Korozja galwaniczna – przyczyny, mechanizm i zapobieganie

Korozja galwaniczna, określana również jako **korozja stykowa, kontaktowa lub bimetaliczna**, jest formą korozji elektrochemicznej powstającą wtedy, gdy dwa różne metale lub stopy pozostają ze sobą w kontakcie elektrycznym i jednocześnie znajdują się w środowisku przewodzącym prąd, czyli elektrolicie.

W takich warunkach powstaje **ogniwo galwaniczne**. Jeden z materiałów staje się

anodą i ulega przyspieszonej korozji, natomiast drugi zachowuje się jak katoda i jest chroniony.Korozja galwaniczna ma duże znaczenie w konstrukcjach wykonanych z różnych materiałów, szczególnie w instalacjach wodnych, chemicznych, morskich, energetycznych, budowlanych oraz w połączeniach stali nierdzewnej ze stalą węglową, aluminium, miedzią lub innymi metalami.

Co to jest korozja galwaniczna?

Korozja galwaniczna zachodzi w wyniku powstania różnicy potencjałów elektrochemicznych pomiędzy dwoma różnymi materiałami metalicznymi.
Jeżeli materiały zostaną:

- połączone elektrycznie,
- i jednocześnie znajdą się w kontakcie z elektrolitem,

może rozpocząć się przepływ prądu pomiędzy nimi.
Metal o bardziej aktywnym potencjale staje się **anodą** i ulega przyspieszonemu roztwarzaniu.
Metal bardziej szlachetny staje się **katodą** i jego korozja zostaje ograniczona.

Warunki powstania korozji galwanicznej

Do powstania typowej korozji galwanicznej potrzebne są jednocześnie trzy podstawowe warunki:

Warunek	Znaczenie
Różne materiały metaliczne	Materiały mają różne potencjały elektrochemiczne w danym środowisku
Kontakt elektryczny	Umożliwia przepływ elektronów pomiędzy metalami
Elektrolit	Umożliwia transport jonów i zamknięcie obwodu elektrochemicznego

Jeżeli jeden z tych warunków zostanie wyeliminowany, działanie ogniwa galwanicznego zostaje przerwane.

Jak działa ogniwo galwaniczne?

W układzie dwóch różnych metali jeden materiał staje się anodą, a drugi katodą.
Na anodzie zachodzi proces utleniania metalu:
$\mathbf{M \rightarrow M^{n+} + ne^{-}}$
Atomy metalu przechodzą do elektrolitu w postaci jonów. Oznacza to rzeczywisty ubytek materiału.
Elektrony przepływają przez metaliczne połączenie do katody, gdzie zachodzą reakcje redukcji.

W efekcie:

- **anoda koroduje szybciej,**
- **katoda jest chroniona.**

Co może być elektrolitem?

Elektrolitem nie musi być agresywny kwas ani silny roztwór chemiczny.

W praktyce wystarczające mogą być:

- woda morska,
- woda wodociągowa,
- woda technologiczna,
- woda deszczowa,
- wilgoć atmosferyczna,
- kondensat,
- roztwory soli,
- wilgotna gleba,
- środowiska chemiczne.

Szczególnie skutecznym elektrolitem jest woda zawierająca rozpuszczone sole. Dlatego problem korozji galwanicznej jest szczególnie istotny w środowisku morskim i w obecności chlorków.

Szereg galwaniczny metali

Podatność na korozję galwaniczną można orientacyjnie oceniać na podstawie

szeregu galwanicznego określonego dla konkretnego środowiska.
Metale znajdujące się po bardziej aktywnej stronie szeregu mają większą tendencję do zachowywania się jako anoda.
Materiały bardziej szlachetne mają większą tendencję do zachowywania się jako katoda.
Przykładowy, uproszczony układ materiałów w środowisku morskim można przedstawić następująco:

Materiał	Charakter elektrochemiczny
Magnez	bardzo aktywny
Cynk	aktywny
Aluminium i jego stopy	stosunkowo aktywne
Stal węglowa	aktywna
Miedź i jej stopy	bardziej szlachetne
Stale nierdzewne w stanie pasywnym	szlachetne
Tytan	bardzo szlachetny w stanie pasywnym

Jest to zestawienie orientacyjne. **Pozycja materiału w szeregu galwanicznym zależy od środowiska oraz stanu jego powierzchni.**
Nie należy więc traktować szeregu galwanicznego jako jednej uniwersalnej tabeli obowiązującej we wszystkich warunkach.

Stal nierdzewna i stal węglowa

Bardzo częstym połączeniem jest kontakt stali nierdzewnej ze zwykłą stalą węglową.
W wielu środowiskach pasywna stal nierdzewna jest bardziej szlachetna od stali węglowej.
Po połączeniu obu materiałów w obecności elektrolitu:

- stal nierdzewna może zachowywać się jako katoda,
- stal węglowa może stać się anodą i korodować szybciej.

