

Własności stali odpornych na korozję



Euro Inox

Euro Inox jest europejską organizacją promocji rynku stali odpornych na korozję.

Do grona członków Euro Inox należą:

- europejscy producenci stali odpornych na korozję
- narodowe organizacje promocji rynku stali odpornych na korozję
- organizacje promocji rynku przemysłu dodatków stopowych.

Celem Euro Inox jest popieranie istniejących zastosowań dla stali odpornych na korozję i zachęcenie do nowych kierunków zużycia. Planistom i użytkownikom mają być udostępniane, przydatne do praktycznego wykorzystania, informacje o własnościach stali odpornych na korozję i ich prawidłowym przerobie. W tym celu

- Euro Inox wydaje publikacje w postaci drukowanej i elektronicznej,
- organizuje konferencje i seminaria oraz
- inicjuje i wspiera przedsięwzięcia z zakresu badań techniki zastosowań jak również analizy rynku.

Metryczka wydawnictwa

Własności stali odpornych na korozję

Wydanie 2002

© Euro Inox 2002

ISBN 2-87997-083-0

Wydawca:

Euro Inox

241, route d'Arlon

1150 Luksemburg

Księstwo Luksemburg

Tel. +352 26 10 30 50

Fax +352 26 10 30 51

Diamant Building, Bd.A.Reyers 80,

1030 Bruksela

Belgia

Tel. +32 2 706 82 67

Fax +32 2 706 82 69

E-mail: info@euro-inox.org

www.euro-inox.org

Niniejsza dokumentacja opiera się na informatorze 821 "Edelstahl Rostfrei - Eigenschaften" - Ośrodka Informacji o Stalach Odpornych na Korozję w Düsseldorf, Niemcy.

Adresy poradnictwa

Pełnoprawni członkowie

Acerinox

Internet: www.acerinox.es

Outokumpu Stainless

Internet:

www.outokumpu.com/stainless

ThyssenKrupp

Acciai Speciali Terni

Internet: www acciaitermi.it

ThyssenKrupp Nirosta

Internet: www.nirosta.de

Ugine & ALZ Belgium

Ugine & ALZ France

Groupe Arcelor

Internet: www.ugine-alz.com

Informacje zawarte w niniejszym opracowaniu służą tylko jako pomoc.

Nie można z tego tytułu zgłaszać żadnych roszczeń o gwarancje i odszkodowanie. Przedruki w postaci wypisów czy streszczeń są dozwolone tylko za zgodą wydawcy.

	Treść	Strona
1	Wstęp	2
2	Podział stali odpornych na korozję	3
3	Charakterystyczne własności grup stali	5
3.1	Stale ferrytyczne	5
3.2	Stale martenzytyczne	8
3.3	Stale austenityczne	11
3.4	Stale austenityczno-ferrytyczne	12
4	Odporność na korozję	13
4.1	Uwagi ogólne	13
4.2	Rodzaje korozji	13
4.3	Wskazówki odnośnie zastosowań	15
5	Przydatność do spawania	15
6	Podatność do przeróbki plastycznej	17
7	Skrawalność	19
8	Wykończenia powierzchni	20
9	Własności fizyczne	22
10	Normalizacja	23

Członkowie stowarzyszenia

British Stainless Steel Association (BSSA)
Internet: www.bssa.org.uk

Cedinox
Internet: www.cedinox.es

Centro Inox
Internet: www.centroinox.it

**Informationsstelle
Edelstahl Rostfrei**
Internet: www.edelstahl-rostfrei.de

**Institut du Développement de
l'Inox (I.D.-Inox)**
Internet: www.idinox.com

**International Chromium
Development Association (ICDA)**
Internet: www.chromium-asoc.com

**International Molybdenum
Association (IMOA)**
Internet: www.imoa.info

Nickel Institute
Internet: www.nickelinstitute.org

**Polska Unia Dystrybutorów Stali
(PUDS)**
Internet: www.puds.com.pl

**SWISS INOX
Informationsstelle
für nichtrostende Stähle**
Internet: www.swissinox.ch

1 Wstęp

Stale odporne na korozję - jest to pojęcie zbiorcze dla stali zawierających co najmniej 10,5 % chromu (Cr) i wykazujących w przeciwieństwie do stali niestopowych wyraźnie polepszoną odporność na korozję. Wyższe zawartości Cr i dalszych składników stopowych jak na przykład nikiel (Ni) oraz molibden (Mo) jeszcze bardziej podwyższają odporność na korozję. Ponadto dodanie określonych innych, pierwiastków do stopu może mieć pozytywny wpływ na dalsze własności, na przykład:

- niob, tytan (odporność na korozję międzykrystaliczną),
- azot (wytrzymałość, odporność na korozję) oraz
- siarka (skrawalność).

Tym samym konstruktorzy, przetwórcy i użytkownicy dysponują dużą ilością gatunków stali dla różnorodnych obszarów zastosowań. Od chwili wynalezienia stali odpornych na korozję w roku 1912 producenci i przetwórcy stosowali różne nazwy handlowe. Słowo "stal jakościowa" nie wystarcza jako określenie, ponieważ do stali jakościowych należą grupy takie, jak jakościowa stal budowlana, stal na łożyska toczne, stal szybko tnąca, stal narzędziowa, wszystkie o bardzo odmiennych własnościach użytkowych.

W Polsce powszechnie przyjęto się określać stale chromowe mianem stali nierdzewnych, a stale chromowo-niklowe stalami kwasoodpornymi.

W swojej wieloletniej historii stal odporna na korozję osiągała rosnące znaczenie w coraz większej liczbie zakresów zastosowań dzięki właściwej dla niej odporności na korozję i jej dobrym własnościom mechanicznym.

Znajduje to swoje odzwierciedlenie w znacznej stopie wzrostu jej produkcji. Podczas, gdy cała produkcja przemysłowa krajów OECD (Organizacji Współpracy i Rozwoju Gospodarczego) w minionych 40 latach zwiększyła się czterokrotnie, to produkcja stali odpornych na korozję w tym samym okresie czasu wzrosła o współczynnik 8. Również na najbliższe lata oczekiwany jest nieprzerwany wzrost rzędu od 5 do 7% rocznie. Stale odporne na korozję produkuje się w postaci stali walcowanej i stali kutej oraz staliwa. Niniejsze opracowanie omawia stale walcowane i kute. Ma ono objaśnić różnice pomiędzy różnymi gatunkami stali odpornych na korozję i ułatwić ich dobór do odpowiednich zastosowań. Sprawy przerobu są poruszane tylko wtedy, gdy jest to niezbędne dla zrozumienia omawianego tematu.

2 Podział stali odpornych na korozję

Tablica 1 zawiera składy chemiczne najważniejszych znormalizowanych stali walcowanych i kutych. Ponadto dla specjalnych zastosowań istnieją dalsze stale odporne na korozję, które objęte są normą EN 10088

Stale odporne na korozję są podzielone następnie według ich składów chemicznych, na cztery grupy wymienione w tablicy 2, odnoszące się do stanu struktury (rys. 2)

Ponadto zyskały na znaczeniu stale odporne na korozję umacniane wydzieleniowo. W przypadku tych stali osiąga się poważny wzrost wytrzymałości oraz granicy

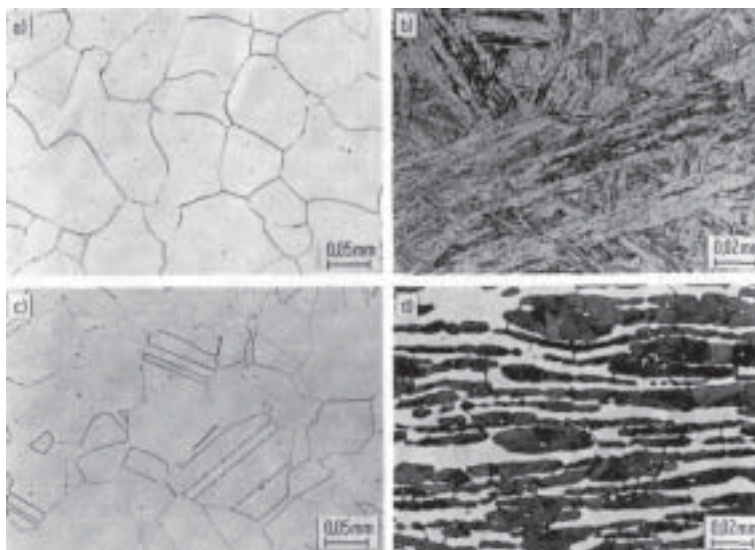
plastyczności poprzez dodatek Mo względnie Cu, Nb, Al i V wraz ze specjalną obróbką cieplną.

Poszczególne gatunki stali oznacza się przy pomocy dwóch systemów: systemu znaków stali i systemu cyfrowego. Z uwagi na jego zwięzłość system cyfrowy okazał się być szczególnie przydatny.

Znaczenie oznaczeń cyfrowych (numerów) dla stali odpornych na korozję wynika z tablicy 3.

