

JORSTAD, J. – APELIAN, D.

Nyomásos eljárások tömör alumíniumöntvények gyártásához. II. rész

A kisnyomású öntés (low pressure permanent mold casting) talán a tömör szerkezeti alumíniumöntvények gyártásának a leghosszabb ideje használatos, nyomással támogatott módszere, és az újabb változatai növelték a lehetőségeit. A nyomásos öntés (nagynyomású öntés = high pressure die casting – HPDC) mégis sokáig uralta az alumíniumöntvények gyártását, és az olyan változatai, mint a vákuumos (nagyvákuumos = highvacuum), az öntve sajtoló (squeeze) és a félszilárd-sajtoló (semi-solid) eljárás most teljesen alkalmassá teszi a nyomásos öntvényeket még a legigényesebb, tömör alkatrészek gyártására is.

Ez a közlemény áttekintést nyújt a fontosabb, nyomással támogatott öntészeti eljárásokról, tárgyalja a mögöttük álló elveket és alapokat. Az egyes eljárásokkal sikeresen gyártott termékek reprezentatív példáit is tartalmazza.

Öntve sajtolás

Az öntve sajtolásnak két különböző változata van; a közvetlen és a közvetett. Mindkét változat hasznosítja az eljárás lényeges tulajdonságait; folyékony fémet vezetnek a szerszámüregbe minimális turbulenciával, és az nagy nyomás alatt szilárdul a nagyon robusztus (rendszerint vasötvözetből készült), zárt szerszámban. A nagy nyomás és az olvadt ötvözet szoros érintkezése a fémből készült szerszámmal nagyon gyors szilárdulást eredményez, a másodlagos dendritágak kis osztásával (small secondary dendrite arm spacing, SDAS), minimális porozitással jár, és kitűnő mechanikai tulajdonságokat eredményez. A közvetlen öntve sajtolást néha folyékonyfém-kovácsolásnak nevezik, mivel olyan berendezésen végzik, amely közelebb áll a kovácsoláshoz, mint a nyomásos öntéshez. Ez olyan eljárás, amelyben a folyékony fémet egy hidraulikus sajtóba szerelt alsó szerszámfélbe öntik, azután rázárják a felső felet, és nagy nyomást (rendszerint 1000 vagy több bart) alkalmaznak az egész üregre, míg a darab meg-

szilárdul. A közvetlen öntve sajtolás tömeggyártásra nem alkalmas öntési eljárás, ezért itt tovább nem részletezik.

Közvetett öntve sajtolás

A közvetett öntve sajtolás azonban közelebbi rokona a nyomásos öntésnek; nyomásosöntő-szerű berendezéssel és felszerszámozással végzik. A közvetett öntve sajtolás egyik változatának egy példája a japán Ube által kínált függőleges eljárás (7. ábra).

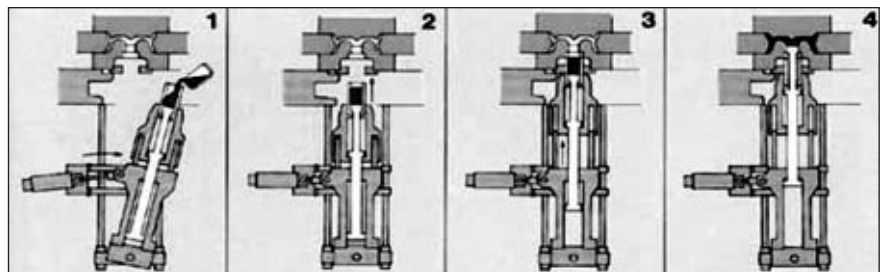
A közvetett öntve sajtolás alatt a megfelelően előkészített (tisztá, szemcse-

finomított és módosított) olvadékot az öntve sajtoló gép lövőperselyébe öntik. Innen viszonylag nagy (néhány cm²-es) beömlőkön át, viszonylag kis (rendszerint 0,5 m/sec alatti) áramlási sebességgel a szerszámba injektálják. Az olvadék aztán a szerszámüregben szilárdul, jellemzően 500-3000 bar alatt, de gyakrabban a 800-1100 bar tartományban.

Az öntve sajtolás előnye

A közvetett öntve sajtolás különösen hasznos a vastagabb falú alkatrészek esetében, alkalmasnak bizonyult gépkocsi olyan felfüggesztési alkatrészeinek a gyártására, mint a kormányműcsuklók (8a. ábra). Az eljárás korlátozottabb azonban olyan vékony alkatrészek esetében, amilyenek az alvázkeret-csomópontok vagy tartók (8b. ábra), mivel a kis áramlási sebességek nem segítik elő a vékony keresztmetszetek kitöltését.

Az öntve sajtolás legnépszerűbb ötvözet az A356, de majd minden kokillaöntésben használatos ötvözet jelölt lehet az öntve sajtolásra is. Mivel az olvadék szoros nyomásos érintkezésben marad az acél-



7. ábra. Az Ube közvetett öntve sajtoló eljárásának vázlata

* A cikk eredeti, angol nyelvű változata (Copyright 2008 American Foundry Society) megjelent az International Journal of Metalcasting 2008. évi téli számában. A magyar fordítást a szerzők engedélyével közöljük.

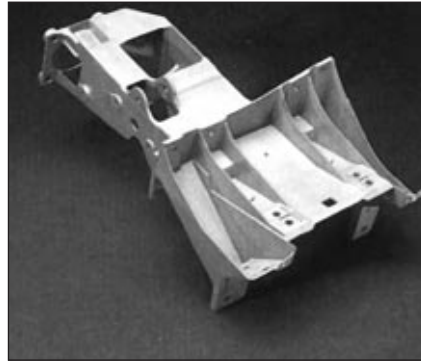


■ 8a. ábra. Öntve sajtolt csukló

szerszámmal a szilárdulás alatt, az SDAS az öntve sajtolt öntvények felületénél hajlamos rendkívül kicsi (10-15 μm -es) lenni, az öntvények felületi textúrája nagyon finom, mindez javítja a fáradási és ütési tulajdonságokat, így az öntve sajtolt öntvények egészen jó teljesítményt nyújtanak a jellemző gépkocsi-alkatrészek tartóssági vizsgálataiban. A szoros érintkezés az olvadék és a szerszám között a szilárdulás alatt gyors hűlést is eredményez mélyen az öntött szerkezetben, jellemzően 25-35 μm -es SDAS-értékeket adva. Az öntve sajtolt öntvények szakítási tulajdonságai így egészen jók; az A356 T-6 hőkezelésű csuklóöntvényekből kivágott próbatestek jellemző tulajdonságai: 300-320 MPa szakítószilárdság és 230-250 MPa folyáshatár, 10-14% nyúlással. Az A356 ötvözet nagyobb Mg-tartalmú változata (357) nagyobb szilárdságot nyújt (~360 MPa szakítószilárdság és ~295 MPa folyáshatár), de a képlékenység rovására (~5-6%). Ezzel szemben a kisebb Mg-tartalmú változat (F356) kisebb szilárdságot szolgáltat (~200 MPa szakítószilárdság és ~150 MPa folyáshatár), kiváló képlékenységgel (>15% nyúlás).



