

Rozsdamentes acélok hegeszthetősége II.

Hegeszthetőség – Dobránszky János és Varbai Balázs nyomán
BMEGEMTNG02

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.		Auszenites rozsdamentes acélok, $Ni \leq 35\%$
	8.1.	Auszenites rozsdamentes acélok, amelyek vegyi összetételében $Cr \leq 19\%$
	8.2.	Auszenites rozsdamentes acélok, amelyek vegyi összetételében $Cr > 19\%$
	8.3.	Mangánötvözésű, auszenites rozsdamentes acélok, amelyek vegyi összetételében $4\% < Mn \leq 12\%$
10.		Auszenites-ferrites (duplex) rozsdamentes acélok
	10.1.	Auszenites-ferrites rozsdamentes acélok, amelyek vegyi összetételében $Cr \leq 24\%$ és $Ni > 4\%$
	10.2.	Auszenites-ferrites rozsdamentes acélok, amelyek vegyi összetételében $Cr > 24\%$ és $Ni > 4\%$
	10.3.	Auszenites-ferrites rozsdamentes acélok, amelyek vegyi összetételében $Ni \leq 4\%$



Auszténites rozsdamentes acélok és hegesztésük



- Fe–Cr–Ni-rendszer
- Domináns fázis az ausztenit
- Jó korrózióállóság a legtöbb közeggel szemben
- Jó szilárdság (az ötvöztelen acélokéval megegyező), folyáshatár ~ 210 – 300 MPa)
- C-ötvözés a hőálló típusokban (akár 1000 °C)
- Szilárdságnövelés elsősorban hidegalakítással
- N-ötvözés szilárdságnövelés, lyukkorrózióval szembeni ellenállás javítására
- Jó szívósság
- Nem a legjobb választás kloridtartalmú közegek esetén (SCC)

MSZ EN 10088:2024 szerint **61 db korrózióálló, 15 db hőálló, 21 db kúzsásálló** ausztenites rozsdamentes acél

Korrózióálló típusok:

➤ 1. típus: Cr-Ni ötvözésű acélok.

Nagy C-tartalmú 18/8-as és 18/10-es altípus; $C \approx 0,10 \%$, $Cr \approx 18$ és $Ni \approx 8-10 \%$. Pl. 1.4310 (X10CrNi18-8, S30100) vagy 1.4301 (X5CrNi18-10, S30400).

Kis C-tartalmú altípus ($C = 0,01-0,03 \%$). Pl. 1.4307 (X2CrNi18-9, S30403).

Stabilizált altípus: Ti- vagy Nb-ötvözés. Pl. 1.4541 (X6CrNiTi18-10, S32100). 25/20-as altípus: $Cr \approx 25$ és $Ni \approx 20 \%$. Pl. 1.4335 (X1CrNi25-21, S31002).

Korrózióálló típusok:

➤ 2. típus: Cr-Ni-Mo acélok ($Mo < 3 \%$)

Alapösszetétel: $Cr \approx 17$, $Ni \approx 12 \%$ + Mo. Pl. 1.4401 (X5CrNiMo17-12-2, S31600).

Kis C-tartalmú altípus. Pl. 1.4404 (X2CrNiMo17-12-2, S31603).

Stabilizált altípus: Ti- vagy Nb-ötvözés. Pl. 1.4580, X6CrNiMoNb17-12-2, S31640

25/20-as altípus: $Cr \approx 25$, $Ni \approx 20 \%$ + Mo. Pl. 1.4466 (X1CrNiMoN25-22-2, S31050).

➤ 3. típus: N-ötvözésű Cr-Ni acélok Cr-Ni acélok: $N = 0,10-0,22 \%$. Pl. 1.4311 (X2CrNiN18-10, S30453).

Kis C-tartalmú acélok. Pl. 1.4406 (X2CrNiMoN17-11-2, S31653).

Korrózióálló típusok:

➤ 4. típus: Cr-Mn-Ni acélok

Növelt C-tartalmú altípus: $C \approx 0,12 \%$. Pl. 1.4372 (X12CrMnNiN17-7-5, S20100).

Kis C-tartalmú altípus: $C \approx 0,02 \%$. Pl. 1.4371 (X2CrMnNiN17-7-5, S20153).

Cu + B ötvözésű altípus. Pl. 1.4597 (X8CrMnCuNB17-8-3).

➤ 5. típus: Cr-Ni-Cu acélok, $Cu = 1-2 \%$

Növelt C-tartalmú altípus: $C \approx 0,06 \%$. Pl. 1.4570 (X6CrNiCuS18-9-2, S30331); e minőség automataacél is: $S \approx 0,12 \%$.

Kis C-tartalmú altípus: $C \approx 0,02 \%$. Pl. 1.4560 (X3CrNiCu19-9-2).

Korrózióálló típusok:

➤ 6. típus: szuperausztenites acélok

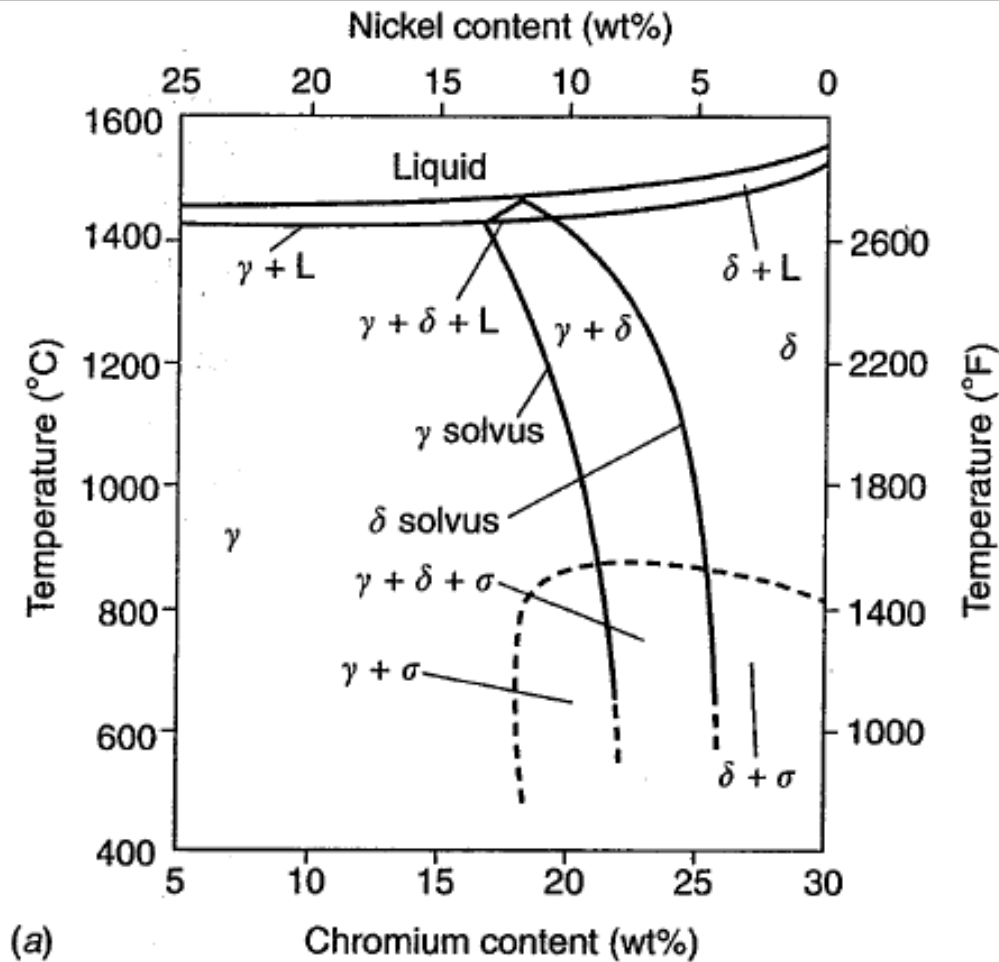
Cr-Ni-Mo-Cu-N acélok; pl. 654 SMO®.

Ni-Cr-Mo-Cu-N acélok. Pl. 1.4539, X1NiCrMoCu25-20-5, 904L.

Ausztenites vasötvözetek. Ezekben az ötvözetekben ugyan a vas a fő alkotóelem (tehát a definíció szerint jár nekik az acél elnevezés, de $Fe \ll 50 \%$). Pl. Alloy 864 (39Fe-34Ni-21Cr-Cu-Mo-Nb).

