

Színes- és könnyűfémek, kompozitok, öntés

1. Színes- és könnyűfémek

A vasalapú ötvözetek (acél, öntöttvas) mellett számtalan olyan elem és ötvözet létezik, amelyek a vashoz képest rendkívüli tulajdonságokkal rendelkeznek. Például sokkal könnyebbek, vagy korrózióállóbbak, jobb hő- és villamosvezetők, kisebb vagy nagyobb az olvadáspontjuk, stb. Ezeket az anyagokat ugyan nagyságrenddel kisebb mennyiségben használják, mint az acélokat, a különleges tulajdonságaik miatt azonban nélkülözhetetlenek. Egyes problémák, pl. a sugárzás, csak ilyen anyagokkal védhető ki.

A szerkezeti anyagoknak ezt a nagy családját két csoportba sorolhatjuk:

- a könnyűfémek és
- a színesfémek csoportjába.

Mindkét csoportban találkozunk magukkal a tiszta fémekkel, amelyekben leginkább kifejeződik és megjelenik a különleges tulajdonság és találkozunk a fémek nagyszámú, két vagy többalkotós ötvözetével. Ez utóbbiak létrehozásának célja az esetek többségében a szilárdságnövelés: egyensúlyi vagy túltelített szilárdoldatok kialakításával, két- vagy többfázisú szerkezetek létrehozásával, allotróp átalakulások késleltetésével, módosításával, martenzites átalakulással, kiválásos keményítéssel vagy hidegalakítás okozta felkeményedéssel.

1.1 Könnyűfémek

A könnyűfémek csoportjába több, mint 10 elem sorolható a sűrűség alapján ($\rho \leq 4,5 \text{ g/cm}^3$). Ezek közül a szerkezeti anyagként legnagyobb mennyiségben az alumínium, a titán és a magnézium kerül felhasználásra.

A könnyűfém ötvözetek igen sok kedvező tulajdonsággal rendelkeznek. Többek között kis sűrűségüknek és nem lebecsülendő szilárdságuknak köszönhetően az úgynevezett fajlagos szilárdságuk ($R_{p0,2}/\rho$) tekintetében az ötvözött, nemesíthető acélokkal is felveszik a versenyt.

A könnyűfémek között az alumínium a legképlékenyebb, felületen középpontos köbös térrácsa miatt.

A könnyűfémek nagy része nem érzékeny a sugárzásra, kicsi az ún. neutronbefogási hatáskeresztmetszete, ami annak a valószínűsége, hogy a neutron a magban befogódik vagy sem. A könnyűfémek a vashoz képest kitűnnek a korrózióállóságukkal is, ugyanakkor jóval drágábbak az acéloknál.

1.1.1 Az alumínium

A földkéreg leggyakoribb elemei közé tartozik. Kb. 8%-ban fordul elő. Kis sűrűségű ($2,7 \text{ g/cm}^3$) könnyűfém jellegzetes tulajdonságokkal.

Ipari méretű elektrolízises előállítás 1886-tól folyik: Európában a francia Paul L. T. Herault, Amerikában Charles Martin Hall nevéhez kötődve. A fém kinyeréséhez a bauxitból előbb tiszta Al_2O_3 -t (timföldet) állítanak egy nátronlúgos (Bayer körfolyamat) feltárással. A Herault ill. Hall eljárás lényege abban van, hogy a nagy olvadáspontú (2030°C) timföldet (Al_2O_3), kriolitot (Na_3AlF_6) tartalmazó, 950°C -on olvadt állapotban lévő fürdőben elektrolízisnek vetik alá. Ez az ún. tűzfolyós elektrolízis. A timföld szétbomlásából keletkező tiszta alumínium a katódként (- pólus) kötött grafitral bélelt elektrolizáló kád alján válik ki és gyűlik össze, ahonnan időszakonként kiszívják. Az oxigén az anód (+ pólus) szénével széndioxidot (CO_2) alkot és gáz alakjában eltávozik. Az így nyert alumínium 99,3-99,7% tisztaságú ún. kohóalumínium. Az eljárás energiaigénye

igen nagy: korábban elérte a 20-22 kWh/kg értéket, ma már a 13-15 kWh/kg tartományban van.

Az alumínium előállításához óriási tömegeket kell megmozgatni. Egy kg alumínium előállításához kb. 2 kg timföldre (Al_2O_3) és kb. 4-5 kg bauxitra van szükség. Ezenkívül 0,15 kg nátronlúg, 0,07 kg kriolit és 0,5 kg elektródszén is felhasználásra kerül. A timföld előállítása nem egy környezetkímélő technológia. A nagy tisztaságú (99,9-99,9999%) alumíniumot újabb elektrolízissel, zónás és egyéb átolvasztó eljárásokkal állítják elő.

1.1.1.1 A színalumínium

A tiszta alumínium villamos és hővezető képessége igen jó (36-40,8 m/ Ωmm^2 , illetve 220 W/mK), a réz után következik. Nagy a hőtágulása is ($24 \cdot 10^{-6}/\text{K}$). Besugárzásra kevésbé érzékeny. Kicsi a neutronbefogási hatáskeresztmetszete: 0,23 barn. Néhány közegben (desztillált víz, hígított foszforsav, tömény sósav) igen jó korrózióálló. Más savakban, lúgokban, tengervízben azonban oldódik. Az alumínium felületét jól tapadó, kemény, korrózióálló védő oxidréteg borítja, amely vegyi vagy elektromos úton, az ún. anódos oxidációval megvastagítható. A tiszta alumínium felülete jól tükröfényesíthető, amelynek kiváló a fényvisszaverése. Az ezüsttüköréhez képest mindössze 15%-al rosszabb.

Az alumínium igen jól alakítható, képlékeny anyag, így fóliagyártásra (5-10 μm vastag) is alkalmas. Szilárdsága azonban csekély, mindössze 50-70 MPa. Rugalmassági modulusza: 70 GPa. Szerkezeti anyagként való alkalmazásához a szilárdságot növelni kell. Az alumínium szilárdsága hideg alakítással, ötvözéssel, az ötvözetek hőkezelésével (kiválásos keményítés) vagy részecske- és szálerősítéssel növelhető.

1.1.1.2 Az alumínium ötvözetek

Az alumínium termelés kb. felét ötvözetek formájában használják fel. Szerkezeti anyagként beépítve ui. akkor versenyképes, ha a különleges tulajdonságait megtartva, szilárdsága megnövelhető. Az alumínium mechanikai és fizikai tulajdonságai ötvözéssel igen tág határok között változtathatók.

Az alumínium szilárdságának növelésére több lehetőség adódik, mint pl.: hidegalakítás, ötvözés (szilárdoldat képzésére vegyületek képzésére, zónák képzésére), hőkezelés (homogenizálás, gyors hűtés - túltelített szilárdoldat képzésére), nemesítés (homogenizálás, gyors hűtés, majd öregítés zónák, vegyületek képzésére), termomechanikus alakítás, diszperziós keményítés, kompozitok.

A világszerte alkalmazott alumínium ötvözetek száma igen nagy. A köztük való eligazodást segíti elő a fő ötvözőelemek szerinti csoportosítás. A jelölés négy számjegyből az első szám az ötvözet csoportot jelöli (1. táblázat).

1. táblázat. Az alakítható Al ötvözetek csoportjai

„Tiszta” alumínium	1nnn
Cu ötvözés	2nnn
Mn ötvözés	3nnn
Si ötvözés	4nnn
Mg ötvözés	5nnn
Mg és Si ötvözés	6nnn
Zn ötvözés	7nnn
Li ötvözés	8nnn
Egyéb ötvözés	9nnn

Az 1nnn sorozatban az utolsó két számjegy a legkisebb alumíniumtartalmat jelöli a tizedespont utáni két számmal (így pl. a 1099 jelölés megfelel az Al99,99, a 1070 jelölés pedig megfelel az Al99,70-nek). A kismennyiségű második elem vegyjele szóköz nélkül fűződik a tisztasági fokhoz, pl. Al99,0Cu. A 2nnn – 8nnn jelű sorozatokban az utolsó kétszámjegy csupán a különböző ötvözeteket jelöli a csoportban.

Az alumíniumötvözeteket a vegyjel szerint is szokás jelölni. A vegyjel szerinti jelöléskor elől áll az alumíniumra utaló Al főjel, amit egy szóköz után a fő ötvözőelem, vagy elemek vegyjele követ. A vegyjelek után található az illető elem százalékos tartalmára utaló számjegy, például:

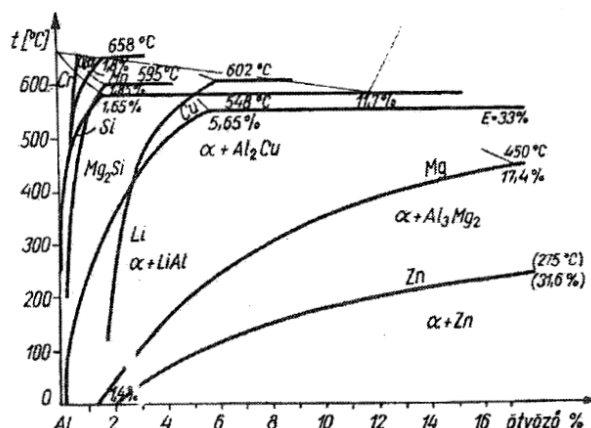
2011 Al Cu6BiPb
 2014 Al Cu4SiMg
 3103 Al Mn1
 3004 Al Mn1Mg5
 3005 Al Mn1Mg0,5
 5251 AlMg2
 5052 Al Mg2,5
 6063 Al Mg0,7Si
 6061 Al Mg1SiCu
 7050 Al Zn6CuMgZr

Az Al főjel előtti E betű az elektrotechnikai célfelhasználásra, a jelzetet követő A betű pedig az általános felhasználásra utal, például:

1350 EAl 99,5
 6010 EAl MgSi
 1050AAl 99,5

Az alumínium ötvözetekben előforduló elemek közül fő ötvözőnek számít: Si, Cu, Mn, Mg, Li, Zn, a többi ötvözőelem csak kis mennyiségben fordul elő.

Az ötvözők különböző mértékben oldódnak az alumíniumban (1. ábra).



1. ábra. Az alumínium és ötvözeiteinek egyensúlyi állapotábrája

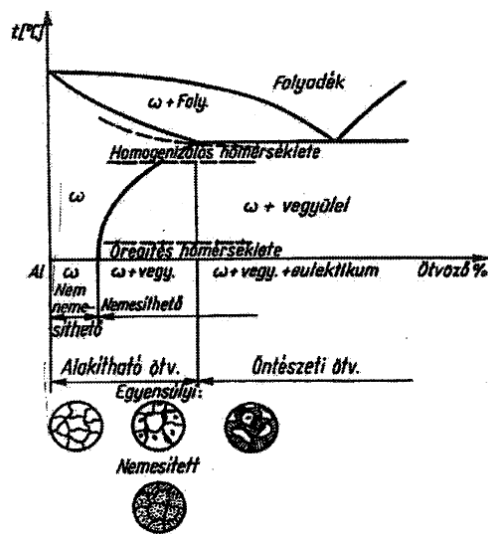
Az ötvözők legtöbbje vegyületet is alkot az alumíniummal. Guinier-Preston zónák képzésére azonban nem minden ötvöző képes. Az ötvözők így módon való viselkedéséről a 2. táblázat ad felvilágosítást.

2. táblázat. Az ötvözőelemek viselkedése az alumíniumban

Ötvöző(k)	A korlátolt oldás határai (t%)	Vegyület jele	HV	Zónaképződésre, kiválasztásos keményedésre hajlamos? (i/n)
Si	0-1,65	Si krisztallit	900-1300	n
Mn	0-1,85	Al ₆ Mn	550	n
Mg	1,4-17	Al ₃ Mg ₂ , Al ₈ Mg ₅	200-350	n
Zn	3-31			n
Cu	0,2-5,65	Al ₂ Cu	400-600	i
Cu-Mg		Al ₂ CuMg		i
Cu-Li		Al ₂ CuLi		i
Li	2-6	Al ₃ Li, AlLi		i
Li-Cu-Mg		AlLiCuMg		i

Mg-Si	0-1,95	Mg ₂ Si	450	i
Zn-Mg		Al ₂ Mg ₃ Zn ₃ , MgZn ₂		i
Zr		Al ₃ Zr		i
Ag		AlAg ₄		i
Sc		Al ₃ Sc		i

Az elemek egyrésze (Mn, Mg, Si) olyan vegyületeket alkot, amelyek nem hajlandók zónaképzésre és így kiválásos keményedésre sem. (A Zn esetében – bár ezen elemre a mátrix oldóképessége széles tartományban változik a hőmérséklet függvényében – a kiválásos keményítés csak jóval az 5 %-os koncentráció felett valósítható meg, ami a gyakorlat szempontjából nem megfelelő, így csak rézzel és/vagy magnéziummal társítva érhető el a zónás keményítés.) Ezeket a nem nemesíthető ötvözeteket leginkább túltelített szilárdoldatra hőkezelt (homogenizálás és gyors hűtés) állapotban alkalmazzák, így jól alakíthatók, korrózióállóak és hegeszthetők is. Szilárdságuk az ötvözőelem atomsugarától és mennyiségétől függ.



2. ábra. Az Al-ötvözetek elvi felosztása

A 2. ábra, mint elvi állapotábra és a 3. táblázat szemlélteti az alumínium ötvözetek feloszthatóságát a feldolgozhatóság és a jellegzetes tulajdonságaik szempontjából.

3. táblázat. Az alumínium ötvözetek felosztása feldolgozhatóság szempontjából

Alakítható ötvözetek		Öntészeti ötvözetek	
Kiválásosan nem keményíthető, hegeszthető, korrózióálló, jó vezető, jól alakítható	Kiválásosan keményíthető, nagy szilárdságú	Kiválásosan nem keményíthető	Kiválásosan keményíthető
Al-Mn Al-Mg Al-Mg-Si Al-Mg-Zn Al-Mg-Li	Al-Mg-Si Al-Mg-Li Al-Li-Mg Al-Cu-Mg Al-Cu-Li Al-Cu-Li-Mg Al-Zn-Mg Al-Li-Cu-Mg Al-Zn-Cu-Mg	Al-Si Al-Mg	Al-Si-Mg Al-Si-Cu Al-Mg-Si Al-Cu Al-Cu-Ni Al-Zn-Si Al-Zn-Mg

Az alakítható és hegeszthető ötvözetek mindig szilárdoldatos ötvözetek, a jól önthető ötvözetek pedig eutektikusok. A legjobb korrózióállósággal a homogén, egyfázisú ötvözetek rendelkeznek. Legnagyobb szilárdság a nemesíthető, kiválasztott keményedésre hajlamos ötvözetekkel érhető el, a hidegalakítás, a termomechanikus alakítás és öregítés megfelelő kombinációival.

A leggyakrabban alkalmazott alumíniumötvözetek mechanikai tulajdonságait a 4. táblázatban összefoglalva szemléltetjük.

4. táblázat. Alumínium és ötvözeteinek mechanikai tulajdonságai

			Ötvözet jele	Állapot	R _{p0,2} (MPa)	R _m (MPa)	A ₅ (%)
Kiválasztottan nem keményíthető	Korrózióálló	Jól hegeszthető	Al 99,99	lágú (l) alakított (a)	20	40-50	25
			Al 99,5	l a	30 150	60-70 140	20 4
			Al Mn1	l a	40-80 120-180	180- 180-200	22 0
			Al Mg1	l a	140 155	100 185	17 4
			Al Mg3	l a	80 160-200	180 200-260	16 4
			Al Mg5	l a	110 200	260 370	16 4
			Al Mg0,5Si0,5	gyors hűtött (gy) kiválasztottan keményített	85	180	15
			Al Mg1SiCuMn	(kk) kk	160-210 230	260 310	12 14
			Al Mg5Li	kk	220	400-450	
			Kiválasztottan keményíthető	Kevésbé korrózióálló	Nagy szilárdságú	Al Cu2,5Mg	gy kk
Al Cu4Mg1	gy kk	110 270				230 400	14 11
Al Cu2Li2Mg1,6Zr	gy kk	135 350				250 350-400	14 12
Al Cu3Li2,5Zr	gy kk	135-160 450-540				330-350 510-570	19 5-9
Al	kk	440-700				580-720	4-11
Cu6Li1,2Mg0,3Ag0,3Zr0,2	kk	290				350	6
Al Zn4,5Mg1	kk	430-630				580-650	
Al Zn6Mg2,5Cu1,6Cr	kk	500-560				550-610	4-12
Al Li2,6Cu1,6Mg1,7Zr	kk						

Az alumínium ötvözetek tulajdonságai igen széles határok között változtathatók. Ezért sokféle felhasználásra alkalmasak. Néhány példa az alumínium ötvözetek tipikus felhasználási területeire az 5. táblázatban látható.

5. táblázat. Példák az alumíniumötvözetek tipikus felhasználására

1000 Al	Villamos vezetők, vegyipari berendezések lemezanyagai, tartálykocsik, edények. fóliák, élelmiszeripar
3000 Al-Mn	Lemezanyagok vegyipari-, élelmiszeripari berendezésekhez, hegesztett tartályok, italdobozok, edények, esőcsatornák
5000 Al-Mg	Lemezanyagok hegesztett szerkezetekhez, építészetben, hajózásban, vízi járművek, gépkocsi borítások, eloxált bútorcsövek, tartók, dekoráció, dísz tárgy készítés
6000 Al-Mg-Si	Vezetékanyag, korrózióálló lemezek, vékony profilok, építészet, jármű vázszerkezet, bútorok, gáziparcsok, ablak-ajtókeretek, sörshordók, díszlécek, jól fényesíthető, eloxálható
2000 Al-Cu-Mg	Repülőgép-, motorszerkezetek, járművek tárcsái, kötőelemek, kompresszorlapátok, kovácsolt és sajtolt termékek, szegecselt kötésekkal alkalmazható
7000 Al-Zn-Cu-Mg	Nagyszilárdságú szerkezetek repülőgép-, rakétaépítésben, kriogénteknika, superképlékeny állapot is előidézhető
8000 Al-Li-Cu	Nagyszilárdságú repülőgép és rakéta elemek.