■ 9a. ábra. A megfelelően felhevített tixoöntés jelképe



■ 8b. ábra. Vékony falú kormányoszloptartó

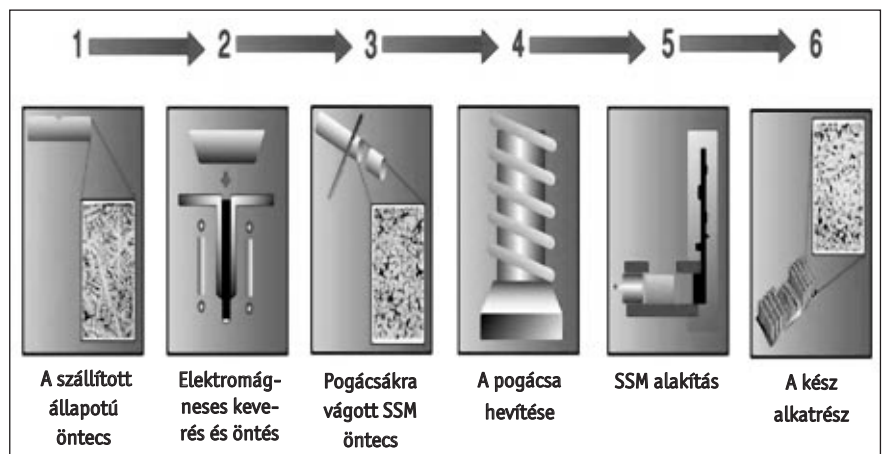
Az öntve sajtolás korlátai

Az öntve sajtolásnak van néhány hányossága: 1) a szerszám viszonylag rövid élettartama, 2) a beömlők költséges eltávolítása, 3) korlátozott képesség vékony öntvények előállítására és 4) az üregek korlátozott száma. Az öntve sajtolás alatt az olvadék hőmérséklete tipikusan 700-730 $^{\circ}\text{C}$, és ez kevéssel nagyobb a nyomásos öntésre jellemzőnél (650-660 $^{\circ}\text{C}$). A hőmérséklet-különbség a szerszám és az olvadék között nagy, és ez kedvez a szerszámfelületek termikus roncsolódásának. A nagy beömlőket le kell fűrészelni, nem lehet olyan könnyen lepattintani vagy lenyesni, mint a hagyományos HPDC esetén. Mint korábban említett, az eljárás alkalmassága vékony falú vagy bonyolult alkatrészek gyártására korlátozott, mivel a kis áramlási sebességek nem segítik elő a vékony vagy bonyolult keresztmetszetek kitöltését. A nagy nyomás korlátozza az osztósíkra vetített területet, amelyhez az adott gép záróereje elégséges, korlátozza így az üregek számát.

A félszilárd fém feldolgozása (Semi-solid Metal Processing - SSM)

A félszilárd fém feldolgozása (Semi-solid Metal (SSM) Processing), amely a félszilárd fém öntéseként vagy félszilárd alakításként is ismert, egy különleges kokillaöntő eljárás, amelyben részlegesen megzilárdult fémiszapot (tipikusan 50% szilárd és 50% folyékony, a teljesen folyékony fém helyett) injektálnak a szerszámüregbe öntött alkatrészek előállításához. Az SSM feldolgozás kulcsa olyan félszilárd fémiszap előállítása, amely gömbös elsődleges fázist tartalmaz, és tixotrop viselkedésű. Sajátosan az iszap viszkozitása folyamatosan csökken a nyíró deformáció alatt, ezenkívül a viszkozitási érték visszatéríthető, amikor a nyíró hatás megszűnik. Az SSM feldolgozás nem csak bonyolult darabokat (például vékony falú részeket) tud előállítani, mint a nyomásos öntés, hanem olyan tömör öntvényeket is, amelyek jelenleg csak öntve sajtolással vagy kisnyomású kokillaöntéssel gyárthatók.

Talán hasznos megkülönböztetni egymástól az itt „félszilárd kezelésként” említett, szabályozott eljárást és az olyan folyékony fém öntését, amelyben előszilárdított kristályok fordulnak elő véletlenszerűen, a szerszámüreg töltése előtt. A félszilárd öntés alatt a szilárd rész arányát gondosan szabályozzák, rendszerint a 0,4-0,6 tartományban. Az áramlás egészen viszkózus, és a keletkező alfa-mikroszerkezet nagyrészt gömbös. A szokásos, hagyományos nyomásos öntés alatt például a folyékony fém gyakran túlhűl, közvetlen érintkezésben a lövőperselyben, és aztán szilárd kristályokat visznek be a szerszámüregbe a maradék folyékony fázissal együtt, azonban ez egy



■ 9b. ábra. A tixoöntés technológiája

szabályozatlan jelenség, amelynek kevés hasznos hatása van a viszkózus folyásra vagy az előnyös mikroszerkezetre.

Az SSM feldolgozás több, megkülönböztethető előnyt kínál a hagyományos, közel készre alakító technológiákkal szemben. Ezek az előnyök kiterjednek a kis ciklusidőre, a csökkentett porozitásra és dermedési zsugorodásra, a jobb mechanikai tulajdonságokra stb.

Két elsődleges félszilárd feldolgozási technológia van: (a) a tixoöntés és (b) a rheoöntés. A tixoöntés nem-dendriteszilván prekursor anyagból indul, amelyet külön állít elő a folyamatos öntési módszereket használó gyártó. Ennek az anyagnak a pépes („kétfázisú”-ként is ismert) zónába történő visszahívása során tixotróp iszap képződik, amelyet az öntési műveletben használnak. A rheoöntés (amelyet „iszapigény szerint” – „slurry-on-demand” vagy „SoD” néven is ismernek), folyékony állapotból indul, és közvetlenül az olvadékból képez tixotróp iszapot különleges hőkezeléssel, a rendszer kezelésével; az iszapot aztán a szerszámüregbe tölti.

E két technológia közül a rheoöntést részesítik előnyben, mivel itt nem adódik többlet az öntecs költségéhez, és a hulladék újrahasznosításának a kérdései könnyebbek. A tixoöntési eljárás, amelyben az előreöntött öntecs a kiinduló anyag, volt az első kereskedelmi szinten életképes módszer a félszilárd feldolgozáshoz. Újabban, és jó gazdasági okokkal, a tixoöntést kiszorítja a „rheoöntés”, amely olvadt ötvözetrel kezdődik, és közvetlenül állít elő megfelelő szerkezetű iszapot, amely aztán az öntés kiinduló anyaga.

A félszilárd fém feldolgozása, bármilyen

is legyen a terminológia vagy a technológia, képes ugyanolyan méretek, részletek és vékonyfalú részek előállítására, mint a hagyományos nyomásos öntés. A hagyományos nyomásos öntvényekkel szemben azonban a félszilárd eljárás képes olyan termékminőség elérésére, amely a korábban leírt vékony falú nagyvákuumos eljárásokéhoz vagy a vastagabb falú öntvesztoláshoz és/vagy a legjobb minőségű gravitációs és kisnyomású kokillaöntéséhez hasonlítható. A félszilárd feldolgozás bármely és összes változatához tartozó, megvalósítandó megtakarítások állnak fenn szerkezeti öntvények előállítására szintén alkalmas más eljárásokkal szemben: 1) Közel kész alakú, megmunkálást nem vagy alig igénylő alkatrészek; 2) minimális tömegű, vékonyfalú és nagy részletességű/bonyolultságú, minimális mennyiségű kiinduló anyagot igénylő alkatrészek; 3) gyors ciklusok és 4) a szerszámok hosszú élettartama.

Tixoöntés: Az öntecsből induló technológia

A félszilárd eljárásnak sok éven át az öntecs volt a jelképe (9a. ábra), amely a feldolgozáshoz megfelelően előmelegített állapotban késsel könnyen vágható (vajhoz vagy fagylalthoz hasonló anyagú). A tixoöntés során (9b. ábra), az anyagot mágneses-hidrodinamikus (MHD) módszerrel keverték, rendszerint induktortekercsrel visszahűtötték, majd a nyomásosöntő géphez hasonló berendezés lövőperselyébe helyezték, és a szerszámüregbe injektálták.

