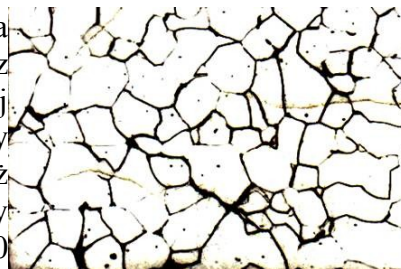


## Nierdzewna stal ferrytyczna

Wygórowane ceny niklu, głównego składnika stopowego najpopularniejszych stali nierdzewnych - austenitycznych (ok. 8 % w składzie chemicznym), doprowadziły do znacznego wzrostu cen tych stali. Wystarczy powiedzieć, że cena niklu w ciągu ostatnich 5 lat wzrosła pięciokrotnie. Producenci poszukując alternatywy dla stali austenitycznych zwrócili swoją uwagę na stale nierdzewne, które nie potrzebują niklu, a jednocześnie spełniają wymogi odporności korozyjnej. Takie wymagania można przypisać stalom ferrytycznym. Światowe trendy wskazują, że zużycie tych stali szybko wzrasta, o czym już [pisaaliśmy](#).

### Co to jest stal nierdzewna ferrytyczna

Stal nierdzewna ferrytyczna jako główny dodatek stopowy zawiera chrom oraz niewielkie domieszki molibdenu, tytanu, niobu oraz innych składników. Stal nazywana jest ferrytyczną, gdyż w swojej budowie strukturalnej posiada ferryt. **Ferryt** jest to roztwór stały węgla w żelazie  $\alpha$  zawierający niewielkie ilości, mniejsze niż 0,025%, węgla oraz niekiedy inne dodatki stopowe. Wypolerowany przekrój ferrytu oglądany pod mikroskopem w powiększeniu x250 pokazuje strukturę ziarnistą, posiadającą jasnoszary kolor. Jako że cała zawartość węgla rozpuszczona jest w sieci krystalicznej żelaza, nie jest widoczny jako oddzielna faza. Ferryt, jest to jedna z możliwych odmian alotropowych stali, stabilna do temperatury przemiany eutektoidalnej (układ żelazo-węgiel) - do temp. 770 °C, jest materiałem miękkim i ciągliwym, mniej wytrzymały, twardy i plastyczny niż austenit. Ferryt jest magnetyczny do temperatury Curiewnoszącej 770 °C.



Dodatki stopowe: niob oraz tytan zapewniają wiązanie węgla tworząc z nimi węgliki. Zapewnia to odporność tych stali na korozję międzykrystaliczną po spawaniu bez dodatkowej obróbki cieplnej. Zaletą stali ferrytycznych w stosunku do austenitycznych jest właśnie wysoka odporność na korozję międzykrystaliczną wywołaną naprężeniami.

### Grupy stali nierdzewnych ferrytycznych

Stal nierdzewną ferrytyczną można podzielić na pięć grup w zależności od zawartości chromu oraz innych składników stopowych.

## Główne grupy nierdzewnych stali ferrytycznych

Grupa	I	II	III	IV	V
Zawartość chromu	10-14%	14-18%	14-18%	18-30%	18-30%
Inne dodatki	-	-	Tytan, Niob	Molibden (ok. 0,5%)	-
Udział grupy w całości produkcji	30%	48%	13%	7%	2%
Typy stali wg normy AISI	409, 410, 410L, 420	430	430Ti, 439, 441	434, 436, 444	446, 445/447

**Grupa I** zawiera minimalne ilości chromu zapewniające „nierdzewność”. Niska zawartość chromu w stalach przekłada się również na stosunkowo niską cenę. Typ 409 jest powszechnie używany do produkcji samochodowych układów wydechowych. Typ 410L wykorzystywany jest przy produkcji zbiorników, elementów pojazdów oraz obudów sprzętu RTV.

