

Факултет инжењерских наука Универзитета у Крагујевцу
Војна академија Универзитета одбране у Београду



Назив студијског програма: Војноиндустријско инжењерство

Ниво студија: Основне академске студије

Модул: Наоружање

Предмет: Корозија и заштита материјала

Број индекса: 516/2010

Стефан Р. Јовановић

**Испитивање отпорности на корозију у сланој
комори
дипломски рад**

Комисија за преглед и одбрану:

- 1. доц. др Михаел Бучко – ментор**
- 2. _____**
- 3. _____**

Датум одбране: _____

Оцена: _____

Крагујевац, 2016.

У оквиру овог дипломског рада кандидат треба да:

1. Објасни процес настанка корозије, узроке настанка и врсте корозије које могу да се догоде као и методе заштите површина од настанка корозије.
2. Испита отпорност материјала на корозију под утицајем различитих климатских промена.
3. Представи један од најпоузданијих начина испитивања отпорности на корозију, испитивање у сланој комори.
4. Прикаже процес тестирања делова оружја у сланој комори.
5. Представи типове сланих комора у свету.
6. Изведе закључак о ефикасности испитивања отпорности на корозију у сланој комори као мере превенције и заштите оружја од појаве корозије.

Препоручена литература:

З. Гулишија, Ч. Лачњевац: Корозија и заштита материјала, Београд 2012.

В. Ђоровић, Ј. Антић, С. Кочовић, М. Радић: Заштита од корозије у аутоиндустрији, Крагујевац 2002.

В. Вујичић: Корозија и технологија заштите метала, Београд 2002.

Б. Кострешевећ: Климомеханичка испитивања, Умаг 1987.

Trethewey K.R., Chamberlain Y., Corrosion for Science and Engineering, Longman, Germany 2012.

Крагујевац, октобар 2016.

Ментор:

доц. др Михаел Бучко

РЕЗИМЕ РАДА

У овом раду је објашњен процес корозије и његово негативно дејство на многе, чак и најотпорније материјале. Приказано је како корозија деструктивно делује на делове оружја. Описан је један од најпоузданијих начина тестирања отпорности на корозију, тестирање у сланој комори. Набројани су неки од најбољих и најпоузданијих модела сланих комора. Поменути су могући начини заштите материјала од корозије. Објашњење саме појаве корозије, као и начина борбе против ње, веома је важно за заштиту оружја од ове разарајуће појаве.

Кључне речи: **корозија, слана комора, оружје, тестирање, отпорност, заштита, метали.**

ABSTRACT

The process of corrosion and its negative influence on many, even the most resistant, materials is explained in this work. It is shown how corrosion destructively affects the parts of weapon. One of the most reliable ways of testing corrosion resistance, the salt spray chamber testing, is described. Some of the best and most secure models of salt spray chambers are numbered. Possible ways of corrosion protection are mentioned. The explanation of the appearance of corrosion, as well as the way in which it can be fought, is very important for protecting weapon against this destructive phenomenon.

Key words: **corrosion, salt spray chamber, weapon, testing, resistance, protection, metals.**

Садржај

1.	Увод.....	6
1.1.	Историја употребе метала и заштите од корозије.....	8
1.2.	Процес настајања корозије	11
2.	Врсте корозије	12
2.1.	Оксидација метала	13
2.2.	Хемијска (директна) корозија	14
2.3.	Електрохемијска корозија.....	16
2.4.	Специјалне врсте корозије	18
3.	Заштита од корозије.....	19
3.1.	Заштита премазима.....	19
4.	Испитивање отпорности на корозију под утицајем различитих климатских промена.....	20
4.1.	Повишена температура без влаге.....	20
4.2.	Снижена температура.....	22
4.3.	Заптивеност.....	24
4.4.	Испитивање на утицај слане магле.....	25
4.5.	Испитивање на утицај плесни.....	26
4.6.	Утицај вештачке кише.....	27
4.7.	Утицај песка и прашине.....	28
5.	Испитивање отпорности на корозију у сланој комори.....	29
5.1.	Поступак испитивања у сланој комори.....	30
5.2.	Примена слане коморе.....	37
5.3.	Опрема за тестирање.....	38
5.4.	Модификовани тестови са сланим спрејем.....	39
6.	Тестирање делова оружја у сланој комори.....	41
7.	Типови сланих комора у свету.....	47
7.1.	ASCOTT.....	47
7.2.	Q-FOG.....	48

7.3.	LISUN.....	49
7.4.	WEICE.....	50
7.5.	PRESTO.....	50
7.6.	NACL.....	51
8.	Закључак.....	54
9.	Литература	55

1. Увод

Разарање материјала (најчешће метала) под дејством околине којој су изложени представља корозију, где материјали мењају своје особине, укључујући и губљење оних корисних и пожељних. Из тог разлога, значење речи *корозија* потиче од латинске речи „corrodere“ (разарање, уништавање, наједање, нагризање) [1].

Корозија напада готово све материјале, са различитом кинетиком процеса. Метали, посебно приступачни, конструкцијски, подложни су брзој корозији. Племенити метали кородирају споро, али се ретко примењују у конструкцијама.

Према подацима из литературе, неповратни губици метала настали због корозије и хабања током експлоатације, на пример у термоенергетским постројењима, износе око 8% полазне масе. Оштећења изазвана корозијом могу довести до хаваријских искључења постројења, што ствара велике материјалне губитке [1].

Неопходну постојаност металних конструкција према корозији могуће је постићи изучавањем и дефинисањем основних законитости процеса корозије, правилним избором и извођењем система заштите, обрадом корозионе средине и прикладном конструкцијом и избором материјала, на основу испитивања отпорности према корозији у различитим срединама [1].

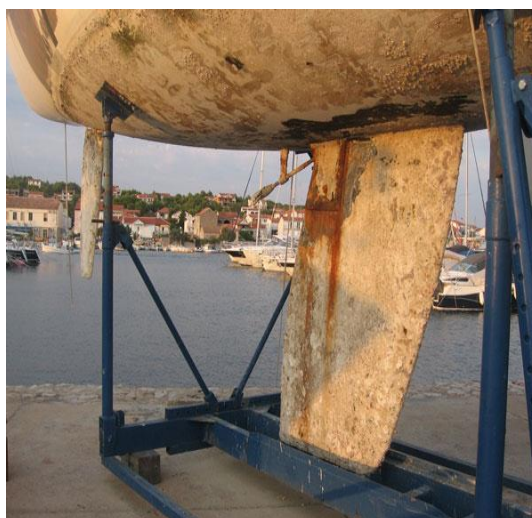
Атоми метала ослобађају своје електроне и прелазе у јонско стање, што представља корозионе реакције, најчешће електрохемијске природе. Затим се метални предмети превлаче оксидима или другим хемијским једињењима или се растварају. Познавање основа електрохемије је потребно за суштинско упознавање корозије и метода за заштиту од ње. На слици 1 су дати примери корозије метала.

Још једна важна карактеристика корозионих процеса је та што су комплексне природе, јер на њихово одигравање утиче велики број параметара. У пракси чиниоци већине корозионих реакција су континуирана промена услова одигравања, могућност појаве синергизма и једновремено одигравање више реакција. Међутим, иако различите, све корозионе реакције имају и заједничке карактеристике, као што су [1]:

- ✚ подложност законима термодинамике, који одређују који је процес могућ у датим условима и колика је тенденција да се он заиста и реализује;
- ✚ подложност законима хемијске кинетике, који одређују брзину корозионих реакција. Супротно овом заједништву, постоје битне разлике

у суштини корозионих процеса када се они одигравају у воденим растворима, у неводеним течностима и у гасовима.

Никада није прерано да се размишља о корозији, односно заштита од корозије треба да почне још у фази пројектовања металних предмета/објеката.



Слика 1 - Примери корозије метала [2][3][4]

1.1. Историја употребе метала и заштите од корозије

Претпоставка је да је први метални предмет произведен у давна времена, сасвим случајно [5]. Употреба метала је пре тога била симболична и сводила се само на метале који се могу наћи у природи - самородни метали (злато, сребро и бакар) или метеорско гвожђе. Довољно је било да неко у ватру стави одређени камен зелене боје, па да се добије бакар. Познато је да је зелени камен малахит, минерал бакра који се на повећаној температури и у присуству редукционог средства редукује и топи. Данас се на такав начин добија бакар. Оба услова су била испуњена и у примитивном огњишту: температура је довољно висока, а присутан је дрвени угаљ. Добијена црвенкаста маса може да се обликује ковањем и од ње се добију алатке или оружје, свакако у рудиментарном облику. Касније је на сличан начин добијена и бронза, гвожђе и пуно других метала. Металургија је рођена, а тиме је и цивилизација човека постигла значајан скок у развоју. Од коликог је значаја била употреба метала сведочи и податак да се читави периоди историје називају према металу који је био у доминантној употреби, као нпр. Бронзано доба и Гвоздено доба. Док пре њих, у Камено доба, метали се нису користили [5].

Заједнице које су биле вештије у добијању метала и обликовању предмета од њих, опремиле су се убојитијим оружјем и ефикаснијим алаткама, па су постизале предност над суседима и неретко их потчињавале. Самим тим је вештина добијања и коришћења метала постала од стратешког значаја и дуго времена су државе са напреднијом металургијом надвладале оне које су ту биле инфериорније. Поред поменутих заслуга метала за напредак цивилизације, током читавог Старог и Средњег века употребљавано је само неколико метала као што су гвожђе, бакар, калај, олово и антимон од техничких метала, као и злато, сребро и жива [5].

У периоду од 1750. до 1950. године су откривани и остали метали. Комплетирање Периодног система елемената траје и данас, али сада је реч не о откривању постојећих, већ о синтези могућих метала, екстремно нестабилних елемената редног броја већег од 100.

Од самог почетка коришћења метала било је неопходно најпре да се постигну, а затим и одрже њихове корисне особине. Метални предмети су склони механичком оштећењу и хемијском разарању. Први проблем је предмет истраживања механике, отпорности материјала и слично, док је други од емпиријске вештине прерастао у науку и технологију данас познату као заштита од корозије.

Корозија метала је представљала проблем још у давна времена. Плиније Старији (први век н.е.) назива гвожђе поквареним, *ferrum corruptur*, и поред тога што је успон Римског царства постигнут и употребом оружја и предмета од гвожђа.

За разлику од осталих метала тог времена, гвожђе је корозијом губило носивост (убојитост). Од Плинија је остао запис да у време похода Александра Македонског, религиозним ритуалом су војници покушавали да заштите од корозије носеће ланце висећих мостова. Наравно, без резултата. Зато су касније термичком обрадом наношени оксидни филмови златно-жуте или плавичасте боје, који су поред декоративности били и ефикасна заштита од корозије [5]. Постепено се вештина добијања метала (пре свега гвожђа) ширила кроз све крајеве Римског царства, а производња постајала масовнија и разноликија. Оружје је било цењеније од алатки и других мирнодопских металних справа, па су током времена добијани нови и сложенији предмети за ратовање. Од почетних секира, мачева и врхова копља и стрела прешло се на штитове, оклопе, катапулте итд. Израђивани су у доба ватреног оружја топови, пушке и остало, као и метална транспортна средства.

Тек после употребе високе пећи постало је могуће масовно добијање гвожђа, чији се елементи појављују у средњем веку, али је усавршена за масовну употребу тек у доба Индустријске револуције. Није било могуће пре тога добити течно гвожђе за ливење, а потребе су подмириване кованим гвожђем из кога је истискивана троска упорним ковањем предмета загрејаних до црвеног усијања. Тако добијено ковано гвожђе, иако жилавије од других метала тог времена, ипак није могло да има задовољавајућу оштрицу. То је постигнуто тек када је почео да се користи челик (легура железа која садржи 0.15 до 1.5% С и из које је троска сасвим одстрањена). Усвојен је прво поступак цементације где се шипке кованог гвожђа кују након загревања у директном контакту са усијаним угљем, при чему угљеник дифузијом улази у површинске слојеве метала. Челик постаје још тврђи каљењем, поступком где се врућ метал урања у хладну воду [5].

