

## Skład chemiczny i wybrane własności mechaniczne stali nierdzewnych przeznaczonych na elementy złączne.

Elementy złączne ze stali nierdzewnych (śruby, wkręty, nakrętki, podkładki, itd.) są scharakteryzowane w normach PN-EN ISO 3506-1÷6. W tablicy 1 podano skład chemiczny stali odpornych na korozję przeznaczonych do produkcji elementów złącznych zgodnie z powyższą normą oraz odpowiadające numery stali zgodnie z PN-EN 10088-1. W tablicach 2 i 3 przedstawiono porównanie austenitycznych, martenzytycznych i ferrytycznych gatunków stali nierdzewnych stosowanych do wyrobu elementów złącznych i ich charakterystyka oraz odpowiadające im oznaczenia (numery stali) zgodnie z normą PN-EN 10088. W kolejnej części podano wybrane własności fizyczne odpornych na korozję stali austenitycznych (tab. 4), stali martenzytycznych (tab. 5), ferrytycznych (tab. 6) i ferrytyczno – austenitycznych (tab. 8).

Tablica 1.

Skład chemiczny stali odpornych na korozję przeznaczonych do produkcji elementów złącznych zgodnie z normami PN-EN ISO 3506-1 i PN-EN ISO 3506-2

Grupa stali	Numer stali zgodny z PN-EN 10088-1	Skład chemiczny, % <sup>1)</sup>							
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni
Stale ferrytyczne									
F1	1.4006	0,10	1,0	1,0	0,040	0,030	16,0 - 18,0	—	≤0,50
F1	<sup>4)</sup>	0,10	1,0	1,0	0,040	0,030	16,0 - 18,0	—	≤0,50
F-1	—	0,10	1,0	1,0	0,040	0,030	16,0 - 18,0	0,90 - 1,3	—
Stale martenzytyczne									
C1	1.4006	0,09 - 0,15	1,0	1,0	0,040	0,030	11,5 - 14,0	—	≤1,0
C4	<sup>2)</sup>	0,08 - 0,15	1,0	1,5	0,060	0,15 - 0,35	12,0 - 14,0	0,60 max.	≤1,0
C1	1.4021	0,16 - 0,25	1,0	1,0	0,040	0,030	12,0 - 14,0	—	≤1,0
C3	—	0,10 - 0,20	1,0	1,0	0,040	0,030	15,0 - 18,0	—	1,5-3,0
C3	1.4057	0,17 - 0,25	1,0	1,0	0,040	0,030	16,0 - 18,0	—	1,5-2,5
C1	1.4028 <sup>3)</sup>	0,26 - 0,35	1,0	1,0	0,040	0,030	12,0 - 14,0	—	<1,0
C1	1.4034	0,36 - 0,45	1,0	1,0	0,040	0,030	12,5 - 14,5	—	<1,0
C1	—	0,42 - 0,50	1,0	1,0	0,040	0,030	12,5 - 14,5	—	<1,0
Stale austenityczne									
A2	1.4306	0,030	1,0	2,0	0,045	0,030	17,0 - 19,0	—	9,0-12,0
A2	1.4301	0,070	1,0	2,0	0,045	0,030	17,0 - 19,0	—	8,0-11,0
A1	1.4305	0,120	1,0	2,0	0,045	0,15 - 0,35	17,0 - 19,0	0,60 max.	8,0-10,0
A2	1.4303	0,100	1,0	2,0	0,045	0,030	17,0 - 19,0	—	11,0-13,0
A3	1.4541 <sup>4)</sup>	0,080	1,0	2,0	0,045	0,030	17,0 - 19,0	—	9,0-12,0
A3	1.4550 <sup>5)</sup>	0,080	1,0	2,0	0,045	0,030	17,0 - 19,0	—	9,0-12,0
A4	1.4404	0,030	1,0	2,0	0,045	0,030	16,0 - 18,5	2,0 - 2,5	11,0-14,0
A4	1.4401	0,070	1,0	2,0	0,045	0,030	16,0 - 18,5	2,0 - 2,5	10,5-14,0
A5	1.4571 <sup>4)</sup>	0,080	1,0	2,0	0,045	0,030	16,0 - 18,5	2,0 - 2,5	10,5-14,0
A5	1.4580 <sup>5)</sup>	0,080	1,0	2,0	0,045	0,030	16,0 - 18,5	2,0 - 2,5	10,5-14,0
A4	1.4435	0,030	1,0	2,0	0,045	0,030	16,0 - 18,5	2,5 - 3,0	11,5-14,5
A4	1.4436	0,070	1,0	2,0	0,045	0,030	16,0 - 18,5	2,5 - 3,0	11,0-14,5