**Grupa II** ze stalą 430 należy do najpopularniejszej grupy stali nierdzewnych ferrytycznych. Jej udział w ogólnej produkcji wynosi aż 48%. Wysoka zawartość chromu a tym samym wysoka odporność korozyjna pozwala na stosowanie jej w aplikacjach wymagających podwyższonej odporności korozyjnej. Stosuje się ją do produkcji zmywarek naczyń, bębnow pralek automatycznych, paneli ściennych itp. Stal ta z powodzeniem zastępuje droższą stal austenityczną z gatunku 304.

**Grupa III** zawiera stale z dodatkami stopowymi zapewniającymi lepszą spawalność oraz formowalność. Dobra odporność korozyjna pozwala na zastępowanie tą stalą stali austenitycznej 304. Znajduje zastosowanie przy produkcji samochodowych układów wydechowych (zapewniając dłuższe życie niż stal 409), części spawanych w pralkach automatycznych oraz zmywarkach.

**Grupa IV** zawiera stale z dodatkiem molibdenu, który wpływa na podniesienie ich odporności korozyjnej nawet do poziomu odporności stali typu 316. Typowe zastosowanie stal ta znajduje w produkcji wyrobów AGD, elementów w przemyśle samochodowym, budownictwie.

**Grupa V** zawiera jako główne składniki stopowe chrom oraz molibden. Stale z tej grupy przewyższają swoimi własnościami stal z gatunku 316. Szerokie zastosowanie stal ta znajduje w środowiskach wysoko korozyjnych takich jak przemysł offshore (związany ze strefą nadbrzeżną). Przyjmuje się, że odporność korozyjna stali w gatunku 447 jest porównywalna z odpornością tytanu.

Jak można zauważyć główna różnica pomiędzy poszczególnymi grupami wynika głównie z zawartości chromu. Grupy wyższe zawierają dodatkowo molibden oraz inne dodatki stopowe. Stal ta wyróżnia się brakiem zawartości niklu, który nie tylko wpływa na podniesienie odporności korozyjnej ale również ceny.

**Własności stali ferrytycznych**

Stale ferrytyczne posiadają dobre własności mechaniczne. Granica palstyczności stali ferrytycznych jest wyższa od granicy plastyczności stali austenitycznych co sprawia, że wydłużenie przy formowaniu jest porównywalne ze stalami węglowymi. Poniższa tabela zawiera zestawienie własności mechanicznych wraz z gatunkami dla normy amerykańskiej, oraz europejskiej.

**Właściwości mechaniczne nierdzewnych stali ferrytycznych i austenitycznej 304**

AISI				EN 10088-2			
Nr normy	Wytrzymałość na rozciąganie $R_m$ N/mm <sup>2</sup> min	Granica plastyczności $Re(Rp0.2)$ N/mm <sup>2</sup> min.	Wydłużenie przy zerwaniu $A_5$ % min	Nr normy	Wytrzymałość na rozciąganie $R_m$ N/mm <sup>2</sup>	Granica plastyczności $Re(Rp0.2)$ N/mm <sup>2</sup> min.	Wydłużenie przy zerwaniu $A_{90}$ % min
409	380	170	20	1.4512	380-560	220	25
410S	415	205	22	1.4003	450-650	320	20
430	450	205	22	1.4016	450-600	280	18
434	450	240	22	1.4113	450-630	280	18
436	450	240	22	1.4526	480-560	300	25
439	415	205	22	1.4520	380-530	200	24
439	415	205	22	1.4510	420-600	240	23
441	415	205	22	1.4509	430-630	250	18
444	415	275	20	1.4521	420-640	320	20
304 austenit.	205	515	40	1.4301	540-750	230	45

Własności fizyczne stali nierdzewnych ferrytycznych przedstawia tabela poniżej. Stal ferrytyczna posiada dobrą przewodność cieplną w stosunku do stali austenitycznych. Ma to szczególne znaczenie przy wymiennikach ciepła gdzie dobra wymiana ciepła jest podstawą ich działania.

