

Zalety stali nierdzewnych jako materiału konstrukcyjnego

dr inż. Zbigniew Brytan

Politechnika Śląska w Gliwicach

Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych

www.imiib.polsl.pl

Wysoka odporność korozyjna

- Standardowe gatunki stali nierdzewnych (Cr, Cr-Ni, Cr-Ni-Mo) odporne na korozję atmosferyczną i czyste środowiska wodne
- Gatunki wysokostopowe (Cr-Ni-Mo) odporne na korozję w większości kwasów, roztworach zasadowych i środowiskach zawierających chlorki
- Pomimo tego w pewnych warunkach mogą ulegać korozji:
 - wżerowej
 - szczelinowej
 - galwanicznej
 - międzykrystalicznej
 - naprężeniowej



Wysoka odporność korozyjna

- Dobór gatunku ze względu na środowisko atmosferyczne wg EN 1993-1-4
- *stan obecny*

Gatunek stali	Wiejskie			Miejskie			Przemysłowe			Morskie/ sól drogowa		
	L	M	H	L	M	H	L	M	H	L	M	H
Ferrytyczne Cr 1.4016	●	▼	▼	●	x	x	x	x	x	x	x	x
Austenityczne Cr-Ni 1.4301, 1.4307, 1.4541, 1.4318	●	●	●	●	●	▼	▼	▼	x	●	▼	x
Austenityczne Cr-Ni-Mo, 1.4401, 1.4404, Duplex 1.4362,	■	■	■	■	●	●	●	●	▼	●	●	▼
Austenityczne Cr-Ni-Mo, 1.4439, 1.4529, 1.4439 Duplex 1.4462,	■	■	■	■	■	■	■	■	●	■	■	●

L - Najniższe zagrożenie korozyjne - niska wilgotność i niska temperatura

M - Typowe warunki dla danego obszaru

H - Srogie warunki, wysoka wilgotność, temperatura lub poziom zanieczyszczeń

■ - Gatunek przeszacowany pod względem odporności korozyjnej i kosztów

● - Optymalny wybór pod względem odporności korozyjnej i kosztów

▼ - Może być stosowany pod warunkiem zapewnienia gładkiej powierzchni i regularnego czyszczenia

x - Prawdopodobieństwo wystąpienia korozji

Wysoka odporność korozyjna

Nowa procedura (pojawi się w aktualizacji normy EN 1993-1-4) doboru właściwego gatunku stali nierdzewnej dla środowiska pracy elementów konstrukcyjnych.

Znajduje zastosowanie dla:

- elementów nośnych, zastosowań zewnętrznych,
- dla pH między 4 a 10,
- środowisk bez sporadycznego / ciągłego zanurzenia w wodzie morskiej,
- braku ekspozycji na media występujących w procesach chemicznych.



❖ W innych przypadkach wymagana konsultacja ze specjalistą

Wysoka odporność korozyjna

1. Ocena środowiska

Współczynnik odporności korozyjnej (CRF) dla środowiska

- ☐ F1 - oddziaływanie chlorków (słona woda lub sól drogowa)
- ☐ F2 - oddziaływanie SO_2
- ☐ F3 - czyszczenie, naturalne zmywanie przez deszcz

2. Klasyfikacja gatunków na klasy odporności korozyjnej (CRC) od I do V

3. Przyporządkowanie do środowisk korozyjnych (CRF) klasy odporności korozyjnej gatunku (CRC).



F₁ Ryzyko wystawienia na oddziaływanie chlorków pochodzących ze słonej wody lub soli drogowej

Uwaga: M to odległość od morza a S to odległość od dróg, gdzie stosuje się sól drogową

1	Środowisko wewnętrzne budynków - kontrolowane	
0	Niskie ryzyko oddziaływania	$M > 10 \text{ km}$ lub $S > 0,1 \text{ km}$
-3	Średnie ryzyko oddziaływania	$1 \text{ km} < M \leq 10 \text{ km}$ lub $0,01 \text{ km} < S \leq 0,1 \text{ km}$
-7	Wysokie ryzyko oddziaływania	$0,25 \text{ km} < M \leq 1 \text{ km}$ lub $S \leq 0,01 \text{ km}$
-10	Bardzo wysokie ryzyko oddziaływania Tunele drogowe, gdzie stosuje się sól drogową lub gdzie pojazdy mogą przewozić sól drogową przez tunele	
-10	Bardzo wysokie ryzyko oddziaływania Wybrzeża Morza Północnego Niemiec Wszystkie obszary nadbrzeżne morza Bałtyckiego	$M \leq 0,25 \text{ km}$
-15	Bardzo wysokie ryzyko oddziaływania Linia wybrzeża Atlantyku Portugalii, Hiszpanii, Francji, kanał la Manche i wybrzeża Morza Północnego Wielkiej Brytanii, Francji, Belgii, Holandii, południowej Szwecji Wszystkie inne obszary nadbrzeżne Wielkiej Brytanii, Norwegii, Dani i Irlandii Wybrzeża śródziemnomorskie	$M \leq 0,25 \text{ km}$

Wysoka odporność korozyjna

F₂ Ryzyko wystawienia na oddziaływanie dwutlenku siarki

Uwaga: Warunki europejskich środowisk przybrzeżnych zwykle wykazują niską zawartość dwutlenku siarki. Dla środowisk wewnątrz lądu zawartość dwutlenku siarki może być zarówno niska jak i średnia. Obszary o wysokiej zawartości dwutlenku siarki są zwykle związane z **obszarami silnie uprzemysłowionymi** lub specyficznym środowiskiem - np. **tunele drogowe**. Stężenie dwutlenku siarki może być wyznaczone zgodnie z metodą podaną w normie ISO 9225.

0	Niskie ryzyko oddziaływania	Średnie stężenie <10 µg/m ³
-5	Średnie ryzyko oddziaływania	Średnie stężenie 10 - 90 µg/m ³
-10	Wysokie ryzyko oddziaływania	Średnie stężenie 90 - 250 µg/m ³

Wysoka odporność korozyjna

**F₃ Wymogi okresowego czyszczenia lub naturalnego zmywania przez deszcz
(jeżeli $F_1 + F_2 = 0$, to $F_3 = 0$)**

0	Całkowicie wystawione na zmywanie przez deszcz
-2	Sprecyzowane wymogi okresowego czyszczenia
-7	Brak zmywania przez deszcz lub brak wymogów okresowego czyszczenia

Uwaga:

Wymogi inspekcji i czyszczenia muszą być dokładnie sprecyzowane - w formie pisemnej.

Większa częstotliwość czyszczenia daje lepsze korzyści.

Sprecyzowane wymogi czyszczenia powinny odnosić się do wszystkich elementów konstrukcji.

**Współczynnik odporności korozyjnej
($CRF = F_1 + F_2 + F_3$)**

Wysoka odporność korozyjna

Określenie klasy odporności korozyjnej CRC)

Współczynnik odporności korozyjnej środowiska (CRF)	Klasa odporności korozyjnej gatunku (CRC)
CRF = 1	I
$0 \geq \text{CRF} > -7$	II
$-7 \geq \text{CRF} > -15$	III
$-15 \geq \text{CRF} \geq -20$	IV
CRF < -20	V

ferrytyczne

Austenityczne Cr-Ni

lean duplex

austenityczne Cr-Ni-Mo

wysokostopowe austenityczne

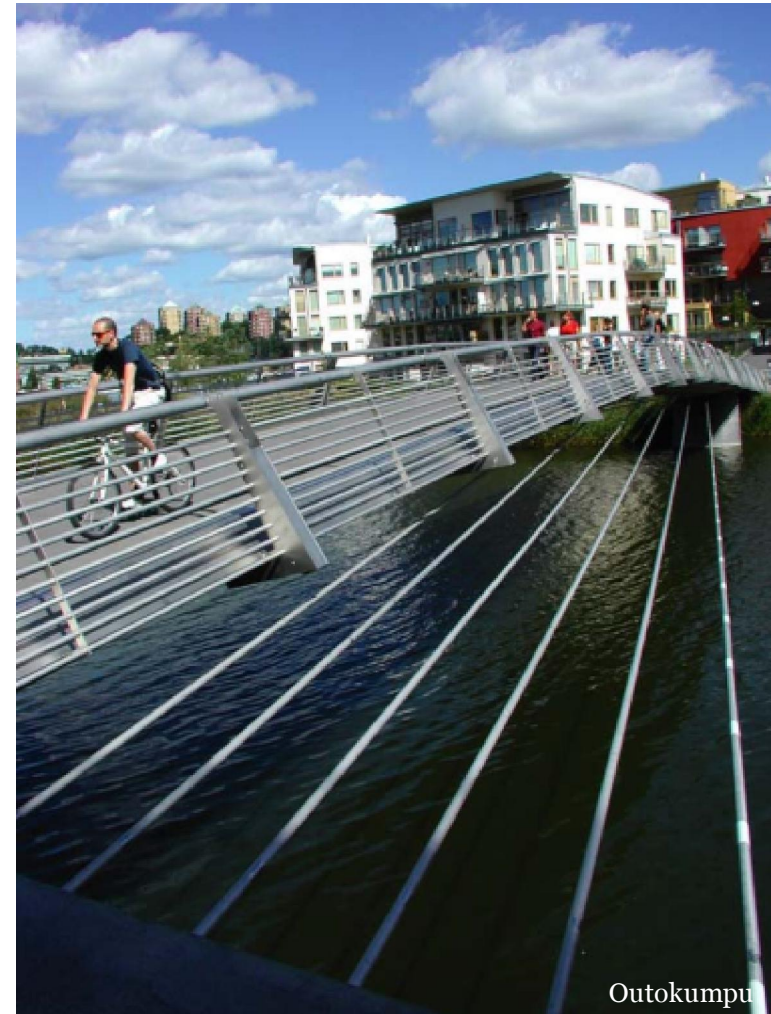
duplex, superduplex

Klasy odporności korozyjnej CRC				
I	II	III	IV	V
1.4003	1.4301	1.4401	1.4439	1.4565
1.4016	1.4307	1.4404	1.4462	1.4529
1.4512	1.4311	1.4435	1.4539	1.4547
	1.4541	1.4571		1.4410
	1.4318	1.4429		1.4501
	1.4306	1.4432		1.4507
	1.4567	1.4162		
	1.4482	1.4662		
		1.4362		
		1.4062		
		1.4578		