Дакле, металургија је све до усавршавања добијања челика у високој пећи, била у рукама ковача и њихових чекића и мехова, зато што се у малим пећима и на недовољно високој температури није могло добити гвожђе за ливење. Не значи да том примитивном технологијом нису постизани резултати који и данас фасцинирају. Тако, стуб од гвожђа у близини Делхија у Индији, већ око 1.600 година запањује својим димензијама и корозионом отпорношћу. Његова маса је изнад 6 тона, висина изнад 7 метара, а пречник достиже 0,42 метра. Израђен је од кованог гвожђа са око 98% железа. Стуб "*Delhi Pillar*" сведочи о изванредној вештини ковача оног времена да добију и обликују предмете од гвожђа. Његова издржљивост је резултат постигнуте пасивности [5].

И обојени метали после Старог века добијају све разноликију и масовнију употребу. Бакар, калај, олово и њихове легуре користе се за израду предмета који карактеришу дати период. Поред прибора и судова за занатство и домаћинство, користе се за израду уметничких и декоративних предмета. Од олова су ливене кугле за муницију, па је још увек у употреби и турски назив за овај метак (куршум).

Легура олова са антимоном се користила за ливење слова након изума печатарске пресе (Гутенберг, 15 век). Покриване су цркве и друге драгоцене грађевине плочама од бакра или олова [5].

После Индустијске револуције напредак металургије је достигао неслућене размере. Поступци за масовну и приступачну производњу квалитетног челика су усавршени. Основни материјал за израду капиталних објеката постаје челик. Од 1896. године Ајфелова кула, мост Голден гејт у Сан Франциску, железничке пруге и мостови, торњеви, превозна средства (бродови, камиони, авиони, свемирске летилице), као и роба за широку потрошњу израђују се од лако доступних и квалитетних метала и легура. Масовна примена метала и легура је била присутна све до усавршавања полимера који су заменили метале у много случајева, ако их уопште нису истиснули. Метали се и данас масовно производе и користе као што приказује Табела 1 [5].

Табела 1: Количине произведених метала у свету 2008. године

Метал	Челик	Алуминијум	Бакар	Цинк	Никал	Укупно
10 ⁶ t/год	1.500	50	17	10	1,3	>1.600

Напори за заштиту метала од корозије се интензивирају у новије време, док сама заштита постаје софистициранија. У 17. веку Роберт Бојл (енгл. *Robert Boyle*) се бавио механичким аспектима порекла корозивности. Већ у 18. веку је била позната контактна корозија, као и то да се корозија гвожђа одиграва уз истовремено алкализирање воде. Галвани је крајем тог века открио настајање електрицитета (галвански ефекат) приликом контакта гвожђа са баком у електролиту. Волта је саставио први извор струје (у коме је заступљена реакција корозије цинка), а откривала се и електрохемијска природа корозије [5].

За време 19. века откривене су значајне појаве, као што су катодна заштита, микроструктурни аспекти корозије, релација између хемијских промена и генерисања електричне струје и пасивност гвожђа. У 20. веку, као резултат рада великана науке (*Thenard, Davy, De la Rive, Faraday*) је откривено још пуно законитости и метода савремене корозионе науке: сазнало се шта је пренапетост и каква је њена релација са густином струје, каква је улога кисеоника као стимулатора катодне реакције, шта су инхибирање и инхибитори, високотемпературне реакције корозије, диференцијално аерационе ћелије, квантитативни аспекти и електрохемијска природа корозије, Пурбеови и Евансови дијаграми и др [5].

Самим тим није исцрпљен интерес за упознавање и усавршавање подручја заштите метала од корозије. Све већа забринутост због исцрпљивања залиха руда од којих се добијају метали, али и специфичности новог времена, као и сазнање да су и залихе традиционалних енергената на путу исцрпљивања, напори да се рационалније користе блага природе и да се иста растерети од енормних количина отпада, уз помоћ достигнућа савремене технологије достижу неслућене пробоје, поготово у подручјима информационе технологије, нових материјала и др.

1.2. Процес настајања корозије

Током уобичајених услова појаве корозије, реакциони продукт се обично образује на површини метала. На пример, приликом контакта метала са гасовима, под претпоставком да је при датој температури систем стабилан, образују се хемијска једињења као што су оксиди, хлориди, сулфиди и др. Карактеристичан пример такве реакције је образовање оксидне превлаке на металу, при високим температурама. Са друге стране корозија у води и воденим растворима има потпуно другачији карактер. Веома битна разлика између та два начина настајања корозије, је што је вода електролит и корозија у том случају није чисто хемијске природе, као корозија у гасовима, већ то представља електрохемијски процес [6].

Уколико се на пример посматра неки метал - цинк, у разређеном кисеонику, односно у ваздуху, атоми кисеоника реагују са површином метала и према закону кинетичке теорије гасова образују оксид, који остаје на истом месту где се и образовао. Током овог процеса, долази до измене електрона, јер је положај валентних електрона у цинк-оксиду другачији него у слободном атому цинка и кисеоника. Унутар молекуларних димензија се дешава та измена и не шири се даље на своју околину.

Исто тако, наоружање и војна опрема су подложни корозији. Бројним наоружањем и војном опремом који су потребни за одбрану земље у рату и за нормалан живот и рад у миру су снабдевене савремене армије. Наоружање и војна опрема на сталној и привременој употреби изложени су различитим напрезањима у различитим условима примене услед чега долази до замора материјала и оштећења заштитног слоја што, пак, доводи до убрзане корозије неких материјала. У неповољним временским условима, нпр. за време вежбе гађања на неочишћеном оружју, а нарочито у унутрашњости цеви и на затварачу, трагови корозије се могу приметити након неколико сати од употребе средства.

Пошто су узрочници корозије наоружања и војне опреме разноврсни и многобројни, поред општих који владају у природи постоје и специфични услови. Ти услови су везани за живот и рад војске, како у рату тако и у миру.

Амбалажирању и паковању техничких средстава се посвећује посебна пажња. То је из разлога што транспорт војних материјалних средстава од произвођача до корисника, као и често премештање из једне јединице у другу, с једног терена на други доводе до јачих механичких и корозионих оштећења.

Одбрамбену способност земље може битно да смањи корозија наоружања и војне опреме. У резерви се налази већи део војне опреме који није у редовној експлоатацији, већ је ускладиштен у магацинима, под натсрешницама или на отвореном простору често и без навлаке. Директно дејство атмосферских падавина спречава навлака, док мокра навлака приликом топлог времена пружа идеалне услове за развој корозије, зато што се унутар навлаке задржава водена пара. На површини метала, код великих разлика између дневних и ноћних температура долази до кондензовања водене паре и појаве росе, која има улогу електролита и омогућава интензивну електрохемијску корозију [6].

2. Врсте корозије

Корозија метала се манифестује на различите начине у зависности од тога како корозиони агенси нападају метал. Услед великог броја разноврсних реакција и начина на који се корозија манифестује, зависно од врсте метала, корозија се може поделити на неколико типичних врста, као што су:

- 1) оксидација,
- 2) хемијска или директна корозија,
- 3) електрохемијска корозија,
- 4) специјалне врсте корозије.

На слици 2 је дат приказ изгледа корозије, где се примећује да су метали претрпели веће или мање физичко-хемијске промене. То битно умањује њихове особине, што доводи до пропадања. Углавном је то последица разних физичких и хемијских чинилаца у првом реду, због хемијског и електрохемијског деловања воде, атмосфере, хемикалија итд. Према томе, за корозију се може рећи да је сложена појава која наноси огромне штете и зато је стални предмет изучавања. Могуће је успешно спровести превентивне мере и заштиту метала од корозије, само уколико се води рачуна о свим чиниоцима који утичу на корозију. Да се одреди обим и јачина корозије, омогућава теорија процеса настајања корозије.



Слика 2 – Изглед корозије [7][8][9]

2.1. Оксидација метала

Оксидација представља један од најважнијих примера хемијске корозије, односно реакцију метала са кисеоником из сувог врелог гаса. Приликом извођења операција (ковање, ваљање, извлачење, пресовање, ливење, заваривање, жарење и рада постројења на повишеним температурама (мотори СУС, индустријске пећи, термоенергетска постројења)) су створени услови за одигравање поменутог процеса. Код оксидације у ширем смислу је у питању реакција током које нека материја или група материја (редукционо средство) отпушта електроне. Насупрот томе, редукција представља реакцију где нека материја или група материја (оксидационо средство) везује електроне [5].

Под одређеним условима током реакције метала са кисеоником може да дође до стварања стабилних, чврстих и компактних, танких оксидних слојева који добро приањају за металну површину. Самим тим је незнатно оштећују па може се рећи да имају добра заштитна својства. У неким другим условима као што су влажност, повишена температура, притисак, повећана концентрација кисеоника и др., тај стабилни оксидни слој може релативно брзо да изгуби своја заштитна својства трансформацијом у друге мање стабилне оксидне слојеве чиме корозија почиње неконтролисано да се одиграва. Приликом нормалног барометарског притиска, парцијални притисак кисеоника у ваздуху је око $2,1 \cdot 10^4$ Pa док равнотежни притисци кисеоника за већину металних оксида (притисци њихове термичке дисоцијације) су нижи од те вредности на температурама нижим од температуре топљења метала, што указује на то да већина метала има афинитет према кисеонику из ваздуха у температурном подручју где се они употребљавају као конструкциони материјали. Велики афинитет према оксидацији у ваздуху имају индустријски метални материјали, све до температуре топљења. Према кисеонику велики афинитет имају хром, магнезијум и титан [5].

Поред афинитета, постоје и отпори према хемијској корозији за сваки метал. Ниским енергетским разликама реактаната или заштитним својствима

чврстих корозионих производа условљен је отпор одигравању хемијске корозије. Хемијска корозија се убрзава повишењем температуре, под условом да се у том случају не смањи афинитет.

Уз одређене радне услове настају оксиди процесом оксидације, различитих карактеристика, који се деле у три основне групе [5]:

-  нестаблини оксиди,
-  испарљиви оксиди и
-  стабилни оксиди.

Нестабилни оксиди настају приликом реакције метала са кисеоником, где се створени оксиди одмах разлажу. У пракси то значи да такви метали не кородирају, односно не оксидују се. То је случај код оксида племенитих метала (злато, платина и др.).

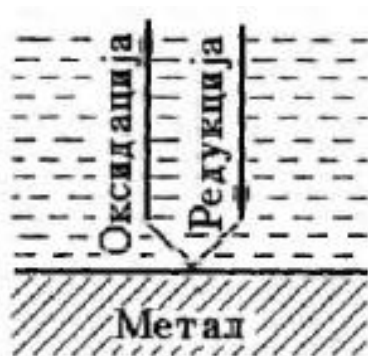
Испарљиви оксиди приликом реакције метала са кисеоником настају, где створени оксиди одмах испаравају. Процес оксидације се наставља и долази до нагризања површине метала и метал кородира. Ту оксидација зависи од хетерогене реакције, која се одиграва на површини метала.

Стабилни оксиди су оксиди који остају на површини метала. У већој или мањој мери тако створени оксиди штите метал од даље оксидације, тј. корозије. Оксиди имају по правилу низак притисак паре и из тог разлога остају на површини метала. Најчешћа је оваква врста оксидације. На површини метала створени оксиди граде површинске слојеве који се називају филмови уколико су мање дебљине, или оксидна кора уколико су веће дебљине. Током хабања метал се много више троши услед скидања тог заштитног слоја оксидног филма. Обично створени филмови успоравају даљу оксидацију, сем у неким случајевима као нпр. код алуминијума где потпуно заштите метал од корозије. Оксидне коре се по правилу деле на коре које штите метал и коре које то не могу. Оксиди штите метал када је њихова запремина једнака запремини метала из ког су настали. Док код друге групе запремина оксида је мања од те величине, кора није конинуирана и не може ефикасно да спречи приступ кисеоника на металну површину [5].