Rys. 2: Przykłady typowego ukształtowania struktury w różnych gatunkach stali:

- a) stal -materiał Nr 1.4511 o strukturze ferrytycznej
- b) stal -materiał Nr 1.4313 o strukturze martenzytycznej
- c) stal -materiał Nr 1.4301 o strukturze austenitycznej
- d) stal -materiał Nr 1.4462 o strukturze austenityczno-ferrytycznej



Tablica 2:
Grupy stali odpornych na korozję

Struktura	Główne składniki stopu
ferrytyczna	Cr
martenzytyczna	Cr, C lub Ni
austenityczna	Cr, Ni, Mo
austenityczno-ferrytyczna	Cr, Ni, Mo (wyższe zawartości chromu i niższe zawartości Ni niż w stalach austenitycznych)

Tablica 3:
Znaczenie oznaczeń (cyfrowych) numerów dla stali odpornych na korozję

1.40..: } 1.41..: }	stale z Cr o zawartości < 2,5 % Ni	bez Mo, Nb, lub Ti z Mo, bez Nb lub Ti
1.43..: } 1.44..: }	stale z Cr o zawartości ≥ 2,5 % Ni	bez Mo, Nb, lub Ti z Mo, bez Nb lub Ti
1.45..: } 1.46..: }	stale z Cr, CrNi lub CrNiMo z dodatkami specjalnymi (Cu, Nb, Ti, ...)	

WŁASNOŚCI STALI ODPORNYCH NA KOROZJĘ

Oznaczenie stali		Skład chemiczny w %					Znormalizowane w	
Znak	Numer	C	Cr	Mo	Ni	Inne	En 10088	
							Część 2	Część 3
Stale ferrytyczne i martenzytyczne								
X2CrNi12	1.4003	≤0,03	10,5/12,5		0,30/1,00	N<0,03	x	x
X2CrTi12	1.4512	≤0,03	10,5/12,5			Ti6x (C+N) do 0,65	x	
X2CrTi17	1.4520	≤0,025	16,0/18,0			N<0,015Ti0,30/0,60	x	
X12Cr13	1.4006	0,08/0,15	11,5/13,5		≤0,75		x	x
X20Cr13	1.4021	0,16/0,25	12,0/14,0				x	x
X20CrMo13	1.4120	0,17/0,22	12,0/14,0	0,9/1,3	≤1,0			
X30Cr13	1.4028	0,26/0,35	12,0/14,0				x	x
X39Cr13	1.4031	0,36/0,42	12,5/14,5				x	x
X46Cr13	1.4034	0,43/0,50	12,5/14,5				x	x
X50CrMoV15	1.4116	0,45/0,55	14,0/15,0	0,50/0,80		V0,10/0,20	x	x
X55CrMo14	1.4110	0,48/0,60	13,0/15,0	0,50/0,80		V<0,15		
X5CrNiMoTi15-2	1.4589	≤0,08	13,5/15,5	0,20/1,20	1,0/2,5	Ti0,3/0,5		
X3CrNiMo13-4	1.4313	≤0,05	12,0/14,0	0,3/0,7	3,5/4,5	N<0,02	x	x
X4CrNiMo16-5-1	1.4418	≤0,06	15,0/17,0	0,80/1,50	4,0/6,0	N<0,02	x	x
X6Cr17	1.4016	≤0,08	16,0/18,0				x	x
X6CrMo17-1	1.4113	≤0,08	16,0/18,0	0,9/1,4			x	x
X3CrTi17	1.4510	≤0,05	16,0/18,0			Ti4x (C+N) +0,15-0,80	x	
X3CrNb17	1.4511	≤0,05	16,0/18,0			Nb 12xC do 1,00	x	
X14CrMoS17	1.4104	0,10/0,17	15,5/17,5	0,20/0,60		P<0,040S0,15/0,35		x
X6CrMoS17	1.4105	≤0,08	16,0/18,0	0,20/0,60		P<0,040S0,15/0,35		x
X17CrNi16-2	1.4057	0,12/0,22	15,0/17,0		1,5/2,5			x
X39CrMo17-1	1.4122	0,33/0,45	15,5/17,5	0,8/1,3	≤1,0		x	x
X90CrMoV18	1.4112	0,85/0,95	17,0/19,0	0,9/1,3		V0,07/0,12		x
X105CrMo17	1.4125	0,95/1,20	16,0/18,0	0,4/0,8				x
X2CrMoTi18-2	1.4521	≤0,025	17,0/20,0	1,8/2,5		Ti4x (C+N) +0,15-0,80 N<0,03	x	
Stale austenityczno-ferrytyczne								
X2CrNiMoN22-5-3	1.4462	≤0,03	21,0/23,0	2,5/3,5	4,5/6,5	N0,10/0,22	x	x
X2CrNiMoCuWN25-7-4	1.4501	≤0,03	24,0/26,0	3,0/4,0	6,0/8,0	N0,20/0,30 Cu0,5/1,0 W0,5/1,0	x	x
Stale austenityczne								
X5CrNi18-10	1.4301	≤0,07	17,0/19,5		8,0/10,5	N<0,11	x	x
X4CrNi18-12	1.4303	≤0,06	17,0/19,0		11,0/13,0	N<0,11	x	x
X8CrNiS18-9	1.4305	≤0,10	17,0/19,0		8,0/10,0	P<0,045 S0,15/0,35 N<0,11 Cu<1,00	x	x
X2CrNi19-11	1.4306	≤0,03	18,0/20,0		10,0/12,0	N<0,11	x	x
X2CrNi18-9	1.4307	≤0,03	17,5/19,5		8,0/10,0	N<0,11	x	x
X2CrNiN18-10	1.4311	≤0,03	17,0/19,5		8,5/11,5	N0,12/0,22	x	x
X6CrNiTi18-10	1.4541	≤0,08	17,0/19,0		9,0/12,0	Ti5xC do 0,70	x	x
X6CrNiNb18-10	1.4550	≤0,08	17,0/19,0		9,0/12,0	Nb10xC do 1,0	x	x
X10CrNi18-8	1.4310	0,05/0,15	16,0/19,0	≤0,80	6,0/9,5	N<0,11	x	x
X2CrNiN18-7	1.4318	≤0,03	16,5/18,5		6,0/8,0	N0,10/0,20	x	
X5CrNiMo17-12-2	1.4401	≤0,07	16,5/18,5	2,0/2,5	10,0/13,0	N<0,11	x	x
X2CrNiMo17-12-2	1.4404	≤0,03	16,5/18,5	2,0/2,5	10,0/13,0	N<0,11	x	x
X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571	≤0,08	16,5/18,5	2,0/2,5	10,5/13,5	Ti5xC do 0,70	x	x
X1CrNiMoTi18-13-2	1.4561	≤0,2	17,0/18,5	2,0/2,5	11,5/13,5	Ti0,40/0,60		
X1CrNiMoN25-25-2	1.4465	≤0,02	24,0/26,0	2,0/2,5	22,0/25,0	N0,08/0,16		
X2CrNiMoN17-13-3	1.4429	≤0,03	16,5/18,5	2,5/3,0	11,0/14,0	N0,12/0,22	x	x
X2CrNiMo18-14-3	1.4435	≤0,03	17,0/19,0	2,5/3,0	12,5/15,0	N<0,11	x	x
X3CrNiMo17-13-3	1.4436	≤0,05	16,5/18,5	2,5/3,0	10,5/13,0	N<0,11	x	x
X2CrNiMnMoNbN25-18-5-4	1.4565	≤0,03	23,0/26,0	3,0/5,0	16,0/19,0	N0,30/0,50 Nb<0,15		
X2CrNiMoN17-13-5	1.4439	≤0,03	16,5/18,5	4,0/5,0	12,5/14,5	Mn3,5/6,5	x	x
X1NiCrMoCuN25-20-5	1.4539	≤0,02	19,0/21,0	4,0/5,0	24,0/26,0	N0,12/0,22	x	x
X1NiCrMoCuN25-20-7	1.4529	≤0,02	19,0/21,0	6,0/7,0	24,0/26,0	Cu1,2/2,0 N<0,15 Cu0,5/1,5 N0,15/0,25	x	x

Tablica 1: Znormalizowane stale odporne na korozję (wybór)

3 Charakterystyczne cechy grup stali

3.1 Stale ferrytyczne

Z grubsza rozróżnia się dwie podgrupy ferrytycznych stali odpornych na korozję:

- z zawartością około 11 do 13 % Cr,
- z zawartością około 17 % Cr.

Własności mechaniczne stali ferrytycznych (*tablica 4*) zakładają strukturę drobno-kryształiczną, którą osiąga się poprzez odpowiednią obróbkę wyżarzającą tychże stali. Z uwagi na względnie niską zawartość chromu **11-12 procentowych stali chromowych** (1.4003, 1.4512) ich odporność na korozję, już w niekorzystnych warunkach atmosferycznych lub w mediach wodnych, jest ograniczona tak, że zalicza się je jedynie do stali o podwyższonej odporności na korozję.

Przy **17- procentowych stalach chromowych** osiąga się lepszą odporność na korozję dzięki wyższej zawartości chromu. Przez wprowadzenie ok. 1 % molibdenu jako dodatku stopowego można jeszcze bardziej poprawić odporność na korozję.

Niektóre stale zawierają tytan lub niob jako

pierwiastki tworzące węgliki, które wiążą węgiel. Stale takie po spawaniu są odporne także przy większych grubościach bez dodatkowej obróbki cieplnej, a więc stabilne wobec korozji międzykryształicznej.

Szczególną zaletą ferrytycznych stali odpornych na korozję jest to, że w przeciwieństwie do austenitycznych stali CrNi wykazują one wysoką odporność na śródkryształiczną korozję naprężeniową wywoływaną chlorkami.



