

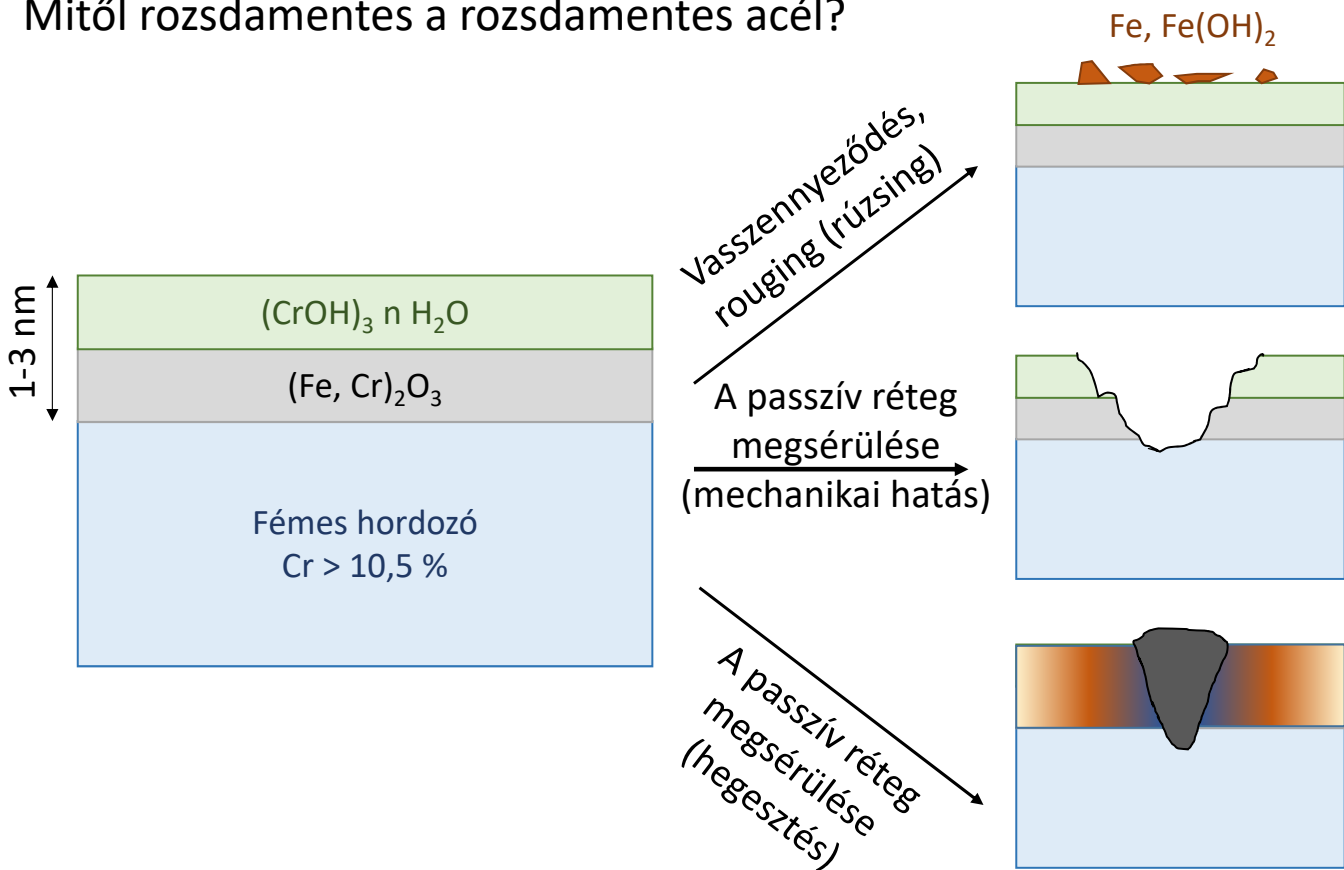
Rozsdamentes acélok hegeszthetősége I.

Hegeszthetőség – Dobránszky János és Varbai Balázs nyomán
BMEGEMTNG02



Cloud Gate, Chicago, Il
2017

Mitől rozsdamentes a rozsdamentes acél?



3

MAGYAR SZABVÁNY

MSZ EN 10020

Acélminőségek fogalommeghatározásai és csoportosítása

A **korrózióálló** acélok azok az acélminőségek, amelyeknek legalább 10,5% a krómtartalma és legfeljebb 1,2% a korbontartalma.

A korrózióálló acélok a 3.2.2. szakasz szerint a vegyi összetételük alapján vannak meghatározva. Ezek a továbbiakban a következő szempontok szerinti alcsoportokra vannak felosztva:

- a **nikkeltartalom** szerint:
- a nikkeltartalom kevesebb, mint 2,5%;
- a nikkeltartalom legalább 2,5%.
- a fő tulajdonságok szerint:
- **korrózióálló**;
- hőálló;
- kúszásálló.

4

MAGYAR SZABVÁNY

MSZ EN 10088-1

Rozsdamentes acélok

1. rész: A rozsdamentes acélok jegyzéke

Az MSZ EN 10088-1:2015 helyett.

Az MSZ EN 10088-1 szabvány 2024. június 1-jén közzétett angol nyelvű változatának 2025. március 1-jén meghirdetett magyar nyelvű változata.

3.1. Stainless steels.
Part 1: List of stainless steels

rozsdamentes acélok (stainless steels)

A legalább 10,5% krómot és legfeljebb 1,20% korbont tartalmazó acélok.

tétel

A rozsdamentes acélok vegyi összetételét a következő táblázatok tartalmazzák:

- 2. táblázat: auszteniites korrózióálló acélok;
- 3. táblázat: auszteniites-ferrites korrózióálló acélok;
- 4. táblázat: ferrites korrózióálló acélok;
- 5. táblázat: martenzites és kiválásosan keményedő korrózióálló acélok;
- 6. táblázat: auszteniites és auszteniites-ferrites hőálló acélok;
- 7. táblázat: ferrites hőálló acélok;
- 8. táblázat: auszteniites kúszásálló acélok;
- 9. táblázat: martenzites kúszásálló acélok.

MSZ CEN ISO/TR 15608:2021 Hegesztés. A fémek csoportosítási rendszerének irányelvei (ISO/TR 15608:2017)

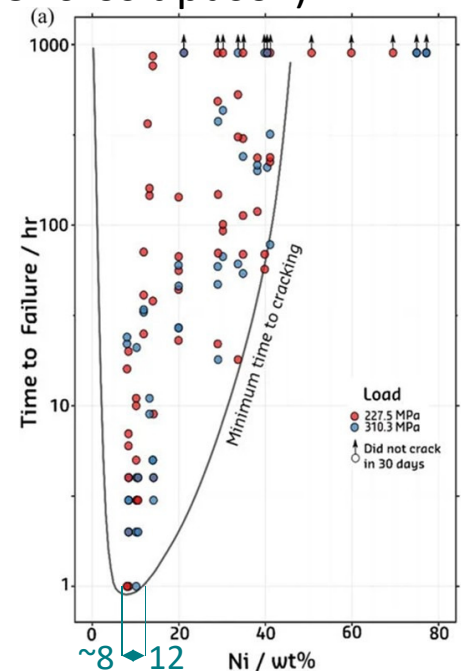
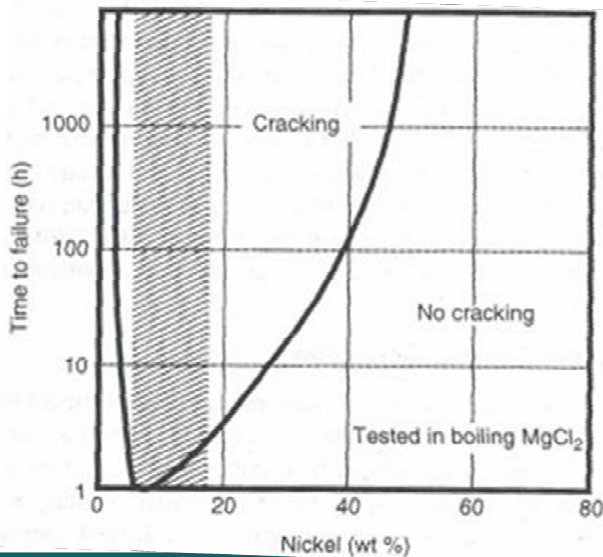
7.		Ferrites, martenzites vagy kiválásosan keményített rozsdamentes acélok, amelyek vegyi összetételében $C \leq 0,35\%$ és $10,5\% \leq Cr \leq 30\%$
	7.1.	Ferrites rozsdamentes acélok
	7.2.	Martenzites rozsdamentes acélok
	7.3.	Kiválásosan keményített rozsdamentes acélok
8.		Auszteniites rozsdamentes acélok, $Ni \leq 35\%$
	8.1.	Auszteniites rozsdamentes acélok, amelyek vegyi összetételében $Cr \leq 19\%$
	8.2.	Auszteniites rozsdamentes acélok, amelyek vegyi összetételében $Cr > 19\%$
	8.3.	Mangánötvözésű, auszteniites rozsdamentes acélok, amelyek vegyi összetételében $4\% < Mn \leq 12\%$
10.		Auszteniites-ferrites (duplex) rozsdamentes acélok
	10.1.	Auszteniites-ferrites rozsdamentes acélok, amelyek vegyi összetételében $Cr \leq 24\%$ és $Ni > 4\%$
	10.2.	Auszteniites-ferrites rozsdamentes acélok, amelyek vegyi összetételében $Cr > 24\%$ és $Ni > 4\%$
	10.3.	Auszteniites-ferrites rozsdamentes acélok, amelyek vegyi összetételében $Ni \leq 4\%$

Összesen **182 193 db** szabványos rozsdamentes acél anyagminőség (**2015 2024**)!

