Óbudai **E**gyetem
Bánki Donát **G**épész és
Biztonságtechnikai Mérnöki **K**ar
Anyagtudományi és **G**yártástechnológiai **I**ntézet
Anyag- és **A**lakítás**T**echnológiai Szakcsoport

FÉMEK SZERKEZETE, TULAJDONSÁGAI ÉS ALKALMAZHATÓSÁGA A TECHNOLÓGIAI HATÁSOK TÜKRÉBEN

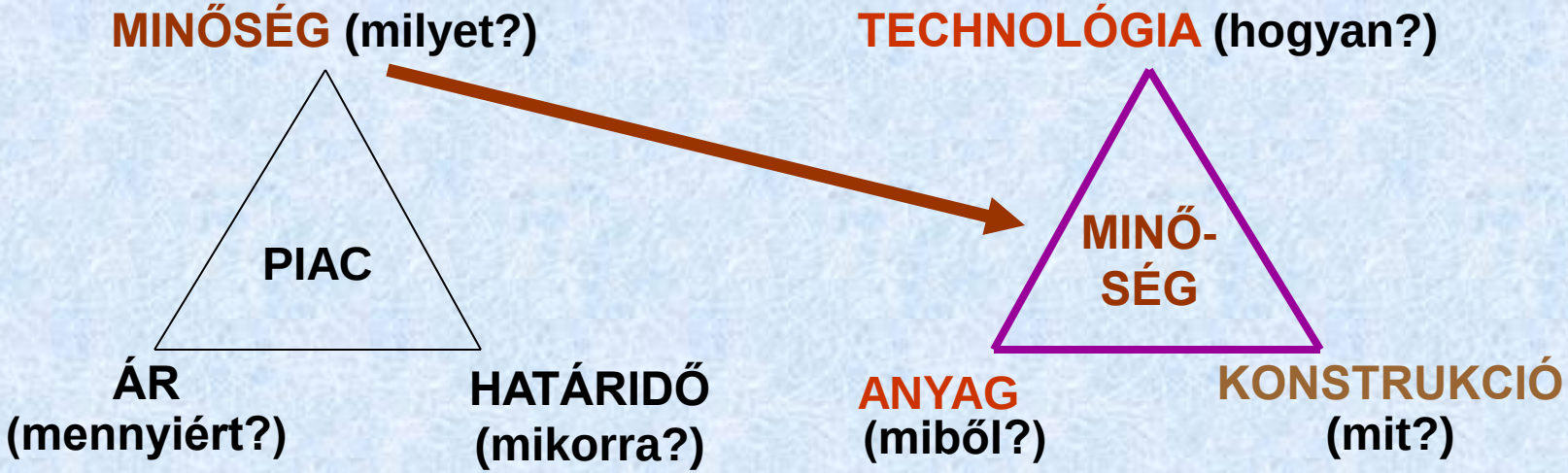
Dr. Bagyinszki Gyula
egyetemi docens

Cím: **1081 Budapest, Népszínház utca 8., fsz. 23.**
Tel.: **06-1-666-5304**; **06-1-666-5386**; Fax: **06-1-666-5494**
E-mail: **bagyinszki.gyula@bgk.uni-obuda.hu;** Honlap: **www.banki.hu/~aat**

Fémek szerkezete, tulajdonságai és alkalmazhatósága a technológiai hatások tükrében

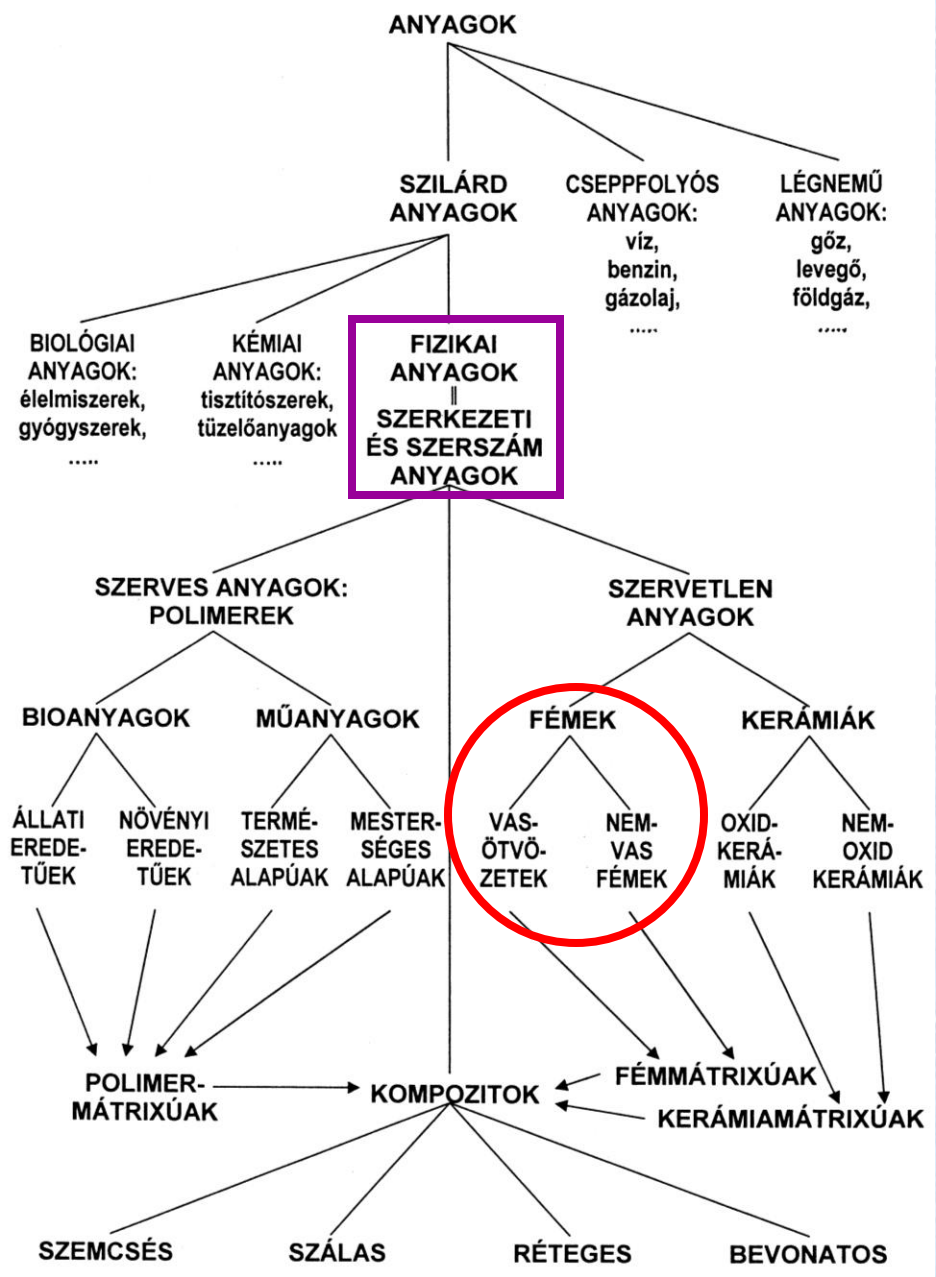
- rendszerező bevezetés, technikatörténeti háttér
- szerkezet – tulajdonságok – technológia összefüggései
- fémek és fémötvözetek
- fémes anyagszerkezet befolyásolásának technológiai lehetőségei
- fémek anyagtulajdonságai, méretezési – anyagkiválasztási jellemzői
- fémek megmunkálhatósága, technológiai alkalmassága
- fémek károsodásállósága, üzemeltetési jellemzői
- fémek alkalmazásai

A témakör szerepe a műszaki szakképzésben



Kapcsolódó tantárgyak, ill. tudományágak:

- **Anyagismeret** (Anyagtudomány) + Ökológia
- **Gyártásismeret** (Anyagtechnológia) + Logisztika
- **Gépszerkezettan** (Konstrukciós tervezés) + Mechanika

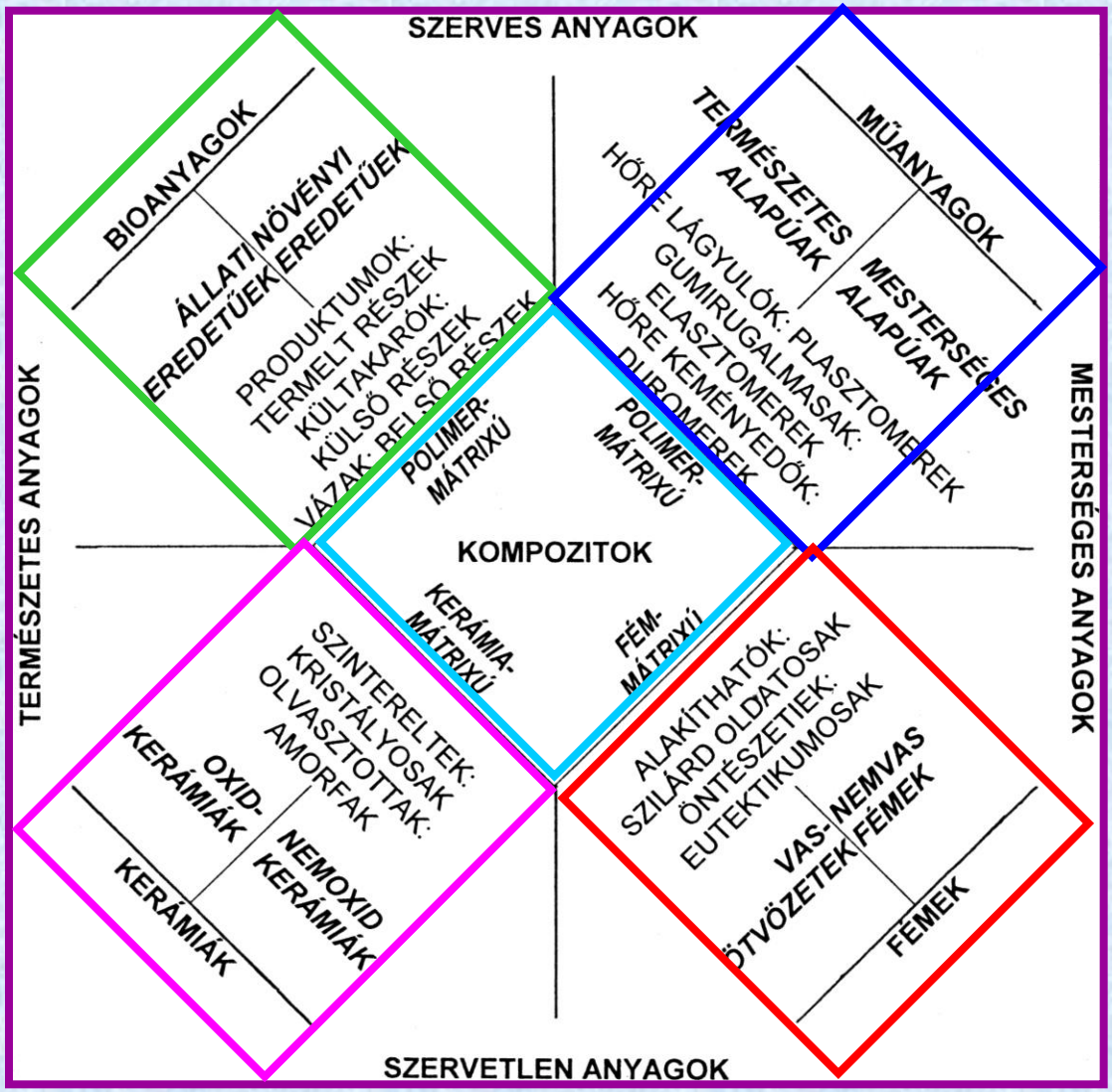


szilárd fizikai anyagok = szerkezeti (és szerszám-) anyagok

▼

mechanikai, termikus, elektromos, mágneses, optikai és akusztikai, vagyis fizikai tulajdonságaik fontosak a gyakorlatban

Szerkezeti anyagok csoportosítása



bioanyagok (természetes polimerek),

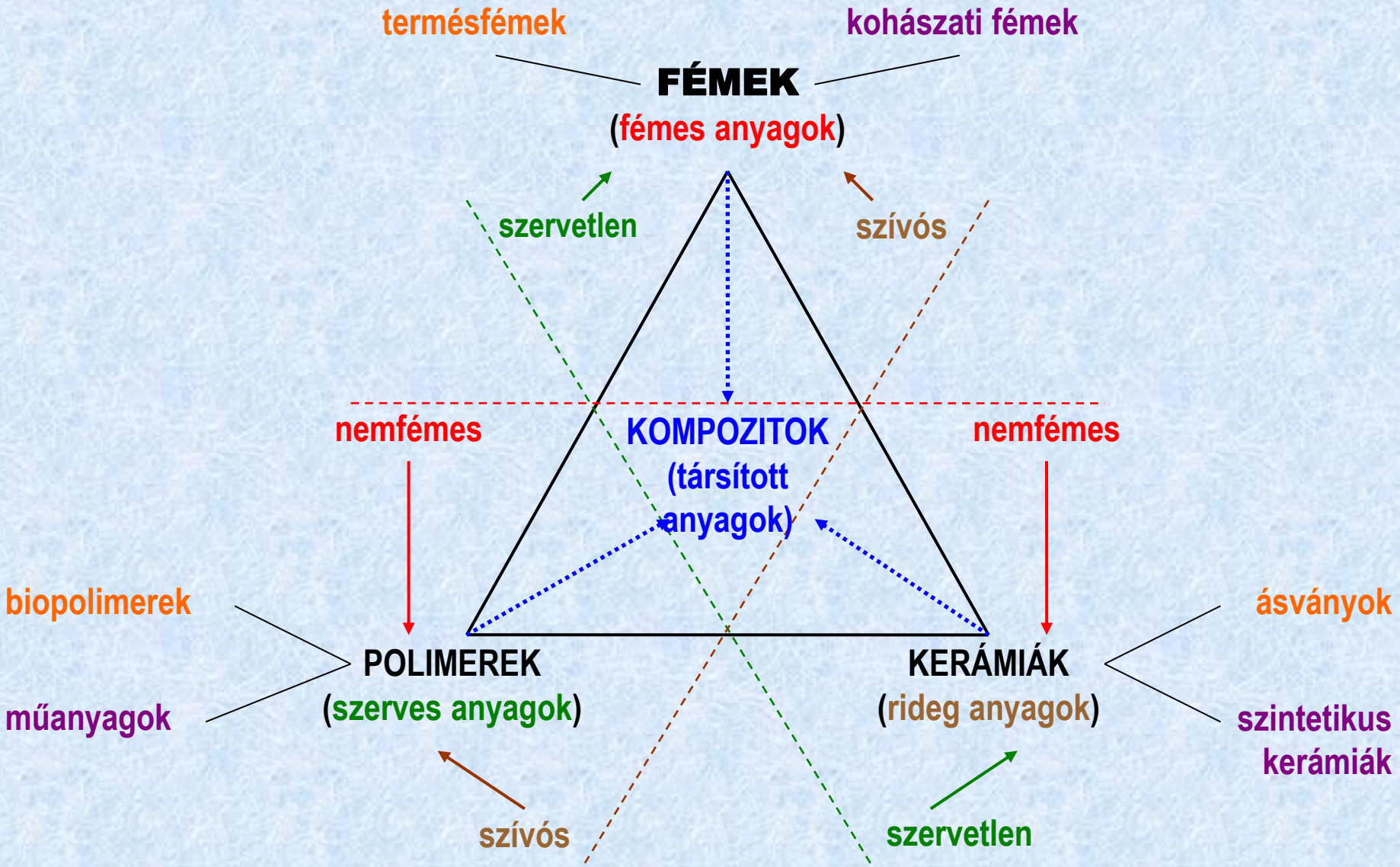
műanyagok (szintetikus polimerek),

fémek (fémes szervetlen anyagok),

kerámiák (nemfémes szervetlen anyagok),

és az előzőekből összetevődő **kompozitok**.

Szerkezeti anyagok felosztása



AZ ELEMEK PERIÓDUSOS RENDSZERE

FÉMEK

FÉLFÉMEK

NEMFÉMEK

1. főcsoport alkálifémek	2. főcsoport alkáli-földfémek	3. mellék-csoport szkandium-csoport ritka földfém	4. mellék-csoport titán-csoport	5. mellék-csoport vanádium-csoport	6. mellék-csoport króm-csoport	7. mellék-csoport mangán-csoport	8. mellékcsoport vascsoport: Fe, Co, Ni; könnyű platinafémek: Ru, Rh, Pd; nehéz platinafémek: Os, Ir, Pt			1. mellék-csoport réz-csoport	2. mellék-csoport cink-csoport	3. főcsoport bór-csoport földfémek	4. főcsoport szén-csoport	5. főcsoport nitrogén-csoport	6. főcsoport kalkogén (ércképző) elemek	7. főcsoport halogének (sóképzők)	8. főcsoport nemesgáz
átmeneti fémek																	
1 1 he *H* 0,07 Hidrogén - 252,9 °C - 259,3 °C	4 9 he **Be** 1,83 Berillium + 2970 °C + 1278 °C											5 11 ro **B** 2,34 Bór + 2550 °C + 2079 °C	6 12 he **C**^{G} 2,27 Szén + 4827 °C + 3550 °C	7 14 he ***N*** 0,97 Nitrogén - 195,8 °C - 209,9 °C	8 16 ek ***O*** 1,11 Oxigén - 183 °C - 218,8 °C	9 19 ek ***F*** 1,31 Fluor - 188,1 °C - 219,6 °C	10 20 fk ***Ne*** 0,70 Neon - 246 °C - 248,7 °C
3 7 tk **Li** 0,53 Lítium + 1347 °C +180,5 °C																	
11 23 tk **Na** 0,97 Nátrium +882,9 °C + 97,8 °C	12 24 he **Mg** 1,74 Magnézium + 1090 °C +684,8 °C											13 27 fk **Al** 2,70 Alumínium + 2467 °C +660,4 °C	14 28 fkD **Si** 2,33 Szilícium + 2355 °C + 1410 °C	15 31 k **P**$^{\alpha}$ 1,83 Foszfor +280,5 °C + 44,1 °C	16 32 ro **S** 2,07 Kén +444,7 °C + 119 °C	17 35 ro ***Cl*** 2,49 Klór - 34,6 °C - 101 °C	18 40 fk ***Ar*** 1,38 Argon - 185,9 °C - 189,4 °C
19 39 tk **K** 0,86 Kálium + 774 °C + 63,7 °C	20 40 fk **Ca** 1,55 Kalcium + 1484 °C + 839 °C	21 45 he **Sc** 2,99 Szkandium + 2831 °C + 1541 °C	22 48 he **Ti** 4,51 Titán + 3287 °C + 1660 °C	23 51 tk **V** 6,11 Vanádium + 3380 °C + 1890 °C	24 52 tk **Cr** 7,19 Króm + 2672 °C + 1857 °C	25 55 tk **Mn** 7,44 Mangán + 1962 °C + 1244 °C	26 56 tk **Fe** 7,87 Vas + 2750 °C + 1538 °C	27 59 he **Co** 8,89 Kobalt + 2878 °C + 1494 °C	28 59 fk **Ni** 8,91 Nikkel + 2732 °C + 1453 °C	29 64 fk **Cu** 8,96 Réz + 2567 °C + 1083 °C	30 65 he **Zn** 7,14 Cink + 907 °C +419,6 °C	31 70 ro **Ga** 5,93 Gallium + 2403 °C + 29,8 °C	32 73 fkD **Ge** 5,32 Germánium + 2830 °C +937,4 °C	33 75 ro **As**$^{\alpha}$ 5,73 Arzén + 613 °C (+ 817 °C)	34 79 he **Se** 4,80 Szelén + 685 °C + 217 °C	35 80 ro **Br** 3,12 Bróm + 58,6 °C - 7,3 °C	36 84 fk ***Kr*** 2,90 Kripton - 153,3 °C - 157,1 °C
37 85 tk **Rb** 1,53 Rubídium + 688 °C + 38,9 °C	38 88 fk **Sr** 2,63 Stroncium + 1384 °C + 769 °C	39 89 he **Y** 4,47 Ittrium + 3338 °C + 1522 °C	40 91 he **Zr** 6,51 Cirkónium + 3580 °C + 1852 °C	41 93 tk **Nb** 8,57 Nióbium + 4742 °C + 2468 °C	42 96 tk **Mo** 10,2 Molibdén + 4612 °C + 2617 °C	43 (99) he **Tc*** 11,6 Technécium + 4877 °C + 2172 °C	44 101 he **Ru** 12,5 Ruténium + 3900 °C + 2310 °C	45 103 fk **Rh** 12,4 Ródium + 3730 °C + 1963 °C	46 106 fk **Pd** 12,0 Palládium + 3140 °C + 1554 °C	47 108 fk **Ag** 10,5 Ezüst + 2212 °C +961,9 °C	48 112 he **Cd** 8,65 Kadmium + 765 °C +321,1 °C	49 115 te **In** 7,31 Indium + 2080 °C +156,6 °C	50 119 fkD **Sn**$^{\alpha}$ 7,39 Ón + 2270 °C +231,9 °C	51 122 ro **Sb** 6,69 Antimon + 1750 °C +630,7 °C	52 128 fk **Te** 6,25 Tellur +989,8 °C +449,5 °C	53 127 ro **I** 4,93 Jód +184,4 °C +113,5 °C	54 131 fk ***Xe*** 4,53 Xenon - 108,1 °C - 111,8 °C
55 133 tk **Cs** 1,87 Cézium +678,4 °C + 28,4 °C	56 137 tk **Ba** 3,51 Bárium + 1640 °C + 725 °C	57 139 he **La** 6,17 Lantán + 3457 °C + 921 °C	72 178 he **Hf** 13,3 Hafnium + 4600 °C + 2227 °C	73 181 tk **Ta** 16,7 Tantál + 5425 °C + 2996 °C	74 184 tk **W** 19,3 Volfrám + 5660 °C + 3410 °C	75 186 he **Re** 21,0 Rénium + 5630 °C + 3180 °C	76 190 he **Os** 22,6 Ozmium + 5027 °C + 3045 °C	77 192 fk **Ir** 22,4 Irídium + 4130 °C + 2410 °C	78 195 fk **Pt** 21,5 Platina + 3827 °C + 1772 °C	79 197 fk **Au** 19,3 Arany + 2807 °C + 1063 °C	80 201 ro **Hg** 13,5 Higany +356,7 °C - 38,9 °C	81 204 he **Tl** 11,9 Tallium + 1457 °C +303,5 °C	82 207 fk **Pb** 11,4 Ólom + 1740 °C +327,5 °C	83 209 ro **Bi** 9,81 Bizmut + 1560 °C +271,4 °C	84 (209) ek **Po** 9,31 Polónium + 962 °C + 254 °C	85 (210) - **At** - Asztácium + 337 °C + 302 °C	86 (222) fk ***Rn*** 7,62 Radon - 61,8 °C - 71 C
87 (223) tk **Fr** 2,50 Francium + 677 °C + 27 °C	88 (226) tk **Ra** 5,50 Rádium + 1140 °C + 700 °C	89 (227) ek **Ac** 10,1 Aktínium + 3200 °C + 1050 °C	104 (261) **Db*** Dubnium **Ku*** Kurcsatovi.	105 (262) **Jl*** Joliotium **Ha*** Hahnium	106 (263) **Rf*** Rutherfordi. **Sg*** Seaborgium	107 (264) **Bh*** Bohrium **Ns*** Nielsbohriu.	108 (265) **Hn*** Hahnium **Hs*** Hassnium	109 (266) **Mt*** Meitnerium	nemesfémek		fémek					félfémek	nemfémek
									110 **Uun*** Ununnilium	111 **Uuu*** Unununium	112 **Uub*** Ununbium	113 **Uut*** Ununtrium	114 **Uuq*** Ununquadium	115 **Uup*** Ununpentium	116 **Uuh*** Ununhexium	117 **Uus*** Ununseptium	118 **Uuo*** Ununoctium
transzaktinoidák																	

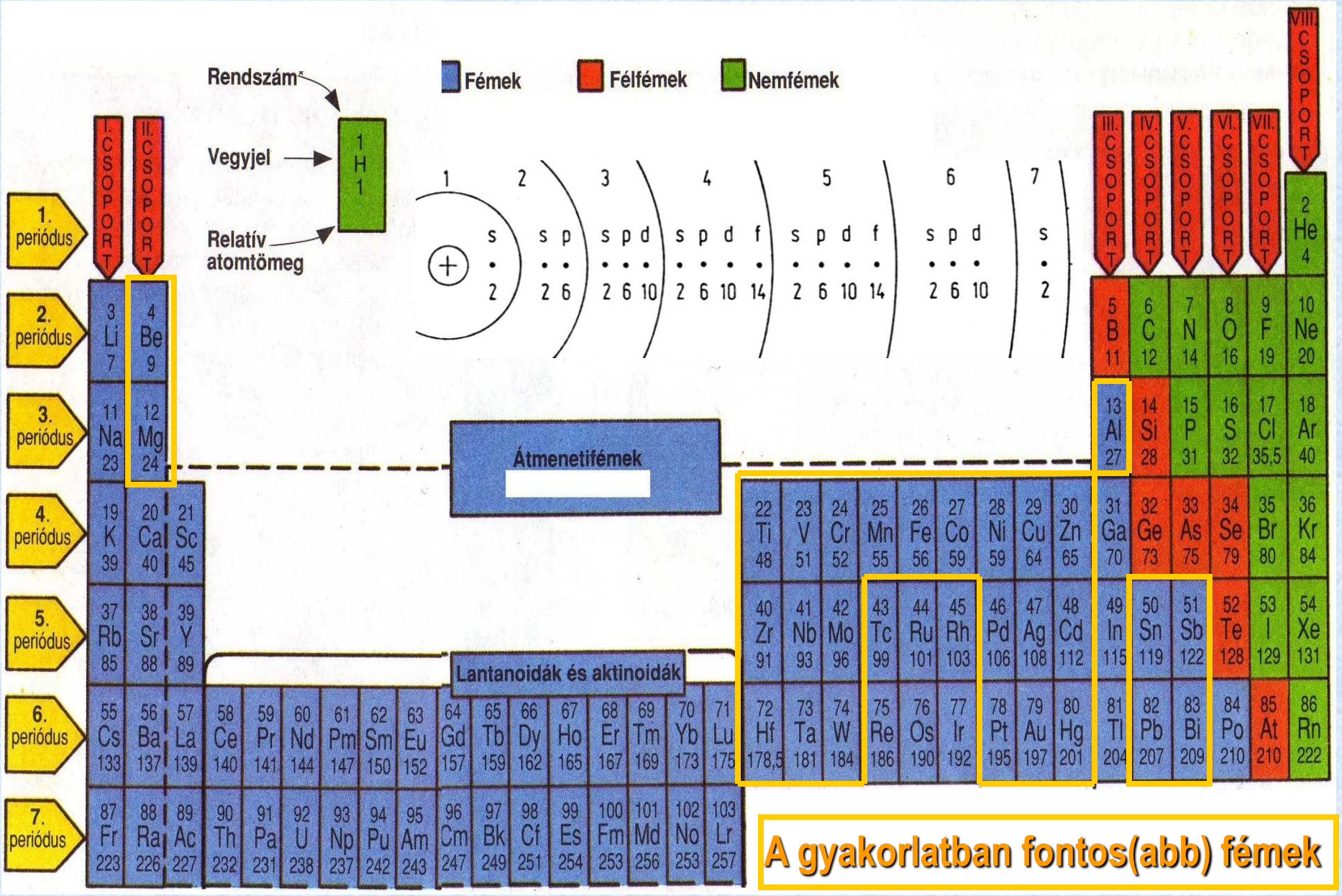
3. mellékcsoport lantanoidák alcsoportja	58 140 fk **Ce** 6,75 Cérium + 3426 °C + 799 °C	59 141 he **Pr** 6,77 Prazeodímium + 3212 °C + 931 °C	60 144 he **Nd** 7,01 Neodímium + 3068 °C + 1021 °C	61 (147) he **Pm*** 7,23 Prométium + 2460 °C + 1168 °C	62 150 ro **Sm** 7,54 Szamárium + 1791 °C + 1077 °C	63 152 tk **Eu** 5,25 Európium + 1597 °C + 822 °C	64 157 he **Gd** 7,89 Gadolínium + 3266 °C + 1311 °C	65 159 he **Tb** 8,27 Terbium + 3123 °C + 1356 °C	66 163 he **Dy** 8,56 Diszprózium + 2562 °C + 1412 °C	67 165 he **Ho** 8,78 Holmium + 2695 °C + 1474 °C	68 167 he **Er** 9,06 Erbium + 2863 °C + 1529 °C	69 169 he **Tm** 9,32 Túlium + 1727 °C + 1545 °C	70 173 fk **Yb** 6,97 Itterbium + 1196 °C + 816 °C	71 175 he **Lu** 9,84 Lutécium + 3327 °C + 1652 °C
	ceritföldek (ritkaföldfémek)							itterföldek (ritkaföldfémek)						
3. mellékcsoport aktinoidák alcsoportja	90 232 fk **Th** 11,7 Tórium + 4790 °C + 1750 °C	91 (231) te **Pa**$^{\alpha}$ 15,4 Protaktíniu. + 3300 °C + 1600 °C	92 238 ro **U** 19,0 Urán + 3818 °C + 1132 °C	93 (237) ro **Np*** 20,5 Neptúnium + 3902 °C + 640 °C	94 (244) mo **Pu*** 19,8 Plutónium + 3232 °C + 641 °C	95 (243) he **Am*** 13,7 Americium + 2607 °C + 994 °C	96 (247) he **Cm*** 13,6 Kúrium + 3110 °C + 1340 °C	97 (247) **Bk*** 15,1 Berkélium --- + 1020 °C	98 (251) **Cf*** 15,1 Kalifornium --- + 900 °C	99 (252) **Es*** Einsteinium --- + 850 °C	100 (257) **Fm*** Fermium --- + 1527 °C	101 (258) **Md*** Mendelévium. --- + 827 °C	102 (259) **No*** Nobélium --- + 827 °C	103 (260) **Lr*** Laurencium --- + 1627 °C
	transzurán elemek													

R: rendszám
A: rel. atomtömeg
stabil (instabil)
S: sűrűség [10^3 kg/m^3]
(gázoknál: [kg/m^3])
K: kristályszerkezet:

R	A
K **Vegyj.** S	
Elem neve	
forr.pont	
olv.pont	

ek: egyszerű köbös
tk: térben köz. köb.
fk. felületen k. köb.
he: hexagonális
or: ortorombos
te: tetragonális
ro: romboéders
mo: monoklin

Gáz, Folyó. *mesterséges


Rendszám
Vegyjel
Relatív atomtömeg
Fémek
Félfémek
Nemfémek
I. CSOPORT
II. CSOPORT
III. CSOPORT
IV. CSOPORT
V. CSOPORT
VI. CSOPORT
VII. CSOPORT
VIII. CSOPORT
1. periódus
2. periódus
3. periódus
4. periódus
5. periódus
6. periódus
7. periódus
Átmenetifémek
Lantanoidák és aktinoidák
A gyakorlatban fontos(abb) fémek

Kémiai elemek - köztük a fémek - átlagos előfordulási gyakorisága

1 km vastag **földkéregben**		**óceánokban**		**légkörben**	
elem	%	elem	%	elem	%
oxigén (O)	47	**oxigén (O)**	85	nitrogén (N)	79
szilícium (Si)	27	***hidrogén (H)***	10	**oxigén (O)**	20
alumínium (Al)	8	klór (Cl)	2	argon (Ar)	0,94
vas (Fe)	5	*nátrium (Na)*	1	/szén-dioxid (CO_2)/	0,04
kalcium (Ca)	4	*magnézium (Mg)*	0,1	neon (Ne)	0,002
kálium (K)	3	kén (S)	0,1	hélium (He)	0,0005
nátrium (Na)	3	*kalcium (Ca)*	0,04	/metán (CH_4)/	0,0002
magnézium (Mg)	2	*kálium (K)*	0,04	kripton (Kr)	0,0001
titán (Ti)	0,4	bróm (Br)	0,007	***hidrogén (H)***	0,0001
hidrogén (H)	0,1	szén (C)	0,002	/nitrogén-oxid (NO)/	0,0001
$3 \cdot 10^{21}$ kg szilárd anyagban		10^{20} kg cseppfolyós anyagban		$5 \cdot 10^{18}$ kg légnemű anyagban	

Fémek felosztása

A **vasötvözetek tekinthetők viszonyítási alapnak.**

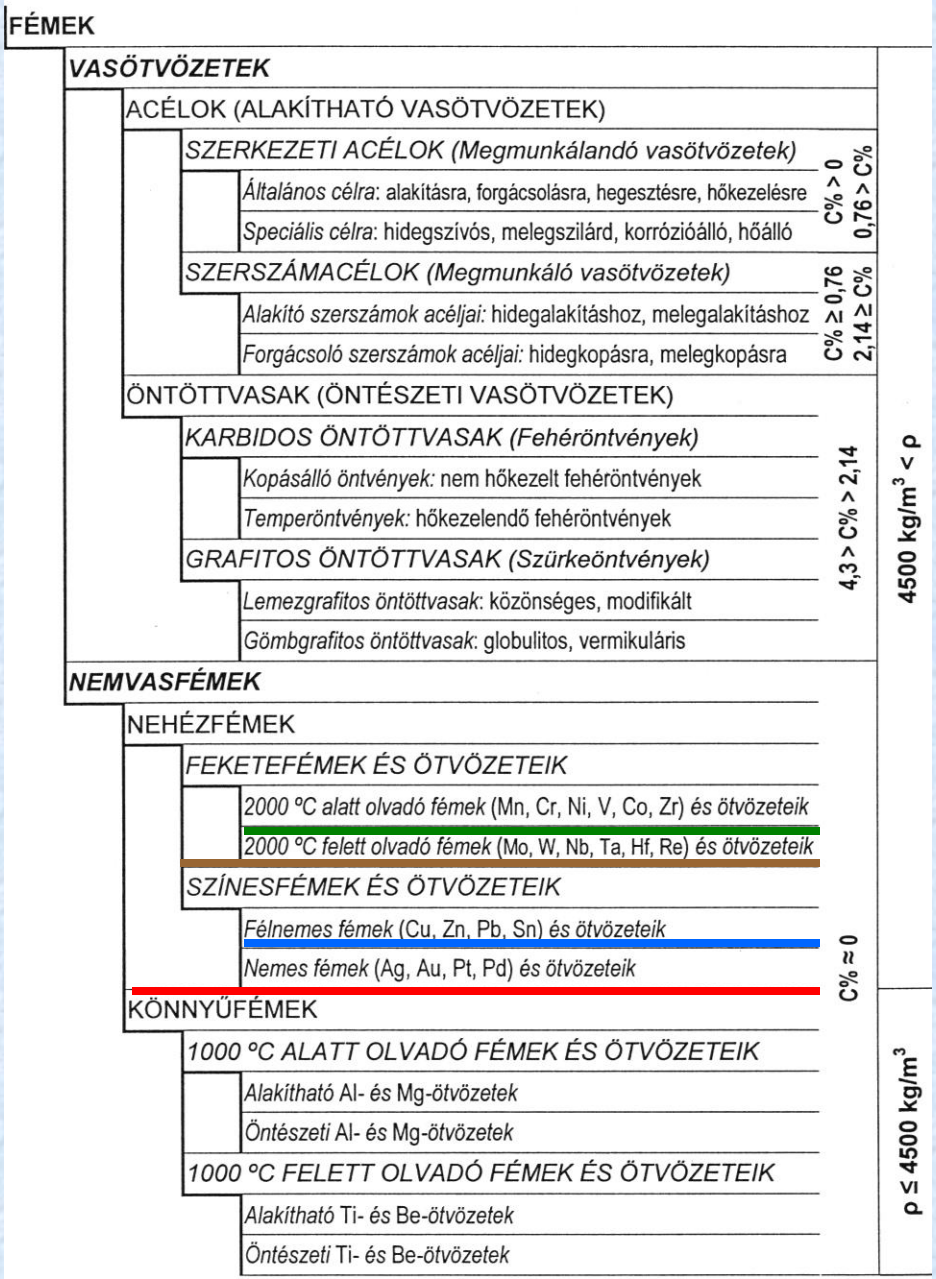
A ρ = 4500 kg/m^3-nél nagyobb sűrűségűek a **nehézfémek,** az azoknál könnyebbek a **könnyűfémek;**

Nehézfémeken belül **feketefémnek** tekintjük a vasat és ötvözőit, **színesfémnek** nevezzük pl. a rezet, a cinket, az ólmot, az ónt és a nemesfémeket;

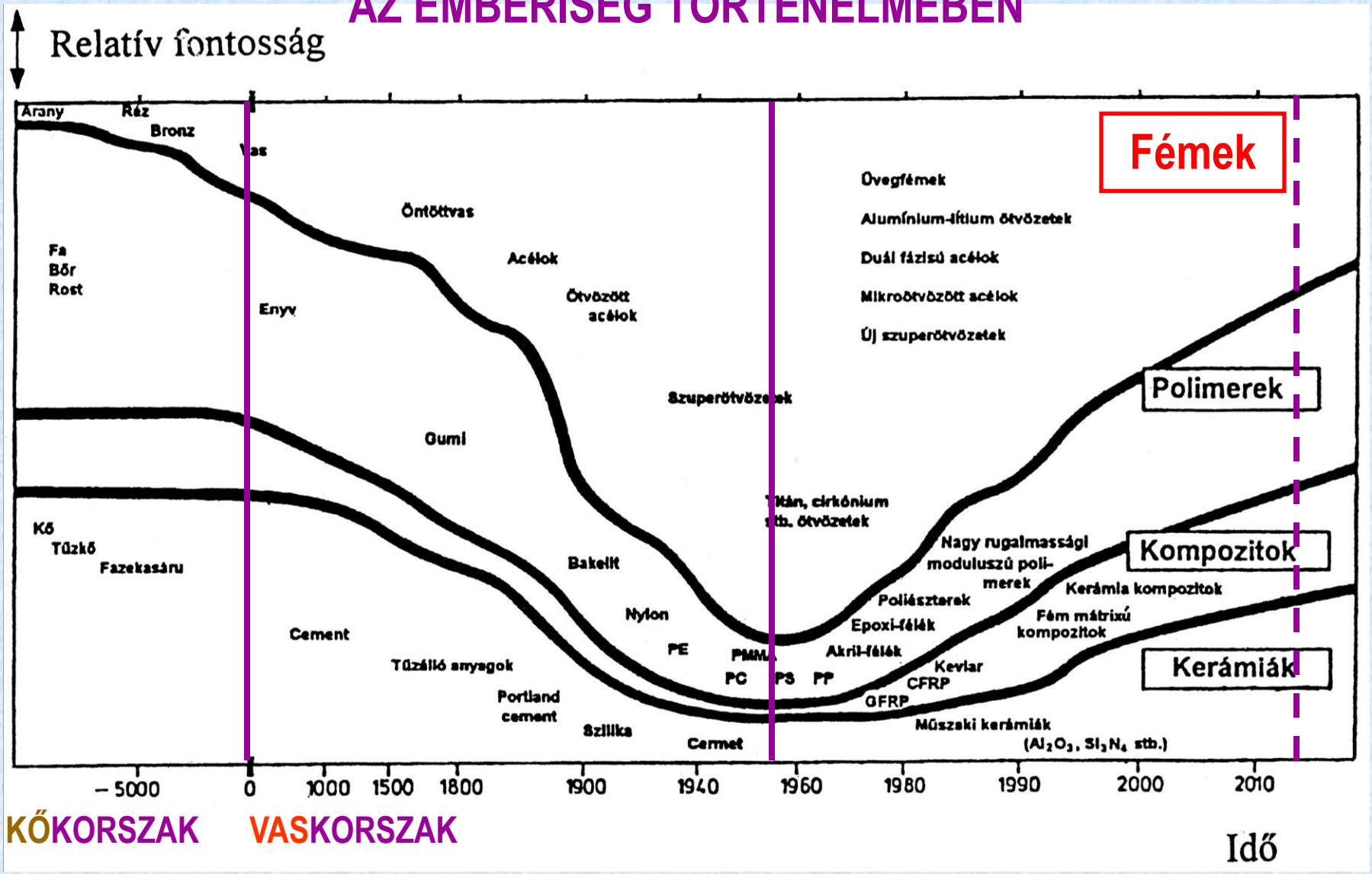
A vashoz (T_{olv}=1538 °C) képest **kisebb olvadáspont**ja (T_{olv}<1000 °C) van pl. a cinknek, az ólomnak, az alumíniumnak, a magnéziumnak, míg **nagyobb olvadáspontú** (T_{olv}>2000 °C) pl. a molibdén, a volfrám, a nióbium, a tantál;

Értékük (ritkaságuk) és korrózióállóságuk alapján a vashoz képest **nemesfémek** az ezüst, az arany, a platina, a palládium;

Ezek szerint megkülönböztethetünk: **vasalapú fémes anyagok**at azaz vasötvözeteket **és nemvas fémek**et.



SZERKEZETI ANYAGOK (ÉS TECHNOLÓGIÁIK) RELATÍV FONTOSSÁGA AZ EMBERISÉG TÖRTÉNELMÉBEN



Bronzkorszak
⇓
Fémöntészet

Bronzszobrokat öntő munkások i.e. V. századbeli „Öntöde-tál”-on

Harci szekerek alkatrészeinek sorozatgyártásához használt öntőforma

Bronzöntészeti példák

i.e. 280: Rodoszi kolosszus (6. ókori csoda): Héliosz szobra (kb. 36 m magas, bronzborítású);

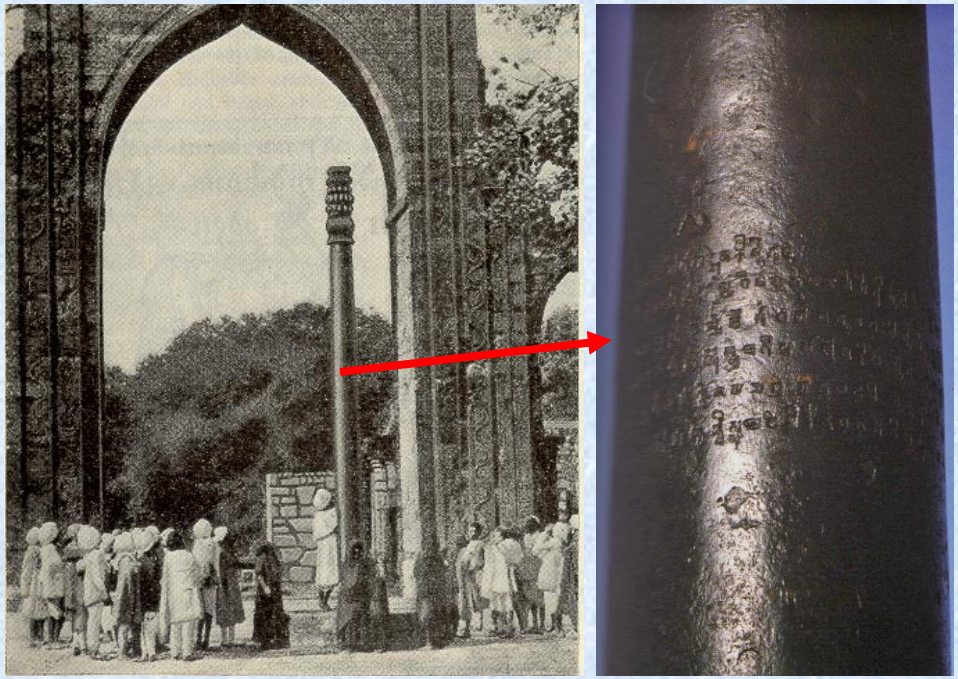
1252: Great Buddha Japánban (13,35 m magas, 121 t, Cu + 9% Sn + 20% Pb);

1586: „Ágyúk cárja” a Kremlben (Ø0,89 m, 5,34 m hosszú, 40 t);

1735: „Harangok cárja” a Kremlben (6,14 m; >200 t, 84 % Cu + 13 % Sn)

Vaskorszak ⇒ kovácsolás (melegalakítás)

Korai vaskorszakban a vasban és nikkelben gazdag meteoritokból származó anyagot alkalmazták, melyben a viszonylag nagy (4...8 %-os) nikkeltartalom megóvta a **melegen kovácsolható meteorit vas**at a korróziótól.



