

Öntészet (KÉZIRAT szerkesztés alatt) Németh Árpád

Az öntészet alapelve szerint a megolvasztott fémet egy megfelelően kialakított üregbe öntik, a fém felveszi az üreg alakját, majd hagyják megdermedni. Segítségével a legnagyobb szabadsági fokú és legbonyolultabb alakú termékek állíthatók elő.

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

Körülbelül 4700 éves, kora bronzkori (ókori) fémfeldolgozó maradványaira bukkantak Dél-Jordániában. Több száz agyag öntőforma került elő. Baltákhoz, csapokhoz, vésőkhöz készültek Hirtelen nagyerejű földrengés temette be az éppen működő öntödét, a rákerült föld több ezer éven át elzárta.

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, az ágyuk és a különböző épületdíszek voltak.

Az ipari forradalom idejétől az öntészetet a mezőgazdasági gépek, a malomipari berendezések, az épületgépészeti szerelvények és egyéb gépalkatrészek gyártására kezdték használni. A hazai nagyipari öntészet az 1867-es kiegyezést követően alakult ki.

Legelső öntödéink a MÁVAG Öntöde (1868), a Diósgyőri Vasgyár Öntödéje (1884) és a Weiss Manfred Művek Csepeli Öntödéje (1895) voltak. Ezekben a kor legmagasabb technikai színvonalán folyt a termelés.

Tipikus öntött alkatrészek napjainkban a gépjármű motorok fő részei (motorblokk, főtengely, vezértengely, henger, dugattyú), a vasúti kerekek, a víz-, és gázszelepek, a szivattyúházak, a szivattyú járókerekek. De öntészetel készülnek a repülőgépek gázturbina-házai és a gázturbinák lapátjai is. Se szeri, se száma az öntéssel készített használati tárgyaknak és szerelvényeknek, a kilincsektől a vízcsapokig, a kádaktól a kávéfőzőkig. A különböző öntészeti technológiák nagy mértékben eltérnek egymástól a gyártási költségek, a termelékenység, az önthető munkadarab súlya, mérete, pontossága, az öntvény felületi minősége, az adott

eljárással elkészíthető minimális falvastagság, és az elkészített öntvény megmunkálhatósága szempontjából.

7.1. Homokformázás

A homokformázás a legrégebb, de még ma is a legszélesebb körben használt öntészeti technológia. Különböző változatai elsősorban a homok kötésére használt módszerekben és anyagokban térnek el egymástól.

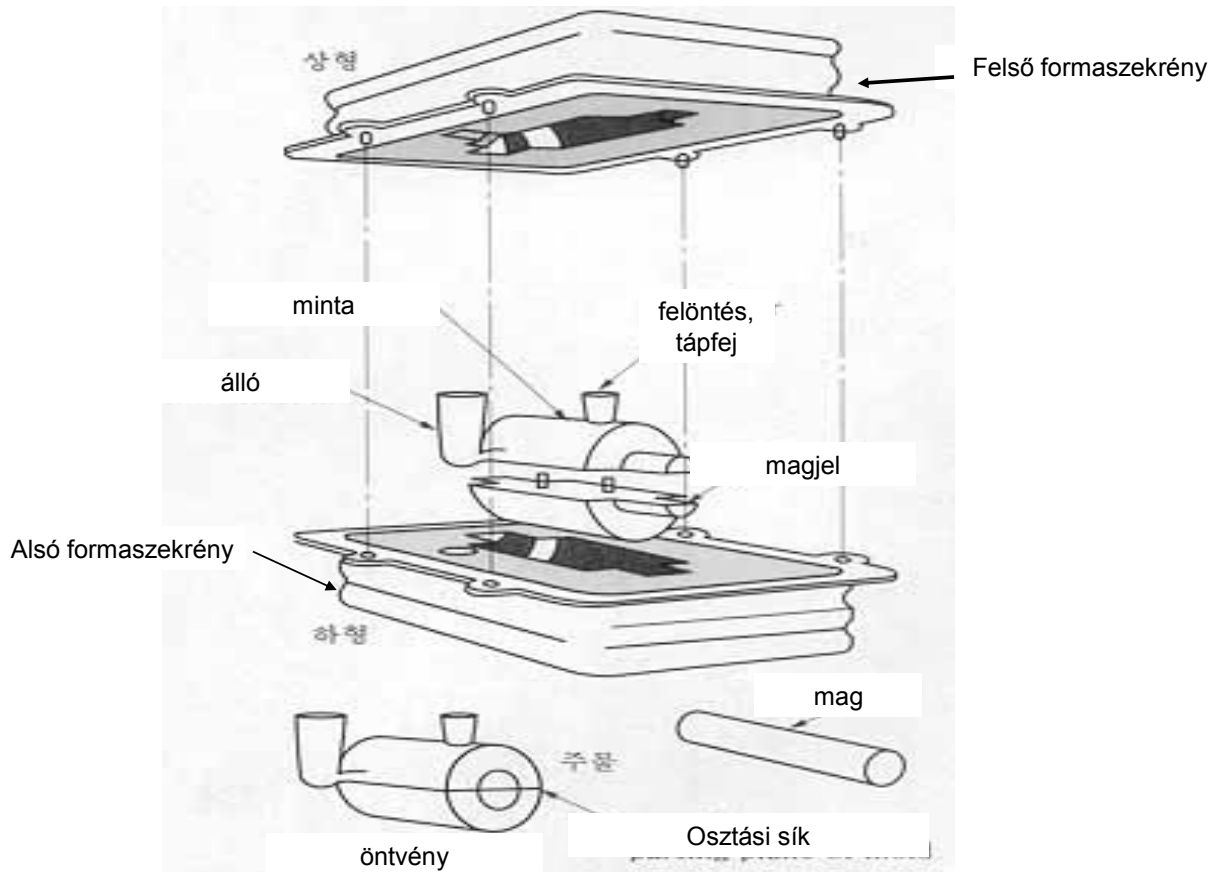
- Az öntészet alapelve, hogy a folyékony fémet az öntvénynek megfelelő (negatív) **formába** (üregbe öntjük). A fém felveszi a forma alakját, megszilárdulás után a formából eltávolíthatjuk az öntvényt. Egyszer és többször használható formák vannak.
- A forma klasszikus anyaga agyag kötésű homok - ez a **nyers homokformázás**. A tixotróp tulajdonságú agyag bevonja a homokszemcséket és összeköti azt. A homokszemcsék között a keletkező gázok, gőzök távozni tudnak. (ezt **légzőfuratok** is segítik). Osztott és osztatlan formákat ismerünk.
- A formaüregét **minta** segítségével készítjük el. A minta lehet elvesző (viasz, polimerhab stb.), vagy többször használatos, amit az öntés előtt eltávolítunk. A minta a munkadarab pozitív, ráhagyásokkal, magjellel, öntési ferdeséggel, esetleg beömlőrendszerrel módosított mása.
- A folyékony fém behatolását a munkadarab üregeibe **magokkal** akadályozzuk meg.
- A folyékony fémet a **beömlőrendszeren** keresztül juttatjuk a formaüregbe.

7.1.1. Nyers homokformázás

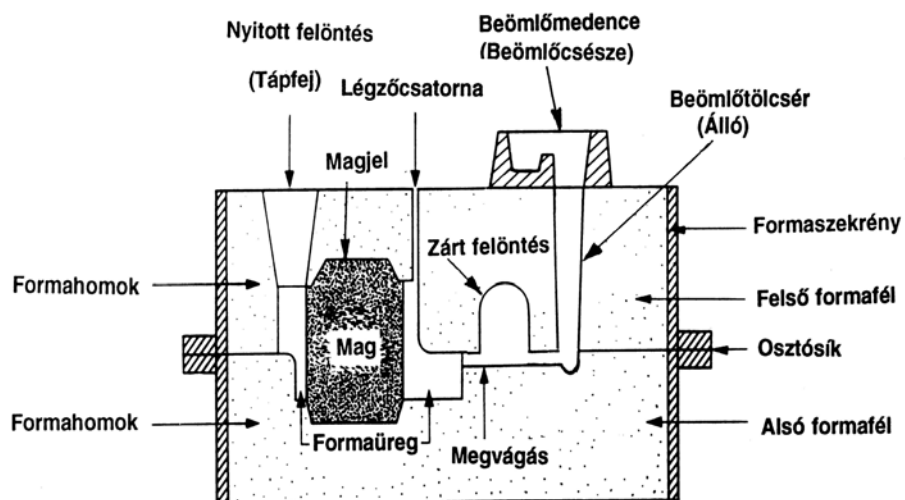
A nyers homokformázásnál a formakészítésre használt homokot agyaggal és vízzel keverik össze. A nedves agyag biztosítja a homokszemcsék egymáshoz tapadását. Gázelnyelés céljából koksodarát is adagolnak a homokhoz (3-5%).

Egy homokformázással elkészíthető egyszerű forma a 7.1. ábrán látható. A homokforma mindig osztott. A formák az elkészítendő öntvény külső alakját, a magok az öntvény belső üregeit alakítják ki. A forma mindig magába foglalja a folyékony fém bevezetésére szolgáló beömlőrendszert és a magok elhelyezését illetve rögzítését biztosító magjeleket is.

Szekrényes homokformázás I.



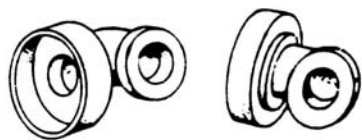
Szekrényes homokformázás II.



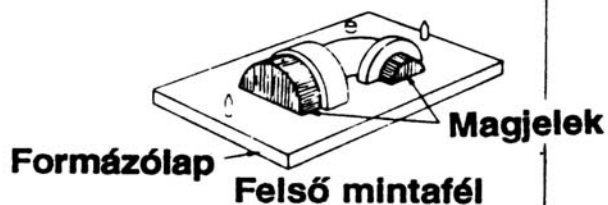
A homokformázás folyamatát mutatja be a 7.2. ábra. A formakészítés úgy történik, hogy egy formázólapra ráhelyezik a mintát, amely a formaüreg, a magjelek és a beömlőrendszer kialakítására szolgál. Formaszekrényt helyeznek a minta köré és azt kitöltik formahomokkal. A formahomok tömörítése történhet kézi döngöléssel, de termelékenyebbek, így a sorozatgyártásnál széles körben használatosak a különböző homoksajtoló illetve vibrációs, rázó- formázó gépek. A nagyméretű öntvények formázásánál homokröpítő gépeket használnak.

Az alsó formafél elkészítése után a formát megfordítják, és a felső formaszekrényt ráhelyezik az alsó formafélre. Behelyezik a felső formafél mintáit, majd a formaszekrényt kitöltik homokkal. A homokot tömörítik, újabb homokot adagolnak, majd ismét tömörítik. A kész formából kiveszik a mintákat, behelyezik a magokat a magjelekkel meghatározott helyre, majd a formafeleket összeillesztik a formaszekrényeken lévő illesztőcsapokkal. Az így összeállított formát súllyal leterhelik, hogy öntéskor a folyékony fém felhajtóereje ne váltsa szét a formafeleket. A nagyméretű öntvények készítésénél a nyers homokforma formaüreg felületeket célszerű az öntés előtt szárítani. Ezzel meg lehet növelni a forma szilárdságát. Mind a felületileg, mind a teljes keresztmetszetben szárított homokformák használatosak az öntészetben.

Ha az öntvények súlya (mérete) nagy, akkor a kvarchomok hőállóképessége nem megfelelő a hosszú idejű dermedés során. Az ilyen formákhoz a helyi megömlések elkerülésére krómmagnezit homokot, illetve samottkeveréket szoktak használni.



Kész öntvény



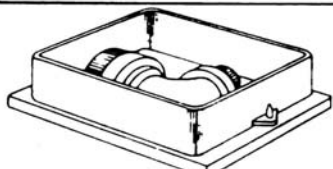
Felső mintafél



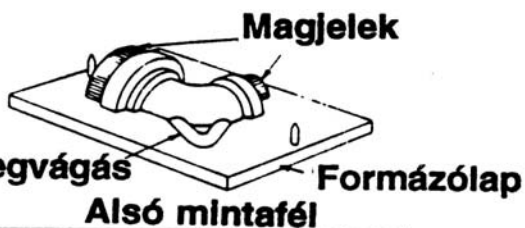
Nyers magfelek



Felső formafél formázás után

Alsó formaszekrény formázás előtt
(Minta behelyezve)

Alsó formafél, behelyezett maggal

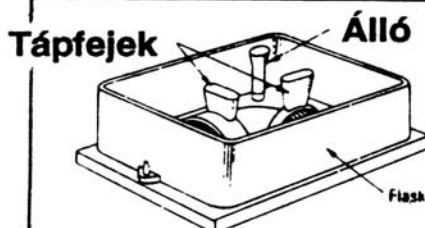
Öntvény a forma eltávolítása után
(Tápfejek és álló levágása előtt)

Mevágás

Alsó mintafél



Magszekrények

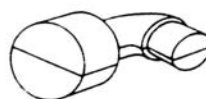


Tápfejek

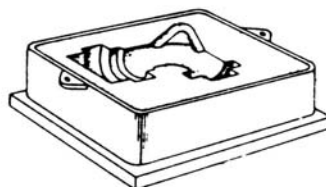
Álló

Flash

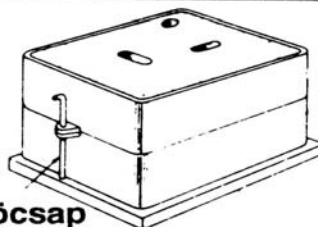
Felső formaszekrény (formázás előtt)



Magfelek összeállítva



Alsó formafél formázás után



Illesztőcsap

Öntéshez összeállított
alsó és felső formafelek
(Mag behelyezve)

A homokforma beömlőrendszere

Öntéskor, a formaüreg kitöltésénél, a folyékony fém áramlását úgy kell szabályozni, hogy az áramlás alapvetően lamináris jellegű legyen.

A formaüreg kitöltésénél az áramlási folyamatot a Bernoulli-egyenlet és a térfogat-állandóság törvénye írja le. A Bernoulli-egyenlet az energia-megmaradást fejezi ki a folyadék áramlása során:

Ha alkalmazzuk a Bernoulli-egyenletet és a térfogat-állandóság törvényét a 7.3 ábra szerinti folyadéksugár keresztmetszetére, akkor a felső és alsó keresztmetszetek arányát a következő összefüggés adja meg:

Ha a parabolikus sugárkeresztmetszetet kúpos geometriával helyettesítjük nem követünk el túl nagy hibát, mert az áramlási veszteségek miatt a nagyobb keresztmetszetek kedvezően befolyásolják az áramlást az állóban. A folyékony fém áramlása bonyolultabb, mint például a szoba hőmérsékletű víz áramlása, mert a megolvasztott fémek viszkozitása a hőmérséklet változásával jelentős mértékben változik. Ugyancsak hat a folyékony fém áramlási viszonyaira a fém felületi oxidációja, a zárvány-, illetve a salaktartalom, a fém dermedési tulajdonságai, túlhevítésének mértéke, az öntési sebesség és a formával való kölcsönhatás (hőátadás, felületi réteg hatása).

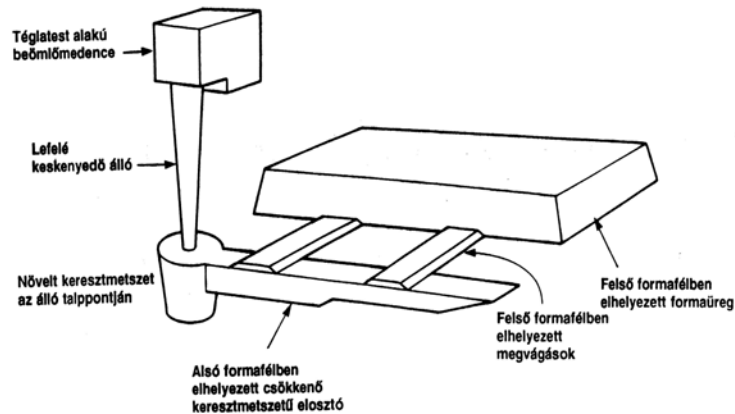
Ezeket a hatásokat is figyelembe véve, a 7.4/a és 7.4/b ábrán látható nomogramokkal lehet a homokformák beömlőrendszereinek keresztmetszeteit meghatározni.