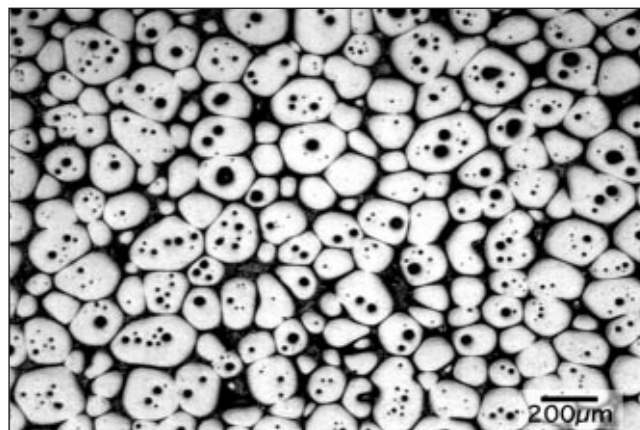
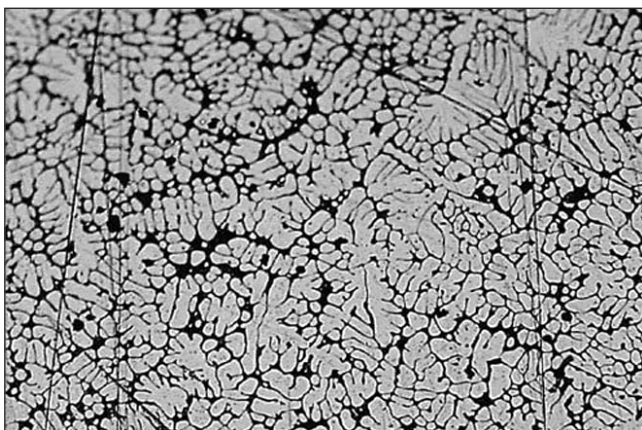
Az így előállított terméknek jellegzetes „gömbös” mikroszerkezete van (10. ábra), amely a félszilárd feldolgozás egy másik jelképe. A gömböket a következők ered-

ményezik: 1) a dendritek az öntecs MHD-keverése alatt töredeznék, 2) természetes, kis energiájú alakot érnek el, amikor a kis dendrites vagy rozettás szemcséket az öntecs előmelegítési hőmérsékletén tartják, és 3) az alfa-szerkezet tovább töredezik a szerszámba folyás alatt. A helyes feldolgozási hőmérséklet az, amelynél a legtöbb alfa-alumínium szilárd és gömbös marad, az Al-Si eutektikum pedig megolvad. A népszerű A356 vagy 357 ötvözetekben ez a helyzet közelítően 575 °C-on lép fel, és a szilárd fázis körülbelül 50 térfogatszázalékot képvisel. A gömbös alfa-alumíniumot tartalmazó, olvadt Al-Si eutektikum tixotróp (innen a félszilárd feldolgozással járó neve); azaz alkalmazott feszültség nélkül a felhevített öntecsek kellően alaktartók, és egyszerű fogóval az öntőgéplövőperselyébe helyezhetők, míg nyírófeszültség alkalmazásakor (mint a lövődugattyúval) a tömegük könnyen megfolyik, noha viszkózus folyadékként.

A félszilárd feldolgozás fő előnyei

A félszilárd iszap viszkózus természete lehetővé teszi, hogy viszonylag nagy sebességgel folyjon, megtartva közben a stabil áramlási frontot, amely a félszilárd feldolgozás kulcsfontosságú előnye. Az alakzatok, amelyeknek a kitöltése hagyományos nyomásos öntvényekként nagyon nagy folyadéksebességeket (>10m/sec) igényel (és ezt nagy turbulencia és levegő-bezáródás kíséri), félszilárd öntéssel is előállíthatók, szintén viszonylag nagy sebességekkel (talán 4 m/sec, vagy nagyobb is) de megtartja a stabil fémszámüregfrontot (turbulens levegőbezárás nélkül).

A félszilárd folyás a szerszámüregben



■ 10. ábra. A tixoöntött félszilárd anyag „gömbös” szerkezete (jobbra) a szokásos dendrites szerkezettel (balra) szemben

sokkal kevésbé szabálytalan, mint a nagysebességű folyadéké, és így gyakran még jobban is kitölti a vékony metszeteket, mint a folyadék. A félszilárd fém ugyanolyan részletességű és bonyolultságú alkatrészeket tud szolgáltatni, mint a nyomásos öntés, míg tömör szerkezeti darabokat gyárt, amelyek felhólyagzás nélkül hőkezelhetők [NADCA, 2001].

Visszatérve a tixoöntés témájához, az MHD öntecs ára jelentősen meghaladja az öntött öntecset, és az eljárás hulladéka nem használható fel újra félszilárd feldolgozásra, mielőtt újra öntecset gyártanának belőle. Így az öntecssel összefüggő költségek gyakran semmivé teszik a félszilárd feldolgozással járó megtakarításokat, és elriasztanak a félszilárd eljárás széleskörű elfogadásától a felhasználó ágazatok, így az autóipar által. Az öntecsek ezen felül csak néhány globális forrásból és korlátozott számú ötvözetből állnak rendelkezésre. Egy, a tixoöntéssel járó másik jelenség a folyékony szegregáció. A folyékony eutektikum szegregációja minden olyan folyamatban fellép, amelyben az öntött ötvözetek nagy arányban tartalmaznak eutektikumot; például az A356 ötvözetben tipikusan 45-50% eutektikum van. A tixo-öntés alatt azonban a folyékony szegregációt súlyosbíthatja az öntecs újrahevítése: a) A tixo-öntés alatt az álló öntecset eléggé újrahevítik ahhoz, hogy visszaolvasszák az alumínium-szilícium eutektikum nagy részét, amely az öntecs alsó vége felé gravitál és akörül gyűlik össze, ami eutektikumdúsulást eredményez annál a végénél, és ritkulást a másikonál; b) a felhevített öntecset aztán bevezetik a lövőperselybe úgy, hogy a szerszámüregbe először az eutektikumban szegény vég folyik be; c) ez gyakran azt okozza, hogy az újra egyesülő fémszálak könnyű összeolvadásához hiány-

zik a kellő mennyiségű folyékony eutektikum, és ez az öntvényben, a beömlő közelében eutektikumban dús régiókat hoz létre.

Rheoöntés: az iszaptechnológia

A tixoöntő öntecs viszonylag nagy teljes költsége az évek során különböző készizapos alternatívák kidolgozását ösztönözte. Ezek között van az Ube NRC® (New Rheo-Casting) eljárása, a Mercury Marine (korábban AEMP) SoD (iszap igény szerint = slurry on demand) eljárása, a Buhler Idra-Prince SSR™ (Semi-solid Rheocasting) változata, a THT Sub-Liquidus Casting (SLCTM), az Alcan Swirl Enthalpy Equilibration Device (SEED) eljárása, a Brunel Rheo-Diecasting (RDC), és a WPI Continuous Rheoconversion Process (CRP™) eljárása.

Az iszapos eljárások szokásos öntészeti fémeket használnak (amely elsődleges vagy másodlagos lehet megfelelően), és könnyen újrahasználhatják a technológia gyáron belüli visszatérő anyagát. A folyékony fémből a gömbös félszilárd szerkezetű iszapot közvetlenül az alkatrészek előállítására generálják. Az iszaptechnológia a tixoöntéssel végzett félszilárd feldolgozás összes előnyeit szolgáltatja, míg elkerüli az előöntött öntecsek használatával járó nagy költségeket.

