

Корозія металів

Якщо метал окиснюється і з чистого стану переходить у сполуки, тоді говорять про корозію цього металу. Тут, однак, необхідне уточнення. Коли процес окиснення проводиться спеціально, щоб одержати якусь певну потрібну сполуку, то цей процес не називається корозією, а просто хімічною реакцією. А корозією цей процес буде називатися лише тоді, коли наслідок його для нас небажаний, коли він протікає самовдовільно, без нашого втручання і бажання. Тоді більш точне визначення буде таке:

Корозія металу – це самочинне його руйнування під впливом зовнішнього середовища.

Що є причиною корозії? Відповідь на це питання дає термодинаміка.

Запишемо реакції окиснення найбільш поширених металів, і зробимо їх спрощений термодинамічний аналіз, розрахувавши зміну енергії Гіббса за стандартних умов, і зведемо результати до таблиці.

Реакція	ΔH^0 , кДж/моль	ΔS^0 , кДж/моль*К	ΔG^0 , кДж/моль	$T_{\text{дис}}$, К
$2\text{Al} + 1.5\text{O}_2 = \text{Al}_2\text{O}_3$	-1671,0	-314,7	-1577,2	5300
$\text{Mg} + 0,5\text{O}_2 = \text{MgO}$	-602,1	-108,0	-569,9	5530
$\text{Ti} + \text{O}_2 = \text{TiO}_2$	-941,7	-198,5	-882,2	4680
$\text{Zn} + 0,5\text{O}_2 = \text{ZnO}$	-348,4	-108,0	-318,6	3500
$2\text{Fe} + 1.5\text{O}_2 = \text{Fe}_2\text{O}_3$	-822,7	-272,6	-741,5	3000
$\text{Sn} + 0,5\text{O}_2 = \text{SnO}$	-287,2	-97,6	-257,9	2940
$\text{Pb} + 0,5\text{O}_2 = \text{PbO}$	-218,6	-100,1	-188,8	2180
$\text{Cu} + 0,5\text{O}_2 = \text{CuO}$	-155,3	-94,2	-127,3	1600
$\text{Hg} + 0,5\text{O}_2 = \text{HgO}$	-90,9	-108,0	-58,6	830
$2\text{Ag} + 0,5\text{O}_2 = \text{Ag}_2\text{O}$	-30,6	-66,2	-10,9	460
$2\text{Au} + 1.5\text{O}_2 = \text{Au}_2\text{O}_3$	163,3	-276,8	80,8	-

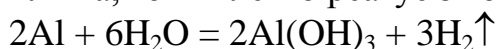
З наведених даних зразу ж випливає, що всі реакції, крім останньої, за звичайних умов в атмосфері повітря будуть перебігати самочинно.

Іншими словами, всі розглянуті метали, крім золота, за кімнатних температур нестабільні. Для них більш енергетично вигідним є окиснений стан. Тому, з чисто термодинамічної точки зору, більш правомірним є питання не чому має місце корозія, а чому взагалі можна використовувати звичайні не благородні метали, чому вони негайно ж не зруйнуються, як це вимагає термодинаміка.

Адже вони знаходяться в термодинамічно нестабільному стані і їх добування з руди потребує затрат енергії. Металургійні процеси виплавки металів взагалі дуже енергоємні. Корозія ж, по суті, є процесом, оберненим металургійному. Цей обернений процес є самочинним, і та енергія, що була затрачена при добуванні, розсіюється у вигляді теплоти в навколишньому середовищі при проходженні корозійного процесу.

Отже, наш термодинамічний аналіз поставив питання: чому, все-таки, метали, подібні алюмінію, залізу, цинку, можна використовувати, чому вони негайно не руйнуються, оскільки вони нестабільні? Відповіді на це питання треба шукати в кінетиці і в механізмі корозійних процесів. За своєю природою вони досить складні, містять кілька стадій, але спільним є те, що в результаті окиснення на поверхні утворюється плівка продуктів. За певних умов ця плівка здатна захищати поверхню металу. І виявляється, що вирішальними факторами корозії будуть не стільки хімічні особливості металу (його активність по відношенню до кисню чи іншого окисника), а фізичні властивості плівки окиснених продуктів на поверхні, насамперед, оксидів.