2.2. Хемијска (директна) корозија

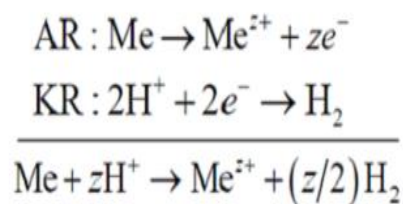
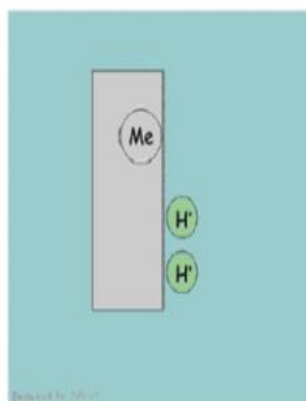
У неелектролитима се одиграва хемијска корозија, која представља хетерогени хемијски процес који се дешава између метала и гасовите или течне средине. Истовремено се процеси оксидације и редукције одигравају на истом месту (слика 3). Током корозионих процеса настају метална једињења са

неметалним елементима. Приликом повишених температура када дође до додира металних површина са гасном фазом, хемијска корозија се назива и гасна корозија [6].



Слика 3 – Шематски приказ процеса оксидације и редукције током хемијске корозије [6]

Обично су оксиди или сулфиди метала продукти хемијске корозије у случају када гасови садрже сумпор. Везивање и образовање продукта корозије на металним површинама је специфичност хемијске корозије, док дебљине образованог слоја могу бити велике. На површини метала продукти хемијске корозије могу да формирају оксид, који ако је компактан, непорозан и покрива целу површину метала, поседује добра заштитна својства и успорава или зауставља даљу корозију (нпр. оксидни слој Al, Cr и Zn).



(1.1)

Слика 4 – Процеси у хемијској корозији

На слици 4 су дати процеси у хемијској корозији. Ту је: Me – јон метала (у раствору или растопу), e – електрони који се размењују између метала и агенса корозије, n – број електрона, R – јон који се редукује (агенс корозије).

Уколико се при директној корозији ствара реакциони продукт на површини метала, он у мањој или већој мери зауставља процес његовог даљег растварања. Ова корозија се иначе препознаје по промени спољњег изгледа површине метала [6].

2.3. Електрохемијска корозија

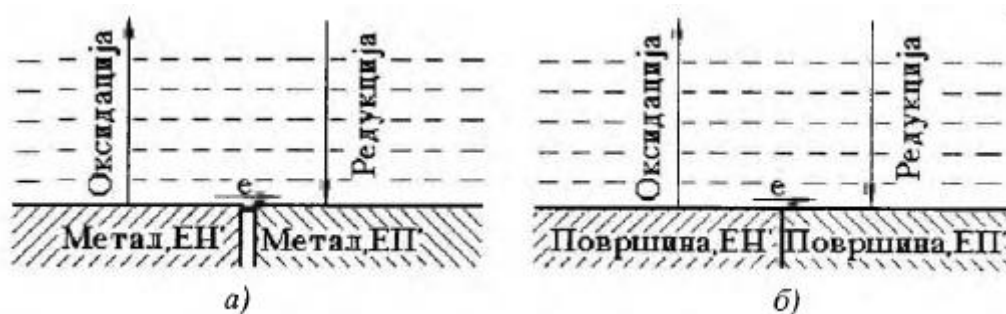
Као резултат реакције између метала и електролита (воде или водених раствора соли, киселина или алкалија) дешава се електрохемијска корозија на обичној температури. То је најчешћа врста корозије и постоји велики број могућих комбинација. Основни узрок електрохемијске корозије метала је термодинамичка непостојаност метала у електролиту. Услед електрохемијске хетерогености расте та непостојаност на површини додира метал-електролит, тј. хетерогености метала или електролита [5].

У растворима киселина, база и соли, слаткој и морској води, влажној земљи, испод слоја кондензата у атмосферским условима, као и у неким другим случајевима се одиграва редокс-процес, односно електрохемијска корозија (слика 5).



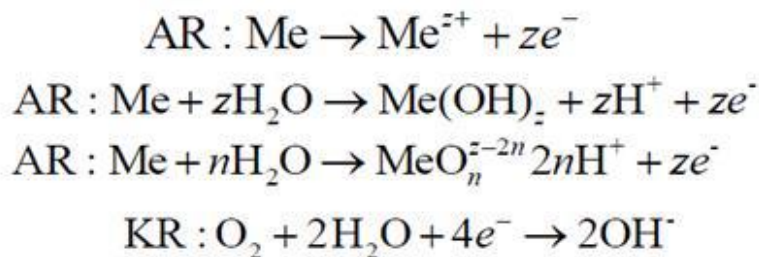
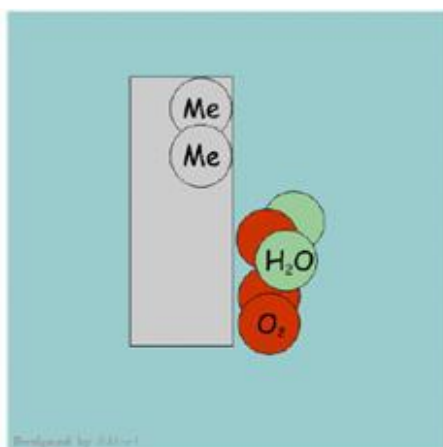
Слика 5 - Шематски приказ процеса оксидације и редукције током електрохемијске корозије [6]

Процеси оксидације се код електрохемисјке корозије одигравају на анодним – електронегативнијим, док процеси редукције на катодним – електропозитивнијим површинама (слика 6). Дакле постоји катодна и анодна реакција.



Слика 6 - Шематски приказ процеса електрохемијске корозије при споју два метала различитог потенцијала (а) или површина различитих електродних потенцијала (б). ЕН-Електронегативнији метал, ЕП-електропозитивнији метал.

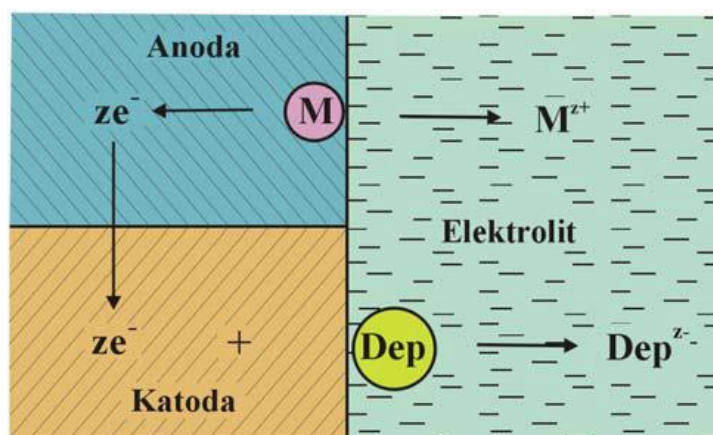
На слици 7 је дат приказ процеса у електрохемијској корозији. На анодним местима метал отпушта електроне и постаје позитиван јон - катјон. Другим речима, код анодног процеса се стварају метални катјони. Катода је метална електрода у галванском елементу где се одиграва реакције редукције. То је процес где елемент прима отпуштене електроне из анодне реакције и постаје негативно наелектрисан јон – анјон.



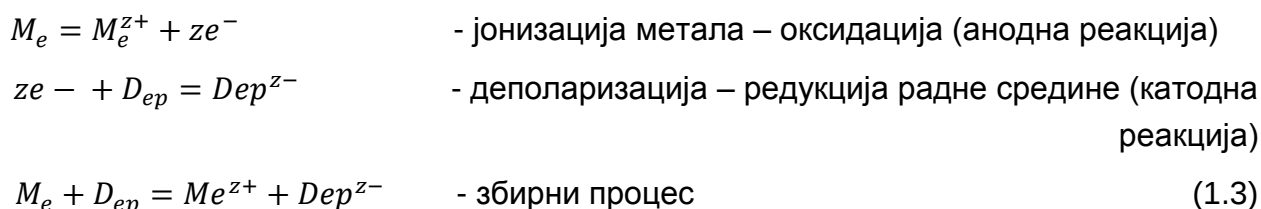
(1.2)

Слика 7 - Процеси у електрохемијској корозији

Пошто се успоставља потенцијална разлика између аноде и катоде, долази до усмереног кретања електрона јона кроз радну средину од аноде према катоде, тј. до протичања струје, што се види на слици 8.



Слика 8 – Шематски приказ механизма корозионог процеса у воденој средини



Као што се види са слика 6, 7 и 8, процес електрохемијске корозије се састоји од истовремене јонизације (оксидације) и редукције (деполаризације) агенса корозије из радне средине.

2.4. Специјалне врсте корозије

Истовремено са деловањем механичких, биолошких и електричних фактора се јављају специфичне корозионе појаве. Уз деловање ових фактора настају:

- ✚ напонска корозија;
- ✚ ерозиона корозија;
- ✚ биолошка корозија;
- ✚ корозија услед деловања лутајућих струја.

Према карактеру разарања метала, корозија може бити:

- ✚ општа;

- ✚ локална;
- ✚ селективна и
- ✚ интеркристална.

Може се извршити класификација корозије и према индустријским гранама (нпр: корозија у металургији, саобраћају, хемијској, прехранбеној, текстилној индустрији) или према постројењима у којима се одиграва процес корозије (на пример корозија у моторима СУС, корозија у системима за грејање и хлађење и слично). Таква подела је оправдана због специфичних корозионих појава у различитим гранама индустрије, тј. њиховим постројењима [5].

3. Заштита од корозије

Са пројектовањем у различитим областима индустрије, почиње први део превенције корозије, од избора материјала преко разних металуршких и технолошких процеса израде и накнадне обраде материјала отпорног на агресивне средине, различите температуре и притиске.

Против појаве корозије, површинска заштита конструкционих материјала је од посебног значаја. Велики проблем у свим гранама индустрије представља корозија конструкционих материјала. Услед корозије, витални елементи појединих средстава, могу изазвати штете материјалне и људске, несагледивих размера. У појединим земљама губици проузроковани корозијом, мере се на милијарде долара. На нивоу државе, индустријски развијене земље имају институције које се баве проучавањем штета насталих од корозије. Велики број штета се не региструје, што зависи од привредне гране, а често и због незнања или незаинтересованости [5].

3.1. Заштита премазима

У органске премазе спадају они који се састоје од компактне органске материје. Примењују се у циљу заштите од корозије, као додатна заштита на металу или неметалним неорганским превлакама.

Методe заштите помоћу органских премаза укључују:

- ✚ примену боја и лакова (средства за облагање),
- ✚ оплату, гуму, пластику и процес битуменизирања,

- ✚ примену средстава за привремену заштиту (транспорт и складиштење), односно примену антикорозивних минералних уља, заштитних масти, заштитних водених емулзија уља и осталих заштитних течности.

Најраширенија и најважнија је широка примена боја и лакова за заштиту метала, обично челика, од атмосферске корозије. Заштитни систем се састоји од базе и покривног премаза. У карактеристике темељног премаза спадају приањање на основни метал, антикорозионо деловање и добро слагање са покривним премазом. Покривни премаз мора да буде корозионо стабилан, отпоран на ултраљубичасто светло, еластичан, тврд, чврст, и мора да испуњава естетске захтеве [10].

4. Испитивање отпорности на корозију под утицајем различитих климатских промена

Приликом изложености дејству различитих климатских промена долази до појаве корозије на различитим материјалима у мањој или већој мери. Постоје различити начини за испитивање ових дејстава. Ови начини зависе од саме климатске промене, као и отпорности материјала који се испитује.

