

<https://doi.org/10.51301/ejsu.2024.i2.01>

Review of studies of corrosion of metals and alloys

N.K. Smagulova^{1*}, L.A. Kurmangaliyeva², T.K. Iskakova¹

¹Almaty technological university, Almaty, Kazakhstan

²Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

*Corresponding author: s.nazik82@gmail.com

Abstract. A review of studies on the protection of metals and their alloys from corrosion has been conducted. Currently, the problem of protecting metals and metal structures from corrosion is relevant in the world. The problem of protecting metal products from corrosion has not lost its importance since the beginning of the use of metal. The urgency of this problem lies in the fact that the intensive development of metal-intensive industries is associated with the rapid growth of economic and environmental damage caused by the destruction of metal structures, equipment and products. Practically all existing metal is subject to corrosion, but the long-term reliable functioning of products, equipment, metal structures made of metal and its alloys depends on the speed of the corrosion process. The average service life of products made of non-ferrous and ferrous metal alloys is about fifteen years, which is common in environmental conditions. Not only iron alloys, but also hard-to-melt metals and their alloys have a harmful effect on the environment. The main harm from metal corrosion is associated not only with the loss of a large amount of metal, but also with the failure of metal structures, since due to corrosion they lose the necessary strength, ductility, density, thermal and electrical conductivity, insulation and other necessary properties. Protection of metal structures from corrosion gives a positive effect by reducing the cost of repair and complete replacement of the entire structure or part. Corrosion protection is one of the most important problems of modern industry. This article provides information about the origin of the term corrosion, the course of this process, its types and the alleged damage.

Keywords: metal, corrosion, mechanical property, corrosion rate.

1. Кіріспе

Металл және оның қорытпалары көптеген салалар үшін маңызды конструкциялық материал болып табылады. Металдар мен оның қорытпаларынан дайындалған бұйымдар, тетіктер әртүрлі физика-химиялық және биологиялық әсерлерге байланысты бұзылуларға ұшырайды. Бұл құбылыс коррозия деп аталған, яғни латын тілінен аударғанда *corrodere* – жемірілу, желіну деген мағынаны білдіреді. Металл коррозиясы дегеніміз металдың қоршаған ортаның құраушыларымен тотықтырушы химиялық және электрохимиялық өзара әсерлесуі нәтижесінде өзіндік бұзылуы. Әдетте әртүрлі сұйық, газ орталары металдардың тез бұзылуына алып келеді [1].

1-кестеде өнеркәсіпте, тұрмыста қолданылатын әртүрлі материалдардың қасиеттері мен қолдану аймақтары көрсетілген. Коррозия металдың (конструкциялық материалдың) қасиеттерінің, сондай-ақ метал қолданылған бүкіл техникалық жүйенің немесе ортаның қасиеттерінің төмендеуіне алып келеді. Техникалық жүйенің бір бөлшегінің материалында орын алған қандай-да бір коррозиялық бұзылу коррозиялық әсер деп аталады. Бұл коррозияғы қатысты анықтаушы терминдер халықаралық ISO 8044 стандартымен бекітілген [2].

Коррозия үрдісі метал мен коррозия ортасынан тұратын жүйеде жүреді. Кез келген коррозия үрдістері гетерогенді және көп сатылы болып келеді. Көп сатылы

коррозия реагенттің метал бетімен жанасуы, белсенді-жеміруші бөлшектердің адсорбциясы, химиялық реакциялар, коррозия өнімдерінің шығуы және т.б. тұрады. Коррозия үрдістерінің басты ерекшелігі олардың күрделі және көп сатылы жүруінде. Әдетте коррозия үрдісі негізгі үш сатыдан тұрады: 1) жемірілуге, яғни коррозияға алып келетін денелердің пайда болуы; 2) гетерогенді реакцияның жүруі; 3) реакция өнімдерінің реакция аймағынан сыртқа шығуы. Осы аталған әрбір саты өз кезегінде параллель және бірін-бірі қуалай жүретін қарапайым кіші бөлімдерден тұрады. Кез келген коррозияны сипатын және жүру жылдамдығын анықтайтын фактор коррозияға ұшырайтын металдың қасиеттері болып табылады.

Кесте 1. Өнеркәсіпте қолданылатын материалдар

Материал	Негізгі қасиеттері	Қолдану аймағы
Металдар мен қорытпалар	Механикалық беріктік, қаттылық	Машина жасауда, көлік құрылымында, мұнай-газ тасымалдауда және т.б.
Пластмассалар	Тығыздылығы аз, коррозияға тұрақтылық	Технологиялық бөлшектер, құбырлар, ыдыстар, жабындар, бояулар.
Керамика	Жоғары қаттылық, коррозияға және жоғары температураға тұрақтылық,	Кескіш аспаптар, қозғалтқыштың бөлшектері, отқа төзімді кірпіштер, пештер және т.б.
Композиттер	Жеңіл, жоғары беріктілік және қаттылық.	Автомобильдің шанақтары, самолеттердің, кемелердің бөлшектері, құрылыста

© 2024. N.K. Smagulova, L.A. Kurmangaliyeva, T.K. Iskakova
s.nazik82@gmail.com; lezzet@mail.ru; tolqin_kanat@mail.ru

Engineering Journal of Satbayev University. eISSN 2959-2348. Published by Satbayev University

This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution License (<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>), which permits unrestricted reuse, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

Коррозия үрдісінің пайда болуына алып келетін шарттар:

- метал бетінде реагенттердің баяу диффузиясы;
- металдың коррозия ортасымен өзара әсерлесуінің химиялық немесе электрохимиялық реакциясының баяу жүруі (кинетикалық бақылау);
- екі үрдістің де баяу жүруі (коррозиялық үрдісті диффузиялық-кинетикалық бақылау).

