

Nowe kierunki rozwoju i wyzwania dla stali nierdzewnych

dr inż. Zbigniew Brytan

zbigniew.brytan@polsl.pl

Politechnika Śląska w Gliwicach

Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych

www.imiib.polsl.pl

Plan prezentacji

- Zmiany w normach dla stali nierdzewnych
- Kierunki rozwoju stali nierdzewnych
- Nowe gatunki w każdej grupie stali nierdzewnych
- Innowacyjne zastosowania
- Uszlachetnianie powierzchni stali nierdzewnej

Zmiany w normach

Normy stosowane do identyfikacji stali nierdzewnych

- Polska: seria norm PN-EN 10088
 - 10088-1 - Gatunki
 - 10088-2 - Blachy grube, cienkie oraz taśm
 - **10088-4 - - do zastosowań konstrukcyjnych**
 - 10088-3 - Pręty, walcówka, drut, kształtowniki
 - **10088-5 - - do zastosowań konstrukcyjnych**
- Dostosowanie przepisów do wymogów dyrektywy nr 89/106/EWG - wymagań dla wyrobów budowlanych - oznakowanie CE lub B
- *Każdy wprowadzany do obrotu lub oddawany do użytku wyrób budowlany musi spełniać postanowienia Dyrektywy, a więc musi zostać oznakowany znakiem CE (względnie znakiem budowlanym B).*
- *1 lipca 2013 na terenie całej UE*



CE - deklaracja producenta, iż wyrób spełnia minimalne określone w prawie wymagania w dziedzinie bezpieczeństwa

Zmiany w normach

prEN 10088-2 - projekt aktualizacji normy EN 10088

Ogólny trend Ni zastępowany przez Mn i Cu

Nowe gatunki austenityczne

- 1.4368 (18Cr-12Mn-4Ni), 1.4618 (17Cr-8Mn-5Ni-2Cu),
- 1.4376 (19Cr-6Mn-3Ni), 1.4640 (19Cr-6Ni-2Cu),

Ogólny trend wzrost stężenia Cr

Nowe gatunki ferrytyczne

- 1.4600 (2Cr-MnNiTi),
- 1.4607 (Cr20-NbTi), 1.4611 (Cr21-Ti), 1.4613 (24Cr-Ti)

Zmiany w normach

prEN 10088-2 - projekt aktualizacji normy EN 10088

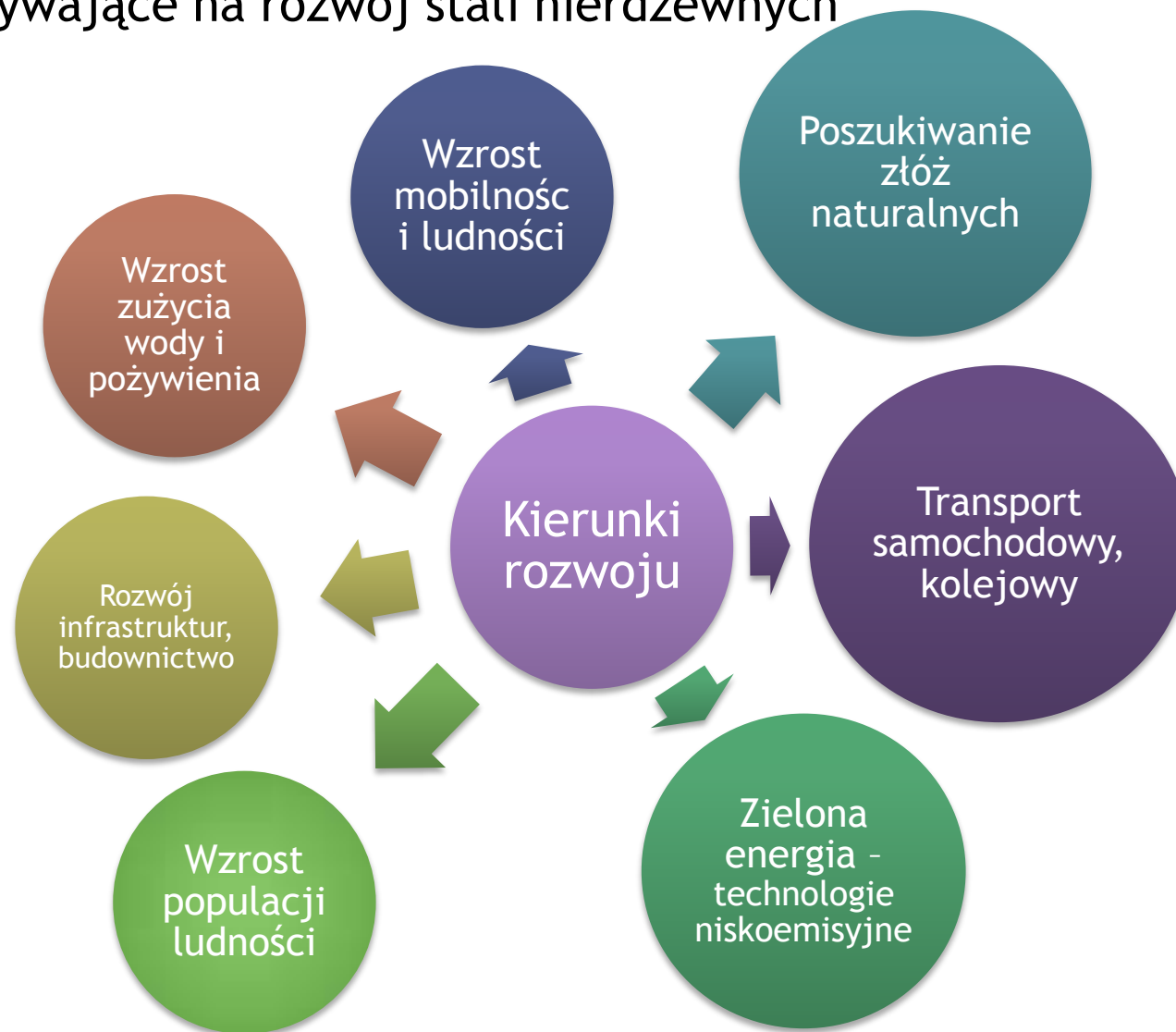
Ogólny trend Ni zastępowany przez Mn

Nowe gatunki duplex

- 1.4162 (21Cr-5Mn-1Ni), 1.4662 (22Cr-5Ni-3Mo),
- 1.4482 (21Cr-5Mn-3Ni), 1.4062 (22Cr-2Ni),
- 1.4619 (20Cr-8Mn-3Ni-2Cu)

Kierunki rozwoju stali nierdzewnych

Trendy wpływające na rozwój stali nierdzewnych



Inwestowanie w rozwój technologii niskoemisyjnych

Europejskie Inicjatywy Przemysłowe

Europejska inicjatywa na rzecz energii wiatrowej

- Celem jest, by w 2020 r. do **20 proc.** energii elektrycznej w Unii pochodziło z **farm wiatrowych**.
- Turbiny wiatrowe (wolnostojące, do pracy na morzu,...)