A kívánt öntési idő (illetve adott öntvény súly esetén az üregtöltési sebesség) felvételével, a 7.4 ábra segítségével, meghatározhatók az ezt megvalósító beömlőrendszer méretei.

Például: vasöntésnél 3 kg/s-os kezdeti üregtöltési sebességet felvéve, az átlagos üregtöltési sebesség 2 kg/s, a rávágások keresztmetszete 3000 mm², az elosztó keresztmetszete 1500 mm², az álló felső keresztmetszete 28,5 mm², az alsó keresztmetszete pedig 20,5 mm². Az álló magassága 300 mm.

Egy korszerűtlen, illetve egy korszerű beömlőrendszer vázlatát látható a 7.5/a, illetve 7.5/b ábrán. A gyakorlatban használt beömlőrendszerek nem mindig követik a 7.5/b ábrán látható ideális geometriát. A téglatest alakú kagyló helyett sok helyen kúpos kagylót használnak, ami lehetővé teszi a salak, az oxidált fémfelület és a levegő bejutását a beömlőrendszerbe.

Beömlőrendszer



A lefelé keskenyedő kúpos álló mintája a formázásnál csak külön műveletként távolítható el, ezért sok esetben lefelé szélesedő kúpos állót alkalmaznak. Ezt a mintára erősítik, és így a formát egy művelettel le lehet emelni a mintáról. A turbulencia elkerülése érdekében feltétlenül a lefelé keskenyedő álló alkalmazása a célszerűbb. Az álló alsó keresztmetszetét egy nagyobb keresztmetszetű térbe kell vezetni, így biztosabb a lamináris áramlás az elosztóban is, és a rávágásokban is. A levegő elvezetésére külön légelvezető csatornákról kell gondoskodni. A legnagyobb öntvénykeresztmetszeteknél tápfejeket kell alkalmazni zsugorodó fém utánpótlására. Ezzel elkerülhetők az öntvény dermedésekor az u.n. beszívódásos vagy mérethiányos helyek. Az elosztókhöz salakfogó tereket célszerű tervezni (lásd 7.1. ábra), amelyek megakadályozzák a salak bejutását a formaüregbe.

Mintakészítés homokformázáshoz

A minta készítése megelőzi a formázást. A minták rendszerint osztott kivitelben készülnek. Méreteik a fémek zsugorodásával térnek el a kész öntvény méreteitől. A különböző fémek zsugorodását a 7.1 táblázat mutatja.

A minta méretei tartalmazzák a megmunkálási ráhagyásokat és az öntési hozzáadásokat is, amely utóbbiak az öntésre alkalmas geometria biztosítására szolgálnak. A minták kivehetőségét a formaüregből részben a minták oldalferdesége (formázási ferdeség), részben a minták szétszedhetősége, szerelhetősége teszi

lehetővé. Az osztósíkra merőleges felületek 0,5-1 fokos ferdeséggel készülnek a gépi homokformázás mintáinál és 1-3 fokos ferdeséggel a kézi homokformázás mintáinál.

A minták anyaga egyedi és kissorozatgyártás esetén ragasztott, rétegelt fa, vagy kemény műanyag, nagysorozat gyártás esetén fém (Al-ötvözetek, bronzok, öntöttvas). A minták sarkait lekerekítéssel készítik. A famintákat festéssel teszik ellenállóbbá a nedvszívással, vetemedéssel szemben.

Magkészítés homokformázáshoz

Az öntés során a magok hő- és a folyékony fém felhajtóereje miatt nagyobb igénybevételek mint a forma igénybevétele.

A nyers homokmagok maghomokból, magszekrénybe történő döngöléssel készülnek. A nyers maghomok olajat és szerves kötőanyagot is tartalmaz. Ezek következtében nagyobb a kötési szilárdsága. A hosszú karcsú magokat magvasakkal erősítik. A légelvezetés érdekében parafin zsinórt tesznek a magba, a gázelnyelés céljára kokszzarát kevernek a maghomokhoz.

A magokat öntés előtt mindig szárítják 180-230°C közötti hőmérsékletű kemencében.

Magasabb olvadáspontú fémek öntésénél a kész formák üregeit, illetve a magok felületét, u.n. fekeccsel vonják be a folyékony fém ráégésének elkerülésére. A fekecs lehet grafit, homok, víz és lenolaj keveréke, de használtak denaturált szeszből szuszpendált szilikátpor fekecsket is (ma környezetszennyezési okok miatt ezek háttérbe szorultak).

7.1.2. Vegyi kötésű homokformázás

A homokforma szilárdságát, pontosságát, mérettartó képességét növelni lehet különböző vegyi kötésekkel. Ezek egyidejűleg a döngölés (tömörítés) elhagyását is eredményezik.

Széndioxid - vízüveg kötésű homokformázás

A homokhoz 4 - 8 % vízüveget ($\text{Na}_2 \text{SiO}_3$) kevernek. A formaszekrényt formázáskor feltöltik a vízüveges homokkal, és a forma szilárdítását, döngölés helyett széndioxid gáz átáramoltatásával végzik (1-2 perc). A vízüveg hártya a

homokszemcsék felületén reakcióba lép a széndioxiddal és erős, finom szilikagél (SiO_2) hálót alkot. Ez a szilikagél háló szorosan összetartja a homokszemcséket és 1 - 10 MPa nyomószilárdságot eredményez a formánál. Sajnos a forma az öntési hő hatására tovább szilárdul, ezért az öntvénytisztítás a széndioxid - vízüveg kötésű homokformázásnál nehezebb, mint a nyers homokformázás esetén.

A széndioxid - vízüveg kötésű homokot formázáshoz és magkészítéshez egyaránt használták, alkalmazása visszaszorulóban van.

Műgyanta kötésű homokformázás

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. Három különböző műgyanta típus használatos széles körben a homokformázáshoz:

Furángyanták: furfurolalkohol és foszforsav keverésével állítják elő őket. 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.

Fenolgyanták: aktiválóként policianátot, katalizátorként (vagy gyorsítóként) trietilamint használnak a fenolgyantás homokformázásnál. Ezek hatására a forma néhány másodperc alatt megköt. Ez az u.n. 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 u.n. 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. Egyidejűleg rendszerint több magot is készítenek. Magas szinten gépesített, automatizált berendezések. A sorozatgyártás napjainkban főleg ilyen magkészítéssel folyik.

Héjformázás

A héjformázás (Croning-eljárás) egy formaszekrény nélküli formázás. Kis homokmennyiséget igényel a mintegy 15 - 20 mm vastag héj elkészítéséhez. A héjformázás elsősorban vékonyfalú, bonyolult geometriájú, szűk mérettűrésű öntvények készítésére használatos formázási eljárás. A nagyobb méretpontosság miatt kisebb a fémfelhasználás és kevesebb a forgácsolási költség is, mint a nyers homokformázásnál. Előre bevont (u.n. precoated) homokkal dolgoznak, melynél a homokszemcséket egyenletes, vékony, fenolformaldehid gyanta és hexametilentetramin keverékből álló bevonat veszi körül. A különböző homokfajták 6 - 14 % közötti kötőanyag mennyiséggel készülnek.

A héjformázás két lépésben történik. Első lépésként a bevont homokot egy 200 - 300°C -os fémmintára öntik és 20 - 30 másodpercig rajta tartják. Ez alatt az idő alatt a kötőanyag meglágyul és létrejön egy héj, amely a fémmintára tapad. Második lépésként a felesleges homokot eltávolítják és a fémmintát a lágy héjjal együtt 400 - 500°C-os kemencében 3 - 4 percig hevítik. A héj ez alatt az idő alatt bakelizálódik, kemény és alaktartó lesz. Ezután a héjat eltávolítják a mintáról, a formafeleket és a hasonló módon készült héjmagot összeállítják, homokba vagy acélszemcsékbe ágyazzák és ezután következik az öntés. Viszonylag sok és drága kötőanyagot igényel ez a formázási eljárás. Minél magasabb a kötőanyag mennyisége, annál nagyobb formaszilárdság érhető el és annál rövidebb lesz egy adott hőmérsékleten a kötési idő.

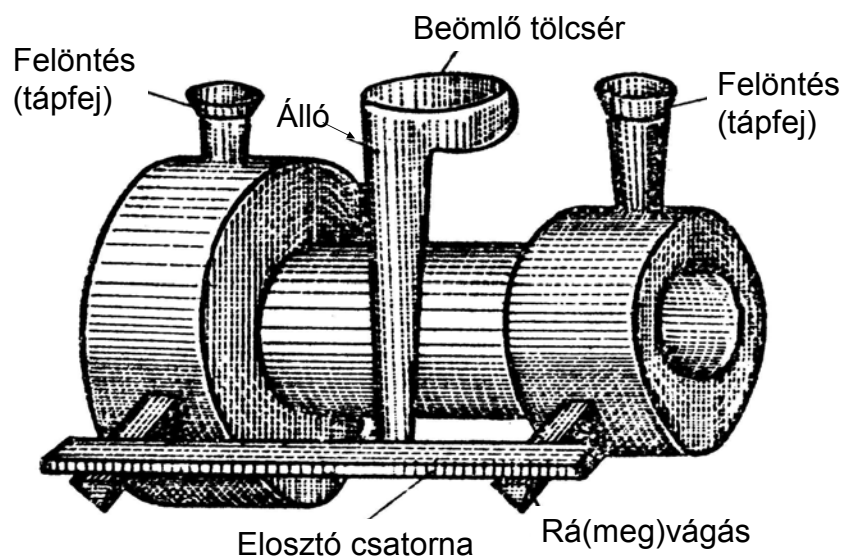
7.1.3 Öntvénygyártás homokformázással

Bármelyik homokformázási eljárást használjuk is, az öntvénygyártás a 7.7 ábrán látható elvi folyamatábra szerint történik. A minták és a magszekrények a mintakészítő üzemben készülnek.

Innen kerülnek a magkészítő, illetve a formázó területekre. A magkészítéshez is és a formázáshoz is a homok a homok-előkészítő műből érkezik. A formázás a formázótéren történik. A magokat a magkészítő üzemben készítik és onnan szállítják a formázótérre.

Az elkészült magokat és formákat összeállítják, az öntésre kész formákat az öntőcsarnokba szállítják. A folyékony fémet az olvasztóműtől a formákhoz tűzálló falazattal ellátott öntőüstökben szállítják. Az öntőüstöket rendszerint daruval mozgatják. A sorban elhelyezett formákat egymás után kiöntik az olvasztott fémmel, addig amíg az öntőüst ki nem ürül. A kiöntött formákat a dermedési és hűlési idő eltelte után az ürítőtérre szállítják, ahol rázórostélyokon szétrázzák őket.

Öntvény a felöntésekkel és a beömlőrendszerrel



Az üres formaszekrények visszakerülnek a formázótérre, a nyers öntvényeket az öntvénytisztítóba, a használt homokot pedig a homokelőkészítőműbe szállítják. Itt a használt homokot regenerálják, majd a regenerálás után a friss formahomokhoz keverik. Az öntvénytisztítóban a nyers öntvényekről levágják a beömlőrendszert és leköszörülnek az osztósíkba kifolyt fémet. Ugyancsak köszörüléssel távolítják el a durva felületi hibákat. Az öntvények ezután acél-, vagy homokszemcsés felülettisztításon mennek keresztül és minőségi ellenőrzésre kerülnek.

Egy nagysorozatú öntés hálódiagramja:

A minőség ellenőrzése részben roncsolásmentes anyagvizsgálattal (röntgen, ultrahang, illetve mágneses repedésvizsgálat), részben a felületek vizuális vizsgálatával történik. A hibás öntvények vagy javíthatók (pl. hegesztéssel vagy vaskittel), vagy nem. Ez utóbbi esetben visszakerülnek az olvasztóműbe, ahol beolvasztják őket. A jó öntvényeket hőkezelik (leggyakrabban lágyítják), majd kikészítik (bizonyos bázisfelületek megmunkálása, festés, csomagolás). Az öntödék egyre több műveletet gépesítenek, illetve automatizálnak (formázás, magkészítés, homokszállítás, formaszekrények mozgatása). Ugyancsak növekszik az öntödékben a robotok alkalmazása, elsősorban az öntvények tisztítására, amely művelet zajos és az egészségre nagyon ártalmas (szilikózis veszély, vibráció által okozott ízületi károsodás).

7.2 Olvasztó és öntőberendezések

Az olvasztott fém előállítása a fémtől függően különböző módszerekkel történhet.

7.2.1 Tégelykemencék

Földgáz - levegő fűtésű, illetve elektromos ellenállás fűtésű tégelykemencéket használnak alumínium, magnézium, horgany, ólom, ón, réz és ötvözeteik olvasztására. A megolvasztott fémfürdő felületét olvadt sókeverék réteggel, védőgáz- vagy vákuum-atmoszférával védik az oxidációtól. A tégely anyaga legtöbbször grafit.

Középfrekvenciás indukciós hevítésű tégelykemencéket használnak az öntöttvasak és az acélok olvasztására, ötvözésére, illetve az olvadt fürdő kezelésére. Az indukciós hevítés intenzív fürdőmozgással jár, ami nem teszi lehetővé a salakvédelmet. Magas szinten automatizáltak a kemencék, a fürdő összetételét számítógépes adagvezetés biztosítja.

7.2.2 Elektromos ívkemencék

Az acélgyártásnál használt kemencék az öntődékben is használatosak az ötvözött acélok olvasztására (például korrózió és saválló acélöntvényekhez, nagy mangántartalmú acélokhoz lánctalp elemek öntésére, stb.).

7.2.3 Kupolókemencék

A legrégebben használt kemencetípus az öntöttvasak előállításánál a kupolókemence. Nevét a cupola = torony szóból kapta. A 7.8 ábrán egy kupolókemence szerkezeti felépítése látható. A kemencébe felülről adagolják a nyersvasat és a kokszt. A lefelé mozgó betét folyamatosan előmelegszik, majd a befűjt forró levegő és az elégő 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 kén-tartalmú kokszt hiánya és az egyre szigorúbb szennyezőtartalom előírások következtében az öntöttvasak gyártásánál egyre inkább háttérbe szorúlnak a kupolókemencék, helyüket az indukciós tégelykemencék, illetve az ún. duplex olvasztóművek veszik át.

A duplex olvasztóműveknél a kupolókemencével együtt használnak indukciós tégelykemencét, elektromos ívkemencét, vagy AOD (Argon Oxigen Decarburization) konvertert a nagy tisztaságú és pontos vegyi összetételű öntöttvasak előállítására.

7.2.4 AOD konverterek

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

A 7.9 ábrán egy AOD konverter szerkezete látható. A befűtatott 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.

