

Alumínium hőkezelése



Hőkezelés
(BMEGEMTBGK1)
2024 November 26.

Dr. Kovács Dorina
kovacs.dorina@gpk.bme.hu
MT épület 061.

1 x x x (1000 jelű sorozat)

2 x x x (2000 jelű sorozat)

3 x x x (3000 jelű sorozat)

4 x x x (4000 jelű sorozat)

5 x x x (5000 jelű sorozat)

6 x x x (6000 jelű sorozat)

7 x x x (7000 jelű sorozat)

8 x x x (8000 jelű sorozat)

9 x x x (9000 jelű sorozat)

Nagy tisztaságú alumínium

Cu-ötvözésű

Mn-ötvözésű

Si-ötvözésű

Mg-ötvözésű

Mg és Si ötvözésű

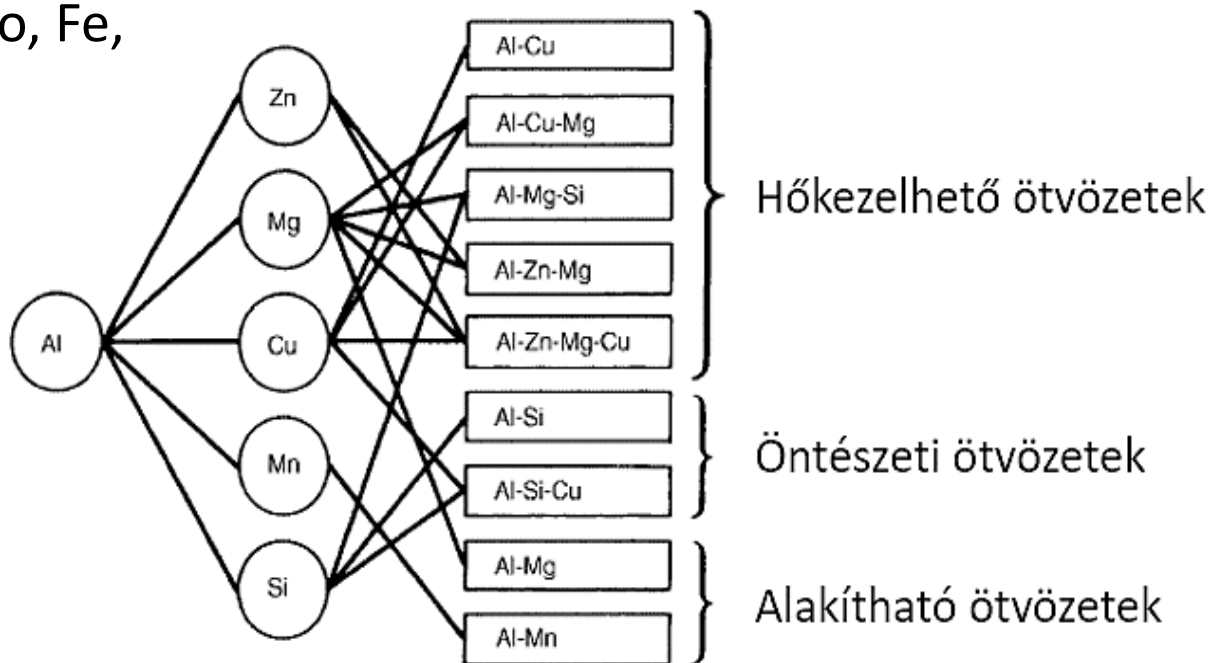
Zn-ötvözésű

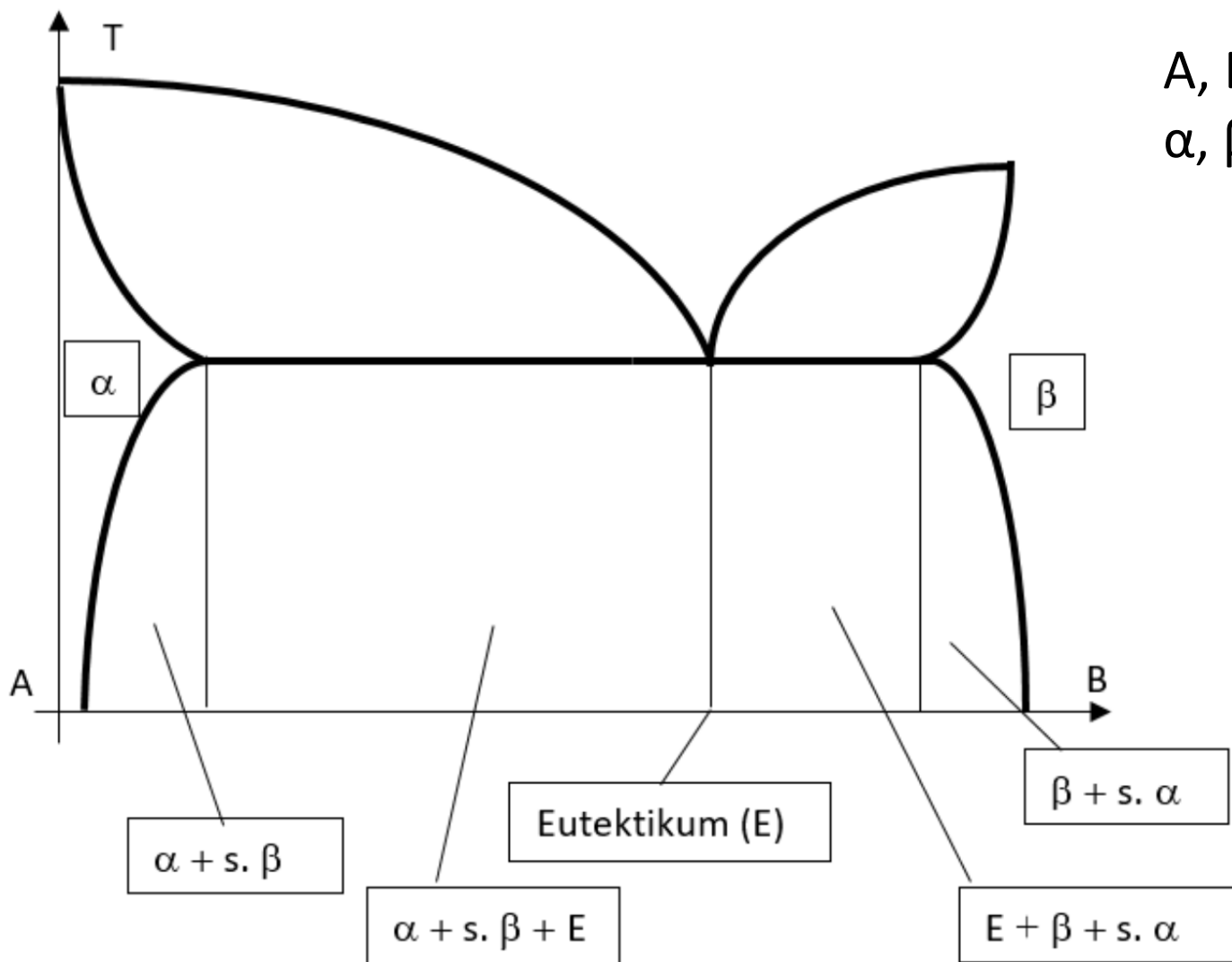
Li-ötvözésű

Egyéb elemekkel ötvözött

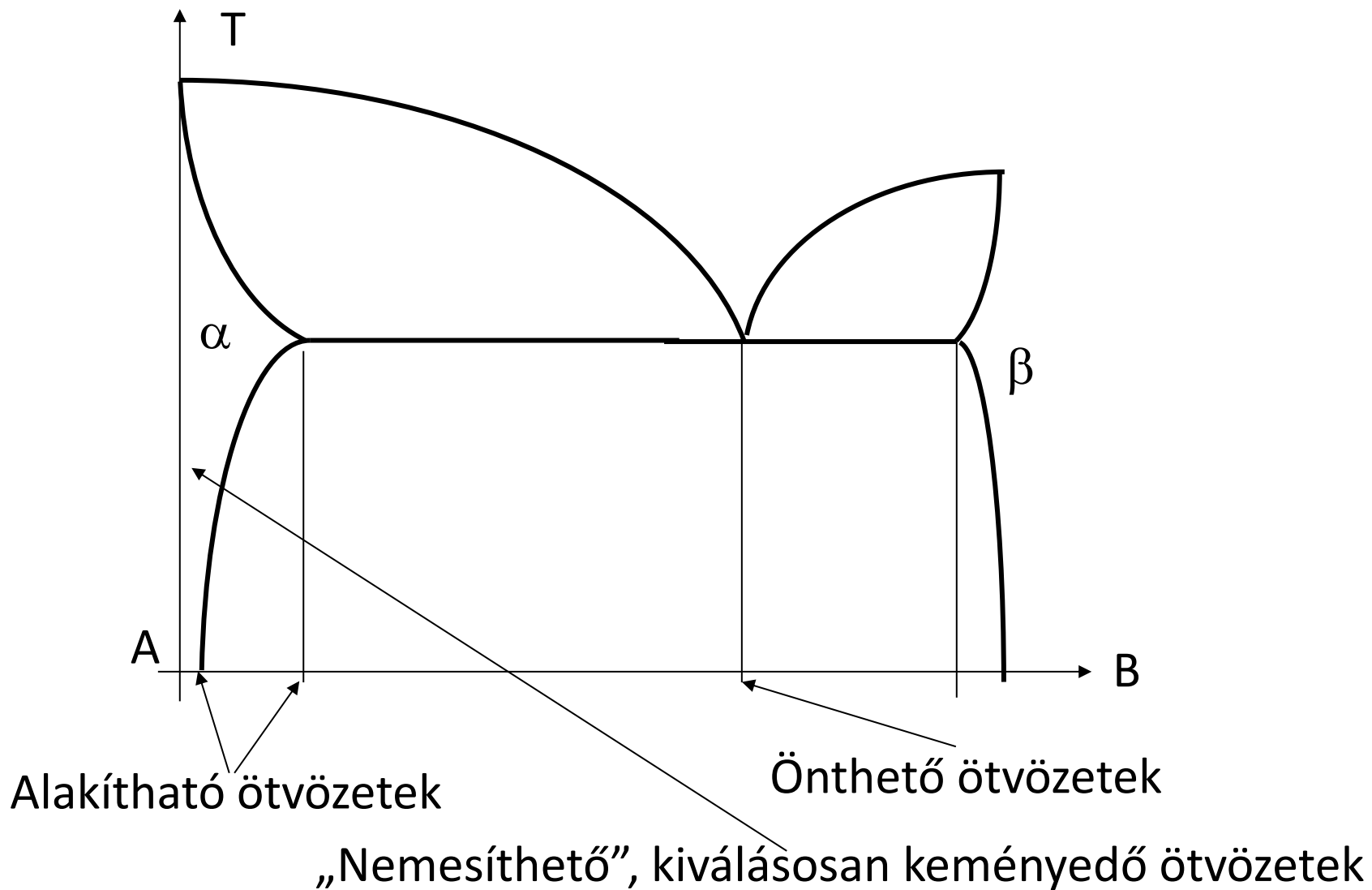
- Szilárdságot növel: Cu, Mg, Zn, Mn, Si
- Szemcsenagyságot csökkent: Ti, Cr
- Korrózióállóságot javít: Mn, Sb
- Melegszilárdságot javít: Ni
- Forgácsolást könnyít: Co, Fe,