Nie oznacza to, że każde połączenie stali nierdzewnej ze stalą węglową automatycznie doprowadzi do poważnej korozji.
Znaczenie mają również:

- rodzaj środowiska,
- przewodność elektrolitu,
- stosunek powierzchni obu materiałów,
- czas zwilżenia,
- temperatura,
- geometria konstrukcji.

Stal nierdzewna i aluminium

Połączenie aluminium ze stalą nierdzewną wymaga szczególnej uwagi.
W wielu środowiskach stal nierdzewna w stanie pasywnym jest znacznie bardziej szlachetna od aluminium.
Jeżeli aluminium zostanie połączone elektrycznie ze stalą nierdzewną i pojawi się elektrolit, aluminium może stać się anodą.
Ryzyko jest szczególnie duże w:

- środowisku morskim,
- obecności soli drogowej,
- warunkach stałego zawilgocenia,
- konstrukcjach z dużą powierzchnią stali nierdzewnej i małą powierzchnią aluminium.

W takich połączeniach często stosuje się izolację elektryczną materiałów.

Stal nierdzewna i miedź

Stal nierdzewna oraz miedź mogą być stosowane w jednej instalacji, jednak możliwość wystąpienia oddziaływań galwanicznych należy oceniać dla konkretnego środowiska.
W wodzie przewodzącej prąd elektryczny różnica potencjałów pomiędzy materiałami może prowadzić do powstania ogniwa galwanicznego.

Znaczenie ma przede wszystkim:

- skład wody,
- temperatura,
- przewodność elektryczna,
- stosunek powierzchni materiałów,
- warunki przepływu.

Stosunek powierzchni anody do katody

Jednym z najważniejszych czynników decydujących o szybkości korozji galwanicznej jest **stosunek powierzchni katody do powierzchni anody**.
Szczególnie niebezpieczna jest sytuacja:
mała anoda + duża katoda
Duża powierzchnia katodowa może podtrzymywać znaczną reakcję katodową, podczas gdy proces anodowego roztwarzania zostaje skoncentrowany na niewielkiej powierzchni.
Powoduje to bardzo dużą gęstość prądu anodowego i może prowadzić do szybkiego, lokalnego zniszczenia metalu mniej szlachetnego.

Mała anoda i duża katoda – przykład

Wyobraźmy sobie niewielki element ze stali węglowej połączony z dużą powierzchnią stali nierdzewnej.
Jeżeli konstrukcja zostanie zwilżona elektrolitem:

- stal węglowa może stać się anodą,
- stal nierdzewna może działać jako duża katoda.

Cały proces anodowy koncentruje się wtedy na niewielkiej powierzchni stali węglowej.
Korozja może być znacznie szybsza niż w przypadku elementu wykonanego wyłącznie ze stali węglowej.

Duża anoda i mała katoda

Znacznie korzystniejszy jest układ:
duża anoda + mała katoda

Prąd anodowy rozkłada się wtedy na dużej powierzchni.
Gęstość prądu korozyjnego przypadająca na jednostkę powierzchni anody jest mniejsza, dzięki czemu lokalna szybkość korozji może być znacznie niższa.

Przykład – śruby ze stali nierdzewnej w konstrukcji stalowej

Niewielka śruba ze stali nierdzewnej zamontowana w dużym elemencie ze stali węglowej tworzy zwykle korzystniejszy stosunek powierzchni:

- mała katoda – śruba nierdzewna,
- duża anoda – konstrukcja ze stali węglowej.

Sytuacja odwrotna może być znacznie bardziej niebezpieczna.
Mały element ze stali węglowej połączony z dużą powierzchnią stali nierdzewnej może ulegać bardzo intensywnej korozji galwanicznej.

Uszkodzenie powłoki ochronnej a korozja galwaniczna

Szczególnie niebezpieczna sytuacja może powstać, gdy materiał mniej szlachetny jest pokryty powłoką ochronną, ale powłoka zostanie lokalnie uszkodzona.
Jeżeli niewielki odsłonięty fragment materiału stanie się anodą względem dużej powierzchni katodowej, korozja może skoncentrować się właśnie w miejscu uszkodzenia.
Dlatego sposób stosowania powłok ochronnych w układach różnych metali powinien być odpowiednio przemyślany.

Cynkowanie stali – wykorzystanie zjawiska galwanicznego

Zjawisko galwaniczne nie zawsze jest niekorzystne.
Może zostać wykorzystane do ochrony metalu.
Klasycznym przykładem jest **stal ocynkowana**.
Cynk jest bardziej aktywny elektrochemicznie niż stal.
Jeżeli powłoka cynkowa zostanie lokalnie uszkodzona, cynk może zachowywać się

jak anoda i ulegać korozji zamiast odsłoniętej stali.
Jest to tak zwana **ochrona protektorowa**.

