

# ZESZYTY STUDENCKICH KÓŁ NAUKOWYCH

## Charakterystyka korozji szkieł, stali konstrukcyjnych i odpornych na korozję

Martyna Melska <sup>a</sup>, Sandra Lasok <sup>a</sup>, Kinga Mazur <sup>a</sup>, Tomasz Tański <sup>b</sup>

<sup>a</sup> Studentka Politechniki Śląskiej, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych  
email: Martyna\_em@wp.pl

<sup>b</sup> Politechnika Śląska, Wydział Mechaniczny Technologiczny, Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych, Zakład Materiałów Biomedycznych  
email: Tomasz.tanski@polsl.pl

**Streszczenie:** W artykule dokonano przeglądu literatury na temat charakterystyki korozji szkieł, stali konstrukcyjnych i odpornych na korozję. Przedstawiono typy korozji, skupiając się na korozji elektrochemicznej. Opisano, jakie negatywne zmiany zachodzą w poszczególnych materiałach na skutek działania korozji.

**Abstract:** This article focuses on the characteristic of corrosion in glass, constructional steel and corrosion resistant steel. Moreover, in this article describes corrosion types, focused on electrochemical corrosion. Shows the negative impact of corrosion on different materials.

**Słowa kluczowe:** korozja, szkło, stal konstrukcyjna, stal odporna na korozję

### 1. WSTĘP

Rozwój energetyki jądrowej i klasycznej, petrochemii, lotnictwa, czy chęć budowania coraz to nowocześniejszych, całkowicie oszklonych budynków wymaga od inżynierów poszukiwania nowych, lepszych materiałów. Materiałów o nowych własnościach i wysokiej trwałości. Materiałem nazywa się ciało stałe, które dzięki posiadanym własnościom umożliwia człowiekowi wytworzenie produktu. Współcześnie nadal stosuje się znane materiały naturalne, jak drewno czy kamienie, natomiast to materiały inżynierskie, takie jak: metale, polimery, materiały ceramiczne oraz kompozyty są najczęściej używane.

Powodem, dla którego stale pracuje się nad materiałami jest zjawisko korozji, które jest niemożliwe do całkowitego wyeliminowania, następuje w wyniku zapoczątkowania chemicznych lub elektrochemicznych reakcji metalu i otaczającego go środowiska.

Zjawisko korozji dotyczy przede wszystkim stali, stąd wciąż bada się skład chemiczny, czy własności mechaniczne tego materiału. Zakres zastosowań stali konstrukcyjnych i odpornych

na korozję jest bardzo szeroki, w związku z tym przestawiono i omówiono niszczące działanie korozji właśnie w tych materiałach.

W przemyśle, dużą rolę odgrywa trwałość elementów stalowych. Im trwalszy element, tym mniejsze są koszty związane z jego eksploatacją. Niska trwałość elementu generuje duże straty ekonomiczne, które mogą być związane z naprawą uszkodzonych lub całkowicie zniszczonych części maszyn i konstrukcji. Konstrukcje stalowe ulegają niszczeniu w wyniku działania korozji elektrochemicznej w tym: korozji międzykrystalicznej, wżerowej, ogólnej, szczelinowej oraz naprężeniowej. Każdy wymieniony rodzaj korozji jest niebezpieczny, może powodować szybsze zużycie się narzędzi oraz urządzeń. Wysoką trwałością materiału, a tym samym wysoką odpornością na korozyjne niszczenie, charakteryzują się stale odporne na korozję.

Jednym ze sposobów ochrony materiału przed niszczeniem są samo tworzące się na powierzchni stali cienkie warstwy pasywne. Dużą skłonnością do tworzenia warstwy pasywnej charakteryzują się chrom oraz nikiel. Chrom w ilości ok. 10,5% podwyższa odporność stali na działanie korozji. Taka zawartość chromu wymagana jest w stalach odpornych na korozję. Przy zawartości chromu w ilości 12%, w stali dochodzi do obniżenia potencjału pasywacji i prądu korozyjnego. W takim ogniwie korozyjnym chrom pełni rolę anody, a żelazo katody. Stop Fe-Cr przechodzi ze stanu aktywnego w stan pasywny.

W celu zapobiegania dalszej degradacji konstrukcji stosuje się różnego rodzaju ochrony przeciwkorozyjne, np. w postaci farb czy lakierów. Obecnie, z dużą skutecznością wykorzystuje się ochronę katodową. Ważne jest również odpowiednie dobranie materiału z uwzględnieniem warunków środowiska, w jakim będzie pracował. Odpowiednio dobrana obróbka materiału pozwala otrzymać wymagane własności, poprawić odporność na działanie korozji. Możliwe jest wydłużenie czasu eksploatacji konstrukcji, zmniejszając koszty użytkowania.

Korozja zwykle kojarzona jest przede wszystkim ze stalami. Jednakże często występuje również w tworzywach sztucznych, drewnie, czy betonie. W przypadku tworzyw sztucznych, korozja powoduje pęcznienie materiału i kruchość. Przykładem mogą być rury stosowane do różnych instalacji. Innymi przykładami destrukcyjnych działań tego zjawiska są żelbet (chemiczne i fizykochemiczne niszczenie kruszywa i spoiwa) i konstrukcje szklane.