**Porównanie własności fizycznych stali ferrytycznych ze stalą austenityczną 304 oraz stalą węglową**

Grupa i Normy	Gęstość g/cm <sup>3</sup>	Opór właściwy Ω mm <sup>2</sup> /m	Ciepło właściwe 0~100 °C J/kg °C	Współczynnik przewodzenia ciepła 100°C W/m °C	Współczynnik rozszerzalności termicznej 10 <sup>-6</sup> /°C]		Moduł Younga x10 <sup>3</sup> N/mm <sup>2</sup>
					0-200°C	0-600°C	
I 409, 410	7.7	0.58	460	28	11	12	220
II 430	7.7	0.60	460	26	10.5	11.5	220
III 430Ti, 439, 441	7.7	0.60	460	26	10.5	11.5	220
IV 434, 436, 444	7.7	0.60	460	26	10.5	11.5	220
V 446, 447	7.7	0.62	460	25	10.0	11.0	220
304 austenit.	7.9	0.72	500	15	16	18	200
Stal węglowa	7.7	0.22	460	50	12	14	215

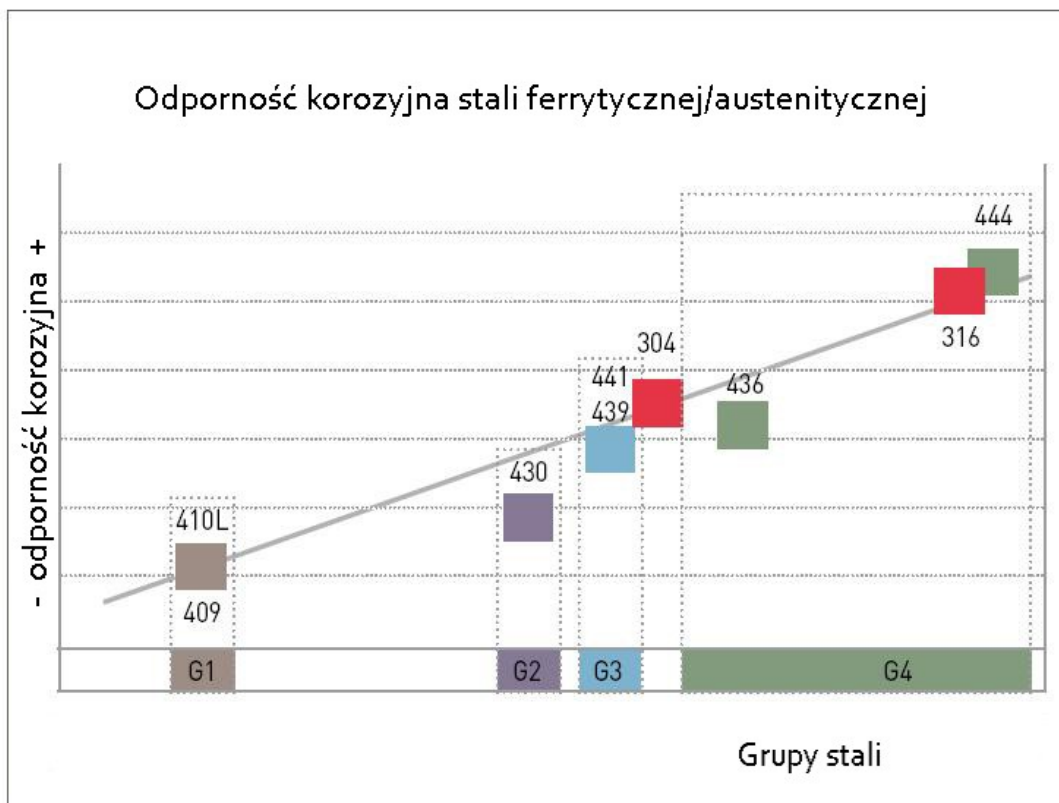
Budowa stali ferrytycznej sprawia, że jest ona magnetyczna. Dlatego wiele osób mających do czynienia tylko z stalą austenityczną jest w błędzie sądząc, że każda stal nierdzewna nie powinna być magnetyczna. Budowa strukturalna nie ma wpływu na odporność korozyjną, którą zapewniają odpowiednie dodatki stopowe.