Wysoka odporność korozyjna

W zastosowaniach konstrukcyjnych stale nierdzewne mogą ulegać korozji:

- wżerowej,
- szczelinowej,
- galwanicznej,
- międzykrystalicznej,
- naprężeniowej.



Outokumpu

Wysoka odporność korozyjna

- Korozja wżerowa i szczelinowa

- ❖ Najczęstszą przyczyną korozji wżerowej są jony **chlorków** (Cl^-), a także bromki - Br, fluorki - F, jodki - I
- ❖ Źródło jonów (Cl^-):
 - woda morska (obszary przybrzeżne),
 - sól drogowa (autostrady, chodniki,...)

- Zapobieganie korozji wżerowej
 - prawidłowy dobór gatunku stali
 - dla zastosowań konstrukcyjnych i architektonicznych klasyfikacja środowisk korozyjnych CRF i gatunków CRC,
 - *współczynnik $PREN = \%Cr + 3,3\%Mo + 16\%N$ - nie zapewnia pełnej informacji o odporności korozyjnej stali,*
 - cykliczna inspekcja i konserwacja powierzchni.

Wysoka odporność korozyjna

- Korozja szczelinowa (nierównomierny dostęp tlenu i obecność jonów Cl^-)

Obszary podatne na korozję szczelinową:

- pod podkładkami lub łbami śrub,
- w okolicach gwintów śrub lub łączników rurowych,
- kontaktu z luźnymi uszczelkami i podkładkami,
- **pod naniesionymi osadami,**
- pod produktami korozji lub innymi ciałami stałymi.



- Atak korozji w szczelinach może wystąpić w dużo łagodniejszych warunkach niż potrzebnych do zapoczątkowania korozji wżerowej.

Wysoka odporność korozyjna

- Zapobieganie korozji szczelinowej
 - **projekt elementu** - brak wąskich szczelin,
 - prawidłowy **dobór gatunku stali**
 - unikać płaskich den zbiorników lub obszarów **stagnacji medium** - mogą wytrącać się osady,
- zbiorniki umieszczać nad podłożem na nogach,
- odpływ powinien gwarantować całkowite opróżnienie zbiornika,
- naroża powinny być zaokrąglone, unikać kątowych naroży,
- spoiny na ścianach bocznych nie w narożnikach - również odpowiednio wygładzone



*Korozja przy odpływie
zbiornika*



Euro-Inox

Wysoka odporność korozyjna

- Zapobieganie korozji szczelinowej - **eliminacja szczelin**
 - unikać porowatości w spoinach i podcięć spoin, stosować spoiny doczołowe a nie spawanie na zakładkę, stosować ciągłe,
 - stosować nieporowate materiały uszczelniające,
 - uszczelniać nity i inne tego typu szczeliny,
 - powierzchnie czyścić z osadów pyłów i kurzu oraz plam z farb,
- Izolacje cieplne i otuliny rurociągów i zbiorników powinny być **wolne od chlorków** - dotyczy także stosowanych klejów

Wysoka odporność korozyjna

Wpływ chropowatości powierzchni

- ✓ Im większa chropowatość powierzchni, tym więcej substancji - zanieczyszczeń może się do niej przykleić.
- ✓ Im większa chropowatość powierzchni, tym trudniej ją czyścić.
- ✓ Im więcej zanieczyszczeń na powierzchni, tym niższa odporność korozyjna.

- Prawidłowy dobór wykończenia powierzchni do zastosowań architektonicznych

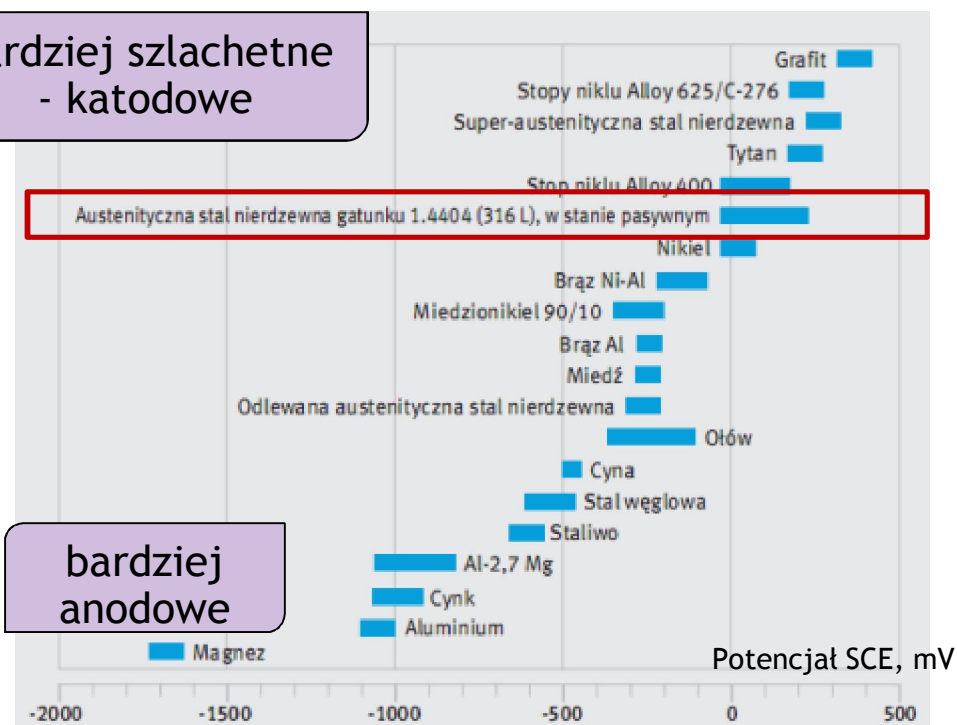
Wysoka odporność korozyjna

- Korozja galwaniczna

Występuje, gdy dwa różne metale - wystarczająco oddalone od siebie w szeregu napięciowym metali, zanurzone w tym samym elektrolicie będą ze sobą w kontakcie elektrycznym.

- Stal nierdzewna w połączeniu z innymi metalami rzadko ulega korozji galwanicznej
- Przyspiesza korozję innych metali

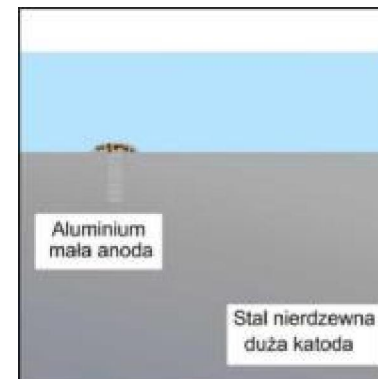
bardziej szlachetne
- katodowe



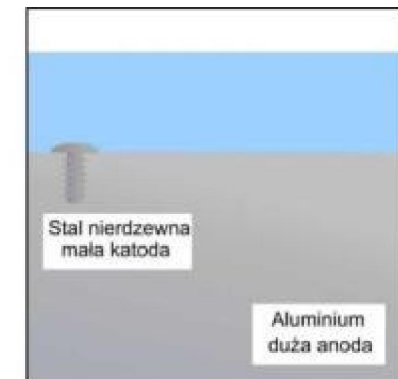
Szereg napięciowy metali w wodzie morskiej przy 10°C

Wysoka odporność korozyjna

- Korozja galwaniczna zależy od
 - różnicy potencjałów między metalami - im większa tym większa szybkość korozji
 - stosunku pola powierzchni anody do katody - istotną rolę odgrywa obszar zwilżany przez elektrolit
 - przewodności elektrycznej elektrolitu - **woda deszczowa jest słabym elektrolitem**



Znaczna korozja



Brak korozji

- Nie stosować elementów łącznych z **aluminium** do łączenia stali nierdzewnej, stosować tylko **nierdzewne**.
- Dotyczy to także zastosowania elementów łącznych z ocynkowanej stali węglowej do łączenia stali nierdzewnej.