Inwestowanie w rozwój technologii niskoemisyjnych

Europejskie Inicjatywy Przemysłowe

Europejska inicjatywa na rzecz energii słonecznej („Solar Europe”)

- Celem jest, by w 2020 r. do **15 proc.** energii elektrycznej w Unii pochodziło z **instalacji solarnych**.
- Systemy solarne ze zbiornikiem ciepłej wody,
- kolektory słoneczne - płaskie, próżniowe
- Instalacje fotowoltaiczne,



Systemy solarne ze zbiornikiem ciepłej wody

Konstrukcja ze stali ferrytycznej - 1. 4521 - tradycyjnie z 1.4404

- Stale ferrytyczne - największa opłacalność

Stal nierdzewna: uchwyty dachowe, obudowy, ramy, podstawy, zbiorniki ciepłej wody



www.energie-solaire.com

- Nowoczesne i tanie w eksploatacji źródło ciepła.
 - podgrzewanie wody użytkowej,
 - wspomaganie centralnego ogrzewania,
 - ogrzewania wody w basenach.
- Redukcja kosztów całej instalacji



www.lapesa.es



www.solar-live.com

Systemy solarne ze zbiornikiem ciepłej wody

Zalecane gatunki ferrytyczne

- Zbiornik wewnętrzny: 1.4521, 1.4509 (w zależności od jakości wody)
- Zbiornik zewnętrzny: 1.4016, malowane 1.4512, 1.4510, 1.4509, 1.4521 (tereny nadbrzeżne)
- Kolektor (włącznie z ramą i rurkami): 1.4509, 1.4521
- Stojak: 1.4016 lub malowana 1.4512
- System rur łączących: 1.4521



Więcej w: Solar water heaters, The ferritic solution, ISSF, www.worldstainless.org

Instalacje fotowoltaiczne

Fotowoltaika zintegrowana z budownictwem (BIPV) (*building integrated photovoltaics*)

Instalacje fotowoltaiczne zintegrowane z budynkiem (dachy, dachówki, ściany)

Ramy instalacji ze stali nierdzewnej

- 1.4301, 1.4404, 1.4021

- Redukcja kosztów instalacji
- Optymalne wykorzystanie przestrzeni
- Przyjazne dla krajobrazu



Inwestowanie w rozwój technologii niskoemisyjnych

Europejskie Inicjatywy Przemysłowe

Inicjatywa na rzecz zrównoważonej bioenergii („Bio-energy Europe”)

- Możliwa stać się ma zrównoważona **produkcja biopaliw** na wielką skalę oraz wysokoefektywna skojarzona **produkcja ciepła i energii** z biomasy.
- Celem jest, by w 2020 r. co najmniej **14 proc.** energii elektrycznej w Unii pochodziło z **bioenergetyki**.
- Elektrownie biomasy - zbiorniki, pompy zawory, mieszalniki

Zbiorniki do
przechowywania
biomasy
stal 1.4301, 1.4571



Inwestowanie w rozwój technologii niskoemisyjnych

Europejskie Inicjatywy Przemysłowe

Inicjatywa na rzecz zrównoważonej bioenergii („Bio-energy Europe”)

- Produkcja biopaliw - bioetanol, biodiesel (Brazylia, USA)
- Odporność korozyjna stali nierdzewnych na warunki procesu produkcji - 1.4307, 1.4404 (304L, 316L)



Instalacja produkcji paliwa - biodiesel



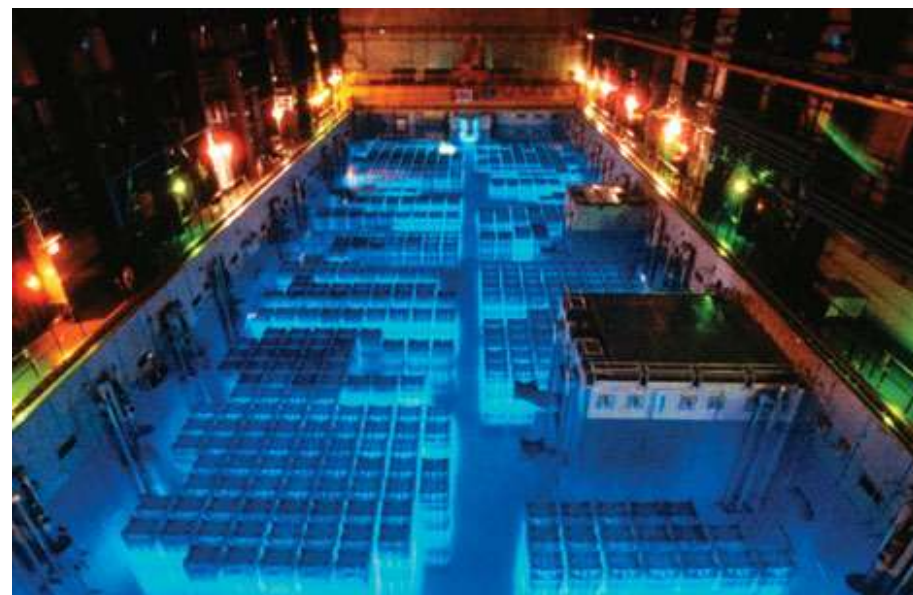
www.biodieselprocessor.org

Inwestowanie w rozwój technologii niskoemisyjnych

Europejskie Inicjatywy Przemysłowe

Inicjatywa na rzecz zrównoważonego rozszczepienia jądrowego

- Do roku 2040 ma zostać opracowana i komercyjnie zastosowana nowa generacja reaktorów atomowych („Generation IV”), zapewniająca maksymalne bezpieczeństwo i wyższą efektywność przy mniejszej ilości radioaktywnych odpadów.
- Okładzina basenu wody chłodzącej w elektrowni nuklearnej stal 1.4307



Inwestowanie w rozwój technologii niskoemisyjnych

Europejskie Inicjatywy Przemysłowe

Europejska inicjatywa na rzecz sieci elektroenergetycznych

- Celem jest, by do 2020 r. połowa sieci w UE była zdolna zintegrować odnawialne źródła energii i działać w oparciu o „inteligentne” zasady
- Rozwój sieci elektroenergetycznych
 - obudowy urządzeń elektroenergetycznych