Układy wydechowe - obszar zastosowań ferrytycznych stali odpornych na korozję w budowie samochodów

WŁASNOŚCI STALI ODPORNYCH NA KOROZJĘ

Oznaczenie stali		Postać wyrobu ¹⁾ Grubość lub średnia maks. mm		Umowna granica plastyczn ²⁾ wzdłuż poprzeczn N/mm ² min.		Wytrz. Na. Rozciąg. N/mm ²	Wydłuż. przy zerwaniu ³⁾ % min	Odporność na korozję międzykrystal. w stanie	
Znak	Numer							dostawy	spawanym
X2CrNi12	1.4003	t.zw.	6	280	320	450 / 650	20	nie	nie
		t.gw.	12	280	320	450 / 650	20		
		bl.	25	250	280	450 / 650	18		
		d. pr.	100	260	-	450 / 600	20		
X2CrTi12	1.4512	t.zw.	6	210	220	380 / 560	25	nie	nie
		t.gw.	12	210	220	380 / 560	25		
X6Cr17	1.4016	t.zw.	6	260	280	450 / 600	20	tak	nie
		t.gw.	12	240	260	450 / 600	18		
		bl.	25	240	260	430 / 630	20		
		d. pr.	100	240	-	400 / 630	20		
X3CrTi17	1.4510	t.zw.	6	230	240	420 / 600	23	tak	tak
		t.gw.	12	230	240	420 / 600	23		
X3CrNb17		t.zw.	6	230	240	420 / 600	23	tak	tak
X6CrMo17-1	1.4113	t.zw.	6	260	280	450 / 630	18	tak	nie
		t.gw.	12	260	280	450 / 630	18		
		d. pr.	100	280	-	440 / 660	18		

¹⁾ t.zw. = taśma zimnowalcowana; t.gw. = taśma gorącowałkowana; bl. = blacha; d. = drut; pr. = pręty
²⁾ dla drutów walcowanych obowiązują tylko wartości wytrzymałości na rozciąganie
³⁾ dla taśmy o grub. < 3 mm A_{80mm}, poza tym A₅

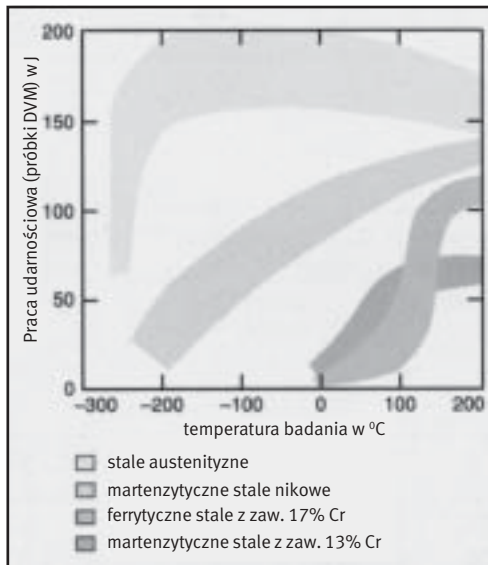
Tablica 4:

Własności mechaniczne niektórych nierdzewnych ferrytycznych stali odpornych na korozję w stanie wyżarzonym w temperaturze pokojowej (według EN 10088, część 2 i 3)



3.2 Stale martenzytyczne

W przypadku stali z 12-18% Cr i zawartościach C od 0,1%, chodzi o stale, które w wysokich temperaturach są całkowicie austenityczne. Jeśli zostaną one nagle schłodzone z zakresu



Rys.3: Krzywe temperatury pracy udarnościowej różnych stali odpornych na korozję (wg R. Oppenheima)

austenitycznego, to znaczy, że ulegną zahartowaniu, uzyskują one wówczas strukturę martenzytyczną. Temperatury austenizacji mieszczą się w zależności od gatunku stali, w

Tablica 5: Wpływ zawartości węgla na twardość martenzytycznych stali odpornych na korozję, zahartowanych i odprężonych (Schierhold).

Zawartość C w % wagowo	Twardość w HRC
0,10	40
0,15	46
0,20	50
0,25	53
0,40	56
0,70	58
1,00	60

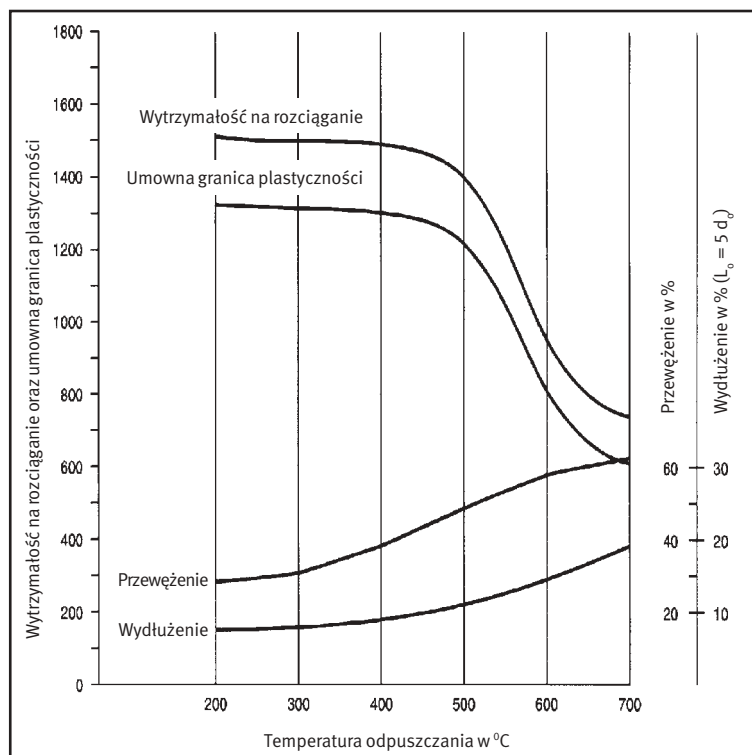


okolicy 950 - 1050 °C; Schłodzenie może być przeprowadzone dużo wolniej aniżeli przy porównywalnych stalach niestopowych (np schłodzenie na powietrzu). Twardość tych stali jest tym większa, im wyższa jest zawartość C (tablica 5). W stanie ulepszonym uzyskuje się wysokie wartości wytrzymałościowe. Wartości odporności na obciążenia dynamiczne martenzytycznych stali chromowych w zależności od temperatury wynikają z wykresu - Rys. 3. W martenzytycznych stalach nikowych rolę węgla przejmuje nikiel (na przykład 1.4313). Zdolność do ulepszania zostaje przy tym utrzymana, bez występowania szkodliwych skutków z tytułu podwyższonej zawartości węgla (wytrącanie się węglików, wysokie utwardzenie). Ponadto ulepszalny na wskroś obszar wymiarów zostaje poszerzony na średnice ponad 400 mm. Odporność na korozję zostaje jeszcze podwyższona przez dodatek molibdenu (1.4418). W zależności od kształtu wyrobu stale martenzytyczne są dostarczane w stanie wyżarzonym lub ulepszonym. Wyroby, które dostarcza się w stanie zmiękczająco wyżarzonym (jak taśmy zimno i gorąco walcowane i z nich przycięte na długość blachy), mogą być przerabiane plastycznie na zimno i na gorąco (np. gięcie, wytłaczanie, sztancowanie, wyciąganie wgłębne) przed podjęciem obróbki ulepszającej. Obróbka ulepszająca obejmuje hartowanie i następnie odpuszczanie do temperatur 650 - 750 °C. W wyniku obróbki odpuszczającej spada wytrzymałość a wzrasta odporność na obciążenia dynamiczne. Na wykresie ulepszania dla stali 1.4021 (rys. 4), który przedstawia się jako przykład dla tej grupy stali, można rozpoznać szeroki zakres rodzajów własności wytrzymałości-

Żyłki do golenia z martenzytycznej stali nierdzewnej

wych, jakie można osiągnąć poprzez obróbkę cieplną. Ze względu na najlepszą odporność na korozję należy przede wszystkim dotrzymać zadane temperatury obróbki cieplnej. Warunkiem dostatecznej odporności na korozję jest jednak również odpowiednie wykonanie powierzchni, które osiąga się przez następujące zaraz potem trawienie lub dokładne szlifowanie i polerowanie. Ta grupa stali z uwagi na jej wysoką odporność na ścieranie i wytrzymałość na przecinanie znajduje szerokie zastosowanie.

Rys 4: Wykres ulepszenia stali- materiał Nr 1.4021; hartowanie: 1000 °C/olej, odpuszczanie: temperatura odpuszczania 2 h/na powietrzu (wg Schierholda)



Oznaczenie stali		Postać wyrobu ¹⁾ Grubość lub średnia maks. mm		Umowna granica plastyczn ²⁾ wzdłuż poprzecz N/mm ² min.		Wytr. na rozciąg. N/mm ²	Wydłuż. przy zerwaniu ³⁾ % min	Odporność na korozję międzykrystal. w stanie	
Znak	Numer							dostawy	spawanym
X5CrNi18-10	1.4301	t.zw.	6	230	260	540/750	45	tak	nie
		t.gw.	12	210	250	520/720			
		bl.	75	210	250	520/720			
		d.pr.	160	190	-	500/700			
X4CrNi18-12	1.4303	t.zw.	6	220	250	500/650	45	tak	nie
		d.pr.	160	190	-	500/750			
X8CrNiS18-9	1.4305	bl.	75	190	230	500/700	35	nie	nie
		d.pr.	160	190	-	500/750			
X2CrNi19-11 X2CrNi18-9	1.4306 1.4307	t.zw.	6	220	250	520/670	45	tak	tak
		t.gw.	12	200	240	520/670			
		bl.	75	200	240	500/650			
		d.pr.	160	180	-	460/680			
X2CrNiN18-10	1.4311	t.zw.	6	290	320	550/750	40	tak	tak
		t.gw.	12	270	310	550/750			
		bl.	75	270	310	550/750			
		d.pr.	160	270	-	550/760			
X6CrNiTi18-10	1.4541	t.zw.	6	220	250	520/720	40	tak	tak
		t.gw.	12	200	240	520/720			
		bl.	75	200	240	500/700			
		d.pr.	160	190	240	500/700			
X6CrNiNb 18-10	1.4550	t.zw.	6	220	250	520/720	40	tak	tak
		t.gw.	12	200	240	520/720			
		bl.	75	200	240	500/700			
		d.pr.	160	205	-	510/740			
X10CrNi18-8	1.4310	t.zw.	6	250	280	600/950	40	nie	nie
		d.pr.	40	195	-	500/750			

