	0.32
4/ 	0.10/ N3/ 		$\nabla 11$	0.10	0.40	0.64
5/ 	0.20/ N4/ 		$\nabla 10$	0.20	0.80	1.25
6/ 	0.40/ N5/ 		$\nabla 9$	0.4	1.6	2.5
7/ 	0.80/ N6/ 		$\nabla 8$	0.8	3.2	5.0
8/ 	1.6/ N7/ 		$\nabla 7$	1.6	6.3	10
9/ 	3.2/ N8/ 		$\nabla 6$	3.2	12.5	20
10/ 	6.3/ N9/ 		$\nabla 5$	6.3	25	40
11/ 	12.5/ N10/ 		$\nabla 4$	12.5	50	80
12/ 	25/ N11/ 		$\nabla 3$	25	100	160
13/ 	50/ N12/ 		$\nabla 2$	50	200	320
14/ 	100/ 	$\sim$	$\nabla 1$	100	400	640

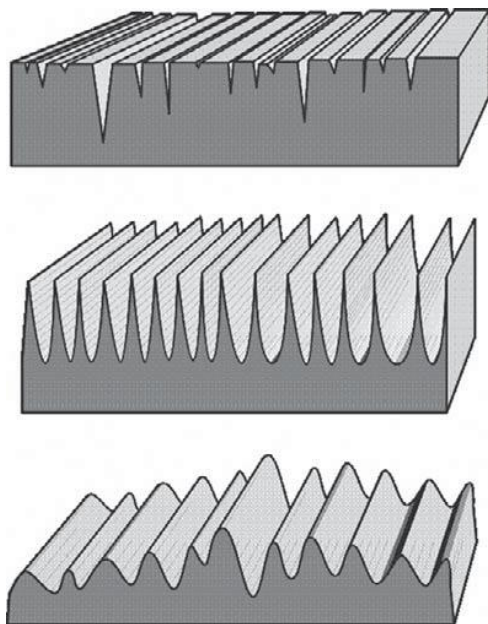
Табела 2.3 Означавање квалитета обрађених површина[1]

GRADACIJE	NAJFINIJA OBRADA				FINA OBRADA		PRETHODNA OBRADA			GRUBA OBRADA		
KLASA KVALITETA	N1/ ▽	N2/ ▽	N3/ ▽	N4/ ▽	N5/ ▽	N6/ ▽	N7/ ▽	N8/ ▽	N9/ ▽	N10/ ▽	N11/ ▽	N12/ ▽
VRSTA OBRADJE	Aritmetičko odstupanje od srednje linije profila, R_a , μm											
	0,025	0,05	0,1	0,2	0,4	0,8	1,6	3,2	6,3	12,5	25	50
Grubo rendisanje												
Fino rendisanje												
Grubo struganje												
Prethodno strug.												
Fino struganje												
Najfinije struganje												
Bušenje												
Upuštanje												
Razvrtanje												
Fino razvrtanje												
Najfinije razvrt.												
Grubo glodanje												
Prethodno glod.												
Fino glodanje												
Najfinije glodanje												
Provlačenje												
Fino provlačenje												
Grubo brušenje												
Normalno bruš.												
Fino brušenje												
Najfinije brušenje												
Honovanje												
Fino honovanje												
Najfinije honov.												
Grubo lepovanje												
Prethodno lepov.												
Fino lepovanje												
Najfinije lepov.												

Табела 2.4 Преглед класа храпавости површина при појединим поступцима обраде[1]

За дефинисање топографије површине често није довољно користити само наведена три основна параметра храпавости, јер распоред материјала у храпавом слоју, облик неравнина и носивост површине, на пример, могу бити веома различити код две површине чији су основни параметри храпавости исти.

На пример, распоред материјала у хрпавом слоју код две површине са једнаком величином средње аритметичке хрпавости R_a не мора да буде једнак.

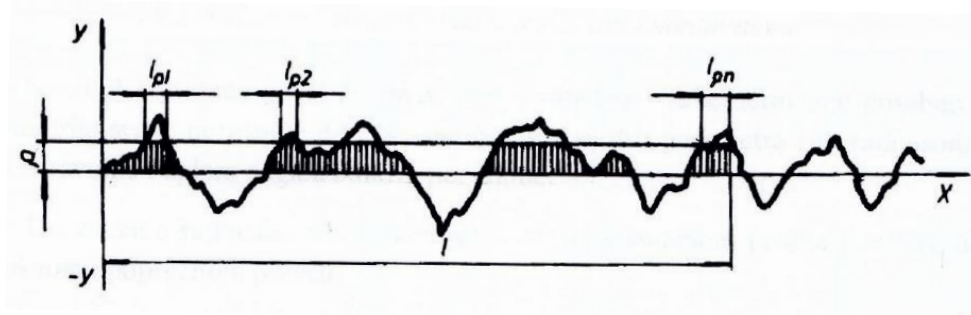


Слика 2.15 Могући распоред материјала у хрпавом слоју при $R_a = \text{const}$

Из тог разлога користе се допунски параметри хрпавости површина.

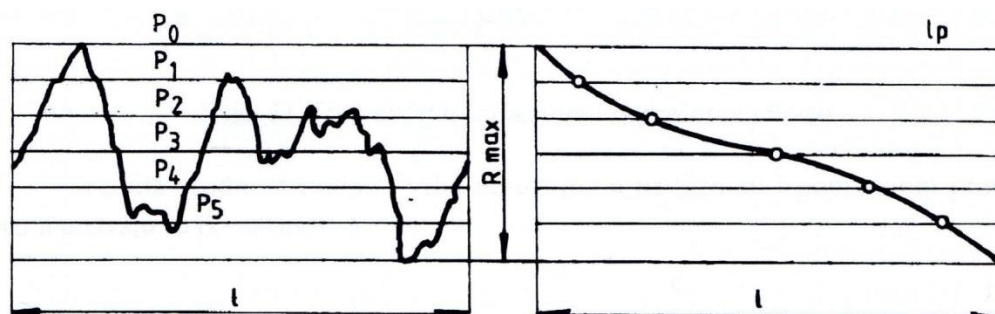
- Највећа висина испупчења R_p , представља растојање између горње и средње линије профила
- Највећа висина удубљења R_v
- Степен пуноће профила K , $K = R_v / R_{\text{max}}$
- Дужина ношења профила l_p , је збир одсецака, у границама референтне дужине, које профил одсеца на правој, паралелној са средњом линијом профила.

$$l_p = l_{p1} + l_{p2} + \dots + l_{pn} = \sum_{i=1}^n l_{pi}$$



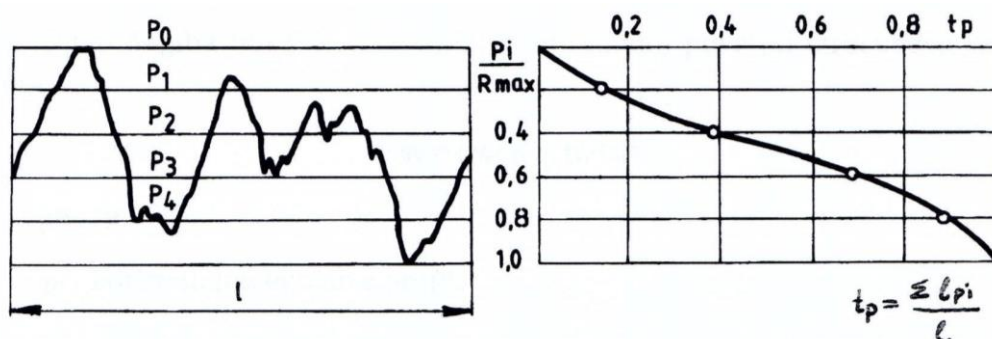
Слика 2.16 Дужина ношења профила

О распореду материјала у храпавом слоју површина најбоље говори крива ношења профила површине, која се конструише на основу дужина ношења профила. Крива ношења профила представља графичку интерпретацију зависности дужине ношења профила површине од нивоа равни сечења профила.



Слика 2.17 Крива ношења профила

Крива ношења профила може да се графички интерпретира и у координатном систему са релативним координатама p_i/R_{max} и $\Delta l/l$.



Слика 2.18 Крива ношења профила у релативним координатама

Квалитет обрађене површине зависи и од геометрије сваке неравнине посебно. Геометрија сваке неравнине дефинише се, најчешће са 2 параметра и то:

- Радијусом врха неравнине, и
- Углом нагиба бокова неравнине.

До величине радијуса врха неравнине долази се снимањем профила површине у уздужном и попречном правцу.

Средња вредност радијуса врха неравнина у уздужном и попречном правцу израчунавају се по обрасцима:

$$r_u = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k r_{ui} \quad r_p = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k r_{pi}$$

k – број неравнина на изабраној референтној дужини профила обрађене површине.

Средња вредност радијуса врха неравнине као величине којом се одређују вредност допунског параметра добија се прорачуном по обрасцу:

$$r = (r_p / r_u)^{\frac{1}{2}}$$

Угао нагиба бокова неравнина на обрађеној површини израчунава се по обрасцу:

$$\operatorname{tg} \varphi_i = (\gamma_h / \gamma_v) \cdot (\gamma_i / x_i)$$

γ_h - хоризонтално увећање профила

γ_v -вертикално увећање профила

Средња вредност ове величине добија се по обрасцу:

$$\operatorname{tg} \varphi = \frac{1}{k} \sum_{i=1}^k \operatorname{tg} \varphi_i$$

Савремена мерна инструментација даје могућност дефинисања храпавости обрађене површине са преко 30 параметра.

3. Корозија и мерење отпорности на корозију

Корозија означава процес уништавања структурних метала подвргнутих дејству одређених физичко-хемијских процеса. Корозија изазива ненамерно уништавање грађевинског материјала што наноси огромну штету економији. Корозија је данас један од важних фактора глобалне, материјалне и енергетске кризе и узрок је значајних губитака у економији сваке земље. Студије у САД-у, Јапану и земљама ЕУ показују да је корозија један од највећих разарача људских добара, а штета коју проузрокује је око 4,2 до 4,5% бруто националног дохотка, мерено милијардама долара годишње. Међутим, ове бројке се односе само на непосредну штету узроковану корозијом, не узимајући у обзир додатне трошкове. Из тог разлога економски развијене земље подстичу огромна улагања у истраживање најефикаснијих начина заштите од његових ефеката. Према истраживањима из 2003. године у Сједињеним Државама, директни трошкови корозије су: 276 милијарди америчких долара годишње чини 3,1% БДП-а. Ови подаци нису потпуни јер не покривају секундарне штете проузроковане корозијом, попут несрећа, претњи по здравље људи, губитака у производњи, тешких еколошких катастрофа, пропадања споменичког наслеђа итд. [2]

Директни трошкови узроковани корозијом

- замена кородиране опреме
- одржавање и спровођење заштите

Индиректни трошкови изазвани корозијом

- заустављање производње / рада
- губитак производа (цурење из резервоара и цевовода)
- смањење степена употребљивости - ефикасност
- загађење / загађење производа и животне средине

Трошкови корозије према заштитним методама:

- Заштитни премази 108,6 милијарди долара
- Легуре отпорне на корозију 7,7 милијарди долара
- Пластика и полимери 1,8 милијарди долара
- Инхибитори корозије 1,1 милијарду долара
- Катодна и анодна заштита 1,0 милијарди долара
- Услуга кошта 1,2 милијарде долара
- УКУПНО: 121,4 милијарде долара

3.1. Фактори који утичу на корозију

Разни фактори утичу на појаву и интензитет процеса корозије. Неке се претходно могу избећи правилним приступом дизајнирању и одржавању, а перформансе других могу се

смањити и свести на подношљив ниво. Фактори који узрокују корозију могу се поделити на:

- а) Хемијски фактори
- б) Физички фактори
- ц) Биолошки фактори
- д) Електрични фактори

а) Хемијски фактори

У групу хемијских фактора спадају:

- растворени гасови (O_2 , CO_2 , H_2S , ClO_2),
- карбонатна равнотежа,
- садржај соли,
- растворљивост карбоната и
- pH вредност.

Концентрација раствореног кисеоника је основни фактор корозивне активности морске воде. Зависи од брзине протока и сланости.

Равнотежа карбоната у морској води има велики утицај на интензитет корозије, јер могуће таложење карбоната на катодним деловима нагризајуће површине може послужити као изолатор од даљег деловања агресивног медија.

б) Физички фактори

У групу физичких фактора спадају:

- проток,
- межурићи ваздуха,
- температура и
- притисак.

Утицај брзине протока на брзину корозије материјала је сложен и зависи од карактеристика материјала и околине којој је материјал изложен.

Како се температура повећава, повећава се брзина готово свих хемијских реакција, укључујући корозију.

ц) Биолошки фактори

У групу биолошких фактора спадају:

- обрастање,
- потрошња кисеоника,
- потрошња угљен-диоксида,

- и њихово пуштање.

Већина метала је подложна обраштању. Одлучујући елементи интензитета су топлота морске воде и брзина протока воденог слоја дуж трупа брода. На пример, у топлим морима, при малим брзинама, морски организми се брзо множе. Често се дешава да морски организми (због сопствене тежине) уклоне заштитне облоге. Ово поспешује корозију. Такође, обрастање има велики утицај на економичност и ефикасност у експлоатацији (гориво, брзина, управљивост, итд.).