Неке од климатских промена које могу изазвати појаву корозије су:

- ✚ Повишена температура без влаге
- ✚ Снижена температура
- ✚ Заптивеност
- ✚ Испитивање на утицај слане магле
- ✚ Испитивање на утицај плесни
- ✚ Утицај вештачке кише
- ✚ Утицај песка и прашине

4.1. Повишена температура без влаге

Испитивање на утицај повишене температуре без влаге може се обавити на саставним деловима или на комплетном уређају.

За излагање повишеној температури без влаге употребљава се комора која је у стању да на сваком месту где се постављају саставни делови одржава једну од температура, односно степена строгости према табели 2. Температуре се прописују посебним стандардом [11].

Табела 2.

Изолагање повишеној температури без влаге	Температура, односно степен строности	°C	200	155	125	100	85	70	55	40
	Дозвољена одступања	°C	±2							
	Трајање излагања	h	16							
	Релативна влажност	%	45 до 75							
	Атмосферски притисак	mbar	860 до 1060							
Период након излагања повишеној температури (Поступак враћања)	Температура лабораторије	°C	(од 15 до 35°C) ± 1°C							
	Трајање	h	1 до 2							
	Релативна влажност	%	75 ± 2							
	Атмосферски притисак	mbar	860 до 1060							

Комора треба да је израђена на такав начин да се саставни делови не могу загревати директним зрачењем на местима где се они постављају.

После излагања саставни делови се држе под стандардним атмосферским условима за враћање према табели 2 након чега се подвргавају мерењима и механичким проверавањима прописаним посебним стандардом.

Уређај се визуелно прегледа и изложи мерењима и механичким проверавањима која су прописана посебним стандардом или спецификацијом.

Апсолутна влажност не сме да прескочи 20 g водене паре по кубном метру, што приближно одговара 50% релативне влажности на 35°C.

Температура унутар коморе подешава се термоосетљивом направом која је смештена на погодном месту у комори.

Ваздух у комори треба да се непрекидно меша, али не сувише јако да не би настало непожељно расхлађење уређаја.

Уређај који се испитује не сме бити изложен непосредном зрачењу загревних елемената коморе.

За складиштење на повишеној температури и излагање на повишену температуру при раду важи следеће:

Уређај се излаже повишеној температури, неупакован, неукључен и под условима »спреман за рад«.

Уређај који се испитује треба да има температуру лабораторије, и као такав уноси се у комору у којој треба да влада иста температура као што је околна температура лабораторије.

На крају периода излагања повишеној температури, уређај мора:

а) било да се излаже поступку враћања

б) било да остане у комори да би се изложио испитивању у раду на повишеној температури.

4.2. Снижена температура

Испитивање на утицај снижене температуре може да се обави на саставним деловима или на комплетном уређају.

Поступак испитивања саставних делова се обавља тако да се делови излажу мерењима и механичким проверавањима пре, у току и после излагања утицају снижене температуре. Ова мерења и механичка проверавања се прописују посебним стандардом [11].

Саставни делови се излажу у комори чија се атмосфера налази на температури одговарајућег степена строгости и у њој остају у трајању према табели 3.

Табела 3.

Излагање сниженој температури	Температура, односно степен строгости	°C	-65	-55	-40	-25	-10
	Дозвољена одступања	°C	±3				
	Трајање излагања	h	2 или према посебном стандарду				

	Релативна влажност	%	Није прописана
	Атмосферски притисак	mbar	860 до 1060
Враћање	Температура лабораторије	°C	(од 15 до 35°C) ± 1°C
	Трајање	h	1 до 2
	Релативна влажност	%	75 ± 2
	Атмосферски притисак	mbar	860 до 1060

Уређај се визуелно прегледа и изложи мерењима и механичким проверавањима која су прописана посебним стандардом или спецификациом.

Температура у комори подешава се термоосетљивом направом која је смештена на погодном месту у комори.

Треба обратити пажњу на то, да у свим тачкама коморе владају једнообразни услови који се, што је могуће више, приближавају условима непосредне околине термоосетљиве направе.

Ваздух у комори мора да се непрекидно меша.

Уређај се излаже сниженој температури неупакован, неукључен и под условима »спреман за рад«.

Уређај који се испитује треба да има температуру лабораторије и као такав уноси се у комору у којој треба да влада иста температура као што је околна температура лабораторије.

По завршетку периода излагања сниженој температури, уређај треба:

а) било да се изложи поступку враћања

б) било да остане у испитној комори да би се изложио раду на сниженој температури.

4.3. Заптивеност

Имамо следеће поступке испитивања заптивености:

- а) Поступци испитивања Q_a и Q_b : заптивеност према пропуштању ваздуха,
- б) Поступак испитивања Q_c : заптивеност кућишта пропуштању гасова,
- в) Поступак испитивања Q_d : заптивеност кућишта према истицању течности,
- г) Поступак испитивања Q_e : заптивеност кућишта према продирању течности.

1. Испитивање Q_a и Q_b : заптивеност према пропуштању ваздуха.

Сврха испитивања је да се утврди заптивеност према пропуштању ваздуха заптивача као саставног дела неког уређаја.

У основи разликују се два типа заптивача:

Тип А: заптивни статички проводи, тј. проводи са заптивачима који су изложени трајном притиску. У овај тип спадају гумени заптивачи, непропустљиви конектори и адаптори (непокретни заптивачи).

Тип Б: заптивне радне осовине као што су нпр. осовине и управљачке полуге снабдеване заптивачима (радни заптивачи).

Испитни комад се угради на поклопац заптивне коморе која је опремљена једном назувицом на које се причвршћује црево за довод ваздуха у вентил. Затим се компримовани ваздух пумпа у заптивени саставни део или у заптивну комору док се не постигне прописани притисак. После тога, цео склоп се зарони у течност која има прописану температуру. Ако саставни део пропушта, приметитиће се како излазе мехурићи ваздуха [11].

Поступак испитивања Q_a се примењује на заптиваче типа А и Б.

За заптиваче типа А прописани притисак примењује се у једном смеру, док се код заптивача типа Б врши провера заптивености у оба смера.

Заптивачи типа Б треба уједно да се испитују под статичким условима и под условима механичког рада.

Поступак испитивања Q_b примењује се само на заптиваче типа Б.

2. Поступак испитивања Q_c : Заптивеност кућишта према пропуштању гасова.

Овом је испитивању сврха да утврди ефикасност заптивености саставних делова који садрже извесну запремину испуњену гасом.

3. Поступак испитивања Q_d : Заптивеност кућишта према истицању течности.

Овом је испитивању сврха да утврди ефикасност заптивености саставних делова испуњених течношћу.

Ово испитивање може исто тако да се употреби за саставне делове који садрже чврсту материју на стандардној температури, али која постаје течна на температури испитивања.

4. Поступак испитивања Qe: Заптивеност кућишта према продирању воде.

Овом је испитивању сврха да утврди ефикасност заптивности саставних делова посматрањем дејства продирања неке проводљиве течности на њихове карактеристике.

Ово је испитивање применљиво како на потпуно напуњене саставне делове тако и на оне који су делимично напуњени.

4.4. Испитивање на утицај слане магле

Овај стандард прописује начин утврђивања издржљивости неког саставног дела електронских уређаја против оштећења изазваних атмосфером која садржи соли [11].

Испитивање према сланој магли примењује се само у изузетним случајевима, при чему се саставни делови испитују на следеће начине:

- као делови уређаја у коме ће се употребити
- опремљени својим заштитним органима (као кућиште, застор, поклопац итд) са којима се нормално употребљавају, и постављени тако да буду што ближи местима која ће стварно заузимати за време нормалне употребе.

Испитна комора треба да је израђена од материјала који не утичу на корозивно дејство слане магле.

Раствор намењен припреми слане магле добија се растварањем $50 \pm 1g$ аналитичког NaCl у дестилованој или деминерализованој води, на начин да се као крајњи раствор добија 1 литар на температури од $20\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Испитна комора треба да је затворена, а распршивање раствора мора бити континуално за цело време трајања излагања.

Саставни делови се испитују у главним положајима прописаним посебним стандардима. У ту сврху они се поделе на групе а свака група се испитује у једном од главних положаја. Саставни делови не смеју додиривати ни један метални део. Они треба да су тако распоређени, да ни један део не може да утиче на други део.

Саставни делови треба да се оперу текућом водом у трајању прописаном табелом, а после тога испирају се дестилисаном или деминерализованом водом.

После тога, руком се отресе капљице са саставних делова и изложе стандардним атмосферским условима за враћање.

Саставни делови морају се изложити визуелном прегледу, а по потреби, према посебном стандарду, мерењима и механичким проверавањима.

4.5. Испитивање на утицај плесни

Овај стандард прописује начин испитивања развоја плесни на узорку при кратком излагању у трајању од 28 дана, или начин испитивања утицаја плесни на функционисање узорка при дужем излагању у трајању од 84 дана. Саставни делови се обично излажу 28 дана, а уређаји дуже време.

Препоручује се да се за испитивање материјала примењују стандардни миколошки поступци, а да се усвајају само они материјали које плесни озбиљно не нападају. Поступак прописан овим стандардом намењен је за откривање дефеката у материјалу који се иначе нису могли уочити, а материјал је у принципу отпоран на плесни [11].

Пошто је тешко одржавати неопходне услове у великим коморама, велики уређаји састављени од више нањих не излажу се као целина, већ део по део.

Инкубатор који се користи за испитивање малих узорака мора да одржава температуру по целом радном простору тако да она буде између 28 и 30 °C.

Свака група узорака и контролних комада треба да је смештена у једној или више стаклених или пластичних посуда снабдевених поклопцем.

Једном недељно подиже се поклопац са посуде и посуда држи отворена неколико секунди да би се омогућио приступ свежему кисеонику за плесан.

Ако је узорак тако велики да не може да се смести у посуду користи се влажна комора. Влажна комора треба да има добро заптивена врата да би се спречила измена ваздуха ње и лабораторије у којој је смештена.

Међу материје које плесан често напада спадају: кожа, текстил, целулоза, свила, дрво и друге природне материје. Већину пластичних материјала плесан мање напада, али их ипак напада. Чисту вештачку смолу плесан не напада у већој мери, али ако садржи примесе за пластификацију, органске пунионице или

пигмент, који представљају храну за гљивице, на изложеној страни ових секундарних материјала може се развити изразита плесан.

За спречавање штетног утицаја развоја плесни треба употребљавати следеће поступке:

- Потпуно заптивање уређаја са сувом и чистом атмосфером – најефикаснији је начин за спречавање развоја плесни.
- Непрекидно грејање у затвореном кућишту.
- Контролисање атмосфере на задовољавајући начин (климатизација) тамо где уређај ради, може спречити штетан развој плесни.
- Периодичним и пажљивим чишћењем затворених уређаја.
- Протицање ваздуха одговарајуће брзине изнад делова, може успорити развој плесни.

4.6. Утицај вештачке кише

С обзиром на то да средства приликом транспорта и експлоатације могу бити изложена дејству кише, овом методом се проверава издржљивост и сигурност средстава у тим условима.

Комора за ово испитивање мора бити снабдевена одговарајућим млазницама, вентилом којим се може регулисати интензитет кише и мерним судом за контролу количине воде (падавина).

Испитивање средстава се одиграва према степенима строгости датим у табели 4 [11].

Табела 4.

Степен строгости	Интензитет падавина (mm/h)	Време прскања (минути)	Најмање одступање туша од средства (метар)
РЕЖИМ »А«	100	30	0,9
РЕЖИМ »Б«		60	
РЕЖИМ »В«		360	

По завршетку испитивања на вештачку кишу, неупаковано средство се испитује на функцију на овај начин:

- једна трећина средстава се испитује непосредно после прскања, при чему не треба дозволити да се средство осуши;

- друга трећина средстава се после прскања остави 24 часа на нормалним условима, а потом се испитује на функцију;
- остатак средстава се после прскања стави у хладњак на -10 ± 5 °C и држи 24 часа. Провера функције обавља се одмах, а најкасније 5 минута након вађења из хладњака.