Az új rheoöntő eljárás

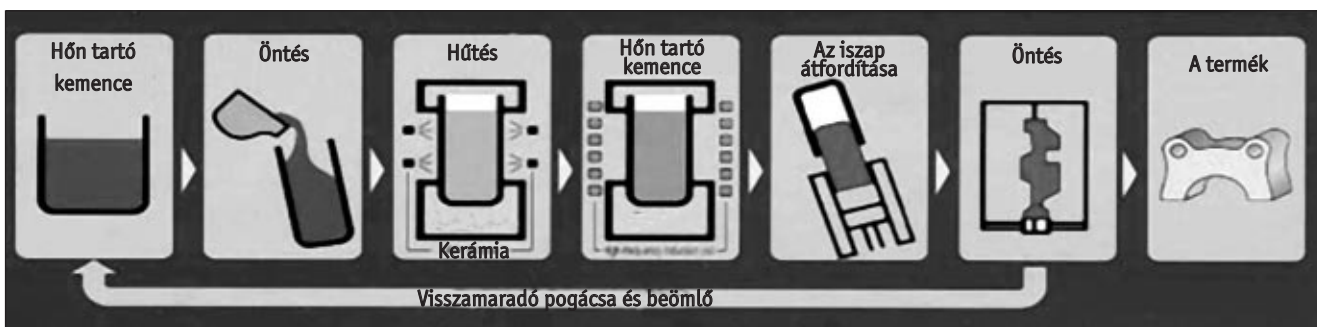
Az „iszapigény szerint” (rheoöntő) eljárás legkorábbi sikeres kereskedelmi alkalmazása az Ube Industries New Rheocast eljárása (Ube, 1996), vagy egyszerűen az NRC™ eljárás, amelynek az alapjait a 11a. ábra szemlélteti. Az öntészeti ötvözetet megolvasztják, és megfelelően kezelik (finomítják, módosítják stb.), és tégelybe öntik, amelynek a mérete hozzávetőleg

ugyanolyan, mint egy Ube függőleges nyomásos öntőgép lövőperselyéé. Az olvadékot a tégelyben először túlhűtik, majd visszahevítik, és a megfelelő félszilárd feldolgozási hőmérsékleten tartják, mielőtt az öntőgép lövőperselyébe helyezik, és a szerszámra injektálják.

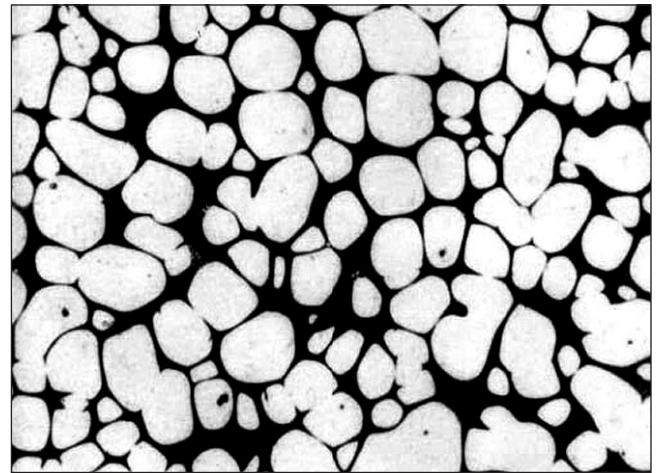
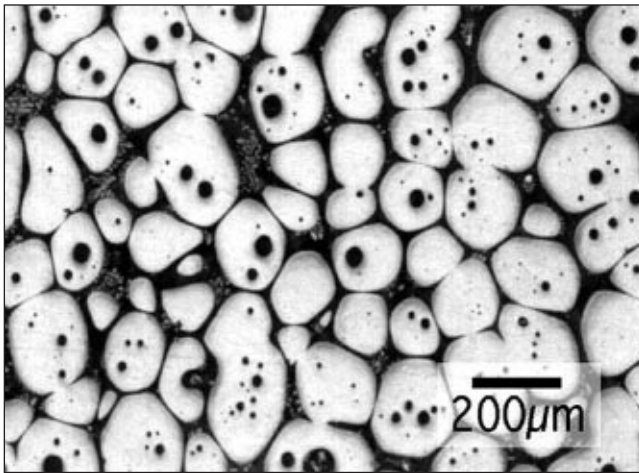
Az MHD-keverésű, előöntött önteccsel szemben a fő előnyök: a kisebb költség és a „házon belüli” visszahasznosítás képessége. Megjegyzendő az is, hogy a keletkező mikroszerkezet eltér a tixoöntöttől (11b. ábra) abban, hogy az iszapváltozatban csekély vagy nincs bezárt eutektikum az alfa-alumínium gömbökben. Ez minden iszapos eljárásra jellemző; ezek ritkán zárnak be eutektikumot, míg a tixoöntött szerkezetben mindig jelentős arányban van az alfa-gömbökben bezárt eutektikum.

Iszap igény szerint (Slurry on Demand - SoD)

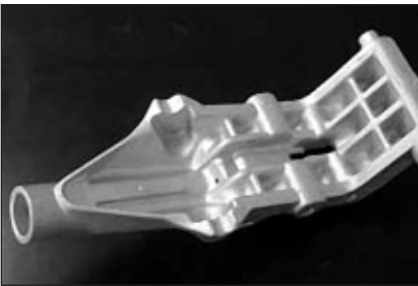
Az eredetileg az AEMP-nél kifejlesztett, és jelenleg a Mercury Marine (Kopper, et al, 2005) által birtokolt és alkalmazott „Iszap igény szerint” (Slurry-on-Demand - SoD), egy másik rheoöntő eljárás; amely szabályozott hűtést használ, elektromágneses keveréssel kombinálva, szilárd fázisú részecskék bőséges nukleációjával. Ez az aktív nukleációs (csíráképző) eljárás különbözteti meg az SoD-t az olyan passzív vagy félaktív nukleációs módszerektől, amilyen a szemcsefinomítás, a tartályhűtés vagy a részleges keverés. Az SoD a nyomásos öntőgép ciklusidején belül alakítja át a folyékony ötvözetet félszilárd állapotúra; nem igényli a hevítés alatt álló öntecsek vagy a hűtőtartályok sorát, és nagy rugalmasságot kínál a felhasználóknak a ciklus optimalálásában. A 12. ábra a folyékony ötvözet öntését és az öntött terméket mutatja.



■ 11a. ábra. A New Rheo-Casting (új rheoöntő) eljárás vázlata



■ **11b. ábra.** NRC™ mikroszerkezet (jobbra) összehasonlítva a tipikus MHD-szerkezettel (balra)



■ **12. ábra.** Az olvadt ötvözet öntése az iszapkészítő egységbe (felül), és SoD billenő tartó (alul) (a Mercury Marine felvételei)

Félszilárd rheoöntés (Semi-Solid Rheocasting - SSR™)

Egy, az USA Energiaügyi Minisztériuma által finanszírozott konzorciumban a Worcester Polytechnic Institute (WPI), a Massachusetts Institute of Technology (MIT) és az Oak Ridge National Laboratories (ORNL) vett részt. Ez a csapat egyedülálló és nagyon hatékony módot dolgozott ki az iszap szemcsefinomítására a megszilárdulás kezdetekor [Martines, et al, 2001]. Egy úgynevezett „pörgő hideg ujjat” alkalmaztak az olvadék felső felületén egy kis tégelyben, míg az éppen a likvidusz alá hűlt (lásd a vázlatot a 13a. ábrán és a mikroszerkezetet a 13b. ábrán). Az eredmény csírák azonnali,

bőséges képződése volt, amely apró gömb-szemcsék eloszlásához vezetett az egész olvadékban (13b. ábra), amint az a megfelelő iszapöntési hőmérsékletre hűlt. Az eljárás licence az IndraPrince-é lett, amelyet később, 2006-ban a Bühler vásárolt meg.