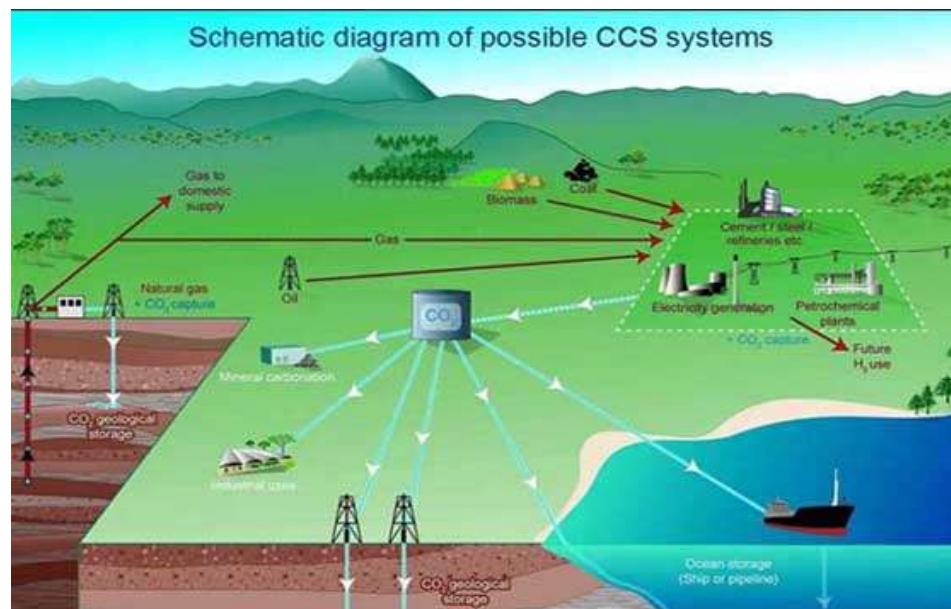


Inwestowanie w rozwój technologii niskoemisyjnych

Europejskie Inicjatywy Przemysłowe

Europejska inicjatywa na rzecz wychwytywania, transportu i składowania CO₂(CCS)

- By do roku 2050 ograniczyć niemal do zera emisję związaną z wytwarzaniem energii w UE, technologie wychwytywania i składowania dwutlenku węgla (CCS) muszą zostać komercyjnie wykorzystane na dużą skalę.
- Instalacje wychwytywania, rurociągi transportowania

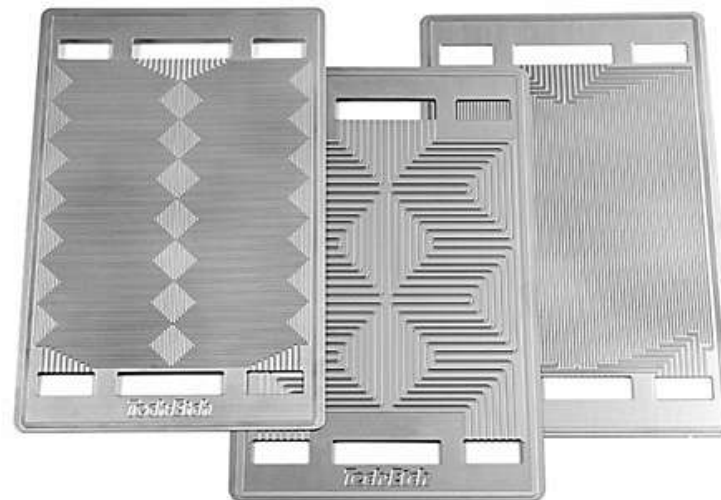
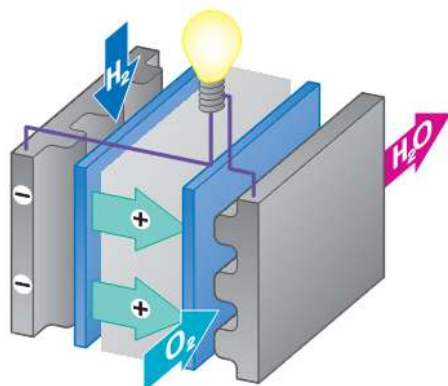


Inwestowanie w rozwój technologii niskoemisyjnych

Europejskie Inicjatywy Przemysłowe

Inicjatywa na rzecz ogniw paliwowych i technologii wodorowych

- Celem jest zbudowanie konkurencyjnego łańcucha ogniw paliwowych i infrastruktury na potrzeby technologii wodorowych do roku 2020.
- Materiał elektrody w ogniwach paliwowych PEMFC (Ogniwo paliwowe z elektrolitem polimerowym)



Płytki bipolarne ze stali nierdzewnej

Inwestowanie w rozwój technologii niskoemisyjnych

Europejskie Inicjatywy Przemysłowe

Inicjatywa „Inteligentne Miasta”

- Celem jest, by w 2020 roku do 30 europejskich miast mogło odgrywać wiodącą rolę w przechodzeniu na gospodarkę niskoemisyjną.
- Latarnie miejskie LED - gatunek 1.4301, 1.4401



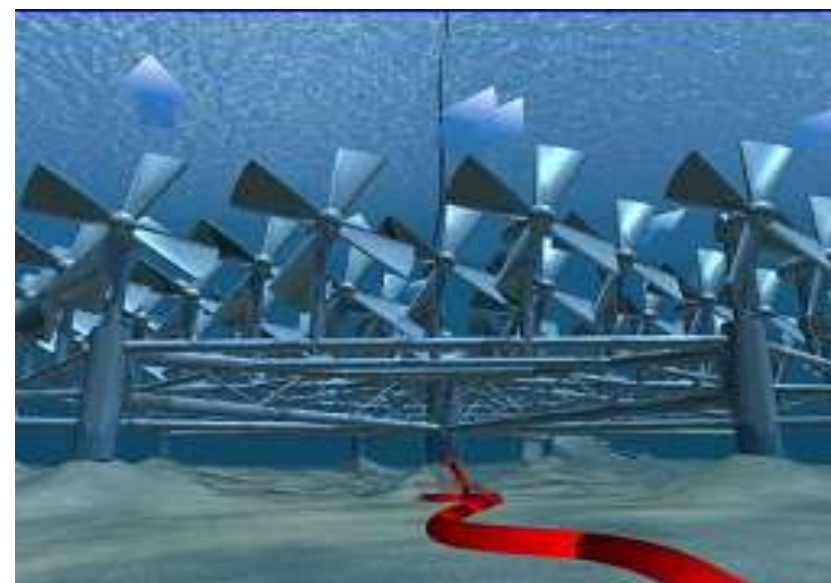
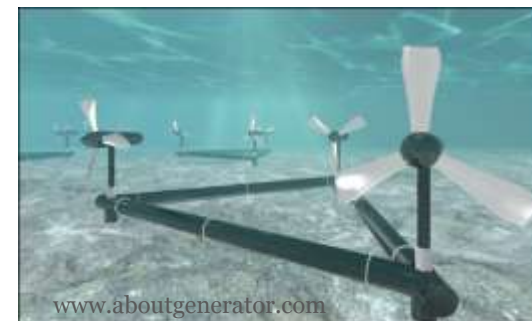
Inwestowanie w rozwój technologii niskoemisyjnych