4.7. Утицај песка и прашине

Овај начин испитивања представља утицај околине која садржи песак и прашину на средство које се испитује.

Опрема потребна за извршење испитивања састоји се од коморе у којој је могуће остварити турбулентно струјање песка и прашине. Поред коморе потребан је и прибор за контролисање брзине струјања, температуре коморе и влажности песка и прашине.

За ово испитивање употребљава се смеша кварцног песка и прашине следећег састава:

70 ± 5 % - кварцни песак

30 ± 3 % - прашина

Испитивање на песак и прашину се састоји од излагања средства турбулентном струјању песка и прашине у следећим условима:

Време излагања на песак и прашину траје. 60 минута

Релативна влага највише. 60 %

Температура у комори је. 15 – 25 °C

Брзина струјања. 10 – 15 m/s

Количина песка и прашине. 0,1 %

Влага у песку и прашини највише. запремине коморе 1%

Средства која се испитују поставити што је могуће тачније у централни део коморе тако да се међусобно не додирују или да не буду заколоњени од струје песка и прашине.

Величина коморе мора бити таква да средство које се испитује не заузима више од 20% запремине коморе, како би се обезбедила одговарајућа циркулација песка и прашине.

По завршетку излагања, средство се вади из коморе, очисти се од прашине (осим ако друкчије није прописано), а потом се прегледа и испитује према техничким условима. Средство се од прашине чисти четком, отресањем или брисањем, а никако дувањем или усисивачем [11].

5. Испитивање отпорности на корозију у сланој комори

Један од најпоузданијих начина испитивања отпорности материјала на корозију је тестирање у сланој комори. Ово испитивање се врши уз помоћ теста сланим спрејем (Слика 9).



Слика 9 – Слана комора

Тест сланим спрејем је стандардизован и популаран метод тестирања на корозију, који се користи да би се проверила отпорност материјала и површинских слојева на корозију [12].

Углавном материјали који се тестирају су од метала (мада камен, керамика и полимери такође могу бити тестирани) и често су обложени површинским слојем који има за сврху да заштити метал који облаже.

Тест сланим спрејем је тест убрзане корозије који производи ефекат корозивног напада на обложене узорке, да би се проценило колико је заштитни слој погодан да спречи корозивни напад.

Појава корозије се процењује након унапред утврђеног временског периода. Трајање тестирања зависи од тога колико је заштитни слој отпоран на корозију; углавном што је заштитни слој отпорнији, то је дужи период тестирања пре појаве корозије.

Тест сланим спрејем је један од најраспрострањенијих и давно установљених корозионих тестова. ASTM B117 је био први интернационално признат стандард тестирања сланим спрејем, објављен 1939 године. Други важни стандарди су ISO9227, JIS Z 2371 и ASTM G85.

5.1. Поступак испитивања у сланој комори

Суштина овог поступка је у убрзању процеса корозије повећањем температуре околне средине уз увођење у атмосферу а) неутралног раствора натријум хлорида, б) са или без додатка сирћетне киселине или в) са или без додатка сирћетне киселине и бакар хлорида. Температура испитивања за а) натријум хлорид и б) раствор натријум хлорида и сирћетне киселине је $35 \pm 2^\circ\text{C}$, односно, $50 \pm 2^\circ\text{C}$ за в) неутрални раствор са додатком сирћетне киселине и бакар хлорида. Уз припрему коморе и узорака за испитивање сходно стандардима ASTM B117 и ASTM G85, приступа се испитивању у времену које се дефинише за захтевани материјал или производ који се испитује.

Капацитет коморе не сме бити мањи од $0,2 \text{ m}^3$, али је пожељно да буде већи од $0,4 \text{ m}^3$ због правилног распршивања раствора соли. Број и врста узорака за испитивање, њихов облик и мере бирају се зависно од материјала или производа који се испитује.

По истеку предвиђеног времена испитивања и обради узорака, израчунава се брзина корозије на основу губитка масе. Осим брзине корозије и испитивања промене механичких својстава, визуелно се испитује стање површине пре и после скидања продуката корозије и изводи металографска анализа.

Скуп правила која дефинишу како најбоље спровести поступак испитивања у сланој комори и доћи до жељених резултата, одређен је светски признатим стандардима од којих су најчешће коришћени и најпризнатији ASTM B117 и ASTM G85.

СТАНДАРД ASTM B117

Апаратура

По стандарду ASTM B117, апаратура која је потребна за излагање сланој магли састоји се од коморе, резервоара за слану маглу, залихе компримованог ваздуха, једног или више распрскивача, подлога за тестирање, енергија за грејање коморе и потребна средства контроле. Величина и детаљна конструкција апаратуре су произвољни, под условом да испуњавају циљеве рада у комори.

Капи раствора које се акумулирају на поклопцу коморе не смеју да падну на узорке који се тестирају. Капи раствора, које спадају са узорака који се тестирају, не враћају се у резервоар са раствором за поновну употребу [20].

Материјал од којег се конструише слана комора треба да буде такав да не утиче на корозивност слане магле.

Узорци за тестирање

Врста и број узорака као и критеријум вредновања крајњих резултата дефинисани су у спецификацијама производа или се узајамно договоре између купца и продавца.

Припрема узорака за тестирање

Узорци треба да буду очишћени. Метод чишћења зависи од површине и загађивача.

Узорци за процену отпорности боје и других органских премаза треба да буду припремљени у складу са спецификацијама за материјале који се излажу или онако како се договоре продавац и купац. У супротном узорци треба да буду од челика који испуњава услове спецификације и треба да буду очишћени и припремљени за премазивање.

Узорци који су премазани бојама или неметалним премазима не треба да се чисте и са њима не треба претерано да се рукује пре тестирања.

Када је неки узорак прекривен фарбом или неким другим органским премазом, а потребно је утврдити да ли је слој испод премаза отпоран на корозију, онда треба оштрим предметом расећи горњи слој да би се ово утврдило [20].

Постављање узорака за тестирање

Положај узорака у сланој комори током тестирања треба да буде такав да испуњава следеће услове:

Уколико није другачије назначено узорци се постављају између 15 и 30° од вертикале и пожељно је да буду паралелни главном смеру протока магле кроз комору, на основу главне површине која се тестира.

Узорци не треба међусобно да се додирују или да додирују било какав метални материјал или други материјал који би могао да буде штетан по тестирање.

Сваки узорак треба да буде постављен тако да би омогућио несметану изложеност сланој магли.

Раствор са једног узорка не сме да капље ни на један други узорак.

Напомена:

Погодни материјали за површине на које се постављају узорци су: стакло, гума, пластика или обложено дрво. Чист метал не треба користити. Узорке је пожељно постављати хоризонтално или бочно.

Слани раствор

Слани раствор треба спремити растварањем 5 ± 1 јединица по маси натријум хлорида у 95 јединица воде. Посебну пажњу треба обратити на хемијски садржај соли. Со која се користи треба да буде натријум хлорид (NaCl) са не више од 0,3% укупних нечистоћа. Халогениди (бромид, флуорид и јодид) осим хлорида чине мање од 0,1% од укупног садржаја соли. Натријум хлорид који садржи адитиве не треба користити, зато што ови адитиви могу зауставити процес корозије.

Вредност pH раствора соли треба да буде таква да када се атомизира на 35°C, прикупљени раствор има pH у распону од 6,5 до 7,2. Пре него што се раствор атомизира, не треба да садржи суспендоване материје. pH мерење се врши на 25°C коришћењем одговарајуће стаклене pH сензор електроде, референтне електроде и pH система мерења, који је у складу са тест методом Е 70 [20].

Допремање ваздуха

Компримовани ваздух треба да буде очишћен од масноће, уља и прљавштине пре употребе, тако што ће проћи кроз добро одржаване филтере. Овај ваздух би требао да буде одржаван на довољном притиску.

Напомена:

Доток ваздуха може бити ослобођен од уља и прљавштине тако што ће проћи кроз одговарајући чистач уља или воде.

Уобичајени начин довода ваздуха је путем уређаја ваздушне дисперзије. Ниво воде мора да се одржава аутоматски, да би се обезбедила адекватна влажност. Уобичајена пракса је да се температура одржава између 46 и 49°C, да би се обезбедио ефекат хлађења током процеса атомизације.

Посебну пажњу треба обратити на везу између температуре у комори и притиска с обзиром да ова веза може имати директни утицај на сакупљање влаге

у ваздуху. Пожељно је да ваздух буде засићен влагом на температурама које су знатно изнад температуре коморе.

Услови у сланој комори

Температура – зона изложености слане коморе треба да се одржава на $35 \pm 1.1 - 1.7^{\circ}\text{C}$ ($95 \pm 2 - 3^{\circ}\text{F}$). Температура унутар затворене кабине треба да се мери најмање два пута дневно у размаку од 7 сати. Погодан метод за мерење температуре је уз помоћ уређаја за мерење или термометра са кога се вредности могу читати изван кабине. Температура мора бити измерена када је комора затворена, да би се избегли лажни резултати.

Атомизација и количина магле – најмање два колектора магле по атомизираним торњу треба поставити у оквиру простора у коме се излажу узорци за тестирање, тако да се капи раствора са узорак или било ког другог извора не би сакупљале. Колекторе треба поставити у близини узорака који се тестирају, један треба бити најближи неком од распрскивача, а други најудаљенији од свих распрскивача. Магла треба да буде таква да на сваких 80 cm^2 хоризонталног постоља се скупи од 1.0 до 2.0 mm раствора на сат рачунато у периоду од најмање 16 сати.

Распрскивач или распрскивачи – морају бити постављени тако да ни мало раствора не може директно да допре до узорака који се тестирају [20].

Континуитет изложености

Осим ако другачије није назначено у спецификацијама, тестирање не треба прекидати током читавог процеса. Континуирано тестирање подразумева да комора треба да буде затворена и да слана магла непрекидно треба да кружи, осим свакодневних краткотрајних прекидања, која су потребна да би се нешто проверило или преуредило или да би се склонили узорци који се тестирају, да би се проверио и допунио раствор у резервоару и да би се обавила неопходна снимања процеса тестирања. Све ово треба обавити тако да прекидање процеса тестирања буде сведено на минимум.

Период излагања

Период излагања треба бити назначен у спецификацијама о производу или међусобно договорен између купца и продавца [20].

Чишћење тестираних узорака

Осим ако није другачије назначено у спецификацијама производа, узорцима који се тестирају по завршетку процеса тестирања треба руковати на следећи начин:

- 1) Узорке треба пажљиво уклонити,

- 2) Узорци се могу благо опрати или потопити у чисту текућу воду, не топлију од 38°C, да би се отклонили остаци соли са њихове површине, а затим их треба одмах осушити.

Процена резултата

Треба извршити пажљиво и непосредно испитивање онако како се захтева у спецификацијама производа или како је договорено између купца и продавца [20].

Евиденција и извештаји

Следеће информације треба евидентирати, осим ако није другачије назначено у спецификацијама производа:

- 1) Врсту соли и воде који се користе за припремање сланог раствора,
- 2) Снимљене вредности температуре унутар зоне експозиције коморе,
- 3) Дневну евиденцију података добијену на основу сваког уређаја за сакупљање магле,
- 4) pH вредност раствора,
- 5) Типове узорака и њихове димензије,
- 6) Методе чишћења узорака пре и после тестирања,
- 7) Период излагања,
- 8) Прекиди тестирања, њихов разлог и дужина трајања,
- 9) Резултати свих прегледа.

СТАНДАРД ASTM G85

Апаратура

По стандарду ASTM G85, апаратура неопходна за испитивање у сланој комори састоји се од коморе са маглом, резервоара са сланим раствором, дотока одговарајућег компримованог ваздуха, једног или више распрскивача, постоља за узорке који се тестирају, извора загревања коморе и неопходних средстава контроле. Величина и детаљи конструкције кабине су произвољни. Материјал од кога се конструише треба да буде такав да не утиче на процес корозије [21].