Obecnie szkło ma coraz większe zastosowanie, nie tylko w budownictwie, architekturze i sprzętach gospodarstwo domowego, ale także jako włókno szklane, wzmacniające konstrukcje. Wydawałoby się, że zjawisko korozji nie występuje w szklach, bo jak wspomniano wcześniej, kojarzy się ono najbardziej ze stalami. W niniejszym artykule przedstawiono mechanizm korozji szkieł oraz jej skutki i powody występowania.

Celem artykułu jest charakterystyka korozji w stalach konstrukcyjnych i odpornych na korozję oraz, jak wspomniano wcześniej, w szklach. W oparciu o dostępne źródła literaturowe, omówiono działanie korozji i jej negatywne skutki w poszczególnych materiałach.

## **2. KOROZJA**

Korozja jest zjawiskiem, które prowadzi do destrukcji materiału. Jak wspomniano wcześniej, wiąże się to z elektrochemicznym lub chemicznym oddziaływanie materiału środowiska [6].

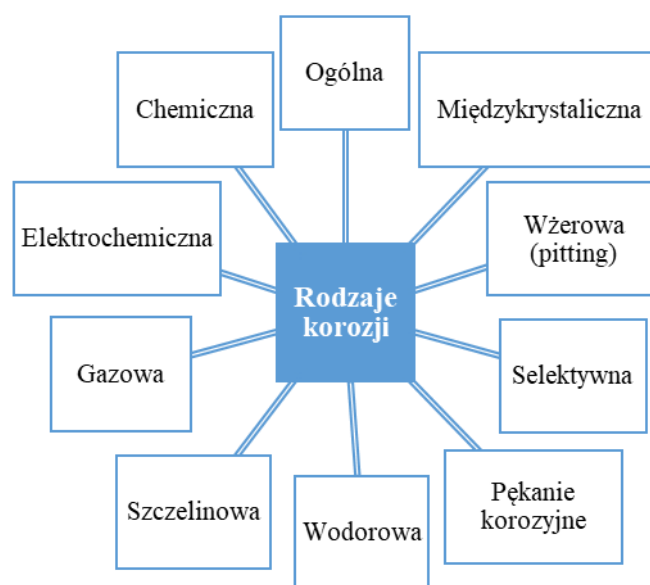
Niszczące działanie korozji dotyczy nie tylko materiałów metalicznych, ale również ceramiki, tworzyw sztucznych oraz kompozytów. Mechanizm korozji zależy od przewodności elektrycznej na granicy faz materiał – środowisko i od rodzaju środowiska. Materiały o wysokiej przewodności są narażone na korozję o charakterze głównie elektrochemicznym.

Przy niskiej przewodności lub jej braku, korozja zachodzi jako proces chemiczny lub fizykochemiczny [6].

Proces chemiczny degradacji materiału zachodzi wówczas, gdy w środowisku brak jest przewodności jonowej. Korozję chemiczną metali wywołują takie środowiska jak: gorące gazy spalinowe, ropa naftowa i jej pochodne, stopiona siarka, substancje organiczne oraz suche gazy ( $H_2S$ ,  $H_2$ ,  $CO$ ,  $CO_2$ ,  $Cl_2$ ,  $NH_3$ ).

Materiały, które przewodzą prąd elektryczny ulegają korozji w środowiskach elektrolitów, wody, wilgotnych gazach oraz glebie zawierającej wilgoć.

Po uwzględnieniu lokalizacji obszarów zmian korozyjnych oraz ich geometrii wymieniono podstawowe rodzaje korozji na rysunku 1.



Rysunek 1. Rodzaje korozji [6]

Figure 1. Kinds of corrosion [6]

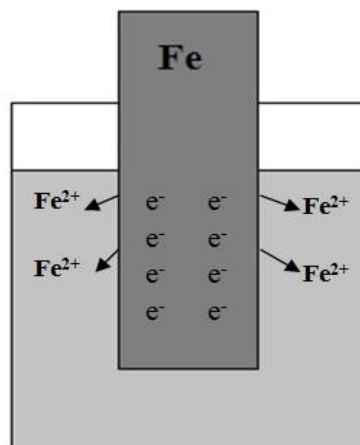
Skutki procesów korozyjnych można zaobserwować na powierzchniach w postaci nagromadzenia się stałych produktów reakcji tj. tlenki, rdza, zgorzelina. W przypadku, gdy produkty reakcji oddzielają się od podłoża, powstają nierówności lub wżery.

## 2.1. KOROZJA ELEKTROCHEMICZNA

Proces korozji elektrochemicznej (rys. 2) zachodzi, gdy metal lub stop znajduje się w środowisku będącym elektrolitem, któremu towarzyszy przepływ ładunków elektrycznych przez granicę faz metal – elektrolit. Elektrolitem może być nie tylko woda, czy roztwór wodny, ale również wilgotny grunt, beton, włóknisty materiał celulozowy i inny materiał utrzymujący stan zawilgocenia przy powierzchni metalu. Do przebiegu korozji elektrochemicznej konieczne jest powstanie ogniwa korozyjnego, środowisko przewodzące prąd oraz obecność substancji na katodzie, ulegającej redukcji [23].

