

Könnyű- és színes fémek

Fémek technológiája

- A könnyűfémek definíciója
- Alumínium és ötvözetei
- Magnézium és ötvözetei
- Titán és ötvözetei
- Réz és ötvözetei
- Egyéb, technikai fontosságú fémek

- Könnyűfém az a fém, amelynek sűrűsége $4,5 \text{ gcm}^{-3}$ -nél kisebb
 - Al, Mg (Be, Li...)
- Határeset...
 - Ti, $\rho \approx 4,5 \text{ gcm}^{-3}$
- Melyek a színesfémek?
 - Cu, Zn, Sn, Pb, Ni, W, nemesfémek

	ρ (gcm ⁻³)	R_{eH} (MPa)	R_{eH}/ρ	$T_{kúszás}$ (°C)
Al és ötvözetei	2,70	25-650	9-240	150-250
Mg és ötvözetei	1,80	70-270	40-160	150-250
Ti és ötvözetei	4,50	170-1300	38-300	400-600
Be	1,82	100-700	50-380	~250
Cu és ötvözetei	8,90	60-1400	7-150	
Szerkezeti acélok	7,90	180-1600	25-200	400-600

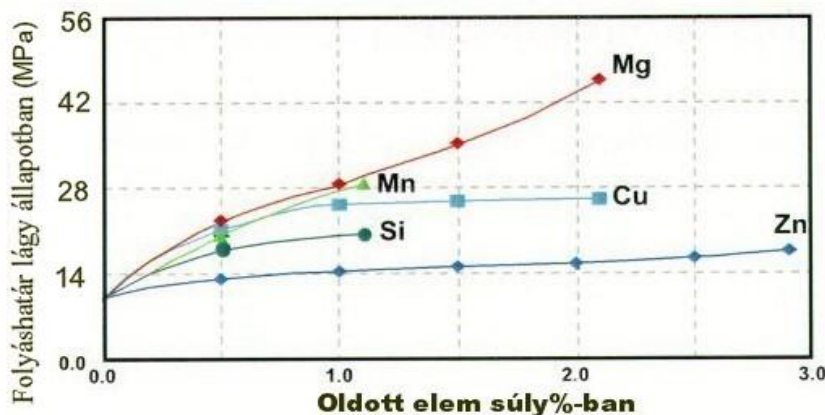
	R_m	E	ρ	R_m/ρ	E/ ρ	$\$/t$
Öntöttvas	200	110	7150	280	154	900
Acél						
-lágý	450	210	7860	573	267	600
-kemény	1500	210	7800	1923	269	800
-korrózióálló	500	210	7930	631	265	2700
Alumínium						
-lágý	70	70	2710	258	258	2000
-kemény	450	70	2800	1601	250	2500
Réz						
-lágý	140	120	8930	156	134	2000
-kemény	400	120	8500	471	141	2000
Magnézium	250	42	1740	1436	241	6000
Titán	1200	120	4580	2620	262	20000











- Könnyű, kis sűrűségű ($\rho=2,7 \text{ gcm}^{-3}$)
- Olvadáspontja kicsi (660°C)
- Jó villamos vezető ($\sim 2/3$ -a a Cu-nek)
- Jó hővezető képesség
- FKK térrács
 - Jól alakítható, $Z\sim 90\%$, hidegen, melegen
- Jó korrózióálló (oxid réteg)
- Szilárdsága kicsi
 - $R_m=40\dots 120 \text{ MPa}$, $R_{p0,2}=20-60 \text{ MPa}$
- Rugalmassági modulusza kicsi
 - $E=70 \text{ GPa}$

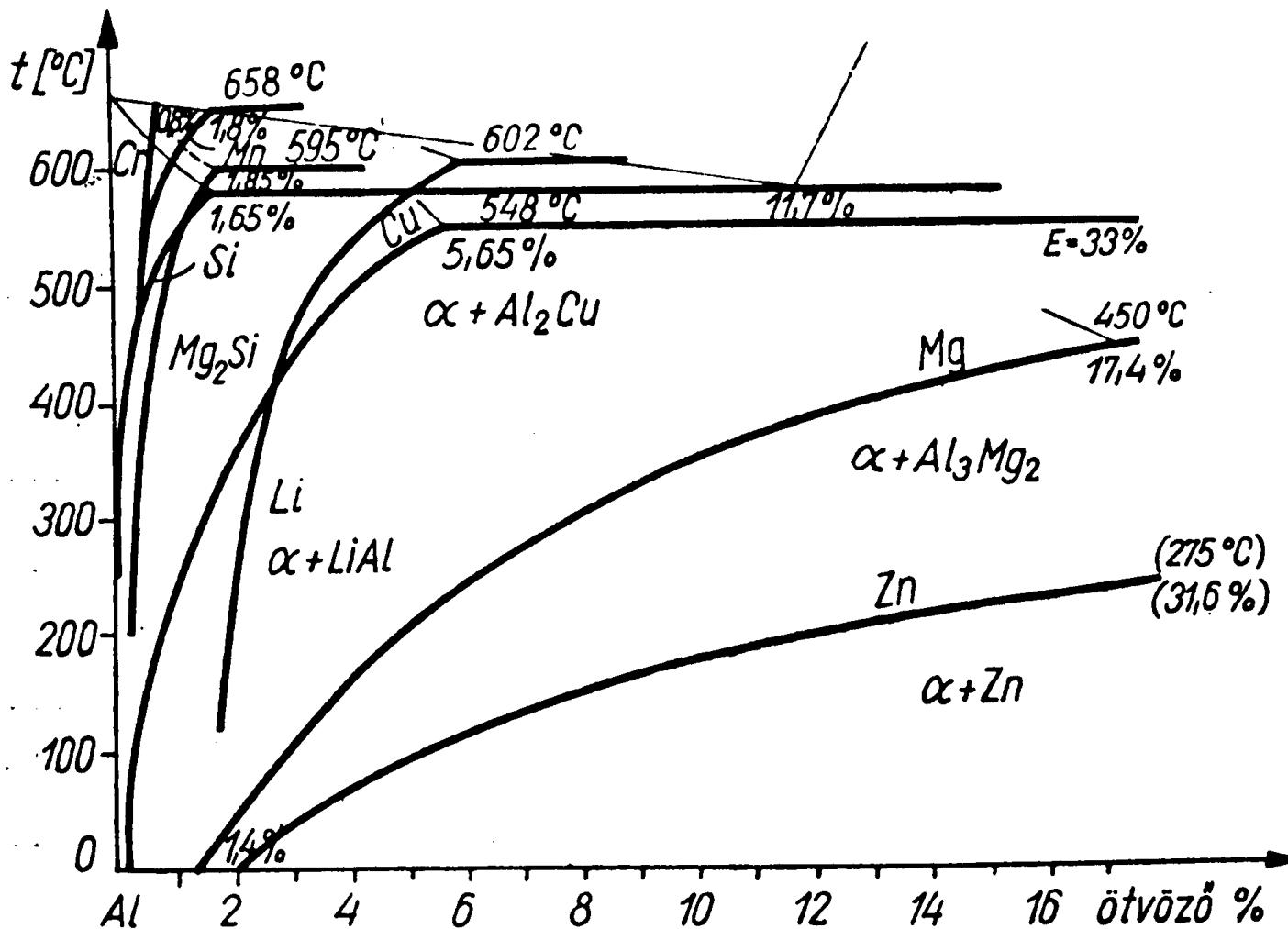
- Mivel az alumínium szilárdsága kicsi, ezért törekszenek annak növelésére
 - Ötvözés
 - Képlékeny hidegalakítás
 - Hőkezelés – kiválásos keményítés
 - Diszperziós keményítés
 - (Kompozitok)

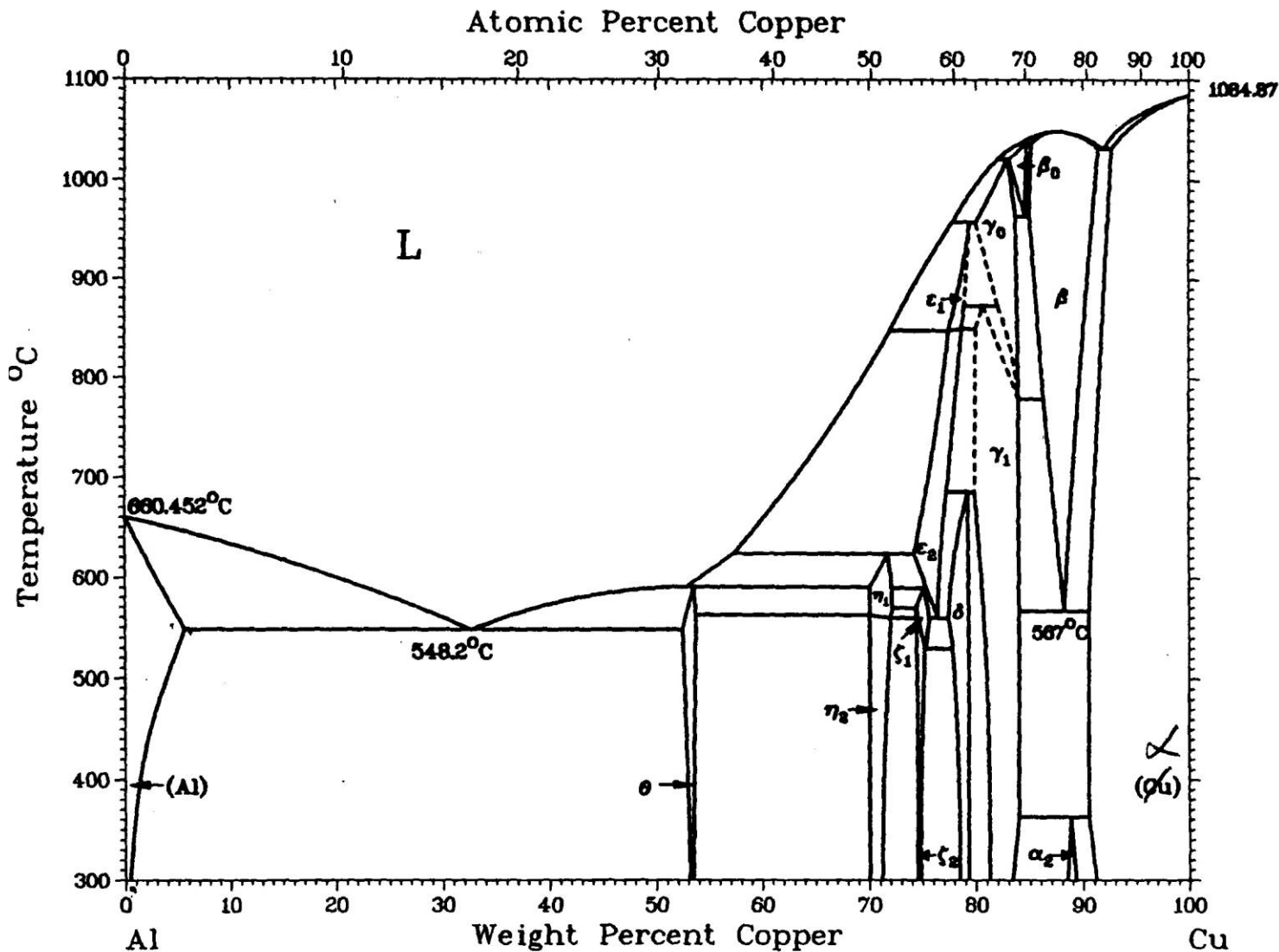
- A kohóalumínium is „nagy” tisztaságú (Al99,5), ezért kis mennyiségű ötvöző is nagy hatással van
 - Szilárdságot növel: Cu, Mg, Zn, Mn, Si
 - Szemcsenagyságot csökkent: Ti, Cr
 - Korrózióállóságot javít: Mn, Sb
 - Melegszilárdságot javít: Ni
 - Forgácsolást könnyít: Co, Fe, Bi
- Legfontosabb szennyezők: Fe, Si