A likvidusz alatti öntő eljárás (Sub Liquidus Casting - SLC™)

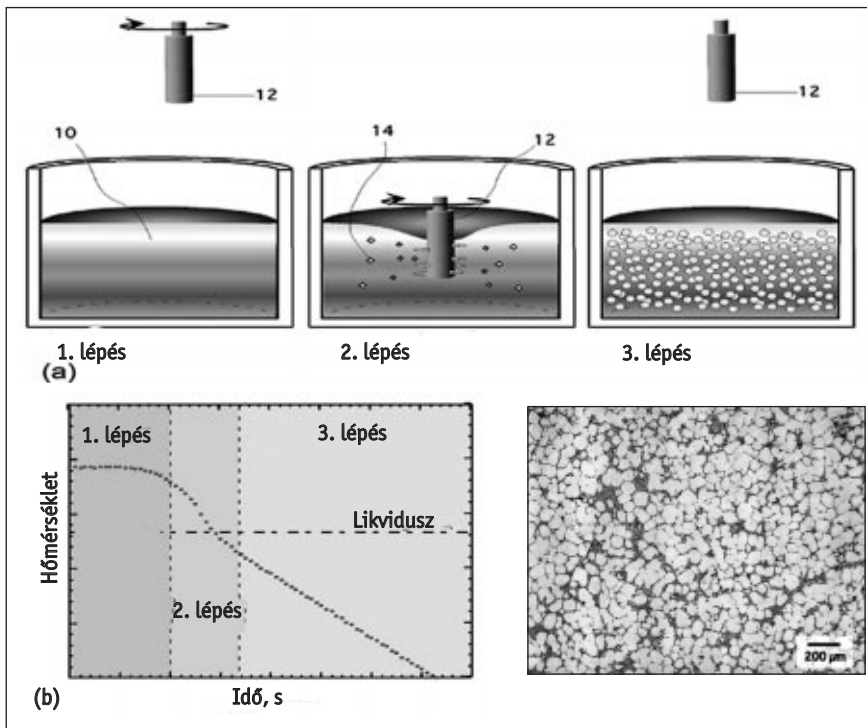
Egy viszonylag olcsó iszapos változat a THT Presses által kidolgozott SLC™ eljárás, amely szokásos öntődei (elsődleges vagy másodlagos) öntecset használ, könnyen újrahasználja a technológiai visszatérő anyagot, és nem igényel az öntőgéptől idegen technológiai berendezést vagy a nyomásos öntési cikluson kívüli feldolgozási időt. Az eljárás beömlőktől mentes terméket állít elő, így a körbevágás minimális. A módszert a 14a. ábrán látható vázlat szemlélteti. A nagy átmérőjű lövőhenger és a rövid löket különösen alkalmassá teszi ezt a berendezést a félszilárd feldolgozás iszap formájára. Az eljárás a lövőperselyen belül állítja elő az iszapot, nem igényel iszapfeldolgozó berendezést vagy időt az öntőgépben vagy az öntési cikluson kívül. Az eljárás csak szemcsefinomított olvadékot és megfelelő hőmérsékletszabályozást igényel a kívánt szerkezet eléréséhez a félszilárd feldolgozás során (14b. ábra). Egy beömlőlapp irányítja az iszapot a szerszámuvegbe a lövőperselynek abból a részéből, ahol az olvadék megfelelő hőmérsékletű és szerkezetű. A lövőpersely nagy átmérője egyszerűvé teszi ezt a feladatot, módot adva a persely központibb részéből származó olvadék használatára, és elkerülve a persely falaihoz közelebbi fémet. A beömlőlapp-

konceptió sok alternatívát nyújt egy vagy több beömlő csatlakoztatására egy vagy több szerszámuveghez; a rövid beömlőtömbök számos töltési és táplálási változatot nyújtanak megvágások használata nélkül. [Jorstad et al, 2004].

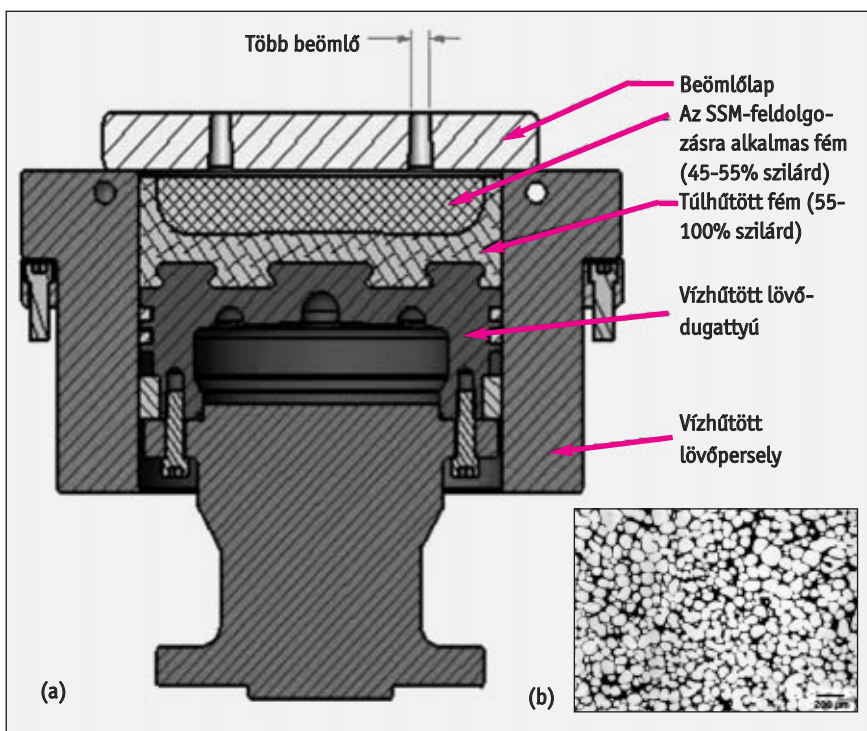
Az örvénylő entalpiaegyensúlyi készülék (Swirled Enthalpy Equilibration Device SEED)

A SEED-eljárást az Alcan Corporation (Doutre 2004) fejlesztette ki, és a 15. ábra szemlélteti. Az eljárás három szakaszból áll. Az első szakaszban a kívánt összetételű és hőmérsékletű olvadt alumíniumot egy edénybe töltik, amelyben az entalpiacsere következtében primer szilárd fázisok kezdenek képződni. Ebben a szakaszban örvénymozgást közölnek az edénnyel és a tartalmával, amivel biztosítják a primer szilárd fázis egyenletes eloszlását. Az örvénylés időtartama az edény és az adag méreteitől függ. Az iszap szilárd része az 1. szakasz végén 30–40% körül van. A 2. szakasz alatt tíz másodperc körüli szünetet alkalmaznak, majd az edény fenekén kinyílik egy szelep, és a folyékony fázis egy része kifolyik. Az egész 2. szakasz 30–40 másodpercig tart, és a fürdőből kiürített folyékony fázis az egésznek az 5–10%-a lehet, a technológiai körülményektől függően. A 2. szakasz végén az iszap zsugorodva szabadon megálló, félszilárd darabot képez. A 3. szakaszban a darabot kivesszük az edényből, és könnyen a kívánt formára alakítják. Lásd: 15. ábra.

A SEED-eljárás működési alapelveit a 16. ábra tartalmazza. Az eljárást olyan öntészeti ötvözetekkel alkalmazzák, mint az A356,



■ 13a és 13b ábrák. A „forgó hidegujjas” koncepció (SSR™ „spinning cold finger”) vázlatja (felül) és egy SSR™ mikroszerkezet (alul)



■ 14a. és 14b. ábrák. Az SLC™ lövőpersely és beömlőlapp vázlatja; megfelelő szerkezetű iszap betöltése a szerszámüregbe

A357, 206 és A514. Olyan alakítandó ötvözetekkel is alkalmazzák, mint az AA6061 és AA6082. A SEED-eljárás egyik előnye a konzisztens iszapszerű viselkedése és a 200 mm-ig terjedő átmérőjű és 350 mm terjedő hosszúságú pogácsákra való alkalmassága.