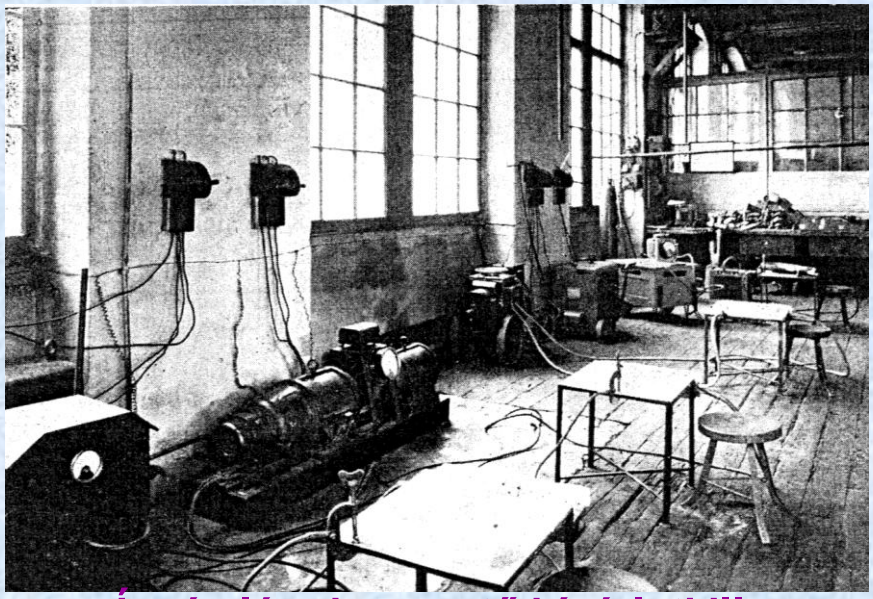
Delhi vasoszlop Indiában: a *6 tonnás oszlopot az i.e. III. évszázadban több darab meteoritvasból kovácsolták össze (kovácshegesztéssel)*

Az "igazi" vaskorszak:
"fekete kőzetek" (kőszenek) "erős" tüze + "barna kőből" (vasércből) tűzhely falazat ⇒ **vasoxidos ércek redukciója** ⇒ szilárd, porózus szerkezetű, szennyezett fém, amit önteni még nem, de **melegen alakítani (kovácsolni) már lehetett;**
Kemence-konstrukciók módosításai + intenzívebb természetes majd mesterséges szélbefúvás (fújtatós kohó, 1340) + tapasztalat, hogy a **mészkő falazatú kohóban előállított nyersvas kisebb szennyezőtartalmú** ⇒ ”kalapálható" vasszivacs helyett **olvadt állapotban kicsapolható nyersvas**.
A csapolónyílás alá ásott gödröt az angolok sow-nak (kocának) nevezték el, mivel egy alomnyi malacnak megfelelő méretű nyersvastömböt szedtek ki belőle. A nyersvasnak angolul mind a mai napig pig iron (malac-vas, disznó-vas) a neve.

Hegesztés az Óbudai Egyetem Bánki Karának jogelődjében

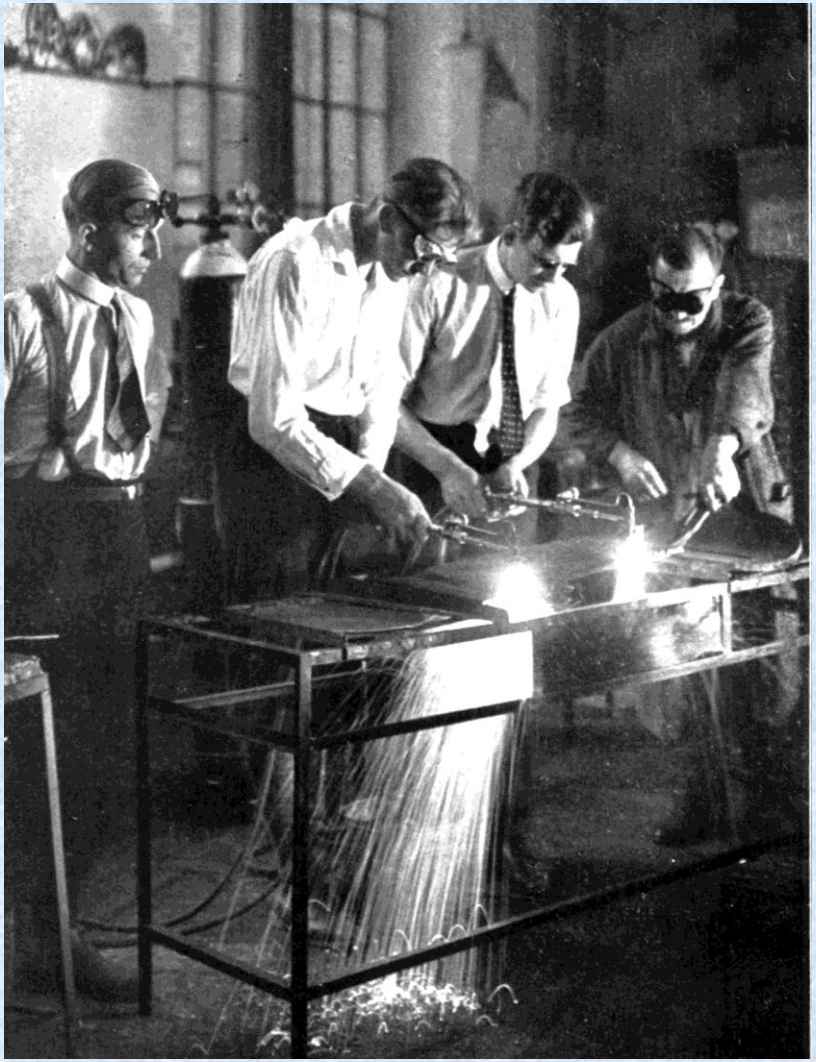
Az Állami felsőipariskola (Bpest, VIII., Népszinház-u. 8.) esti tanfolyamainak tájékoztatója.

A tanfolyam neve, díja	Felvételi feltételek	Szükséges okmányok
Ipari közismereti tanfolyam Tandíj: 100·— P 60·— P Biz. díj: 2·10 P	Tárgya a felső ipariskolai felvételi vizsga tárgyát képező magyar nyelv és irodalom, mennyiségtan és mértan. Fölvehető, aki IX. 1-én 14. életé ét betöltötte, IV. középiskolát végzett és gyakorlatban működik.	Születési anyakönyv kivonat, a középiskola IV. oszt. szóló bizonyítvány és bizonyítvány arról, hogy IX 1-től gyakorlatban van.
Lánghegesztő tanfolyam Tandíj: 40·— P Biz. díj: 2·10 P	A tanfolyamon az összes hegeszthető fémek autogénhegesztését és az autogénvágást tanítják. Felvehető, aki 18. életévét betöltötte és fémipari segédlevéllel rendelkezik.	Születési anyakönyvi kivonat és fémipari mesterségről szóló segédlevél.
Villamos ívhegesztő tanfolyam Tandíj: 70·— P Biz, díj: 2·10 P	A tanfolyamon munkások részére szükséges alapismereteket és ívhegesztő eljárásokat tanítják. Felvehető, aki 18. életévét betöltötte és fémipari mesterségről segédlevele van.	Születési anyakönyvi kivonat és segédlevél fémipari mesterségről.



Ív- és lánghegesztő kísérleti ill. tanműhely az 1930-as években

Autogénhegesztő tanfolyam 1907-től (8 elméleti és 30 gyakorlati órában)



II. évfolyam. Budapest, 1930 december hó

MŰSZAKI KÖZLÖNY

A Magyar Műszaki Szövetség hivatalos lapja

Amtsblatt des Verbandes Ungarischer Techniker

Elektrotechnikai, gép-, fém-, építészeti-, fa és vegyipari szaklap

TECHNISCHE ZEITSCHRIFT

Fachblatt für Elektrotechnische-, Maschinen-, Metall-, Bau-, Holz- und Chemische Industrie

Műszaki szerkesztő: SZEBEHELY GYÖZŐ

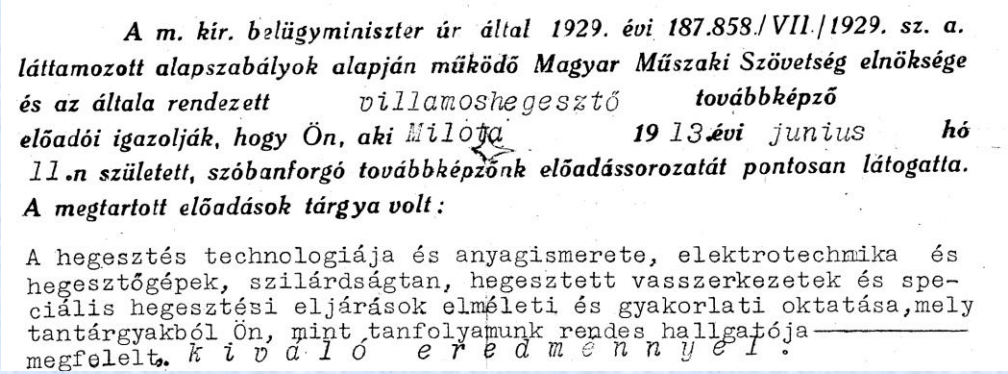
A szerkesztőbizottság elnöke: leányfalvi LINGEL KÁROLY

Felelős szerkesztő: SZÁSZ BÉLA

Megjelenik havonta. Előfizetési ár: Egész évre 24 pengő. Szövetségi helyiség: Budapest, VI., Teréz körut 43/a. Levélcím: Budapest 62/4. Szerkesztőség és kiadóhivatal: VI., Teréz-körut 43/a. Tel: 102—29. M. kir. postatakarék 29.484

VILLAMOS HEGESZTÉS

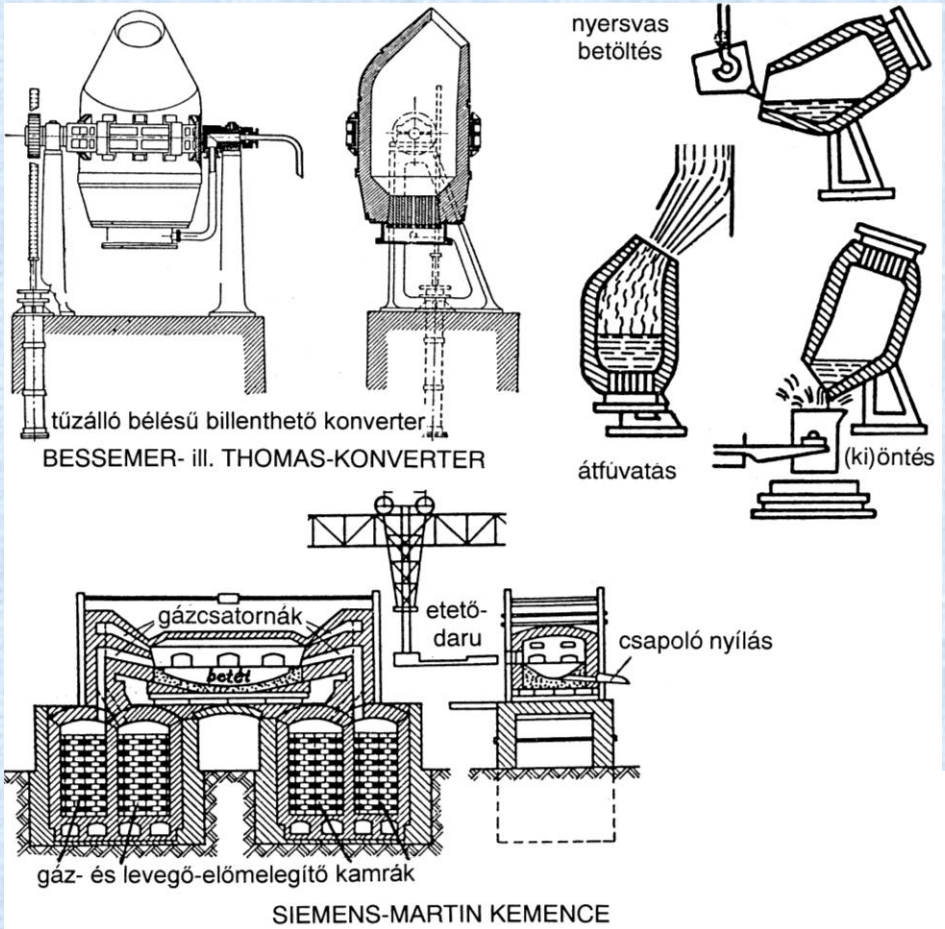
Villamos ívhegesztő tanfolyam 1930-tól (18 elméleti és 54 gyakorlati órában)



A m. kir. belügyminiszter úr által 1929. évi 187.858./VII./1929. sz. a. láttamozott alapszabályok alapján működő Magyar Műszaki Szövetség elnöksége és az általa rendezett villamoshegesztő továbbképző előadói igazolják, hogy Ön, aki Miloła 1913. évi junius hó 11.n született, szóbanforgó továbbképzőnk előadássorozatát pontosan látogatta. A megtartott előadások tárgya volt:

A hegesztés technologiája és anyagismerete, elektrotechnika és hegesztőgépek, szilárdságtan, hegesztett vasszerkezetek és speciális hegesztési eljárások elméleti és gyakorlati oktatása, mely tantárgyakból Ön, mint tanfolyamunk rendes hallgatója megfelelt. kiváló eredménnyel.

Acélkohászat



A gyártási folyamat öt fő szakasza: **1. berakás, 2. beolvadás, 3. frissítés, 4. dezoxidáció, 5. ötvözés**, melyeket a csapolás követi.

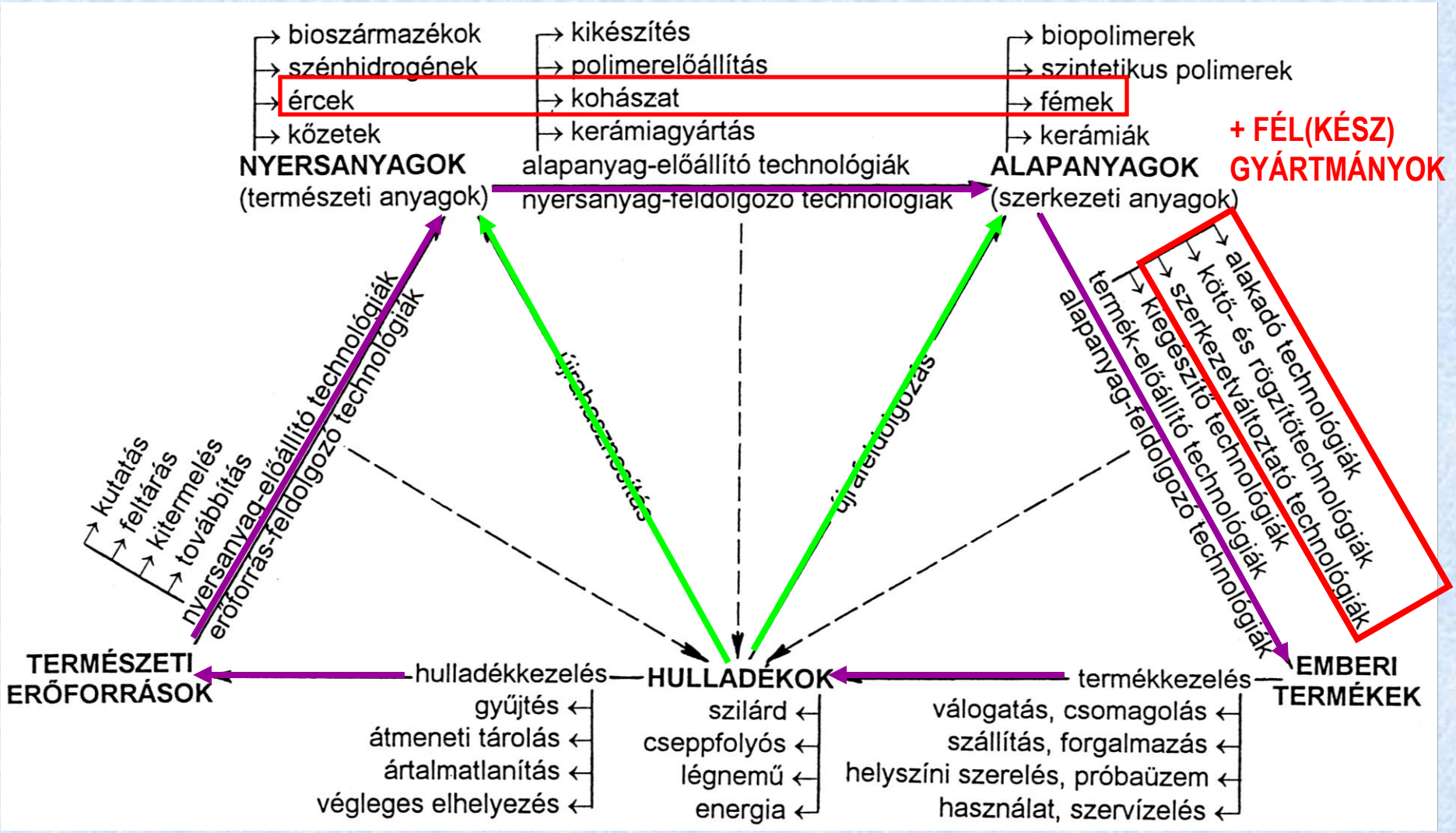
A nagy karbontartalmú nyersvas és a belőle készült öntöttvas-termékek ridegsége tette szükségessé **jó szilárdsági és szívóssági tulajdonságokkal bíró "tömegacél" előállításá**nak megoldását. Ehhez hatékony **karbontartalom-csökkentés**i módszerek ill. eszközök kifejlesztésére volt szükség.

Henry **Bessemer** billenthető, tűzálló anyaggal bélelt, alulról nagynyomású levegő befúvását lehetővé tevő **konvertere** (1856), ami a karbonon kívül az acél egyéb szennyező-tartalmát is csökkentette.

A **Siemens–Martin-acélgyártás**i eljárást Pierre-Émile Martin francia mérnök szabadalmaztatta 1864-ben, felhasználva a Carl Wilhelm Siemens által szabadalmaztatott **váltakozó lángjárású regeneratív tüzelési rendszer**t.

Kiinduló anyagként folyékony nyersvasat és ócskavasat is felhasználhattak, így a **kemence betétje** ennek megfelelően **lehetett csak folyékony, csak szilárd, vagy a kettő együttesen**.

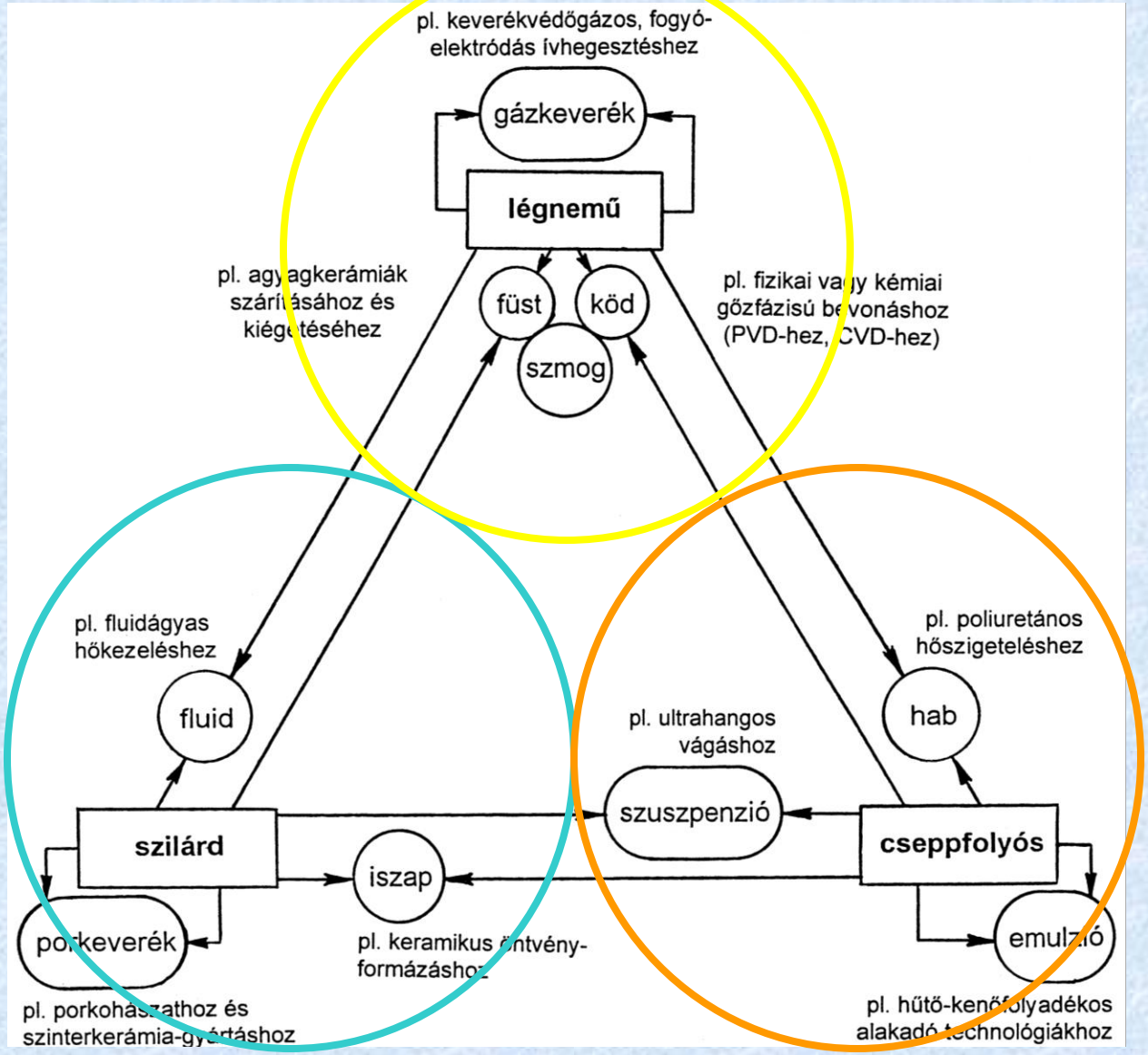
Szerkezeti anyagok technológiai körfolyama (állapotai), „életciklusa”



Technológiai segédanyagok

- A **kenőanyagok** a gyártóberendezések tervezett karbantartásai közötti időszakokban a **zavartalan üzemeltetés**t, a **gyártóeszközök** (**szerszámok**) **élettartamának növelésé**t segítik. De nem csak a **súrlódást csökkentik**, hanem alkalmazásuk helyén bizonyos fokú **korrózióvédelmet** és hűtőhatást (súrlódási hő elvezetésével) **is biztosítanak**.
- A technológiai **hűtőközegek** szerepe a **megmunkáló szerszámok védelme** és ezáltal **élettartamuk növelése**, a **megmunkálandó anyagok nemkívánatos szerkezet-változásainak megakadályozása vagy** éppen ellenkezőleg: **anyagszerkezet-módosulásuk elősegítése**.
- Technológiai szempontból **védőközeg**nek azt a légnemű, cseppfolyós vagy szilárd anyagot tekinthetjük, amely csak a **megmunkálás során**, a **munkadarab felületvédelme** érdekében fejti ki hatását.

Technológiai keverékállapotok



fázisaik részecske-nagyság vagy sűrűség-különbség szerint, általában **fizikai módszerekkel** (pl. szitálással, szűréssel, ülepítéssel, centrifugálással, flotációval /felszínre úsztatással/, kondenzációval, elektromos feltöltés utáni leválasztással) egymástól **elkülöníthetők**

MŰANYAGOK

PETROKÉMIA

↓

kőolajfeldolgozás:
atmoszférikus desztilláció, vákuum-desztilláció, reformálás, katalitikus krakkolás, termikus krakkolás, pirolízis;

↓

monomer vagy komponens előállítás:
vegyipari eljárások, kémiai reakciók;

↓

polimer előállítás:
polimerizáció, polikondenzáció, poliaddíció;

vulkanizálás, kikeményítés (térhálósítás)

MŰANYAGFELDOLG.

↓

adalékanyagok alkalmazása;

hőre lágyuló műanyagok:
extrudálás (cső, szál, idom), extruder-préslégformázás (flakon, palack), fóliafújás, fröccsöntés (alakos termékek);

↓

habosítás (táblák, tömbök, formaelemek);

gumirugalmas műanyagok:
kalanderezés (lemez, szalag);

hőre keményedő műanyagok:
préssajtolás, fröccssajtolás; kompozitgyártás; alakadás; kötés

FÉMEK

FÉMKOHÁSZAT

↓

ércfeldolgozás:
ércelőkészítés, nyersfém kinyerés, nyersfém finomítás, ötvözés, ötvözet leöntés, átolvasztás;

↓

kohászati melegalakítás:
idom-, lemez- és szalaghengerlés; szabadalakító és süllyesztékes kovácsolás; varratnélküli csőgyártás;

↓

kohászati hidegalakítás:
lemez-, szalag- és fóliahengerlés; rúd-, huzal- és csőhúzás; nyitott szelvényű profilok gyártása; varratos cső- és zártszelvény-gyártás

FÉMMEGMUNKÁLÁS

↓

alakadó technológiák:
öntés, szinterelés, alakítás, forgácsolás, vágás;

↓

kötő- és rögzítő-technológiák:
hegesztés, forrasztás, ragasztás, mechanikus kötés;

↓

anyagszerkezet-változtató technológiák:
habosítás, cellásítás; kompozitanyag-előállítás (adalékanyag-gyártás, adalékanyag-társítás); hőkezelés, felületkezelés

KERÁMIÁK

KERÁMIAGYÁRTÁS

↓

kristályos oxidkerámiák:
agyagelőkészítés, formázás (tégla, cserép, csempe, kőagyag, fajansz, porcelán, tűzálló anyag), szárítás, égetés, mázzal bevonás, mázas égetés;

kristályos hidrátok:
portlandcement-gyártás, betonkészítés;

gipszégetés, mészégetés, habarcskészítés;

nemoxid kerámiák:
csiszolószemcsék és szerszámok előállítása; félvezető anyagok és alkatrészek gyártása

ÜVEGGYÁRTÁS

↓

üvegképzők + folyósítók + stabilizátorok + üveghulladékok keverékéből olvadékképzés;

↓

síküveggyártás:
húzás, hengerlés, vágás, hőkezelés;

↓

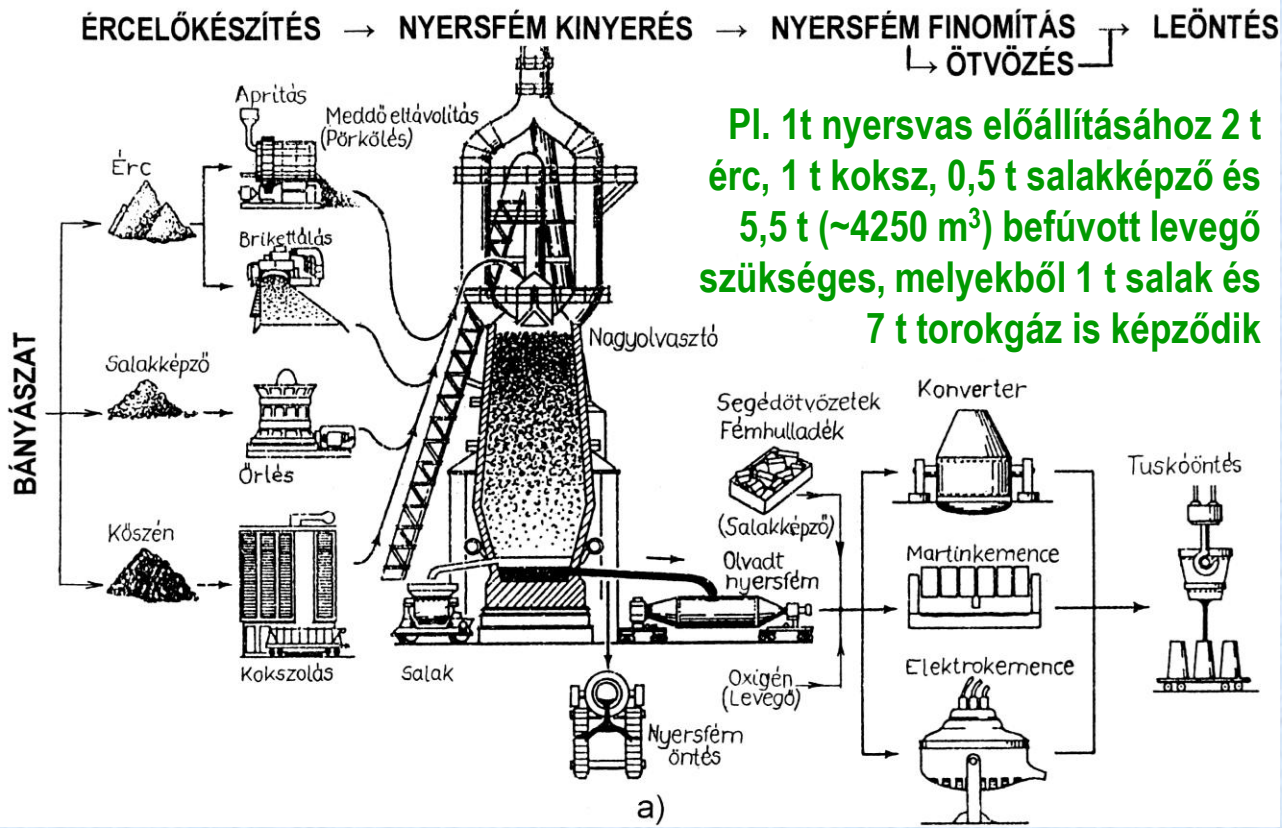
üvegszerkezetek készítése

optikai szálak, üvegszálak előállítása; filcesítés; kompozitgyártás;

öblösüveggyártás:
csőhúzás, sajtolás (pohár, edény), centrifugál öntés, üvegfúvás (palack, tartály); kötés, hőkezelés

FÉMKOHÁSZAT

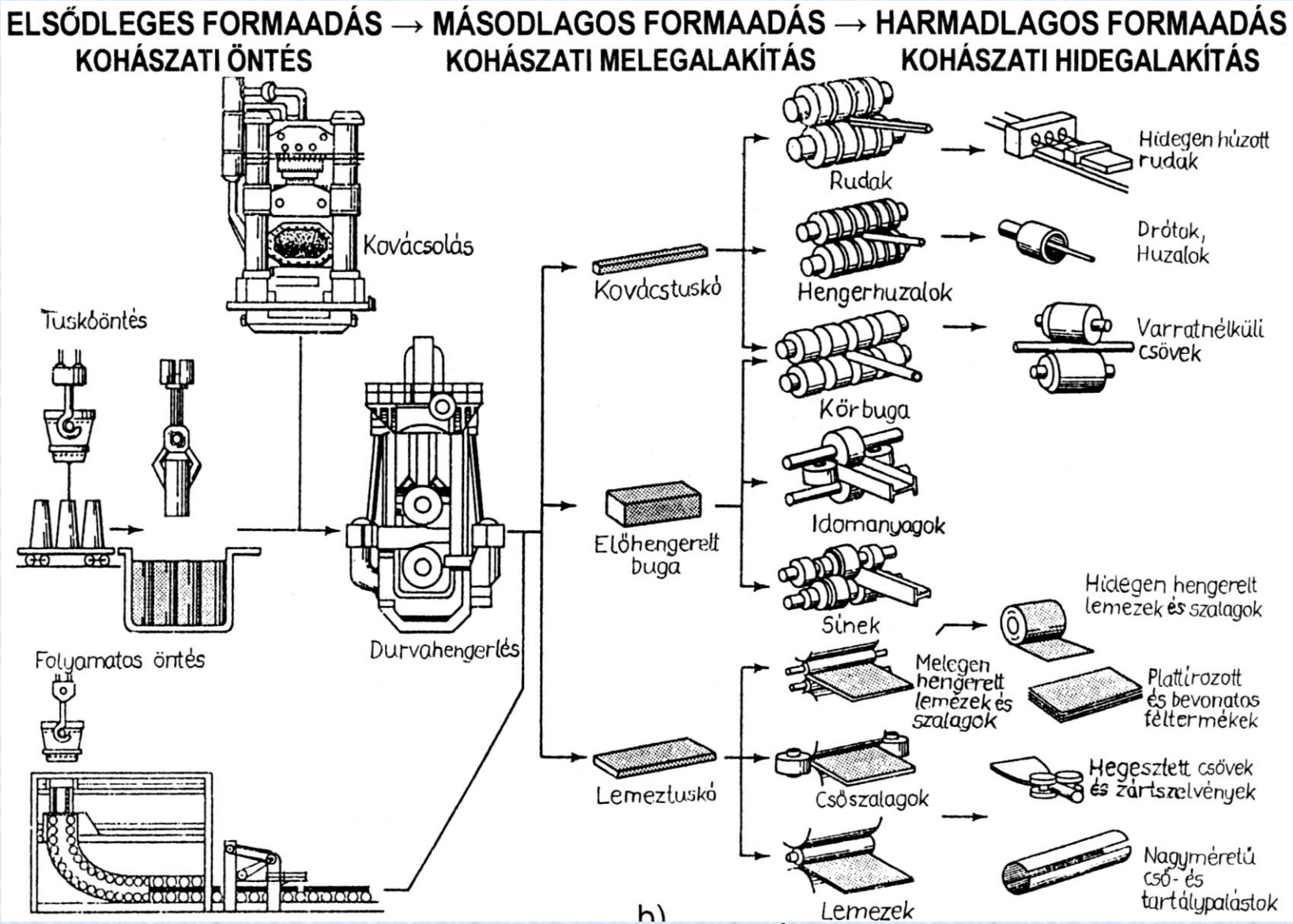
- **Ércelőkészítés**:
  - **aprítás**;
  - **elválasztás** a **meddőtől**;
  - **pörkölés**.
- **Nyersfém kinyerés**:
  - **pirometallurgiai** eljárásokkal;
  - **hidrometallurgiai** eljárásokkal;
  - **elektrometallurgiai** eljárásokkal.
- **Nyersfém finomítás**, a **szennyező elemek eltávolítása** vagy csökkentése:
  - **pirometallurgiai** eljárásokkal,
  - **elektrolízis**sel.
- **Ötvözés**, vagyis **ötvözetek létrehozása**, melynek során az ötvözőket **segédötvözetek formájában juttatják a fémbe**. Az ötvözés olvadék állapotban történik, mértékének **határa a korlátozott oldékonyság**.



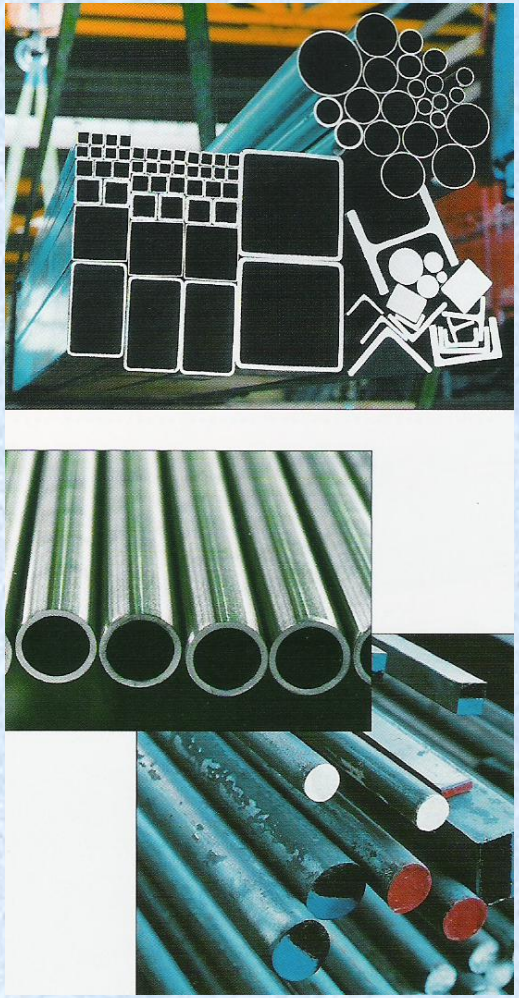
Pl. 1t nyersvas előállításához 2 t érc, 1 t koksz, 0,5 t salakképző és 5,5 t (~4250 m^3) befúvott levegő szükséges, melyekből 1 t salak és 7 t torokgáz is képződik

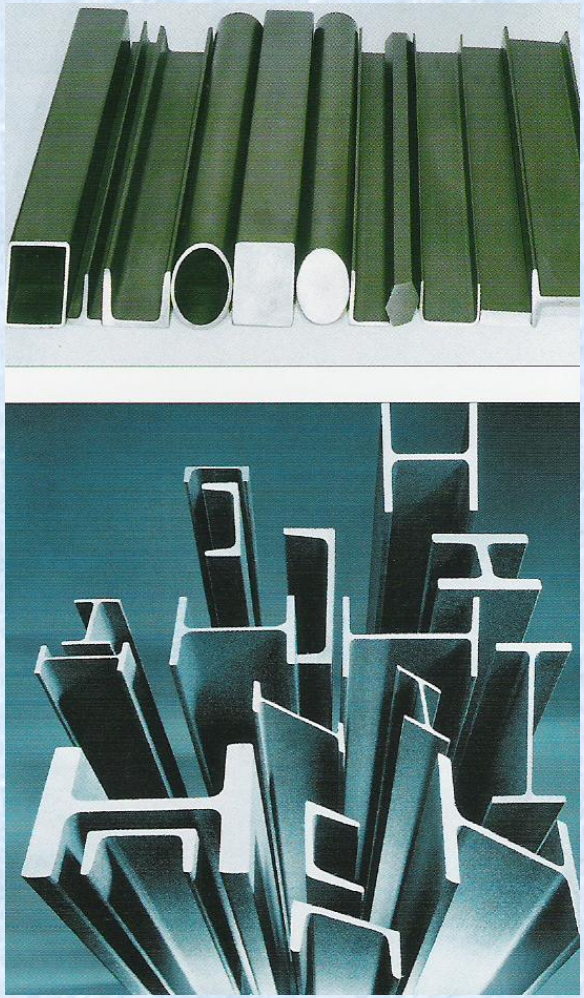
- **Leöntés**:
  - **szakaszos öntéssel, tuskókká**,
  - **folyamatos öntéssel, rudakká**.
- **Átolvasztás**, azaz már leöntött rudak, tuskók újraolvasztása és -dermesztése **tisztítás** (**szennyező-tartalom csökkentés**), **szemcsefinomítás** céljából.