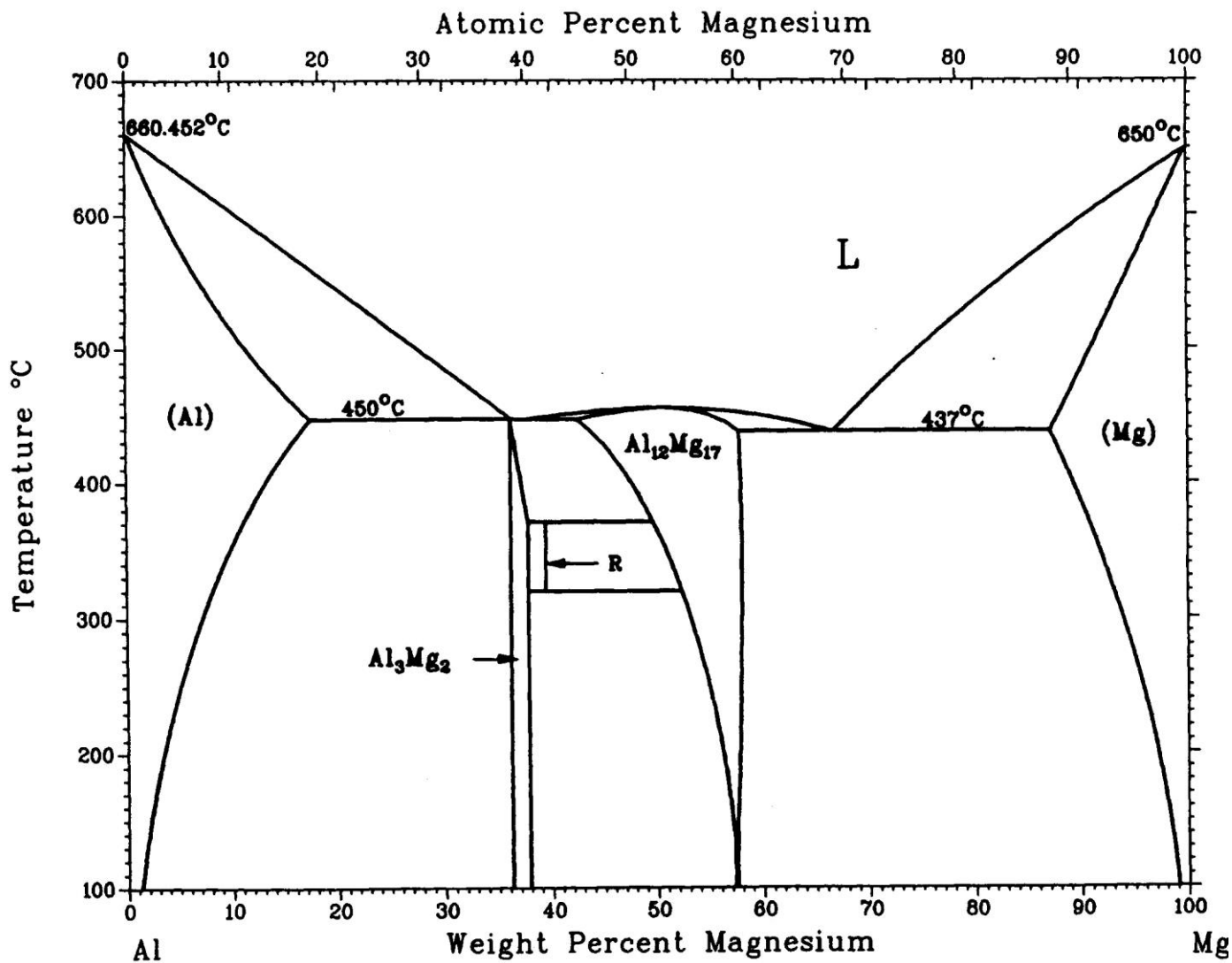
- Az ötvözők szubsztitúciósan épülnek be
 - Még a H is csak az oktogonális üres rácshelybe fér
- Az ötvözők a szilárdságot különböző mértékben növelik