Hőkezelhető:
 2xxx – Cu,
 6xxx – Mg, Si,
 7xxx – Zn,
 8xxx – Li





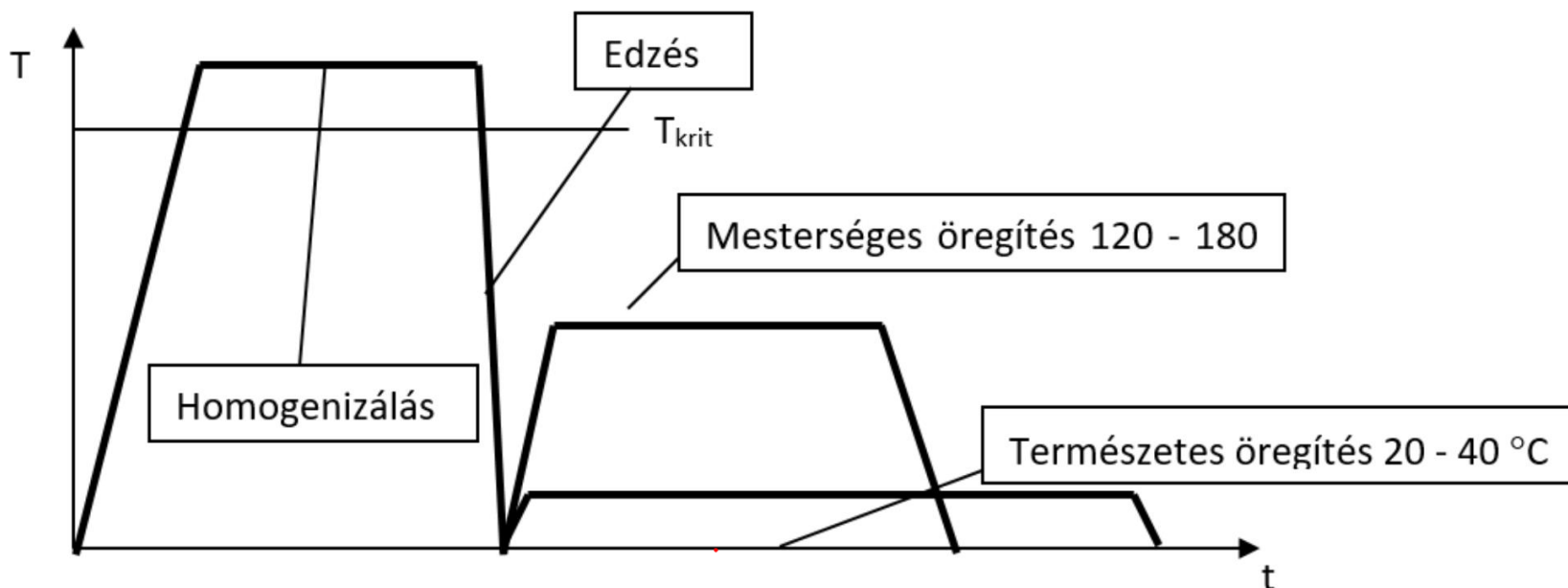
A, B – komponensek
 α , β – szilárd oldatok



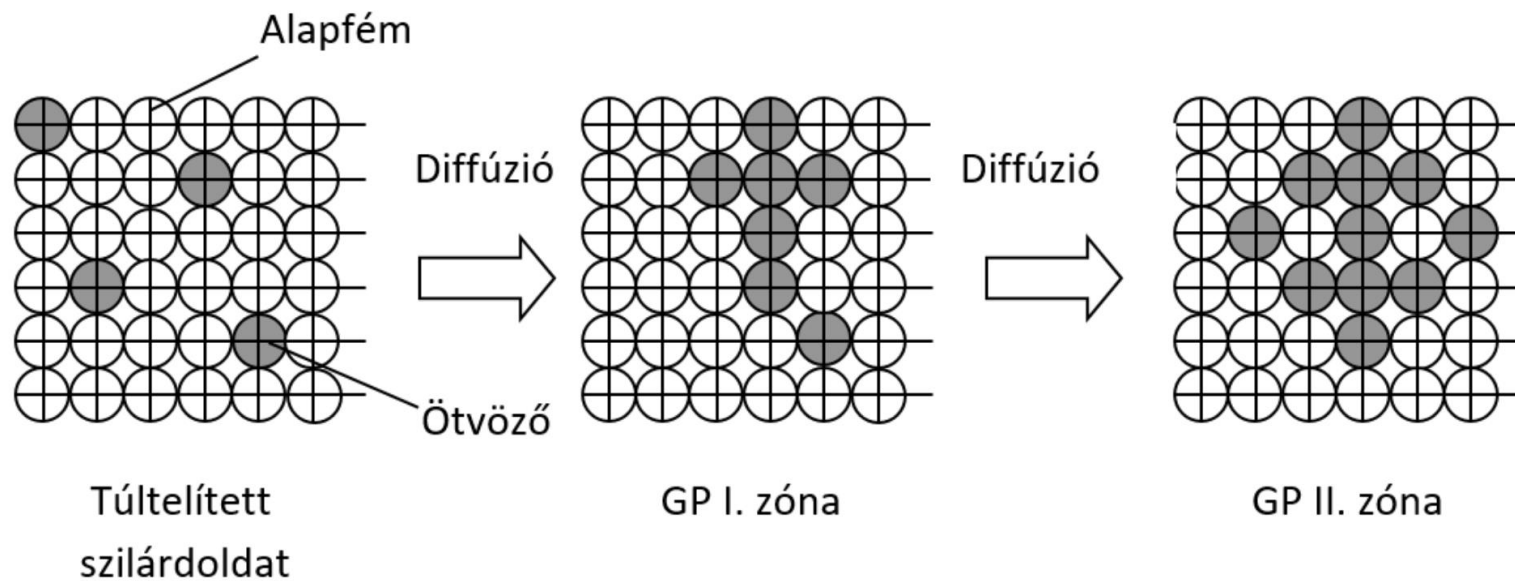
Homogenizálás: szegregációs vonal fölötti, de az eutektikus vonal alatti hőmérsékleten

Gyors hűtéssel (edzéssel): tútelített, homogén szilárd oldatot hozunk létre

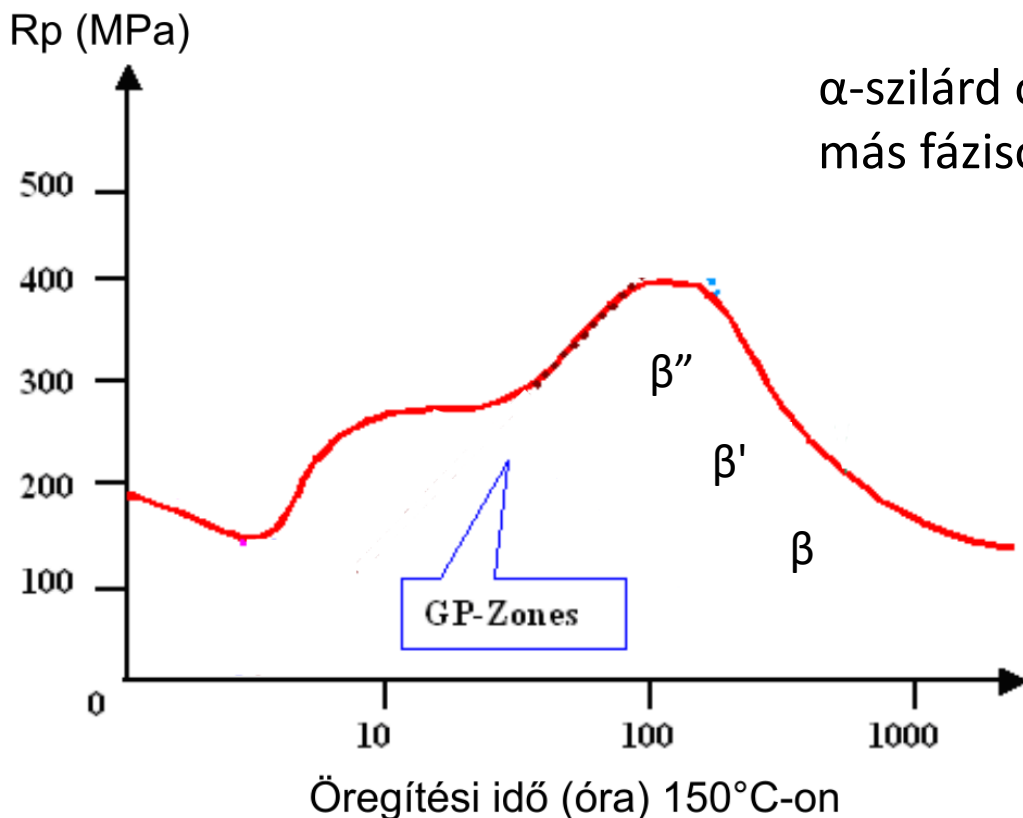
Öregítés: Guinier-Preston zónák keletkezése



A GP-zónák sűrűn elhelyezkedő, egyenletes eloszlású, igen kis méretű, önálló ráccsal nem rendelkező, ötvözőfémekben dús képződmények, térfogatrészek az alapfém rácsában. A GP-zónák környékén a rács rugalmasan torzult állapotban van, emiatt a szilárdsági jellemzők nőnek, és a fajlagos villamos ellenállás is nő.

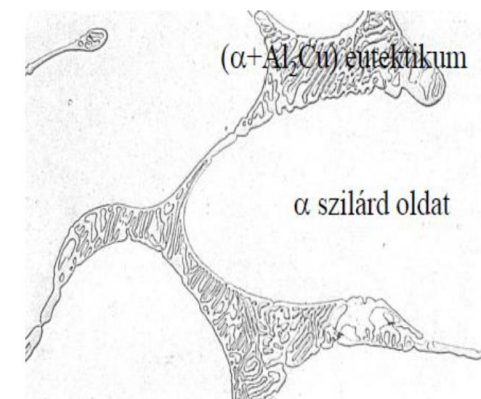
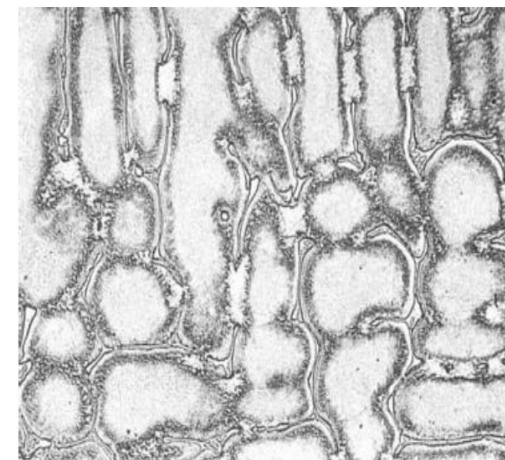
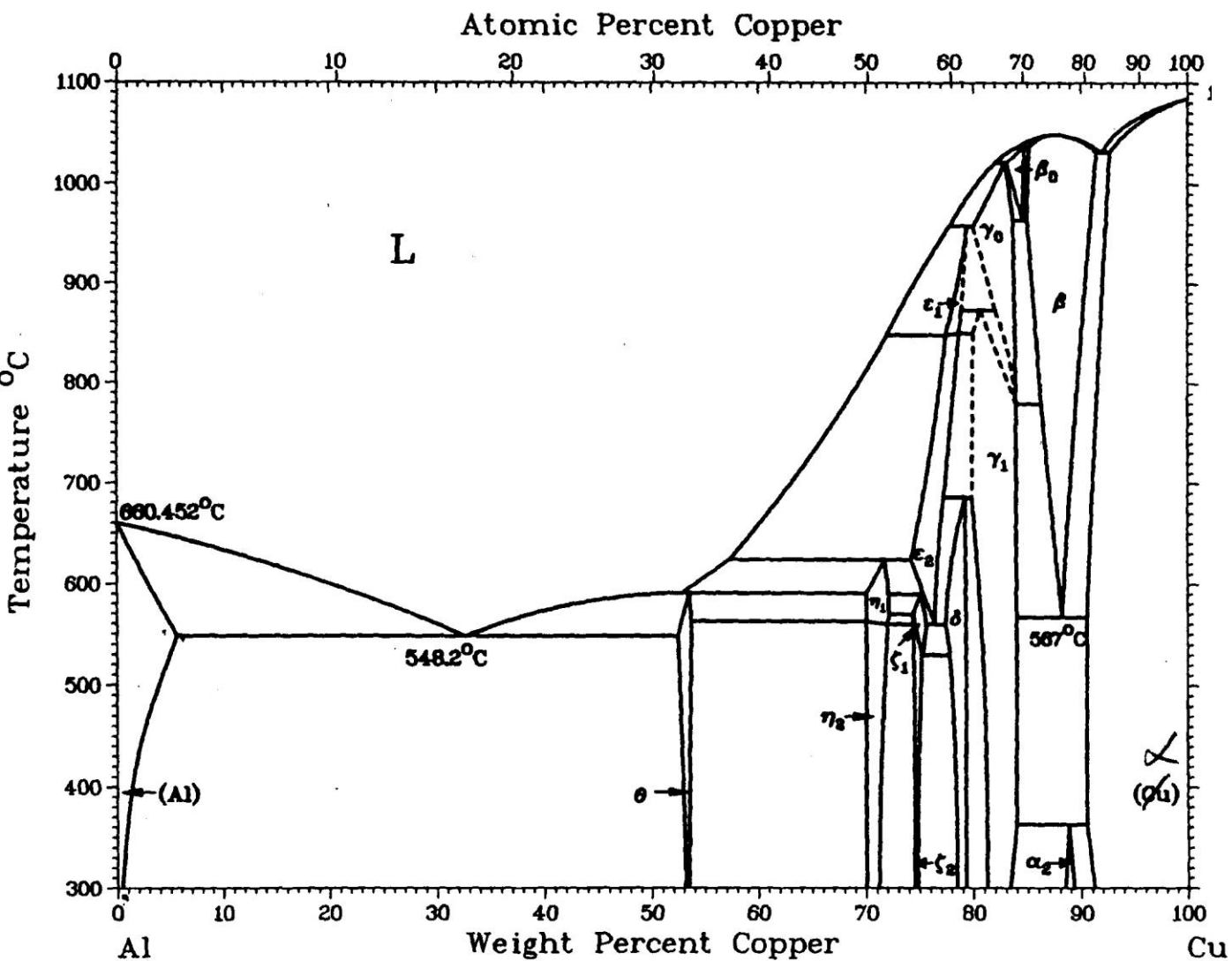