Металдардың коррозиясы үрдістің пайда болу мен даму сипатына қарай жіктеледі. Коррозия үрдістері келесі топтарға жіктеледі:

- коррозияның жүру шартына қарай (ауада, теңіз суында, сілтілі, қышқылды, тұзды, фреттингті, түйіспелі, сұйықтықты, газды, топырақты, радиациялық, құрылымдық, және т.б.);
- бұзылу механизміне қарай (химиялық, электрохимиялық, биохимиялық, механикалық және т.б.);
- бұзылу сипатына қарай (жергілікті, жалпы, беттік, ойықты, нүктелі, түйіршік аралық және т.б.);
- пайдалану шартына қарай (үйкеліс кезіндегі коррозия, электр коррозиясы, коррозиялық кабинация, коррозиялық қажу, кернеулі коррозия) [3].

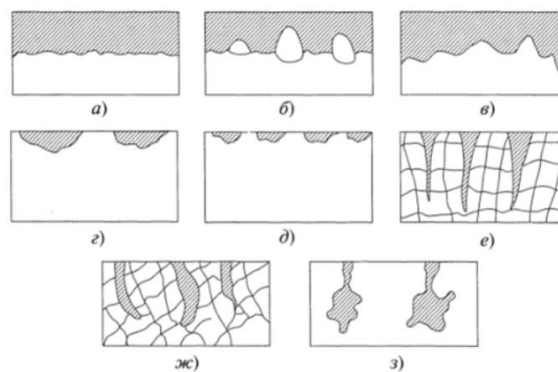
Металдардың коррозиясы металдың қоршаған ортамен физика-химиялық әсерлесуі. Темір және оның қорытпалары тоттанып, ауамен әрекеттесіп тотық түзеді. Ал, басқа металдар мен оның қорытпаларын тот баспайды, коррозияға ұшырайды. Темір материалдардың тот басып, жемірілу механизмі метал бетіндегі жұқа тотықты қабаттың бұзылуынан басталады. Таза, әдеткі температуралы құрғақ ауада аз көміртекті болаттардың бетінде жұқа қорғаушы тотық қабаты болады, бұл қабат ауада, суда, топырақта электролиттер болған жағдайда тез бүлініп, жемірілуге жол ашады. Бұл үрдістің жүру кинетикасы көптеген шарттарға байланысты болады.

Метал бұйымдардың, тетіктердің механикалық бұзылуы, яғни үйкеліс, қажалу эрозия деп аталады. Бірақта осы эрозия коррозияға алып келетін физикалық шарты жағдай. Мысалға, тістегеріштің механикалық желінуі эрозия болса, ал осы желінген тетікті тот басу коррозия болып табылады. Кей жағдайда металға қоршаған ортаның химиялық әсері физикалық тұрғыдан метал бетінің бүлінуіне, жарықтардың пайда болуына жеткізеді, бұл коррозиялық қажудың бастамасы [4].

Жалпы кез келген коррозиялық бұзылу метал мен қоршаған орта арасында химиялық немесе электрохимиялық әсерлесу нәтижесінде жүреді. Химиялық коррозия бір мезгілде тотықтырушы және тотықсыздандырушы үрдістердің жүру нәтижесінде өтеді. Металдың сыртқы ортамен байланысы тотығудан (метал қағының түзілуі) және метал атомдарының диффузиясынан (тотықты қабат арқылы оттегі атомдарымен араласудан) тұрады.

Газды коррозия (жоғары температурада газ ортасында жүретін химиялық коррозия) металлургия өндірісіне және басқа да бірқатар өндіріс түрлеріне орасан зор шығын келтіреді.

Электрохимиялық коррозия метал мен сұйық электродтардың (су, тұз ерітінділері, қышқыл, сілті) өзара әсерлесуі нәтижесінде жүреді. Бұл анодты және катодты үрдістерден жинақталған электрохимиялық реакция. Электрохимиялық коррозия ылғалды ауа жағдайында да жүреді.



Сурет 1. Бұзылу сипатына қарай коррозияның түрлері: а – жалпы коррозия; б – жалпы құрылымдық таңдаулы; в – тұтас әркелкі; г – таңбалы; д – ойықты; е – трансгүіршікті пittingті; ж – гүіршікаралық пittingті; з – ішкі құрылымдық таңдаулы

Коррозиялық үрдістердің нәтижесінде металл конструкциялары, станоктар, жабдықтар, механизмдер, тетікбөлшектер, құбыр желілері, жылу алмасу және қысыммен жұмыс атқаратын жабдықтар, бу қазандықтары, улы материалдарға арналған метал контейнерлер, көпірлер, ұшу аппараттары және т.б. бұзылады, жөндеуді немесе толық ауыстыруды қажет етеді.

Барлық метал және оның қорытпалары коррозиялық бұзылуларға ұшырайды, әрине әр металда коррозияның жүру жылдамдығы әртүрлі (1-сурет). Қара металдарды айтпағанда, қиын балқитын металдар ниобий, ванадий, вольфрам, рений айналаның жағымсыз әсерінен шет қалмайды. Қоршаған ортаның қалыпты жағдайында қолданыстағы қара және түсті метал мен оның қорытпаларынан жасалған бұйымдардың қызмет көрсету уақыты орташа есеппен он бес жылды құрайды. Қоршаған ортаның коррозияның белсенділігі нәтижесінде техногенді ластану күннен күнге артуда. Көптеген елдерде металдардың коррозиясына жіті назар аударылып, іргелі зерттеу жұмыстары жүргізілуде. Қол жеткен бірқатар табыстарға қарамастан метал коррозиясының мәселесі толық шешімін тапқан жоқ. Өнеркәсіптің ауқымды метал қорын қажет ететін салалары, атап айтсақ энергетика, көлік, металлургия, химия, мұнай, мұнай химиясы, машина жасау және т.с.с. салалардың қарқынды дамуымен ғана емес, сонымен қатар қоршаған ортаның (ауаның, судың, топырақтың) техногенді ластануымен және технологияда жоғары қысымды, температураны, жылдамдықты, химиялық белсенді ортаны қолданумен тығыз байланысты. Бұлар өз кезегінде метал конструкциялардың, бұйымдардың коррозиялық бұзылуын жеделдетуші фактор болып табылады. Бүгінгі уақытта металдардың коррозиясымен күресу, қоршаған ортаны ластаумен күресу болып саналады [5].

