Stale kwasoodporne

Zestawienie gatunków

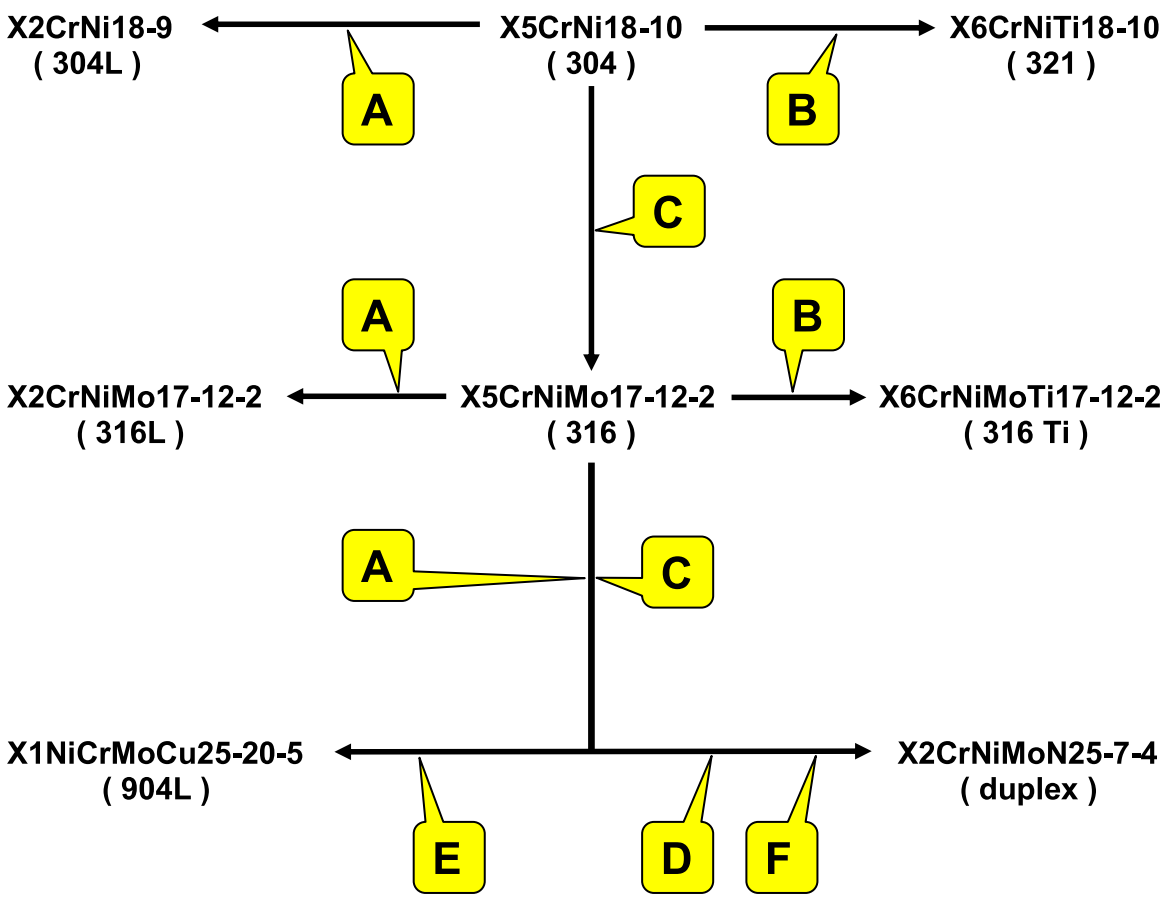
Stale kwasoodporne		Nr	EN	AISI / ASTM
austenityczne	typ Cr - Ni	1.4301	X5CrNi18-10	304
		1.4307	X2CrNi18-9	304L
		1.4306	X2CrNi19-11	304L
		1.4541	X6CrNiTi18-10	321
	typ Cr - Ni - Mo	1.4401	X5CrNiMo17-12-2	316
		1.4404	X2CrNiMo17-12-2	316L
		1.4435	X2CrNiMo18-14-3	316L
		1.4571	X6CrNiMoTi17-12-2	316Ti
	super-austenityczne	1.4539	X1NiCrMoCu25-20-5	904L
ferrytyczno-austenityczne	Duplex	1.4460	X3CrNiMoN27-5-2	
		1.4462	X2CrNiMoN22-5-3	
	Super Duplex	1.4410	X2CrNiMoN25-7-4	
		1.4501	X2CrNiMoCuWN25-7-4	

Własności mechaniczne w temperaturze pokojowej stali austenitycznych i ferrytyczno-austenitycznych, w stanie przesyconym (+AT), stosowanych na rury i kształtki ciśnieniowe.

