

THOMAS PABEL – CHRISTIAN KNEISSL – JÖRG BROTZKI – JENS MÜLLER

Nem csak környezetvédelmi előnyök – alumíniumöntvények tulajdonságainak javítása Inotec-magok használatával

Ha az öntődék érdekeltek szervesen vegyületeken alapuló formázó vagy magkészítő módszerekben, azt rendszerint az emissziók csökkentésének a lehetősége motiválja. Valójában a szervesen rendszerek használata, így az Inotec-féle módszer is, nemcsak a környezetre nézve előnyös, hanem a sorozatgyártásban termelési és minőségi előnyök is jelentkeznek.

Bevezetés

Az Inotec névvel jelzett szervesen kötőanyagrendszer nem csak a felszerszámolás költségeit csökkenti, például kevesebb tisztítási munkával a magszekerényen és az öntőmintán, ahol a kötőanyagból származó kondenzáció fontos tényező, de jelentősen csökkenti az öntvénytisztítási munkát is. Döntő megfigyelés volt azonban, hogy az Inotec-módszerrel gyártott öntvényeken a porozitás előfordulása kisebb. Ez volt a kiindulópontja egy nagy projektnek, amelyben a szervesen kötőanyagrendszerek hatását vizsgálták hengerfej- és motorblokköntvények jellemző anyagtulajdonságaira. Ehhez átfogó vizsgálati koncepciót terveztek, együttműködésben az Ashland-Südchemie-Kernfest GmbH, Hilden és a leobeni Osztrák Öntészeti Kutatóintézet között.

A szimuláción és a külön e vizsgálathoz kidolgozott szerszám elkészítésén kívül, amely magszekerényből és kokillából állt, metallográfiai vizsgálatokat végeztek és meghatározták a statikus és dinamikus mechanikai értékeket is. Az öntvényeket Inotec-

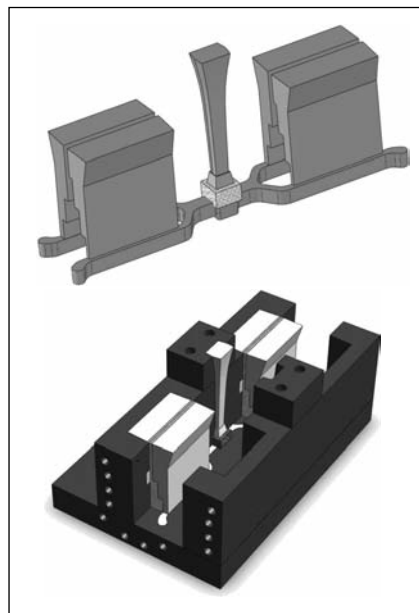
és cold-box magokkal állították elő és a vizsgálati eredményeket összehasonlították.

Bonyolult öntvények öntése

A szervesen kötőanyagoknak hosszú története van, ma is sikeresen használják azokat sok eljárásban. A szervesen kötőanyagú forma- és magkészítési módszerek visszatérően vannak az öntődékbe. De miben különbözik pontosan az Inotec a hagyományos nátrium-szilikátos kötőanyagoktól?

A kötőanyag alapja egy szilikátrendszer, hasonló a hagyományos nátrium-szilikátokhoz. Ennek előnye, hogy a magkészítés vagy az öntés során a vízen kívül nincs melléktermék-kibocsátás, és az olyan emisszió, mint amilyen például a cold-box szektoré, már a múlté.

A hagyományos nátrium-szilikátok használata jórészt a viszonylag egyszerű alakú magokra és formákra korlátozódik. Ennek oka a homokkeverék gyenge folyékonysági tulajdonsága és a CO₂-vel való szilárdítás. Az utóbbinak két hátránya is van, a kis végső szilárdság és



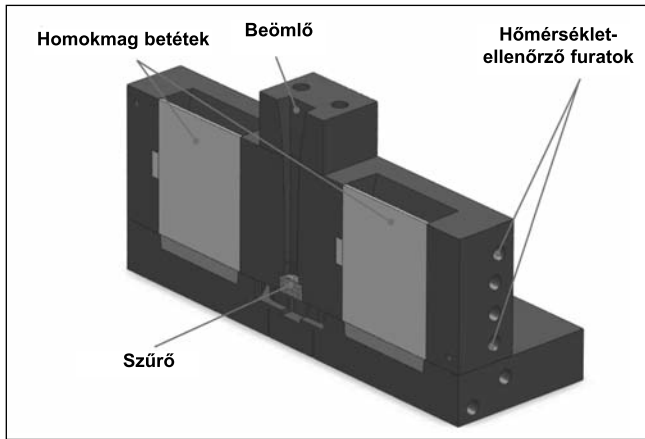
1. ábra. A három részből (alaplapp és a két fél magszekerény) álló szerszám központi beömlővel és a virtuálisan öntött lépcsős próbatetek

a rossz bomlékonyság öntéskor.