Доток ваздуха

Компримовани ваздух треба допремити до распрскивача и осигурати да је раствор соли очишћен од уља и прљавштине.

Услови у сланој комори

Температура – у простору за излагање узорака варира у односу на метод тестирања који се користи. Температуру треба мерити најмање два пута дневно у размаку од 7 сати.

Количина магле – најмање два чиста колектора магле треба поставити у простору у коме се излажу узорци тако да ни кап раствора са узорака или неког другог извора не сме да се пропусти. Колекторе треба поставити у близини узорака, један најближе распрскивачу, а други најдаље од распрскивача. Распрскиваче треба усмерити тако да раствор не капље директно на узорке [21].

Узорци за тестирање

Врста и број узорака као и критеријум вредновања крајњих резултата дефинисани су у спецификацијама производа или се узајамно договоре између купца и продавца.

Припрема узорака за тестирање

Метод чишћења узорака пре тестирања зависи од површине узорка и од загађивача. Међутим приликом чишћења узорака не треба користити абразивна средства нити друге растворе који могу сами по себи изазвати корозију.

Узорке такође треба припремити и тако што се њихова фарба или други органски премази тестирају у складу са спецификацијама или онако како је договорено између продавца и купца.

Када желимо да одредимо отпорност материјала који се налази испод површинског слоја, треба направити огреботину или танку линију оштрим предметом тако да тај материјал постаје доступан за процес тестирања [21].

Слани раствор

Слани раствор треба направити користећи или синтетичку морску со или натријум хлорид. Вода за припрему раствора треба да буде дестилована или дејонизована.

Слани раствор који се прави од синтетичке морске соли састоји се од 42g соли по литри раствора.

Слани раствор који се састоји од натријум хлорида припрема се растварањем 5 ± 1 јединица натријум хлорида у 95 јединица дестиловане воде.

Неке соли садрже адитиве који могу да спрече процес корозије, зато треба обратити посебну пажњу на хемијски састав соли приликом припремања раствора.

Постављање узорака за тестирање

Уколико другачије није назначено узорке треба поставити између 6 и 45° од вертикале и по могућству паралелно са протоком магле кроз комору.

Не треба дозволити да се узорци који се тестирају међусобно додирују или да додирују било какав метал или неки други материјал који може бити сметња процесу тестирања.

Сваки узорак треба поставити тако да се обезбеди слободно кружење раствора, а најмањи размак између два узорка треба да буде 30 mm.

Не треба дозволити да слани раствор капље са једног узорка на други.

Одговарајући материјали за израду носача узорака су стакло, гума, пластика или обложено дрво. Не треба користити необложене метале. Узорке треба постављати хоризонтално или бочно [21].

Континуитет изложености

Осим ако другачије није назначено у спецификацијама тестирање не треба прекидати током читавог процеса. Континуирано тестирање подразумева да комора треба да буде затворена и да слана магла непрекидно треба да кружи, осим свакодневних краткотрајних прекидања, која су потребна да би се нешто проверило или преуредило или да би се склонили узорци који се тестирају, да би се проверио и допунио раствор у резервоару и да би се обавила неопходна снимања процеса тестирања. Све ово треба обавити тако да прекидање процеса тестирања буде сведено на минимум.

Период излагања

Период излагања треба бити назначен у спецификацијама о производу или међусобно договорен између купца и продавца [21].

Чишћење тестираних узорака

Уколико није другачије назначено у спецификацијама по завршетку процеса тестирања, узорке треба нежно опрати или потопити у чисту текућу воду не топлију од 38 °C, да би се отклонили остаци соли са њихових површина. Узорке затим треба одмах осушити. Сушење треба обавити млазом чистог компримованог ваздуха.

Процена резултата

Треба извршити пажљиво и непосредно испитивање онако како се захтева у спецификацијама производа или како је договорено између купца и продавца [21].

Евиденција и извештаји

Следеће информације треба евидентирати, осим ако није другачије назначено у спецификацијама производа:

- 1) Врсту соли и воде које се користе за припремање сланог раствора,
- 2) Измерене вредности температуре унутар зоне експозиције коморе,

- 3) Дневну евиденцију података добијену на основу сваког уређаја за сакупљање магле,
- 4) pH вредност раствора,
- 5) Типове узорака и њихове димензије,
- 6) Методе чишћења узорака пре и после тестирања,
- 7) Период излагања,
- 8) Прекиди тестирања, њихов разлог и дужина трајања,
- 9) Резултати свих прегледа.

5.2. Примена слане коморе

Тестирање сланим спрејем је популарно, зато што је релативно јефтино, брзо, добро утврђено и може се понављати. Иако се издржљивост током тестирања у сланој комори и очекивана трајност заштитног слоја код појединих материјала, као што су галванизирани челик, не морају увек подударати, ово тестирање је популарно широм света услед ниских трошкова и брзих резултата [12].

Већина сланих комора се користи да би се предвидела отпорност заштитних слојева на корозију, као што су органске и галванске превлаке. На пример, компоненте припреме и фарбе морају да прођу 96-часовни тест у сланој комори да би биле прихваћене за производњу. Уколико не задовоље ове захтеве, значи да указују на недостатке у квалитету, што се одмах мора отклонити да би финални производ био жељеног квалитета.

Применом теста у сланој комори омогућено је брзо упоређивање стварне и очекиване отпорности на корозију. У већини случајева, време које је потребно да би се на узорку појавили продукти корозије приликом тестирања се упоређује са очекиваним временом да би се утврдило да ли је тест успешан или не.

Тест сланим спрејем се слабо може применити приликом предвиђања тога како се материјали или заштитни слојеви одупиру корозији у стварном свету, зато што не креира нити имитира стварне корозивне услове. Циклично корозивно тестирање је погодније за овако нешто.

5.3. Опрема за тестирање

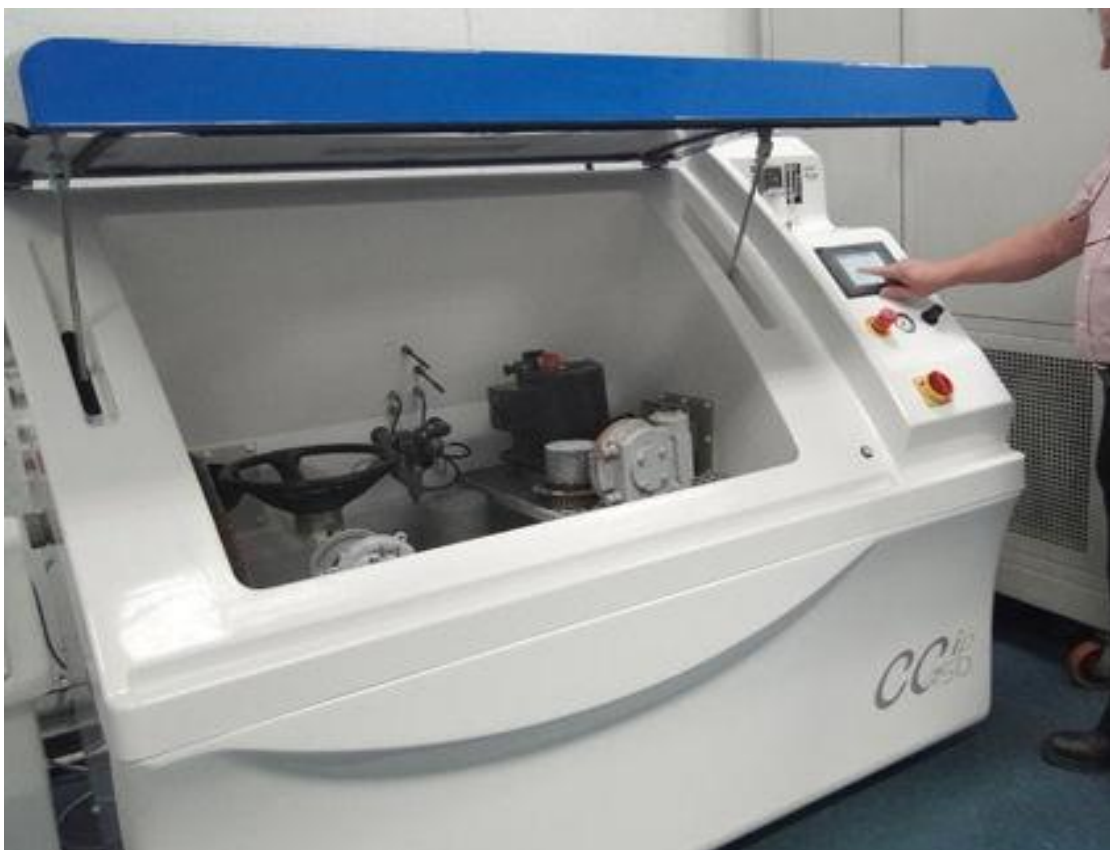
Уређај за тестирање се састоји од затворене коморе у којој се слана вода (5% NaCl) испушта у виду спреја коришћењем ваздушног притиска. Овај процес

ствара корозивно окружење са густом сланом маглом у комори, тако да су узроци на којима се спроводи тестирање подвргнути оштрим корозивним условима.

Величина коморе се разликује код различитих произвођача. Уколико је потребна комора минималне величине ради спровођења тестирања то ће бити јасно наглашено и треба се прилагодити томе. Постоји генерално правило да веће коморе могу да произведу хомогеније окружење у коме се одиграва тестирање. Варијације приликом тестирања зависе од материјала који се тестира. Најуобичајенији тест за челичне конструкције је неутрални тест сланим спрејем што указује на то да користи неутралну pH вредност од 6.5 до 7.2.

Поједине компаније нуде тестирање синтетичком и морском водом. Друге врсте тестирања укључују сирћетну киселину или комбинацију сирћетне киселине и бакар хлорида. Тестирања сирћетном киселином се углавном врше при pH вредности од 3.1 до 3.3.

Иако је већина тестова у сланој комори континуална, тј. узорци који се тестирају су изложени непрекидном дејству слане паре током читавог трајања теста, постоји неколико тестова који не захтевају такво излагање. Такви тестови се обично називају модификовани тестови сланим спрејем (Слика 10). ASTM G85 је пример стандарда тестирања који садржи разне модификоване тестове сланим спрејем који су заправо варијација главног теста [12].