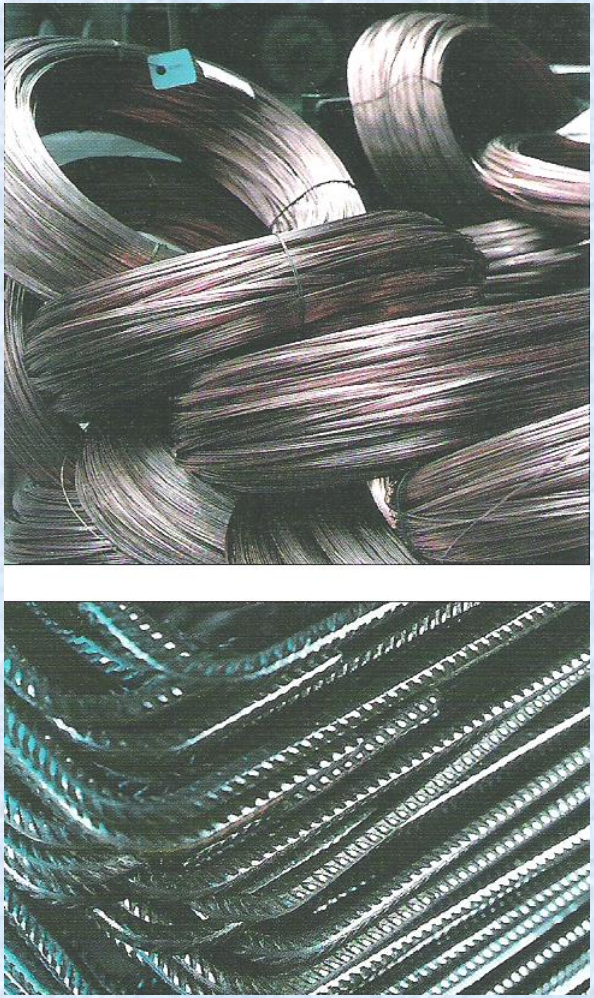
Kohászati formaadó technológiák



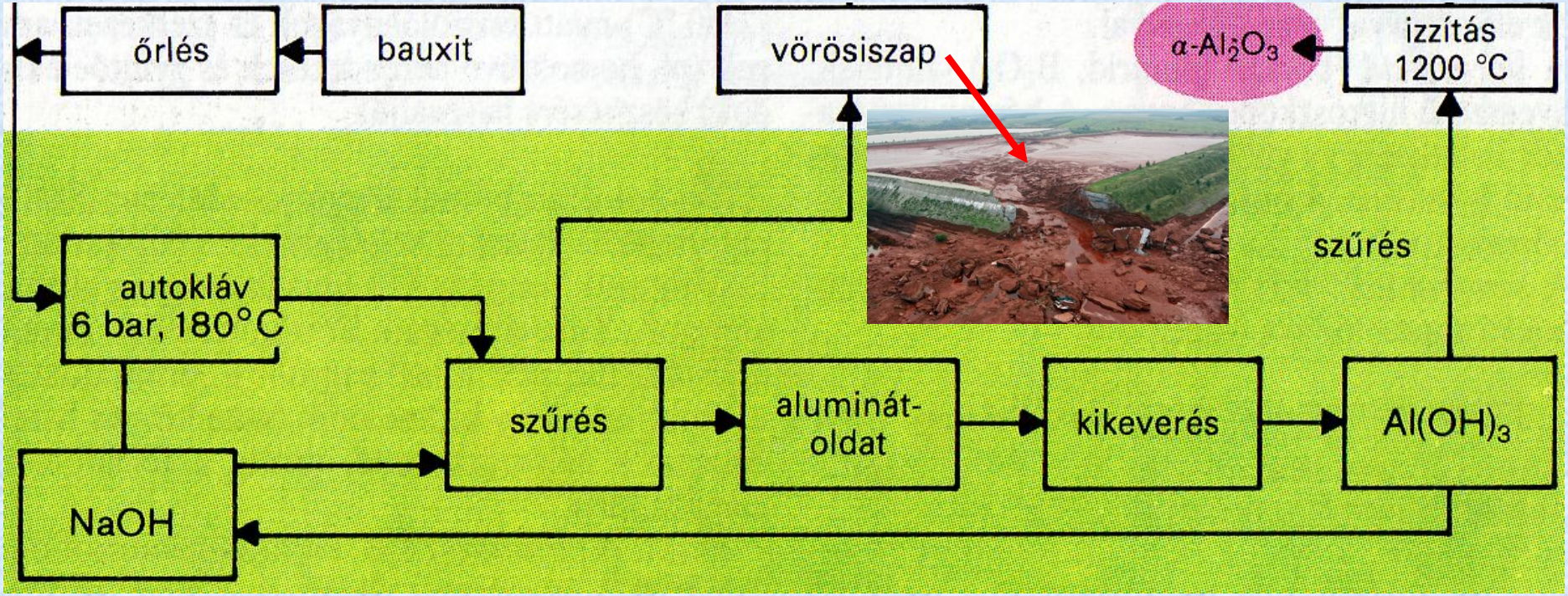
Félkész gyártmányok







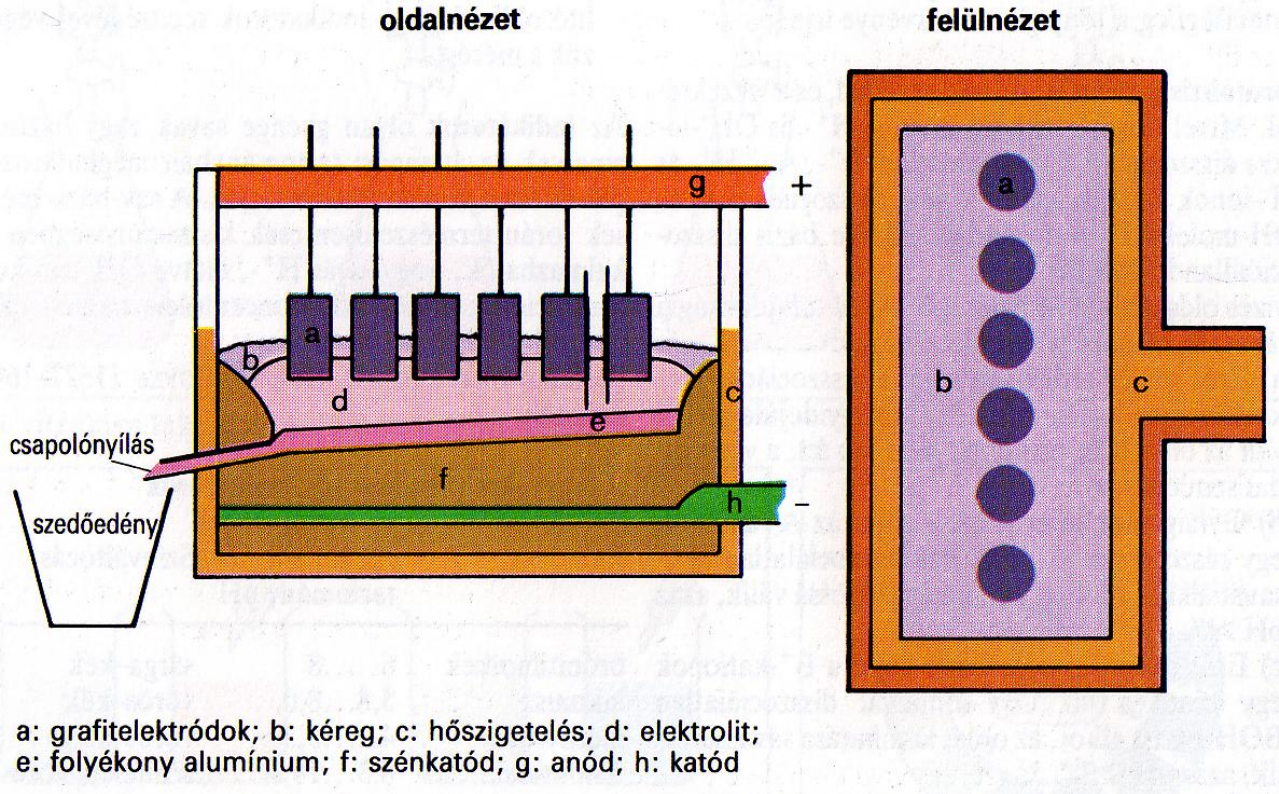
Példa: Alumíniumkohászat - timföldgyártás



- Az **előkészített bauxit**ot nátronlúg (NaOH) vizes oldatához adagolják, azaz **nedves feltárás**t végeznek.
- A meleg (180…230 °C-os) nátronlúgos oldatban **nátriumaluminát** [$NaAl(OH)_4$] **keletkezik**.
- Lehűlése során kristályos szilárd **alumíniumhidroxid** [$Al(OH)_3$] **válik ki**.
- A szilárd és a cseppfolyós fázist vákuumszűréssel szétválasztják, az Al-hidroxidot 1200…1300 °C-on **kalcinálják** (kiizzítják), ekkor keletkezik a szilárd, finom, porszerű **timföld (Al_2O_3)**;

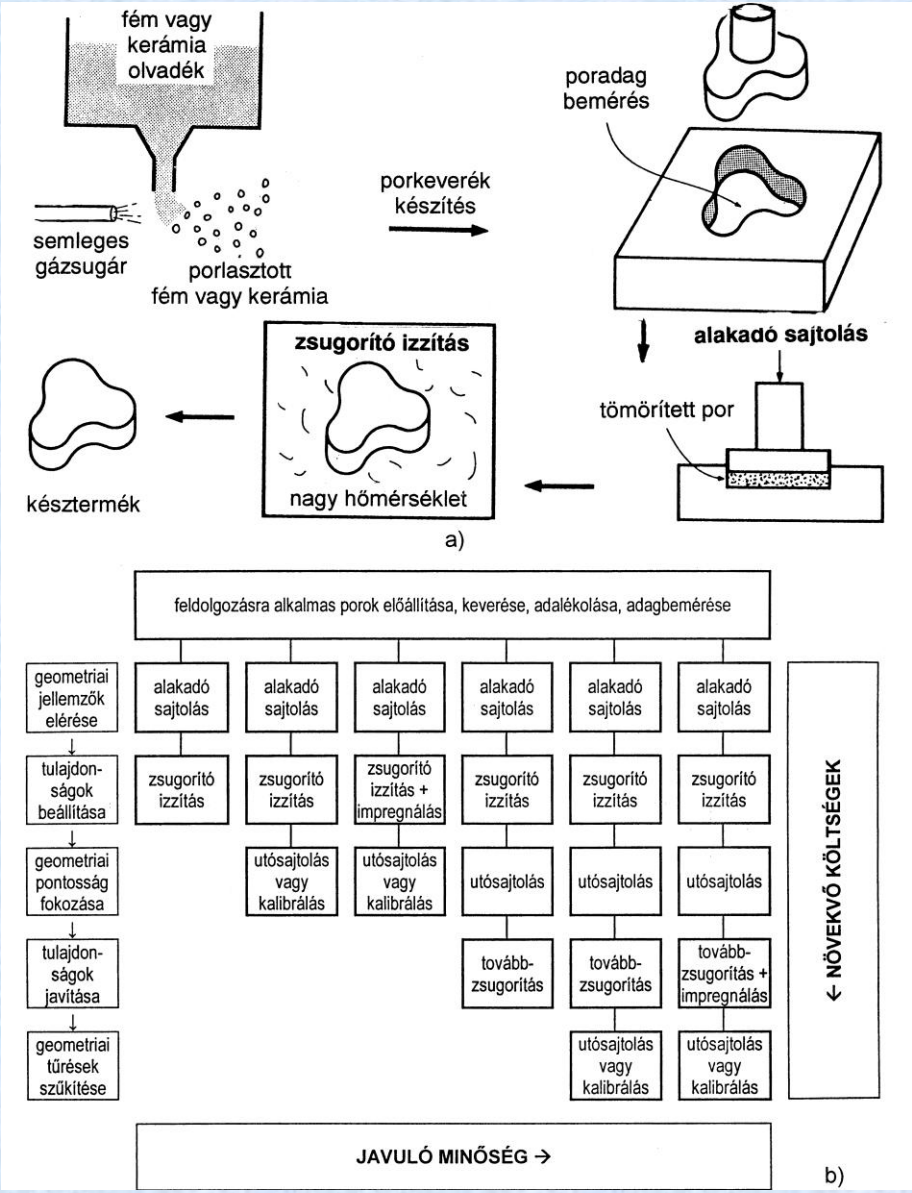
Példa: Alumíniumkohászat - olvadékelektrolízis

Mivel a timföld olvadáspontja nagy (2040 °C), ezért nem olvadékát, hanem **olvadt kriolittal** (Na_3AlF_6) képezett elegyét vetik **elektrometallurgiai eljárás** alá;
A disszociált állapotú olvadt kriolitot és a benne oldott timföldet tartalmazó elektroliton átvezetett egyenáram (U = 4...7 V, I = 50...250 kA) hatására a **katódbélésen alumínium olvadék válik ki**. Az **anódon az oxigén reakcióba lép a grafittal**, szén-monoxiddá ill. szén-dioxiddá **elégetve azt**;
1 tonna alumínium előállításához 4 t bauxit, ill. abból keletkezően 2 t timföld és 15000...16000 kWh elektromos energia szükséges.



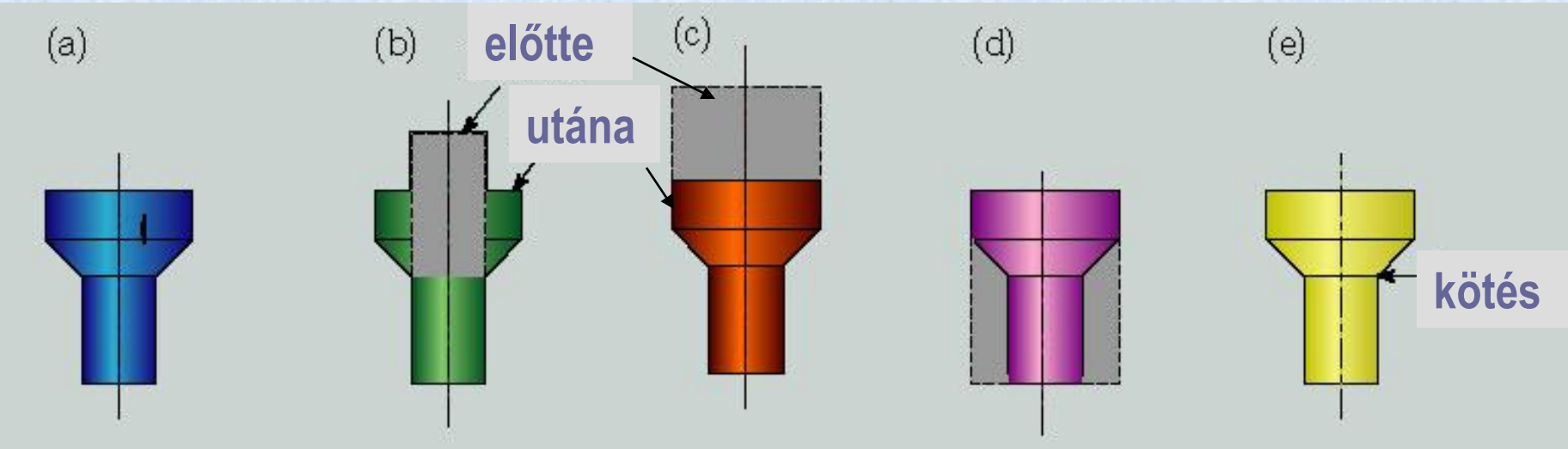
Porkohászat

A porkohászat, mint **szintereléses technológia** a viszonylag kisméretű fél(kész) gyártmányok (rúd, tömb, lemez, szalag) és késztermékek gyártására alkalmas eljárások gyűjtőneve, melyek jellemzője a **porkeverék alakos formára sajtolását követő** (esetenként azzal egyidejű), **növelt hőmérsékleten megvalósuló zsugorítás**.
Nagy jelentősége abban rejlik, hogy általa **más technológiával nem biztosítható** összetételű, porozitású **álötvözetek (mechanikus ötvözés), szemcsés kompozitok** nyílik lehetőség, és ez viszonylag kis fajlagos energia-felhasználással érhető el.
A **szinterelt termékek legfontosabb** - további tulajdonságokat is meghatározó - **jellemzője** a **sűrűség** és az azzal összefüggő **pórustérfogat**. A tulajdonságok javítása és a geometriai pontosság fokozása érdekében további műveleteket is alkalmaznak.



ANYAG-TECHNO-LÓGIÁK	ALAKADÓ TECHNOLÓGIÁK	KÖTŐ TECHNOLÓGIÁK	SZERKEZET-VÁLTOZATÓ TECHNOLÓGIÁK
FORGÁCSNÉLKÜLI (NEM FORGÁCSOLÓ) TECHNOLÓGIÁK	ÖNTÉS: - elvesző formába - tartós formába	HEGESZTÉS: - sajtoló - ömlesztő	HŐKEZELÉS: - egyensúlytól eltérítő - egyensúlyra irányuló
	SZINTERELÉS: - porkohászat - porkeramizálás	FORRASZTÁS: - lágy - kemény	FELÜLETKEZELÉS: - anyagfelvitel nélküli - anyagfelvitellel járó
	ALAKÍTÁS: - térfogatalakítás - lemezalakítás	RAGASZTÁS: - hideg - meleg	CELLÁSÍTÁS: - habosítás - filcesítés
	VÁGÁS: - alakító vágás - termikus vágás - eróziós vágás	MECHANIKUS KÖTÉS: - kötőelem nélküli - kötőelemes	KOMPOZITKÉSZÍTÉS: - szemcseadalékolás - szálerősítés - laminálás
FORGÁCSOLÓ TECHNO-LÓGIÁK	- forgácsoló vágás		
	FORGÁCSOLÁS: - szabályos szerszámélekkel - szabálytalan szerszámélekkel		

Példa: egy egyszerű alkatrész lehetséges gyártástechnológiái



(a) Öntés vagy szinterelés (porkohászat),

(b) Alakítás kovácsolással vagy zömítéssel,

(c) Alakítás előrefolyatással,

(d) Forgácsolás (jelentős anyagveszteséggel!),

(e) Kötőtechnológia (hegesztés) két darabból kiindulva

Anyagtechnológiák „fő- és mellékhatásai”

Az alakadó anyagtechnológiák a megmunkált munkadarab geometriája (alak, méretek, felületminőség) mellett kisebb-nagyobb mértékben az anyagszerkezetet, és azáltal az anyagtulajdonságokat is befolyásolják, így kiválasztásuk, alkalmazásuk során erre is tekintettel kell lenni.

Fémkristályosodás jellegzetességei ⇒ a dermedési sebesség hatása:

a) A túlhűtött olvadékban sok helyen keletkeznek kristályrácselemek, a fém **polikristályos** lesz.

b) Leggyakrabban az olvadékot valamilyen **hűtött formába** öntik.

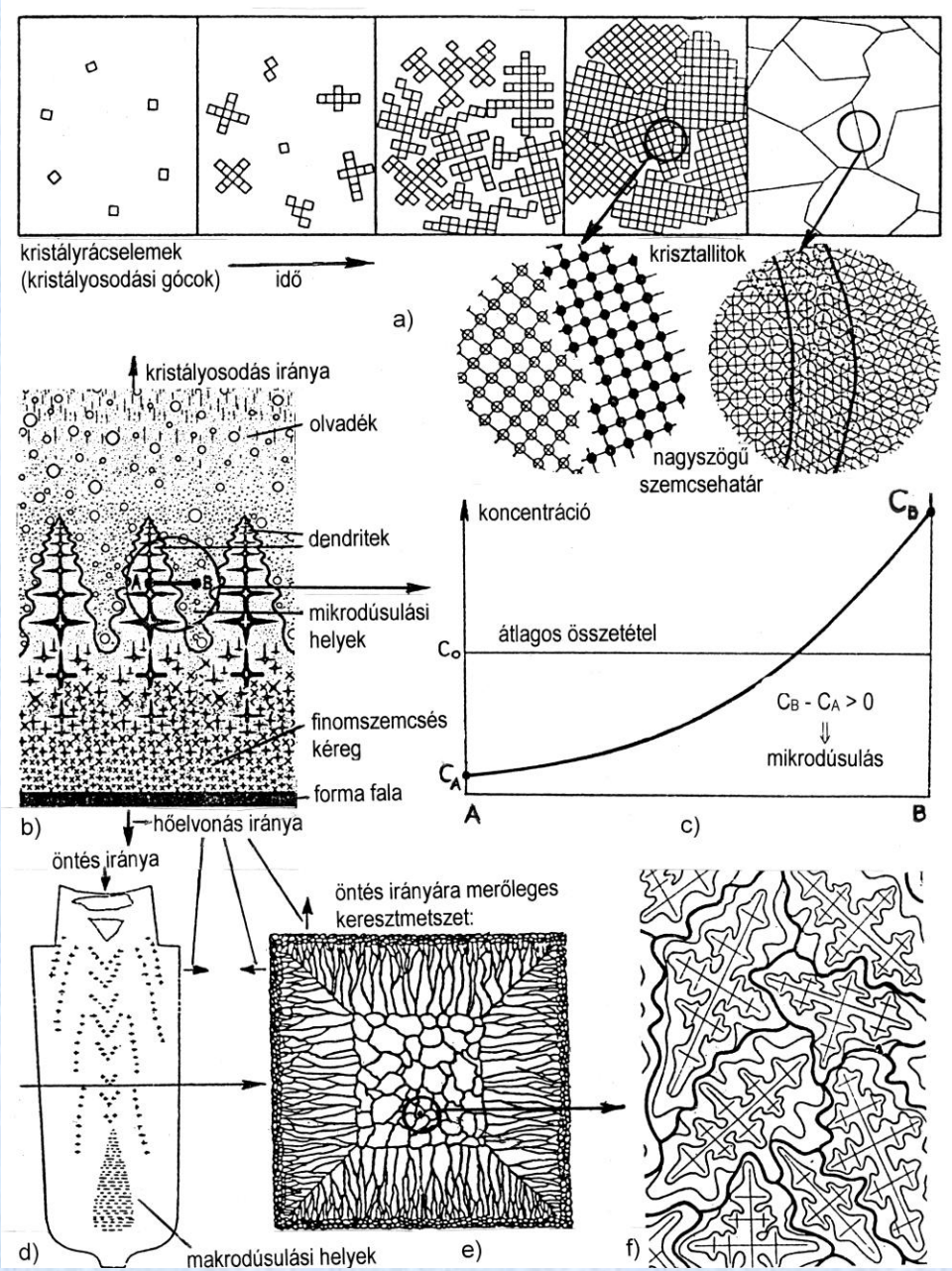
- kívül **finom szemcseméret** alakul ki;
- beljebb **oszlopos kristályok** jönnek létre;
- legbelül **dendrites szerkezet** képződik.

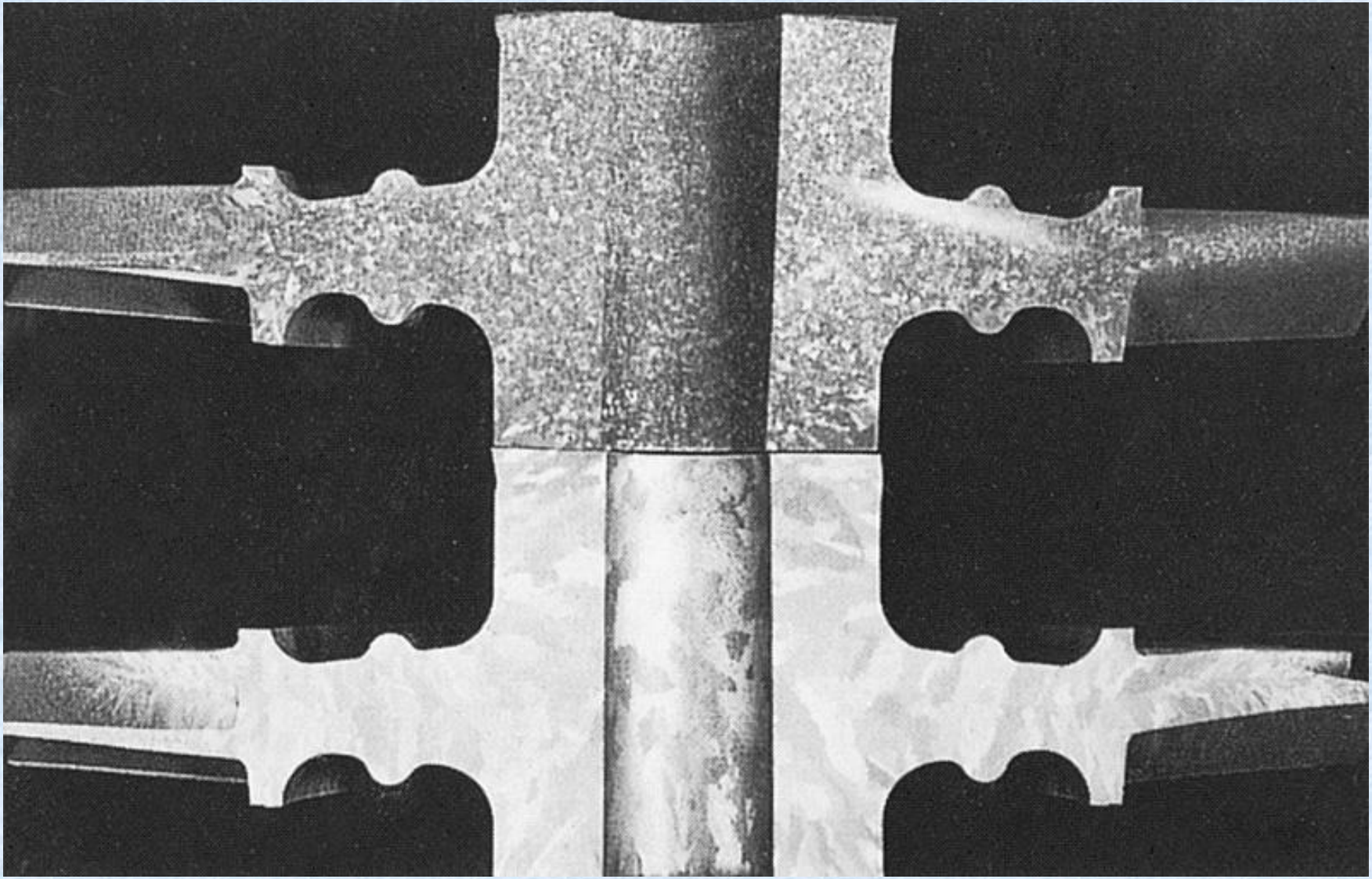
c) Az ötvözőket és/vagy szennyezőket tartalmazó olvadék kristályosodásakor a koncentráció-különbség miatt **mikrodúsulás** lép fel.

d-f) A kristályosodás során visszamaradó olvadék az oldott szennyezőkben és ötvözőkben egyre dúsul, s az anyag utoljára dermedő részén (anizotrópiát okozó) **makro**(szkopikus) **dúsulás** is fellép.

Nagyon kicsi hőmérséklet-gradiens esetén nagyméretű **egykristály**ok növeszthetők;

Nagyon nagy hőmérséklet-gradiens esetén szilárd **fémüveg** állítható elő.



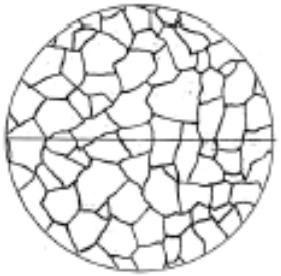


Precíziós öntéssel és hagyományos módszerrel öntött forgórész

Szemcseméret jelentősége

Az anyagok **tulajdonság**ai - főként fémek és kerámiák esetében - **szemcseméret-függő**k. Általában finomszemcsés anyagszerkezetre törekszünk, mert az a mechanikai tulajdonságokra - köztük az R szilárdságra - kedvező hatással van.

Mekkora az átlagos szemcsenagyság a jelölt mérővonalra vonatkoztatva, ha az alábbi 100-szoros nagyítású mikroszkópi kép 5 cm átmérőjű? Ekviaxiális (gömbszerű, azaz síkmetszetben körként számításba vehető) szemcséket feltételezve, hány szemcse található ezen anyagmetszet 1 mm²-én és ez megközelítően milyen szemcsenagyság-fokozatszámnak felel meg?



mérővonal tényleges hossza:

$$L_0 = \frac{5cm}{100x} = \frac{50mm}{100} = 0{,}5mm$$

mérővonalra eső szemcsék száma:
N = 10

Az átlagos szemcseméretet ($\bar{d}$) legegyszerűbben úgy határozhatjuk meg, hogy az L_0 hosszúságú egyenes vonal által "metszett" szemcsék számával (N) képezzük az alábbi hányadost:

$$\bar{d} = \frac{L_0}{N} = \frac{0{,}5mm}{10} = 0{,}05mm$$

$$R = R_0 + \Delta R = R_0 + \frac{k}{\sqrt{\bar{d}}} \approx 0{,}001 \cdot G$$

R_0 és k anyagállandó, G a csúsztató rugalmassági modulus

Ez alapján az átlagos szemcseterület:

$$A_{sz} = \frac{\bar{d}^2 \cdot \pi}{4} = \frac{0{,}0025 \cdot \pi}{4} = 0{,}00196mm^2 = 1{,}96 \cdot 10^{-3} mm^2$$

A = 1 mm²-en található szemcsék száma:

$$N_A = \frac{1}{A_{sz}} = \frac{1}{0{,}00196} = 510{,}2 \approx 512 = 2^9 = 2^{m+3}$$

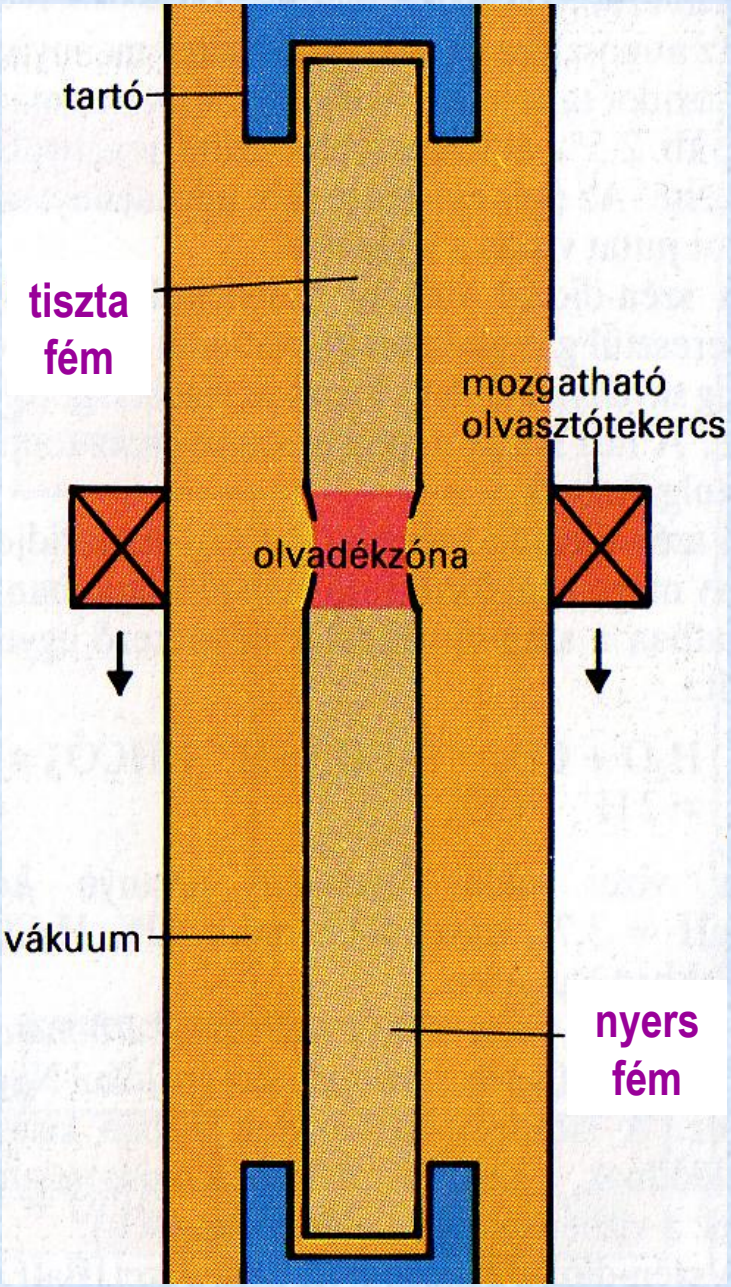
A keresett fokozatszám az m+3 = 9 egyenlet alapján: m = 6

Különlegesen nagy (pl. 99,9999 %-os) tisztaságú fémek előállítása

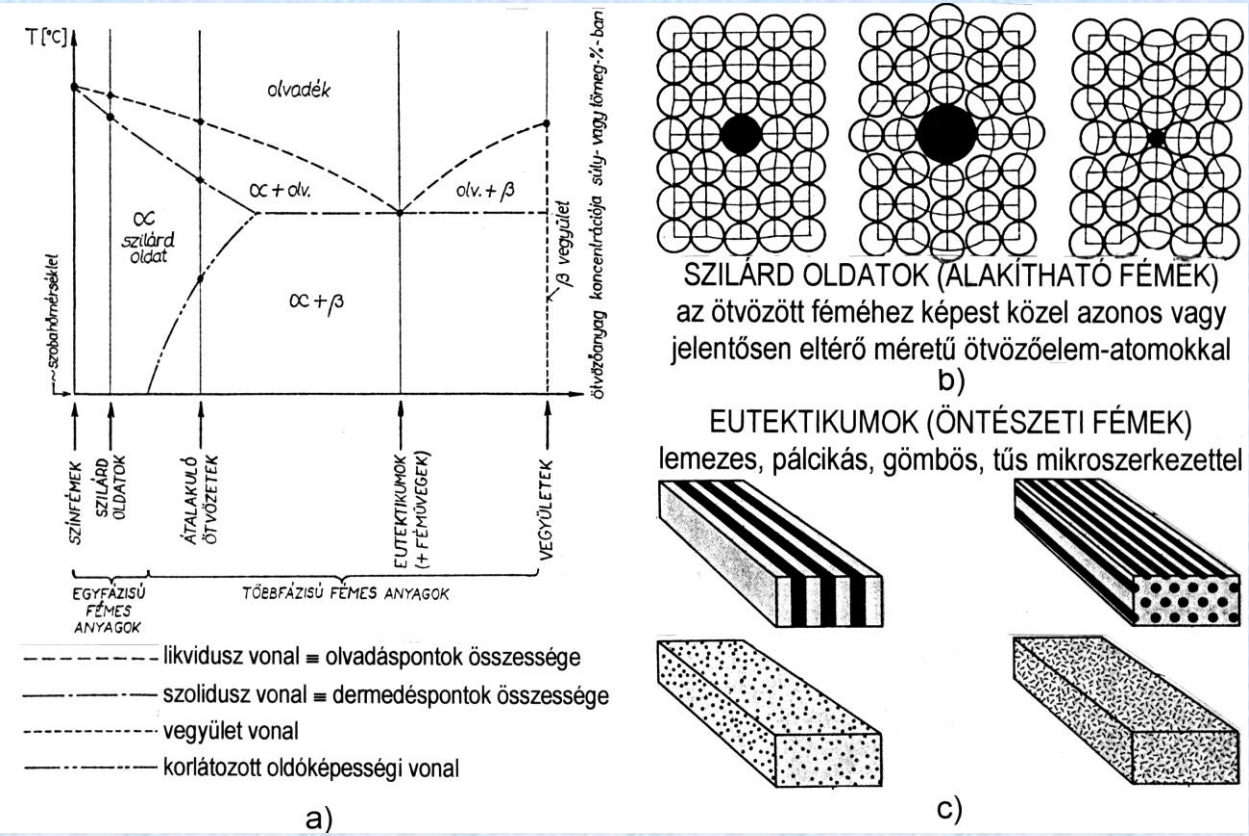
A **zónás átolvasztás** azon alapul, hogy a **szennyező elemek jobban oldódnak az olvadék(zóná)ban, mint a szilárd anyagban**.

A tisztítandó anyagból készült rudat egy keskeny sávban megolvasztják, majd ezt az **olvadt zónát** a ”fűtőtest” (pl. nagyfrekvenciás induktor) mozgatásával lassan **"végigvezetik" a rúd** teljes **hossza mentén**. Az **olvadékzóna haladási irányában a szennyezőelem-tartalom egyre nő**. Az oldott kísérőelemek a rúd végére "vezetett" olvadékban dúsulnak, majd dermedés után ezt a szennyezőkben dús részt a rúdról levágják.

Többször megismételve az eljárást, a kívánt tisztaság érhető el. A nagy hőmérsékletre hevült **olvadék védelmét** az újraszennyeződéstől **vákuum vagy semleges védőgáz biztosítja**.



Fémek és fémötvözetek ▼ állapotábrák (egyensúlyi diagramok)



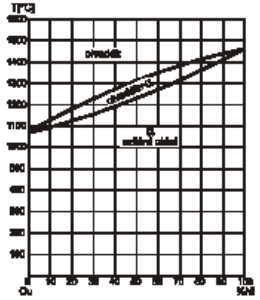
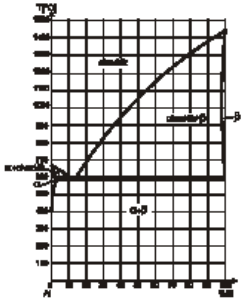
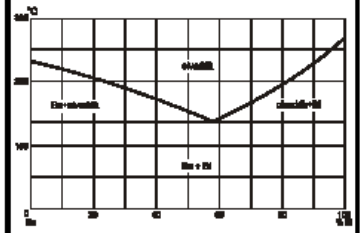
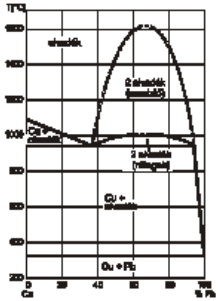
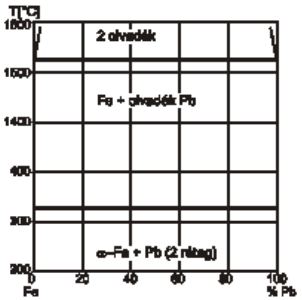
a) Az állapotábrák (egyensúlyi diagramok) két- vagy többalkotós ötvözetekre - az ötvöző-koncentráció és a hőmérséklet koordináta-rendszerében - szemléltetik a lehetséges egyensúlyi állapotokat és a jellegzetes tulajdonságokkal bíró anyagváltozatokat: egyfázisú színfémeket és szilárd oldatokat, többfázisú átalakuló ötvözeteket és eutektikumokat.

b) Ha egy fémben a hozzáadott ötvöző oldódik anélkül, hogy új fázis keletkezne, intersztíciós vagy szubsztitúciós szilárd oldatot kapunk.

c) Az eutektikumok egy állandó hőmérsékleten dermednek meg, miközben egyszerre két fázis kristályosodik, jellegzetes elrendeződésű szövetszerkezetet eredményezve.

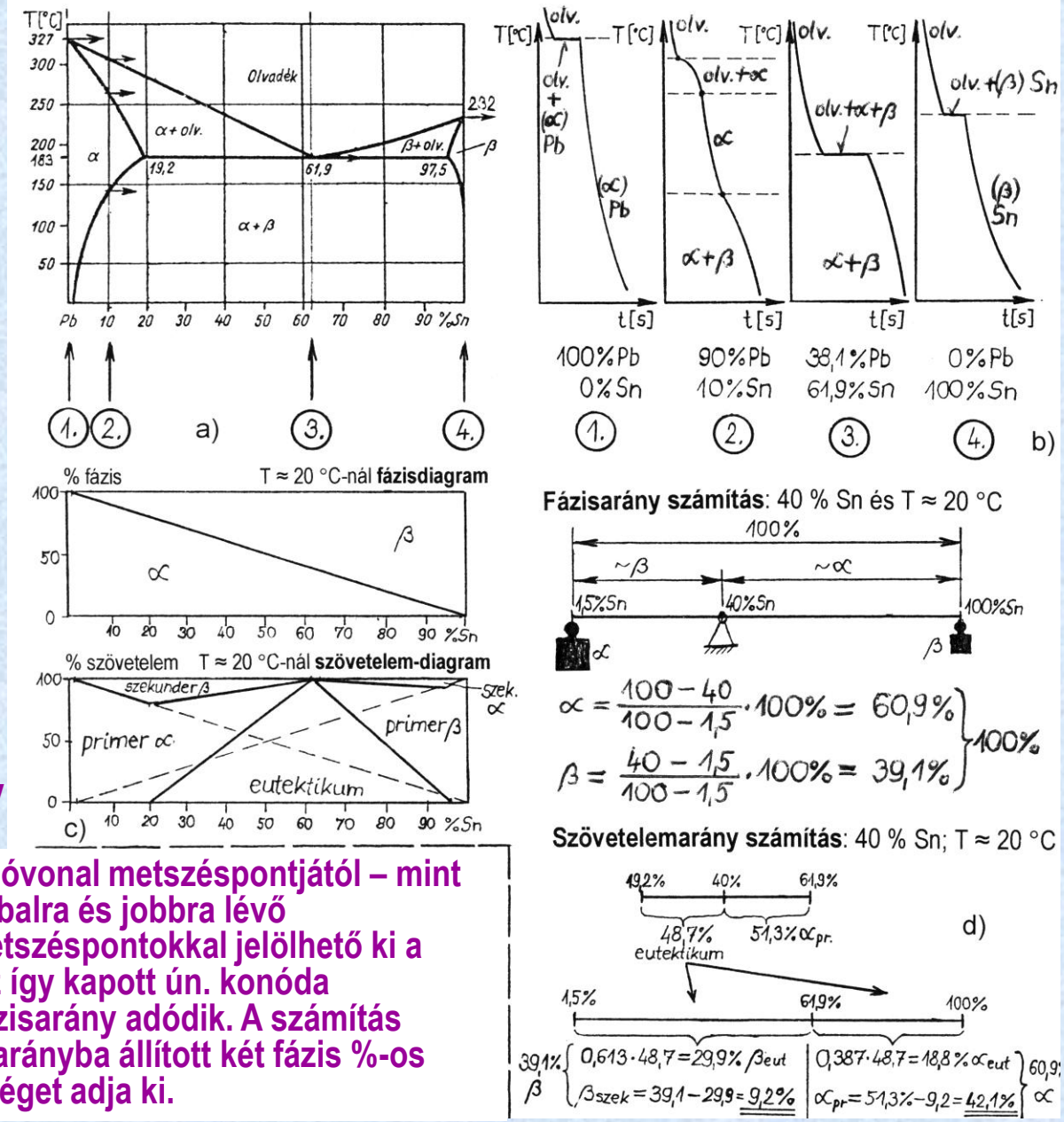
Állapotábra példák

Az ilyen – első kidolgozójukról, **Tammann** Gusztávról is elnevezett - kétalkotós (binér) állapot**ábrák**nak (egyensúlyi diagramoknak) az egyensúlyi állapotok ábrázolásán túlmutató információtartalmuk van.

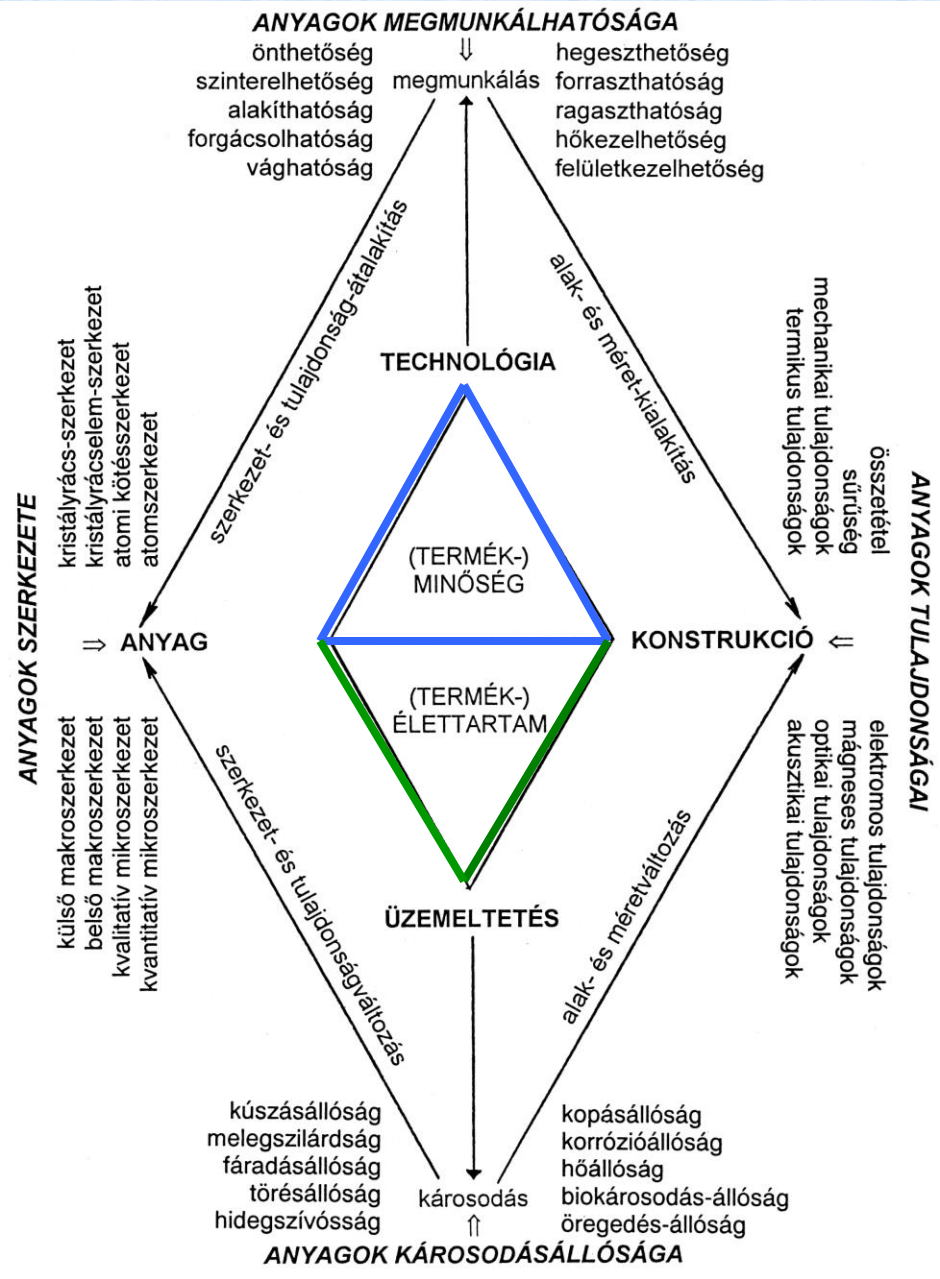
Az alkotók		olvadék állapotban		
		korlátlanul	korlátozottan oldják egymást	nem oldják egymást
szilárd állapotban	korlátlanul oldják egymást	 Cu-Ni (szilárd oldattal)	Valódi fémötvözetek előállítása nem lehetséges, ha az alkotók olvadék állapotban korlátozottan vagy egyáltalán nem oldják egymást.	
	korlátozottan oldják egymást	 Al-Si (eutektikummal)	Az alsó két példa is azt illusztrálja, hogy csak álötvözet vagy réteges elkülönülés lehet az eredménye a két fém ötvözési kísérletének ⇩	
	nem oldják egymást	 Sn-Bi (eutektikummal)	 Cu-Pb (monotektikummal)	 Fe-Pb

Állapotábrák információtartalma

a) egyensúlyi állapotok ábrázolása;
b) adott koncentrációknál a lehűlés menetének ábrázolására és az egyes görbeszakaszokhoz tartozó fázisok meghatározására, a Gibbs-féle fázisszabály: F + Sz = K + 1 szerint; ahol F a fázisok száma; Sz azon állapothatározók (hőmérséklet, koncentráció) száma, amelyek megváltoztatása nem jár állapotváltozással (dermedés, kiválás); K az ötvözetet alkotó komponensek (elemek, vegyületek) száma.
c) adott hőmérsékleten a teljes koncentráció-intervallumra vonatkozó fázis- és szövetelem diagramok szerkesztésére, melyekből a %-os részarányok egyszerűen kiolvashatók;
d) adott koncentrációnál és adott hőmérsékletnél fázis- és szövetelem-arány számítására, az ún. mérleg- vagy emelőszabály alkalmazásával.