WŁASNOŚCI STALI ODPORNÝCH NA KOROZJĘ

Oznaczenie stali		Postać wyrobu ¹⁾ Grubość lub średnia maks. mm		Umowna granica plastyczn ²⁾ wzdłuż poprzeczn N/mm ² min.		Wytrż. na rozciąg. N/mm ²	Wydłuż. przy zerwaniu ³⁾ % min	Odporność na korozję międzykrystal. w stanie	
Znak	Numer							dostawy	spawanym
X2CrNiN18-7	1.4318	t.zw.	6	350	380	650/850	35	tak	tak
		t.gw.	12	330	370	650/850	35		
		bl.	75	330	370	630/830	45		
X5CrNiMo 17-12-2	1.4401	t.zw.	6	240	270	530/680	40	tak	nie
		t.gw.	12	220	260	530/680	45		
		bl.	75	220	260	520/670	45		
		d.pr.	160	200	-	500/700	40		
X2CrNiMo 17-12-2	1.4404	t.zw.	6	240	270	530/680	40	tak	tak
		t.gw.	12	220	260	530/680	40		
		bl.	75	220	260	520/670	45		
		d.pr.	160	200	-	500/700	40		
X6CrNiMoTi 17-12-2	1.4571	t.zw.	6	240	270	540/690	40	tak	tak
		t.gw.	12	220	260	540/690	40		
		bl.	75	220	260	520/670	45		
		d.pr.	160	200	-	500/700	40		
X1CrNiMoTi 18-13-2	1.4561	w.p.	20		190	490/690	40	tak	tak
X1CrNiMoN 25-25-2	1.4465	w.p.	30		260	540/740	35	tak	tak
		pr.	160						
		d.	20						
X2CrNiMo 17-13-3	1.4429	t.zw.	6	300	330	580/780	35	tak	tak
		t.gw.	12	280	320	580/780	35		
		bl.	75	280	320	580/780	40		
		d.pr.	160	280	-	580/800	40		
X2CrNiMo 18-14-3	1.4435	t.zw.	6	240	270	550/700	40	tak	tak
		t.gw.	12	220	260	550/700	40		
		bl.	75	220	260	520/670	45		
		d.pr.	160	200	-	500/700	40		
X3CrNiMo 17-13-3	1.4436	t.zw.	6	240	270	550/700	40	tak	nie
		t.gw.	12	220	260	550/700	40		
		bl.	75	220	260	530/730	45		
		d.pr.	160	200	-	500/700	40		
X2CrNiMnMo NbN25-18-5-4	1.4565	w.p.	30		420	800/950	35	tak	tak
		pr.	160						
		d.	20						
X2CrNiMoN 17-13-5	1.4439	t.zw.	6	290	320	580/780	35	tak	tak
		t.gw.	12	270	310	580/780	35		
		bl.	75	270	310	580/780	40		
		d.pr.	160	280	-	580/800	35		
X1NiCrMoCu N25-20-5	1.4539	t.zw.	6	240	270	530/730	35	tak	tak
		t.gw.	12	220	260	530/730	40		
		bl.	75	220	260	520/720	45		
		d.pr.	160	230	-	530/730	40		
X1NiCrMoCu N25-20-7	1.4529	bl.	75	300	340	650/850	40	tak	tak
		d.pr.	160	300	-	650/850	40		
X2CrNiMo N22-5-3	1.4462	t.zw.	6		480	660/950	20	tak	tak
		t.gw.	12		480	660/950	25		
		bl.	75		480	640/840	25		
		d.pr.	160	450		650/880	25		

¹⁾ t.zw. = taśma zimnowalcowana; t.gw. = taśma gorącowa; bl. = blacha; d. = drut; pr. = pręty
²⁾ dla walcówki obowiązują tylko wartości wytrzymałości na rozciąganie
³⁾ taśmy < 3 mm grubości A_{80mm}, poza tym A₅

Tablica 6: Własności mechaniczne znormalizowanych stali odpornych na korozję austenicznych jak również stali austeniczno-ferrytycznych 1.4462 w stanie jak dostarczono, w temperaturze pokojowej (według EN 10088 część 2 i 3)

3.3 Stale austenityczne

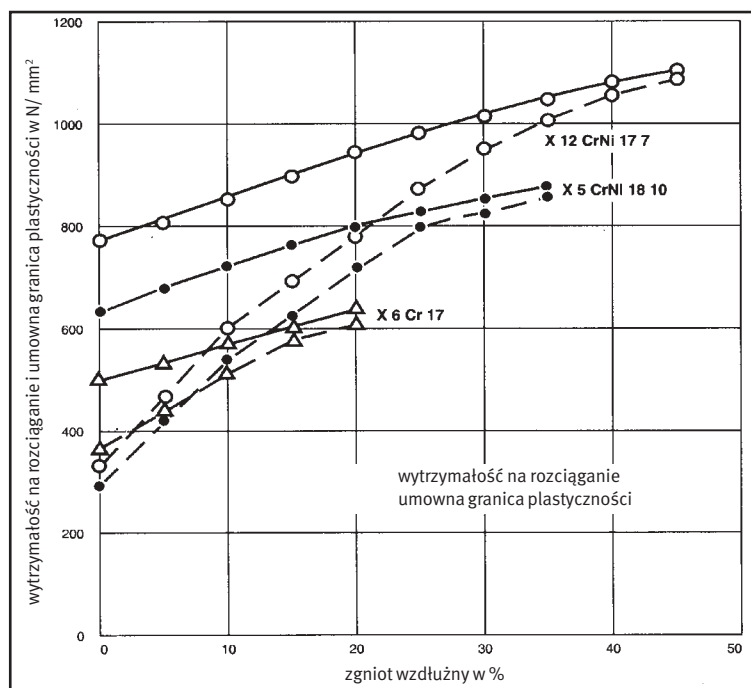
Austenityczne stale CrNi o zawartości 8 % Ni oferują szczególnie korzystną kombinację podatności do obróbki, własności mechanicznych i odporności na korozję. Zaleca się ich stosowanie w wielu dziedzinach i stanowią one najważniejszą grupę stali odpornych na korozję.

Najważniejszą własnością tej grupy stali jest wysoka odporność na korozję, która w miarę wzrostu dodatków stopowych, w szczególności chromu i molibdenu, zwiększa się jeszcze bardziej (patrz *tablica 1* oraz rozdział 4.2).

Tak samo jak przy stalach ferrytycznych, również przy stalach austenitycznych dla uzyskania dobrych własności technologicznych (*tablica 6*) konieczna jest struktura drobnoziarnista. Jako końcowy etap obróbki cieplnej stosuje się wyżarzanie odpuszczające w temperaturach 1000 i 1150 °C z następującym potem schłodzeniem w wodzie lub na powietrzu, aby uniknąć tworzenia się wytrąceń. Stale austenityczne w przeciwieństwie do stali martenzytycznych nie są hartowalne.

Dla określonych obszarów zastosowań wymagane są stale austenityczne o wyższej wytrzymałości. Wzrost granicy plastyczności można na przykład osiągnąć poprzez obróbkę plastyczną na zimno. Tak więc w zależności od stopnia takiej obróbki można uzyskać różne stopnie umocnienia. Wyższą skłonność do umocnienia na zimno stali austenitycznych w porównaniu ze stalami ferrytycznymi przedstawia *rys. 5*. Przy obróbce plastycznej na zimno może dodatkowo dojść do utworzenia się martenzytu odkształceniowego.

Inną możliwością jest utwardzanie roztworowe poprzez przedsięwzięcia z zakresu techniki



Rys. 5: Umacniające zachowanie się niektórych stali odpornych na korozję

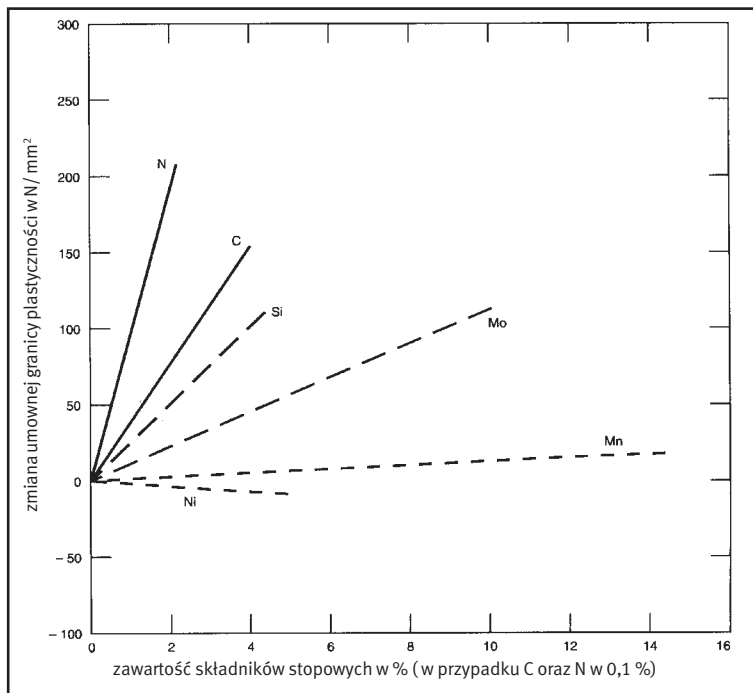
stopowej. Wpływ ważnych dla stali odpornych na korozję pierwiastków stopowych na umowną granicę plastyczności jest przedstawiony na *rys. 6*: pierwiastki węgiel (C) oraz azot (N) wykazują największą skuteczność. Jednakże rezygnuje się z dodawania węgla z przyczyn chemiczno-korozyjnych. W porównaniu z węglem dodatek azotu do stopu przynosi tę korzyść, że obok poprawy wytrzymałości podwyższona zostaje również odporność na korozję.

