

## **Ferrytyczno - austenityczne stale nierdzewne**

Nierdzewne stale ferrytyczno-austenityczne typu duplex cechują się dwufazową strukturą o zmiennym udziale ferrytu i austenitu. Zawartość ferrytu mieści się w zakresie od 30 do 50%. O własnościach mechanicznych i odporności na korozję stali duplex decyduje ich struktura, a w szczególności równowaga między austenitem i ferrytem. Faza austenityczna w tych stalach zapewnia ciągliwość i udarność oraz zwiększa odporność na działanie korozji, natomiast faza ferrytyczna zwiększa wytrzymałość na rozciąganie, granicę plastyczności i twardość. Atrakcyjność i rosnąca popularność stali o strukturze dwufazowej jest spowodowana lepszymi własnościami wytrzymałościowymi w porównaniu do stali austenitycznych oraz szczególnie dobrą odpornością na korozję naprężeniową. Stale tej grupy cechują się dobrą spawalnością, wysoką odpornością zmęczeniową i niską rozszerzalnością cieplną.

Stabilną strukturę dwufazową ferrytyczno-austenityczną uzyskuje się po przesycaeniu stali w wodzie w zakresie temperatury od 950 do 1120°C. Wolniejsze chłodzenie z temperatury przesycaenia, np na powietrzu, umożliwia zwiększenie udziału austenitu w strukturze stali i w efekcie polepszenie własności plastycznych. Otrzymanie prawidłowej struktury dwufazowej ferrytyczno-austenitycznej bez wydzieleni faz wtórnych wymaga prawidłowo przeprowadzonej obróbki cieplnej. Chłodzenie z temperatury przesycaenia stali powinno być na tyle szybkie, aby zapobiec wydzieleniu się, niekorzystnie wpływających na własności mechaniczne i odporność korozyjną, faz międzymetalicznych. Dla stali duplex o wyższym stężeniu pierwiastków stopowych (powyżej 25% Cr i 3%Mo) ośrodkiem chłodzącym jest woda, stale o niższej zawartości tych pierwiastków poddaje się chłodzeniu na powietrzu lub w wodzie.

Stale dwufazowe typu duplex są skłonne do tworzenia wydzieleni w dwóch głównych zakresach temperatur od 300 do 600°C i od 600 do 1050°C. Ferryt podczas wygrzewania w temperaturze ok. 475°C ulega rozsegregowaniu na izomorficzne obszary wzbogacone i zubożone w chrom, co powoduje obniżenie ciągliwości stali. Efekt ten określany jest, jako tzw. „kruchość 475°C”. Wygrzewanie w wyższych temperaturach może spowodować utwardzenie wydzieleniowe fazy ferrytycznej przez węgliki, azotki. Długotrwałe wygrzewanie w tych warunkach powoduje przemianę ferrytu wysokochromowego  $\alpha'$  w fazę sigma ( $\sigma$ ) i austenit. Takie zabiegi obróbki cieplnej pogarszają ciągliwość i odporność na korozję wżerową stali, jednocześnie wpływając na znaczne zwiększenie własności wytrzymałościowych.

Stale duplex są dobrze spawalne z zastosowaniem wszystkich procesów spawalniczych, a spoiny w krytycznym zakresie temperatur wydzielenia fazy sigma i innych faz międzymetalicznych należy szybko chłodzić.

System grupowania materiałów metalicznych w CR ISO 15608 definiuje osobną grupę stali ferrytyczno-austenitycznych o charakterystycznej zawartości chromu powyżej 24%. Stale w tej grupie nazywane są stalami „superduplex”, posiadają wysokie stężenie chromu, molibdenu oraz azotu np gatunki 1.4410 i 1.4507.

W normach ASTM gatunki ferrytyczno - austenityczne stali nierdzewnych są sklasyfikowane w grupie 300.

Orientacyjny skład chemiczny (tab. 1), warunki obróbki cieplnej oraz wybrane własności mechaniczne (tab. 2) i fizyczne (tab. 3) ferrytyczno-austenitycznych stali nierdzewnych opracowano na podstawie norm PN-EN 10088-1÷3: 2007.

### Literatura

- [1]. PN-EN 10088-1÷3: 2007, Stale odporne na korozję.
- [2]. L.A. Dobrzański, Metaloznawstwo opisowe stopów żelaza, Wyd. Politechniki Śląskiej, Gliwice 2007.