	Korrózióálló	Hőálló	Kúszásálló
Ferrites	28 32	6 6	---
Martenzites	25 27	---	8 8
Kiv. kem.	7 7	---	---
Ausztenites	59 61	13 15	21 21
Duplex	13 16	2 -0-	---

Az ötvözők hatásai

A forrásban lévő, 42%-os magnézium-klorid oldatban végzett vizsgálat egy klasszikus feszültségkorróziós repedésvizsgálat (SCC - Stress Corrosion Cracking). Ezt az eljárást elsősorban ausztenites rozsdamentes acélok (például a 304-es vagy 316-os típusok) érzékenységének mérésére használják kloridos környezetben.



https://www.researchgate.net/publication/370970965_Revisiting_the_Copson_Curve_Using_Data_Science

9

Króm

- Alapötvöző (MSZ EN 10020:2001 és MSZ EN 10088-1:2015 szerint legalább 10,5 %)
- Ferritképző (> 12 % Cr tisztán ferrites)
- Karbidképző ($M_{23}C_6$, Cr_7C_3), nitridképző (CrN , Cr_2N)
- Korrózióállóság $(Fe,Cr)_2O_3$ passzív réteg (néhány nm)
- Intermetallikus kiválások: σ (Fe, Cr), χ , Laves
- Cr > 30 % nehezen alakítható
- Szubsztitúciós ötvöző fkk és tkk rendszerben is

Nikkel

- Ausztenitképző
- Javítja az általános korrózióval szembeni ellenállást nem oxidáló (redukáló, pl.: kénsavas) közegekben
- Javítja a helyi korrózióval szembeni ellenállást
- Csökkenti a feszültségkorrózióval (SCC) szembeni ellenállást (8–12 % Ni, Copson-görbe)
- Növeli a szívósságot
- Megváltoztatja a másodlagos kiválások kinetikáját

Mangán

- Gyenge ausztenitképző (amennyiben Ni-ötvözés is van)
- Javítja a kristályosodási repedéssel szembeni ellenállást (MnS)
- Különleges ötvözetekben a Mn-ötvözés javítja az olvadék nitrogénoldó-képességét
- Szilárdoldatos szilárdságnövelő szerep

Szilícium

- Ferritképző (nem teljesen egyértelmű)
- Acélgártás során, mint dezoxidáló elem
- Korróziós ellenállást javít (4–5 % Si) ausztenites acélokban
- Hőállóságot javítja (1–3 % Si), gátolja a szén felvételét a közegből
- Szilikátokat alkothat
- Kis olvadáspontú eutektikumot alkothat, ezért $Si < 1 \%$
- Az ömledék folyóképességét javítja → hozaganyagok

13

Molibdén

- Ferritképző (martenzites acéloknál probléma lehet)
- Karbidképző (martenzites acélokban előny)
- Javítja az általános korrózióval szembeni ellenállást nem oxidáló közegekben
- Legjelentősebben javítja a lyukkorrózióval és réskorrózióval szembeni ellenállást minden közegben (6 % Mo-ig is)
- Ausztenites acélokban javítja a melegszilárdságot és a kúszásállóságot

14

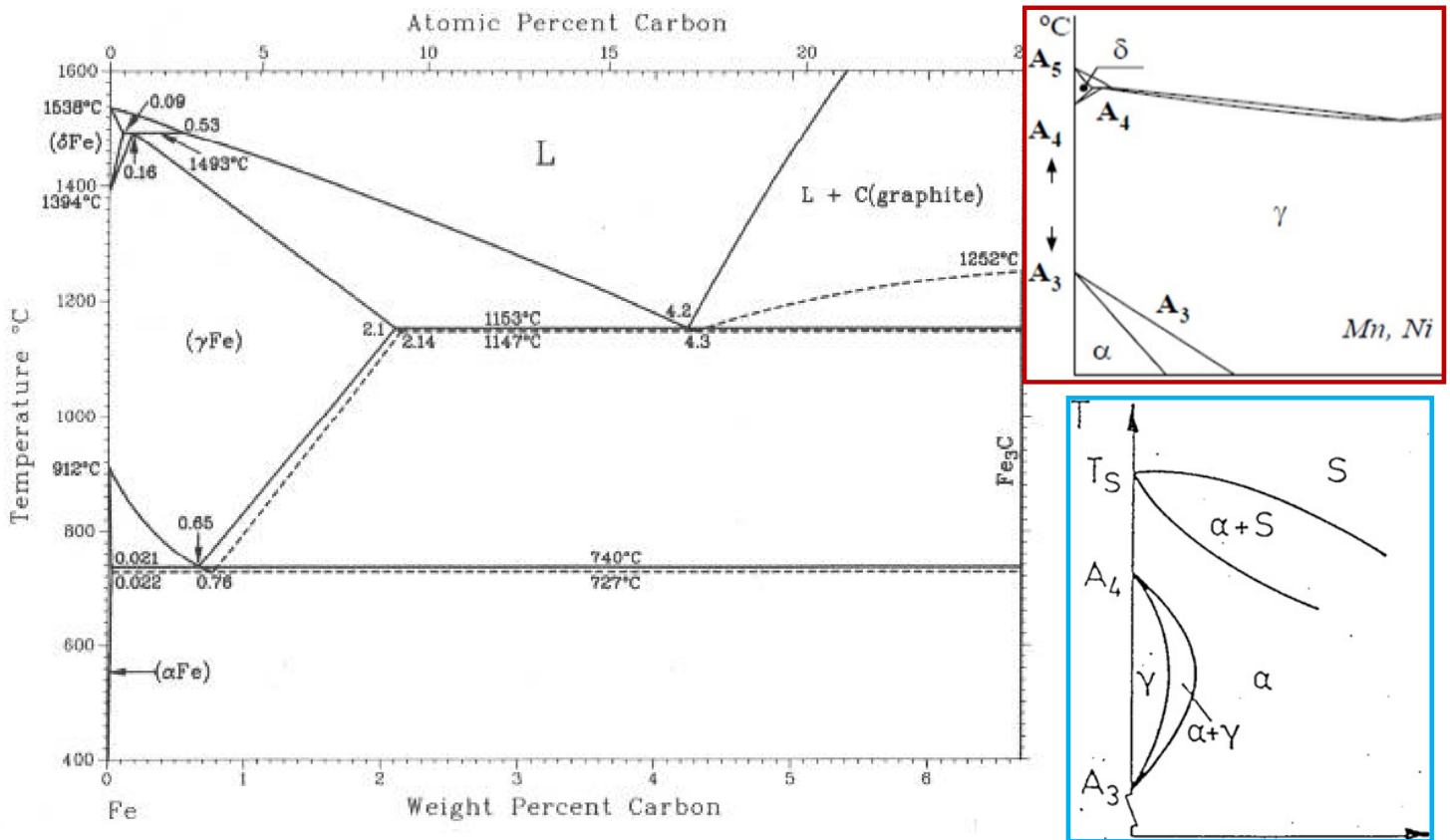
Szén

- Erős ausztenitképző elem, azonban a korrózióálló acélokban gyakran szennyezőnek tekintjük, kristályközi korróziót idézhet elő ($M_{23}C_6$)
- Növeli a szilárdságot, keménységet, rontja a szívósságot
- Martenzites korrózióálló acélokban nagyobb C %
- „L” jelölésű korrózióálló acélok $C < 0,04 \%$

Nitrogén

- Erős ausztenitképző elem
- Jelentősen növeli a szilárdságot (intersztíciós ötöző)
- Jelentősen javítja a lyukkorrózióval és réskorrózióval szembeni ellenállást
- A ferritben kiválásokat alkothat (pl.: Cr_2N), ami rontja a korrózióállóságot és a szívósságot
- Akár a levegőből is bekerülhet az ömledékbe
- N ötözősű korrózióálló acéloknál az ömledék N-tartalmának csökkenésével számolni kell