A 6. főcsoportba sorolt szuperausztenites acélok és ausztenites vasötvözetek korróziós ellenállása kiemelkedően jó.

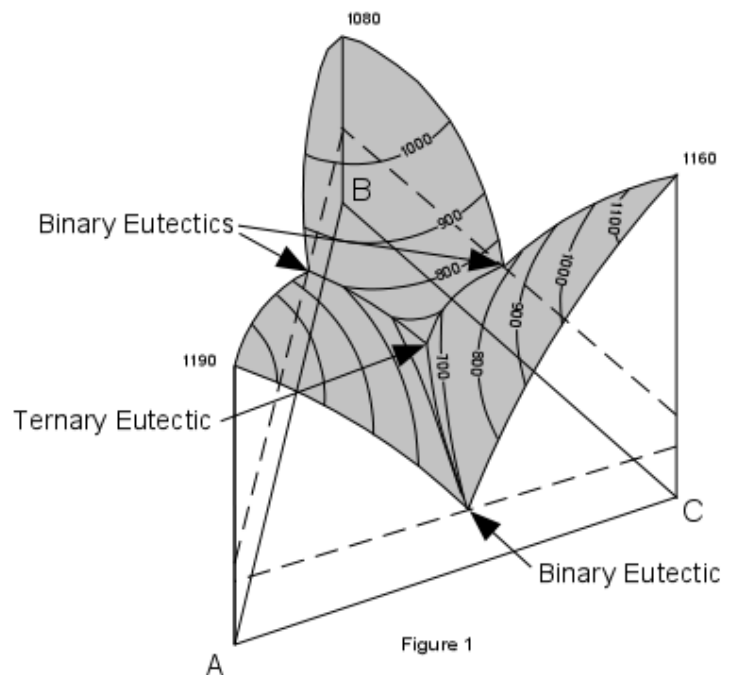
Kvázibinér Fe–Cr–Ni-diagram,
70 % Fe-tartalomnál



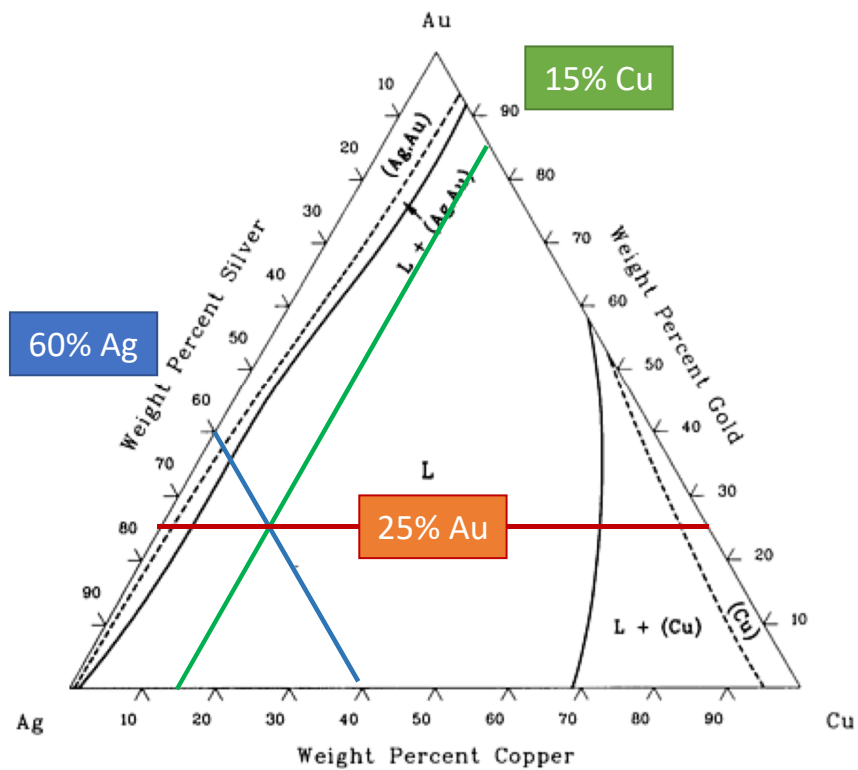
9

Ternér állapotábrák (háromalkotós)

- Háromdimenziós ábra lesz
- Síkbeli leképezései leggyakrabban:
 - Adott hőmérsékletre vett síkmetszet
 - Teljes koncentrációtartományra vett projekció (pl: ömledék fázisé)
 - Adott koncentrációnál vett síkmetszet



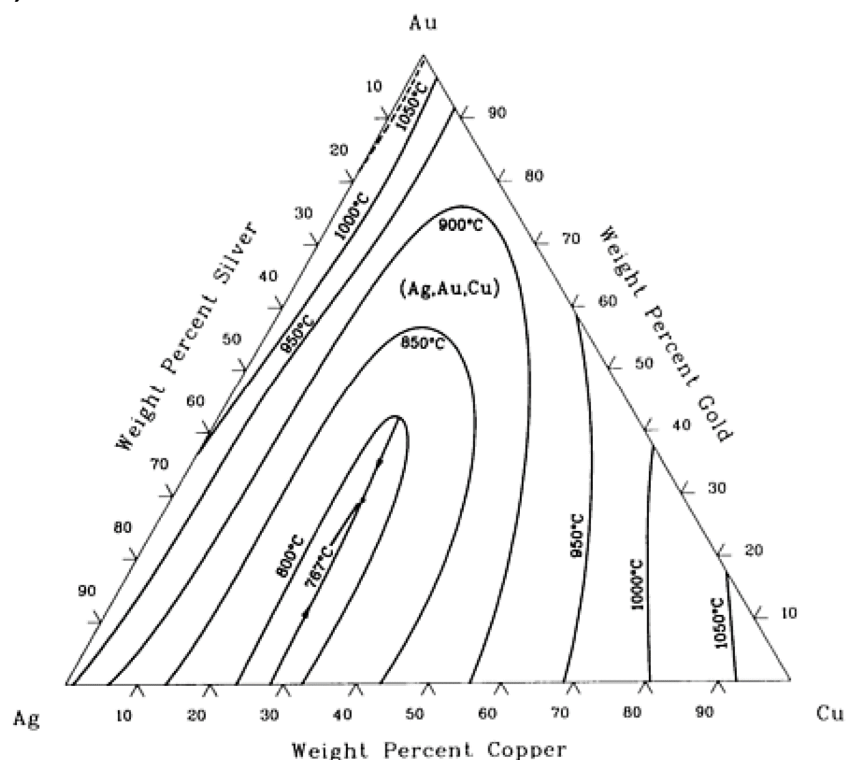
➤ Adott hőmérsékleten vett síkmetszet



Ag-Au-Cu 950 °C

11

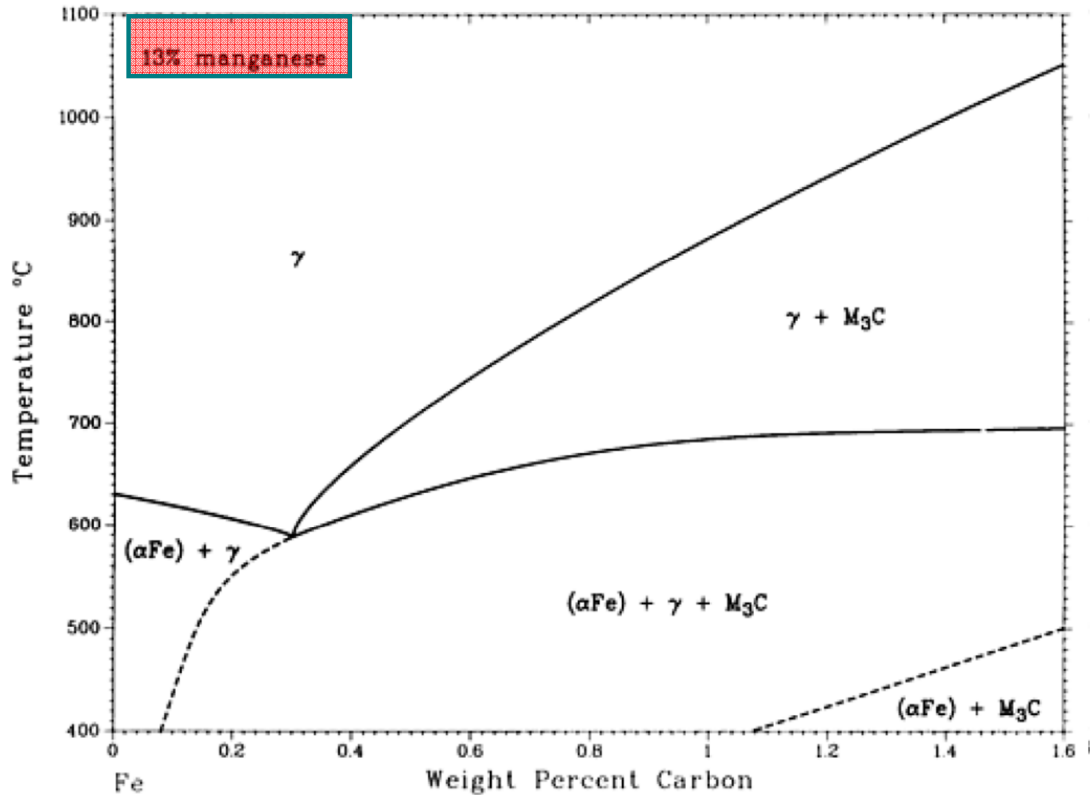
➤ Teljes koncentrációtartományra vett projekció, pl.:
likvidusz, vonal...