Ogniwa tworzą się poprzez kontakt dwóch metali o różnych potencjałach, w wyniku czego powstaje ogniwo galwaniczne. W tym przypadku, metal o niższym potencjale stanowi anodę, a metal o wyższym potencjale – katodę. Drugim sposobem powstawania ogniw jest połączenie dwóch elektrod z tego samego metalu, zanurzonych w roztworach soli o różnym stężeniu. Elektroda, która jest zanurzona w roztworze o niższym stężeniu stanowi anodę, natomiast

katodą jest elektroda zanurzona w roztworze o wyższym stężeniu. Taki typ ogniw nazywa się ogniwami stężeniowymi [23].



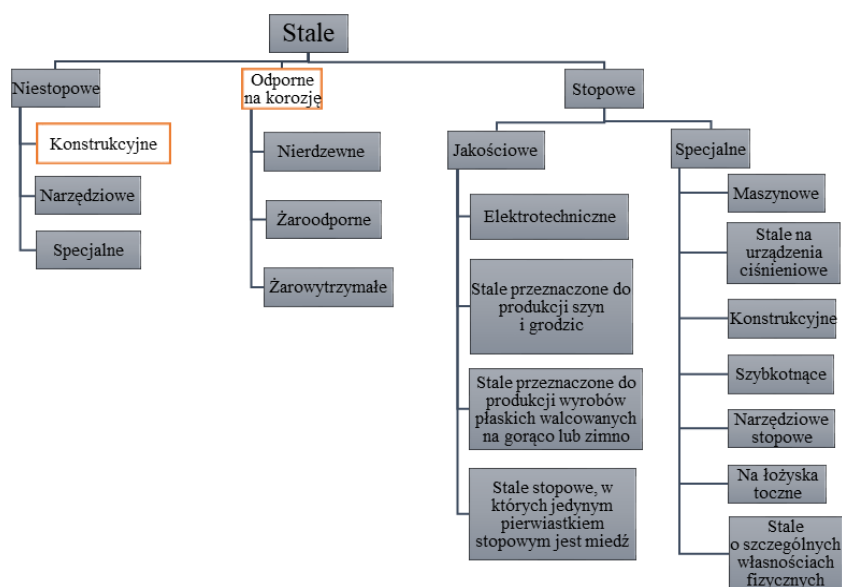
Rysunek 2. Reakcja elektrochemiczna [11]

Figure 2. Electrochemical reaction [11]

## 2.2. CHARAKTERYSTYKA STALI I SZKŁA

### 2.2.1. STAL

Stal jest to stop żelaza z węglem, plastycznie obrobiony oraz obrabialny cieplnie, o zawartości węgla nieprzekraczającej 2,10%, co odpowiada granicznej rozpuszczalności węgla w żelazie. Do stali celowo wprowadza się dodatki stopowe, które pozwalają na otrzymanie nowych, lepszych własności [18]. Klasyfikację stali przedstawiono na rysunku 3, natomiast podział według zastosowania stali w tabeli 1 [19].



Rysunek 3. Klasyfikacja stali [13,22]

Figure 3. Classification of steel [13,22]

Tabela 1. Podział stali według zastosowania [19]

Table 1. Distribution of the steel according to the application [19]

STAL	RODZAJ
Stal narzędziowa	<ul style="list-style-type: none"> <li>• stopowa:               <ul style="list-style-type: none"> <li>○ do pracy na zimno,</li> <li>○ do pracy na gorąco,</li> <li>○ szybko tnąca,</li> </ul> </li> <li>• węglowa,</li> </ul>
Stal specjalna	<ul style="list-style-type: none"> <li>• odporna na zużycie,</li> <li>• nierdzewna,</li> <li>• magnetyczna,</li> <li>• kwasoodporna,</li> <li>• żaroodporna,</li> <li>• żarowytrzymała,</li> </ul>
Stal konstrukcyjna	<ul style="list-style-type: none"> <li>• wyższej jakości,</li> <li>• ogólnego przeznaczenia,</li> <li>• do azotowania,</li> <li>• niskostopowa,</li> <li>• łożyskowa,</li> <li>• automatowa,</li> <li>• sprężynowa,</li> <li>• do ulepszania cieplnego.</li> </ul>

### 2.2.2. SZKŁO

Szkło jest materiałem o strukturze amorficznej, powstałej w wyniku przechłodzenia z dużym udziałem fazy szklistej. Stan struktury szkła nie jest stanem równowagi i jest osiąganym w wyniku powstrzymania krystalizacji. Szkło jest uważane za odmianę materiałów ceramicznych, przez co można mylnie stwierdzić, że problem korozji go nie dotyczy. W tabeli 2 przedstawiono wybrane rodzaje szkieł [7].