Bővebben: Duplex acélok hegesztésénél

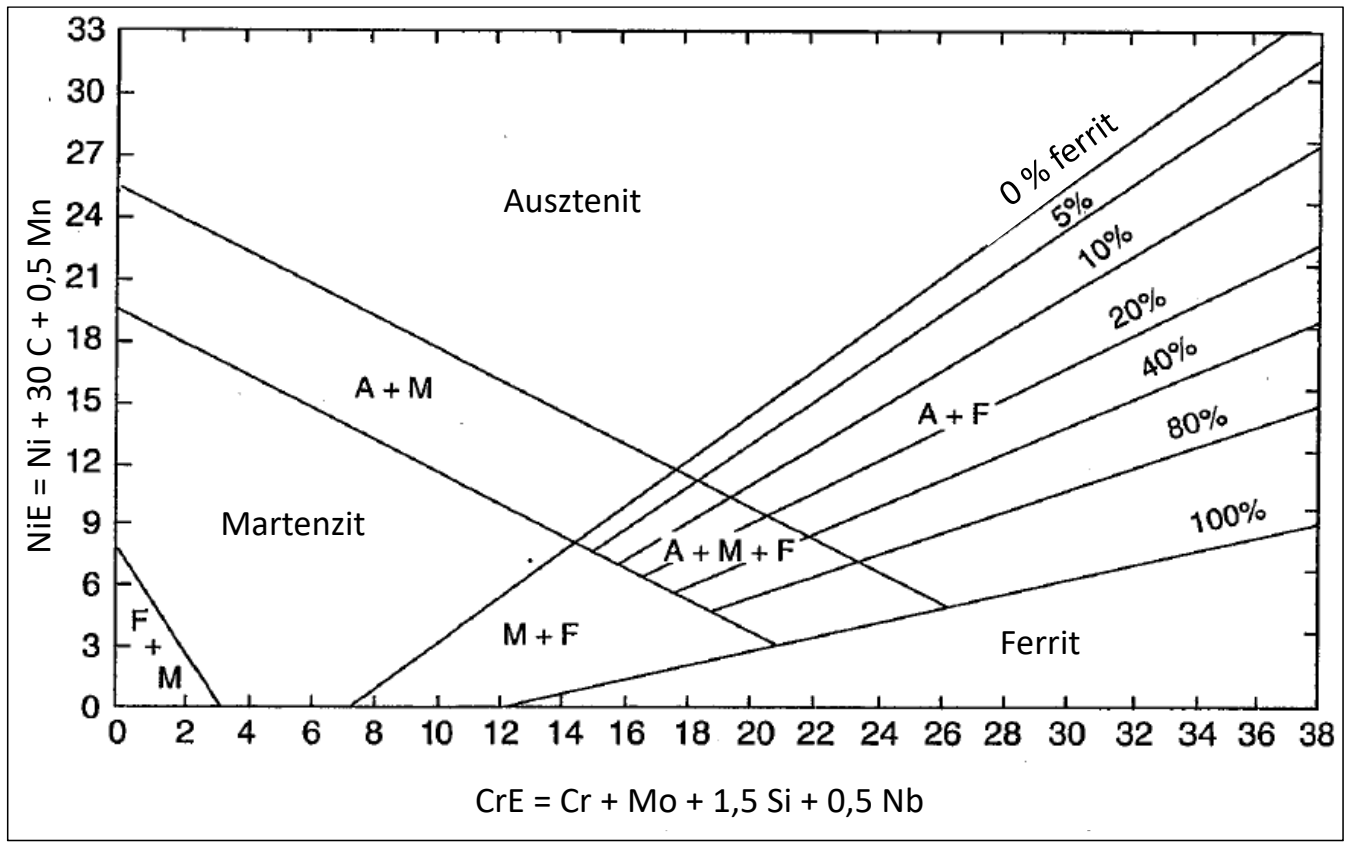


17

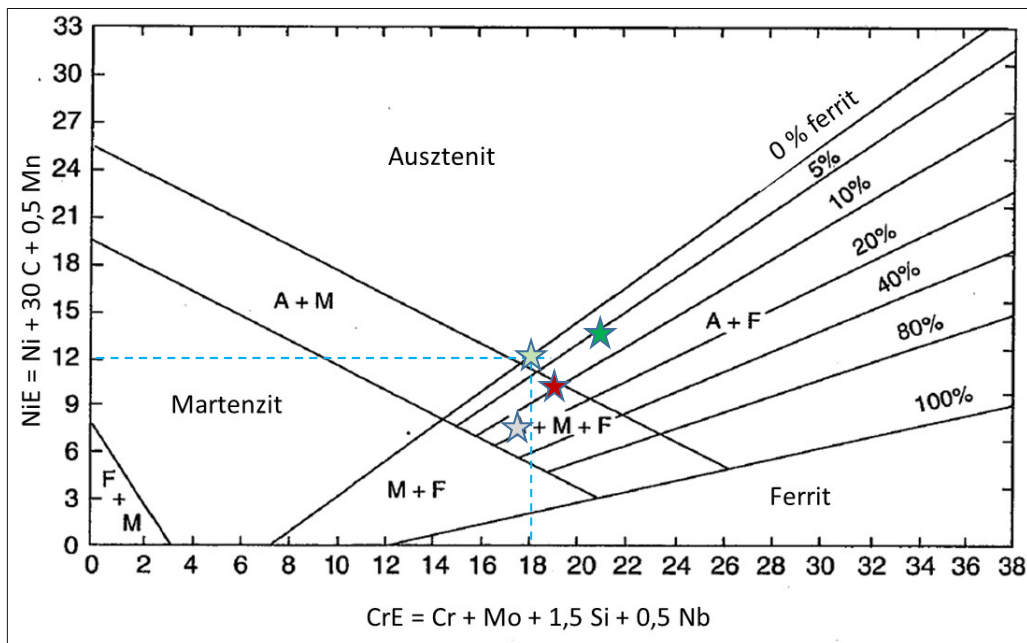
A Cr- és Ni-egyenérték

Schaeffler, DeLong és egyéb egyezményes diagramok

18

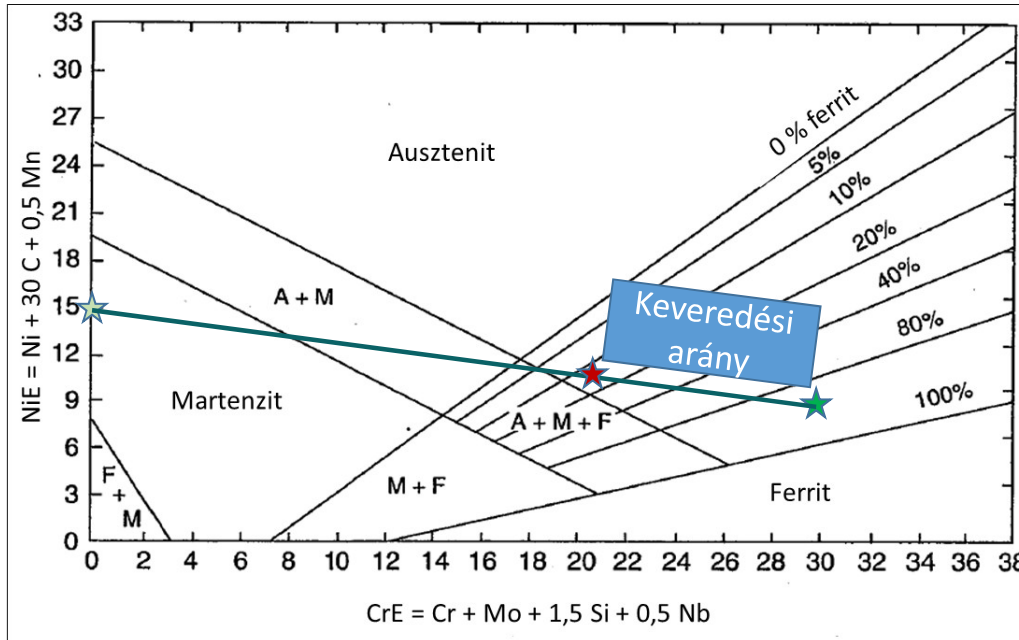


Chem.comp.	min, max tény	C	Si	Mn	P	S	N	Cr	Cu	Mo	Ni	Ti	Nb	V	B	Cr _{eq}	Ni _{eq}
X5CrNi18-10		0,05						18			10						
X5CrNi18-10	max	0,07	1	2	0,045	0,03	0,1	19,5	0	0	10,5	0	0	0	0		
X5CrNi18-10	min.	0	0	0	0	0	0	17,5	0	0	8	0	0	0	0		
X5CrNi18-10	közép	0,035	0,5	1	0,0225	0,015	0,05	18,5	0	0	9,25	0	0	0	0		