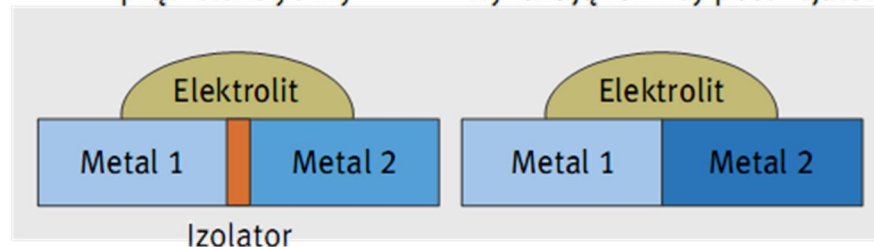
Wysoka odporność korozyjna

- Zapobieganie korozji galwanicznej

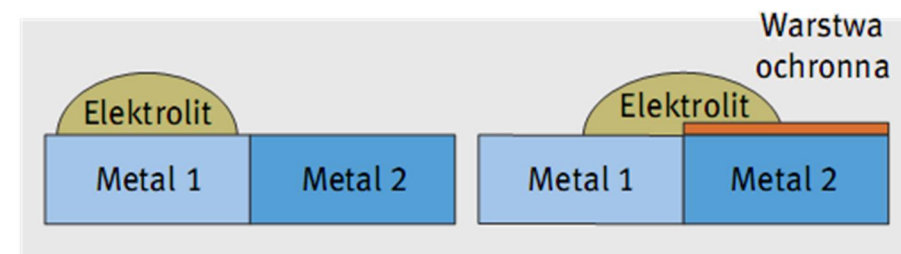
Metal 1-Anoda, 2-Katoda

... bez styku przewodzącego
prąd elektryczny

... w metalach, które nie
wykazują różnicy potencjałów

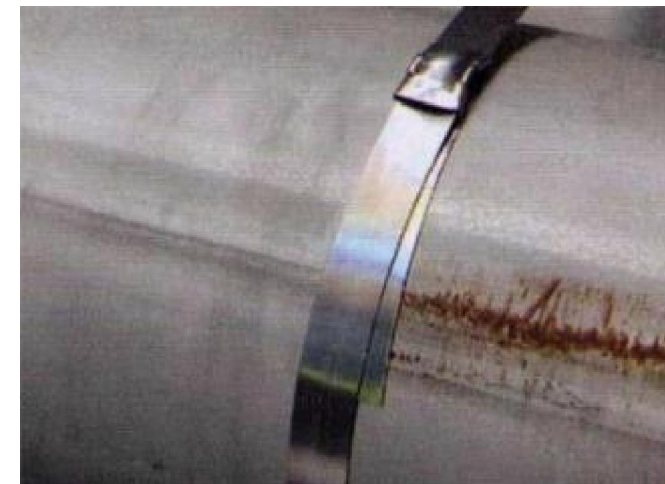


... bez połączenia przez elektrolit



- Umieszczenie warstwy ochronnej jedynie na anodzie nie zapobiega korozji galwanicznej

- Korozja cząstek żelaza, stali węglowej na powierzchni stali nierdzewnej
- Źródła zanieczyszczeń:
- narzędzia uprzednio stosowane do obróbki stali węglowych,
- Zarysowania powierzchni stalą węglową, cząstki pochodzące ze szlifowania



Wysoka odporność korozyjna

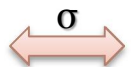
- Korozja międzykrystaliczna
 - Wydzielenia węglików chromu w SWC
 - istotne dla elementów grubych
- Zapobieganie korozji międzykrystalicznej
 - Stosowanie gatunków niskowęglowych i stabilizowanych Ti i Nb
 - Gatunki stabilizowane i niskowęglowe konieczne dla elementów spawanych o grubości **pow. 6mm**

Strefa wpływu ciepła (SWC) po spawaniu



Wysoka odporność korozyjna

- Korozja naprężeniowa



- Konieczne naprężenia **rozciągające**, korozja nie wystąpi pod wpływem naprężeń **ściskających**.



- Temperatura - rzadko występuje $<60^{\circ}\text{C}$ w środowisku o obojętnym pH.

Cl⁻

- Obecność jonów (Cl⁻), ale także bromków i jodków.

- Zapobieganie korozji międzykrystalicznej

- Dobór materiału (stężenie niklu)

- stale ferrytyczne

- stale austenityczne o wysokim stężeniu Ni,

- stale typu duplex

- Środowisko - eliminacja Cl⁻, temperatura ↓

- W projekcie unikać: silnie naprężonych elementów, obszarów spiętrzenia naprężeń, warunków obróbki, które powodują naprężenia szczątkowe

Można stosować ochronę katodową.

Stale austenityczne typu 18%Cr/8-10%Ni szczególnie wrażliwe na korozję naprężeniową

Projekt konstrukcji

Projektując elementy ze stali nierdzewnych należy unikać czynników, które mogą spowodować korozję stali w wyniku:

- Korozji **wżerowej** - obecność chlorków Cl^-
- Korozji **szczelinowej** - obecność Cl^- , obecność szczelin
- Korozji **międzykrystalicznej** - wygrzewanie w trakcie spawania lub podczas pracy w połączeniu z nieprawidłowo dobranym gatunkiem
- Korozji **galwanicznej** (kontaktowej) - kontakt ze sobą różnych metali, zanieczyszczenia cząstkami stali węglowej
- Korozji **naprężeniowej** - oddziaływania naprężeń, Cl^- i wysokiej temperatury
- Korozji **ogólnej** - nadmierne pocienienie ścianek konstrukcji w środowisku silnie redukujących kwasów, przy wysokim stężeniu i temperaturze
 - Stosować powłoki ochronne.
 - Stosować inhibitory korozji lub ochronę katodową.

Projekt konstrukcji

- Korozję można zwalczać stosując często te same metody.

Projekt musi zapobiegać:

- Występowaniu stojącej wody - stagnacji medium
 - Wspierać cyrkulację płynów,
 - Przeciwdziałać parowaniu - koncentracji
 - Utrzymać na możliwie jak najniższym poziomie naprężenia oraz temperaturę
- Sam prawidłowy projekt elementu nie wystarczy. Już w etapie przetwarzania i obróbki należy uwzględnić wymienione czynniki. Wykonawcy powinni być odpowiednio przeszkoleni.



Wysoka odporność korozyjna

- Pasywacja stali nierdzewnych
- Odporność korozyjną stali nierdzewnej można dodatkowo polepszyć przez proces **chemicznej pasywacji**
 - w kąpeli 20% kwas azotowy (HNO_3)
 - Selektywne usunięcie części Fe z warstwy pasywnej i zwiększenie stężenia Cr.
 - Usunięcie z powierzchni wszystkich wtrąceń niemetalicznych

Pasywacja jest zalecana dla stali eksploatowanych w „ciężkich” - agresywnych chemicznie warunkach eksploatacji.

Wytrawianie powierzchni w połączeniu z pasywacją zapewnia maksymalną ochronę powierzchni po procesach przetwarzania

Odporność korozyjna - podsumowanie

Podstawowy wpływ na odporność korozyjną stali nierdzewnych wywierają:

- ✓ **skład i struktura stali nierdzewnej**
- ✓ **otoczenie;**
- ✓ **zanieczyszczenia;**
- ✓ **chropowatość powierzchni;**
- ✓ **konstrukcja.**