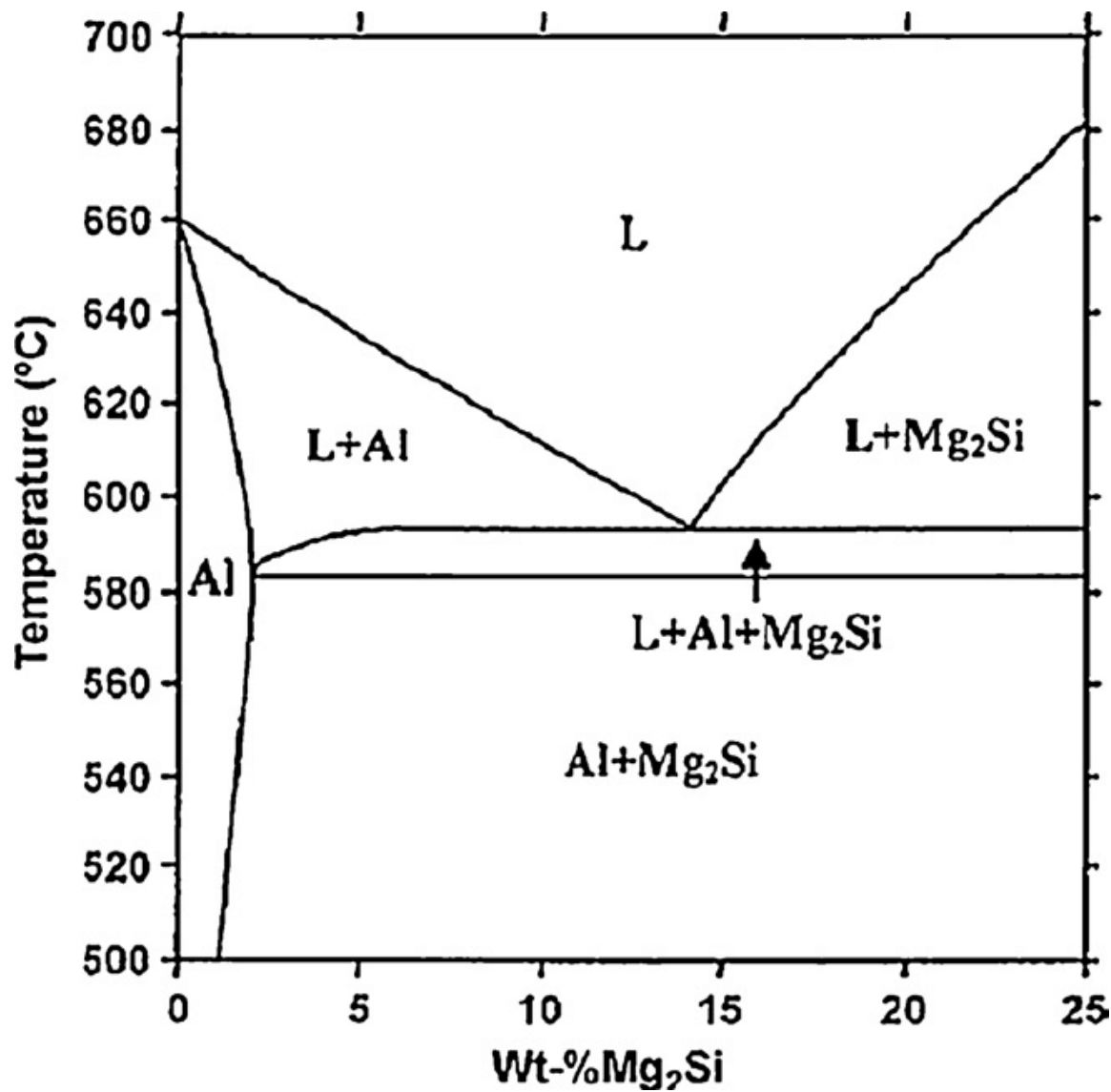
A GP-zónákban dúsult ötvözőfématomok lesznek a β'' fázis képződésének a helyei
 → megfelelő hőmérséklet megválasztásával a GP zónák feloldódnak

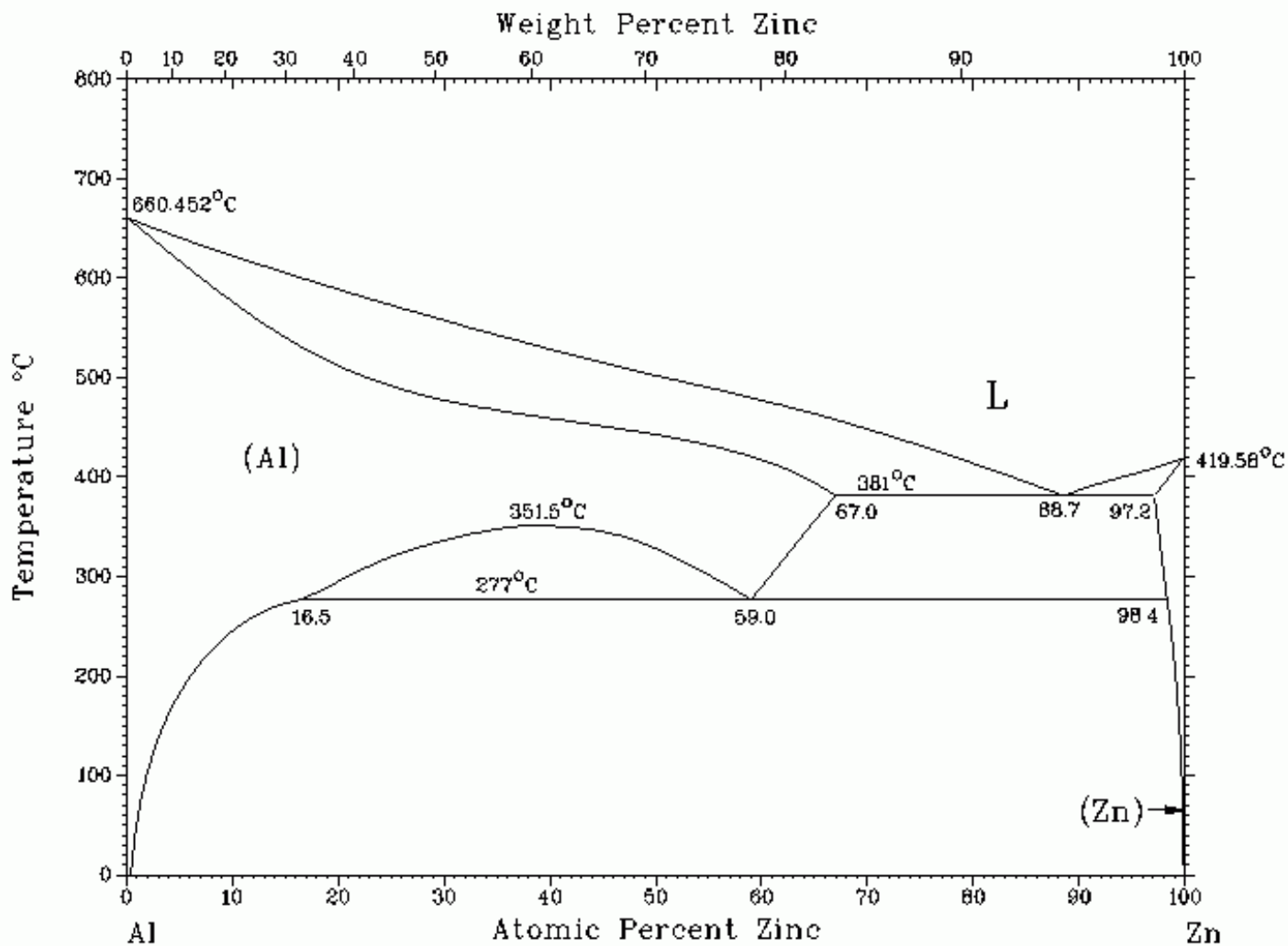


α -szilárd oldat nem stabil, így megjelennek más fázisok is:

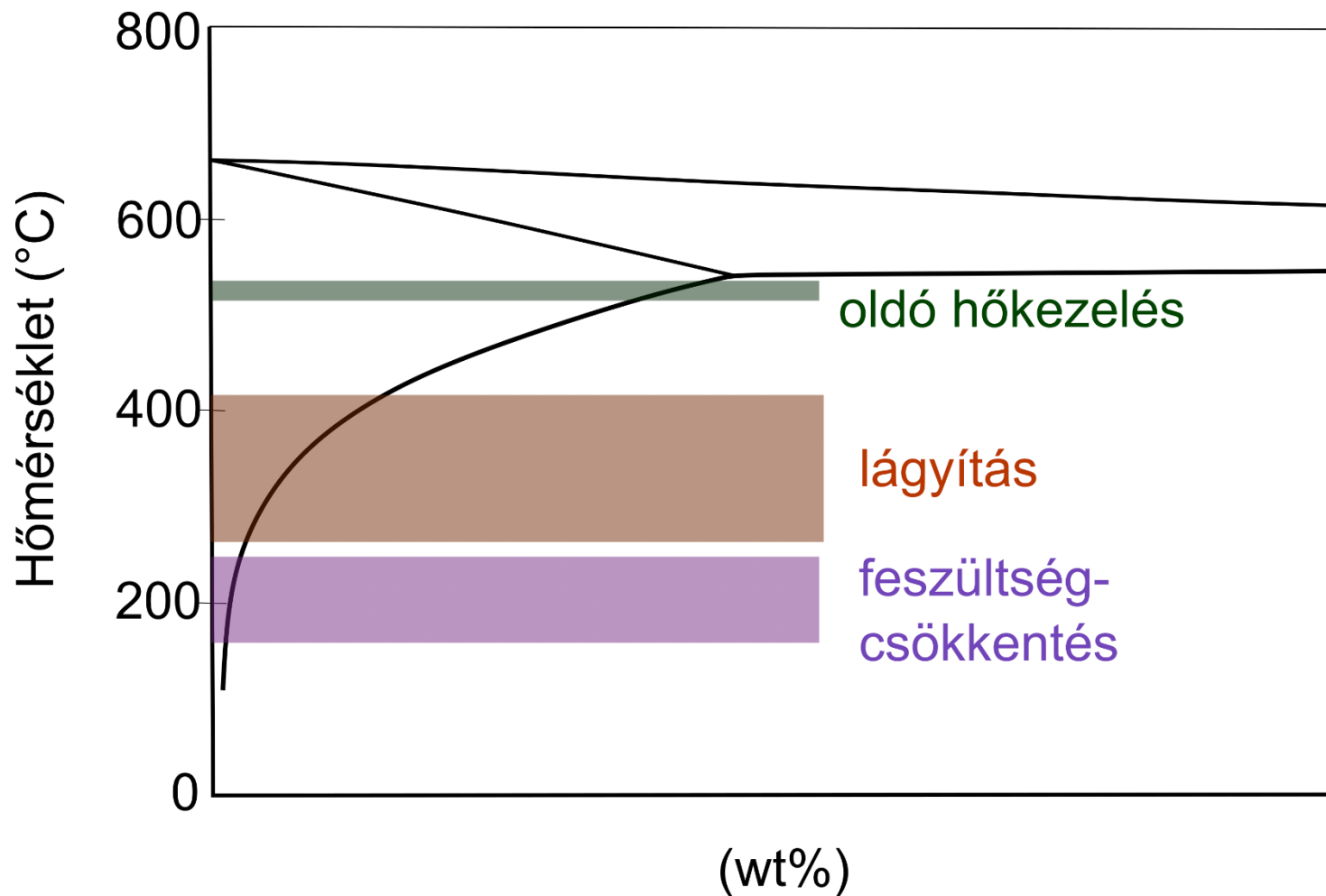
$\alpha + \text{GP-zóna} \rightarrow \alpha + \beta'' \text{ fázis} \rightarrow \alpha + \beta' \text{ fázis}$
 $\rightarrow \alpha + \beta \text{ fázis}$







Hőkezelés típusa	Leírás
(F)	öntés
O	lágítás
T1	gyártási hőmérsékletről hűtés, majd természetes öregítés
T2	gyártási hőmérsékletről hűtés, hidegalakítás, majd természetes öregítés
T3	oldó hőkezelés, hidegalakítás, majd természetes öregítés
T4	oldó hőkezelés, majd természetes öregítés
T5	a gyártási hőmérsékletről hűtés, majd mesterséges öregítés
T6	oldó hőkezelés, majd mesterséges öregítés
T7	oldó hőkezelés, és túlöregítéssel stabilizálás

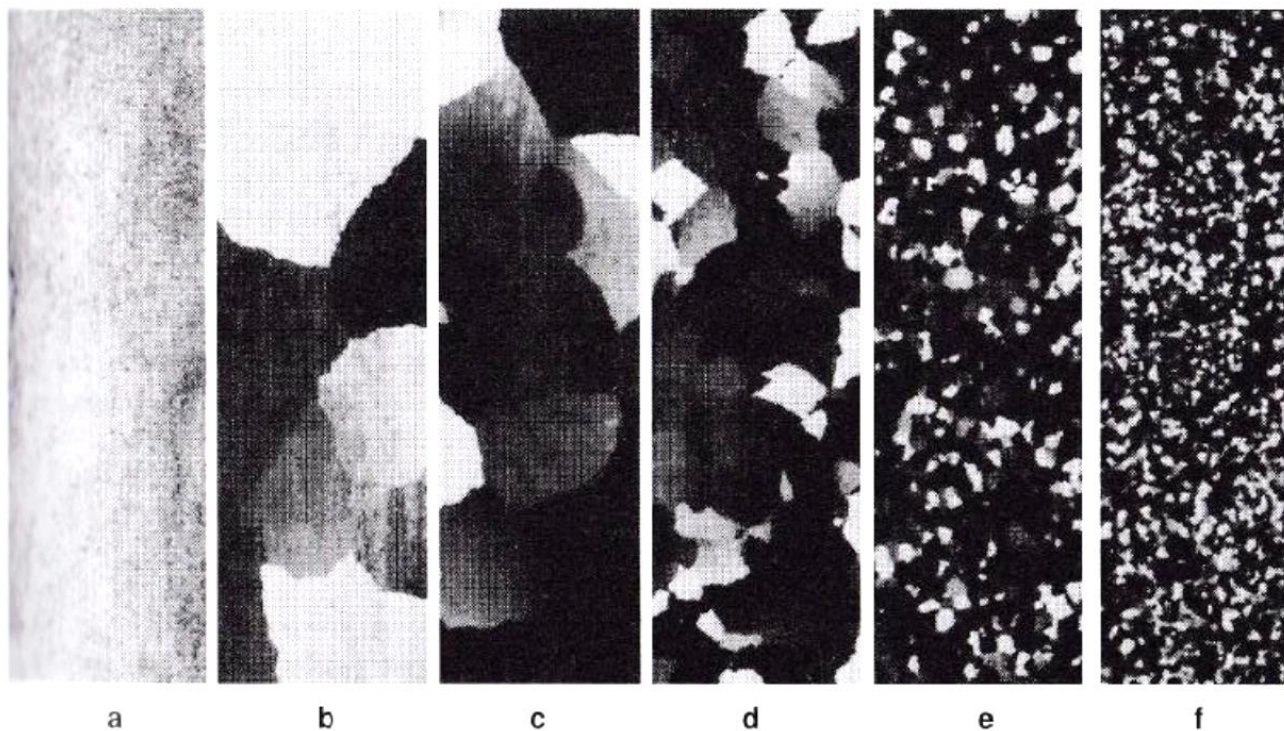


- hidegalakító műveletek elvégzése előtt
- keletkező fázis részecskéi minél nagyobbak legyenek → minél nagyobb a kiválás mértéke
- kemencében vagy levegőn hűtik
- újrakristályosodási folyamatok mennek végbe

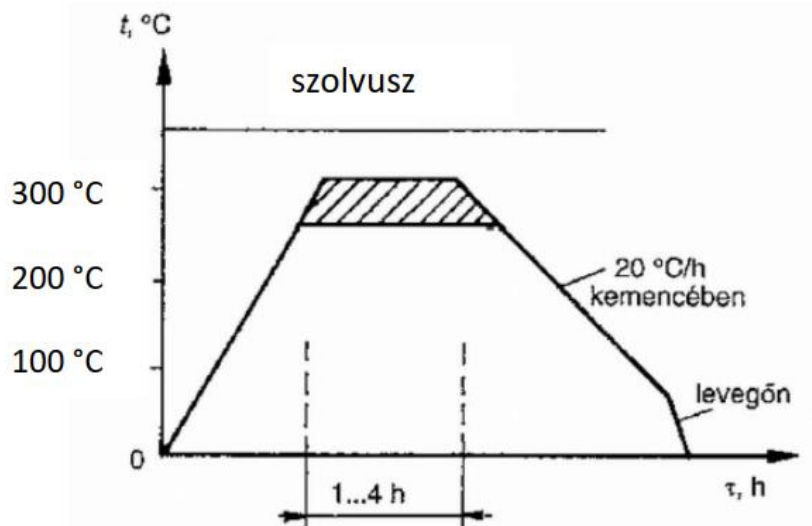
Újrakristályosodás ismétlése:

(0. hidegalakítás)