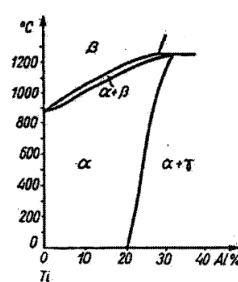
1.1.2 A titán és ötvözetei

A titán ezüstfehér színű, 1670°C-on olvadó, két allotróp módosulattal rendelkező, 4,5 g/cm³ sűrűségű, kiválóan korrózióálló, nem mágneses, a tiszta vasnál nagyobb szilárdságú (400-500 MPa), képlékeny (Z=35-65%) fém. Rugalmassági modulusza E=105-112 GPa között változik a tisztaságtól függően. Szilárdsági tulajdonságai nem változnak jelentősen sem a fagyponthoz alatti, sem a nagyobb hőmérsékleten (300-600°C-ig). Hidegalakítással keményíthető. A titánnak két allotróp módosulata van: az α -titán 882°C-ig sűrű illeszkedésű hexagonális térrácsú, 882°C-felett a β -titán térközepes köbös térrácsú. A titán hőátvezetése ($8,2 \cdot 10^{-6}$) és hővezetőképessége közepes (63 W/mK), kisebb mint az acélé és az alumíniumé. A hőkapacitása jelentős, 530 J/kgK

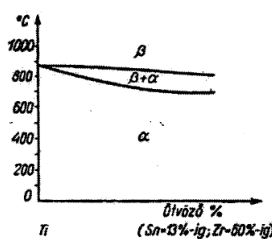
A titán korrózióállósága jó néhány közegben meghaladja az ausztenites korrózióálló acélokét. Tökéletesen ellenáll tengervíznek, nedves és szerves-savas közegeknek. A felületén képződő, jól tapadó oxidhártya 400°C-ig védelmet nyújt a gázkorrózióval szemben is. Vízkő nem rakódik a felületére. Ennél nagyobb hőmérsékleten gyorsan oxidálódik, nő az oxigén elnyelő, oldóképessége. A kén-, salétrom- és foszforsav megtámadja. Igen nagy az affinitása az oxigénhez, karbonhoz, hidrogénhez, nitrogénhez. A hidrogénből pl. 10^3 - 10^4 -szer többet old, mint a vas. Csak védőgázban vagy vákuumban hegeszthető és önthető. Nehezen forgácsolható, mert nagy az alakítási szilárdsága és rossz hővezető.

A titán nem káros az emberi szervezetben (kompatibilis). A nyers titán sok szennyezőt tartalmaz. Az ipari fémtitán 99,2-99,7% tisztaságú.

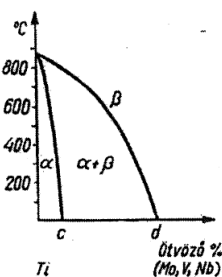
A titán szilárdsága ötvözéssel és az allotróp átalakulást kihasználó hőkezeléssel jelentősen tovább növelhető. Az ötvözők egy része: Sn, Zr jól oldódik mind az α -, mind a β -titánban, nem változtatva meg az allotróp átalakulás hőmérsékletét (3. ábra). Az ötvözők másik csoportja: Al, O₂, H₂, N₂ az α -titánban oldódva növeli az $\alpha \rightarrow \beta$ átalakulás hőmérsékletét. Az ötvözők harmadik csoportja: Mo, V, Nb, Cr, Mn, Fe inkább a β -titánban oldódik és csökkenti az $\alpha \rightarrow \beta$ átalakulás hőmérsékletét (3. ábra). Az ötvözők negyedik csoportjának: Cr, Fe, Mn hatására az ötvözetben eutektoidos átalakulás is megjelenik (3. ábra).



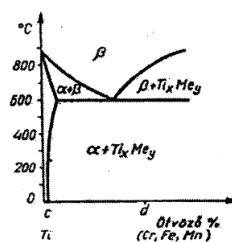
Ti-Al állapotábra részlete



Ti-Sn (Zr) állapotábra részlete



Ti-V, (Mo, Nb) állapotábra részlete



Ti-Cr (Fe, Mn) állapotábra részlete

3. ábra. A Ti és főbb ötvözőinek hatása az allotrop átalakulásra

A szövetszerkezetük alapján a titán ötvözetek az alábbi csoportokba sorolhatók:

- egyfázisú, α -Ti típusú, hexagonális térrácsú ötvözetek;
- egyfázisú, β -Ti típusú, térközepes köbös térrácsú ötvözetek;
- kétfázisú, α -Ti és β -Ti-t is tartalmazó, hőkezelt (nemesíthető) ötvözetek.

A legjellegzetesebb titán ötvözetek összetétele és mechanikai tulajdonságai a 6. táblázatban láthatók.

6. táblázat. A titán ötvözetek tulajdonságai

Ötvözet	Ötvözők	Állapot	R _{p0,2} (MPa)	R _m (MPa)	A ₅ (%)
Fém titán			250-300	400-550	22
α -Ti	Al4-6	lágú (l)	750	850	15
	Al5-Sn2-3	l	850	880	18
	Al6-Zr5-Mo0,5	l			
	Sn11-Zr5-Al2-Mo1	l	900	920	16
β -Ti	Al3-V13-Cr11		1180	1250	6
	20°C-on				
	315°C-on		1020	1220	8
	Mo15 Mo15-Zr5		800-900	900-1000	10-12
$\alpha+\beta$ -Ti	Al6-V4	nemesített	1050	1300	13
	Al8-Mo4	(n)	1000	1200	8
	Al4-Mn4	n	980	1120	10
	Al5-Cr2	n	980	1100	12
	Al2,5-V16	n	1050	1200	7
	Al5-Fe1,5-Cr1,5-Mo1,2	n	1300	1350	9

Az α -fázisú titán ötvözetek csak olyan ötvözőket tartalmaznak, amelyek az α -Ti-ban oldódnak. Ezek képlékenysége kielégítő, pl. jól hengerelhetők. β -Ti és az $\alpha+\beta$ típusú Ti-ötvözetek szövetszerkezete lassú hűtéskor szintén poliéderes szemcsékből áll. Intenzív hűtés hatására azonban martenzites jellegű átalakuláson megy át és túszerűvé válik. Ez az állapot metastabil, megeresztéssel megszüntethető. Megeresztésnél az ötvözet típusának megfelelő Ti_xMe_y vegyület válik ki. A kiválások mennyisége és diszperzitása az összetétel mellett függ a megeresztés hőmérsékletétől (480-650°C) és idejétől. Ennek megfelelően változnak az ötvözet mechanikai tulajdonságai nemesítéskor.

A β -Ti típusú titán ötvözetek melegszilárdak. Ezek azonban igen érzékenyek a szennyezők jelenlétére. A titán ötvözetek a kedvező fizikai, mechanikai tulajdonságaik következtében alkalmasak a rakéta-, a repülő-, az űrhajózás-, az élelmiszer- és a hűtőiparban stb. való felhasználásra.

1.2 Színesfémek

A vas színétől és tulajdonságaitól eltérő fémek és ötvözetek egy másik nagy csoportját alkotja a színesfémek nagy családja, ezek közül is a legismertebbek és őskor óta felhasználtak a rézötvözetek, a nemesfémek, de ide soroljuk a műszaki fém-ötvözetek legtöbbjét (Ni, Co, Zn, Pb, Sn, Mo, W stb.) is.

1.2.1 A réz és ötvözetei

A réz (Cu) lapközepes köbös térrácsú, 8,94 g/cm³ sűrűségű, 1083°C-on olvadó, kitűnő hő- és villamos vezetőképességű (lásd 7. táblázat), korrózióálló, közepes szilárdságú, kiválóan alakítható fém. Elterjedten alkalmazzák mind a gép-, mind a

villamos-, elektrotechnikai és az élelmiszeriparban. Amíg a réz szilárdsága öntött állapotban 150-200 MPa, A=15-25 %-os nyúlással, addig alakított majd kilágyított állapotban 250-270 MPa, A=40-50 %-os szakadási nyúlással. Hidegalakítás hatására gyorsan felkeményedik 400-500 MPa-ra. A réz tulajdonságai erősen függenek az összetételtől és a szennyezőktől.

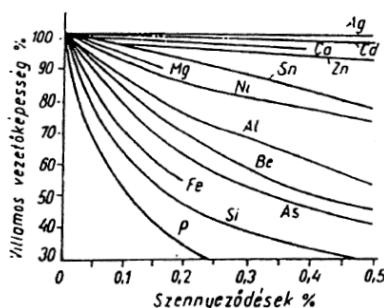
7. táblázat. Réz minőségek

Jel	Cu% (min)	O (ppm)	P (ppm)	Fajlagos villamos vezetés (S/m)	Megjegyzés
OF-Cu	99,95	2		$58 \cdot 10^6$	Nincs dezoxidálva Elektronikai felhasználás
E-Cu58	99,90	50		$58 \cdot 10^6$	Oxigén tartalmú Villamosipari felhasználás
E-Cu57	99,90	400		$57 \cdot 10^6$	Oxigén tartalmú Villamosipari felhasználás
SE-Cu	99,90		30	$57 \cdot 10^6$	Foszfórral dezoxidált korrózióálló villamosipari célokra
SW-Cu	99,90		50-14	$52 \cdot 10^6$	
SF-Cu	99,90		150-400	nincs követelmény	Foszfórral dezoxidált hegesztéssel

Megjegyzés: OF-oxygen free (oxigénmentes)

$1 \text{ S/m} = 106 \text{ m}/\Omega\text{mm}^2$

A kohóréz mindig tartalmaz 0,4-1 %-nyi egyéb elemet is (Pb, Bi, Sb, As, Zn, Ni, Au, Ag, O). Az elektrolízissel előállított ún. katódrez 99,8-99,99% tisztaságú és vörös színű. A réz villamos- és hő vezetőképessége jelentősen függ a szennyezőtartalomtól (4. ábra).



4. ábra. A szennyezők hatása a réz villamos vezetőképességére

Már néhány 0,1 illetve 0,01 %-nyi (P, Si, Fe, As stb.), sőt ppm (0,0001%) nagyságrendű oxigén szennyező is károsan hat e tulajdonságokra. A rézoxid (Cu_2O) jelenléte ezen kívül hidrogénbetegséget is okoz. A Cu_2O ui. nem oldódik a rézben, hanem 1064°C -on a hidrogén reakcióba lép a Cu_2O -val és vízgőz keletkezik, ami repedéseket okozhat.

A villamos vezetékanyagul szolgáló, alakítható réz minőségeket szabvány tartalmazza (8. táblázat). Ezek jele OF-Cu, E-Cu58 és E-Cu57, ahol a számjegy a minimális fajlagos villamos vezetés S/m-ben kifejezett értékének a milliomod része. Hidegalakítás és hegesztés céljára foszfórral dezoxidált, oxigénmentes, 99,9% Cu rézminőségek: SE-Cu, SW-Cu, SF- Cu használhatók, egyre növekvő foszfortartalommal és ezzel arányosan növekvő fajlagos villamos ellenállással.

A Bi, Pb, és Sb szennyezés rontja a réz technológiai feldolgozhatóságát, mert kis olvadáspontú eutektikumot alkotva vöröstörékenységet okoz. A Ni, Ag, Sn, Zn-szennyezés nem befolyásolja károsan a réz tulajdonságait. A réz nedves közegben is korrózióálló,

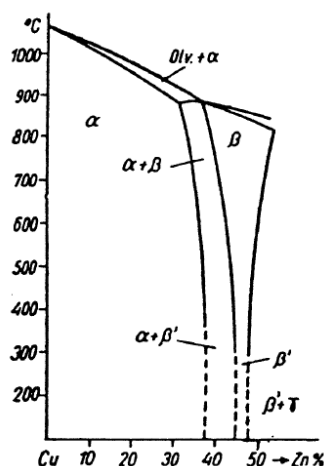
mert a felületén gyorsan képződő Cu_2O a levegő CO_2 és SO_2 tartalmával egyesülve egy, a felülethez jól tapadó, tömör rézkarbonát-, rézszulfát réteget, ún. patinát képez, amely a korrózió tovaterjedését meggátolja. A réz ellenáll a szerves savak és a füstgázok hatásának is, az ammóniában viszont erősen korrodál.

A szilárdság növelése és egyéb technológiai tulajdonságok (önthetőség, forgácsolhatóság stb.) javítása érdekében a vöröszet ötvözik. A réz ötvözetek négy nagy csoportot alkotnak:

- a sárgarezek,
- a bronzok,
- a különleges rézötvözetek és
- a Cu-alapú kompozitok csoportját.

1.2.1.1 Sárgarezek

A sárgarezek a réznek horgannyal (Zn) való ötvözetek, amelyekben egyéb, másodrendű ötvözők (Al, Sn, Pb, Si, Fe, Mn) is előfordulhatnak. A horgany jól oldódik (38-39%) a rézben (5. ábra).



5. ábra. Cu-Zn állapotábra Cu felőli oldala

A keletkező α -szilárdoldat igen képlékeny, hidegen- és melegen is jól alakítható. A Zn-tartalom növelésével a sárgaréz szilárdsága mellett az alakíthatósága is javul. A 38%-nál nagyobb Zn-tartalmú sárgarezek szövetszerkezetében megjelenik egy, rendezett térközepes köbös térrácsú, kemény CuZn β' vegyület, amely 455°C felett szilárdoldatként (β fázis) viselkedik és jól alakítható. Szobahőmérsékleten viszont erősen növeli a szilárdságot és rontja az alakíthatóságot.

A sárgarezek mechanikai tulajdonságai és felhasználási területei a 8. táblázatban láthatók. A jelölésben a betűk az ötvözőket, a számjegyek az ötvözőtartalmat jelölik.

8. táblázat. A réz és a sárgarezek mechanikai tulajdonságai

Jel	Állapot	$R_{p0,2}$ (MPa)	R_m (MPa)	A (%)	Felhasználás
Cu öntött		60	170	40	
OF-Cu		70	235	45	
CuZn5 CuZn10	l(ágy) a(lakított)	80 90	220-240 240 360	52 38 5	Tombak néven is ismert ötvözetek, igen jól alakíthatók, mélyhúzhatók, villamos vezetők Huzal, fémszövet, lemez, cső, rúd,
CuZn15 CuZn20	l	100 110	250 270	38 40	mikrohullámú berendezések, televíziós láncok

	a		400	8	
CuZn30	l	125	280	45	Jól alakítható, nagyobb szilárdságú anyagok, pl.: kondenzátor lemez, cső, kötőelemek, csavarok
CuZn33	a	130	430	12	
CuZn37	l	140	290-310	45	
	a		300-360	47	
CuZn40			620	0	Kopásálló ún. Müntz-ötvözet, rúdautomatán megmunkálható
CuZn39NiMn		140	380	50	Nagyszilárdságú, melegen jól alakítható
CuZn28Sn1		160	350	50	Tengervízálló gépalkatrészek, kondenzátor csövek
CuZn36Pb2-3		140	340	36	
CuZn40Al1Mn1		200	490	30	Jól forgácsolható, melegen sajtolható, nagyszilárdságú szerkezeti elemek
CuZn37Si					Forrasztóanyag

A tisztán szilárdoldatot tartalmazó sárgarezek a legjobban alakítható (huzal, drót, rúd, lemez, cső, stb. alakra hozható) ötvözetek.

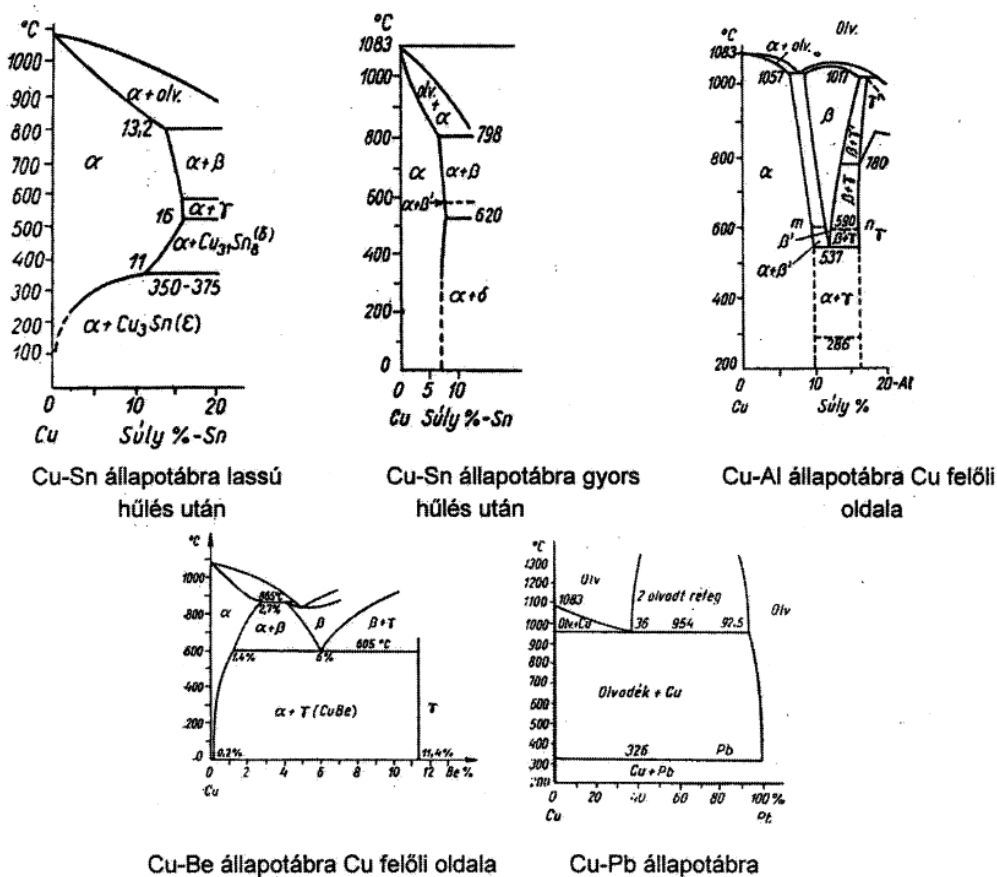
A sárgarezek is jó korrózióálló ötvözetek, azonban a 30%-nál nagyobb Zn-tartalmú sárgarezek rendkívül érzékenyek a feszültségkorrózióra. Ennek elkerülése érdekében a sárgaréz félgyártmányokat (csövek stb.) alakítás után stabilizáló megeresztésnek vetik alá 280-350°C-on.