A rheo-nyomásoöntő eljárás (Rheo-Diecasting - RDC)

Az RDC-t a Brunel University fejlesztette ki. Mint a 17. ábrán látható, ikercsigás extrudert alkalmaznak, hogy nyíró és ke-

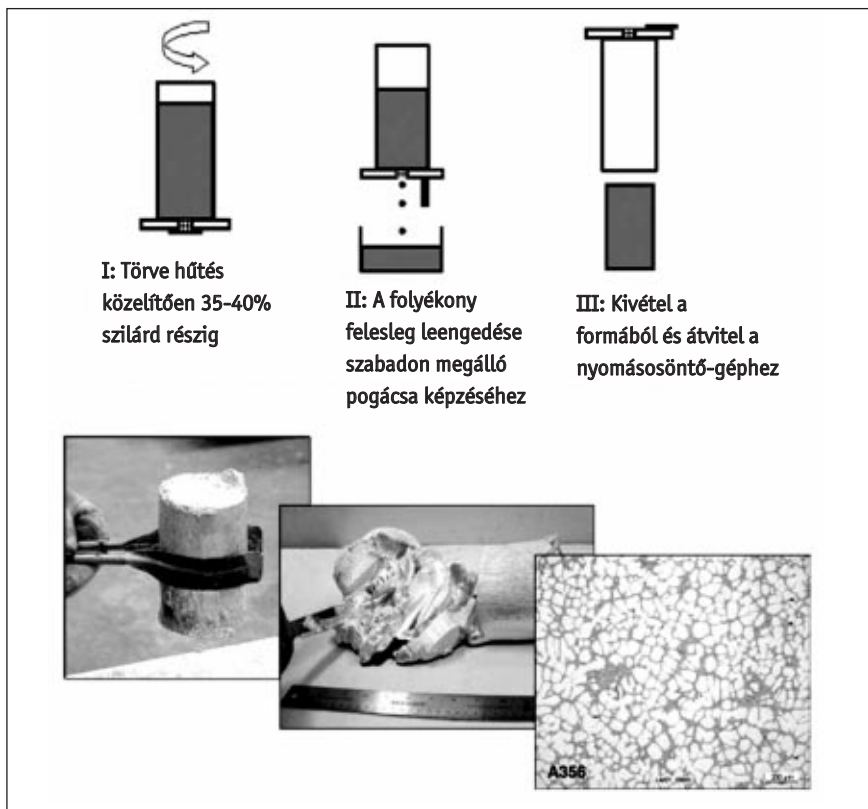
verő hatást fejtsenek ki a fémolvadékra, finom, gömbös szerkezetű iszapokat állítsanak elő, és továbbítsanak a nyomásoöntőgépek lövőperselyébe. Viszonylag nagy (>4kg) alkatrészekhez iszapakkumulátor szükséges. Az akkumulátorban lapátos keverőt működtetnek, hogy megakadályozzák a részecskék agglomerálódását, és fenntartsák az iszap egyenletességét.

A folyamatos rheokonverziós eljárás (Continuous Rheoconversion Process – CRP™)

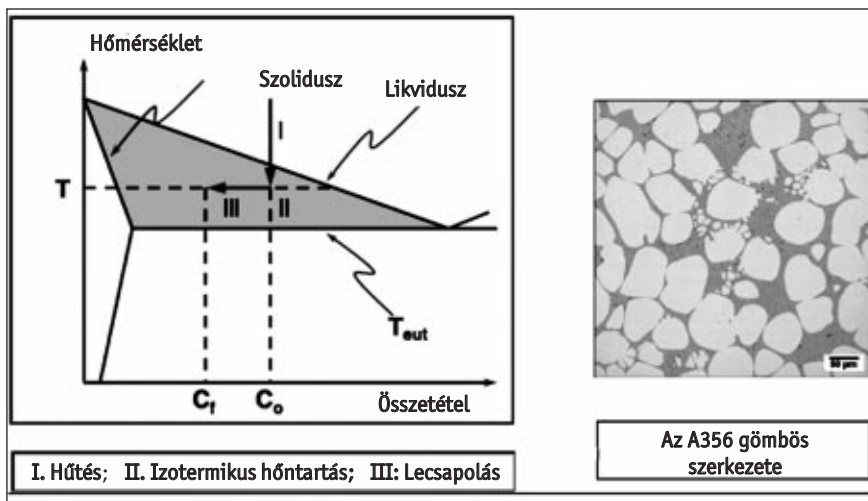
A CRP™ egy új eljárás, amelyet az MPI/WPI-nél dolgoztak ki. Az eljárás passzív folyadékkeverési módszeren alapul, amelyben a primer fázis csíráképződését és növekedését különleges tervezésű „reaktor” használatával szabályozzák. A reaktor a szilárdulás kezdeti szakasza alatt hőelvonást, bőséges csíráképződést és kényszerkonvekciót szolgáltat, így gömbös szerkezetek képződéséhez vezet. A különböző kereskedelmi alumínium- és magnéziumötvözetekkel végzett kísérletek eredményei azt mutatták, hogy az eljárás nagyon hatékonyan állít elő tömör, félszilárd kiinduló anyagot [Pan 2004, Findon 2003]. Az eljárást a közelmúltban alkalmassá tették kereskedelmi alkalmazásra. A 18. ábra mutatja az eljárás eredeti koncepcióját, és a 19. ábra a vízszintes és a függőleges nyomásoöntőgépre szerelt, optimalizált és továbbfejlesztett reaktort SSM iszapok generálásához. Az eljárás előnyei közé tartozik az egyszerűsége, az olcsósága, a széles alkalmazhatósága és a hulladék fém újrahasznosíthatósága a folyamaton belül stb., ezenkívül a ciklusidő rövidülése, valamint a sorja csökkentése.

Az SSM-eljárással készült alkatrészek tulajdonságai

Gyakorlatilag az összes félszilárd (SSM) eljárással készített alkatrészek mechanikai tulajdonságai hasonlóak, függetlenül a feldolgozás menetétől. Az SSM-feldolgozású A356 T-6 (az egyik legnépszerűbb ötvözet) szakítási tulajdonságai összehasonlíthatók az ugyanezen ötvözetből öntve sajtolt darabokéhoz; az öntvényekből kivágott vizsgálati rudak tipikusan ~320 MPa szakítószilárdságot, 250 MPa folyáshatárt és több mint 10%-os nyúlást mutatnak. A 357 T-6, egy másik népszerű SSM ötvözet, különösen Európában, tipikusan ~360 MPa szakítószilárdságot, ~295 MPa folyáshatárt



15. ábra. A SEED-eljárás három szakaszának vázlata



16. ábra. A SEED-eljárás működési alapelve biner ötvözet modelljére, amely mutatja a folyamat három szakaszát

és több mint 5%-os nyúlást ad. Az esettanulmányokat és számos öntve sajtolt és félszilárd eljárással készített alkatrész tulajdonságait szemlélteti a NADCA Product Specification Standards for Die Castings Produced by the Semi-Solid and Squeeze Casting Processes, High Integrity Aluminum Die Casting: Alloys, Processes & Melt Preparation (Termékspecifikációs szabványok félszilárd és öntve sajtolt eljárással gyártott nyomásos öntvényekre; tömör

alumínium nyomásos öntés: Ötvözetek, eljárások és az olvadék előkészítése), [NADCA, 2001] és Science and Technology of Semi-Solid Metal Processing (A félszilárd fémfeldolgozás tudománya és technológiája) című anyagai [de Figure-do, 2001].