Różnicą, którą z pewnością dostrzegą technolodzy czy operatorzy dokonujący obróbki plastycznej, jest mniejsza ciągliwość w porównaniu ze stalą austenityczną.

Te dwie własności są łatwe do zauważenia. Łącznie z nimi można wymienić takie własności stali ferrytycznych jak:

- magnetyczność,
- mniejsza rozszerzalność cieplna w porównaniu ze stalą austenityczną,
- doskonała odporność korozyjna w podwyższonych temperaturach,
- lepsza przewodność cieplna w porównaniu ze stalą austenityczną,
- przy stabilizacji niobem lepsza odporność na pełzanie,
- łatwiejsze do cięcia i obróbki od stali austenitycznych,
- ferrytyczne są mniej podatne na odkształcenia wsteczne przy gięciu blach,
- wyższa granica plastyczności niż popularnej stali austenitycznej 304 czy stali węglowych,
- bardziej odporne na działanie korozji naprężeniowej od stali austenitycznych.

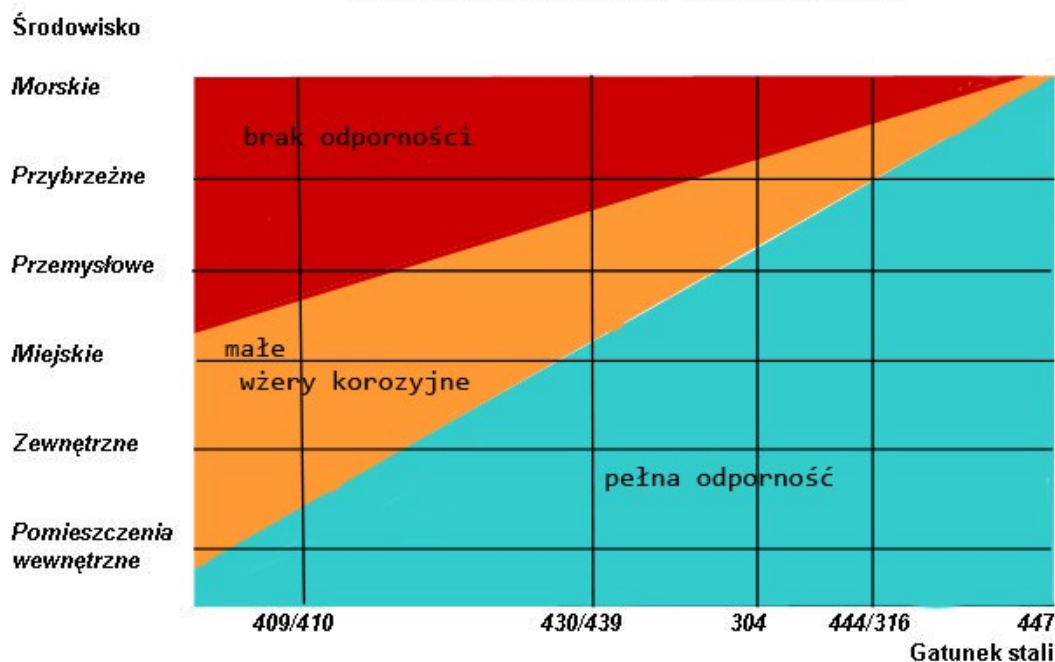
**Odporność korozyjna stali ferrytycznych**



Stale nierdzewne swoją wysoką odporność korozyjną zawdzięczają dodatkowi stopowemu jakim jest chrom, a w szczególności warstwie pasywnej jaką tworzą tlenki chromu na powierzchni stali. Większa zawartość chromu w stali zapewnia lepszą odporność korozyjną. Zestawiając stale ferrytyczne z omawianych 5 grup ze stalą austenityczną, można stwierdzić, że to chrom odgrywa kluczową rolę w zapewnieniu odporności korozyjnej. Wykres przedstawia wzrost odporności korozyjnej stali w zależności od zawartości chromu. Jak można zauważyć stal ferrytyczna w gatunku 444 swoimi własnościami korozyjnymi przewyższa stal austenityczną 316.