Ag-Au-Cu ömledékprojekció

12

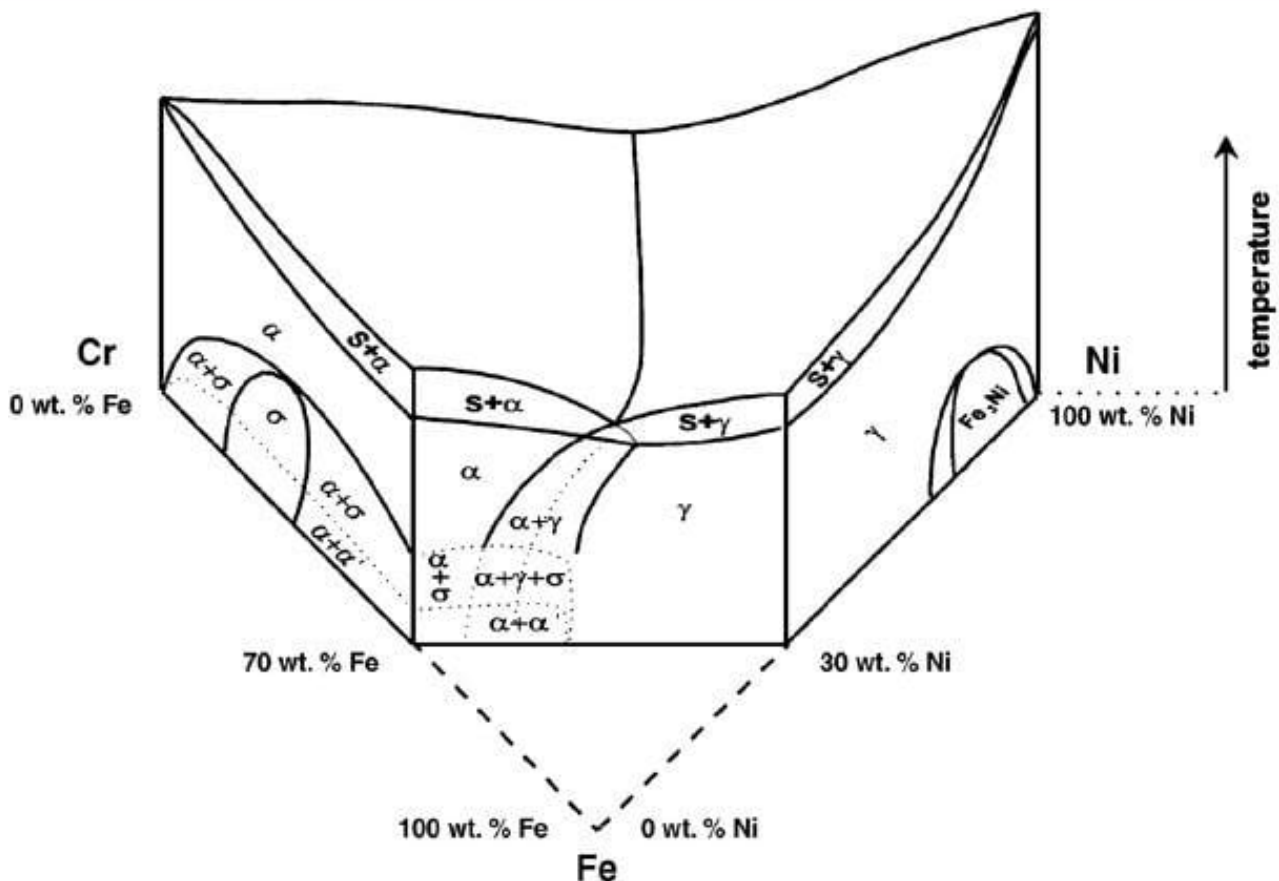
➤ Adott koncentrációnál vett metszet (kvázibinér)



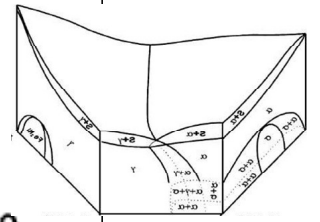
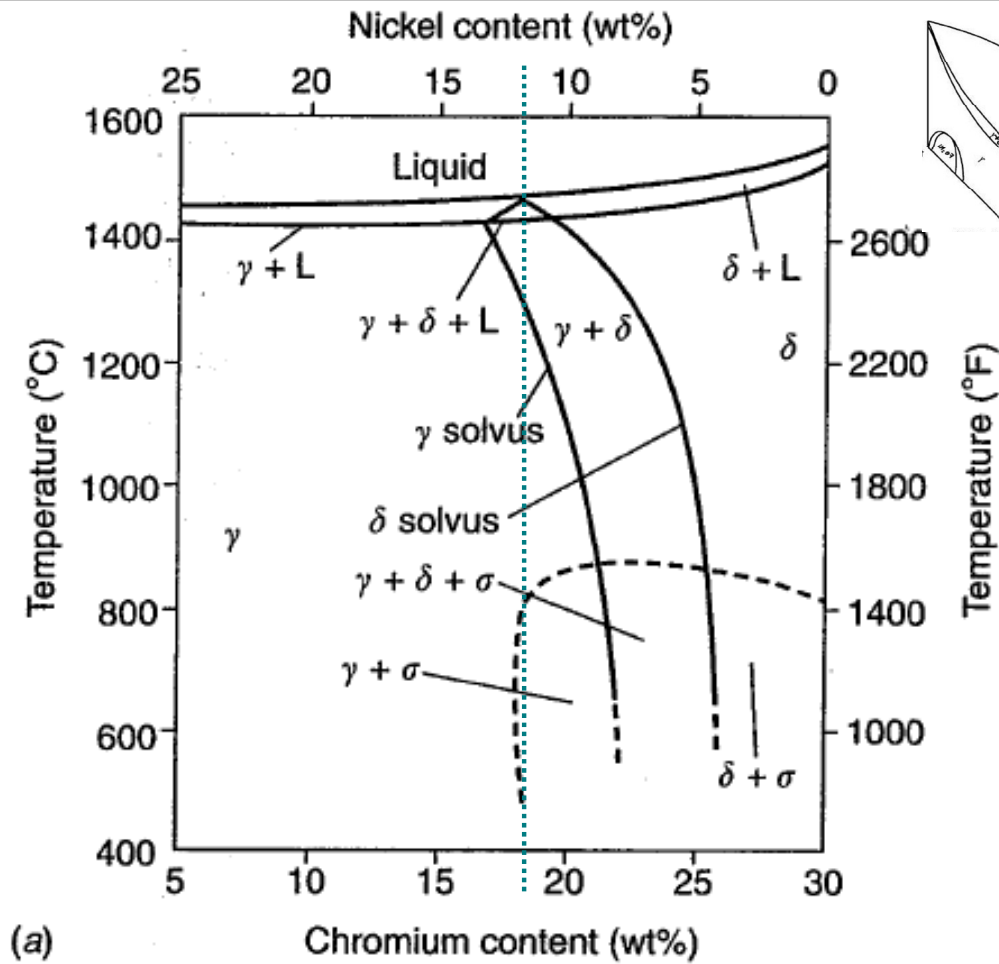
Fe-C-Mn részlet Mn = 2,5%, 4,5%, 13%