Odnawialne źródła energii

- Falowe i pływowe generatory energii



James Fisher and Sons plc
Marine Services Worldwide



Tidal Hydraulic Generators Ltd

Inwestowanie w rozwój technologii niskoemisyjnych

Energia geotermalna

- Instalacje geotermalne pozyskiwania energii
- Gorąca woda ze źródeł geotermalnych jest bogata w Cl, F, S
- Kondensatory, filtry, wymienniki ciepła, rurociągi, pompy i zawory
- Pompy ciepła do ogrzewania domów
 - Wymienniki ciepła - 1.4404
 - Ramy i konstrukcje nośne wymienników - 1.4307

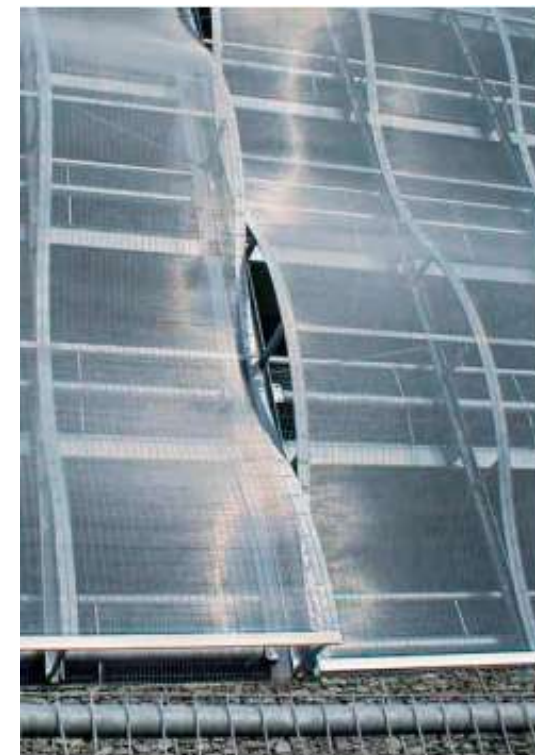
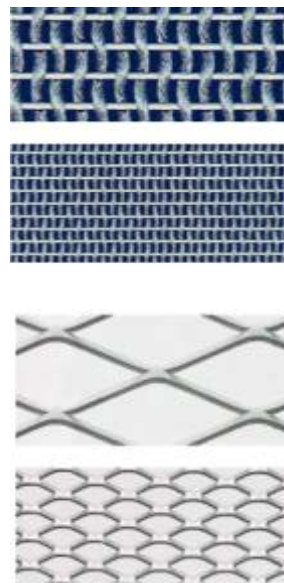


ISSF

Architektura - oszczędzanie energii

Rolety i żaluzje słoneczne

- Elewacje budynków wyposażone w rolet i żaluzje słoneczne
- Redukcja intensywnego nagrzewania wnętrza - niższe nakłady na chłodzenie wnętrz
- Tkaniny metalowe ze stali nierdzewnej
- Siatki cięto-ciągnione



Euro-Inox

Kierunki rozwoju stali nierdzewnych

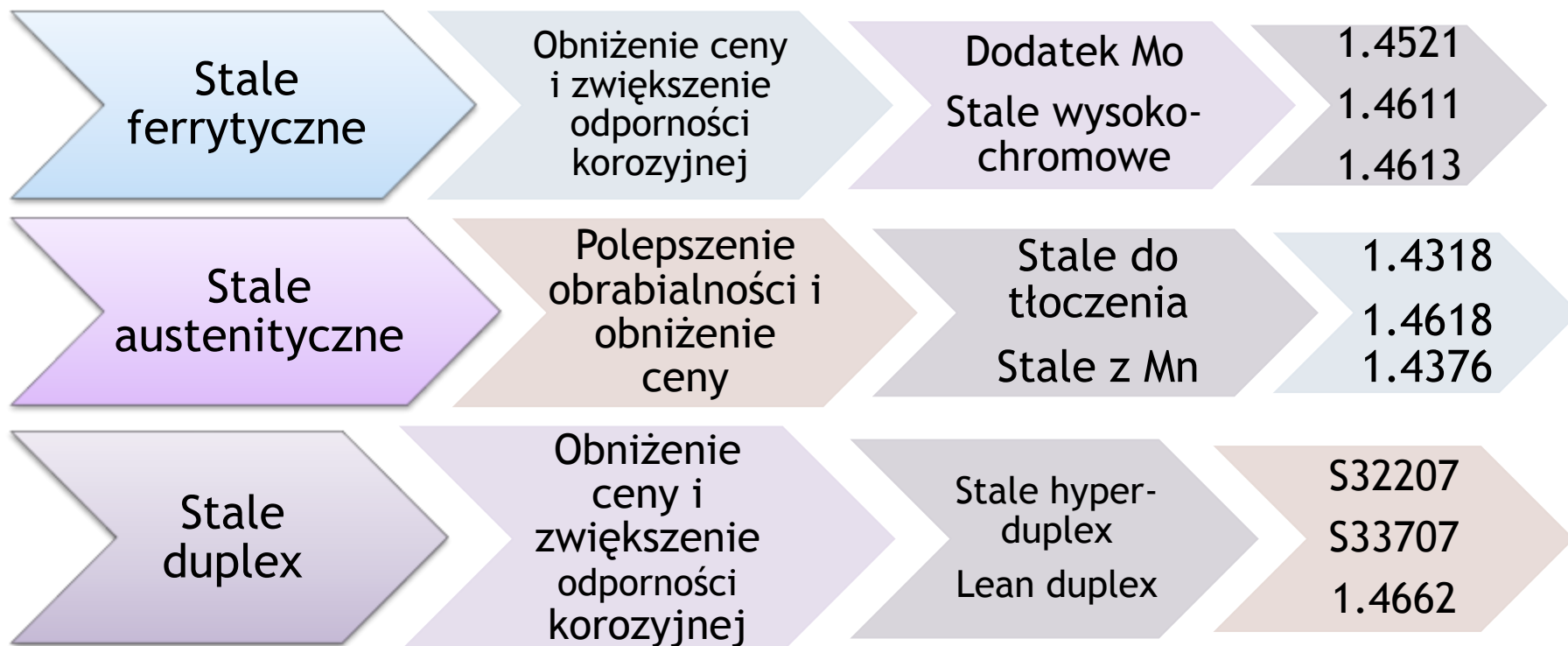
Stal nierdzewna jest high-tech!