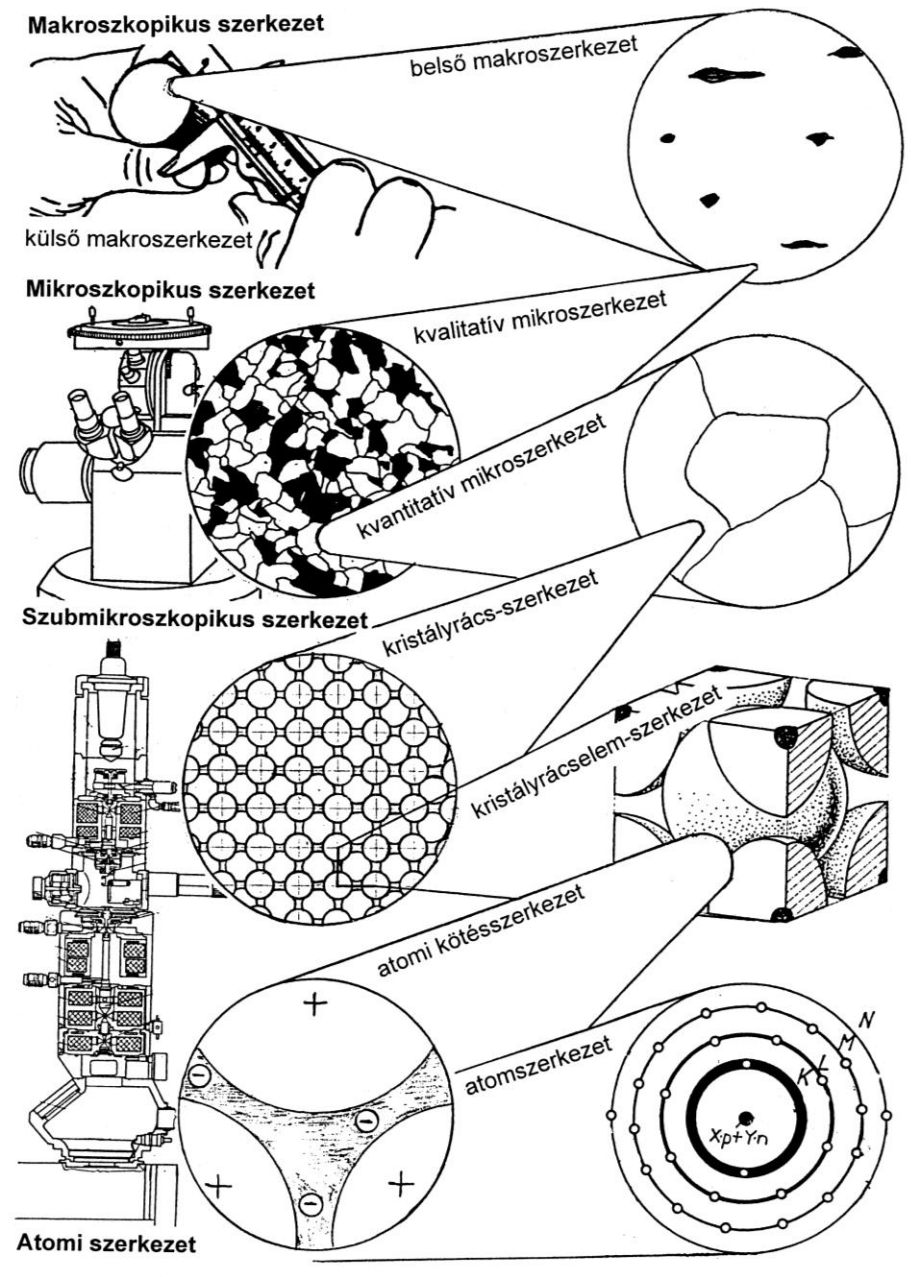


Ehhez a hőmérséklet- és a koncentrációvonal metszéspontjától – mint „mérleg- vagy emelő-forgásponttól” – balra és jobbra lévő hőmérsékletvonal-állapotábravonal metszéspontokkal jelölhető ki a „mérleg- vagy emelőkarok hossza”. Az így kapott ún. konóda segítségével felírható kararányból a fázisarány adódik. A számítás elvégzéséhez hiányzó egyenletben az arányba állított két fázis %-os összege a teljes (100%) anyagmennyiséget adja ki.



Termékminőség- és élettartam-tényezők

- **anyagok szerkezete**,
- fizikai (konstrukciós tervezési) **tulajdonsága**i,
- **megmunkálhatósága** (technológiai tulajdonságai),
- **károsodásállósága** (üzemeltetési tulajdonságai)
- és a kapcsolódó **minősítési** (vizsgálati) eljárások



Szilárd anyagok szerkezeti szintjei

az egésztől a rész(let)ek felé haladva az anyagfelépítés különböző szintjei:

- makroszkopikus szerkezet:
  - külső makroszerkezet
  - belső makroszerkezet
- mikroszkopikus szerkezet:
  - kvalitatív mikroszerkezet
  - kvantitatív mikroszerkezet
- szubmikroszkopikus szerkezet:
  - kristályrács-szerkezet
  - kristályrácselem-szerkezet
- atomi szerkezet
  - atomi kötésszerkezet
  - atomszerkezet

Anyagszerkezet nagyságrendjei

műszaki gyakorlat szempontjából fontos mm-ben kifejezve:

3 m = 3000 mm

százszoros ⇧ ⇩ századrész

30 mm

százszoros ⇧ ⇩ századrész

0,3 mm

százszoros ⇧ ⇩ századrész

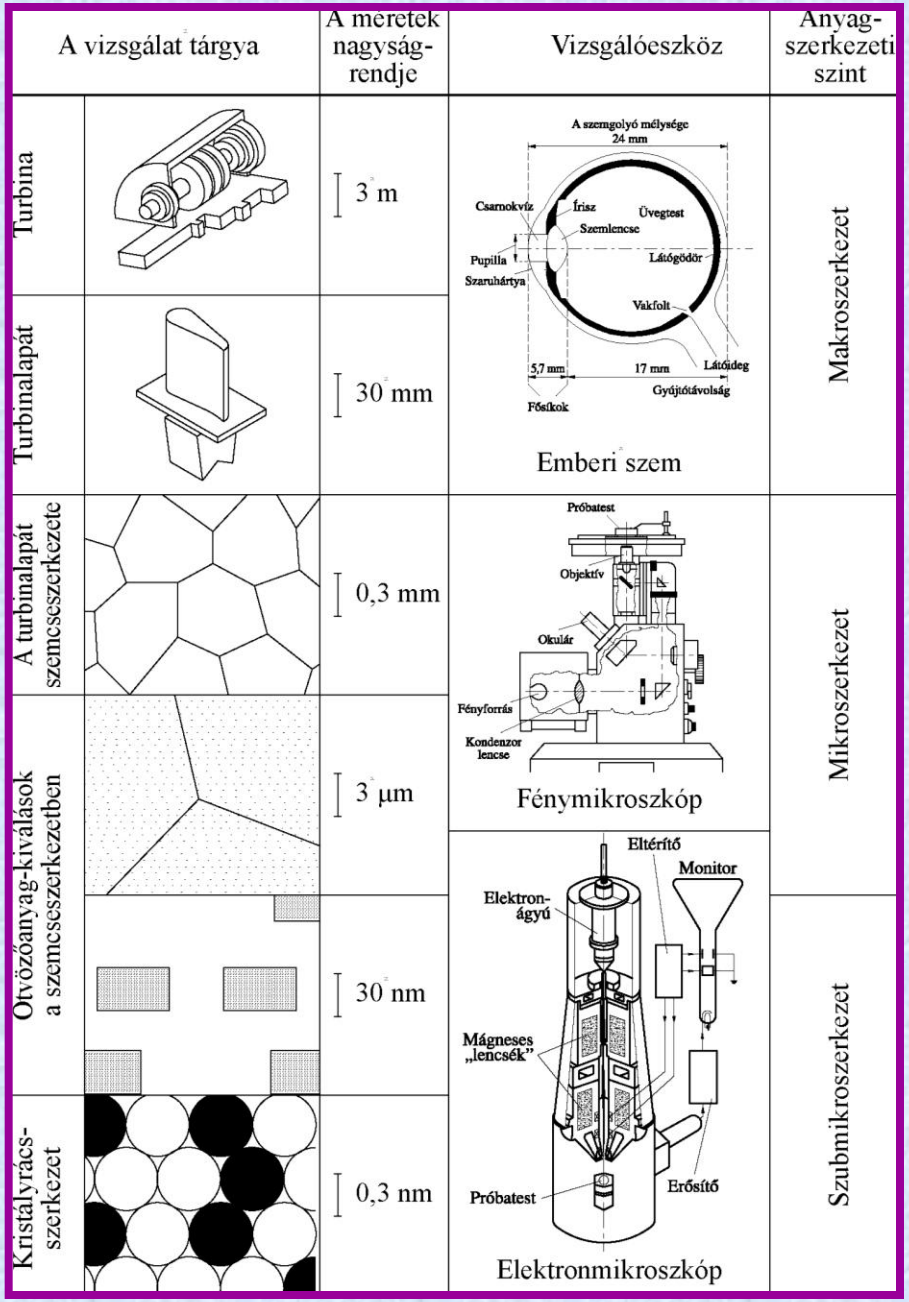
3 µm = 0,003 mm

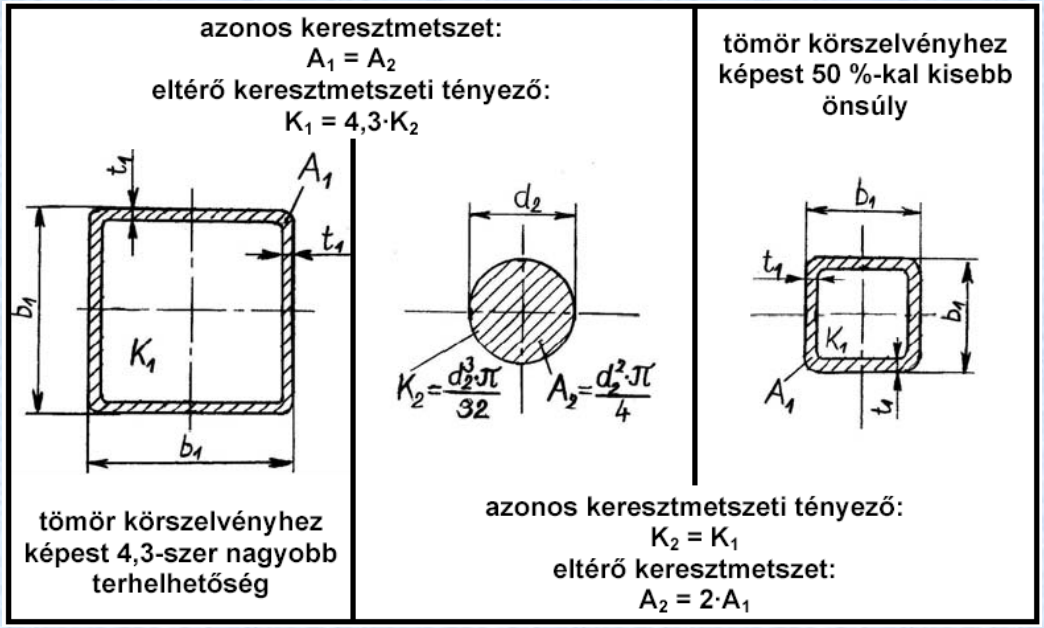
százszoros ⇧ ⇩ századrész

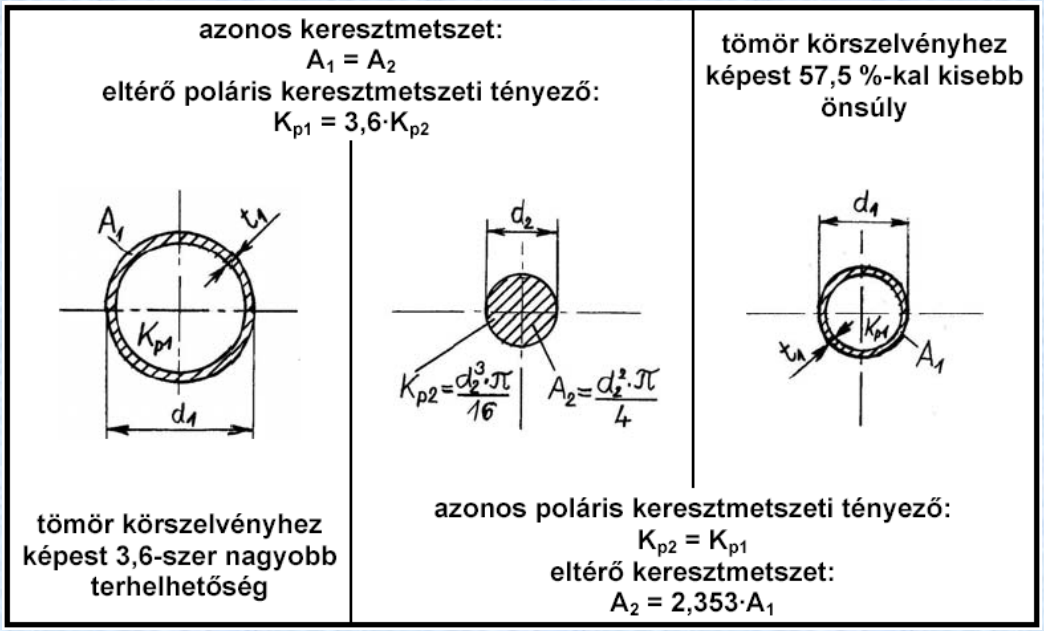
30 nm = 0,00003 mm

százszoros ⇧ ⇩ századrész

0,3 nm = 0,0000003 mm







Külső makroszerkezet

Gyártási geometria:

- **alak** (pl. rúd /kör-, négyszög, hatszög- stb. keresztmetszetű/, drót, huzal, vékony és vastag lemez, szalag, fólia, cső, nyitott profil, zárt szelvény, tömb, formázott öntvény, alakos kovácsdarab)

▼

jó kihasználhatóság, anyagtakarékosság, (ön)súlycsökkentés;

- jellemző (szabványos) méretek

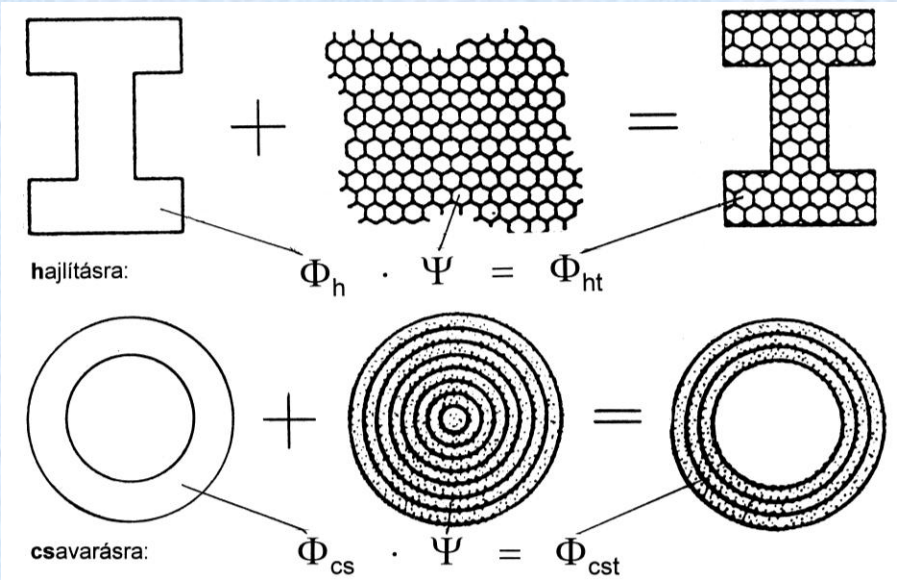
Felületminőség

Esztétika

Belső makroszerkezet

A külső makroszerkezeti geometria által behatárolt térfogatot az anyag milyen folytonossággal (kontinuitással) tölti ki.

belső makroszerkezet célszerűen módosítása:
hőszigetelő anyagok (habosított műanyagok, filcesített kerámiák);
fémhabok (kis önsúly, ütközési energiaelnyelés)
szemcsés, szálas, réteges kompozitok



Nem szándékolt anyag-folytonossági hiányok:

- Planimetrikus (síkszerű, 2D-s)
  - repedések
  - nem összefüggő határfelületek
- Volumetrikus (térszerű, 3D-s)
  - gázüregek
  - szilárd zárványok

Kvalitatív mikroszerkezet: szövetszerkezet

a) **lemez**perlites acél

b) **szferoid**ites acél

c) **lemez**grafitos öntöttvas

d) **gömb**grafitos öntöttvas

e) **tűs** martenzit acélban

f) **hálós** cementit acélban

g) **csomós** temper-szén öntöttvasban

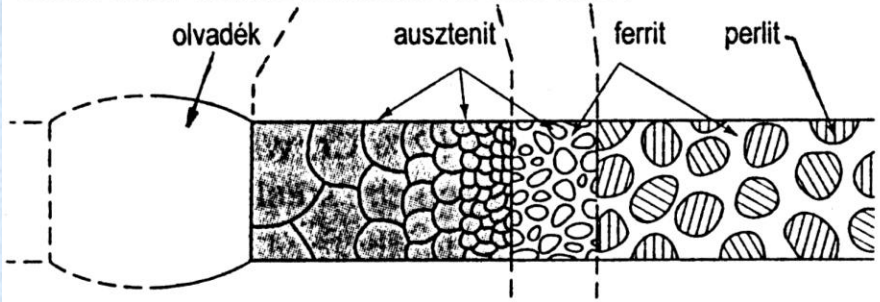
h) **vermikuláris** grafit öntöttvasban

Egy anyagon belüli jelentős szövetszerkezeti különbségek

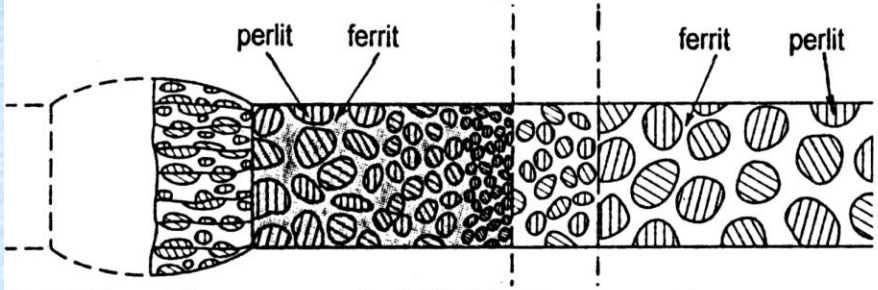
ÖTVÖZETLEN SZERKEZETI ACÉLBAN

← *hőmérséklet:* T_{olv} A_{c3} A_{c1}

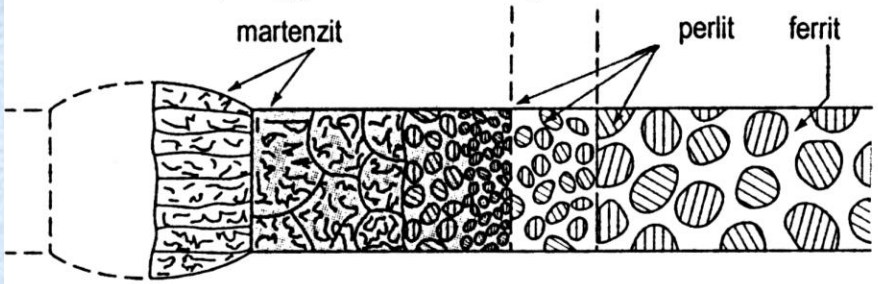
maximális hőmérsékletre hevüléskor:



lehűlés után, kis edződési hajlam esetén:

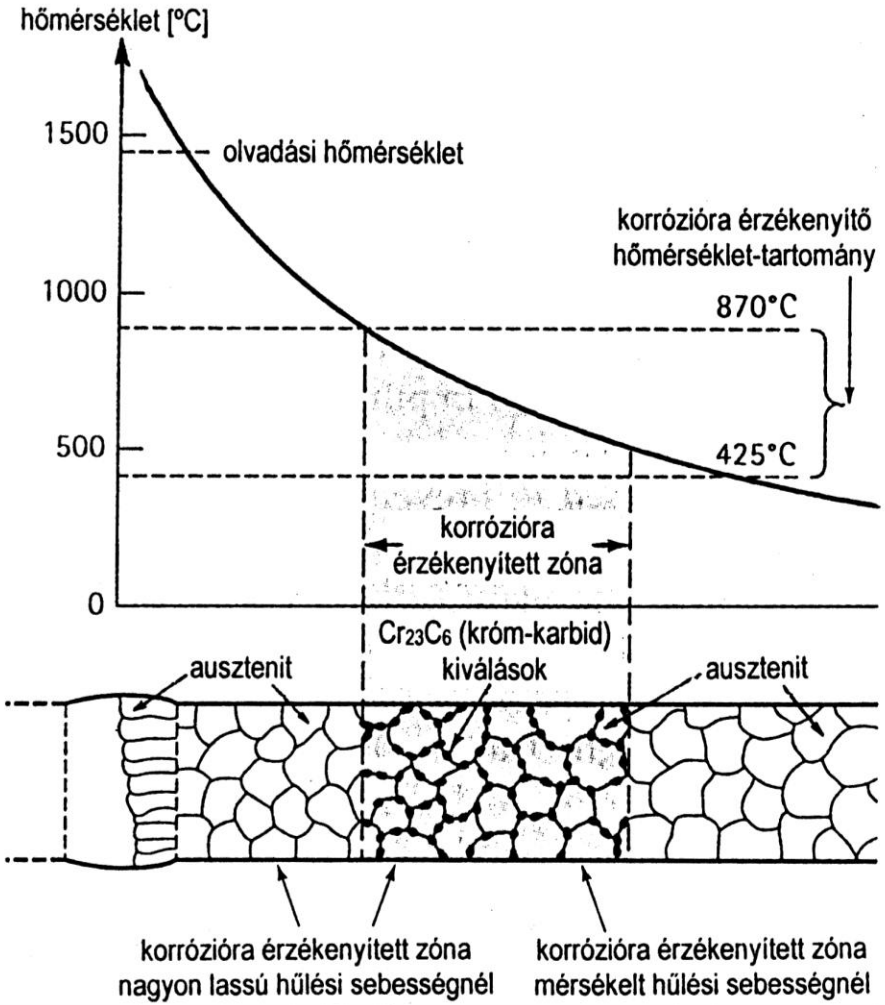


lehűlés után, nagy edződési hajlam esetén:



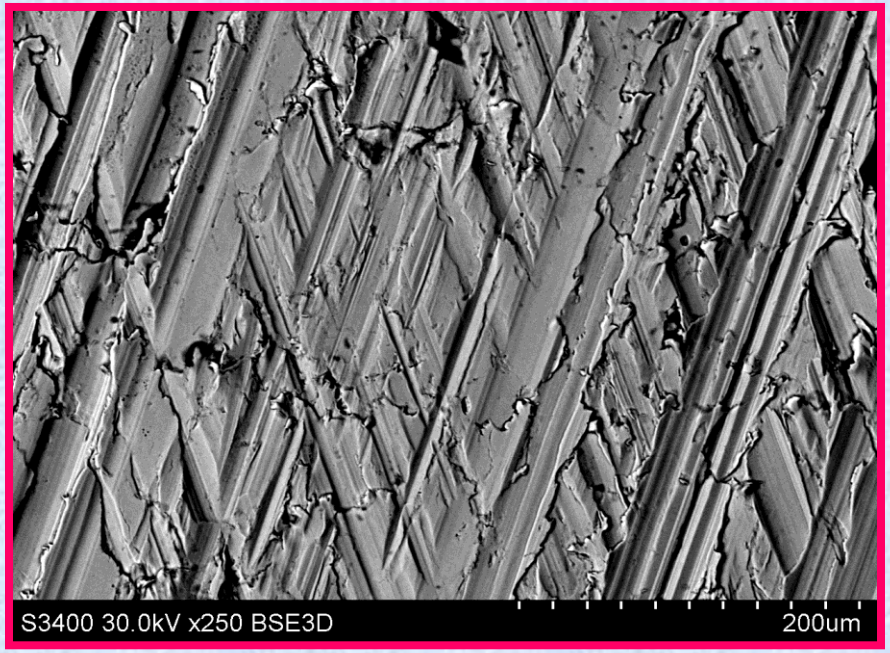
ÖTVÖZÖTT KORRÓZIÓÁLLÓ ACÉLBAN

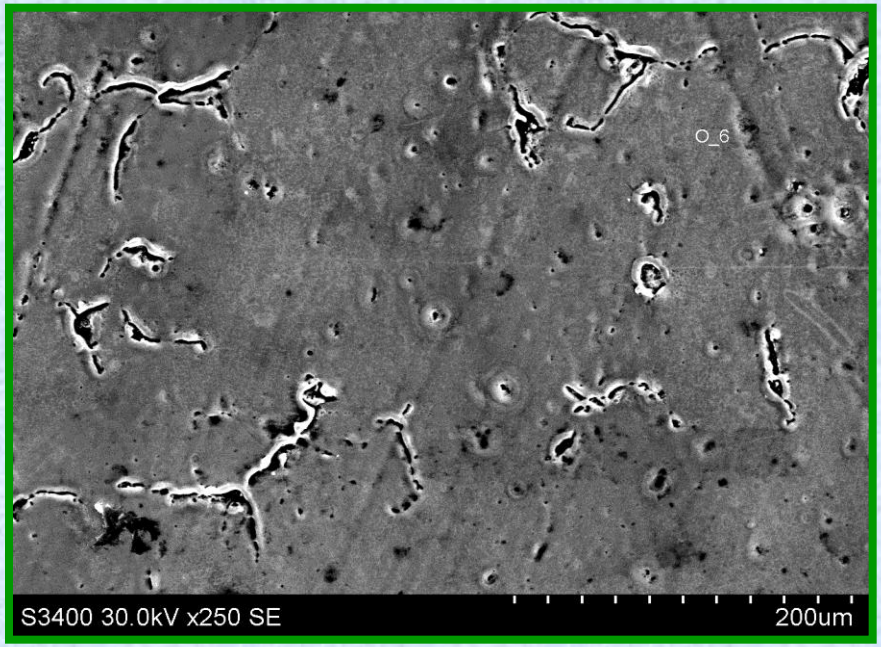
lassú lehűlés során:



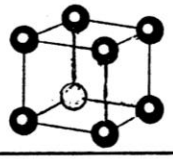
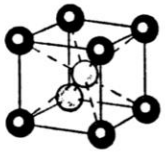
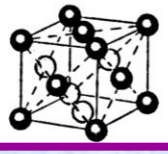
Pásztázó elektronmikroszkópos vizsgálati példa: hengerfelület

- A képen gömbgrafitos öntöttvas motorblokk **hónolt illetve lézerkezelt hengerfelület**ének felvétele látható
- A kép „térhatású”, nagy a mélységélessége, ezért jól mutatja a felületi domborulatokat;

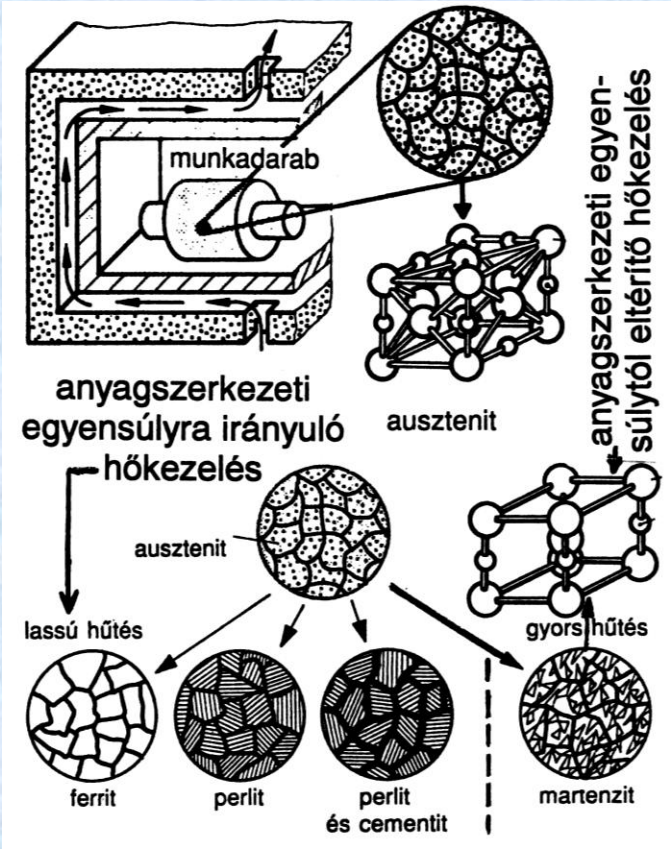


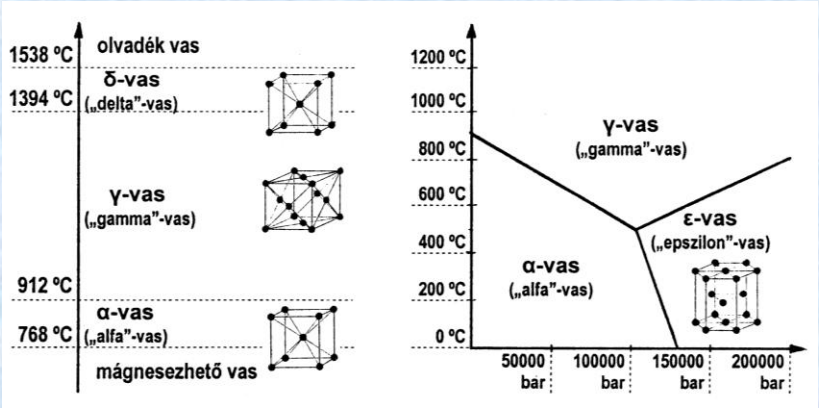


Legfontosabb kristályszerkezetek és geometriai krisztallográfiai adataik

Kristály-szerkezet és rácseleme	Anyag-példák (periódusos rendszer elemei közül)	**Koordinációs szám**	**Atomátmérő az „a" rácsparaméterrel kifejezve**	**Rácselemben foglalt atomok száma**	**Rácselem térkitöltési tényezője**	**Kristályrács legnagyobb hézagainak nagysága és helye**
Egyszerű köbös 	O, F	6	a	$8 \cdot 1/8 = 1$	$\pi/6 = 0{,}5236$ (52,36 %)	$(\sqrt{3}-1) \cdot a = 0{,}732 \cdot a$ méretű az ½, ½, ½ helyen
Térközepes köbös 	Li, Na, K, β-Ti, V, Cr, Mn, α-Fe, δ-Fe, Rb, Nb, Mo, Cs, Ba, Eu	8	$(\sqrt{3}/2) \cdot a \approx 0{,}866 \cdot a$	$8 \cdot 1/8 + 1 = 2$	$\sqrt{3} \cdot \pi/8 = 0{,}6802$ (68,02 %)	$(\sqrt{5}-\sqrt{3}) \cdot a/2 = 0{,}252 \cdot a$ méretű az ½, ¼, 0 helyeken
Lapközepes köbös 	Al, Ca, γ-Fe, Ni, Cu, Sr, Rh, Pd, Ag, Ce, Yb, Ir, Pt, Au, Pb, Ac	12	$(\sqrt{2}/2) \cdot a \approx 0{,}707 \cdot a$	$8 \cdot 1/8 + 6 \cdot 1/2 = 4$	$\sqrt{2} \cdot \pi/6 = 0{,}7405$ (74,05 %)	$(1-[\sqrt{2}/2]) \cdot a = 0{,}293 \cdot a$ méretű az ½, ½, ½ ill. ½, 0, 0 helyek.

Kristályos szilárd anyagok módosulatai





A szilárd anyagok

- **kristályosak,**
- **amorfak (üvegek).**

Üvegek **izotróp** anyagok, kristályos anyagok **anizotróp**ok.

Polimorfia (többalakúság):

- azonos kémiai összetétel,
- különböző kristályszerkezet.

Átalakulások:

- ***monotrópia*** *(egyirányban),*
- ***enantiotrópia*** *(kétirányban),*

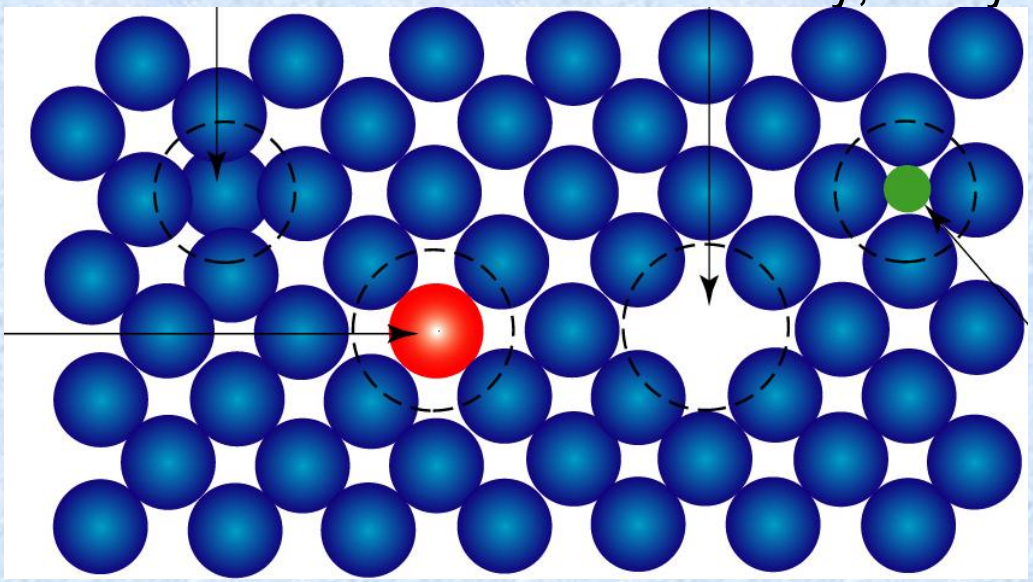
→ ***allotróp módosulat****ok.*

Izomorfia (azonosalakúság).

Nulldimenziós (pontszerű) **kristályhibák**

vakancia (üres kristály-rácshely, hiányzó atom)

saját intersztíciós atom



szubsztitúciós ötvöző atom

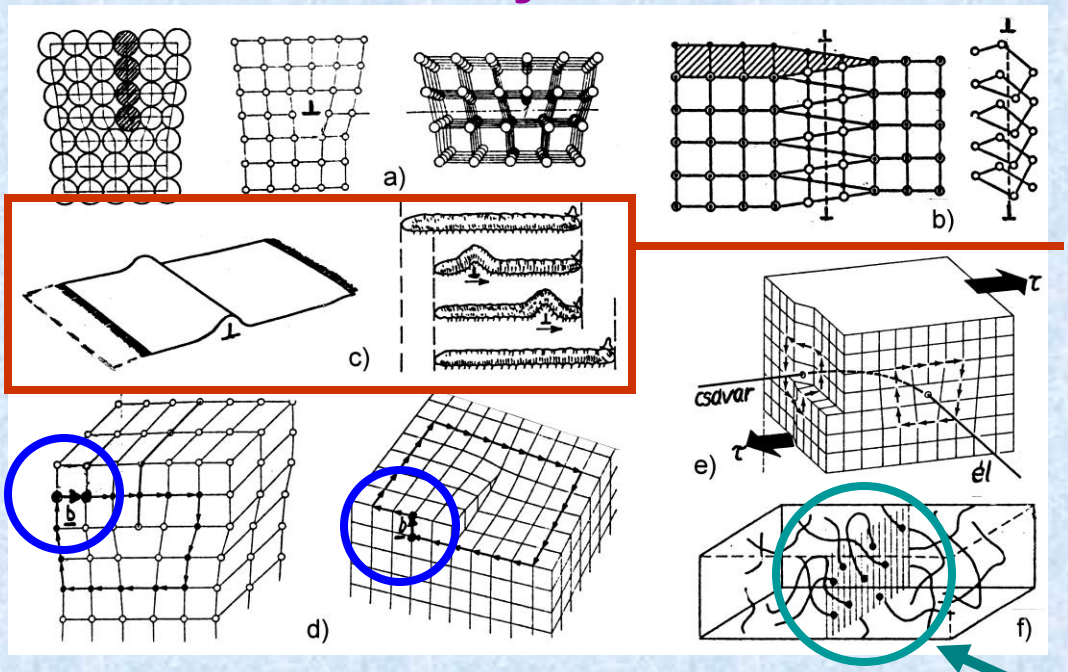
Idegen (ötvöző) intersztíciós atom

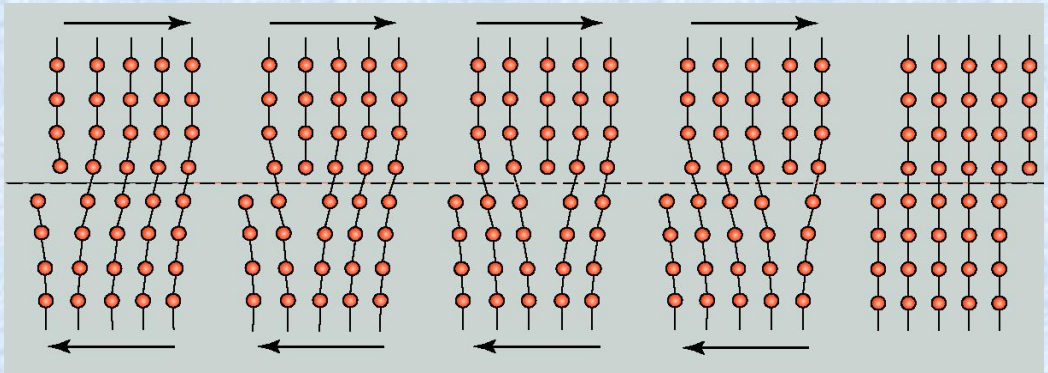
Helyi kristályrács-torzulást, s ezen keresztül **ΔR szilárdságnövekedés**t eredményeznek:

$$\Delta R \approx A \cdot G \cdot \varepsilon^{p} \cdot C_{ö}^{q}$$

ahol A anyagállandó, G a csúsztató rugalmassági modulus, $\varepsilon = (d_a - d_ö)/d_a$ a rácstorzulás mértéke, d_a az alapanyag atomátmérője, $d_ö$ az ötvözőanyag atomátmérője, $C_ö$ az ötvözőanyag koncentrációja. A p és q kitevők értéke kis ötvöző-koncentrációknál 2 ill. 1, míg nagy ötvöző-koncentrációknál 1,5 ill. 0,5.

Egydimenziós (vonalszerű) kristályhibák





él- és csavardiszlokációk

Kristályrácsbeli helyzetüknél fogva az **anyag alakváltozását megkönnyítik**.

Jelenlétük esetén nem kell az egész atomsíkot egyszerre elcsúsztatni a szomszédjához képest, hanem az szakaszonként történhet:

— mint a nagyméretű szőnyeg mozgatása,

— mint a százlábú mozgása.

A diszlokációk **az elcsúszott és az el nem csúszott kristályrészek elválasztó atomsorai**.

A diszlokációk **nagyságát** jellemzi a **b Burgers-vektor**.

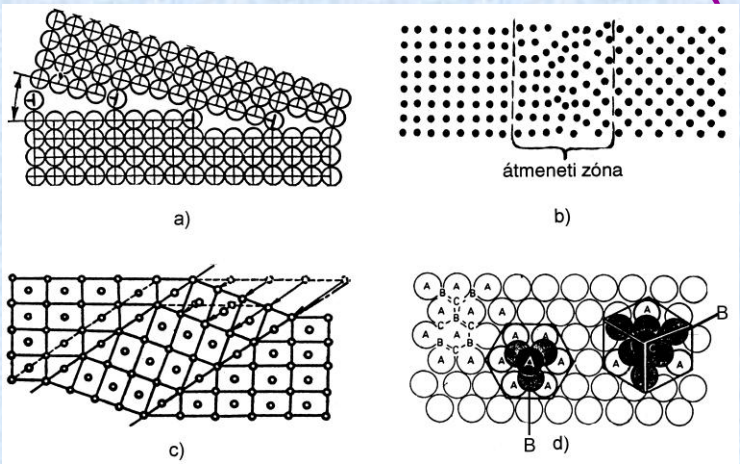
A diszlokációvonalak általában összetettek, a kristályrácsban "ágas-bogas" hálózatot alkotnak.

A diszlokációk **mennyiségét** jellemzi a **diszlokációsűrűség**, az egységnyi felületen lévő diszlokációvonal-metsződések száma.

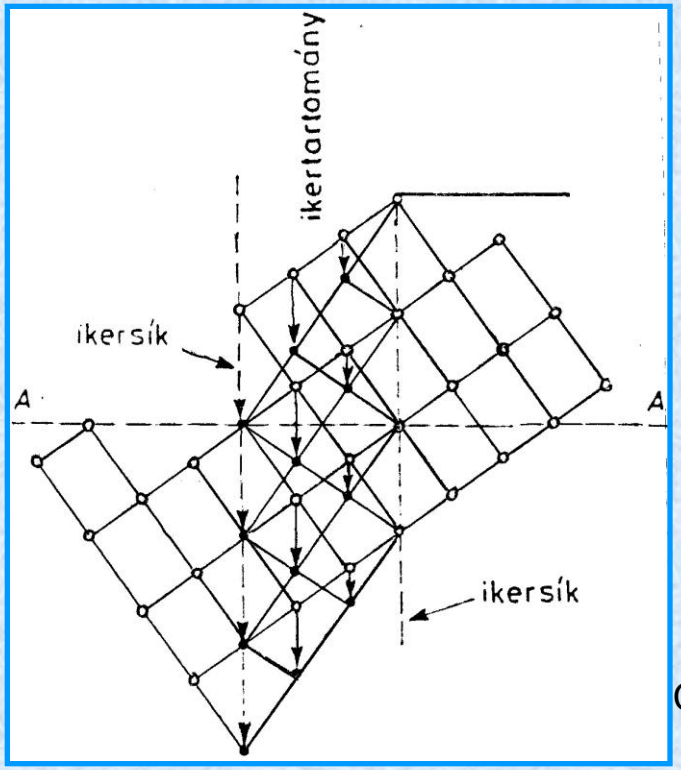
– nem alakított (lágyított) anyag kristályrácsában $10^8 \ldots 10^9/cm^2$,

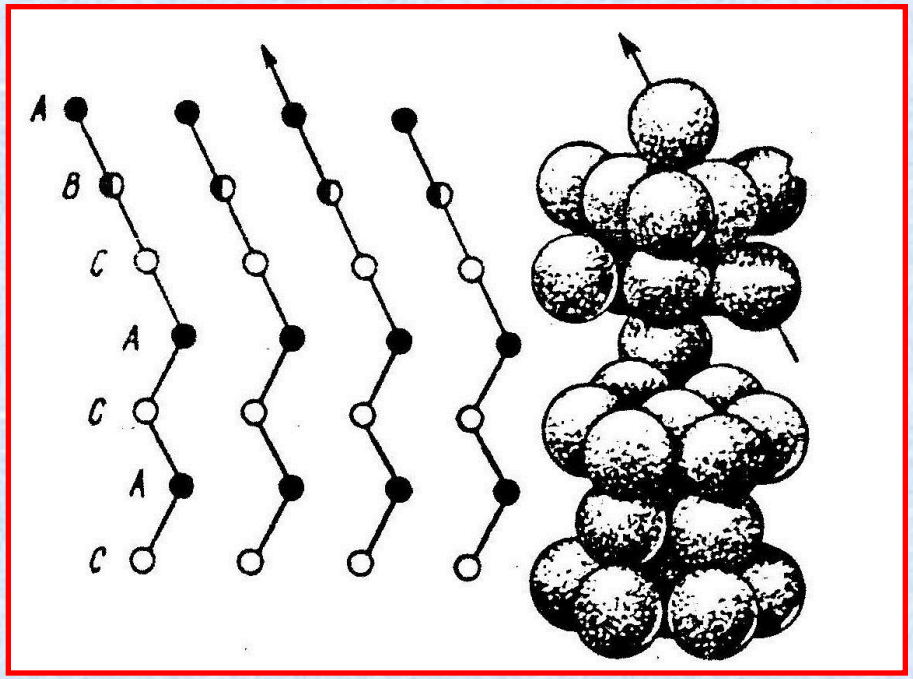
– hidegalakítás után $10^{11} \ldots 10^{12}/cm^2$ nagyságrendűvé válik.

