

A vízüveges maghomokkeverékek melegdeformációs és üríthetőségi tulajdonságainak vizsgálata

A kísérleteink során megvizsgáltuk a vízüveges homokkeverékből készített próbatestek melegdeformációs és üríthetőségi tulajdonságainak változását eltérő kötőanyag- és adalékanyag-tartalom mellett. A vizsgálatokat a Miskolci Egyetem Öntészeti Intézet homoklaborjában végeztük el. Vizsgáltuk továbbá az adalékanyag hatását a vízüveges homokkeverékből készített próbatestek a melegdeformációs és a hőterhelést követően mért a szilárdsági tulajdonságaira is.

Bevezetés

Az elmúlt években bevezetett új környezetvédelmi előírások miatt az ipar számára elsődleges szemponttá vált, hogy lehetőségeikhez mérten ezen előírásoknak megfeleljenek. Az öntödék számára a szerves kötőanyagrendszerek alkalmazása által az emissziókibocsátás okoz problémákat. Az elmúlt években többféle kutatás koncentrált arra, hogy a szerves kötőanyagokat környezetkímélő rendszerrel fejlesszék tovább, azonban még áttörő megoldást nem találtak. Az emissziókibocsátás megszüntetésére, illetve nagymértékű csökkentésére a megoldást a vízüveges (szervetlen) kötőanyagrendszerek jelenthetik. A szervetlen kötésű kötőanyagrendszerek területén folyamatos kutatások és fejlesztések zajlanak, hogy alkalmazásuk problémamentes legyen.

1. A vízüveges maggyártási eljárások rövid áttekintése

A klasszikusnak tekinthető szervetlen kötésű maggyártási technológiák a vízüveg-CO₂ és a vízüveg-észter-eljárások, amelyeknél a kötés különböző kémiai reakción keresztül megy végbe. Az utóbbi 20 évben az új gyártási folyamatok, ill. a szilikátkémia területén történt fejlesztések hatására új típusú vízüveges kötőanyagrendszereket fejlesztettek ki. Ezek az új típusú szervetlen kötőanyagok többségükben kombinálva alkalmazzák a kémiai reakción alapuló kötést és a szárítást. Ezek a rendszerek általában két fő alkotóból épülnek fel: egy vízüveg alapú folyékony kötőanyagból és egy modifikált por alapú adalékanyagból [1]. A szervetlen kötőanyagrendszerek többnyire az alumíniumöntvények esetében alkalmazhatók az alacsony öntési hőmérséklet miatt, azonban a gyártók egyre több fejlesztést végeznek annak érdekében, hogy a vízüveges kötőanyagok a vasöntvények gyártásához is problémamentesen alkalmazhatók legyenek [2].

2. A vízüveges homokkeverékből készített próbatestek tulajdonságainak vizsgálata

A formázó- és maghomokkeverékek, ill. az ezekből készí-

tett magok és formák minőségét az alaphomok granulometriai tulajdonságai (a szemcsealak, a fajlagos felület és a szemcseméret) határozzák meg [3] [4]. Emellett fontos a kötőanyag tulajdonságainak a vizsgálata is, amelyek meghatározására különböző vizsgálati és kiértékelési módszerek állnak rendelkezésünkre. A következő vizsgálati módszereket alkalmazzák a leggyakrabban a magok és a formák tulajdonságainak a meghatározására:

- szilárdságvizsgálat (szakító-, hajlítószilárdság),
- melegdeformációs vizsgálat,
- gázáteresztő képesség,
- gáznyomás, gázfejlődés mértékének vizsgálata.

A kísérleteink során a melegdeformációs és a szilárdsági tulajdonságok vizsgálatával foglalkoztunk.

2.1. A melegdeformációs vizsgálatok

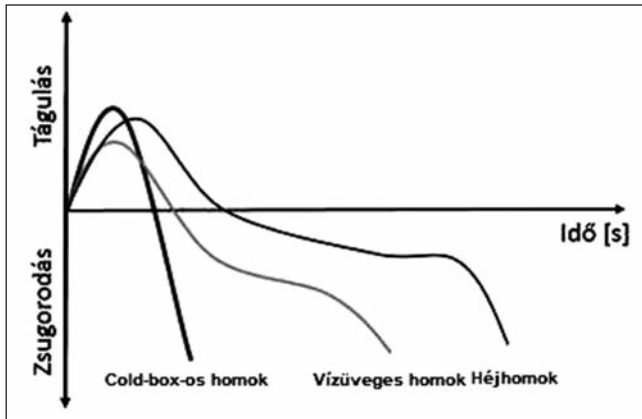
A melegdeformációs vizsgálat (Hot Distortion Test) a műgyantakötésű homokmagok hő hatására bekövetkező deformációjának és hőtágulásának vizsgálatára szolgál [5]. Ezzel a módszerrel modellezni tudjuk, miként viselkedik a forma és a mag az olvadékkal történő érintkezés során. A melegdeformációs vizsgálatot maglövő gépen elkészített próbatesteken kell elvégezni, melynek méretei: 114,3 × 25,4 × 6,35 mm. A Hot Distortion Tester készüléken a mérés során a próbatest egyik vége rögzített, míg a másik egy mérőszonda által állandó, 0,3 N terhelőerőnek van kitéve. A vizsgálat során a próbatestet alulról egy kalibrált gázégő melegíti. A láng erejét a levegő-gáz arányával lehet beállítani. A hő hatására a próbatest deformálódik. Az elmozdulást a próbatest szabad végére illesztett mérőszonda méri. A mérőkészülék a deformációt az idő függvényében ábrázolja.