Az Sn, Al, Ni, ötvözes hatására nő a sárgarezek ellenállóképessége az általános korrózióval szemben, különösen tengervízben. Ezek a különleges sárgarezek.

A Ni, Mn, Fe és Al ötvözéssel növelhető a sárgarezek korrózióállósága mellett a szilárdsága is és az erózióval, illetve a kavitációval szembeni ellenállása (az atomsugaruk jobban eltér a rézétől, mint a horganyé).

1.2.1.2 Bronzok

A bronzok a legrégebbi idők, kb. 5000 év óta felhasznált ötvözetek. Kezdetben csak a Cu-Sn ötvözeteket nevezték bronznak. Jelenleg a nem horgany fő ötvözővel előállított minden két- vagy háromalkotós rézötvözetet a fő alkotó alapján bronznak nevezik. Így pl. létezik alumínium-, berillium-, kadmium-, ezüst-, króm-, ólom-, szilícium bronz. Az egyes elemek a rézben különböző mértékben oldódnak (6. ábra), a szilárdsági tulajdonságok pedig ettől és a második kemény, rideg fázisok (Cu₃₁Sn₈, Cu₅Sn, Cu₃Sn, CuAl₇, CuBe₉ stb.) megjelenésétől és mennyiségétől függenek.



6. ábra. Különböző ötvözők oldódása a Cu-ben

Csak azok az ötvözetek alakíthatók jól, amelyek nagy többségében szilárdoldatos szerkezetűek. Így pl. a <8% Sn és Al-tartalmú, valamint a <3% Be- és a Si-tartalmú bronzok. Az ennél nagyobb ötvözőtartalmak esetén megjelenő kemény második fázis hatására az alakíthatóság leromlik ugyan, de jelentősen nő a szilárdság és a kopásállóság. A bronzok mechanikai tulajdonságait a 9. táblázatban foglaltuk össze.

A bronzok szilárdsága illetve korrózióállósága további ötvözők bevitelével növelhető.

Az Sn-bronzok (CuSn2-CuSn8) hidegen is jól alakíthatók. Vékony huzalok, sziták, lemezek, rudak, csövek előállítására alkalmasak. A nagyobb Sn-tartalmúak öntvények formájában hasznosíthatók. A vörösötvözetek és az öntészeti bronzok alkalmasak szivattyúházak, szelepek, csapok, gőzvezeték-szerelvények, csapágyak, csigakerekek készítésére.

E bronzok korrózióállóak levegőn, tengervízben, K2SO4, NaSO4-oldatokban, 5%-os szódaoldatokban. Kevésbé ellenállóak sósavban, salétromsavban. Egyáltalán nem ellenállóak az ammónia és a kénsavas sók oldataival szemben. A 20-24% ónt tartalmazó, kemény δ kristályokat tartalmazó bronz főleg harangok öntésére alkalmas. A 70-80% Sn-t tartalmazó, rideg csilingelő bronz a csengőbronz. Az alumíniumbronzok jól alakíthatók és a szűk hőmérsékletközben való dermedés következtében hígfolyósak, nem hajlamosak dúsulásra, jól önthetők is. A zsugorodásuk nagyobb a szokásosnál. A >8% Al-tartalmú alumíniumbronzok siklasi tulajdonságai is kedvezőek, kopásállóak. Fogaskerekek, dörzskerekek, szorítócsavarok anyái, szelepek, csapok, perselyek, szivattyúk alkatrészei készítésére alkalmasak. A Fe és Ni-tartalmú Al-bronzok kitűnően pótolják a nagy Sn-tartalmú, drágább bronzokat (nagy teljesítményű fogaskerekek, bronzcsigák különleges acélokhoz). A szilíciumbronzok mechanikai tulajdonságai, korrózióállósága kedvezőek, jól hegeszthetők, olcsók. Felhasználhatók az élelmiszeriparban sörfőzőüstök, szennyvízcsatornák, rácsok, füstszűrők, lapos- és hengeres rugók készítésére.

A réz és az ólom 36% Pb-tartalom felett még folyékony állapotban sem, szilárd állapotban pedig egyáltalán nem oldja egymást. Ezért az ötvözet szerkezete a valamivel keményebb réz alapanyagba ágyazott lágy ólom szemcsék keverékéből áll. Csapágyak gyártására alkalmas, acélperselybe centrifugál öntéssel kialakítva.

9. táblázat. Bronzok mechanikai tulajdonságai és felhasználásuk

Jel	R _{p0,2} (MPa)	R _m (MPa)	A ₅ (%)	Felhasználás
CuSn2 CuSn4 CuSn6 CuSn8	230 250	300 320 350 400-450	60 52 60 55	Szalag, huzal, cső, érem
CuSn10 CuSn12 CuSn8Zn5	180 200	200-350 250-350 200-250	3-10 3-10 4-10	Öntészeti ötvözetek, armatúrák, gép- és csapágybronzok, csigakerekek, vörösötvözet
CuAl5 – öntött – sajtolt CuAl10 – öntött – sajtolt CuAl10Fe3Mn CuAl10Fe4Ni4		300 420 450 550-650 600 650	50 60 30 10 12 10	Szalag, huzal, cső Öntvények, sajtolt termékek
CuSi3 CuSi1Ni3		250 600	20 12	Korrózióálló, hegeszthető
CuPb3 CuPb25Sn5 CuPb12Sn10		60 180 200	4 6-8 8	Csapágyötvözetek
CuCr1 CuCr1Zn CzCo1,5Ag1Be0,4		350 400 705	17 8	Nagyszilárdságú, vezetékanyagok
CuBe2NiTi	900-1000	1110- 1350	2,5	Igen nagy szilárdságú szalag, lemez, öntvény, nem szikrázik

Az Ag, Cd, Cr, Be-mal kis mennyiségben ötvözött réz szilárdsága megnő és ugyanakkor megtartja jó hő- és villamos vezetőképességét.

Kadmiumbronzból készülnek pl. a troli-, illetve készültek a táviró-, és távbeszélő vezetékek. A krómbronzok kopásálló, hő- és villamos vezetők, ezért érintkezők, hegesztőkészülékek, csúszóalkatrészek készítésére alkalmasak. A heterogén szövetszerkezetű Al- és Be-bronzok pedig hőkezelhetők.

A <3% Be-mal ötvözött bronzok homogenizálás és öregítés (800°C-ról intenzív hűtés, majd 300-350°C-on megeresztés) után igen nagy szilárdsággal (1300-1350 MPa), kopásállósággal rendelkeznek. Ütésre nem szikráznak, villamos vezetőképességük is kielégítő, jól forgácsolhatók, órarugók, szerszámok, villamos érintkezők készítésére alkalmasak, de drága ötvözetek.

2. Kompozitok

Az emberiség történelmi fejlődésében a természetes anyagok és kerámiák felhasználását visszaszorítva csak későn jelentek meg a fémek, melyek felhasználásának dinamikus növekedésével századunk közepére arányukban döntővé váltak. A fémek alkalmazása különösen az ipari forradalom korszakától kezdődően erősödött fel. Mintegy 30 éve azonban jelentős változásnak lehetünk tanúi. Volumenében még ma is, és a mai mérnök-generációk működési idején a fém lesz meghatározó, de jól megfigyelhető az a tendencia, mely az új keramikus anyagok, kompozitok és polimerek növekvő arányát mutatja. Ezek az anyagok merőben különböznek a hagyományos kerámiáktól, kompozitoktól és a természetes polimerektől. Ma már (különösen a kerámiák erősítőanyagkénti alkalmazásával) a kerámiák és a kompozitok közötti határok sok esetben elmosódnak.

A környezetét alakító ember már korán olyan tapasztalatokra jutott, hogy anyagok egyesítésével az alkotók jellemző előnyös tulajdonságai jól kihasználhatók. Ez adja a kompozitok előállításának és alkalmazásának alap gondolatát. Az ember a természetes

alapanyagú kompozitokat már a történelmi korok kezdetétől használja. A szalmával erősített agyagvályog, vagy az ősmagyarok által használt nagy harcértékű íjak (amelyek különböző faanyagokból és állati inakból rétegezeten készültek, külön anyagtipusok a húzott, külön a nyomott - más a merev, más a rugalmasan nagymértékben deformálódó részekhez) természetes alapanyagú kompozitoknak tekinthetők.

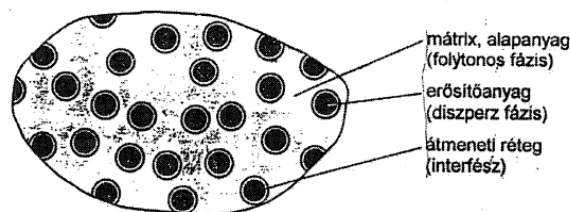
A természetes alapú kompozitok talán legjobb példája a fa, amely 40-60%-ban cellulóz(szál), melyet lignin illetve hemicellulóz fog össze. A fa rostirányban nagy húzószilárdságot ad, rá merőlegesen a szilárdság sokkal kisebb (mintegy huszadrésznyi). A fa rostelrendezésének mesterséges megváltoztatásával (rétegelt lemez, farostlemez) és kötőanyagok adagolásával a tulajdonságokat meg tudjuk változtatni.

Az említett vályogtól az univerzálisan alkalmazott fán keresztül a mai csúcstechnológiát felhasználó sporteszközökig (golf- és teniszütők, szuperkönnyű repülőgépek), a turbinalapátokig és a vasbetonig a kompozitok felhasználása igen széleskörű. Az 1940-es évektől tudatos munkával alakítják ki és alkalmazzák a kompozitokat. Előállításuk, felépítésük tudatos kutató, tudományos és mérnöki munka eredménye. Az anyagok társításában, az alapanyag, az erősítőanyag és érintkezési-, határfelületi szerkezet elemzésével alapvető szerepe van az anyagtudománynak.

A kompozitok különleges típusát képviselik azok a szupravezető flexibilis vezetékek, melyek fémes vezetőanyagból és a szupravezető fémvegyület, kerámiaszálakból áll. A szupravezetés létrejöttéig a fém vezet és működés közben a jó hővezetéssel biztosítja a szupravezetés hőmérsékletére történő hűlést.

A kompozit alapvetően két részre bontható (néhány esetben ezek a szerepek nem vagy alig értelmezhetők) mátrix (alapanyag) és erősítő anyag. Bár ez az elnevezés a nemzetközi szakirodalomban széleskörűen alkalmazott, nem minden esetben az "erősítés", a szilárdságnövelés a kompozitanyagok létrehozásának célja. Sok esetben a mátrix és töltőanyagról lenne indokoltabb beszélni pl. súlycsökkentő adalékok vagy a hőtágulást befolyásoló társított anyagok. A mátrix (folytonos) körbefogja az erősítőanyagot, átadja és elosztja az igénybevételt. A szilárdság és szívósságnövelésnél az alakváltozási és törési mechanizmust változtatjuk meg. Kompozitok esetén a tulajdonságok milyenségében meghatározó szerepe van a mátrix és az erősítőanyag közti kémiai és fizikai kapcsolatnak és a fázisok közti esetleges átmeneti rétegeknek (7. ábra). A kompozitok anyagpárosításakor a mátrix és az erősítőanyag termodinamikai, diffúziós és hőtágulási és zsugorodási jellemzőinek megfelelőségét is figyelembe kell venni. Az erősítőanyagok és a mátrix közti nedvesítés alapkérdése a kompozitgyártásnak.

Egyes kompozittípusoknál a mátrix és az erősítőanyag között csak a gyártás (pl. öntés) során keletkező zsugorodásból származó nyomófeszültség (súrlódás) biztosítja a kapcsolatot.



7. ábra. Kompozitok felépítése

A kompozitokat morfológiájuk alapján 3 fő csoportba sorolhatjuk: (lásd 8. ábra)

- szemcsés vagy részecskeerősítésű
- szálak (rövid- vagy hosszúszás)
- lemezes (térfogati- vagy felületi réteges)

és ezek variációi. A kompozitok tulajdonságai a részecskeerősítés esetén általában iránytól függetlenek (izotrópok), míg a rövid- és hosszúszákkal erősítettek, valamint a rétegeltek az erősítőanyag elrendezése alapján lehetnek irányított vagy irányítatlan tulajdonságúak. Az erősítőanyag véletlenszerű és szabályos eloszlására egyaránt találunk példát.



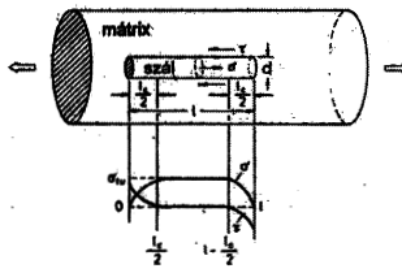
8. ábra. A kompozitok felépítése

A kompozitok létrehozásával a célunk lehet:

- szilárdságnövelés (kis, normál és nagy hőmérsékleten)
- törési biztonság (törési szívósság) növelése
- rugalmassági modulus növelése (merevség javítása)
- hőtágulási együttható csökkentése (meghatározott értékre történő beállítása)
- súlycsökkentés
- mágneses és elektromos tulajdonságok javítása
- kopásállóság (heterogén anyagú csapágyötvezetek) stb.
- szupravezető szerkezetek előállítása
- hőszigetelő képesség növelése

2.1 Szálerősítésű kompozitok

A szálak fontos jellemzője a fajlagos felület, amelyet az l/d viszony jellemez. Ez a viszonyszám a mátrix és az erősítőanyag közötti erőátadás szempontjából fontos. A szálak szilárdsága az átmérőjük csökkenésével nő. Pl. a szénszál szilárdsága $12 \mu\text{m}$ átmérőben 1500 MPa , $8 \mu\text{m}$ -nél 2500 MPa - ennek oka, hogy kis méretben az elméleti szilárdság jobban megközelíthető, a felületi hibák száma csökken.



9. ábra. Az l hosszban mátrixba foglalt erősítőszál teherviselése

A szál által átvihető maximális feszültség a szál szilárdsága, ez a d átmérőjű szálon F erőt jelent. A szál befoglalásának, az átmeneti rétegnek (vagy a mechanikai súrlódásnak) legalább ekkora erőt kell átadnia a mátrixnak, hogy a szál ki legyen használva. A szál felületén a $\tau_{\text{átm}}$ nyírófeszültség viszi át a terhelést. Így

$$\pi d^2 \sigma_{\text{szál}} < 2\pi d \tau_{\text{átm}} l \quad (1)$$

Az egyenletet átrendezve

$$\frac{\sigma_{\text{szál}}}{4\tau_{\text{átm}}} < \frac{l}{d} \quad (2)$$

Azt az esetet vizsgálva, amikor a szál szakítószilárdságig történő terhelhetősége azonos a mátrixra átvihető erővel a szál kritikus befogási hossz és átmérőaránya

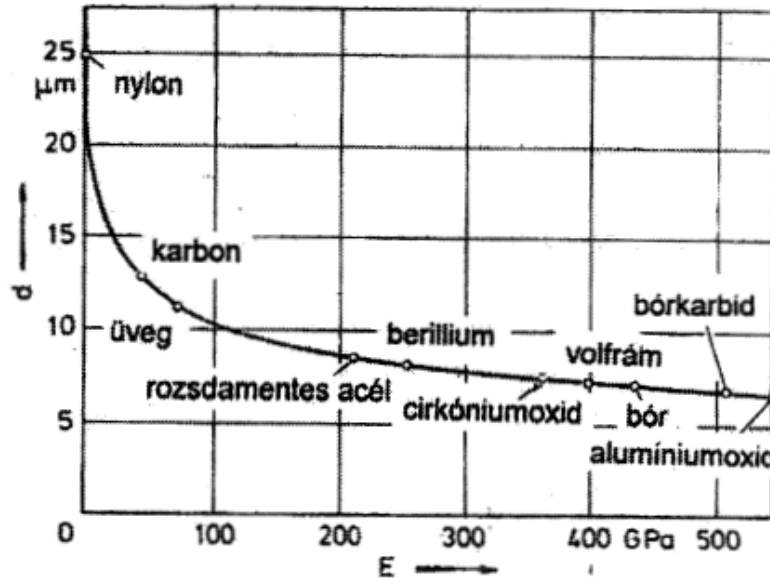
$$\frac{l_c}{d} = \frac{\sigma_{\text{szál}}}{4\tau_{\text{átm}}} \quad (3)$$

A feldolgozhatóságot (hajlítás, szövés stb.) a deformációs képesség, rugalmasság határozza meg (flexibilitás). Ennek jellemzője:

$$\frac{1}{MR} = \frac{64}{Ed^4\pi} \quad (4)$$

ahol: d a szálátmérő, R a hajlítás sugara, E a szál rugalmassági (Young-) modulusza.

A 10. ábra a különböző anyagú (rugalmassági modulusú) szálak feldolgozhatóságát a közismert nylon száléhoz (25 μm átmérőjű) hasonlítja, az azonos flexibilitáshoz jelentősen különböző szálátmérő tartozik.



10. ábra. Azonos hajlíthatóság (flexibilitás) biztosítása a szálátmérővel a különböző anyagú szálaknál

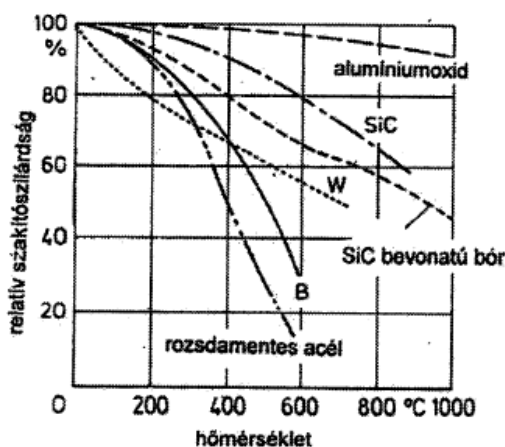
A szálerősítésű kompozitok alkalmazásával elérhető meghatározó hatások:

- jelentős szilárdságnövelés
- jelentős merevség (Young modulus) növelés
- súlycsökkenés
- törési szívósság növelése
- hőtágulási együttható beállítása
- kifáradási határ növelése, stb.