7.2.5 Öntőberendezések

Különböző típusú mozgatható öntőüstök használatosak a folyékony öntöttvas szállítására az olvasztómű és az öntőcsarnok között. Az üstök tűzálló téglafalazattal, vagy tűzálló anyagból készült döngölt béléssel vannak ellátva. A nagyméretű üstökből alsó csapolónyíláson át függőleges sugárral öntenek, míg a közepes-, és kisméretű üstöknél az öntési sebességet a vízszintes tengely körüli billentéssel szabályozzák. Az üstök falazata a használat során fokozatosan elvékonyodik, és ezért rendszeresen újra falazzák őket. Az üstöket gázégővel 900 - 1300°C-ra szokták előmelegíteni mielőtt az olvasztott vassal megtöltik őket. Ezzel elkerülik a nagy hőfeszültségeket és az üstök falazatának gyors széttöredezését. A nemvas fémeket grafit tégelyben szállítják az olvasztóműtől az öntőcsarnokig. Az előmelegítés ezeknél csak 150-200°C-os, ami kizárólag a nedvesség eltávolítását szolgálja. Az öntés során addig kell a formák kiöntését folytatni, amíg az üst ki nem ürül az előírt mértékig. Ha az üstben hosszabb időn át tárolják az olvadt vasat, illetve fémet, akkor hőmérsékletük a szükséges minimális öntési hőmérséklet alá hűlhet, ami selejtveszélyt jelent az öntvénygyártásnál.

Az öntés minőségének javítására automatikus öntőrendszereket fejlesztettek ki. Ezek csak a nagysorozat gyártás körülményei között gazdaságosak. Előnyeik:

- nagyobb a termelékenység, mint a kézi öntésnél
- a nem termelő öntési idők kisebbek (túlöntések, egyenlőtlen öntési sebesség miatt szükséges többletidők, kézi öntés bizonytalansága miatti nagyobb térfogatú beömlőrendszer kiöntése, üstmaradék kiöntése, stb.)
- csökken a selejt
- nő a minőségbiztosítás esélye
- jobban szabályozható az öntési folyamat

7.3 Precíziós öntés

A precíziós öntésnél egyszer használható, osztatlan formába öntik a megolvasztott fémet. A precíziós öntés műveleteit a 7.10. ábra mutatja. A minta alapanyaga viasz, vagy könnyen égő műanyag. A mintákat ún. mesterformában készítik, sajtoló öntéssel. A mesterformák bonyolult összerakható fémformák,

amelyek elkészítése költséges és hosszadalmas. A mesterformában elkészített viasz-, vagy műanyag mintákat közös beömlőrendszerrel állítják össze (bokrosítás). A beömlőrendszer anyaga is viasz, illetve műanyag. A bokrosítás után a mintákat beformázzák. Ez a művelet ismételt formázó anyagba mártásból és szárításból áll. A formázóanyagok különböző receptek szerint készülnek. Egy általánosan használt formázóanyag például az etilszilikát ($\text{SiO}_4(\text{C}_2\text{H}_5)_4$), sósav, denaturált szesz és desztillált víz keverékében szuszpendált finom szilikátpor tejföl sűrűségű emulziója. Az említett szilikátpor lehet kvarc (SiO_2), timföld (Al_2O_3), cirkondioxid (ZrO_2), esetenként ezek kombinációja. Az első 4 - 5 bemártási és szárítási ciklusnál finomabb porral készült szuszpenziót használnak, hogy a forma felületi érdessége kicsi legyen. Ezt a finom szemcsés réteget 1 - 15 mm vastagra hizlalják, majd ezt követően durvább szemcsenagyságú porral készült emulzióba mártás következik. Ezzel 5 - 8 mm-es rétegvastagságig hizlalják a formakérget. Ezt követi egy 4-6 órás szobahőmérsékleten történő szárítás, majd a viasz, illetve a műanyag eltávolítása (kiolvasztás 200°C -on, ill. kiégetés $200 - 300^\circ\text{C}$ -on).

Az így nyert üreges kéregformát $800 - 1000^\circ\text{C}$ között 10 - 12 órán át kiégetik. Erre a kiégetésre a SiO_2 allotróp átalakulása miatt van szükség, hogy a kéreg a későbbi öntés során az allotróp átalakulás miatt ne repedjen meg. A kvarc SiO_2 ugyanis 870°C -on tridimit SiO_2 -vé alakul át. Az előzőek szerint elkészített kéregformát homokba vagy acélszemcsébe ágyazzák és így megtámasztva öntik ki a folyékony fémmeel. Az öntés történhet egyszerű gravitációs úton, vagy centrifugál öntéssel. Ez utóbbi esetben az öntéshez speciális forgató-berendezést használnak.

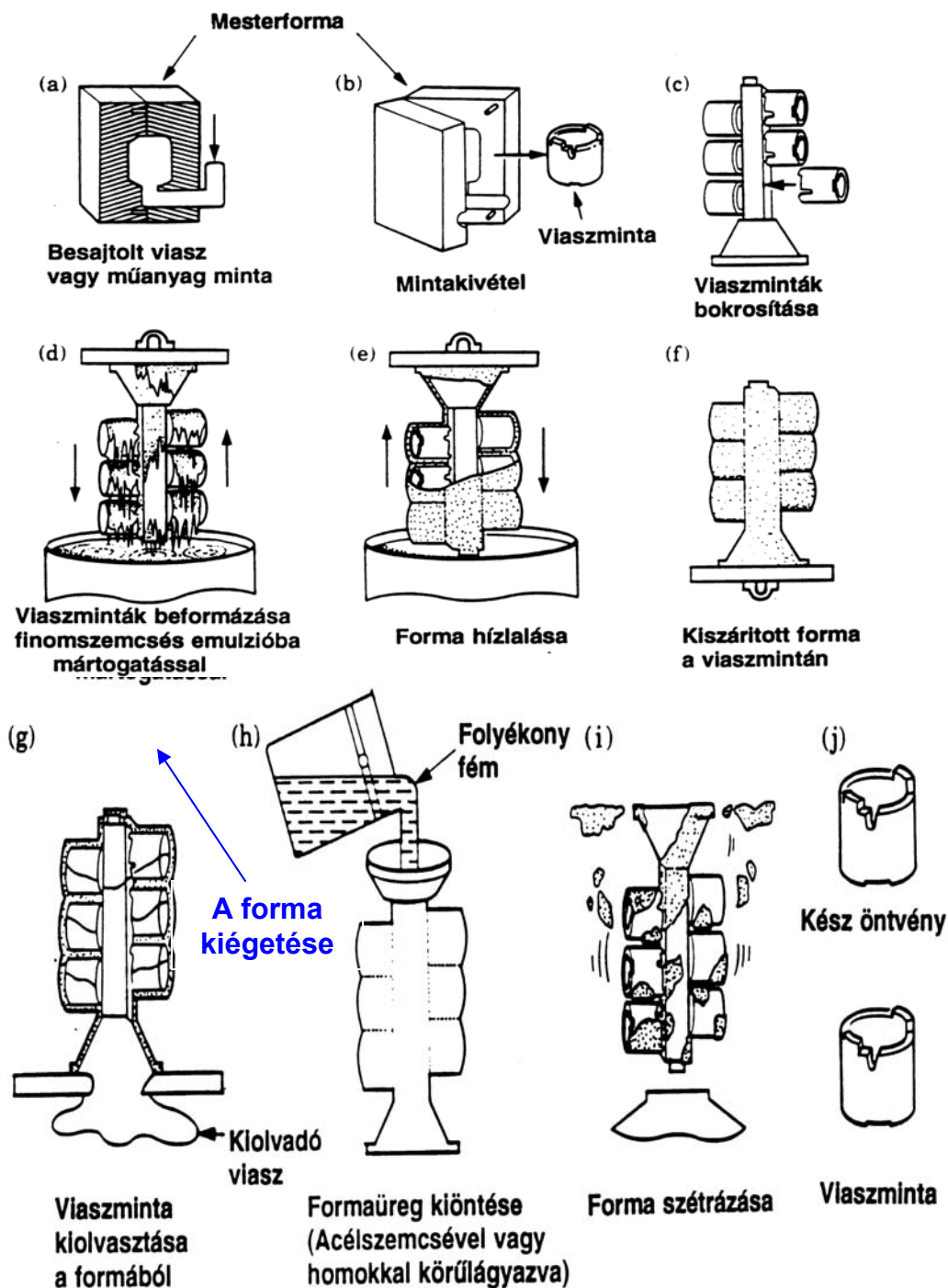
A precíziós öntés előnyei a homokformázási eljárásokhoz viszonyítva a következők:

- tetszőleges öntvényalak önthető vele,
- magas olvadáspontú, nehezen önthető fémek öntését teszi lehetővé (precíziós öntés centrifugál öntéssel),
- szűkebb mérettűrésű öntvények gyárthatók,
- finomabb felületi minőségű öntvények készíthetők.

A precíziós öntés hátrányai:

- csak viszonylag kis öntvénytűlyok esetén használható,
- költséges eljárás, a nyers homokformázás 100 % költségéhez képest a hégformázás 250-300 %-os, a precíziós öntés 700-1500 %-os költséggel jár.

Precíziós öntés I.



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 nagysorozatgyártásnál lehet gazdaságosan alkalmazni, ahol az öntvénygyártás magasabb költségeit ellensúlyozzák az öntvények kisebb megmunkálási költségei.

7.4 Keramikus formázás (Shaw eljárás)

A keramikus formázással egy nagy hőállóságú szilikát formát hoznak létre a minta körül. A forma anyaga formázáskor egy tejföl sűrűségű keverék, amelyet a formára öntenek a 7.11 ábra szerinti elrendezésben. A keverék cirkonszilikát ($ZrSiO_4$), timföld, különböző szilikát porok és kötőanyag szuszpenziója. A keverék gyorsan megszárad a mintán és a nyers forma a vulkanizált gumihoz hasonló tulajdonságú. A formát leveszik a mintáról, kiégetik (lánghegesztő pisztollyal), majd kb. 1000°C-on 1 - 5 órán át kemencében hevítik. Itt nyeri el a forma a végső tulajdonságokat, amelyek elsősorban a nagy hőállóság, a jó alaktartás, és a finom felületi minőség. A formafeleket összefogják és így öntik ki. Az eljárást főleg bonyolult alakú acélszerszámok gyártására használják, például süllyesztékes kovácsoláshoz, műanyagfröccsöntéshez, nyomásos fémöntéshez, üvegipari öntőszerszámokhoz, sajtoló és folytatószerszámokhoz.

7.5 Kokillaöntés

A kokillák többször használható fémformák. A kokillaöntésnek három változata használatos:

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

7.5.1 Gravitációs kokillaöntés

A kokillaöntésnek azt a formáját, amelynél a folyékony fém a gravitáció segítségével tölti ki a kokillát, gravitációs kokillaöntésnek nevezik. Ezt a kokillaöntési módszert elterjedten használták Európában már a XV. században, amikor a különböző kupákat, kelyheket, tálakat, edényeket ezzel a módszerrel öntötték. A módszer érdekessége volt, hogy a hideg fémformába öntött alacsony olvadáspontú fémek (ónötvözetek, rézötvözetek) a formafelületen gyorsan megdermedtek és egy szilárd kérget alkottak. Ekkor kiborították a formaüreg belsejéből a még olvadt fémet és így üreges öntvényt nyertek.

Napjainkban elsősorban alumínium, magnézium, és rézötvözetek öntvényeinek készítésére használatos a gravitációs kokillaöntés.

A 7.12 ábrán egy alumínium dugattyú gravitációs öntőkokillája látható, amelynél a beömlőrendszer és a formaüreg feltöltése folyékony fémrel egyszerűen a gravitáció segítségével történik. A kokilla két félből áll, függőleges osztósíkkal. A középső dugattyú-üreget egy három részre osztott mag alakítja ki. A mag részekre osztását a mag kivehetősége érdekében kell elvégezni. A dugattyúcsap furatát két darab, oldalról benyúló és az öntés után kivehető csap alakítja ki.





A gravitációs kokillákat és a magokat forgácsolással készítik el. A kokillák célszerű falvastagsága az elkészítendő öntvény anyagától függ: alumínium és ötvözeteinél 2-5x öntvény falvastagsággal, horgany-, és rézötvözeteknél 1,2-3x öntvény falvastagsággal tervezendő. A magnéziumötvözetek öntésénél a kokilla falvastagsága általában 12-15 mm-re választandó.

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 u.n.szabad áramlású rendszer, ami azt jelenti, hogy a beömlőcsatorna keresztmetszete folyamatosan növekszik (7.12 ábra).

A kokillaüregben lévő levegő elvezetésére 1-3 mm-es csatornákat alakítanak ki.

A kokillákban készítenő öntvényt úgy célszerű tervezni, hogy a falvastagság a beömlés helyétől távolodva csökkenjen. Ezzel érhető el, hogy a közbenső helyek nem dermednek meg a hűlés során és a beömlőrendszer a zsugorodást után tudja táplálni folyékony fémmel. Az öntvény méreteit a zsugorodással módosított üregméretekkel kell a kokillába belemunkálni (7.1 táblázat). A mag és az öntvény kivehetősege 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 öntvény súly, kevesebb forgácsolási költség),
- jobb felületi minőség,
- nagyobb termelékenység,
- magasabb öntvényzilárdság (a gyorsabb dermedés miatt finomabb anyagszerkezet, kisebb szemcseméret).

A költségesebb forma és mag miatt a kokillaöntés csak megfelelő sorozatnagyság esetén gazdaságos.

7.5.2 Kiszorításos kokillaöntés

Az 1960-as években fejlesztették ki ezt a módszert, amely a folyékony fém nagy nyomás alatti megdermedésével dolgozik. Az eljárást a 7.13 ábra mutatja. 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 a 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 alakítás hatására a dendritágak összetöredeznek, finomabb kristályszerkezet alakul ki. Némileg különböző technológiai megoldásaikat más-más elnevezéssel illelik, például a tixo öntést alumínium-öntvény motorblokkok, hengerfedelek, forgattyúházak gyártására is alkalmazzák.

7.5.3 Nyomásos öntés

A nyomásos öntést az 1900-as évek elején kezdték kifejleszteni. Napjainkban széles körben használják különböző változatait, főleg gépkocsi porlasztók,

elektromos motorok, irodagép alkatrészek, számítógép alkatrészek, háztartási gép alkatrészek, kéziszerszámok és játékok gyártásánál. A nyomásos öntéssel készült öntvények súlytartománya 100 g-tól kb. 50 kg-ig terjed. Főleg alacsony olvadáspontú fémek és ötvözetek (alumínium-, magnézium-, horgany-, ón-, ólom- és rézötvözetek) öntésére használatos eljárások. Egyes esetekben acél, öntöttvas illetve bronz alkatrészek öntését is végzik nyomásos öntéssel.

Közös tulajdonságuk a különböző nyomásos 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 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 ($Ra=1,6-6,3 \mu m$),
- kis átmérőjű furatok kiönthetők,
- különböző acélbetétek (csavarok, anyák, ülékek) is beönthetők az öntvénybe, ami jelentősen megnövelheti a gyártás termelékenységét,
- tetszőleges felületi minta alakítható ki az öntvényen (fa, textil, bőr hatást lehet elérni a fémeknél)
- az öntvény mechanikai tulajdonságai tovább javíthatók a gravitációs öntéshez viszonyítva.

A 7.2 táblázat egy 99,5-ös Al öntvény tulajdonságainak változását mutatja be az öntési nyomás függvényében.