- Era stali to NIE tylko wiek XIX, wiek XXI to dalej era stali!
- Nowy asortyment gatunków
- Nowe wykończenia powierzchni
- Doskonalenie technologii przetwórstwa
- Powłoki ochronne, dekoracyjne, funkcjonalne



Kierunki rozwoju stali nierdzewnych

Trendy wpływające na rozwój stali poszczególnych grup stali



Kierunki rozwoju stali nierdzewnych

Udział stali ferrytycznych będzie wzrastać

Stale ferrytyczne

- Poszukiwanie tańszych materiałów
- Długoletnie planowanie w czasach kryzysu
- Skrócenie czasu trwania produktu
- Optymalizacja doboru gatunków
- Podwyższanie stężenia Cr

własności mechaniczne

niska cena

stabilność cenowa

Wzrost mobilność i ludności

Wzrost zużycia wody i pożywienia

Rozwój infrastruktury, budownictwo

Zielona energia

Kierunki rozwoju stali nierdzewnych

Stale ferrytyczne - własności i zalety

- Stale ferrytyczne w porównaniu do stali węglowych
 - Lepsza odporność na korozję atmosferyczną - brak dodatkowych powłok
 - Dłuższa eksploatacja i niższe koszty cyklu eksploatacji (LCC)
 - Łatwe w recyklingu
- Stale ferrytyczne w porównaniu do stali austenitycznych
 - Niższa i bardziej stabilna cena
 - Niższy współczynnik rozszerzalności cieplnej
 - Wyższa przewodność cieplna
 - Lepsza odporność na utlenianie
 - Wyższa granica plastyczności
 - Nie ulegają korozji naprężeniowej
 - Potencjał w zmniejszaniu wagi elementów



Kierunki rozwoju stali nierdzewnych

Stale ferrytyczne

- Stale z 21%Cr - 1.4611 (460LI-21Cr) - dodatek Ti, Nb i 1.4621 (Nb, Cu)
- Konkurencja dla stali austenitycznej 1.4301 (18%Cr-10%Ni)

- Stale z 24%Cr - 1.4613 (470LI-24Cr) - dodatek Ti, Nb
- Konkurencja dla stali austenitycznej 1.4401

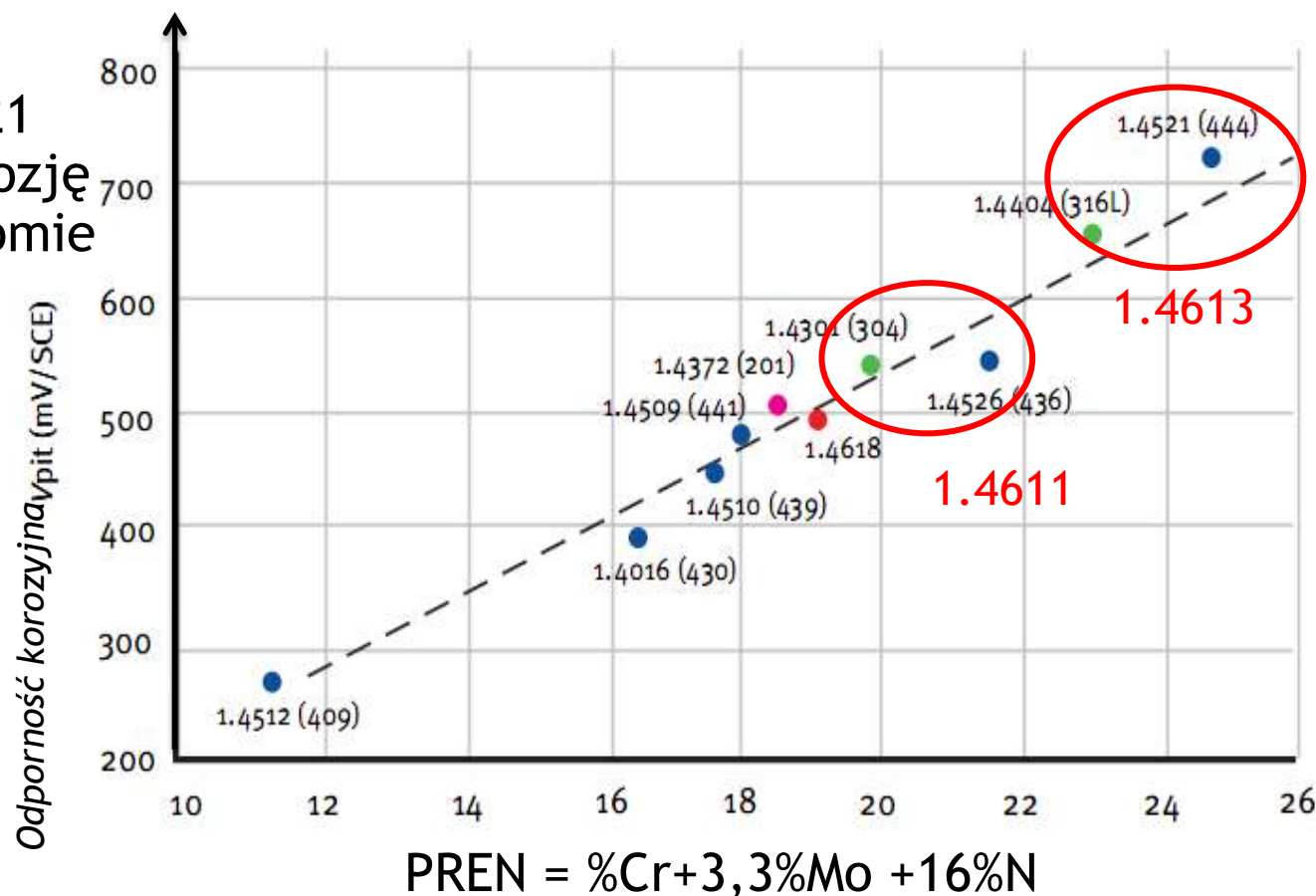
- Stale ferrytyczne odporne na korozję naprężeniową



Kierunki rozwoju stali nierdzewnych

Stale ferrytyczne

- Konkurencja dla stali austenitycznych 1.4301 i 1.4401
- Większe oszczędności - użycie stali EN 1.4521 - AISI 444 (18%Cr, 2%Mo)
- Gatunek EN 1.4521 odporność na korozję wżerową na poziomie stali EN 1.4401



Kierunki rozwoju stali nierdzewnych

Świetlana przyszłość dla stali austenitycznych

Stale austenityczne

- Najkorzystniejszy zestaw własności
- Estetyczny wygląd
- Niemagnetyczne
- Nowe tańsze gatunki z Mn
- Podatność do kształtowania

uniwersalność

potwierdzone
własności

dostępność

Energetyka
jądrowa

Rozwój
infrastruktur,
budownictwo

Wzrost
zużycia
wody i
pożywienia

Zielona
energia

Kierunki rozwoju stali nierdzewnych

Stale austenityczne - własności i zalety

- Stale austenityczne w porównaniu do stali ferrytycznych
 - Wysoka uderność w temperaturach kriogenicznych
 - Niemagnetyczne
 - Wysoka plastyczność
 - Wysokie umocnienie przez zgniot
 - **Zdolność do pochłaniania dużej ilości energii**
 - odporność na uderzenia w pojazdach
 - Lepsza odporność korozyjna
 - Aplikacje o wymaganej odporności pożarowej lub odporności na wybuchy