1. Megújulás – poligonizáció
2. Újrakristályosodás
3. Szemcsedurvulás

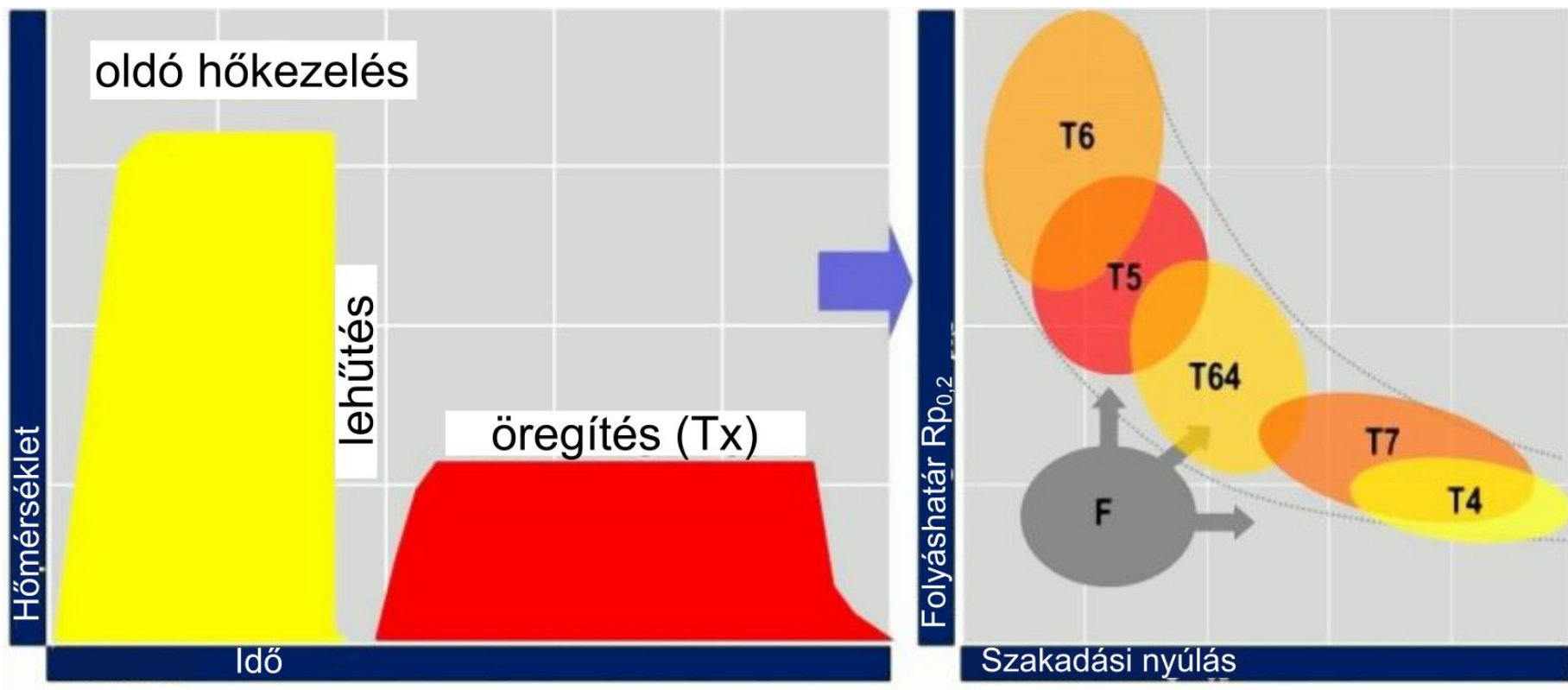


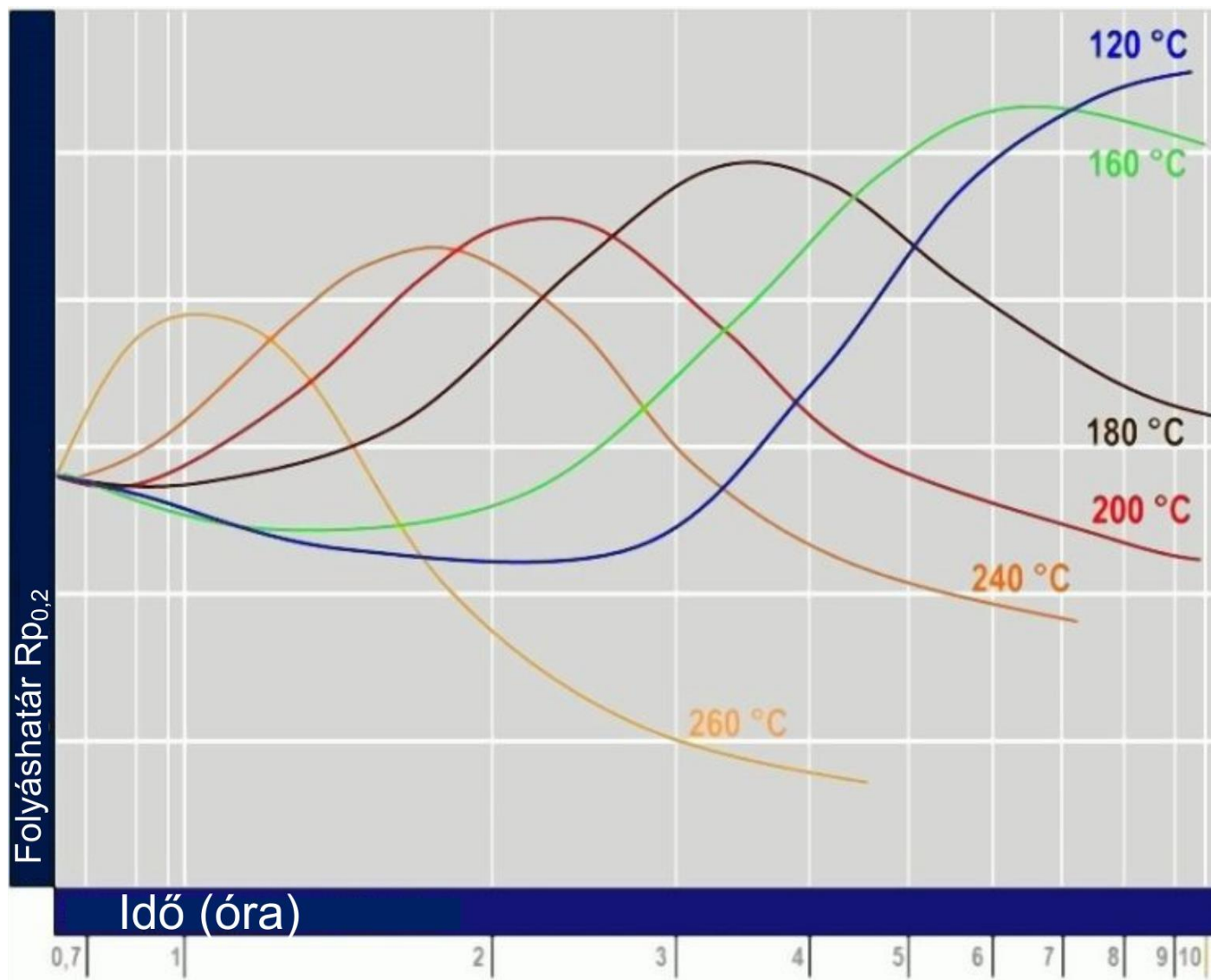
- Egyenletes felmelegítés (alakítás után: 150-200 °C, öntvények (esetén: 200-300°C) és rövid hőntartás
- Hűtési sebesség egyenletes biztosítása

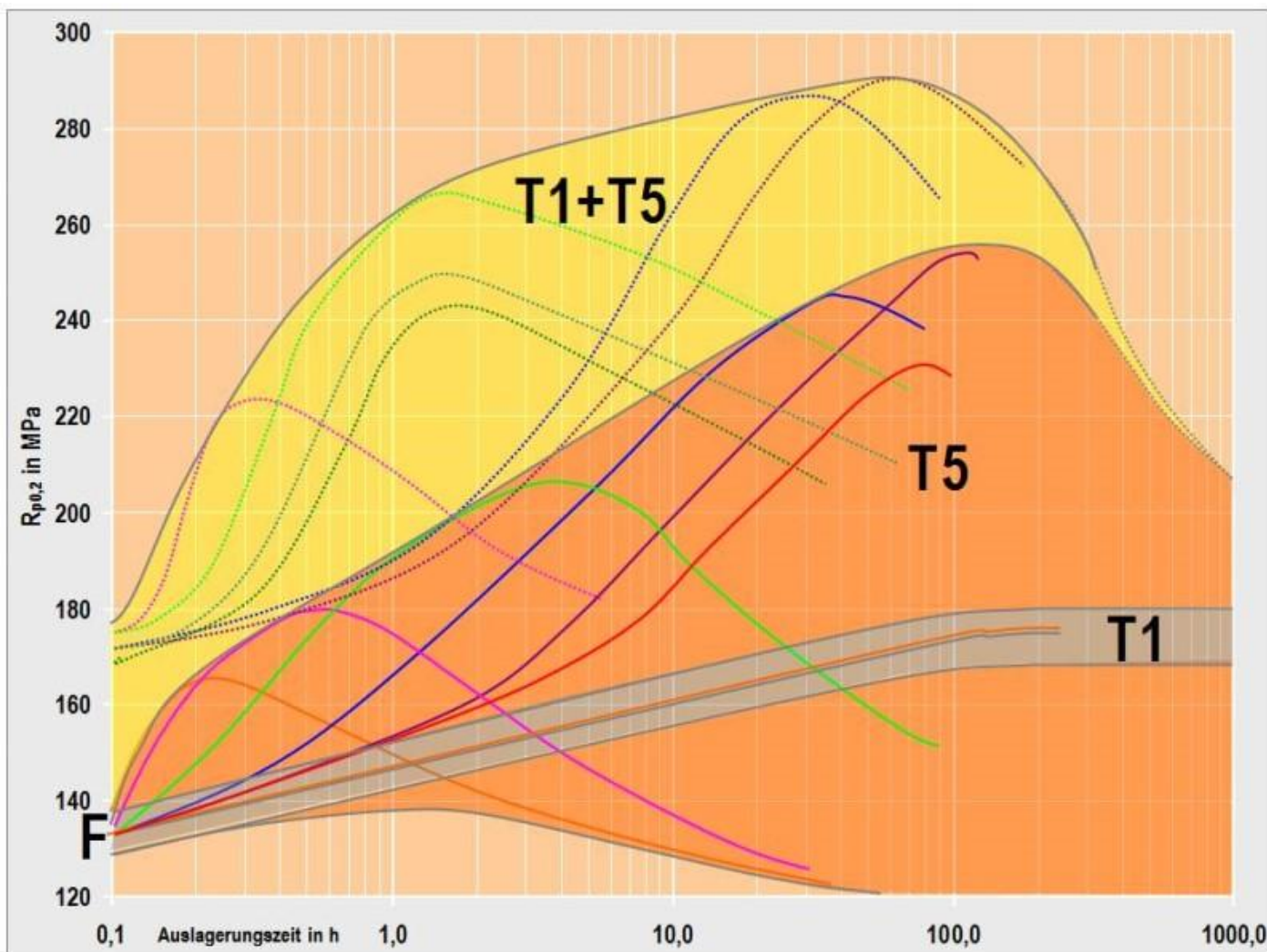


- A gyártás közben felépülő mechanikai feszültségek csökkentésére, megszüntetésére (hengerlés, kovácsolás, extrudálás, forgácsolás, öntés stb.).
- Hegesztést követően is alkalmazható, de itt többlet célja is lehet.
- A hátrányos következmények (vetemedés, deformáció stb.) feszültségcsökkentő hőkezeléssel elkerülhető.

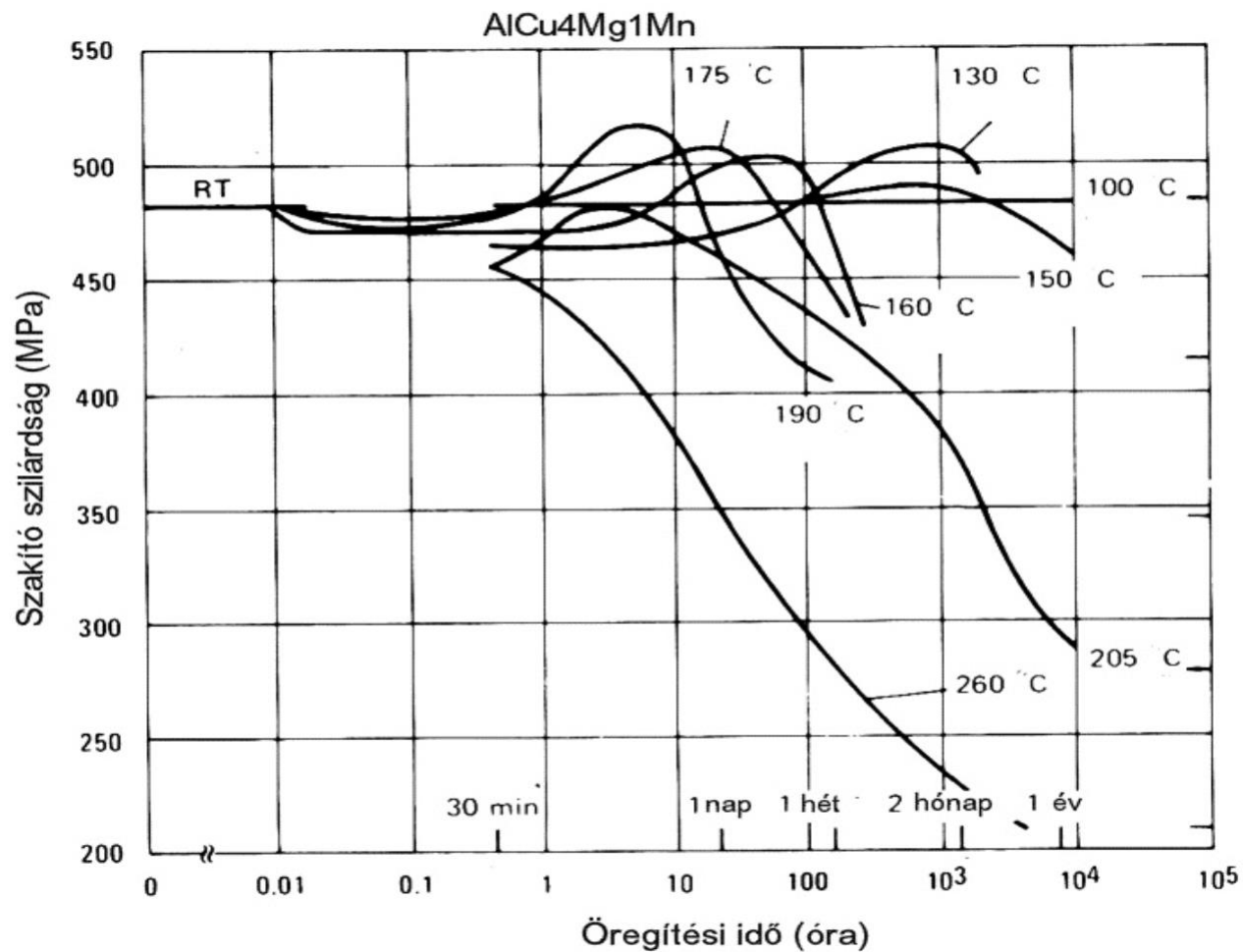
Hőkezelés típusa	Leírás
T36	oldó hőkezelés, 6%-os alakváltozást biztosító hidegalakítás, természetes öregítés
T42	oldó hőkezelés a lágyítási vagy gyártási hőmérsékletről visszahűtve, majd természetes öregítés
T64	Oldó hőkezelés, majd mesterséges öregítés rövidített időtartammal







