

Martenzytyczne stale nierdzewne

Martenzyt powstaje z austenitu podczas obróbki cieplnej lub odkształcenia plastycznego na zimno. Charakteryzuje się wysoką wytrzymałością oraz jest magnetyczny.

Stale nierdzewne o strukturze martenzytycznej stanowią jedną z grup stali nierdzewnych o wysokich własnościach wytrzymałościowych przeznaczonych na narzędzia do cięcia, noże kuchenne, sprzęt chirurgiczny, membrany kompresorów, sprężyny, elementy maszyn tnących w przemyśle papierniczym. Stale nierdzewne o strukturze martenzytycznej nadają się do zastosowań w mało agresywnych środowiskach, ale za to wykazują wysoką odporność na ścieranie.

Wprowadzenie do stali powyżej 0,1%C przy stężeniu 13% chromu powoduje, że stale w wysokiej temperaturze mają strukturę austenityczną. Umożliwia to hartowanie stali po chłodzeniu w powietrzu w celu uzyskania struktury martenzytycznej i następane ich odpuszczanie. Przy wyższym stężeniu chromu obszar występowania fazy austenitycznej może być poszerzony przez wprowadzenie 2% dodatku niklu. Stale zawierające do około 0,2%C i 13%Cr są stosowane na elementy pomp, formy odlewania pod ciśnieniem, śruby, wały i poddawane są ulepszaniu cieplnemu, tj. hartowaniu z zakresu temperatury od 1000 do 1050°C i odpuszczaniu w 600-700°C. Stale o stężeniu około 0,3%C i 13%Cr są stosowane na sprężyny, narzędzia tnące i na elementy maszyn o dużej wytrzymałości. Poddaje się je hartowaniu z właściwej temperatury austenitowania i odpuszczaniu w temperaturze około 400°C dla sprężyn, 200 - 300°C dla narzędzi tnących i 600 - 700°C dla elementów maszyn. Stale o wyższym stężeniu węgla do 0,4% stosuje się na elementy maszyn o wymaganej twardości i odporności na ścieranie w temperaturze do ok. 250°C. Stale zawierające od 0,4% do 1,2%C i do 18%Cr, a także dodatek molibdenu i czasami wanadu wykazują odporność na ścieranie w temperaturze do około 400°C. Struktura martenzytu odpuszczonego zapewnia wysokochromowym stalom martenzytycznym wyższe własności wytrzymałościowe, do około 1100MPa, przy nieco niższej odporności na korozję w porównaniu ze stalami nierdzewnymi o strukturze ferrytycznej. Spawalność stali martenzytycznych jest utrudniona, ze względu na ich dużą podatność na pękanie wodorowe. Wymaga to wstępного podgrzania przed spawaniem do 75-150°C, a następnie odpuszczanie w temperaturze 550 - 590°C z wolnym chłodzeniem na powietrzu.

Stale martenzytycznej o dużej zawartości ferrytu są nazywane „martenzytyczno-ferrytycznymi” lub „półferrytycznymi” na przykład gatunki 1.4005 i 1.4006.

Wytwarza się także stale martenzytyczne o małej zawartości węgla (max. 0,06%) i stężeniu niklu od 3 do 6%. Stale takie wykazują zwiększoną trwałość austenitu po hartowaniu i odpuszczaniu i są nazywane „martenzytyczno-austenitycznymi” lub „martenzytycznymi niklowymi” na przykład gatunki 1.4313 i 1.4418.

Opracowano również grupę stali o niskiej zawartości węgla do 0,03%. Typowo takie stale zawierają od 11 do 13% Cr i od 2 do 6% Ni oraz dodatek do 3% Mo. Nazywane są stalami „supermartenzytycznymi” przykładem jest gatunek 1.4415. Charakteryzują się one wysoką wytrzymałością i dobrą udarnością oraz spawalnością.

W normach ASTM martenzytyczne gatunki stali nierdzewnych są sklasyfikowane w grupie 400.

Orientacyjny skład chemiczny (tab. 1), warunki obróbki cieplnej oraz wybrane własności mechaniczne (tab. 2) i fizyczne (tab. 3) martenzytycznych 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 martenzytycznych stali nierdzewnych