д) Електрични фактори

Од електричних фактора, највећи значај треба дати појавама стварања галванске струје и њиховом утицају на брзину корозије. У пракси је готово немогуће избећи контакт различитих материјала. У таквим случајевима мање племенити материјал преузима улогу аноде и долази до његовог растварања и хабања.

3.2 Врсте корозије

Да би дошло до оштећења структурног материјала, у посматраном систему мора постојати одређена хемијска, механичка, биолошка или нека друга покретачка снага. Главни узроци овог процеса су:

- атмосферски агенси попут влаге, снега, магле ...
- издувни гасови и честице мотора које садрже хемијски активне супстанце као што су бромоводонична киселина, оловни халогениди, угљена киселина, сулфитна киселина итд.
- неправилан тремички третман алуминијумских легура
- Недовољна и неправилна заштита премазима
- Недовољно и неправилно чишћење металних делова
- употреба воде за прање која садржи неовлашћену количину хлорида
- неправилно спајање различитих метала због чега се успостављају галвански елементи
- отпад од хране, разни воћни сокови и друге течности које потичу од посаде и путника.

а) Према механизму деловања, узроци корозије могу бити:

- физички узроци корозије су температура, светлост и механичка дејства
- хемијски узроци корозије су кисеоник из ваздуха, влага, киселине, лужине ...
- електрохемијски агенси су сви хемијски агенси код којих долази до стварања галванских елемената у траговима у присуству водених раствора електролита.
- биолошки узроци корозије су микроорганизми, гљивице, плесни, алге, инсекти итд.
- сложени патогени настају услед промена климе, тла, воде, услова рада и других не тако релевантних фактора.

б) Корозија у зависности од агресивног медија може даље бити:

- атмосферска, изазвана загађењем атмосфере и ваздуха,
- у земљишту узроковано водом, земљиштем и минералима земљишта,
- у води и воденим растворима.

ц) У односу на услове рада постоје и:

- корозија услед механичког напрезања, вибрација и корозионог замора,
- корозија изазвана лутајућим струјама.

д) У односу на процесни механизам:

- хемијска корозија
- електрохемијска корозија

Хемијска корозија (слика 3 и 4) настаје при деловању сувих гасова (ваздуха, продуката сагоревања горива) и течних неелектролита (нафта, бензин) на метале и представља хетерогене хемијске реакције течне или гасне средине са металима и легурама.

У гасовима и пари при потпуном одсуству кондензације водене паре на површини метала, обично на високим температурама, настаје гасна хемијска корозија метала (корозија пећи или мотора са унутрашњим сагоревањем, оксидација метала при термичкој обради).

У неелектролитима, односно растворима неорганских супстанци у органским растварачима и течностима органског порекла, одиграва се хемијска корозија метала у неелектролитима (корозија сребра у растворима јода у хлороформу или бакра у бензину).

Брзина и карактер процеса хемијске корозије метала зависе од многих фактора, који могу бити спољашњи и унутрашњи. Спољашњи фактори су повезани са саставом корозионе средине и условима корозије – температура, притисак, брзина кретања средине. Унутрашњи фактори су повезани са саставом и структуром метала, унутрашњим напрезањима у металу, карактером обраде површине метала.

Хемијска корозија метала и легура познаје се по промени спољњег изгледа метала и по образовању опне на површини метала.

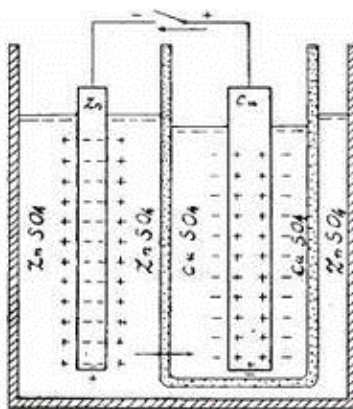
Хемијска корозија настаје када метал реагује са агресивним елементом из спољне средине при чему настаје ново једињење– производ корозије. То су најчешће оксиди, хлориди, фосфати, карбонати, или много сложенија једињења. Производи корозије могу да имају или заштитну улогу или да убрзају даљи процес корозије [5]. носу на геометријски облик уништавања корозије.



Слика 3.1 Пример хемијске корозије

Обрада површине метала веома утиче на брзину процеса корозије метала. Што је површина финије обрађена, отпорност према корозији је већа. То је јасно, пошто је боље обрађена површина практично мања. Материјали у којима су заостали извесни унутрашњи напони, услед топлоте прераде или ливења, више су склони корозији. Ови унутрашњи напони изазивају микропукотине на површини, које су врло погодне за развој интеркристалне корозије.

Електрохемијска корозија настаје услед електрохемијских процеса који се дешавају на граници метал-раствор, онда када метали долазе у контакт са растворима који добро проводе електрицитет (раствори електролита). Ради објашњења ове појаве узима се један галвански елемент, Данијелов елемент (слика 3.2).



Слика 3.2 Данијелов елемент

Овај елемент састоји се од бакарне плоче која је уроњена у раствор бакарног сулфата ($CuSO_4$) и плоче од цинка која је уроњена у раствор цинк-сулфата ($ZnSO_4$). Ови раствори су растављени зидом од порозне печене глине, који спречава да се раствори мешају, али не спречава да тече електрична струја. Споје ли се плоче од бакра и цинка жицом, струја ће почети да тече и то, ван раствора од бакра према цинку, а у раствору од цинка према бакру. При овоме ће се запазити да се цинк раствара, а да се бакар, односно јони бакра који се налазе у раствору бакарног сулфата таложе на бакарној плочи у облику метала. Растварање цинка објашњава се тиме што цинк шаље у раствор своје позитивне јоне, а задржава негативне електроне тако да постаје негативно наелектрисан. На бакру се таложе јони бакра из електролита примајући на себе негативне електроне из бакра, тако да

бакарна плоча постаје позитивно наелектрисана, а електролит негативно. Растварање цинка трајаће тако дуго док се притисак, који врше јони, који се налазе у раствору цинковог сулфата, не изједначи са притиском којим цинк шаље своје јоне у раствор. Овај је притисак, тзв. притисак растварања, код неких метала врло висок. Изражен у барима може да премаши милијарде бара (нпр. код цинка је 1027 бара). Метали код којих је овај притисак врло висок лако прелазе у јонски облик, тј. лако се растварају.

3.3 Видови корозије

Корозија се може манифестовати на разне начине. Према облику разарања метала, разликују се следећи облици корозије:

- општа
- локална
- селективна
- интеркристална
- корозија у зазорима
- напонска
- ерозиона
- водонична
- контактна корозија

Општа корозија се јавља у случајевима када корозиони процес захвата читаву површину метала. Разарање метала при општој корозији може бити равнометно или неравномерно. Равномерно разарање се одвија паралелно са површином метала. Ипак, микроскопски посматрано, површина метала је храпава, што значи да корозионо разарање није равномерно.

Општа корозија настаје код нелегираних метала и легура при чему елементи који улазе у састав легуре имају приближно исти потенцијал у електролиту у који су уроњени, а површина локалних анода су тако малих димензија да се не могу распознати голим оком. У таквим случајевима метал се може сматрати као електрода на којој истовремено теку анодне и катодне реакције. Корозиони потенцијал метала, на било којем делу површине одговара потенцијалу како анодне тако и катодне реакције. Овакво одвијање процеса корозије омогућује, у неким случајевима, образовање продукта корозије који има заштитна својства. [2]

Општа корозија је најмање опасна, јер се процес корозије може лако пратити и на време предвидети замена металног предмета новим. Конструкциони материјал је неупотребљив уколико велики део пресека метала кородира.

При овој корозији нагризање може да буде брзо или споро, а метал чист или покривен продуктом корозије. [2]

Брзина равномерне корозије се најчешће прати методом мерења губитка масе или смањења дебљине испитиваног узорка.

Локална корозија настаје при образовању одвојених корозионих спрегова који се могу распознати на површини метала по одвојеним анодним и катодним реакцијама. При локалној корозији растварање метала тече на једном месту, редукција агенса корозије на другом, а образовање продуката корозије на трећем месту. Због тога продукт корозије не може да штити метал од даље корозије.

За локалну корозију је карактеристично да је анодна површина знатно мања од катодне и да је од ње просторно одвојена, што условљава рад корозионог спрега при одређеној отпорности електролита.



Слика 3.3 Интеркристална корозија

Корозија у зазорима се најчешће одвија на местима додира конструкционих елемената, уколико се формира зазор величине 0,1 mm. У основи корозије у зазорима се налази појава диференцијалне аерације. У областима са већом концентрацијом кисеоника одвија се катодна реакција, а на местима са мањом концентрацијом кисеоника анодна реакција. Тако се услед отежаног приступа кисеоника челик унутар зазора убрзано анодно раствара. Такође услед хидролизе јона метала у зазорима се формира кисела средина, односно смањује се вредност рН, што додатно убрзава процес разарања метала. Овај вид корозије подлеже сличним законитостима као и питинг корозија. Што је већа електрична проводљивост електролита и већа катодна површина метала ван зазора, утолико је већа брзина растварања метала у зазору. Нерђајући челици са већим садржајем хрома, а нарочито молибдена, знатно су отпорнији према овом виду корозије. У случају аустенитних нерђајућих челика, коришћење додатних материјала од легура на бази никла знатно смањује осетљивост према корозији у зазорима.

Напонска корозија (слике 3.4 и 3.5) је процес током кога се одвија временски завистан раст прслине, када су испуњени неопходни електрохемијски, металуршки и механички услови. Средине које изазивају напонску корозију су обично водене и могу бити раствори или апсорбовани слојеви влаге. Напонска корозија се најчешће одвија под дејством специфичних јона који су присутни у корозионој средини. На пример, код месинга, напонску корозију која се традиционално назива сезонски лом, обично изазива присуство NH_4^+ јона. Хлоридни јони изазивају лом алуминијумских легура и нерђајућих челика.

Уопште напонска корозија се често одвија код метала који на површини образују заштитни филм у одређеној корозионој средини. То може бити пасивни филм, црни оксидни слој, или слојеви настали селективном корозијом. У већини случајева присуство површинских филмова утиче на смањење брзине опште равномерне корозије, па је испитивање напонске корозије метала отпорних према општој корозији од великог значаја. [2]



Слика 3.4 Напонска корозија

Напонска корозија обично започиње на местима дефеката (облика прслине), који настају при машинској обради, заваривању, итд. Такође може почети на површинским дефектима створеним у току процеса корозије, као што је питинг, интеркристална корозија итд. Питови могу да се образују приликом чишћења метала или при експлоатацији, нпр. на местима где укључци нарушавају хомогеност површине, као и на местима где Cl^- јони разарају заштитни пасивни филм.



Слика 3.5 Напонска корозија

Ерозиона корозија је повећано трошење метала које настаје при кретању корозионе средине дуж површине метала. Оштећење метала проузрокују електролити који се крећу великом брзином, који имају јаку турбуленцију и суспендоване чврсте честице. При ерозији долази до уклањања заштитног слоја, услед чега се чист метал излаже корозији. Оштећене површине су обично чисте, јер флуид односи продукте корозије који би у другим условима успорили разарање метала.

Водонична корозија се јавља на постројењима за хидрирање нафтних деривата и постројења за синтезу амонијака и угљоводоника, као и приликом неких електрохемијских процеса (нагризање и електрохемијска катодна обрада).

Корозију узрокује атомски водоник који због малих димензија лако продире у масу метала. Процес продирања водоника у метал састоји се од неколико фаза:

- адсорпције водоника на површини метала
- дисоцијације молекула водоника
- дифузије водоника.

Контактна корозија метала је појачана корозија метала при контакту са другим металима.

Контактна корозија настаје на опреми од разородних метала када је у контакту са електролитом или кондензатом водене паре. Ова корозија је најчешћа код лимова спојених закивком од другог метала и конструкција спојених заваривањем са електродом чији се потенцијал разликује од потенцијала метала који се спаја. Поред наведених двоелектродних система у пракси се сусрећу и вишеелектродни системи. Такав је случај и са системом за хлађење мотора водом, који се обично састоји од елемената од челика месинга, поцинкованог челика и легура алуминијума. [3]

На брзину контактне корозије утичу следећи фактори:

- разлика потенцијала
- отпорност електролита
- величина анодне и катодне површине.

3.4 Испитивање отпорности према корозији

Да би се установио степен отпорности метала према корозији примењује се низ начина испитивања. Поступак испитивања се одређује од случаја до случаја, у зависности од материјала који се испитује, од експлоатационих услова и од врсте амбијента у којем ће материјал радити. [4]

3.5 Мерење степена корозије

Степен корозије која је захватила неки материјал може да се вреднује на три различита начина: на основу промене масе предмета, на основу промене запремине и на бази промена механичких својстава узорка метала који је био подвргнут испитивању корозије.

- Промена масе

Израчунава се разлика између почетне масе узорка и крајње масе узорка, после обављеног испитивања корозије. Јединица мере разлике тих маса јесте грам по метру квадратном за један час испитивања ($g/(m^2 \cdot h)$).

Овај начин мерења се најчешће користи, али он није увек и потпуно прихватљив, јер на резултат мерења узорка после пробе корозије утичу и остаци продуката корозије заостали на површини узорка, пошто је њих тешко у целости одстранити.

➤ **Промена запремине**

Израчунава се пенетрација корозије (продирање у дубину) или проширење кородираних површина. Због неправилности облика и дебљине кородираних површина, овај начин мерења није нашао ширу примену, међутим, он ипак даје корисне показатеље у погледу брзине продирања корозије.