Az SSM-eljárás előnyei

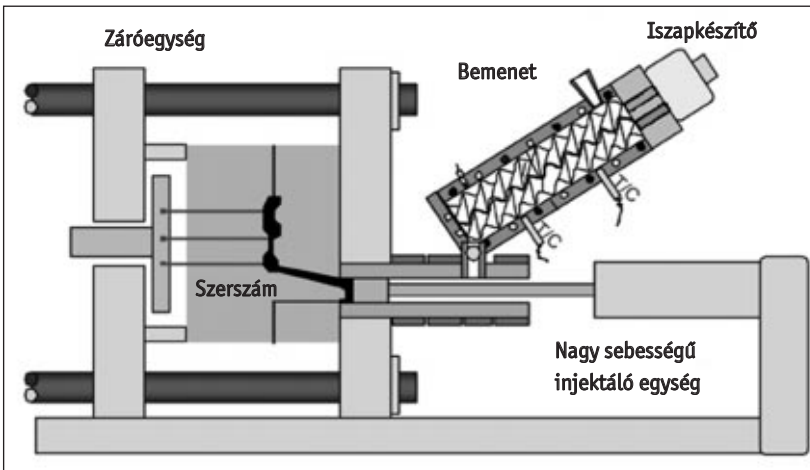
Az összes SSM-eljárás technológiák

kulcsfontosságú előnye a képesség olyan nyomásosöntvény-szerű (vékony falak, közel kész alak, nagy részletesség és bonyolultság, szigorú mérettűrések) alkatrészek gyártására, igazi jó minőséggel és szerkezeti öntvénytulajdonságokkal, amelyek teljesen hőkezelhetők hólyagosodás nélkül. Az iszap SSM-feldolgozásának (rheoöntés) további előnye a képessége szokásos öntészeti ötvözetek hasznosítására és a házon belüli visszatérő anyag újra feldolgozására; ami lehetővé teszi az SSM feldolgozás gazdasági előnyeinek a teljes elérését. Az SSM iszappal gyorsan készíthetők minimális anyagtartalmú alkatrészek, amelyek minimális másodlagos megmunkálást igényelnek, és hosszú szerszámtartamot adnak (jellemzően a hagyományos nyomásosöntő szerszámokénak a kétszeresét, és az öntvesajtolókéénak akár az ötszörösét).

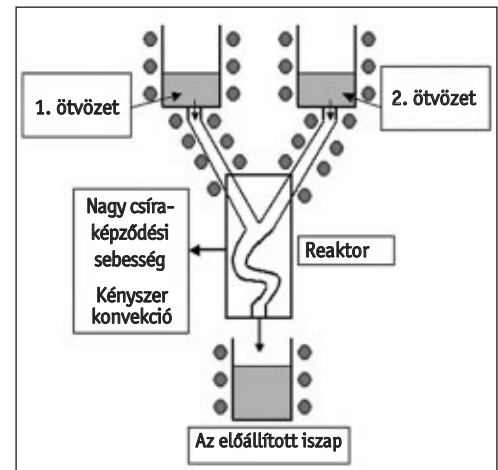
Entalpiahatás: Az SSM egy másik fontos előnye a csökkentett entalpia jótékony hatása a szerszám élettartamára és a ciklusidőre. A szerszámra ható hőenergia függ a szilárd rész arányától a félszilárd iszap öntésekor; a 20. ábra szemlélteti az A356 ötvözet esetében az entalpiát a szilárd frakció függvényében. A tipikus olvadék öntési hőmérsékletéről történő öntve sajtolása a megszilárdulás végéig ~700 J/g hőmennyiséget szabadít fel, és a tipikus öntvény kilökésének a végéig 900 J/g mennyiséget. Összehasonlításként csak 0,2 fs arányú anyag rheoöntése esetén éppen csak likvidusz feletti hőmérsékletéről és a szerszámba bocsátott kisebb szilárdulási hőmennyiséggel; az entalpia 450 J/g a dermedés végéig és 650 J/g a kilökés végéig. Még sokkal jobb a rheoöntés 0,5 fs aránnyal, amikor az entalpia csak 300 J/g a szilárdulás végéig és 500 J/g az öntvény kilökésének a végéig; amikor 45%-kal kevesebb energiát adnak át a szerszámnak az öntve sajtoláshoz képest. Ez a csökkentett energiaterhelés a kisebb ΔT hőmérséklet-különbséggel az öntött anyag és a szerszám között adja a rheoöntés gyors ciklusát és a szerszám kiváló élettartamát, amely tipikusan a hagyományos nyomásosöntő szerszáménak a kétszerese és az öntve sajtolóéénak az ötszöröse.

Összefoglalás

Most több módja van a szerkezeti autódipari alkalmazásokra alkalmas, tömör nyomásos öntvények gyártásának. A kisnyomású



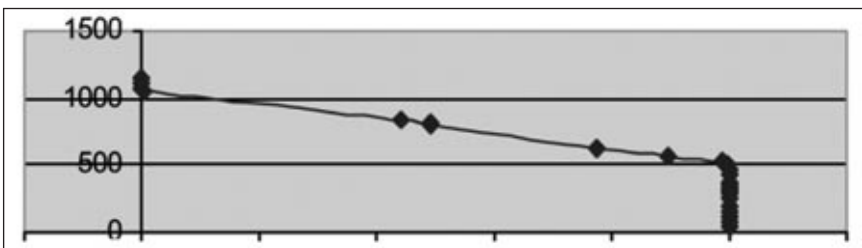
■ 17. ábra. A Brunel University RDC-eljárásának vázlata [Fan 2004].



■ 18. ábra. Az eredeti CRP™ koncepció vázlata



■ 19. ábra. Az SSM-iszapok előállítására szolgáló, továbbfejlesztett, vízszintes (balra) és függőleges (jobbra) nyomásos-öntőgépre szerelt CRP™ reaktorok tipikus elrendezése



■ 20. ábra. Entalpia a szilárd fázis arányának függvényében A356 ötvözet esetén

eljárás (LPPM) és annak újabb változatai, a VRC/PRC és a CPC/PCPC, alkalmasnak bizonyultak olyan törésérzékeny alkatrészek gyártására, amelynek a kormánycsuklók, szabályozó karok és alvázkerekek. A vákuumos nyomásos öntés (high-vacuum high pressure die casting – HPDC), az öntve sajtolás és a félszilárd fémkezelés (SSM) hasonlóan alkalmasnak bizonyultak törésérzékeny alkatrészek gyártására, és így technológiai lehetőségeket kínálnak szigorú mérettűrésű és nagy részlethűségű darabok gyártására nyomásos öntő típusú szerszámokkal és nagy nyomás alatti töltéssel és dermedéssel. Az eljárás kiválasztása függ az adott termék jellemzőitől és követelményeitől, a rendelkezésre álló technológiai berendezéstől és az adott termék sorozatnagyságával járó gazdaságosságtól, valamint az öntvények súlyától, az ötvözetek fajtától, a hőkezeléstől és a másodlagos feldolgozástól.