2. Зерттеу әдістері мен материалдары

Металл материалдарында коррозияның басталуына түрткі жасайтын сыртқы ортаның әртүрлі жағдайында металдардың термодинамикалық тұрақсыздығы. Металдардың коррозия жылдамдығы ішкі және сыртқы факторларға байланысты анықталады. Коррозияның сипаты мен жылдамдығын анықтайтын ішкі факторлар:

метал бетінің сипаты, химиялық құрамы мен құрылымы, ішкі кернеулер және т.б. Метал бетінің біртегіс болмауы жергілікті коррозияның басталуына алып келетін басты себептердің бірі болып табылады. Ал, сыртқы факторлерге коррозия ортасының сипаты мен қасиеттері және оның шамалары (температура, қысым, ылғалдылық, ортаның қозғалыс жылдамдығы және т.б.) жатады.

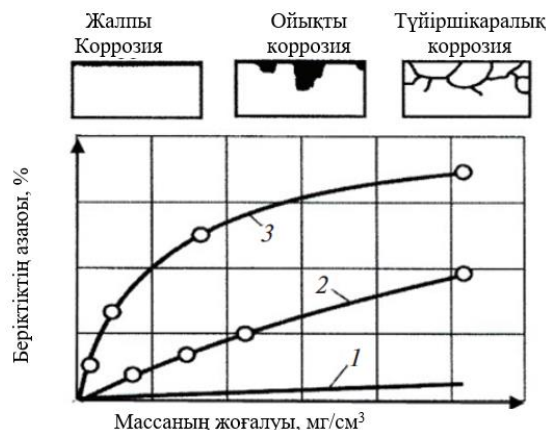
Ауада, топырақта кездесетін ылғалдылықтың өте аз мөлшерінің өзі жемірілу үрдісінің басталуына түрткі болып табылады. [6] жұмыста көрсетілгендей, салыстырмалы ылғалды таза ауада металдың жемірілуі шамамен 100% төмен. Ал, ауада аз мөлшерде қоспа пайда болғанда, мәселен, екі тотықты күкірт қосылса, өте аз мөлшердегі ылғал жағдайында айтарлықтай жемірілу үрдісі жүреді. Ылғалдың мөлшері артқан сайын коррозияның жүру жылдамдығы 70-80% дейін жоғарлайды. Яғни қоршаған ортаның ластануы металдың коррозиясына әсер ететін факторлардың бірі болып табылады. Ірі өндіріс ошақтары орналасқан индустриалды аймақтың атмосферасы қалалық, ауылдық немесе теңіз атмосферасына қарағанда коррозиялық белсенді болып келеді. Себебі коррозияның жүруін жеделдететін табиғи факторлерден басқа, өндіріс аумағында ауаға тарайтын зиянды қоспалардың көптеп болуы.

Жемірілетін беттің ылғалдану дәрежесіне қарай құрғақ, ылғалды, сулы коррозия деп бөлінеді. Құрғақ ауалы коррозия ауаның салыстырмалы ылғалдылығы 70% төмен болғанда (таза ауада) басталады. Коррозияның осы түрі төменгі температуралы тотығу механизмі бойынша жүреді. Пайда болған тотыққан қабаттың қалыңдығы 2-5 нм жеткен кезде, таза ауадағы металдың тотығуы тоқтайды. Ал осы жұқа қабатты ылғал пайда болса, онда ылғалды коррозияға айналып тотығу үрдісі жалғасады. Егерде осы тотыққан қабатқа су тамшысы таматын болса онда сулы коррозия жүреді. Табиғи шық ауыл, қалаларда метал коррозиясын арттыратын шартты фактор. Әдетте индустриалды аймақтағы шық, жаңбыр өзіндік химиялық құрамы бар коррозиялық белсенділікті арттырушы фактор болып табылады [7].

Коррозияның таралу жылдамдығына температураның және диссипацияның (жылудың қыздыру аймағынан жан-жаққа таралу) әсері өте жоғары, температура артқан сайын металдың тотығу үрдісі жылдам жүреді. Температура өзгерісі кезінде тотықты қабаттың құрамы өзгеруі мүмкін. Әсіресе, температураның бірде ыстық, бірде суық болып жиі алмасуы тотықты қабатта сызат пайда болып, коррозияға алып келеді. Сондай-ақ металл конструкцияларының жеке аймақтарындағы температура өзгерісі термогальваникалық коррозияға алып келетін будың пайда болуын туындатады. Термогальваникалық будың әсерінен қыздырылған металл бөлігі анод ретінде және күшейтілген коррозия үрдісі жүреді. Коррозияның жылдамдығын анықтауда үрдістің қозғау күшін материалдың қарсы тұру кедергісіне қатынасымен анықталады. Коррозия үрдісінің жүру күшін анықтауда термодинамика қолданылады.

Металдар коррозиясының жылдамдығына газды ортаның әсері металдар үшін әртүрлі және температураға байланысты өзгереді. Газ ортасының химиялық құрамы темір мен болаттардың тотығу

жылдамдығына әсері жоғары болып келеді, әсіресе, оттегі, күкірт қосылыстары, су булары. Мысалы, су буымен қаныққан ауа жағдайында болат материалдарының коррозия жылдамдығы екі-үш есеге артады. Ал газ ортасы отынның жану өнімдері болса, онда көміртекті және аз легирленген болаттардың коррозиясының жүру жылдам жоғарлайды.



Сурет 2. Коррозия нәтижесінде металдың механикалық қасиеттерінің өзгеруі: 1 – жалпы коррозия; 2 – ойықты (жерсілікті) коррозия; 3 – түйіршік аралық коррозия

Жергілікті коррозия жалпы коррозия түріне қарағанда қауіпті болып табылады, себебі коррозияның таралу сипаты әркелкі болған сайын металдың шығыны артады және анықтау өте қиын. Келген шығын көлемі шамалап, болжамды түрде анықталады. Металдың шығынының салыстырмалы шамасы көптеген факторлерге тәуелді. Атап айтсақ, коррозия ортасының жай-күйіне, металдың қасиеттері мен сапасына, түскен күшке, металдың көлемі мен қалыңдығына және т.б. Коррозиялы бұзылудың сипатын нақты анықтау коррозияның кинематикасын анықтауда және конструкторлық метал материалдарды коррозиядан қорғау әдістерін таңдау кезінде маңызды роль атқарады [2].