Ezzel szemben, az Inotec kötőanyagú homokkeverékeknek nagyon jók a folyékonysági tulajdonságai, így még olyan bonyolult alakzatok is gyárthatók, mint amilyenek a filigrán víztérköpeny-magok. Száritással kiváló szilárdulást érnek el, ami fűthető, mintegy 170 °C hőmérsékletű magszekerényeket és forrólevegős fúvatást igényel.

Katalizátorként ismert különleges adalékok használatával célzott módon szabályozhatók a rendszer olyan tulajdonságai, mint a kezdeti szilárdság, az öntött felület állapota (nem szükséges fekecselés vagy beporzás pl. talkummal) és a termikus ellenállás. A sorozatgyártásban a következő előnyök mutatkoztak:

Osztrák öntészeti szaklapunk, a Giesserei Rundschau ajánlása alapján érkezett publikáció, melynek szerzői az alábbi intézményeket képviselik: Thomas Pabel, Christian Kneissl, Austrian Foundry Research Institute, ÖGI, Leoben, Ausztria; Jörg Brotzki, Jens Müller, Ashland-Südchemie-Kernfest GmbH, Hilden, Németország



■ 2. ábra. A két lépcsős próbatest kokillájának nézete az osztósíkban

- környezetkímélés: nincsenek kibocsátások a magkészítés alatt, csekély a kibocsátás az öntés alatt;
- minőségjavulás: nincs kondenzáció az öntvényen, kevesebb a tisztítási munka;
- gazdaságosság: jóval kevésbé szennyeződik a magszekrény és a kokilla, így több szerszám áll rendelkezésre, nő a termelékenység;
- technológiai előny: javított anyagtulajdonságok az öntvényporozítás csökkenésének eredményeként.

Az alapkonceptió szabályozott hőmérsékletű, függőleges osztású kokillát alkalmaz két, szimmetrikusan elrendezett formaüreggel, központi beömlővel és szűrővel (1. és 2. ábra). Az egyik formaüregbe Inotec-magot, a másikba pedig cold-box magot helyeznek.

Lépcsős magokat terveztek, amelyekkel négylépcsős öntvény (lépcsős próba) önthető. A lépcsős próbák kiértékelésével meghatározható a különböző magszilárdságok, öntvényvastagságok és kötőanyag-rendszerek hatása a szövetszerkezetre és a mechanikai tulajdonságokra.

Az Inotec- és a cold-box magok magszekrényének a hőmérséklete fűtött rudak és/vagy teljes méretű forró lapok használatával szabályozható. Maglövéskor a levegő a szerszám hasítékain át távozik, amelyeket a forró lapok miatt oldalra, kifelé kell tájolni. A hőmérséklet ellenőrzését és szabályozását a kokilla oldalfalában elhelyezett hőelemek segítségével végzik. A magot a kokillába helyezik és az elmozdulás ellen két magjellel biztosítják.

Mind az Inotec-, mind a cold-box

magok esetén mérték a c_p fajlagos hőkapacitást, a D/l_0 hőtágulást és a hővezetést, valamint az r sűrűséget a szobahőmérséklettől 800 °C-ig terjedő hőmérsékleti tartományban. Az így nyert adatokból számították a hőmérséklet függvényében az l hővezető képes-

séget és az r sűrűséget szobahőmérséklettől 800 °C-ig. Ezeket a termofizikai adatokat közvetlenül vitték be a formatöltés és a dermedés Magmasoft 4.4-gyel végzett szimulációjába.

A 3. ábra mutatja a dermedés és a dermedési sebesség összehasonlítását egy Inotec-maggal (bal oldal) és egy cold-box maggal gyártott öntvény (jobb oldal) között (a már megszilárdult területek színtelenek). A színjelzett hőmérséklet-eloszlásban látható, hogy azonos dermedési idő mellett

az Inotec-magos öntvény olvadéka körülbelül 5 °C-kal melegebb, mint a cold-box magosé. A T_E helyi dermedési időben a különbség csak 1–2 mp. A helyi dermedési idő kulcs tényező a másodlagos dendritgátvolság (SDAS) meghatározásában a következő összefüggéssel:

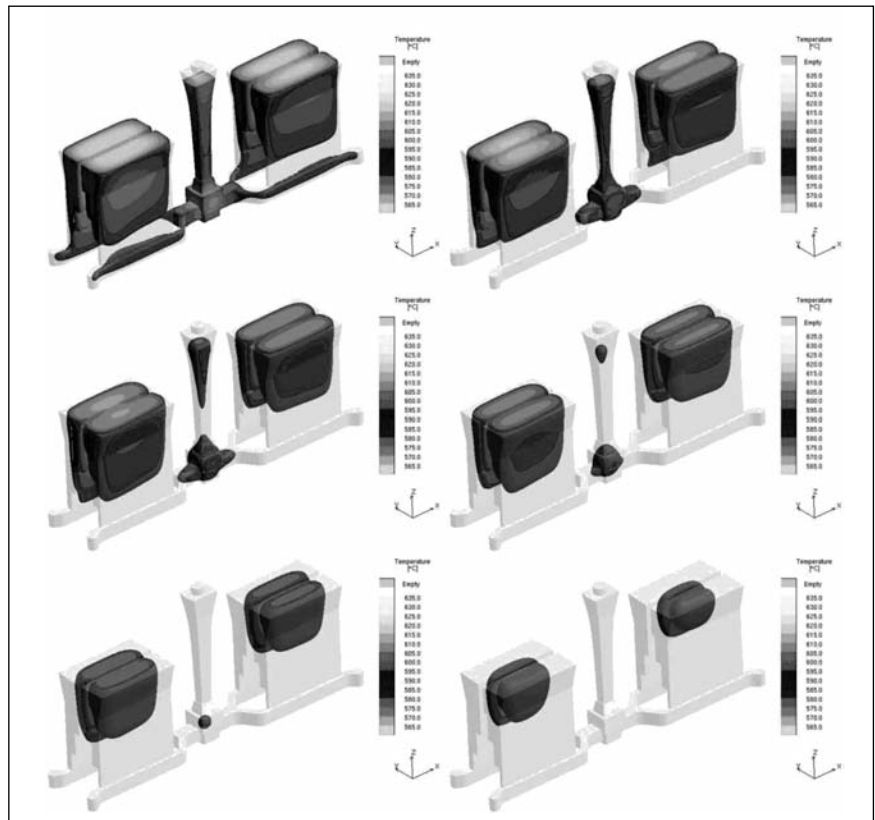
$$SDAS = k \cdot T_E^{1/3}$$

ahol k – anyagállandó.

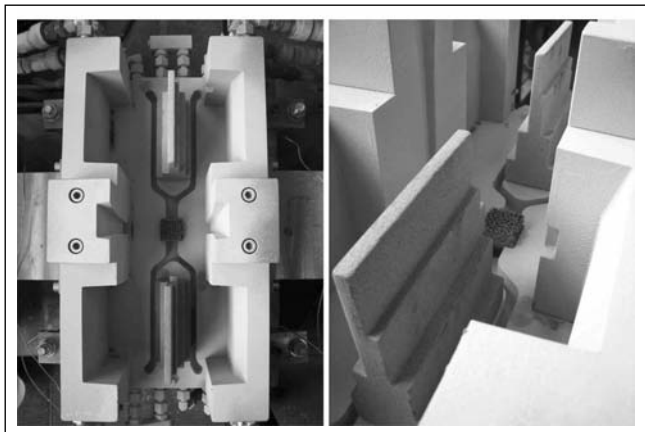
A kis SDAS-érték általában jó statikus és dinamikus anyagtulajdonságokhoz vezet. Mivel azonban a helyi szilárdulási időben az amúgy is marginális különbségnek csak a köbgyöke épül be az SDAS-ba, a várható hatása, mint leírták, arra csekélynek tekinthető.

Nem képződik füst vagy szag

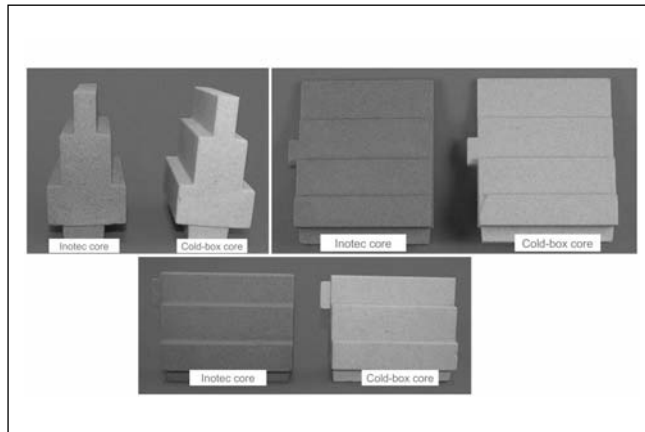
150 kg EN AC-AISI7Mg0.3 ötvözetet adagoltak az ellenállásfűtésű téglés kemencébe, és azt 730 °C ± 5 °C öntési hőmérsékletre hevítették. Olvasztás után az olvadt fémet rotoros gáztalanítóval tisztították, majd hat percen át percenként hat liter argonnal öblítették. Az olvadt fém minőségét vákuumos sűrűségvizsgálattal ellenőrizték, a sűrűségi index



■ 3. ábra. Dermedési szimuláció: az Inotec-mag (balra) és a cold-box mag (jobbra) összehasonlítása



■ 4. ábra. Vizsgálati elrendezés: Inotec-mag elől, cold-box mag hátul



■ 5. ábra. Magváltozatok: 1 (teljesen körbeöntött magok, felül balra és alul) és 2 (beöntött magok, felül jobbra)

1,2% volt. Az olvadt fém minősége tehát megfelel a mai kor színvonalának, nagyjából mentes a hidrogéntől és az oxidoktól. Következésképpen, az öntvényekben fellépő porozitást nem az olvadt fém minősége okozza, hanem az kizárólag a magok által kibocsátott gázokból származik.