Kierunki rozwoju stali nierdzewnych

Stale austenityczne - przemysł motoryzacyjny

- Stale austenityczne o wysokiej wytrzymałości
 - 1.4318 / AISI 301LN (18%Cr, 6%Ni, 0,1%N)
 - Wysokie współczynniki wytrzymałości do plastyczności
 - Wysoki stopień umocnienia przez zgniot, zdolność do pochłaniania energii
 - Odporność korozyjna
 - Wysokie własności mechaniczne
-
- Klatki bezpieczeństwa
 - Felgi i obręcze

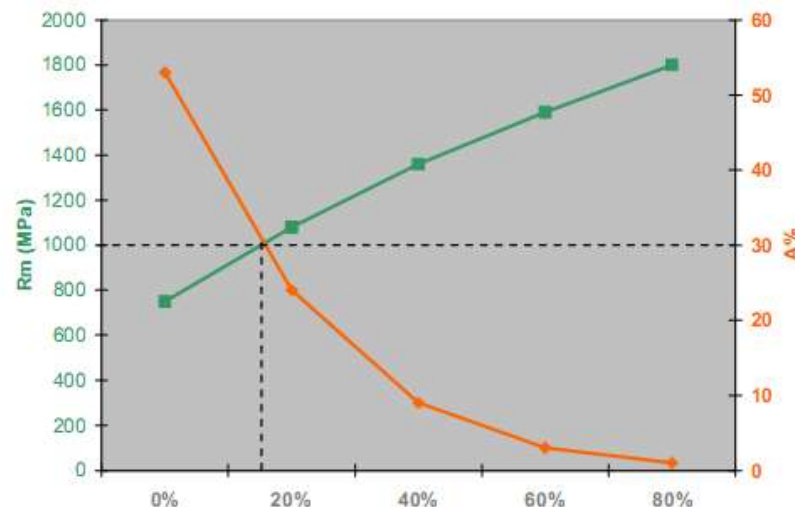


Innowacyjne zastosowania - Motoryzacja

Przedni słupek drzwi w karoserii samochodu, Europa

Słupek drzwiowy (A-pillar)

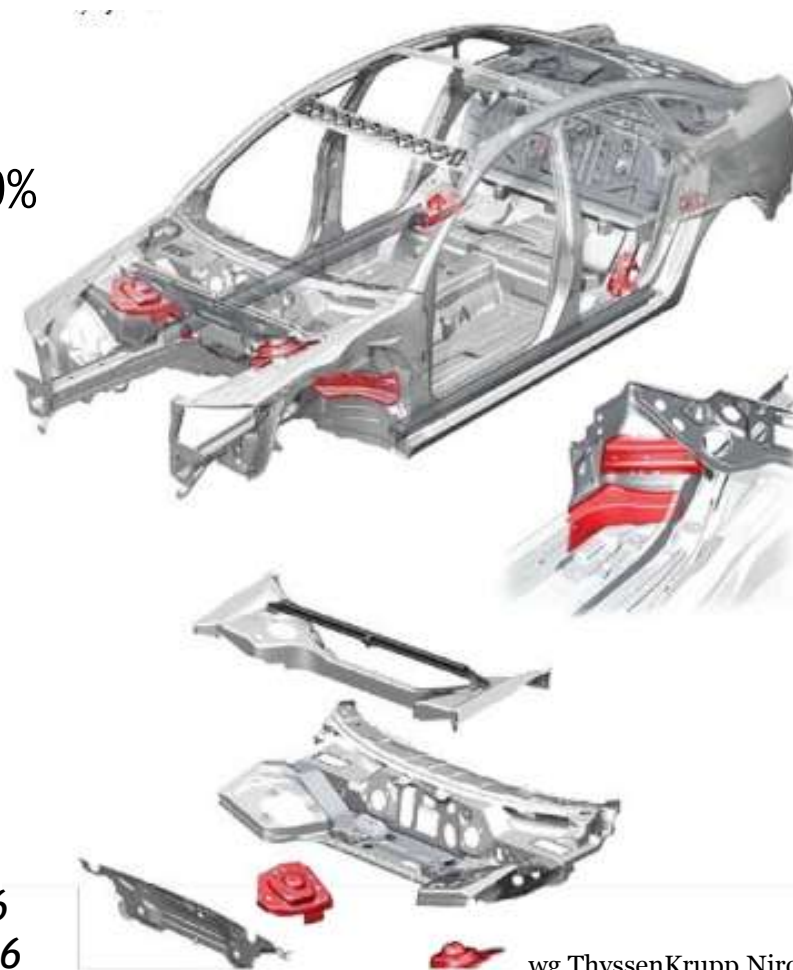
- EN 1.4310 (17%Cr, 7%Ni, 0,1%C)
- Zmniejszenie wagi elementu o 24% w porównaniu do stali węglowej DP600
- Wysokie własności mechaniczne
 - C1000 - $R_m=1000\text{MPa}$, $R_p=740\text{MPa}$, $A=30\%$
- Zmniejszenie emisji spalin i wzrost bezpieczeństwa



Kierunki rozwoju stali nierdzewnych

Stale austenityczne - przemysł motoryzacyjny - elementy karoserii

- 1.4376 (19%Cr, 6%Mn, 3%Ni) - H400 Nirosta
- Wysoki stopień odkształcenia przy zachowaniu wysokiej wytrzymałości - ważne podczas kolizji pojazdu
- Możliwość redukcji wagi elementów o 20%
- Odporność korozyjna zbliżona do gatunku 1.4301



Rosnąca ekspansja stali nierdzewnych w sektorze motoryzacyjnym

*Elementy ze stali 1.4376
w konstrukcji Audi A6*

wg ThyssenKrupp Nirosta

Innowacyjne zastosowania - Transport

Stacja ładowania samochodów elektrycznych, Francja, Niemcy

Stacja ładowania samochodów stal 1. 4301

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



Zastosowania konstrukcyjne dla infrastruktury drogowej

- Okładziny tuneli drogowych - 1.4401, 1.4404
- Systemy wentylacji i odprowadzania dymu
- stal duplex 1.4462
- Pręty zbrojeniowe - 1.4401