Түйіршікаралық коррозия ең қауіпті болып саналады (2-сурет). Өйткені мұндай коррозияны тек микроскоптың көмегімен ғана көруге болады. Металдың бет қабатын бүлдірмей түйіршіктің шекараларымен жүре отырып, металдың ішкі қабатына тереңдеп еніп кетеді. Метал бұйымдарды жылумен өңдеу үрдісі, сондай-ақ әртүрлі технологиялық операцияларды (ию, қалыптау, дәнекерлеу) орындау дұрыс жүргізілмеген кезде коррозияның осы түрі пайда болады. Сонымен қатар, технологиялық жабдықтар, бұйымдар, тетікбөлшектер ұзақ уақыт бойы жоғары температурада жұмыс атқарған кезде, легирлеу немесе болаттың құрылымдық класы қоршаған ортаға сәйкес дұрыс таңдалмаған жағдайда осы жемірілу жүреді. Құрылымы мен қасиеті коррозиялық желінуге тұрақты болатты жылумен өңдеу үрдісі химиялық құрамы өзгерген жаңа фазаның пайда болуына алып келеді. Болаттың құрамындағы көміртегінің жоғары температурада айтарлықтай еру тәуелділігі нәтижесінде карбид фазасы түзіледі. Көміртегінің аустенитте, мартенситте және ферритті еруі әртүрлі болғандықтан, карбидтің пайда болуының температуралық шарты да бірдей емес. Хромды ферритті болаттар жоғары температурадан тез суу кезінде карбид түзілуі жүреді. Бұл өзгеріс металды дәнекерлеу кезінде

орын алады. Сондықтан ферритті топтағы болаттарды 600-800°C температурада жасыту түйіршік аралық коррозияның пайда болуының алдын алады. Аустенитті топтағы болаттарда көміртегінің еруі салыстырмалы түрде көп болғандықтан жоғары температурада карбид түзілуі жүрмейді. Аустенитті және аустенитті-ферритті болаттарды баяу суытуда немесе босату кезінде карбид түзілетіні анықталған. Коррозияның осы түрі материалдың беріктігін толық жоғалтуына дейін жеткізіп, қирауға алып келеді [5, 6].

Коррозиялық бұзылулар құбырмен газ және мұнай тасымалдауда үлкен шығындарға алып келеді. Бұл метал шығыны ғана емес, сонымен қатар құбырмен тасымалданатын сұйықтықтың шығыны, құбыр жолында орын алатын жөндеу жұмыстарына байланысты өндірістегі күтпеген үзілістер, әртүрлі химиялық заттар мен газдардың қоршаған ортаға таралып, ластауы және т.б. Сондықтан мұнай, газ, әртүрлі химиялық сұйықтықтар тасымалданатын, сақталатын жабдықтарда пайда болған ақауларды уақытылы тауып, жөндеу аса маңызды.

Кез келген коррозияны сипатын және жүру жылдамдығын яғни металдың коррозиялық тұрақтылығын анықтайтын фактор коррозияға ұшырайтын металдың қасиеттері болып табылады. Нақтырақ айтсақ, металдың термодинамикалық тұрақтылығы мен құрылымы, метал бетінің кедір-бұдырлығы, ішкі кернеулері. Машина жасау жасау тетікбөлшектерінің, бұйымдарының коррозияға төзімділігін қамтамасыз ету және арттыру әдістері үш топқа бөлінген:

- бұйымның материалына әсер ету;
- агрессивті ортаға әсер ету;
- аралас.

Бірінші топ әдістері, бұл дегеніміз металды легирлеу, қорғау қабаттарын жағу (катодты, анодты, метал емес қорғау қабаттары, яғни сыр-бояумен), металды термиялық және термомеханикалық өңдеу, химиялық және электрхимиялық шашырату, коррозияға төзімді материалдарды қолдану және тиімді құрастыру жолдары.

Екінші топ әдістері бұйымды (тетікбөлшекті) пайдалану кезінде қолданылады. Яғни, ингибитор қолдану, конструкцияға сұйықтық пен газдарды өткізбейтін герметиктердің қолдану, толық жасанды орта жасау.

Үшінші топ әдістері бұйымның бетін қорғау мақсатында қорғаушы қабаттарын жағу және коррозия ортасына әсер ету болып табылады [8].

Материалдардың коррозиялық беріктігін арттыру үшін әдетте коррозия ингибиторы, сондай-ақ металды гальваникалық және метал емес (лак-бояулы және полимерлі) қорғау қабаттарын жағу қолданылады [9].

Ингибиторды қолдану әртүрлі агрессивті ортада металдарды қорғаудың ең тиімді тәсілі болып табылады. Ингибитор дегеніміз химиялық үрдістердің жүруін баяулататын немесе тоқтататын заттар. Бұл термин *inhibere* латын тілінен шыққан, мағынасы тоқтату, баяулату деген. Ингибитордың қызметі металдың бетінде жұқа қорғаныш қабатын түзе отырып, металды коррозиядан қорғау болып табылады, жабдықтар мен механизмдердің қызмет ету уақытын ұзартады. Коррозия ингибиторы ретінде химиялық қосылыстардың қоспалары немесе композициялары қолданылады.

Ингибитордың қорғау қасиеті коррозияны тежеу коэффициентімен, ингибитордың аз мөлшерде шоғырлануымен, қорғау дәрежесімен анықталады [10].