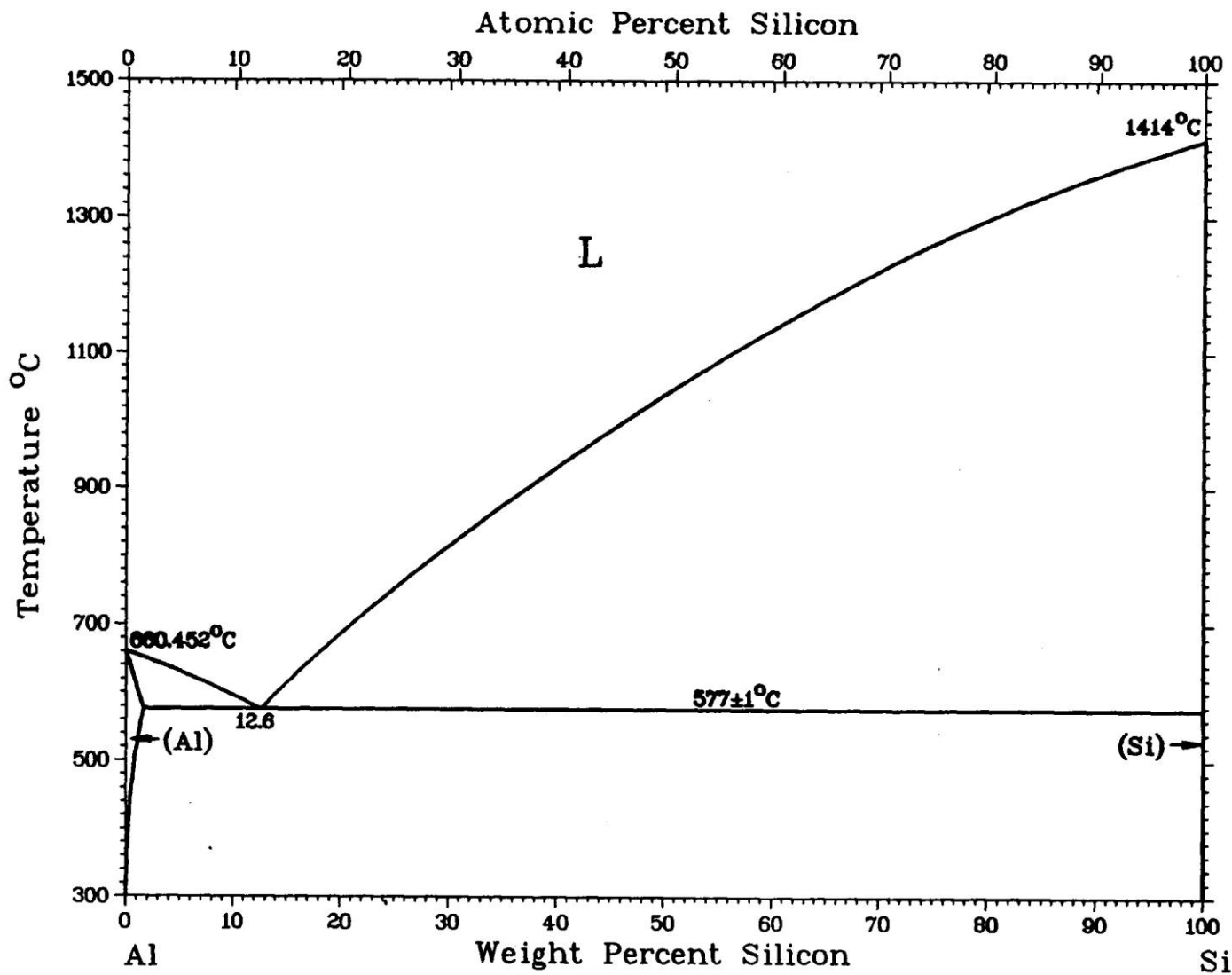


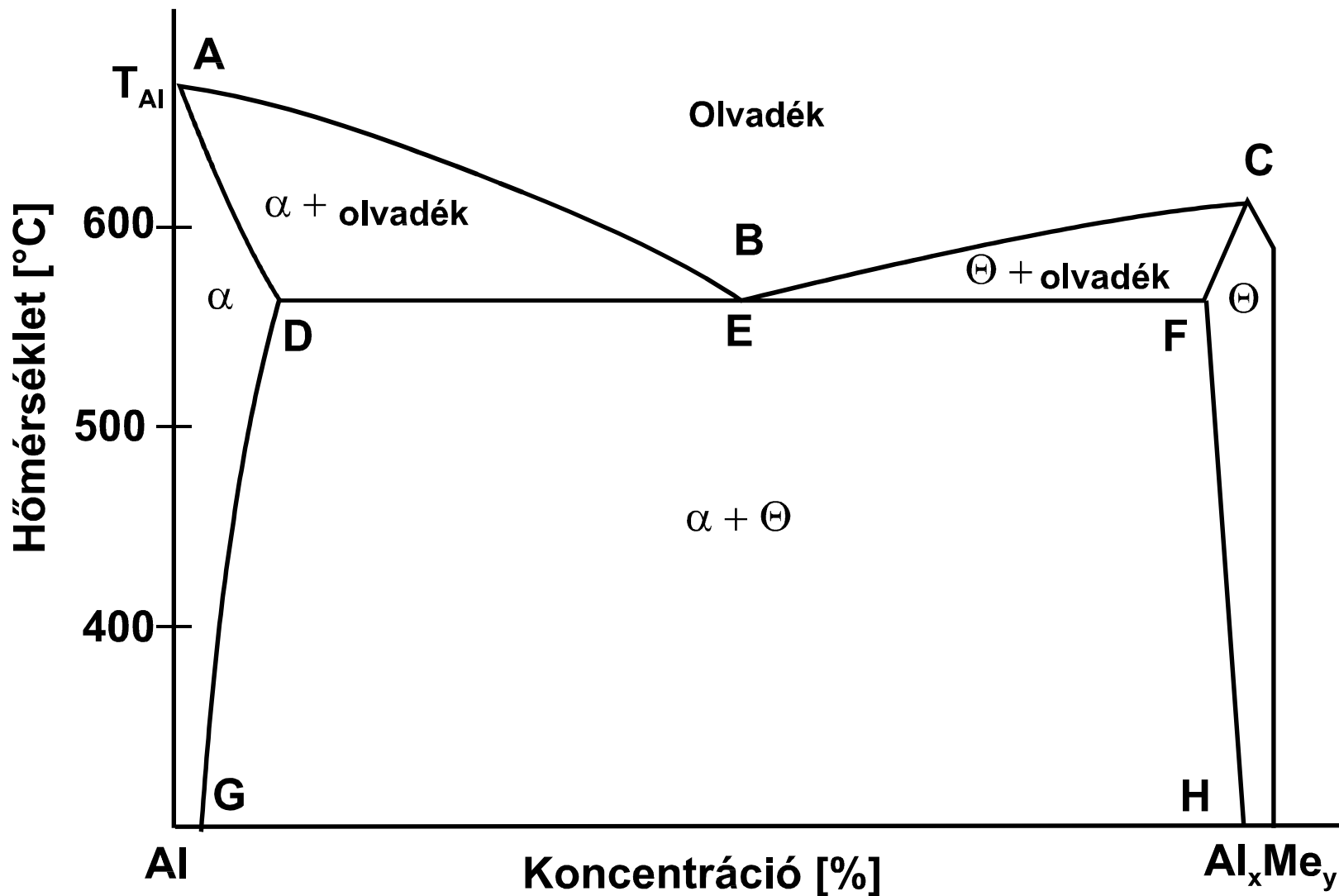
Atomszám	25	14	26	24	29	30	13	22	40	12
	Mn	Si	Fe	Cr	Cu	Zn	Al	Ti	Zr	Mg
										
Atomsugár (picometers)	112	118	123	125	128	133	142	146	160	160

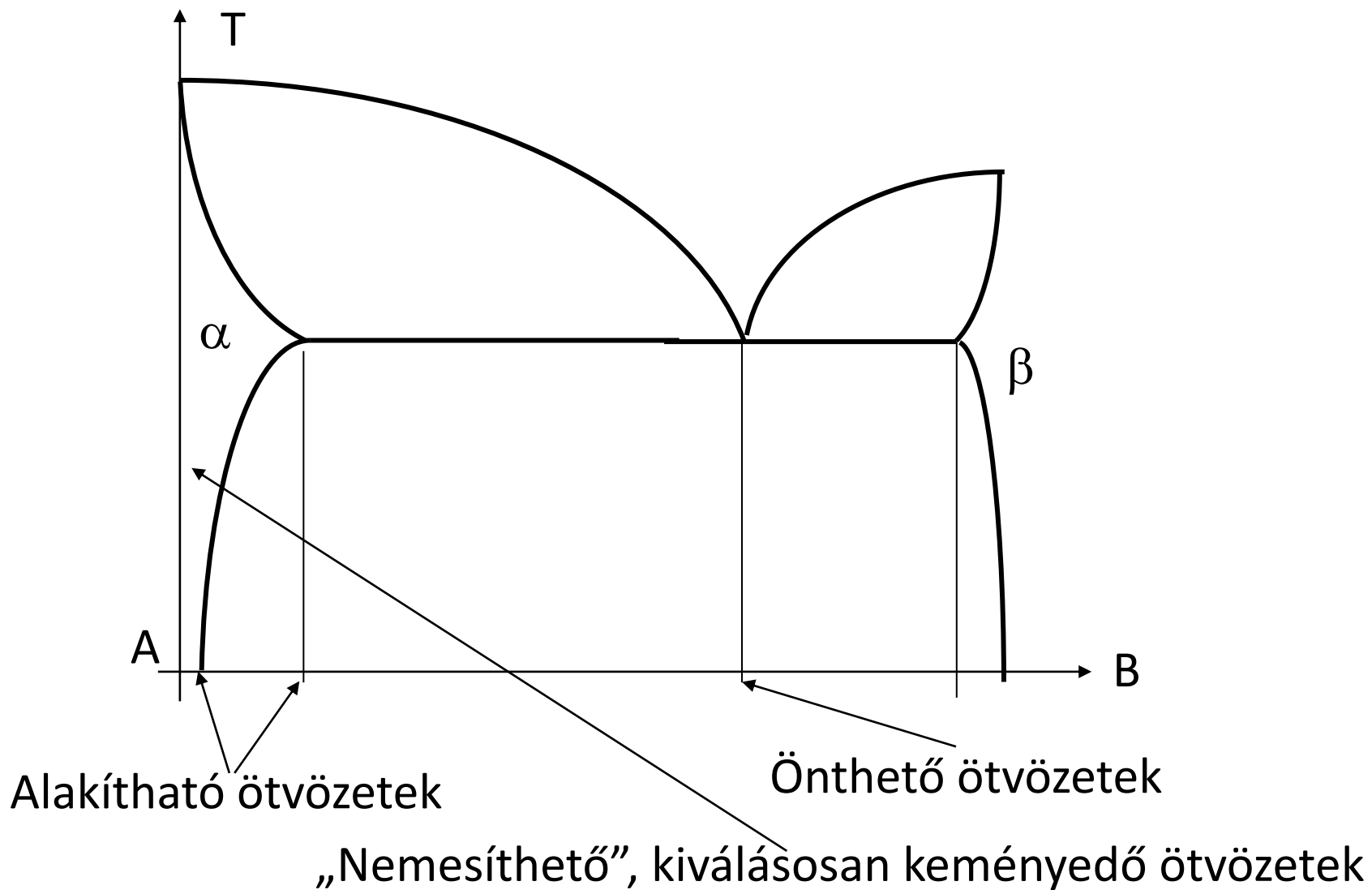












	Alakítható	Öntészeti
Al	1xxx	1xx.x
Al-Cu	2xxx	2xx.x
Al-Mn	3xxx	
Al-Si	4xxx	4xx.x
Al-Si(-Cu/Mg)		3xx.x
Al-Mg	5xxx	5xx.x
Al-Mg-Si	6xxx	
Al-Zn(-Mg)	7xxx	7xx.x
Al-Li	8xxx	
Egyéb elemek	9xxx	9xx.x
Al-Sn		8xx.x
Nem használt		6xx.x

- >99% tisztaság, erre a jel is utal
 - Pl. Al1050 – 99,5% Al
- Fe és Si szennyezőt tartalmazhat
- Jó alakíthatóság
- Jó korrózióállóság
- Jó vezetőképesség
- Mélyhúzható lemez, fólia, villamos vezeték
- Fe/Si befolyásolja a képlékeny alakíthatóságot, $Fe/Si > 2,5$ kedvező

- 3-6% Cu ötvözés
 - 0,4-2,5% Mg, 0,3-1,0% Mn, 0,2-1,3% Fe, 0,2-1,2% Si, 1,0-2,0% Ni
- Nemesíthető ötvözetek
 - 4% Cu + 2% Mg --- 440 MPa R_m és 320 MPa $R_{p0,2}$
 - Haditechnika, járműgyártás, repülőgépgyártás, sajtolt darabok

- <2% Mn ötvözés
 - Felette vegyület, ami a tulajdonságokat rontja
- Nemesítéssel nem keményíthetők, a szilárdság képlékeny hidegalakítással fokozható
- Közepes szilárdság
- Jó alakíthatóság
- Jó hegeszthetőség
- Jó eloxálhatóság
- Csomagolástechnika, edénygyártás, tömegcikkipar, építészet

- Akár 17% Si ötvözés
 - Si intermetallikus fázisként, vagy elemi Si-ként van jelen, rideg, nem alakítható
- Kisebb Si tartalom esetén lemezek forrasztható bevonata (cladding), hegesztő hozaganyag
- Nagyobb Si tartalom már önthető ötvözet
 - Kis olvadáspont, kis zsugorodás, jó folyékonyság
- Mg adalékolással a szilárdság növelhető, nemesíthető ötvözetté válik (6xxx)
- Motorblokkok, közepes méretű és terhelésű öntvények, dugattyúk