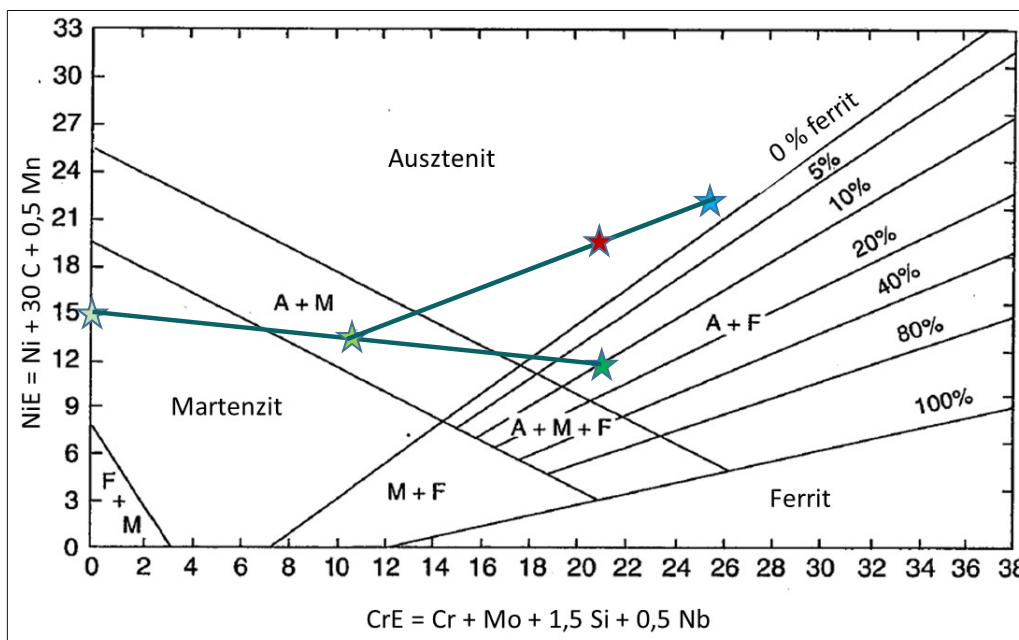
Pontos összetétel kell!

Chem.comp.	min, max tény	C	Si	Mn	P	S	N	Cr	Cu	Mo	Ni	Ti	Nb	V	B	Cr _{eq}	Ni _{eq}
AISI 1050		0,5	0,02	0,3			0,004									0,03	15
E312-16		0,06	0,6	1,2			0,06	29			8,6					29,9	11

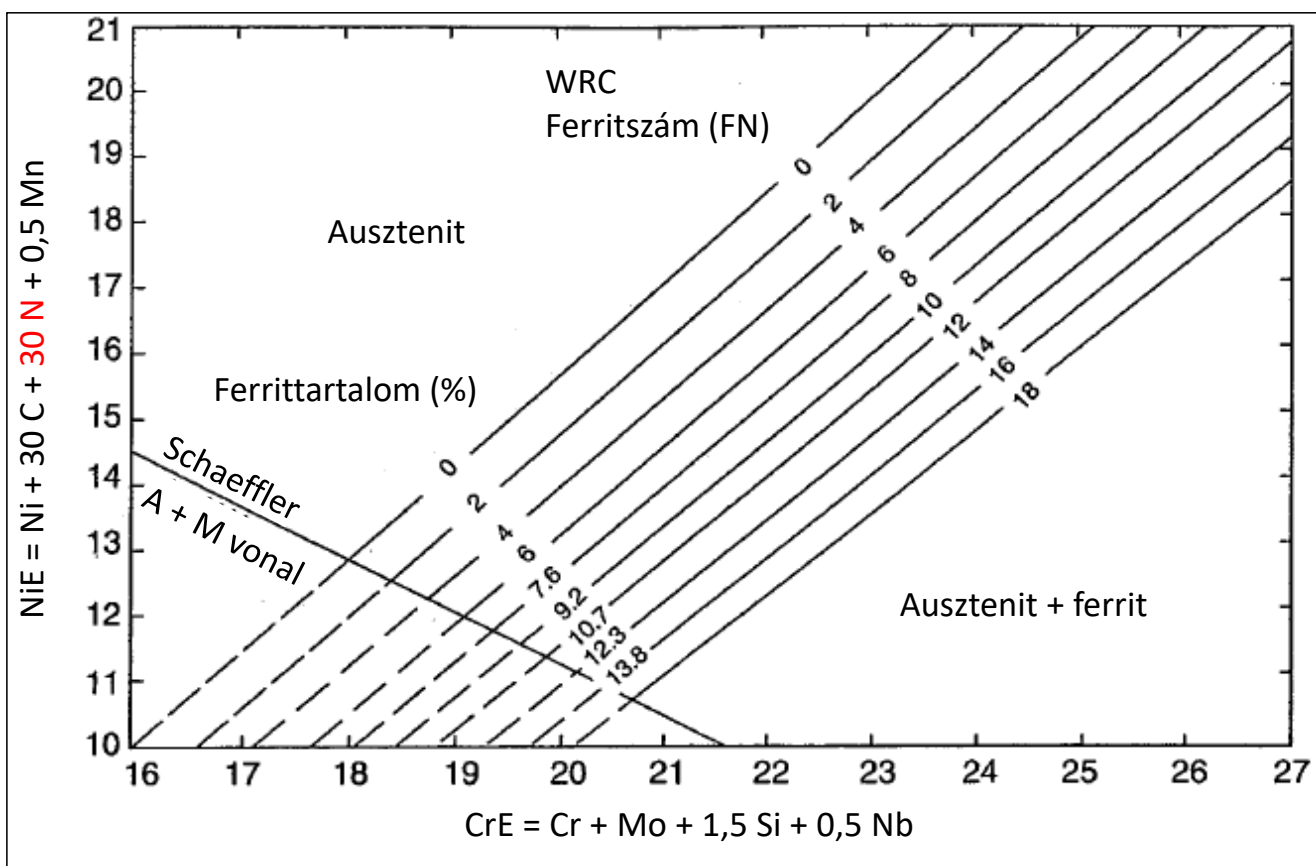
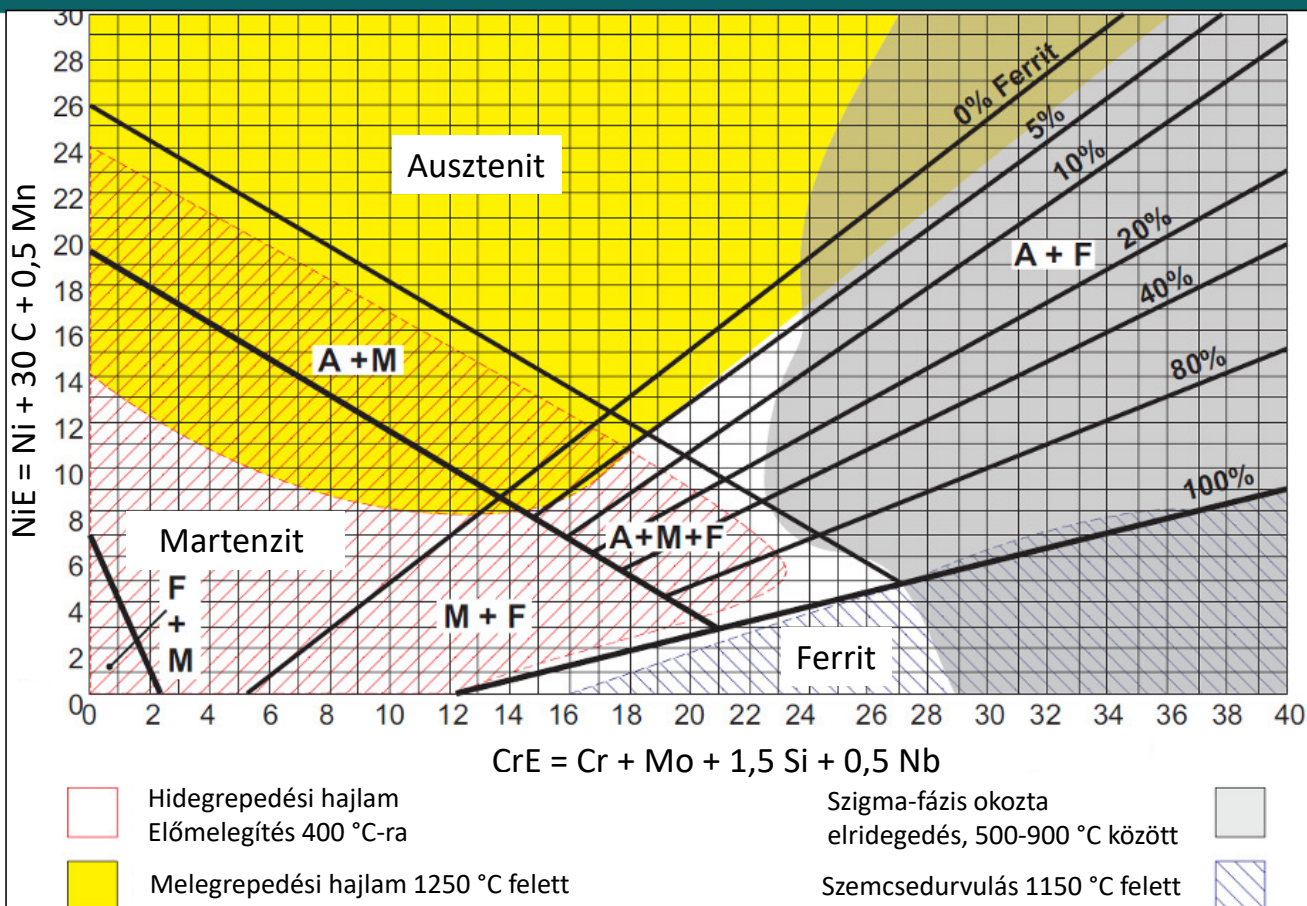