➤ **Промена механичких својстава**

Овај систем испитивања предвиђа да се на узроцима обави испитивање или више механичких испитивања пре и после излагања дејству корозионе средине. Овакав начин испитивања пружа можда и најкорисније показатеље, јер се често дешава да неки метал под дејством корозије покаже занемарљиве промене масе и запремине, али се зато установе значајне промене механичких особина. При томе треба још имати на уму чињеницу да се корозија у низу случајева манифестује као невидљива међукристална корозија. Тако, на пример, вредност линеарног издужења може осетно да опадне.

3.6 Примери мерења отпорности на корозију

3.6.1 Испитивање у сланој комори

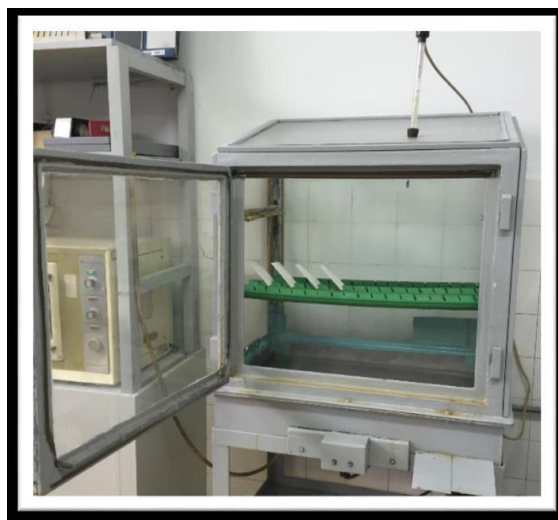
Испитивањима у сланој комори симулира се излагање морској атмосфери при чему се разређен раствор NaCl распршује у виду магле на испитиване узорке. Оцена корозијске постојаности премаза у односу на корозију и приоњивост, након 216 сати испитивања у сланој комори даје је таблицом. Корозија премаза је одређена сукладно норми N42AP 015. У питању је анализа 10 узорака, а захтев је без беле корозије 72h, а без црвене корозије 216 h. Један од најчешћих проблема са којим се често суочавају свеже цинковане конструкције свих врста је бела рђа (слика 3.6). Манифестује се као бела прашкаста наслага која се брзо формира под одређеним условима. [5]



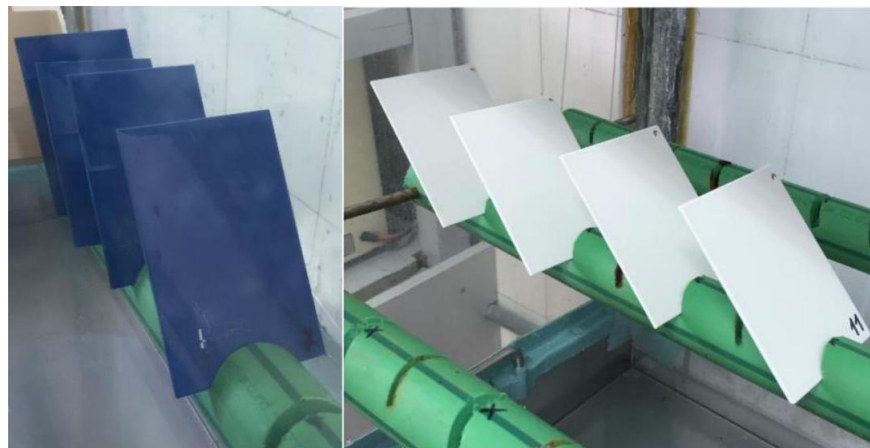
Слика 3.6 Пример беле рђе[5]

3.6.2 Испитивање у влажној комори

Испитивање у влажној комори симулира се понашањем материјала у влажној и топлој атмосфери уз кондензовање воде. Испитивање се врши према норми ISO 6270-2 (слика 3.8) у сврху препознавања грешака антикорозивне заштите у таквим срединама. Влажна комора (слика 3.7) има подни лим од олова за прихват воде чијим се загревањем подешава простор за испитивање. Температура код овог испитивања износи 40 ± 3 °C са релативном влажношћу ваздуха од око 100%. На слици (слика 3.8) су приказани узорци у влажној комори током испитивања.



Слика 3.7 Влажна комора[5]



Слика 3.8 Приказ узорка у влажној комори[5]

Након 5 дана испитивања у влажној комори, узорци се ваде из коморе и упоређују се са узорцима који су приказани у норми ISO 6270-2. Након 120 h испитивања, на свим узорцима са текућим премазом долази до појаве мехура (бубрења премаза), равномерно распоређених по површини. Према добијеним резултатима може се закључити да коришћени премаз није добра заштита од корозије у влажној и топлој околини.

3.6.3 Испитивање ураћањем

Ово испитивање је у складу са нормом ASTM G44 у трајању од 42 дана. Приликом испитивања су узорци држани уроњени 10 минута у води, односно 5%-тни водени раствор NaCl, а 50 минута су се сушили на слободној атмосфери. Циклус се непрекидно понављао 24 сата за време целог периода испитивања. Сама метода је широко примењива и даје добре резултате у погледу процене отпорности антикорозивне заштите у променљивим временским условима. [6]

За испитивање су коришћени следећи узорци:

- ❖ узорци ураћани у техничкој води:
 1. алуминијумски узорак са водорастворљивим премазом,
 2. поцинковани челични узорак са водорастворљивим премазом,
 3. алуминијумски узорак са премазом на бази раствора,
 4. поцинковани челични узорак са премазом на бази раствора.
- ❖ узорци ураћани у 5%-тни водени раствор NaCl:
 1. алуминијумски узорак са водорастворљивим премазом,
 2. поцинковани челични узорак са водорастворљивим премазом,
 3. алуминијумски узорак са премазом на бази раствора,
 4. поцинковани челични узорак са премазом на бази раствора.

На слици 3.9 су алуминијумски и челични узорци на почетку испитивања. На слици 3.10 су алуминијумски и челични узорци након 35 дана када се јавила појава јачег бубрења на челичном, као и појава мехура на алуминијумском узорку. На слици 28 су алуминијумски и челични узорци на крају испитивања.



Слика 3.9 Челични и алуминијумски узорак на почетку испитивања[6]

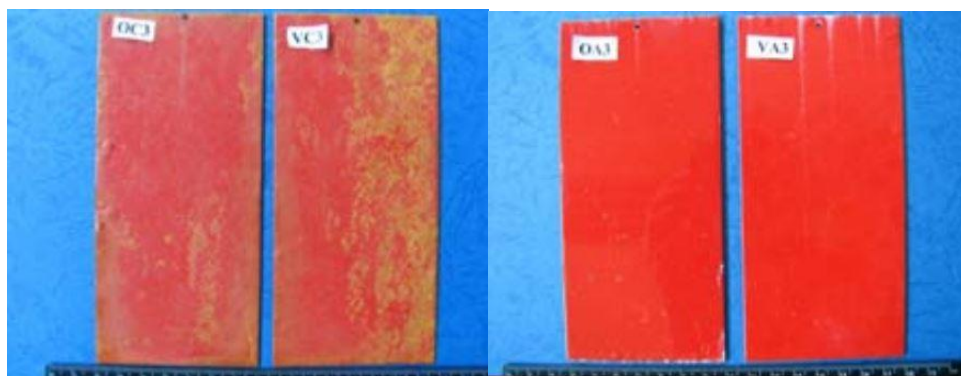


а)



б)

Слика 3.10 а) појава бубрења на челичном узорку након 35 дана уроњен у 5%-тни водени раствор NaCl; б) појава мехура на алуминијумском узорку након 35 дана уроњен у 5%-тни водени раствор NaCl [6]



а)

б)

Слика 3.11 а) изглед узорка на крају испитивања у 5%-тном воденом раствору NaCl б) изглед узорка на крају испитивања у техничкој води[6]

Алуминијумски и поцинковани узорци уроњени у техничку воду нису показали никакву промену током испитивања. На алуминијумским и поцинкованим узорцима уроњеним у 5

%-тни раствор NaCl дошло је до подједнаког бубрења, али бубрење је нешто интензивније на поцинкованим узорцима.

4. Анализа утицаја различитих стања површине на развој корозије

Обрада површине метала веома утиче на брзину процеса корозије метала. Што је површина финије обрађена, отпорност према корозији је већа. То је јасно, пошто је боље обрађена површина практично мања. Материјали у којима су заостали извесни унутрашњи напони, услед топлоте прераде или ливења, више су склони корозији. Ови унутрашњи напони изазивају микропукотине на површини, које су врло погодне за развој интеркристалне корозије.

4.1.1 Оцена корозије и корозијске постојаности

4.1.2 Класификација испитивања

Теоријски није могуће ни у једноставним случајевима поуздано одредити брзину и механизам процеса корозије. Због тога су неопходна експериментална испитивања отпорности материјала према корозији. У пракси се користи велики број разноврсних метала и легура у различитим условима, па је развијено више различитих метода за испитивање и оцену њихове отпорности према корозији.

Настале промене услед дејства корозије се оцењују:

- визуелно,
- на основу промене масе и димензије,
- према уделу површине захваћене корозијом,
- металографском анализом структуре и вида разарања,
- утврђивањем промене механичких, физичких и експлоатацијских особина.

Да би метода могла да се користе за оцену и добијање упоредивих резултата мора бити изведена према утврђеним условима. Ако при испитивању дође до одступања, она се морају навести. Испитивања корозије се по правилу изводе као упоредна, тј. испитивани материјал или корозијска средина и агенси корозије се упоређују са датим условима испитивања. Није искључено, чак се и препоручује примена референтних узорака или референтних раствора, чије је понашање у пракси познато. Пре сваког испитивања је важно да се одреде прави циљеви испитивања, и да се према томе изврши избор најпогоднијих метода за оцену оштећења од корозије. Сврха испитивања било којом методом је решавање низа практичних проблема, који се јављају када се ради о:

- правилном избору материјала, који је по својој отпорности према корозији најбољи у датим условима експлоатације,
- замени скупог и дефицитарног материјала јефтинијим и мање дефицитарним, а са довољном отпорношћу према корозији,
- правилном избору заштите од корозије,

- испитивању начина обраде и израде елемената,
- оцени квалитета примењеног система заштите,
- дијагностици оштећене опреме,
- агресивности неке средине.

За једноставно распознавање промена због дејства агенса корозије довољан је визуелни опис промена на површини метала, тј. квалитативни приказ нађених промена. Међутим, за откривање узрока корозије и прописивање адекватног поступка заштите, неопходно је поред квалитативних имати и квантитативне показатеље, исказане мерним величинама, које су пропорционалне брзини корозије тј. напредовању процеса корозије са временом.

4.1.3 Показатељи брзине корозије

Брзина корозије је један од основних параметара који показује корозијску стабилност метала и битан је фактор који се узима у обзир при доношењу одлуке о његовој примени у одређеној средини. Најчешће се изражава променом масе, дебљине, механичких и физичких особина, или каду су у питању електрохемијске методе, густином струје корозије.

Брзина корозије исказана преко губитка масе метала или легуре, израчунава се на основу израза:

$$\Delta m = m_1 - m_2 / At$$

где је: Δm (g/m²h)—губитак масе метала; m_1 (g)—маса метала пре корозије; m_2 (g)—маса метала после корозије; A (m²)—површина метала; t (h)—време развоја корозије.

Ако се зна састав издвојених продуката корозије за израчунавање брзине корозије користи се израз:

$$\Delta m = n(m_1 - m_2) / At$$

где је: n —коэффициент за прерачунавање продуката корозије у масу метала.

Уколико приликом испитивања корозије долази до ослобађања гаса или се пак гас троши по јединици површине метала, брзина корозије се израчунава на основу израза:

$$K_{zapr} = V_0 / At$$

где је: K_{zapr} (cm³ cm⁻² h⁻¹)—корозија метала; V_0 (cm³)—запремина гаса ослобођеног или утрошеног при корозији јединице површине метала, сведена на нормалне услове.

Када су оштећења настала корозијом равномерна почитавој површини испитног узорка, брзина корозије се може израчунати и као смањење дебљине, d (mm/god), у одређеном временском интервалу, преко израза:

$$d = \Delta m / A \rho t$$

где је: ρ (gcm⁻³)—густина метала.

Једначине од 1 до 4 се примењују само када се ради о равномерној корозији. За друге облике (неравномерна, интеркристална и транскристална корозија), показатељи корозије се изражавају преко промене механичких и физичких особина:

$$K_{\sigma} = \sigma_0 - \sigma_1/\sigma_0 \cdot 100\%$$

$$K_R = R_0 - R_1/R_0 \cdot 100\%, \text{ за време } t,$$

где је: K_{σ} —показатељ корозије преко промене чврстоће метала; σ/σ_1 (МПа)—чврстоћа метала пре и после испитивања корозије; K_R —показатељ корозије метала преко промене електричне отпорности метала; R_0, R_1 (Ω)—електрична отпорност метала пре и после испитивања.

Брзина корозије се може одредити и на основу густине струје корозије одређене електрохемијском методом, која се преко Фарадејевог закона користи за одређивање смањења дебљине, на основу израза:

$$V = 3,267 M \cdot j_{\text{kor}}/n \cdot \rho$$

где је: V (mm/god)—брзина корозије; j_{kor} (mAcm⁻²)—густина струје корозије;

M (gmol⁻¹)—моларна маса метала или еквивалентна маса легуре; ρ (gcm⁻³)—густина метала; n —број измењених електрона по једном одигравању пуне реакције.