Wysoka wytrzymałość

Przykłady zastosowania

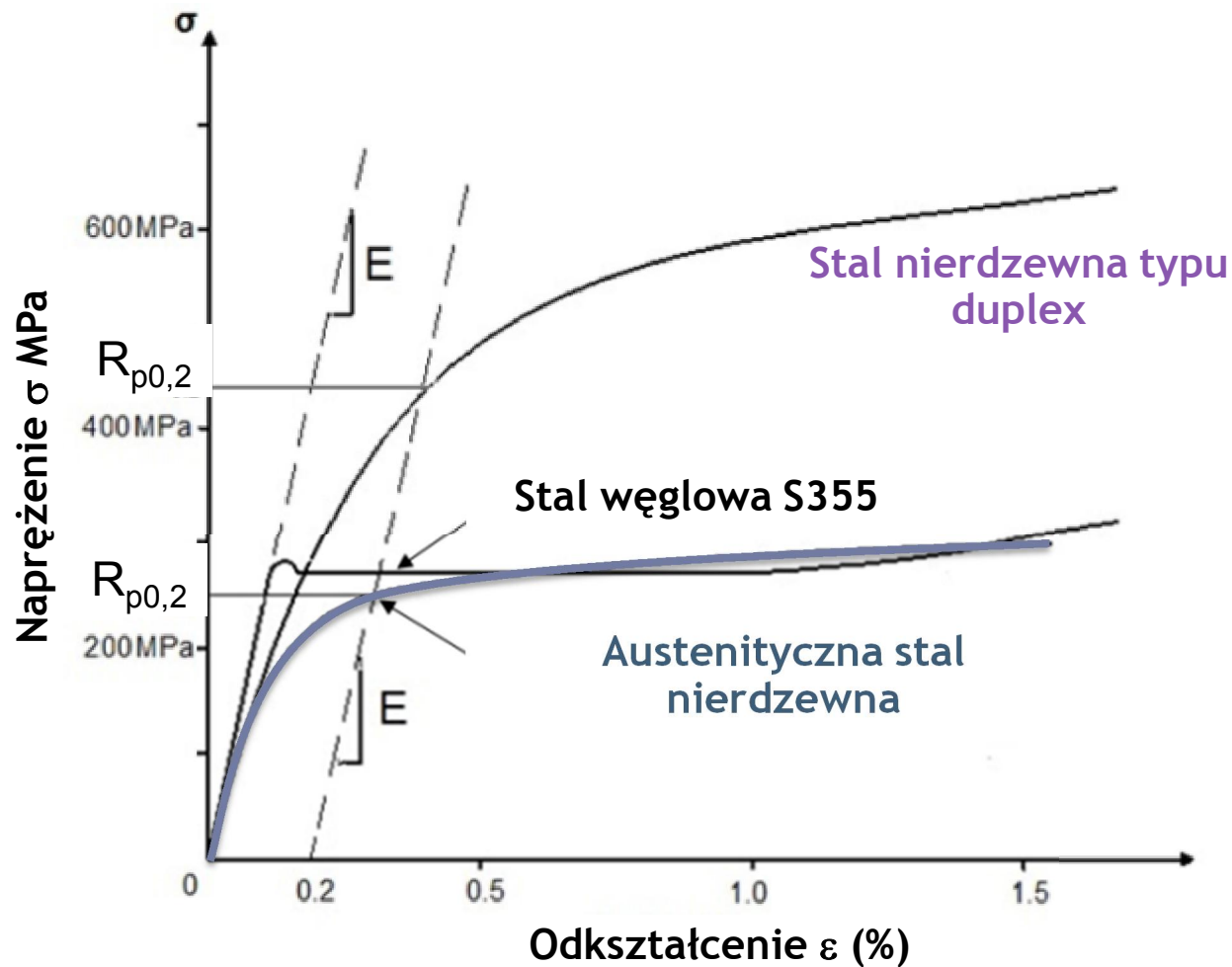


stal duplex 1.4462

- Wszystkie stale typu duplex wykazują wysoką granicę plastyczności - około 2x większą od stali austenitycznych 1.4301 / 1.4404.
- Prowadzi to do znacznych oszczędności kosztów w zastosowaniach, gdzie wymagana jest wysoka wytrzymałość, np. mosty, zbiorniki magazynowe.

Wysoka wytrzymałość

Charakterystyka naprężenie-odkształcenie - zakres niskiego odkształcenia



Stal węglowa

Wyraźnie określona granica plastyczności
Występuje plastyczne płynięcie stali - „półka plastyczna” (linia równoległa do osi ϵ na wykresie)

Stal nierdzewna

Odkształcenie plastyczne pojawia się stopniowo. Wysoki stopień umocnienia zgniotem

Wysoka wytrzymałość

Znak	Numer	Klasa wytrzymałości	Klasa odporności korozyjnej
X2CrNi12	1.4003	S 235, S 275, S 355, S460	I
X6Cr17	1.4016	S 235	
X5CrNi18-10	1.4301	S 235, S 275, S 355, S460, S 690	II
X2CrNi18-9	1.4307	S 235, S 275, S 355, S460, S 690	
X3CrNiCu18-9-4	1.4567	S 235, S 275, S 355, S460	
X6CrNiTi18-10	1.4541	S 235, S 275, S 355, S460	
X2CrNiN18-7	1.4318	S 355, S460	
X5CrNiMo17-12-2	1.4401	S 235, S 275, S 355, S460, S 690	III
X2CrNiMo17-12-2	1.4404	S 235, S 275, S 355, S460, S 690	
X3CrNiCuMo17-11-3-2	1.4578	S 235, S 275, S 355, S460	
X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571	S 235, S 275, S 355, S460, S 690	
X2CrNiN23-4	1.4362	S460, S690	
X2CrNiN22-2	1.4062	S460, S690	
X2CrMnNiN21-5-1	1.4162	S460, S690	
X2CrNiMnMoCuN24-4-3-2	1.4662	S460, S690	

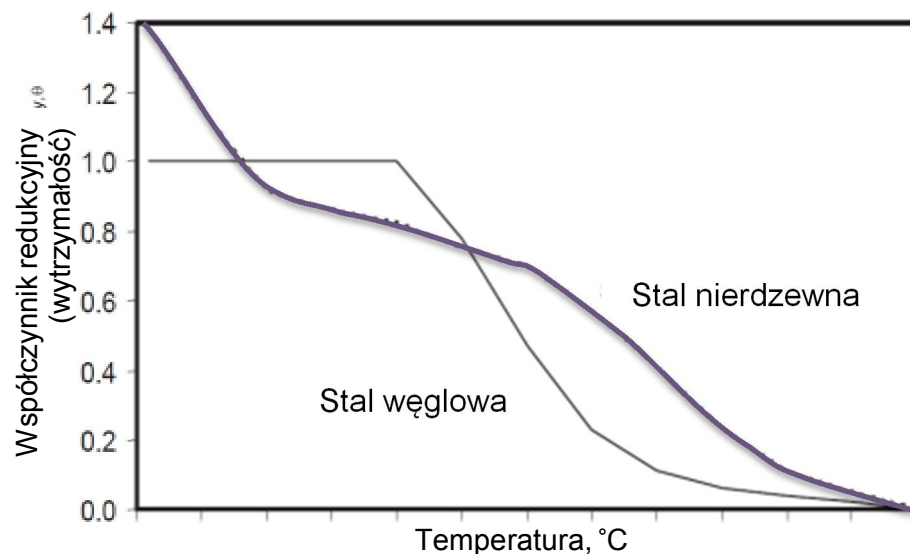
lean duplex

Wysoka wytrzymałość

Znak	Numer	Klasa wytrzymałości	Klasa odporności korozyjnej
X2CrNiMoN17-13-5	1.4439	S275	IV
X2CrNiMoN22-5-3	1.4462	S460, S 690	
X1NiCrMoCu25-20-5	1.4539	S 235, S 275, S 355, S460, S 690	
X2CrNiMnMoNbN25-18-5-4	1.4565	S460	V
X1NiCrMoCuN25-20-7	1.4529	S 275, S 355, S460, S 690	
X1CrNiMoCuN20-18-7	1.4547	S 275, S 355	