Eljárások	Lehetőségek*			Darab/óra	Költségek**		
	Mechanikai tulajdonságok	Öntvény méret	Kész alak		Beruházási	Szerszám	Egyenleg
LPPM							
- Alap	3	5	3	3	5	5	4
- CPC/PCPC	4	5	3	3	4	4	4
-VRC/PRC	4	3	4	5	3	4	4
HPDC							
- Hagyományos	1	5	5	5	2	2	5
- Vákuumos	5	5	5	4	2	1	4
- Sajtoló	4	2	3	3	2	2	3
- Félszilárd							
- Tixoöntés	5	3	5	3	1	1	3
- Rheoöntés	5	4	5	5	1	2	5

*A felsorolt eljárások relatív lehetőségei: 5 = a legjobb, legnagyobb, legmagasabb; 1 = a legrosszabb, legkisebb, legalacsonyabb

**A felsorolt eljárások relatív költségei: 5 = a legjobb, legkisebb; 1 = a legrosszabb, legnagyobb

Irodalom

10. Hielscher, U. et al.: „Magsimal-59, An AlMgMnSi-Type Squeeze-Casting Alloy Designed for F-Temper” TMS Transactions Light Metals, pp 933-937, (1996).
11. Jorstad, J. L.: „History of the Low Pressure Process” SDCE (now NADCA) Transactions, Low Pressure Die Casting Seminar, Troy, MI, (1979).
12. Jorstad, J., Thieman, M., Kamm, R.: „Fundamental Requirements for Slurry Generation in the Sub Liquidus Casting Process & The Economics of SLC™ Processing”, Paper # 07-01, NADCA-published Transactions, The 8th S2P International Conference on Semi-solid Processing of Alloys and Composites - Limassol, Cyprus, (2004).
13. Jorstad, J, Pan, Q.Y. & Apelian, D.: „A Rheocasting Route: SLC™ + CRPTM, A Marriage of Unique Processes”, North American Die Casting Association (NADCA), Columbus, OH, April 2006, paper # T06-0xx.
14. Kopper, A., Donahue, R, Olsen, D. and Midson, S.: „Semi-Solid Casting Process Shows Muscle for Mercury Marine”, Modern Casting, vol. 94, No. 5, pp35-37, (2005).
15. Koch, H. et al.: „Silafont-36, The Low-Iron High-Pressure Die Casting Alloy”, TMS Transactions Light Metals, pp 1011-1018, (1995).
16. Martines, R. A., de Figueredo, A. M., Yurko, J. A. and Flemings, M. C.: NADCA Transactions, paper #T01-023 (2001).
17. Product Specification Standards for Die Castings Produced by the Semi-Solid and Squeeze Casting Processes, 3rd Edition, North American Die Casting Association (NADCA), Rosemont, IL, (2000).
18. Q.Y. Pan, M. Findon, and D. Apelian: „The Continuous Rheoconversion Process (CRP): A Novel SSM Approach”, in 8th International Conference on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites, 2004, Limassol, Cyprus.
19. Ruff, G., Prucha, T., Barry, D., Paterson, J.: „Pressure Counter Pressure Casting for Automotive Aluminum Structural Components”, SAE Congress Paper # 2001-01-0411, Society of Automotive Engineers, Warrendale, PA, (2001).
20. Spada, A. T.: „Hayes Lemmerz Montage Delivers a Permanent Solution”, Modern Casting, Vol. 94, No. 2, (2005).
21. Ube Industries Ltd., Japan: European Patent No. EP0 745 694 A1 (December 04, 1996).
22. Winkler, R.: „Aural-2: A Die Casting Alloy for Crashworthy Structural Components and Suspension Parts”, ALCAN AURAL 2 (AlSi10MgMnFe) brochure

„Az eredeti cikk tartalmazza a bíráló és a szerzők párbeszédét is, amelyet az alábbiakban mi is közlünk.”

Műszaki áttekintés és tárgyalás

Tömör alumíniumöntvényeket gyártó nyomásos eljárások

J. Jorstad, JLJ Technologies Inc., Richmond, VA, USA; D. Apelian, Metal Processing Institute, WPI, Worcester, MA, USA

Recenzens: Míg a közlemény semmilyen vonatkozásban nem gyenge, egy javaslat nagyobb hangsúlyra jobban összehasonlítható az eljárásokat. Míg ez gyakran „trükkös” (vagy egy politikai aknamező), jó lenne látni az eljárások rangsorolását olyan kifejezésekkel, amelyek leírják az elérhető tulajdonságok típusait, egy táblázatot, amely felsorolja ezt az információt az alkalmas öntvény méretekkel, az eljárások üzemi költségeivel, a berendezések vagy a beruházások költségeivel, a termékek bonyolultságával – talán még egy összehasonlító rangsorolást is tényleges számok nélkül, azaz kis, közepes vagy magas sorolást.

Szerzők: Készítettünk egy összehasonlító táblázatot, amilyent a recenzens javasol; azonban nem hisszük, hogy az eljárások közvetlen összehasonlítása nagyon hasznos részletes tárgyalás és annak a magyarázata nélkül, hogy mit ölelnek fel a különböző attribútumok. Például, az óránkénti darabszám a szerszámüreges számának és az óránkénti lövésszámnak a szorzata; másrészt az öntvény méretet inkább korlátozhatja az adott gép mérete,

mint a technológiai képessége stb.

Recenzens: Az SLC-eljárás tárgyalásával kapcsolatban; egyes újabb kutatások azt mutatják, hogy a hagyományos HPDC-eljárás gyakran (nem szándékosan) fél-szilárd öntő eljárás. Ez rendszerint a 'duplex' szemcseszerkezetből látható az öntvényekben. A nagyobb szemcsék nyilvánvalóan a lövőperselyben, a (részleges) szilárdulás alatt képződnek. Miben különbözik hát az SLC-eljárás? Szabályozható-e megbízhatóan a fél-szilárd szerkezet az egyenletes szerkezet előállításához?

Szerzők: Az SLC-eljárás tárgyalásával kapcsolatban; a recenzens által leírt jelenség a legtöbb rheoöntő eljárásra vonatkozhat, nem csak az SLC-eljárásra. Ennek megfelelően, a felülvizsgált szöveghez hozzáadtunk egy bekezdést a „Fél-szilárd fém feldolgozása (Semi-solid Metal Processing – SSM)” című fejezetben ennek a kérdésnek a megvilágításához.

Recenzens: A folyékony szegregációval kapcsolatban: Sok olyan SSM alkatrészt láttam, amely jelentős folyékony szegregációt mutatott, különösen nagyobb öntvényekben. Az eutektikus folyadék szegregációja még szokásos öntvényekben is probléma lehet, de különösen ilyennek látszik SSM öntvényekben. Itt az SSM iszap folyadékkal telített szivacsként viselkedik, és a sajtolása eutektikus olvadéban dús területeket hoz létre. Ezt a

problémát legalább említeni kellene a közleményben, ha nem is tárgyalják hosszasan. Az a véleményem, hogy a szegregációs kérdések korlátozni fogják az SSM-eljárásokkal gyártható öntvények méreteit. Nincs becslés arról, mekkora ez a mérethatar?

Szerzők: Ami a folyékony szegregációt illeti, a recenzens által leírt jelenség gyakran előfordul a tixoöntés alatt, de a rheoöntéskor nem nagyobb probléma, mint a szokásos folyékony öntéskor. A magyarázat egyszerű: a) Tixoöntéskor az álló öntecset eléggé felhevítik, hogy újraolvasszák az alumínium-szilícium eutektikum nagy részét, amely az öntecs alsó vége felé gravitál és körülötte gyűlik össze, az eutektikum dúsulását eredményezve annál a végénél, és ritkulását a másiknál; b) a felhevített öntecset aztán a lövőperselybe vezetik úgy, hogy először az eutektikumban szegény vége folyik szerszámüregbe; c) ez gyakran oda vezet, hogy az újra egyesülő fémfrontokból hiányzik a kellő mennyiségű folyékony eutektikum a könnyű összeolvadáshoz, és eutektikumban dús régiók keletkeznek az öntvényben a beömlő felőli vég közelében, különösen a végső sajtolási nyomás alatt. Felülvizsgáltuk a szöveget, és hozzáadtunk egy bekezdést, amely megvilágítja ezt a kérdést a „Fél-szilárd feldolgozás fő előnyei” című fejezetben.