Коррозия ингибиторлары үш топқа топтастырылған: 1) байланыстыратын коррозиялық агенттер, 2) анодты және катодты әсер беретін ингибиторлар, 3) жұқа қабықша ретінде жұмыс атқаратын ингибиторлар. Екінші және үшінші топ ингибиторлары адсорбция көмегімен жүзеге асады. Егерде коррозиядан қорғалатын металдың беті теріс зарядталған болса, онда сіңірілетін ингибитор анодты түрге жатқызылады. Анодты ингибиторлар коррозияның анодты жүруін баяулатады. Катодты ингибиторлар катодты коррозия үрдісінің кернеулі күйінің жоғарлауы есебінен коррозия жылдамдығын азайтады. Коррозия кезіндегі катодты реакция сутегінің бөліну және оттегінің немесе деполязатордың қалпына келу реакциясы болып келеді. Анодты ингибитормен салыстырғанда катодты ингибиторлардың аз мөлшерінде коррозияға үрдісінің басталуын жібермейді. Жұқа қабықша ретінде жұмыс атқаратын ингибиторлардың қорғаныс механизмі метал бетінде қорғаушы жұқа қабық түзу арқылы орындалады. Осы пайда болған қорғаныс қабаты метал мен агрессивті ортаны бөліп, металдың коррозиясын болдырмайды. Ингибиторлы қорғау қабаты метал бетінде екі жолмен пайда болады: адсорбция күші және ингибитор молекулаларының көмірсутек тізбегі [11].

Сенімді, ұзақ мерзімге консервациялау жұмыстары аса маңызды. Осы мақсатта қолданылатын материалдарда ұзақ уақыт бойы коррозия белгілері байқалмай, бұйымдардың біртұтастығын қамтамасыз етуі керек. Ингибитор және оның негізіндегі материалдарды қолдану метал бұйымдарды сақтау мерзімін 5 есеге дейін арттырып, консервациялық материалдардың құнын 8-10 есе түсіруге, ал жұмсалатын еңбек шығынын одан да көп үнемдеуге мүмкіндік береді [12].

Машина жасау болаттарында, әскери техника, авиациялық конструкциялық және мұнай-газ саласында қолданылатын материалдарда ингибиторлы қорғау маңыздылығы артуда [13, 14]. Коррозияның басталуына алып келетін факторлар өте көп, осы факторлардың бәріне бірдей тосқауыл болатын эмбебап ингибитор жоқ [15]. Қазіргі таңда зерттелген, қолданысқа енгізілген ингибиторлардың көптігіне қарамастан табиғи шикізат негізде жасалған тиімді әрі қауіпсіз ингибиторды іздеу жұмыстары жалғасуда. Органикалық заттардың қосылысын ингибитор ретінде қолдану метал коррозиясын баяулатады. Органикалық қосылыстар металға аралас әсер ететін, яғни анод пен катод реакцияларының жылдамдығына әсер ететін ингибиторлар болып табылады. Органикалық ингибиторлар металдың бетіне ғана сіңіріледі. Органикалық қосылысты ингибиторлары пайдалану экономикалық тұрғыдан тиімді [16, 17].

Коррозиямен күресудің тағы да бір әдісі төменгі молекулалы полиэтилен негізінде жасалған қаптаушы заттарды қолдану болып табылады. Бұл қаптаушы заттар болат су құбырларын, темір-бетонды резервуарларды, дөнеркерлеген жіктерді гидроокшаулауға, коррозиядан қорғауға бағытталған. Полимерлі материалдар метал бұйымдардың коррозиясына қарсы тұру жолындағы неғұрлым прогрессивті жол болып табылады [18].

Метал конструкцияларды коррозиядан қорғаудың қарапайым, қол жетімді әдістерінің бірі лак-бояумен сырлау әдісі. Осы әдіс арқылы ауаның, ылғалдың, температураның жиі алмасуынан, майлау және де басқа сұйықтықтардың әсерінен қорғауға болады. Бұл әдіс арқылы ауыл-қала аумағындағы ашық аспан астындағы метал бұйымдардың жұмыс мерзімін тиімді ұзартылуда. Лак-бояу қаптамаларының көмегімен жабдықтарды, тетіктерді, әртүрлі сәндік бұйымдарды атмосфераның, химиялық реагенттердің, еріткіштердің, майлаушы және жанғыш материалдардың, жуғыш заттардың, биологиялық факторлардың әсерінен қорғауға болады [19].

3. Зерттеу нәтижелері және оларды талқылау

Жалпы коррозия – адамзат баласы метал өңдеуді меңгерген уақыттан бастап пайда болған, шешімі табылмаған мәселе. Орасан зор экономикалық шығындар мен экологиялық зиян алып келіп жатқан осы мәселені шешу мақсатында әртүрлі әдіс-тәсілдер ойлап табылуда. Соңғы 150 жылдан аса уақытта металдардың коррозиясы көптеген ғылыми зерттеулердің негізгі тақырыптарына айналды. Соған қарамастан бұл мәселе түбегейлі толық шешімін таппады. Осы өзекті мәселемен айналысатын барлық ғылыми жұмыстар негізгі үш күрделі сұрақтың жауабын шешуге бағытталған:

Экономикалық тиімділік. Өндірістің әртүрлі салаларында коррозияның әсеріне байланысты пайда болатын материалдық шығындарды азайту. Бұйымның ұзақ жұмыс атқару уақытын жоғарлаған сайын жөндеу және алмастыру жұмыстарына деген қажеттілік азаяды.

Жабдықтың сенімділігін арттыру. Коррозияның үлкен апаттарға алып келу мүмкіндігі өте жоғары. Мысалы: жоғары қысымды таралар, бу қазандықтары, улы материалдар мен биологиялық қауіпті қалдықтарды сақтауға және тасымалдауға арналған металл контейнерлер, көпірлер, ұшу құралдарының бөлшектері, атом электр станцияларының турбиналары және т.б.

Метал қорын сақтауды қамтамасыз ету. Жер қыртысындағы металл қоры шектеулі. Бұл болашақта метал жеткіліксіздігіне алып келуі мүмкін.

Осы факторлардың ішінде экономикалық тиімділік коррозияны зерттеудегі ең басты қозғаушы күш [20, 21, 22].