Дубина и облик оштећења, појава прелина и њихова димензија одређују се металографским испитивањем.

На основу одређене брзине корозије могу се испитивани материјали разврстати према хемијској постојаности и могућој примени у условима корозије (таб. 4.1 и 4.2)

Ocena hemijske postojanosti	Metali i legure	
	Brzina korozije (mm/god)	Primena
vrlo postojan	< 0,1	bilo koja mašina i aparat
postojan	0,1 – 1,0	jednostavne konstrukcije
relativno postojan	1,0 – 3,0	zamenljivi delovi
nepostojan	> 3,0	često zamenljivi delovi

Табела 4.1 Брзина корозије метала и оцена њихове постојаности

Grupa otpornosti	Brzina korozije (mm/god)	Bal
Savršeno otporan	< 0,001	1
Vrlo otporan	0,001 – 0,005	2
	0,005 – 0,01	3
Otporan	0,01 – 0,05	4
	0,05 – 0,1*	5
Umereno otporan	0,1 – 0,5	6
	0,5 – 1,0**	7
Malo otporan	1,0 – 5,0***	8
	5,0 – 10,0****	9
Neotporan	10	10
* od bala 1 do 5 za primenu kod bilo koje aparature i mašine ** od bala 6 do 7 za primenu kod uređaja jednostavne konstrukcije *** metali bala 8 za primenu kod uređaja i delova koji se menjaju **** od bala 9 do 10 za primenu kod uređaja čiji se delovi često menjaju		

Табела 4.2 Десетобална скала отпорности према корозији

У наредном делу овог поглавља приказани су резултати истраживања утицаја стања површине предмета на развој корозије.

4.1 Примери анализа

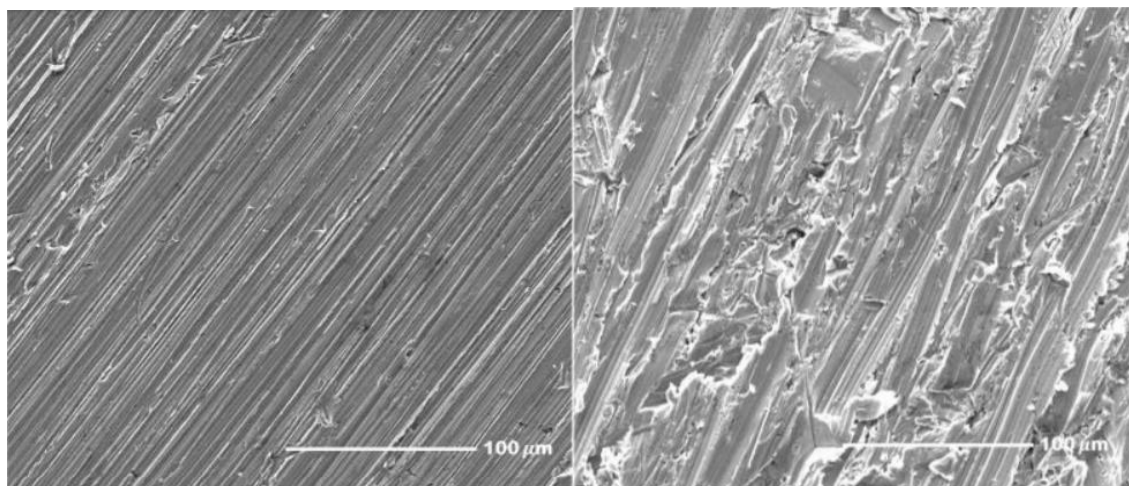
4.2.1 Први пример [7]

У оквиру примера 1 испитиван је утицај храпавости површине на понашање корозије чистог гвожђа у киселим растворима (хлороводонична и сумпорна киселина) у одсуству и присуству јона молибдена.[7] За ово испитивање коришћене су технике поларизације, спектроскопија електрохемијске импедансе и скенирајућа електронска микроскопија. Резултати су показали да повећана храпавост површине и присуство јона молибдена штетно утичу на отпорност на корозију чистог гвожђа у киселим растворима. Док је општа корозија примећена код потенцијала отвореног круга, кристалографске јаме су примећене под анодном поларизацијом у растворима хлороводоничне киселине.

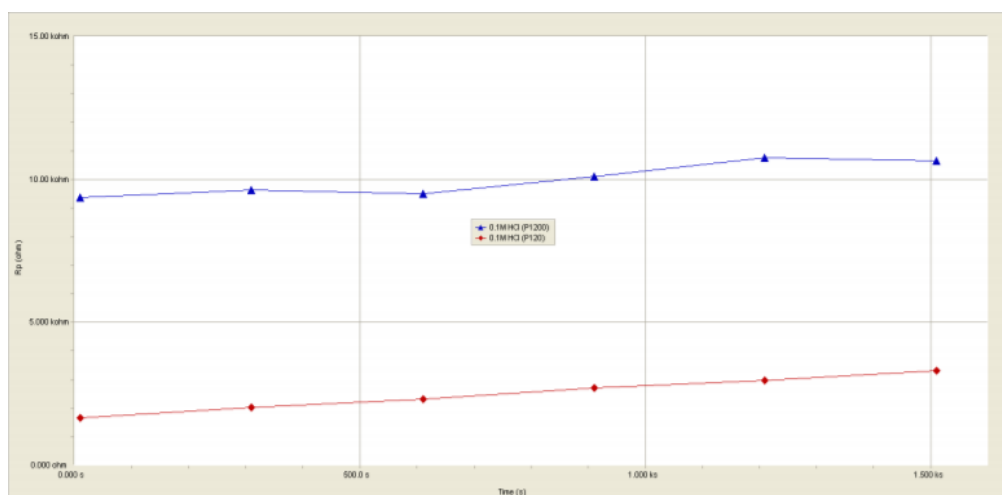
Комерцијални Fe (99,99+%) је тестиран у 0,1 МН₂SO₄ и у 0,1 МНCl растворима у одсуству и присуству МоО₄²⁻ на 22 °C ± 1 °C. Fe штап, пречника 2 mm, обложен је епоксидом, али је површина попречног пресека (0,0314 cm²) била изложена раствору за испитивање. Узорак је полиран влажним брусним папиром P120 како би се одржала релативно груба површина. Алтернативно, узорак је полиран влажним брусним папиром P120, а затим P280, P400, P800, и на крају са P1200 како би се одржао релативно глатка површина. Узорак је очишћен дестилованом водом и смештен у ћелију са 3 електроде са платином (Pt) као контра електродом и засићеном Ag/AgCl електродом као референтном електродом. Стандардне технике корозије укључују потенцијал отвореног круга у односу на време (ОСР насупрот t), отпор поларизације у односу на време (R_p насупрот t), потенциодинамичку поларизацију, потенциостатичку поларизацију и мерења електрохемијске импедансе спектроскопије (EIS)

Сprovedена су различита мерења потенциодинамичке поларизације: (1) један сет мерења потенциодинамичке поларизације покренут је на -250 mV наспрам потенцијала корозије (E_c) до $+250\text{ mV}$, користећи брзину скенирања од $0,167\text{ mV s}^{-1}$. Друго мерење поларизације је започето на $+250\text{ mV}$ наспрам E_c до $+750\text{ mV}$, користећи брзину скенирања од $0,1\text{ mV s}^{-1}$. Мерења R_p наспрам t изведена су брзином скенирања од $0,1\text{ mV s}^{-1}$ са експериментима изведеним на $\pm 10\text{ mV}$ наспрам E_c . Шест тачака података прикупљено је по R_p у односу на t експеримент. Сваки сет од две тачке одвојен је временским интервалом од 5 минута. Потенциостатски експерименти су изведени у $0,1\text{ M HCl}$ и у $0,1\text{ M HCl} + 0,01\text{ M Na}_2\text{MoO}_4$ са примењеним потенцијалом од око $+1000\text{ mV}$ изнад E_c . Примењени потенцијал је довољно висок да би се омогућило појављивање јаме. Нису спроведени потенциостатски експерименти у $0,1\text{ M}$ раствору H_2CO_4 , јер раствор не изазива јаме. EIS експерименти су изведени применом потенцијала наизменичне струје (AC) од 10 mV са фреквенцијама у распону од $0,005$ до $100\,000\text{ Hz}$. Магнетно мешање константном брзином је одржано у свим експериментима. Сваки експеримент започео је праћењем ОСП током 1 сата, а затим R_p наспрам t , EIS, и на крају потенциостатичким или потенциодинамичким мерењима поларизације. Раствор је прочишћен гасом азота високе чистоће током експеримента. Подаци су прикупљени аутоматски уз помоћ потенциостата / галванстата (Gamry G750). Све анализе података и екстраполације извршене су помоћу софтвера Гамри за корозију. У просеку су спроведена три независна експеримента за све узорке. Морфологија површине узорака испитана је помоћу скенирајуће електронске микроскопије (SEM). Узорци су очишћени у ултразвучној купки неколико минута пре SEM прегледа. [7]

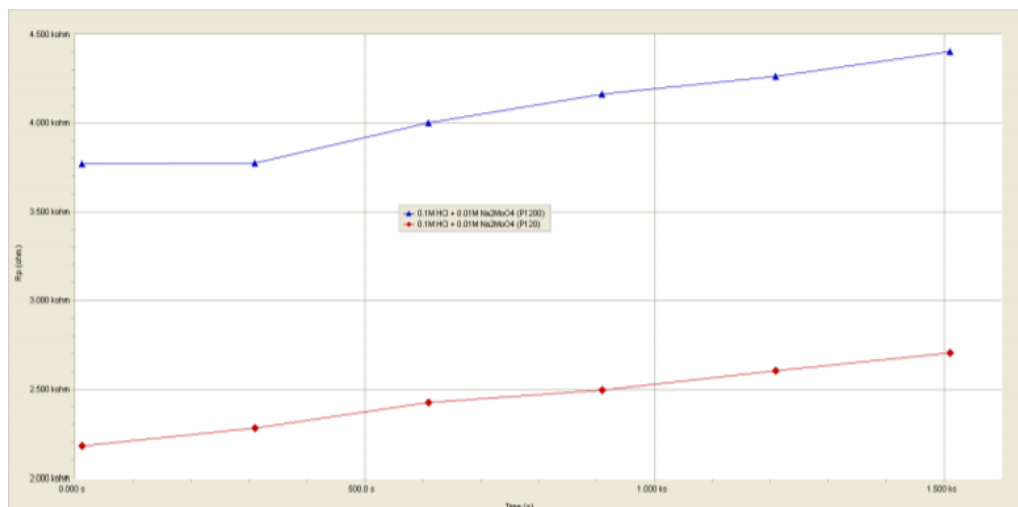
Слика 4.3 (а, б) даје SEM микрофотографије полиране глатке (P1200) и храпаве (P120) површине. Слика 4.3 (а, б) приказује R_p наспрам t за Fe тестиран у $0,1\text{ M HCl}$ и $0,1\text{ M HCl} + 0,01\text{ M Na}_2\text{MoO}_4$ у функцији храпавости површине. Обе слике показују ниже вредности R_p за храпаву насупротив глатке површине. Даље, када се упоређују две фигуре, присуство MoO_4^{2-} смањило је узорке вредности R_p са истом храпавошћу површине. Густина струје корозије, која представља брзину корозије, дата је добро познатом формулом $i_c = B / R_p$ у којој је B константа представљена са $B = \beta_a \beta_c / [(\beta_a + \beta_c)]$ у којој су β_a и β_c су анодни и катодни Тафелов нагиб екстраполирани из поларизационих кривих. Отуда је присуство MoO_4^{2-} изазвало повећање брзине корозије.