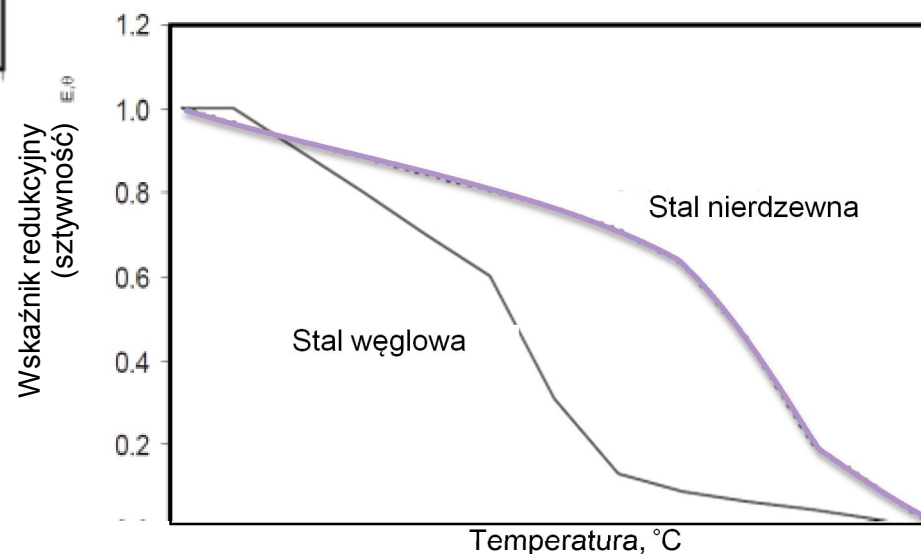
Wysoka wytrzymałość - odporność ogniowa

Porównanie stali nierdzewnej i węglowej



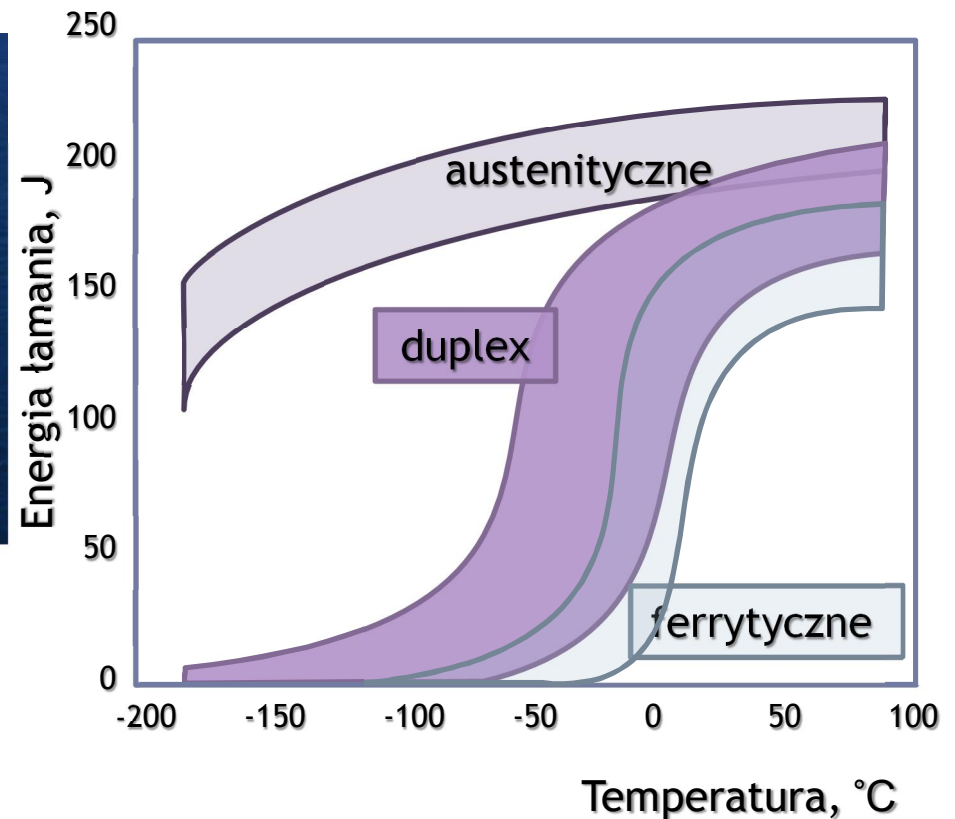
Stale nierdzewne zdecydowanie lepiej zachowują wytrzymałość w temperaturze powyżej 500°C niż stale węglowe

Stale nierdzewne zdecydowanie lepiej zachowują sztywność w temperaturze powyżej 300°C niż stale węglowe



Możliwość pracy w szerokim zakresie temperatury

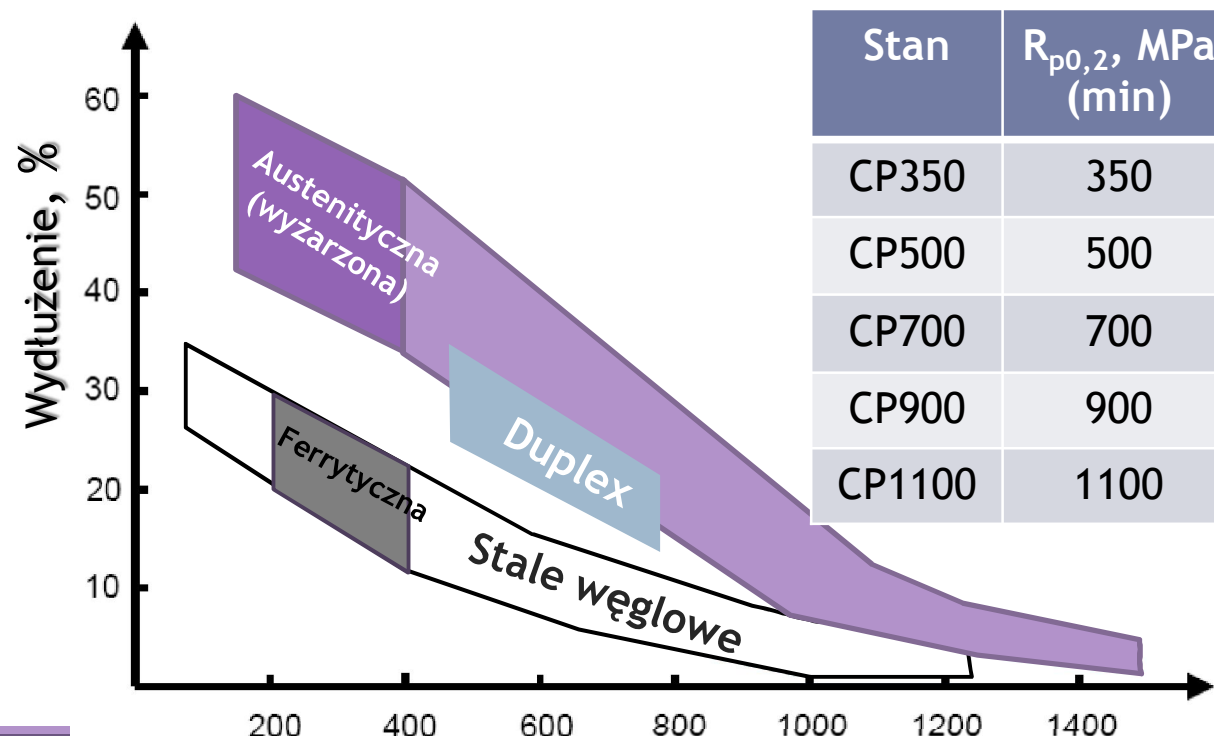
- Stale austenityczne - możliwość pracy w warunkach kriogenicznych - 200°C
- Stale ferrytyczne i duplex - przejście w stan kruchy ok. -50° , -20°



- W temperaturze podwyższonej
- Stale austenityczne i ferrytyczne
możliwość pracy do ok. 900°C
- Gatunki żaroodporne, żarowytrzymałe do 1175°C

Dobra podatność na kształtowanie - możliwość zwiększenia wytrzymałości

- Stale nierdzewne mają zdolność do umacniania (wzrost R_e , R_m) w wyniku obróbki plastycznej na zimno - walcowania wygładzającego (głównie cienkich blach)
 - największy potencjał stale **austenityczne** Cr-Ni,
 - stale ferrytyczne także można umacniać,
 - stale duplex trudne w umocnieniu - wysoka wytrzymałość początkowa,



Wagony kolejowe
1.4318 X2CrNiN18-7 (301LN)



Wysoka wytrzymałość

Pręty zbrojeniowe,
Austenityczne 1.4301, 1.4401,
duplex 1.4362, 1.4462



Wysoka wytrzymałość

Stacja ładowania samochodów elektrycznych, Niemcy

Stacja ładowania stal 1. 4301

- Łatwość użytkowania,
- Odporna na akty wandalizmu
- Atrakcyjny wygląd



Elektrownie biomasy, biogazownie, Północna Europa

Zbiorniki do przechowywania biomasy
stal 1. 4301, 1.4571



Możliwość łączenia różnymi technikami



Spawanie

- Wysoka wytrzymałość
- Brak możliwości demontażu



Połączenia śrubowe

- Łatwy montaż na placu budowy, możliwość łączenia różnych materiałów, możliwy demontaż, szybkie
- Mogą powodować korozję szczelinową



Lutowanie

- Lutowanie lutem miękkim i twardym, wodoszczelność (pokrycia dachowe)



Zaciskanie mechaniczne

- Roztłaczanie, zaciskanie (press-fitting),
- Trwałe połączenia rur, szczelność dla cieczy i gazów
- Wymagają specjalistycznych narzędzi



Klejenie

- Zachowana integralność wykończenia, równomierny rozkład naprężeń i większa pow. nośna, tłumią drgania
- Brak możliwości wizualnej kontroli obszaru klejenia, wymagane staranne przygotowanie powierzchni



Źródło: Euro-Inox

Dobra spawalność

Stale nierdzewne podczas spawania należy chronić przed:

- zanieczyszczeniem innymi metalami (ołów, miedź, cynk,...) oraz
- stalami niestopowymi i niskostopowymi

Podczas obróbki stosować tylko narzędzia dla nich przeznaczone.
Dotyczy zwłaszcza: tarcz szlifierskich, szczotek drucianych, młotków do usuwania żużla

Z powierzchni należy dokładnie usunąć wszystkie smary stosowane podczas kształtowania stali nierdzewnych.

a)



b)



c)



Przykłady szczotkowania powierzchni stali nierdzewnej z użyciem szczotek z różnych materiałów, a) szczotka ze stali nierdzewnej, b) z mosiądzu, c) ze stali węglowej

Dobra spawalność

➤ Mocowanie elementów przed spawaniem

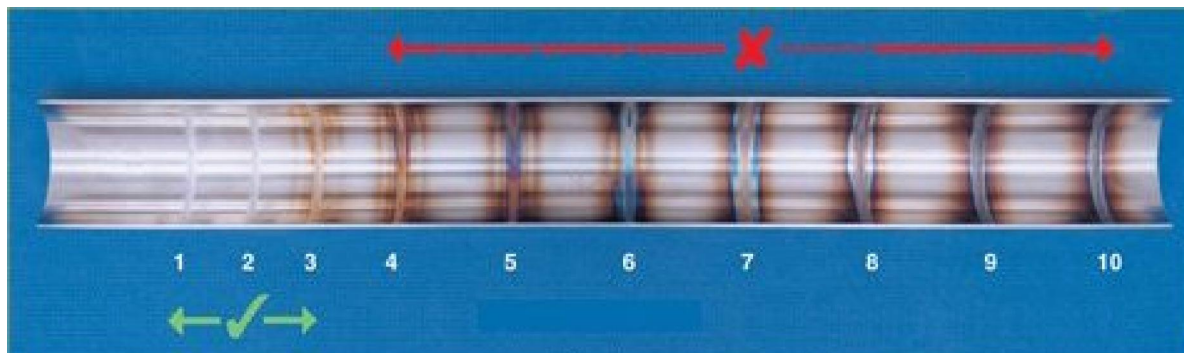
Szczególne własności fizyczne:

- niskiego współczynnika przewodności cieplnej
- wysokiego współczynnika rozszerzalności liniowej



➤ Ochrona grani spoiny przed **utlenianiem**

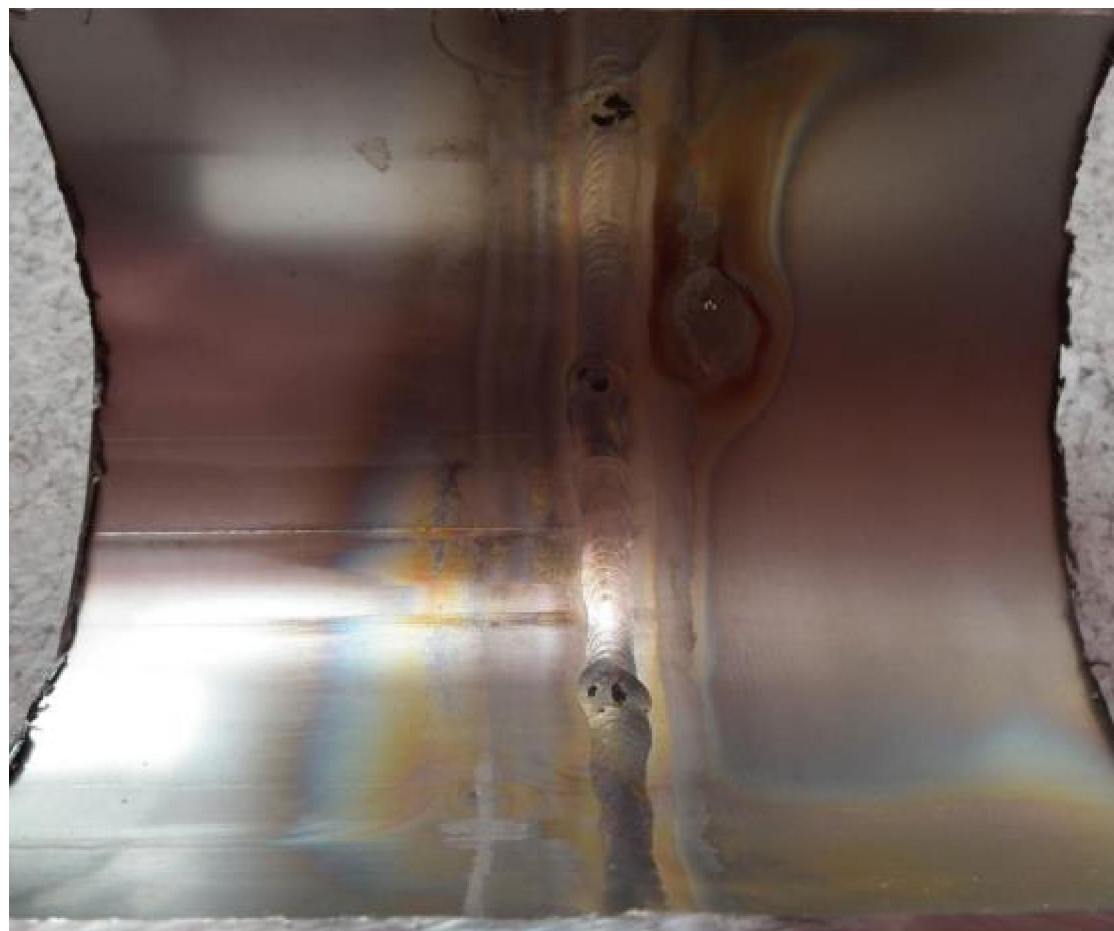
- Ar i N₂ lub ich mieszanki z wodorem



Poziom tlenu powinien być utrzymany na poziomie <50 ppm (0,005%), gdy metal ma temperaturę wyższą od 250 °C

Dobra spawalność

- Brak ochrony grani spoiny przed utlenianiem



Dobra spawalność

- Spawalność stali austenitycznych
- Materiały dodatkowe do spawania
 - Skład chemiczny odpowiada składowi stali
 - Spoiwa zawierające min. 3% ferrytu
 - Ferryt- rozpuszczanie zanieczyszczeń (siarka, fosfor)
 - Dla spoiw 3-10% ferrytu - wysoka odporność na pękanie
 - Ferryt jest magnetyczny - spoiny lekko przyciągają magnes
 - Spoiwa 0% ferrytu, spoiwa niklowe
 - Spoiwa w pełni austenityczne - wrażliwe na pękanie na gorąco
 - Wymagają szczególnej kontroli ilości dostarczonego ciepła



Dobra spawalność

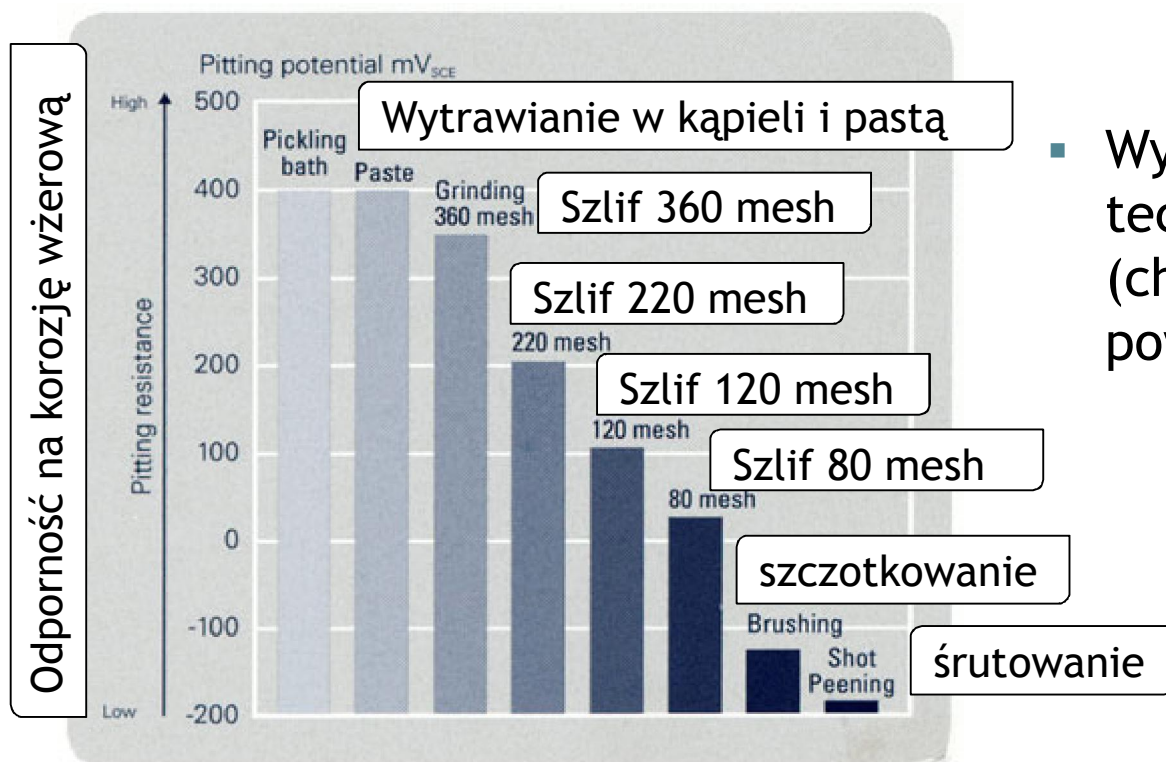
- Spawalność stali ferrytycznych
 - Podatne na rozrost ziaren w SWC
 - Gatunki niestabilizowane - korozja międzykrystaliczna
 - Spawane z małą ilością doprowadzonego ciepła
 - Wrażliwe na kruchość wodorową
 - Wilgoć z powietrza, wilgotne materiały dodatkowe

- Spawalność stali duplex
 - Skłonne do wydzielení faz międzymetalicznych
 - Spoina krzepnie jako ferrytyczna a austenit powstaje podczas chłodzenia
 - Dla dużej szybkości chłodzenia - wysoki udział ferrytu
 - Materiały dodatkowe o wyższym stężeniu niklu - dadzą wyższy udział austenitu