Erősítőszálak típusai:

- - üvegszálak:
 - (electrical) jó szigetelő és nagy szilárdságú, elfogadható Young modulussal)
 - C (chemical) kiváló kémiai ellenállással
 - S (strength) nagyszilárdságú, nagy SiO_2 tartalommal, jó hőállósággal
 Erősítőanyagként főként polimer mátrixú kompozitokban kerülnek alkalmazásra
- fémszálak
 - acél, rozsdamentes acél (korlátozott lehetőségek pl. autógumik). A szilárdságot hidegalakítással növelik, ekkor a kilágyulás korlátozza az alkalmazási és beépítési hőmérsékletet. A fém erősítőszálak és a mátrix között kémiai reakció léphet fel, pl., a vas oldódik az Al-ban.
 - W szál magas szilárdság, jó hőállóság, nagy sűrűség jellemzi. Ára magas pl. turbinalapátok erősítésére használják.
- fémüvegek (túltelített fémek, rendkívül gyors, 10^6C/s hűtéssel létrehozva). Kutatási eredményekként szilárdságukat tökéletes rácsú kiválásokkal tovább növelik
 - nagy teljesítményű (HP) anyagok. Szilárdságuk, rugalmassági modulusuk jó, sűrűségük kicsi

- organikus szálak: Pl. Kevlár (Du Pont cég nagyszilárdságú aramid szála 1971-től), amely maximálisan 200-250°C-ig használható, nyomószilárdsága kicsi. Sűrűsége 1,44 g/cm³, szilárdsága ~2 GPa. A holland DSM kémiai konszernnél gélszálhúzási technológiával ennek kétszeres szilárdságát érték el polietilén szállal, melyben a nagy tömegű, rendezetlen molekulák kristályos részeit húzással a szál hosszirányára merőlegesen rendezték el. A Dyneema néven bevezetett szál kis sűrűségű (0,94g/cm³), rendkívül tartós, kopásnak, vágásnak, ultraibolya sugárzásnak ellenáll. Az 1992-es téli olimpián gyorskorcsolyázók már viseltek ilyen ruhát. Golyóálló mellények, autópáncélozás készítésére is alkalmas (réteges kompozitok).
- bórszálak. A bór olvadáspontja 2030°C, sűrűsége 1,44 g/cm³, rideg anyag. A szálak előállítása drága. Jellemző szál-előállítási módszer a CVD eljárás, ahol 5-10 μm átmérőjű W vagy C szálra általában BCl₃ gázból hidrogén jelenlétében kb. 1200°C-on bór válik ki. A B erősen reakcióképes, így felületét SiC-dal vonják be.
- kerámia szálak. Főként Al₂O₃ szálakat alkalmaznak, melyek nagy szilárdságúak és merevségűek, sűrűségük kicsi (3,9 g/cm³), kémiai stabilitásuk és hőállóságuk jó. A szálakat a nedvesítőképeség javítása érdekében Al mátrix esetén bevonatolják pl. SiC-dal. A szálak tartalmazhatnak SiO₂-ot (0-30%) és néhány típusban B₂O₃-ot is. Rövidszálú erősítésként gyakran alkalmaznak SiC whisker-eket (általában túszerű egykristályok, felületi hibáik nincsenek), melyek l/d aránya 50-1000, átmérőjük 0,5-5 μm.



11. ábra. Erősítő szálak szilárdságának változása a hőmérséklet függvényében.

A hosszúszalú SiC-ot a B szálakéhoz hasonló technológiával karbon vagy W szálra CVD eljárással viszik fel H₂+CH₃SiCl₃ közegben 1300°C-on. Az így előállított SiC szál β-SiC, átmérője 140 μm, sűrűsége 3,3 g/cm³, szilárdsága 3500 MPa, Young modulusa 430 GPa. Szilíciumnitrid, bórkarbid és bórnitrid szálakkal is folynak kísérletek, az alkalmazásuk szerszám és szerkezeti anyagként is terjed.

- szén, grafit. A hexagonális síkban a húzószilárdság és a rugalmassági modulusz igen magas. Erősítőszálak készzésénél a feladat ezeket a síkokat a szál tengelyére merőlegesen beállítani. Előállításuk polimer (cellulóz, műselyem vagy poliakrilnitrid) szálak vagy kátrány alapanyagból történik. Sűrűsége alacsony 1,6-2,1 g/cm³ (az ideális 2,26 g/cm³). A felhasználásnak megfelelően gyártanak magas szilárdságú (HT) vagy magas rugalmassági modulusú (HM) szálakat, ezeket a jellemzőket a grafitizáció hőmérsékletével szabályozzák. A szálak polimer mátrixú felhasználása közismert, sporteszközök, szuperkönnyű repülőgépek és versenyautók készítésére is használják. Magas hőmérsékleten működnek a karbon-karbon kompozitok, melyeknél a szál vázanyagot műgyantával itatják át, majd elszenítik.

2.1.1 A folyamatos szálakkal erősített fém mátrixú kompozitok előállítása.

A szálerősítésű kompozitokat általában előformázott termékek vagy szálkötegek folyadékos infiltrációjával és az előtermékek diffúziós kötésével készítik. Ezek soklépéses, nehezen automatizálható eljárások. Az alkatrészek mérete és alakja korlátozott, és előállításukhoz a szokásos alakítási eljárások nem alkalmazhatók, így a gyártási költségek nagyok.

A fejlesztőmunka alapvetően a könnyű, általában alumíniummátrixú kompozitok anyagtulajdonságainak további javítására és matematikai leírására irányul. Az alkalmazott erősítő szálfajták karbon, bór, SiC és Al_2O_3 anyagúak. Közülük a karbonszálak sűrűsége a legkisebb, így alkalmazásuk jelentős súlycsökkenést eredményez. A szilárdság növelésén kívül az alumínium kompozitok hőtágulása is szabályozható karbon- és bór-erősítés használatával. Ezt hasznosítják mikrochipek hűtőelemeiben.

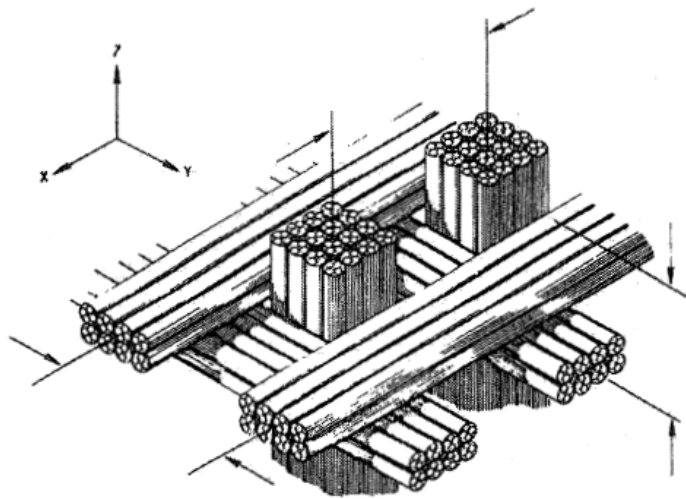
Az erősítőszálak és a mátrix közti nedvesítés (kerámiaszálaknál) és a kötés valamint a reakciók a fémes mátrixú kompozitoknál alapvető kérdés. Alumínium alapú kompozitoknál ezt a kérdést a szálakon megfelelő bevonatok alkalmazásával megoldották. Alumínium mátrixban karbonszál felületén rideg Al_4C_3 intermetallikus réteg képződhet, ez rézbevonattal megelőzhető. A mátrix és a SiC-erősítés közti káros reakciókat a szál felületi zónájában létrehozott szilíciumfelesleggel vagy TiB_2 , Ni vagy akár Ni ötvözet bevonattal előzik meg. A bórszálakat gyakran SiC-dal vonják be. Az Al_2O_3 szálaknál a nedvesítést a mátrix ötvözésével (Li, Mg, P, Zr...) javítják.

A hosszú szálakkal erősített fémes mátrixú kompozitok gyártásában különféle felhordó módszereket alkalmaznak, így a kémiai felgőzölés (CVD), fizikai felgőzölés (PVD), a galvánbevonás valamint a felszórás. Ezek az eljárások a mátrix anyagával vonják be az egyes szálakat. Az anyagot ezután diffúziós kötéssel szilárdítva képeznek kompozitlapot vagy alkatrészt.

Az alumínium mátrixú kompozitnál magasabb hőmérsékleten titán alapú kompozitokat alkalmaznak. Korrózió és oxidációállósága jó. Gyártási problémái a mátrix rendkívüli reakcióképességével függnek össze: magas hőmérsékleten nehéz elkerülni a mátrix és az erősítés közti reakciókat, ezért a szálak bevonása különösen fontos. A titán alapanyag és a szálak bevonatolása miatt a titán alapú kompozitok előállítási költsége magas. A titánmátrix legsikeresebb szálerősítése a SiC és a bór. A bórszálakat SiC-dal (BORSIC, CTI) és újabban amorf B_4C -dal vonják be. A SiC szálak bevonatolására HfC-, ZrN- és TiC-dal is kísérleteznek. A legjobb mechanikai tulajdonságokat a SiC szálakkal akkor érték el, ha a külső réteg karbondús (SCS-6, Textron), valamint kombinált karbon és TiB_2 védelemmel (SM1240, BP) ellátott. Néha a mátrix reaktivitását is eredményesen lehet csökkenteni ötvözéssel (pl. bór erősítőszálak esetén V, Mo, Al adalékokkal). A titán felhasználása a feldolgozó és a vegyiparban a legsúlyosabb korróziós körülmények között eléggé elterjedt, azonban elég lágy és korrózióállósága a felületi oxidrétegen alapul, így a kopással kombinált korróziós hatásokkal szemben nem eléggé ellenálló. Alkalmazhatóságát kerámia részecskékkel növelik.

A hosszúszálas erősítés mellett az egyszerűbb feldolgozhatóság és előállíthatóság miatt terjednek a rövidszálú kompozitok. Az erősítőanyagok szálnyersedékek vagy tűkristályok egyaránt lehetnek. Az alkalmazott szálhosszúság legalább l_c -nyi (lásd (3)), de a gyakorlatban általában $l=10-15 l_c$ hosszúságúak.

Köztudott, hogy a szálerősítés hatásosságát és mechanikai leírhatóságát a szálelrendeződés és így az inhomogenitás alapvetően befolyásolja. A gyártásnál a szálirányok egyenletes elosztására különleges térbeli szövési eljárást alkalmaznak.



12. ábra. A szálak tipikus 3-D elrendezése

2.2 Részecske erősítésű kompozitok

A szilárdságnövelés egyik módja a kiválások létrehozása az alapanyagban, így növeljük az alumíniumötvözetek nagy részénél a szilárdságot. A kiválások mennyiségét az ötvözet típus határozza meg. A diszlokációmozgás akadályozásának, így a szilárdság növelésének egy másik lehetősége a diszperziós erősítés. Ez általában maximálisan 15% erősítőanyagot jelent. A diszperz részecskeméret nagyság 100 nm és 1 µm közötti. A szilárdságnövelési mechanizmus a kiválások keményítéséhez hasonlóan a Burgers vektorból és a részecskék közti távolságból levezethető. A diszperzióval erősített anyagok általában magas hőmérsékleten is megtartják szilárdságukat. A diszperziós erősítés pl. alumíniumpor felületi oxidációjával és porkohászati feldolgozásával (SAP: Sintered-Alumínium-Powder), vagy alumíniumpor koromban történő izzításával (Al_4C_3 és Al_2O_3 keletkezése) és porkohászati feldolgozásával (DISPAL), mechanikus ötvözéssel vagy belső oxidációval lehetséges.

A részecskeerősítés esetén az erősítőanyag átmérője általában 1-10µm közötti. A leggyakrabban alumínium ötvözetek szilárdságnövelésénél alkalmazzák. Az erősítési mechanizmusban alapvető szerepe van az átmeneti rétegnek. Az erősítőanyagként alkalmazott Al_2O_3 , SiC aránya eléri a 65-70%-ot. Alkalmazási területük a kopásálló féktárcsáktól a robbanómotor dugattyúk erősítéséig terjed, sőt a nagyfordulatszámú tengelyek kritikus fordulatszámának növeléséhez (az E/ρ növelésével) is hatásos eszköz. A tulajdonságok a keverési törvény alapján jól becsülhetők

$$Tul_{kompozit} = Tul_{mátrix} V\%_{mátrix} + Tul_{erősítőanyag} V\%_{erősítőanyag} \quad (5)$$

A részecskeerősítés a fáradási tulajdonságokat javítja és lehetőséget ad a hőtágulási együttható változtatására.

Bár a csúcstechnológiák a hosszúszálas kompozitokat állítják előtérbe, árak és feldolgozási technológiájuk bonyolultsága csak kiemelt fontosságú helyeken teszi lehetővé alkalmazásukat.

Fémmátrixú kompozitok esetén különösen ez a jelenlegi helyzet (alumínium és titánmátrixú hosszúszálas kompozitok a repülőgépiparban), így az alumínium mátrixú kompozitok esetén a fő hangsúly a mérsékelt hatást biztosító szemcseerősítési eljárások gazdaságos tömeggyártási módszereire helyeződik. Különösen fontos ezen anyagok feldolgozási technológiáinak (forgácsolás, hegesztés és újrafeldolgozás stb.) és hatásaiknak ismerete és fejlesztése.

A monolitikus alumíniumötvözetek tömeges felhasználása lehetővé tette hatékony és megbízható gyártásukat. Ezen módszerek nagy része az alumínium mátrixú részecskeerősítésű kompozitok esetén is alkalmazható pl. az extrudálás, a hengerlés, a kovácsolás, az öntés és a porkohászat eljárásaival. A folyadékállapotból történő porlasztásos felhordási technológia alkalmazása is potenciális alkalmazási lehetőség. Az öntési eljárások és alapanyagok fejlesztése talán a legolcsóbb és széles körben alkalmazható gyártási módszert nyújt. Az erősítőszemcsék egyenletes eloszlásához

mechanikus, elektromágneses vagy gázos keverést alkalmaznak. Kereskedelmi forgalomban kaphatók olyan öntészeti kompozittömbök (DURALCAN), melyek olvasztás után a hagyományos öntészeti technológiákkal feldolgozhatók. A félszilárd állapotú öntési eljárásoknál a nagy viszkozitás miatt az erősítőanyagok térfogataránya nagyobb lehet, az szemcsék eloszlása is egyenletesebb és lehetséges a nem nedvesedő részecskék alkalmazása is. Csökken a mátrix és az erősítés közti kémiai reakció is.

A részecskeerősítésű alumínium mátrixú kompozitok legáltalánosabb erősítőanyaga a SiC. Bár sűrűség némileg nagyobb az alumíniuménál, relatív olcsósága, elérhetősége és szilárdság-, rugalmassági modulus- és kopásállóság növelő hatása miatt alkalmazzák ilyen nagy arányban. Az Al_2O_3 részecskéket is gyakran használják erősítőanyagként. Az alumíniummal szemben semleges, az oxidációval szemben is ellenálló, így lehetséges magas hőmérsékletű feldolgozása és alkalmazása. Sajnos az alumínium rosszul nedvesíti, így a mátrixot ötvözik vagy az erősítőszemcséken bevonatot alkalmaznak. A lítium kedvező ötvözőanyag. A MgO az Al_2O_3 felületén javítja a nedvesedést. A nyomásos öntés esetén a nedvesítés kevésbé fontos, mint az olvadékkeveréses módszernél.

Más erősítő szemcséket is alkalmaznak. A grafit javítja a siklási, tribológiai jellemzőket. A B_4C erősítésű alumínium a bór neutronelnyelő tulajdonsága miatt a nukleáris technikában alkalmazható. A ZrO_2 felhasználását is intenzíven kutatják, különösen jelentős lehet alkalmazásuk az önterjedő szintézissel előállított kompozitok területén.

2.2.1 Részecskeerősítésű kompozitok előállítása

A gazdaságos előállítási módszerek jelentős része a hagyományos technológiák jellemzőit viselik (pl. öntés), míg másik részük új kutatási eredmények (pl. a reakciókötések). A főbb eljárások:

- porkohászati eljárással,
- olvadék keverésével (mechanikus, mágneses) majd öntésével
- szabályozott reakciók a fémolvadék és a gáz között erősítő részecskék képzésével az olvadékban (alumíniumolvadék oxidálása vagy nitridálása, de más reaktív fémeknél Ti, cirkónium is alkalmazható)
- előre gyártott (pl. kerámia) vázszerkezetek folyékony fémmel történő átítatásával stb.
- exoterm reakció az alkotók között erősítés képzésével (SiC, TiC, TiB_2 létrehozása), a mátrix anyagával összekeverik a kívánt erősítőanyag tartalomnak megfelelő anyagokat és újraolvasztják a keveréket. A módszer Al/ Al_2O_3 porkeverékből nagy (a HIP kezelttel azonos) hajlítószilárdságú Al_2O_3 kerámia előállítására is alkalmas.

Sokat ígérő módszer a monolitikus fémek feldolgozásánál már korábban alkalmazott Osprey eljárás. A fémolvadékot semleges gázzal porlasztják, majd a zárt térben valamilyen (előalakot adó) felületre lecsapódik, ahol gyorsan megdermed, így a reakcióidő rövid, a káros reakciók elkerülhetők. Az erősítőanyag (pl. SiC) a porlasztott fémbe injektálható. A nyers termék sűrűsége kb. 97%-ot ér el. További műveletekkel elérhető a teljes tömörség. Ennek az eljárásnak nagy előnye a rugalmassága. Több szórófej összehangolt munkájával az erősítő és mátrixanyag aránya az egyes rétegekben szabályozható. A módszer alkalmas kompozit anyagú alkatrészek in situ gyártására.

2.3 A szerkezeti réteges kompozitok

A kompozitok külön csoportját képezik azok a szerkezeti réteges kompozitok, amelyek őstét a rétegelt lemezes fa bútorlapokban találhatjuk meg. A szendvicsszerkezetű (nagy szilárdságú alumínium vagy titánlemezek között méhsejt mintájú polimerek) repülőgép burkolóelemek vagy a centrifugál öntéssel készített réteges alkatrészek tartoznak ide.