Anyag jele	Az oldó izzítás hőmérséklete, °C	Az edzés módja	Öregítési		
			természetes	mesterséges	
			időtartam szobahőmérsékleten	hőmérséklet, °C	időtartam, h
AlSiMgE	520...540	Szobahőmérsékletű víz vagy vízpermet	5...8 h	150...180	4...16
AlMgSi	520...540	Mint előbb vagy mozgó levegő	5...8 h	150...180	4...16
AlMgSi1	520...540	Szobahőmérsékletű víz vagy vízpermet	5...8 h	150...180	4...16
AlCu4Mg1	495...505	Szobahőmérsékletű víz	5...8 h	—	—
AlCu4Mg2	495...505	Mint előbb	5...8 h	175...195	16...24
AlZn5Mg1	450...480	Álló vagy mozgó levegő, vagy max. 80 °C-os víz	3 hónap	120...135 Lépcsőzetes öregítés a szállító előírása szerint	—
AlZn6Mg2Cu	460...480	Víz szobahőmérséklettől 80 °C-ig	—	Lépcsőzetes öregítés a szállító előírása szerint	—



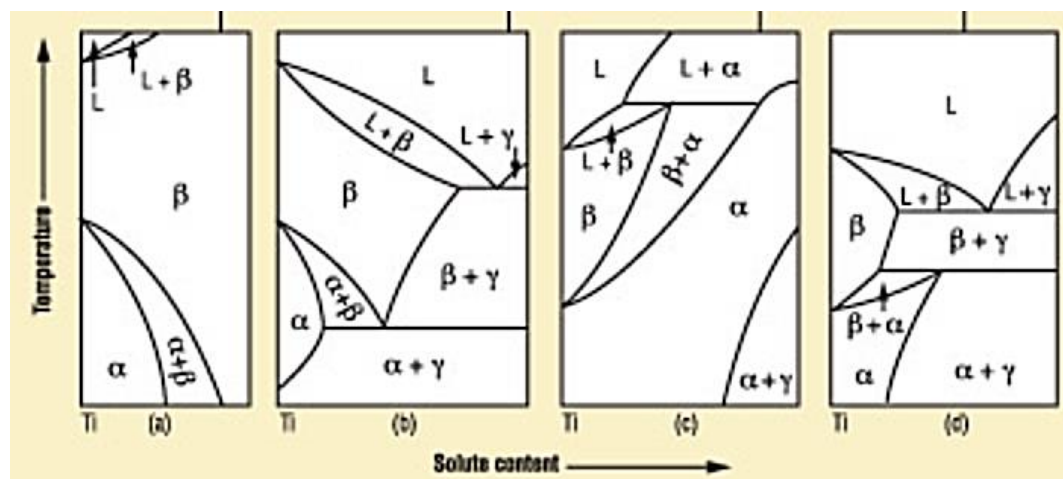
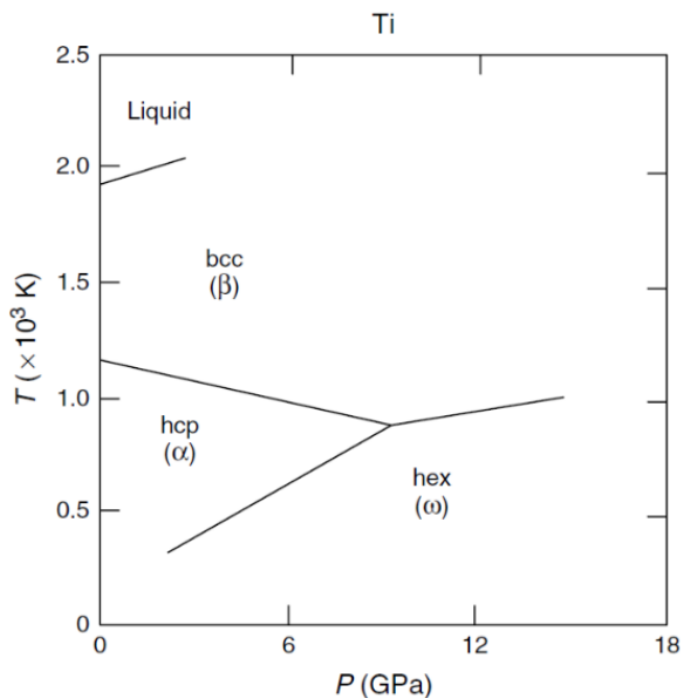
Titán hőkezelése



Hőkezelés
(BMEGEMTBGK1)
2024. November 26.

Dr. Kovács Dorina
Kovacs.dorina@gpk.bme.hu
MT épület 061.

	Titán	Vas	Alumínium
Sűrűség [g/cm ³]	4,51	7,8	2,7
Olvadáspont [°C]	1668 ± 10 °C	1536 °C	660 °C
Young-modulus	110 000 MPa	204 000 MPa	71 000 MPa
Hővezetési tényező	21,6 W/mK	71 W/mK	242 W/mK



α - fázis:

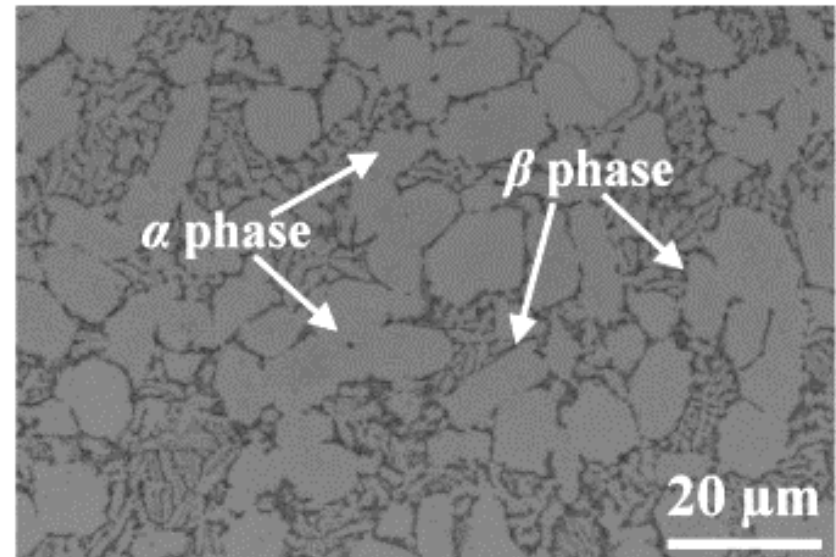
- Legsűrűbben rakott hexagonális rács
- Ötvöző elemek jól oldódnak benne
- Jól hegeszthető
- Nem edzhető
- 500-600 °C-on is jó a kúszásállósága

β - fázis:

- Térben középpontos köbös
- Jól alakítható
- Jól hegeszthető

$\alpha + \beta$ - fázis:

- Jól alakítható
- Szilárdsága hőkezeléssel növelhető



Reakcióképes nagy hőmérsékleten



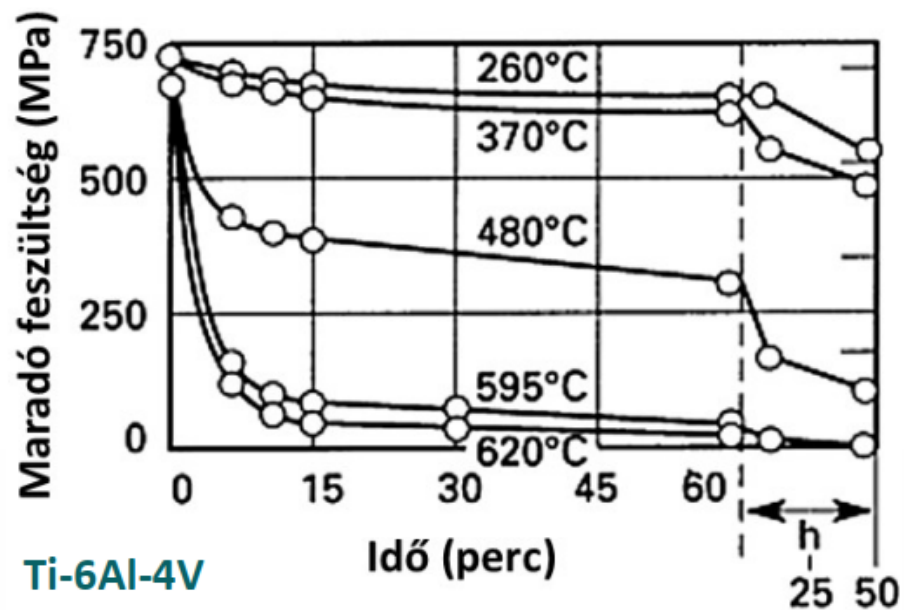
A titán gázoldóképessége jelentős

$N_2 : O_2 : H_2 = 1 : 5 : 1000$

megoldás: vákuumkemence

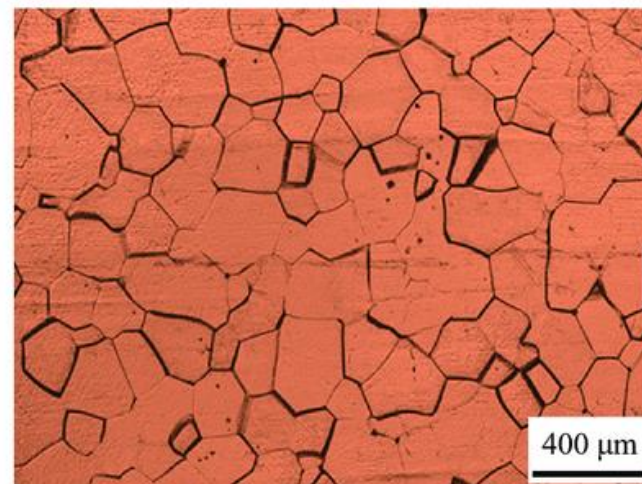
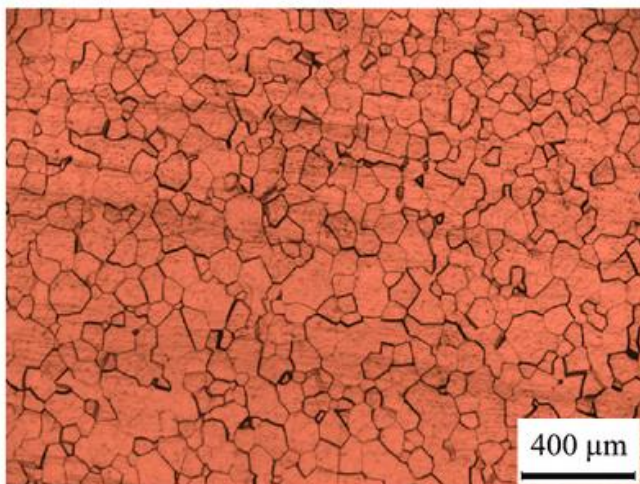
Ötvözet	Hőm. (°C)	Idő (h)
Tiszta Ti	480 – 595	0,25 – 4
α vagy közel α ötv.		
Ti-5Al-2.5Sn	540 – 650	0,25 – 4
Ti-8Al-1Mo-1V	595 – 705	0,25 – 4
Ti-5.8Al-4Sn-3.5Zr-0.7Nb-0.5Mo-0.3Si	625 – 750	1 – 3
$\alpha+\beta$ ötvözetek		
Ti-6Al-4V	480 – 650	1 – 4
Ti-6Al-7Nb	500 – 600	1 – 4
Ti-3Al-2.5V	540 – 650	0,5 – 4
Ti-8Mn	480 – 595	0,25 – 2

Ötvözet	Hőm. (°C)	Idő (h)
β vagy közel β ötv.		
Ti-13V-11Cr-3Al	705 – 730	0,08–0,25
Ti-3Al-8V-6Cr-4Zr-4Mo	705 – 760	0,16–0,5
Ti-10V-2Fe-3A	675 – 705	0,5 – 2



Ötvözet	Hőmérséklet (°C)
Ti-6Al-4V	705-790
Ti-3Al-2.5V	650-760
Ti-8Mn	650-760

Töréssel és repedéssel szembeni ellenállását javítja



Mo	Al	Nb	Si	Fe	C	N	O	H	Ti
14.5	2.9	2.85	0.19	0.07	0.02	0.02	0.09	0.002	Bal

Duplex (kettős) lágyítás:

- első hőntartás 50-75 °C-kal T_β hőmérséklet alatt
-> α fázis gömbszerűvé alakul át, megváltoztatja a fázisok méretét és eloszlását
- 540- 675 °C-os öregítés következik 2-8 órán át
-> gömbök között bordázott szövet jön

Újrakristályosító lágyítás:

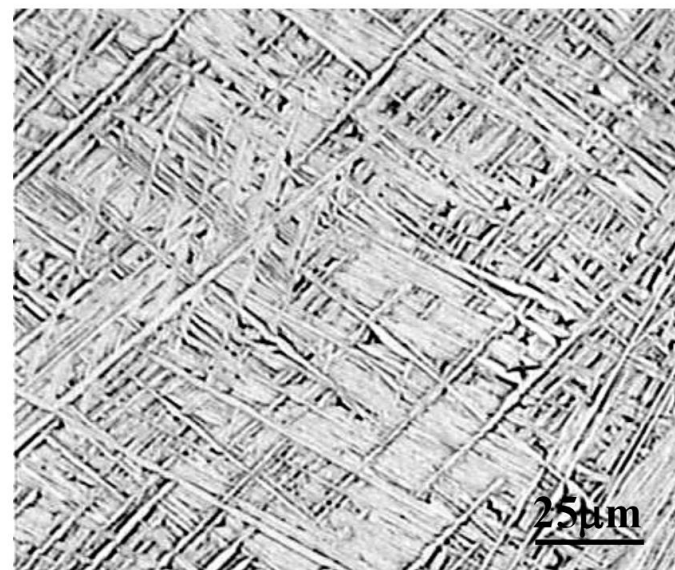
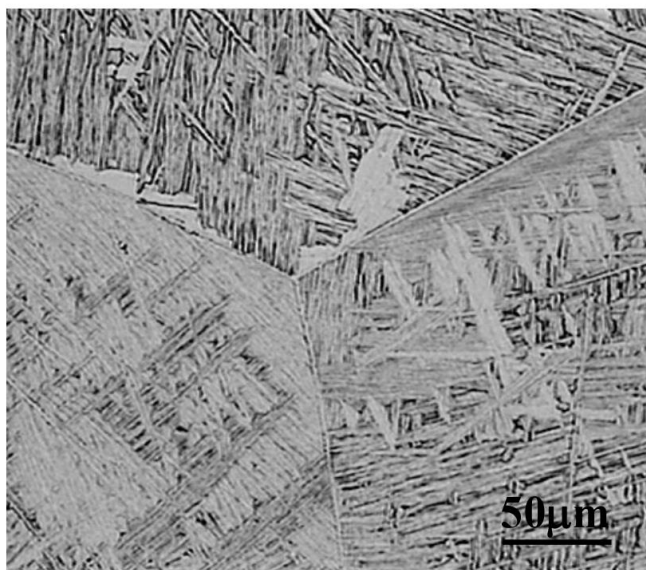
- $\alpha + \beta$ határáig történő hevítés → hőntartás 4 óráig → lassú hűtés 760 °C-ig, majd levegőn hűtés

Béta lágyítás:

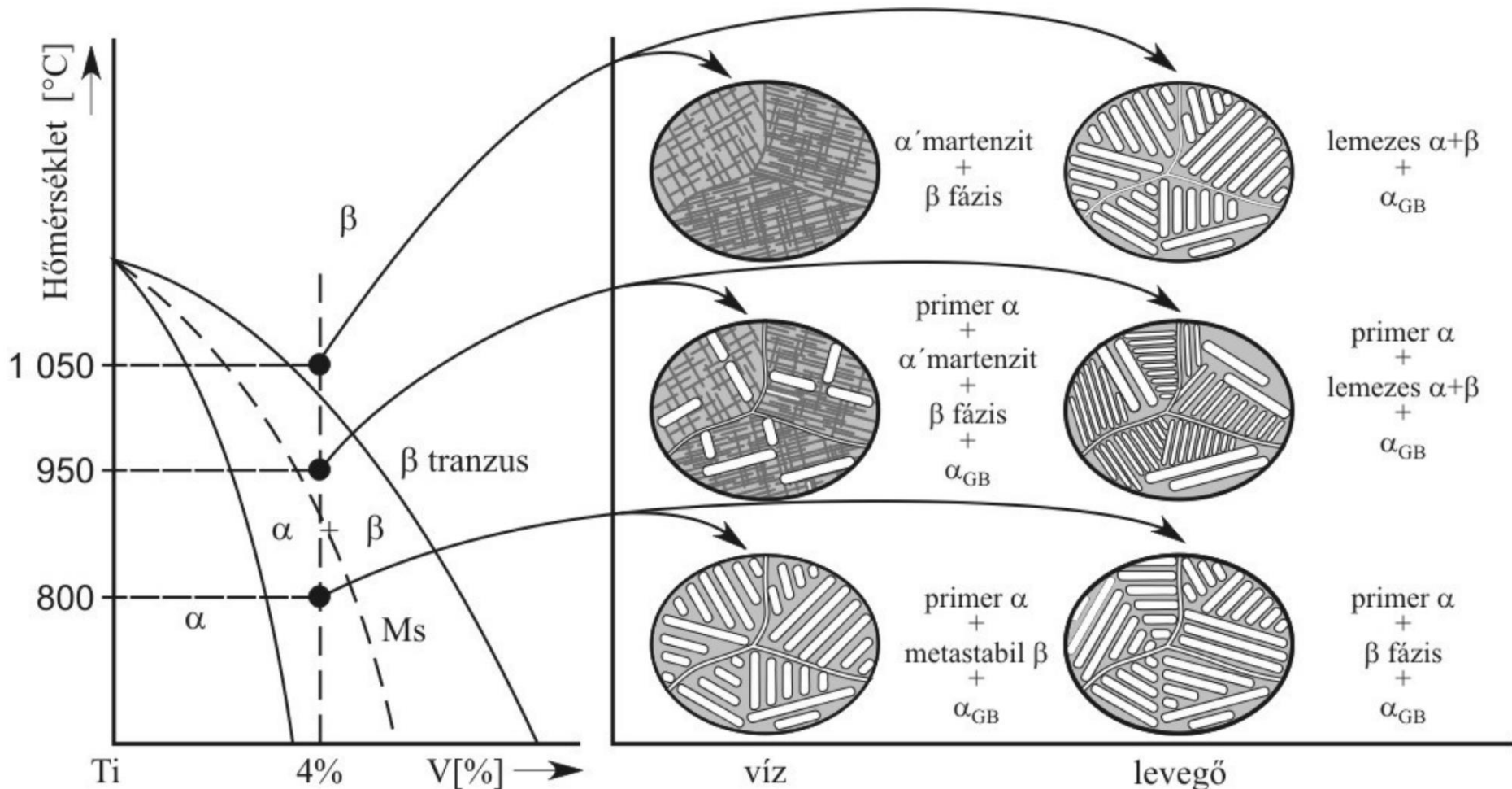
- T_β felett 15 °C-kal történik a hevítés, hogy a szemcsedurvulást elkerüljük



Ötvözet	Homogenizálás (oldó izzítás)		Öregítés	
	Hőmérséklet (°C)	Közeg	Hőmérséklet (°C)	Idő (óra)
Ti-6Al-4V	955-970	Víz	580-595	4-8
Ti-6Al-2Sn-4Zr-6Mo	845-890	levegő	580-605	4-8
Ti-10V-2Fe-3Al	760-780	levegő	510-595	8-24



Ti-6Al-4V kiinduló szövetszerkezete



6. ábra Az oldó izzítás paramétereinek hatása a Ti6Al4V jelölésű öntött titánötvözet szövetszerkezetére (sematikus ábrázolás)

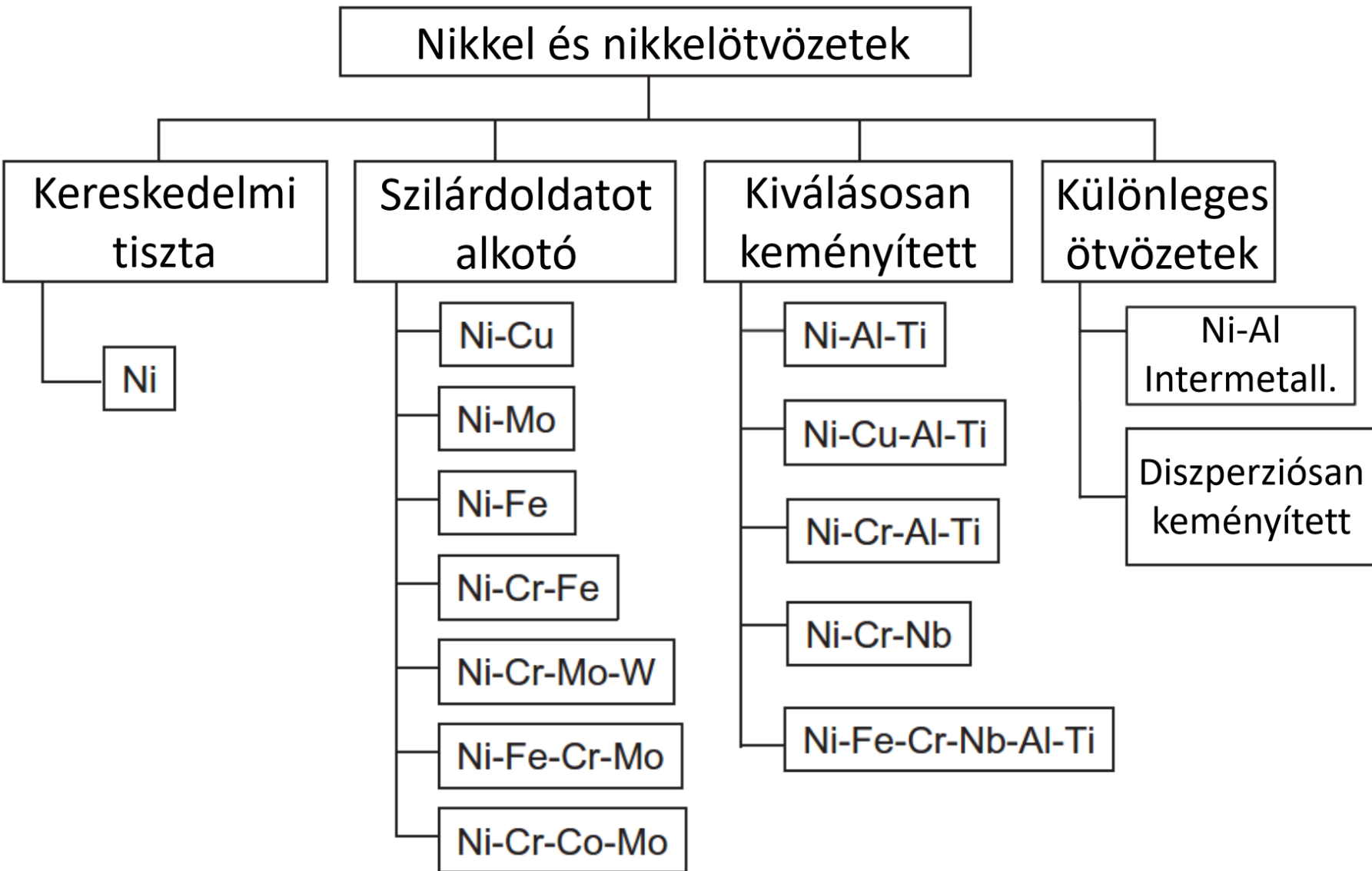
Ti6Al4V jelölésű öntött titánötvözet	Oldó izzítás	1050 °C/ 1h/víz	1050 °C/ 1h/levegő	950 °C/ 1h/víz	950 °C/ 1h/levegő	800 °C/ 1h/víz	800 °C/ 1h/levegő
	Keménység HV 10	405	320	395	311	344	319
Keménység kiinduló állapotban 312 HV 10	Oldó izzítás + keményítő hőkezelés	1050 °C/ 1h/víz + 550 °C/4h	1050 °C/ 1h/levegő + 550 °C/4h	950 °C/ 1h/víz + 550 °C/4h	950 °C/ 1h/víz + 550 °C/4h	800 °C/ 1h/víz + 550 °C/4h	800 °C/ 1h/víz + 550 °C/4h
	Keménység HV 10	428	338	414	352	368	346