13

Az ausztenites rozsdamentes acélok metallurgiája



Kvázibinér Fe–Cr–Ni-diagram,
70 % Fe-tartalomnál



15

AF és FA típusú kristályosodás

- AF: 0 – 3 FN
- Kristályosodási repedésre kevésbé érzékeny
- FA: 3 – 20 FN
- Kristályosodási repedésnek leginkább ellenáll

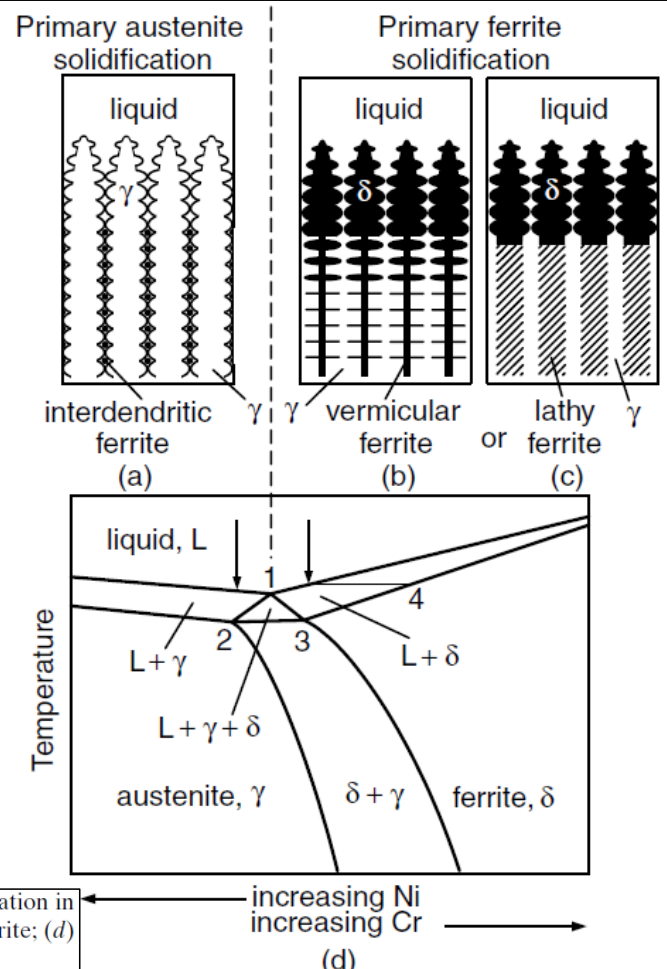
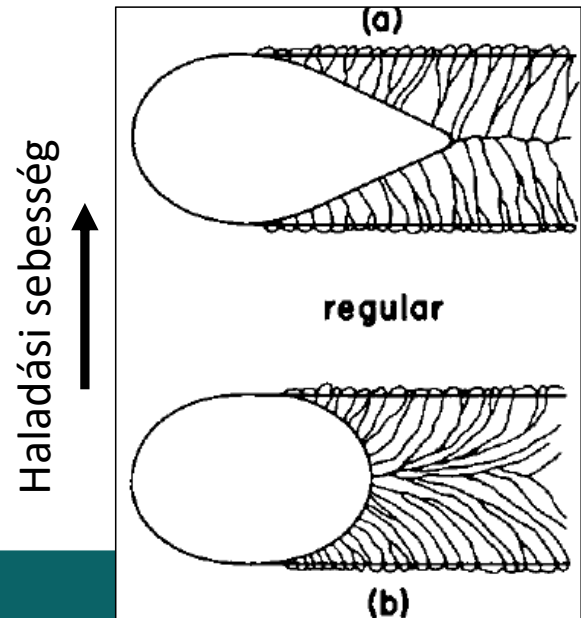
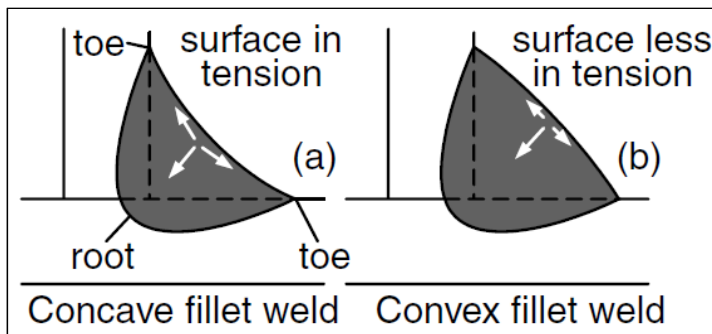


Figure 9.2 Schematics showing solidification and postsolidification transformation in Fe–Cr–Ni welds: (a) interdendritic ferrite; (b) vermicular ferrite; (c) lathy ferrite; (d) vertical section of ternary-phase diagram at approximately 70% Fe.

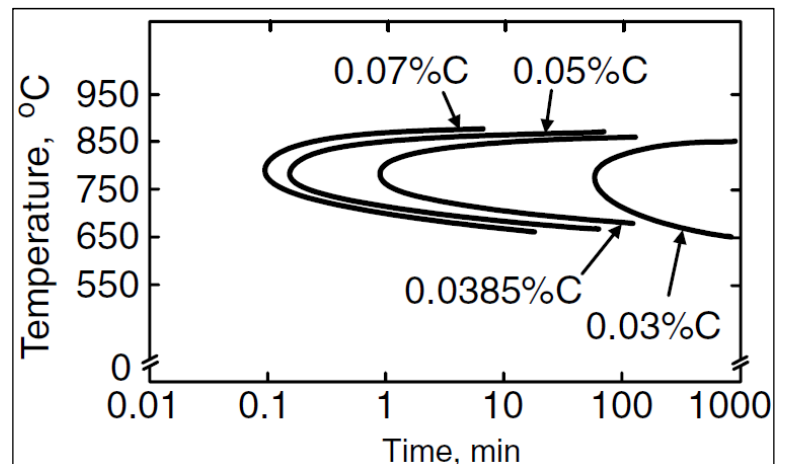
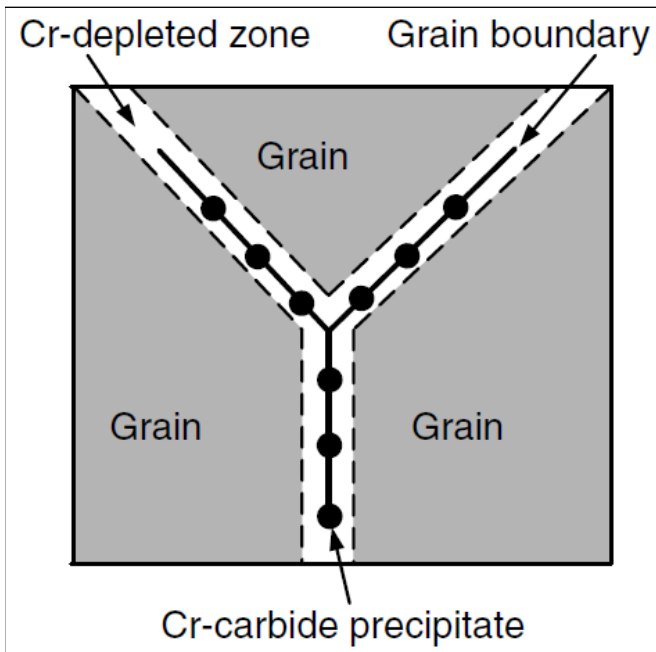
Kristályosodási repedés

- Az összetétellel könnyen befolyásolható
- P, S szennyezők
- Kristályosodási morfológia
- Varratalak



Kristályközi korrózió

- Szenzibilizáció 650 – 850 °C, $M_{23}C_6$
- Stabilizált ötvözetek: Ti, Nb, vagy kis széntartalmú (L)