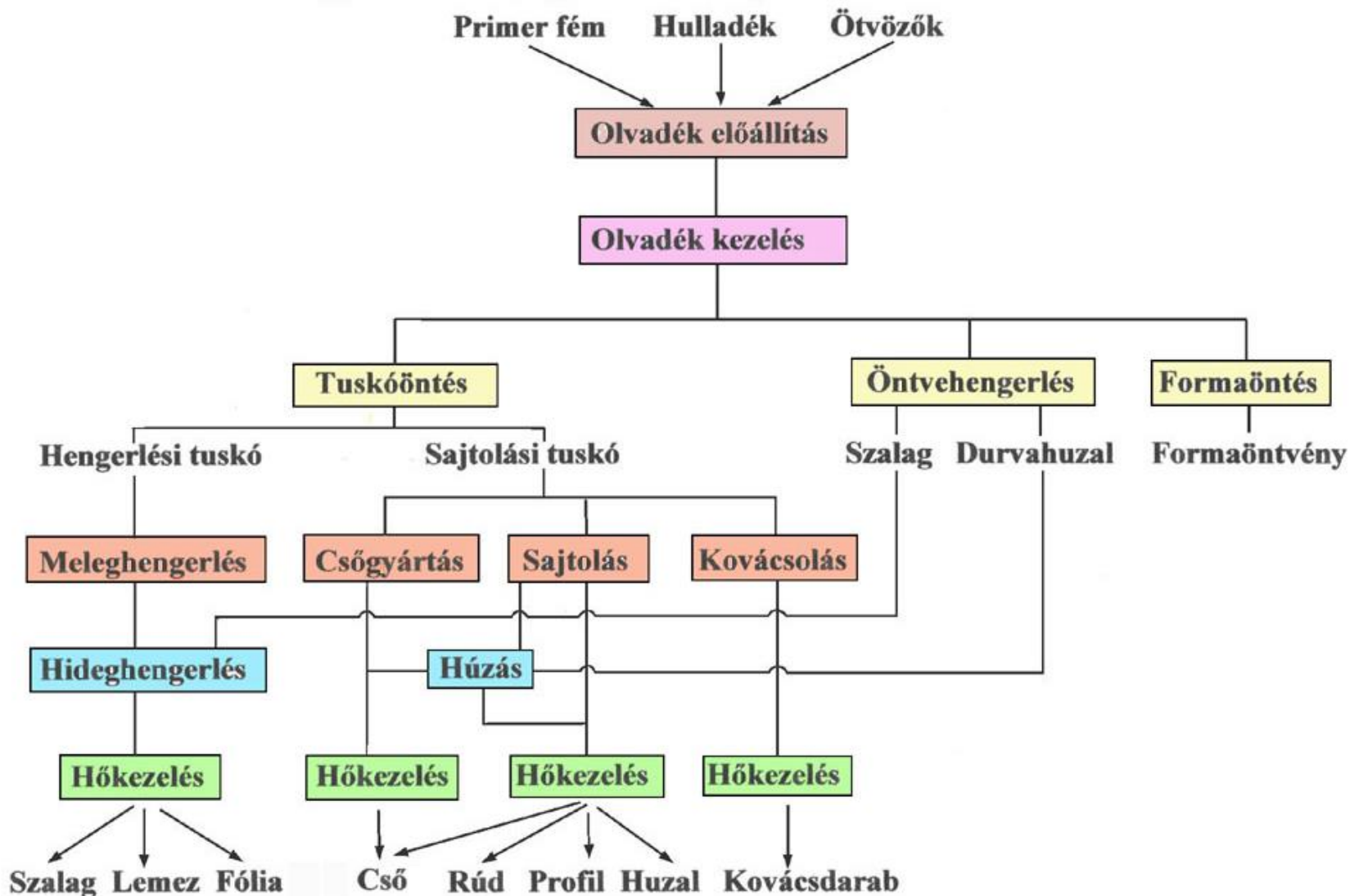
- 0,5-0,7% Mg ötvözés
- Szilárdságot az oldatban jelenlévő Mg okozza, alakítással tovább fokozható
- Jól alakítható
- Jól hegeszthető
- Jól eloxálható
- Jó korrózióállóság
- Autóipar, építészet, hajógyártás, vegyipar
- >3% Mg ötvözésnél a korrózióállóság csökken, Mn-nal lehet ellensúlyozni

- 0,3-1,5% Mg és Si
- Kiválóan keményedő ötvözetek (Mg_2Si)
- Közepes – nagy szilárdság
- Jól alakítható
- Jól hegeszthető
- Jól eloxálható
- Jó korrózióállóság
- Az egyik legelterjedtebb ötvözet: villamosipar, járműgyártás, építészet, gépipar, tömegcikk
- Gyakori a Mn és Cr adalék: szemcsefinomítás, szilárdság és szívósság nő, feszültségkorróziós ellenállás csökken

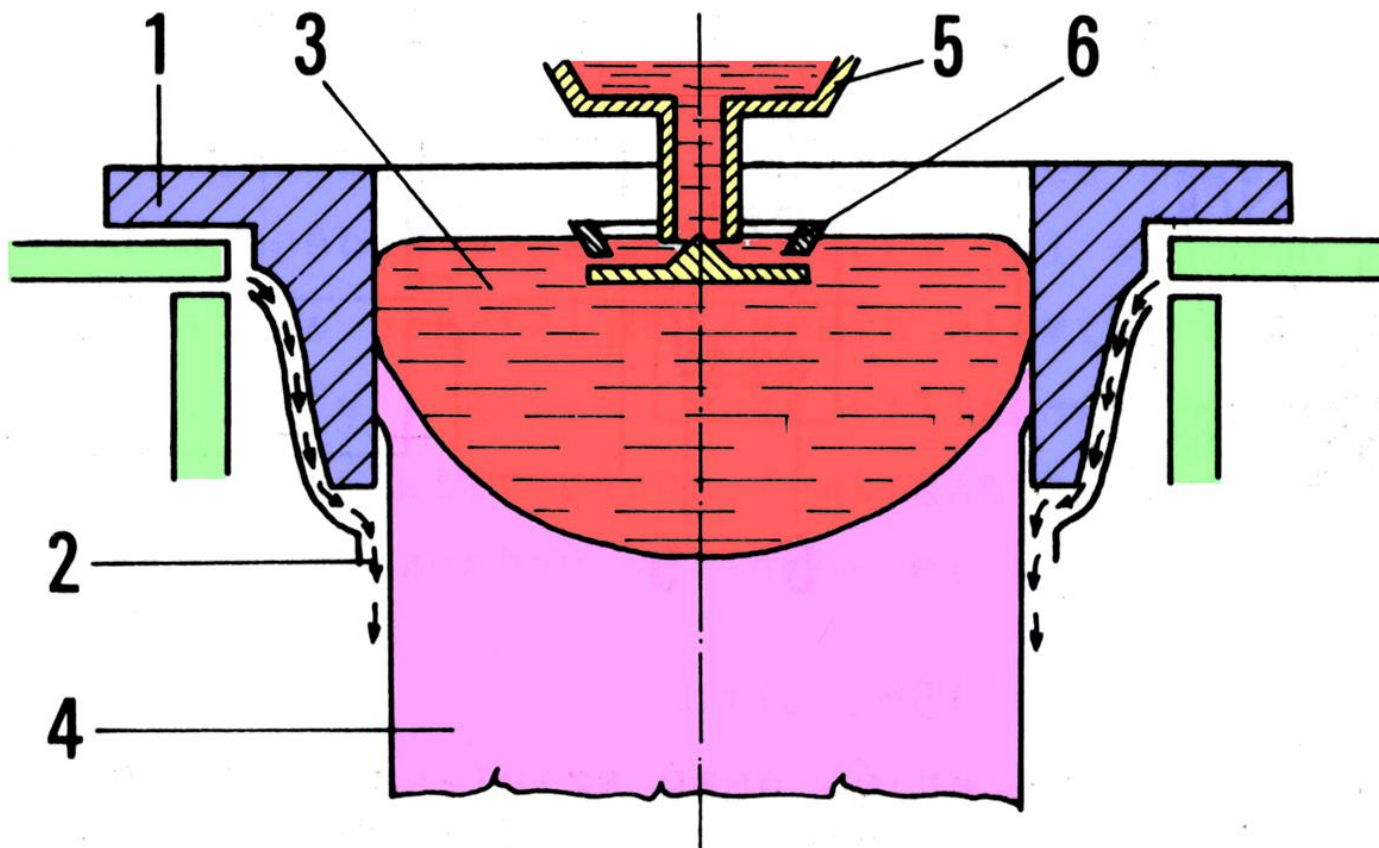
- 4-6% Zn (és 1-3% Mg), „kemény” ötvözetek
- Kiválóan keményíthetőek
 - 443°C-on akár 30% Zn oldás, 20°C-on 1,4% (!)
- Akár $R_{p0,2}=600$ MPa ötvözet is előállítható
- Kiemelkedő szilárdság és megfelelő alakíthatóság
- Járműgyártás, építészet, sportszergyártás

- 1-5% Li ötvözés
- A legkisebb sűrűségű Al ötvözetek
 - 1% Li ötvözés, ~3% sűrűségcsökkenést okoz
- Kiválóan keményíthető ötvözetek
- Nagy szilárdságú ötvözetek
- Előállítása viszonylag költséges
- Hadiipar, rakétatechnika, űrtechnika

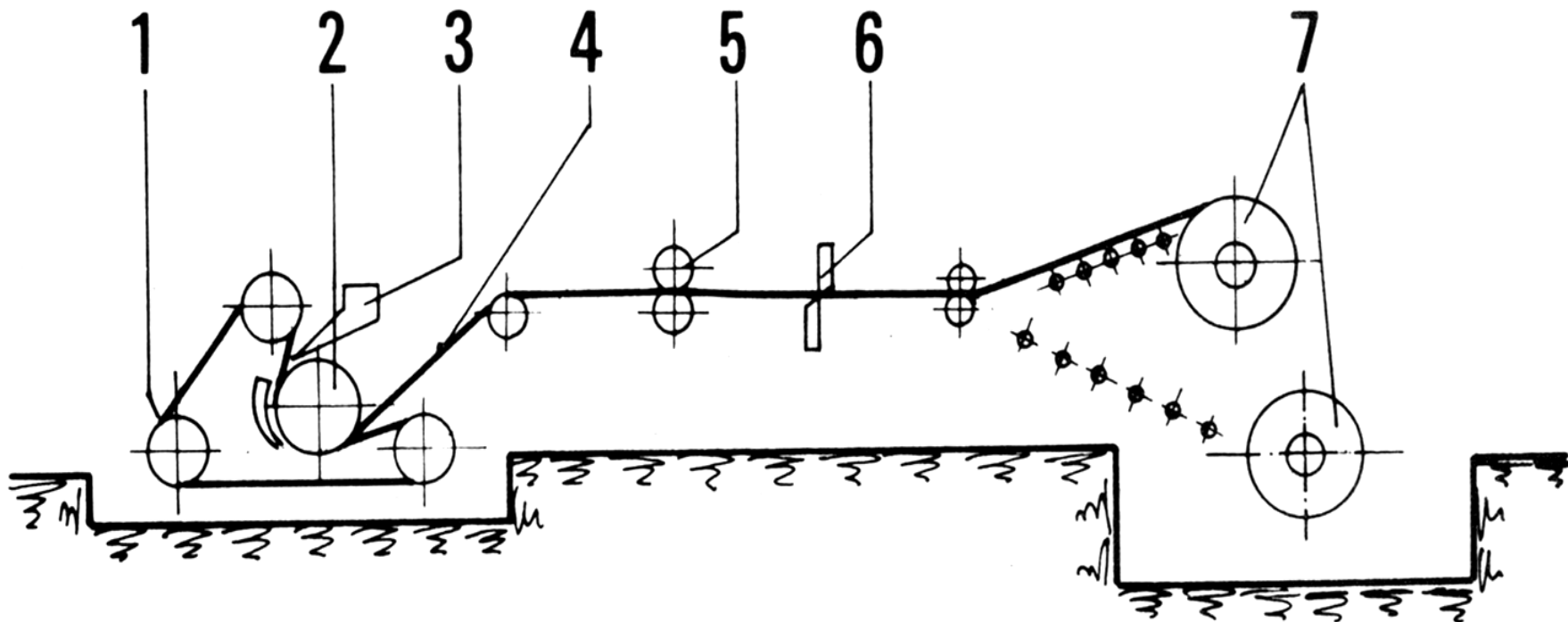
Alakítható ötvözetek		Öntészeti ötvözetek	
Nem nemesíthetők (hegeszthetők) Korrózióállóak Villamosvezetők Jól alakíthatók	Nemesíthető- Nagyszilárdságú ötvözetek	Nem nemesíthetők	Nemesíthetők
Al-Mn Al-Mg Al-Mg-Si Al-Mg-Zn Al-Mg-Li	Al-Mg _{0.5} -Si _{0.5} Al-Mg-Si Al-Mg-Li Al-Li-Mg Al-Cu-Mg Al-Cu-Li Al-Cu-Li-Mg Al-Zn-Mg Al-Li-Cu-Mg Al-Zn-Cu-Mg	Al-Si Al-Mg	Al-Si-Mg Al-Si-Cu Al-Mg-Si Al-Cu Al-Cu-Ni Al-Zn-Si Al-Zn-Mg