A rétegelt kerámiakompozitokkal kiváló mechanikai tulajdonságokat lehet elérni az egyes rétegek tulajdonságainak, geometriájának és határfelületeinek szabályozása révén. A rideg kerámiák szívóssága növelhető a repedés irányára merőleges gyenge határfelületek bevitelével és belső feszültségek létrehozásával. Ezek a húzó-, nyomófeszültségek az eltérő hőtágulás következményei és meghatározzák a terjedő repedések eltérítését. (Az eltérő hőtágulást a szuperképlékeny állapot létrehozásához is próbálják kihasználni.)

Az $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{ZrO}_2$ rendszerben az egyes rétegekben az alumíniumoxid és a cirkóniumoxid arányának változtatásával nagy belső feszültségeket lehet létrehozni, mivel ezen oxidok hőtágulása jelentősen eltér. Az $\text{Al}_2\text{O}_3 - \text{ZrO}_2$ alapú kerámiák a metastabil tetragonális cirkónium-oxid zárványok a feszültség indukálta átalakulása következtében nagy szívósságú anyagok.

Természetesen ennél lényegesen egyszerűbb technológiával és széles körben felhasznált anyagokból is készítenek rétegelt kompozitokat. Ide sorolhatjuk a fémes bimetalokat és a plattírozott lemezeket is. A kis szilárdságú, drága ausztenites saválló lemezek helyett tartályok gyártására (vegyipar, atomtechnika) eredményesen használják a plattírozott olcsó, jól hegeszthető ferrit-perlites anyagokat, melyek felületére ausztenites réteget szórnak, hegesztenek vagy hengerelnek.

2.4. A kompozitok megmunkálása

Mint korábban említettük a kompozitok gyártásánál egyre inkább előtérbe kerülnek azok az előállítási módszerek, melyek kész alkatrészt eredményeznek. A fém alapú kompozitoknál lehetőség van utólagos műveletekre is. Például a részecskeerősítésű kompozitok alakítása és forgácsolása megoldható. A forgácsolás természetesen néhány erősítőanyag keménysége miatt problémát jelenthet, ezért forgácsolószerszámként TiC-TiN bevonatú keményfém-, vagy kerámia-, gyakran gyémánt szerszámokat alkalmaznak. Nagy lekerekítési csúcssugarú szerszámmal és a lehető legnagyobb fogással kell dolgozni. A szálerősítésű anyagok általában csak gyémánt szerszámmal forgácsolhatók.

A kompozitok egyesítésére a hegesztési technológiák erőteljes kutatása folyik. A forrasztás és a ragasztás jobban megoldott. A kellően vékony forrasztó (ragasztó)-rétegben a feszültségi állapot a hidrosztatikus állapothoz közeli, így nagyobb szilárdságot biztosít, mint alapanyagként.

3. Öntészet

Az öntészet a formaadás egyik legrégebb, nagy szabadságot biztosító módszere. Az öntött félgyártmány még bonyolult alakok esetén is jól megközelíti az alkatrész kész alakját, alapelve szerint a megolvasztott fémet egy megfelelően kialakított üregbe öntik, a fém felveszi az üreg alakját, majd fém ebben az alakban megdermed. Segítségével a legbonyolultabb alakú és a legkülönbözőbb anyagú termékek egyedi és tömeggyártással is előállíthatók.

A legrégebb öntött ékszereket és nyílhegyeket i.e. 4000 körül készítették. A legnagyobb öntött szobor Japánban található, a Nara-i Nap Buddha, amelynek súlya 500 tonna, 1252-ben bronzból készült, több mint 21 méter magas. Hazánkban a legrégebb öntészeti emlékek az i.e. 1800-ból származó bronzkori leletek, nyílhegyek, lándzsahegyek, balták.

Az öntészet az 1700-as évekig kézművesség volt. Főleg ékszerek, gyertyatartók, kelyhek, tálak, medencék, szobrok és fegyverek készültek öntött kivitelben. A legnehezebb öntvények a harangok (pl. cári harang a Kremlben, 1735-ben öntötték, tömege 196 t), az ágyuk és a különböző épületdíszek voltak.

Az ipari forradalom idejétől az öntészetet a mezőgazdasági gépek, a malomipari berendezések, az épületgépészeti szerelvények és egyéb gépkatrészek gyártására kezdték használni, sőt 1779-ben Angliában az öntöttvasból hidat építettek. A hazai nagyipari öntészet az 1867-es kiegyezést követően alakult ki.

Legelső öntödéink a Ganz Ábrahám Vasöntöde (Budán, 1845), a MÁVAG Öntöde (1868), a Diósgyőri Vasgyár Öntödéje (1884) és a Weiss Manfréd Művek Csepeli Öntödéje (1895) voltak. Ezekben a kor legmagasabb technikai színvonalán folyt a termelés pl. a Ganzgyár az 1870-es években elsőnek gyártott kéregöntésű malomhengereket, amivel a gyár világhírnévre tett szert.

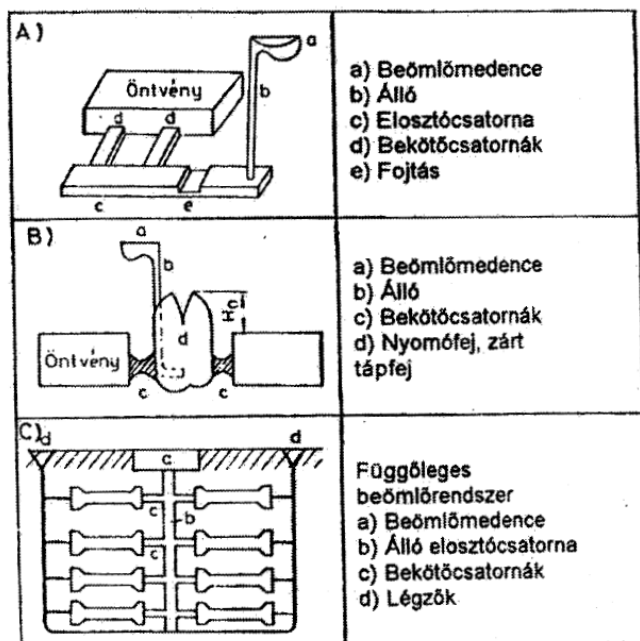
Az öntészet, ez az ősi technológia, a költségek kedvezősége és széleskörű alkalmazhatósága (főként a nehezen megmunkálható agyagok feldolgozhatósága) alapján reneszánszát és megújulását éli. Természetesen ez a technológia is felhasználja az anyagtudomány és a technológia fejlődések eredményeit, mellyel a klasszikus öntés hátrányait (különböző kiválások, makro-és mikroüregek, a fogyási eredetű szivacsosság, a szerkezeti inhomogenitások miatti mérsékelt mechanikai tulajdonságok) sikerült csökkenteni vagy megszüntetni.

Az öntvények kialakításának alapvető kritériumai az egyes technológiák jellegzetességeinek figyelembevétele, az öntési ferdeség, a forgácsolt felületeken a ráhagyás, az élek lekerekítése, az anyaghalmozódás elkerülése, az egyenletes keresztmetszet eloszlás (ezt jól jellemzik a keresztmetszetekbe rajzolható körök átmérője, melyek változása ne legyen ugrásszerű vagy nagy), az illeszkedő forgácsolandó részek jó hozzáférhetősége és lehetőleg kis felülete. Az öntvény szilárdságát inkább bordázattal kell növelni, mint a falvastagság növelésével. A várhatóan több öntési hibát tartalmazó rész az alkatrész alárendeltebb helyeire kerüljön.

Az öntvény külső alakját (a folyadék részére az üreget) a forma, az öntvény belső üregét a mag adja meg. A formák lehetnek egyszer (homok) vagy többször (fém) használatosak. A formákban kell biztosítani a magok megfelelő helyezését és rögzítését (magjelek), valamint a fém hozzávezetését az üreghez. Az egyszer használatos formáknál az öntendő üreg alakjának készítéséhez mintát használunk, melynek méretei a kész darab méreteitől a zsugorodás értékével különbözik. (A zsugorodás homokformás öntésű lemezgrafitos öntöttvasnál kb. 1%, alumínium ötvözeteknél 0-1,3%, alumínium bronznál 2,1%, nagy mangántartalmú acéloknál 2,6%.) A minta megadhatja a fém bejutását biztosító beömlőrendszert is. A mintát általában többször használják (fa, fém, műanyag anyagú minták), de alkalmaznak egyszer használatos kiolvadó (viasz) vagy kiégő (különböző habok) mintákat is.

Az öntés során a zsugorodó fémmennyiségnek megfelelően gondoskodni kell a folyékony fém utánpótlásáról, ellenkező esetben az öntvényen szívódási üreg keletkezik. A formából a levegő és a keletkező gőzök, gázok eltávozásához utat kell biztosítani.

A hagyományos formázástechnológiánál a beömlőrendszerének kialakítását az 13. ábra mutatja be.



13. ábra. A beömlőrendszer kiképzési módjai

A beömlőrendszert az áramlási törvények (Bernoulli egyenletek) alapján méretezik és alakítják ki. A formatöltést a nehézségi erő gyorsító hatása (gravitációs öntés) vagy a folyadékra ható nyomás (nyomásos öntés) biztosítja. A keresztmetszetek számításánál azt veszik alapul, hogy a formatöltés ideje kisebb legyen a fém likvidusz hőmérsékletig történő hűlési idejénél, a töltés ugyanakkor lamináris, turbulenciamentes legyen. Az áramló folyadék keresztmetszete a forma eléréséig folyamatosan bővül. A beömlőrendszerbe salakfogókat építenek be. Az olvadt fém formatöltő képességét az ún. spirálpróba alapján jellemzik.

10. táblázat. Az öntészetben használt főbb formázási módszerek:

Osztott formák	Osztatlan formák
homokformák	centrifugál öntés
kötőanyaggal kevert homok formák	precíziós (kiolvadó mintás) öntvénygyártás
kerámikus formák	különleges formázás
héjformák	rugalmas (szilikongumi) szerszámban
fémformák	kiégő műanyaghab mintával

3.1 Homokformázás

A formakészítés alapvető követelménye, hogy az alapanyag jól formálható, majd megfelelő mértékben alaktartó legyen. Az egyedi homokszemcsék összeragasztásához elengedhetetlen valamilyen kötőanyag. A kötőanyagok egyik csoportjának a nyers formában csak víz jelenlétében van kötő-, illetve alaktartó képességük; ilyen a bentonit, az agyag, a vízüveg, a dextrin, a pektin, a melasz stb. A másik csoport esetében az olvadt kötőanyag megdermedése vagy az oldószer elpárolgása, illetve a kötőanyagkomponensek közti kémiai reakció során jön létre a kötés.

A homokformázás a legősibb formázási módszer, általában agyag kötőanyagú kvarc alapú formázókeveréket használnak, az agyagtartalom 6-8%, a víztartalom 2-3%. A formázóanyag-keverékek szuszpenziók, melyek legfőbb diszperz alkotórésze a kvarchomok, a kisebb mennyiségű, de a megfelelő formázhatósághoz feltétlenül szükséges másik komponense az agyagásványokhoz tartozó bentonit vagy a kaolin. Az agyag ásvány kolloid anyag, amelyre a kis szemcseméret (gyakorlatilag 0,06 mm-nél kisebb) és a nagy fajlagos felület jellemző. Az agyagok tehát víztartalmú szilikátok, melyek gélszerű állapotot képesek felvenni. A homokkeverék megszilárdulása nem száradás következménye, hanem a homokszemcséket körülvevő agyagháló izoterm reverzibilis szol-gél átalakulása (tixotrópia: a kváziszilárd jellegű vázszerkezet mechanikai hatásra újra elfolyósodik, belső surlódása lecsökken, a mechanikai hatás megszűnte után folyékonyságukat elveszítik, megszilárdulnak). A magasabb öntési hőmérsékleten vagy nagyméretű öntvények öntésénél (hosszú a magas hőmérsékleten tartózkodás ideje) a krómmagnezitet, cirkont vagy samottport alkalmaznak a kvarchomok helyett vagy annak keverékeként. A költségek csökkentése céljából jóminőségű homokot a fémmel érintkező rétegben használnak, töltőanyagként pedig gyengébb minőségű vagy újr felhasznált homokkeveréket alkalmaznak. A gázátbocsátó képesség biztosítása érdekében a formázókeverékhez koksport adagolnak (2-3%)

A homokformákat nyersen, nagyobb méretek esetén a felületen vagy teljes keresztmetszetében szárított formában használják fel. A szárítás (általában szárítókemencékben 200-400°C-on) javítja a forma szilárdságát (így nagyobb öntvényeknél is alkalmazható) és az öntvény felületi minőségét, de növeli a költségeket. A homokformák kézi és gépi formázással készülhetnek. A kézi formázás termelékenységége kicsi, minősége szubjektív.

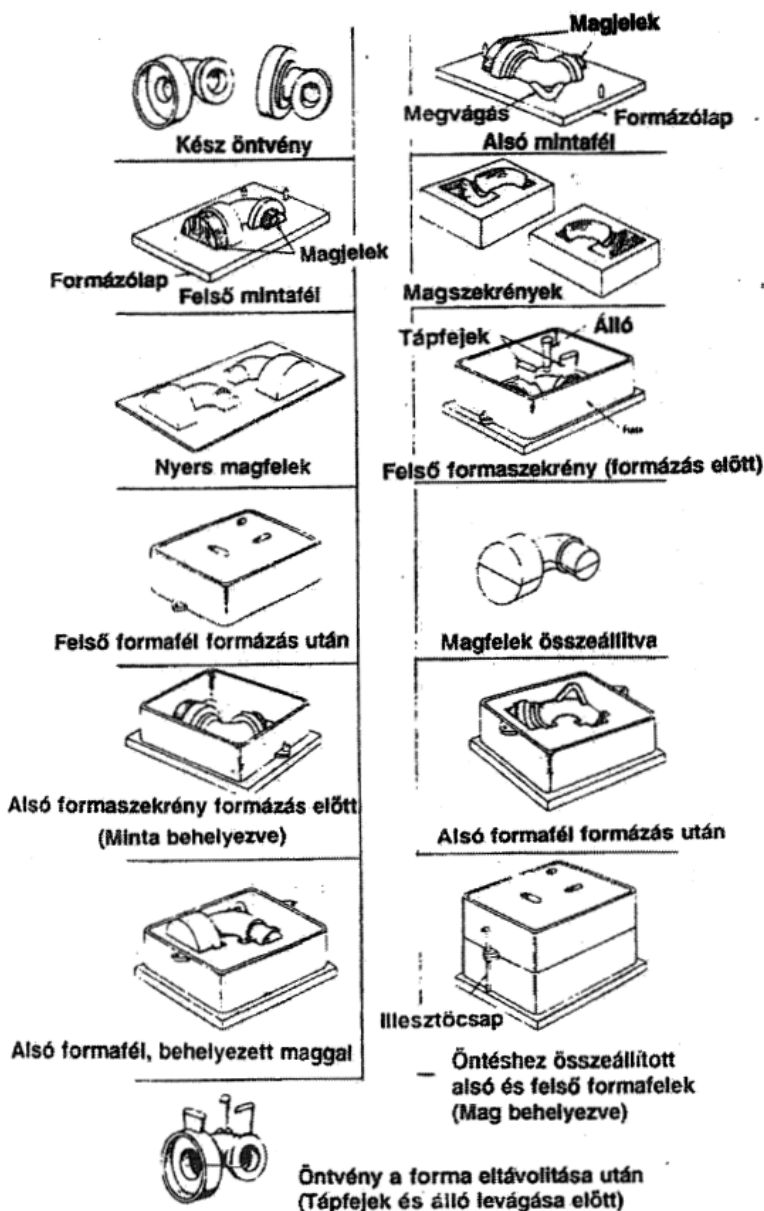
A homokformák az öntvény nagyságától függően készülhetnek minta vagy sablon (pl. harangok öntése) segítségével akár talajban is. A kis és közepes nagyságú öntvényeket formázószekrényben, nagyon bonyolult öntvényeket (szobrok) magban

formáznak. A formázáshoz annyi szekrényt használnak, ahány részre osztják a mintát. A minta osztása a formából történő sérülésmentes kivételt, a többszöri alkalmazhatóságot biztosítja. A formaszekrények pontos csatlakozását illesztőcsapokkal biztosítják. Ugyancsak illesztőfuratok és csapok segítségével teszik lehetővé a mintafelek pontos illesztését. A minta anyagát az öntendő darabszám, öntvény nagysága és az öntvény pontossága határozza meg. A faminták felületét a nedvesség ellen festéssel védik, a festés színe az öntvény anyagát, valamint a magok rögzítését szolgáló magjelek jelölését szolgálja.

A magok a nagyobb igénybevétel (ferrostatikus felhajtóerő hajlító hatása, fémes körülfogás okozta nagy hőhatás, a gázok, gőzök nehezebb távozása) miatt jobb minőséggel készülnek, mint a formák. A magokat magszekrényben formázzák, szilárdságukat acélvázzal növelhetik. A nagyobb termelékenységet maglövőgépek biztosítják. A jobb minőségű formázóhomokot kötőanyaggal keverik. A magokat mindig szárított állapotban rakják a formába. A benne keletkező gázokat elvezetik. A nagyon bonyolult formákat (pl. szobor, motorblokkok) magokból állítják össze. A minőségi sorozatgyártás gyakran alkalmazott formázó eljárása, nagy előnye a beömlő és légzőrendszer kialakítása. A folyékony fém behatolását a minta vagy forma pórusaiba a felületre felvitt bevonóanyaggal (fekecs) akadályozzák meg.

A formázásnál a kézi döngölés, a formaszekrények mozgatása, forgatása nehéz és lassú. Ezért ezeket a műveleteket gépesítették. A formázóanyag tömörítését sajtolással, rázással vagy röpítéssel végzik. A tömörség rázásnál és sajtolásnál a magasság irányában egyenlőtlen, röpítésnél egyenletes. A röpítés nagyméretű öntvények gyártásánál célszerű. A gépi formázás pontosabb, nagyobb szilárdságú.

A formázási módszerek alapjának tekinthető kézi formázás és öntés lépéseit a 14 ábrán mutatjuk be.