Tabela 2. Wybrane rodzaje szkieł [7]

Table 2. Selected type of glasses [7]

Rodzaj szkła	Sodowo-wapienne	Ołowiowe	Borokrzemianowe	Glinoborokrzemianowe aparaturowe	Glinoborokrzemianowe E o małym udziale alkaliów
Uwagi	Szerokie zastosowanie, Łatwe do wytworzenia	Łatwo topliwe, Dobre własności	Mała rozszerzalność cieplna, Dobra odporność	Podwyższony udział tlenu aluminium i mniejszy	Zastosowanie jako włókna wzmacniające w

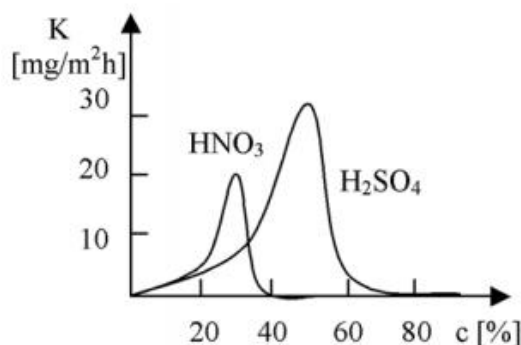
		elektryczne	na udary cieplne	udział tlenku boru poprawiają chemiczną trwałość	kompozytach o osnowie polimerowej
--	--	-------------	------------------	--	-----------------------------------

### 2.3. ZJAWISKO KOROZJI W STALI KONSTRUKCYJNEJ

Stale konstrukcyjne to stopy żelaza z węglem, które są stosowane do wyrobu części maszyn, pojazdów, urządzeń energetycznych oraz różnego rodzaju maszyn, których temperatura pracy nie jest większa niż 300°C oraz nie niższa niż -40°C, a środowisko, w którym elementy pracują nie jest agresywne chemicznie. Stale konstrukcyjne dzielą się na stale stopowe i niestopowe.

Stale konstrukcyjne niestopowe są stosowane na elementy mniej odpowiedzialne konstrukcyjnie, mogą być łączone przez spawanie, nitowanie lub śrubami. Posiadają bardzo dobre własności mechaniczne, przez co znajdują zastosowanie przy budowie skomplikowanych konstrukcyjnie elementów, jak kadłuby statków, rurociągi, czy mosty [4, 5].

Stale konstrukcyjne narażone są na działanie agresywnego środowiska chemicznego. Szybkość korozji stali konstrukcyjnych (niestopowych i niskostopowych) w kwasach jest uzależniona od ich temperatury i stężenia. Kwasy azotowy (V) i siarkowy (VI) przyspieszają korozję, gdy rośnie ich stężenie do poziomu 35% dla HNO<sub>3</sub> i 50% dla H<sub>2</sub>SO<sub>4</sub>. Jeśli stężenie tych kwasów będzie dalej rosłać, wówczas szybkość korozji gwałtownie spadnie (rys.4.) [6].



Rysunek 4. Wykres zależności szybkości korozji (K) stali niskowęglowej od stężenia (c) kwasów azotowego i siarkowego w temperaturze 20°C [6]

Figure 4. The diagram of the corrosion rate of low carbon steel with the concentration of nitric and sulphuric acid at a temperature 20°C [6]

W kwasie fluorowodorowym szybkość korozji stali konstrukcyjnej jest intensywna do poziomu stężenia około 50%, powyżej tej wartości korozja w takim roztworze zachodzi powoli. Działanie korozyjne kwasu solnego na stal konstrukcyjną rośnie wraz ze wzrostem stężenia kwasu i wzrostem zawartości węgla w stali [5,6].

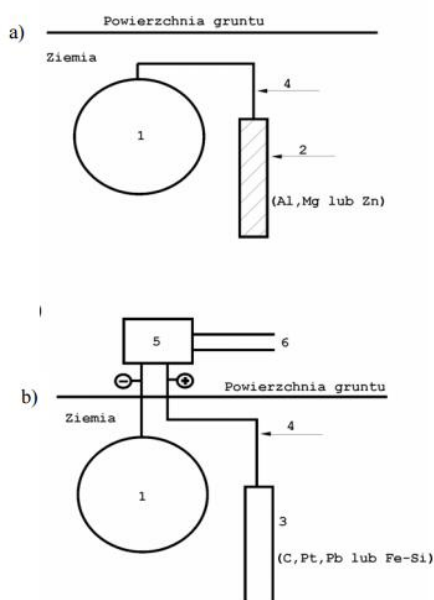
W celu zapobiegania powstawaniu oraz rozwijaniu się korozji w stalach konstrukcyjnych, stosuje się ochronę katodową. Ochrona katodowa jest jednym z najważniejszych sposobów ochrony metali przed korozją. Skuteczność tej metody polega na tym, że zostaje przyłożony z zewnątrz prąd elektryczny, dzięki czemu zostaje zmniejszona szybkość korozji, niemalże do

zera, a powierzchnia metalu może znajdować się w środowisku agresywnym bez zauważalnych śladów korozyjnych przez bardzo długi okres czasu [21].

Przedmiot chroniony w tej metodzie jest katodą. Jego potencjał elektrodowy przesuwają się w stronę wartości ujemnych, w celu uzyskania wartości poniżej potencjału korozji w danym środowisku. Wówczas metal nie ulega rozpuszczaniu [6,21].

Ochrona katodowa może występować na dwa sposoby jako ochrona galwaniczna lub elektrolityczna. Ochrona katodowa (rys. 5) galwaniczna charakteryzuje się tym, że katodą ogniwa galwanicznego jest metal chroniony, natomiast anodą jest protektor (metal o potencjale elektrodowym niższym niż materiał chronionego elementu). Przy ochronie protektorowej stali jako protektory znalazły zastosowanie: magnez, cynk, aluminium i ich stopy [6].