A kokillaöntőgépre szerelt kokilla-feleket, valamint az alaplapot cirkónium-oxid bevonattal látták el (4. ábra). A kétrészes kokilla mindkét oldalát $280\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 5\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra hevítették elő kétkörös fűtőkészüléket használva. A kokilla hőmérsékletét az öntés alatt négy K-típusú, I. osztályú tokos hőelemmel kalibrálták és szabályozták. A hőelemeket a belső kontúrától 5 mm távolságú furatokban, a kokilla falának közepében helyezték el.

Az állandó és reprodukálható öntési körülmények elérése céljából a kokillát mindig akkor nyitották ki és a próbatesteket akkor vették ki, amikor a kokilla hőmérséklete $320\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra csökkent, miután túllépett egy maxi-

mális hőmérsékletet. Az öntést nem folytatták addig, amíg a kokillát nem hűtötték le $280\text{ }^{\circ}\text{C}$ -ra a fűtő/hűtő készülékkel. Közeliően 360 sec-os rendszeres ciklusidőt értek el.

Mint előbb a szimuláció esetében is, az Inotec-magot mindig a kokilla bal, a cold-box magot a kokilla jobb oldalában helyezték el. Az első öntési sorozatban a magok öntéskor szabadon érintkeztek a környezettel („cast-in” változat). A második öntési sorozatban a magokat közvetlenül a magjel felett elvágták, majd teljesen körbeöntötték a fémrel („fully cast-in” vagy „overmoulded” változat) (5. ábra).

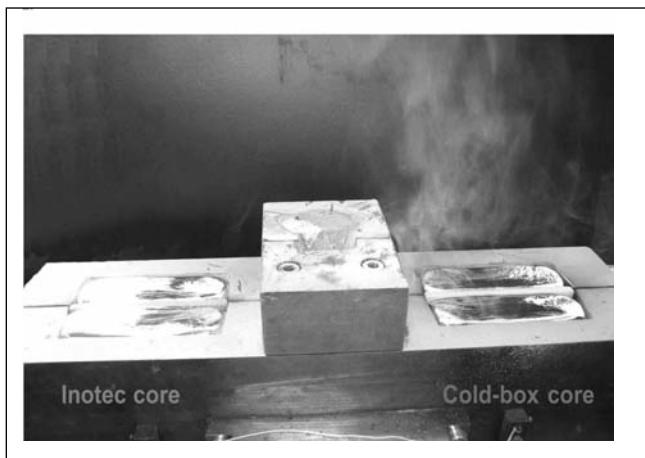
Az összes öntvényt (a kísérleti lépésös próbákat) T6 hőkezelésnek (oldó izzítás – edzés – mesterséges öregbítés) vetették alá. Az EN 1706 AC-AISi7Mg0.3 ötvözetre az irodalomban megadott értékeket használták paraméterekként a hőkezeléshez.

Öntés alatt észlelhető volt a cold-box magok különösen jelentős füstképzése (6. ábra). Ezzel szemben az Inotec-magok nem bocsátottak ki magukból füstöt. Minden formában,

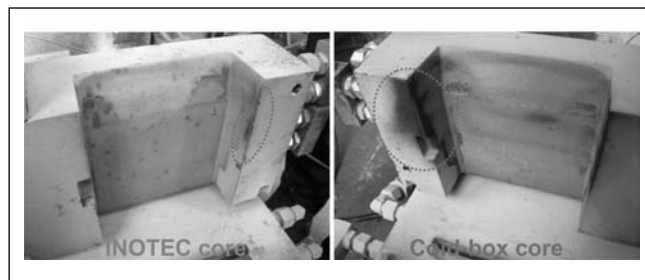
amelybe cold-box magot tettek, szerves kondenzátumok gyantarétege képződött a kokilla oldalain 15 öntés után (7. ábra). Összehasonlítással, az Inotec-magok használata során csak csekély lerakódások mutatkoztak a kokillán (7. ábra). A jelentős gyantaképződés eredményeként a cold-box magokkal folytatott gyártás esetén a szerszámok karbantartások közti intervallumait rövidíteni kell, vagyis gyakrabban kell tisztítani a cold-box magokkal használt kokillákat.