14. ábra. A homokformázás és öntés menete

3.1.1 Növelt szilárdságú homokformák.

A homokformák szilárdságát az agyag vagy bentonitos kötésnél nagyobb szilárdságot biztosító kötőanyagokkal növelhetik. A fontosabb a kötőanyagok a vízüveg, a gyorsidejű cement és a műgyanta keverék.

A vízüveges eljárásnál a finomszemcsés homokhoz 4-5% vízüveget (Na_2SiO_3), koksport és vizet kevernek. Héj, tömör és üreges formákat és magokat egyaránt készítenek ezzel az eljárással. A formán átfúvatott széndioxiddal gyorsítják a kötést vagy önkötő keveréket alkalmaznak. Az öntés hőmérsékletén a forma további szilárdulása miatt az öntvénytisztítás nehéz.

Műgyantakötésű formák. A homokhoz kb. 2 % műgyantát kevernek, majd a kötést hevítéssel vagy vegyi hatásokkal (gyorsítók) érik el. A gépesített formázási eljárásoknál mind a homok keverése, mind a formaszekrény mozgatása gépesített. Tömör és héjformák, magok készítésére is alkalmasak. A homoktömörítés csökkenthető, sőt el is hagyható.

Széles körben három különböző műgyanta típus használatos a homokformázáshoz:

- **Furángyanták:** furfurolalkohol és foszforsav keverésével állítják elő. A növekvő foszforsav tartalom csökkenti a kötési hőmérsékletet (250-300°C-ról szobahőmérsékletig). A szobahőmérsékleten kötő furángyantákat közvetlenül a formázás előtt keverik a formahomokhoz. Ezzel elkerülik a

keverék formaszekrényen kívül történő megkötését. Öntés után szétbomlik, könnyű a tisztítás.

- **Fenolgyanták:** aktiválóként policianátot, katalizátorként (vagy gyorsítóként) trietilamint használnak a fenolgyantás homokformázásnál. Ezek hatására a forma néhány másodperc alatt megköt. Ez az ún. COLD BOX eljárás. A katalizátort pillanatkeverővel, közvetlenül a homokkeverék formába adagolása előtt keverik a homokhoz.
- **Karbamidgyanták:** ammóniumsókkal keverve használatosak. A homokkeverék hőre köt, így több perces kemencében hevítés követi a formázást. Fémmintával használatosak. A kötést kellemetlen szag kíséri. Ez az ún. HOT BOX eljárás.

Műgyanta kötésű homokot használnak a legtöbb gépesített magkészítő eljárásnál is, a magfúvó illetve a maglövő gépekhez. Ezek a gépek fluidizált állapotú műgyantás homokkeveréket juttatnak egy fém magszekrénybe és a keveréket hővel vagy vegyi úton megkötik. A sorozatgyártás napjainkban főleg ilyen magkészítéssel folyik.

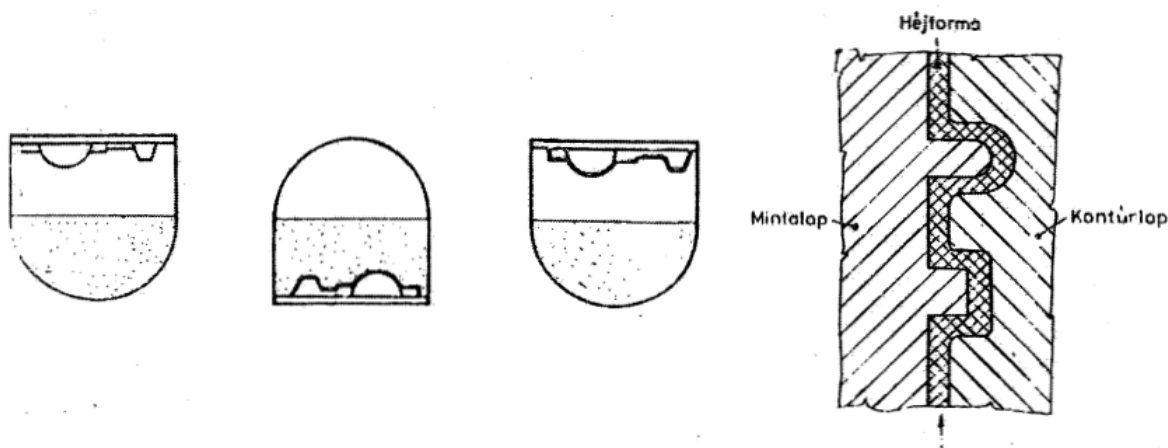
3.2 Méretpontos öntvénygyártó eljárások

Az öntvények pontosságának növelése csökkenti a ráhagyások nagyságát, ezzel az utólagos megmunkálás mennyiségét, lehetővé teszi a falvastagság és ezzel az öntvény tömegének csökkentését. A méretpontos öntvénygyártásnak ősi és új módszerei egyaránt vannak.

Héjformázás. A formázástechnikában a héjformákat a formahomok, különösen a kötőanyag keverésűek magas költségei miatt gyakran alkalmazzák. Klasszikus héjformázási eljárásnak az 1944-ben Croning által szabadalmaztatott, a többi formázástól lényegesen eltérő módszert tekintjük. A héjformázással előállított öntvények pontossága jó ($\pm 0,1-0,2$ mm), felületük sima, a forgácsolási ráhagyás kb. fele a homoköntésének. Az eljárást forma- és magkészítésre egyaránt alkalmazást nyer. A gyantás homok magas ára miatt a formakészítés csak héj kialakításával célszerű.

A héjformák alapanyaga jóminőségű SiO_2 szárított homok, a kötőanyag (4-8%) fenol-formaldehid novolak műgyanta (90%) és hexametilén tetramin térhálósító katalizátor (10%). A novolak kötőanyag jellemzője, hogy szobahőmérsékleten szilárd, 75°C felett megolvad és lehülve újra megszilárdul, ez egy reverzibilis folyamat. A térhálósodás csak a formaldehidet leadó katalizátor hatására következik be, a hexametilén tetramin 117°C -on ammóniára és formaldehidre bomlik. A térhálósítót is tartalmazó novolak tehát további hőkezelésre megszilárdul ($200-300^\circ\text{C}$). A formázóeljárások a gyantabevonatos homokot a mintára gravitációs úton vagy pneumatikus nyomással viszik fel. A minta anyaga fém, általában öntöttvas. A gravitációs úton készített héjnál a mintalap csak a héj egyik oldalát határolja, nyomással készítve azonban mindkét oldalt (így a héj falvastagsága egyenletes lesz). A héj vastagsága (2)-8-10 mm. A héjak és magok jól tárolhatók, nem nedvszívók.

Az egyik legelterjedtebb formázóeljárás a billenőedényes módszer (lásd 15. ábra).



15. ábra. A billenőedényes és a konturlapos héjkészítés

A billenőedényes eljárás lépései

- a 200°C-ra melegített mintalapot a tartály tetejére illesztik
- a tartályt átfordítják a gyantabevonatos homok a mintalapra zuhan és kb. 20 s múlva kialakul mintegy 8-10 mm vastagságban meglágyul és kialakítja a héjat
- a tartály visszabillentésével a még száraz homokkeverék a tartályba visszahullik, a mintalapot a héjjal együtt leemelik és kemencében vagy búra alatt a teljes megszilárdulásig tovább hevítik (350-500°C).

A kontúrlapos eljárásnál a mintalap mellé egy, a profilnak megfelelő ellenmintalapot (kontúrlapot) helyeznek el és az előre meghatározott hézagot 0,35...0,7MPa nyomás alkalmazása mellett gyantabevonatos homokkal töltik ki. A töltést és a jó felületi minőséget elősegíti, hogy megfelelő (a térhálósodás előtti, $75^{\circ}\text{C} < T < 117^{\circ}\text{C}$) hőmérsékleten a gyanta kis viszkozitású. A héjforma a két (elektromosan vagy gázzal) fűtött mintalap között bakelitizálódik ki.

A megszilárdult héjat a mintáról leemelik, a formarészeket és a magokat összerakják, a héjakat szükség esetén megtámasztják (pl. lédában söréttel vagy kavicsal, de a nyers formához használatos homokba is beágyazható). A beömlőrendszert külön alakítják ki. Öntés és a fém dermedése után a héj az öntvényekről jól eltávolítható. A minták költségessége miatt a héjformázás nagy darabszámok esetén gazdaságos. A héjformák készítésénél részben a katalizátorból, részben a bakelitizálódásból származóan erős penetráns szag keletkezik, mely az ilyen öntödéket messziről felismerhetővé teszi.

A héjformázást elterjedten használják magkészítésnél is, amit a nagy termelékenység, a jó tárolhatóság és a héjmagok kitűnő üríthetősége indokol. A magok héj és tömör kivitelben egyaránt készülnek. A magok készítésének hazánkban kidolgozott módja a pörgető magkészítés, amikor a 260-280°C hőmérsékletű magszekrényt pörgetőgépen megforgatják és egy közepesen lévő tölcseren át héjanyaggal megtöltik. A centrifugális erő hatására a töltés kiváló lesz.

A héjformázás pontosságát, gazdaságosságát növelendő nagy darabszámok esetén kokilla - héjbetétes módszert is alkalmazhatnak, amikor a vékony kontúrlapos módszerrel készített héjat kokillába helyezik és így kerül öntésre. A drága kokillák élettartama nő, a héjak megtámasztása jó (nincs falmozgás), nő a héjforma hűtőképessége is. Ugyancsak készíthetők olyan héjak kontúrlapos módszerrel, ahol a mintalap is kontúrlap is mintalap, így a formaelemek egymásra rakhatók, közös beömlőrendszerű emeletes formák állíthatók össze.

3.3 Precíziós öntés (kiolvadómintás formázó eljárások).

A precíziós öntés már mintegy 4000 évvel ezelőtt ismeretes volt (Kína, Közel - Kelet, Mexikó, Spanyolország, Olaszország...). Az eljárást nagyméretű szobrok készítéséhez is használták. A pontosan megformált alakra viaszréteget tapasztottak fel, majd ezt beformázták. A viaszréteget kiolvasztották és helyére fémet (bronzot) öntöttek.

A precíziós öntés viszonylag kis tömegű nagy bonyolultságú, nehezen forgácsolható anyagú alkatrészek nagy pontosságú ($\pm 0,05...0,2$ mm) gyártását teszi lehetővé. A pontos, jó felületű gyártmányok forgácsoló megmunkálása gyakran elmaradhat, vagy köszörülésre redukálódik. A technológia alkalmazása a magas ötvöztetésű szerszámacélok, hőálló acélok feldolgozásától az ékszergyártásig vagy a protézisek gyártásáig terjed. Bonyolult alakú turbinalapátok és elzárószelepek, csőidomok készülnek az eljárással. Viszonylag magas költségei miatt alkalmazása általában akkor indokolt, ha más technológia valamely okból nem megfelelő.

A precíziós öntészet technológiai változataiban közös az egyszeri felhasználású (elvesző) minták használata, melyet iszapszerű keverékbe formáznak, majd annak megszilárdulása után (a forma megbontása nélkül) a mintát eltávolítják (kiolvasztás,

kioldás vagy kiégetés stb.) A pontosságot az teszi lehetővé, hogy nincs osztósík, a formázási ferdeség minimális, a forma anyaga igen finom szemcsézetű. Vékony falvastagságok (0.3 mm is) formázhatók.

A precíziós öntés Magyarországon leginkább elterjedt változata az etilszilikátos kvarckeverék és a paraffin-sztearin-montánviasz anyagú minták alkalmazása. A precíziós öntés folyamatát az 16. ábra mutatja be.

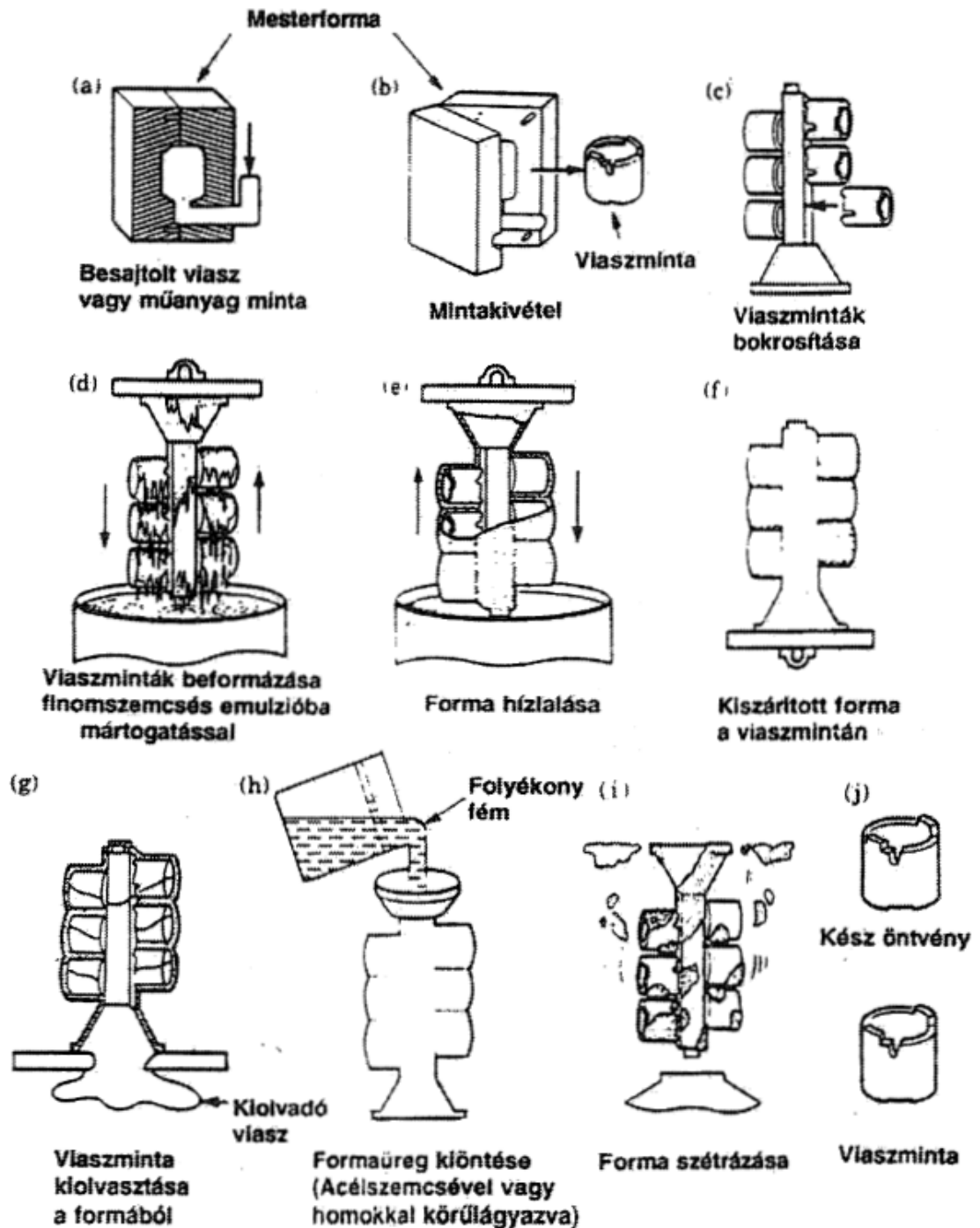
A viaszmintákat a készdarab alakjának alapján a zsugorodások figyelembevételével általában viaszajtoló szerszámban készítik el. A szerszámot vas-és fémötvözetből, kisebb darabszámok esetén gipszből, műgyantából, szilikongumiból (fogtechnikai és ékszerészeti munkák) készítik. A szerszámoknak a lehető legkevesebb osztással lehetővé kell tenni a minták sajtolását, gyors és könnyű kiemelését és jó felületi minőségét.

Kis tömegű alkatrészek gyártásakor az viaszmintákat közös beömlőrendszerre fűzik, bokrosítják-csokrosítják. Ez egyszerűen megvalósítható a viasz hegesztendő felületének megfelelő szerszámmal történő megolvasztásával. (hasonlóan ahhoz a művelethez, ahogy a viaszgyertyát a gyertyatartóra "ragasztjuk").

Az összeállított csokorra többrétegű bevonatot visznek fel iszapba történő mártás, homokszórás (vagy homok fluidágyba történő mártás) és szárítás egymást követő ismétlésével. Az iszapfürdő tejfölszerű etilszilikát $\text{SiO}_4(\text{C}_2\text{H}_5)_5$ és igen finom szemcsézetű alumíniumtrioxid és kvarchomok (a szerves oldószereket egyre inkább próbálják lecserélni). A forma minőségében az első rétegeknek (4-5 réteg) meghatározó szerepe van, a további rétegeket durvább homokból is készíthetik. A megfelelő szilárdság eléréséhez 5-8 mm vastag réteg kialakulása szükséges. Az egyes rétegek száradási ideje az etilszilikát hidrolízisének vízarányától függ, közepes vízarányánál 4-6 óra.

A minta eltávolításához a bokrot fejreállítják és a mintát kioldják vagy 180-200°C-os kemencében kiolvasztják. A viasz eltávolítása után a formákat 850-1000°C-on 1-12 órát kiizzítják, így a kerámiahéjból a gázképző anyagok eltávoznak, a héj elnyeri végleges szerkezetét.

Öntéshez a csokrokat kavicsba vagy sörétbe ágyazzák. Az öntés a homokformázásnál magasabb hőmérsékleten történik (gyorsacélok, szuperötvözetek öntése), az olvasztás eszköze általában indukciós kemence. Az öntést gravitációsan vagy centrifugálva végzik. A leöntött formák lehűlése után vibrációs módszerrel távolítják el a héjat, a finomtisztítás előtt az előtisztított csokorról levágnak vagy letörik az öntvényeket. A maradék kvarcmaradványok vizes lúgokban leoldhatók. Az öntvénytisztításhoz nagynyomású vízszugarat is felhasználhatnak.