Elektrolityczna ochrona katodowa (rys. 5) polega na tym, że katodą ogniwa elektrolitycznego zasilanego prądem stałym staje się przedmiot chroniony. Anoda jest nierozpuszczalna w tym obwodzie. Ochrona katodowa elektrolityczna wymaga równomiernego rozkładu prądu na powierzchni konstrukcji, co jest możliwe tylko dla elementów o niezbyt skomplikowanych kształtach oraz wykazujących ciągłość elektryczną [6,21].



Rysunek 5. Schemat zasady ochrony katodowej: a) galwanicznej (protektorowej), b) elektrolitycznej:

1 - obiekt chroniony, 2 - anoda zużywająca się (protektor), 3 - anoda nierozpuszczalna, 4-przewody, 5-prostownik, 6-źródło prądu [6]

Figure 5. Scheme of principle of cathodic protection: a) galvanic (sacrificial), b) electrolytic:

1 - protected object, 2 - wear-anode (protector), 3 - insoluble anode, 4-wire, 5-rectifier, 6-current source [6]

Konieczne warunki do spełnienia podczas stosowania ochrony katodowej [20]:

- dobre przewodnictwo elektryczne całej konstrukcji,
- dobre przewodnictwo środowiska, w którym znajduje się chroniona konstrukcja,
- dostateczna grubość warstwy przewodzącej prąd, aby była możliwość utworzenia pola elektrycznego.

Ochrona katodowa najczęściej jest stosowana do zabezpieczenia przed korozją okrętów, rurociągów i zbiorników cieczy [20].

#### 2.4. ZJAWISKO KOROZJI W STALI ODPORNEJ NA KOROZJĘ

Stale odporne na korozję zawierają powyżej 10,5% Cr oraz inne dodatki stopowe w postaci: Mo, Si, Ni, C i N. Stosowane są głównie do produkcji urządzeń stosowanych w przemyśle petrochemicznym, rafineryjnym, chemicznym oraz farmaceutycznym. Stale odporne na korozję według mikrostruktury można podzielić na: stale austenityczne, stale martenzytyczne, stale ferrytyczne oraz stale ferrytyczno- austenityczne (duplex) [2].

Austenityczne stale odporne na korozję charakteryzują się bardzo dobrymi własnościami mechanicznymi, wysoką ciągliwością, formowalnością oraz spawalnością, szerokim zakresem eksploatacji i małą skłonnością do rozrostu ziarna. Powstają w wyniku wprowadzenia do stopu Fe-Cr dodatku stopowego w postaci niklu, który tworzy strukturę austenityczną. Obróbka cieplna tych stali polega głównie na przesycaniu w zakresie temperatur 1000 ÷ 1170°C. Proces ten pozwala na uzyskanie jednorodnej struktury austenitu bez wydzielenia węglików i faz międzymetalicznych [11,13,14].

Ferrytyczne stale odporne na korozję charakteryzują się małą wytrzymałością temperaturową w porównaniu do stali austenitycznej, dobrą ciągliwością, magnetycznością, podatnością na obróbkę plastyczną na zimno oraz wysoką odpornością na działanie korozji naprężeniowej. Stale ferrytyczne otrzymuje się w wyniku wprowadzenia do żelaza, chromu w ilości przynajmniej 10,5% oraz innych pierwiastków stopowych np.: Mo, Ti, Nb. Ferrytyczne stale odporne na korozję poddaje się procesowi wyżarzania w temperaturach od 750°C do 950°C [11,13,14].

Stale odporne na korozję typu duplex, o strukturze dwufazowej ferrytyczno-austenitycznej cechują się wysoką odpornością na pękanie naprężeniowo- korozyjne, wysoką odpornością na działanie korozji wżerowej i szczelinowej oraz wysokimi własnościami mechanicznymi. Stale duplex cechują się podatnością na kruchość, dlatego ich zastosowanie jest ograniczone. Są wykorzystywane do pracy w zakresie -60 ÷ 300°C, w wodnym środowisku chlorków i kwasów. Uzyskanie struktury dwufazowej możliwe jest w wyniku poddania stali obróbce cieplnej i plastycznej, w zakresie temperatur 1050 ÷ 1150°C [11,13,14].

Odporność na korozję stali odpornych na korozję zależy od [11]:

- stanu warstwy wierzchniej,
- obecności powłok,
- obecności jonów Cl<sup>-</sup> w środowisku,
- mikrostruktury,
- własności materiału.

Stale odporne na korozję charakteryzują się wysoką odpornością na działanie korozji w środowiskach wodnych oraz gazowych. Wiąże się to z występowaniem na powierzchni stali cienkiej oraz szczelnej warstwy pasywnej. Warstwa pasywna składa się z tlenków bogatych w chrom. Chrom, w odróżnieniu do żelaza, posiada wysokie powinowactwo do tlenu, dlatego na powierzchni stali szybciej tworzą się tlenki bogate w chrom. Warstwa pasywna posiada zdolność do repasywacji w środowisku zawierającym tlen. Pomimo naruszenia ciągłości powierzchni i uszkodzenia warstwy pasywnej, stal nadal może być odporna na działanie korozji [11,13].