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 fémnyomás, annál nagyobb a veszély, hogy az öntvény porózus lesz. A nagy nyomás 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

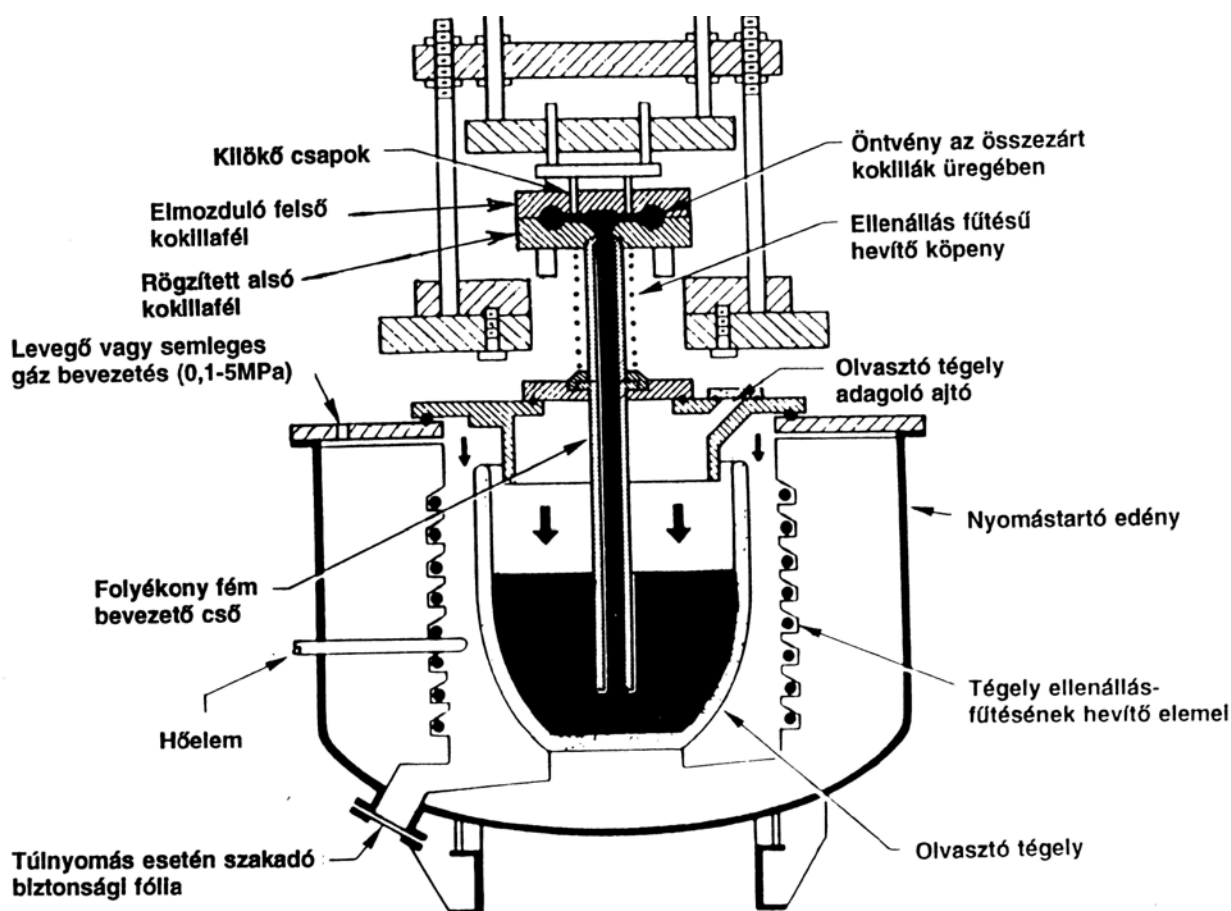
Kisnyomású melegkamrás öntés

A 7.14 ábra egy kisnyomású melegkamrás öntőgép vázlatát mutatja. Az öntőgép fő részei a nyomástartó edényben elhelyezett elektromos ellenállás-fűtésű kemence és a tartály felett elhelyezett kokillamanipuláló berendezés.

Öntéskor a kokillafeleket összezárják, majd a tartályt nyomás alá helyezik 0,1-5 MPa nyomású levegővel vagy semleges gázzal (argon, hélium). A nyomás hatására a tégelyben lévő folyékony fém egy fűtött tápvezetéken keresztül a zárt kokilla üregeibe áramlik és ott megdermed. A nyomást addig tartják fenn, amíg a fém dermedése a kokillában be nem fejeződik. Ekkor a nyomást megszüntetik, a tápvezetékben levő folyékony fém visszafolyik a tégelybe, a kokillában megdermedt fémöntvényt pedig a kinyitott kokillafelek közül eltávolítják. A kokillák üregeit bevonóanyaggal hűtik-kenik, majd a kokilla feleket zárják és újra következik az öntési művelet.

A kokillák anyaga lehet öntöttvas, vagy melegalakító szerszámacél. A kokillákban beépített hűtőcsatorna van, intenzív vízhűtéssel.

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 alumíniumöntvözetekből.



Kisnyomású melegkamrás öntés elrendezése

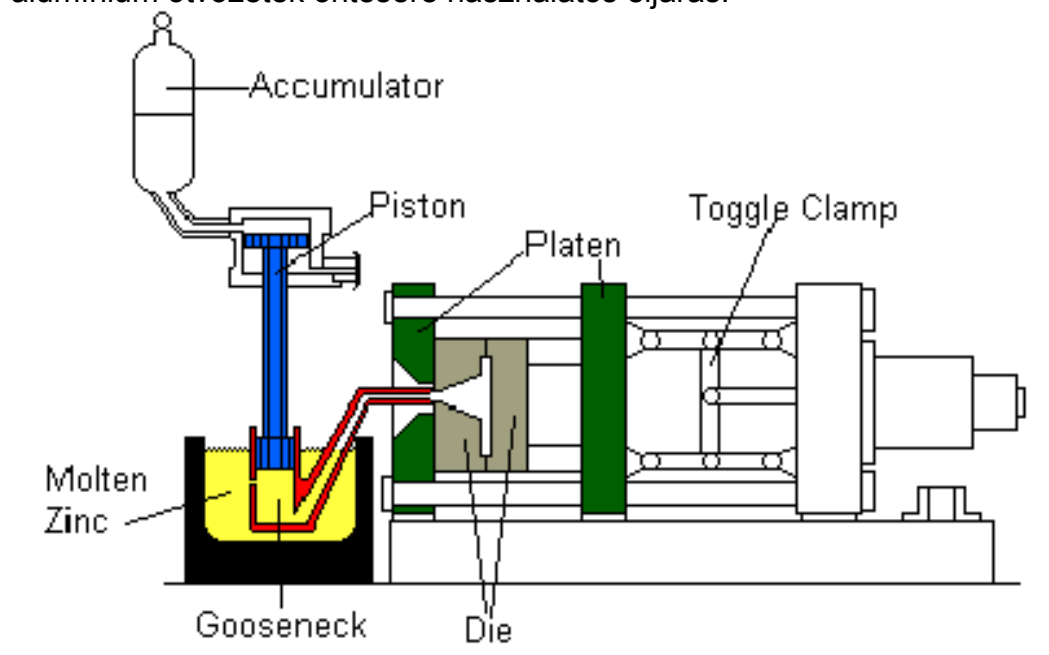
Nagynyomású melegkamrás öntés

A 7.15 ábrán egy nagynyomású melegkamrás öntőgép vázlatja látható. Az öntőgép egy ellenállás fűtésű tégelykemencéből, egy a folyékony fémbe 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 nyomással a zárt kokillafelek üregébe nyomja. Az alkalmazandó nyomás az öntvény anyagától, falvastagságától és alakjától is függ.

Megdermedés után a kokillafeleket szétnyitják, az öntvényt eltávolítják, az üreget kenik, és a kokillafeleket újra zárják.

Nagy termelékenységű eljárás. Apró öntvényeknél, mint pl. a villámzár (zipzár) fogak, a termelékenység 18000 db/óra is lehet. 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.



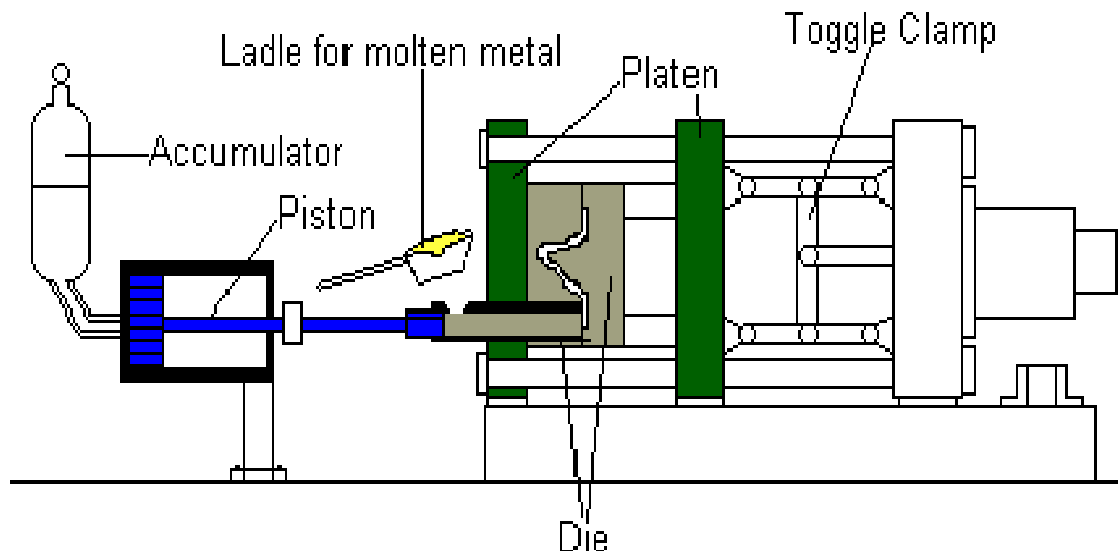
Nagynyomású melegkamrás öntőberendezés

Nagynyomású hidegkamrás öntés

A 7.16 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 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.



Nagynyomású hidegkamrás öntőberendezés

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

7.6 Öntészeti eljárások összefoglalása

A 7.3 táblázatban a különböző öntvénygyártó eljárások főbb jellemzőit foglaltuk össze. Adott gyártási feladat esetén a különböző öntvénygyártási eljárások közül több is megfelelhet a műszaki követelményeknek (mérettűrés, felületi minőség, méret-, ill. súlyhatár, minimális falvastagság, stb.). Az egyébként egyenértékű eljárások közül a gazdaságosság mérlegelésével kell kiválasztani a legmegfelelőbbet.

A gazdaságosság eldöntésére látható egy példa a 7.17 ábrán, ahol az egy öntvényre eső költség változását tüntettük fel az öntendő öntvények darabszáma függvényében. Látható, hogy homokformázás és nyomásos öntés esetén, a nyomásos öntés magas szerszámozási költsége, a nyomásos öntőgép magas amortizációs költsége és más járulékos üzemi költségek miatt kb. 2000 db az a minimális sorozatnagyság, amelynél a nyomásos öntés egy öntvényre eső

önköltsége a homokformázás önköltsége alá csökken. Ha nem egyenértékűek a különböző eljárásokkal készült öntvények, akkor további költségmegtakarítást jelenthet az, hogy a nagyobb méretpontosságú és a jobb felületi minőségű öntvényeknél elhagyhatók lesznek egyes forgácsolási műveletek. Ugyancsak előny lehet a nagyobb öntvényzilárdság is, amelyet azonos ötvözetnél, különböző öntési eljárásokkal biztosítani lehet.

Jellemzők/ öntési eljárások	Homokforma	Gravitációs kokilla	Nyomásos	Centrifugál	Precizió s
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	elfogadhat ó	nagyon jó
Alakadási szabadság	jó	jó	nagyon jó	gyenge	nagyon jó
Relatív ár kis darabszámnál	a legalacsonyab b	magas	nagyon magas	közepes	magas
Relatív ár nagy darabszámnál	közepes	alacsony	legalacsonyab b	magas	magas
Pontosság (d<100 mm)	rossz ±1 mm	jó ±0.2 mm	nagyon jó ±0.02-0.2 mm	elfogadhat ó	nagyon jó, ±0.05
A változtatás rugalmassága	a legjobb	gyenge	a leggyengébb	jó	jó

Öntészeti módszerek

	Eljárás/tömeg (kg)	0.01	0.1	1	10	100	1000	10000	100000
1	Nyers homokforma		-----	-----	-----	-----	-----		Ra=100 μ
2	Szárított felületű homok		-----	-----	-----	-----	-----		
3	Szárított homokforma						-----	-----	
4	Krómmagnezit keverék						-----	-----	
5	Samottkeverék						-----	-----	
6	Vízüveg+CO ₂ homokfor.				-----	-----			Ra50-80
7	Műanyagkötésű homokf. (Cold-Box, Hot-Box elj.)			-----	-----	-----			Ra15-25
8	Héjformázás			-----	-----				Ra10-25
9	Precíziós öntés	-----	-----	-----	-----				Ra<10
10	Keramikus formázás			-----	-----				Ra<10
Kokillaöntés (Al, Mg, Cu)									
11	gravitációs öntés		-----	-----	-----				Ra10-50
12	nyomásos öntés	-----	-----	-----	-----				Ra1.6-10

7.7 Öntészeti ötvözetek

Adott ötvözesi rendszerben (például a vas-vaskarbid 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 un. dermedési hőköz. (Dermedési hőköz alatt a liquidus és a solidus hőmérsékletek közötti különbséget értjük.). Ebben a dermedési hőközben a fém szilárd - folyékony un. 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.

Adott 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 formakitöltő képességet az ún. spirál forma segítségével lehet mérni. A 7.18 ábra egy ilyen spirál formába öntött próbatestet mutat. A spirál hosszúságával lehet jellemezni a különböző ötvözetek formakitöltő képességét.

7.7.1 Öntöttvasak

Öntöttvasnak nevezik a vas-karbon rendszerben a 2,11 %-nál nagyobb karbontartalmú vas-karbon ötvözeteket. A hűlési sebességtől függően az öntöttvasak különböző szövetszerkezettel dermednek meg. A 7.19 ábra a gyors hűtés mellett (az öntvény falvastagsága kisebb mint 10 mm) dermedő vas-karbon ötvözetek állapotábráját mutatja (vas-vaskarbid, metastabil rendszer). A 7.20 ábra a lassú hűtés mellett (az öntvény falvastagsága nagyobb mint 10 mm) dermedő vas-karbon ötvözetek állapotábráját mutatja (vas-grafit stabil, rendszer).

A hűtési sebesség csökkenése elősegíti a grafitképződést. Ez alatt a vaskarbid vagy cementit (Fe_3C) fázis felbomlását értik α -vasra és grafitra.

A dermedés során kialakuló fázisok nemcsak a karbontartalomtól és a hűtési sebességtől, hanem az öntöttvas egyéb ötvözőitől is függenek. A grafitképződést segítő ötvözőelemek a grafitképzők. Ezek, a hatás erősödésének a sorrendjében a következők:

kobalt (Co), foszfor (P), réz (Cu), nikkel (Ni), titán (Ti), szilícium (Si), karbon (C), alumínium (Al).

A grafitképződést gátló ötvözőelemek elősegítik a cementitképződést. A cementitképző ötvözőelemek a hatás erősödésének sorrendjében a következők:

wolfram (W), mangán (Mn), molibdén (Mo), kén (S), króm (Cr), vanádium (V), magnézium (Mg), cérium (Ce).

Az öntöttvasak kémiai összetételét az ún. telítettségi fokkal(T) lehet jellemezni:

$$T = \frac{C\%}{4,3\% - 0,3(Si\% + P\%)}$$

Ha $T > 1$, akkor az öntöttvasat hipereutektikusnak nevezik, amelynél a dermedés grafit kiválással indul meg, majd eutektikum kialakulással fejeződik be.

Ha $T = 1$, akkor az öntöttvasat eutektikus öntöttvasnak nevezik, amelynél a dermedés kizárólag eutektikum kialakulással megy végbe.

Ha $T < 1$ akkor az öntöttvasat hipoeutektikus öntöttvasnak nevezik, amelynél a dermedés γ -vas kiválással indul, majd eutektikum kiválással fejeződik be. A kialakuló eutektikum lassú hűtés esetén ún. grafit-eutektikum, amit grafitlemezek és a közöttük elhelyezkedő γ -vas rétegek alkotnak. A gyors hűtés esetén kialakuló eutektikumot ledeburitnak nevezik, amelyet cementitlemezek és a közöttük elhelyezkedő γ -vas rétegek alkotnak.