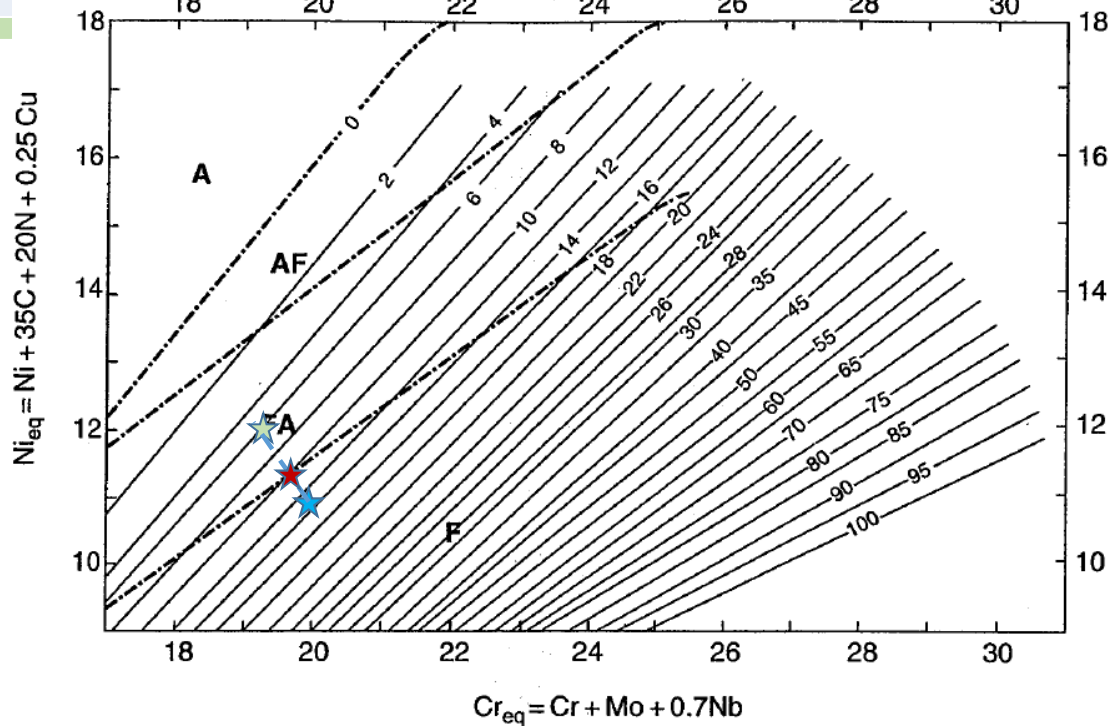
Classifications					
EN ISO 14343-A	EN ISO 14343-B	AWS A5.9	W. No.		
G 19 9 L Si	SS308LSi	ER308LSi	1.4316		
Characteristics and typical fields of application					
GMAW solid wire designed for first class welding, wetting and feeding characteristics and excellent weld metal CVN values down to $-196\text{ }^{\circ}\text{C}$. Resistance to intergranular corrosion up to $+350\text{ }^{\circ}\text{C}$.					
Base materials					
1.4306 X2CrNi19-11, 1.4301 X5CrNi18-10, 1.4311 X2CrNiN18-10, 1.4312 GX10CrNi18-8, 1.4541 X6CrNiTi18-10, 1.4546 X5CrNiNb18-10, 1.4550 X6CrNiNb18-10 AISI 304, 304L, 304LN, 302, 321, 347; ASTM A157 Gr. C9, A320 Gr. B8C or D					
Typical analysis of solid wire (wt.-%)					
	C	Si	Mn	Cr	Ni
wt.-%	≤ 0.02	0.8	1.7	20.0	10.2
Mechanical properties of all-weld metal					
Condition	Yield strength $R_{p0.2}$	Tensile strength R_m	Elongation A ($L_0=5d_0$)	Impact work ISO-V KV J	
	MPa	MPa	%	$+20\text{ }^{\circ}\text{C}$	$-196\text{ }^{\circ}\text{C}$
u	350 (≥ 320)	540 (≥ 510)	38 (≥ 35)	75	≥ 32
u	untreated, as welded – shielding gas Ar + 2.5 % CO_2				

19

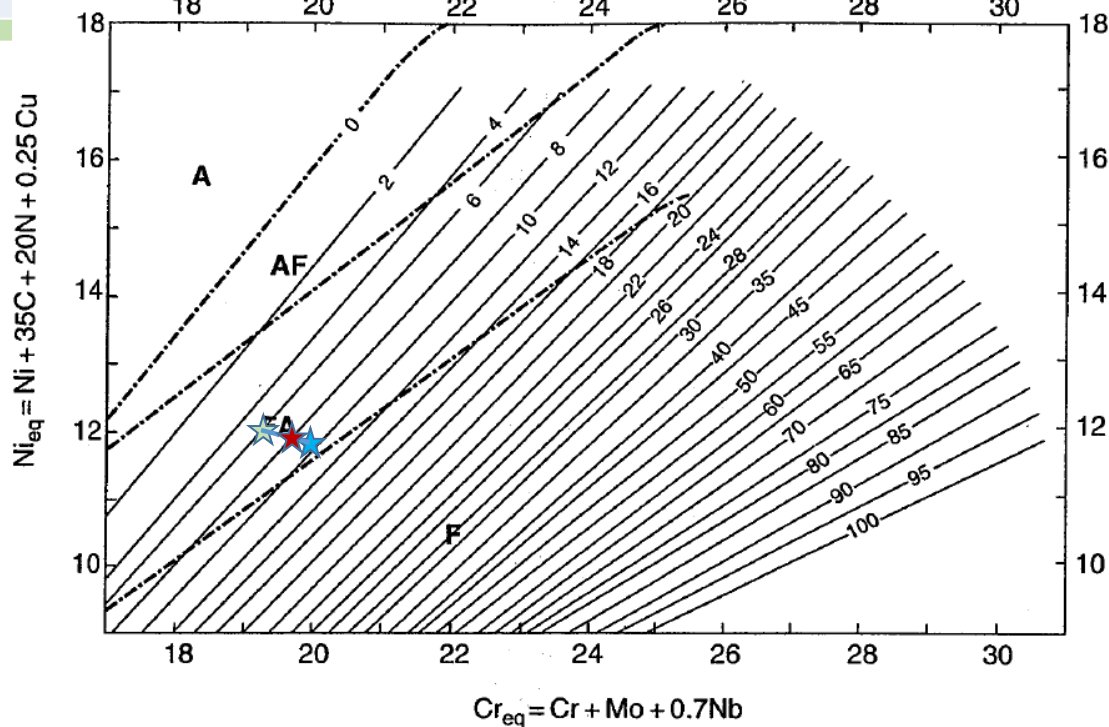
Classification							
EN ISO 14343-A				AWS A5.9			
W 19 9 Nb Si				ER347Si			
Characteristics and typical fields of application							
Avesta 347-Si/MVNb-Si is used for welding titanium and niobium stabilized steels of type 17 Cr 11 Ni 2.5 Ti or similar, providing improved high temperature properties, e.g. creep resistance, compared to low-carbon non-stabilized materials. 347-Si/MVNb-Si is therefore primarily used for applications where service temperatures exceed $400\text{ }^{\circ}\text{C}$. Structure: Austenite with 5 – 10 % ferrite Scaling temperature: Approx. $850\text{ }^{\circ}\text{C}$ (air). Corrosion resistance: 347-Si/MVNb-Si is primarily intended for high temperature service or constructions that should be heat treated. However, the corrosion resistance corresponds to that of 308H, i.e. good resistance to general corrosion.							
Base materials							
Outokumpu 4541, ASTM 321, 347, EN 1.4541, 1.4550							
Typical analysis of the solid wire (wt.-%)							
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Nb	Ferrite
wt.-%	0.05	0.85	1.2	19.5	10.0	$> 12x\text{C}$	7 FN (WRC-92)
Mechanical properties of all-weld-metal							
Heat treatment	Yield strength $R_{p0.2}$	Tensile strength R_m	Elongation ($L_0=5d_0$)	Impact work ISO-V KV J		Hardness	
	MPa	MPa	%	$+20\text{ }^{\circ}\text{C}$	$-40\text{ }^{\circ}\text{C}$	Brinell	
u	520	680	33	110	100	210	
u	untreated, as welded – Shielding gas Ar (99.5 %)						