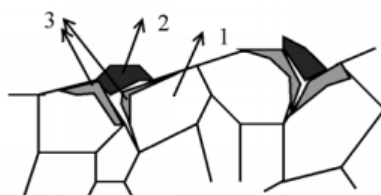
Stale odporne na korozję mogą być poddane działaniu korozji wżerowej, szczelinowej, międzykrystalicznej, naprężeniowej, galwanicznej oraz mikrobiologicznej. Najczęściej stal ulega niszczeniu w wyniku działania korozji wżerowej oraz międzykrystalicznej [13,14].

Korozję wżerową obserwuje się, gdy w środowisku stali występują jony halogenkowe, zazwyczaj są to chlorki, jodki oraz fluorki. Przykładem takiego środowiska jest woda morską oraz środowiska nabrzeżne. W przypadku zwiększenia ilości chlorków w środowisku obserwuje się przyspieszenie zjawisk korozyjnych. Istotny wpływ na szybkość korozji ma temperatura środowiska. Im wyższa temperatura tym szybciej przebiega niszczenie materiału.

Stal poddana działaniu korozji wżerowej posiada na swojej powierzchni liczne wżery-ubytki powierzchni w kształcie porów. Wżery zachowują się jak anody, natomiast obszar wżeru jest katodą, co dodatkowo przyspiesza proces niszczenia. Obszar katody jest znacznie większy niż anody, dlatego metal wewnątrz wżeru może się bardzo szybko rozpuszczać. Zapoczątkowanie korozji wżerowej jest zależne od stanu powierzchni stali. Poprzez szlifowanie oraz polerowanie może dojść do pojawienia się wtrąceń w strukturze, które jako anody inicjują korozję wżerową. W celu zapobiegania korozji wżerowej stosuje się obróbkę chemiczną powierzchni np.: azotowanie. Innymi sposobami zapobiegania korozji wżerowej jest [11,13-16]:

- stosowanie konstrukcji pozbawionej szczelin,
- odpowiednie dobranie gatunków stali z uwzględnieniem warunków środowiska,
- obniżenie stężenia jonów halogenkowych w środowisku,
- obniżenie temperatury środowiska.

Korozja międzykrystaliczna polega na niszczeniu materiału w wyniku wydzielania się węglików chromu i faz międzymetalicznych na granicy ziaren, w skutek wygrzewania w zakresie temperatur  $550 \div 850^{\circ}\text{C}$ . Proces ten zachodzi szybko i niezauważalnie, dlatego jest trudny do wykrycia. Powstanie węglików chromu obserwuje się na granicy ziaren. Węgiel pobierany jest z całej objętości ziaren, natomiast chrom z obszarów przygranicznych. Dochodzi wówczas do zubożenia obszarów przygranicznych w chrom i obniżenia odporności na korozję (rys.6) [6,11,13,17].



Rysunek 6. Schemat korozji międzykrystalicznej: 1- pojedyncze ziarno, 2- wydzielona faza, 3- obszar zubożony [6]

Figure 4. Schematic of intergranular corrosion : 1- single grain , 2- separate phase, 3-area of depleted [ 6 ]

W celu zapobiegania korozji międzykrystalicznej należy [13]:

- stosować stale o niskiej zawartości węgla,
- ograniczyć czas wygrzewania (w zakresie wydzielania węglików chromu tj. zakresie temperatur  $550 \div 850^{\circ}\text{C}$ ) do minimum,
- zastosować obróbkę cieplną.

## 2.5. ZJAWISKO KOROZJI W SZKŁACH

Jak wcześniej wspomniano, szkło jest materiałem o strukturze amorficznej. Surowcem do produkcji tradycyjnego szkła jest piasek kwarcowy ( $\text{SiO}_2$ ) oraz dodatki, najczęściej: węglan sodowy ( $\text{Na}_2\text{CO}_3$ ) i węglan wapniowy ( $\text{CaCO}_3$ ), topniki: tlenki boru i ołowiu ( $\text{B}_2\text{O}_3, \text{PbO}$ ) oraz barwniki, którymi zazwyczaj są tlenki metali (np. kadm) [7].

Jedną z najważniejszych własności szkła jest izolacja elektryczna, dodatkowo szkło ma małą przewodność cieplną i dużą odporność na działanie środków chemicznych (z wyjątkiem kwasu fluorowodorowego, który przy temperaturze  $100^\circ\text{C}$  potrafi rozpuścić szkło). Przepuszcza promienie świetlne, ma gładką powierzchnię i połysk, jest twarde i zarazem kruche. W temperaturze  $400^\circ\text{C}$  mięknie i staje się plastyczne, a przy ok.  $1000^\circ\text{C}$  jest płynne. Obecnie ten materiał ma szerokie zastosowanie m.in.: w budownictwie i architekturze, przemyśle gospodarczym i chemicznym w postaci osprzętu laboratoryjnego [3,7].

Charakteryzując szkło należy wymienić także włókna szklane, które otrzymywane są w procesie wyciskania ciekłego szkła przez otwór o wielkości 0,793-3,175 mm i ciągnięcie go. Do podstawowych typów włókien szklanych należą włókna E i S. Typ E różni się nieco gorszymi własnościami mechanicznymi i niższą ceną w stosunku do typu S. Dodatkowo można jeszcze wyodrębnić włókna odporne na korozję ECR, o niskiej stałej dielektrycznej D oraz włókna z czystej krzemionki lub kwarcu, ze wskazaniem do stosowania w wysokich temperaturach [7-8].