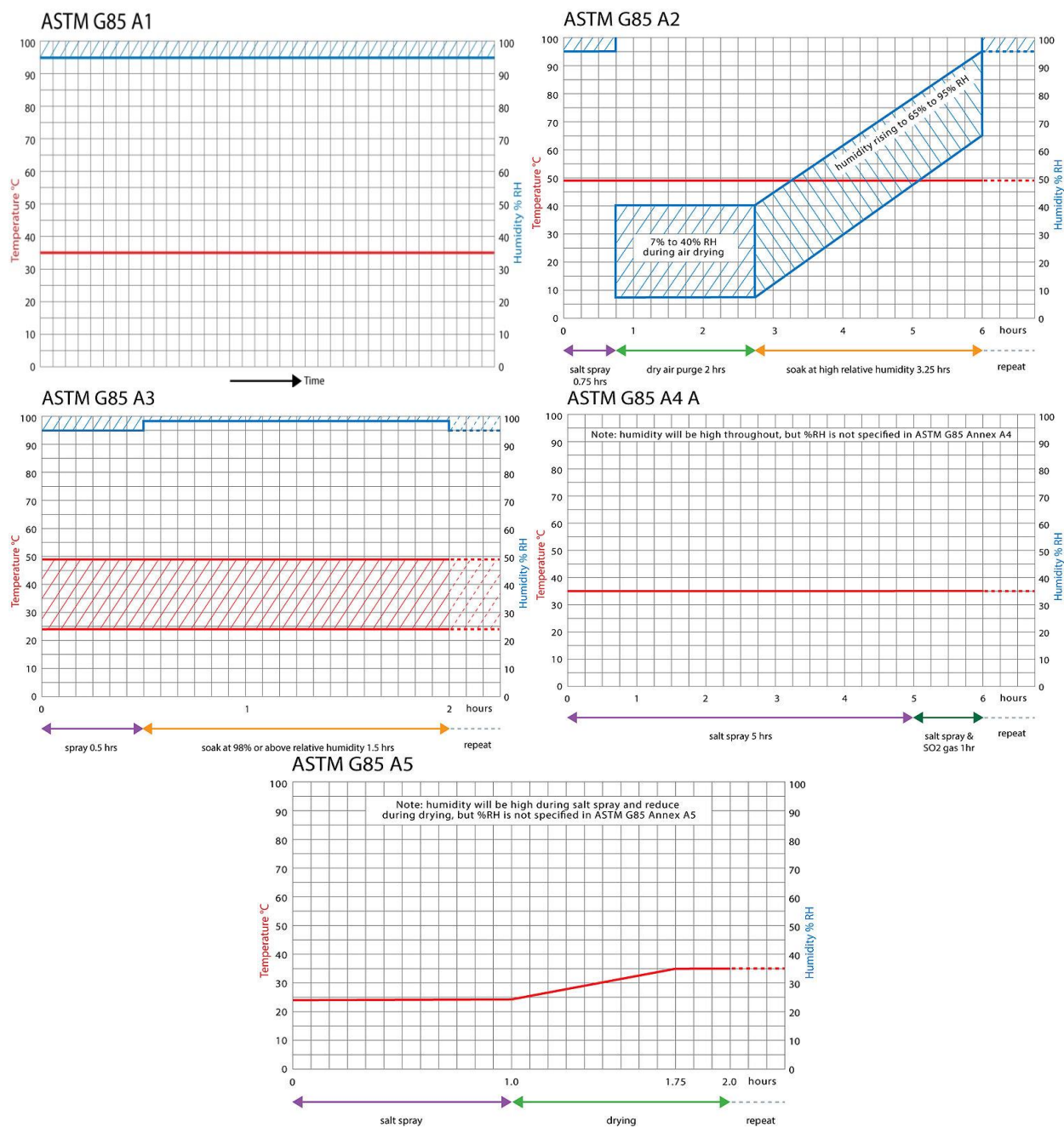


Слика 10 - Примена слане коморе за модификовани тест сланим спрејем

5.4. Модификовани тестови са сланим спрејем

ASTM G85 је најпопуларнији глобални тест стандард који обухвата модификоване тестове са сланим спрејем. Постоји укупно 5 таквих тестова, који се у ASTM G85 називају анекси А1 – А5. Тестови се међусобно разликују у режиму температуре и релативне влажности ваздуха у сланој комори у току испитивања, као што показује Слика 11.

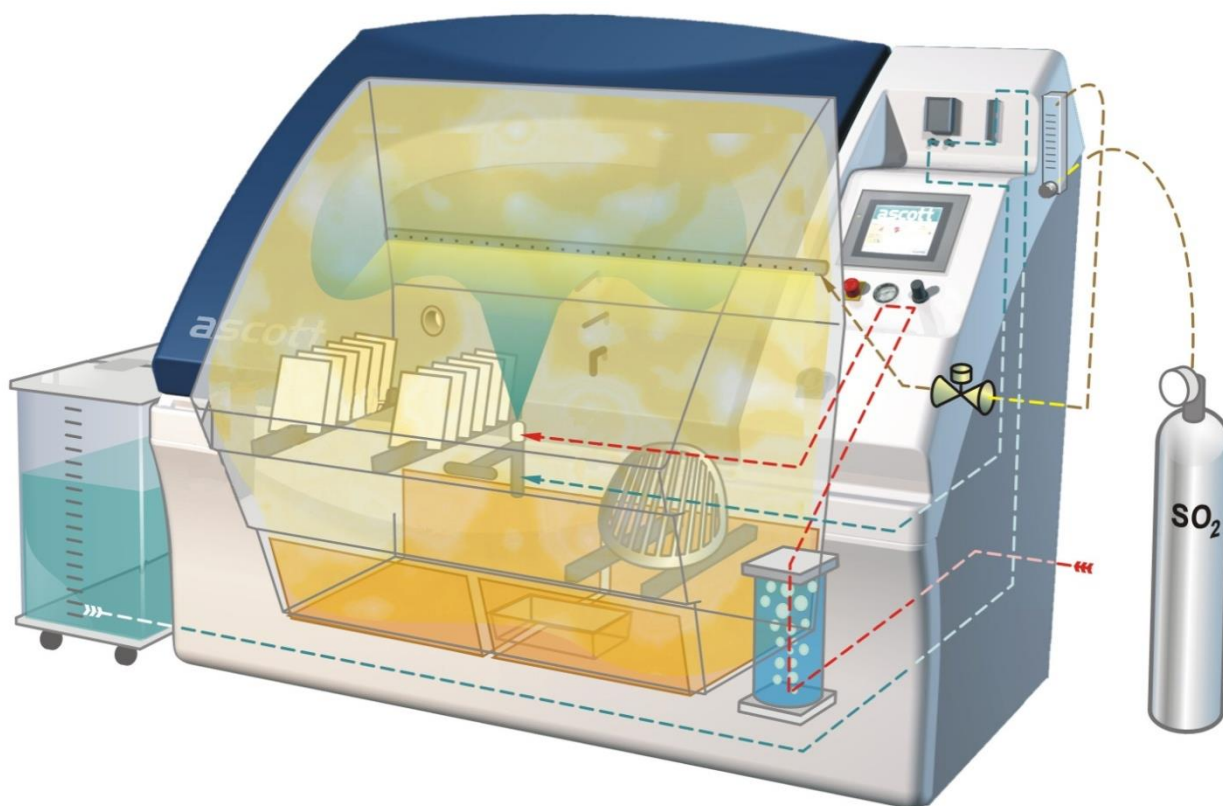
Многи од ових тестова су се појавили у одређеним индустријским секторима да би задовољили потребу за корозионим тестом, који би могао да симулира ефекте корозије настале природним путем и да ове ефекте убрза. Ово убрзање настаје применом хемијски модификованог сланог спреја, обично комбинованим са другим тест – условима [12].



Слика 11 – Графици који показују неопходне вредности температуре и влаге током модификованог теста сланим спрејем стандарда ASTM G85, анекси 1 - 5

Иако популарни у одређеним индустријама, модификовани тестови са сланим спрејем су у многим случајевима били потиснути од стране цикличног корозионог тестирања. Врсте комора које се користе приликом модификованих тестова са сланим спрејем у ASTM G85 су углавном сличне коморама које се користе у ASTM B117 тестирањима, али често имају одређена додатна обележја

као што су аутоматски систем контроле кружења ваздуха. Једна од таквих комора је приказана на Слици 12.



Слика 12 – Пример модификованог теста сланим спрејем стандарда ASTM G85, анекс А4 [12]

6. Тестирање делова оружја у сланој комори

Када говоримо о завршним слојевима (површинским слојевима) на ватреном оружју, нагласак се ставља на неколико кључних категорија, као што су: чврстина, хемијска отпорност, клизавост, абразивна отпорност и боја. Али ни једна од ових категорија није толико важна као заштита од корозије [13]. Просечан примерак ватреног оружја се бори са корозијом више него са било којим другим проблемима.

Тестови у сланој комори су базирани на ASTM стандардима. По ASTM B117 – 03 стандарду, корозиони тест симулира контролисано корозионо окружење, које се користи да би се добиле релативне информације о отпорности узорка метала и метала са заштитним слојевима на корозију. Приликом овог тестирања слана комора се подеси на температуру од 95° Фаренхајта са 5% концентрације соли (Слика 13).



Слика 13 – Подешавање температуре и концентрације соли у сланој комори [13]

Делови ватреног оружја се стављају у слану комору да би се видело колико је ком заштитном слоју потребно времена да би показао прве знаке корозије. Да би се постигли најбољи резултати тестирања нису сви узорци идентични [13] (Слике 14 и 15).



Слика 14 – Постављање делова оружја у слану комору [13]



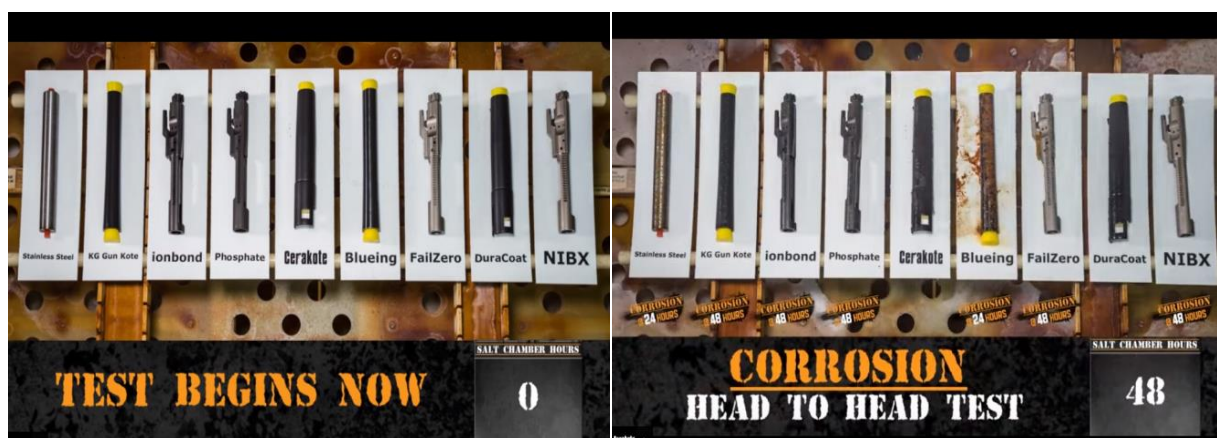
Слика 15 – Припрема делова оружја за тестирање [13]

Да би се показало колико су сурови услови у сланој комори, цев од високо котираног 416 нерђајућег челика се понекад ставља у комору заједно са другим деловима оружја.



Слика 16 – Унутрашњост слане коморе са узорцима за тестирање [13]

Слана комора ради различит број часова зависно од врсте узорака који се испитују, односно ради колико је потребно да би сваки узорак показао знаке корозије [13]. У одређеним временским интервалима комора се отвара и врши се инспекција и фотографисање узорака да би се оценио степен њихове корозије (Слике 16, 17 и 18).



Слика 17 – Појава рђе на узорцима након 48 сати тестирања у сланој комори [13]

Рђа која се појављује на плочама на којима су изложени узорци не мора неопходно да указује на прве знаке корозије. У сланој комори циркулише слана вода која скупља оксиде метала из атмосфере и распоређује је по површинама широм коморе, што може дати лажан утисак да је дошло до појаве корозије.



Слика 18 – Појава корозије након 360 сати тестирања у сланој комори

Први знаци корозије се показују када узорци који се тестирају постану прекривени рђом на малој површини, а касније се рђа проширује на веће површине [13].



Слика 19 – Упоредивање степена корозије на узорцима након 1441 сати и након 2034 сати тестирања у сланој комори

У једном примеру испитивања, приказаном на сликама 16-20, тестирање је завршено након 2034 сати. За то време све цеви пиштоља су кородирале. Цев која је била премазана заштитним премазом Серакот (CERAKOTE) је најдуже издржала овај тест, на основу чега се закључило да је Серакот ефикасан заштитни премаз у одбрани од корозије [13].



Слика 20 – Изглед узорака након завршетка тестирања у сланој комори

7. Типови сланих комора у свету

Широм света постоје бројни модели сланих комора, које се разликују по својим основним карактеристикама, као што су димензије, облик, изглед, запремина итд.

Неки од модела сланих комора су:

-  ASCOTT
-  Q-FOG
-  LISUN
-  WEICE
-  PRESTO
-  NACL

7.1. ASCOTT

Ascott је модел слане коморе произведен у северној Америци, у предузећу које је већ годинама лидер у дизајну сланих комора и одговара на иновације у захтевима потрошача, у перформансама као и техничким својствима [14].