Jó mechanikai tulajdonságok

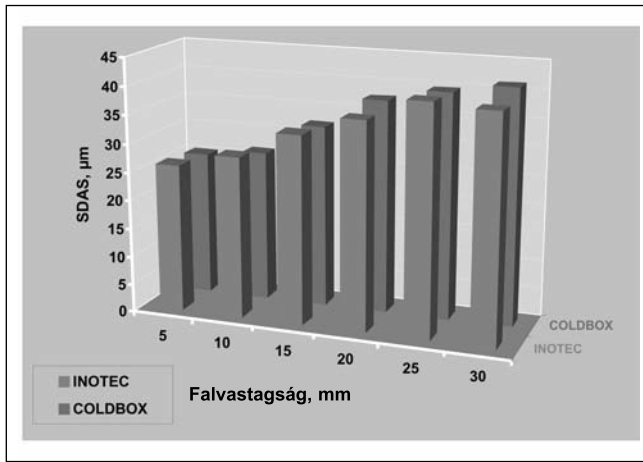
A próbaöntvényekből készült csiszolatok vizsgálata során felismerhető volt az erre az ötvözetre jellemző szerkezet, nevezetesen a primer alfa szilárd oldatból és szilíciumból álló eutektikum. Ezen felül, elszigetelt esetekben, a szövetszerkezet vasban dús kiválásokat is tartalmazott tús Al_5FeSi vegyület formájában, ill. $\text{Al}_{15}(\text{FeMn})_3\text{Si}_2$ képletű, ún. „kínai írás” formátumokat, ahogy ez megszokott és várható volt. Az eutektikus szilícium a T6 hőkezelés során az oldó izzítás révén teljesen gömbösödött.



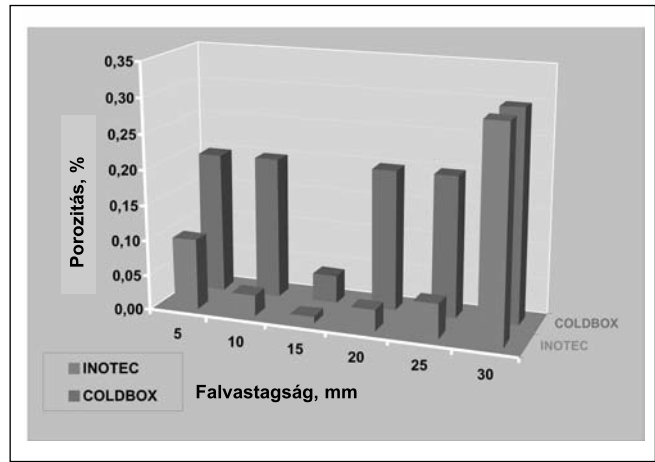
■ 6. ábra. A cold-box mag erős emissziója (jobbra)



■ 7. ábra. Gyantaképződés szerves kondenzátumokból Inotec- és cold-box magok használatakor



■ 8. ábra. Másodlagos dendritágtávolság (SDAS) a falvastagságnak megfelelően



■ 9. ábra. Inotec- és cold-box maggal gyártott öntvények porozitásának összehasonlítása

A másodlagos dendritágtávolságot (SDAS) minden lépcsőben mérték: a fal szilárdságától függően 27 és 40 μm volt, vagyis a szokásos nagyságrendű az ilyen alakú kokillaöntvények esetén.

Az SDAS-re elsődlegesen a helyi szilárdulási idő hat ($SDAS = k \cdot T_E^{1/3}$ [1]), és azt a dermedési folyamatok határozzák meg. A kis SDAS tehát a gyors dermedésből ered: jó mechanikai tulajdonságokat eredményez és a szövetszerkezet finomodását is elősegíti. A különbség a dendritágtávolságban legfeljebb 1 μm. Ez a minimális különbség a mérési pontosságon belül van, így az SDAS eredmények azonosnak tekinthetők. Az Inotec-magok kissé rosszabb hővezetése nem vezetett a másodlagos dendritágtávolság bármilyen mérhető romlásához (8. ábra).

A szerkezeti vizsgálatokhoz a lép-

csős próbák minden lépcsőjéből metallográfiai csiszolatok készítéséhez mintákat vettek, ezeket műgyantába ágyazták, csiszolták és polírozták. A porozitás meghatározásához az alySISFive mennyiségi képelemző rendszert használták.

A porozitást a VDG P 201 „Nemvasfém öntvények térfogati hiányosságai” adatlap alapján értékelték, 25x-ös nagyítású mikrofelvetelek használatával. A képeket 8 bites szürke képekké konvertálták, és a porozitást a szürke küszöbérték meghatározásával állapították meg. E vonatkozásban az észlelt pórusok vörösre színeződtek a képen, és a felületi arányokat az észlelési terület százalékában értékelték (ROI – region of interest – érintett régió). A megfelelő régiókat itt úgy kell kiválasztani, hogy azok maximális felületet fedjenek le, és amennyire lehet, illeszkedjenek az adott

társa egészében nagyobb, vagy mint a 30 mm-es lépcsőben, a legjobb esetben azonos mértékű az Inotec-magokkal készült öntvények porozitásával (9. ábra). A térfogati hiányokat főként gázpórusoknak kell tekinteni (10. ábra).