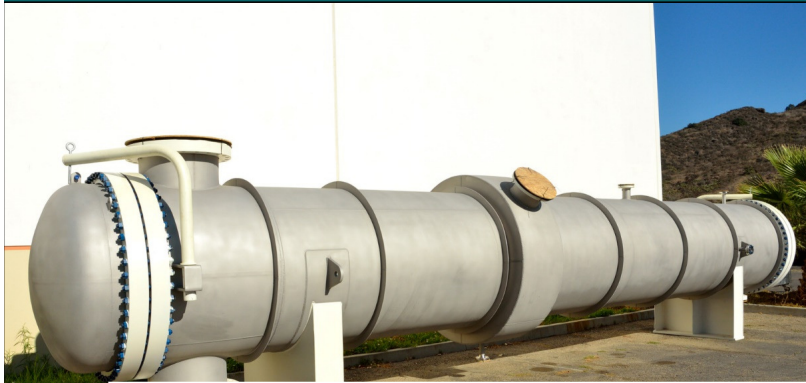
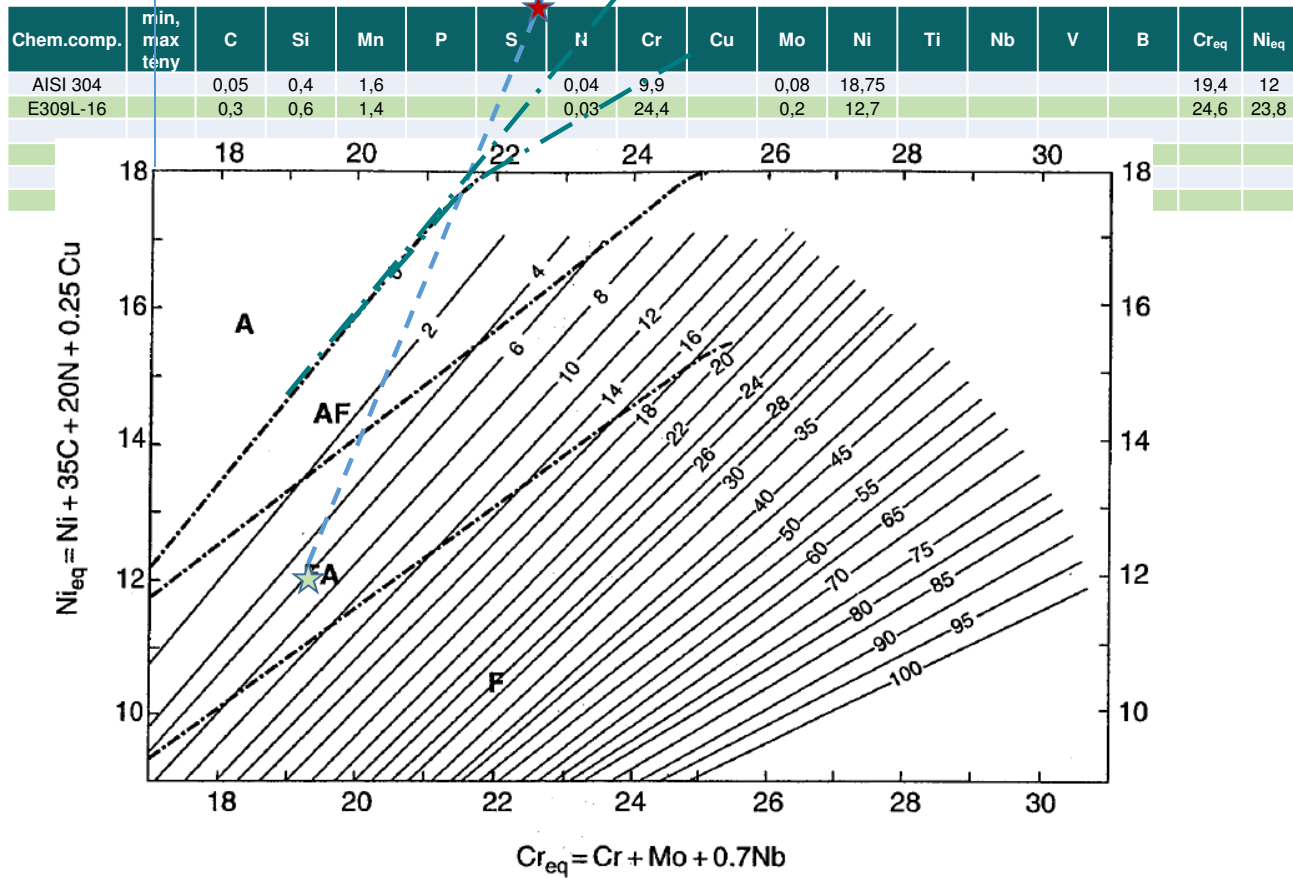
20

Chem.comp.	min, max tény	C	Si	Mn	P	S	N	Cr	Cu	Mo	Ni	Ti	Nb	V	B	Cr _{eq}	Ni _{eq}
AISI 304		0,05	0,4	1,6			0,04	9,9		0,08	18,75					19,4	12
ER308LSi		0,02	0,8	1,7				20			10,2					20	10,9
ER347Si		0,05	0,85	1,2				19,5			10		0,6			19,92	11,8



Chem.comp.	min, max tény	C	Si	Mn	P	S	N	Cr	Cu	Mo	Ni	Ti	Nb	V	B	Cr _{eq}	Ni _{eq}
AISI 304		0,05	0,4	1,6			0,04	9,9		0,08	18,75					19,4	12
ER308LSi		0,02	0,8	1,7				20			10,2					20	10,9
ER347Si		0,05	0,85	1,2				19,5			10		0,6			19,92	11,8





A duplex rozsdamentes acélok és hegesztésük



- Fe–Cr–Ni–N-rendszer
- ~ 50 % ausztenit + 50 % ferrit (manapság 60 - 40)
- Ausztenitesekhez képest
 - Növelt korrózióállóság (SCC, kloridionokkal szemben, lyukkorrózióval szemben stb.)
 - Növelt szilárdság: egyezményes folyáshatár ~ 500 MPa
- Hőmérséklettartomány -40 °C – 280 °C
- Olaj- és gázipar, papírgyártás, offshore kitermelő állomások, hőcserélők, építészet

Duplex korrózióálló acélok: 16 db, **hőálló** acélok: 0 db
érvényes szabvány szerint

- **1. típus:** sovány duplex korrózióálló acélok. Az ebbe a csoportba tartozó minőségek Ni- és Mo-szegény acélok. A fontos ausztenitképző nikkelt hiányát N-nel és Mn-nal pótolják; pl. 1.4362 (X2CrNi23-4, 2304[®]), Nitronic 19D, 1.4162 (X2CrMnNiN21-5-1, LDX2101[®]).
- **2. típus:** standard duplex acélok. A 22 % Cr, 5 % Ni, 3 % Mo és 0,20 % N ötvöztetésű, ún. 2205-ös acél számít a leggyakrabban használt duplex acél minőségnek. Pl. 1.4462 (X2CrNiMoN22-5-3, S32205).

- **3. típus:** szuperduplex korrózióálló acélok. Jelentősen növelt korrózióállóságú acélok, melyek a növelt Cr- és Mo-tartalomnak továbbá a Cu- és W-ötvözésnek köszönhetően fokozottan ellenállnak az erős lyukkorróziós hatásoknak; pl. 1.4410 (X2CrNiMoN25-7-4, S32750), 1.4501 (X2CrNiMoCuWN25-7-4, S32760).
- **4. típus:** hiperduplex korrózióálló acélok. A Cr + Mo akár 35 % is lehet, és a nitrogéntartalom is eléri az oldhatósági határt ($\approx 0,40$ %).
- **5. típus:** ausztenites-ferrites hőálló acél. A megnövelt mennyiségű szén (0,15 %) és Si (1,5 %) biztosítja a hőállóságot.
Az egyetlen minőség az 1.4821 (X15CrNiSi25-4).

Lyukkorrózióval szembeni ellenállást leíró kifejezések

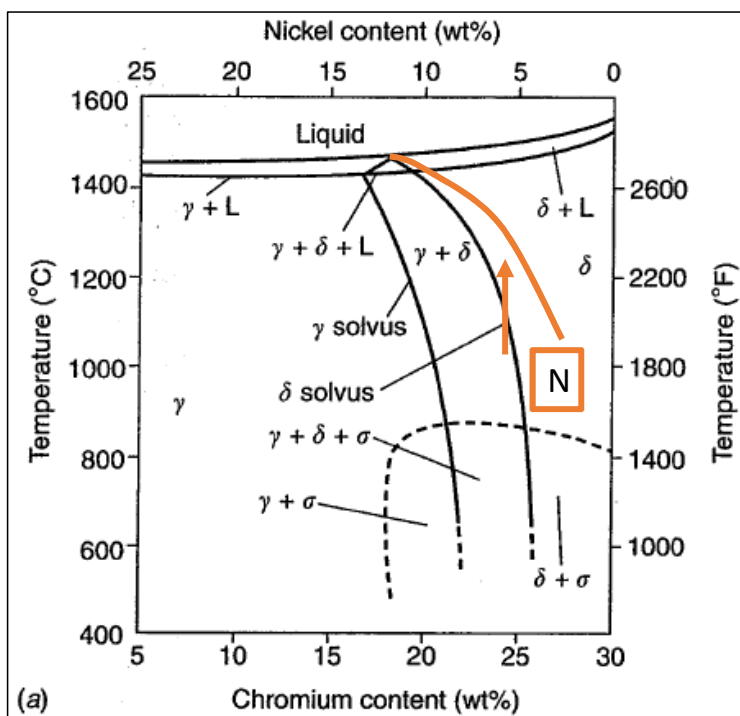
Jelölés	Képlet	Megjegyzés
PRE	$Cr + 3,3Mo$	Ferrites acélok
PRE(N), PRE _N , PREN	$Cr + 3,3Mo + 20N$	Ausztenites és duplex acélok
PRE(N), PRE _N , PREN, PRE(16)	$Cr + 3,3Mo + 16N$	
PRE(30)	$Cr + 3,3Mo + 30N$	
PRE(W)	$Cr + 3,3Mo + 1,65W + 16N$	W-ötvözésű acélok
PRE(W)	$Cr + 3,3(Mo + W) + 16N$	
PRE _{Mn}	$Cr + 3,3Mo + 30N - Mn$	Nagy N-tartalmú acélok
MARC	$Cr + 3,3Mo + 20(C + N) - 0,5Mn - 0,25Ni$	
IRCL	$Cr + 3,3Mo + 16N + 2,6Ni - 0,7Mn$	Sovány duplex acélok