Stalami austenitycznymi z zawartością azotu są na przykład stale 1.4311, 1.4318, 1.4406 lub 1.4439. Poprzez ukierunkowany dobór zawartości składników stopowych możliwe jest podniesienie umownej granicy plastyczności nawet do wartości pow. 400 N/mm² (1.4565).

Wysoka **zdolność do wydłużenia** - wartości wydłużenia przy zerwaniu stali

austenitycznych (patrz *tablica 6*) są prawie dwukrotnie wyższe niż dla stali ferrytycznych - prowadzi to do bardzo dobrej zdolności do przeróbki plastycznej na zimno. Z tego wynikają korzystne zdolności do głębokiego tłoczenia i do obciągania jak również do dobrego podwijania krawędzi.

Szczególne znaczenie mają również wyższe wartości robocze udarnośći, które aż do bardzo niskich temperatur leżą na wysokim poziomie (*rys. 3*). Stąd stale odporne na korozję, ciągliwe w niskich temperaturach, mogą być zastosowane w urządzeniach, pracujących w temperaturach do minus 269 °C.



bardziej na znaczeniu. Dotyczy to w szczególności stali X2CrNiMoN 22-5-3 (materiał Nr 1.4462).

Stal 1.4462 zawiera ok. 22 % Cr, ok. 5 % Ni oraz 3 % Mo jak również azot (*patrz tablica 1*). Prowadzi to do wyważonej struktury austenityczno-ferrytycznej (z reguły 50 : 50).

Z *tablicy 6* wynika, że umowna granica plastyczności leży wyraźnie powyżej tej granicy dla stali austenitycznych. Osiągane są mimo to dobre wskaźniki odporności na obciążenia dynamiczne. Dalej trzeba podkreślić korzystne parametry wytrzymałości zmęczeniowej tej stali również w mediach korozyjnych.

Rozważając zachowanie się korozyjne austenityczno-ferrytycznych stali odpornych na korozję należy podkreślić ich - w stosunku do stali austenitycznych - lepszą odporność na wywołaną przez chlorki korozję naprężeniową.

Spawalność stali austenityczno-ferrytycznych nie stwarza żadnych problemów, jeśli przestrzegane są reguły spawania. Z uwagi na ich ogólnie dobry profil własności, istnieje szerokie spektrum zastosowań dla tych stali głównie w dziedzinie budowy aparatury chemicznej, w ochronie środowiska i w technice morskiej.

Rys. 6: Wpływ niektórych pierwiastków stopowych na umowną granicę plastyczności stali austenitycznej (według V. J. Mc Neely i D. T. Llevellyn)

3. 4 Stale austenityczno-ferrytyczne

Stale austenityczno-ferrytyczne, z uwagi na ich dwa składniki struktury, określane często jako stale podwójne (Duplex) zyskują coraz

Ostatnio uzyskano tak zwane stale "Superduplex" o jeszcze bardziej ulepszonej odporności na korozję. Zawierają one ok. 25 % Cr, 7 % Ni, 3,5 % Mo jak również azot i częściowo dalsze dodatki.

4 Odporność na korozję

4.1 Uwagi ogólne

Jak wiadomo, stale odporne na korozję, w porównaniu ze stalami niestopowymi i niskostopowymi wykazują wyraźnie podwyższoną odporność korozyjną. Są one odporne na liczne media agresywne i nie wymagają żadnego dalszego zabezpieczenia powierzchni. Tą pasywność powoduje dodatek minimum 10,5 % Cr do żelaza. W przypadku mechanicznego uszkodzenia powłoki pasywnej, warstwa ta ulega samoczynnemu odtworzeniu. Odporność korozyjna stali odpornych na korozję jest przede wszystkim uzależniona od składu stopowego stali, ponadto od jej powierzchni i stanu jej struktury. Z tego względu dla odporności na korozję istotnym jest dobór właściwego gatunku stali w odpowiednim stanie obróbki cieplnej i z prawidłowo obrobioną powierzchnią.

4. 2 Rodzaje korozji

Ubytkowa korozja powierzchniowa

Ubytkowa korozja powierzchniowa charakteryzuje się równomiernym lub w przybliżeniu równomiernym ubytkiem. Z reguły stopień ubytku poniżej 0,1 mm/rocznie uważa się za dostateczną odporność na korozję powierzchniową. Dla określenia stopnia ubytku masy na jednostkę powierzchni obowiązuje w stalach odpornych na korozję stosunek $1 \text{ g/h} \times \text{m}^2 - 1,1 \text{ mm/a}$. Równomierna korozja powierzchniowa na stalach odpornych na korozję może występować tylko w kwasach i silnych ługach. Jest ona określana w dużym stopniu przez skład stopu. Tak więc na przykład stale chromowe z zaw. 17% Cr są dużo bardziej odporne aniżeli stale z 13% Cr. Jeszcze wyższą odporność na korozję powierzchniową wykazują austenityczne stale chromowo-niklowe. Dodatkowo w wielu przypadkach można podwyższyć dalej odporność przez wprowadzenie molibdenu do stopu.

Korozja wżerowa (pitting)

Korozja wżerowa może wystąpić, gdy warstwa pasywna zostanie przetamana lokalnie. Jeśli występują jony chlorku, szczególnie w podwyższonych temperaturach, mogą w tych miejscach powstawać otworki - często tylko jakby ułtucia igłą. Niebezpieczeństwo korozji wżerowej zwiększa się w wyniku kumulowania się na powierzchni osadów, obcej rdzy, resztek zużła i barwnych nalotów.

Przez dalsze zwiększenie zawartości chromu, w szczególności przez dodanie molibdenu i częściowo azotu, odporność na korozję wżerową zostaje podwyższona. Wyraża się to tak zw. **Sumą Działania:**

$$W = \% \text{ Cr} + 3,3 \times \% \text{ Mo}$$

Przy bardzo wysoko stopowych stalach austenitycznych i ferrytyczno-austenitycznych do sumy działania włącza się także pierwiastek stopowy azot z zastosowaniem różnych współczynników.

Korozja szczelinowa

Korozja szczelinowa - jak to już wskazuje sama nazwa - związana jest z występowaniem szczelin czy rys. Te mogą być uzależnione od konstrukcji lub eksploatacji (np. osady).

Jako że korozja szczelinowa podlega w zasadzie tym samym mechanizmom co korozja wżerowa, obowiązują tu informacje podane już wyżej łącznie z wpływem dodatków stopowych oraz tzw. "sumą działania".

Korozja naprężeniowa

Przy tym rodzaju korozji powstają pęknięcia, które w stalach odpornych na korozję przebiegają na ogół śródkrystalicznie. Korozja naprężeniowa jest możliwa tylko, gdy występują równocześnie trzy następujące warunki:

a) powierzchnia elementu konstrukcyjnego

- go jest pod naprężeniem rozciągającym,
- b) działanie jednego specyficznie działającego medium (przeważnie jony chlorków),
 - c) skłonność materiału do korozji naprężeniowej.

W przypadku naprężeń rozciągających obójnym jest, czy wywierane one są od zewnątrz przez rozciąganie lub naprężenia gnące, albo są to naprężenia własne (np. na skutek spawania, walcowania na zimno lub głębokiego tłoczenia). Naprężenia rozciągające można rozładować przez śrutowanie.

Standardowe stale austenityczne CrNi oraz CrNiMo są w roztworach chlorków bardziej podatne na korozję naprężeniową aniżeli stale ferrytyczne i austenityczno-ferrytyczne.

Przy stalach austenitycznych można poprawić w dużym stopniu odporność na korozję naprężeniową przez podwyższenie zawartości niklu.

Korozja zmęczeniowa

Przy czystym obciążeniu zmęczeniowym (bez obciążenia korozją) występuje dolne naprężenie przemienne, poniżej którego nie obserwuje się żadnego pęknięcia, czyli wytrzymałość zmęczeniowa. W przeciwieństwie do tego w przypadku korozji zmęczeniowej brak jest przeważnie wytrzymałości zmęczeniowej i stal może pęknąć także poniżej tej granicy.

W odróżnieniu od korozji naprężeniowej, która występuje tylko w specyficznie oddziałujących mediach (patrz wyżej), korozja zmęczeniowa może wystąpić w zasadzie we wszystkich korozyjnie działających mediach w połączeniu z przemiennymi obciążeniami.

Odporność na korozję zmęczeniową wzrasta:

- w miarę rosnącej odporności na korozję materiału w danym medium,
- w miarę rosnącej wytrzymałości stali.

Tego rodzaju korozja praktycznie nie występuje w wielu dziedzinach jak np. w budownictwie i w obszarze dóbr konsumpcyjnych.

Korozja międzykrystaliczna

Korozja międzykrystaliczna nie stanowi już dzisiaj problemu przy właściwym doborze materiału. Korozja międzykrystaliczna może wystąpić w kwaśnych mediach, gdy w wyniku działania ciepła (pomiędzy 450 a 850 °C przy stalach austenitycznych i powyżej 900 °C przy stalach ferrytycznych) wytrącają się na granicach ziaren węglik chromu. Takie działanie ciepła występuje na przykład przy spawaniu, w bliskości spoiny (strefa wpływu ciepła). Powoduje ono lokalne zubożenie zawartości chromu w okolicy wytrąconych węglików chromu.