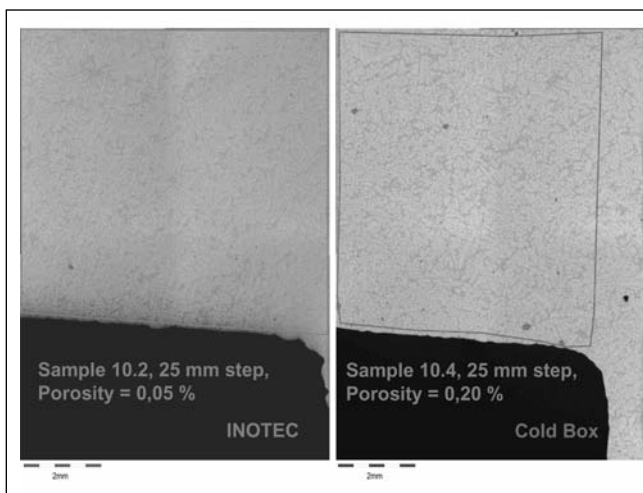
Nyúlás

A szakítóvizsgálathoz szükséges próbatesteket a „cast-in” változat mindegyik lépcsőjéből kimunkálták a DIN 50125 szabványnak megfelelően, majd egytetemes szakítógépen meghatározták a szakítószilárdságot (R_m), a 0,2%-os maradó nyúláshoz tartozó egyezményes folyáshatárt ($R_{p0,2}$) és a szakadási nyúlást (A).

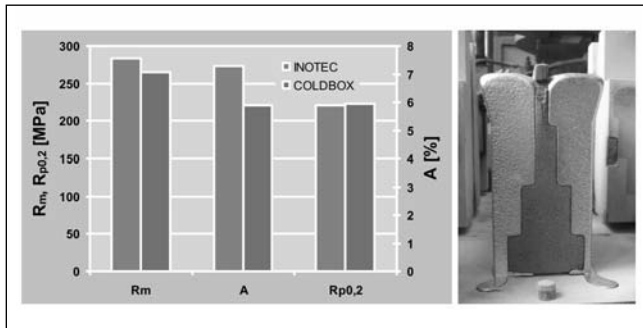
Az öntvényből vett összes próbatest vizsgálati értékei az EN 1706:1998 szabványban meghatározott legkisebb értékek felett vannak.

Ha a cast-in módszerrel gyártott öntvények eredményeinek átlagát minden szakaszban összehasonlítják, az Inotec-magos öntvényeknél kevésbé nagyobb szakítószilárdság és jelentősen nagyobb nyúlás észlelhető közel azonos folyáshatár mellett (11. ábra).

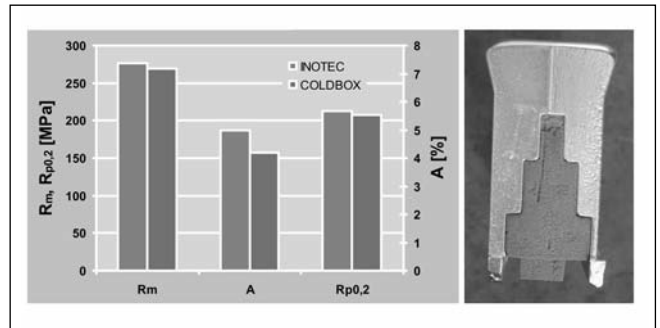
A teljesen beöntött magok eredményei ugyanezt a tendenciát mutatják, azaz az Inotec-magok esetén nagyobb a nyúlás és a szakítószilárdság (12. ábra). A vastag falú területből vett minták értékei összességében kisebbek a teljesen beöntött magok esetében. A porozitás hatását a mechanikai tulajdonságokra világosan mutatja a 13. ábra. A szakítópróbatesteket ugyanazon öntvény-



■ 10. ábra. A 25 mm-es falvastagságú öntvényrészek porozitásának összehasonlítása



■ 11. ábra. Beöntött magos öntvények szakítóvizsgálati eredményei



■ 12. ábra. Teljesen beöntött magos öntvények szakítóvizsgálati eredményei

ből vették, egyet az Inotec, egyet a cold-box maggal gyártott részből. A lineáris-rugalmas területen a feszültség–deformáció görbék azonosak. A plasztikus részen a görbéknek szintén hasonló a felépítése az Inotec-magos öntvényből vett minta szakadásáig. A kisebb porozitás következtében azonban az Inotec-próbának jelentősen nagyobb a nyúlása vagy törési feszültsége, és a felkeményedés eredményeként a szakítószilárdsága is nagyobb.

Előnyök az öntvények számításában és tervezésében

Az Inotec- és cold-box maggal gyártott, két oldalán lépcsős lapú kokilla-öntvényekből 20-20 UBW próbatestet készítettek a további, szobahőmérsékleten végzett vizsgálatokhoz. A DIN 50113 szerinti dinamikus fárasztó vizsgálatban a Wöhler-görbét $5 \cdot 10^7$ ciklussal, 200 Hz frekvenciával és $R = -1$ feszültségi aránnyal határozták meg. 10, 50 és 90%-os törési valószínűségeket számítottak normál logaritmikus eloszlással. A T varianciát a 90%-os és a 10%-os törési

valószínűség értékeinek az arányából nyerték.