Слика 4.3 (а) SEM микрофотографија полиране површине Fe са глатком завршном обрадом, Слика 4.3 (б) SEM микрофотографија полиране површине Fe са грубом завршном обрадом[7]

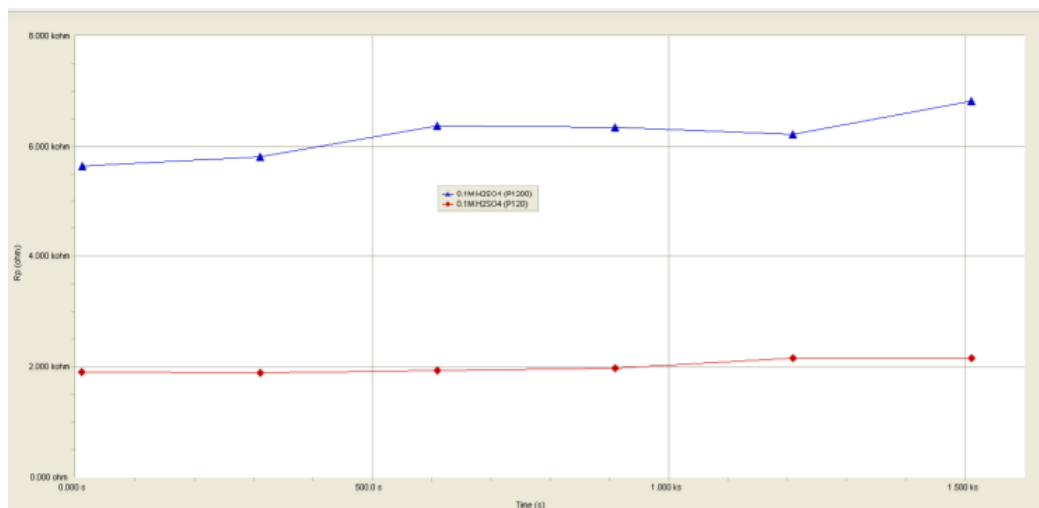


Слика 4.4а R_p наспрам t мерења Fe испитиваних у 0,1 М HCl у функцији храпавости површине[7]

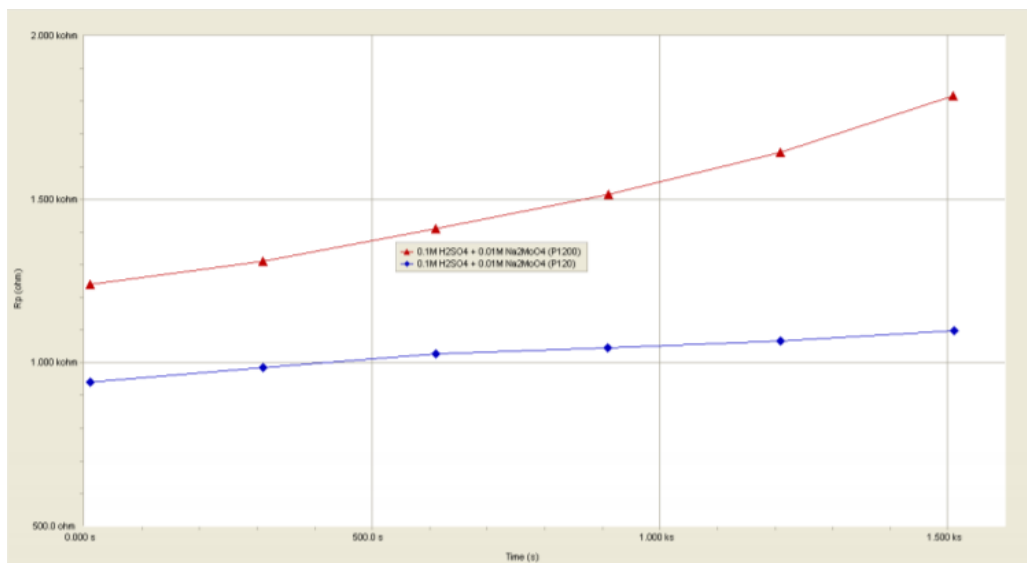


Слика 4.4б R_p наспрам t мерења Fe испитиваних у $0,1\text{ M HCl} + 0,01\text{ M Na}_2\text{MoO}_4$ у функцији храпавости површине. [7]

На слици 4.5 (а, б) приказан је R_p наспрам t за Fe тестиран и у $0,1\text{ M H}_2\text{SO}_4$ и у $0,1\text{ M H}_2\text{SO}_4 + 0,01\text{ M Na}_2\text{MoO}_4$ у функцији храпавости површине. Корозијско понашање Fe у овим растворима прати исти тренд као Fe у растворима HCl . Смањење вредности R_p у присуству MoO_4^{2-} не би требало да чуди, јер је забележено слично понашање за нерђајући челик 304 у присуству хлоридних јона.



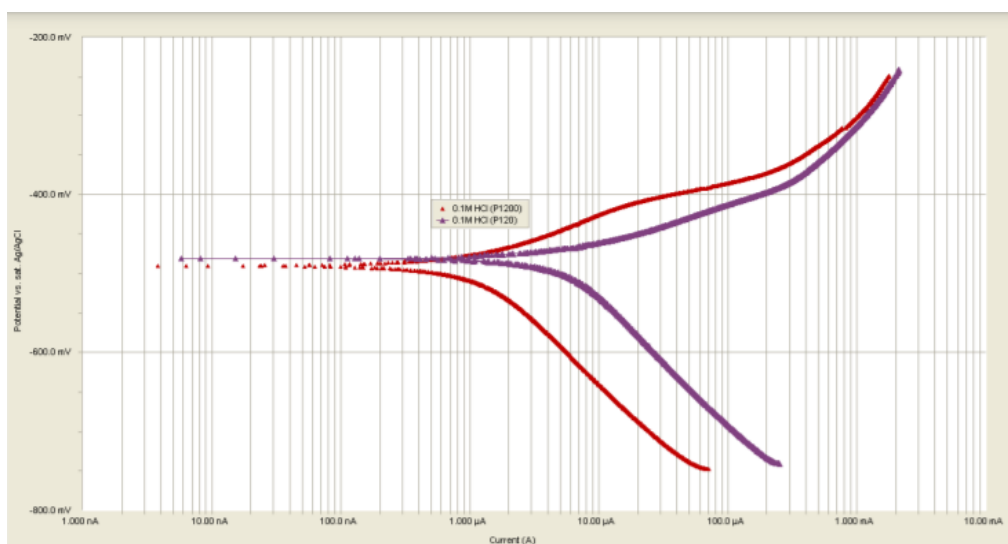
Слика 4.5а R_p наспрам t мерења Fe испитиваних у $0,1\text{ M Na}_2\text{MoO}_4$ у функцији храпавости површине [7]



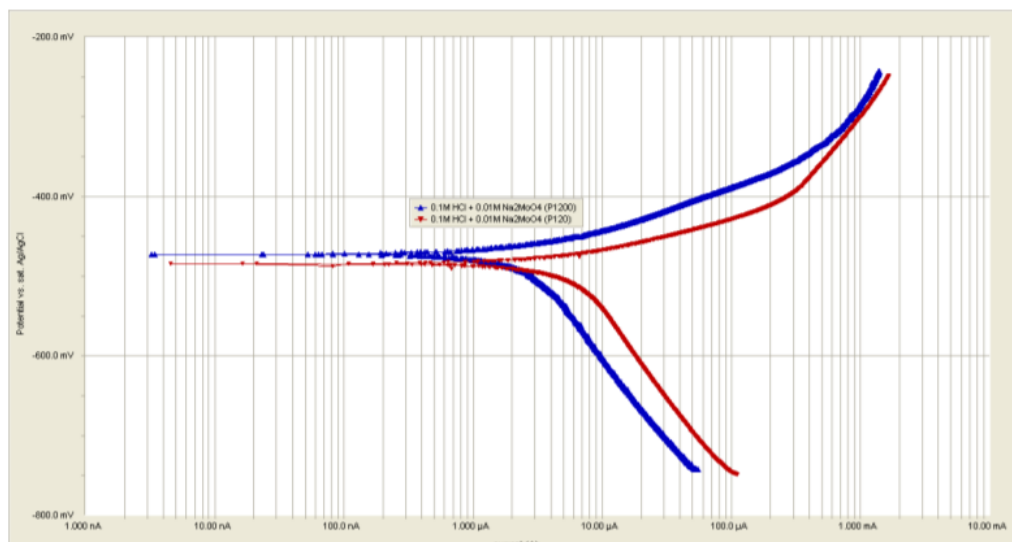
Слика 4.5б R_p наспрам t мерења Fe испитиваних у $0,1\text{ M H}_2\text{SO}_4 + 0,01\text{ M Na}_2\text{MoO}_4$ у функцији храпавости површине[7]

На слици 4.6 (а, б) приказане су криве потенциодинамичке поларизације за Fe у $0,1\text{ M HCl}$ и у $0,1\text{ M HCl} + 0,01\text{ M Na}_2\text{MoO}_4$ у зависности од храпавости површине. Слика 4.6 (а, б) приказује сличне криве потенциодинамичке поларизације за Fe у $0,1\text{ M H}_2\text{SO}_4$ и Fe у $0,1\text{ M H}_2\text{SO}_4 + 0,01\text{ M Na}_2\text{MoO}_4$, у зависности од храпавости површине. Потенцијал корозије, E_c , и густине струје корозије, i_c , екстраполиране из поларизационих кривих, приказани су у Табели 4.1 заједно са вредностима R_p добијеним мерењима R_p наспрам t . Подаци добро корелирају; што је већи R_p , нижи је лед. Промена% R_p израчунава се помоћу једначине:

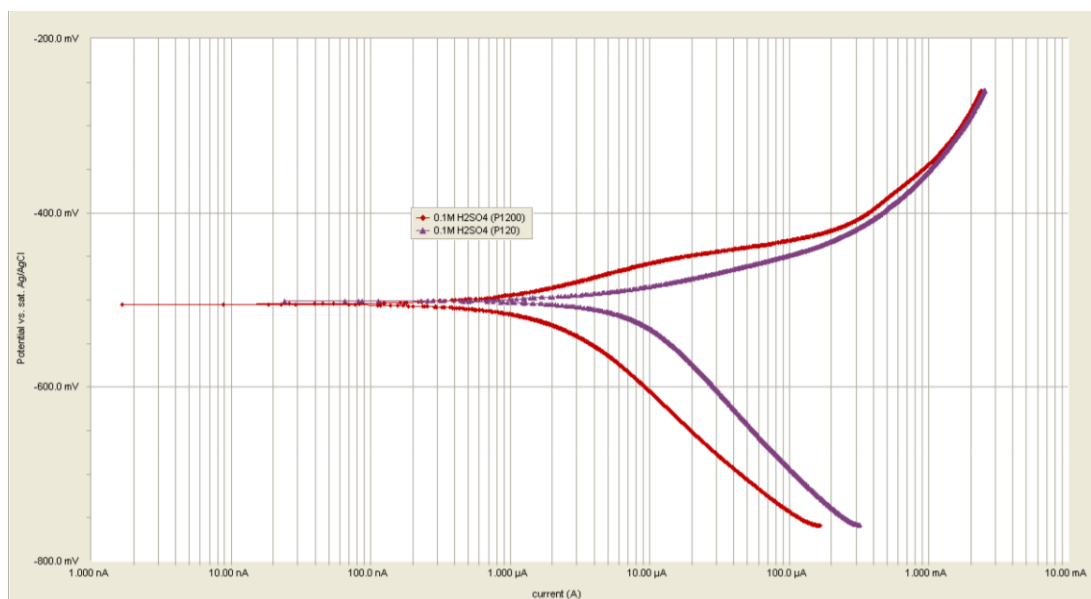
$$\% R_p \text{ промене} = (R_p[\text{глатко}] - R_p[\text{грубо}]) / R_p[\text{грубо}] \times 100\%$$



Слика 4.6 а Криве потенциодинамичке поларизације Fe у $0,1\text{ M HCl}$ у функцији храпавости површине[7]

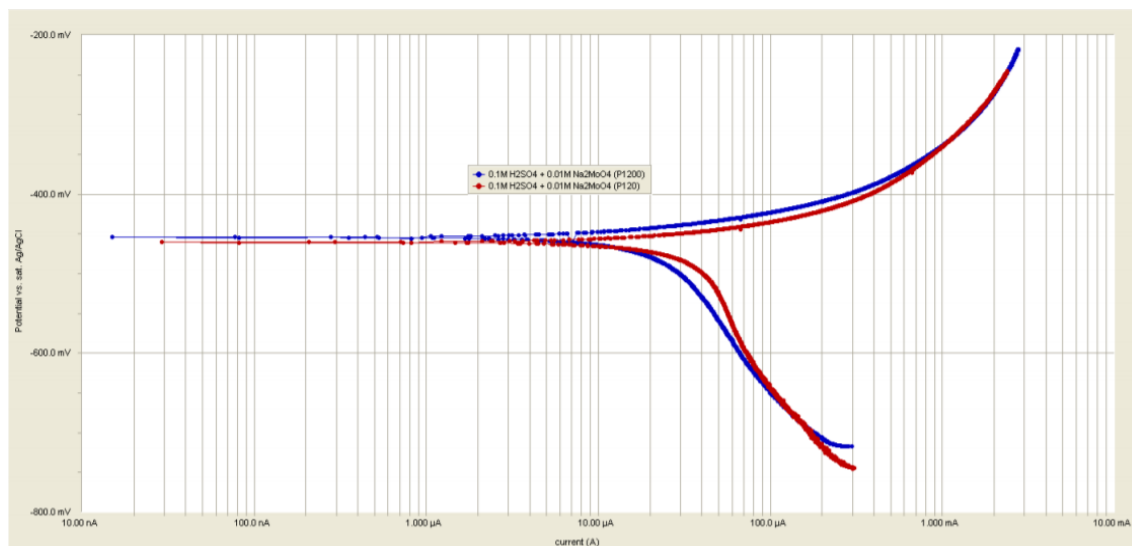


Слика 4.6б Криве потенциодинамичке поларизације Fe у 0,1 М HCl + 0,01 М Na₂MoO₄ у функцији храпавости површине[7]



Слика 4.7а Криве потенциодинамичке поларизације Fe у 0,1 М H₂SO₄ у функцији храпавости површине[7]

Да би се даље истражило понашање корозије Fe у два раствора, спроведена су EIS мерења. Никуист-ови графикони Fe у 0,1 М HCl и у 0,1 М H₂SO₄ дати су на сликама 4.6 (а, б), односно 4.7 (а, б). Преглед слика 4.7 и 4.8 показује постојање удубљених појединачних полукругова различитих пречника и степена депресије. Појединачни полукруг представља процес преноса једног наелектрисања, док удубљени полукруг приказује храпавост површине или нехомогеност. Вредност R_p се може проценити из пречника полукруга.