MSZ EN 10088-1:2015

PRE Pitting Resistance Equivalent (6)	$PRE = Cr + 3,3Mo + 16N$ most common formula for Supeaustenitic/duplex/ferritic $PRE = Cr + 3,3Mo + 30N$ also for austenitic steels with Mo > 3%	Resistant when: PRE = 40 - 60
---	---	----------------------------------

29

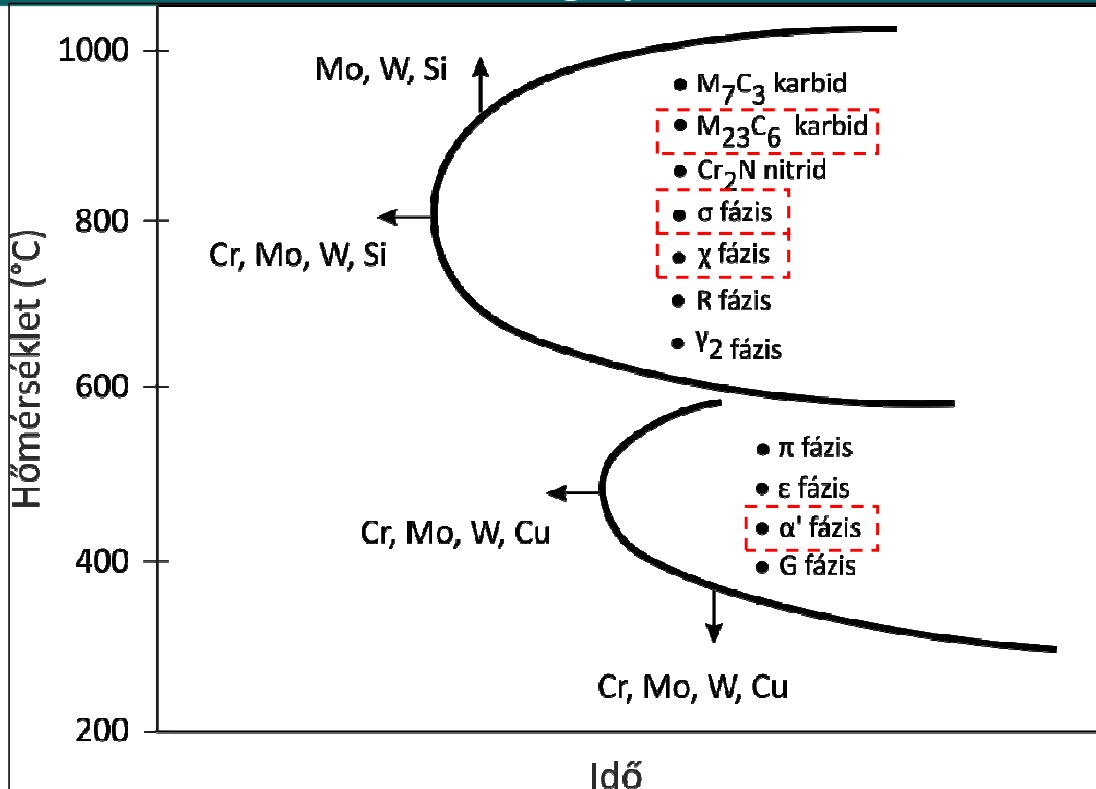
A duplex korrózióálló acélok metallurgiája



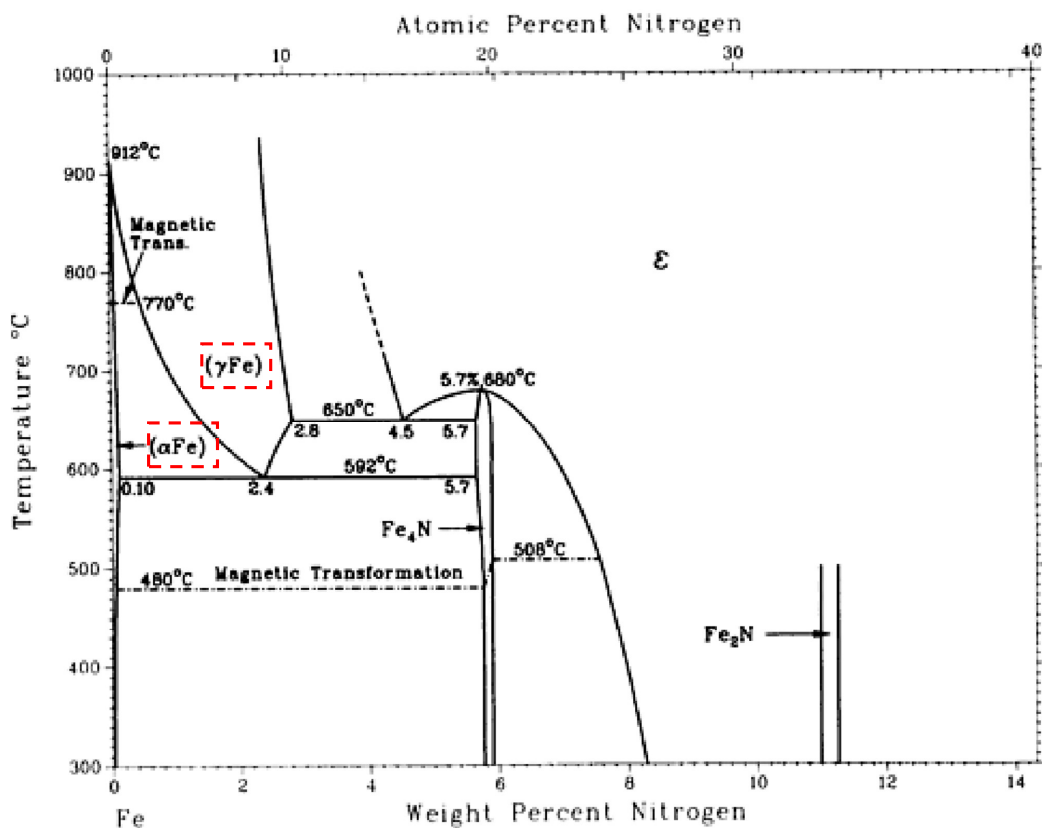
- Ausztenites-ferrites szövetszerkezet
- Ferritként kristályosodik
- Szilárd állapotú ferrit → ausztenit átalakulás
- Függ a $\Delta t_{12/8}$ hűlési időtől, és az összetételtől
- Az átalakulást elsősorban a N diffúziója hajtja