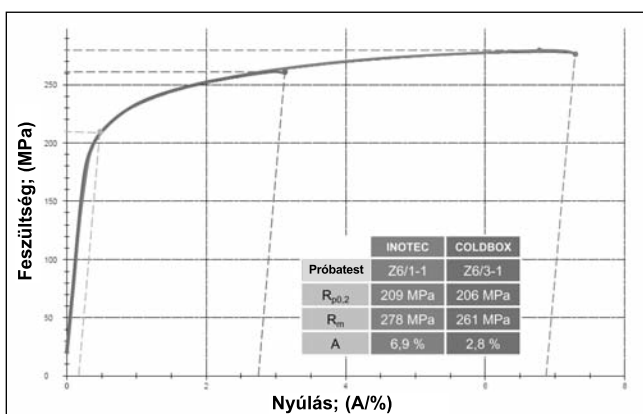
Az 50%-os törési valószínűséghez az értékelés (lásd 14. ábra) 3 MPa-lal nagyobb dinamikus szilárdságot mutat az Inotec-magos öntvényekből vett próbatestek esetén. A varianciakülönbség meglepő. A nagyon egyenletes öntvényminőség eredményeként mindkét Inotec-minta varianciája jelentősen kisebb, míg a cold-box minták eredményei értelemszerűen függenek a porozitástól. A kisebb porozitású próbatestek az Inotec-próbatestekével közel azonos értéket érnek el, míg a nagyobb porozitású próbatestekben a dinamikus szilárdság jelentősen kisebb. Ennek a variációnak a következményei nehezítik az alkatrésztervezést, mivel azt figyelembe kell venni a számításokban. Végül tehát nagyobb bizalmi tényező szükséges: az öntvények drágábbak és nehezebbek.

A cold-box magok erős gázkibocsátásai jól láthatók öntéskor. Az Inotec-mag kibocsátása jelentősen kisebb, virtuálisan nem károsodik a környezet a füst és/vagy zaj következtében.

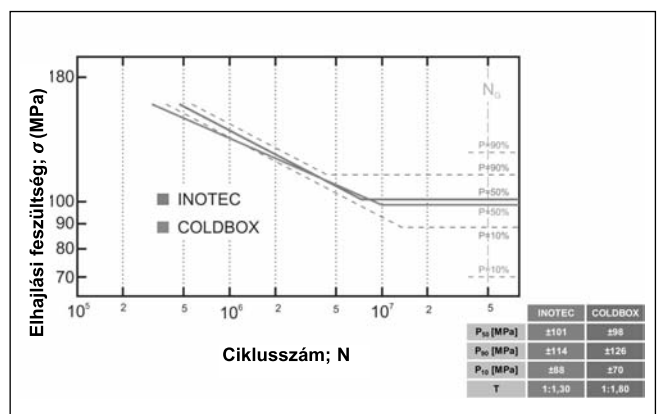
Észrevehető volt az is, hogy néhány öntés után szerves kondenzátumok gyantarétege képződött azokban a formaüregben, amelyekbe cold-box magot tettek. Ezzel szemben abban a formaüregben, amelybe Inotec-magokat tettek, ugyanennyi öntés után csak csekély lerakódás volt. Ez a jelenség több kokillatisztítási munkát és nagyobb öntvénytisztítási költségeket eredményez cold-box magok használata esetén.

Minden falvastagság esetén az Inotec-magos öntvényeknek jelentősen kisebb, vagy a legrosszabb esetben azonos a porozitása a cold-box magos öntvényekével. A térfogati hiányokat főként gázporozitásnak kell tekinteni. Egészében, a pórusok százalékarányát a felülethez képest csekélynek kell tekinteni minden öntvényben, és az olvadt fém jó minőségére tekintettel azt kell feltételezni, hogy a porozitást csak a magokból keletkező gázok okozzák.

A másodlagos dendritágtávolság (SADS) eredményei azonosnak tekintendők. Az Inotec-magok enyhén rosszabb hővezetése nem vezetett a másodlagos dendritágtávolság



■ 13. ábra. Inotec- és cold-box magos öntvények feszültség–deformáció görbéinek összehasonlítása



■ 14. ábra. Wöhler-görbék különböző törési valószínűségekhez (forgó-hajlító fárasztóvizsgálat)

semmilyen mérhető romlásához sem.

A beöntött és a teljesen beöntött magú öntvények esetében az Inotec-magos öntvények nyúlása és szakítószilárdsága egyaránt nagyobb, mint a cold-box magos változaté, míg a szakadási nyúlások jó közelítéssel azonosak.