Наприклад, алюміній є дуже активним металом. Якщо якимось чином створити умови, щоб на його поверхні не утворювалася щільна захисна плівка, то він легко реагує з водою:



Але ж ми в алюмінієвому посуді цілком можемо кип'ятити воду, варити їжу. Це тому, що свіжа поверхня алюмінію при контакті з повітрям одразу ж окиснюється, і подальша доля виробу визначається властивостями цієї плівки. Якби вона була рихла і осипалася з поверхні, то предмет дуже швидко б зруйнувався. Але в звичайних умовах плівка є настільки щільною, компактною і гарно зчепленою з поверхнею, що після її утворення нові порції окисника до поверхні вже не поступають і окиснення (корозія) припиняється. Процес корозії сам себе гальмує, сам себе зупиняє.

Не слід, звичайно, думати, що раз поверхнева плівка утворилася, то будь-який метал буде захищений раз і назавжди від корозії. Справді, метали завдяки поверхневій плівці стають значно стійкішими і можуть використовуватися тривалий час. Але їх стійкість не абсолютна – корозія повільно відбувається і наносить значну шкоду. Наприклад, 25% потужностей чорної металургії працюють фактично на компенсацію втрат сплавів заліза від корозії. В середньому 10% інших металів за рік втрачаються саме від корозії. Шкода від корозії вимірюється не тільки прямими втратами металу – значно гірше, коли від корозійних процесів втрачаються експлуатаційні властивості виробу і він має бути викинутий в металолом задовго до повного руйнування металу.

Тому завдання зменшення цих втрат шляхом захисту від корозії завжди було і залишається надзвичайно важливим. Для його вирішення потрібні глибокі знання механізму окиснення металів і властивостей захисних плівок, що утворилися. Деякі елементарні уявлення про природу корозійних процесів і їх механізм ми зараз і обговоримо.

Корозія – це різновидність ОВ реакції, що протікає в складній гетерогенній системі, куди входять фази металу, оксидів чи гідроксидів, повітря і дуже часто рідина з властивостями електроліту. Наприклад, підземний трубопровід контактує з вологим ґрунтом, а в цій волозі завжди

розчинені солі, що робить її електропровідною. Атмосферна волога також конденсується на поверхні металів, а властивості електролітного розчину їй надає вуглекислий газ, який в ній розчиняється, утворюючи слабку вугільну кислоту ($\text{H}_2\text{O} + \text{CO}_2 \rightleftharpoons \text{H}_2\text{CO}_3$; $\text{H}_2\text{CO}_3 \rightleftharpoons \text{H}^+ + \text{HCO}_3^-$).

Ви вже знаєте, в чому полягає головна особливість перебігу ОВ реакцій в електрохімічних системах – процеси окиснення і відновлення розділені в просторі, а електрони від відновника до окисника передаються через провідник 1-го роду, тобто, метал.

Згідно з сучасними уявленнями, переважна більшість корозійних процесів в присутності вологи проходять саме як електрохімічні. А при повній відсутності вологи вважається, що корозія є чисто хімічним процесом (хоча, як ми спробуємо показати далі, це не зовсім так). Такий вид корозії – у відсутності вологи і зазвичай за підвищеної температури – називається хімічною, або *газовою* корозією. З неї ми і почнемо.

Хімічна корозія відбувається за високих температур – у двигунах внутрішнього згоряння, турбінах, хімічних реакторах тощо. Власне корозійний процес зводиться до окиснення поверхні металу газом, частіше всього киснем повітря, за підвищеної температури.

Зміна ентропії при утворенні оксиду завжди від’ємна, тому, що в лівій частині рівнянь стоїть газ, а в правій його нема. Як видно з наведених в таблиці значень, вона становить у всіх випадках близько 100 Дж/К в розрахунку на 1 моль атомів кисню. А це значить, що з підвищенням температури енергія Гіббса збільшується. Тобто, при підвищенні температури рівновага реакцій поступово зміщується в бік вихідних речовин і за достатньо високих температур, кожен оксид металу може розкластися на метал і кисень. Давайте з’ясуємо, що це за “достатньо висока температура”, приблизно оцінивши її за спрощеним рівнянням (60) з наведених в таблиці термодинамічних даних.

Отже, допустивши, що зміни ентальпії і ентропії від температури не залежать, з лінійного рівняння (60) знайдемо температуру, за якої енергія Гіббса змінює знак з “-“ на “+”: $\Delta G(T_p) = 0$. Звідси $T_p \approx \frac{\Delta H^0}{\Delta S^0}$. Обчислені таким чином приблизні значення температур розкладу зведені в останній колонці таблиці.