Kétdimenziós (felületszerű) kristályhibák

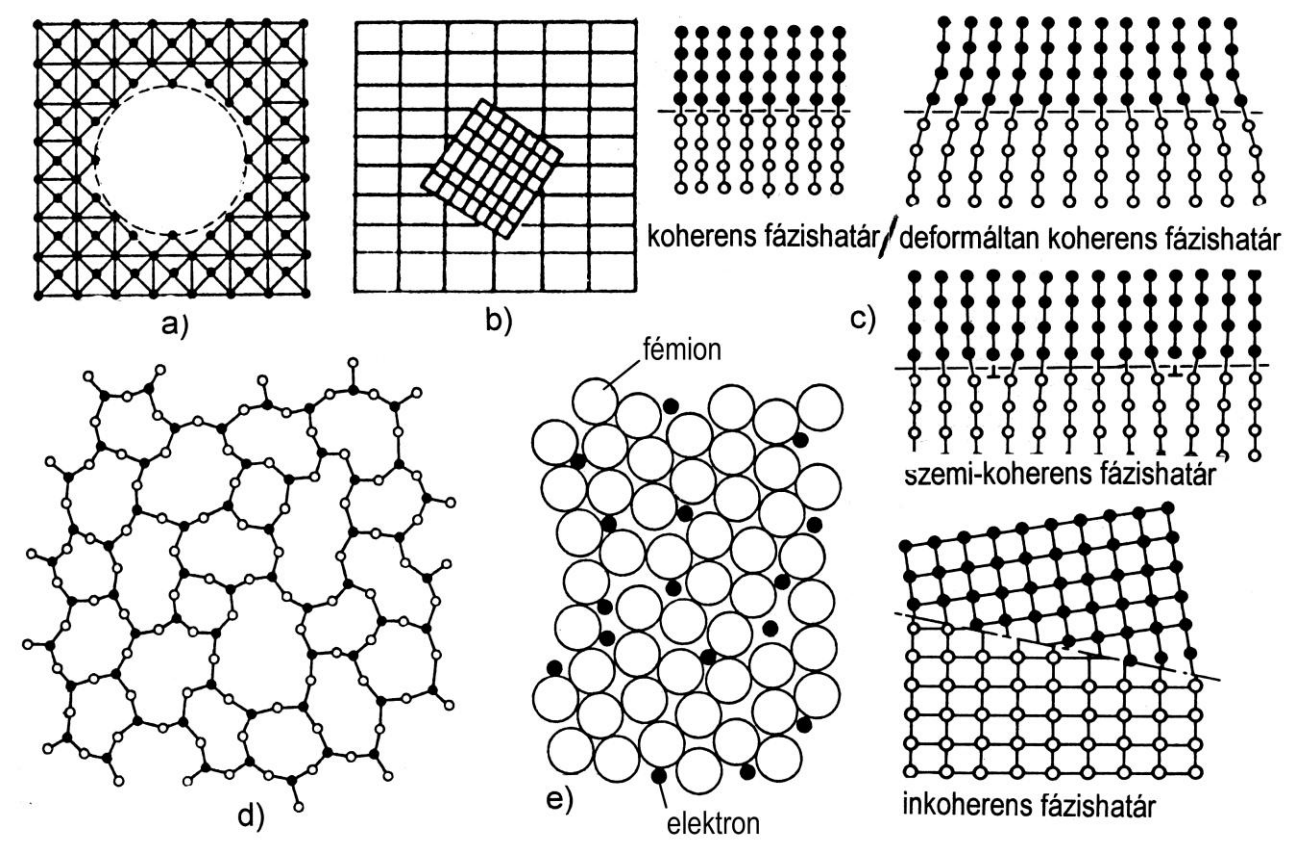


a) kisszögű szemcsehatár
b) nagyszögű szemcsehatár
c) ikerhatár
d) rétegződési hiba
+ anyagfelületek





Háromdimenziós (térfogatszerű) kristályhibák



a) pórus

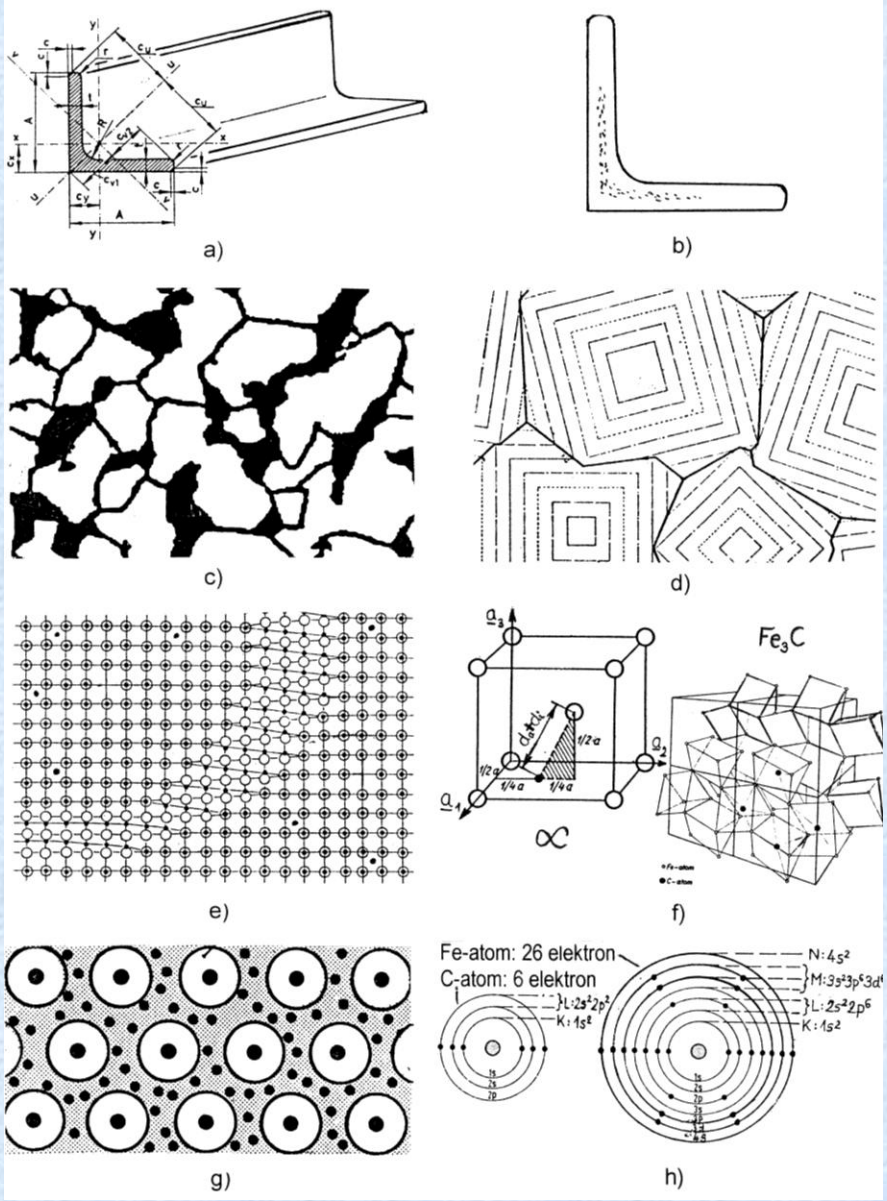
b) zárvány, fáziskiválás

c) különféle fázishatárral

d) szilikátüveg (amorf kerámia)

e) fémüveg (amorf fém)

Ötvözetlen acél – mint fém – szerkezeti szintjei



a) A **külső makroszerkezet** pl. meleghengerléssel előállított "hosszú" termék **profil**os (L, ⊥, [, I ...) szelvénnyel, a nagy hőmérsékleten végzett alakítás miatt kisebb **méretpontosság**gal és revés **felület**tel.

b) A **belső makroszerkezet**et az acélgyártás módjától függő **dúsulási helyek, makrozárványok** és esetleg egyéb **más folytonossági hiányok** jellemzik.

c) A **kvalitatív mikroszerkezet** jellegzetes ferrit-perlites **szövetszerkezet**, a C-tartalomtól függő lemezes perlit (a képen sötétebb) részaránnyal.

d) A **kvantitatív mikroszerkezet**et pl. a ferrit (gyakorlatilag vas, mivel C=0,006 %) fázis szemcséinek, **krisztallit**jainak adatai jelentik.

e) A **kristályrács-szerkezet** olyan **kristályos rendezettség**, melyet **bizonyos helyeken rácshibák** (üres rácshelyek, intersztíciós atomok, diszlokációk, ...) szakítanak meg.

f) A **kristályrácselem-szerkezet**et az α-fázis tér-közepes **köbös**, ill. a perlitbeli lemezes Fe_3C (vaskarbid) vegyületfázis romboéderes **elemi cellá**ja jelenti.

g) Az **atomi kötésszerkezet** jellegzetes **fémes kötés** a rácspontokban "rögzített" pozitív fémionokkal és a köztük mozgó negatív "**elektrongáz**zal".

h) Az **atomszerkezet** a **6-os rendszámú karbon** és a **26-os rendszámú vas** (1s)2 (2s)2 (2p)2 ill. (1s)2 (2s)2 (2p)6 (3s)2 (3p)6 (3d)6 (4s)2 **elektronkonfigurációi**.

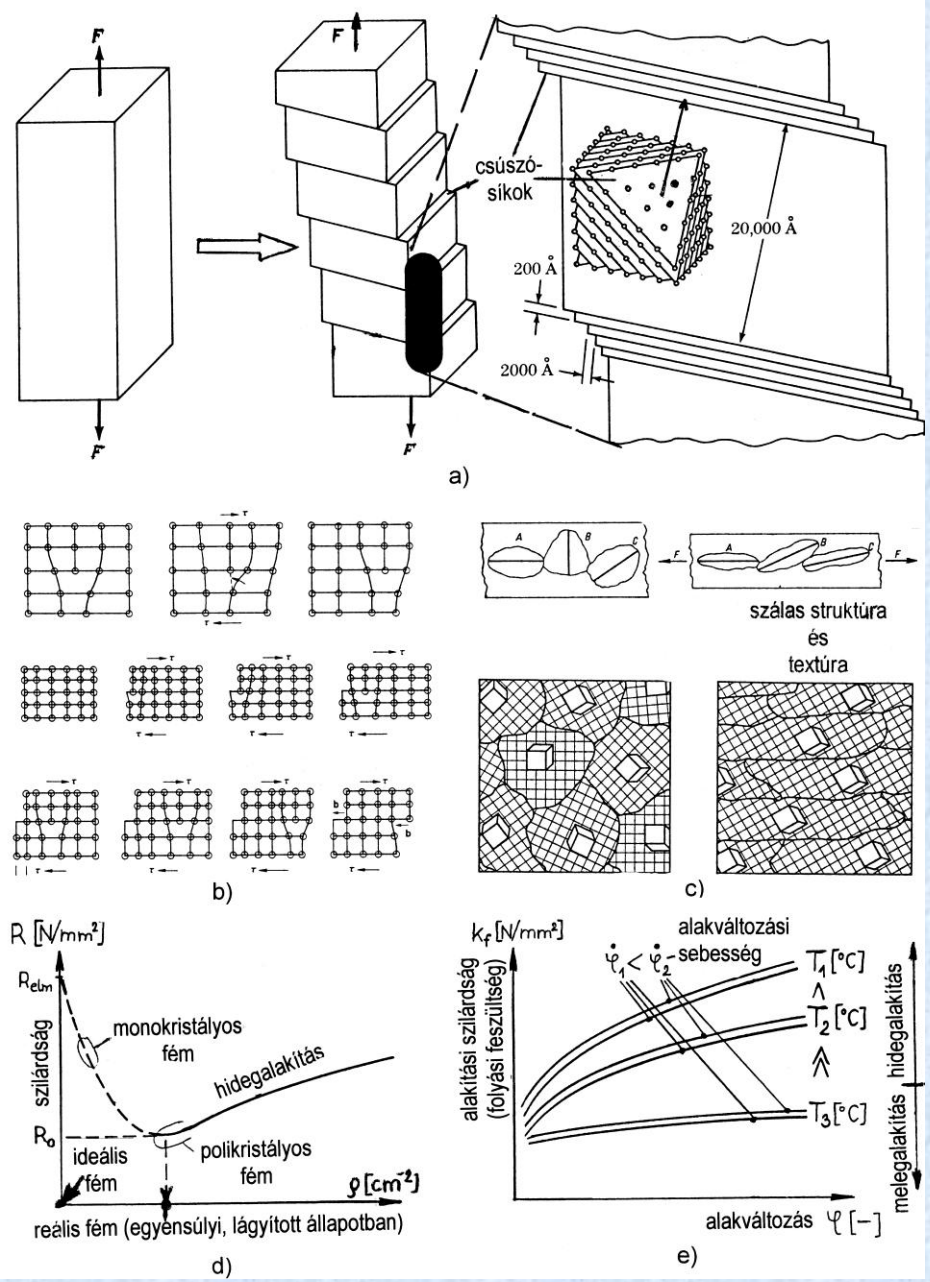
Alakítástechnológia következményei

Képlékeny alakítás során a szerkezeti anyagot a rugalmassági határa feletti, folyáshatárát elérő ill. azt meghaladó mechanikai feszültség terheli. Ennek következtében **az anyag képlékeny folyás állapotába kerül** és **maradó alakváltozást szenved**.

Az ilyen forgácsnélküli **technológia az alakadás mellett az anyag tulajdonságait** is lényegesen **megváltoztatja**:

- **hidegalakításkor alakítási keményedés**,
- **melegalakításkor újrakristályosodás** ill. **kilágyulás** lép fel.

Fémek képlékeny alakváltozása



a-b) Az összalakváltozást **csúszósíkokon** bekövetkező - **diszlokációk által segített - elemi elmozdulások sorozata** hozza létre.

c) A rekrisztallizációs hőmérséklet alatt végzett **képlékeny hidegalakítás**t a szemcsék alakjának és a csúszósíkok orientációjának megváltozása, valamint **szálas szerkezet** ill. **textúra** (szemcse-deformációval együttjáró kristálytani irányítottság) kialakulása kíséri.

d) A lágyított állapotbeli **diszlokáció-sűrűség** képlékeny hidegalakítás hatására **megsokszorozódik** és a diszlokációk ilyen nagy számban már egymás mozgását akadályozzák, **alakítási keményedés**t okozva:

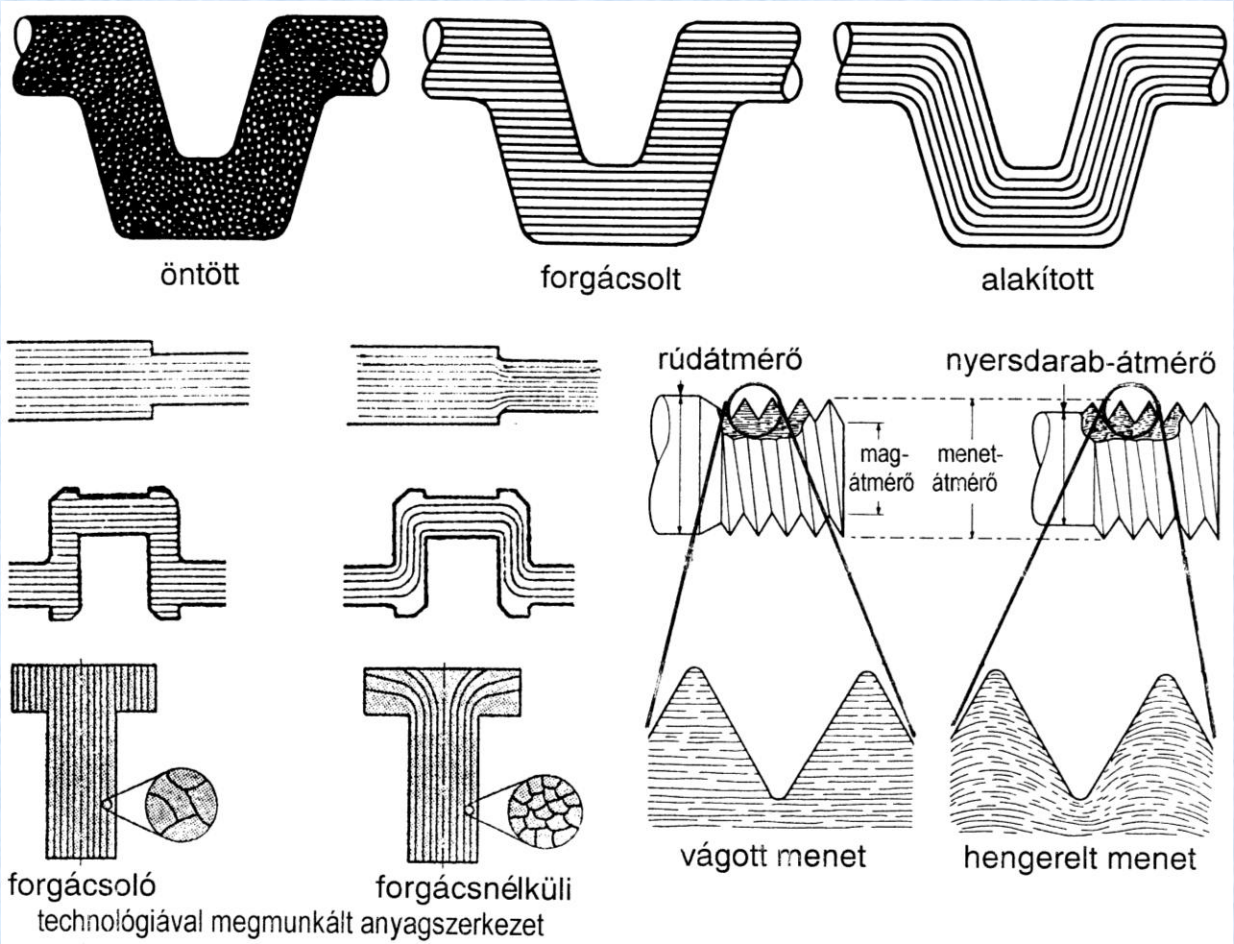
$$\Delta R = \alpha \cdot G \cdot |\underline{b}| \cdot \sqrt{\rho}$$

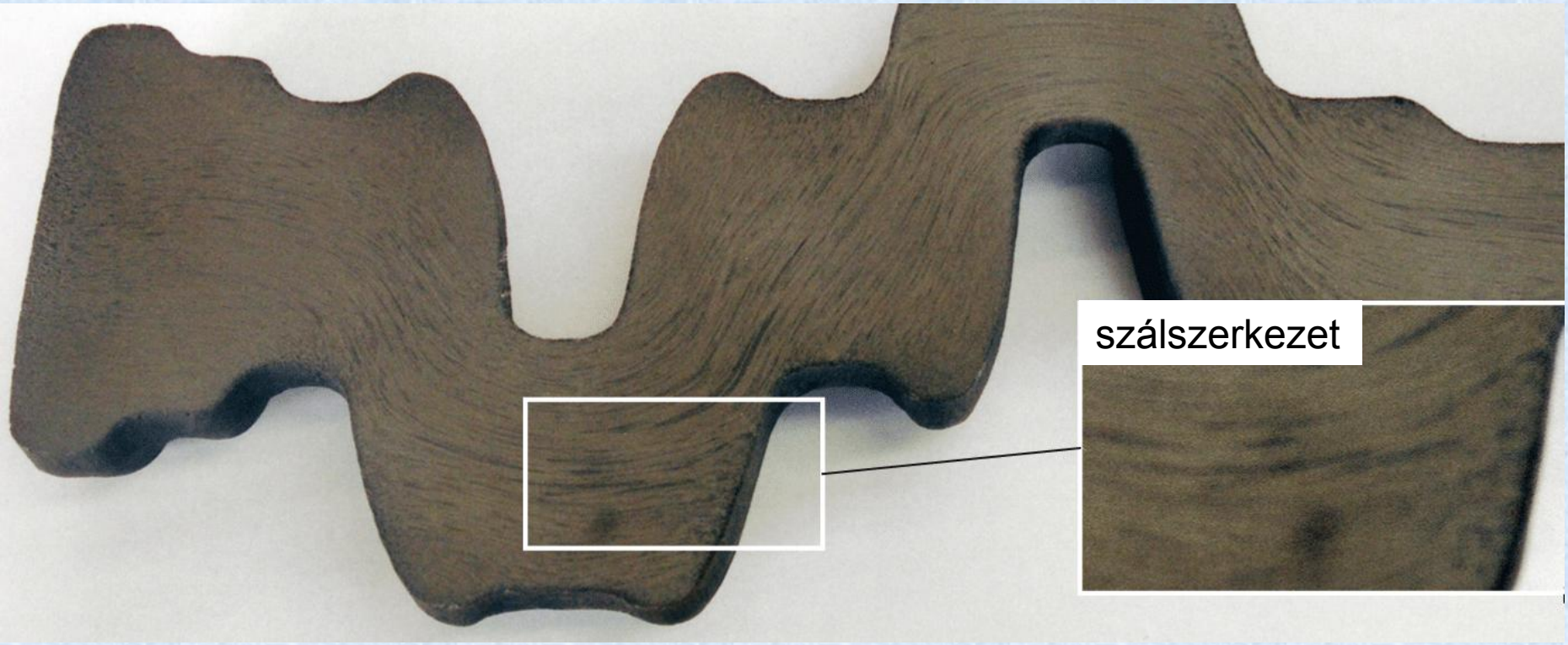
ahol α anyagminőségtől függő tényező; G a csúsztató rugalmassági modulus, a Burgers-vektor abszolút értéke, ρ a diszlokációsűrűség.

e) A rekrisztallizációs hőmérséklet felett végzett alakítás a **melegalakítás**, amit rekrisztallizációs **kilágyulás** kísér.

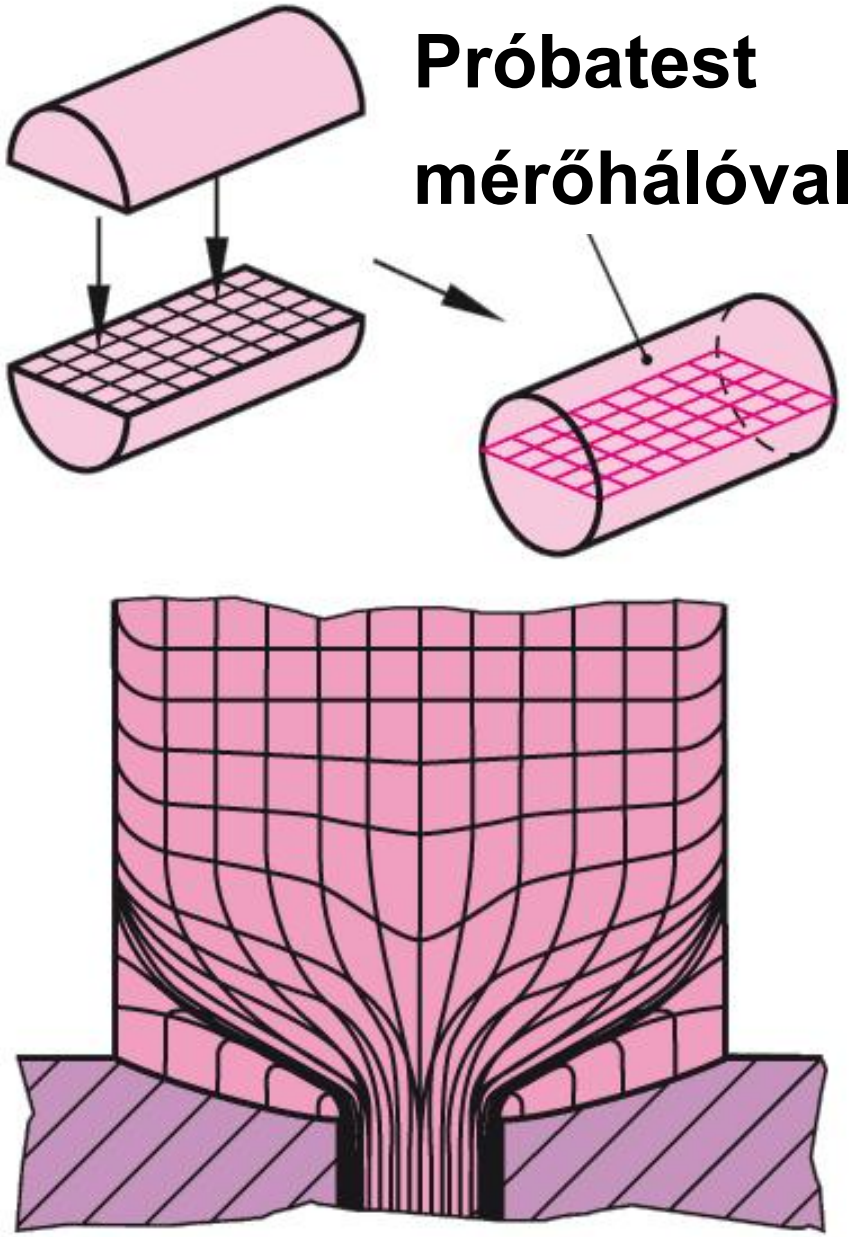
Alakítás hatásai

Alakítás hatására az anyag kohászati másodlagos formaadáskor létrejött **kedvező szálszerkezete** megmarad (a deformált alakhoz "idomul"), míg a forgácsolással ezt megszakítják.
Az alakító erőt arra alkalmas szerszámok közvetítik az anyag egészére vagy annak bizonyos részeire. A készülő **termék geometriáját a szerszámok aktív felületei és/vagy az anyag szabad alakváltozása határozza meg**. Ez utóbbi esetben a szerszám nem határolja be teljesen az alakváltozáshoz rendelkezésre álló teret. Sikeres képlékeny alakításról akkor van szó, ha az anyag **törés** ill. **repedés nélkül** viseli el az alakváltozást előidéző igénybevételeket.




szálszerkezet

Próbatest mérőhálóval



Fémek megújulása és újrakristályosodása

a) Hőmérséklet növelésével **termikusan aktivált anyagszerkezeti folyamatok** játszódnak le:

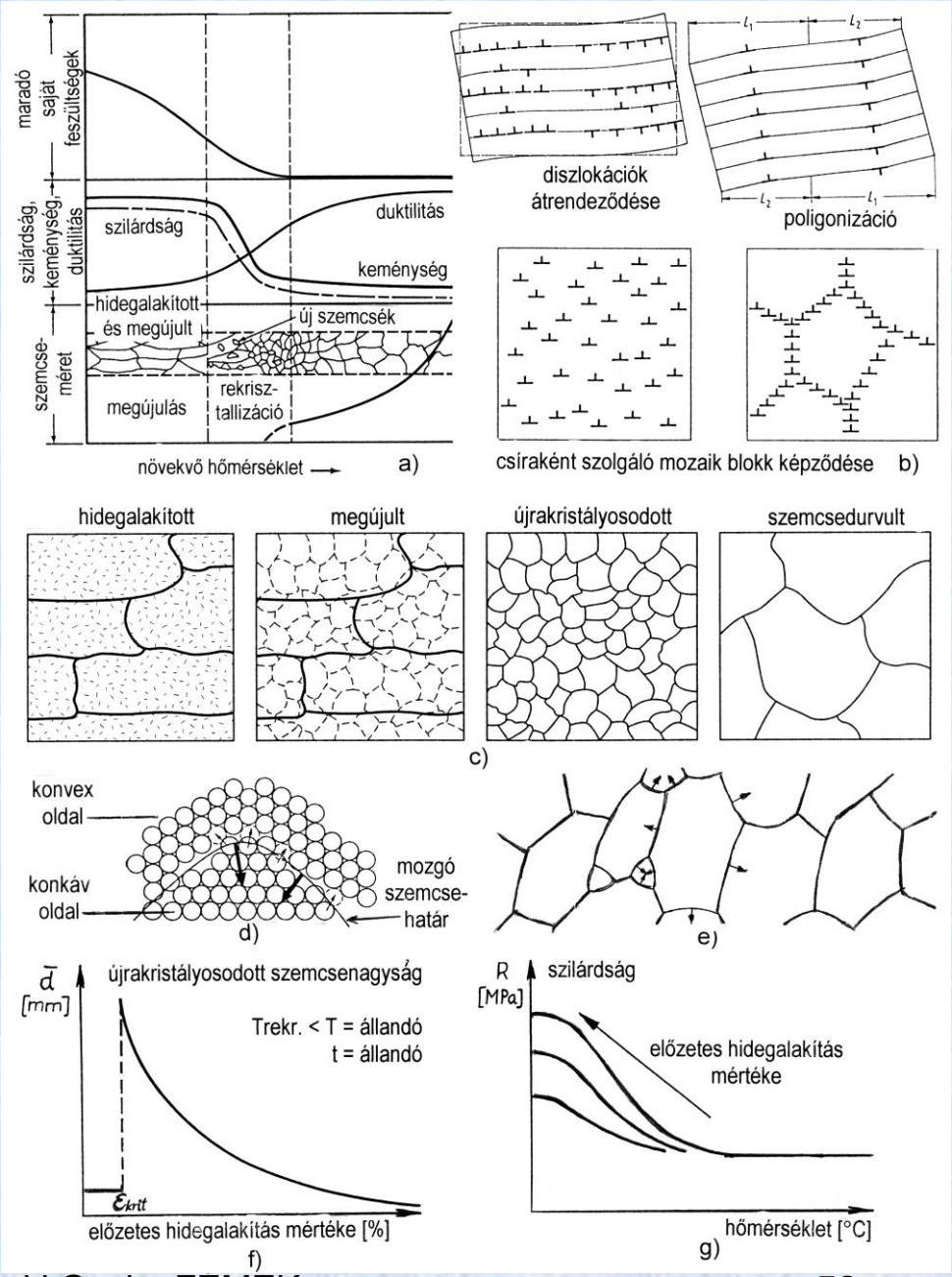
b) Megújulás: diszlokációk "kioltódása" vagy átrendeződése és egyes kitüntetett helyeken való felhalmozódása; **kisszögű** (kvázi) **szemcsehatárok kialakulása** (poligonizáció); csíraként szolgáló mozaik blokkok képződése.

c) Újrakristályosodás vagy rekrisztallizáció: A hőmérséklet további növelésével - a poligonális előszemcsék találkozásánál - rendezett, **szilárd fázisban képződő kristálycsírák** alakulnak ki.

d-e) A szemcsehatárok konkáv oldalról atomok lépnek át a konvex oldalra. Az így mozgó és megszűnő szemcsehatárokkal durvaszemcsés mikroszerkezet alakul(hat) ki, ún. **szekunder rekrisztallizáció** játszód(hat) le, amit kerülni kell.

f) Az újrakristályosodott **szemcsék mérete** annál kisebb, minél nagyobb volt az előzetes hidegalakítás mértéke.

g) Az újrakristályosodás **alakváltozó-képesség növekedés**t, **keménység-**, ill. **szilárdság-csökkenés**t, vagyis **kilágyulás**t eredményez.

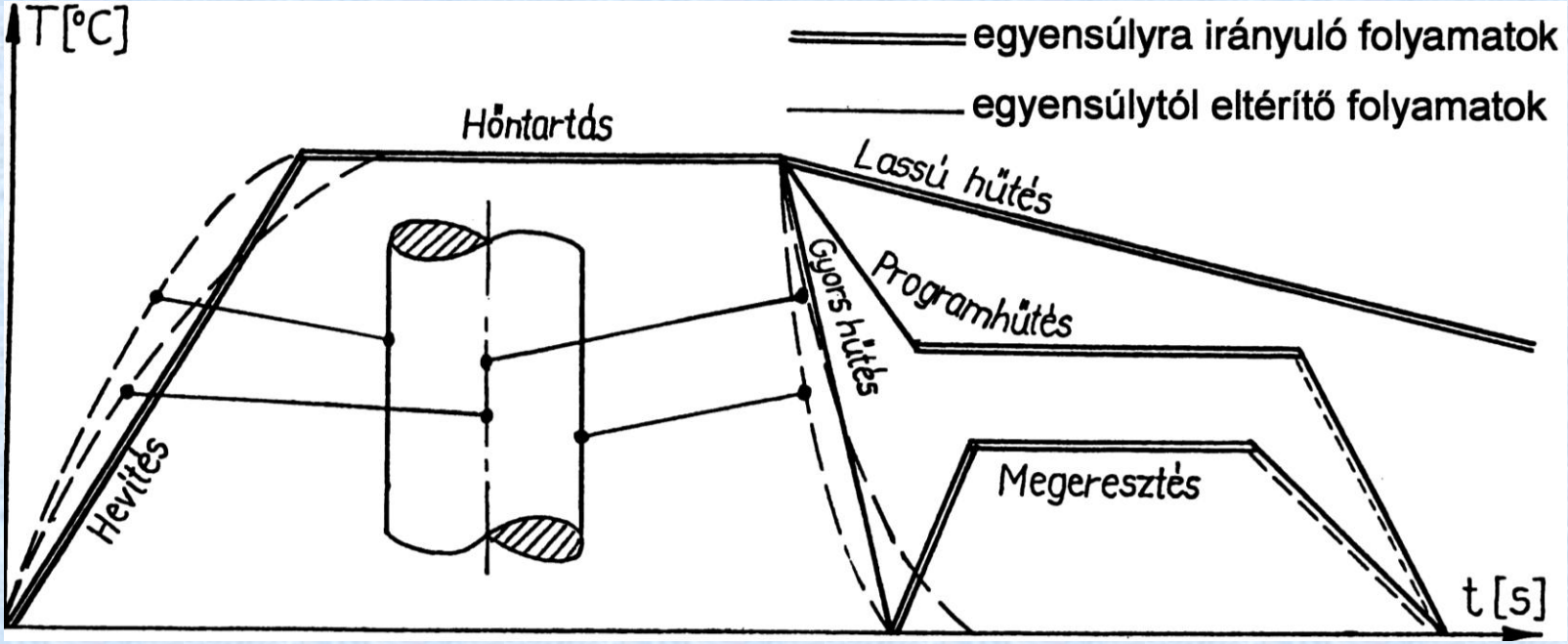


Fémek hőkezelése

Hőkezelés az anyagok ill. a belőlük készült fél- és készgyártmányok **meghatározott program szerinti felhevítése** → **hőntartás**a → **lehűtés**e a **mikroszerkezet** ill. a **feszültségállapot megváltoztatása** és ennek révén **előírt tulajdonságok beállítása** céljából. A hőkezelés tehát egy **termikus ciklus**.

A **fémekre jellemző** hőkezelések már előzetesen megmunkált szilárd anyagon és mindvégig szilárd halmazállapotban végzendők el, tulajdonság-módosítás érdekében.

A **hőkezelési célt szolgáló** anyagszerkezeti **folyamatok** általában **a felhevített munkadarab hőntartási és lehűlési szakaszában mennek végbe**. Ezek a folyamatok az anyag egyensúlyi állapotának elérésére irányulnak, vagy az attól való eltérést segítik elő.



Vasötvözetek egyensúlyi állapotai

Az **acélok** a **vasnak karbonnal** (szénnel) **alkotott ötvözetei**, melyekben a karbon (C) egyensúlyi körülmények között Fe_3C (vaskarbid vagy **cementit**) vegyület formájában van jelen.

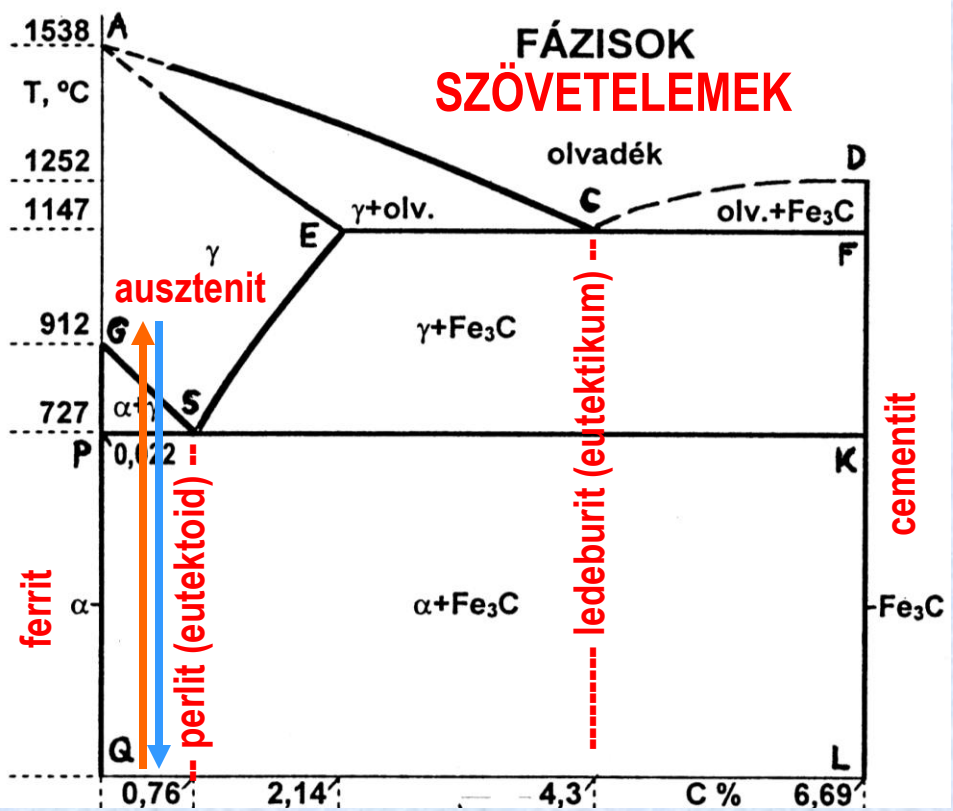
Ezen **Fe-Fe_3C ötvözetek** C-tartalma **szerszám-acélok** esetén 2,14%-nál, **szerkezeti acélok** esetében 0,76%-nál kisebbek.

Ha ezeket az anyagokat az állapotábra szerinti γ-mezőbe felhevítjük (ausztenitesítjük) és ott hőn tartjuk, akkor a bennük található α-szilárd oldat allotróp módon (térben középpontos köbösből felületen középpontos köbössé) átalakul és a keletkező ausztenitben az összes karbidfázis oldódik.

Ha ezután lassan (kvázi egyensúlyi körülmények között) visszahűtjük, akkor diffúzió révén a karbidfázis (cementit) kiválik és az α-fázis (ferrit) is újra létrejön, az állapotábrának megfelelően.

Az **eutektikum**hoz (**ledeburit**hoz)hasonló formáció is kialakul, azonban ez nem folyékony olvadékból, hanem szilárd oldatból keletkezik, így **eutektoid**nak (**perlit**nek) nevezik.

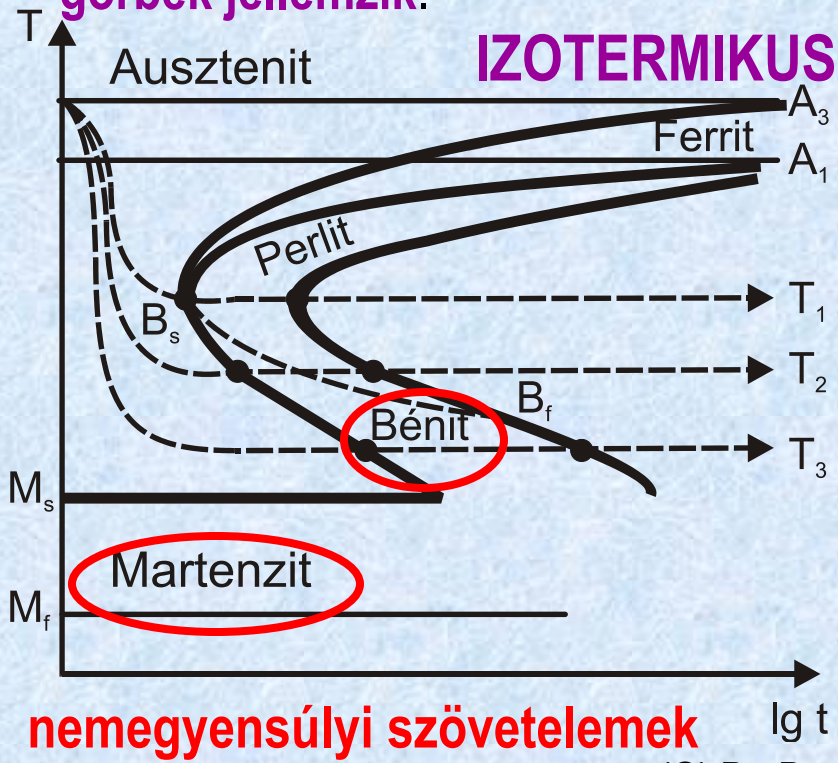
A vasnak Fe_3C vaskarbiddal alkotott ötvözeteit tartalmazó (metastabil) állapotábra jellegzetes pontjait az ábécé nagybetűi jelölik, hogy egyes állapotábra-vonalakra a hozzájuk tartozó pontokkal hivatkozhassunk (pl. DC-vonal, ES-vonal, PQ-vonal, GS-vonal, ECF-vonal, PSK-vonal).