W praktyce, korozji międzykrystalicznej w stalach austenitycznych zapobiega się przez mocne zredukowanie zawartości węgla lub związanie węgla przez dodanie tytanu lub niobu. Rozpuszczalność węgla w stalach ferrytycznych jest o wiele mniejsza. Z tego względu przy schłodzeniu z temperatury wyżarzania rozpuszczającego nie da się stłumić w tych stalach wytrącania się węglików chromu. Można jednak cofnąć zubożenie zawartości chromu na granicach ziaren i skłonność do korozji międzykrystalicznej przez wyżarzanie stabilizujące w temperaturze 750 do 800 °C. Materiały dostarczane z tego rodzaju obróbką cieplną są odporne na korozję międzykrystaliczną, chyba że w wyniku dalszej obróbki cieplnej (np. spawania) dojdzie do dodatkowego wytrącania się węglików chromu. Jednak można również temu zapobiec przez dodanie niobu lub tytanu. Dostatecznej odporności na korozję międzykrystaliczną w stalach ferrytycznych nie można osiągnąć przez samo obniżenie zawartości węgla.

5 Przydatność do spawania

Korożja kontaktowa (stykowa)

Korożja kontaktowa może powstać, gdy zróżnicowane materiały metaliczne znajdują się we wzajemnym styku i są zwilżone elektrolitem. Materiał mniej szlachetny (anoda) zostaje zaatakowany w miejscu styku i przechodzi do roztworu. Materiał bardziej szlachetny (kатоda) nie jest atakowany. W praktyce stale odporne na korożję wobec wielu innych materiałów metalicznych, takich jak stale niestopowe i niskostopowe jak również aluminium są materiałami szlachetniejszymi.

Korożja kontaktowa może wystąpić szczególnie wtedy, jeśli powierzchnia szlachetniejszego materiału w stosunku do powierzchni materiału mniej szlachetnego jest duża.

4.3 Wskazówki odnośnie zastosowania

Stale 1.4301 oraz 1.4541 są odporne korozyjnie w normalnej atmosferze zewnętrznej i z tego względu nadają się w równym stopniu do zastosowań wewnętrznych i zewnętrznych. Stale 1.4401 oraz 1.4571 są do pewnego stopnia również dość odporne w atmosferze zawierającej chlorki względnie dwutlenek siarki i z tego względu przydatne do zastosowania w atmosferze przemysłowej jak i na terenach nadmorskich.

Odporność na korożję stali 1.4016 jest mniejsza niż wyżej wymienionych stali CrNi (Mo), także stal 1.4016 jest stosowana przede wszystkim wewnątrz pomieszczeń.

O odporności na korożję w różnych mediach/chemikaliach informują:

tabele i wykresy odporności wydane przez producentów stali.

5 Przydatność do spawania

W wielu obszarach zastosowań stali odpornych na korożję jedną z najważniejszych włas-

ności przerobowych jest **spawalność**. Obok wymaganych własności wytrzymałościowych i odporności na obciążenia dynamiczne połączeń spawanych, odporność na korożję samej spoiny jak również strefy oddziaływania ciepła musi odpowiadać odporności materiału podstawowego. Bezpieczeństwo i trwałość użytkowania całej konstrukcji spawanej zależy bezpośrednio od dobrej jakości spoiny.

Dla spełnienia tych wymogów trzeba zastosować obok odpowiednich dodatków spawalniczych również najlepsze techniki spawalnicze w połączeniu ze staranną obróbką wykańczającą spoiny. Przeważnie niemal wszystkie stale odporne na korożję można łączyć wszystkimi w praktyce typowymi metodami spawania i zgrzewania oporowego. Odradza się stosowanie metody spawania autogenicznego.

Stale ferrytyczne nadają się do spawania, przy czym jednak trzeba liczyć się ze zmniejszeniem ciągliwości. Przy wysokich wymaganiach w zakresie odporności na korożję w pierwszym rzędzie stosuje się stale stabilizowane. Wszystkie stale ferrytyczne wykazują w strefie wpływu ciepła skłonność do mocnego wzrostu ziaren i z tego powodu należy je spawać przy możliwie małym doprowadzaniu ciepła. Z uwagi na zmniejszoną ciągliwość w okolicach spoiny, w przypadku grubościennych elementów budowlanych, stale ferrytyczne nie nadają się na konstrukcje poddawane naprężeniom zmiennym, udarowym lub wywołanym przez drgania.

Przy cieńszych zimnowalcowanych blachach i taśmach ta niedogodność jest mniejsza aniżeli przy większych przekrojach, szczególnie wtedy, gdy przy spawaniu wprowadzi się możliwie mało ciepła w obszar spoiny. W przypadku stali 1.4003 zapobiega się w dużym stopniu tworzeniu grubych ziaren przez zastosowanie

innych rozwiązań techniki stopowej. Dzięki korzystnym własnościom mechanicznym również większe przekroje są spawalne bez obróbki cieplnej. W strefie wpływu ciepła stal wykazuje także dobrą charakterystykę zmęczenia, wytrzymałościową i zginania.

Zabezpieczenie przed korozją międzykrystaliczną w stanie spawanym zapewniają stabilizowane stale ferrytyczne 1.4509, 1.4510, 1.4511, 1.4512, 1.4520, 1.4521 oraz 1.4589. Podczas gdy **stale martenzytyczne** z niewielkimi zawartościami węgla nadają się warunkowo do spawania, to takich stali z wyższymi zawartościami węgla nie spawa się.

Zarówno dla stali ferrytycznych jak i dla stali martenzytycznych zalecane są austenityczne dodatki spawalnicze (DIN 85 56) przy spawaniu połączeniowym. Z uwagi na odporność na korozję może być celowym pospawanie warstwy wierzchniej tym samym materiałem.

Austenityczne stale odporne na korozję dają się spawać łatwiej aniżeli stale ferrytyczne, lecz trzeba tu również uwzględnić niektóre osobliwości:

- współczynnik rozszerzalności cieplnej jest o ok. 50 % wyższy, co sprzyja powstawaniu odkształceń i naprężeń szczątkowych.
- przewodność cieplna jest niższa o ok.

60 % i w wyniku tego ciepło koncentruje się w strefie spawania. Można je skutecznie odprowadzać przy pomocy podkładek miedzianych.

Stale austenityczne, z uwagi na wymaganie równie dobrej odporności na korozję materiału podstawowego i stopiwa, są spajane dodatkami spawalniczymi tej samej jakości lub wysokostopowymi. Ich skład chemiczny jest tak dobrany, że są one także zabezpieczone przed tworzeniem się pęknięć na gorąco podczas spawania. Gatunki stabilizowane tytanem lub niobem oraz stale z obniżoną zawartością węgla w stanie spawanym bez następczej obróbki cieplnej, są odporne na korozję międzykrystaliczną (patrz rozdział 4.2). Jeśli grubość blachy wynosi ponad 5 mm, to należy ograniczyć węgiel do wartości poniżej 0,03 %.

Spawalność stali austenityczno-ferrytycznych (Duplex) z materiałem dodatkowym jest wyznaczana głównie przez własności strefy oddziaływania ciepła. Z tego względu należy zastosować odpowiednią technikę spawania. Do spawania zaleca się materiał dodatkowy z podwyższoną zawartością niklu.

Zabarwień nalotowych należy albo unikać (formowanie) albo też usuwać je starannie po spawaniu mechanicznie lub chemicznie, aby zapewnić odporność spoiny na korozję.

6 Podatność na przeróbkę plastyczną

6 Podatność na przeróbkę plastyczną

Stale odporne na korozję charakteryzują się z reguły dobrą plastycznością, dzięki czemu znajdują różnorodne zastosowanie. Szczególne znaczenie mają wyroby płaskie ze stali odpornych na korozję, które uzyskują swoją wartość użytkową w wielu przypadkach dopiero w wyniku następnego procesu przekształcenia plastycznego.

Do najważniejszych metod przekształcania wyrobów płaskich zalicza się **głębokie tłoczenie**.

W zależności od występującego stanu naprężenia rozróżnia się "prawdziwe" głębokie tłoczenie (np. głębokie tłoczenie miseczkowe) i obciążanie. Przy "prawdziwym" głębokim tłoczeniu możliwe jest spływanie wykroju poprzez pierścień ciągnadła, podczas gdy przy obciążaniu wykroj jest trzymany sztywno przez dociskacz i spływanie nie jest możliwe. Odształcenie w tym przypadku następuje wyłącznie kosztem grubości blachy. Wiele wykonanych plastycznie elementów, szczególnie tych o skomplikowanej geometrii stanowi kombinację "prawdziwego" głębokiego tłoczenia i obciążania.

Ponadto często stosowaną metodą przekształcania plastycznego wyrobów płaskich jest wyginanie. Może ono być przeprowadzane albo na prasie krawędziowej w tłoczniku albo też za pomocą profilowania rolkowego w klatkach walcowniczych. Przykładem tego ostatniego jest profilowanie na zimno i wytwarzanie rur wzdłużnie spawanych.

W przypadku wyrobów długich ze stali odpornych na korozję stosuje się w pierwszym rzędzie

objętościową obróbkę plastyczną na zimno. Należy do tego wyciskanie na zimno oraz spęczanie na zimno. Jako dalszą metodę obróbki plastycznej stosuje się przeciąganie. Ma ono na celu doprowadzenie wyrobu do pożądanego wymiaru (np. średnica drutu). W wielu przypadkach jest jednak wymagane związane z odkształceniem umocnienie przez zgniot. Typowymi przykładami są przeciąganie drutu sprężynowego jak również przeciąganie rur przy produkcji rur precyzyjnych.