Korozja szkła jest ledwo zauważalna. Do głównych czynników wywołujących ją należą: wysoka temperatura oraz wilgoć i woda. Jednak własności mechaniczne tego materiału pozostają prawie niezmiennie, a wytrzymałość szkła utrzymuje się na stałym poziomie. Dodatkowo korozję szkła wywołują: wspomniany wcześniej kwas fluorowodorowy, czynniki atmosferyczne (np. zmiany temperatury), a także niewłaściwe składowanie i transport [3].

Korozja szkła jest wzajemnym oddziaływaniem między powierzchnią szkła a roztworem korozyjnym. W związku z tym dochodzi do nieodwracalnych zmian na powierzchni materiału, pod jego warstwą powierzchniową i w roztworze korozyjnym. Zachodzą wtedy procesy fizykochemiczne, których efektami są: rozpuszczenie szkła, selektywne wyodrębnienie niektórych składników i tworzenie wtórnych warstw na powierzchni szkła [10].

Proces korodowania szkła można podzielić na dwa etapy. Podczas pierwszego na powierzchni materiału zbierają się cząstki sodu, a materiał staje się bardziej przezroczysty. Jest to związane ze zamianą jonów sodowych na jony wodorowe zawarte w cieczy. Drugi etap obejmuje rozpad wiązań chemicznych pomiędzy związkami krzemu, sodu i tlenu, co prowadzi do pogorszenia własności materiału. W celu poprawy własności strukturalnych szkieł, dodaje się tlenki metali o charakterze szkłotwórczym, które są w stanie same lub z pomocą  $\text{SiO}_2$  stworzyć więźbę szkła. W celu przyspieszenia reakcji topnienia zestawu surowców szklarskich dodaje się  $\text{Al}_2\text{O}_3$  [3,10].

Szybkość procesu korozji oraz kierunek zależą od [10]:

- składu chemicznego szkła,
- roztworu oraz jego pH i objętości,
- czasu i temperatury,
- stosunku powierzchni szkła,
- szybkości przepływu roztworu.

Korozja szkła, zachodząca w skutek szkodliwego działania zanieczyszczonej atmosfery jest nazywana „wietrzeniem szkła”. Jest niebezpieczna, ponieważ zachodzi powoli, a jej skutków początkowo nie widać. Dopiero pojawienie się białego nalotu komunikuje obecność korozji. To zjawisko występuje głównie na naczyniach szklanych, przechowywanych w zmiennych warunkach atmosferycznych [10].

Korozja punktowa szkła jest wywołana przez substancje kwasowe lub alkaliczne (środki czyszczące). Występuje najczęściej na szkłe, które stosowane jest w budownictwie, w związku z tym powodują ją także materiały uszczelniające w trakcie twardnienia, pozostawione przez dłuższy czas na szkłe. Ten rodzaj korozji objawia się w postaci matowych lub zmętnionych „punktów” na powierzchni materiału [9].

Klasycznym zastosowaniem szkła w budownictwie i architekturze są okna. Szyby narażone są na działanie temperatur oraz związków pochodzących z detergentów. Czyszcząc elewacje szklane środkami zawierającymi kwas fluorowodorowy, może dojść do zapoczątkowania korozji w postaci zmatowienia szyby i powstawania rys, przebarwień. Co więcej, cierpią na tym również wszelkiego rodzaju elementy przyległe do szyby, np. uszczelki, łączniki, metalowe profile [3].

Okazuje się także, że największe destrukcyjne działanie na materiał ma zdecydowanie woda opadowa i wilgoć, ponieważ dochodzi do reakcji z  $\text{SO}_2$ . W związku z tym tworzą się nierozpuszczalne siarczany wapnia, które są ostatecznym produktem korozji szkła [3,12].

Biorąc pod uwagę szkło hartowane, warto wspomnieć, iż w procesie produkcji tafli dochodzi do skażenia jej przez siarczki niklu. Później na powierzchni tworzą się wrostki, a pod wpływem temperatury zachodzi niszczenie materiału i wzrost podatności na działanie korozji [3].

## PODSUMOWANIE

Na początku pracy wspomniano, że podczas projektowania materiału, mimo usilnych poczynań naukowców oraz inżynierów nie da się całkowicie wyeliminować powstawania korozji. Obecnie dużą rolę odgrywa zapobieganie jej powstawania, stosując różnego rodzaju metody ochrony.

Stale konstrukcyjne są narażone na korozję głównie przez działanie agresywnego środowiska chemicznego, takich kwasów jak kwas azotowy (V), kwas siarkowy (VI), kwas fluorowodorowy czy kwas solny. W wyniku oddziaływania powyższych czynników na stal, na powierzchni powstają wżery oraz wgłębienia, które mogą mieć negatywny wpływ na użytkowanie oraz eksploatację danej konstrukcji. Ze względu na to, że stal konstrukcyjna jest stosowana na maszyny oraz elementy odpowiedzialne, szczególną uwagę poświęca się ochronie przed korozją. Aby jej zapobiegać stosowana jest ochrona katodowa, której celem jest zminimalizowanie ryzyka powstawania korozji lub w przypadku jej pojawienia się, maksymalnego spowolnienia jej rozwoju.