Az Inotec-magos öntvények dinamikai szilárdsága is nagyobb, mint a cold-box magosoké. Az Inotec próbatetek varianciája jelentősen kisebb az egyenletesebb öntvényminőség következtében. Következésképpen, az öntött alkatrészek számításában és tervezésében jelentős előnyök várhatók a jövőben.

További információ: www.ask-chemicals.de ; www.ogi.at

Irodalom

[1] Kurz, W. – Fisher, D. J.: Fundamentals of Solidification, 4th Revised edition, Trans Tech Publications Ltd., Switzerland, 1998, p. 85.

Szoboröntészeti kiállítás az Öntödei Múzeumban

Kedvcsináló tudósítás „...a szobor születése...” című kiállításról, tisztelegés Kutas László szobrászművész és a vele dolgozó öntészek előtt.

A Magyar Öntészeti Szövetség, a CASTER Célcsoport, az OMBKE Öntészeti Szakosztálya és az MMKM Öntödei Gyűjteménye közös rendezésében, továbbá 10 hazai öntöde és mintegy 12 önkéntes kolléga erőfeszítésének eredményeképpen 2013. május 31-én az Öntödei Múzeumban megnyílt „...a szobor születése...” időszaki kiállítás.

2006. október 13-án a szakmai szervezetek és a szakma képviselői, valamint tanítványai halála első évfordulóján közadakozásból elkészítették dr. Nándori Gyula öntészprofesszor mellszobrát. A Kutas László által alkotott mellszobrot az Öntödei Múzeum kertjében avatták fel az emléke előtt tisztelgő öntészek. Ekkor készült el a Nándori Gyula-emlékplakett is – szintén Kutas László alkotása (az egyik kiállítói vitrinben ez is látható) –, amit az öntész oktatással kapcsolatos kiemelkedő teljesítményért ítél oda azóta is a Magyar Öntészeti Szövetség elnöksége.

Az avatás után Hatala Pál ötlete volt, hogy kellene egyszer egy tematikus szoboröntészeti kiállítást rendezni egyrészt Kutas László, másrészt a vele együtt dolgozó öntészek tiszteletére. Ezt akkor a Mesterral kettesben meg is beszélték, és elhatározták, hogy a gondolatot kiérlelik, és a kiállítást egyszer majd megrendezik. Többszöri nekirugaszkodás, sok-sok tervezés után aztán az elhatározást hét év után tett is követte,



■ A kiállítás előkészületei: Hatala Pál, Kutas László és Gál György

aminek eredményeként most megtekinthető a múzeum galériáján a kiállítás.

A kiállítást alapvetően Kutas László nagy sikerű, méltán népszerű Mary Poppins szobra elkészítésének menetére fűzték fel a szervezők. A kiállításon öt vitrin – bennük mintegy 40 tárgy –, ezenkívül 12 nagyméretű feliratozott tabló, 8 posztamensen álló szobor, az öntési folyamat egy-egy köztes állapotát bemutató darabok és kész öntvények mellett több Kutas-szobor is látható.

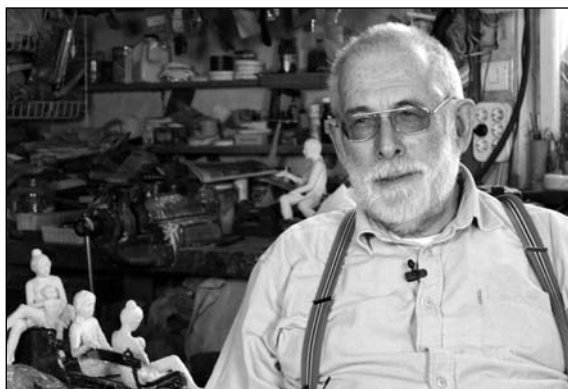
Kutas László a ma élő szobrászművészek, érem- és plakettkészítő

művészek körének az egyik, ha nem a legjelentősebb tagja, akinek 43 köztéri szobra és több mint 120 érme, plakettje ismert. Számos nemzetközi kiállítás nyertese, kiállításainak száma több mint 60, és a Magyar Köztársasági Érdemrend lovagkeresztjével is kitüntették. A Mester ma is igen termékeny, tervekkel, új elképzelésekkel teli és sokat dolgozó művész.

Kutas László stílusa a realista hagyományokra épül, művei – a témától függően – nem nélkülözik a finom humort sem. Számos magángyűjteményben található meg művei (lásd még Kutas László honlapja, illetve <http://artportal.hu/lexikon/muveszek/kutas-laszlo-785>).

A múzeum kiállítóterében Kutas László hat legismertebb szobrából kamarakiállítás is nyílt, amelyet a megnyitó résztvevői nagy örömmel – sokan már sokadszorra – néztek meg, tanulmányoztak.

A megnyitó ünnepség levezető házigazdája Hatala Pál, a Magyar Öntészeti Szövetség ügyvezetője volt. Az ünnep, vagyis a kiállítás kez-



■ Kutas László és az egyik szobra a kiállításon