<sup>1)</sup> Orientacyjny skład chemiczny; <sup>2)</sup> W europie stal automatowa 13CrMoS 17 (odpowiada stali o numerze 1.4104)

<sup>3)</sup> Zgodnie z: «Stahl-Eisen-Werkstoffblatt 400»; <sup>4)</sup> Z dodatkiem Ti: 5x% C ≤ Ti ≤ 0,80

<sup>5)</sup> Z dodatkiem Nb: 10x% C ≤ Nb ≤ 1,0

Tablica 2.

Porównanie austenicznych gatunków stali nierdzewnych stosowanych do wyrobu elementów złącznych i ich charakterystyka oraz odpowiadające im oznaczenia (numery stali) zgodne z normą PN-EN 10088

Gatunek stali	A1	A2	A3	A4	A5
Numer stali	1.4305; 1.4300	1.4301 1.4303 1.4306	1.4541 1.4590 1.4550	1.4401 1.4404 1.4435	1.4436 1.4571 1.4580
Własności	Ograniczona nierdzewność i odporność na kwasy, niska spawalność	Nierdzewiejące i odporne na kwasy oraz łatwo spawalne			

Tablica 3.

Porównanie martenzytycznych i ferrytycznych gatunków stali nierdzewnych stosowanych do wyrobu elementów złącznych i ich charakterystyka oraz odpowiadające im oznaczenia (numery stali) zgodne z normą PN-EN 10088

Gatunek stali	C1	C3	C4	F1
Numer stali	1.4006 1.4021 1.4028	1.4057	1.4104	1.4016 1.4113

Tablica 4.

Wybrane własności fizyczne stali austenicznych odpornych na korozję

Znak stali	Numer stali	Średni współczynnik rozszerzalności cieplnej, $10^{-6} \times K^{-1}$		Przewodność cieplna w temp. 20°C, W/(m x K)	Jednostkowa pojemność cieplna w 20°C, J/kg x K	Elektryczny opór właściwy w temp. 20°C, $\Omega \times mm^2/m$	Moduł sprężystości w temp. 20°C, MPa
		20°C÷200°C	20°C÷400°C				
X2CrNi19-11	1.4306	16,5	17,5	15	500	0,73	200
X5CrNi18-10	1.4301					0,73	
X8CrNiS18-9	1.4305					0,73	
X6CrNiTi18-10	1.4541					0,73	
X6CrNiNb18-10	1.4550					0,73	
X4CrNi18-12	1.4303					0,73	
X2CrNiMo17-12-2	1.4404					0,75	
X5CrNiMo17-12-2	1.4401	0,75					
X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571	17,5	18,5	15	500	0,75	200
X3CrNiMo17-13-3	1.4436	16,5	17,5	15	500	0,75	200
X2CrNiMo18-14-3	1.4435					0,75	

Tablica 5.

Wybrane własności fizyczne stali martenzytycznych odpornych na korozję

Znak stali	Numer stali	Średni współczynnik rozszerzalności cieplnej, $10^{-6} \times K^{-1}$		Przewodność cieplna w temp. 20°C, W/(m x K)	Jednostkowa pojemność cieplna w 20°C, J/kg x K	Elektryczny opór właściwy w temp. 20°C, $\Omega \times mm^2/m$	Moduł sprężystości w temp. 20°C, MPa
		20°C÷200°C	20°C÷400°C				
X12Cr13	1.4006	11,0	12,0	30	460	0,60	215
X20Cr13	1.4021					0,65	
X30Cr13	1.4028					0,70	
X14CrMoS17	1.4104	10,5	10,5	25	460	0,70	215
X17CrNi16-2	1.4057					0,70	

Stale ferromagnetyczne

Tablica 6.