Як бачимо, золото не буде окиснюватися за жодної температури. Ртуть при нагріванні утворить оксид, але якщо температуру підняти десь до 600°C чи вище, він розкладеться і ртуть за таких підвищених температур окиснюватися вже не буде. Аналогічно веде себе і срібло – розплавлений метал вже не окиснюється. Інші ж метали мають дуже високі температури розкладу оксидів, а значить, будуть окиснюватися в твердому стані задовго до температури плавлення. Отже, для основних (не благородних) металів, що

є конструкційними, які працюють за підвищених температур, питання газової високотемпературної корозії є дуже важливими.

Перш, ніж перейти до вивчення газової корозії, розглянемо таке цікаве питання: які з металів можуть зустрічатися в природі в вільному, не окисненому, або як кажуть, в самородному стані?

Золото – безумовно.

Срібло. Цілком можливі природні процеси в земній корі, де оксидні мінерали нагріваються вище 500К. Тому срібло в самородному стані зустрічається, хоча далеко не все.

Ртуть. В переважній більшості в сполуках, хоча іноді зустрічаються вкраплення металічної ртуті.

Мідь – не повинна була б взагалі зустрічатися в самородному стані – але зрідка іноді трапляється. Видно, десь у земній корі бувають процеси, коли мінерали нагріваються до температур близько 1500°C, а потім різко охолоджуються, не встигнувши знову повністю окиснитися. Цей факт відіграв величезну роль в історії людства. При переході від кам'яного віку до віку міді металічні знаряддя спершу виготовляли із самородної міді, а вже потім навчилися виплавляти мідь із оксидних мінералів.

Залізо – можна знайти на Землі в самородному стані, але, наскільки нам відомо, лише в одному місці. Це невеличкий острівець вулканічного походження біля Гренландії, що називається Діско. Там були знайдені великі шматки самородного заліза. Для їх утворення потрібен був унікальний збіг обставин – виверження вулкану відбувалось так, що розпечена лава пройшла через товщу кам'яного вугілля, що привело до відновлення оксидів заліза. Зазвичай же залізо в земній корі не зустрічається в самородному вигляді – дуже вже висока температура розкладу його оксиду. А от в метеоритах – скільки завгодно. Там воно в сплаві з нікелем. Метеоритне залізо було відомо первісним людям. Метеоритні залізонікелеві сплави не кувалися, і зробити з них вироби не вдавалось тривалий час. Тому якоїсь значної ролі в історії метеоритне залізо не зіграло. Правда, кажуть, що шпага імператора Олександра I була зроблена з “небесного металу”.

Про інші метали в самородному стані нам не відомо.

Золото, срібло, мідь, ртуть, залізо, плюс іще свинець та олово, відносяться до так званих *семи металів древності* – вони були відомі людям з прадавніх часів. Перші чотири з них зустрічаються в самородному стані, а інші три можуть бути досить легко відновлені із сполук.

Повернемося до корозії, що відбувається в окиснювальному газовому середовищі.

Нижче температури дисоціації на поверхні при контакті з повітрям виникає плівка оксиду. Якщо цей оксид суцільний і добре пристає до металу, то корозія зразу ж сповільнюється. Якщо ж плівка пориста, погано пристає, то вона не захищає від корозії. Така плівка виникає, коли об'єм оксиду менший, ніж об'єм металу (калій, натрій, тощо).

На більшості ж металів утворюється більш-менш якісна плівка (Zn, Ni, Al, Fe). Спочатку вона покриває поверхню шаром товщиною декілька атомів (5-10Å). Після цього безпосередній контакт окисника з металом припиняється.

Здавалося б, процес корозії також повинен припинитися. Але ж ми знаємо, що ці плівки можуть бути значно товщими – іноді до кількох

міліметрів. Значить, після початкової стадії формування, плівки продовжують рости.

Раніше вважалося, що або атоми металу шляхом дифузії доставляються на поверхню і там взаємодіють з киснем (тоді ріст плівки відбувається ззовні), або молекули кисню дифундують всередину плівки через твердий оксид, окиснюючи метал всередині – тоді зона росту знаходиться всередині.

За сучасними уявленнями, дифузія нейтральних атомів, чи тим більше молекул, в твердій фазі є процес малоімовірний. Тому сучасні погляди на механізм газової корозії дещо інші (рис.51).