16. ábra. A precíziós öntés folyamata

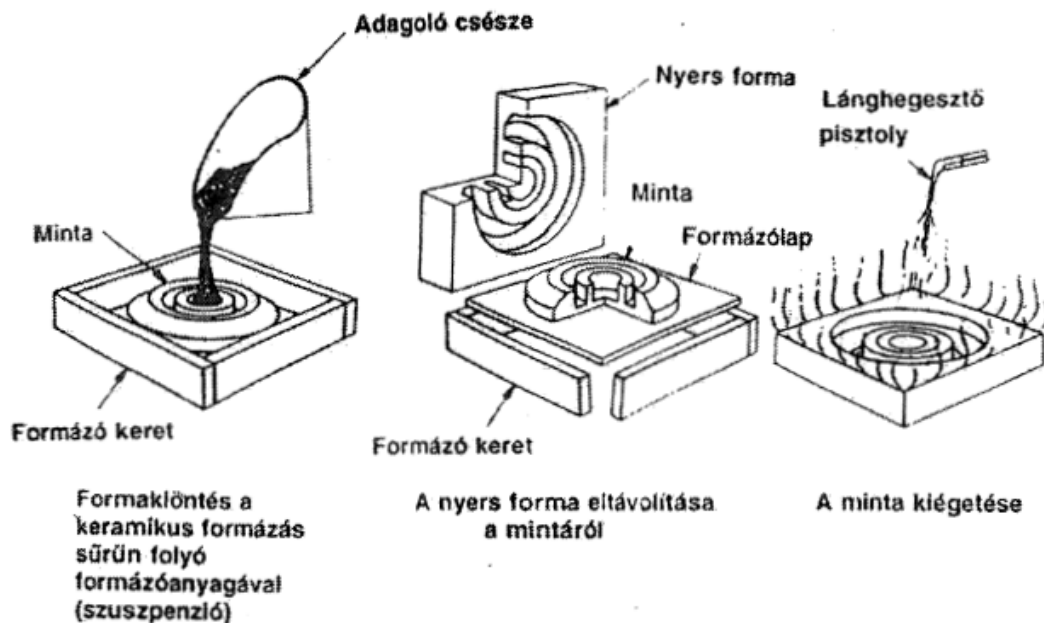
Alkalmazási kör:

- drága fémeknél (arany, ezüst, platina, wolfram, króm, molibdén, kobalt, nikkel, és ezek ötvözeteinél),
- bonyolult alakú, pontos öntvényeknél (ékszerek, szobrok, szerszámok, turbina lapátok, számítógép, műszer, és más precíziós alkatrészek),
- csak közép és nagyszorozatgyártásnál lehet gazdaságosan alkalmazni, ahol az öntvénygyártás magasabb költségeit (a homokformázáshoz viszonyítva kb. 10-szeres) ellensúlyozzák az öntvények kisebb megmunkálási költségei.

3.4 Keramikus formázás.

A homokformázáshoz hasonlóan többször használatos mintákat használnak a precíziós öntéshez hasonló iszapszerű folyékony formázókeverékkel. Az eljárás alapja Noel és Clifford Shaw szabadalma 1950-ből. Az eredeti szabadalom héjszerű formát jelentett be, ma már gyakran használják az osztott tömbszerű formákat és magokat is. A formázóanyag az esetek többségében hidrolizált etilszilikát (vízüveges eljárást is

alkalmaznak). Közvetlenül a forma vagy magkészítés előtt az iszaphoz gyorsított adagolnak, így az a forma- vagy magsekretyben gyorsan megszilárdul. A kiemelt forma lángkezelésével a szerkezet stabilizálódik és a felületen mikrorepedések keletkeznek, amely a megfelelő gázátbocsátást biztosítja. A formát oxidáló atmoszférában magas hőmérsékleten (1000°C-on 5 óra) izzítják, hogy gázképző anyagok ne maradjanak bennük. A gazdaságos felhasználási területek a precíziós öntéshez hasonlók, de nagyobb darabok is gyárthatók. Az alakítószerszámok (kovács-, üveg-, gumi-, műanyagipar) gyártásánál (pl. autóiipari öntött kovács-süllyesztékek) gazdaságosan alkalmazhatók. A repülőgép- és űrtechnika is jelentős felhasználó. A keramikus formázás folyamatát a 17. ábra mutatja.



17. ábra. A keramikus formázás

3.5 Öntés fémformába (kokillaöntés).

A homok-, kerámia-, héj-, precíziós öntés formái csak egyszer használhatók, az öntvény kivevésekor a forma tönkremegy. A kokillák többször használható fémformák, melyek jó felületi minőséget, pontosságot és finom szemcseszerkezetet biztosítanak az öntvénynek. A kokillák anyaga öntöttvas vagy ötvözött acél (Cr-Ni, Cr-Mo, W). A fémkokillákat vasötvözetek öntéséhez csak korlátozottan, de egyre terjedően alkalmazzák. A kokillafelületeket eloxálják, ez a réteg magas olvadáspontú, kopásálló, kemény.

A fémformák nyomás alatti öntésnél elsősorban könnyűfémekhez és ötvözetekhez alkalmasak.

A kokillaöntésnek négy változata használatos:

- gravitációs kokillaöntés,
- pörgetőöntés
- kiszorításos kokillaöntés,
- nyomásos öntés.

3.5.1 Gravitációs kokillaöntés

Gravitációs kokillaöntésnél a beömlőrendszer és a formaüreg feltöltése folyékony fémmel egyszerűen a gravitáció segítségével történik. A kokilla általában két félből áll, osztósíkkal. A mag részekre osztását a mag kivehetősége érdekében kell elvégezni. A gravitációs kokillákat és a magokat forgácsolással készítik el. Bonyolult alakú és változó keresztmetszetű öntvények öntésére használatos kokillákba helyi hűtést illetve helyi hevítést is be szoktak építeni, hogy irányított dermedést valósíthassanak meg.

A gravitációs kokillák beömlőrendszere ún. szabad áramlású rendszer, ami azt jelenti, hogy a beömlőcsatorna keresztmetszete folyamatosan növekszik. A kokillaüregben lévő levegő elvezetésére 1-3 mm-es csatornákat alakítanak ki.

A kokillákban készíthető öntvényt úgy célszerű tervezni, hogy a falvastagság a beömlés helyétől távolodva csökkenjen. Ezzel érhető el, hogy a közbelső helyek nem dermednek meg a hűlés során és a beömlőrendszer a zsugorodást után tudja táplálni folyékony fémmel. A mag és az öntvény kivehetősége érdekében a merőleges felületeket 0,5 - 2 fokos oldalferdeséggel kell elkészíteni. A kokillákat minden öntési művelet előtt tisztítani kell, és az üregeket és a magokat felületi bevonóanyaggal be kell vonni. Ezzel csökkenteni lehet a felületek kopását, szabályozni lehet a hőelvonást és meg lehet akadályozni az öntvények feltapadását.

A gravitációs kokillaöntés előnyei a homokformába öntéssel szemben a következők:

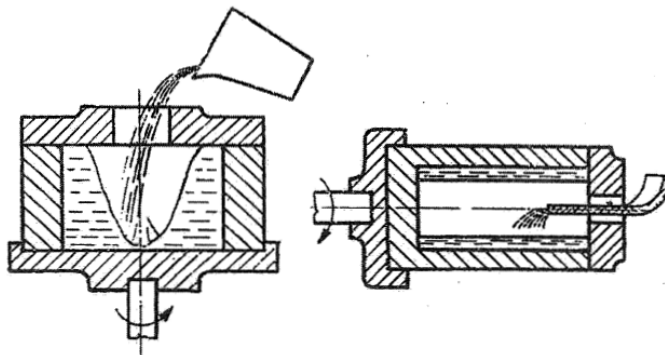
- pontosabb méret (kisebb öntvénytű, kevesebb forgácsolási költség),
- jobb felületi minőség,
- nagyobb termelékenység,
- nagyobb öntvénytűszilárdság (a gyorsabb dermedés miatt finomabb anyagszerkezet, kisebb szemcseméret).

A költségesebb forma és mag miatt a kokillaöntés csak megfelelő sorozatnagyság esetén gazdaságos. Az öntési gyakoriságnak megfelelően a kokillákra ható hőszokk hőfáradást okoz, felületükön repedés háló keletkezik.

3.5.2 Pörgetőöntés

A centrifugális erő üregtöltést segítő hatását néhány esetben precíziós öntésnél is kihasználják, de előnyei igazán nagyobb szilárdságú fémformák (vagy homokformákkal kombinált kokillák) alkalmazásakor használhatók ki. A pörgető öntés a forgástest alakú, de tetszés szerinti alakú öntvények előállítására is kiváló eljárás. A folyékony fémet a formán belül vagy kívül választott, függőleges, ferde vagy vízszintes tengely körül forgó formába öntik (18. ábra). A hosszabb csöveket (pl. nagyátmérőjű víznyomócsövek) vízszintes tengely körül forgatják. A jó formakitöltést és a belső felületet (üreg) kialakítását a centrifugális erő biztosítja. Az öntvény tömörsége a külső átmérőn nagyobb, az esetleges zárványosság a kisebb sűrűség miatt a belső felületen nagyobb. Az eljárás plattírozásra (kettős pörgető öntés) is alkalmas, így készítik a korszerű gömbgrafitos víznyomócsövek (falvastagság 8-20 mm) belső felületén a korrózióvédő cementalapú bevonatot (5-10 mm). A csőhengerlési eljárások csőbugáit is pörgetőöntéssel szokták előállítani.

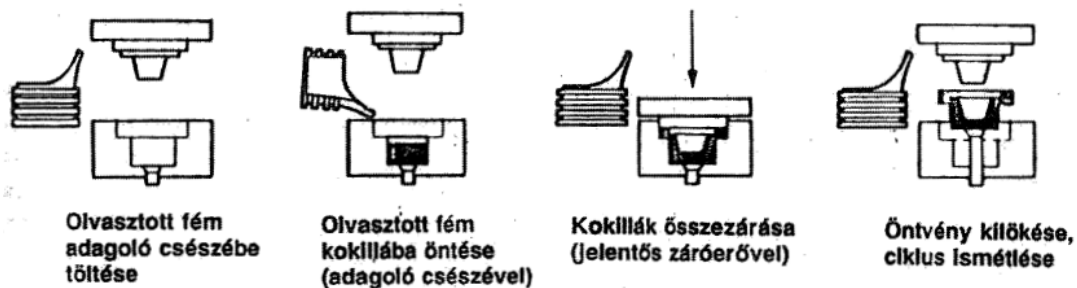
Függőleges tengely menti forgatást az átmérőjüknél kisebb hosszúságú öntvények készítésénél használnak. A fordulatszámától és az öntvény sűrűségétől függően a gravitáció miatt a fal kialakulása parabolikus, alul vastagabb.



18. ábra. Pörgető öntés.

3.6 Kiszorításos öntés.

Az 1960-as években fejlesztették ki ezt a módszert, amely a folyékony fém nagy nyomás alatti megdermedésén alapul. Az eljárást a 19. ábra mutatja.



19. ábra. A kiszorításos öntés.

A nyitott alsó kokillába beleöntik az olvadt fémet, majd a felső kokillát az alsóhoz préselik, miközben az olvadt fém felveszi a kokillaüreg alakját és jelentős nyomás alá kerül. Ez a módszer egyesíti az öntést és kovácsolást. Nagy termelékenysége és viszonylagos egyszerűsége miatt terjedt el, hiszen az eljárás feleslegessé teszi a bonyolult beömlőrendszert. A beömlőrendszer elhagyása jelentős mértékben csökkenti a kokillák költségét. A kiszorításos kokillaöntést a színesfém szerelvények (réz fürdőszoba csapok) gyártásában és az autóiparban használják elterjedten, főleg alumínium keréktárcsák gyártására.

A kovácsoláshoz, illetve a sajtoláshoz képest bonyolultabb geometria állítható elő ezzel az eljárással. Az anyag mechanikai tulajdonságai jobbak, mint a sajtolás nélkül öntött anyag tulajdonságai, az öntőszerszámok hőigénybevétele nagy, élettartamuk korlátozott.

3.7 A nyomásos öntés

A kokillaöntés gépesített változata. Közös tulajdonságuk a különböző nagynyomású öntési eljárásoknak, hogy öntőgépen, többrészes kokillába történik az öntés. Az öntőgép nyitja és zárja a kokillafeleket, automatikusan adagolja az olvadt fémet, majd, eljárástól függően 0,1 - 750 MPa közötti nyomással belövi a fémet a kokillaüregbe. Az öntőgép a kokillafeleket jelentős erővel zárva tartja az öntés során (0,25 - 30 MN). Az öntött darabok kivétele, elszállítása szintén lehet automatizált. Mérettől, alaktól és az öntvény anyagától függően óránként 20-18000 db öntvényt képes egy nyomásos öntőgép gyártani.

A nyomásos öntést az 1900-as évek elején kezdték kifejleszteni. Napjainkban széles körben használják különböző változatait, főleg gépkocsi porlasztók, gázkészülék szabályozóházak, elektromos motorok, irodagép alkatrészek, számítógép alkatrészek, háztartási gép alkatrészek, kéziszerszámok és játékok gyártásánál. Leginkább alacsony olvadáspontú fémek és ötvözetek (alumínium-, magnézium-, horgany-, ón-, ólom- és rézötvözetek) öntésére használatos eljárások. Egyes esetekben acél, öntöttvas illetve bronz alkatrészek gyártását is végzik nyomásos öntéssel.

A nyomásos öntési eljárások előnyei a homokformázással szemben a következők:

- pontos méretek (kevés forgácsolási igény, a munkadarab közel készre önthető)
- kis anyagfelhasználás (minimális beömlőrendszer)
- kis falvastagságú, bonyolult alakú öntvények önthetők
- jó felületi simaság ($R_a=1,6-6,3 \mu\text{m}$),
- kis átmérőjű furatok kiönthetők,
- különböző acélbetétek (csavarok, anyák, ülékek) is beönthetők az öntvénybe, ami jelentősen megnövelheti a gyártás termelékenységét,
- az öntvény mechanikai tulajdonságai tovább javíthatók a gravitációs öntéshez viszonyítva.

A nyomásos öntési eljárások hátránya, hogy csak igen nagy darabszámú rendelés esetén használhatók gazdaságosan. Egy kokilla átlagos tartóssága alumínium öntésnél 100 ezer db, horgany öntésénél 1 millió db, magnézium ötvözet öntésénél 100 ezer db, rézötvözetek öntésénél 10 ezer db. Ha nem visszatérő rendelésről van szó, akkor a sorozatnagyságnak közel kell állni a kokilla tartósságához, ellenkező esetben a gyártási költség magas lesz.

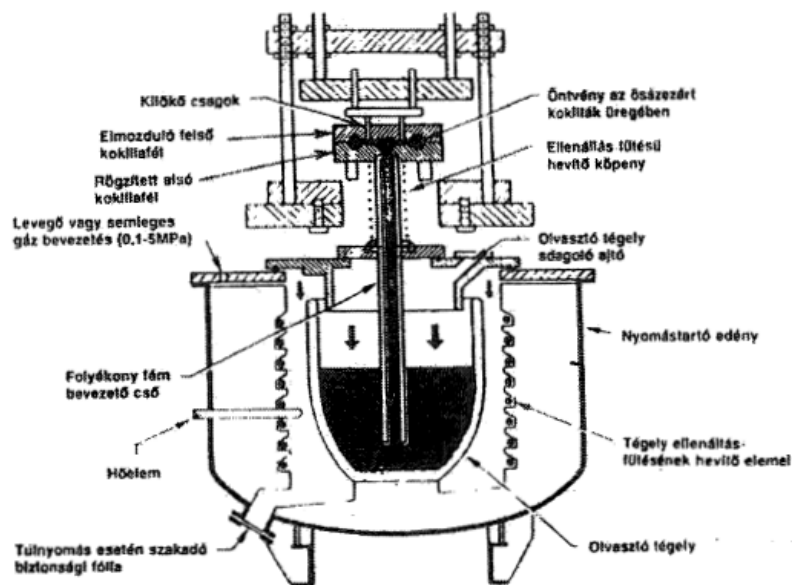
Minél nagyobb az öntésnél használt fémmelés, annál nagyobb a veszély, hogy az öntvény porózus lesz. A nagy melés egyre inkább porlasztja az olvadt fémet, amely kicsi olvadt cseppekké robban szét és ezeket sajtoljuk újra össze a nyomásos öntés során. Ez a probléma vákuum alkalmazásával oldható meg. Ekkor a kokilla üregben nincs levegő, és nem záródhat be a levegő a cseppek közé (pórusok).

A nyomásos öntés három fő változata terjedt el:

- kisnyomású melegkamrás eljárás
- nagynyomású melegkamrás eljárás
- nagynyomású hidegkamrás eljárás

3.7.1 Kisnyomású melegkamrás öntés

Az üregtöltést a folyadékra ható melással vagy az üreg vákuumozásával is elősegíthetjük, ez az u. n. kisnyomású öntés. (20. ábra) Csökken a selejt, javul az öntvénykihozatal, az öntvény tömör, lunker és porozitásmentes. Ezt az eljárást nagyobb szilárdságú homokformák esetén is alkalmazhatók. A fémolvadékot egy felszállócsövön keresztül semleges gáz vagy levegő túlnyomással (0,1-5 MPa) nyomják fel a kemence tetejére szerelt kokilla formaüregbe.