Anody protektorowe

Zjawisko galwaniczne wykorzystuje się również w ochronie katodowej.
Do chronionej konstrukcji przyłącza się metal bardziej aktywny elektrochemicznie, który celowo ulega korozji.
Stosowane są między innymi anody:

- cynkowe,
- magnezowe,
- aluminiowe.

Anody takie określane są jako **anody protektorowe** lub anody galwaniczne.
Stosuje się je między innymi do ochrony:

- kadłubów statków,
- rurociągów,
- zbiorników,
- konstrukcji morskich,
- podziemnych instalacji stalowych.

Czy dwa różne gatunki stali nierdzewnej powodują korozję galwaniczną?

Połączenie dwóch różnych gatunków stali nierdzewnej nie musi powodować istotnej korozji galwanicznej.
Jeżeli oba materiały znajdują się w stanie pasywnym i mają zbliżone potencjały w danym środowisku, różnica potencjałów może być niewielka.
Dlatego połączenia takie jak:

- 304L z 316L,
- 316L z 904L,
- 316L z duplex 2205

mogą pracować bez poważnych problemów galwanicznych w wielu środowiskach.
Sytuację zawsze należy jednak oceniać dla rzeczywistych warunków eksploatacji.

Stan aktywny i pasywny stali nierdzewnej

W przypadku stali nierdzewnych szczególne znaczenie ma stan powierzchni.
Stal nierdzewna w stanie pasywnym pokryta jest warstwą pasywną i wykazuje stosunkowo szlachetny potencjał elektrochemiczny.
Jeżeli warstwa pasywna zostanie zniszczona i materiał przejdzie lokalnie w stan aktywny, jego zachowanie elektrochemiczne może się znacząco zmienić.
Dlatego przy ocenie ryzyka korozji galwanicznej nie wystarczy znać tylko nazwę lub numer gatunku stali.

Czy różnica potencjałów wystarcza do przewidzenia szybkości korozji?

Nie.
Duża różnica potencjałów pomiędzy materiałami wskazuje na możliwość wystąpienia korozji galwanicznej, ale sama nie określa jej rzeczywistej szybkości.
Znaczenie mają również:

- kinetyka reakcji katodowej,
- polaryzacja materiałów,
- przewodność elektrolitu,
- temperatura,
- dostęp tlenu,
- stosunek powierzchni katody i anody,
- odległość pomiędzy elementami,
- geometria konstrukcji.

Dlatego prosta tabela potencjałów nie powinna być jedyną podstawą doboru materiałów.

Wpływ przewodności elektrolitu

Im większa przewodność elektryczna środowiska, tym łatwiejszy może być przepływ prądu w ogniwie galwanicznym.
Dlatego szczególnie niebezpieczna jest **woda morska**, która dzięki dużej zawartości rozpuszczonych soli jest dobrym elektrolitem.
W wodzie o bardzo małej przewodności oddziaływanie galwaniczne może być

znacznie słabsze i bardziej ograniczone przestrzennie.

Korozja galwaniczna w wodzie morskiej

Środowisko morskie stwarza bardzo dobre warunki do powstawania ogniw galwanicznych.
Występują tam jednocześnie:

- wysoka przewodność elektrolitu,
- chlorki,
- stały lub okresowy kontakt z wodą,
- duża liczba różnych materiałów konstrukcyjnych.

Dlatego w konstrukcjach morskich szczególnie dokładnie analizuje się możliwość kontaktu:

- stali nierdzewnej ze stalą węglową,
- stali nierdzewnej z aluminium,
- stali z miedzią i jej stopami,
- różnych stopów aluminium,
- różnych gatunków stali nierdzewnej.

Jak zapobiegać korozji galwanicznej?

Najważniejsze metody ograniczania korozji galwanicznej to:

- unikanie niekorzystnych połączeń różnych metali,
- dobieranie materiałów o możliwie zbliżonych potencjałach galwanicznych w danym środowisku,
- elektryczne izolowanie różnych metali,
- stosowanie podkładek, tulei i przekładek izolacyjnych,
- ograniczanie kontaktu konstrukcji z elektrolitem,
- stosowanie odpowiednich powłok ochronnych,
- unikanie układu mała anoda – duża katoda,
- odpowiednie projektowanie połączeń,
- stosowanie ochrony katodowej,
- stosowanie anod protektorowych.

Izolacja elektryczna różnych metali

Jedną z najskuteczniejszych metod zapobiegania korozji galwanicznej jest przerwanie elektrycznego kontaktu pomiędzy różnymi materiałami.
Można stosować między innymi:

- podkładki izolacyjne,
- tuleje z tworzyw sztucznych,
- uszczelki izolacyjne,
- powłoki nieprzewodzące,
- przekładki z materiałów izolacyjnych.