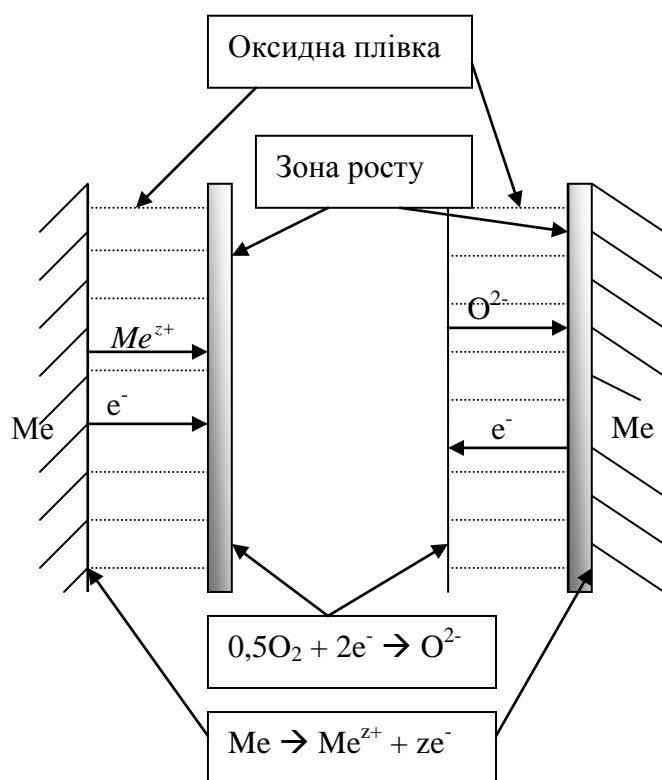
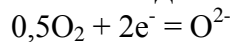


Рис. 51.
Схема росту оксидної плівки в процесі газової корозії за електрохімічним механізмом. Ліворуч – іонна складова електропровідності плівки переважно катіонна, плівка росте ззовні. Праворуч – плівка росте зсередини у випадку переважно аніонної провідності.

Розглянемо, як це відбувається.

Оксид металу в твердому стані є поганим провідником струму, в якому є носії зарядів двох типів: електрони і іони. На зовнішній поверхні відбувається відновлення кисню:



Електрони на цю реакцію беруться безпосередньо з плівки, куди вони генеруються за рахунок окиснення металу на внутрішній поверхні:



На зовнішній поверхні утворюються іони кисню, а на внутрішній – іони металу. Вони повинні десь зустрітися, щоб утворити оксид. Якщо плівка краще проводить за іонами металу, то вони зустрічаються поблизу зовнішньої поверхні і ріст відбувається ззовні. Якщо кращими носіями заряду є аніони кисню – то всередині.

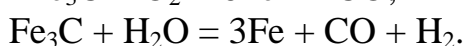
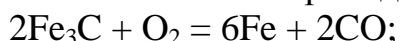
Як бачимо, навіть газова корозія не є суто хімічним процесом, тому, що процеси окиснення і відновлення розділені в просторі. А це вже є ознака електрохімічної системи – правда, дещо специфічної. Власне, систему Me/плівка/O₂ можна розглядати як гальванічний елемент, де анодом є метал (він окиснюється) а катодом – зовнішня поверхня плівки. Сама ж плівка виконує роль і електроліту (за рахунок іонної провідності), і зовнішнього кола, по якому переносяться електрони.

З точки зору розглянутої моделі, швидкість корозії буде визначатися швидкістю найбільш повільного процесу – або переносу електронів, або іонів. Тому добрі захисні властивості буде мати плівка, один з компонентів провідності якої є дуже малим. Такою є, наприклад, плівка оксиду алюмінію, електронна провідність якої дуже мала. А от оксиди феруму мають помітну і електронну, і іонну (за аніонами кисню) провідність за підвищених температур. Тому сплави заліза при нагріванні утворюють іноді доволі товсті шари окислини, які є продуктом газової корозії.

Здатність матеріалу чинити опір високотемпературній корозії в матеріалознавстві називається *жаростійкість*. Ця якість перш за все залежить від якості захисної плівки. Жаростійким є, наприклад, сплав ніхром.

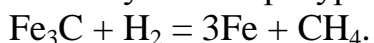
Крім жаростійкості, часто потрібна ще й *жароміцність* – це здатність матеріалу зберігати при нагріванні свої механічні властивості. Ці поняття іноді не збігаються. Так, тугоплавкі метали вольфрам, тантал, молібден, ніобій є жароміцними, але не жаростійкими. Тому їх можна використовувати лише у вакуумі або в атмосфері інертного газу.