Stal kwasoodporna	$Rp_{0,2}$	Rm	A_5 [%]		udarność KV [J]				HB max
	MPa	MPa	l	t	l	t	temp.	t	
304 (1.4301)	195	500	40	35	100	60	- 196°C	60	200
304L (1.4307, 1.4306)	180	460							
321 (1.4541)			35	30					210
316 (1.4401)	205	510	40	30					200
316L (1.4404, 1.4435)	190	490							
316Ti (1.4571)			35	30					210
904L (1.4539)	220	520	35	30	120	90			220
Duplex 1.4462	450	640	25	20	120	90	- 40°C	40	290
Super Duplex	550	800	20	20	100	100			310
dla porównania									
stal węglowa P235TR2	*235*	*360*	*25*	*23*	*40*	*27*	-	-	*150*

$Rp_{0,2}$ - umowna granica plastyczności (naprężenie powodujące trwałe wydłużenie 0,2%)
Rm - wytrzymałość na rozciąganie
A_5 - wydłużenie względne przy zerwaniu
KV - praca łamania, **l** - próbka wzdłużna, **t** - próbka poprzeczna
HB - twardość Brinella

Kierunki rozwoju stali austenitycznych



kierunek	zmiana	cel
A	zmniejszenie stężenia **C**	większa odporność na korozję międzykrystaliczną
B	dodatek **Ti**	
C	dodatek **Mo**	większa odporność na korozję wżerową i szczelinową
D	dodatek **N**	
E	zwiększenie stężenia **Ni**	większa odporność na korozję naprężeniową
F	zwiększenie stężenia **Cr** zmniejszenie stężenia **Ni**	większa wytrzymałość

Odporność na korozję

Odporność na korozję ogólną

Korozja ogólna polega na równomiernym zaatakowaniu całej powierzchni stali przez korozję.
Szybkość korozji zależy od rodzaju medium, jego stężenia i temperatury.
Odporność stali na korozję ogólną podawana jest dla danego medium
w funkcji jego stężenia i temperatury, w formie:
- tablicy, zawierającej wskaźniki szybkości ubytku grubości [mm / rok] lub
- krzywych izokorozyjnych dla szybkości korozji 0,1 mm / rok

Przykłady:

Tablica odporności na korozję ogólną dla kwasu fosforowego H_3PO_4

stężenie	temperatura	1.4307 304L	1.4404 316L	1.4539 904L
0 – 20 %	20 – 100 °C	●	●	●
	wrz. 102 °C	●	●	●
40 %	20 – 90 °C	●	●	●
	100 °C	▲	●	●
	wrz. 106 °C	▬	▲	▲
60 %	20 – 80 °C	●	●	●
	90 °C	▲	●	●
	100 °C	▬	▲	●
	wrz. 116 °C	▬	▬	▲
80 %	20 – 70 °C	●	●	●
	80 °C	▲	●	●
	90 °C	▬	▲	●
	100 °C	▬	▲	▲
	wrz. 146 °C	▬	▬	▬

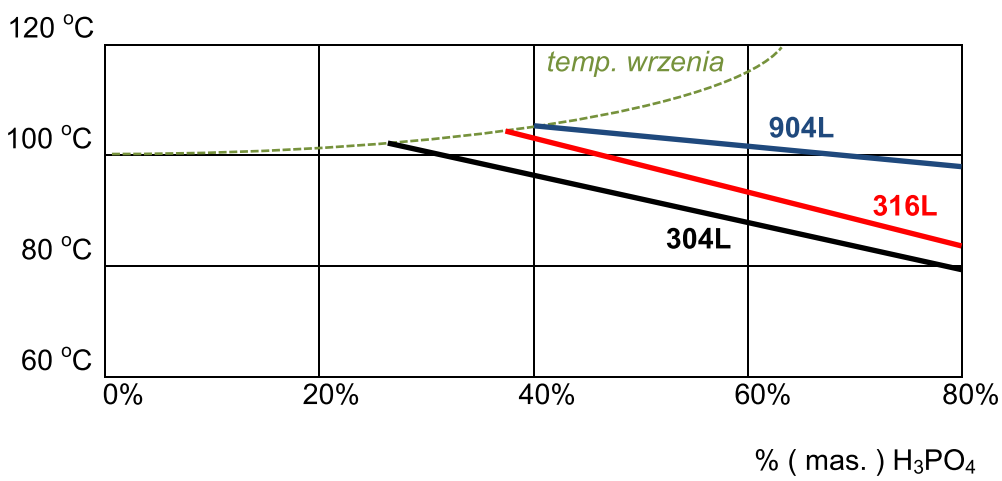
Szybkość ubytku grubości
Odporność korozyjna

● < 0,1 mm / rok
Całkowita odporność

▲ 0,1 – 1,0 mm / rok
Częściowa odporność

▬ > 1,0 mm / rok
Brak odporności

Krzywe izokorozyjne dla kwasu H_3PO_4 przy szybkości korozji 0,1 mm / rok



Odporność na korozję międzykrystaliczną

Korozja międzykrystaliczna przebiega po granicach ziaren stali, zubożonych w chrom, na skutek wydzielania się węglików chromu $Cr_{23}C_6$ w stanie uczulenia tj. oddziaływania temperatury 500 – 800 °C