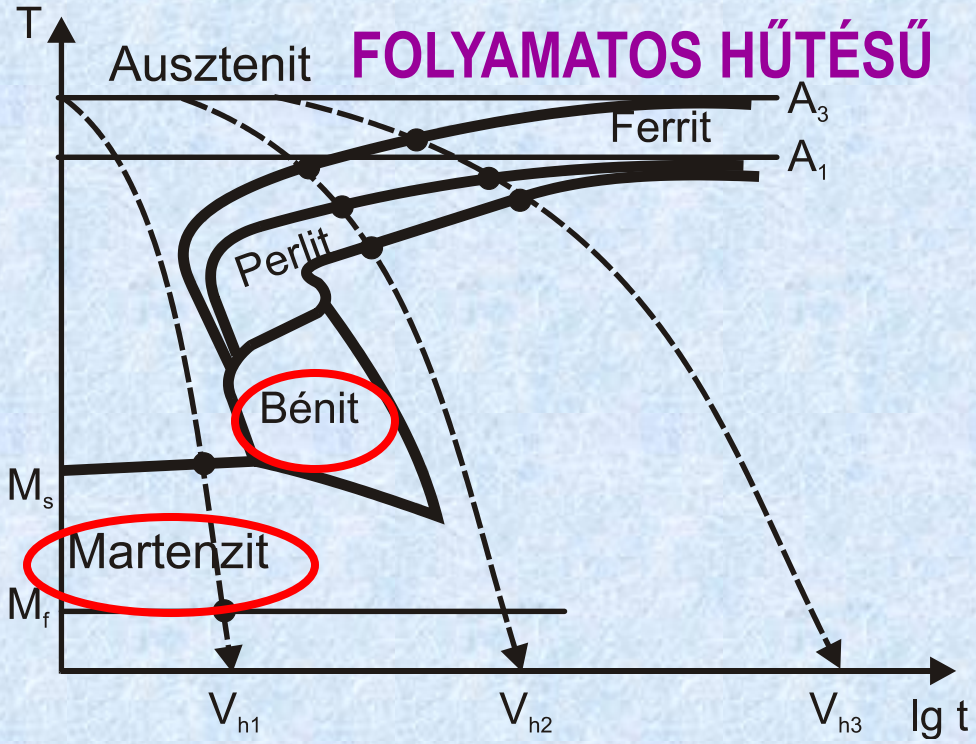


Nem egyensúlyi állapotok: ausztenit-átalakulási diagramok

Az állapotábra szerinti egyensúlyi átalakulási hőmérséklethez képest jelentős mérvű ΔT túlhűtés a diffúzió (atomelmozdulás ill. -átrendeződés) lehetőségét gátolja, esetleg meg is szünteti, tehát **kellően gyors hűtéssel a második fázis kiválása megakadályozható**.

Az átalakulási folyamatot két ellentétes hatás befolyásolja: a ΔT túlhűtéssel az átalakulási kényszer nő, viszont az így elért alacsony(abb) hőmérsékleten a diffúzió sebessége csökken. E két hatás együttesen eredményezi, hogy az **átalakulások T hőmérséklettől függő t időszükségletét – T-lgt koordináta-rendszerben – C-alakú görbék jellemzik**.

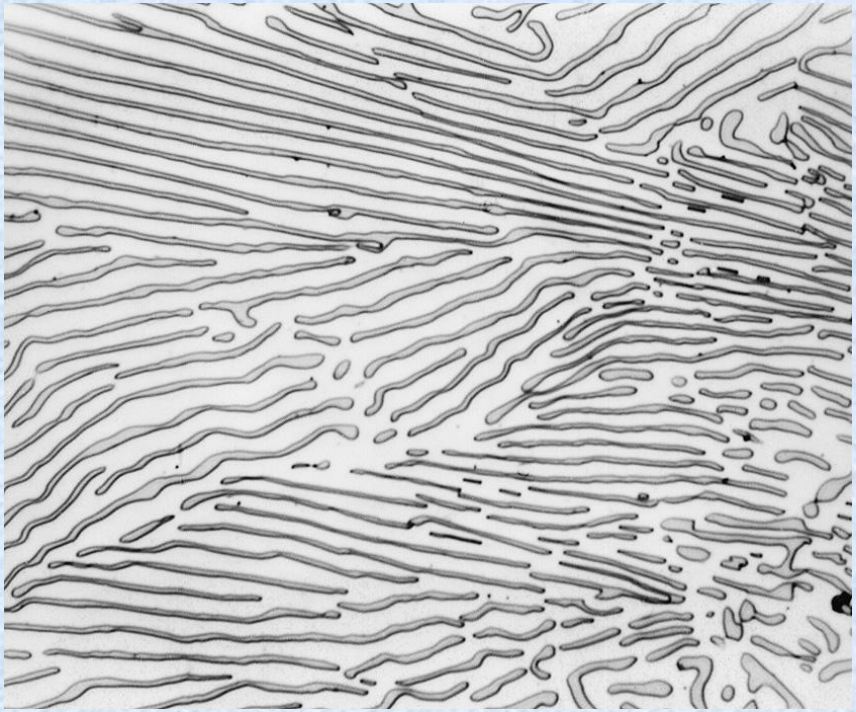




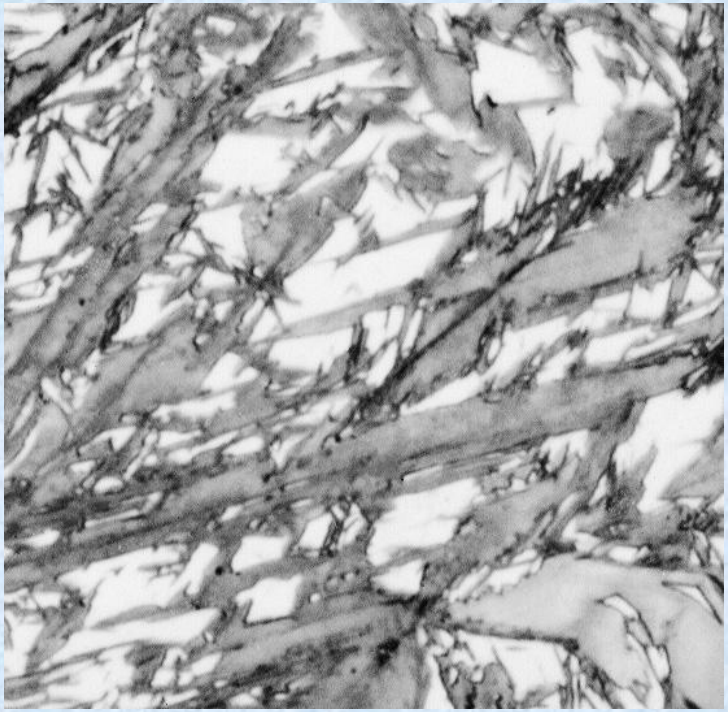
nemegyensúlyi szövetelemek

A **keménység** (szilárdság) és a **szívósság** ellentétesen - egymás rovására - változ(tathat)ó tulajdonságok, azaz a keménység-növelés szívósság-csökkenéshez, a szívósság-növelés keménység-csökkenéshez vezet. Ezért ha a felhasználás szempontjából ezen tulajdonságok **valamilyen optimális vagy kvázioptimális arányának beállítása a cél**, úgy a megfelelő anyagszerkezet-változás legtöbbször egy lépésben nem biztosítható, tehát **összetett hőkezelés**re van szükség.

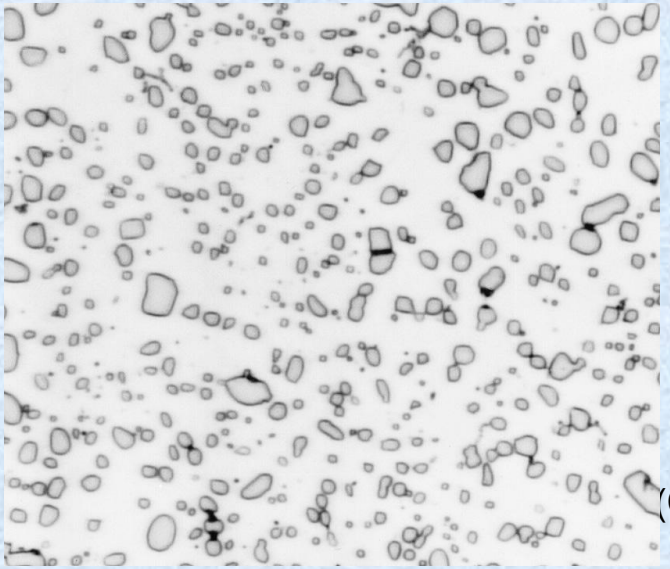
Először egyensúlyitól jelentősen eltérő szerkezetet hoznak létre, majd alkalmas hőmérsékleten egyensúlyra irányuló folyamatokat engednek meg. Az összetett hőkezelések két szakaszból állnak: egy **nagy hőmérsékletről történő gyors hűtés**ből (Quenching) és egy **kisebb hőmérsékletű hőntartás**ból, azaz megeresztésből (Tempering).



Eutektoidos acél lemezperlites egyensúlyi szövetszerkezete



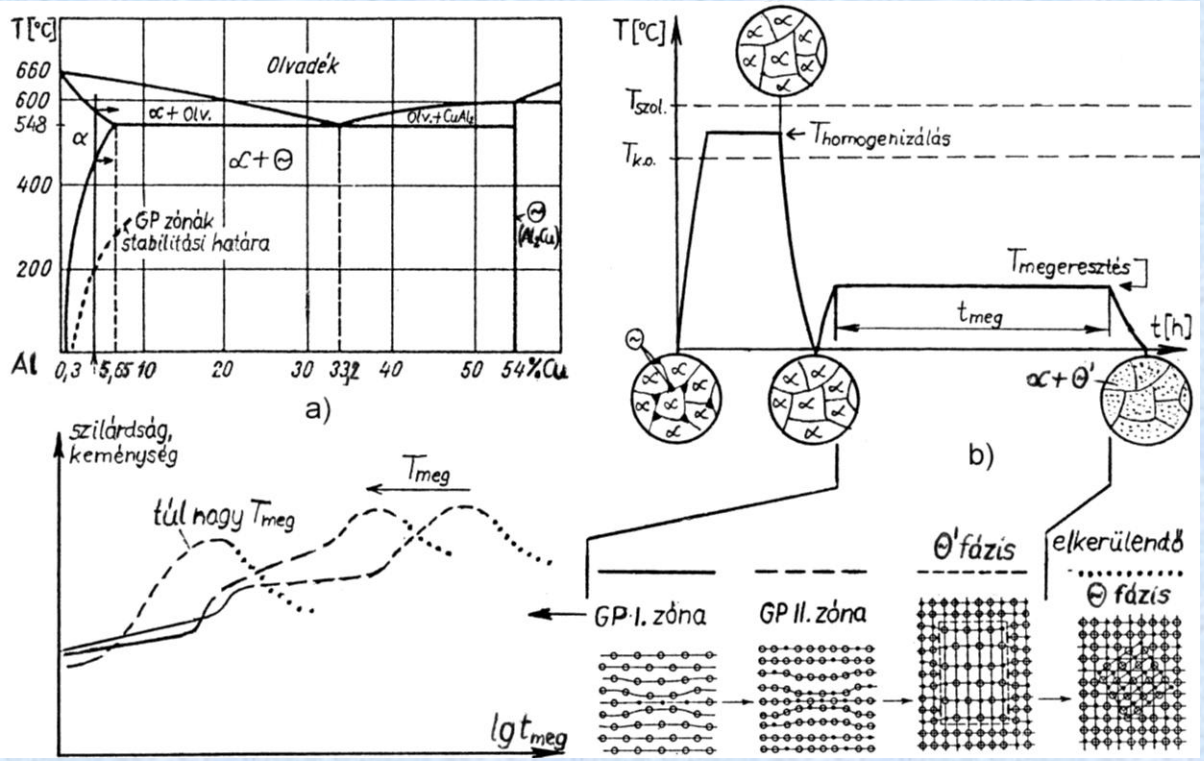
Eutektoidos acél martenzites szövetszerkezete edzés után



Eutektoidos acél szferoidites (szemcsés perlites) szövetszerkezete edzést követő 700 °C-os megeresztés után

Alumínium ötvözetek hőkezelése

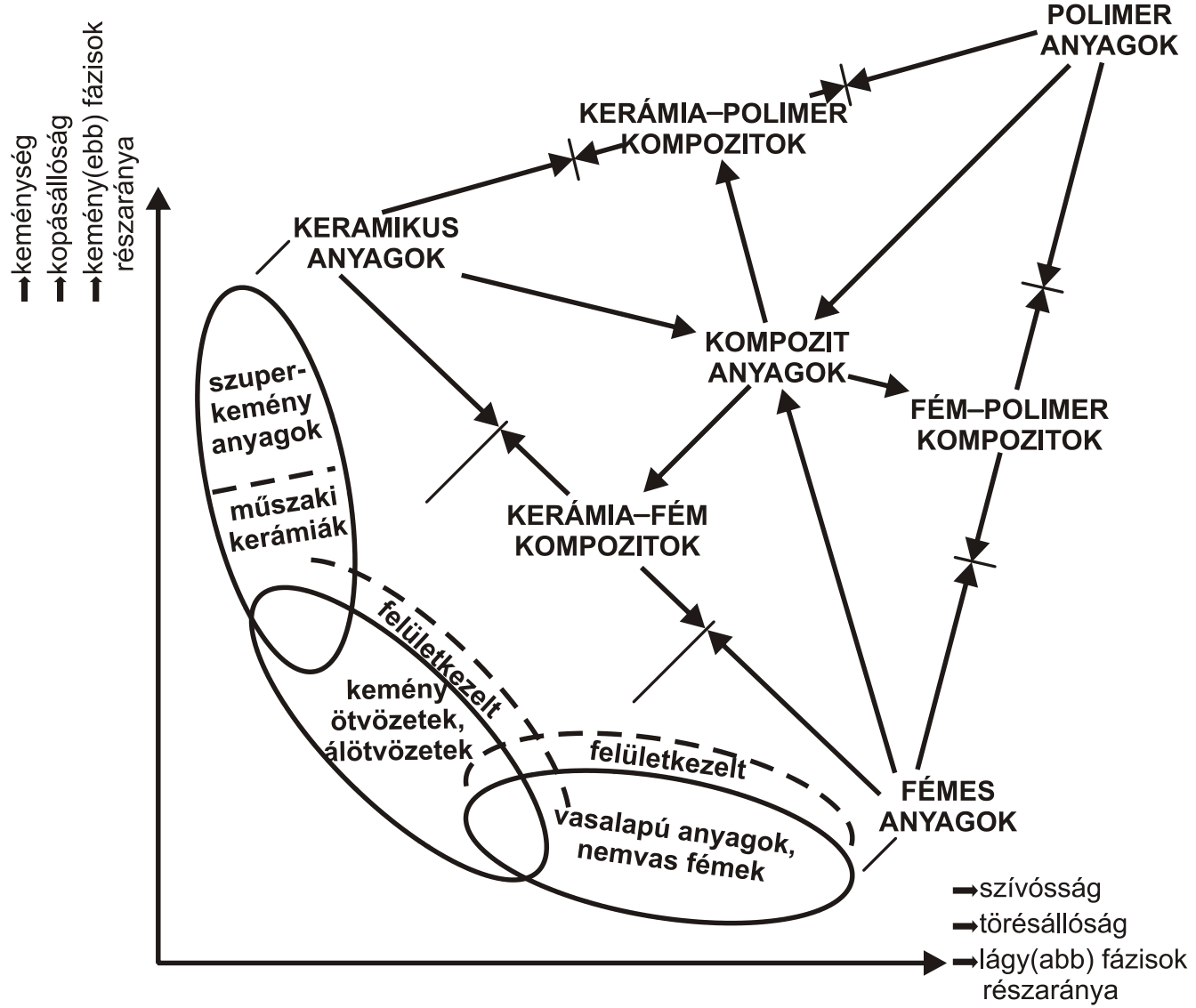
Allotróp átalakulást nem mutató alumíniumötvözetek nemesítésekor nagyobb hőmérsékletű hőkezeléssel **homogén állapotot** biztosítunk, s azt **gyors hűtéssel befagyasztjuk**, **majd** egy kisebb hőmérsékletű **megeresztéssel előidézzük a második** - koherens vagy szemi-koherens határral illeszkedő - **fázis diszperz kiválását**, ún. **Guinier-Preston I. és II. zónák** (GP I. és II. zónák), ill. **θ'-fázis** formájában. A homogenizálás utáni gyors hűtés – szemben az acélokkal – lágy állapotot idéz elő



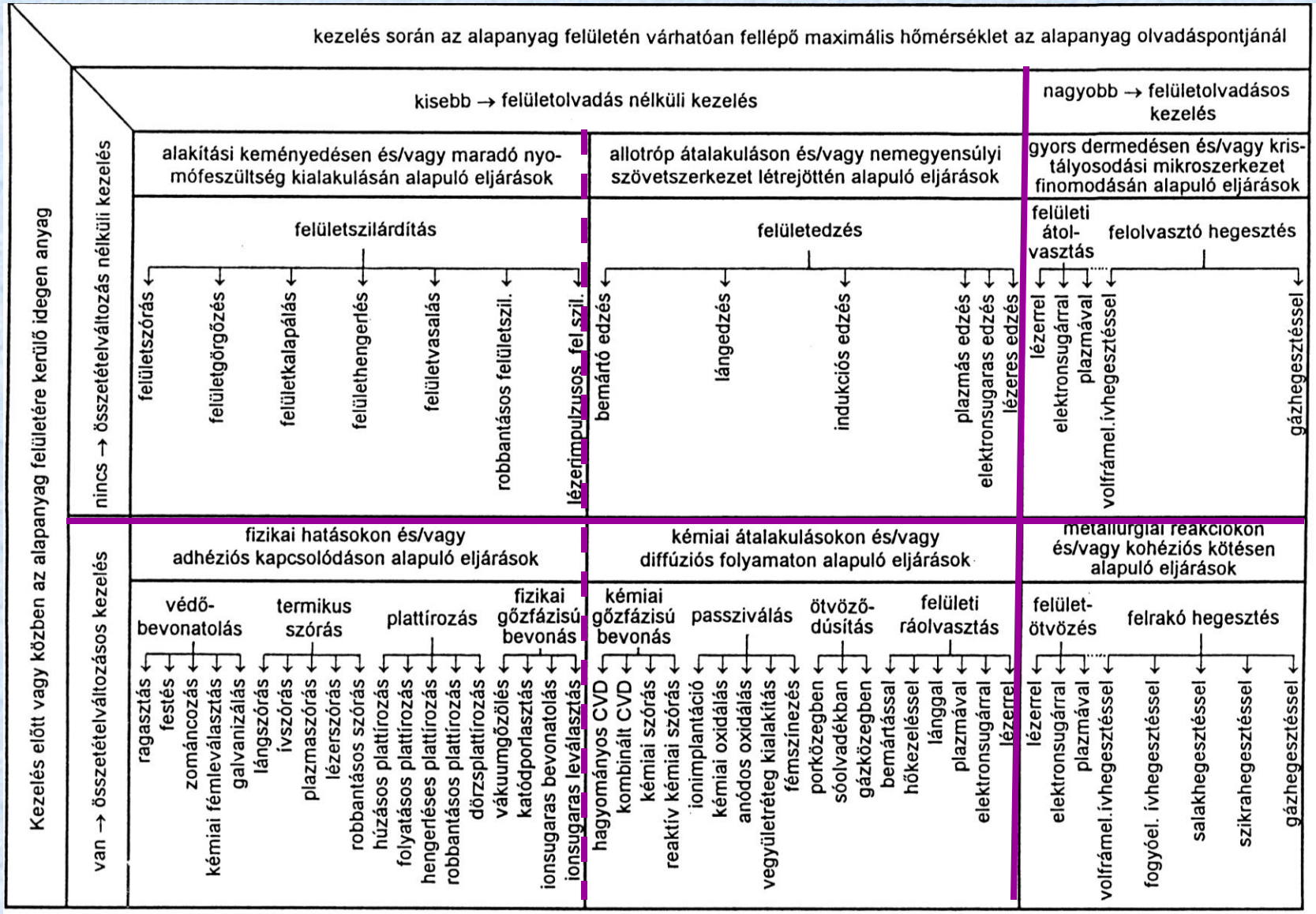
E **szegregációs nemesítés**sel, **vagy kiválásos keményítés**sel elérhető szilárdságnövekmény annál nagyobb, minél kisebb a kiválások távolsága, ugyanis a **szilárdság-növekedés a kiválások diszlokáció-mozgást (alakváltozást) akadályozó hatásának köszönhető**.

Felületkezelés indoka

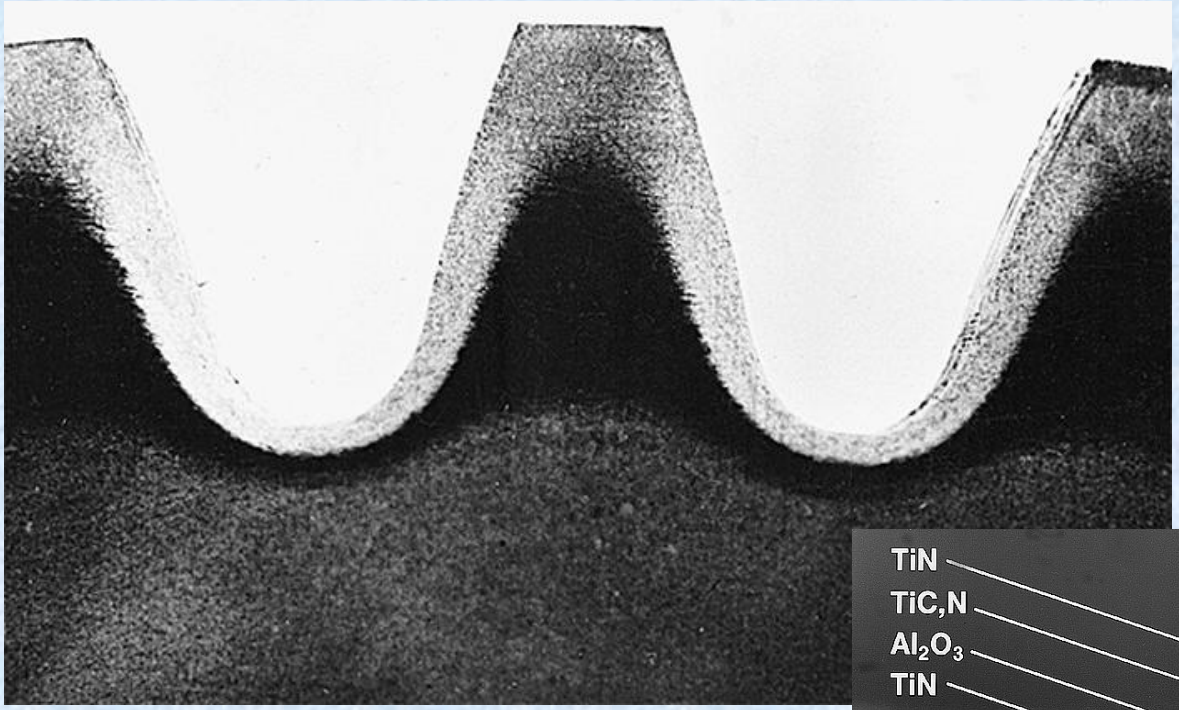
Az alkatrész- és a szerszámgyártás gyakori dilemmája a **két fizikailag ellentétes tulajdonság** (keménység ↔ szívósság) arányának **kompromisszumos** (szilárdságot is mérlegelő) **beállítása**, ami gyakran a **felületkezelés alkalmazását teszi indokolttá**.



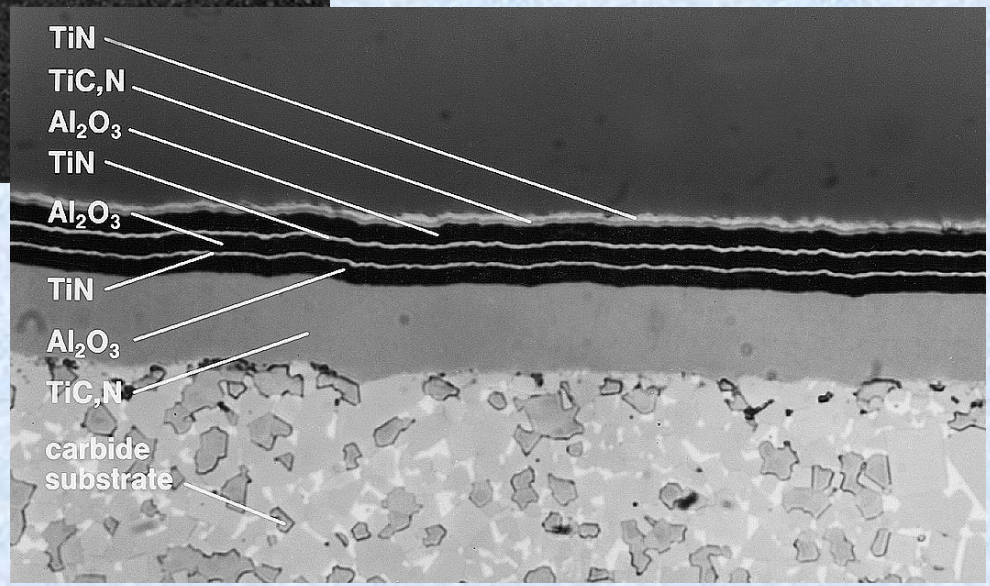
Felületkezelési eljárások



Felületkezelési példák

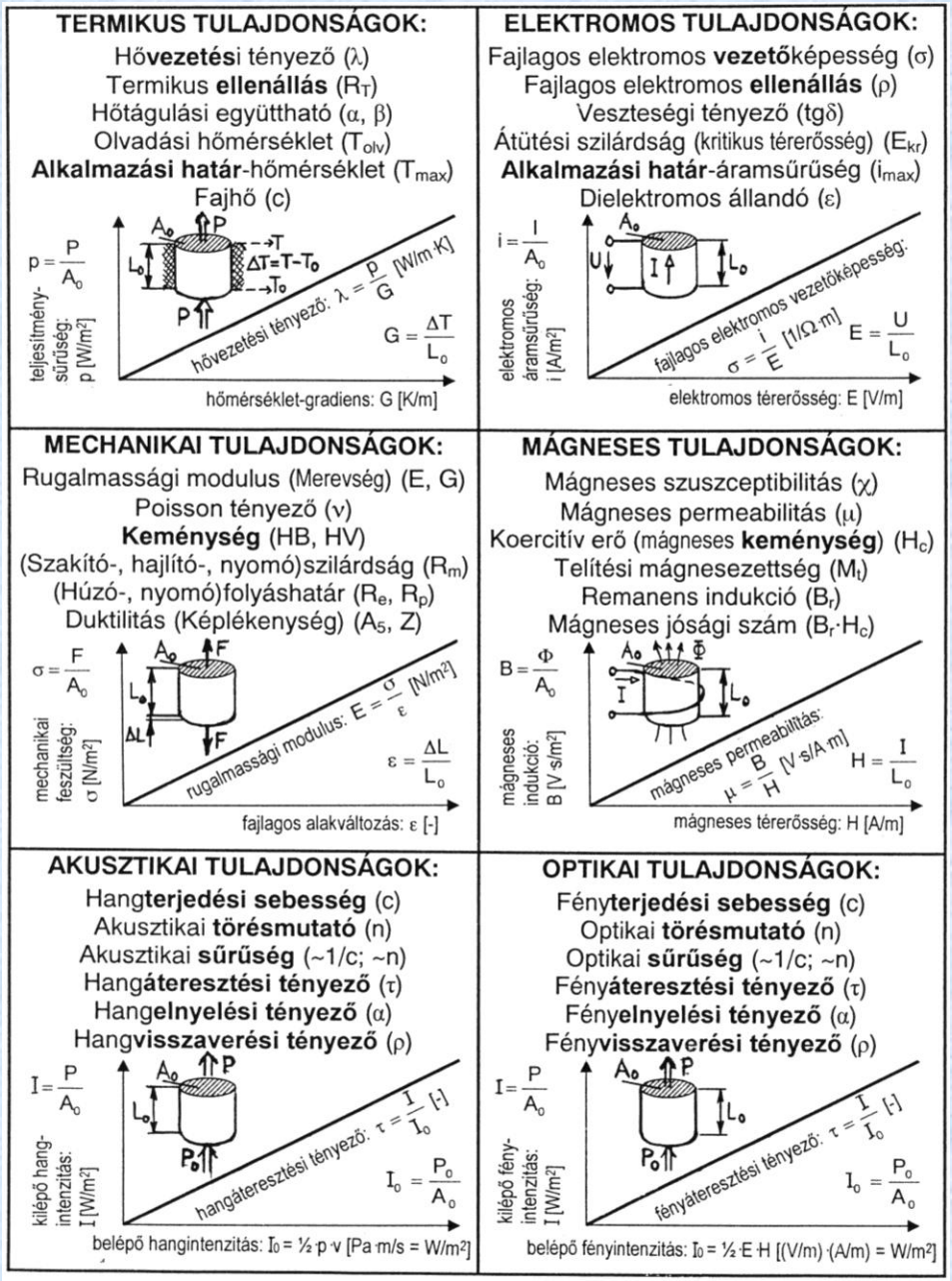


Indukciósan felületedzett fogaskerék



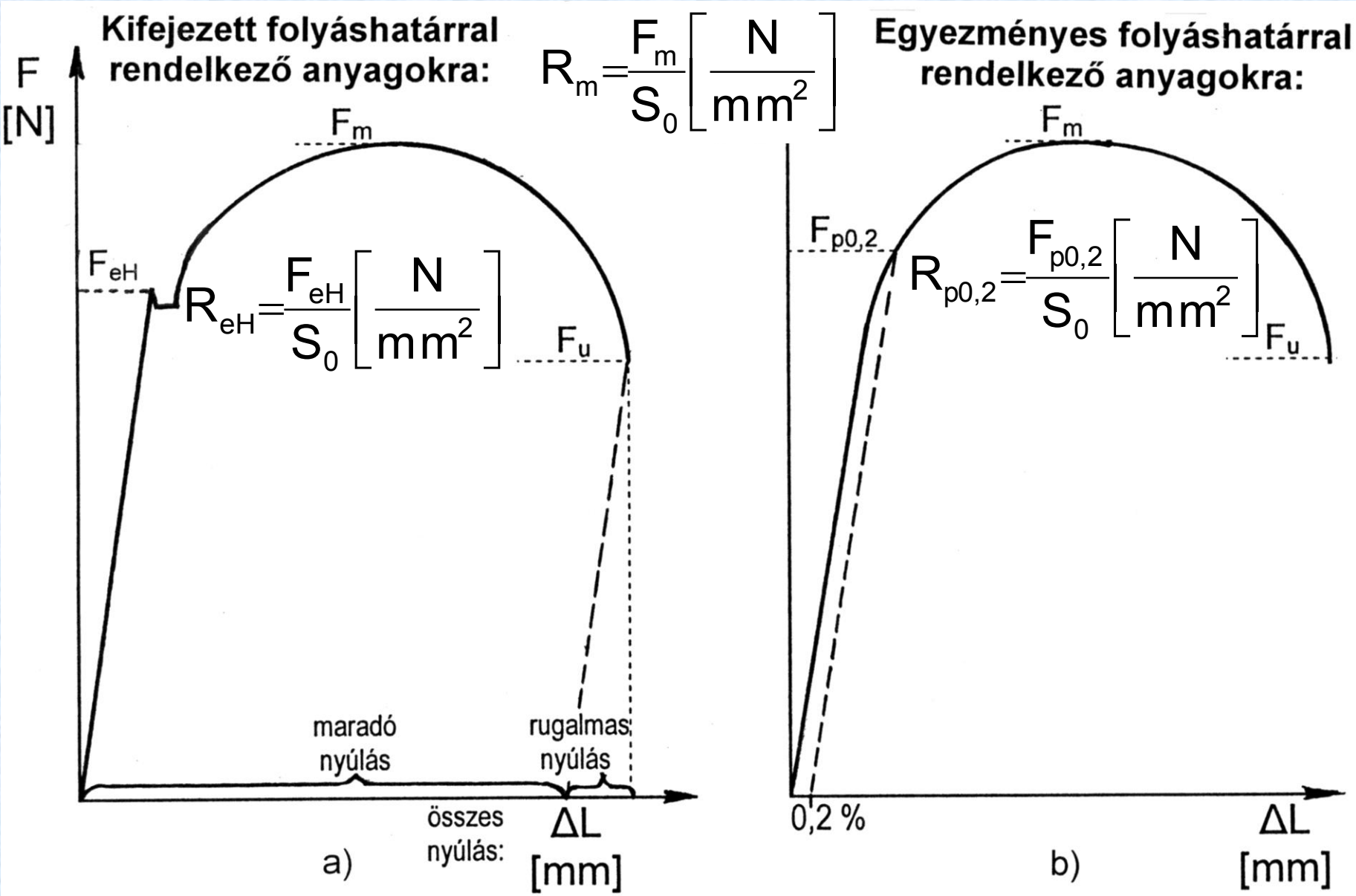
Többfázisú bevonatrendszer keményfém felületén, 2...10 µm rétegvastagságokkal

Anyagok fizikai tulajdonságai



A tervezési (anyagkiválasztási) követelményeket elégítik ki, továbbá lehetőséget adnak összehasonlításra ill. a szabványosítást is szolgálják. Legtöbb esetben ötvözött anyagok előállítására törekszünk, így fontos a szerkezet- és tulajdonság-befolyásoló összetétel ismerete is. Szintén nagy jelentőségű az anyagszerkezetből következő sűrűség is, mely meghatározza a készítendő termék tömegét és lehetőséget ad az anyagkiválasztáshoz, összehasonlításokhoz fajlagos mutatók (pl. szilárdság és sűrűség hányadosaként értelmezett fajlagos szilárdság) számítására.

Fémek „R” szilárdságának értelmezése

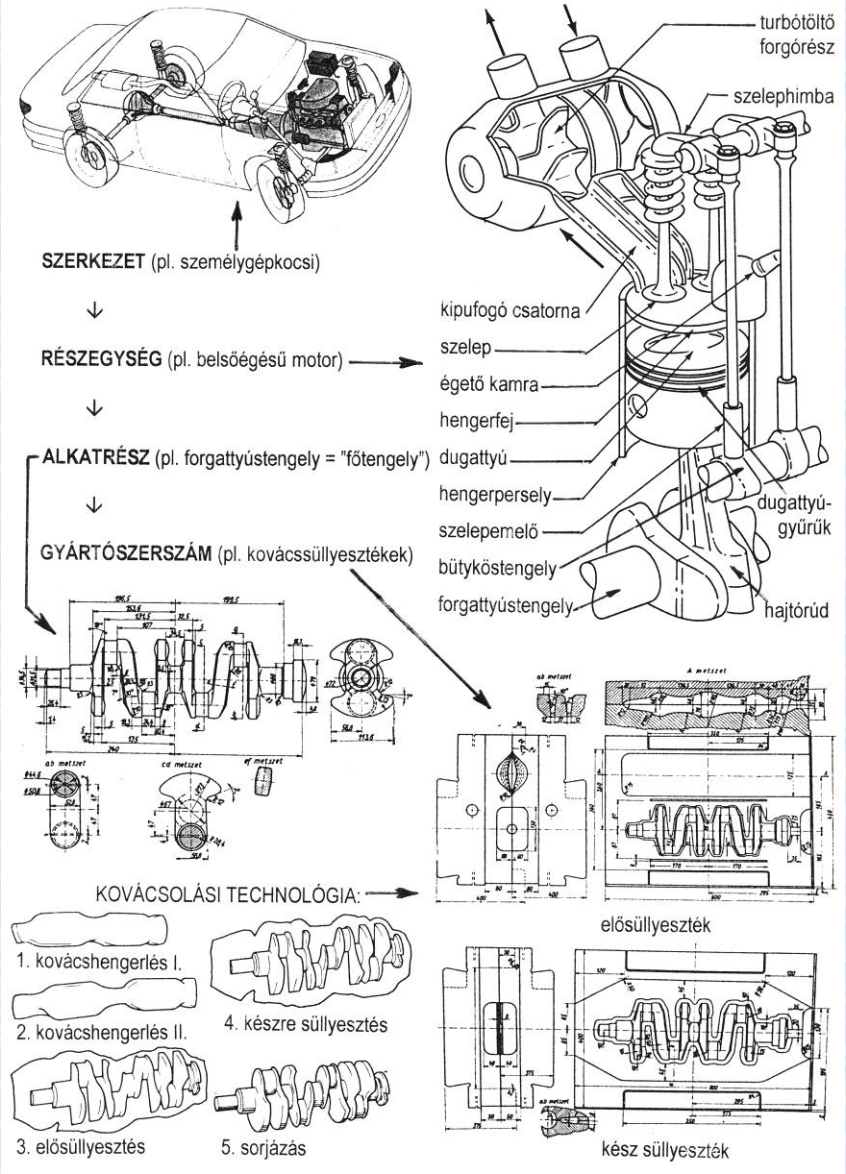


Szerkezeti anyagok tulajdonságainak nagyságrendjei

fizikai mennyiség	mérték-egység	jellemző alsó érték (anyagpéldával)	nagyságrend-különbség	jellemző felső érték (anyagpéldával)
sűrűség	[kg/m^3]	9…12 (melamin hab)	3,4	22450…22600 (ozmium > 99 %)
szakító-szilárdság	[MPa]	0,05…0,10 (Al – SiC hab: 10SiC+10Al_2O_3)	5,4	853,9…11170 (Ti-ßötvözet, duplex öregítés)
szakadási nyúlás	%	0,0036…0,0297 (gyorsacél: 12,4W+5V+5Co+1Mo))	5,6	1210…1400 (kis molekulatömegű PE)
keménység	HV	0,00012…0,00025 (PUR hab: rugalmas, nyitott cellás)	7,9	8000…10000 (gyémánt)
rugalmassági modulus	[GPa]	0,00001…0,00002 (PUR hab: rugalmas, nyitott cellás)	8	900…1000 (gyémánt)
olvadáspont	[°C]	25…30 (gallium > 99,99 %)	2,2	3720…3910 (gyémánt)
hőtágulási együttható	[10^{-6}/°C]	0,04…0,05 (titán-szilikát: 93SiO_2+7TiO_2)	4,4	600…1000 (epiklorohidrin-etilénoxid)
hővezetési tényező	[W/mK]	0,019…0,020 (zárt cellás fenol hab)	4,9	1366…1480 (öntészeti Be-Al-Si-ötvözet)
fajlagos elektro-mos ellenállás	[μΩcm]	1,58…1,62 (ezüst > 99,9 %)	26,8	10^{25}…10^{27} (hőálló polisztirol)
átütési szilárdság	[MV/m]	0,2…0,3 (zártcellás polisztirol hab))	2,6	39,5…79,1 (kálium-aluminoszilikát)

Tervezési szintek

A személygépkocsi - mint önálló **szerkezet** - **több részegységből** (motor, sebességváltó, kormánymű, futómű, karosszéria stb.) épül fel.
Egy-egy ilyen **részegység önálló fejlesztési és gyártási feladat**ot képez, mely **egyedileg megtervezett alkatrészekből** (a gépkocsi motor esetében forgattyústengely vagy "főtengely", hajtórudak, dugattyúk, bütyköstengely vagy "vezértengely", szelepek, hengerperselyek, motorház, stb.) áll.
Például a forgattyús tengely **tervezés**e **során a mérnök figyelembe veszi** az alkatrészre ható **igénybevétel jellegét** (hajlító, csavaró), **módját** (ciklikusan ismétlődő), **nagyságát** (M_h, M_{cs}), a **szerkezetbe való illesztés korlátait** (csapágyazás, hajtórúd csatlakozások, stb.), majd ezek alapján választ anyagot és határozza meg a geometriai méreteket.



Anyagkiválasztási szempontok

TERVEZÉSI SZEMPONTOK:	BIZTONSÁGI SZEMPONTOK:
– Koncepcionális tervezéshez: – komplex anyagjellemzők – anyagszelekciós kártyák – optimalizálási kritériumok – Közelítő tervezéshez: – hatásmátrix módszer – nyomtatott információforrások – on-line és off-line adatbázisok – Konkrét tervezéshez: – végeselemes analízis – anyagvizsgálatok – formatervezés (design)	– Biztonsági tényező: – anyagtulajdonság várható értéke – igénybevétel várható értéke – várható értékek hányadosa – Meghibásodási valószínűség: – anyagtulajdonság szórása – igénybevétel szórása – eloszlásfüggvény értéke – Megbízhatóság: – teherbírás variancia együtthatója – terhelés variancia együtthatója – variancia együtthatók különbsége
SZABVÁNYÜGYI SZEMPONTOK:	**MINŐSÉGÜGYI SZEMPONTOK:**
– Szabványos anyagminőségek: – mechanikai tulajdonságok szerint – kémiai összetétel szerint – félgyártmány alak és méret szerint – Szabványos konstrukciók: – alkatrészek – részegységek – szerkezetek – Szabványos jelölésrendszerek: – MSZ (Magyar Szabvány) – (MSZ) EN (Euronorm) – (MSZ) ISO (International Standard)	– Szervezeti feltételek: – működőképes minőségügyi rendszer – akkreditált beszállítók – üzemalkalmasság, referenciák – Személyi feltételek: – vezetőség egyértelmű hatáskörökkel – megfelelő (szak)személyzet – minőségügyi megbízottak – Tárgyi feltételek: – beszállítói jegyzék – műbizonylat – jelölés, raktározás, kezelés
ÖKOLÓGIAI SZEMPONTOK:	**ÖKONÓMIAI SZEMPONTOK:**
– Energiatartalom: – tömegegységre vonatkoztatva – térfogategységre vonatkoztatva – termékegységre vonatkoztatva – Reciklálási hányad: – mért újrahasznosítási mérték – becsült újrahasznosítási mérték – számított újrahasznosítási mérték – Környezetkonformitás: – biomimetikai kialakítás – biokompatibilitás – környezetszennyezés	– Anyagköltség: – nyersanyag – alapanyag – segédanyag – Feldolgozási költség: – amortizáció (gép, eszköz, épület) – munkabér és járulékai – energia (elektromos, kémiai, hő) – Geológiai, politikai helyzet: – szállítási távolság és lehetőség – hozzáférés, rendelkezésre állás – importkorlátozások

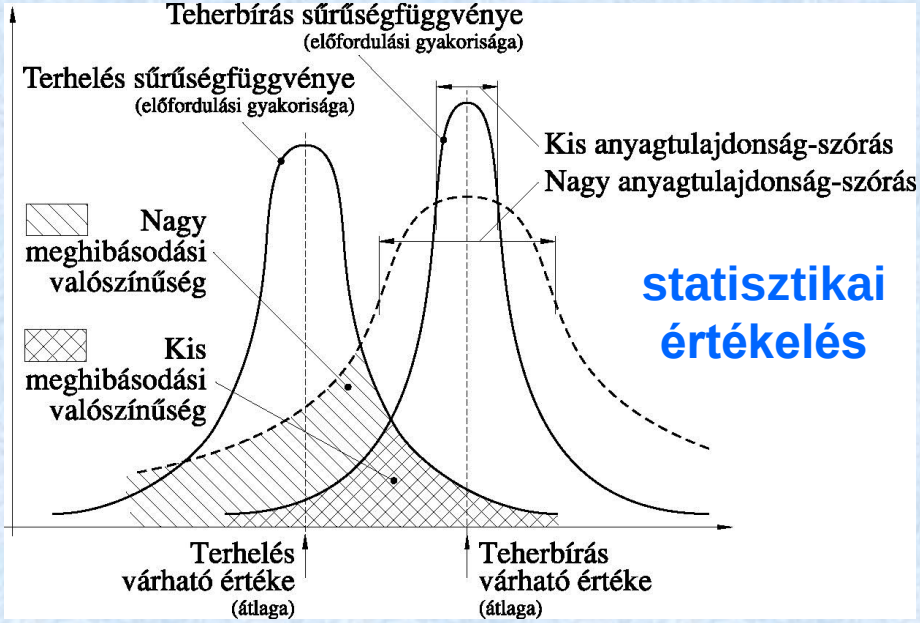
Az anyagkiválasztási szempontok **egyrészt mérnöki (műszaki), másrészt menedzseri (gazdasági) oldal**ról közelíthetők meg.

Ha egy termék **funkció**ját nem, vagy nem a megkövetelt **biztonság**gal, vagy nem az elvárható **élettartam**ig képes ellátni, akkor a gazdaság(osság)i megfelelősége ellenére a piac elutasítására talál.

Egy műszakilag tökéletes termék gyártásának is akkor van értelme, ha annak előállítási **költség**ét vagy a vele elérhető **költség-megtakarítás**t a piac az **ár**ban elismeri, azaz a termék vevőre talál.