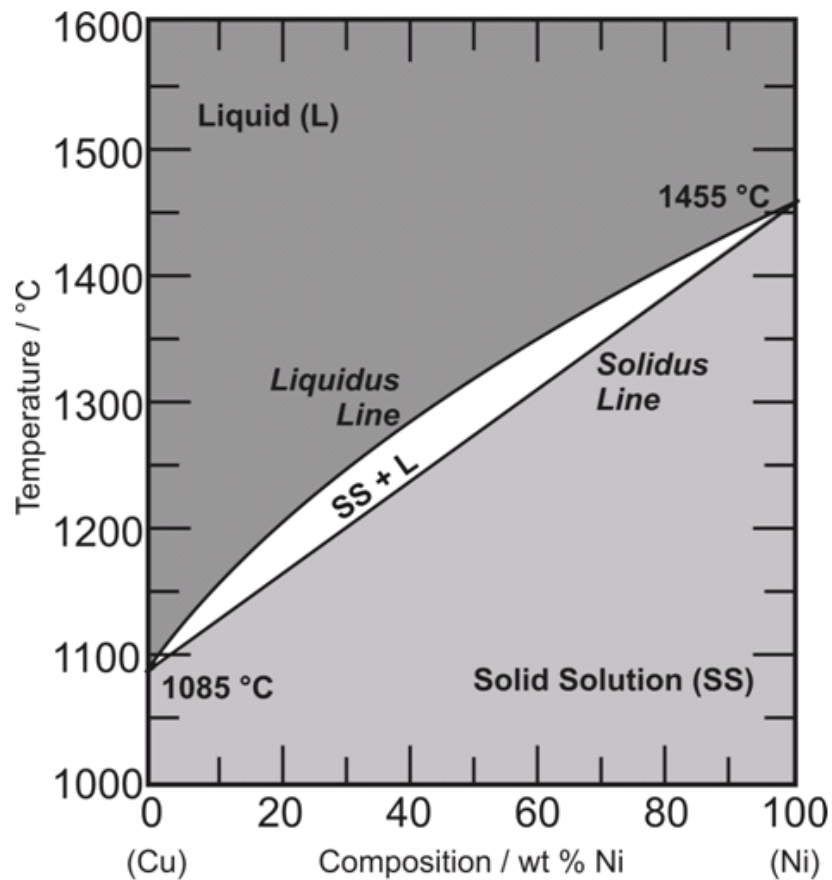
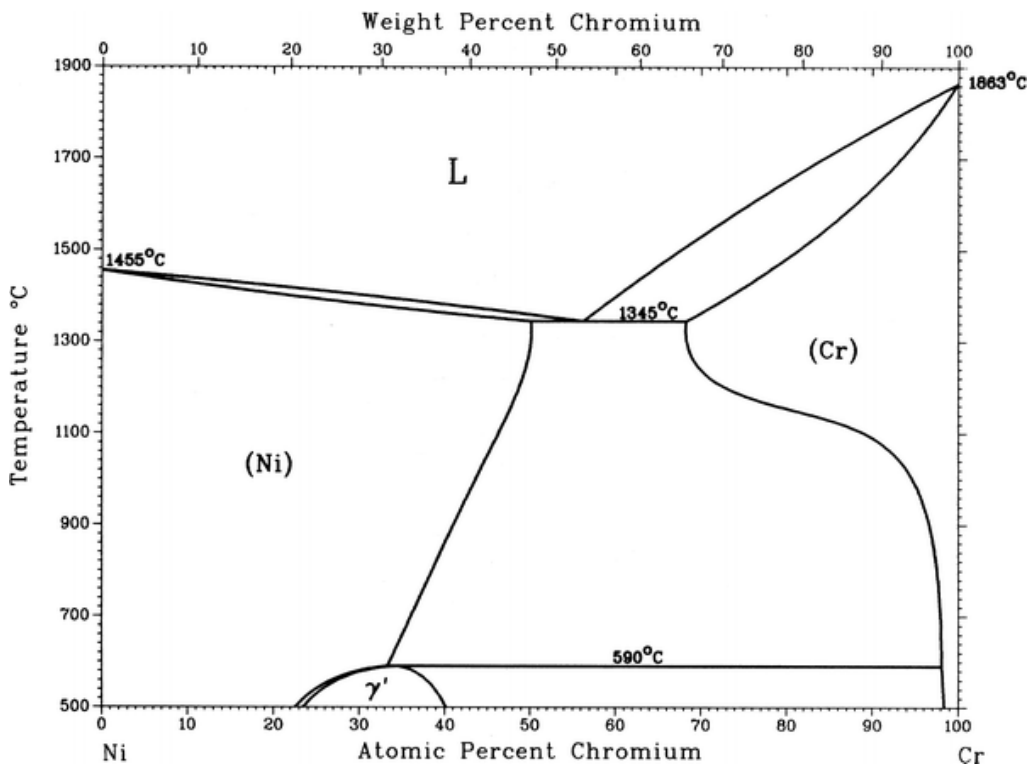
Nikkel ötvözetek hőkezelése



Hőkezelés
(BMEGEMTBGK1)
2024. November 26.

Dr. Kovács Dorina
kovacs.dorina@gpk.bme.hu
MT épület 061.





Lágyítás

- 700-1200 °C között, általában 1-3 órás, de van 2-6 órás is
- Újrakristályosodás megy végbe
- Hidegalakítás előtti művelet

Feszültségcsökkentés

- 400-800 °C között
- előzetes megmunkálások okozta feszültségek csökkentése



Feszültség kiegyenlítés

- 230 – 315 °C között
- részleges megújulási folyamatok mennek végbe, de szövetszerkezet változás nem történik
- Kis szilárdságnövekedés érhető el, az elektromos vezetőképessége javul, de a hidegalakítás okozta lokális feszültségek kiegyenlítődnek

Kiválásos keményítés

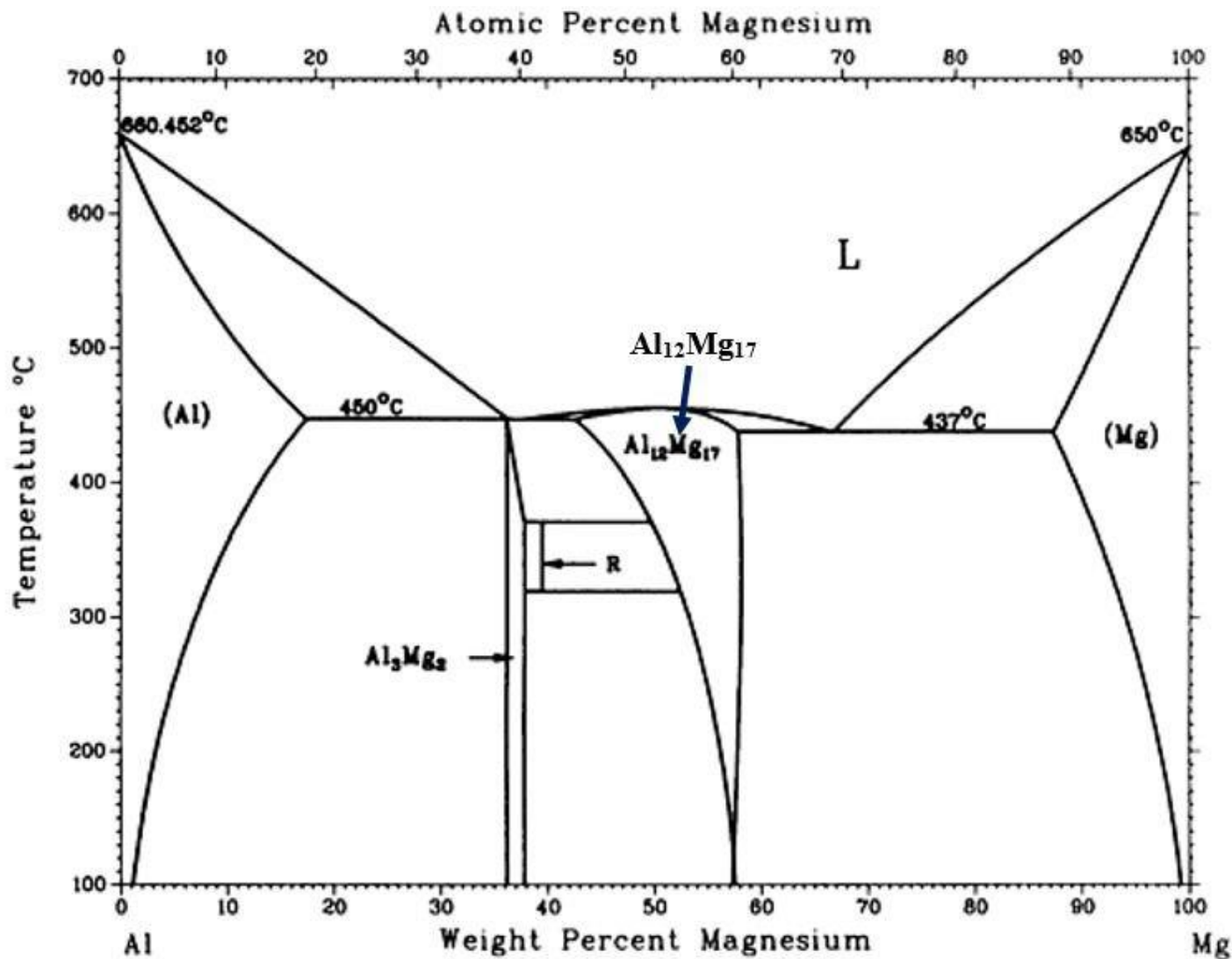
Anyag	Eljárás
Monel K-500 (63% Ni – 27 % Cu – Al)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Homogenizálás: 980 °C-on fél órát 2. Öregítés: 596 °C-on 16 órát, kemencével hűtés több lépcsőben 6, majd 8 órán keresztül 480 °C-ig, végül levegőn hűtés
Inconel 718 (50% Ni – 15 % Cr – Fe)	<ol style="list-style-type: none"> 1. Homogenizálás: 980 °C-on fél órát 2. Öregítés: 720 °C-on 8 órát, majd 620 °C-on 18 órát, végül levegőn hűtés

Magnézium hőkezelése



Hőkezelés
(BMEGEMTBGK1)
2024. November 26.

Dr. Kovács Dorina
kovacs.dorina@gpk.bme.hu
MT épület 061.



Jelölés	Név	
F	Gyártás	
O	Lágyítás, újrakristályosítás	
H	Hidegalakított	
T2	Oldó hőkezelés és hidegalakítás	
T4	Oldó hőkezelés	Homogenizálás: 424 °C, 16-24 óra
T5	Öregítés	Öregítés: 232 °C, 5 óra
T6	Oldó hőkezelés, öregítés	Homogenizálás: 424 °C, 16-24 óra Öregítés: 232 °C, 6 óra

Példák az AM100 (Mg – 10.7Al –0.13Mn) anyagra

Védőatmoszféra: - felületi oxidáció elkerüléséért (oxid réteg csökkenti a szilárdságát)
 - gyulladás, égés megakadályozása
 - CO₂, SO₂

Kiválásos keményítés

Alumínium ötvözet

Oldó hőkezelés

Öregítés

Precipitation hardening

Aluminum alloy

Solution treatment

Aging