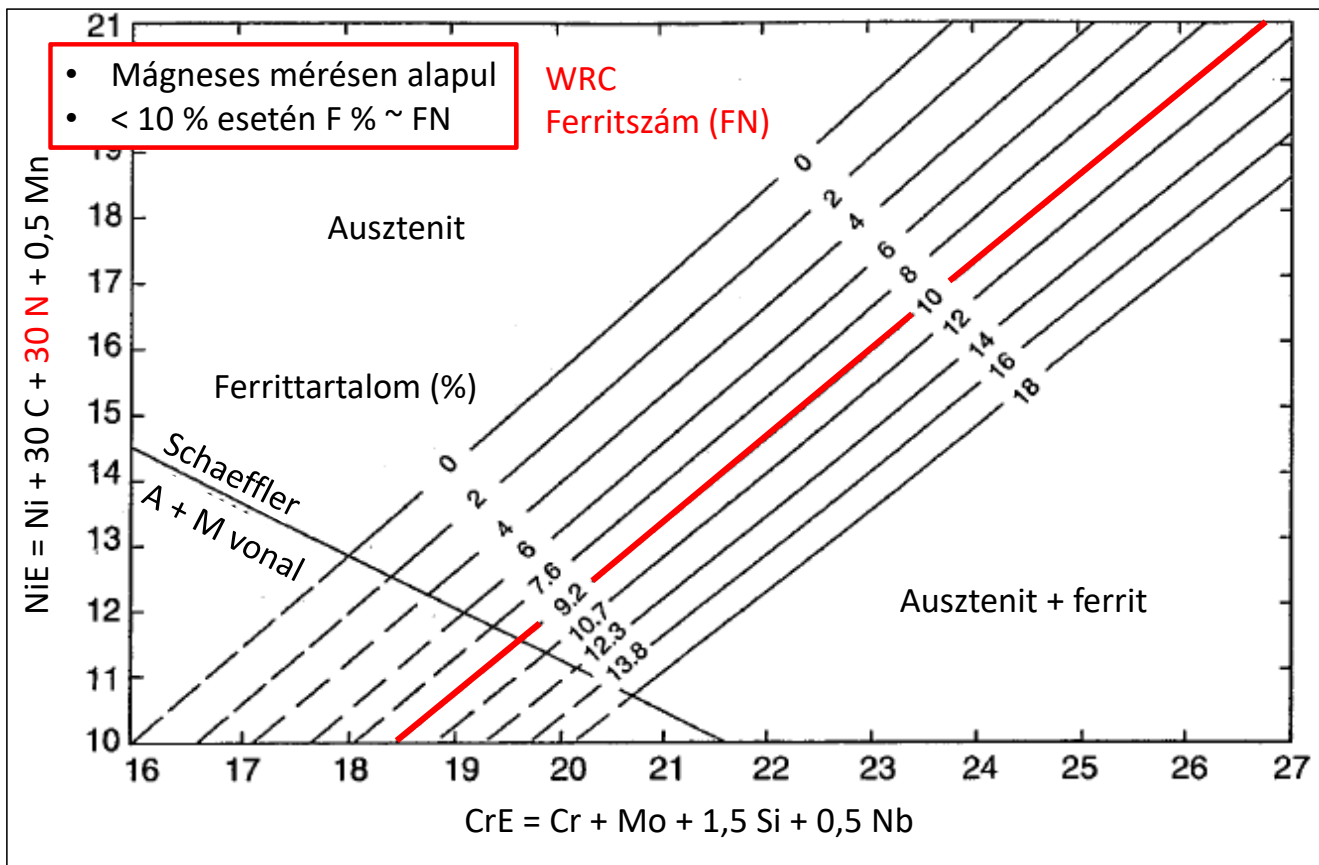
Szénacél bevonatolás

Chem.comp.	min, max tény	C	Si	Mn	P	S	N	Cr	Cu	Mo	Ni	Ti	Nb	V	B	Cr _{eq}	Ni _{eq}
AISI 1050		0,5	0,02	0,3			0,004									0,03	15
AISI 304		0,05	0,4	1,6			0,04	18,75		0,08	9,9					21	10,6
E309L-16		0,3	0,6	1,4			0,03	24,4		0,2	12,7					25,5	22