Az ipari gyakorlatban leggyakoribbak a $T = 0,7-1,0$ közötti telítettségi fokú hipoeutektikus öntöttvasok. Egy tipikus öntöttvas kémiai összetétel a következő:

C	Si	Mn	S	P
2,5-3,5 %	1-3 %	0,5-1 %	< 0,1 %	< 0,3 %

A kén és a foszfor az öntöttvas szennyezőelemei. Hatásuk rontja az öntvény minőségét, ezért mennyiségüket korlátozni kell a vegyi összetétel előírásakor. Mindkét szennyezőnek nagy a dúsulási hajlama, aminek következtében a helyi kén illetve foszfortartalom az átlagos érték többszázszorosa is lehet. Ez a nagy helyi kén illetve foszfortartalom alacsony olvadáspontú szulfid-, illetve foszfideutektikumot képez a vassal, ami melegrepedékenységet okoz az öntvényeknél. A foszfor a híg folyósság növelésével javítja az önthetőséget.

A növekvő dermedés közbeni hűlési sebesség sorrendjében egy adott kémiai összetételű öntöttvas szövetszerkezete lehet:

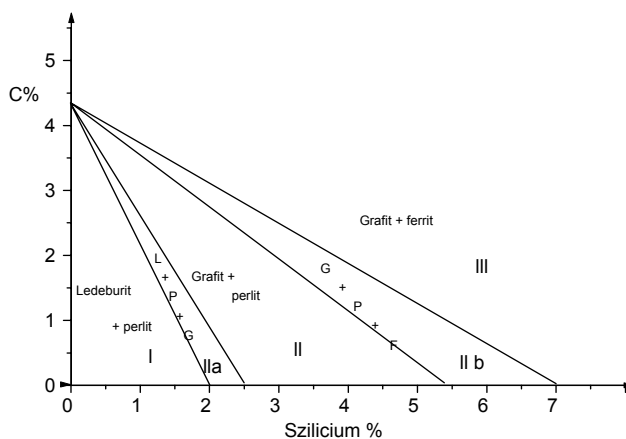
ferrit-grafit,
 ferrit-perlit-grafit a hűtési sebesség
 perlit-grafit növekszik
 perlit-grafit-ledeburit
 perlit-ledeburit

A perlitben és a ledeburitban a szén cementit formájában van jelen.

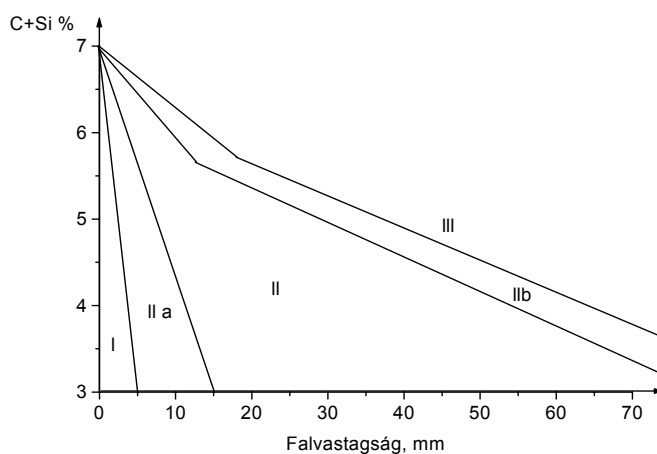
Az öntöttvasak szövetszerkezete

A 7.21 ábra az öntöttvasak szövetszerkezetét mutatja a karbon és a szilíciumtartalom függvényében. A szövetszerkezeteket 30 mm átmérőjű öntött próbatestek keresztmetszetében vizsgálták. (Maurer- diagram).

A 7.22 ábra az öntöttvasak szövetszerkezetét mutatja a karbon és a szilícium tartalom illetve az öntvény falvastagsága függvényében. (Greiner-Klingenstein diagram). A két ábra hasonló, ami azt bizonyítja, hogy mind a szilícium, mind a csökkenő hűlési sebesség (növekvő szelvényméret), a grafitképzés irányába befolyásolja a fázisátalakulásokat.



MAURER diagram



Greiner-Klingenstein diagram

Fehér öntöttvasnak nevezik a metastabil rendszerben kristályosodó perlit-ledeburit szövetszerkezetű vasakat. Ezek törete fémesen csillogó (fehér) töret, keménységük nagyobb, mint az azonos vegyi összetételű szürke öntöttvasaké.

Szürke öntöttvasnak nevezik azokat az öntöttvasakat, amelyekben a szén grafit formájában fordul elő. Ezek törete szürke színű.

Az öntöttvasak mechanikai tulajdonságai

A 7.23 ábrán az ötvözetlen acél és az öntöttvas szakítószilárdságát (R_m) mutatjuk be a karbontartalom függvényében. Az acélnál az átlagos karbontartalmat, az öntöttvasnál a grafit mennyiségével csökkentett karbontartalmat tünteti fel a 7.2.3 ábra.

Az öntöttvas szakítószilárdsága kisebb, mint a megfelelő karbontartalmú acélé. A különbség részben a grafit keresztmetszet csökkentő hatásából, részben éles bemetszés jellegű hatásából következik. Ugyancsak hatással van a szakítószilárdság csökkenésére a grafit un. térfogat kizáró hatása. Ez alatt azt értik, hogy a grafitlemezek által körülfogott fémes fázis nem vesz részt a teherviselésben. A karbon megjelenési formája alapvetően befolyásolja az öntöttvasak tulajdonságait. Ez az oka annak, hogy a különböző öntöttvasokat a grafit alakjának megfelelően nevezték el:

- lemezgrafitos (szürke) öntöttvasak,
- gömbgrafitos öntöttvasak,
- vermikuláris grafitos öntöttvasak,
- temperöntvények (amelyben a karbon temperszén formájában van jelen).

Lemezgrafitos (szürke) öntöttvasak

A 7.24 ábrán a szürke öntöttvasak grafiteloszlási mintái láthatók a telítettségi fok, illetve az öntvény minősége függvényében. A legkedvezőbb tulajdonságokat a finom,

egyenletes grafiteloszlással lehet biztosítani. A 7.25 ábra a lemezgrafitos öntöttvasak szakítószilárdságát mutatja be az öntvények falvastagsága függvényében. Az öntöttvas szilárdságát mindig az öntvényel együtt öntött, 30 mm átmérőjű hengerből kimunkált szakítóvizsgálati próbatestekkel ellenőrzik. Az öntvény egyes részein a szakítószilárdság ennél nagyobb is lehet (a vékonyabb, mint 30 mm-es falaknál), illetve kisebb is lehet (a vastagabb mint 30 mm-es falaknál). Ez a keresztmetszettől függően változó szilárdság az öntött munkadarabok egyik legjellegzetesebb tulajdonsága.

A lemezgrafitos öntöttvasak szilárdságát kétféle módon lehet növelni:

- az alapszövet perlittartalmának növelésével,
- finomabb, egyenletesebb eloszlású grafitlemezek kialakításával (modifikálás).

A lemezgrafitos (szürke) öntöttvasak perlittartalmának növelése szilíciumötvözéssel érhető el a legolcsóbban. A szilícium ötvözés (max. 3%) a telítettségi fok csökkenését vonja maga után. A 7.2.6 ábrán (a Maurer-diagramon) látható ez a növelt perlittartalmú zóna.

A magyar szabvány szerint ezek a növelt perlittartalmú öntöttvasak a következők:

Jelzés	Szakítószilárdság	Telítettségi fok
Öv 150	$R_m = \text{min } 150 \text{ MPa}$	$T = 1,0$
Öv 200	$R_m = \text{min } 200 \text{ MPa}$	$T = 0,94$
Öv 250	$R_m = \text{min } 250 \text{ MPa}$	$T = 0,88$

A lemezgrafitos szürke öntöttvasak grafitméreteinek finomítása modifikálással történik. A modifikálás a grafitcsírák kialakítását befolyásolja. Ferroszilícium illetve kalciumszilícium port adagolnak a túlhevített folyékony vasba és ezek a hűlés során sok kristályosodási középpontot alkotnak a grafit számára. A 7.26 ábrán a vas hőmérsékletének és korbontartalmának a hatása látható az öntöttvasak szakítószilárdságára. Minél kisebb az öntöttvas korbontartalma, annál finomabb grafiteloszlást lehet benne kialakítani, annál nagyobb az elérhető szilárdság. A magyar szabvány szerint ezek a modifikált szürke öntöttvasak a következők:

<u>Jelzés</u>	<u>Szakítószilárdság</u>
Öv 300	$R_m = \text{min } 300 \text{ MPa}$

Öv 350	$R_m = \text{min } 350 \text{ MPa}$
Öv 400	$R_m = \text{min } 400 \text{ MPa}$

Lemezgrafitos (szürke) öntöttvasak jellemző tulajdonságai:

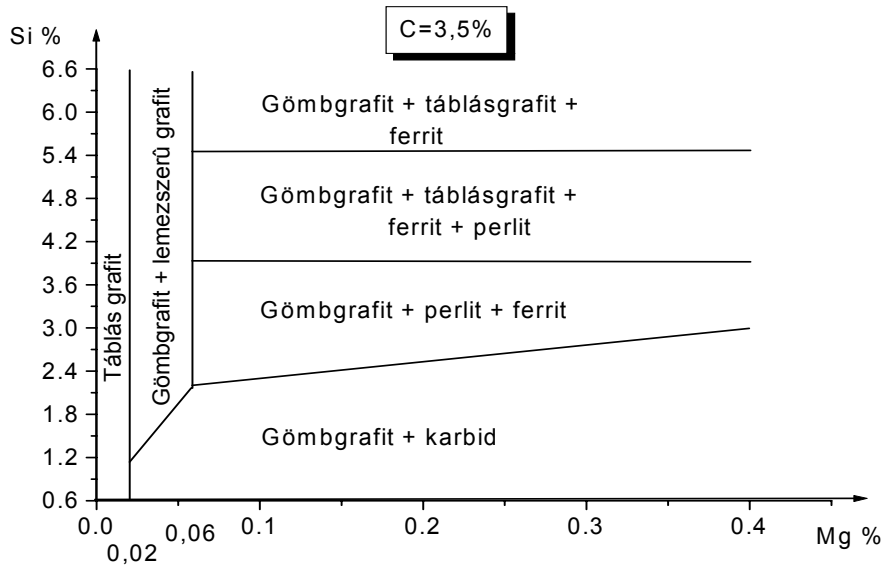
- nem érzékenyek az éles bemetszésekre,
- nyomószilárdságuk jelentősen nagyobb, mint a szakítószilárdságuk,
- kitűnő rezgéscsillapító hatásúak, a grafitlemezek elnyelik a mechanikus rezgéseket,
- jól forgácsolhatóak,
- jó a kopásállóságuk, mert a grafit miatt "önkenők" és kitűnők a siklási tulajdonságaik is,
- olcsók
- jó hővezetők,
- ridegek, szobahőmérsékleten makroszkopikus képlékeny alakváltozásra nem képesek.

Főleg gépállványok, fogaskerekek, féktárcsák, motorblokkok, szerszámgéppályák készülnek lemezgrafitos (szürke) öntöttvasból.

Gömbgrafitos öntöttvasak

Ha az olvasztott vasba gömbösítő anyagokat adagolnak öntés előtt, akkor a grafit gömbök formájában kristályosodik ki (7.27 ábra). A gömbösítő anyagokat előtvözetek formájában helyezik az üst aljára és erre csapolják rá a folyékony vasat. A leggyakrabban használt gömbösítő anyagok a Fe-Cu-Mg és a Fe-Ni- Mg ötvözetek. Az előtvözetek jelentős része a dermedés előtt kiég, de kb. 0.1-0.3% Mg tartalom beötvöződik a vasba, ami biztosítja a gömb alakú grafitkristályok kialakulását.

A 7.28 ábra a magnézium-, és a szilíciumtartalom függvényében mutatja a gömbgrafitos öntöttvasak lehetséges szövetszerkezeteit. A diagram alapját adó kutatásokat a BME Mechanikai Technológiai Tanszékén, dr. Gillemot László professzor vezetésével végezték el az 1950-es években. A gömbösítő kezelést 0,2-0,4 % ferroszilíciumos beoltás követi, ami szövetfinomító hatású.



Gillemot gömbgrafitosöntöttvas szövetelemdiagramja

A gömbgrafitos öntöttvasakat a magyar szabvány a következők szerint határozza meg:

oo

Jelzés Szövetszerkezet Folyáshatár Fajlagos nyúlás
Rp_{0.2} δ_{3d}

oo

Göv 370 Ferrit+Gömbgrafit min. 270 MPa min. 17%

Göv 400

oo

Göv 500 Ferrit+Perlit+

Göv 600 Gömbgrafit

oo

Göv 700 Perlit+Gömbgrafit

oo

Göv 800 Edzett+megeresztett

(szferoidit+ min. 480 MPa min. 2%

gömbgrafit)

oo

A jelzésekben szereplő szám a minimális szakítószilárdságot jelenti MPa-ban.

A gömbgrafitos öntöttvasak jellemző tulajdonságai

A gömbgrafitos öntöttvasak tulajdonságai átmenetet képeznek az acélok és a lemezgrafitos (szürke) öntöttvasak tulajdonságai között. Jobban önthetők, mint az acélok és jobb mechanikai tulajdonságokat biztosítanak, mint a lemezgrafitos (szürke) öntöttvasak.

Elsősorban a gömbgrafitos öntöttvasak képlékeny alakváltozó képessége jelent nagy előnyt az rideg és törékeny lemezgrafitos (szürke) öntöttvasakkal szemben. Ugyanakkor hővezető és rezgéscsillapító képességük rosszabb, mint a lemezgrafitos (szürke) öntöttvasaké és előállításuk is költségesebb.

Főleg csőszervények, vezértengelyek, fogaskerekek, belsőégésű motor főtengelyek és más nagyszilárdságú öntött gépalkatrészek készülnek gömbgrafitos öntöttvasból.

Vermikuláris (kompakt) grafitos öntöttvasak

Az öntöttvasak olvasztási és a gömbgrafitos öntöttvasak gömbösítési technológiáinak fejlődése az 1960-as években lehetővé tette a pontos vegyi összetétel biztosítását. Ezzel lehetővé vált olyan grafiteloszlású öntöttvasak gyártása is, amelyeket addig csak véletlenszerűen lehetett előállítani. Esetenként ugyanis az alacsony magnézium tartalmú gömbgrafitos öntöttvasokban a 7.29 ábrán látható ún. vermikuláris grafitalak alakult ki a teljes gömbösödés helyett. Ezt a grafiteloszlást "kukacszerűen" egymás mellett kialakult grafit gömböcskék alkotják, amelyek ezáltal a lemez-, illetve a gömbgrafitos öntöttvasak között elhelyezkedő, átmeneti tulajdonságú öntöttvasat eredményeznek.

A vermikuláris grafitos öntöttvasakat elsősorban azokon a helyeken alkalmazzák, amelyeknél a lemezgrafitos (szürke) öntöttvasak szilárdsága nem elegendő, a

Jelzés Mechanikai tulajdonságok
őő

Tö 350.04 min.350 MPa szakítószilárdság, 12 mm-es

átmérőjű öntött próbatesten mérve,

A_3 =min. 4 % fajlagos nyúlás (3d hosszön
mérve)

őő

Tö 400.05 min. 400 MPa szakítószilárdság,

A_3 =min. 5 % fajlagos nyúlás (3d hosszön

mérve)

őő

Fekete temperöntvények

A fekete temperöntvényeket fehér öntöttvasként öntik, majd semleges közegben a 7.31 ábra szerinti hőmérséklet-idő diagramnak megfelelően izzítják. Az izzítás (temperálás) során a fehér öntöttvas perlit + ledeburitos szövetszerkezetében a vaskarbid elbomlik és a 7.30 ábra szerinti temperszén alakját veszi fel. A szövet ferritből és temperszénből áll.