З іншого боку, високовуглецева сталь окиснюється досить повільно, тобто до певної міри є жаростійкою. Однак ми знаємо, що механічні властивості сталі, наприклад, твердість, залежать від вмісту вуглецю. А при контакті сталі з газами проходить видалення вуглецю з поверхневих шарів:



В результаті поверхневий шар стає м'яким і механізми, що були розраховані на певну міцність сталі, псуються або навіть руйнуються. Тобто, сталь не є жароміцною.

Газова корозія може відбуватися не лише в окиснювальному, але й у відновному середовищі. Це стало зрозумілим порівняно недавно, десь років 70-80 тому, коли почали вибухати реактори синтезу аміаку з водню і азоту, які були зроблені з якісної сталі і з високим запасом міцності. Водень за високих тиску і температури, по-перше, взаємодіє з карбідом:



По друге, він розчиняється в залізі, роблячи його крихким.

Електрохімічна корозія, на відміну від газової, відбувається за звичайних температур і в присутності вологи, що грає роль електроліту.

Якщо з деяких причин (ми їх розглянемо далі) на різних частинах поверхні металу виникне різниця потенціалів, то з'явиться *локальний гальванічний елемент* (коротко замкнутий), який називають також *гальванічною парою*. Тому таку корозію раніше називали *гальванічною*.

На негативному полюсі такого елемента буде йти окиснення металу (анод), а на позитивному – відновлення окисника (катод). Окисником є найчастіше розчинений у воді кисень повітря, але можуть бути й іони водню, якщо розчин кислий.

Причин утворення гальванічних пар може бути декілька.

Найпоширенішою причиною є контакт з електролітом *двох різних металів* в одному вузлі, або забруднення більш активного металу домішками менш активного. В такому випадку активніший метал (той, стандартний потенціал якого є меншим) є анодом, він окиснюється, тобто, кородує. На пасивнішому металі відбувається відновлення окисника, тобто, катодний процес.

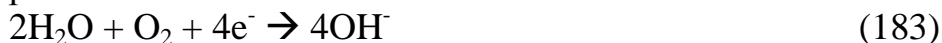
Наприклад, якщо з електролітом контактує одночасно залізо і мідь (на залізній трубі є мідна деталь), то утворюється гальванічний елемент



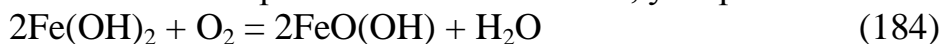
Більш активним в цій парі є залізо, оскільки $E^0_{\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}} < E^0_{\text{Cu}^{2+}/\text{Cu}}$. Тому поверхня заліза буде анодом, на ній відбуватиметься окиснення металу:



На катоді (мідь) відновлюється окисник. В нейтральному середовищі ним є розчинений кисень:



Далі іони заліза можуть відійти від місця їх утворення, зустрітися з іонами OH^- і утворити пористий осад гідроксиду феруму (II). Цей гідроксид при контакті з повітрям легко окиснюється, утворюючи всім відому іржу:



Широкого розповсюдження набули здавна способи захисту поверхні заліза від іржавіння – лудження (покриття оловом) і цинкування. Обидва метали легкоплавкі (температури плавлення відповідно олова і цинку складають 323 та 420°C) і технологія їх нанесення доволі проста (наприклад, протягування залізного листа через ємність з розплавленим металом).

Розглянемо, як відбуватиметься корозія при механічному пошкодженні кожного з цих металів в різних типах корозійних середовищ.

Олов'яне покриття (Рис.52А)

Як і в попередньому прикладі, більш активним металом буде залізо ($E^0_{\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}} < E^0_{\text{Sn}^{2+}/\text{Sn}}$). Тоді гальванічну пару в кислому середовищі можна записати як $(-)\text{Fe}/\text{H}^+, \text{H}_2\text{O} / \text{Sn}(+)$. При контакті з електролітом пошкодженої ділянки залізо буде окиснюватися за реакцією (182), а на поверхні олова (катод) буде виділятися водень: $2\text{H}^+ + 2e^- \rightarrow \text{H}_2\uparrow$. Сумарна реакція

корозійного процесу в кислому середовищі відповідає взаємодії заліза з кислотою:

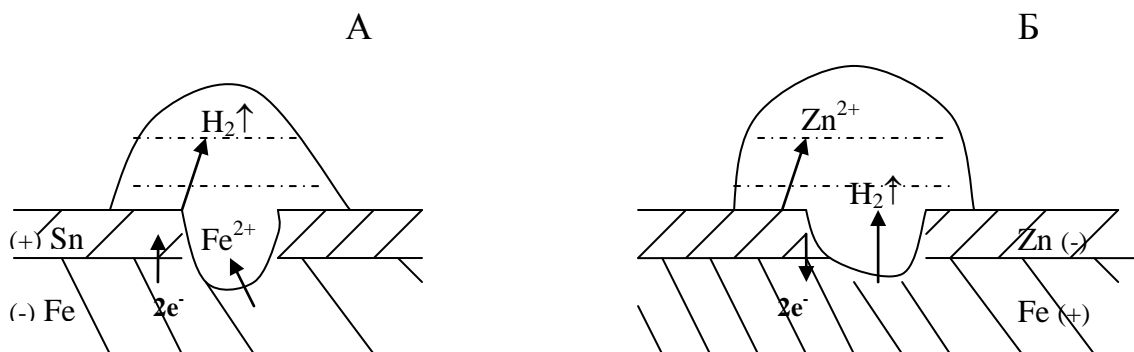
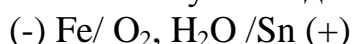


Рис. 52. Корозійні процеси в кислому середовищі на залізі, покритому оловом (А) та цинком (Б) при пошкодженні покриття.

В нейтральному (а тим більше в лужному) середовищі іони гідрогену практично відсутні. Тому окисником буде розчинений кисень, і гальванічна пара запишеться у вигляді:



Катодним процесом буде відновлення молекул кисню за реакцією (183). На аноді, як і в попередньому випадку, буде окиснюватися залізо. Іони Fe^{2+} , утворені за реакцією (182), далі прореагують з іонами гідроксилу, а утворений гідроксид в атмосферних умовах швидко окисниться за реакцією (184), утворивши іржу. Вказаній сукупності процесів відповідатиме сумарна реакція корозійного процесу



Цинкове покриття (Рис.52Б)

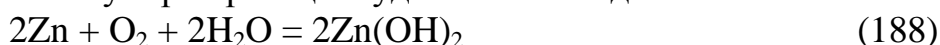
Оскільки $E^0_{\text{Fe}^{2+}/\text{Fe}} > E^0_{\text{Zn}^{2+}/\text{Zn}}$, більш активним металом є цинк. Тоді гальванічну пару в кислому середовищі можна записати як $(-)\text{Zn}/\text{H}^+, \text{H}_2\text{O} / \text{Fe}(+)$. Залізо в цій парі буде катодом, на якому виділятиметься водень. На аноді буде окиснюватися цинк: $\text{Zn} = \text{Zn}^{2+} + 2\text{e}^-$. Отже, сумарному процесу корозії буде відповідати розчинення цинку в кислоті:



В нейтральному середовищі окисником будуть молекули кисню, і схема корозійного елемента запишеться у вигляді:



Іони цинку, що утворюються на аноді, далі взаємодіють з іонами OH^- , що утворюються за реакцією (183), яка відбувається на поверхні заліза. В результаті сумарна реакція буде мати вигляд



Білий осад гідроксиду цинку обмежує доступ кисню до катоду (залізо) і корозія дещо сповільнюється.

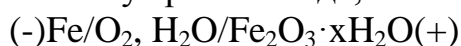
Отже, покриття більш активним металом (вони називаються *анодні покриття*) є дуже ефективним засобом захисту від корозії, оскільки руйнування основного металу не відбувається навіть після порушення цілісності такого покриття. Наприклад, покрівля з оцинкованого заліза залишається неушкодженою десятки років, доки з неї зійде майже весь цинк, і тільки після цього поступово починає іржавіти.

А от покриття менш активним металом (*катодні покриття*) захищатимуть метал тільки доти, доки не порушиться їх цілісність, після чого корозія швидко прогресує.¹

Таким чином, ми розглянули одну з основних причин утворення гальванічних корозійних пар, контакт двох металів різної хімічної активності. Можливі й інші випадки, коли в різних точках поверхні металу, що контактує з плівкою вологи, виникає різниця електричних потенціалів, що зрештою приводить до утворення корозійних пар. Деякі з них коротко розглянуті нижче.