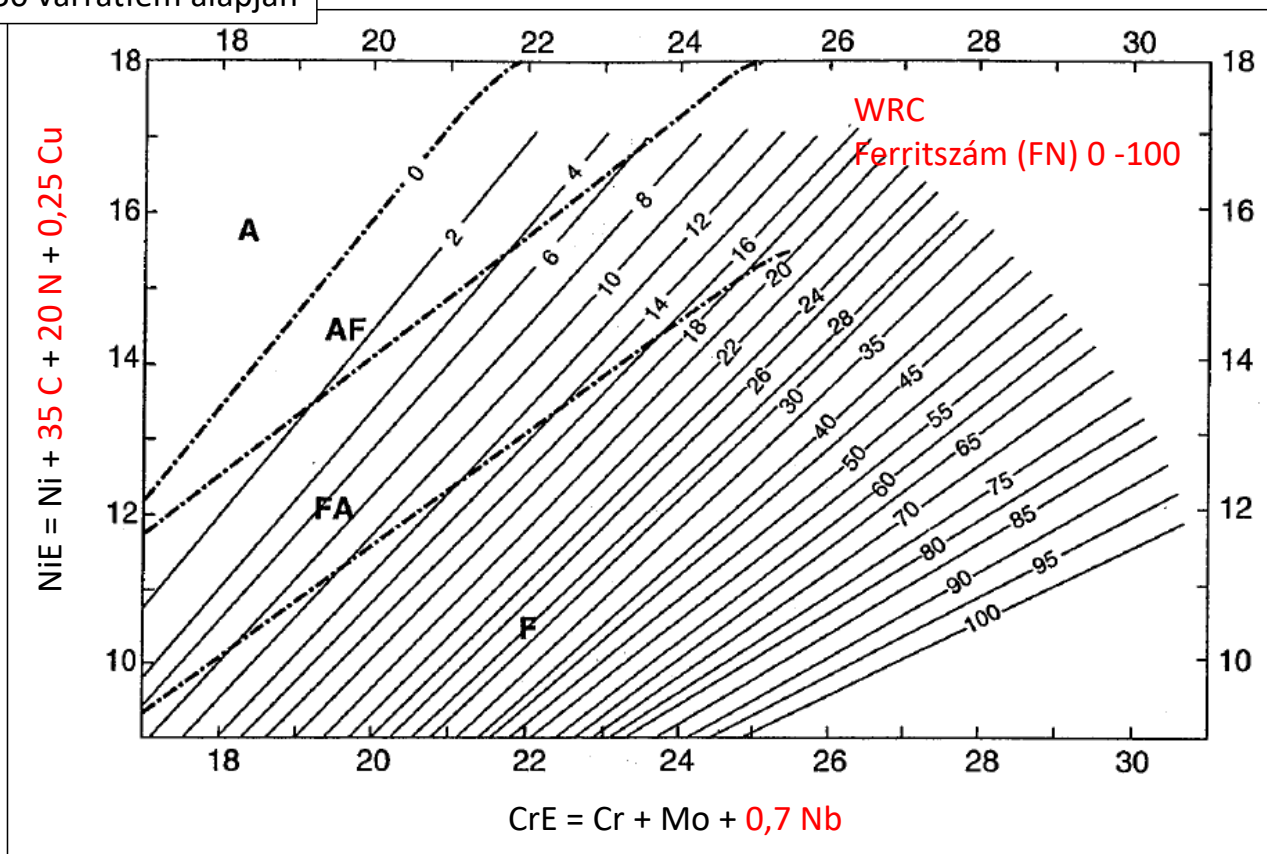


Vegyeskötés 50-50 alapanya garány





~ 1150 varratfém alapján





A ferrites rozsdamentes acélok és hegesztésük



27

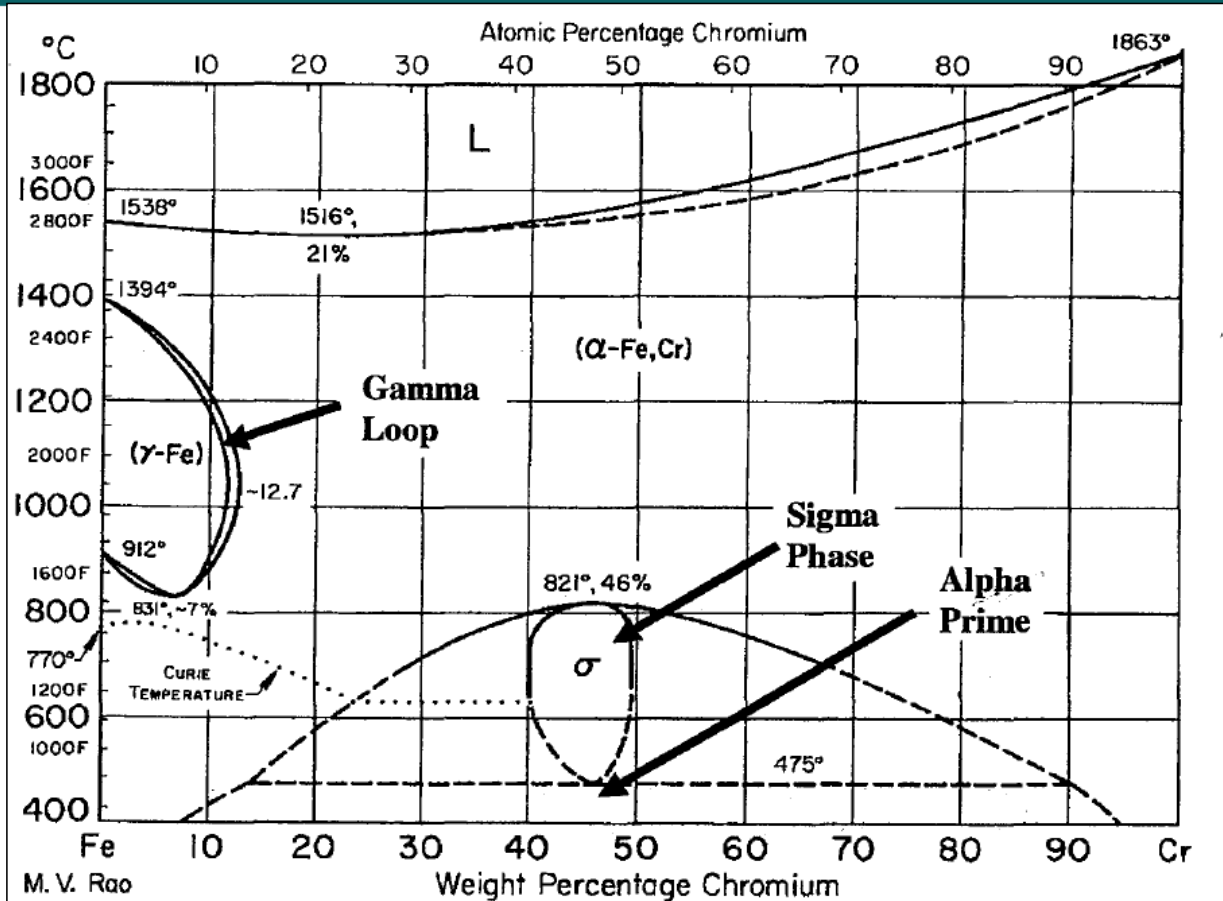
- Fe–Cr-rendszer
- Domináns fázis a ferrit
- Korrózióállóság fontosabb, mint a mechanikai tulajdonságok (feszültségi korrózió, lyukkorrózió, réskorrózió, főleg kloridos környezetben)
- Kis Cr-tartalmú típusok kipufogó rendszerekben
- Nagyobb Cr-tartalmú típusok agresszívabb környezetben
- Superferrites típusok oxidáló közegekkel szemben, papíripar, vegyipar
- Általában max. 400 °C (α' , kemény, rideg fázisok)

MSZ EN 10088:2024 szerint **32 db korrózióálló, 6 db hőálló** ferrites rozsdamentes acél

- 1. típus: Cr \approx 10–14 %.
Pl. 1.4000 (X6Cr13), 1.4003 (X2CrNi12).
- 2. típus: Cr \approx 14–18 %.
Pl. 1.4016 (X6Cr17, S43000, AISI 430). Ez teszi ki a teljes ferritesacél-felhasználás kb. felét!
- 3. típus: Cr \approx 14–18 % + Ti, Nb.
Pl. 1.4511 (X3CrNb17, AISI 430Nb), 1.4510 (X3CrTi17, 439)
1.4509 (X2CrTiNb18, 441).
- 4. típus: Cr \approx 14–19 %, Mo \approx 0,6–2,1 %.
Pl. 1.4521 (X2CrMoTi18-2, S44400).
- 5. típus: Cr \approx 18–30 %, (C+N) < 0,025 %.
Pl. 1.4592, azaz X2CrMoTi29-4.

A jelenleg szabványosított ferrites **hőálló** acélok száma **hat**. A korrózióálló minőségekhez képest a kissé megnövelt **Si-** (0,7–1,4 %) és a jelentősen megnövelt **Al-** tartalom (0,7–1,7 %) fokozza a revésedéssel szembeni ellenállást – tehát a **hőállóságot** –, de természetesen a króm az alapvető, a korrózióállóságot biztosító ötvöző.

Ferrites kúszásálló acélok **nem léteznek** a rozsdamentes acélok családjában.



31

- N szennyezőnek minősül
- C + N értékének csökkentése, vagy ferritképző ötvözők
- Ti, Nb stabilizáló ötvözők
- Al, Si hőálló ötvözetekben oxidációval szembeni ellenállást javítja
- Mo lyukkorrózióval szembeni ellenállást javítja
- Ritkábban Ni-ötvözés a szívósságot javítja
- Mn a S miatt, melegalakíthatóságot javítja

32

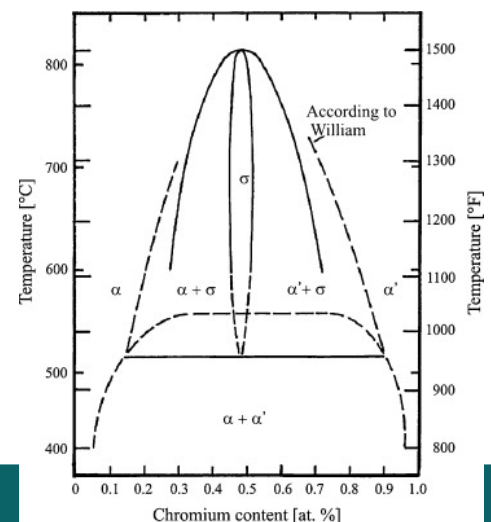
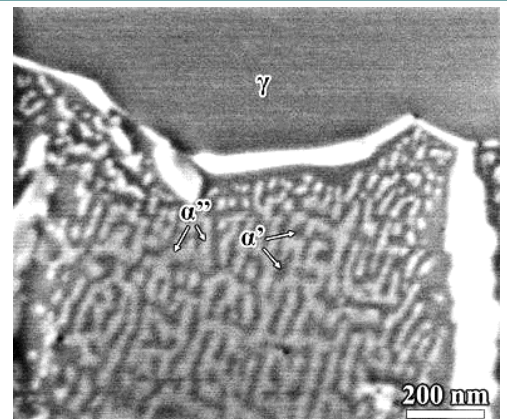
1. 475 °C-os elridegedés