Wybrane własności fizyczne stali ferrytycznych odpornych na korozję

Znak stali	Numer stali	Średni współczynnik rozszerzalności cieplnej, $10^{-6} \times K^{-1}$		Przewodność cieplna w temp. 20°C, W/(m x K)	Jednostkowa pojemność cieplna w 20°C, J/kg x K	Elektryczny opór właściwy w temp. 20°C, $\Omega \times mm^2/m$	Moduł sprężystości w temp. 20°C, MPa
		20°C÷200°C	20°C÷400°C				
X6Cr17	1.4016	10,0	10,5	25	430	0,6	220
X6CrMo17-1	1.4113	10,5					

Stale ferromagnetyczne

Podczas montażu elementów złącznych ze stali nierdzewnych należy zwrócić uwagę na możliwość zatarcia takiego złącza. Zjawisko zatarcia połączenia można ograniczyć przez zastosowanie różnych gatunków stali nierdzewnej o odmiennym składzie, stopniu umocnienia i twardości (np. kombinacje gatunków dla śrub i nakrętek A2-C4, A4-C4 lub A2-A4 zgodnie z normą EN ISO 3506-1 i 2 [1, 2]). W surowych warunkach eksploatacyjnych, gatunki stali o wysokim stopniu umocnienia można stosować na jeden z elementów takiego połączenia lub zastosować elementy o utwardzonej warstwie wierzchniej np. przez azotowanie lub chromowanie galwanicznie. Stosując połączenia różnych metali lub warstw ochronnych należy koniecznie zapewnić wymaganą odporność korozyjną złącza.

W temperaturach obniżonych – kriogenicznych najczęściej stosowane są stale o strukturze austenitycznej gatunku 1.4301, które nie stają się kruche wraz z obniżaniem temperatury. Stosuje się je z powodzeniem na elementy zbiorników (LNG) - skroplonego gazu ziemnego, stal tego gatunku zachowuje dobre własności mechaniczne do temperatury około -160°C. Stosuje się ją również do budowy zbiorników na ciekły wodór o temperaturze -253°C i ciekły hel o temperaturze -268°C. W tablicy 7 podano graniczną temperaturę pracy dla wybranych stali nierdzewnych przeznaczonych do zastosowania w obniżonej temperaturze zgodnie z DIN 267, część 13.

Tablica 7.

Stale nierdzewne przeznaczone do pracy w niskich temperaturach od -200 °C do -10 °C zgodnie z DIN 267, część 13

Znak stali	Numer stali	Oznaczenie	Graniczna temperatura zastosowania
X5CrNi18-10	1.4301	A2	-200 °C
X5CrNi18-12	1.4303	A2	-200 °C
X6CrNiTi 18-10	1.4541	A2	-200 °C
X5CrNiMo17-12-2	1.4401	A4 <sup>1)</sup> <sub>2)</sub>	- 60 °C
			-200 °C
X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571	A4 <sup>1)</sup> <sub>2)</sub>	- 60 °C
			-200 °C

<sup>1)</sup> Śruba z łbem <sup>2)</sup> Śruba bez łba

W normie ISO 3506 oznaczenie materiału - stali nierdzewnej składa się z dwóch bloków rozdzielonych łącznikiem. Pierwszy blok określa rodzaj stali, drugi klasę własności. Dla stali austenitycznych przyjęto symbol *A*, dla stali ferrytycznych *F*, dla stali martenzytycznych symbol *C*. Po symbolu materiału występuje cyfra wskazująca skład chemiczny w danej grupie stali (1,2,3,...).

W normie ISO 3506 powołano stali nierdzewne następujących rodzajów: austenityczne od A1 do A5, martenzytyczne od C1 do C4 i stal ferrytyczną F1.