Kierunki rozwoju stali nierdzewnych

Stal duplex wciąż się rozwija

Stale duplex

- Poszukiwanie złóż naturalnych
- Łączą zalety stali ferrytycznych i austenitycznych
- Alternatywa dla stali austenitycznych
- Nowe tańsze gatunki z Mn

obniżenie
ceny stali

wysokie
wymagania
korozyjne

obniżenie
wagi
konstrukcji

Wzrost
populacji
ludności

Poszukiwanie
złóż
naturalnych

Magazyno-
wanie i
transport
paliw

Kierunki rozwoju stali nierdzewnych

Stale duplex

Gatunki Hyper-duplex, PREN \geq 50

- UNS S32707 (SAF 2707) - 27%Cr, 6,5%Ni, 4,8%Mo, 0,4%N, 1,0%Co
- UNS S33207 (SAF 33207) - 32%Cr, 7,0%Ni, 3,5%Mo, 0,5%N

- Wysoka wytrzymałość $R_m > 900\text{MPa}$
- Odporne na korozję naprężeniową
- Spełniają bardzo wysokie wymagania korozyjne
- Rury dla konstrukcji offshore
 - łączące odwiert z platformą
- Praca w środowisku wody morskiej na głębokości do 2500m, ciśnienie 100MPa
- Alternatywa dla stopów tytanu i niklu



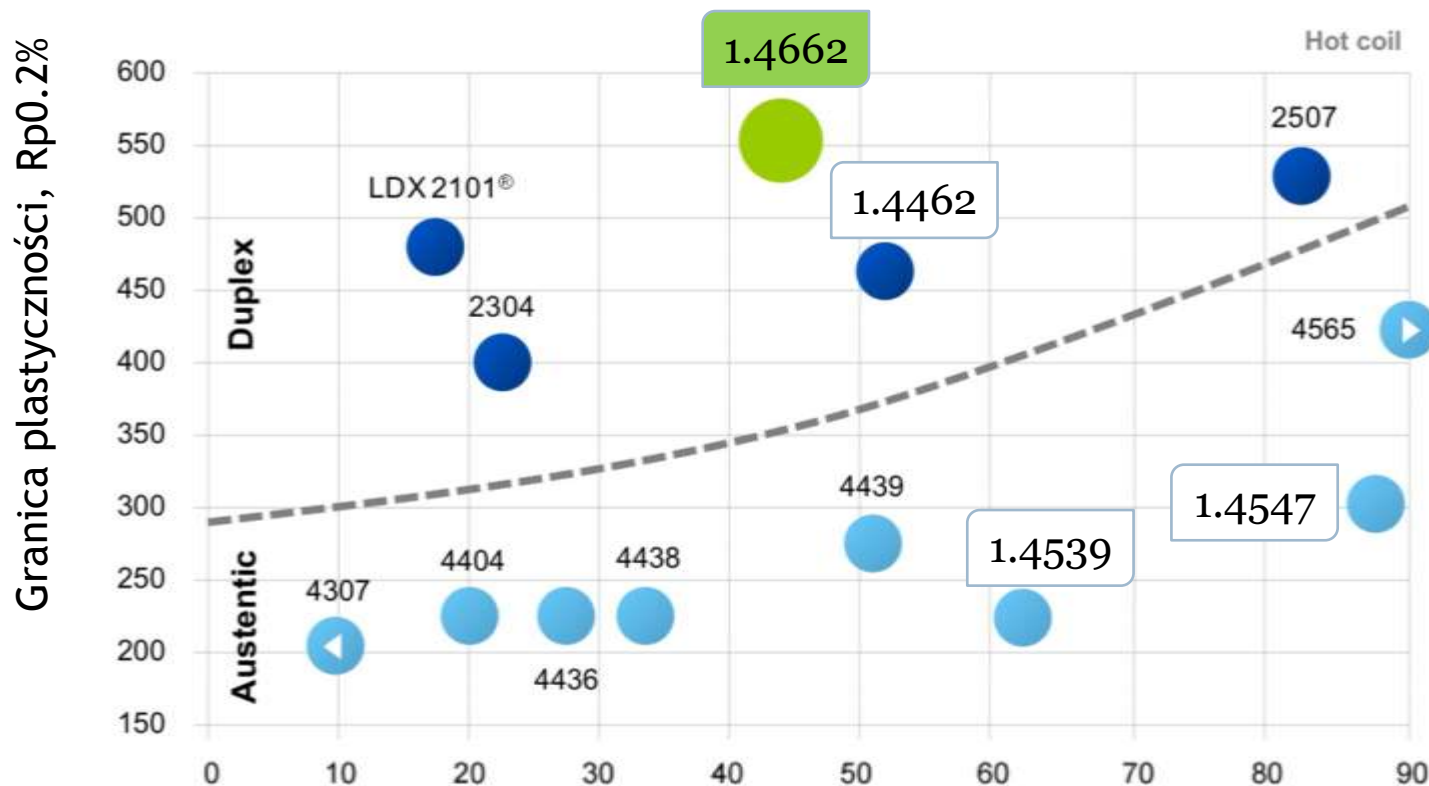
britannica.com

Kierunki rozwoju stali nierdzewnych

Stale duplex

Gatunki Lean Duplex - stale oszczędnościowe

- 1.4662 (LDX 2404) - 24%Cr, 3,6%Ni, 1,6%Mo, 3%Mn, 0,27%N



Odporność korozyjna, CPT Krytyczna temperatura korozji wżerowej °C

Kierunki rozwoju stali nierdzewnych

Stale umacniane wydzieleniowo nie tylko dla duplex wciąż się rozwija

Stale umacniane
wydzieleniowo

- Wysokie wymagania wytrzymałościowe
- Popularyzacja tej grupy stali
- Migracja z przemysłu zbrojeniowego do zastosowań użytkowych

Transport
lotniczy,
kosmiczny

Sporty
ekstremalne

Przemysł
zbrojeniowy

Kierunki rozwoju stali nierdzewnych

Stale umacniane wydzieleniowo

Stal Sandvik Nanoflex - umacniana wydzieleniowo stal austenityczna

- 12%Cr, 9%Ni, 4%Mo, 2%Cu, Ti, Al, Mn, Si, C+N≤0,05% (UNS S46910)
- Pod wpływem obróbki cieplnej struktura martenzytyczna i wydzielenia faz międzymetalicznych

Bardzo wysokie własności mechaniczne

- $R_m = 1700-2000\text{MPa}$, $A=6-8\%$
- Wysoka udarność i odporność na zużycie
- Odporność na korozję wyższa od 1.4301
- Podatność na kształtowanie i stabilność wymiarowa po obróbce cieplnej



Kierunki rozwoju stali nierdzewnych

Stale umacniane wydzieleniowo nie tylko dla duplex wciąż się rozwija

Stale
martenzytyczne

- Zwiększanie własności mechanicznych struktury przez optymalizację składu chemicznego stali
- Zwiększanie trwałości i odporności korozyjnej