2. σ -fázis

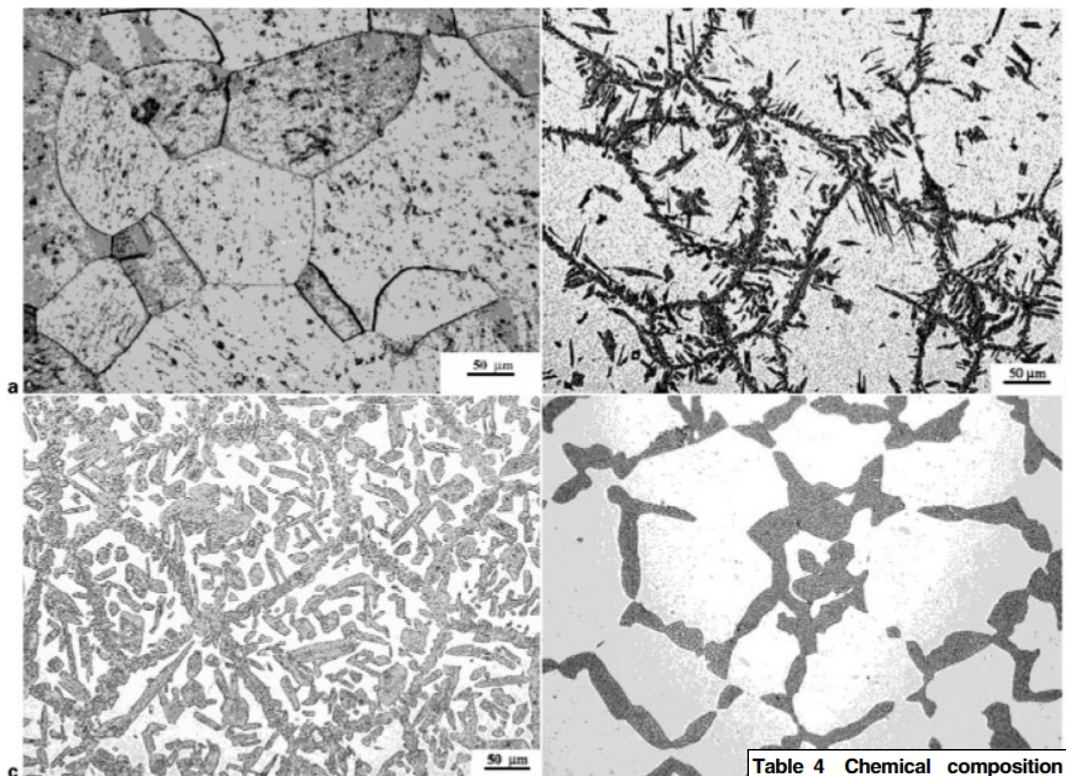
3. Nagy hőmérsékleten történő elridegedés

33

- Cr > 14 %, 425 – 550 °C között
- Koherens, Cr-ban dúsult α' az α fázison belül
- α' paramágneses, tkk rendszerű, 60 – 80 % Cr
- Kis Cr-tartalmú acélokban legalább 100 óra kell a kialakulásához
- Nagy Cr- tartalmú acélokban ez az idő sokkal kisebb, Mo, Nb, Ti gyorsítja a folyamatot
- Nagymértékben romlik a korrózióállóság (Fe-ban gazdag, Cr-ban elszegényedett α fázis)



- Cr > 20 %, 500 – 800 °C között
- Nagy Cr-tartalmú (~ 50 %) fázis
- Kisebb Cr-tartalmú acélokban több száz óra után alakul ki
- Nagy Cr-tartalmú acélokban néhány óra is elég
- Mo, W, Si, Mn: nagyobb hőmérsékleten, kisebb Cr-tartalomnál és rövidebb idő alatt
- χ-fázis kialakulásával együtt járhat (nagyobb Mo-tartalmú)



a 600°C, 60 h; b 700°C, 58 h; c 800°C, 64 h; d 900°C, 57 h

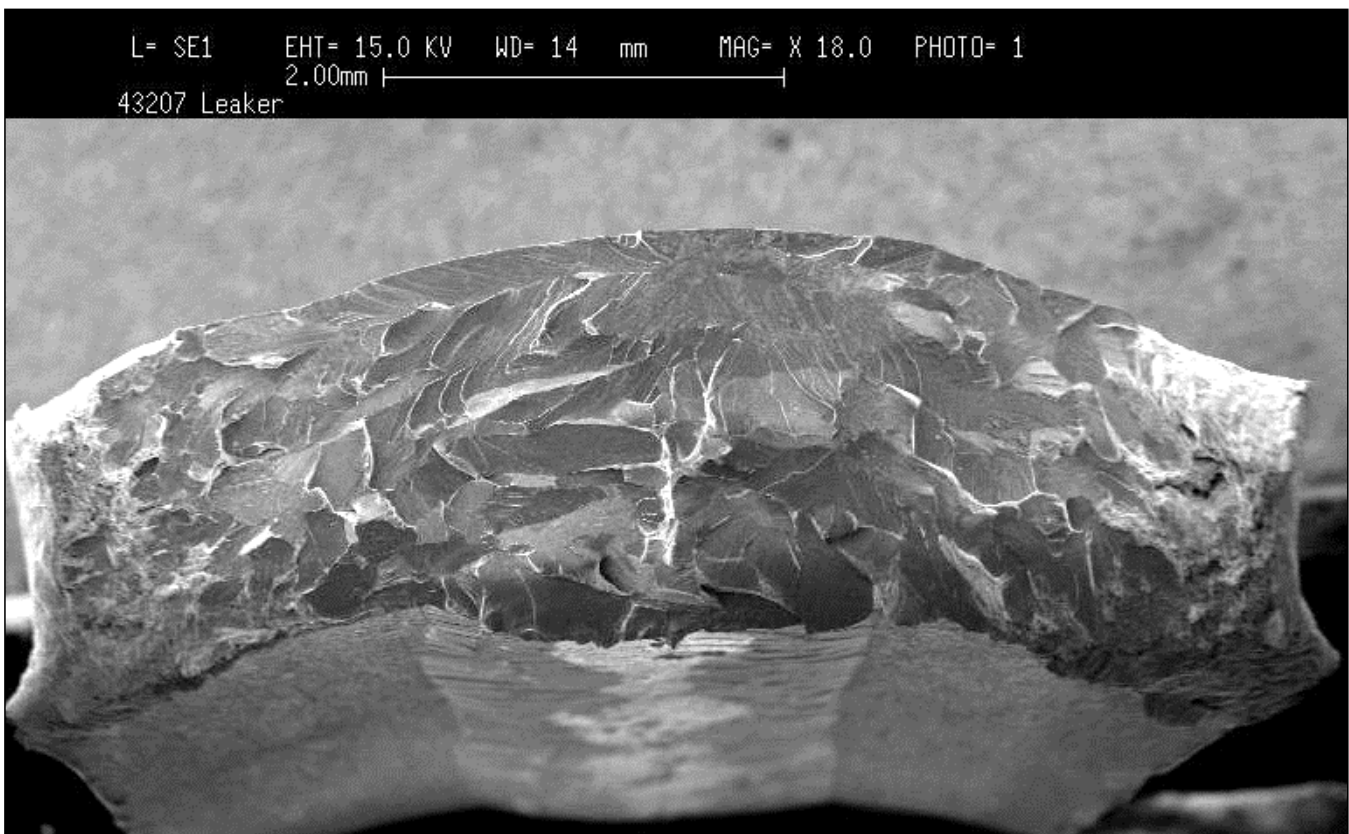
6 Optical micrographs of superferritic stainless steel (DIN W. Nr. 1-4575) microferent temperatures for different times: etchant – V2A-Beize

Table 4 Chemical composition of sigma phase and of ferritic matrix evaluated by EDX in sample aged for 94 h at 850°C, wt-%