Wysokie stężenie chromu w stalach odpornych na korozję, skutecznie chroni je przed działaniem korozji. Zwiększa skłonność do pasywacji oraz tworzy na powierzchni warstwę pasywną. Stale odporne na korozję, mimo wysokiej odporności na korozję, najczęściej ulegają niszczeniu w wyniku działania korozji wżerowej oraz międzykrystalicznej. W wyniku inicjacji procesów korozji wżerowej, na powierzchni stali obserwuje się powstanie licznych wżerów. Istnienie wżerów uwarunkowane jest stężeniem jonów halogenkowych w środowisku stali. Korozja międzykrystaliczna zachodzi szybko i niezauważalnie, dlatego jest trudna do wykrycia. W celu zapobiegania korozji w stalach odpornych na korozję, należy odpowiednio

dobrac stal do budowy konstrukcji, z uwzględnieniem warunków środowiska w jakim będzie ona pracowała.

Własności i stan powierzchni szkła mają związek z warunkami produkcji i późniejszego przechowywania. Wpływa to znacząco na odporność chemiczną powierzchni materiału, zwłaszcza, kiedy dochodzi do kontaktu z czynnikami korozyjnymi. Stwierdzono, że głównymi czynnikami powodującymi korozję szkła są: woda opadowa i wilgotne powietrze, które w połączeniu ze środkami czyszczącymi, wysoką lub niską temperaturą lub działaniem alkaliów, niszczą materiał. Na powierzchni powstają różnego rodzaju przebarwienia, zmatowienia, rysy i pęknięcia.

## LITERATURA

1. Adamczyk J., *Inżynieria wyrobów stalowych*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice 2000.
2. Blicharski M., *Inżynieria Materiałowa: stal*, Wydawnictwo Naukowo Techniczne, Warszawa 2004.
3. Mika P, *Czynniki wpływające na zwiększenie ryzyka wystąpienia naturalnej korozji elementów przeszklonych fasad*, Architektura, Czasopismo Techniczne, Wydawnictwo Politechniki Krakowskiej, Zeszyt 16, 5-A, 2011, s. 129-137.
4. Malkiewicz T., *Metaloznawstwo stopów żelaza*, Państwowe Wydawnictwo Naukowe Warszawa – Kraków.
5. Głowacka M., *Metaloznawstwo*, Politechnika Gdańska, Gdańsk 1996.
6. Surowska B., *Wybrane zagadnienia z korozji i ochrony przed korozją*, Lublin 2002.
7. Dobrzański Leszek A., *Niemetalowe materiały inżynierskie*, Wydawnictwo Politechniki Śląskiej, Gliwice, .
8. Fajdyś M., Łandwajt M., *Włókna techniczne wzmacniające materiały kompozytowe*, Techniczne Wyroby Włókiennicze, 2010, s. 12-21.
9. Giaquinto D., Dall F.J., *Rodzaje i przyczyny uszkodzeń szkła*, część 1, Świat Szkła, 2015, s. 47-48.
10. Grochal E., *Odporność chemiczna szkieł krzemianowych w aspekcie podatności ich na procesy korozyjne*, Instytut Szkła, Ceramiki, Materiałów Ogniotrwałych i Budowanych w Warszawie, Oddział Szkła w Krakowie, s. 76-90.
11. Blicharski M., *Inżynieria Materiałowa*, Wydawnictwo WNT, Warszawa, 2012.
12. Faber J., *Korozja szkieł okiennych w warunkach aglomeracji krakowskiej*, Szkło i Ceramika, 2009, nr 2, s.25-31.
13. Brytan Z. *Vademecum Stali Nierdzewnej*. Wydawnictwo Stowarzyszenie Stali Nierdzewnej: Katowice, 2014.
14. Marciniak J., *Inżynieria materiałów metalowych część 2*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej: Gliwice, 2004.
15. Wielgosz R, Zajac A. *Wrażliwość stali austenitycznych na korozję wywołaną czynnikami technologicznymi i eksploatacyjnymi*. Archiwum Odlewnictwa. 2006; 21, s.323-330.
16. Krakowiak S, Jurak K, Darowicki K. *Zwiększenie odporności stali austenitycznych poprzez obróbkę chemiczną powierzchni*. Ochrona przed korozją. 2011; 3, s.88-90.
17. Baszkiewicz J, Kamiński M. *Podstawy korozji materiałów*. Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej: Warszawa, 1997.

18. Przybyłowicz K, Przybyłowicz J. *Materiałoznawstwo w pytaniach i odpowiedziach*. Wydawnictwo Naukowo- Techniczne: Warszawa, 2000, 2004.
19. Dobrzański L.A. *Podstawy nauki o materiałach*. Wydawnictwo Politechniki Śląskiej: Gliwice, 2012.
20. Baszkiewicz J , Kamiński M. *Korozja materiałów*, Oficyna Wydawnicza Politechniki Warszawskiej, Warszawa, 2006.
21. Uhlig H. *Korozja i jej zapobieganie*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1976.
22. <http://iim.p.lodz.pl/media/materialy/mat-kier-MiBM-AiR-PiP-Trans/Cwiczenie%205.pdf>
23. Skiba-Rogalska O. *Ochrona elektrochemiczna przed korozją: teoria i praktyka*. Wydawnictwo Naukowo-Techniczne, Warszawa, 1991.