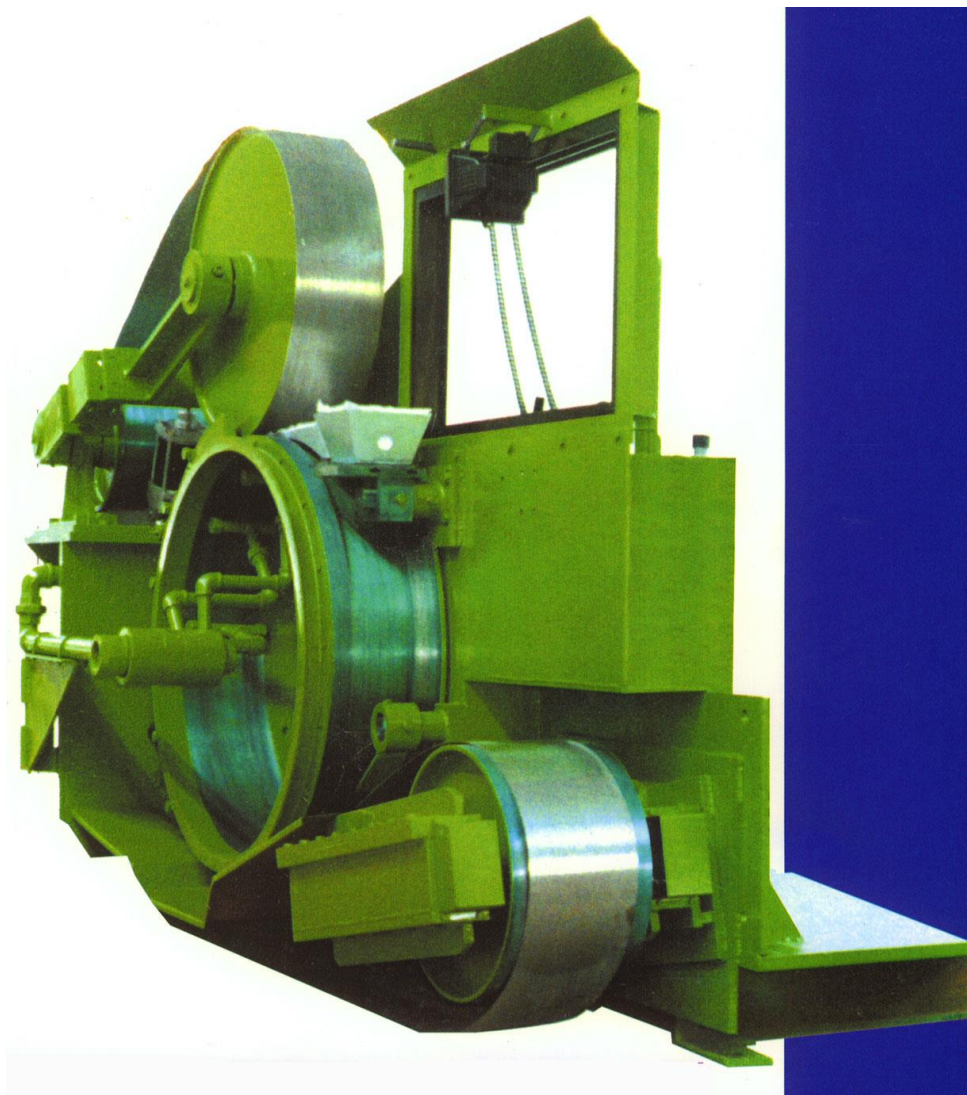


- Hengerlési, vagy sajtolási célzatra
- Alapvető eljárások
 - Kokillaöntés
 - Csúszókokillás félfolyamatos öntés
- Minőségjavítási lehetőségek
 - Elektromágneses csúszókokillás öntés
 - Melegfejes öntés
 - Tuskók hántolása



- Szalagok és durvahuzalok esetén
- Általában rögtön további hengerlés követi

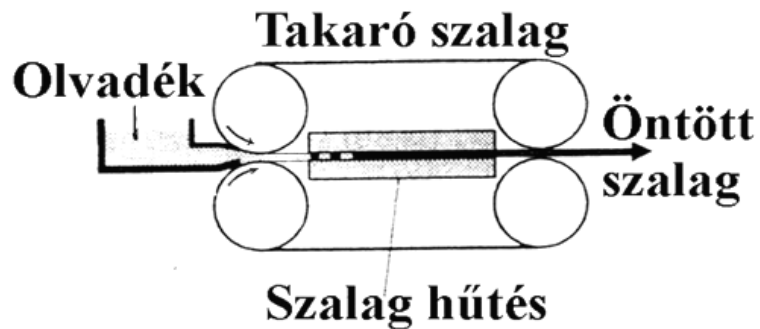




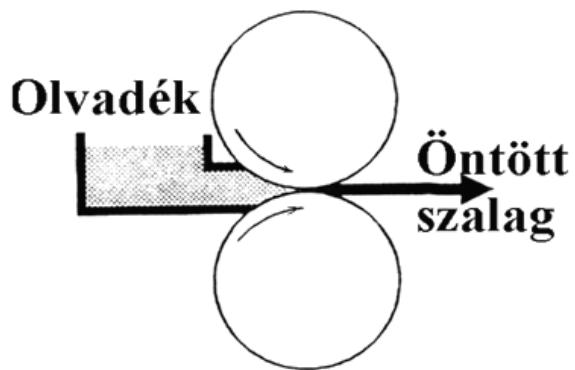
<https://www.youtube.com/watch?v=SkIzCnkm4mk>

Lemez félgyártmány, öntvehengerlés

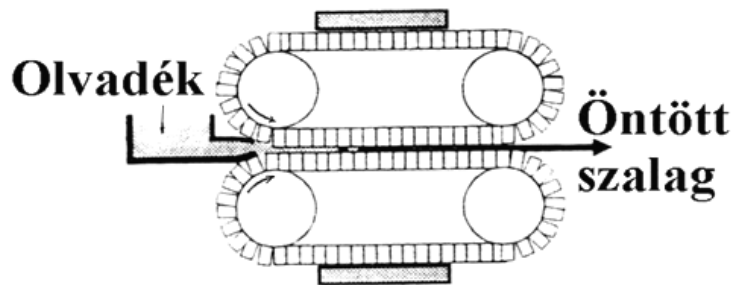
5:07



Ikerkeres takarószalagos

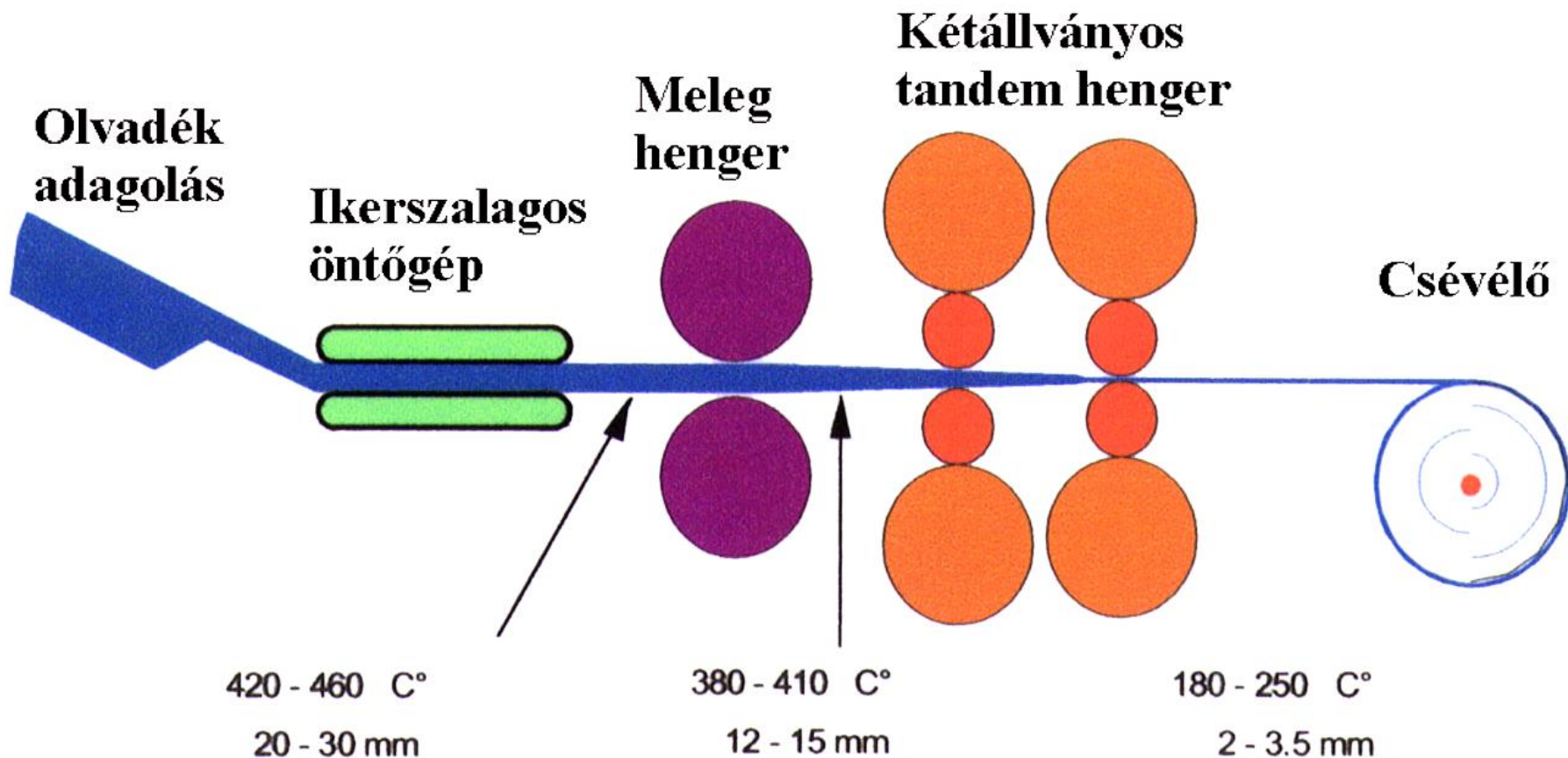


Ikerkeres



Ikerkeres takaróblokkos

Folyamatos szalagöntések



Hengerlési tuskó

- Meleghengerlés
- Hideghengerlés
- Hőkezelés
- Fóliagyártás

Sajtolási tuskó

- Sajtolás
- Kovácsolás
- Csőgyártás
- Húzás
- Hőkezelés

- A legkisebb sűrűségű, tömegesen, szerkezeti célra alkalmazott fém, $\rho=1,8 \text{ gcm}^{-3}$
- Olvadáspontja kicsi, $\sim 650^\circ\text{C}$
- Hexagonális rácsú, nehezen alakítható
- A „jövő szerkezeti anyaga”
 - Súlytakarékoság, személygépkocsi gyártás
- Jelenleg $\sim 35\%$ az önálló felhasználás, a többi Al ötvözetekhez és acélgyártáshoz köthető