Stal kwasoodporna			Odporność na korozję międzykrystaliczną		
Nr	EN	AISI / ASTM	Stan uczulenia	Odporność w stanie dostawy	Temp. badania
1.4301	X5CrNi18-10	304	**Nie**	A	300 °C
1.4307	X2CrNi18-9	304L	Tak		350 °C
1.4306	X2CrNi19-11	304L	Tak		
1.4541	X6CrNiTi18-10	321	Tak		400 °C
1.4401	X5CrNiMo17-12-2	316	**Nie**		300 °C
1.4404	X2CrNiMo17-12-2	316L	Tak		400 °C
1.4435	X2CrNiMo18-14-3	316L	Tak		
1.4571	X6CrNiMoTi17-12-2	316Ti	Tak		
1.4539	X1NiCrMoCu25-20-5	904L	Tak	C	
1.4462	X2CrNiMoN22-5-3		Tak	B	250 °C
1.4410	X2CrNiMoN25-7-4		Tak	B *lub* C	
1.4501	X2CrNiMoCuWN25-7-4		Tak	B *lub* C	

Metody badania wg EN ISO 3651-2:
A - badanie w 16% kwasie siarkowym + siarczanie miedzi
B - badanie w 35% kwasie siarkowym + siarczanie miedzi
C - badanie w 40% kwasie siarkowym + siarczanie żelaza

Temp. badania - do tej temperatury badana stal w okresie do 100 000 h, nie wykazuje podatności na korozję międzykrystaliczną

Odporność na korozję naprężeniową

Korozja naprężeniowa jest spowodowana jednocześnie przez czynniki: podatność stali na typ korozji, występujące w stali naprężenie rozciągające, obecność chlorków, temperatura > 60°C.

Stal kwasoodporna	Odporność na korozję naprężeniową
austenityczna typ Cr - Ni	**Nie**
austenityczna typ Cr - Ni - Mo	**Nie**
904L (1.4539)	Tak
Duplex	Tak
Super Duplex	Tak

Odporność na korozję szczelinową

Korozja szczelinowa występuje na skutek silnego wzrostu pH medium w szczelinach konstrukcyjnych (połączenie kołnierzowe, nie w pełni przetopiona spoina czołowa).

Stal kwasoodporna	pH depasywacji
austenityczna typ Cr - Ni	2,1
austenityczna typ Cr - Ni - Mo	1,8
904L (1.4539)	1,2
Duplex 1.4462	1

Odporność na korozję wżerową

Korozja wżerowa jest to punktowa korozja w miejscach uszkodzenia warstwy pasywnej (na zarysowaniach, krawędziach, wgnieceniach), wywołana obecnością jonów chloru. Jej intensywność zależy od stężenia jonów Cl^- i temperatury.

Stal kwasoodporna			PREN	CTP [°C]
Nr	EN	AISI / ASTM		
1.4301	X5CrNi18-10	304	18	< 10
1.4307	X2CrNi18-9	304L		
1.4306	X2CrNi19-11	304L		
1.4541	X6CrNiTi18-10	321		
1.4401	X5CrNiMo17-12-2	316	24	18
1.4404	X2CrNiMo17-12-2	316L		
1.4435	X2CrNiMo18-14-3	316L		
1.4571	X6CrNiMoTi17-12-2	316Ti		
1.4539	X1NiCrMoCu25-20-5	904L	36	59

PREN - równoważnik odporności na korozję wżerową
PREN = % Cr + 3,3 % Mo + 16 % N

CTP - minimalna temperatura powstawania wżerów wg normy ASTM G150

Ogólne wytyczne doboru stali nierdzewnych austenitycznych do kategorii korozyjności atmosfery wg EN ISO 9223

Stal			Kategoria korozyjności atmosfery				
Nr	EN	AISI	C1	C2	C3	C4	C5
1.4301	X5CrNi18-10	304	●	●	▲	▬	▬
1.4307	X2CrNi18-9	304L	●	●	▲	▬	▬
1.4306	X2CrNi19-11	304L	●	●	▲	▬	▬
1.4541	X6CrNiTi18-10	321	●	●	▲	▬	▬
1.4401	X5CrNiMo17-12-2	316	●	●	●	●	▬
1.4404	X2CrNiMo17-12-2	316L	●	●	●	●	●
1.4571	X6CrNiMoTi17-12-2	316Ti	●	●	●	●	●
1.4539	X1NiCrMoCu25-20-5	904L	●	●	●	●	●

● całkowita odporność na korozję

▲ odporność pod warunkiem, że atmosfera jest o małej wilgotności

▬ brak odporności korozyjnej

Klasy odporności korozyjnej gatunków CRC dla konstrukcji ze stali nierdzewnych wg EN 1993-1-4 (Eurokod 3 część 1-4)

Klasa CRC	II	III	IV	V
Stal	304 304L 321	316 316L 316Ti	904L duplex	super duplex