Najczęstszą przyczyną powstawania korozji jest korozja atmosferyczna. Zmienne temperatury, wilgoć, zmienne pH środowiska czy agresywne oddziaływanie gazów decydują o postępach korozji. Zmienne warunki korozyjne powszechnie występują w strefach przybrzeżnych mórz, w środowisku miejskim czy przemysłowym. Poniższy wykres przedstawia odporność korozyjną poszczególnych gatunków stali w zależności od środowiska wywołującego korozję.

### Odporność na korozję atmosferyczną



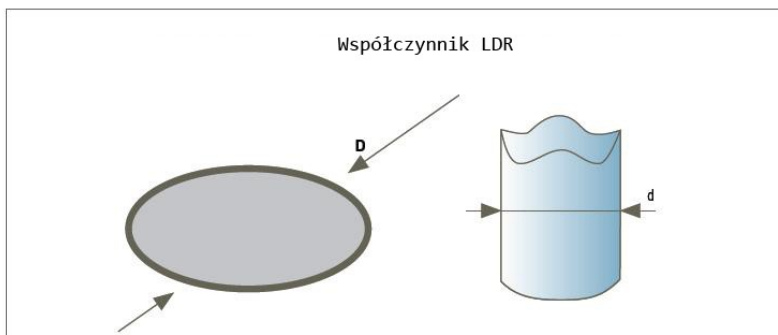
### Obróbka plastyczna stali ferrytycznych

Stale ferrytyczne są doskonałym materiałem na elementy wyposażenia kuchni, obudowy sprzętu AGD czy inne wykonywane z blachy. Blacha ferrytyczna doskonale nadaje się do tłoczenia. Wiele elementów czy całych produktów są wykonywane właśnie metodą tłoczenia.

Metoda tłoczenia stali ferrytycznych zapewnia:

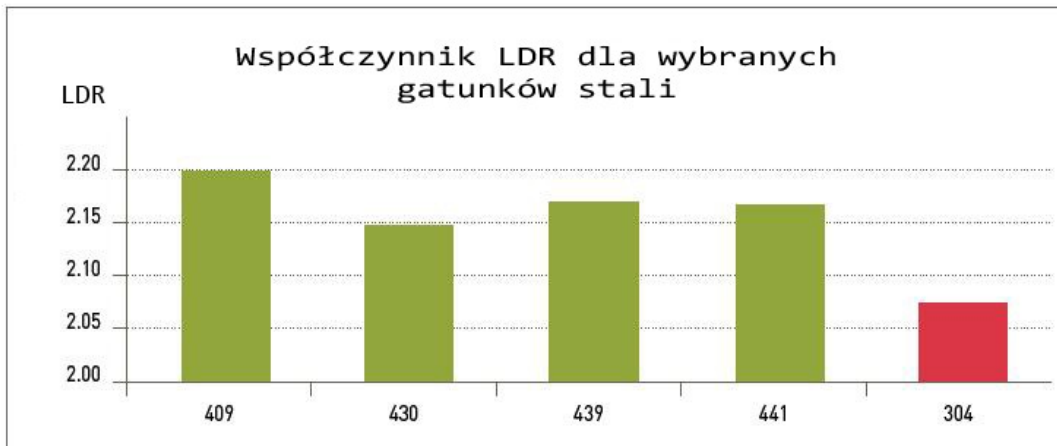
- dobrą jakość powierzchni,
- powtarzalność elementów,
- minimalizację odpadów,
- odporność na powstanie pęknięć.

Należy pamiętać, że o ile samo tłoczenie jest metodą szybkiej i taniej produkcji o tyle oprzyrządowanie do tłoczenia stanowi poważny koszt. Metoda formowania wyrobów poprzez tłoczenie zawiera ograniczenia związane z możliwością tłoczenia tzw. „głębokiego”. Bardzo ważnym współczynnikiem



określającym zdolność do głębokiego tłoczenia jest LDR (Limited Drawing Ratio), który można zapisać wzorem  $LDR = D/d$  gdzie poszczególne symbole wyjśnia rysunek. Określa on zdolność wykonania w jednym kroku tłoczenia butli o średnicy  $d$  z płaskiego krążka  $D$ . Stale ferrytyczne posiadają wyższy współczynnik LDR w stosunku do stali austenitycznej co oznacza, że są bardziej podatne na głębokie tłoczenie.