Méretezés

$$\text{terhelés} = \text{teherbírás} = \frac{\text{folyáshatár}}{\text{biztonsági tényező}}$$



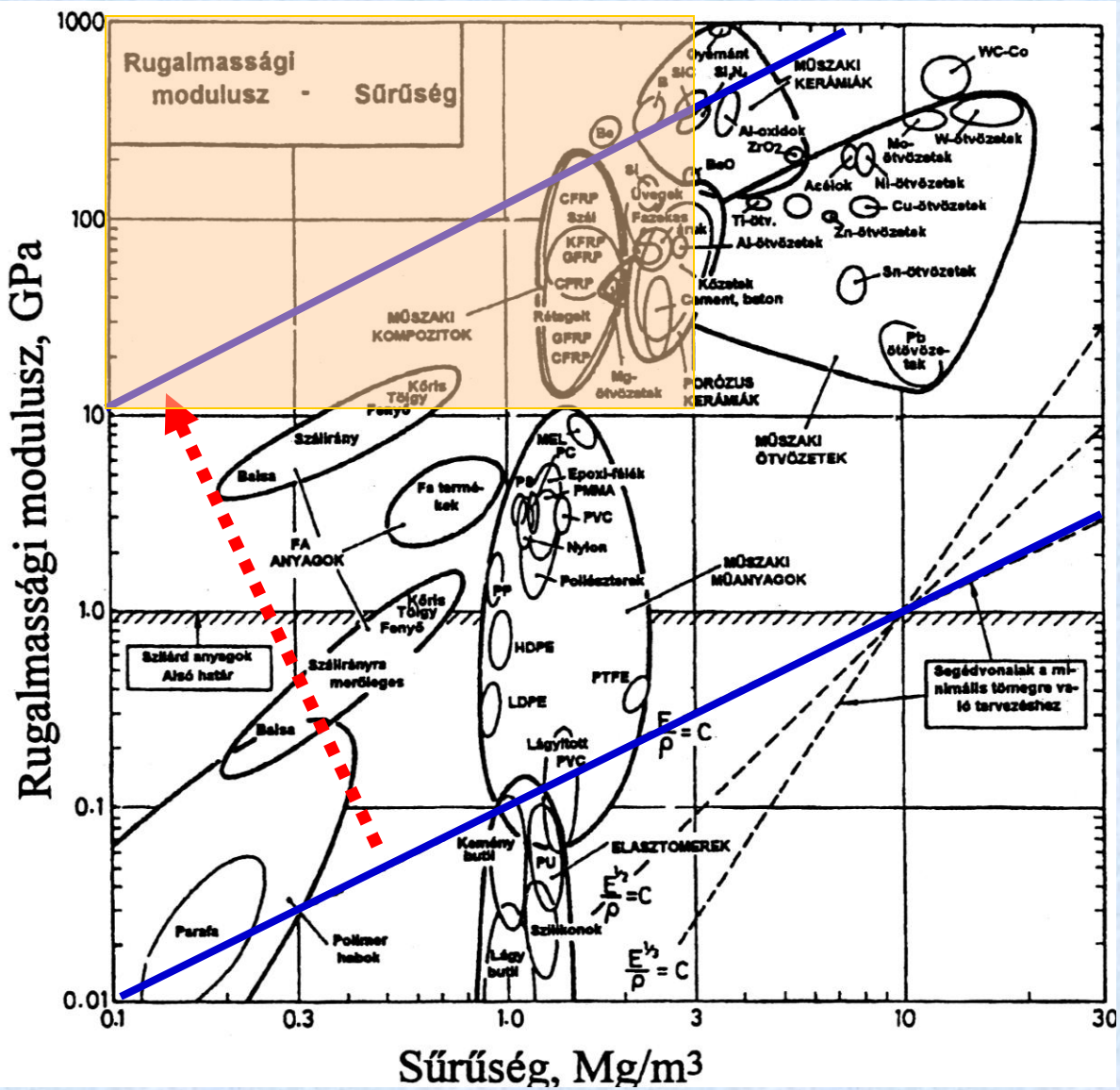
statisztikai értékelés

$$\frac{F_{max}}{A_{szüks.}} = \sigma_{max} = \sigma_{meg} = \frac{R_{eH}}{b}$$

$$A_{szüks.} = \frac{F_{max} \cdot b}{R_{eH}}$$

A „b” biztonsági tényező értéke - és azzal együtt a méretezett alkatrész önsúlya - annál kisebb lehet, minél kisebb az anyagtulajdonság (folyáshatár) szórása, azaz minél egyenletesebb minőségben gyártják a választott alapanyagot ⇒ kis meghibásodási valószínűség.

Anyagszelekciós kártyák



A **komplex anyagjellemzők segítségével**, minden anyagra kiterjedően, ún. **szelekciós kártyák szerkeszthetők**, melyek a komplex jellemzők két tagjának koordináta-rendszerében különböző helyzetű és kiterjedésű foltokként ábrázolják az egyes anyag(csoport)okat.

A szelekciós kártyán átlós, különböző dőlésszögű **egyenesek jelzik az egyes komplex jellemzők konstans értékeit**, vagyis az **egy egyenesre eső anyagok egyenértékűek**. Az egyeneseket önmagukkal párhuzamosan felfelé eltolva a konstans értéke növekszik.

A jellemző megkívánt maximális értéke esetén **optimális(ak) az(ok) az anyagcsoport(ok), melye(ke)t a felfelé eltolt egyenes utoljára metsz** ill. érint.

Lehetőség van a komplex jellemző egyes alkotói szerinti **korlátozó feltételek kijelölésére** is (pl. csak az E>10 GPa, ρ<3 Mg/m^3 feltételeknek megfelelő anyagok vehetők számításba).

Anyagok károsodási formái

rövidebb üzemelés során fellépő, makroszkópikusan lokalizált **károsodási** folyamatok					hosszabb üzemelés során fellépő, makroszkópikusan nem lokalizált | lokalizált **károsodás-felhalmozódási** folyamatok	
tervezési, kivitelezési hibával és/vagy nem rendeltetésszerű használattal összefüggő folyamatok					fizikai elváltozásokkal és/vagy kémiai átalakulásokkal összefüggő folyamatok	folytonossági hiányok keletkezésével és/vagy növekedésével összefüggő folyamatok
rugalmas		**képlékeny**		anyagfolytonosság megszakadása		
nagy deformáció	**instabilitás**	**nagy deformáció**	**instabilitás**		**eológiai károsodás**: kúszás (alakváltozás) relaxáció (feszültségváltozás)	**fáradás**: - kisciklusú ($N_t \leq 10^4$) fáradás - nagyciklusú ($N_t > 10^4$) fáradás
					nelegszilárdság-csökkenés: kilágyulás (terhelhetőség csökken.) megeresztődés (kopásállós. csökk.)	**törés**: - képlékeny (stabil) törés - rideg (instabil) törés
					ridegedés: sugárzásos ridegedés klimatikus ridegedés	**hidegszívósság-csökkenés**: - ütőmunka-csökkenés - átmeneti hőmérséklet növekedése
					kopás adhéziós kopás: - hideghegedéses kopás - meleghegedéses kopás tribokémiai kopás: - kenéstechnikai kopás - illesztéstechnikai kopás	- abrazív kopás: - forgácsoló kopás - erodáló kopás - fáradásos kopás: - pittingképződéses kopás - rétegfelbomlásos kopás
					korrózió felületi korrózió: - passziváló korrózió - egyenletes korrózió anyagon belüli korrózió: - szelektív korrózió - általános korrózió	- behatoló korrózió: - lyukkorrózió - feszültségkorrózió - anyagok közötti korrózió: - réskorrózió - kontaktkorrózió
					hőkárosodás oxidáció gyulladás	- termikus fáradás - hősokk
					biokárosodás lebomlás (vegyhatásos károsodás)	- elfogyás (rágásos károsodás)
beszorulás	kihajlás	megfolyás	kontrakció	törés		

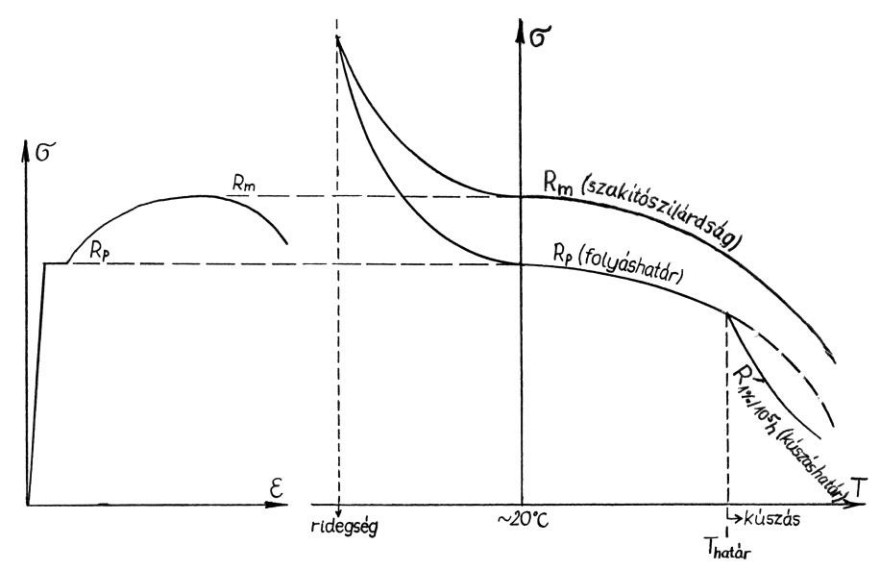
Üzemeltetés során elhasználódási, károsodási folyamatok indulnak meg, melyek a gyártmány, termék **élettartam**át befolyásoló **alak-, méret-, ill. szerkezet- és tulajdonságváltozások**at okoznak.

Az üzemeltetés **tárgyi és személyi feltételei**től egyaránt függ, hogy ezek a változások mikor (a tervezett élettartamon belül vagy kívül) érik-e el a kritikus (használhatóságot megkérdőjelező) értéket.

A termék anyagát érő **mechanikai-, termikus-, vegyi-, biológiai-, elektromos-, mágneses-, sugár- és hanghatások, igénybevételek** által kiváltott elhasználódási formák közül:

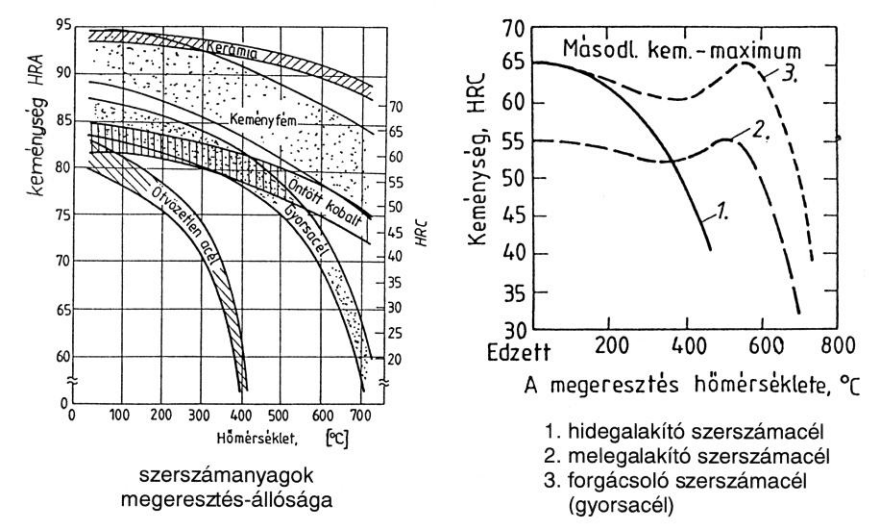
- a rövid üzemelés során fellépő **károsodási folyamatok** nem lehetnek meghatározók egyetlen termék esetében sem, ezek megelőzése alapvető tervezési, gyártási, üzemeltetési és ellenőrzési (állapotfelügyeleti) feladat.
- a hosszabb üzemelés során fellép(het)ő **károsodás-felhalmozódási folyamatok** érint(het)ik a termék anyagának egészét (nem lokalizáltak), vagy egy résztartományát (lokalizáltak), miközben a biztonságos üzemeltetés szempontjából eredetileg helyesen megválasztott anyagtulajdonságok megváltoz(hat)nak.

Melegszilárdság és megeresztésállóság



A folyáshatár változását a hőmérséklet függvényében tekintve látható, hogy az csökken a hőmérséklet emelkedésével. Ezért a tartósan nagy(obb) hőfokon üzemelő gyártmányok tervezésénél az adott hőmérsékleten érvényes **melegszilárdság**gal (melegfolyáshatárral) kell számolni.

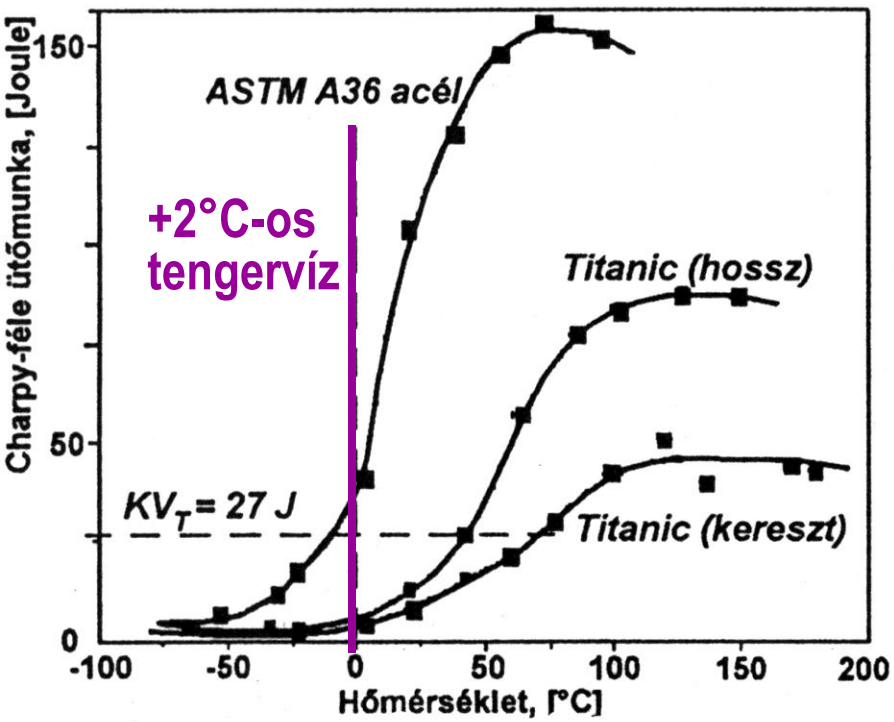
A **megeresztésállóság** a hőmérsékletváltozás (növekedés) következtében létrejövő – **szövetszerkezeti átalakulás** és/vagy **összetétel-módosulás miatti – kopásállóság-változás mértéké**t (melegkopás-állóságot) jellemzi. Az ún. megeresztési görbében a **keménység** (rendszerint HV vagy HRC) **változása fejezi ki** a kopásállóság változását. Egyes nemesíthető (szerszám-) acélokban a megeresztés hatására kiváló **szekunder karbidok** egy jellegzetes **keménység-maximum**ot eredményeznek az 500…600 °C-os hőmérséklet-tartományban, ami lehetővé teszi ilyen maximális hőmérsékleten való tartós alkalmazásukat.

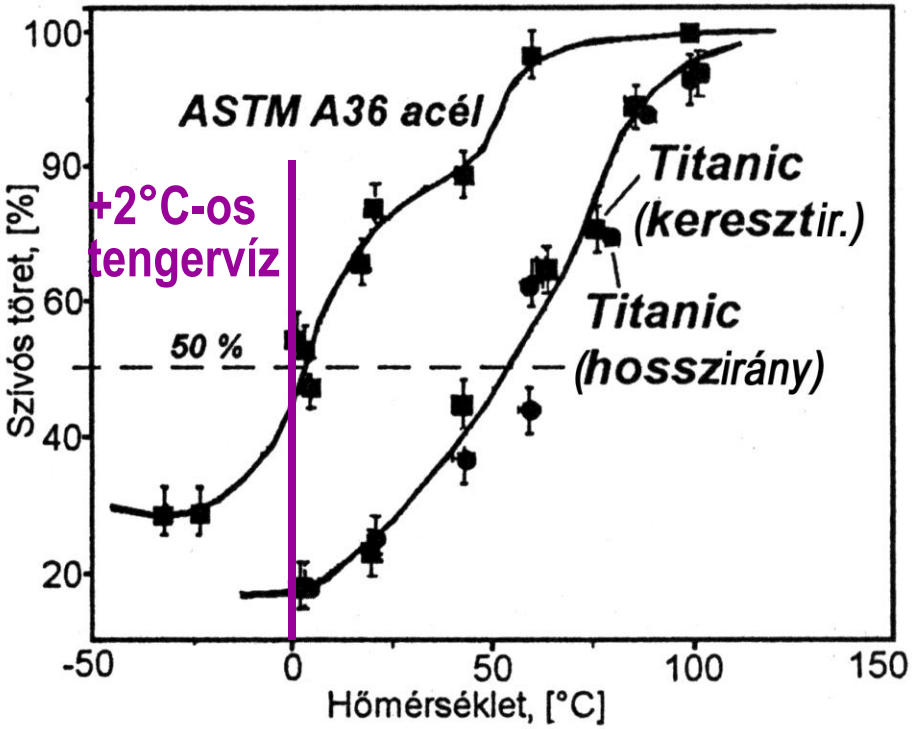


szerszámanyagok megeresztés-állósága

1. hidegalakító szerszámacél
2. melegalakító szerszámacél
3. forgácsoló szerszámacél (gyorsacél)

Hidegszívósság és ridegtörési hajlam: „Ami a Titanic című filmből kimaradt!” (hajólemezre vonatkozó vizsgálati eredmények)





A White Star Line társaság 1912. április 14. éjjelén elsüllyedt, 46300 tonnás, Titanic nevű óceánjáró hajója anyagának 1996-ban végzett vizsgálatai alapján: az Atlanti-óceán jéghegy által lehűtött vizében nagy volt a ridegtörési hajlam

Különleges acélok

A **hidegszívós acélok** nagyon alacsony hőmérsékleten (pl. -195 °C-on) sem válnak rideggé, törékennyé.

A **melegszilárd acélok** igen nagy (pl. 500 °C-os) hőmérsékleten sem vesztik el teherbíró képességüket.

A **melegalakító szerszámacélok**ban és a **gyorsacélok**ban (nagysebességű forgácsolásra alkalmas, nagy élhőmérsékletet is kibíró szerszámacélokban) a megeresztés hatására kiváló szekunder karbidok egy jellegzetes keménység-maximumot eredményeznek az 500…600 °C-os hőmérséklettartományban, ami lehetővé teszi ilyen maximális hőmérsékleten való tartós alkalmazásukat.

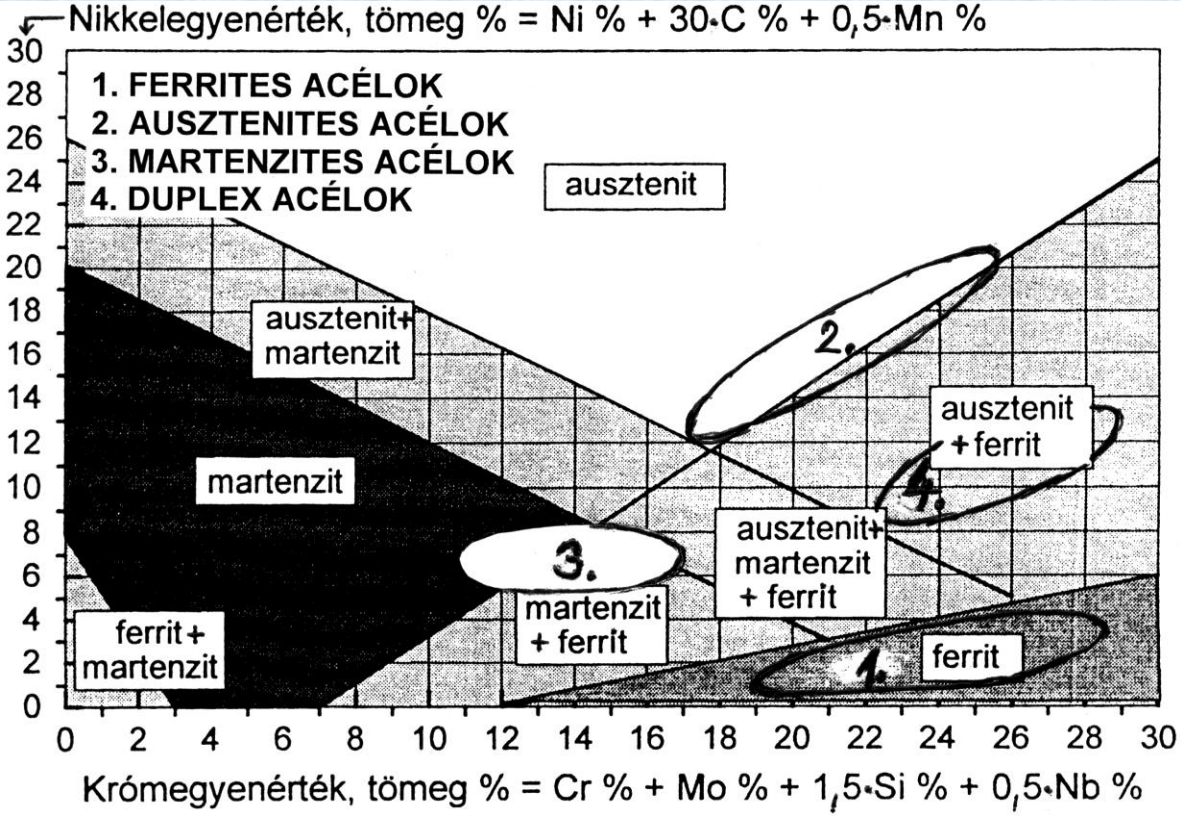
A **Hadfield-acél**ban a 13% körüli Mn- és 1,2% C-tartalom ausztenites szerkezetet eredményez, amelyben az 1100 °C körüli izzítással a szekunder cementit oldatba vihető, és gyors hűtéssel ez az állapot befagyasztható. Ez a szívós anyag ütve-koptató (dinamikus) igénybevétel hatására felkeményedik, martenzitessé válik.

A **hidrogénnyomás-álló acélok**ban erős karbidképzőkhöz (Cr, Mo, V) kötik karbont, hogy ezt a karbidfázist a kis atomátmérőjű hidrogén nehez(ebb)en tudja bontani.

A gyakorlatilag karbonmentes ($C \leq 0{,}03\%$) ún. **maraging** (martenzites öregedő) **acélok** nemesítésénél a Ni, Co, Mo, Al és Ti ötvözés hatására nem karbonnal túltelített martenzit, hanem intermetalloid vegyületfázisok (pl. ún. nikkelmartenzit) jönnek létre, minek révén igen nagy szilárdság is elérhető.

Korrózióálló acélok

A vasnak a krómmal és a nikkellel alkotott szilárd oldatai közé tartoznak a **korrózióálló (rozsdamentes, INOX, STAINLESS)**, a **saválló** és a **hőálló acélok**. A korrózióállóság biztosításához nagy tisztaság (szennyező elemektől való mentesség, finomszemcsés állapot, **homogén szövetszerkezet** (ausztenites, ferrites) és az ún. **rezisztenciahatárok által megszabott passziváló ötvöző mennyiség** (pl. min. 12% Cr , vagy 18% Cr + 8% Ni = 18/8) adagolása szükséges, nagyon **alacsony C-tartalom** mellett).



Schäeffler-diagram

A **Schäeffler-diagram**ból kiválaszthatók a megfelelő összetételű ötvözetek ill. ezek hegesztéséhez szükséges hozaganyagok is.

A diagram használatához az ún. **ferritképző ötvözök** (Cr, Mo, Si, Nb) **Cr-egyenértéké**t ill. az ún. **ausztenitképző ötvözők** (Ni, C, Mn) **Ni-egyenértéké**t kell alapul venni.

Szabványos acéljelölési rendszer

Az európai normákhoz (*E*uro*N*orm) igazodó **MSZ EN jelölésrendszer**ben:

- az egyik csoportot (főként ötvözetlen acélokat) tulajdonságaikra, ill. felhasználásukra utaló - nem magyar szóból származó - betűvel jelölik, kiegészítve valamilyen fizikai tulajdonságadattal.
- a másik csoportot (elsősorban ötvözött acélokat) a kémiai összetételükkel jelölik.

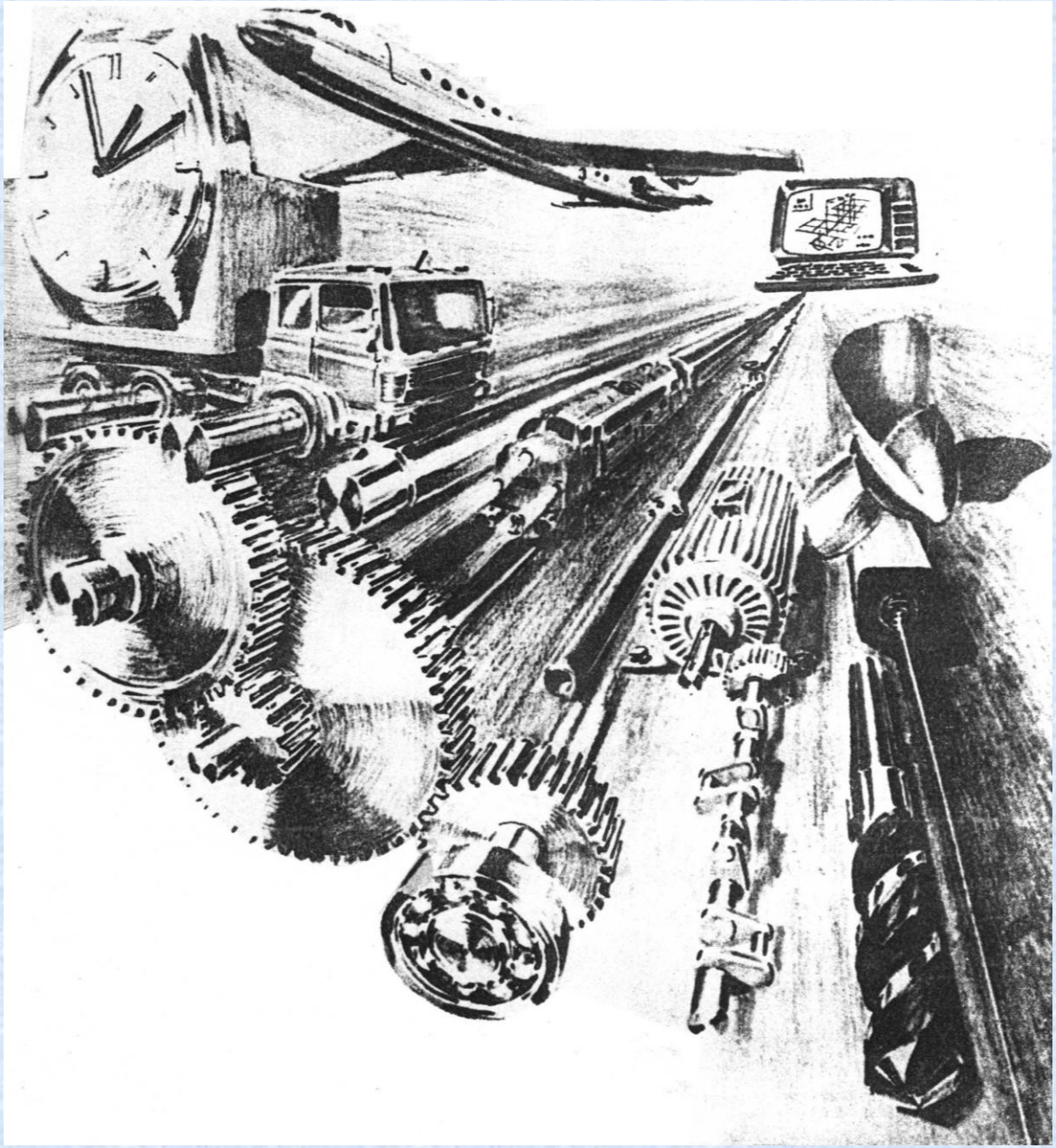
Acélok jelölése mechanikai (vagy fizikai) tulajdonságaik és felhasználásuk szerint (MSZ EN szerinti jelölés)		Acélminőségek jelének szerkezete (acélkód által tartalmazott jelek* sorrendben)							vonatkozó szabvány száma: MSZ EN..
		vezérjel**	szilárdsági jellemző [N/mm²]	keménységi jellemző	elektrotechnikai jellemző [W/kg]	méretjellemző [mm]	kiegészítő jel	jelölési példák a vonatkozó szabványból	
szerkezeti acél		S	$R_{e\,min}$ 1)				ütőmunkára (J□, K□, L□)6), csillapításra (G□) 7), alkalmazhatóságra, állapotra	S355K2G4	10025
acél nyomástartó felhasználásra		P						P690QL2	10028
acél csővezetékekhez		L						L360GA	10208
gépacél		E						E335GC	10025
betonacél		B						B500H	10080
acél előfeszített betonszerkezetekhez		Y	$R_{m\,min}$ 2)						
sínacél		R							
hidegen hengerelt lapos termék nagy szilárdságú acélból hideghúzásra		H	$R_{e\,min}$ 1) vagy $R_{m\,min}$ 2)					H260, H420	10149
lapos termék hidegalakításra	hidegen hengerelt termék céljára	DC					(B, C, D, E, F, H, L, M, N, O, P, Q, R, S, T, X, W) 8)	DC01, DC06	10130
	melegen hengerelt termék céljára közvetlen hidegalakításhoz	DD						DD11, DD14	10111
	elő nem írt hengerelt állapotú termék céljára	DX						DX51D+Z, DX54D+Z	10142 10215
ónozott termék (acél csomagolótermék)	egyszeresen hengerelt	T		HR30$T_{m\,köz}$ 3)			stb. utaló jelölés	T50, T52, T61	10203
	kétszeresen hengerelt		$R_{e\,min}$ 1)						
elektrotechnikai acél		M			100 · $P_{W/s/50Hz}$ 4) - 100 · s 5)		A, B, E, 9) N, S, P		

* egyéb előírás hiányában egybeírandók
** ha az acélminőség acélöntvény formájában van előírva, akkor megelőzi a G kezdőjel
1) folyáshatár előírt legkisebb (vagy jellemző) értéke, mely jelenthet felső (R_{eH}), alsó (R_{eL}), egyezményes ($R_{p0,2}$) vagy névleges (R_t) folyáshatárt
2) szakítószilárdság előírt legkisebb (vagy jellemző) értéke
3) Rockwell-C keménység előírt legkisebb (vagy jellemző) értéke
4) wattveszteség [W/kg] előírt értéke megfelelő névleges termékvastagságra vonatkoztatva 50 Hz frekvencián
5) termékvastagság [mm]
6) J□ = 27 J, K□ = 40 J, L□ = 60 J ütőmunka □ = R = +20ºC, □ = O = 0ºC, □ = 2 = -20ºC, □ = 3 = -30ºC, □ = 4 = -40ºC, □ = 5 = -50ºC, □ = 6 = -60ºC hőmérsékleten
7) G1 = FU = csillapítatlan, G2 = FN = csillapított, G3 = G4 = FF = teljesen csillapított acél
8) pl. H = nagy hőmérsékletre, L = kis hőmérsékletre, M = termomechanikusan kezelt, N = normalizált, Q = nemesített, T = csőgyártásra, X = nagy és kis hőmérsékletre, W = időjárásálló
9) elektrotechnikai acél típusát jelelő betű: A - nem irányított szemcsézetű, B - ötvözetlen félkész (végső hőkezelés nélküli), E - ötvözött félkész (végső hőkezelés nélküli), N - szokványos irányított szemcsézetű, S - kis veszteségű irányított szemcsézetű, P - nagy permeabilitású irányított szemcsézetű termékek

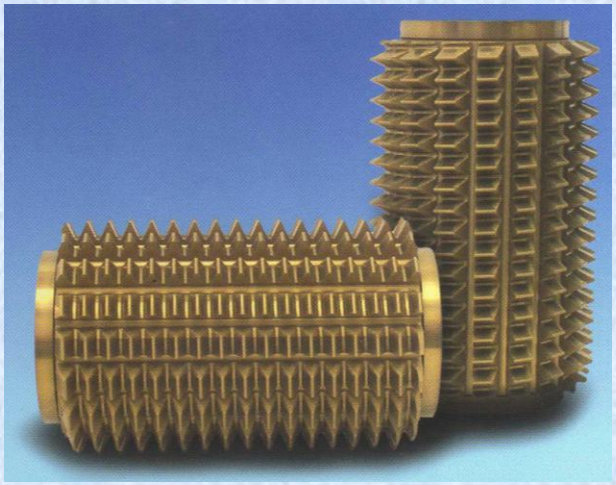
Acélok jelölése kémiai összetételük szerint (MSZ EN szerinti jelölés)		Acélminőségek jelének szerkezete (acélkód által tartalmazott jelek* sorrendben)						vonatkozó szabvány száma: MSZ EN .
		betűjel **	karbontartalmat jelentő szám	ötvözőelemek vegyjelei	ötvözőelemek tartalmát jelentő számok **kötőjellel** elválasztva	kiegészítő jel	jelölési példák a vonatkozó szabványból	
ötvözetlen acélok (Carbon steels) (kivéve: ötvözetlen automata acélok)	ha Mn-tartalom középértéke < 1%	C	előírt karbontartalom középértékének			kéntartalomra (E, R ill. S); előírt edzhetőségre (H) utaló betű	C10E, C15R, C16E C22, C45E, C60R	10084 10083
ötvözetlen acélok	ha Mn-tartalom középértéke ≥1%			acélt jellemző ötvözőelemek vegyjelei**** az ötvözőelemtartalom	acélt jellemző ötvözőelem-tartalom középértékei megszorozva: ⇒ Co, Cr, Mn, Ni, Si, W esetében 4-gyel; ⇒ Al, Be, Cu, Mo, Nb, Pb, Ta, Ti, V, Zr esetében 10-zel; ⇒ N, P, S esetében 100-zal; ⇒ B esetében 1000-rel és kerekítve a közelebbi egész számra		17CrNiMo6 28Mn6 67SiCr5 45WCrV7 9SMnPb28 16MnCr5 36NiCrMo16 50CrV4H 55NiCrMoV6 45SPb20	10084 10083 17222 17350 1651 10084 10083 17222 17350 1651
ötvözetlen automata acélok								
ötvözött acélok (kivéve: gyorsacélok)	ha minden ötvözőelem tartalma < 5%							
ötvözött acélok (kivéve: gyorsacélok)	ha bármely ötvözőelem tartalma ≥ 5%	X	százszorosa***	csökkenő sorrendben	acélt jellemző ötvözőelemek tartalmának középértékei kerekítve a közelebbi egész számra		X155CrVMo12-1 X2CrNiMoCuN25 X6NiCrSiNCe35-25	17350 10088 10095
gyorsacélok (High Speed steels)		HS			sorrendben: W-, Mo-, V- és Co-tartalom középértéke kerekítve a közelebbi egész számra (Cr=4%)		HS10-4-4-10 HS2-10-10-8 HS7-4-3-5	EN ISO 4957

* egyéb előírás hiányában egybeírandók
** ha az acélminőség acélöntvény formájában van előírva, akkor megelőzi a G kezdőjel
*** ha a karbontartalom értéke azonos két (vagy több) acélminőség esetében, akkor a megkülönböztetés érdekében egy egységgel növelhető vagy csökkenthető a számérték
**** ha az ötvözőtartalom értéke azonos két (vagy több) ötvözőelem esetében, akkor alfabetikus sorrendben írandók

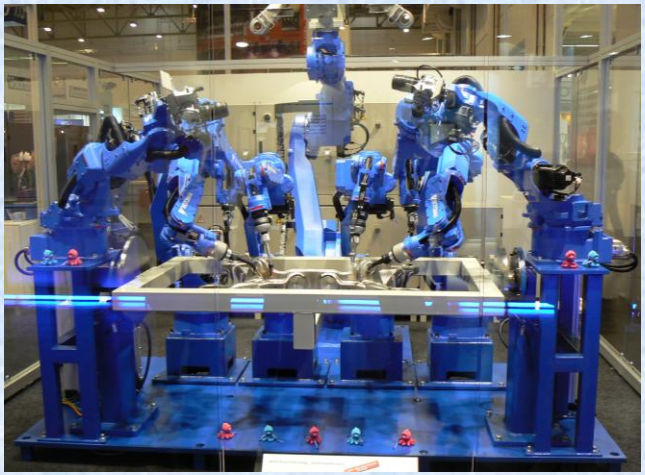
FÉMEK ALKALMAZÁSI PÉLDÁI



belsőégésű motor



fogazó marószerszám



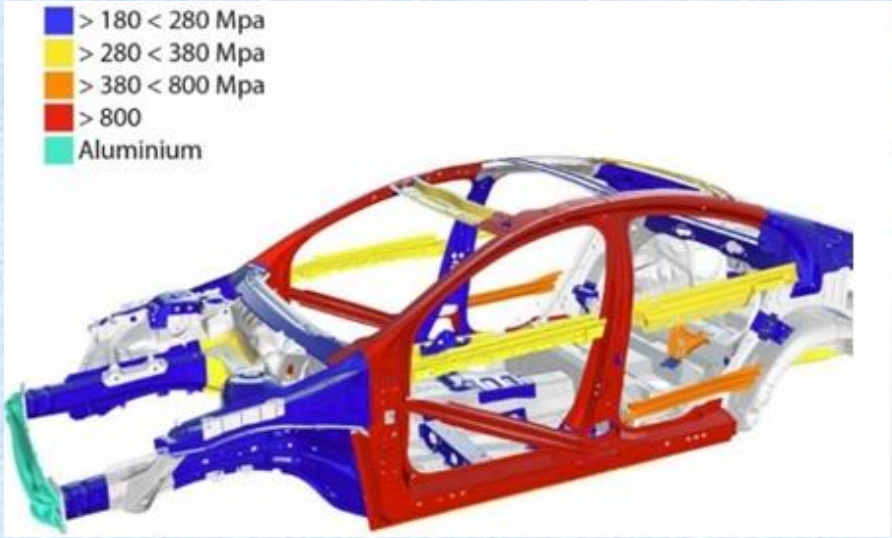
ipari robotok

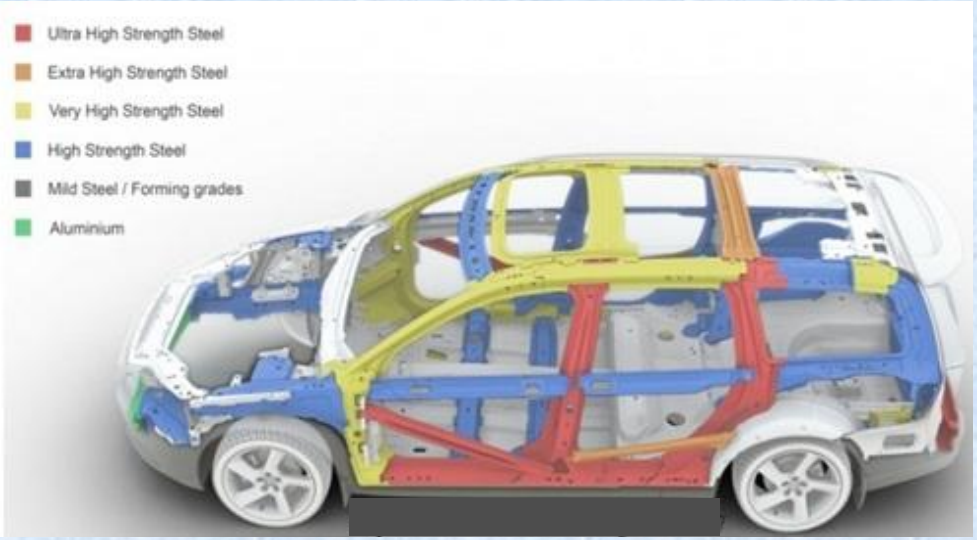
golyóscsapágyak

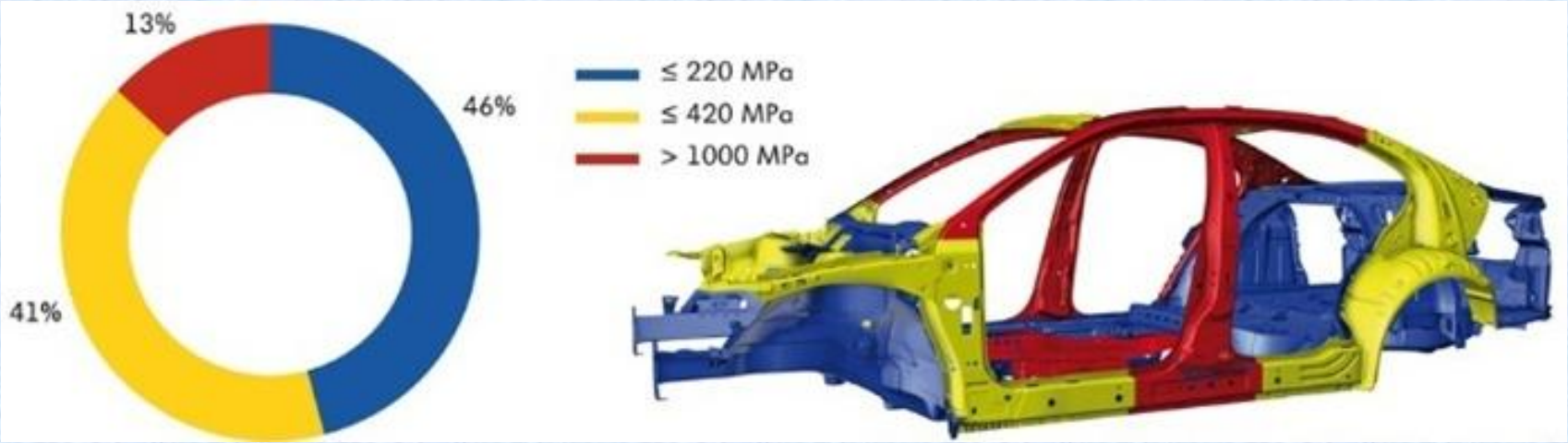
repülés- és űrtechnika

turbina járókerék

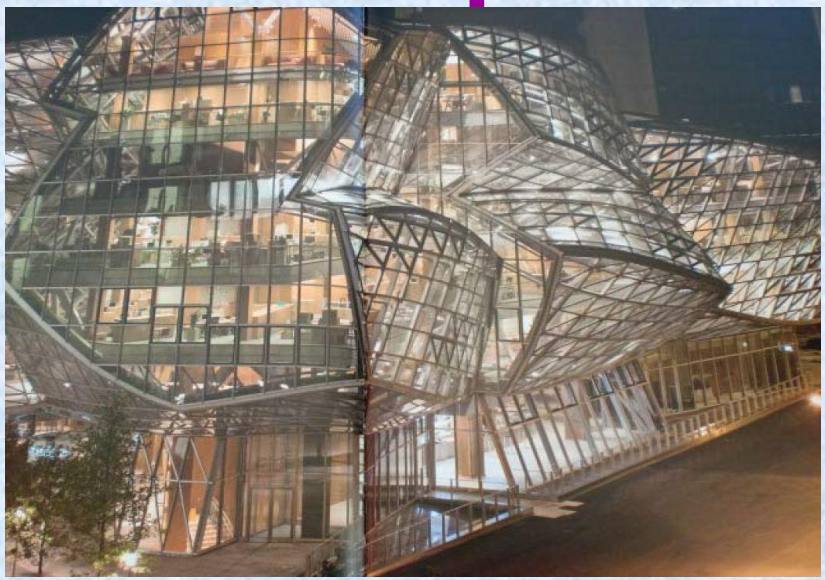
Nagyszilárdságú acélok és könnyű alumínium az autógyártásban