NACE ассоциациясының зерттеулері бойынша коррозиядан 2016 жылы АҚШ экономикасына 1.1 трлн доллар астам зиян келген. Өнеркәсібі дамыған Германия мемлекетінде шығын көлемі жалпы ішкі өнімнің (ЖІӨ) 2.8% құрайды. Қытай ғалымдары өз еліндегі коррозияның экономикаға әсері 310 млрд. долл. шамасында екенін көрсетті, бұл көрсеткіш ЖІӨ 3.34% құрайды. Ал Ресей елінде коррозиядан бұзылу әсерінен елдегі метал қорының 12 пайызы жоғалуда. Жер бетіндегі коррозиялық бұзылулар есебінен көптеген құбырлар, металконструкциялар қирап, өндірілген метал қорының шамамен 1/3 жойылуда. Дамушы елдерде коррозиядан келетін шығын көлемі дамыған елдермен салыстырғанда жоғары болып келеді. Метал коррозиясының өнеркәсіптің әртүрлі салаларына алып келетін зияны әртүрлі [23, 24, 25].

Коррозия әсерінен келетін шығын экономикамен қатар қоршаған ортаның экологиясына әсер етуде. Метал коррозиянан келетін шығындар тура және жанама шығындарға бөлінеді. Тура шығынға метал массасының

жойылуы жатады. Бұл дегеніміз белгілі уақыт аралығында коррозияның нәтижесінде жоғалған метал. Ал жанама шығындарға жұмыстың белгісіз уақытқа тоқтауы, технологиялық үрдістегі өзгерістер, жемірілген металдың ауаға, суға, топыраққа таралуы және т.б. жатады. Ашық аспан астында қолданылатын темір конструкциялар (темір жол рельстері, швеллер, әртүрлі қоршаулар) осы коррозиядан шамамен 0.13% массасын жоғалтады. Металдарды коррозиядан қорғау өзекті мәселе болып табылады. Жыл сайынғы өндірілетін металдардың жалпы көлемінің 1% тура шығындар, ал 25% жанама шығындар құрайды. Қолданыстағы метал қорының үздіксіз өсуі және метал конструкцияларын қолдану шарттарының қиындауы, тағы да басқа шарттарға байланысты метал коррозиясы (шығыны) жылдан жылға арту үстінде. ЮНЕСКО мәліметтеріне сүйенсек, жыл сайын әлемде шамамен 200 миллион тонна метал коррозия салдарынан бұзылатыны мәлім.

Коррозия – қоршаған ортамен өзара әсерлесу нәтижесінде метал материалдардың қасиеттерінің нашарлауы. Коррозия жылдамдығына көптеген факторлар әсер етеді, соның ішінде ылғал және тотықтырғыштар коррозияның тез таралуына алып келетін негізгі факторлар болып табылады. Металды механикалық тоздыратын қажу, сырғу механизмдері коррозияға жатпайды, бірақта коррозия осы тозу механизмдерінің жылдам жүруін қамтамасыз етеді [26].

АҚШ автомобиль жолдарын федеральды басқару (FHWA) департаменті ел экономикасының барлық саласына коррозияның тигізетін әсерін жан-жақты зерттеген. 2-жылдық зерттеулерінің нәтижесінде метал коррозиясының барлық саланы қамтитыны, коррозияның өндіріс және қайта өңдеу салаларына келтірген шығын көлемі анықталды (3-сурет).



Сурет 3. Өнеркәсіп салаларына метал коррозиясынан келген шығын көлемі (<http://impact.nace.org/documents/ccsupp.pdf> дерек көзінен алынды)

Ел экономикасына келетін шығын мөлшері өнеркәсіп саласына қарай әртүрлі болып келеді. Коррозияның жапы құны өндірісте қолданылатын үрдістердің жиынтығынан тұрады. Өндірістегі коррозияға жұмсалатын шығындар қолданылатын материалдан, жұмыс күші мен энергиядан басталады. Мысалы, қорғау мақсатында бояу қажет етілуі мүмкін. Қарапайым көміртекті болаттың орнына коррозияға төзімді

легируленген болат таңдалғанда, жобалау мен катодты қорғау үшін құны қымбат техникалық қызмет қана көрсетілуі мүмкін.

Металдың ішкі құрылымындағы қалдық кернеудің әсерінен коррозияға алып келетін жарықтардың пайда болуының алдын алу үшін металдарды қосымша жылумен өңдеу амалы орындалуы мүмкін. Бұл әдіс кернеулі жарықтарды болдырмай, коррозияны біраз уақытқа шегеруге мүмкіндік береді.

Коррозияның алдын алу мақсатында атқарылатын жұмыстар жалпы жұмсалатын шығын мөлшерін арттырады. Коррозия заманауи қоғамның барлық салаларына өз әсерін тигізеді. Метал желінуінің зардабынан өткен ғасырлардан қалған, металдан құйылған, дайындалған құнды жәдігерлердің тозуы, жоғалуы орын алуда (4-сурет). Бірақта келтірілген шығын көлемін сапалық бағалау өте қиын. Коррозия үрдісі кезінде көптеген жанама әсерлер бірге жүреді. Бір ғана механизмнің әсерінен металдың желіне басталуы өте сирек, әдетте бірнеше факторлардың жиынтығы нәтижесінде ауыр зардаптарға алып келеді [27].



Сурет 4. Қоғамның салаларына коррозияның әсері

4. Қорытынды

XXI ғасырда өнеркәсіптің жоғары даму қарқыны, өндірістік үдерістердің қарқындылығының жоғарылауы технологиялық жабдықтар мен құрылыс конструкцияларын сенімді пайдалануға жоғары талаптар қояды. Жабдықтар мен конструкцияларды пайдалану мерзімін арттыру шараларында коррозиядан сенімді қорғау және жоғары сапалы, әртүрлі агрессивті ортаға химиялық төзімді материалдарды қолдануға баса мән беріледі. Коррозия үрдісінің теориялық негізін, түрлерін және жүру механизмін білу инженер үшін маңызды және коррозияға тұрақты материалды және қорғау әдістерін дұрыс таңдауға мүмкіндік береді. Осы сұрақтың шешуін табу үшін әлемде көптеген ғалымдар жұмыс атқаруда, бірақта бұл шешімі толық табылмаған сұрақ. Материалдардың коррозия құбылысын және қорғау қаптамаларын ұтымды таңдау талабы күннен күнге жоғарлауда, қазіргі таңдағы өнеркәсіп үшін маңызды мәселе.