Dobra spawalność

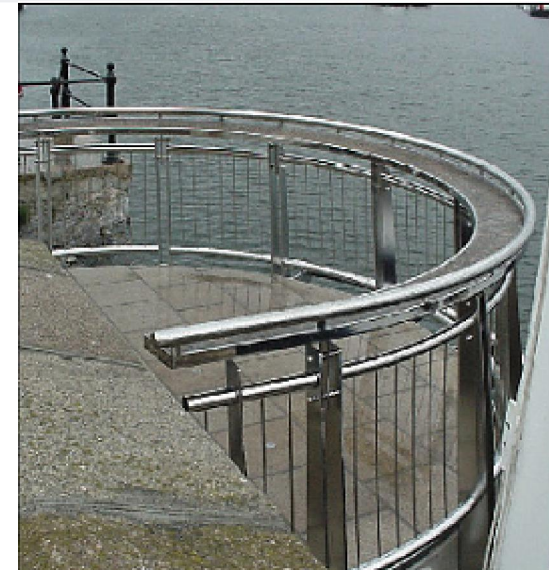
- Obróbka powierzchni po spawaniu
 - Poprawa wyglądu zewnętrznego
 - Oczyszczenie powierzchni - żużel, cząstki Fe
 - Przywrócenie odporności korozyjnej (usunięcie przebarwień spawalniczych)



- Wymagania higieniczne / technologiczne (chropowatość i gładkość powierzchni)

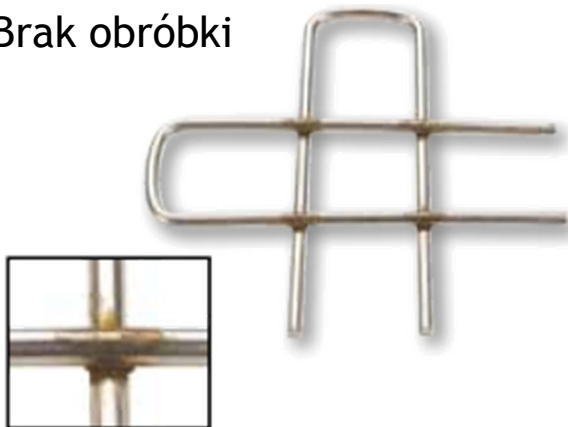
Dobra spawalność

- Obróbka powierzchni po spawaniu
 - Elektropolerowanie
 - Powierzchnia o wyższej odporności korozyjnej niż wykończenia szczotkowane i szlifowane
 - Zmniejsza wymogi okresowej konserwacji
 - Zwiększa trwałość konstrukcji

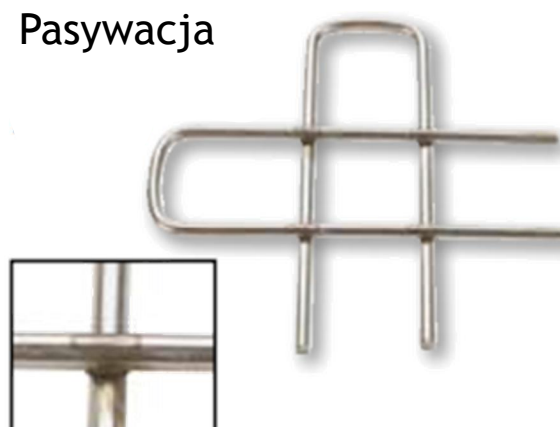


Porównanie powierzchni po 72h testu w komorze solnej

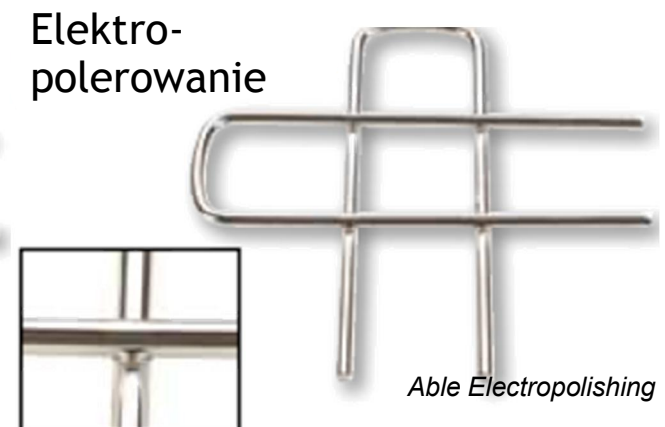
Brak obróbki



Pasywacja



Elektro-
polerowanie



Able Electropolishing

Doskonała podatność na czyszczenie i własności higieniczne

. Podatność na czyszczenie zasadniczo zależy od:

- doboru gatunku stali,
- wykończenia powierzchni,
- geometrii elementu.

Wykończenia odblaskowe

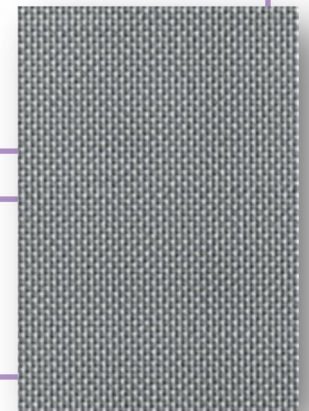
- Generalnie im powierzchnia jest gładsza tym brud przylega trudniej.
- Wykończenie 2R (lustrzane), doskonałą podatność na czyszczenie. Uwaga na środki czyszczące, narzędzia - możliwość zadrapania.

Wykończenia nieodblaskowe - szlifowane, szczotkowane, satynowe.

- Unikać szorstkich powierzchni **zgrubnie szlifowanych**
- Zastosowania architektoniczne $Ra < 0,5\mu m$

Wykończenia wzorzyste - 2M

- Maskują zadrapania i inne formy uszkodzenia powierzchni



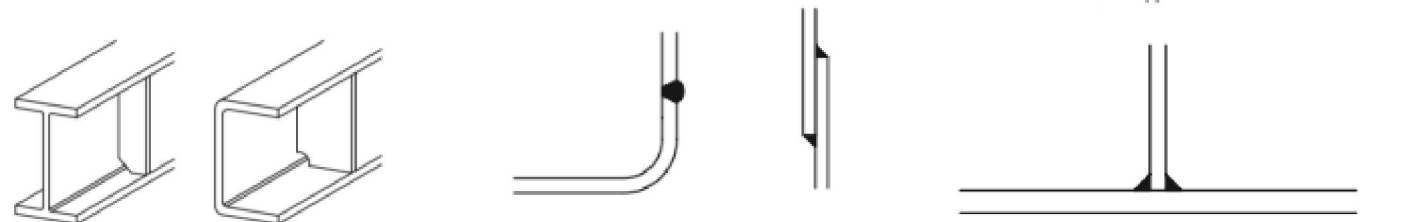
Doskonała podatność na czyszczenie i własności higieniczne

. Podatność na czyszczenie

- geometria konstrukcji

Konieczność czyszczenia można ograniczyć

- Unikanie detali, na których może zbierać się brud,
 - Optymalizację skuteczności zmywania powierzchni przez deszcz.
-
- Kierunek szlifowania w **pienie** - ułatwia spływanie wody
 - Unikać poziomych, zabudowanych obszarów - może zbierać się brud, który będzie spływać po konstrukcji w formie zacieków
 - Połączenia powinny być uszczelnione
 - Usztywnienia sekcji otwartych powinny mieć otwór, przez który wydostanie się woda



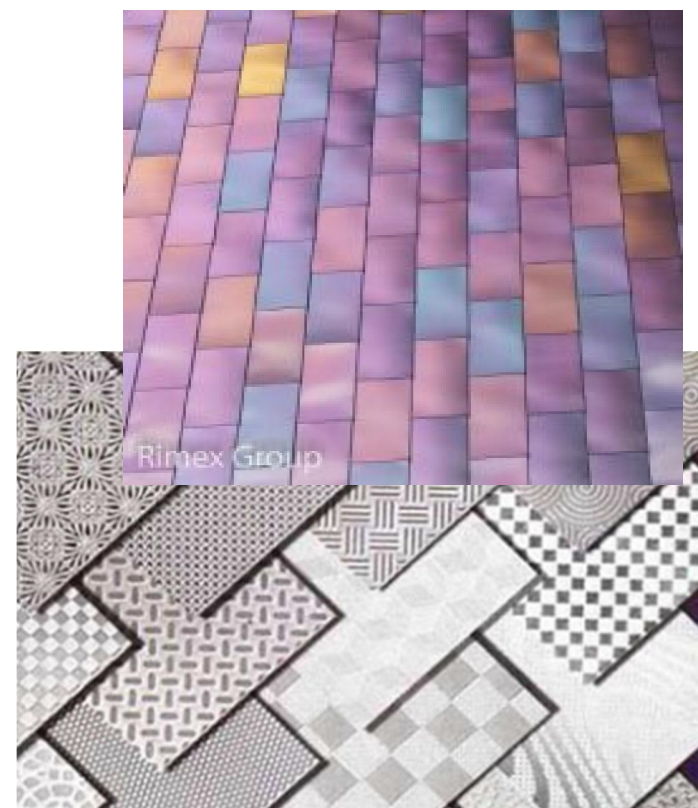
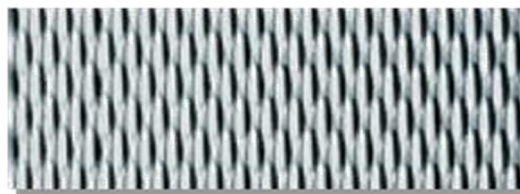
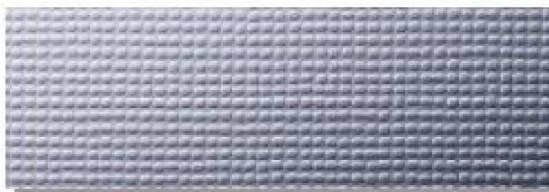
Doskonała podatność na czyszczenie i własności higieniczne