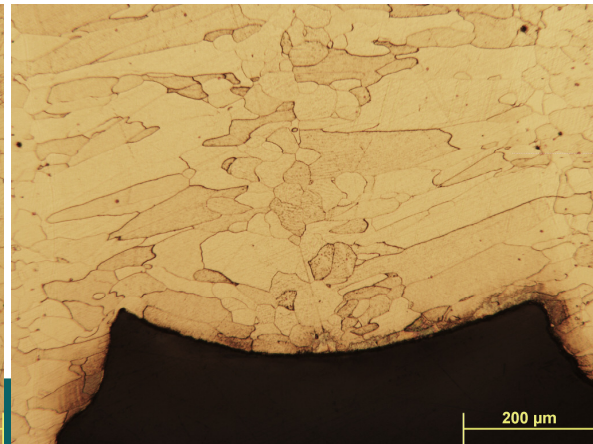
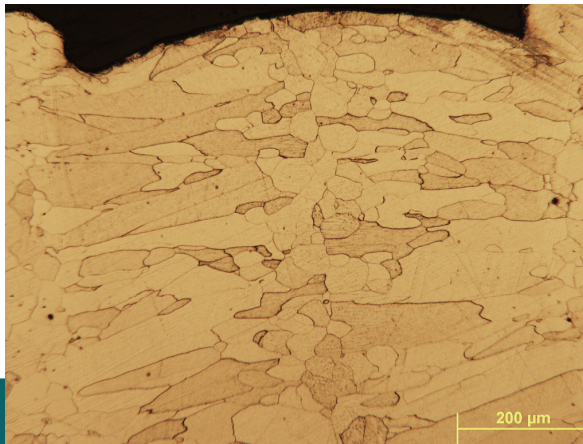
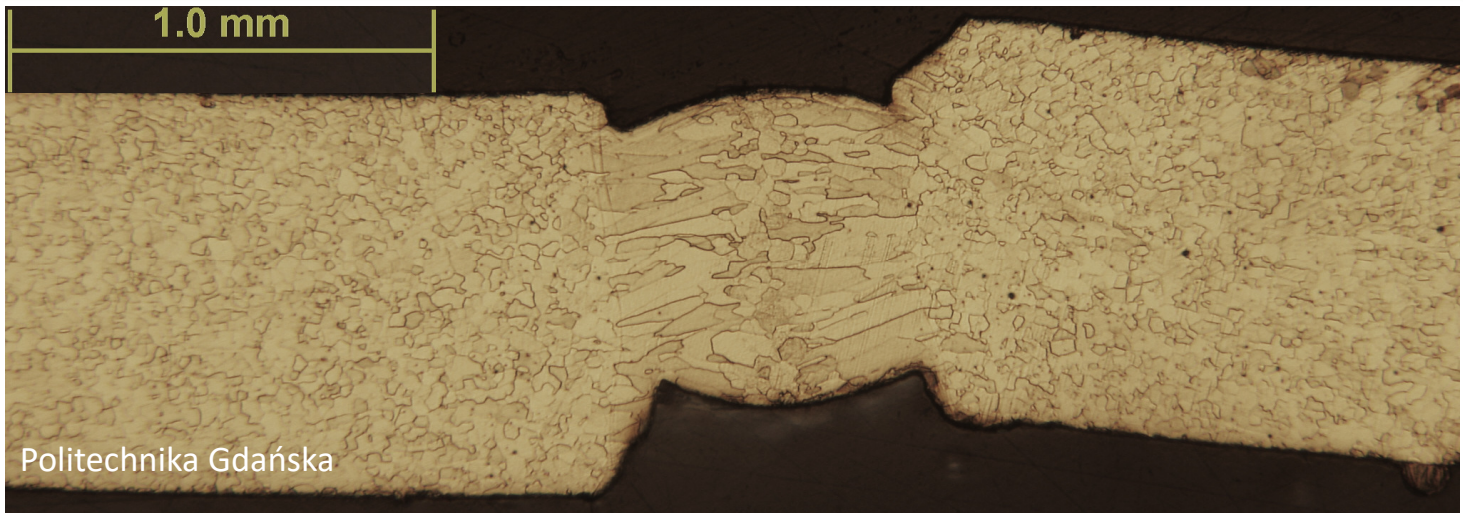
Phase	Fe	Cr	Ni	Mo	Si
Sigma	56.7±0.4	33.6±0.3	3.6±0.2	5.1±0.2	0.6±0.1
Matrix	64.0±0.5	29.9±0.3	3.8±0.2	2.7±0.2	0.3±0.1

- $\sim 0,7 T_{op}$ felett
- C + N elősegíti az elridegedést, nagy Cr-tartalmú acélokban még gyors hűtés esetén is (Ti, Nb csökkenti az érzékenységet)
- 1100 °C felett ferritszemcsék durvulása (hőhatásövezetben is)
- Az interosztíciók mennyiségének növekedésével a szemcsedurvulás hatása csökken az elridegedésre (és fordítva)

37



38

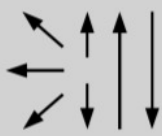


39

- Kristályosodási repedésre kevésbé érzékeny
- Elridegedésre érzékeny a varratfém és a hőhatásövezet is
- Hidegrepedésre érzékeny, ha martenzit is van a szövetszerkezetben
- Korrózióállóság:
 - Feszültségi korrózióknak jobban ellenállnak, mint az ausztenites acélok
 - Kristályközi korrózióra (szenzibilizáció) érzékeny lehet (Ti, Nb stabilizálás) – bővebben az ausztenites acéloknál

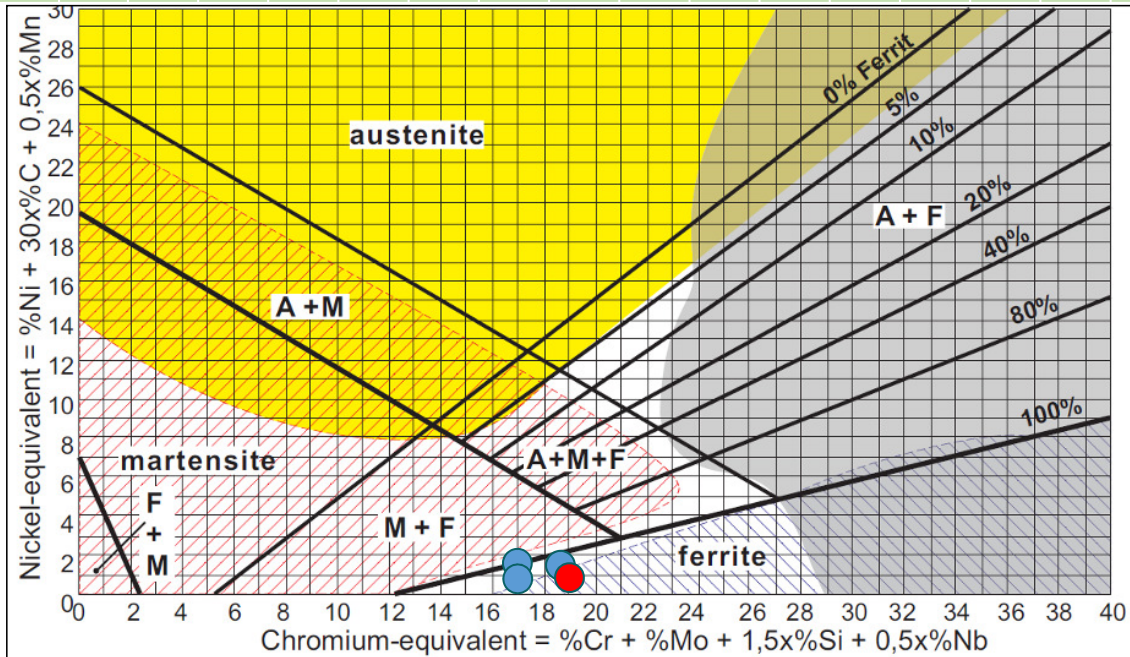
1. Alapanyaggal megegyező, vagy illeszkedő
 - Leggyakrabban alkalmazott a megfelelő korrózióállóság biztosítása végett
2. Ausztenites
 - Ausztenites-ferrites varratfémek eredményez, nagyobb szívósság
3. Nikkelötvözet
 - Tovább javuló szívósság, megfelelő korrózióállóság



Classifications						
EN ISO 14343-A			AWS A5.9			
G ZCr 18 NbTi L			ER430(mod)			
Characteristics and typical fields of application						
Special GMAW solid wire for joint welding and surfacing of exhaust systems. For analogous or similar materials. Double stabilized (Nb + Ti) with minimum affection to grain growth. Resists scaling up to +900°C. Outstanding feeding characteristics. Very good welding and flow characteristics.						
Base materials						
1.4509 X5CrTiNb 18, 1.4016 X6Cr17, 1.4511 X3CrNb17 AISI 430, AISI 441						
Typical analysis of solid wire (wt.-%)						
	C	Si	Mn	Cr	Nb	Ti
wt.-%	0.02	0.5	0.5	18.0	> 12xC	0.40
Mechanical properties of all-weld metal						
Condition	Brinell-hardness					
	HBW					
u	150					
a	130					
u	untreated, as welded – shielding gas Ar + 0.5 – 5% CO ₂					
a	annealed, 760°C / 2h – shielding gas Ar + 0.5 – 5% CO ₂					
Operating data						
		Polarity: DC (+)		Shielding gases: Argon + 0.5 – 5% CO ₂ Argon + 0.5 – 3% O ₂		ø (mm) 1.0 1.2



Chem.comp.	min, max tény	C	Si	Mn	P	S	N	Cr	Cu	Mo	Ni	Ti	Nb	V	B	Cr _{eq}	Ni _{eq}
X5CrTiNb18		0,05						18				0,4	0,6			18,3	1,5
X6Cr17		0,06						17								17	1,8
X3CrNb17		0,03						17					0,36			17,18	0,9
ER430(mod)		0,02	0,5	0,5				18				0,4	0,24			18,87	0,9



Köszönöm a megtisztelő figyelmet!