A fekete temperöntvények szívósabbak, mint a lemezgrafitos (szürke) öntöttvasak és szilárdságuk is nagyobb. A magyar szabvány szerinti fekete temperöntvények a következők:

őő

Jelzés Mechanikai tulajdonságok
őő

Töfk. 300-06 min. 300 MPa szakítószilárdság,

$A_3 = \text{min. } 6\% \text{ fajlagos nyúlás}$

(3d hosszön mérve)

oo

Töfk. 350-10 min. 350 MPa szakítószilárdság,

$A_3 = \text{min. } 10\% \text{ fajlagos nyúlás}$

(3d hosszön mérve)

oo

Töfk. 350-12 min. 350 MPa szakítószilárdság,

$A_3 = \text{min. } 12\% \text{ fajlagos nyúlás}$

(3d hosszön mérve)

oo

Kisméretű, bonyolult gépalkatrészeknél használatosak (pl. tengelykapcsolók, fogaskerekek), ahol a dinamikus igénybevétel miatt a lemezgrafitos (szürke) öntöttvas nem alkalmazható.

Perlites temperöntvények

A perlites temperöntvényeket a 7.32 ábra szerinti hőkezeléssel lehet a fehér öntöttvas öntvényekből előállítani. Hasonlóak a fekete temperöntvényekhez, de szövetszerkezetüket ferrit + perlit + temperszén alkotja. Szívósabbak és nagyobb szilárdságúak, mint a lemezgrafitos (szürke) öntöttvasak.

A magyar szabvány szerinti perlites temperöntvények a következők:

oo

Jelzés	Mechanikai tulajdonságok
--------	--------------------------

folyékony acél nehezebben folyik és rosszabb a formakitöltő képessége is, mint a folyékony vasnak.

A dermedés során az acél zsugorodása a kémiai összetételtől függően 2,5-4% között van, ami a többszöröse a lemezgrafitos (szürke) öntöttvasénak (7.1 táblázat).

Az acélöntés nagyobb szakértelmet és gyakorlatot igényel mint a vasöntés, mind a beömlőrendszer tervezésében, mind a formázóanyagok megválasztásában. A magas olvadáspont miatt jelentős a folyékony acél oxidációja és könnyen reakcióba lép a forma anyagával is.

Főleg a 0,1-0,8 % közötti karbontartalmú ötvözetlen acélok és egyes ötvözött acélminőségek (saválló acélok, magas mangántartalmú kopásálló acélok) öntése terjedt el széles körben.

Előnye az acélöntvényeknek, hogy jobb a hegeszthetőségük, mint a lemezgrafitos (szürke) öntöttvasaké, ezért nagyméretű öntvényeknél több egységből öntve, hegesztéssel is összeállítható az acélöntvény. A magyar szabvány a következő acélöntvény minőségeket tartalmazza:

??

Az acélöntvények elsősorban gépállványok, saválló vegyipari szerelvények, nagyméretű és nagy szilárdságú fogaskerekek, szerszámtömbök, nagy mangántartalmú ötvözött acél lánctalpak és földmunkagép fogak, vasúti kerék koszorúk, acélműi alakító hengerek, papíripari hengerek, és vegyipari gép öntvények céljára használatosak.

7.7.3 Könnyűfém öntvények

A 7.4 táblázatban a könnyűfémek fajsúlyait foglaltuk össze. Az ipari gyakorlatban szerkezeti anyagként nem (csak ötvözőként) használatos a lithium (Li), elsősorban ritkasága és magas ára miatt. A berillium (Be) atomerőműi felhasználása a legfontosabb, kis neutronbefogási hatáskeresztmetszete miatt. Berilliumcsövekbe foglalják az atomerőművek fűtőanyagát és ezek a csövek hosszú ideig megtartják kedvező mechanikai tulajdonságaikat, nem ridegednek el a nagy intenzitású radioaktív sugárzástól. Szerkezeti anyagként csak az alumíniumot (Al), a magnéziumot (Mg) és a titánt (Ti), illetve ezek ötvözeteit használják. Ha az átlagos

acél illetve vasötvözetek árát összehasonlítjuk a könnyűfémek áraival, akkor az alumíniumötvözeteknek 3,5-10 szerez, a magnéziumötvözeteknek 10-12- szerez, a titánötvözeteknek 22-24 szerez ára van. Ez a magyarázata annak, hogy a két utóbbi fém ipari felhasználása sokkal kisebb, mint az alumíniumé.

Járművek, repülőgépek, rakéták és űrhajók esetén az egyes szerkezeti anyagokat a fajlagos szilárdság alapján választják meg. Fajlagos szilárdság alatt a szilárdság és a fajsúly hányadosát értjük.) Minél nagyobb egy anyag fajlagos szilárdsága, annál kisebb súlyú a belőle készített szerkezeti elem.

A 7.5 táblázatban a könnyűfémek, a nemesített ötvözött acélok és az öntöttvasak fajlagos szilárdságát foglaltuk össze. Látható, hogy a könnyűfémek elérik, illetve meg is haladják a nemesített ötvözött acélok fajlagos szilárdságát. Fajlagos szilárdságuk a többszöröse a különböző öntöttvasakénak. Ez az oka annak, hogy egyre több öntvényt készítenek vas, illetve acél helyett könnyűfém ötvözetekből. A járműiparban, a háztartási gépeknél, a kézi barkácsológépeknél, valamennyi elektromos illetve pneumatikus kézi szerszámnál, az irodagépeknél, a számítástechnikai berendezéseknél és mindenütt, ahol előny a kisebb súly, a könnyűfém öntvények széles körben elterjedtek.

Ötvözetlen alumínium öntvények

Az ötvözetlen alumínium, vagy kohóalumínium, 99,5 % tisztaságú. Ez használatos az öntészetben. Viszonylag kis szilárdsága van, ami függ az öntési eljárástól is. A 7.2 táblázatból látható, hogy a homokformába öntött öntvény szilárdságához képest a gravitációs kokillaöntés és a nyomásos kokillaöntés jelentős szilárdság növekedést eredményez.

A homokformába öntött alumínium öntvény szilárdsága széles határok között változhat az öntvény falvastagsága függvényében. Minél kisebb egy öntvény falvastagsága, annál gyorsabban dermed meg a formában a folyékony fém, és annál nagyobb a szilárdsága.

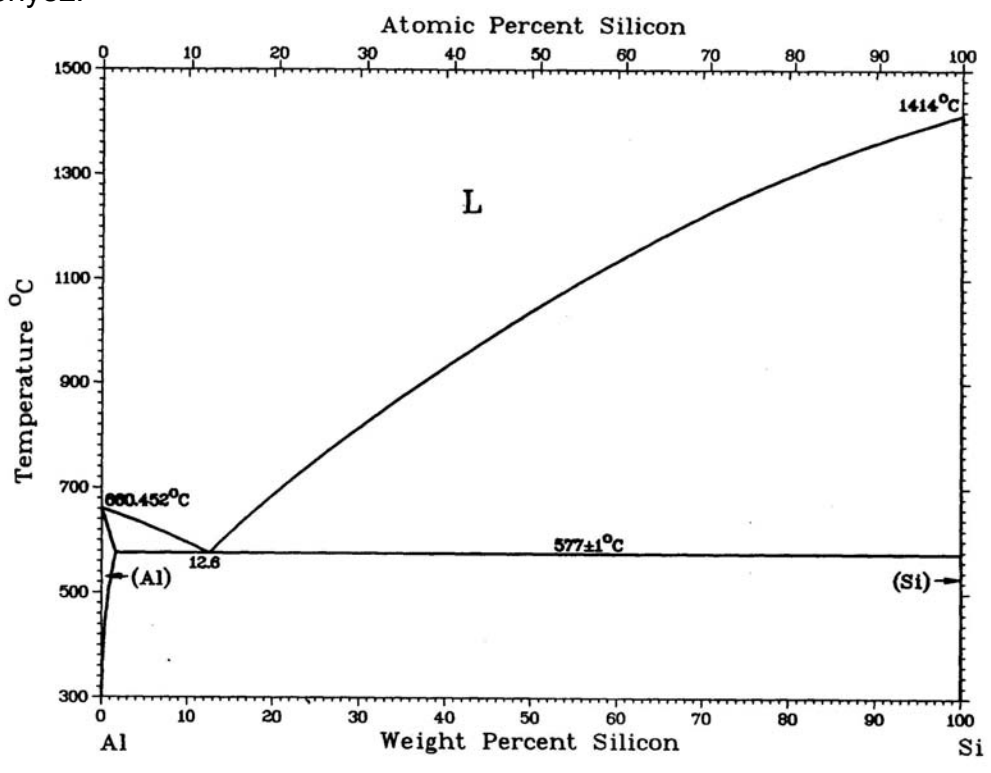
Az öntött kohóalumínium kitűnő korrózióállóságú, jó hő-, és elektromos vezetőképességű, jól önthető fém. Argonvédőgázos ívhegesztési eljárásokkal (AWI és AFI) hegeszthető. Jól polírozható, kiváló fényvisszaverő tulajdonsága van. Nem mérgező fém, ami az élelmiszeriparban és a háztartásban lehetővé teszi a

felhasználását. Különleges tulajdonsága, hogy jól ellenáll a neutronsugárzás ridegítő hatásának, ami az atomerőművekben fontos követelmény.

Ötvözött alumínium ötvények

A kohóalumínium szilárdságát ötvözéssel úgy is lehet növelni, hogy a jó önthetőségi tulajdonságai ne változzanak. A legjobban önthető alumíniumötvözetek a közel eutektikus összetételű ötvözetek.

Az öntészeti célokra használt alumíniumötvözetek közel 90 %-át a szilíciummal ötvözött minőségek - a sziluminok - teszik ki. A 7.34 ábra az alumínium-szilícium ötvözetek kétalkotós állapotábráját mutatja. A szilícium 12% Si tartalomnál eutektikumot képez az alumíniummal, ami kitűnő önthetőségi tulajdonságokat eredményez.



Szövetszerkezetük - modifikálás nélkül - durva kristallitos, öntött szerkezet, amelynek rossz szívóssági és alakváltozási tulajdonságai vannak. Ez az oka annak, hogy a sziluminokat mindig modifikálással, azaz nátrium beoltással kezelik. Ez úgy történik, hogy az öntés előtt a megolvasztott ötvözetet 100-200°C-al az olvadáspont fölé hevítik, majd a fürdő felszíne alá fémnátriumot nyomnak (0,1%). A nátrium az öntés után finoman eloszlott szilárd vegyületként van jelen az olvadt fémbe, ami elősegíti a kristályosodási középpontok kialakulását. A sok kristályosodási középpont

hatására a dermedés során finom, gömb alakú krisztallitok alakulnak ki. Ez egyidejűleg növeli az ötvözet szilárdságát és alakváltozó képességét is.

A különböző Al-Si ötvözetek 5-17% Si tartalmúak, ezen kívül ötvözik őket rézzel, magnéziummal illetve nikkellel is. A szilícium az öntészeti tulajdonságokat javítja, míg a réz, a magnézium és a nikkellel a kiváló keményedést biztosítja a nemesítő hőkezelés során. A leggyakrabban használt öntészeti alumíniumötvözet a 7% Si-0,35% Mg tartalmú γ -szilumin, amelynek mechanikai tulajdonságait a 7.6. táblázat mutatja. Látható, hogy az eredeti $R_m = 130$ MPa szakítószilárdság, amely a homokformába öntött, hőkezelés nélküli öntvény szakítószilárdsága, jelentős mértékben növelhető mind az öntési eljárás változtatásával, mind a nemesítő hőkezeléssel.

Nyomásos öntéshez legjobban elterjedt a 8,5% Si-3,5% Cu-1,3% Fe tartalmú β -szilumin ($R_m=330$ MPa, $R_p=165$ MPa, $A_5=3$ %). Napjainkban 238 öntészeti alumíniumötvözetet tartanak nyilván, amelyeknek jelentős részét alig használják.

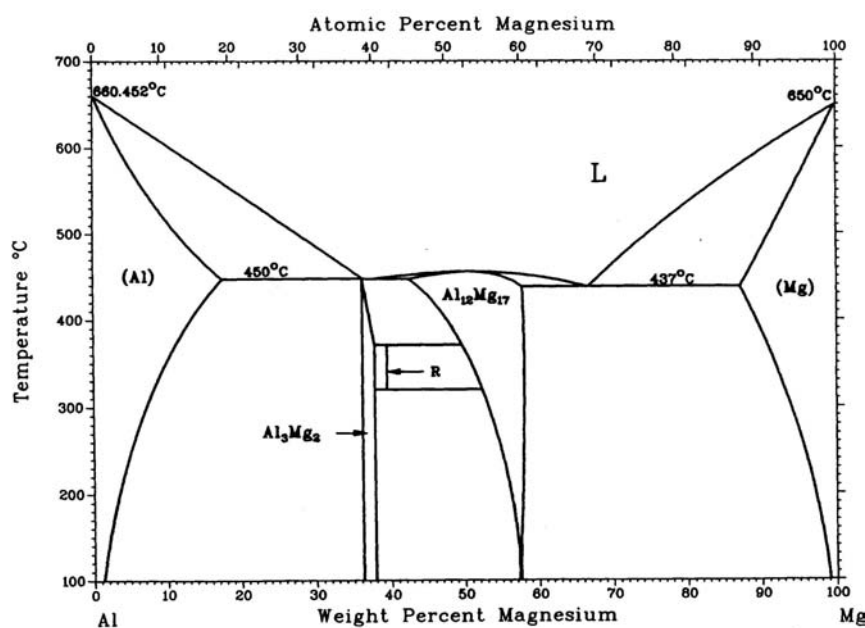
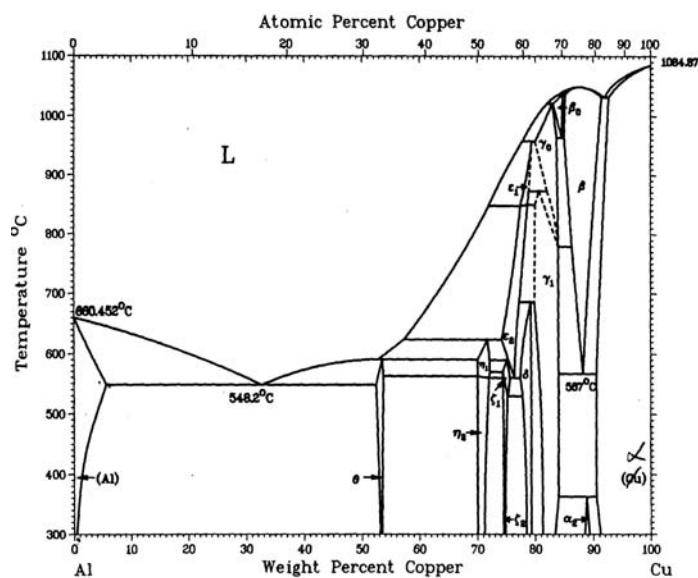
A magyar szabvány szerinti önthető alumíniumötvözetek a következők:

Alakítható ötvözetek		Öntészeti ötvözetek	
Nem nemesíthetők (hegeszthetők) Korrózióállóak Villamosvezetők Jól alakíthatók	Nemesíthető- Nagyszilárdságú ötvözetek	Nem nemesíthetők	Nemesíthetők
Al-Mn Al-Mg Al-Mg-Si Si _{0,5} Al-Mg-Zn Al-Mg-Li	Al-Mg _{0,5} - Al-Mg-Si Al-Mg-Li Al-Li-Mg Al-Cu-Mg Al-Cu-Li Al-Cu-Li-Mg Al-Zn-Mg Al-Li-Cu-Mg Al-Zn-Cu-Mg	Al-Si Al-Mg	Al-Si-Mg Al-Si-Cu Al-Mg-Si Al-Cu Al-Cu-Ni Al-Zn-Si Al-Zn-Mg

Az alumínium öntvények széleskörű alkalmazhatóságukat annak is köszönhetik, hogy felületüket különböző anyagoknak megfelelő textúrával lehet önteni (bőr, fa, textil, stb.). Ezek a textúrák különböző színező bevonattal

(galvanikus, illetve fémgőz bevonatok) teljesen a másolni kívánt anyag benyomását keltik. Ugyancsak széleskörű az öntött alumínium alkatrészek felületi színezése sima felület esetén is. Ezzel nemesebb fém benyomását lehet kelteni egyszerű alumínium ötvény esetén is (arany, nikkell, réz, bronz, króm, stb.).