Wzrost
mobilność
i ludności

Transport
lotniczy,
kosmiczny

Zielona
energia

Kierunki rozwoju stali nierdzewnych

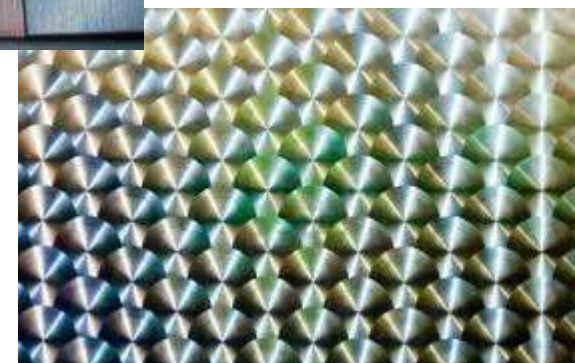
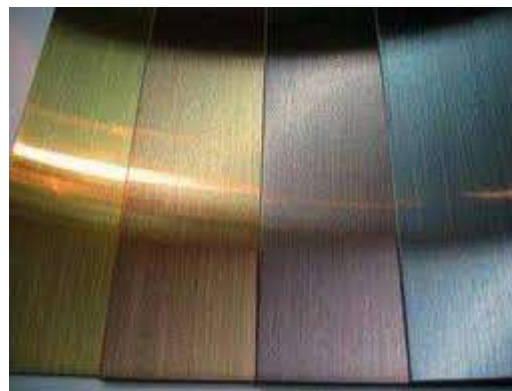
Stale martenzytyczne

Martenzytyczna stal łożyskowa ES1 firmy NSK, 0,45%C, 13%Cr, 0,25%Mo,

- Do użytku w środowiskach o dużej wilgotności, środowiskach chemicznych, gdzie korozja może wpłynąć na niezawodność i trwałość łożysk tocznych.
- Wysoka odporność na korozję i trwałość zmęczeniowa
- Przewyższa konwencjonalną stal 1.4125 (X105CrMo17) - (AISI 440C) w środowiskach wilgotnych i agresywnych.
- Struktura martenzytu oraz drobnoziarniste węgliki i azotki (brak gruboziarnistych węglików)
- Niższe koszty konserwacji, przestojów i wymiany łożysk.



Uszlachetnianie powierzchni stali nierdzewnej



Powlekana stal nierdzewna

- Powłoki ochronne
 - Powłoki anti-fingerprint
 - Silver Ice® - Transparentna powłoka anti-fingerprint.
 - Odciski palców i plamy są mniej widoczne.
 - Powierzchnia jest łatwiejsza do czyszczenia.
 - Zwiększona odporność na zarysowania.
 - Zwiększono odporność korozyjną.
 - Silver Ice® Clear - poliester (4-7 μ m) - bardzo odporna na korozję
 - Silver Ice® UV - Akryl (2,5 μ m) - bardzo odporna na zarysowania
- **Anti-Stain Coatings** - chroniące przed przebarwieniem (ceramiczne nanocząstki)
- Powłoki antykorozyjne na bazie SiO₂-Al₂O₃
- Ochrona przed graffiti



Powlekana stal nierdzewna

- Powłoki anty-bakteryjne
 - zabijające bakterie E. coli
 - warstwa kleju inspirowanego biologicznie, a następnie cztery naprzemienne warstwy ujemnie naładowanego polimeru i dodatnio naładowane cząstki koloidalne polimeru zawierające **cząstki srebra**, które **działają silnie bakteriobójczo**.
 - powłoka nanoszona w formie roztworu wodnego



ACS News Service Weekly PressPac: May 30, 2012
Źródło: "Antibacterial Polyelectrolyte Micelles for Coating Stainless Steel", Langmuir

Wyzwania przed stalą nierdzewną

• Zagrożenia

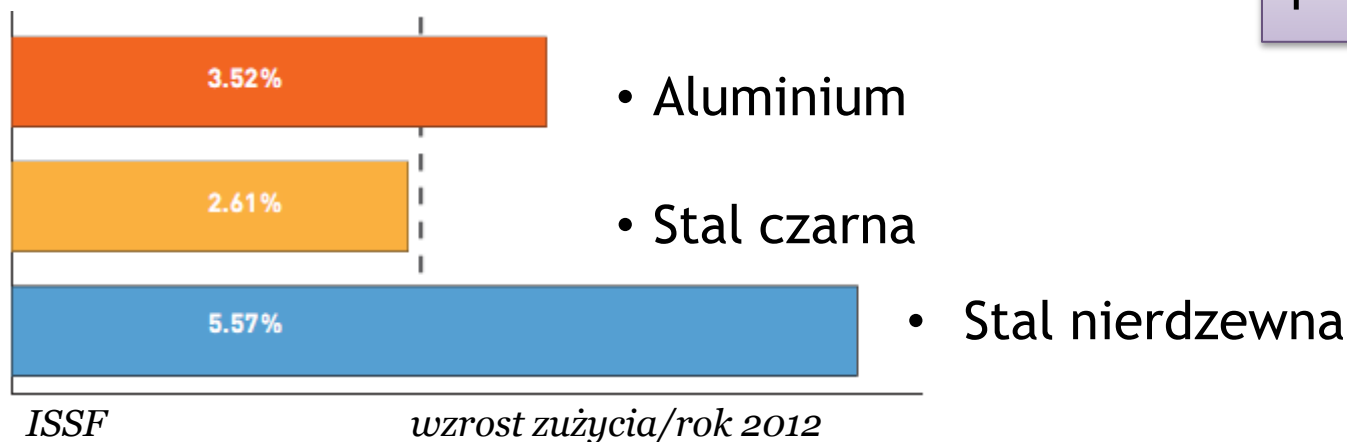
- Brak stabilności cenowej
- Rozwój stali o niższym udziale Ni na rzecz stali z Mn
- Rozwój tworzyw sztucznych i kompozytów konstrukcyjnych
- Wciąż brak dostatecznej wiedzy na temat stali nierdzewnej



• Pozytywny fakt

- Stabilny wzrost zużycia stali nierdzewnych

Konieczność stałego podnoszenia wiedzy



Podsumowanie

- Stal nierdzewna jest high-tech!
 - XXI wiek będzie erą stali nierdzewnej
- Dlaczego stal nierdzewna?
 - spełnia rosnące wymagania projektowe,
 - jest konkurencyjna cenowo,
 - to materiał na czas kryzysu - planowanie długoterminowe (niskie koszty eksploatacji)!
- Kierunki rozwoju stali nierdzewnych
 - Powiększanie asortymentu gatunków i wykończeń powierzchni
- Innowacyjne zastosowania
 - Zielona energia - technologie niskoemisyjne
 - Transport oraz infrastruktura dla transportu

Dziękuję za uwagę

Pytania?

dr inż. Zbigniew Brytan

zbigniew.brytan@polsl.pl

Politechnika Śląska w Gliwicach

Instytut Materiałów Inżynierskich i Biomedycznych

www.imiib.polsl.pl