Kvázibinér Fe–Cr–Ni-diagram,
70 % Fe-tartalomnál

30



ASME: max. 315 °C, TÜV: max. 250 °C hegesztett állapotban



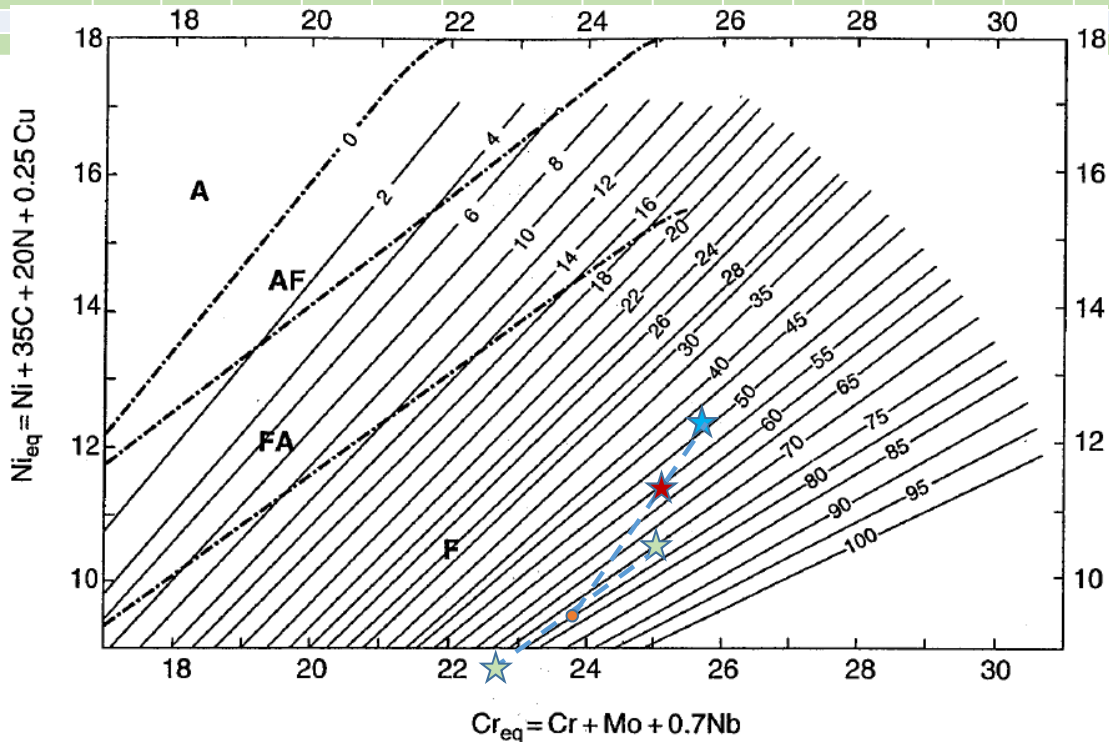
- Hőbevitel: 0,2 – 1,5 kJ/mm sovány és szuper duplexek, 0,5 – 2,5 kJ/mm hagyományos duplex
- Kristályosodási repedésre kevésbé érzékeny
- Hidegrepedésre általában nem érzékeny
 - Hidrogéntartalmú védőgáz nem ajánlott
- Intermetallikus fázisok kiválására erősen érzékeny
- σ -fázis kiválását Ni gátolja: nagyobb hőmérséklet, hosszabb idő
- α' okozta elridegedés
- Korrózióállóság:
 - SCC-nek kiválóan ellenáll, kloridos környezetben is
 - Lyukkorrózióval szembeni ellenállása kiváló

- Legtöbb típusnak van saját hegesztőanyaga
- Azok a típusok, amelyeknek nincs illeszkedő hegesztőanyaga, általában jól hegeszthetők a „2209” és a „2307” hegesztőanyagokkal.
 - Ha Mo-t nem tartalmaznak: 2307
 - Ha Mo-t tartalmaznak: 2209
 - Az LDX 2404 alapanyaghoz „2209” hegesztőanyag szükséges

Classifications									
EN ISO 14343-A	EN ISO 14343-B	AWS A5.9							
G 22 9 3 N L	SS2209	ER2209							
Characteristics and typical fields of application									
<p>GMAW solid wire particularly suitable for welding of ferritic-austenitic duplex steels. By virtue of specific alloy composition which includes an extremely low oxygen content the deposit has, in addition to high tensile strength and toughness, also excellent resistance to stress corrosion cracking and pitting ($PRE_N > 35$). In order to ensure good deposit properties, care must be taken to achieve controlled dilution and thorough back purging. Ferrite content 30 – 60 FN (WRC). Suited for temperatures down to -40°C, and up to $+250^\circ\text{C}$. The wire exhibits good feeding, welding and wetting characteristics of the wire. The preferred gas for MIG welding is Argon + 20 % Helium + 2 % CO_2.</p>									
Base materials									
<p>Same-alloyed duplex steels, as well as similar-alloyed, ferritic-austenitic steels with higher tensile strength</p> <p>1.4462 X2CrNiMoN22-5-3, 1.4362 X2CrNiN23-4, 1.4462 X2CrNiMoN22-5-3 together with 1.4583 X10CrNiMoNb18-12, 1.4462 X2CrNiMoN22-5-3 together with P235GH/ P265GH, S255N, P295GH, S355N, 16Mo3 UNS S31803, S32205</p>									
Typical analysis of solid wire (wt.-%)									
	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	N		PRE_N
wt.-%	≤ 0.015	0.4	1.7	22.5	8.8	3.2	0.15		≥ 35

35

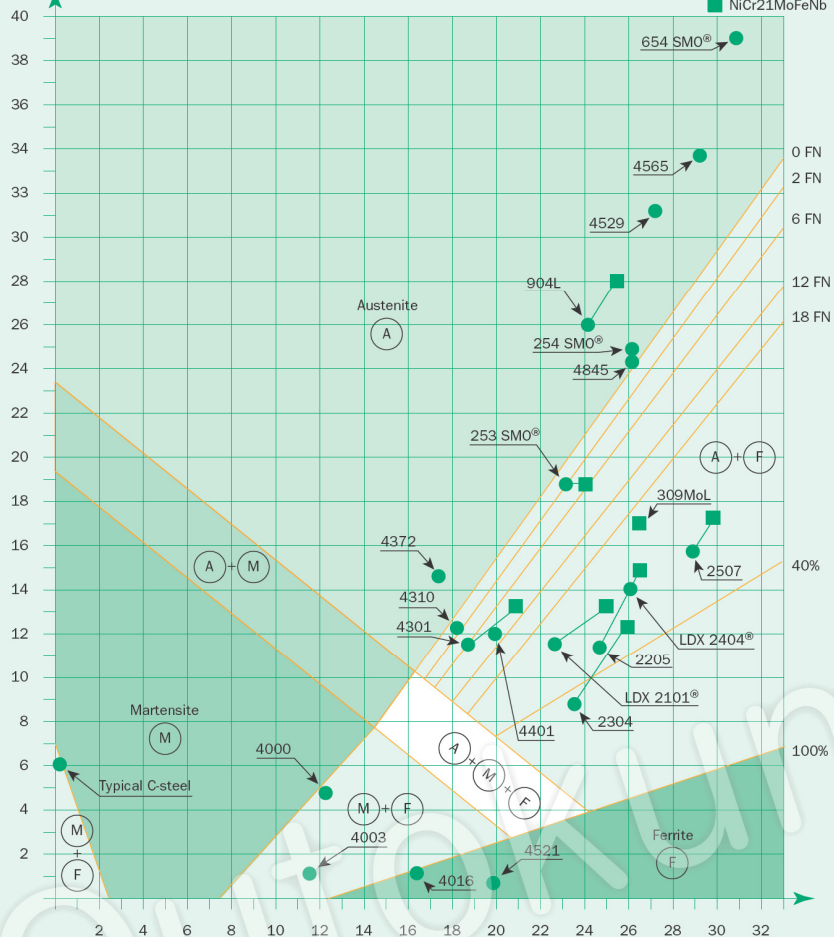
Chem.comp.	C	Si	Mn	P	S	N	Cr	Cu	Mo	Ni	Ti	Nb	V	B	Cr_{eq}	Ni_{eq}
X2CrNiMoN22-5-3	0,03	0,5	1,7	0,035	0,015	0,2	22		3	5,5					25	10,6
X2CrNiN23-4	0,03	0,5	1,7	0,035	0,015	0,15	23	0,35	0,35	4,5					23,35	8,6
ER2209	0,015	0,4	1,7			0,15	22,5		3,2	8,8		0,6			25,7	12,3



Chem.comp.
X2CrNiMoN22-5-3
X2CrNiN23-4
ER2209

$$Ni_{eq} = Ni + 35C + 20N + 0.25Cu$$

$$Nickel\ equivalent = \%Ni + 0.5 \times \%Mn + 30 \times (\%C + \%N)$$



B	Cr _{eq}	Ni _{eq}
	25	10,6
	23,35	8,6
	25,7	12,3

$$Chromium\ equivalent = \%Cr + \%Mo + 1.5 \times \%Si + 0.5 \times \%Nb$$

Köszönöm a megtisztelő figyelmet!