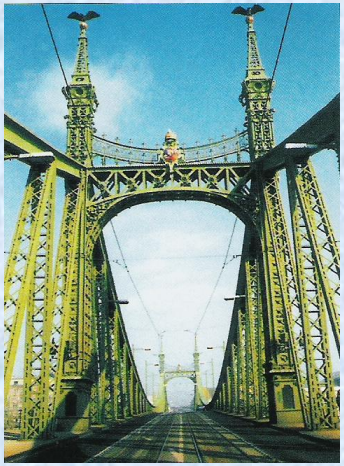


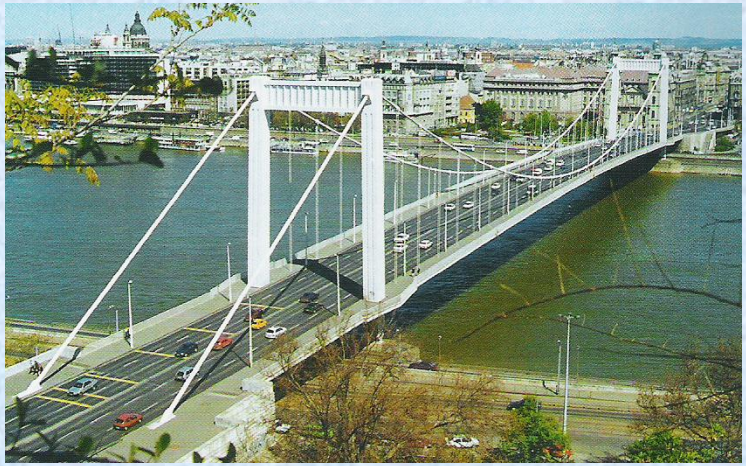


Épületszerkezetek

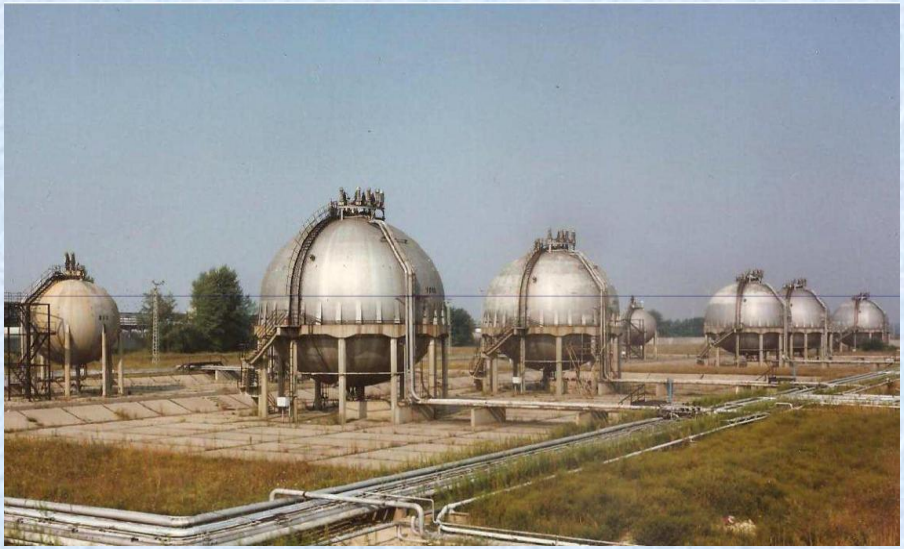


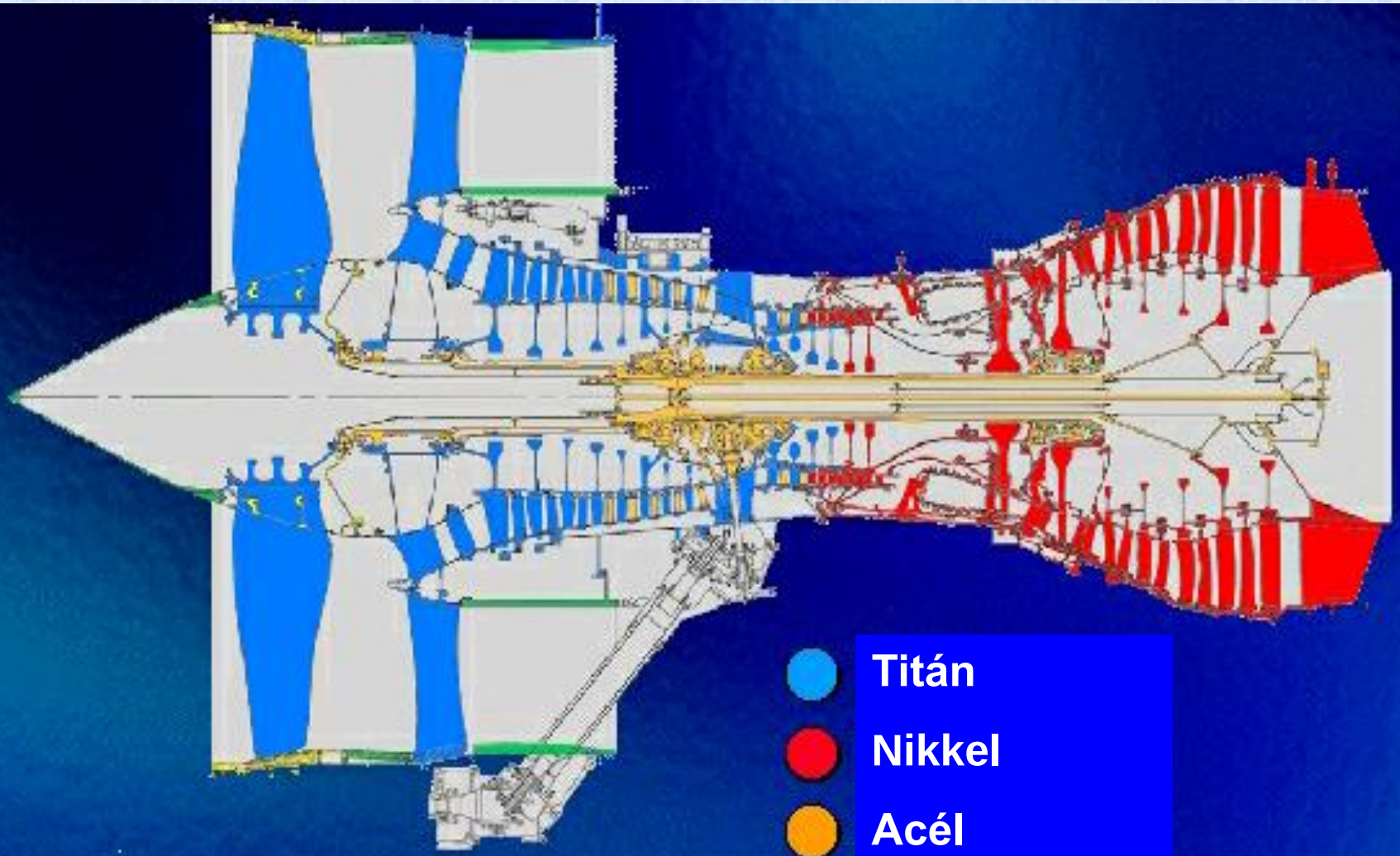
Hídszerkezetek





Ipari szerkezetek





Titán

Nikkel

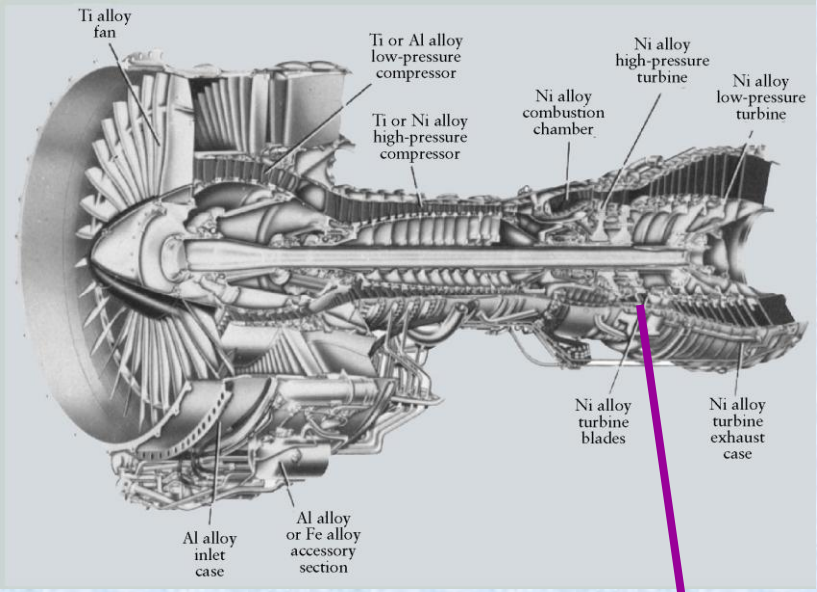
Acél

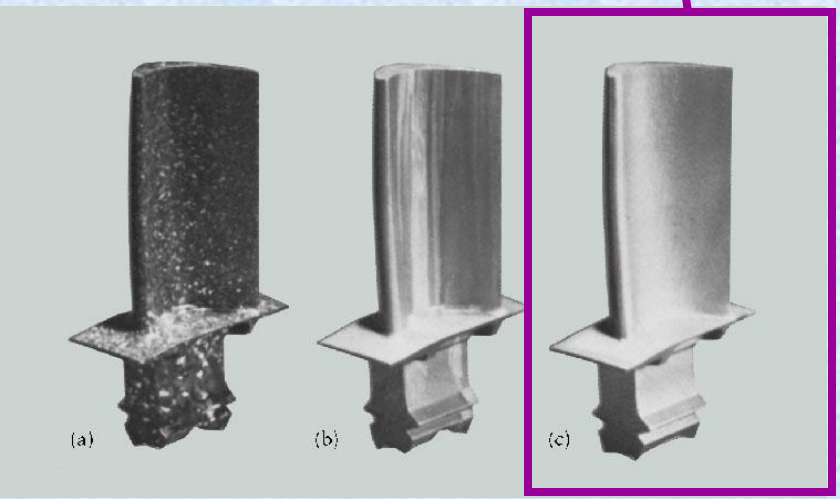
Alumínium

Kompozitok

Sugárhajtómű

Egykristályos fém sugárhajtóműben





Nikkelötvözetből készített **turbinalapát**:

a) hagyományosan öntött polikristályos

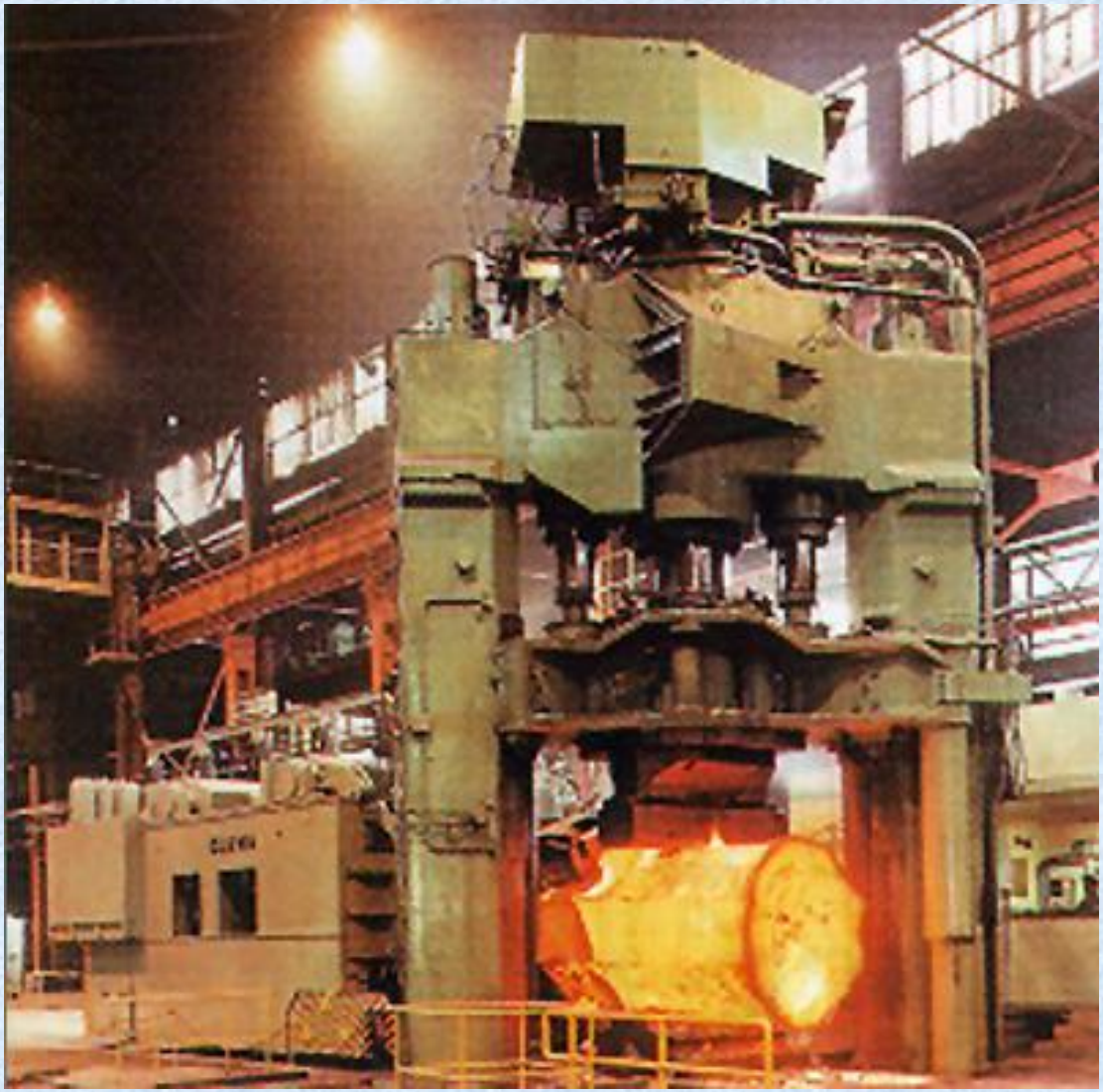
b) irányítottan dermeszett oszlopos polikristályos

c) monokristályos

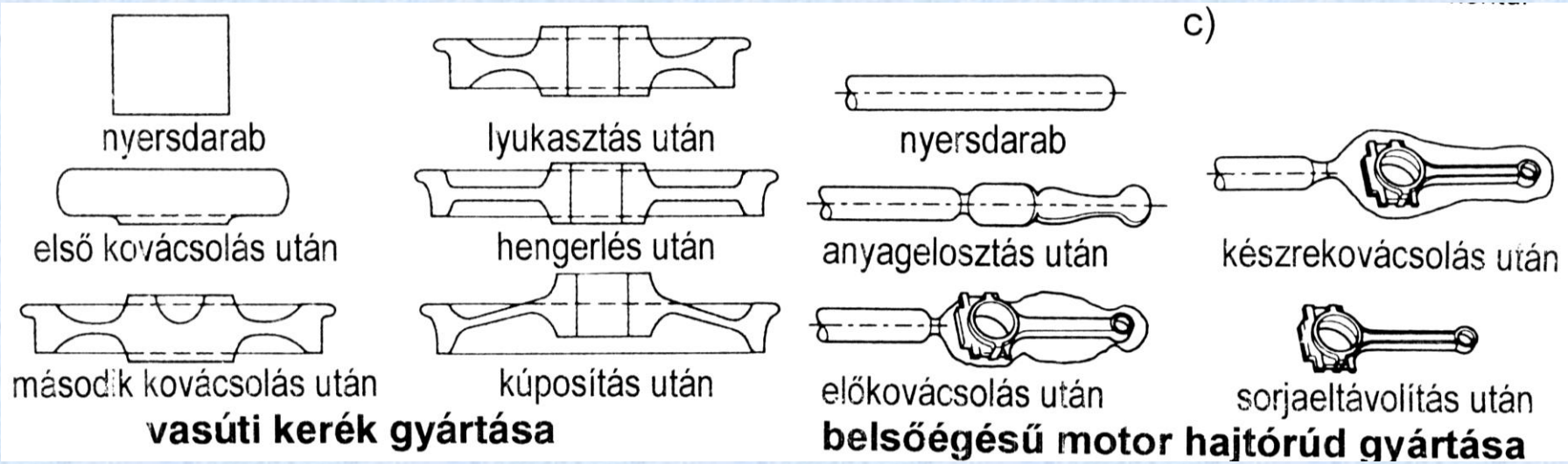
Porkohászati termékek

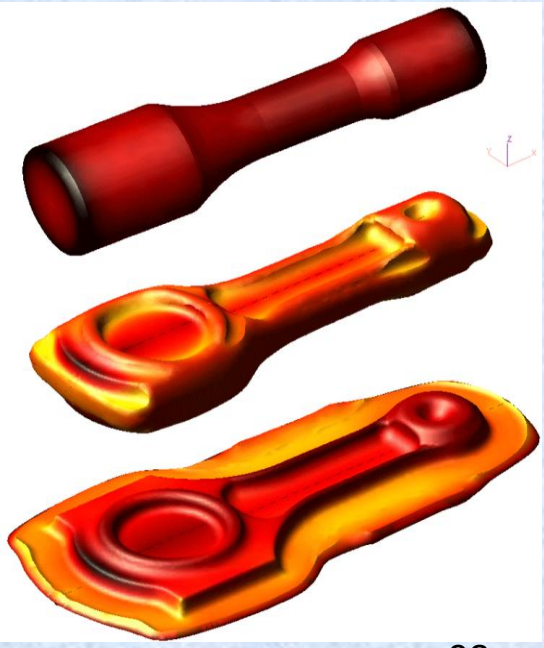
Fröccsöntő szerszám

Szabadalakítva kovácsolt darabok

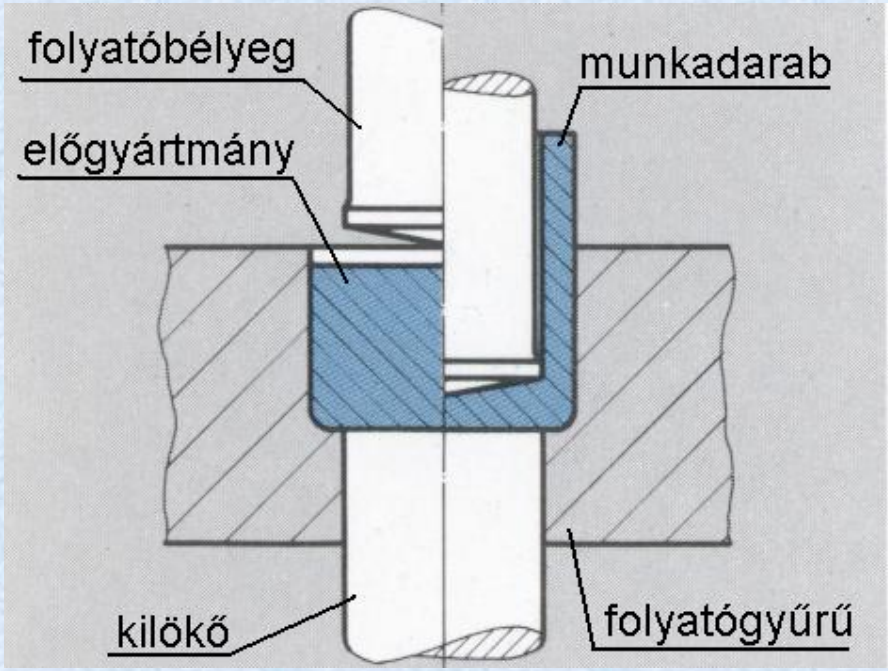


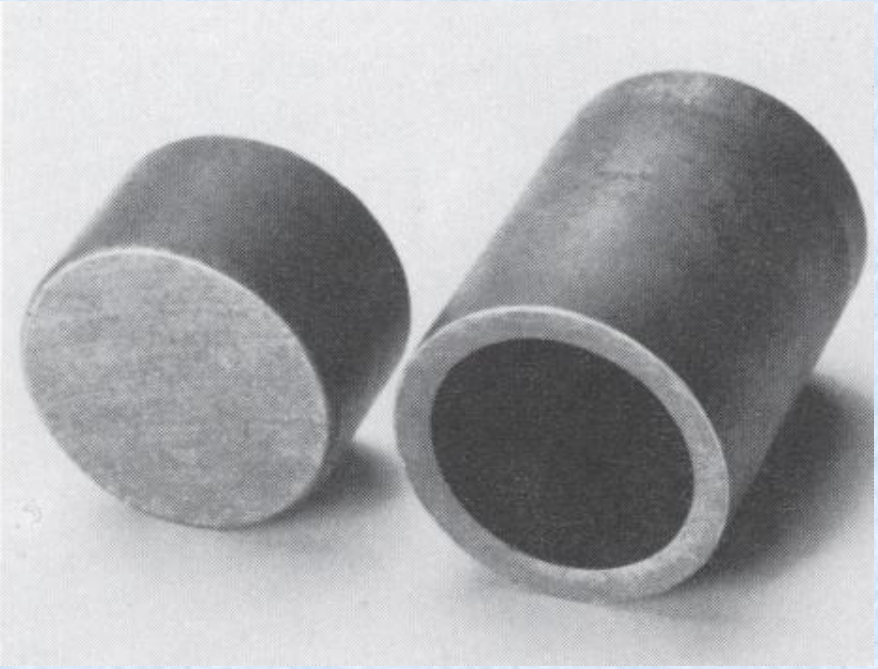
Süllyesztékes kovácsdarabok gyártása

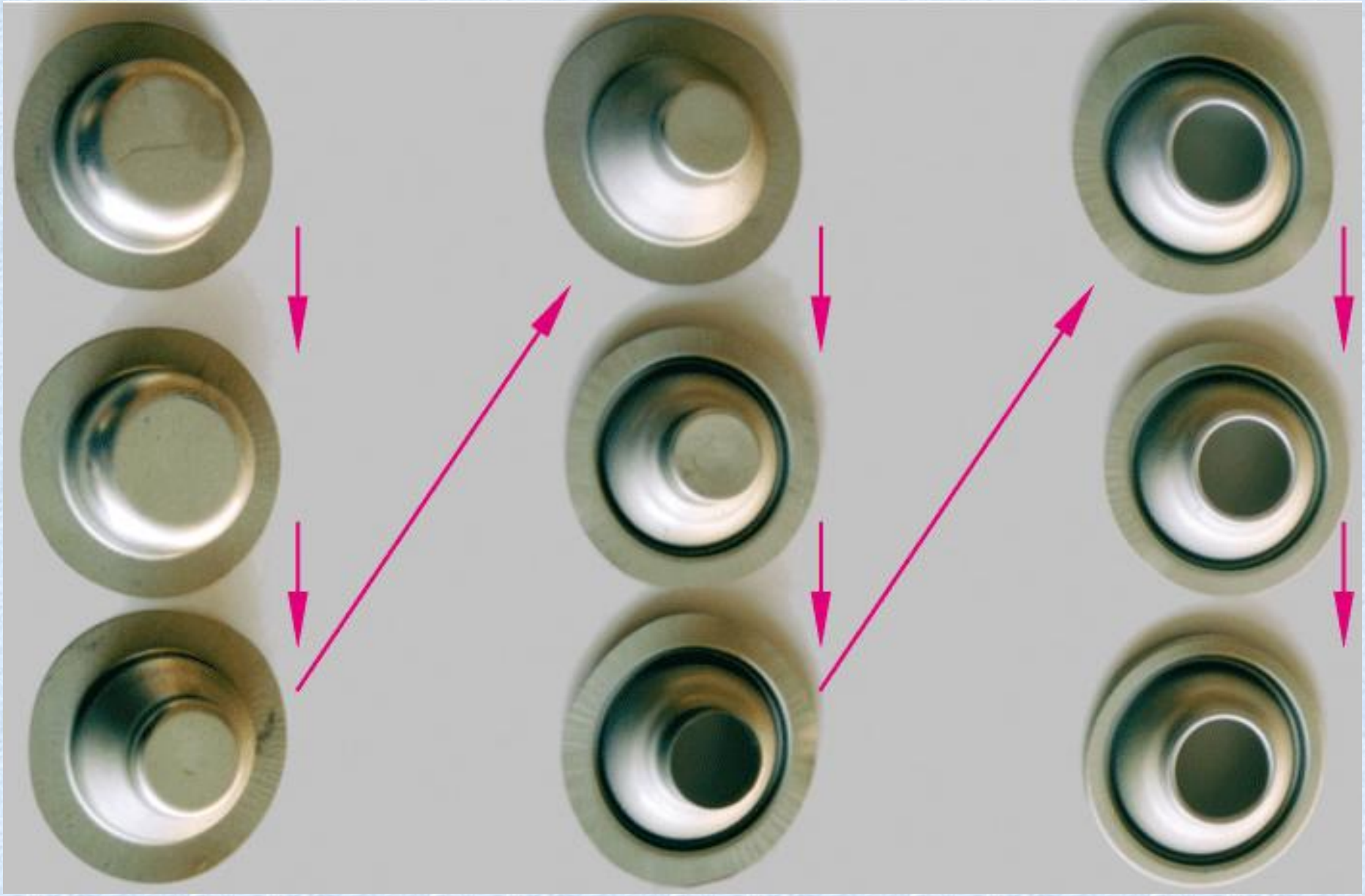




Csészeszerű termék előállítása hátrafolyatással

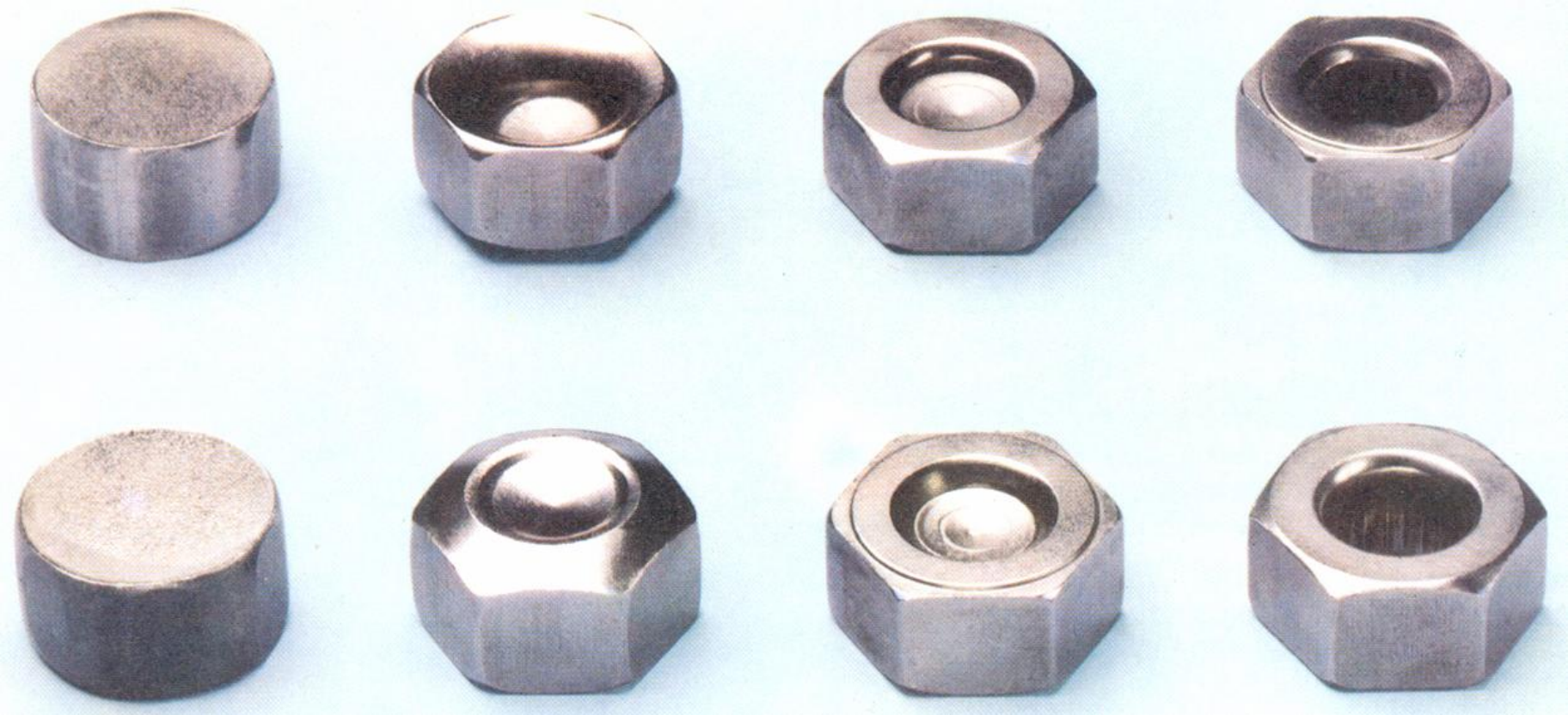




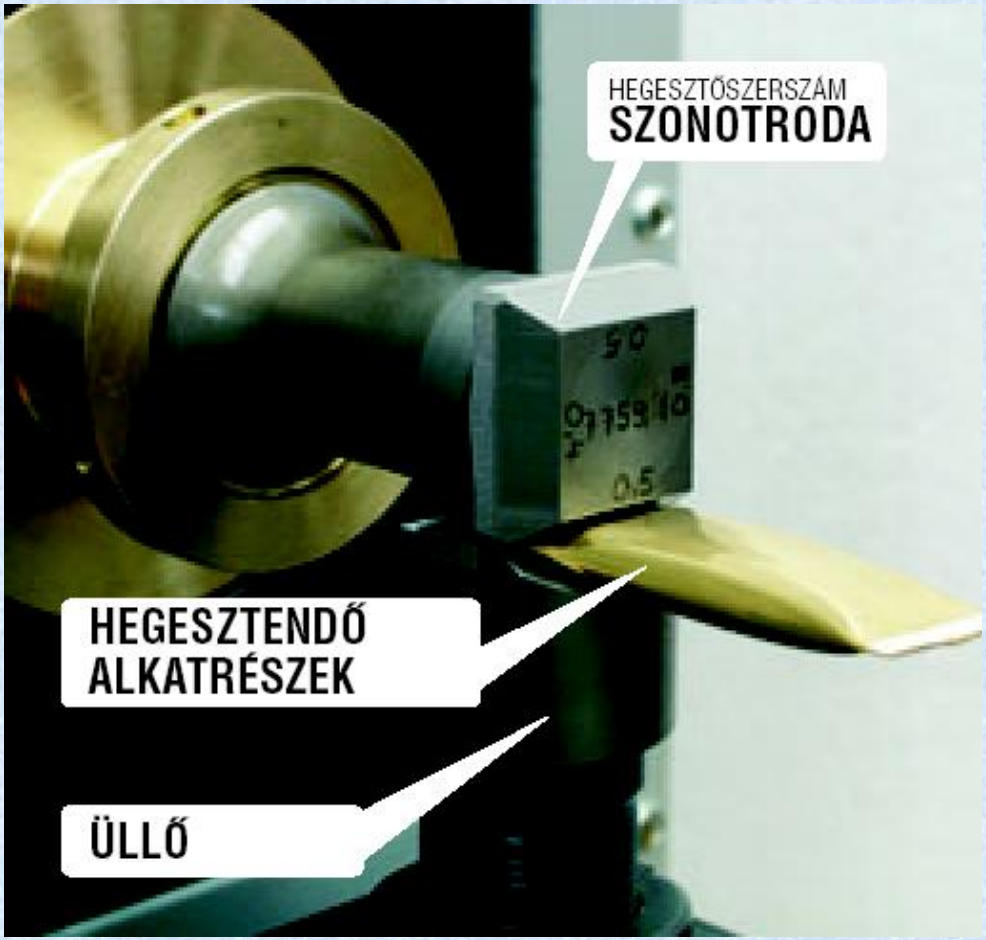


Lemeztermék gyártása mélyhúzással

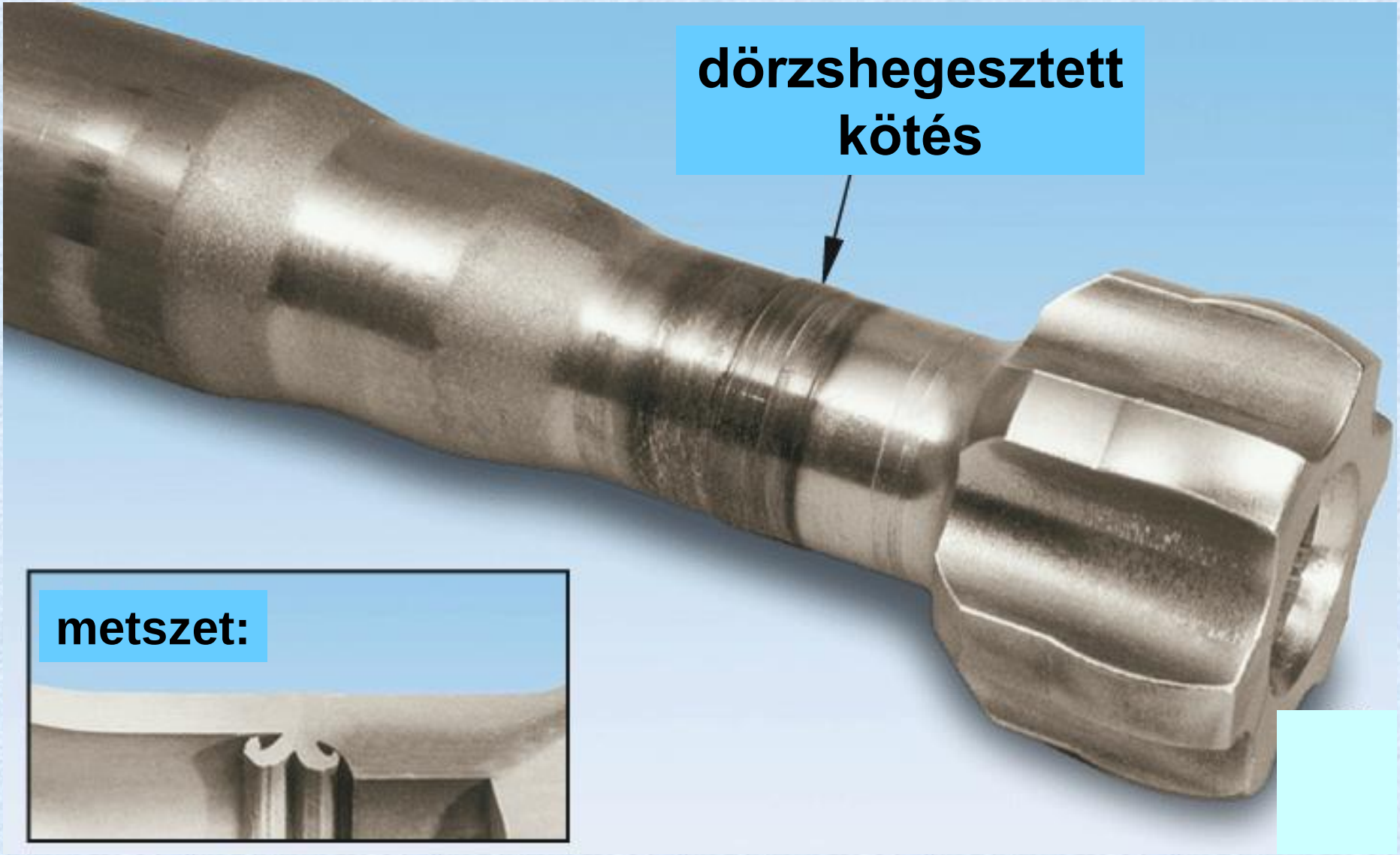
Hatlapfejű csavaranya gyártása



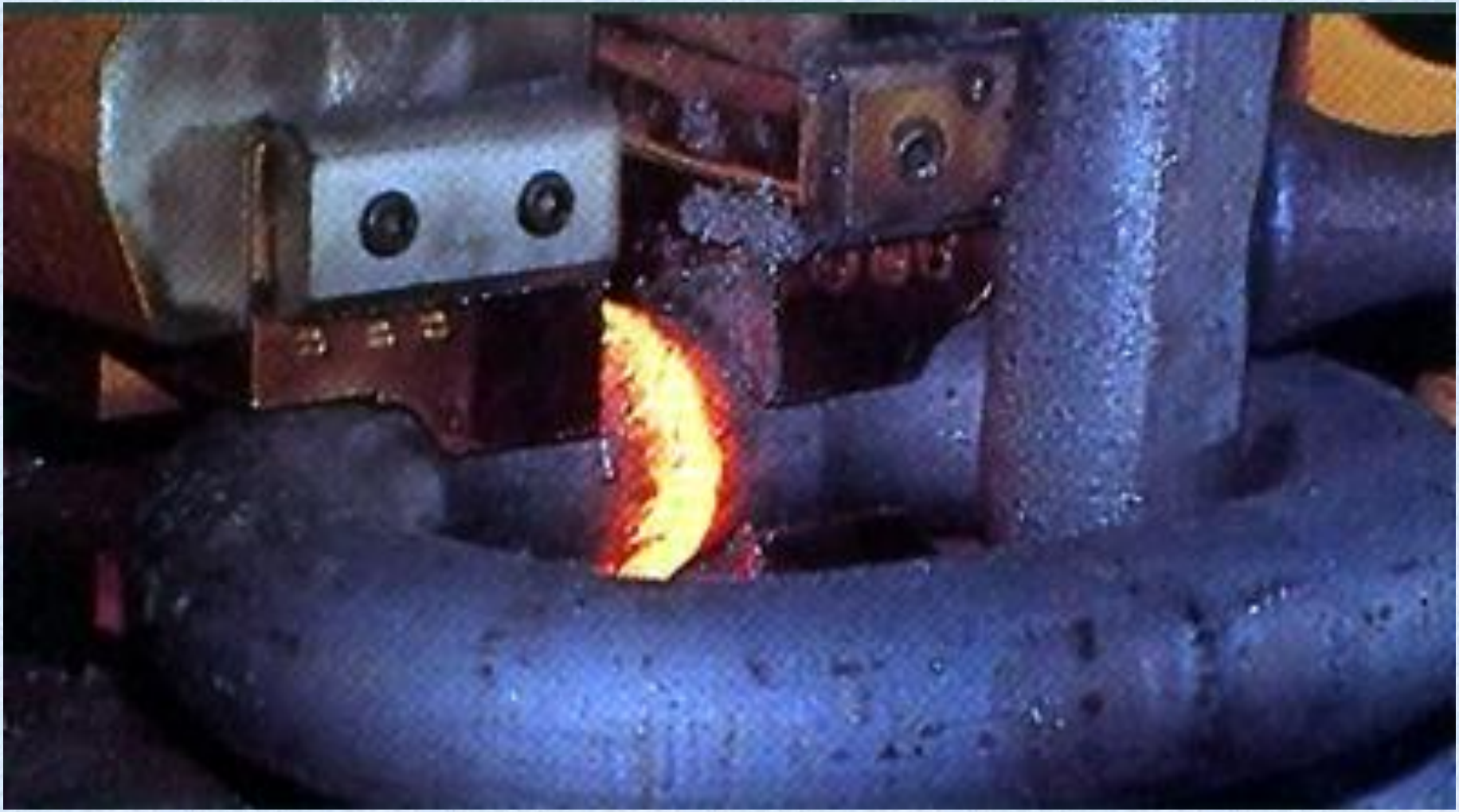
Ultrahangos hegesztés



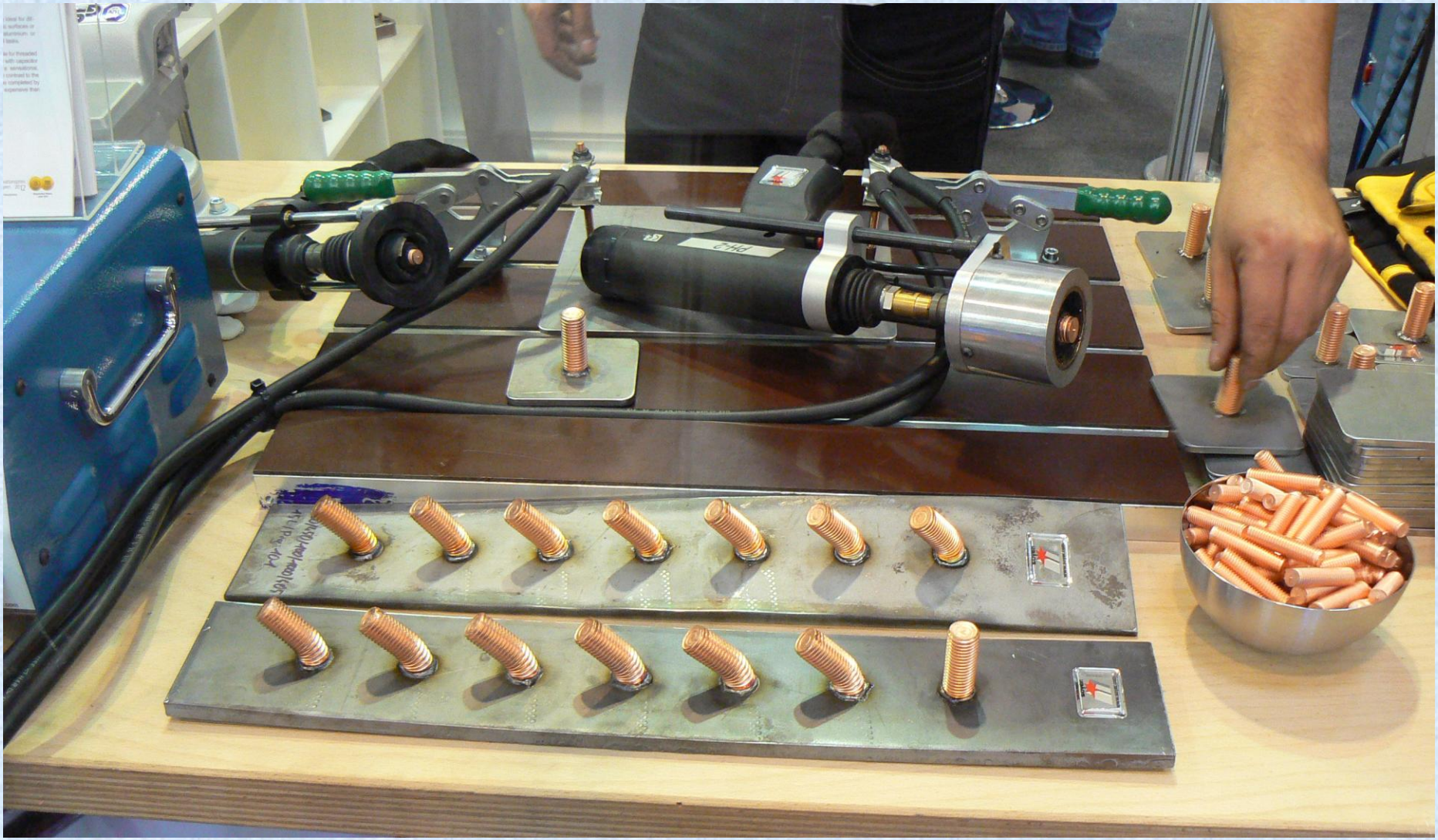
Dörzshegesztés



Láncszem leolvasztó ellenállás-tompahegesztése



Ív-csaphegesztés



Sínek helyszíni termithegesztése