Az alumínium ötvények ilyen felületileg módosított változatait használják edények, épületgépészeti szerelvények, csőszerelvények, csapok, élelmiszeripari, vegyipari, járműipari berendezések, műszeripari, finommechanikai, optikai, és számítógép alkatrészek gyártásánál. Ezek a bevonatok az esztétikai hatáson kívül növelik a kopás és korrózióállóságot is.



Ötvözött magnézium öntvények

A magnézium önthető ötvözeit ipari méretekben a második világháború után kezdték el használni, elsősorban a repülés és az űrhajózás területén. Az 1973-as olajválság hatására a könnyű magnéziumötvözetek bekerültek a gépkocsigyártás anyagai közé, a gépkocsik önsúlyának csökkentése, azaz elsősorban az üzemanyag fogyasztás csökkentése céljából.

A magnéziumötvözetek drágábbak az alumíniumötvözeteknél, de több kedvező technológiai tulajdonságuk miatt esetenként gazdaságosabbak is lehetnek azoknál:

- gyorsabban és könnyebben forgácsolhatóak,
- gyorsabb ciklusidővel önthetők (pl. nyomásos öntésnél négyszeres termelékenységet érhető el)
- nagyobb a nyomásos öntés szerszámjainak (kokillák) tartóssága, mint az alumínium öntésnél.

Az önthető magnézium ötvözetek legnagyobb hátránya az, hogy az öntéskor hajlamosak a melegrepedésre. Homokformába öntéssel, nyomásos kokillaöntéssel és gravitációs kokillaöntéssel öntik őket.

Főleg a Mg-Al-Zn-Mn ötvözeteket használják, amelyek jól önthetők, de csak 100°C alatti üzemi hőmérsékleten használhatók. Ugyancsak gond a hegeszthetőségük is.

Kedvezőbb öntési és hegesztési tulajdonságúak a magnézium-cirkónium-ritka földfém (thorium, yttrium) ötvözetek, de érzékenyek az oxidációra, ezért védőgáz alatt öntendők.

A legnagyobb szilárdságú önthető magnézium ötvözetek a magnézium-cink-yttrium-neodimium-cirkónium ötvözesű, kiválóan keményíthető ötvözetek, amelyeket űrhajózási célokra használnak. Ezek az ötvözetek 200°C-ig használhatók, jó korrózióállóságuk van, amit jelentős mértékben befolyásol a szennyezők (Ni, Fe, Mn, Cu) mennyisége is. Elsősorban űrhajók, repülőgépek és helikopterek fogaskerék hajtóműház öntvények készülnek magnézium ötvözetekből, de készítenek kompresszorház öntvényeket, űrhajó szerkezeti elemeket, gépkocsi dísz tárcsákat és keréktárcsákat, hűtőrácsokat, pedálokat, lámpaborítókat is magnézium ötvözetekből. Sok bonyolult alakú számítógép-, és műszeralkatrész is magnézium öntvény.

Titánötvözet öntvények

Az 1960-as évektől kezdődően az öntött titánötvözetek felhasználása folyamatosan növekszik. Napjainkban ezek az alapvető szerkezeti anyagai a harci és a polgári repülés gázturbina hajtómű-házaknak, valamint a repülőgépek illetve a rakéták kritikus igénybevételű szerkezeti elemeinek is. Elsősorban magas fajlagos szilárdságuk és nem gazdaságosságuk miatt használják a titánötvözet öntvényeket ezekre a célokra. Mind az űrhajók, mind a repülőgépek, mind a rakéták un. teljesítmény-orientált mérnöki szerkezetek, amelyeknél a kisebb súly előnye ellensúlyozni tudja a nagyobb költségeket.

Jó korrózióállóságuk miatt a titánötvözet öntvények széles köre használatos a vegyiparban: szivattyúházak, járókerekek, kompresszorházak, szelepek, csapok készülnek belőlük. Ugyancsak jó korrózióállóságuk következtében mesterséges emberi izületeket is készítenek magnézium ötvözetekből (csípő-, ill. térdizületek). A nyers homokformázáshoz hasonló, döngöléses formakészítés használatos a titánötvözetek öntésénél, de homok helyett grafitgranulátumot használnak. Vizet és szerves kötőanyagokat kevernek a grafithez, majd a formakészítés után a formát szárítják és kiégetik (870°C-on, vákuumban). Ugyancsak használatos a precíziós öntés is a titánötvözet öntvények gyártására.

A titánötvözeteket vákuumívfényes, vagy elektronsugaras eljárással működő olvasztó-öntőművek segítségével öntik. A 7.35 ábra egy vákuumívfényes olvasztó-öntőmű szerkezeti vázlatát mutatja.

Mind a vízhűtéses olvasztótégely (50 - 1000 kg befogadóképességű), mind az öntőforma egy vákuumtérben van elhelyezve. Az olvasztás egy titánötvözet anyagú fogyóelektróda tégelybe olvasztásával történik, majd a tégelyben lévő olvadt titánötvözetet a tégely billentésével öntik a formába. A formába öntött fém hűtését argongáz befúvással gyorsítják. A berendezés magas szinten gépesített, az olvasztási folyamat, a tégely és az elektróda mozgatása számítógéppel vezérelt. A formát tartó asztal forgatható is, így a berendezéssel centrifugálöntést is lehet végezni.

A titánötvözet öntvények 90 % át a Ti-6% Al-4% V ötvözetből készítik. A további ötvözeteket a szilárdság, a melegszilárdság és az alacsony környezeti hőmérséklet melletti szívósság növelése céljából alakították ki.

A titánötvözet öntvények folyamatosan váltják ki a korábban használatos kovácsolt titánötvözet alkatrészeket. Az 1970-es évek közepétől kezdve általánossá

vált az ötvények meleg izosztikus sajtolása (HIP), amely a porozitás megszüntetésével az ötvények mechanikai tulajdonságait a kovácsolt minőség szintjére emelte.

A titánötvözet ötvényeket argon védőgázban, kiválásos keményítéssel hőkezelik. A Ti-6%, Al-4%V ötvözet 1040°C-on 30 perces oldó hevítést, gyors hűtést (fúvott hélium vagy argon gáz) és 540° C-on 8 órás mesterséges öregítést kapva $R_{p0,2}=930$ MPa, $R_m=1070$ MPa, $Z=12$ %, $A_5=8$ % mechanikai tulajdonságokat nyer.

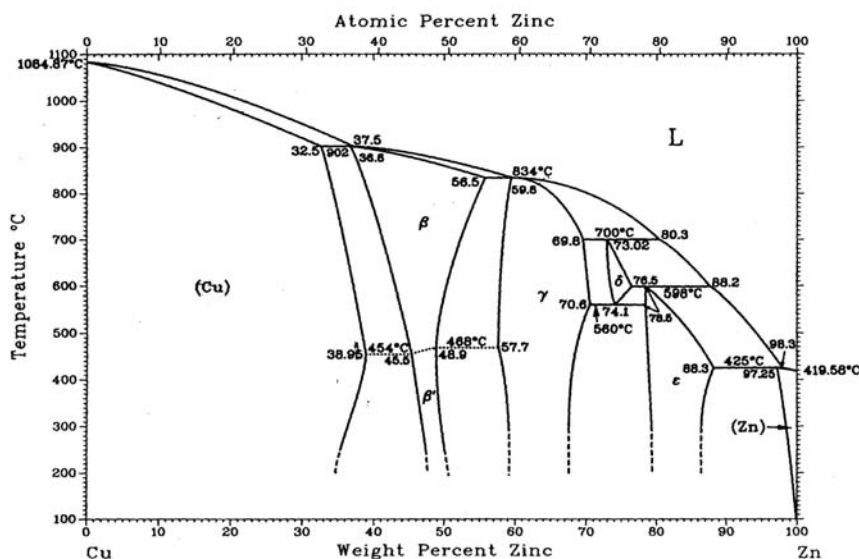
7.7.4 Színesfém ötvények

Önthető sárgarezek

Sárgarezeknek nevezik a réz-horgany (Cu-Zn) ötvözeteket. A legjobb öntészeti tulajdonságokkal a 33-40% Zn tartalmú sárgarezek rendelkeznek. Mind homokformába, mind kokillába önthetők. Nyomásos öntéssel is készítenek bonyolult alakú, vékonyfalú sárgaréz ötvényeket. A sárgarezeket különböző céllal további fémekkel ötvözik:

- szilárdságnövelés céljából: Mn, Te, Al, Si, Sn,
- szemcsefinomítás céljából: Fe,
- forgácsolhatóság javítására: Pb,
- korrózió és tengervízállóság növelésére: Sn,
- önthetőség javítására: Si.

Az önthető sárgarezeket nagynyomású csőszerelvények, szelepek, csapok, csigakerekek, fogaskerekek, hajócsavarok, hajószerelvények,



Az ötvözet jele	Állapot	R _{p0,2} MPa	R _m MPa	A ₅ %	Felhasználás
Cu öntött		60	170	40	-
OF-Cu		70	235	45	-
CuZn5 CuZn10	I a	80 90	220-240 240 360	52 38 5	Tombak néven is ismert ötvözetek, igen jól alakíthatók, mélyhúzhatók, villamos vezetők.
CuZn15 CuZn20	I a	100 110	250 270 400	38 40 8	Huzal, fémszövet, lemez, cső, rúd formájában. Mikrohullámú berendezések, televíziós láncok anyagai
CuZn30 CuZn33 CuZn37	I a I a	125 130 140	280 430 290-310 300-360 620	45 12 45 47 0	Jól alakítható, nagyobb szilárdságú anyagok, pl. kondenzátor lemez, cső, kötőelemek, csavarok.
CuZn40			400		Kopásálló un. Müntz-ötvözet. Rúdautomatán megmunkálható.
CuZn39Ni5Mn		140	380	50	Nagyszilárdságú, melegen jól alakítható.
CuZn28Sn1 CuZn36Pb2-3		160 140	350 340	50 36	Tengervízálló gépkatrészek, kondenzátor csövek.
CuZn40Al1Mn1		200	490	30	Jól forgácsolható, melegen sajtolható. Nagy szilárdságú szerkezeti elemek.
CuZn37Si1					Forrasztóanyag

Ónbronzz ötvények

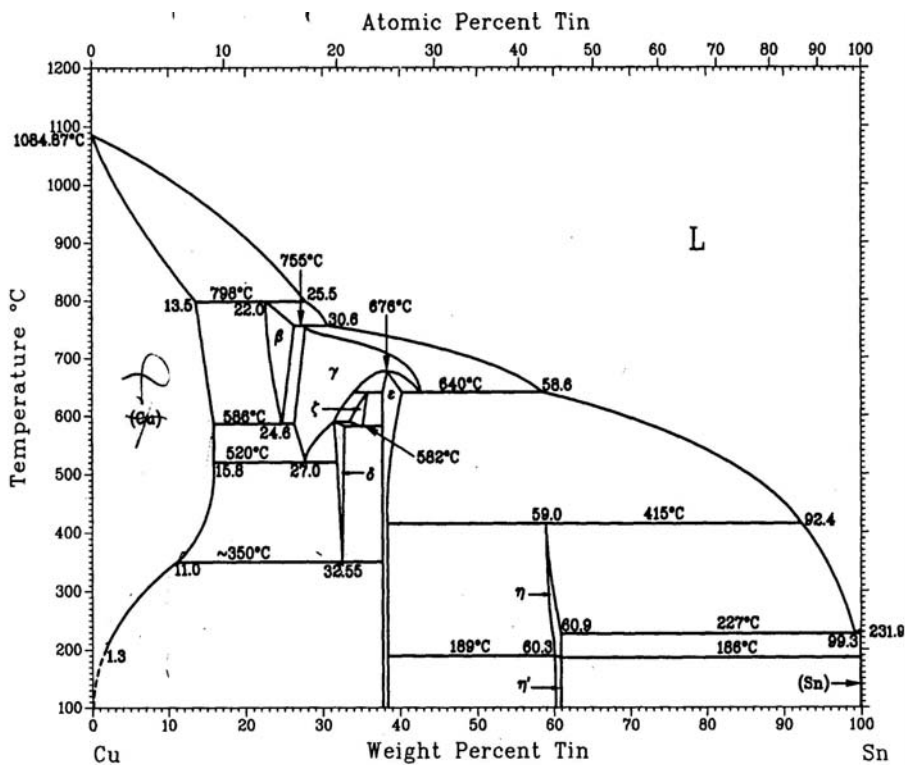
Bronzoknak eredetileg csak a réz-ón (Cu-Sn) ötvözeteket nevezték. Az idők során valamennyi rézötvözetet bronznak nevezték el a réz-horgany (Cu-Zn) ötvöztetésű sárgarezek kivételével - ezért ma minden bronznál feltüntetjük a fő ötvözőelemet (ónbronzz, alumíniumbronz, szilíciumbronz, stb.). A 7.36 ábrán a réz-ón ötvözetek kétalkotós állapotábrái láthatók, a 7.36/a ábra lassú hűtés esetén, a 7.36/b ábra gyors hűtés esetén érvényes. Az ónbronzzok szövetszerkezetében az óntartalom függvényében különböző fázisok, illetve vegyületek lehetnek jelen. Ezek a következők:

α -szilárd oldat: lapközepes köbös térrácsú, kb. 16% Sn tartalomig képes oldani az ónt képlékeny, jól alakítható fázis.

β -elektronvegyület: Cu_5Sn szerkezetű, 600°C felett jön létre, kemény, rideg fázis.

δ -elektronvegyület: Cu_3Sn_8 szerkezetű, kemény, rideg fázis.

ϵ -elektronvegyület: Cu_3Sn szerkezetű, kemény, rideg fázis.



Ötvözet	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, armaturák, gép- és csapágy bronzok, csigakerekek. Vörösötvözet.
CuAl5 Ö S Ö CuAl10 Ö S Ö CuAl10Fe3Mn Ö CuAl10Fe4Ni4 Ö		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 CuCo1,5Ag1Be0, 4		350 400 705	17 8	Nagyszilárdságú vezetékanyagok
CuBe2NiTi	900- 1000	1110- 1350	2,5	Igen nagy szilárdságú szalag, lemez, öntvény. Nem szikrázik.

Az ónbronzzok rendszerint 10-14% Zn tartalmúak. Jó kopásállóságukat az α -fázisba ágyazott, finoman eloszlott, kemény, δ -fázis biztosítja. Sajnos az ónbronzzok dermedési hőköze nagy (7.36 ábra), ezért önthetőségük nem kedvező, bár zsugorodásuk kicsi (<1%). Ugyancsak negatív tulajdonságuk, hogy az ónbronzz öntvények hajlamosak a porozításra. Foszförötvözés hatására (1% P), öntészeti tulajdonságaik jelentősen javulnak, ami egy alacsony olvadáspontú $\alpha+\beta+\text{Cu}_3\text{P}$ hármas eutektikum következménye. Ezt a foszforral is ötvözött bronzot hívják foszforbronznak.