- Jól forgácsolható (kevésbé kenődik, mint Al)
- Gyorsabb ciklusidővel önthető
- A nyomásos öntőszerszámok élettartama hosszabb
- Igényes kamerák, technikai berendezések burkolatának, tartóelemeinek anyaga, repülőgép, rakéta alkatrészek anyaga

- Öntészeti ötvözetek
 - Jól önthető ötvözetek
 - Mg-Al-Zn ötvözetek
- Alakítható ötvözetek
 - Al-Zn ötvözés
 - Mn ötvözés
 - Zr ötvözés
 - Zr-Th ötvözés
 - Ritkaföldfém ötvözés
 - Li ötvözés



- Fő ötvöző: 0,6-0,7% Zr, hegeszthető
 - TILOS: Al, Si, Fe, Mn, Co, Ni, Sb, Sn
- Mg-Zr-Zn-RE ötvözetek (Ce)
 - Bonyolult alkatrészek, kis eutektikus hőmérséklet
- Mg-Zr-Ag-RE ötvözetek (Nd)
 - 200°C-ig hőfárasztás álló
- Th tartalmú ötvözetek (Y váltja fel)
 - Termikus fáradásnak és kúszásnak ellenálló
- Mg-Zr-Y-RE ötvözetek (Nd)
 - Jó korrózióállóság és mechanikai tulajdonságok

- Előzőhöz képest elterjedtebb, olcsóbb
 - Hajlamosabbak a mikroporozitásra és a falvastagság változásra, nyomásos öntés
- Mg-Al kétfázisú ötvözetek
 - Kiválásosan keményíthető
- Mg-Zn kétfázisú ötvözetek
 - Szívósabb, korrózióállóbb, kiválásosan keményíthető
- Mg-Al-Zn-Mn ötvözetek
 - Korrózióállóság jelentősen javul
- Mg-Al-Zn-Si ötvözetek
 - Mg_2Si kiválások, kúszásállóság javul
- Mg-Al-Zn-RE ötvözetek
 - Ce, La, Nd, Pr, kiválások, kúszásállóság nő
- Mg-Al-Zn-Cu ötvözetek
 - Motorblokkok

- Mg-Al-Zn
 - Legelterjedtebb, közepes szilárdságú, hengerelhető, jól hegeszthető
- Mg-Mn
 - Elektrokémiai felhasználás, acél katódos védelme
- Mg-Zn-Zr
 - Szemcsefinomítás, hengerelhető, kovácsolható
- Mg-Th
 - Melegszilárdság növelése, radioaktív
- Mg-RE
 - Melegalakíthatóság
- Mg-Li
 - Jól hidegalakítható, kiválóan hegeszthető

- Nem igazán könnyű ($4,5 \text{ gcm}^{-3}$)
- Két gyakori allotróp módosulat
 - α -titán (hexagonális), képzői: Al, O, C, N
 - β -titán (TKK), képzői: Mo, V, Nb; Mn, Fe, Cr, Si, Ni, Cu
- Jó szilárdság/tömeg arány
- Jó korrózióálló
- Biokompatibilis
- Melegszilárdsága jó
- Alakíthatósága, forgácsolhatósága rossz
- Erősen oxidálódó és dezoxidáló, karbidképző

- Tiszta titán
 - Grade1...4, oldott oxigén tartalom alapján
- α és kvázi α
- $\alpha + \beta$
- β és kvázi β
- Schäffler-diagramhoz hasonló diagram
 - Egyenértékű Mo és Al

- Korrozíóálló típusok
 - Ötvözetlen és gyengén ötvözött (Ti-0,2Pd), közepes szilárdság
- Nagyszilárdságú típusok
 - Folyáshatár 800 MPa felett, 25% ötvözőig, sok típus, repüléstechnika, kriogéntechnika
- Kúszás- és hőálló ötvözetek
 - Ni ötvözeteknél jóval nagyobb szilárdságúak, 700°C-ig, rendkívül drága

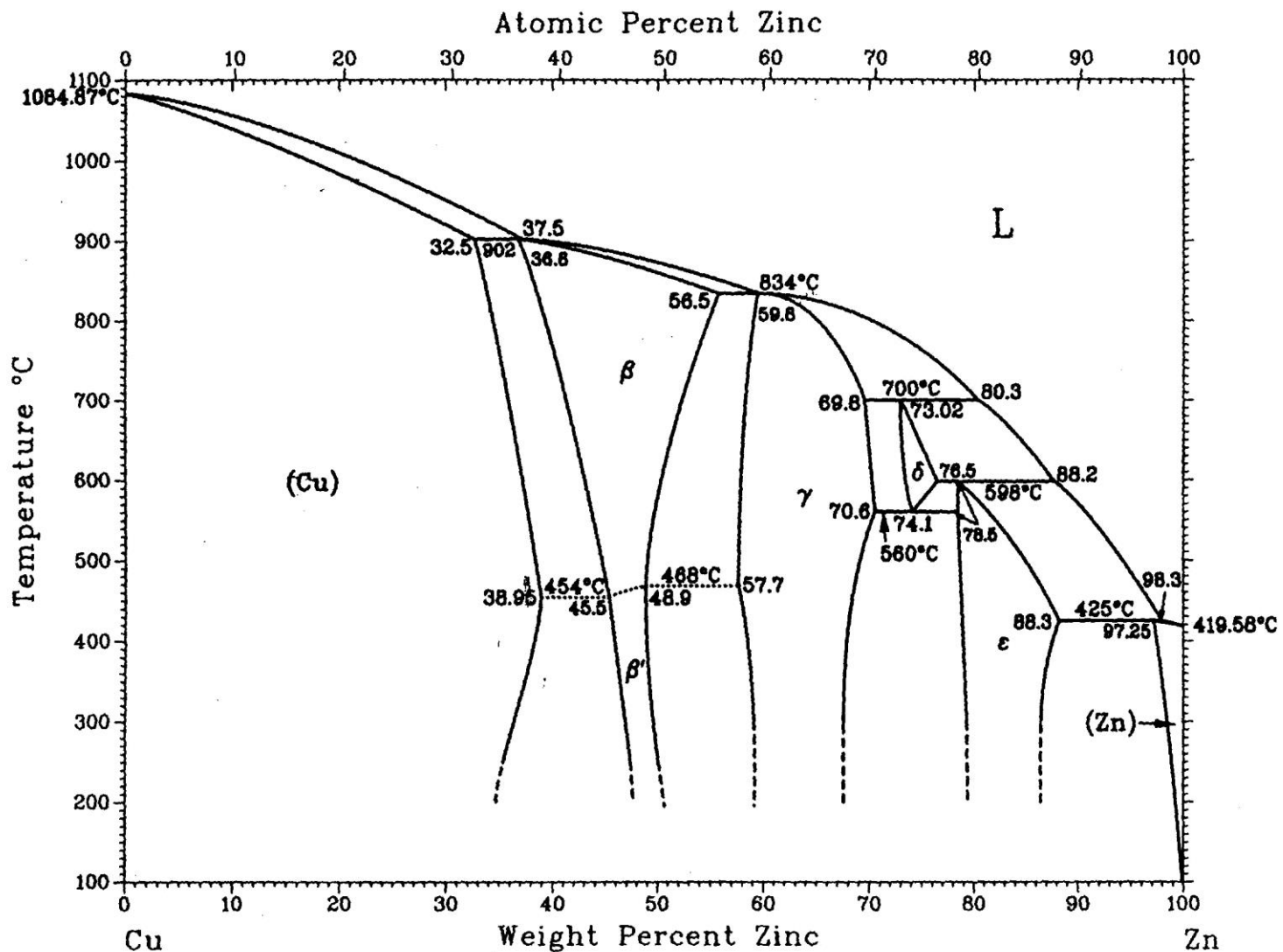
- Turbóreaktorok, gázturbinák
- Vegyipari szivattyúk, csővezetékek, hőcserélők
- Versenygépek nagy terhelésű alkatrészei
- Páncélzatok, fegyverek
- Orvosi eszközök, implantátumok, protézisek
- Sportszerek
- Óragyártás, optikai eszközök
- Építészet, burkolatok

- Nehézfém ($8,93 \text{ gcm}^{-3}$), olvadáspontja 1083°C
- Jól alakítható, FKK rácsú
- Lágy, szilárdsága kicsi
- Jó hő- és elektromos vezető
 - Ötvözők erősen rontják
 - Legfontosabb szennyező az oxigén, Cu_2O eutektikum a szemcsehatárokon - ridegít
- Korrózióálló
- Sárgaréz és bronz alapanyaga
 - Ónbronz, ólombronz, alumíniumbronz, krómbronz

- Oxigéntartalmú réz (>99,9% Cu)
 - Jó villamos- és hővezetés
 - Elektrolízissel állítják elő (Cu-ETP)
 - Régebben átolvasztott (Cu-FRHC és FRTP (öntés))
- Oxigénmentes (dezoxidált) réz
 - oxigénmentesítés foszforral – jó hegeszthetőség
 - Foszfor a vezetőképességet erősen rontja
 - Cu-DHP: 0,013-0,5 P, Cu-DLP: 0,004-0,012 P
- Oxigénmentes, nagy vezetőképességű réz
 - Cu-OF: >99,95 Cu, Cu-OFE: >99,99% Cu (elektronika)
 - Dezoxidálót vákuumos átolvasztással távolítják el