References / Әдебиеттер

[1] Malakhov, A.I., Zhukov, A.P. (1978). Osnovy metallovedeniya i teorii korrozii. Uchebnik dlya mashinostroitelnykh tekhnikumov: Vyssh.shkola

[2] ISO/TC 56. (1974). Corrosion of metals and alloys. Retrieved from: <https://www.iso.org/ru/committee/53264.html>

[3] Rossina, N.G., Popov, N.A., Zhilyakova, M.A. & Korelin, A.V. (2019). Korroziya i zashchita metallov. Ch. 1. Metody issledovaniy korroziionnykh protsessov. Ekaterinburg: Izdatelstvo Uralskogo universiteta

[4] Zhuk, N.P. (2006). Kurs teorii korrozii i zashchita metallov. OOO TID «Al'yans»

[5] Semenova, I.V., Florionovich, G.M. & Khoroshilov, A.V. (2002). Korroziya i zashchita ot korrozii. M.: Fizmatlit

[6] Shreir, L.L. (1981). Korroziya. Spravochnye izdanie (Russian translate). M.: Metallurgiya

[7] Yanin, E.P. (2020). Korroziya kak istochnik zagryazneniya okruzhayushchej sredy. M.: NP «ARSO»

[8] Ovchinnikov, V.V., Boronin, Yu.M., Yakutina, S.V., Lukyanenko, E.V., Kozlov, D.A. & Parfenovskaya, O.A. (2013). Povyshenie korroziionnoj stojkosti konstrukcionnoj stali 30KhGSN2A putem implantaczii ionov medi i svincza. Mashinostroenie i inzhenernoe obrazovanie, (3), 35-41. <https://doi.org/10.12737/1577>

[9] Sinyavskaya, V.S., Val'kov, V.D. & Kalinin, V.D. (1986). Korroziya i zashchita alyuminiyevykh splavov. M.: Metallurgiya

[10] Kashkovskij, R.V., Kuznecov, Yu.I. (2013). Ob ocenke vkladov plenki produktov korrozii i ingibitora v obshhej zashhitnoj effekt. Korroziya: materialy, zashchita, (3), 20-26

[11] Gafarov, N.A., Goncharov, A.A. & Kushnarenko, V.M. (1998). Korroziya i zashchita oborudovaniya serovodorodso-derzhashhikh neftegazovykh mestorozhdenij. M: Nedra

[12] Malahov, E.V., Karpov V.A. & Yakubovskaya, T.O. (2004). Polimernye plenki s lik dlya zashchity metalloizdelij pri hranenii. Korroziya: materialy, zashchita, (8), 16-18

[13] Uorf, R.A., Kichenko, A.B. (2012). Ocenka korroziionnoj aktivnosti sred Salymskikh neftnykh mestorozhdenij s tochki zreniya vozmozhnosti vyzyvat sulfidnoe rastreskivanie promyslovyykh truboprovodov t oborudovaniya. Praktika protivokorroziionnoj zashchity, 1(63), 42-49

[14] Kablov, E.N., Starczev, O.V., Medvedov, I.M. & Panin, S.V. Korroziionnaya agressivnost primorskoj atmosfery. Ch. 1 Faktory vliyaniya (obzor). Korroziya: materialy, zashchita, (12), 6-18

[15] Sukhotin, A.M., Archakov, Yu.I. (1990). Korroziionnaya stojkost oborudovaniya khimicheskikh proizvodstv. Neftepererabatyvayushhikh promyshlenost.: Spravochnaya rukovodstvo. L.: Khimiya

[16] Pandian, B.R., Mathur, G.S. (2008). Natural products as corrosion inhibitor for metals in corrosive media (review). Materials letters, 62(1), 113-116. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2007.04.079>

[17] Kozlova, L.S., Sibileva, S.V., Chesnokov, D.V. & Kutuyev, A.E. (2015). Ingibitory korrozii (obzor). Aviacionnye materialy i tekhnologii, (2), 67-75. <https://doi.org/10.18577/2071-9140-2015-0-2-67-75>

[18] Varikov, G.A., Drozd, K.M. & Zhornik, V.I. (2018). Korroziionnaya stojkost' gazoplammennykh polimernykh pokrytij, modifirovannykh neorganicheskimi dobavkami. Pozharnaya i promyshlennaya bezopasnost' (tekhnicheskie nauki). Vestnik Universiteta grazhdanskoj zashchity MCHS Belarusi, 2(4), 485-492

[19] Nefedov, N.I., Semenova, L.V., Kuznezova, V.A. & Vereninova, N.P. (2017). Lakokrasochnye pokrytiya dlya zashchity metallicheskih i polimernykh kompozicionnykh materialov ot stareniya, korrozii i biopovrezhdeniya. Aviacionnye materialy i tekhnologii, 3, 393-494

[20] Bobrov, I.V. (2008). Sistema pokazateley dlya otsenki vozmeshcheniya ekonomicheskogo ushcherba ot korrozii truboprovodov. Ekonomicheskie nauki, 58(3-1), 252-257

[21] Dzhabbarov, Sh.N. (2016). Sovremennye problemy korroziionnoj stojkosti kompleksov podzemnogo oborudovaniya dlya dobychi nefteproduktov. Innovatsionnye tekhnologii v