Ferrytyczne stale odporne na korozję zachowują się względem wymaganych sił odkształcających w przybliżeniu tak, jak stale niestopowe. W porównaniu jednak z niestopowymi stalami głęboko tłoczonymi są one ograniczone w swojej odkształcalności, ponieważ w ramach pożądanых własności najwyższy priorytet ma odporność na korozję, a nie podatność na przeróbkę plastyczną.

Przy głębokim tłoczeniu miseczkowym ferrytyczne stale odporne na korozję osiągają, dzięki ich dobrym właściwościom płynięcia, wysoki graniczny stosunek średnicy wykroju do średnicy stempla ($\hat{\alpha}_{max} > 2,0$). Przy obciążeniu w procesie obciążania stale te są za to podatne na odkształcenia plastyczne tylko w ograniczonym stopniu. Mimo tego ograniczenia stale ferrytyczne stosuje się w wielu dziedzinach. Popularnymi elementami tłoczonymi są na przykład pokrycia i okładziny w architekturze, wytłoczki zlewozmywaków, wyroby płaskie, listwy ozdobne samochodów, połówki obudów katalizatorów jak również rury wzdłużnie spawane.

Austenityczne stale odporne na korozję w porównaniu ze stalami niestopowymi i ferrytycznymi stalami odpornymi na korozję

wykazują dużo większe umocnienie przez zgniot. Skutkiem tego jest wyraźnie wyższe zapotrzebowanie siły przy odkształcaniu plastycznym. Typowe materiały austenityczne zmieniają się podczas przeróbki plastycznej częściowo w martenzyt. Ta przemiana martenzytyczna ma niekorzystny skutek jednakże tylko przy wielostopniowym odkształcaniu plastycznym. Jeśli to konieczne, to może być ona znów usunięta przez wyżarzanie międzyoperacyjne.

Przy głębokim tłoczeniu miseczkowym auste-

nityczne stale odporne na korozję osiągną w przybliżeniu taki sam graniczny stosunek średnicy wykroju do średnicy stempla jak ferrytyczne stale odporne na korozję.

Wyraźnie korzystniejszą podatność plastyczną wykazują za to austenity przy naprężeniu w procesie obciągania. Z tego względu skomplikowane części tłoczone wytwarzane są przede wszystkim z austenitycznych stali odpornych na korozję. Przykładem tego są wewnętrzne drzwiczki i dna zmywarek do naczyń, zlewozmywaki, rury itp.

7 Skrawalność

Przy skrawaniu stali odpornych na korozję szczególnie stale austenityczne uważane są za trudne w obróbce. Na skrawalność tych stali mają niekorzystny wpływ wysoka skłonność do umacniania się przez zgniot, niska przewodność cieplna i dobra ciągliwość. Najważniejszym pierwiastkiem przyczyniającym się do poprawienia skrawalności jest siarka.

Stale odporne na korozję przewidziane do obróbki skrawaniem można podzielić tak, jak

w krótkich, łamliwych wiórach, gładzyszych powierzchniach obrabianych przedmiotów i w mniejszym zużyciu narzędzi (rys.7).

Przy stalach automatowych należy zwrócić uwagę na pewne pogorszenie się odporności na korozję. Stale drugiej grupy zawierają dodatek siarki od 0,015 do 0,030 % i znajdują się tym samym jeszcze poniżej wartości granicznych określonych normami. Przez ustalenie określonej wielkości, ilości i rozmieszczenia siarczków na przekroju materiału,

Oznaczenie stali		Zawartość siarki w %
Znak	Numer	
Stale automatowe		
X14CrNoS17	1.4104	0,15 do 0,35
X6CrMoS17	1.4105	
X8CrNiS18-9	1.4305	
Stale z ulepszoną skrawalnością ¹⁾		
X5CrNi18-10	1.4301	0,015 do 0,030
X2CrNi19-11	1.4306	
X2CrNi18-9	1.4307	
X6CrNiTi18-10	1.4541	
X5CrNiMo17-12-2	1.4401	
X2CrNiMo17-12-2	1.4404	
X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571	
¹⁾ wybór typowych stali		

Tablica 7: podział stali odpornych na korozję na grupy skrawalności

to przedstawia *tablica 7*, na dwie grupy. Ponadto istnieją specjalne stale automatowe do specyficznych zastosowań.

Stale automatowe zawierają z reguły 0,15 do 0,35 % S.

Siarka tworzy w połączeniu z manganem siarczki manganu, którego pozytywne oddziaływanie na skrawalność znajduje potwierdzenie

Rys. 7: Przykłady ukształtowania wiórów przy różnych zawartościach siarki



8 Wykończenia powierzchni

osiągane są - w porównaniu ze standardowymi stalami o wyraźnie niższych zawartościach siarki - dużo wyższe szybkości skrawania i ponad 100 % dłuższe okresy trwałości narzędzi. W porównaniu do klasycznych stali automatowych wartości te są jednak niższe.

8 Wykończenia powierzchni

Metalicznie czysta powierzchnia jest podstawowym warunkiem dobrej odporności na korozję omawianych stali. Powierzchnie pokryte zgorzeliną należy doprowadzić do takiego stanu najpierw przez śrutowanie, szlifowanie, szczotkowanie lub/ i wytrawianie.

W EN 10088 część 2 oraz 3 są podane w odnośnych tablicach rodzaje wykonania i stany powierzchni wyrobów ze stali odpornych na korozję. Zestawienie i porównanie z poprzednimi określeniami DIN podano w *Tablicy 8*.

Błyszcząco gładką powierzchnię stanu 2R (IIIId) wykonuje się przeważnie dla blach i taśm do grubości maksymalnej 3,5 mm oraz dla wyrobów ciągarni. Takie wykonanie jest z reguły mniej przydatne dla wyrobów o wielkiej powierzchni (zniekształcenia refleksu). Tu należy preferować **jedwabście matowy stan 2B o rozproszonym połysku**, który z uwagi na subtelną postać powierzchni jest bardziej przydatny do głębokiego tłoczenia aniżeli 2R.

W przypadku **stanu szlifowanego G** samo określenie szlif, np. "ziarno 180" jest czasem nie wystarczające. Bardziej celową jest dostawa po uprzednim uzgodnieniu wzoru. Szlif mokry daje ogólnie powierzchnię błyszczącą

i przy tym mniej podatną na zabrudzenia niż szlif suchy.

Stan polerowany P wykonywany jest przeważnie poza hutą, w następnym etapie u wtórnego przetwórcy. Obok polerowania mechanicznego stosuje się polerowanie elektrolityczne (elektropolerowanie). W ten sposób uzyskane bardzo błyszczące powierzchnie mogą - przy zwykle różnorodnych sprawdzonych zastosowaniach - powodować przy wielkich powierzchniach nieznaczne zniekształcenia refleksu (odbicia).

Przy **metodzie polispektralnej**, w wyniku obróbki elektrochemicznej tworzą się na powierzchni przezroczyste warstewki o grubości do 0,3 cm, w których powstają dzięki interferencji światła efekty barwne - w zależności od grubości warstewki - niebieskie, złote, czerwone do zielonego. Barwy te są nieczułe na promieniowanie ultrafioletowe, całkowicie odporne na działanie światła i bardzo wytrzymałe na działanie czynników atmosferycznych. Przy wyższych temperaturach, jakie powstają przy lutowaniu lub spawaniu, warstwa ta ulega miejscowemu zniszczeniu.

Szczególnie interesującym ukształtowaniem powierzchni stali odpornych na korozję jest **deseniowanie i walcowanie wzorków**: Taśmy zimno walcowane uzyskują dzięki dodatkowemu przewalcowaniu jedno- lub obustronnie wytłoczone wzory. Przy tych blachach można osiągnąć ciekawe efekty.

Powierzchnie odbijają światło w mniejszym stopniu i są odporne na zadrapania. Plamy i odciski palców nie są widoczne optycznie.

	EN 10088 Oznac. skrótove. ¹⁾	Rodzaj wykonania ²⁾	Wygląd powierzchni ²⁾	Postać wyrobu ³⁾			
				F	W	St P	H
Gorąco walcowane względnie gorąco formowane	1U	Gorąco formowane, bez obróbki cieplnej, usuwania zgorzeliny bez	Zgorzelina walcownicza	X	X	X	X
	1C	Gorąco formowane, z obróbką cieplną, usuwania zgorzeliny bez	Zgorzelina walcownicza	X	X	X	X
	1E	Gorąco formowane, z obróbką cieplną, zgorzelina usunięta mechanicznie	Wolna od zgorzeliny	X	X	X	X
	1D	Gorąco formowane, z obróbką cieplną trawione	Wolna od zgorzeliny	X	X	X	
	1X	Gorąco formowane, z obróbką cieplną, wstępnie obrobione (złuszczone lub wstępnie obtozone)	Metalicznie czyste			X	
Zimno walcowane względnie dalej przerobione na zimno	2H	Umocnione przez zgniot	Gładka, jasna	X		X	
	2C	Zimno walcowane, z obróbką cieplną, bez usuwania zgorzeliny	Gładka ze zgorzel. z obróbki cieplnej	X			
	2E	Zimno walcowane, z obróbką cieplną, mechan. usunięta zgorzelina	Szorstka, tępa	X			
	2D	Dalej przerobione na zimno, z obróbką cieplną, trawione	Gładka	X		X	
	2B	Obrobione cieplnie, obrobione (złuszczone), mechan. wygładzone	Bardziej gładka niz 2D			X	
	2B	Zimno walcowane, z obróbką cieplną, trawione, dodatkowo zimno walcowane	Bardziej gładka niz 2D	X			
	2R	Zimno walcowane, wyżarzone beznalotowo	Odbijająca światło, błyszcząca	X			
	2Q	Zimno walcowane, zahartowane, odpuszczone, wolne od zgorzeliny	Wolna od zgorzeliny	X			
Wykonania specjalne względnie szczególnie obróbki końcowe	1G lub 2G	Szlifowane		X		X	
	1J lub 2J	Szczotkowane lub polerowane na matowo		X			
	1K lub 2K	Polerowane na jedwabisty mat		X			
	1P lub 2P	Polerowane, polerowane na jasno		X		X	
	2F	Zimno walcowane, z obróbką cieplną, wtórnie zimno walcowane szorstkimi walcami	Matowa	X		X	
	1M lub 2M	Pokryte wzorem		X			
	2W	Pofalowane		X			
	2L	Zabarwione		X			
	1S lub 2S	Z powłoką na powierzchni		X			