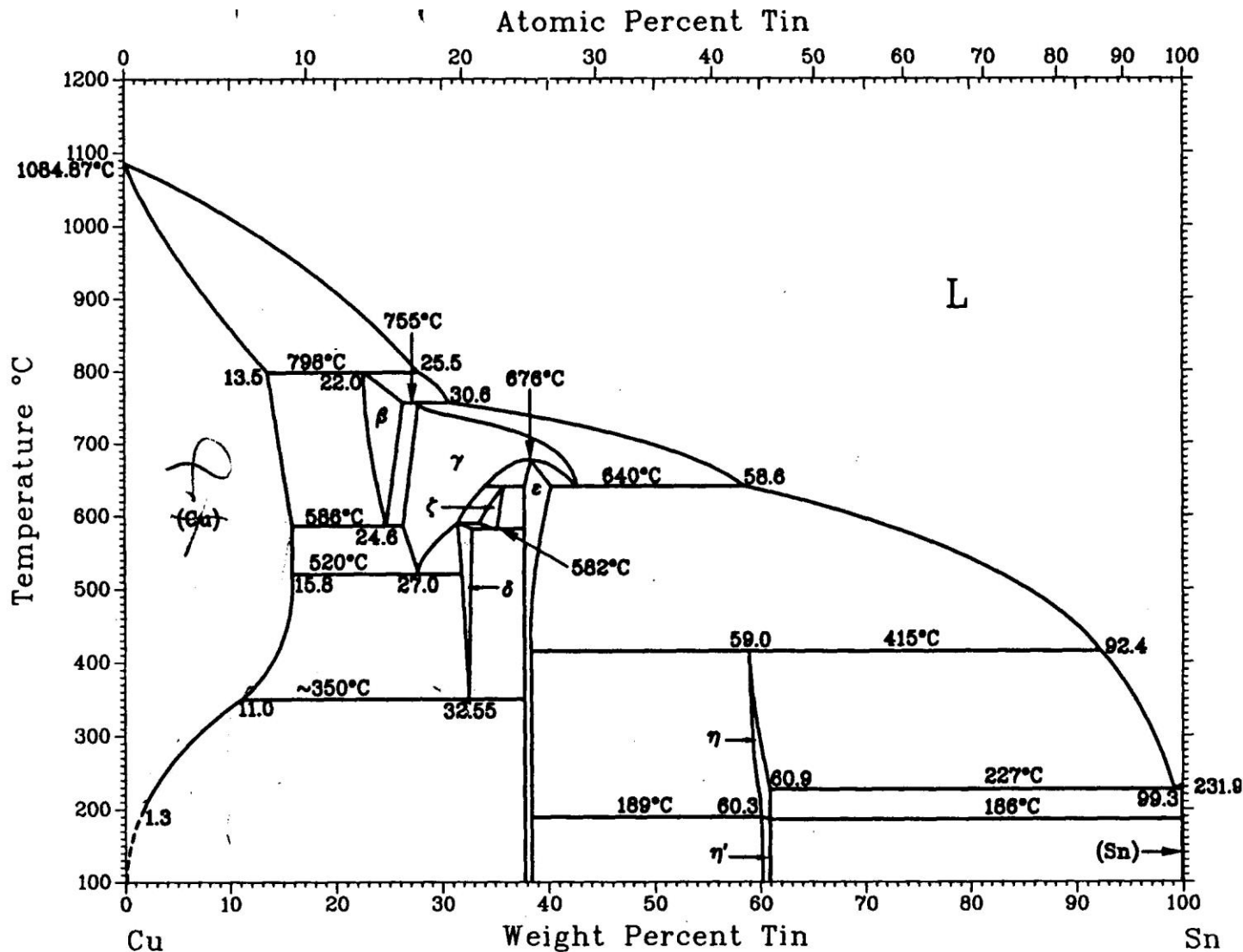
- Cu-Ag
 - minimális Ag ötvözés az újrakristályosítási hőmérsékletet 200-ról 300°C növeli, hegesztő- és forrasztó pisztolyok
- Cu-Cd
 - szilárdság, kifáradási határ, kúszáshatár duplázódik az alakítással keményített daraboknál, ponthegesztés, mérgező, tiltott
- Cu-Te
 - forgácsolhatóság, szilárdság javul, rekrisztallizációs hőmérséklet nő, vezetés alig csökken, lézerfűvóka
- Cu-Cr
 - 450 MPa szilárdság elérhető kiváló keményítéssel, ponthegesztő elektróda, fék, nagy teljesítményű kapcsoló
- Cu-Be és Cu-Co-Be
 - 500 MPa szilárdság érhető el kiváló keményítéssel, 300°C-ig ezt meg is őrzi, rugó, alátét, membrán, szikramentes érintkező, $\frac{1}{4}$ vezetőképesség

- Fő ötvöző a Zn, 5-45%-ig
- Zn mennyiségével a szín is változik a rózsavöröstől a sárgáig
- Jól önthetők, hideg- és melegalakíthatók
- Húzhatók, mélyhúzhatók, forgácsolhatók
- Ötvözetlen sárgaréz
 - α -ötvözet (Zn<33%), mint fent
 - $\alpha+\beta$ ötvözet (33%<Zn<45%), β javítja a szilárdságot és a forgácsolhatóságot, de ridegít



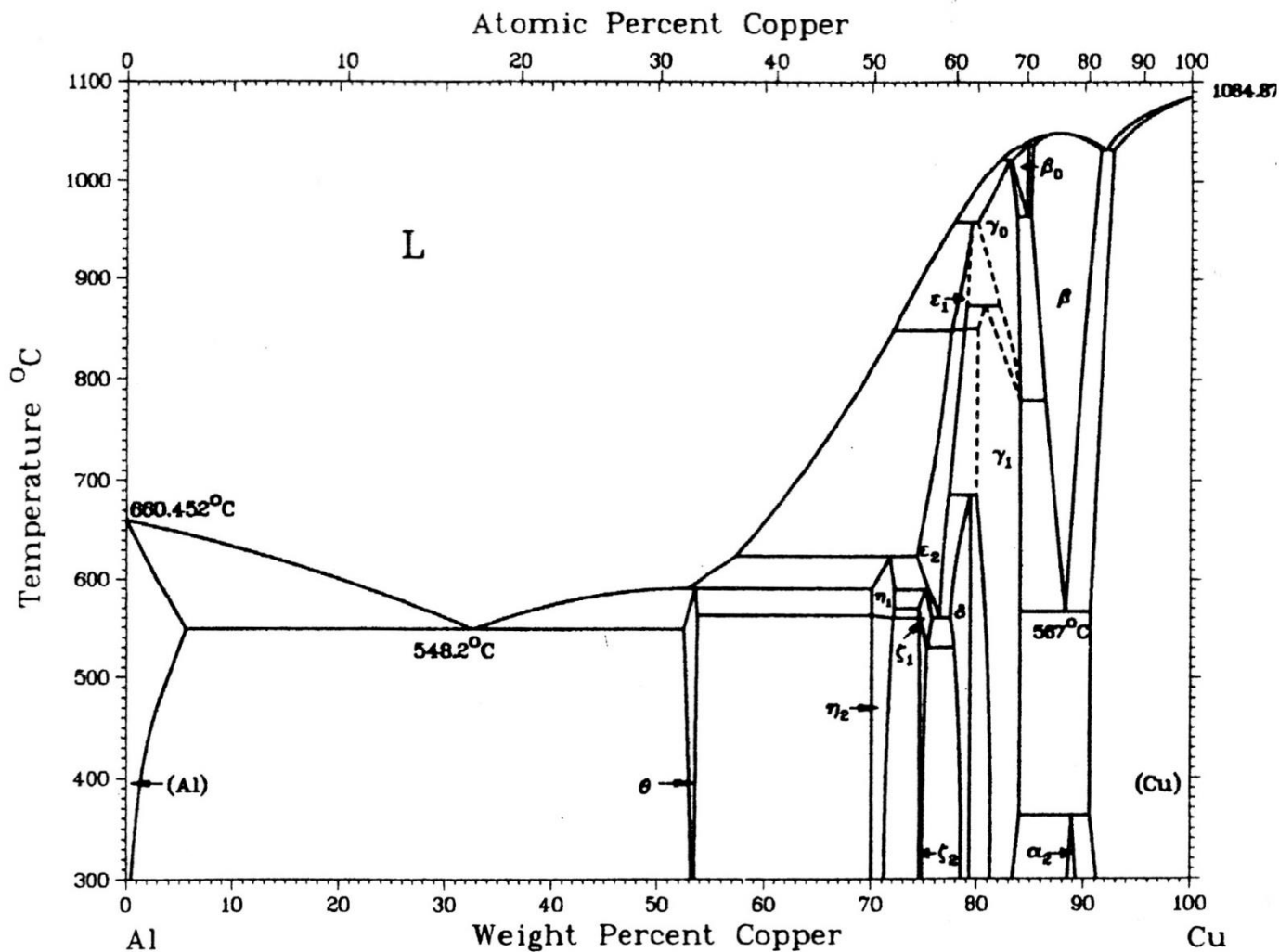
- Ötvözött sárgarézt
 - Pb: gömbszerű részecskék, forgácsolhatóság javul, ken
 - Sn, Al, Si elemek β képzők, β stabilitási tartományát növelik, javítják a melegalakíthatóságot
 - Ni, Mn és Fe elemek α képzők, alakíthatóságot növelik
- A sárgarezek általában jó korrózióállóak, de 15% Zn tartalom felett két probléma lép fel:
 - Szezonális törés: maradó feszültségek (hegesztés), feszültségkorrózió, párás környezetben
 - Cinktelenedés: a Zn kioldódását jelenti, elsősorban a Zn dús β , de minden más ötvözőben dús fázisból is kimehet az ötvöző vizes környezetben, α fázisban minimális As ötvözéssel fékezhető: admirális réz

- Fő ötvöző az ón (Sn), 3-20%
- Ötvözetlen bronzok
 - 3-20% Sn, kivéve: harangbronz (20-25%) és tükörbronz (30-35%)
- Ipari bronzok:
 - Jól alakítható, α bronzok, szilárdság Sn tartalommal és hidegalalkítással nő
 - Öntészeti $\alpha+\delta$ bronzok, tulajdonságok a kemény δ fázistól függenek (lehűtési sebesség!)