- nauke i obrazovanii: materialy VII Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferencii, Cheboksary, 3(7), 172-179
- [22] Baranov, A.N., Guseva, E.A. & Komova, E.M. (2014). Issledovanie korrozionnoy stoykosti steley, primenyaemykh dlya izgotovleniya drazhnogo oborudovaniya dlya dobychi zoloto. *Sistemy. Metody. Tekhnologii*, 1(21), 102-106
- [23] Kolyada, L.G., Tarasyuk, E.V. (2018). Metody issledovaniya zashchitnoy sposobnosti upakovochnykh materialov, sodержashchikh letuchie inhibitory korrozii. *Byulleten «Chernaya metallurgiya»*, 77-82. <https://doi.org/10.32339/0135-5910-2018-11-77-84>
- [24] Bhaskaran, R., Palaniswamy, N., Rengaswamy, N.S. & Jayachandran, M. (2005). A review of differing approaches used to estimate the cost of corrosion (and their relevance in the development of modern corrosion prevention and control strategies). *Anti-Corrosion Methods and Materials*, 52(1), 29-41. <https://doi.org/10.1108/00035590510574899>
- [25] Ponamarev, A.P., Medyanik, N.L., Tarasyuk, E.V. & Kolyada, L.G. (2018). Issledovanie polipropilenovykh tkaney s letuchim inhibitorom korrozii dlya upakovki otsinkovannoy produktsii. *Vektor nauki TGU*, 4(46), 18-23. <https://doi.org/10.18323/2073-5073-2018-4-18-23>
- [26] Baranov, A.V., Vagner, V.A. (2005). Opisanie protsessov mekhanokhimicheskogo iznashivaniya metallov. *Polzunovskiy vestnik*, 2(2), 50-54
- [27] National Academies of Sciences, Engineering and Medicine. (2011). Research Opportunities in Corrosion Science and Engineering. *Washington, DC: The National Academies Press*. <https://doi.org/10.17226/13032>

Металдар мен қорытпалардың коррозиясы бойынша жүргізілген зерттеулерге шолу

Н.К.Смагулова^{1*}, Л.А.Курмангалиева², Т.К.Искакова¹

¹Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан

²Satbayev University, Алматы, Қазақстан

*Корреспонденция үшін автор: s.nazik82@gmail.com

Аңдатпа. Металдар мен оның қорытпаларын коррозиядан қорғау туралы жүргізілген зерттеулерге шолу жасалды. Қазіргі уақытта металдар мен металл конструкцияларын коррозиядан қорғау мәселесі әлемде өзекті болып табылады. Метал бұйымдарды коррозиядан қорғау сұрағы металды қолдану басталғалы бері өзінің маңыздылығын жоғалтқан жоқ. Бұл мәселенің өзектілігі металды көп қажет ететін салалардың қарқынды дамуы, яғни металл конструкцияларының, жабдықтар мен бұйымдардың коррозиядан пайда болатын экономикалық және экологиялық залалдың тез өсуімен де байланысты. Қолданыстағы барлық металдың іс жүзінде коррозияға ұшырайды, бірақ метал мен оның қорытпаларынан жасалған бұйымдардың, жабдықтардың, метал конструкциялардың ұзақ уақыт сенімді жұмыс атқаруы коррозия үрдісінің жылдамдығына тәуелді болып келеді. Түсті және қара металдар қорытпаларынан дайындалған бұйымдардың орташа қызмет көрсету мерзімі шамамен он бес жыл, бұл әдеткі қоршаған орта жағдайында. Темір қорытпалары ғана емес, сонымен қатар қиын балқитын металдар мен оның қорытпаларына да қоршаған ортаның зиянды әсері бар. Металл коррозиясының негізгі зияны металдың көп мөлшерін жоғалтумен ғана емес, сонымен қатар металл конструкцияларының істен шығуымен байланысты, өйткені коррозияға байланысты олар қажетті беріктігін, икемділігін, тығыздығын, жылу және электр өткізгіштігін, оқшаулау және басқа да қажетті қасиеттерін жоғалтады. Метал конструкцияларын коррозиядан қорғау тетіктерді жөндеу және толық алмастыруға жұмсалатын шығындарды азайту есебінен оң экономикалық әсер береді. Коррозиядан қорғау қазіргі заманғы өнеркәсіп үшін маңызды мәселелердің бірі болып табылады. Мақалада коррозия терминінің шығуы, осы құбылыстың жүруі, түрлері, келетін шығын мөлшері туралы мәліметтер берілген.

Негізгі сөздер: метал, коррозия, механикалық қасиет, коррозияның жылдамдығы.

Обзор исследований коррозии металлов и сплавов

Н.К.Смагулова^{1*}, Л.А.Курмангалиева², Т.К.Искакова¹

¹Алматынський технологический университет, Алматы, Казахстан

²Satbayev University, Алматы, Казахстан

*Автор для корреспонденции: s.nazik82@gmail.com

Аннотация. Проведен обзор исследований по защите металлов и их сплавов от коррозии. В настоящее время проблема защиты металлов и металлоконструкций от коррозии является актуальной в мире. Проблема защиты металлических изделий от коррозии не утратил своего значения с начала применения металла. Актуальность данной проблемы заключается в том, что интенсивное развитие металлоемких отраслей связано с быстрым ростом экономического и экологического ущерба, наносимого разрушением металлоконструкций, оборудования и изделий. Практически весь существующий металл подвержен коррозии, но длительное надежное функционирование изделий, оборудования, металлоконструкций из металла и его сплавов зависит от скорости процесса коррозии. Средний срок службы изделий, изготовленных из сплавов цветных и черных металлов, составляет около пятнадцати лет, что

является обычным явлением в условиях окружающей среды. Вредное воздействие окружающей среды оказывают не только сплавы железа, но и трудноплавкие металлы и их сплавы. Основной вред от коррозии металла связан не только с потерей большого количества металла, но и с выходом из строя металлоконструкций, так как из-за коррозии они теряют необходимую прочность, пластичность, плотность, тепло-и электропроводность, изоляционные и другие необходимые свойства. Защита металлических конструкции от коррозии дает положительный эффект за счет уменьшения затрат на ремонт и полную замену всего конструкции или детали. Защита от коррозии является одной из важнейших проблем современной промышленности. В данной статье даны сведения о происхождении термина коррозии, протекание этого процесса, его видах и о предполагаемый ущерб.

Ключевые слова: металл, коррозия, механические свойства, скорость коррозий.

Received: 13 November 2023

Accepted: 15 April 2024

Available online: 30 April 2024