Слика 21 – Слана комора модел ASCOTT [14]

7.2. Q-FOG

Q-FOG цикличне корозионе слане коморе, произведене у Q лабораторијама на Флориди, могу користити традиционални слани спреј. Q-FOG коморе су доступне у две величине да би се испунио широк домен захтева тестирања.

Q-FOG циклични корозиони тестери су најједноставнији, најпоузданији и најлакши за руковање.



Слика 22 – Слана комора модел Q-FOG [15]

7.3. LISUN

Слана комора марке Lisun произведена у Кини је јако ефикасна за испитивање отпорности материјала на корозију.

Ова слана комора има поклопац израђен од прозирног материјала тако да оператер може пратити ток тестирања узорка [16].



Слика 23 - Слана комора модел LISUN

7.4. WEICE

Weice, кинеске слане коморе, су најсофистицираније и најекономичније на тржишту. Применом ISO9001 стандарда и услед дугогодишњег искуства, ове коморе поуздано служе корисницима широм света. Израђене су тако да изађу у сусрет многим популарним интернационалним стандардима као што су ISO, JIS, DIN, ASTM, IEC, GB и SAE.



Слика 24 - Слана комора модел WEICE [17]

7.5. PRESTO

Presto модел слане коморе је дизајниран по водећим стандардима да би ефикасно изашао у сусрет захтевима потрошача. Апаратура овог модела слане коморе је дупло обложена и изолована стакленом вуном што повећава поузданост и прецизност резултата тестирања. То је патент дизајниран од стране Presto компаније која је један од водећих произвођача сланих комора у Индији [18].



Слика 25 - Слана комора модел PRESTO

7.6. NaCl

NaCl слане коморе су најновији и најмодернији модели сланих комора и постоје у варијантама од 500 и 1000 литара. То су економична решења која помажу у процесу убрзаног тестирања на корозију. Ови модели имају једноставан дизајн са оптимизираном површином за постављање узорак и на тај начин омогућавају да се и крупни и гломазни узорци могу у њима тестирати. Разлика између два поменута модела NaCl сланих комора приказана је у табели 5 [19].

Табела 5.

	Капацитет коморе	Резервоар слане воде	Држачи узорак	Прорези по држачу	Макс. бр. тест купона
SS-500	500 литара	90 литара	7	30 (24*)	204 **
SS-1000	1000 литара	90 литара	9	38 (32*)	336 **
	Температура кабине	Температура воде	Улазна снага	Брзина падања слане магле	
SS-500	+50° C	+65° C	6 A	$1.2 \frac{\text{mL}}{\text{hr}} / 80\text{cm}^2$	
SS-1000	+50° C	+65° C	9 A	$1.2 \frac{\text{mL}}{\text{hr}} / 80\text{cm}^2$	

3D модел NaCl слане коморе капацитета 500 литара дизајниран у програму CATIA V5 приказан је на следећим сликама.

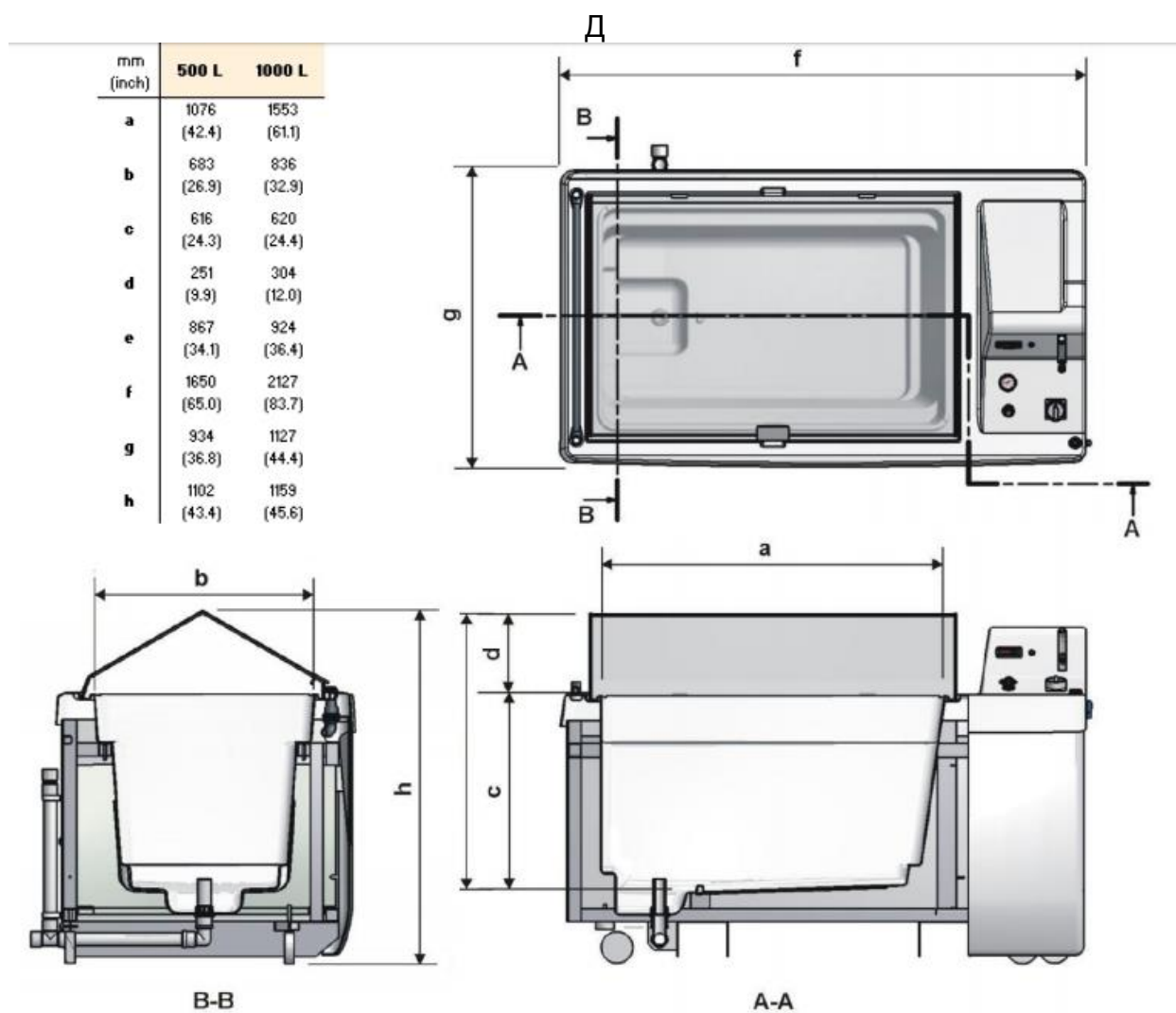


Слика 26 - Слана комора модел NaCl

Просторно моделирање подразумева да се будући производ и његови делови креирају, приказују и памте као просторни (запремински) објекти, што они уствари и јесу. Предности просторног моделирања су у томе што моделирани просторни објекат има све потребне информације за израду, порачун, анализу, симулације и контролу. Моделирани објекат има реалан (3D) изглед. Када је потребно, лака је израда цртежа (документације).

Да би се стекао утисак о простору и изгледу унутрашњости слане коморе (Слика 26) приказана је просторно моделирана слана комора NaCl, као идејно решење за будуће произвођаче сланих комора. Модел NaCl је најпрактичнији модел слане коморе, што је и разлог зашто је управо овај модел дизајниран у програму CATIA V5.

Табела са димензијама NaCl слане коморе од 500 и 1000 литара приказана је на следећој слици:



Слика 27 – Димензије NaCl сланих комора [19]

8. Закључак

На основу детаљног проучавања процеса корозије може се поуздано рећи да је корозија једна од најдеструктивнијих појава са којом се метали сусрећу. У зависности од отпорности материјала, неки теже, а неки лакше подлежу утицају корозије. У сваком случају, корозија је веома интензиван процес под чијим дејством након дужег времена може доћи до оштећења и најотпорнијих материјала.

У процесу корозије долази до формирања рђе и пропадања материјала, најчешће површинских слојева, чија се заштитна функција том приликом губи. С тога је потребно добро заштитити површинске слојеве од овог разарајућег процеса.

Са овим проблемом често се срећу и произвођачи оружја чији је циљ да потрошачима обезбеде поуздан финални производ. Поред функционалности овде се води рачуна и о изгледу, те је у оба случаја јако важно заштитити производ од корозије. То се често постиже употребом заштитних површинских слојева, која има за циљ што дуже одупирање корозији и самим тим дужи век трајања оружја.

Да би се утврдило колико су поједини материјали у могућности да се опиру штетном утицају корозије један од најпоузданијих начина провере је тестирање у сланој комори. Ово тестирање пружа прецизне резултате отпорности делова оружја на корозију, јер симулира веродостојно корозионо окружење. Услед тога може се прецизно утврдити колико времена је потребно деловима оружја да подлегну утицају корозије. Стога је овај начин испитивања отпорности на корозију признат широм света и бројни произвођачи сланих комора непрекидно усавршавају своје моделе у настојању да њихов производ доминира на конкурентском тржишту, услед велике потражње и потребе за коришћењем слане коморе.

9. Литература

- [1] З. Гулишија, Ч. Лачњевац: Корозија и заштита материјала, Београд 2012.
- [2] <http://www.airliners.net/>, преузето са интернет странице 09.06.2016.
- [3] <http://pierre.fkit.hr/inhibitor/opisistrazivanja.html>, преузето са интернет странице 10.06.2016.
- [4] <https://encrypted-tbn2.gstatic.com/images?q=tbn:ANd9GcQfgFg8smp0z8NJJsjb5H90P9OPMB5AJAK71NR6uODiPR4G0-nh>, преузето са интернет странице 10.06.2016.
- [5] В. Ђоровић, Ј. Антић, С. Кочовић, М. Радић: Заштита од корозије у аутоиндустрији, Крагујевац 2002.
- [6] В. Вујичић: Корозија и технологија заштите метала, Београд 2002.
- [7] <http://www.dixinary.com/photos/photo/284941>, преузето са интернет странице 11.06.2016.
- [8] <https://interiordesignassist.wordpress.com/2015/02/22/metals-treatments-for-corrosion-resistance/>, преузето са интернет странице 11.06.2016.
- [9] <https://images7.alphacoders.com/668/668559.jpg>, преузето са интернет странице 11.06.2016.
- [10] Trethewey K.R., Chamberlain Y., Corrosion for Science and Engineering, Longman, Germany 2012.
- [11] Б. Кострешевић: Климомеханичка испитивања, Умаг 1987.
- [12] https://en.wikipedia.org/wiki/Salt_spray_test, преузето са интернет странице 23.07.2016.
- [13] <https://www.youtube.com/watch?v=YIUwOR4Tq10>, преузето са интернет странице 15.09.2016.
- [14] <http://www.ascott-analytical.com/about-ascott.html>, преузето са интернет странице 25.09.2016.
- [15] <http://www.q-lab.com/products/q-fog-cyclic-corrosion-chamber/q-fog-ssp-cct>, преузето са интернет странице 25.09.2016.
- [16] <http://hr.lisungroup-sh.com/environmental-chamber/astm-d4728i-ec-60068-2-1-iec-60068-2-14.html>, преузето са интернет странице 25.09.2016.

[17] <http://www.weicetestinginstrument.com/about/>, преузето са интернет странице 25.09.2016.

[18] <http://www.testing-instruments.com/salt-spray-tester/>, преузето са интернет странице 25.09.2016.

[19] <http://www.comtel.com/images/Microsoft%20Word%20-%20NACL%204%20pg%20brochure%20revision%202a.pdf>, преузето са интернет странице 28.09.2016.

[20] Standard Practice for Operating Salt Spray (Fog) Apparatus, преузето 04.10.2016.

[21] Standard Practice for Modified Salt Spray (Fog) Testing, преузето 04.10.2016.

Коришћени програми:

- Microsoft Office Word 2007
- CATIA V5