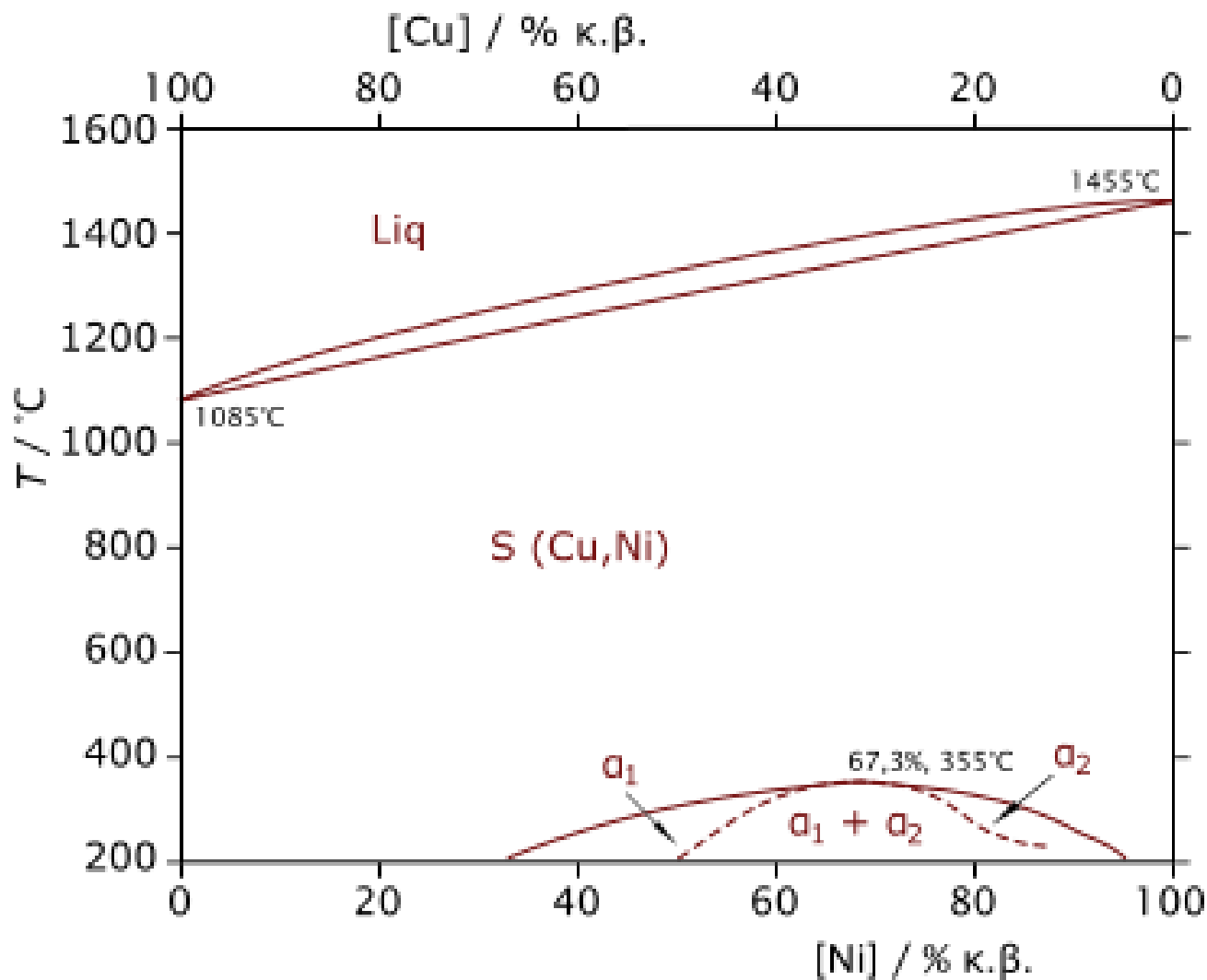


- Sn mellett további ötvözőt tartalmaznak
- Foszforbronzok (CuSn8P)
 - Cu_3P kiválások a szilárdságot jelentősen növelik
- Ólmozott bronzok (CuSn8Pb3Zn6)
 - Pb nem oldódik, jól forgácsolható, siklási tulajdonságok javulnak (akár 30% Pb)
- Horganybronzok (CuSn5Zn5Pb5)
 - Zn segíti az oldott gázok eltávolítását, önthetőséget és alakíthatóságot javít, Pb tömítést javítja, vízköri elemek

- Alumínium bronzok (kuproalumínium)
 - 4-14% Al tengervíznek, feszültségkorrózióknak és korróziós kifáradásnak ellenállóak, nagy szilárdság
 - Ötvözetlen: jól hidegalakíthatók, lehet egy- és többfázisú (szilárdság nő, szívósság csökken)
 - Ötvözött: Fe, Ni, Mn ötvözés
 - Korrózióállóság és szilárdság javul
 - Hajócsavarok, turbinalapátok
 - Hőcserélőcsövek, -lemezek



- Nikkel bronzok (kupronikkelek)
 - Korlátlan oldhatóság Cu és Ni között
- Különösen hatékony és ellenálló nagy sebességgel áramló tengervíz közegben
- Néhány százalék Mn és Fe is előfordulhat
- Lemezek, szalagok általános célra, csövek hőcserélőkhöz
- Konstantán: 40-45% Ni tartalom, vezetőképessége nem változik a hőmérséklet növelésével
- Alpakka: Cu-Ni-Zn ötvözet, sárgaréz és kupronikkelek közé esik
 - Jól alakítható egyfázisú ötvözet
 - Melegalakítható, jól forgácsolható kétfázisú ötvözet



- Szilíciumbronzok (kuproszilíciumok)
 - Jó súrlódási jellemzők, szilárdság, korrózióállóság
 - CuSi_3Mn , $\text{CuSi}_2\text{Al}_{2,5}$
- Ólombronzok
 - Jó siklási tulajdonságok, siklócsapágyak
 - CuPb_8 , CuPb_{15} , CuPb_{20} , CuPb_{30}
- Alakemlékező rézötvözetek
 - Reverzibilis martenzites átalakulás
 - Cu-Zn-Al, Cu-Zn-Ni ötvözetek

https://www.youtube.com/watch?v=bvw7_a2gU24

Alakemlékezés

0:52

- Nehézfém, sűrűsége $8,89 \text{ gcm}^{-3}$
- Olvadáspontja 1440°C
- Felületen középpontos köbös rácsú
- Kiváló korrózió-, hő- és kúszásálló
- Energiaipar, vegyipar, olajipar, repülőgép hajtóművek

- Ötvözetlen – vegyipari nikkel
 - C tartalomtól függően két altípus
 - Lágy, hidegalakítással keményíthető, nyúlása ekkor erősen csökken, de szívós kis hőmérsékleten is
- Ni-Cu ötvözetek – Monel
 - 28-34% Cu, nagynyomású víz, gőz és tengervíz szállítás, rézfűvósok dugattyúi, párologtatók
- Ni-Cr-Fe és Ni-Mo ötvözetek – Inconel, Hastalloy, Incoloy, Nimonic
 - Sajátos korróziós ellenállás
 - Ni-Cr-Fe: kénsavas, foszforsavas, tengervizes, klóros
 - Ni-Mo: sósavas, fluorsavas környezet
 - Ni-Cr-Mo: széles korróziós ellenállás, lyuk- és rés korrózió

- Ni-Cr és Ni-Cr-Fe ötvözetek
 - kiváló melegszilárdság, kúszásállóság
 - Fűtőellenállások, forró levegőnek ellenállók
- Fe-Ni-Cr ötvözetek
 - Fő alkotójuk a Fe, nem tipikus Ni ötvözetek
 - Oxidáló, karbonizáló és szulfidizáló környezetben is jól működnek

- Nagy hő- és kúszásállóságú szuperötvözetek
- Gázturbinák teljesítményfokozása nyomán fejlesztették őket
- Akár 10-15 ötvöző
 - C, Cr, Co, Ni, Mo, W, Ti, Al, Nb, Fe, B, Zr, Ta, V, Re, Hf, La, Y
- Egykristály lapátok kiválóan keményítve

- Fűtőellenállások (Ni-20Cr-Si, CuNi45 (Konstantán))
- Termoelemek anyagai, K típus 90Ni-9Cr és 94Ni-
AlMn-Fe-Si-Co
- Lágymágneses anyagok, Permalloy
- Kis hőtágulású ötvözet: Invar36, Kovar
- Alakemlékező Ni-Ti ötvözetek
 - Rendezett rácsú intermetallikus ötvözetek
- Maraging – X2NiCoMo18-9-5
 - Martenzites, kiválóan keményíthető

- Nehézfém, sűrűsége $7,133 \text{ gcm}^{-3}$
- Olvadáspontja 906°C
- Hexagonális rácsú
- Korrózióvédelem alapanyaga, bevonatolás
 - Cink-karbonát réteg a felületen
- Öt tisztasági fokozat (Z1...Z5)
 - Z1: 99,995% Zn ... Z5: 98,5% Zn
- Fő szennyezők: Pb (Cd, Fe, Sn, Cu, Al)
- Áldozati anód
- Cu, Ti növeli a szilárdságot
- Lágy ($\sim 100 \text{ MPa}$ folyáshatár, kúszás már 100°C -on)

- Kiváló önthetőség, nagyon sok öntött alkalmazás
 - Gyorsprototípus gyártás (homokforma + forgácsolás)
 - Kis sorozatok gyártása (kokillaöntés)
 - Nagy sorozatok gyártása (nyomásos öntés)
 - Felületkezelés (tűzi mártó horganyozás)
- Kulcsok, röntgensőfoglalatok, luxuscikkek (tömeghatás), ablaknyitószerkezet, rögzítőcsap, telefonkészülék-ház, szekrényzárak stb.

- Zn-Al (~5% Al-nál eutektikum)
- Hipoeutektikus, ~4% Al
 - 1930-as évek vége, Zamak ötvözet
 - Percíziós öntés
- Hipereutektikus, 6-12% Al
 - 1950: 6-8% Al, Zamak, hőállóság, kopásállóság
 - Tonsul ötvözet +Mg, ékszerek ötvözete
 - Ilzro: 12% Al és 1% Cu, gravitációs öntés, nagyobb darabok, például irodai székláb

- Hipereutektoidos ötvözetek
 - 25-35% Al tartalom akár
 - Erős szilárdságnövelés, akár 400 MPa folyáshatár
 - Porózus felület – kenőanyag tárolás – siklás
- Al mentes Zn-Cu-Ti ötvözetek
 - Zn-Cu: öntött építőipari alkatrészek, érmék, mélyhúzószerszámok
 - Zn-Cu-Ti és Zn-Cu-Cr-Ti: nagy, homokba öntött alkatrészek, tetőszerkezet, eresz, 300 MPa folyás
 - Zn-Pb-Cd-Fe: szárazelemek cinkhengere

- Korrózió és saválló
- Ötvözetei (Pb) csapágy és forrasztanyagok
- Ónpestis
 - 18°C alatt tetragonális-gyémánt rács átkristályosodás
 - allotróp változás
 - térfogatváltozással is jár
 - feszültségeket kelt
 - a darab szétporlik

Dr. Orbulov Imre Norbert – orbulov@eik.bme.hu

Köszönöm a figyelmet!