Az ónbronzzok kitűnő siklási, kopásállósági tulajdonságai miatt csúszócspágy perselyek, csúszófelületek és csigakerekek készülnek belőlük. A magyar szabvány szerinti ónbronzz ötvözetek a következők:

- ö CuSn 10 jó kopásállóságúak, nagy terhelésű
- ö CuSn 12 csapágyakhoz, csigakerekekhez használatosak

Vörösötvözetek

Ha az ónbronzokat horgannyal (2-5%Zn) ötvözik, akkor lecsökken a bronzok dermedési hőköze, javul az önthetőségük és csökken a porozitási hajlamuk. Ezeket a bronzokat vörösötvözeteknek nevezik. A vörösötvözetek alkalmasak bonyolult öntvények készítésére is.

Gép-, ill. készülék alkatrészek, vízvezeték-szerelvények (15 bar nyomásig), gőzvezeték szerelvények 250°C hőmérsékletig (szivattyúházak, szelepek, csapok) készülnek vörösötvözetekből. A magyar szabvány szerinti vörösötvözetek a következők:

- ö CuSn₁₀Zn₂ vörösötvözetek, kis dermedési hőközben
- ö CuSn₅Zn₅Pb₅ dermednek, jól önthetők, szivattyúk, szelepek,
- ö CuSn₄Zn₂ csapok, szerelvények készülnek belőlük

A jelzésekben szereplő számok az ötvözők mennyiségét mutatják százalékban.

Alumíniumbronzok

A 7.37 ábrán a réz-alumínium (Cu-Al) ötvözetek kétalkotós állapotábrája látható. Az α -fázis lapközepes köbös szilárd oldat, amely jól önthető. Kis hőközben dermed, nem hajlamos dúsulásra. Dermedés és hűlés során zsugorodása jelentős, ezért fontos, hogy a beömlőrendszer jól legyen méretezve, azaz megfelelő tápfejeket kell kialakítani az olvadt fém utánpótlására.

Az alumínium tartalom növekedése 8% felett rohamosan emeli az ötvözet szilárdságát, de a szívósság és az alakváltozóképeség ezzel egyidejűleg csökken. A tulajdonságok változását a rideg γ fázis megjelenése okozza, amely egyúttal kitűnő siklási és kopásállósági tulajdonságokat is kialakít.

Az alumíniumbronzok szilárdságát és hőállóságát vas, nikkel illetve mangán ötvözéssel szokták növelni.

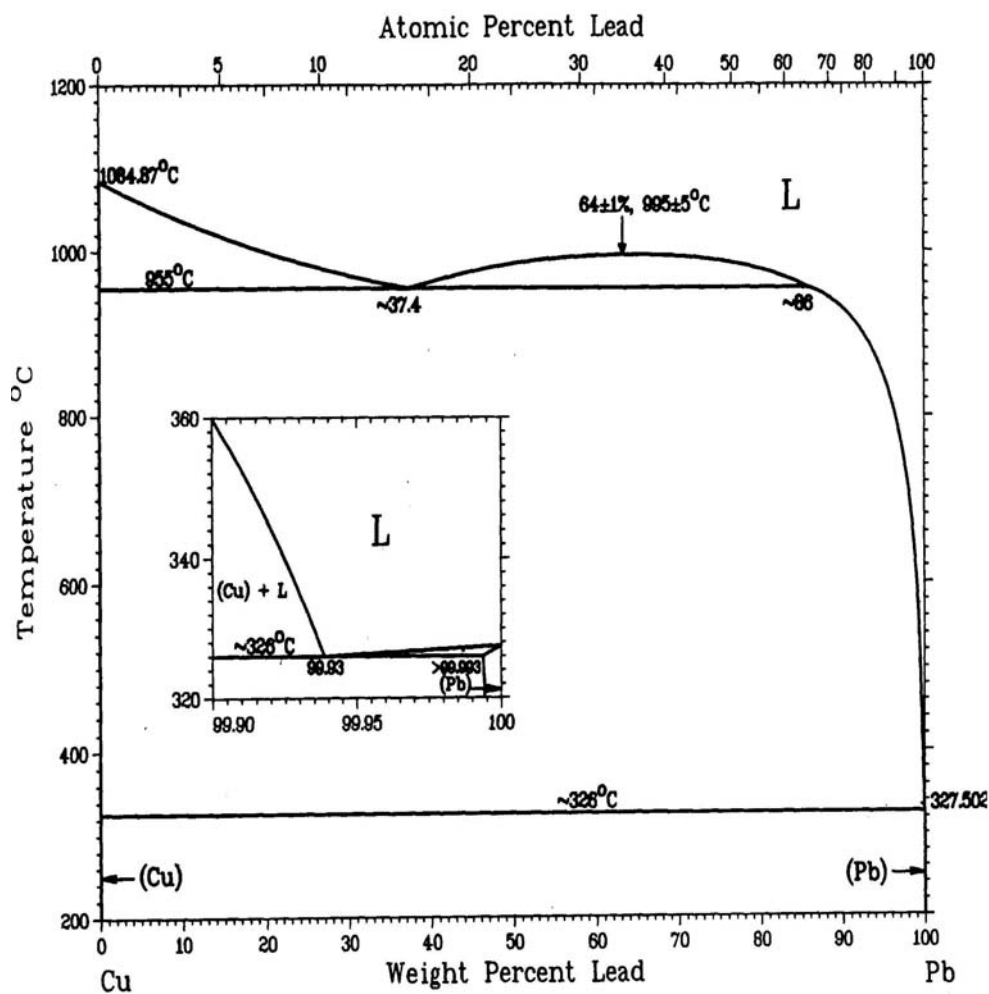
A 10% Al tartalmú alumíniumbronzokat széles körben használják különféle perselyek, fogaskerekek, dörzskerekek, tömszelencék, dugattyúgyűrűk és csavarok céljára. Ugyancsak használatosak víz-, és gőzvezetékek szerelvényeihez, szivattyúk és gőzturbinák öntvényeihez illetve tengerhajó alkatrészek gyártására.

Szilíciumbronzok

A szilíciumbronzokat alacsonyabb árak miatt főleg az ónbronzoók helyettesítésére használják. Kevésbé jól önthetők, de jól hegeszthetők és kitűnőek a siklási, kopásállósági és korrózióállósági tulajdonságaik. Legtöbbször 3% Si tartalommal készülnek.

Élelmiszeripari szerelvényeket, szennyvíztisztítók, füstszűrők öntött alkatrészeit készítik szilíciumbronzból.

Ólombronz



Öntészeti horganyötvözetek

Az ötvözetlen, öntött horgany kis szilárdságú, rideg fém (7.7 táblázat), ezért öntvénygyártásra főleg ötvözeteit használják. A leggyakoribb ötvöző az alumínium. A 7.38 ábra a horgany-alumínium ötvözetek kétalkotós állapotábráját mutatja. Az öntészeti horgany ötvözetek a 4-6% Al-ot tartalmazó eutektikus összetételre épülnek, további réz és magnézium ötvözéssel. Ezek növelik a szilárdságot, de csökkentik az amúgy sem nagy alakváltozó képességet.

A 7.8 táblázat néhány horganyötvözet mechanikai tulajdonságait mutatja. Főleg nyomásos öntéssel készített, elektromos és műszeripari szerelvényeket, gépkocsi alkatrészeket gyártanak horgany-ötvözetekből.

Ábrák jegyzéke

7.1. ábra: Egy homokformázással készíthető forma vázlata.

7.2 ábra: A homokformázás műveletei.

7.3 ábra: A szabad folyadéksugár alakja a beömlőmedence elhagyása után.

7.4/a ábra: Nomogram homokformák beömlőrendszer-keresztmetszeteinek kiszámítására (Alumínium öntvények).

7.4/b ábra: Nomogram homokformák beömlőrendszer-keresztmetszeteinek kiszámítására (Vas, kobalt, nikkel, ill. réz öntvények).

7.5/a ábra: Egy korszerűtlen beömlőrendszer alakja.

7.5/b ábra: Egy korszerű beömlőrendszer alakja.

7.6 ábra: Egyszerű magszekrény homokmag készítéséhez.

7.7 ábra: Az öntvénygyártás folyamata homokformázásnál.

7.8 ábra: Kupolókemence vázlata.

7.9 ábra: AOD (Argon-Oxigén-Decarburizing) konverter vázlata.

7.10 ábra: A precíziós öntés műveletei.

7.11 ábra: A keramikus formázás (Shaw eljárás) műveletei.

7.12 ábra: Egy alumínium dugattyú gravitációs kokilla öntéséhez
használatos szerszám (többrészes kokilla).

7.13 ábra: A kiszorításos kokillaöntés műveletei.

7.14 ábra: A kisnyomású melegkamrás öntés elrendezése.

7.15 ábra: A nagynyomású melegkamrás öntés elrendezése.

7.16 ábra: A nagynyomású hidegkamrás öntés elrendezése.

7.17 ábra: Gazdaságossági összehasonlítás a homokformázás és a nyomásos öntés között.

7.18 ábra: Egy a formakitöltő képességet jellemző, ún. spirálformába öntött próbatest.

7.19 ábra: Metastabil, vas-vaskarbid ($\text{Fe-Fe}_3\text{C}$) állapotábra.

7.20 ábra: Stabil, vas-grafit (Fe-C) állapotábra.

7.21 ábra: Maurer-diagram. Az öntöttvas karbon és szilícium-tartalmának hatása a szövetszerkezetre (30 mm átmérőjű öntvény próbatest esetén vizsgálva).

7.22 ábra: Greiner-Klingenstein diagram. Az öntöttvas karbon és szilíciumtartalmának illetve az öntvény

falvastagságának hatása az öntöttvas szövetszerkezetére.

7.23 ábra: Az acél és az öntöttvas karbontartalmának hatása a szakítószilárdságra.

7.24 ábra: Lemezgrafitos, szürke öntöttvas grafitelosztási formái, az ASTM A 247 szabvány szerint.

7.25 ábra: A lemezgrafitos, szürke öntöttvas szakítószilárdsága az öntvény mértékadó falvastagsága függvényében.

7.26 ábra: A lemezgrafitos, szürke öntöttvas hőmérsékletének és karbontartalmának hatása a modifikálással elérhető szilárdságra.

7.27 ábra: Gömbgrafitos öntöttvasak különböző grafitméretű grafiteloszlásai (Polírozott, maratlan felület, 100x-os nagyítás).

7.28 ábra: Gillemot-diagram. A magnézium és a szilíciumtartalom hatása a gömbgrafitos öntöttvas szövetszerkezetére.

7.29 ábra: Vermikuláris grafitos öntöttvas grafiteloszlása.

7.30 ábra: A temperöntvények grafiteloszlása.

7.31 ábra: Fekete temperöntvények hőkezelési diagramja.

7.32 ábra: Perlites temperöntvények hőkezelési diagramja.

7.33 ábra: A különböző temperöntvények szakítószilárdsága és nyúlása.

7.34 ábra: Az alumínium-szilícium ötvözetek kétalkotós állapotábrája.

7.35 ábra: Titánötvözet-öntvények gyártására használatos vákuum-ívfényes olvasztó-öntőmű elrendezési vázlata.

7.36 ábra: A réz-ón ötvözetek kétalkotós állapotábrái.

a.) lassú hűtés esetén

b.) gyors hűtés esetén

7.37 ábra: A réz-alumínium ötvözetek kétalkotós állapotábrája.

60

Temperöntvény	0,78-1,0 %
Alumínium ötvözetek	0-1,3 %
Magnézium ötvözetek	1,3 %
Sárgarezek	1,3-1,6 %
Foszförbronzok	1,0-1,6 %
Alumínium bronzok	2,1 %
Nagy mangántartalmú acélok (10-12 % Mn)	2,6 %

oo

7.2 táblázat: Al 99.5 minőségű alumíniumöntvény mechanikai tulajdonságai.

oo

Öntési eljárás	Szakítószilárdság nyúlás		Fajlagos
	R _m , MPa	A ₅ , %	
Homokformába öntés	60-120	40	
Gravitációs kokillaöntés	135	4	
Nyomásos kokillaöntés			
fémnyomás: 60 MPa	167	9	
100 MPa	180	14	

160 MPa 207 15

oo

7.3 táblázat: Formázási eljárások összehasonlítása

oo

Formázási eljárás	Önthető fém	Öntv. méret és súlyhatár (kg)	Öntv. méret (mm)	Öntv. felületi minősége (Ra(mμ))	Min. önthető falvas- tagság	Min. gazdaságosan gyártható darabszám
-------------------	-------------	-------------------------------	------------------	----------------------------------	-----------------------------	---------------------------------------

oo

Nyers homok- formázás +/-1mm+	Legtöbb önthető fém	0.5-500	+/-1mm (<100mm)	100	3-6	Tetszőlegesen kis darabszám formázás fém
		0.01 mm/mm (>100mm)				

oo

Felületén száritott homok- formázás	Legtöbb önthető fém	0.5-1000 (1t)	"	"	"	"
-------------------------------------	---------------------	---------------	---	---	---	---

oo

Száritott homok- formázás	Legtöbb önthető fém	1000- 10000 (10t)	"	"	"	"
---------------------------	---------------------	-------------------	---	---	---	---

oo

Króm magnezit keverékes	Öntöttvas	1000- 50000 (50t)	"	"	"	"
-------------------------	-----------	-------------------	---	---	---	---

formázás

oo

Samott Öntöttvas 1000- " " " "

keverékes 100000

formázás (100t)

oo

Vízüveg Legtöbb 1-5000 " 50-80 " Könnyűfém

széndioxid önthető (5t) öntvények:

kötőanyagú fém min. 100db homok-

formázás

Vas-

öntvények: min.1000db

oo

7.3 táblázat (folyt.): Formázási eljárások összehasonlítása

oo

Formázási eljárás	Önthető fém	Öntv.	Öntv.	Min.	Min.
	méret és súlyhatár	méret	felületi minősége	önthető falvas-	gazdaságosan gyártható
			tagság	darabszám	
	(kg)	(mm)	R _a (mμ)	(mm)	

oo

Múgyanta-

kötésű Legtöbb 1-1000 +/-0.1 15-25 " "

homok- önthető (1t) -0.7

formázás fém (<100mm)

(Hot box, +/-0.7+

cold box) 0.01mm/mm

(>100mm)

A1 a fűrészelésnél elszakadt felület nagysága R_m szakítószilárdság a vastag rúd anyagából pontosan meghatározható.

A feszültségek a falvastagság egyenlőtlenlégek megszüntetésével csökkenthetők..
A nagy kéntartalmú, nagy relatív keménységű , dendrites primer szövettel kristályosodó öv. belső feszültségei nagyobbak, mint a kis relatív keménységű, globulitosan kristályosodó lemezgrafitos öv-jé.

Gömbgrafitos öv-nél a finom perlites szövetűek nagy belső feszültséggel kristályosodnak és repedésérzékenyek. A ferrites szövetűek nagy nyúlásúak, segítik a feszültségek lebomlását.

A lemezgrafitos ferrites szövetek a rossz Si ötvözés miatt kiváló sec. grafit okozta belső feszültségek miatt, különösen nagy falvastagságoknál igen repedésérzékenyek. (hidegrepedések)

Melegrepedések kristályosodási duzzadás vagy gátolt zsugorodás okozha.

Öntési fesz. Megszüntetési módjai

Helyes öntvényyszerkesztés,

Beömlőrendszerek helyes kiképzése

Hőkezelés-a hőmérsékletkiegyenlítőds után lehűlésnél ne legyen nagy hőmérsékletkülönbség.

Hosszú idejű tárolás-relaxáció (gépágyak)

Feszültségmentesítő hőkezelés 500-650 fok

Diffúziós izzítás –újrakristályosítás

Rezgetés, túlterhelés. ??