EN 10088		Zamiennik			Stężenie pierwiastków, % ⁽¹⁾						
Znak stali	Numer	AISI/ASTM	PN	GOST	C	Cr	Ni	Mo	Si	Mn	Inne
X12CrS13	1.4005	416	1H13	-	0,06 - 0,15	12,00 - 13,00	-	≤0,6	≤1,00	≤1,50	S: 0,15 - 0,35
X12Cr13	1.4006	410	1H13	12Ch13, 15Ch13L	0,08 - 0,15	11,50 - 13,50	≤0,75	-	≤1,00	≤1,50	-
X20Cr13	1.4021	420	2H13	20Ch13	0,16 - 0,25	12,00 - 14,00	-	-	≤1,00	≤1,50	-
X15Cr13	1.4024	-	-	-	0,12 - 0,17	12,00 - 14,00	-	-	≤1,00	≤1,00	-
X30Cr13	1.4028	420	3H13	30Ch13	0,26 - 0,35	12,00 - 14,00	-	-	≤1,00	≤1,50	-
X29CrS13	1.4029	420F	-	-	0,25 - 0,32	12,00 - 13,50	-	≤0,6	≤1,00	≤1,50	S: 0,15 - 0,25
X39Cr13	1.4031	420	4H13	40Ch13	0,36 - 0,42	12,50 - 14,50	-	-	≤1,00	≤1,00	-
X46Cr13	1.4034	420	4H13	40Ch13	0,43 - 0,50	12,50 - 14,50	-	-	≤1,00	≤1,00	-
X46CrS13	1.4035	-	-	-	0,43 - 0,50	12,50 - 14,00	-	-	≤1,00	≤2,00	S: 0,15 - 0,35
X17CrNi16-2	1.4057	431	H17N2; 2H17N2	20Ch17N2	0,12 - 0,22	15,00 - 17,00	1,50 - 2,50	-	≤1,00	≤1,00	-
X14CrMoS17	1.4104	430F	-	-	0,10 - 0,17	15,50 - 17,50	-	0,20 - 0,60	≤1,00	≤1,50	S: 0,15 - 0,35
X70CrMo15	1.4109	440A	-	-	0,60 - 0,75	14,00 - 16,00	-	0,40 - 0,80	≤0,70	≤1,00	-
X55CrMo14	1.4110	-	-	-	0,48 - 0,60	13,00 - 15,00	-	0,50 - 0,80	≤1,00	≤1,00	V: ≤0,15
X90CrMoV18	1.4112	440B	3H17M	-	0,85 - 0,95	17,00 - 19,00	-	0,90 - 1,30	≤1,00	≤1,00	V: 0,07 - 0,12
X50CrMoV15	1.4116	-	-	-	0,45 - 0,55	14,00 - 15,00	-	0,50 - 0,80	≤1,00	≤1,00	V: 0,10 - 0,20
X39CrMo17-1	1.4122	-	3H17M	-	0,33 - 0,45	15,50 - 17,50	≤1,00	0,80 - 1,30	≤1,00	≤1,50	-
X40CrMoVN16-2	1.4123	-	-	-	0,35 - 0,50	14,00 - 16,00	≤0,50	1,00 - 2,50	≤1,00	≤1,00	V: ≤1,50; N: 0,10 - 0,30
X105CrMo17	1.4125	440C	H18	110Ch18M-SChD	0,95 - 1,20	16,00 - 18,00	-	0,40 - 0,80	≤1,00	≤1,00	-
X3CrNiMo13-4	1.4313	CA- 6MN	-	-	≤0,05	12,00 - 14,00	3,50 - 4,00	0,30 - 0,70	≤0,70	≤1,50	N: ≤0,02
X2CrNiMoV13-5-2	1.4415	-	-	-	≤0,030	11,50 - 13,50	4,50 - 6,50	1,50 - 2,50	≤0,50	≤0,50	Ti: ≤0,010; V: 0,10 - 0,50
X4CrNiMo16-5-1	1.4418	-	-	-	≤0,06	15,00 - 17,00	4,00 - 6,00	0,80 - 1,50	≤0,70	≤1,50	N: ≤0,02
X1CrNiMoCu12-5-2	1.4422	-	-	-	≤0,020	11,00 - 13,00	4,00 - 5,00	1,30 - 1,80	≤0,50	≤2,00	Cu: 0,20 - 0,80; N: ≤0,02
X1CrNiMoCu12-7-3	1.4423	-	-	-	≤0,020	11,00 - 13,00	6,00 - 7,00	2,30 - 2,80	≤0,50	≤2,00	Cu: 0,20 - 0,80; N: ≤0,02

⁽¹⁾ S: ≤ 0,003-0,015; P: max. 0,040;

Tablica 2

Warunki obróbki cieplnej oraz wybrane własności mechaniczne martenzytycznych stali nierdzewnych w stanie obrobionym cieplnie