#### Stale grupy *A* – austenityczne:

W normie ISO 3506 zamieszczono pięć głównych rodzajów stali austenitycznych od A1 do A5. Nie mogą być one hartowane i zwykle są niemagnetyczne. W celu zmniejszenia podatności na utwardzanie, do stali rodzajów od A1 do A5 można wprowadzić dodatek miedzi. W przypadku stali niestabilizowanych rodzajów A2 i A4 ograniczono stężenie węgla. Stale rodzaju A3 i A5 są stabilizowane dodatkami Ti, Nb lub Ta. Dla zastosowań morskich oraz im podobnych wymagane są stali o zawartości Cr i Ni wynoszącym około 20 % i od 4,5 % do 6,5 % Mo.

#### Stale grupy *F* – ferrytyczne:

W normie ISO 3506 zawarto jeden rodzaj stali ferrytycznych (F1). Stale rodzaju F1 nie powinny być normalizowane i nie powinny być hartowane, nawet, jeżeli jest to możliwe w niektórych przypadkach. Stale F1 są magnetyczne.

#### Stale grupy *C* – martenzytyczne:

W normie ISO 3506 podano trzy rodzaje stali martenzytycznych C1, C3 i C4. Mogą być hartowane są magnetyczne.

#### Stale grupy *FA* – ferrytyczno-austenityczne

W normie ISO 3506 nie wyszczególniono stali grupy FA (ferrytyczno-austenitycznych), ale prawdopodobnie zostaną one uwzględnione w przyszłych aktualizacjach normy. Norma ISO 3506 w złączniku E wskazuje: "Ryzyko zniszczenia śrub i śrub dwustronnych przez chlorki powodujące korozję naprężeniową może być zmniejszone przez zastosowanie stali 1.4439, 1.4539, 1.4529, 1.4462 (tab. 8).

Tablica 8.

Skład chemiczny stali austenityczno-ferrytycznych

Znak stali	Numer stali	Skład chemiczny, %									
		C	Si	Mn	P	S	N	Cr	Mo	Ni	Cu
		max.									
X2CrNiMoN17-13-5	1.4439	0,03	1,0	2,0	0,045	0,015	0,12-0,22	16,5- 18,5	4,0- 5,0	12,5-14,5	-
X1NiCrMoCu25-20-5	1.4539	0,02	0,7	2,0	0,030	0,010	≤0,15	19,0- 21,0	4,0- 5,0	24,0-26,0	1,2- 2,0
X1NiCrMoCuN25-20-7	1.4529	0,02	0,5	1,0	0,030	0,010	0,15-0,25	19,0- 21,0	6,0- 7,0	24,0-26,0	0,5-1,5
X2CrNiMoN22-5-3	1.4462	0,03	1,0	2,0	0,035	0,015	0,10-0,22	21,0- 23,0	2,5- 3,5	4,5-6,5	

## Literatura

- [1].PN-EN ISO 3506-1: 2000, Własności mechaniczne części złącznych ze stali nierdzewnych, odpornych na korozję - Śruby i śruby dwustronne
- [2].PN-EN ISO 3506-2: 2000, Własności mechaniczne części złącznych ze stali nierdzewnych, odpornych na korozję - Nakrętki
- [3].PN-EN ISO 3506-3: 2000, Własności mechaniczne części złącznych ze stali nierdzewnych, odpornych na korozję - Śruby bez łba z gwintem na całej długości oraz podobne części złączne niepodlegające rozciąganiu
- [4].PN-EN ISO 3506-4: 2005, Własności mechaniczne części złącznych odpornych na korozję ze stali nierdzewnej - Część 4: Wkręty samogwintujące
- [5].PN-EN 10088-1: 2007, Stale odporne na korozję, Część 1: Gatunki stali odporne na korozję
- [6].PN-EN 10088-2: 2007, Stale odporne na korozję, Część 2: Warunki techniczne dostawy blach i taśm ze stali nierdzewnych ogólnego przeznaczenia
- [7].Bossard, Technical Information, [www.bossard.com](http://www.bossard.com)