. Podatność na czyszczenie

- geometria konstrukcji
- Woda spływająca z innych materiałów (stali węglowej, betonu, ...) nie powinna spływać na powierzchnie ze stali nierdzewnych
- Dla w pełni zabudowanych obszarów - brak zmywania przez deszcz należy przewidzieć częstszą konserwację powierzchni

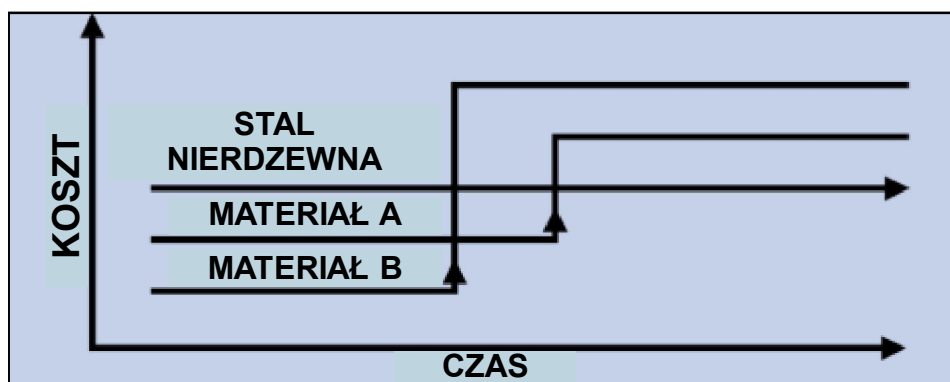
Szeroka gama dostępnych wykończeń powierzchni

- Wykończenia dekoracyjne posiadają też cechy funkcjonalne.
 - wzorzyste -2M mniej podatne na uszkodzenia powierzchni
 - z powierzchnią fałdowaną 2W - stosowane w celu **zwiększania wytrzymałości materiału** lub efektu wizualnego

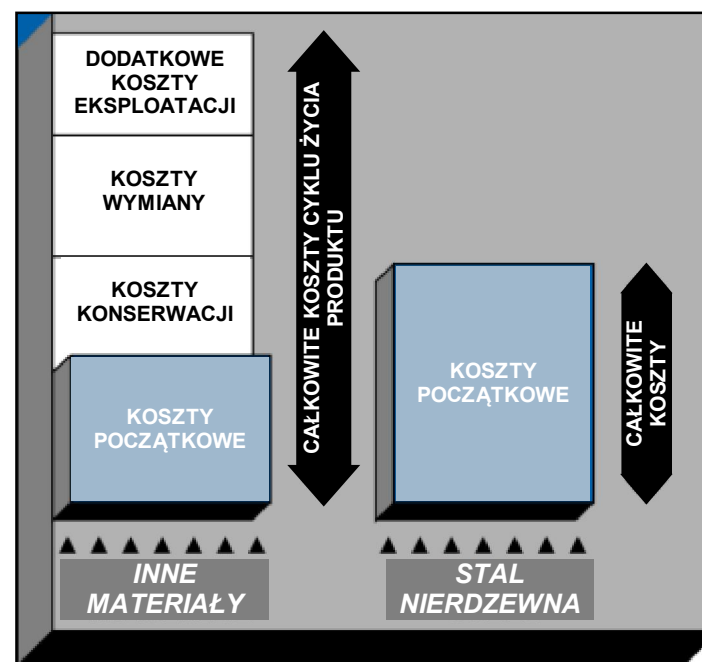


Opłacalne przy uwzględnieniu całości kosztów konstrukcji

- Uwzględniając czas eksploatacji 50-100 lat stale nierdzewne stają się bardzo opłacalne



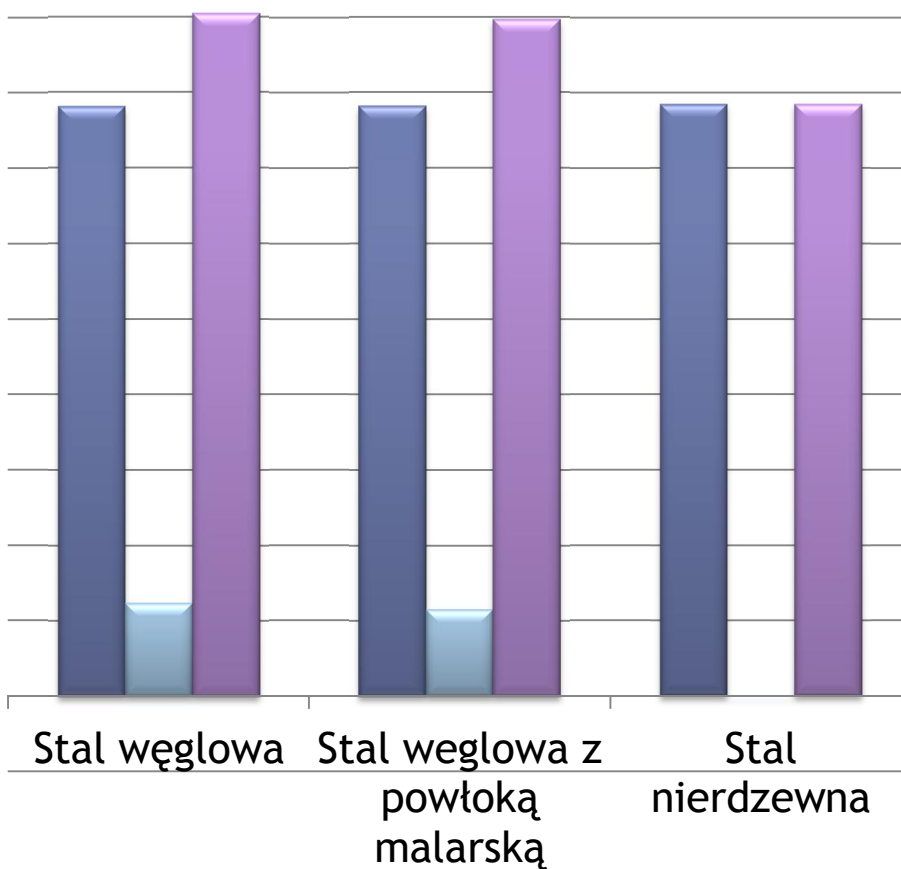
- Coraz częściej stosowane narzędzie
- Na zakończenie eksploatacji konstrukcji - złom ze stali nierdzewnych umożliwia większy zwrot zainwestowanego kapitału
- Konstrukcje ze stali nierdzewnych są **bardziej ekologiczne** - mniejszy wpływ na środowisko naturalne



Opłacalne przy uwzględnieniu całości kosztów konstrukcji

Analiza kosztów LCC - most na rzece

■ Koszty początkowe ■ Koszty użytkowania
■ Suma LCC



Opis	Stal węglowa	Stal węglowa z powłoką malarską	Stal nierdzewna
Koszt materiału	8,197	31,420	88,646
Koszty wytwarzania	0	0	0
Inne koszty instalacji	15,611,354	15,611,345	15,611,354
Koszty początkowe	15,619,551	15,642,774	15,700,000
Konserwacja	0	0	0
Wymiana	256,239	76,872	-141
Straty	2,218,524	2,218,524	0
Związane z materiałem	0	0	0
Koszty użytkowania	2,247,763	2,295,396	-141
Suma LCC	18,094,314	17,937,170	15,699,859

Opłacalne przy uwzględnieniu całości kosztów konstrukcji

- Japonia - przykład kraju, gdzie produkty-konstrukcje projektuje się z uwzględnieniem długiego czasu eksploatacji



Opłacalne przy uwzględnieniu całości kosztów konstrukcji



Opłacalne przy uwzględnieniu całości kosztów konstrukcji



Podsumowanie

Zalety stali nierdzewnej jako materiału konstrukcyjnego

- wyśmienita **odporność korozyjna**
 - jeżeli będą przestrzegane specyficzne zasady konstruowania dla stali nierdzewnych
- wysoka **wytrzymałość**, duża sztywność
- szeroki zakres temperatury pracy
- **możliwość łączenia** różnymi technikami, dobra spawalność
- doskonała **podatność na czyszczenie** i własności higieniczne
- szeroka gama dostępnych **wykończeń** powierzchni
- Bardzo **opłacalne** po analizie całości kosztów eksploatacji konstrukcji (analiza LCC)

Dziękuję za uwagę

dr inż. Zbigniew Brytan

zbigniew.brytan@polsl.pl

Tel: (0048) 32 237 12 76

Politechnika Śląska w Gliwicach

Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych

www.imiib.polsl.pl