Слика 4.7(б) Крива потенциодинамичке поларизације Fe у 0,1 M H_2SO_4 + 0,01 M Na_2MoO_4 у функцији храпавости површине[7]

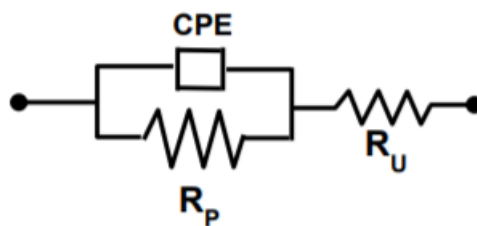
Табела 4.1: Електрохемијски параметри Fe у 0,1 M H_2SO_4 и 0,1 M HCl у функцији храпавости површине у одсуству и присуству MoO_4^{2-}

Solution	E_c (mV)	R_p ($\Omega\text{ cm}^2$)	i_c ($\mu\text{A cm}^{-2}$)	% R_p change with roughness
0.1 M H_2SO_4 (P1200)	-503 ± 3.2	169.9 ± 55.5	44.5 ± 2.3	+178
0.1 M H_2SO_4 (P120)	-502 ± 2.2	61.1 ± 13.6	203.7 ± 37.2	-
0.1 M H_2SO_4 + 0.01M Na_2MoO_4 (P1200)	-475 ± 18.8	34.7 ± 5.5	865.2 ± 156.8	+4.8
0.1 M H_2SO_4 + 0.01M Na_2MoO_4 (P120)	-460 ± 9.0	33.1 ± 6.5	1420.4 ± 631	-
0.1 M HCl (P1200)	-500 ± 8.72	394.3 ± 81.2	61.9 ± 15.6	+474.8
0.1 M HCl (P120)	-482 ± 5.77	68.6 ± 10.6	142.5 ± 41.8	-
0.1 M HCl + 0.01 M Na_2MoO_4 (P1200)	-467 ± 8.5	138.1 ± 75.2	118.8 ± 25.5	+117.1
0.1 M HCl + 0.01 M Na_2MoO_4 (P120)	-479 ± 8.5	63.6 ± 18.0	182.6 ± 38.8	-

Преглед слика 4.6 и 4.7 јасно открива да глатке површине приказују веће пречнике (већа импеданса) и последично веће вредности R_p у поређењу са храпавим површинама. Табела 2 приказује EIS параметре израчунате помоћу кола са константним фазним елементом (CPE) који се користи за уклањање нукуист-ових цртежа на сликама 4.6 и 4.7. CPE коло је приказано на слици 4.8. R_p подаци из EIS-а, наведени су у табели 4.2, углавном следе исти тренд као и они из R_p наспрам t мерења и забележени су у табели 4.1.

CPE је дефинисан једначином: $Z(\text{CPE}) = Y_0^{-1} (j\omega)^{-\alpha}$

у којој је Y_0 CPE константа, ω је угаона фреквенција у рад s^{-1} , $j^2 = -1$ имагинарни број, а α је CPE експонент.



Слика 4.8 Еквивалентно коло се користи за уклапање EIS података. (CPE је елемент константне фазе, R_p отпор поларизације и R_u отпор раствора)

Физичка интерпретација CPE зависи од вредности α . CPE представља отпор ($Z[\text{CPE}] = R$, $\alpha = 0$), капацитет ($Z[\text{CPE}] = C$, $\alpha = 1$), индуктивитет ($Z[\text{CPE}] = L$, $\alpha = -1$) или Варбург импедансу за ($\alpha = 0,5$). CPE се сматра кондензатором када су вредности $\alpha \geq 0,8$. У тренутној

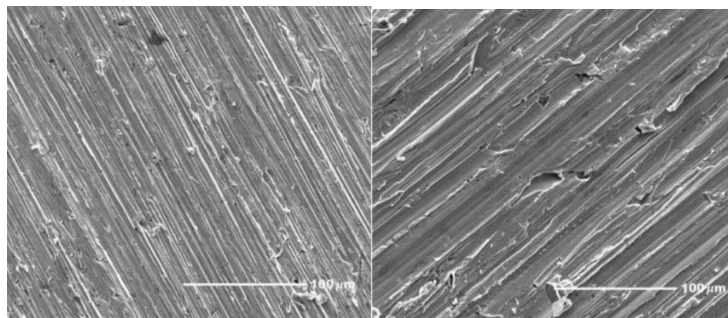
студији вредности α се крећу од око 0,70 до 0,86. Одступање од идеалног кондензатора ($\alpha = 1$) може се приписати хетерогености и храпавости. Вредности α у табели 2 показују веће вредности α за глатку површину уместо за храпаву површину и веће вредности α у растворима H_2SO_4 , а не у растворима HCl . Ниже вредности α у растворима HCl могу се приписати агресивној природи HCl , за коју је познато да узрокује локализовану корозију. [7]

Табела 4.2: Параметри електрохемијске импедансе Fe у 0,1 M HCl и 0,1 M H_2SO_4 у функцији храпавости површине у одсуству и присуству MoO_4^{2-} .

Solution	$R_p (\Omega \text{ cm}^2)$	$R_u (\Omega \text{ cm}^2)$	$Y_0 (\Omega^{-1} \text{ cm}^{-2} \text{ s}^{\alpha})$	α	% R_p change with roughness
0.1 M H_2SO_4 (P1200)	248.47 ± 1.30	1.69 ± 0.0127	$1.67 \times 10^{-4} \pm 3.0 \times 10^{-6}$	0.857	+253.5%
0.1 M H_2SO_4 (P120)	70.08 ± 0.362	1.65 ± 0.0115	$3.86 \times 10^{-4} \pm 8.98 \times 10^{-6}$	0.840	-
0.1 M H_2SO_4 + 0.01M Na_2MoO_4 (P1200)	31.58 ± 0.164	2.103 ± 0.0144	$3.18 \times 10^{-4} \pm 1.37 \times 10^{-5}$	0.837	-33.88%
0.1 M H_2SO_4 + 0.01M Na_2MoO_4 (P120)	47.76 ± 0.276	2.040 ± 0.0131	$1.19 \times 10^{-3} \pm 2.84 \times 10^{-5}$	0.780	-
0.1 M HCl (P1200)	285.20 ± 1.57	2.032 ± 0.0159	$2.64 \times 10^{-5} \pm 4.50 \times 10^{-6}$	0.789	+298.5%
0.1 M HCl (P120)	71.561 ± 0.464	1.761 ± 0.0121	$2.40 \times 10^{-3} \pm 4.34 \times 10^{-5}$	0.697	-
0.1 M HCl + 0.01M Na_2MoO_4 (P1200)	173.59 ± 1.075	3.319 ± 0.0219	$8.38 \times 10^{-4} \pm 1.47 \times 10^{-5}$	0.746	+81.2%
0.1 M HCl + 0.01M Na_2MoO_4 (P120)	95.80 ± 0.599	3.033 ± 0.0188	$1.37 \times 10^{-3} \pm 2.64 \times 10^{-5}$	0.754	-

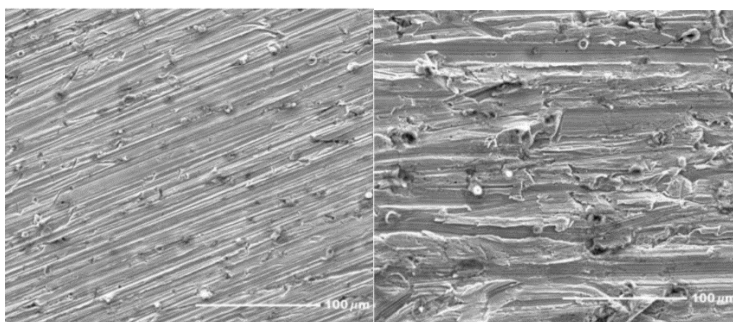
На слици 4.9 приказане су површинске морфологије површина Fe у 0,1 M раствору HCl под различитим условима. Слика 4.9 (а-д) приказује морфологије површине Fe у 0,1 M HCl

било у одсуству и присуству MoO_4^{2-} у ОСР. Примећена је само општа корозија без знакова локализоване (питтинг) корозије. Јаме су се појавиле када је Fe анодно поларизована до високог потенцијала (1000 mV изнад E_c), као што је приказано на слици 4.15 (е – х). Преглед микрофотографија показује да јаме имају насумичну дистрибуцију. Штавише, јаме су дубоке и кристалографске.



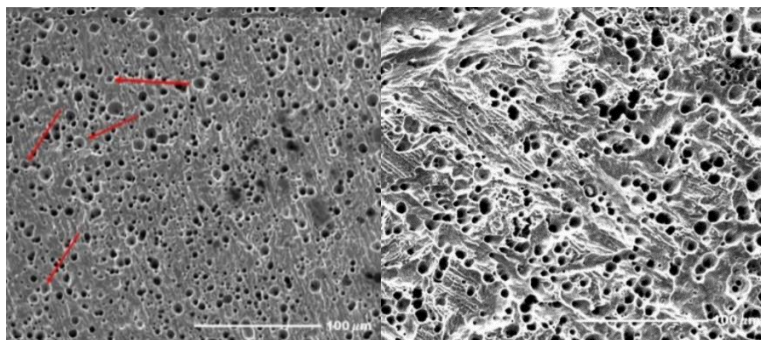
Слика 4.9(а)

Слика 4.9(б)



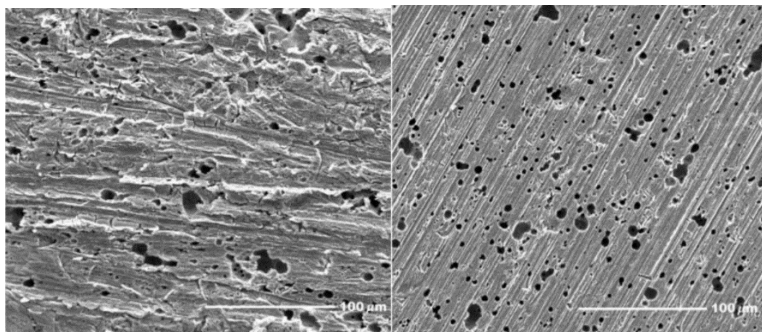
Слика 4.9(ц)

Слика 4.9(д)



Слика 4.9(е)

Слика 4.9(ф)



Слика 4.9(z)

Слика 4.9(x)

Стрелице на слици показују на неке од кристалографских јама. Присуство MoO_4^{2-} није елиминисало корозију повезану са јамицама. То би се могло приписати релативно високом анодном потенцијалу. Међутим, чини се да мења морфологију, величину и број јама када су јаме прекривене корозијским производима

На основу спроведеног експеримента закључујем следеће:

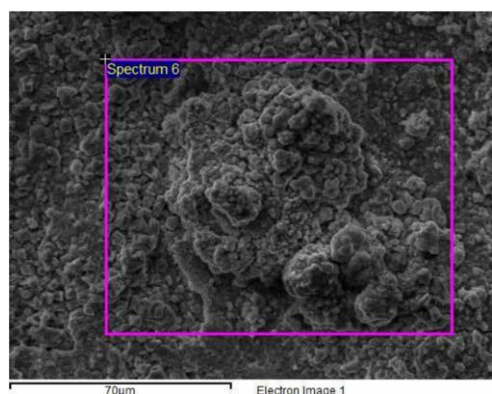
- Стопа корозије Fe се повећава са повећањем храпавости површине у 0,1 М HCl и у 0,1 М H_2SO_4 и у одсуству и у присуству MoO_4^{2-}
- Ефекти површинске храпавости на брзину корозије Fe очигледнији су у 0,1 М HCl него у 0,1 М растворима H_2SO_4
- Присуство MoO_4^{2-} повећава брзину корозије Fe у 0,1 М HCl и 0,1 М H_2SO_4
- Стабилне јаме настају под високом анодном поларизацијом 0,1 М HCl у одсуству и присуству MoO_4^{2-}
- Јаме су насумично распоређене и изгледају кристалографски
- Чини се да храпавост површине утиче на природу двоструког слоја на шта указује његов утицај на вредност α
- Може се сматрати да CPE делује као кондензатор у H_2SO_4 , али не и у HCl

4.2.2 Други пример [8]

Овај рад представља утицај површинске храпавости на понашање корозије легура IN718 у симулираном морском окружењу гасно-турбинског мотора, на 600 °C. Узорци различите храпавости премазане су соли 1S (100 wt% NaCl) и смешама соли 2SM (60 wt% Na_2SO_4 + 40 wt% V_2O_5) и 3SM (75 wt% Na_2SO_4 + 15 wt% NaCl + 10 wt% V_2O_5) и изложени на 600 °C у ваздуху до 100 сати. Производи корозије су окарактерисани употребом XRD, SEM/EDS и EPMA. Кинетика корозије показала је да је брзина корозије била највећа за узорак пресвучен 1S на свим нивоима површинске обраде, затим онај обложен 3SM, а најнижи за узорак обложен 2SM. Графикони кинетике корозије јасно указују да је оксидни слој био мање заштитни при већим храпавостима површине због веће површине и појачане дифузије кородирајућих материјала. [8]

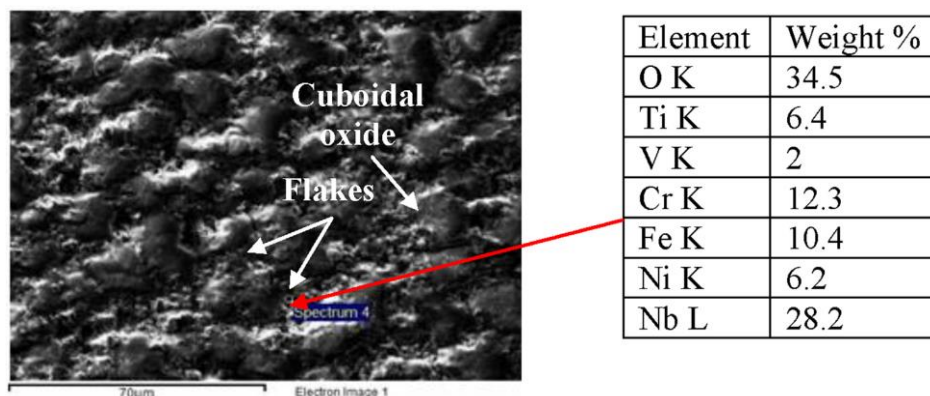
IN718 је популарна легура на бази никла и гвожђа. Садржи и значајне количине хрома, ниобија и молибдена, заједно са мањим количинама алуминијума и титана. Налази широку примену у ваздухопловству и петрохемијској индустрији због одличне комбинације његових својстава попут добре чврстоће, отпорности на оксидацију до 650°C, отпорности на корозију и једноставности израде. Због ових атрактивних својстава, интензивно се користи за делове гасно-турбинског мотора попут лопатица компресора и дискова.