Наявність на поверхні металу продуктів корозії.

Оксидна плівка на залізі, утворена в результаті корозії, сама по собі є поганим провідником електричного струму (напівпровідником). Носіїв заряду (вільних електронів) в ній мало, значно менше, ніж в металі, з яким вона контактує. Тому, якщо оксидна плівка не є суцільною, в присутності вологи утворюється корозійний гальванічний елемент, в якому поверхня плівки виконує роль катода, а залізо, відповідно, анода:



В результаті кисень відновлюється на поверхні оксиду, а залізо окиснюється.

Неоднорідний склад електроліту.

Кожен з вас може в домашніх умовах провести такий дослід. Візьміть залізний дріт, наприклад, довгий цвях, занурте його в склянку, наповнену підсоленою водою так, щоб частина цвяха виступала над поверхнею розчину, і залиште на деякий час. Через кілька днів ви побачите іржу в *нижній* частині цвяха, яка глибоко занурена в розчин. В той же час, сліди корозії будуть практично відсутні у верхній частині цвяха безпосередньо біля поверхні рідини, приблизно так, як це показано на рис.53.

¹ З іншого боку, луджений посуд, хоч і менш довговічний, є значно безпечнішим для побутового використання. Справа в тому, що сполуки олова по-перше, практично не токсичні, а по-друге, вони не утворюються, оскільки кородує залізо, сполуки якого не є шкідливими для організму. Розчинні ж сполуки цинку, навпаки, є дуже токсичними. При корозії оцинкованого посуду в кислому середовищі вони й будуть утворюватися, переходячи в продукт, який в ньому міститься. Тому ні в якому разі не використовуйте оцинковані відра для закваски капусти чи огірків.

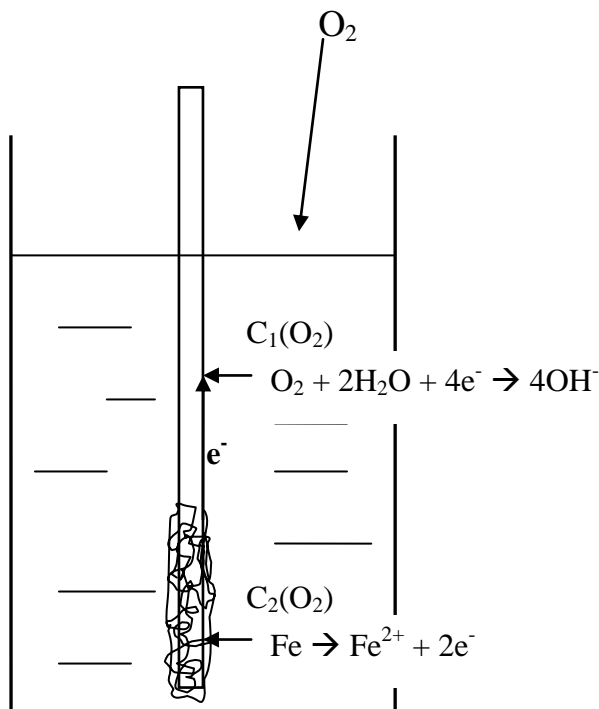
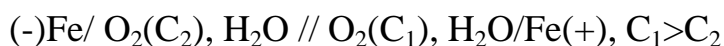


Рис.53. Особливості корозії заліза в умовах неоднорідної концентрації розчиненого кисню. Концентрація кисню більша у верхній частині рідини ($C_1 > C_2$).

Результати цього дослідження пояснюються наступним чином. Оскільки перемішування відсутнє, концентрація кисню, що надходить з повітря через поверхню рідини, буде більша в приповерхневих шарах електроліту. Це призведе до встановлення різниці потенціалів між верхньою та нижньою частинами поверхні цвяха за рахунок утворення концентраційного гальванічного елемента:



Верхня частина цвяха, біля якої розчиненого кисню більше, виконує роль катода, на якому проходить відновлення кисню. На нижній же частині, яка є анодом, відбувається корозія заліза так, як це було розглянуто вище.