Jeżeli elektrony nie mogą przepływać pomiędzy metalami, klasyczne ogniwo galwaniczne nie może prawidłowo funkcjonować.

Korozja galwaniczna a korozja szczelinowa

Korozja galwaniczna i szczelinowa są różnymi mechanizmami, ale mogą występować jednocześnie w jednym połączeniu.

Cecha	Korozja galwaniczna	Korozja szczelinowa
Główna przyczyna	kontakt różnych materiałów o różnych potencjałach	lokalne warunki chemiczne wewnątrz szczeliny
Czy potrzebne są dwa różne metale?	tak, w klasycznym ogniwie galwanicznym	nie
Czy potrzebny jest elektrolit?	tak	tak
Typowe miejsce	styk dwóch różnych materiałów	pod uszczelką, podkładką, osadem lub w wąskiej szczelinie

Korozja galwaniczna a korozja wżerowa

Korozja galwaniczna nie jest również tym samym zjawiskiem co korozja wżerowa.
Korozja wżerowa może występować na jednym materiale wskutek lokalnego uszkodzenia warstwy pasywnej, szczególnie w obecności chlorków.
Korozja galwaniczna wynika natomiast z elektrochemicznego oddziaływania różnych materiałów połączonych elektrycznie w obecności elektrolitu.
W praktycznych konstrukcjach oba mechanizmy mogą jednak występować jednocześnie.

Najczęstsze błędy konstrukcyjne

Do problemów z korozją galwaniczną często prowadzą pozornie niewielkie błędy projektowe.
Należą do nich:

- łączenie aluminium bezpośrednio ze stalą nierdzewną w środowisku morskim,
- stosowanie małych elementów ze stali węglowej przy dużej powierzchni stali nierdzewnej,
- brak izolacji elektrycznej pomiędzy różnymi metalami,
- projektowanie miejsc zatrzymujących wodę,
- uszkodzenia powłok ochronnych,
- stosowanie nieodpowiednich elementów złącznych,
- nieuwzględnianie warunków rzeczywistej eksploatacji.

Korozja galwaniczna – najważniejsze wnioski

Korozja galwaniczna powstaje wtedy, gdy **dwa różne materiały metaliczne pozostają w kontakcie elektrycznym i jednocześnie znajdują się w obecności elektrolitu**.
Materiał bardziej aktywny staje się anodą i ulega przyspieszonej korozji, natomiast materiał bardziej szlachetny działa jako katoda.
Szczególnie niebezpieczny jest układ **mała anoda – duża katoda**, ponieważ proces korozji zostaje skoncentrowany na niewielkiej powierzchni materiału anodowego.
Przy projektowaniu połączeń ze stali nierdzewnej należy zwracać szczególną uwagę na kontakt z aluminium, stalą węglową, miedzią i innymi metalami.
Ryzyko zależy nie tylko od rodzaju połączonych materiałów, ale również od

stosunku ich powierzchni, rodzaju elektrolitu, temperatury, przewodności środowiska i geometrii konstrukcji.
Najskuteczniejszymi sposobami ograniczenia korozji galwanicznej są właściwy dobór materiałów, przerwanie kontaktu elektrycznego, ograniczenie dostępu elektrolitu oraz odpowiednie zaprojektowanie stosunku powierzchni anody i katody.

Korozja może przebiegać według różnych mechanizmów zależnych od materiału, środowiska i warunków eksploatacji. Poznaj pozostałe rodzaje korozji:

Rodzaje korozji stali i metali

Korozja równomierna stali i metali
Korozja wżerowa stali nierdzewnych
Korozja szczelinowa stali nierdzewnych
Korozja międzykrystaliczna stali nierdzewnej
Korozja naprężeniowa SCC
Korozja galwaniczna
Korozja erozyjna
Korozja kawitacyjna
Korozja zmęczeniowa
Korozja cierna
Korozja mikrobiologiczna MIC
Korozja wysokotemperaturowa

Podział korozji ze względu na środowisko

Korozja morska – korozja stali i metali w wodzie morskiej
Korozja atmosferyczna
Korozja gruntowa
Korozja w wodzie słodkiej i przemysłowej
Korozja w środowiskach chlorkowych
Korozja w środowiskach kwaśnych
Korozja w środowiskach alkalicznych
Korozja w gazach i spalinach
Korozja w ściekach i instalacjach kanalizacyjnych
Korozja w środowiskach chemicznych i petrochemicznych

Tematy powiązane

CPT – krytyczna temperatura korozji wżerowej stali nierdzewnych i stopów niklu
PREN – wskaźnik odporności na korozję wżerową stali nierdzewnej
CCT – krytyczna temperatura korozji szczelinowej stali nierdzewnych i stopów niklu