Истраживано је понашање корозије нерђајућег челика 304L у пари са високом температуром и у симулираном воденом реактору под притиском (PWR) са механички полираним и брушеним површинама. Полирана површина показивала је танко рекристализовано подручје, док је дебљина рекристализованог подручја већа за три пута у узорку брушене површине. Међутим, оксидни слој развијен на полираној површини био је дебљи од оног на брушеној површини. Стога је очигледно да дебљина оксидног слоја зависи од храпавости површине узорка (слика 4.10). Истраживан је утицај површинске обраде на отпорност на корозију нерђајућег челика 316 LVM у H_2CO_4 и утврђено је да глатка површина показује већу отпорност на корозију у поређењу са грубљим (слика 4.11). Утицај храпавости површине на понашање оксидације легуре ME на бази Ni истраживан је на 704 °C. Утврђено је да су веће честице оксида настале на узорку са гранулацијом од 220 у поређењу са узорцима са гранулацијом од 600 и 1200 (слика 4.12). Грубља површина је била склонија корозији јер је храпава површина убрзала брзину корозије. [8]

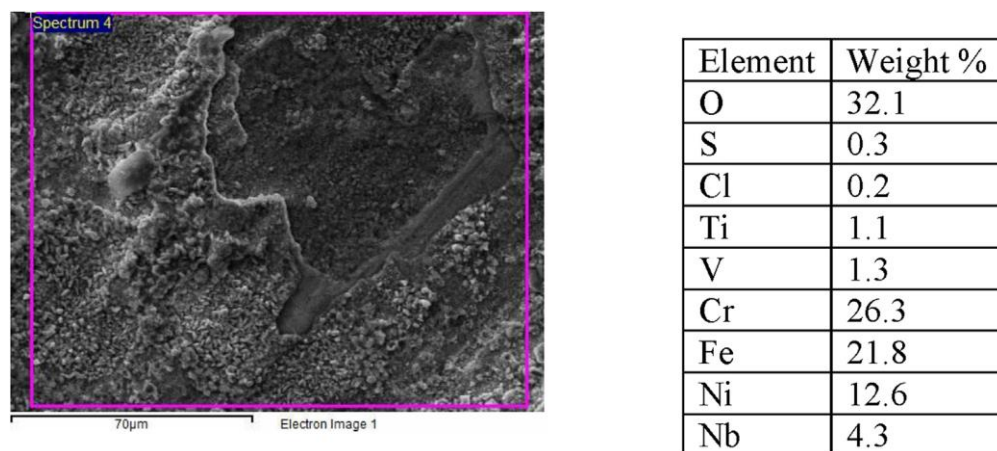


Element	Weight %
O	27.1
Ti	0.5
Cr	5.6
Fe	43.7
Ni	19.1
Nb	4.0

Слика 4.10 SEM микрофотографија која показује морфологију узорка пресвученог 1S солом, изложеног на 600 °C током 100h. Анализа показује концентрацију различитих елемената[8]



Слика 4.11 SEM микрофотографија која показује морфологију узорка пресвученог мешавином соли 2SM састава и изложеног на 600 °C током 100h. Анализа показује концентрацију различитих елемената[8]



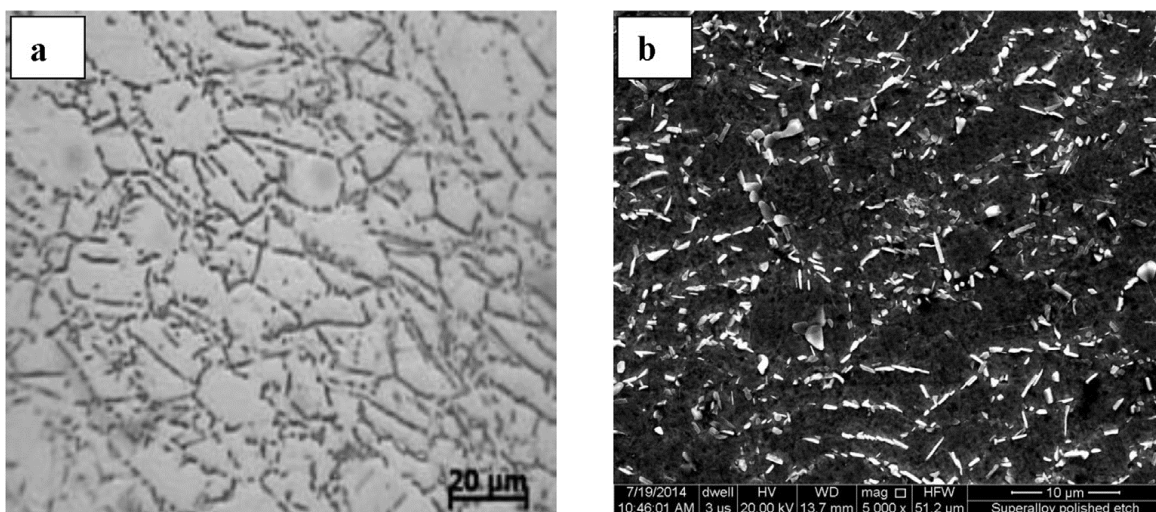
Слика 4.12 SEM микрофотографија која показује морфологију узорка пресвученог мешом соли 3SM састава и изложеног на 600°C током 100h. Анализа показује концентрацију различитих елемената[8]

Припрема узорка: Врх шипке је пресечен попречно да би се направили купони у облику диска, дебљине 2 mm и пречника 20 mm. Купони су полирани огледалом и накнадно механички обрађени папирном шмирглом гранулације # 400, # 600, # 800 и # 1000. Обрада је вршена 1 мин у једном смеру. Када је измерена храпавост површине, добијене су вредности Ra: 0,46, 0,28, 0,16 и 0,09 mm за узорке млене на гранулацији 400, 600, 800 и 1000.

Припремљене су три композиције соли: 100 wt% NaCl (1S), 60 wt% Na₂SO₄ + 40 wt% V₂O₅ (2SM) и 75 wt% Na₂SO₄ + 15 wt% NaCl + 10 wt% V₂O₅ (3SM). Узорци су очишћени дестилованом водом, затим ацетоном и загревани до 150 °C на рингли. Соли су помоћу пиштоља за прскање нанете на равну површину загрејаних узорака.[16]. Количина депонованих различитих соли била је у распону од 3,5-4 mg/cm². Изведена су испитивања корозије држећи узорке пресвучене са 1S, 2SM и 3SM у силицијум диоксиду, у грејној пећи

на 600 °C, циклично до 100 сати. Узорци су вађени у различитим интервалима. Од 0,5, 1, 2, 3, 4, 5, 10, 15, 20, 25, 50, 75 и 100 h. Промена тежине измерена је на собној температури применом електронске ваге. Оксидисани и кородирани узорци испрани су врућом дестилованом водом, уз ултразвучно чишћење у ацетону пре микроскопског испитивања. За анализу продуката оксидације и корозије коришћена је енергетско дисперзивна спектроскопија (EDS) и дифракција X-зрака. Морфологија површине испитивана је скенирајућом електронском микроскопијом (Fe-SEM Quanta 200FEG and Zeiss EVO/18).

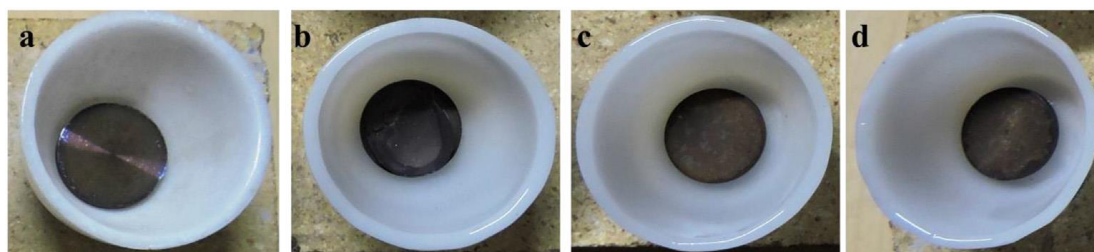
Микроструктура легуре IN718 приказана је помоћу скенирајуће електронске микроскопије (SEM) пре и после вруће корозије. Такође су испитивани узорци различитих хrapавости површине под SEM-ом. Оптичка микрофотографија узорка показала је јасна зрна са средњом дужином пресека приближно 16 μm (слика 4.13 (a)). Честице δ фазе откривене су SEM микрофотографијом. Честице су распоређене углавном на границама зрна (слика 4.13 (b)). [8]



Микроструктура IN718, слика 4.13a оптичка микрофотографија, слика 14.13b

SEM микрофотографија[8]

Кородирани узорци различитих површина визуелно су испитивани након сваког циклуса грејања. Карактеристике корозије забележене су помоћу дигиталне камере која је приказана на слици 4.14.



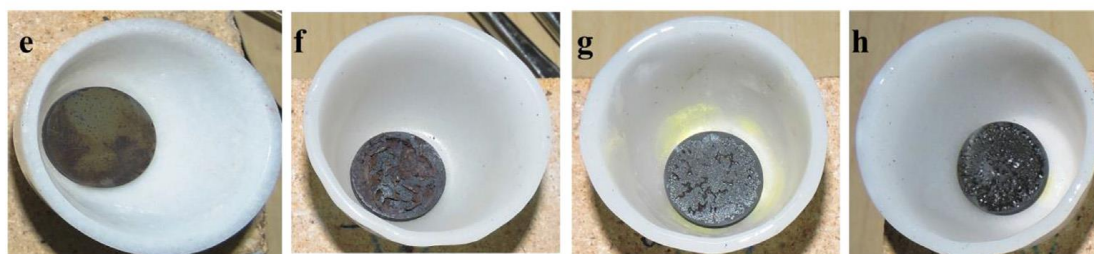
For 0.5 hrs

(a) Uncoated

(b) 1S coated

(c) 2SM coated

(d) 3SM coated



For 100 hrs

(e) Uncoated

(f) 1S coated

(g) 2SM coated

(h) 3SM coated

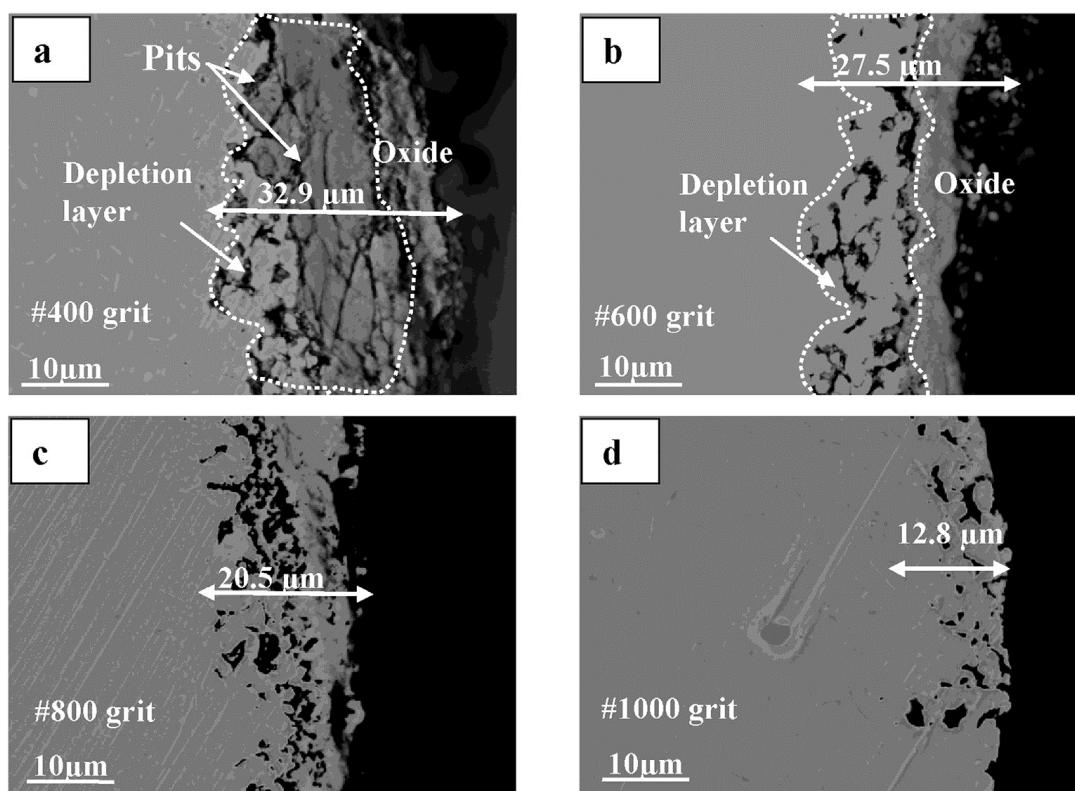
Слика 4.14 Макрофотографије узорка оксидиране/вруће кородирани на 600 °C током 0,5 сати и 100 сати гранулације 400[8]