Wartości współczynnika LDR dla kilku popularnych stali ferrytycznych oraz stali austenitycznej 304 zawiera poniższa tabela.



### Łączenie stali nierdzewnych ferrytycznych

Stal nierdzewną ferrytyczną można łączyć poprzez lutowanie twarde, miękkie, metodą klejenia, zgrzewania czy najpopularniejszą metodą łączenia jaką jest spawanie. Proces łączenia poprzez spawanie nie różni się od procesu łączenia innych materiałów. Ważnym czynnikiem mającym wpływ na jakość spoiny jest właściwy dobór odpowiedniego drutu spawalniczego oraz gazów osłonowych. Stal ferrytyczna zawierająca znaczne ilości chromu jest trudniej spawalna. Proces łączenia tych gatunków wymaga najczęściej wstępnego podgrzewania przed spawaniem oraz wyrzazania po spawaniu. Stal stabilizowana niobem czy tytanem wiąże węgiel dzięki czemu nawet po spawaniu grubych elementów nie powstaje korozja międzykrystaliczna. Szerzej metody spawania zostały opisane w artykule [Metody spawania stali nierdzewnych](#).

### Typowe zastosowania nierdzewnych stali ferrytycznych

Jak już wspomniano stal ferrytyczna swoją odporność korozyjną zawdzięcza odpowiedniej ilości chromu. Nie zawiera drogiego niklu co pozwala na jej przemysłowe wręcz zastosowanie. Układy wdechowe pojazdów to jeden z obszarów jej najpowszechniejszego użycia. Ponadto przemysł samochodowy wykorzystuje tą stal jako materiał dekoracyjny podnoszący często prestiż pojazdu.

Bardzo szerokim obszarem stosowania stali jest budownictwo. Wykorzystuje ono tą stal jako materiał do budowy konstrukcji stalowych, budowy mostów, paneli elewacyjnych, pokryć dachowych czy jako materiał wykończeniowy wewnątrz budynków np. wind.

Dzięki niższej cenie od stali austenitycznych stal ta znalazła zastosowanie jako doskonały materiał do budowy szeroko rozumianego wyposażenia kuchni (obudowy lodówek, kuchenek gazowych i mikrofalowych, okapy kuchenne, zlewy, naczynia, sztućce czy wiele innych).

Stale z **grupy I** znajdują zastosowanie jako doskonały materiał wykończeniowy wewnątrz oraz w środowisku nie narażonym na kontakt z wodą. Stale **grupy II** wykorzystywane są w aplikacjach mających kontakt z wodą bądź w środowisku mało agresywnym. Podobne wykorzystanie znajdują stale **grupy III**, które dodatkowo odznaczają się lepszą spawalnością. Gatunki stali wchodzące w

skład **grupy IV** zapewniają odporność korozyjną znacznie lepszą od stali austenitycznej 304 a nawet 316. **Grupa V** zawiera stale o wysokiej zawartości chromu oraz z dodatkiem molibdenu co zapewnia im najwyższą odporność korozyjną porównywalną z tytanem.

Stal ferrytyczna coraz szybciej zyskuje na znaczeniu na całym świecie. W Polsce praktycznie wszyscy dystrybutorzy mają ją w swojej ofercie. Warto czasem rozpatrzyć, czy stosowanie tych stali nie będzie bardziej opłacalne od stosowania stali austenitycznych, gdyż obok wszystkich zalet stali ferrytycznych to ciągle cena jest jej głównym atutem.

*Wojciech Chiniewicz - nierdzewka.com*

Źródło - [Międzynarodowe Forum Stali Nierdzewnych](#)