**Tablica 1**

Orientacyjny skład chemiczny oraz zamienniki ferrytyczno - austenitycznych stali nierdzewnych

EN 10088		Zamiennik			Stężenie pierwiastków, % <sup>(1)</sup>								
Znak stali	Numer	AISI/ASTM	PN	GOST	C	Cr	Ni	Mo	Si	Mn	N	Cu	Inne
X2CrNiN23-4	1.4362	2304	-	-	≤0,03	22,00 - 24,00	3,50 - 5,50	0,10 - 0,60	≤1,00	≤2,00	0,05 - 0,20	0,10 - 0,60	-
X2CrNiMoN25-7-4	1.4410	2507 / S 32750	LH18N10M2	-	≤0,03	24,00 - 26,00	6,00 - 8,00	3,00 - 4,50	≤1,00	≤2,00	0,24 - 0,35	-	-
X2CrNiMoSi18-5-3	1.4424	-	-	-	≤0,03	18,00 - 19,00	4,50 - 5,20	2,50 - 3,00	1,40-2,00	1,20 - 2,00	0,05 - 0,10	-	-
X2CrNiMoN22-5-3	1.4462	2205 / S 31803	-	-	≤0,03	21,00 - 23,00	4,50 - 6,50	2,50 - 3,50	≤1,00	≤2,00	0,10 - 0,22	-	-
X2CrNiMoN29-7-2	1.4477	-	-	-	≤0,03	28,00 - 30,00	5,80 - 7,50	1,50 - 2,60	≤0,50	0,80 - 1,50	0,30 - 0,40	≤0,80	-
X2CrNiMoCuWN25-7-4	1.4501	-	-	-	≤0,03	24,00 - 26,00	6,00 - 8,00	3,00 - 4,00	≤1,00	≤1,00	0,20 - 0,30	0,50 - 1,00	W: 0,50 - 1,00
X2CrNiMoCuN25-6-3	1.4507	255 / S 43940	-	-	≤0,03	24,00 - 26,00	6,00 - 8,00	3,00 - 4,00	≤0,70	≤2,00	0,20 - 0,30	1,00 - 2,50	-
X2CrNiCuN23-4	1.4655	-	-	-	≤0,03	22,00 - 24,00	3,50 - 5,50	0,10 - 0,60	≤1,00	≤2,00	0,05 - 0,20	1,00 - 3,00	-
X3CrNiMoN27-5-2	1.4460	329 / S 3290	-	10Ch26N5M	≤0,05	25,00 - 28,00	4,50 - 6,50	1,30 - 2,00	≤1,00	≤2,00	0,05 - 0,20	-	-

<sup>(1)</sup> S: max. 0,015; P: ≤ 0,030-0,035;

**Tablica 2**

Warunki obróbki cieplnej oraz wybrane własności mechaniczne ferrytyczno - austenitycznych stali nierdzewnych w stanie przesyconym

EN 10088		Temperatura przesycań, °C / chłodzenie <sup>(1)</sup>	Umowna granica plastyczności w temp. 20°C, R <sub>p0,2</sub> MPa min.	Wytrzymałość na rozciąganie R <sub>m</sub> MPa	Wydłużenie po zerwaniu A% min. (wzdł.)	Moduł sprężystości w temp., MPa		Energia łamania (ISO-V), J min. (wzdł.)
Znak stali	Numer					20°C	300°C	
X2CrNiN23-4	1.4362	950 - 1050 w,p	400	600 - 830	25	200	180	100
X2CrNiMoN25-7-4	1.4410	1040 - 1120 w	530	730 - 930	25	200	180	100
X2CrNiMoSi18-5-3	1.4424	1000 - 1100	400	680 - 900	25	200	180	100
X2CrNiMoN22-5-3	1.4462	1020 - 1100 w,p	450	650 - 880	25	200	180	100
X2CrNiMoN29-7-2	1.4477	1040 - 1120 w	550	750 - 1000	25	200	180	100
X2CrNiMoCuWN25-7-4	1.4501	1040 - 1120 w	530	730 - 930	25	200	180	100
X2CrNiMoCuN25-6-3	1.4507	1040 - 1120 w	500	700 - 900	25	200	180	100
X2CrNiCuN23-4	1.4655	950 - 1050 w,p	420	600 - 850	20	200	180	100
X3CrNiMoN27-5-2	1.4460	1020 - 1100 w,p	450	620 - 880	20	200	180	85

<sup>(1)</sup> Rodzaj chłodzenia: w - woda, p - powietrze

**Tablica 3**

Wybrane własności fizyczne ferrytyczno - austenitycznych stali nierdzewnych

EN 10088		Średni współczynnik rozszerzalności cieplnej w temperaturze między, $10^{-6} \times K^{-1}$		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, $\Omega \times mm^2/m$	Gęstość w temp. 20°C, kg/cm <sup>3</sup>
Znak stali	Numer	20°C - 200°C	20°C - 300°C				
X2CrNiN23-4	1.4362	13,5	14,0	15	500	0,8	7,8
X2CrNiMoN25-7-4	1.4410	13,5	14,0	15	500	0,8	7,8
X2CrNiMoSi18-5-3	1.4424	13,5	14,0	13	475	0,8	7,8
X2CrNiMoN22-5-3	1.4462	13,5	14,0	15	500	0,8	7,8
X2CrNiMoN29-7-2	1.4477	12,0	12,5	13	470	0,8	7,7
X2CrNiMoCuWN25-7-4	1.4501	13,5	14,0	15	500	0,8	7,8
X2CrNiMoCuN25-6-3	1.4507	13,5	14,0	15	500	0,8	7,8
X2CrNiCuN23-4	1.4655	13,5	14,0	15	500	0,8	7,8
X3CrNiMoN27-5-2	1.4460	13,5	14,0	15	500	0,8	7,8
Stale magesowalne							