Визуелно посматрање узорка		
Слани премаз	Боја	Карактеристике скале
Нема премаза	Тамно сива	Нема стварања каменца, формиран је приањајући слој
1S	Тамно црвенкасто смеђа	Тешко љуштење, стварање крхке љуске и љуштење скале
2SM	Тамно сива	Лепљиви премаз без љуштења
3SM	Сива са жутим лепљивим мрљама на површини	У оксидном слоју мање каменца и мање порозности

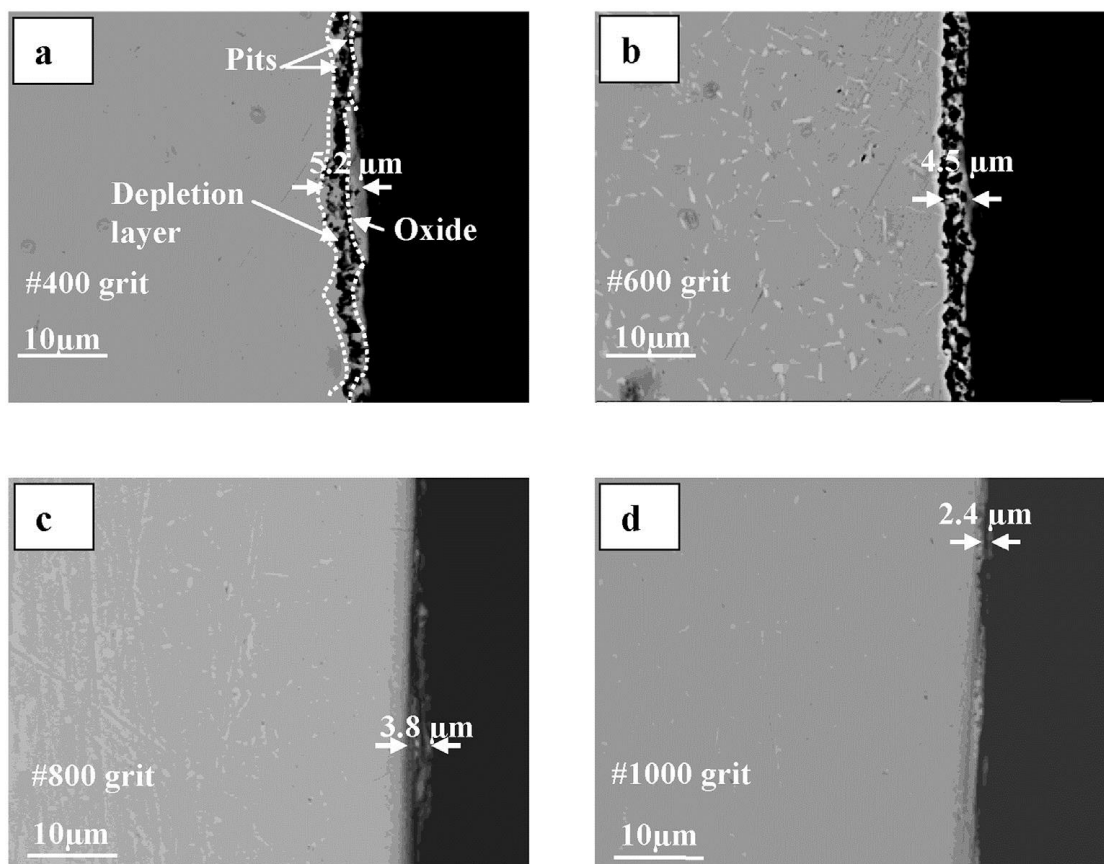
Табела 4.3 Визуелно посматрање узорка

Вруће кородирани узорци након 100 сати излагања подељени су да би се проучила дубина продирања и механизам корозије на различитим храпавостима површине. Слике 4.15-4.17

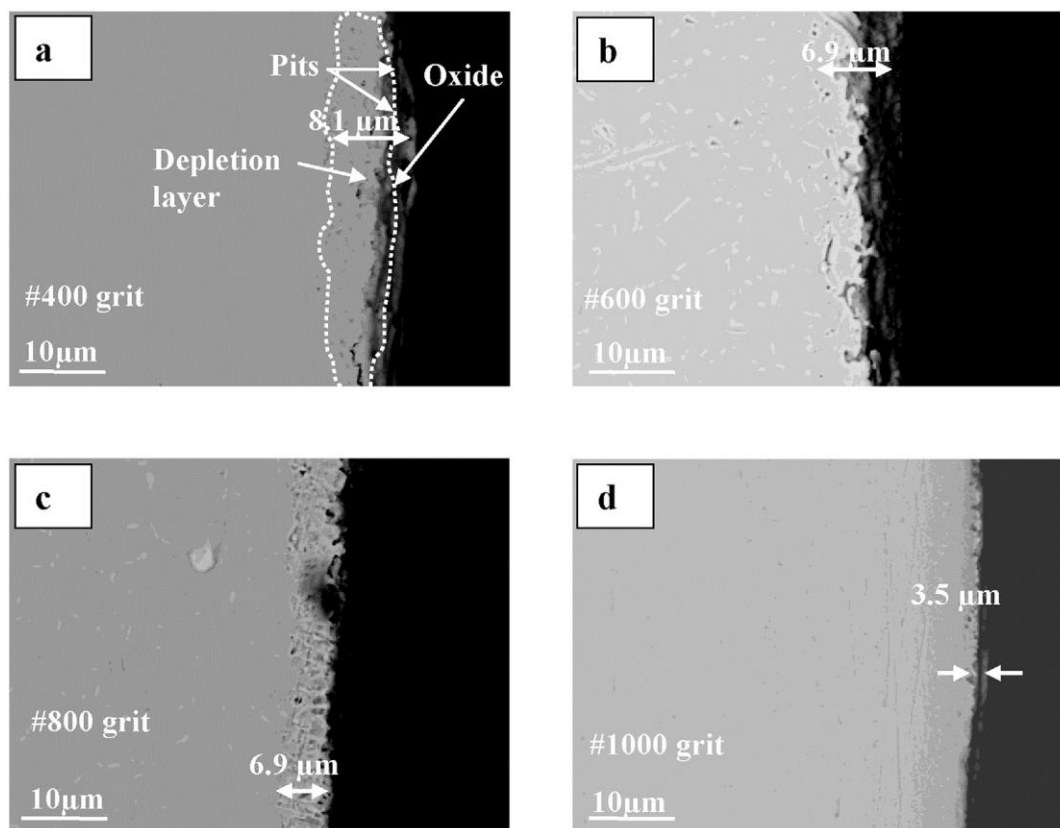
јасно показују да се дубина продирања нагризаца повећавала са повећањем хrapавости површине. Утврђено је да је дубина продирања у узорке обрађене папирном шмирглом са гранулацијом 400 максимална код свих врста смеша. У узорцима гранулације од 1000, дубина напада била је минимална код свих врста премаза. BSE слике узорака пресвучених NaCl (1S), изложених до 100 h на 600 °C, јасно су указивале на стварање слојева који се троше. Јаме су настале услед продирања соли NaCl у узорак што је довело до оштећења површине реакцијом оксихлорисања (слика 4.15). У случају узорака пресвучених смешама соли 2SM и 3SM, дубина напада била је мања у поређењу са дужином 1S пресвучених узорака. Корозија је настала углавном процесом сулфидације (ефикаснији изнад 750 °C) у случају узорака пресвучених 2SM (слика 4.16), док у 3SM обложеним узорцима (слика 4.17) постоји комбиновани ефекат реакција оксихлорисања и сулфидације. Стога је утврђено да је дубина напада мања за узорак обложен 2SM. [8]



Слика 4.15 SEM микрофотографије показују ефекат хrapавости површине на дубину продирања короданата у узорцима обложеним 1S сољу и изложеним на 600 °C током 100 сати[8]



Слика 4.16 SEM микрофотографије које показују утицај површинске хrapавости на дубину продирања нагризача у узорцима обложеним 2SM сољу и изложеним на 600 °C током 100h[8]



Слика 4.17 SEM микрофотографије показују ефекат храпавости површине на дубину процидања короданата у узорцима обложеним 3SM сољу и изложеним на 600 °C током 100 сати[8]

Резултати добијени овом студијом јасно показују да је велика храпавост површине која је настала због грубог брусног папира од 400 зрна, повећала брзину корозије без обзира на врсту сланих облога. Пораст тежине је био највећи за узорак пресвучен 1S соли, затим онај обложен смешом соли 3SM, а најмањи за узорак обложен смешом соли 2SM, изложен на 600°C током 100h. Генерално, из кинетике корозије примећено је да су храпаве површине склоније врућој корозији у поређењу са глатким. Прираст тежине у односу на временске дијаграме узорка пресвучених сољу и смешама соли који су јасно праћени показали су двоструки нагиб у већини случајева. У почетку је брзина корозије била спора до 5 сати, али је након тога брзо порасла до 25 сати, и остао готово константан до 100h изложености. Такође се може приметити да је NaCl био изузетно агресиван на 600°C због велике испарљивости хлорида. Почетних 5h може се сматрати периодом инкубације, а наредних 20 сати период агресивног напада због континуираног снабдевања кородантима. Стопа корозије је, међутим, успоравана након 25 сати, у свим случајевима због смањења расположиве количине соли и смеша соли. Храпавост површине узорка смањивала се са повећањем гранулације влажног брусног папира који се користи за обраду површине.

5. Закључак

Корозионо разарање настаје услед утицаја гасова и течности спољне средине на материјал. Према неким подацима, око 10% производа од црних и обојених метала за годину дана губи своју техничку употребљивост услед корозионог разарања. Међутим, највеће штете услед корозије настају услед смањења поузданости и трајности машинских конструкција, а затим и због повећања трошкова за ремонт и за заштитне мере којима се спречава корозија. Ради дубљег објашњења појаве и деловања корозије, проучени су механизми развоја њеног процеса. Тако се дошло до закључка да постоје две основне поделе корозије на хемијску и електрохемијску, као и на остале видове корозије, што је и детаљно објашњено и илустровано сликама у трећој тачки.

Корозија је веома сложена појава, а одговарајуће превентивне мере и заштиту метала је могуће успешно спровести само уколико се води рачуна о свим чиниоцима који утичу на њу.

Међутим, на настанак корозије не утиче само врста материјала, већ и различита стања површине. У овом раду је говорено о утицају храпавости на развој корозије. У другој тачки је дефинисана храпавост обрађене површине, класификација површинске храпавости као и параметри храпавости.

Обрада површине метала веома утиче на брзину процеса корозије метала. У четвртој тачки је приказана класификација испитивања корозије, параметри брзине настанка корозије и приказана су два примера настанка корозије на различито обрађеним површинама. Резултати ових примера указују да је повећана храпавост знатно утицала на брзину развоја корозије. Што је површина финије обрађена, отпорност према корозији је већа. То је јасно, пошто је боље обрађена површина практично мања. Материјали у којима су заостали извесни унутрашњи напони, услед топлоте прераде или ливења, више су склони корозији. Ови унутрашњи напони изазивају микропукотине на површини, које су врло погодне за развој интеркристалне корозије.

6. Литература

1. Богдан Василијевић, Богдан Недић: Модификовање површина, Југословенско друштво за трибологију, Крагујевац, 2003.
2. Доц.др.сц. Гордана Јелић Мрчелић: Корозија и заштита материјала (скрипта)
3. Милорад Јовановић; Вукић Лазић; Драган Адамовић; Нада Ратковић - „Машински материјали“, Крагујевац 2003.
4. Cesare Bertucelli, Aldo Carrer, Ignazio Marino, Ernesto Quinzio, Amedeo Poizonetti, Maurizio Saini, Protezione delle superfici metalliche, Tecnologia meccanica
5. И. Микец, Дипломски рад, Утицај припреме површине нерђајућих челика на заштитна својства превлаке, Факултет Стројарства и Бродоградње у Загребу, 2016.
6. Т. Леванић, Дипломски рад, Заштита конструкција од корозије примјеном премаза , Факултет Стројарства и Бродоградње у Загребу, 2009.
7. Short Communication Effect of Surface Roughness on the Corrosion Behavior of Pure Iron in Acidic Solutions Ahmed S. Alshamsi* and Afra AlBlooshi
8. Effect of surface roughness on corrosion behavior of the superalloy IN718 in simulated marine environment Dhananjay Pradhan*, Giriya Shankar Mahobia, Kausik Chattopadhyay, Vakil Singh