¹⁾ pierwsze miejsce 1 = gorąco walcowane wzgl. gorąco formowane; 2 = zimno walcowane wzgl. dalej przerabiane na zimno
²⁾ dokładna definicja i warunki brzegowe patrz EN 10088 część 2 oraz 3
³⁾ F = wyroby płaskie; W = walcówka; St = pręty; P = profile; H = półwyroby

Tablica 8: Porównanie rodzajów wykonań i jakości stali odpornych na korozję według normy EN 10088 część 2 i 3 oraz DIN 17440/41

9 Własności fizyczne

9 Własności fizyczne

Własności fizyczne niektórych wybranych gatunków stali zestawiono w *Tablicy 9*. Zwraca się uwagę na wyższą rozszerzalność cieplną i niższą przewodność cieplną stali austenitycznych. Ich oporność elektryczna jest wyższa niż w stalach niestopowych z uwagi na zawartość składników stopowych.

Wyróżniającą cechą charakterystyczną pomiędzy chromowymi stalami ferrytycznymi/martenzytycznymi a chromo-niklowymi stalami austenitycznymi jest magnesowalność. W przeciwieństwie do magnesowalnych stali chromowych, stale austenityczne wykazują w dużej mierze niemagnetyczne zachowanie się w stanie po wyżarzeniu rozpuszczającym.

Przeróbka plastyczna na zimno może prowadzić w przypadku stali austenitycznych do zmian struktury (wytworzenie się martenzytu odkształceniowego) tak, że potem występuje ograniczona magnesowalność. Zawartość nik-

lu ma jednak istotny wpływ na magnesowalność austenitycznych stali odpornych na korozję tak, że przy wyższych zawartościach niklu można w dużym stopniu zapobiec skłonności do magnetyzacji również w stanie po obróbce plastycznej na zimno. Nie magnesowalne stale o wartościach przenikalności maksym. 1,001 są również do dyspozycji.

Oznaczenie stali		Gęstość kg/dm ³	Moduł sprężyst. podłużnej przy 20°C kN/mm ²	Rozszerzalność cieplna pomiędzy 20°C a:		Przewodność cieplna przy 20°C W/(m x K)	Pojemność cieplna właściwa przy 20°C J/(kg x K)	Opór Elektryczny przy 20°C Ω x mm ² /m
Znak	Numer			100° 10 ⁻⁶ x K ⁻¹	400°			
X6Cr17	1.4016	7,7	220	10,0	10,5	25	460	0,60
X2CrNi12	1.4003	7,7	220	10,4	11,6	25	430	0,60
X5CrNi18-10	1.4301	7,9	200	16,0	17,5	15	500	0,73
X6CrNiTi18-10	1.4541	7,9	200	16,0	17,5	15	500	0,73
X5CrNiMo17-12-2	1.4401	8,0	200	16,0	17,5	15	500	0,75
X6CrNiMoTi17-12-2	1.4571	8,0	200	16,5	18,5	15	500	0,75
X2CrNiMoN22-5-3	1.4462	7,8	200	13,0	-	15	500	0,80

Tablica 9: Orientacyjne dane o własnościach fizycznych niektórych stali według EN 10088 część 1

10 Normalizacja

10 Normalizacja

Norma EN 10088 "Stale odporne na korozję" zastąpiła w dużej mierze normy dotychczasowe. Norma EN 10088 dzieli się na:

- Część 1: stale odporne na korozję - gatunki,
 Część 2: techniczne warunki dostawy dla blachy i taśmy ogólnego przeznaczenia,
 Część 3: techniczne warunki dostawy dla półwyrobów, prętów, walcówki i kształtowników ogólnego przeznaczenia.

W **części 1** podany jest skład chemiczny obecnych 83 europejskich gatunków stali odpornych na korozję. Należą do nich:

- 20 stali ferrytycznych,
- 20 stali martenzytycznych i umacnianych wydzieleniowo,
- 37 stali austenitycznych,
- 6 stali austenityczno-ferrytycznych.

Tym samym została ujęta cała paleta stali odpornych na korozję, rozpoczynając od stali o podwyższonej odporności na korozję o zaw. min. 10,5 % Cr, aż do najwyższych stopowych gatunków, graniczących już ze stopami niklu. Ustalone w EN 10088 składy chemiczne stali obowiązują także dla wszystkich innych norm EN oraz CEN dla stali odpornych na korozję lub je obejmujących.

Odchylenia są dopuszczalne tylko w uzasadnionych przypadkach. Jest to ważne, aby zapobiec niepotrzebnej różnorodności gatunków. Część 1 zawiera ponadto orientacyjne dane o fizycznych własnościach stali jak również

wskazówki dla podziału gatunków i ustalenia pojęć.

W normach wyrobów (części 2 i 3) wprowadzono zróżnicowanie - z punktu widzenia rozporządzalności - na gatunki standardowe i specjalne.

Całkowicie nowy jest system oznakowania **rodzaju wykonania, względnie wyglądu powierzchni** (patrz *Tablica 8*). System alfanumeryczny obowiązuje w równej mierze dla wyrobów płaskich oraz długich. Wszystkie wyroby wykonane na gorąco są oznakowane **1** (jedyńką), a wszystkie wyroby wykonane na zimno: **2** (dwójką). Do tego dochodzą litery rozpoznawcze dla każdego rodzaju wykonania względnie wyglądu powierzchni. Ujęte są również wykonania specjalne jak: szlifowane (G), szczotkowane (J), polerowane na jedwabisty mat (K), polerowane na jasno (P). Celem uniknięcia podawania mylnych danych każdy sprzedający i kupujący winien się zaznajomić z tym nowym systemem.

Dla lepszego wykorzystania wytrzymałości związanej z danym wyrobem w tej ilościowo najważniejszej grupie wyrobów, w **części 2** przy mechaniczno-technologicznych własnościach wyrobów płaskich, po raz pierwszy zróżnicowano najważniejszą własność: umowną granicę plastyczności osobno dla taśmy zimno walcowanej (≤ 6 mm), taśmy gorąco walcowanej (≤ 12 mm) oraz blachy gorąco walcowanej (≤ 75 mm).

W **części 3** zostały opisane własności mechaniczno-technologiczne wyrobów długich. Nowy system oznakowania wyglądu powierzchni (patrz *Tablica 8*) obowiązuje również dla wyrobów długich. Dla niektórych rodzajów wy-

konania podane są wskazówki informujące do wyglądu powierzchni dla gorąco walcowanej stali prętowej i walcówki należy w danym przypadku uzgadniać według EN 10221 - Klasy Jakości Powierzchni.

co do mającej być przypisanej klasy tolerancji IT (częściowo zakresy IT), które jednakże stają się wiążące dopiero wtedy, gdy zostaną uzgodnione przy zamawianiu. Wymagania co

Wyrób	Zakres obowiązywania	EN	(Przewidyw.) zakres obowiązywania
Taśma zimno- i gorąco walcowana, blacha gorąco walcowana	Ogólne zastosowanie	EN 10088-2	1995 - 08
Półwyroby, pręty, walcówka, profile	Ogólne zastosowanie	EN 10088-3	1995 - 08
Taśma zimno- i gorąco walcowana, blacha gorąco walcowana	Zbiorniki ciśnieniowe	EN 10088-7	2000 -03
Pręty	Zbiorniki ciśnieniowe	EN 10272	2000 - 03
Rury i złączki rurowe	Transport wodnistrych cieczy, łączn. z wodą pitną	Pr EN 10392	pr en 1999 - 1
Rury bez szwu	Zbiorniki ciśnieniowe	EN 10216-5	
Rury spawane	Zbiorniki ciśnieniowe	EN 10217-7	
Odkuwki	Ogólne zastosowania	EN 10250-4	2000 - 02
Odkuwki	Zbiorniki ciśnieniowe	EN 10222-5	2000 - 02
Walcówka, pręty	Złączki do spęczania na zimno i wyciskania na zimno	EN 10269 EN 10263-5	1999 - 11 Pr EN
Drut	Pprężyny Drut na liny	Pr EN 10270-3 EN 10264-4	Pr EN 1996 - 01 Pr EN 1995 - 10
Zimno- i gorąco walcowana taśma, gorąco walcowana blacha półwyroby, pręty, walcówka, profile	Żaroodporne stale i stopy	EN 10095	1999 - 07
Staliwo nierdzewne	Ogólne zastosowanie	EN 10283	1998 - 12
Staliwo nierdzewne	Zbiorniki ciśnieniowe	EN 10213-4	1996 - 01

Tablica 10: Przegląd nowych norm EN na wyroby ze stali odpornych na korozję

ISBN 2-87997-083-0