EN 10088		Temperatura hartowania, °C ⁽¹⁾	Temperatura odpuszczania °C	Umowna granica plastyczności w temp. 20°C, R _{p0,2} MPa min.	Wytrzymałość na rozciąganie R _m MPa	Wydłużenie po zerwaniu A% min. (wzdł.)	Moduł sprężystości w temp., GPa		Energia łamania (ISO-V), J min. (wzdł.)
Znak stali	Numer						20°C	400°C	
X12CrS13	1.4005	950 - 1000	680 - 780	450	650 - 850	12	215	190	-
X12Cr13	1.4006	950 - 1000	680 - 780	450	650 - 850	15	215	190	25
X20Cr13	1.4021	950 - 1050	650 - 750	500	700 - 850	13	215	190	25
X15Cr13	1.4024	950 - 1030	700 - 750	450	650 - 850	15	215	192	-
X30Cr13	1.4028	950 - 1050	625 - 675	650	850 - 1000	10	215	190	15
X29CrS13	1.4029	950 - 1050	625 - 675	650	850 - 1000	9	215	190	-
X39Cr13	1.4031	950 - 1050	650 - 700	650	800 - 1000	10	215	190	12
X46Cr13	1.4034	950 - 1050	650 - 700	650	850 - 1000	10	215	190	12
X46CrS13	1.4035	-	-	-	max. 800	-	215	190	-
X17CrNi16-2	1.4057	950 - 1050	750 - 800	600	800 - 950	14	215	190	25
X14CrMoS17	1.4104	950 - 1070	550 - 650	500	650 - 850	12	215	190	-
X70CrMo15	1.4109	-	-	-	max. 900	-	215	190	-
X55CrMo14	1.4110	-	-	-	max. 950	-	215	190	-
X90CrMoV18	1.4112	-	-	-	-	-	215	190	-
X50CrMoV15	1.4116	-	-	-	max. 900	-	215	190	-
X39CrMo17-1	1.4122	980 - 1060 ⁽²⁾	650 - 750	550	750 - 950	12	215	190	20
X40CrMoVN16-2	1.4123	-	-	-	-	-	195	-	-
X105CrMo17	1.4125	-	-	-	-	-	215	190	-
X3CrNiMo13-4	1.4313	950 - 1050	550 - 600	620	800 - 980	15	200	170	70
X2CrNiMoV13-5-2	1.4415	950 - 1050	600 - 650	650	750 - 900	18	200	170	100
X4CrNiMo16-5-1	1.4418	950 - 1050	590 - 620	550	760 - 960	16	200	170	90
X1CrNiMoCu12-5-2	1.4422	900 - 1050	600 - 640	550	750 - 950	15	200	170	100
X1CrNiMoCu12-7-3	1.4423	900 - 1050	600 - 640	550	750 - 950	15	200	170	100

⁽¹⁾ Rodzaj chłodzenia: olej, powietrze; ⁽²⁾ Chłodzenie w oleju

Tablica 3

Wybrane własności fizyczne martenzytycznych 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 ³
Znak stali	Numer	20°C - 200°C	20°C - 400°C				
X12CrS13	1.4005	11,0	12,0	30	460	0,60	7,7
X12Cr13	1.4006	11,0	12,0	30	460	0,60	7,7
X20Cr13	1.4021	11,0	12,0	30	460	0,60	7,7
X15Cr13	1.4024	11,0	12,0	30	460	0,60	7,7
X30Cr13	1.4028	11,0	12,0	30	460	0,65	7,7
X29CrS13	1.4029	-	-	30	460	0,55	7,7
X39Cr13	1.4031	11,0	12,0	30	460	0,55	7,7
X46Cr13	1.4034	11,0	12,0	30	460	0,55	7,7
X46CrS13	1.4035	11,0	12,0	30	460	0,55	7,7
X17CrNi16-2	1.4057	10,5	10,5	25	460	0,70	7,7
X14CrMoS17	1.4104	10,5	10,5	25	460	0,70	7,7
X70CrMo15	1.4109	11,0	11,5	30	460	0,65	7,7
X55CrMo14	1.4110	11,0	12,0	30	460	0,62	7,7
X90CrMoV18	1.4112	10,8	11,6	15	430	0,80	7,7
X50CrMoV15	1.4116	11	11,5	30	460	0,65	7,7
X39CrMo17-1	1.4122	10,8	11,6	15	430	0,80	7,7
X40CrMoVN16-2	1.4123	10,6	11,1	24	430	0,80	7,7
X105CrMo17	1.4125	10,8	11,6	15	430	0,80	7,7
X3CrNiMo13-4	1.4313	10,9	11,6	25	430	0,60	7,7
X2CrNiMoV13-5-2	1.4415	-	-	16	500	0,71	7,8
X4CrNiMo16-5-1	1.4418	10,8	11,6	15	430	0,80	7,7
X1CrNiMoCu12-5-2	1.4422	10,8	11,6	16	450	0,75	7,7
X1CrNiMoCu12-7-3	1.4423	10,8	11,6	16	450	0,75	7,7
Stale magesowalne							