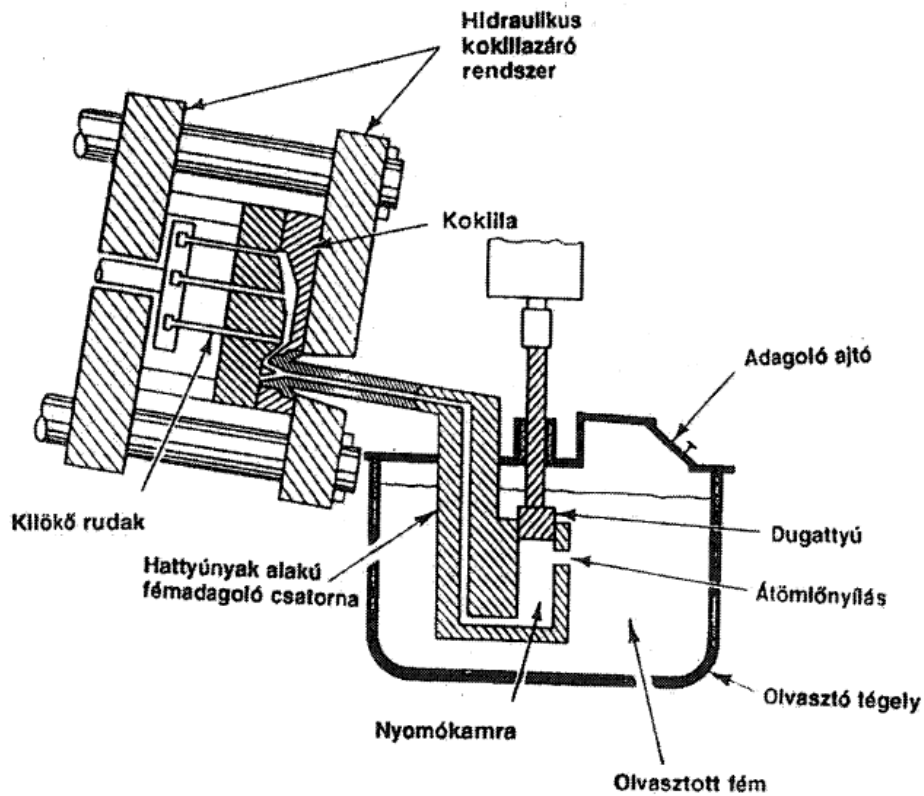


20. ábra. Kisnyomású kokillaöntő berendezés elve

A kisnyomású melegkamrás eljárás nagyobb méretű, egyszerűbb alakú és vastagabb falú öntvények készítésére alkalmas, mint a nagynyomású öntési eljárások. Újabban teljes gépkocsi-motorblokkokat is öntenek ezzel az eljárással alumíniumöntvényekből.

3.7.2 Nagynyomású melegkamrás öntés

A 21. ábrán egy nagynyomású melegkamrás öntőgép vázlata látható. Az öntőgép egy ellenállás fűtésű tégelykemencéből, egy a folyékony fémbbe merülő dugattyús nyomókamrából, a folyékony fém bevezetésére kialakított íves csatornából (hattyúnyak) és a kokillát mozgató mechanizmusokból áll. A dugattyú felső állásánál az olvadt fém az átömlő nyílásokon a nyomókamrába folyik. A dugattyú a fémet 1,5-35 MPa melással a zárt kokillafelek üregébe nyomja. Az alkalmazandó melés az öntvény anyagától, falvastagságától és alakjától is függ. Megdermedés után a kokillafeleket szétnyitják, az öntvényt eltávolítják, az üreget kenik, és a kokillafeleket újra zárják.

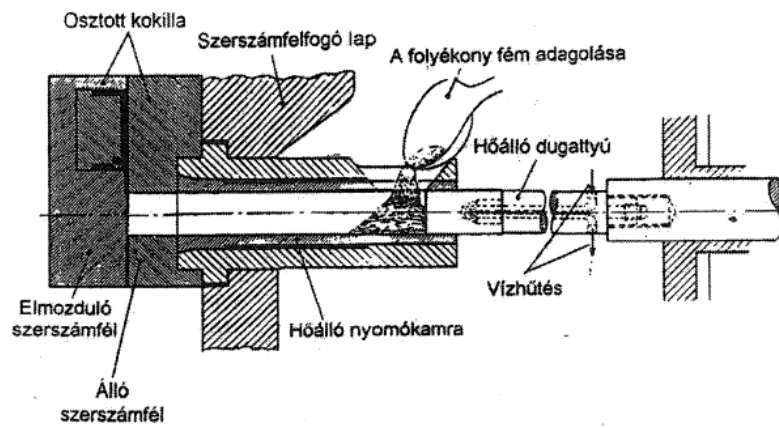


21. ábra. Melegkamrás, dugattyús, nagynyomású öntőgép és az öntési folyamat

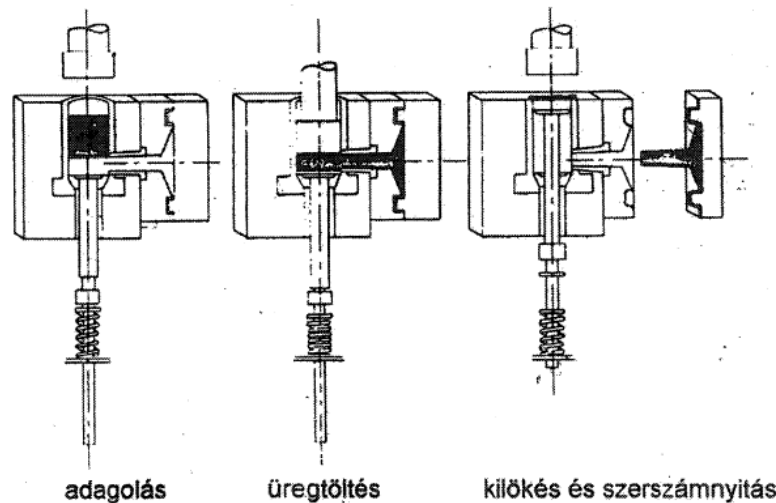
Az eljárás termelékenysége nagy. A nyomókamra és a dugattyú állandóan az olvadt fémekben van. Anyaguk lehet öntöttvas, saválló acél, vagy nitridált melegalakító szerszámacél. Méreteik folyamatosan csökkennek, rendszeresen cserélni kell a dugattyút és a nyomókamra perselyt. Alumínium öntésénél az olvadt fémfürdő oldja a vasat és az alumínium szennyeződik, kb. 2 %-os vastartalommal. A nagynyomású melegkamrás öntés elsősorban horgany, ón, ólom, magnézium, és alumínium ötvözetek öntésére használatos eljárás.

3.7.3 Nagynyomású hidegkamrás öntés

A 22. ábra a nagynyomású hidegkamrás öntőgép vázlatát mutatja. Ez az öntőgép nem tartalmaz olvasztó-berendezést. Az olvasztott fémet egy automatikus adagolócsésze juttatja a nyomókamrába. A dugattyú 20 - 750 MPa nyomással lövi be a folyékony fémet a zárt kokillafelek üregébe. A különböző öntőgépek nyomása és záróereje meghatározza a gyártható öntvény méreteit és a gyártható minimális falvastagságot. Bonyolult, sok magot is tartalmazó kokillákkal rendkívül összetett öntvényalakok is önthetők. A magok kiemelése és a kokillafelek nyitása automatikusan vezérelt. Az öntvény eltávolítására esetenként robotokat is használnak. A nagynyomású hidegkamrás öntéssel készített öntvények rendszerint csak az illesztett felületeken igényelnek megmunkálást, gyakorlatilag kész méretre önthetők.



a) Vízszintes öntőgép



b) Függőleges öntőgép

22. ábra. Nagynyomású hidegnyomókamrás öntőgép és az öntési folyamat

A nagynyomású hidegkamrás öntési eljárás fejlesztése a kokilla záróerő és a folyékony fém nyomásának növelése irányába halad. Ezzel növelhető az öntvény felülete és csökkenthető a minimális falvastagság. Mindez főleg a lemeztechnológiák kiváltásában jelent előnyt, burkolatok, műszeralapok, dobozok készítésénél.

3.8 Az öntési eljárások összehasonlítása

Az egyes öntési eljárások alkalmazásának határai az öntvény tömegének függvényében és a jellemző felületi minőség R_a (μm)

11. táblázat. Az öntési módszerek összehasonlítása

Eljárás/tömeg (kg)	0,01	0,1	1	10	100	1000	10000	100000
--------------------	------	-----	---	----	-----	------	-------	--------

1	Nyers homokforma			-----	-----	-----	-----		
2	Szárított felületű homok			-----	-----	-----	-----		
3	Szárított homokforma						-----	-----	R _a =100
4	Krómmagnezit keverék						-----	-----	
5	Samottkeverék						-----	-----	
6	Vízüveg+CO ₂ homokfor.				-----	-----			R _a =50-80
7	Műanyagkötésű homokf. (Cold-Box, Hot-Box elj.)			-----	-----	-----			R _a =15-25
8	Héjformázás			-----	-----				R _a =10-25
9	Precíziós öntés	-----	-----	-----	-----				R _a <10
10	Keramikus formázás			-----	-----				R _a <10
	Kokillaöntés (Al, Mg, Cu)								
11	gravitációs öntés	-----	-----	-----	-----				R _a 10-50
12	nyomásos öntés	-----	-----	-----	-----				R _a 1.6-10

Az öntödék munkakörülményei az egyik legnehezebb melegüzemi viszonyoknak felelnek meg, a folyamatok közül is az öntvénytisztítás a leginkább ártalmas (zaj, rezgés és porártalom, nehéz fizikai munka). Ezért az öntészeti eljárásokat automatizálják, robotosítják. Legkevésbé a homokformázás gépesíthető, a nyomásos öntés automatizált, ráadásul az öntvénytisztítás csak a beömlőcsatorna levágására korlátozódik.

A folyamatok minél pontosabb szabályozása, automatizálás, robotok alkalmazása, öntvénygyártó és kikészítő rendszerek teljes számítógépes vezérlése szintén fejlesztési területek.

Az alábbi táblázatba összefoglaljuk az egyes eljárások főbb jellemzőit. Természetesen ezek az értékek tájékoztató jellegűek, hisz darabszámtól, öntvény nagyságtól és öntendő anyagminőségtől egyaránt függenek

12. táblázat. Az öntési módszerek összehasonlítása

Jellemzők/ öntési eljárások	Homokforma	Gravitációs kokilla	Nyomásos	Centrifugál	Precíziós
-----------------------------------	------------	------------------------	----------	-------------	-----------

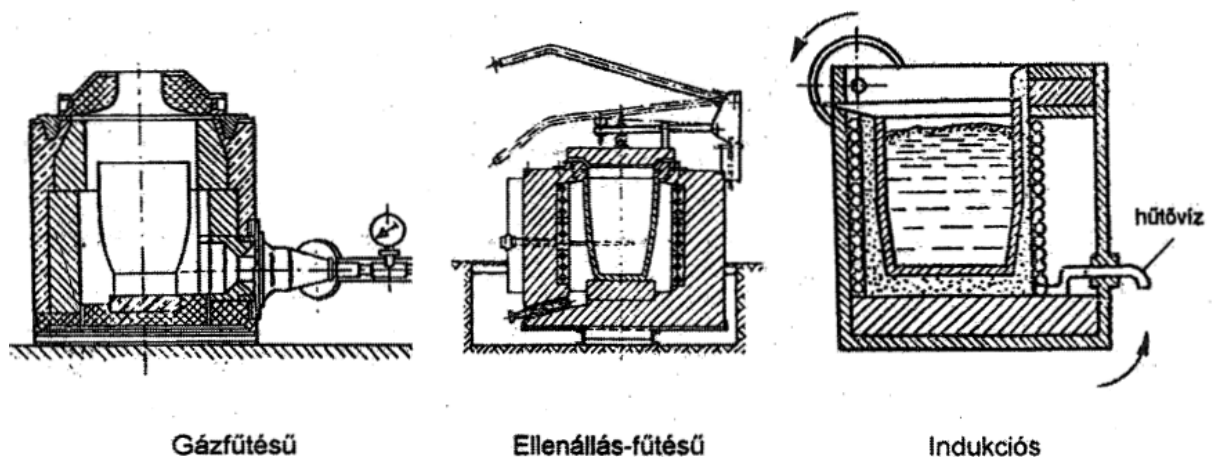
Alkalmazható ötvözetek	Bármely	Al-, Cu-, Zn- alapú ötvözetek		Bármely	
Falvastagság min. (mm)	3-6 héjnál 2-4	1-3	1-2	10	0,8-1,5
Mechanikai tulajdonságok	elfogadható	jó	nagyon jó	a legjobb	jó
Felületi minőség	elfogadható	jó	nagyon jó	elfogadható	nagyon jó
Alakadási szabadság	jó	jó	nagyon jó	gyenge	nagyon jó
Relatív ár kis darabszámnál	a legalacsonyabb	magas	nagyon magas	közepes	magas
Relatív ár nagy darabszámnál	közepes	alacsony	legalacsonyabb	magas	magas
Pontosság (d<100 mm)	rossz ±1 mm	jó ±0,2 mm	nagyon jó ±0,02-0,2 mm	elfogadható	nagyon jó, ±0,05
A változtatás rugalmassága	a legjobb	gyenge	a leggyengébb	jó	jó

3.9 Olvasztóberendezések

Az olvasztott fém előállítása a fémtől függően különböző módszerekkel történhet. A tégelyben történő olvasztás régóta ismert eljárás. Földgáz-, olaj-, levegő fűtésű, illetve elektromos ellenállás fűtésű **tégelykemencéket** használnak alumínium, magnézium, horgany, ólom, **ón**, réz és ötvözeik olvasztására. Az olaj vagy gáztüzelésnél a hevítés hatásfokát a levegő előmelegítésével növelik, de a hatásfok így sem magasabb 40-50%-nál. Az ellenállásfűtésű tégelykemencék fűtőellenállásanyagát az olvasztandó anyag határozza meg. A Cr-Ni (cekász) anyagok 1050-1200°C-os elemhőmérsékletűek, a szén és grafitrúd 2500°C-os.

Középfrekvenciás indukciós hevítésű tégelykemencéket használnak az öntöttvasak és az acélok olvasztására, ötvözésére, illetve az olvadt fűdő kezelésére. Az indukciós hevítés intenzív fűdőmozgással jár, ami nem teszi lehetővé a salakvédelmet. Magas szinten automatizáltak a kemencék, a fűdő összetételét számítógépes adagvezetés biztosítja. A hőmennyiség közvetlenül a hevítendő anyagban keletkezik, így a hevítés hatásfoka jó. Erősen ötvözött anyagoknál az olvasztást vákuumban végezzük.

A 23. ábra a különböző fűtésű tégelykemencéket mutatja.



23. ábra. Tégelykemencék

A **lángkemencék** alkalmazási területe erőteljesen csökken. Ez az egyik legrégebbi idők óta alkalmazott olvasztóberendezés. A medence sekély mélységű, a láng nagy felületen hevíti a fűdőt. A betétanyagok lehetnek vas, acél, könnyű- és színesfémek, valamint ötvözetek. Tüzelőanyaguk szénpor, olaj vagy gáz. Olcsó szénféleségek is hasznosíthatók.

A legrégebben használt kemencetípus az öntöttvasak előállításánál a **kupolókemence**. Nevét a cupola = torony szóból kapta. A kemencébe felülről adagolják a

nyersvasat és a kokszt. A lefelé mozgó betét folyamatosan előmelegszik, majd a befűjt forró levegő és az eléggő kokszt együttes hevítő hatására a nyersvas megolvad. Periodikusan csapolják a kemencéből a megolvasztott betétet, külön az olvadt salakot és külön az olvadt öntöttvasat. Az alacsony kéntartalmú kokszt hiánya és a szigorodó szennyezőtartalom előírások következtében az öntöttvasak gyártásánál egyre inkább háttérbe szorúlnak a kupolókemencék, helyüket az indukciós téglkemencék, illetve az ún. duplex olvasztóművek veszik át. A duplex olvasztóműveknél a kupolókemencével együtt használnak indukciós téglkemencét, elektromos ívkemencét, vagy AOD (Argon Oxigen Decarburization) konvertert a nagy tisztaságú és pontos vegyi összetételű öntöttvasak előállítására.

Elektromos ívkemencék. Az acélgégyártásnál használt kemencék az öntödékben is használatosak az ötvözött acélok olvasztására (például korrózió-, sav- és hőálló acélöntvényekhez, nagy mangántartalmú acélokhoz földmunkagépek alkatrészeinek, lánctalp elemek öntésére, stb.). Nagytisztaságú, magas ötvözöttségű vasötvözetek öntésénél alkalmazzák a vákuum ívfényes átolvasztást is.

AOD konverterek. Ezt a konvertert eredetileg az alacsony szén-, és szennyezőtartalmú saválló acélok gyártására fejlesztették ki. 1973 óta használják őket az öntödékben a nyersvasak tisztítására és azóta egyre több öntödében ismerik fel a berendezés előnyeit. Olcsóbb mint bármelyik elektromos eljárás (indukció téglkemence, elektromos ívkemence) és nem igényel a meglévő öntödékben költséges átalakításokat, mint például az említett elektromos kemencék telepítése. A meglévő kupolókemencével együtt használva nagytisztaságú öntöttvasak előállítására teszi alkalmassá a hagyományos olvasztóművet.

Az AOD konverterbe fúvatott argon - oxigén - nitrogén gázkeverék állandó keverésben tartja a folyékony vasból és salakból álló fürdőt. Ezzel meggyorsítja a kéntelenítés és foszfortalanítás folyamatait. Csapolás után salakréteg védi az üstben lévő öntöttvas fürdőt az oxidálódástól. Az üstből alsó öntéssel csapolják az olvadt vasat.

3.10 Öntészeti ötvözetek

Az előzőekben megállapítottuk, hogy öntéssel minden anyag feldolgozható. Adott ötvözési rendszerben azok a legjobban önthető ötvözetek, amelyek vegyi összetétele közel van az eutektikus összetételhez. Ezek az ötvözetek a legkisebb olvadáspontúak és ezeknél a legkisebb az ún. dermedési hőköz. (Dermedési hőköz alatt a likvidusz és a szolidusz hőmérsékletek közötti különbséget értjük.). Ebben a dermedési hőközben a fém szilárd - folyékony ún. kásás állapotban van. A dermedési hőköz nagysága fordítva arányos a folyékony fém formakitöltő képességével. Minél nagyobb a dermedési hőköz, annál nehezebben folyik a fém, annál rosszabb a formakitöltő képessége. Ugyancsak hat a formakitöltő képességre a folyékony fém felületi oxidrétege és a fémbe lévő szilárd zárványok. Az oxidréteg a felületi feszültség növelésével, a zárványok a viszkozitás növelésével csökkentik a folyékony fém formakitöltő képességét.

Az ötvözet önthetőségét jelentősen befolyásolják az öntészeti eljárások is. Elsősorban a beömlőrendszer kialakítása, a forma anyaga (hővezető képessége, felületi minősége), a fém túlhevítési hőmérséklete és az öntés sebessége hatnak a folyékony fém formakitöltő képességére. A fontosabb ötvözetcsoportok önthetőségi tulajdonságait az egyes anyagcsoportoknál tárgyaljuk, illetve kiemeljük az adott anyag öntészeti ötvözeit.