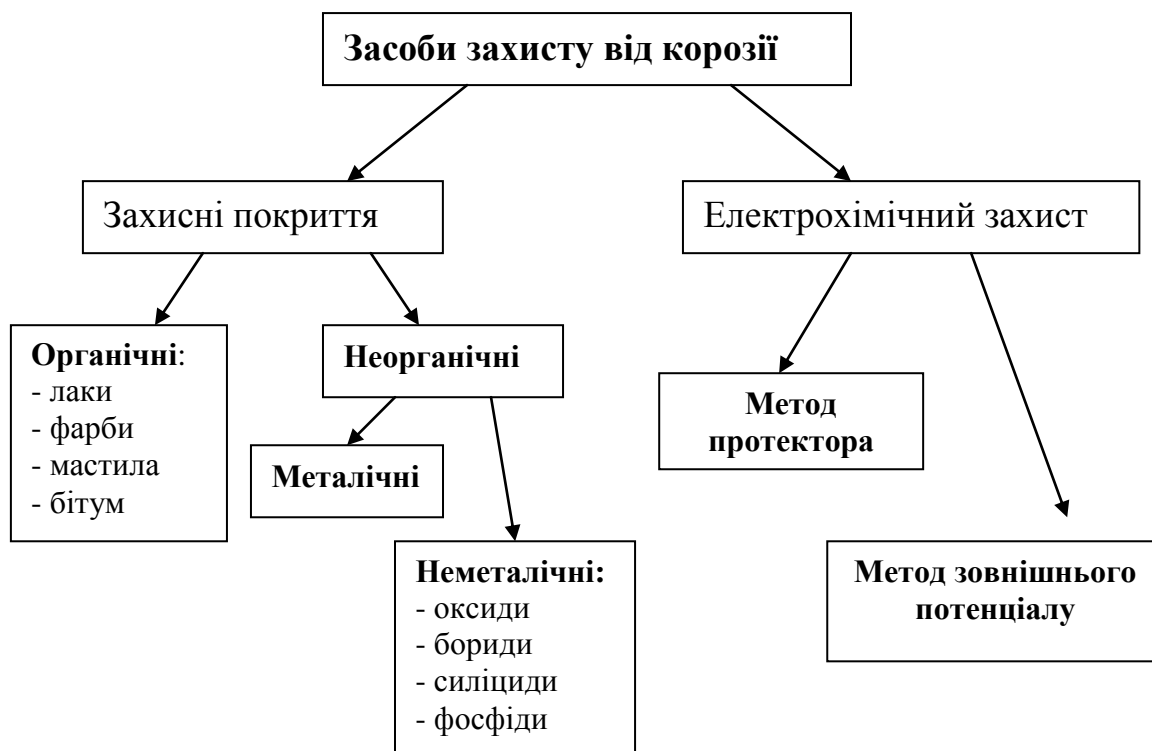
Отже, в розглянутому прикладі утворюється корозійна гальванічна пара за рахунок неоднорідного складу електроліта.

Неоднорідність поверхні металу.

Корозійні гальванічні пари виникають також у випадку будь-якої механічної неоднорідності металу, наприклад, за наявності локальних деформацій. Деформована зона більш активна, вона виступає анодом і руйнується швидше.

Захист від корозії

Як ви могли переконатися, явище корозії металів є складним і багатогранним, тому єдиного універсального способу захисту не існує. Є кілька найбільш поширених засобів, що часто застосовуються в комплексі. Їх приблизна класифікація наведена на схемі.



Таким чином, засоби захисту металів від корозії поділяють на два типи – захисні покриття та електрохімічний захист. Перший тип методів особливих коментарів не потребує.

Що стосується електрохімічного захисту, то суть його полягає в тому, щоб створити такі умови, коли корозійні пари перестануть працювати як гальванічний елемент. Для цього до металу потрібно прикласти якийсь зовнішній негативний електричний потенціал, більший, ніж ЕРС корозійних елементів. Тоді анодні ділянки перетворюються на катодні і корозія припиниться.

Це можна зробити двома способами.

Метод протектора. В цьому варіанті трубопровід чи інший виріб, що потребує захисту, приєднують до шматка активнішого металу, який називається протектором. Протектор знаходиться в тому ж реакційному середовищі (частіше всього це ґрунт). Він виконує роль анода, а вся поверхня виробу є відносно нього катодом, який в таких умовах не кородує. Протектор поступово руйнується і його час від часу потрібно міняти, що є недоліком даного методу.

В *методі зовнішнього потенціалу* виріб, який захищається (трубопровід), приєднується до негативного полюсу зовнішнього джерела

постійного струму, а позитивний полюс підключається до гарно заземленого шматка металу (залізний штир або пластина). Цим ліквідується корозія.