A deformációs görbékkel lehetőség nyílik az öntödék számára, hogy az ott lejátszódó folyamatokat pontosítani, az öntés minőségét pedig javítani tudják. Kezdetben a héjhomokok vizsgálatára használták, később a cold-box és a hot-box eljárással készített homokmagokhoz is elkezdtek alkalmazni [1] [5]. Az 1. ábrán a cold-boxos, a vízüveges és

Dargai Viktória BSc-tanulmányait 2009-ben kezdte meg a Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Karán. 2013-ban MSc-képzését öntészeti szakirányon folytatta, melynek keretében hat hónapot töltött vendéghallgatóként a Freibergi Egyetem Öntészeti Intézetében. Jelenleg az Öntészeti Intézet tudományos segédmunkatársa. Kutatási területe: a szervetlen vízüveges kötőanyagok öntészeti alkalmazása a forma- és magkészítésben. Tóth Gergő BSc-tanulmányait 2020-ban fejezte be a Miskolci

Egyetem Műszaki Anyagtudományi Karán. Diákévei során lehetősége nyílt elhelyezkedni a SEGA Hungary Kft.-nél, ahol jelenleg is minőségbiztosítási mérnökként dolgozik.

Dr. Varga László öntészeti szakirányos kohómérnöki oklevelét 1999-ben szerezte a Miskolci Egyetem Kohómérnöki Karán, majd doktori disszertációját 2003-ban védte meg. 2014-ben tért vissza a Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Karára, ahol 2015 óta az Öntészeti Intézet igazgatója.



■ 1. ábra. A cold-box-, a vízüveges- és a héjhomokkal készült magok jellegzetes melegdeformációs görbéi [1]

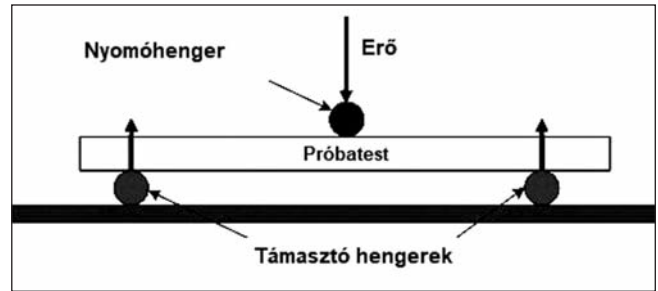
a héjhomokból készült homokmagok melegdeformációs görbéi láthatók.

Az 1. ábrán jól látható, hogy mindhárom homokkeveréknél a hőterhelés hatására először hőtágulás megy végbe a próbatestben. Ezt követően az alkalmazott maggyártási eljárástól és a kötési mechanizmustól függően eltérő folyamatok zajlanak le. A cold-box homokmagokat nagymértékű hőtágulás jellemzi, majd a további hőterhelést követően ridegen eltörnek. Ezzel szemben a héjhomok esetén hőre lágyuló deformáció jellemző [5]. A cold-box és héjhomok magokra jellemző melegdeformációs görbék közötti állapot jellemzi a vízüveges magok melegdeformációját [1]. A görbe jellege a héjhomokhoz hasonló, viszont kismértékű hőtágulás és nagyobb képlékeny deformáció jellemzi. A vízüveges homokkeverékből készült próbatest plasztikus [6].

2.2. A hőterhelés hatása a vízüveges homokmagok szilárdsági tulajdonságaira

A különböző formázókeverékekből készített homokmagok vizsgálata során központi szerepet tölt be a szilárdsági tulajdonságok meghatározása [7] [8] [9]. A szilárdsági vizsgálatok esetében a kötőanyagrendszerhez alkalmazkodva (a bentonitos, a szerves és a szervesetlen kötőanyagok stb.) választják ki a megfelelő vizsgálati módszert. Ezek közül a szerves és a szervesetlen formázókeverékek esetében a legelterjedtebb vizsgálati módszer a hárompontos hajlítószilárdságvizsgálat. A formázókeverékek laboratóriumi vizsgálata során szabványos méretű hajlító próbatestek előállítása történik, amelynek a méretei $22,4 \times 22,4 \times 172$ mm [9] [10] [11].

A hárompontos hajlítóvizsgálat lényege, hogy a próbatestet két alátámasztási ékre (hengerre) ráhelyezve és a középpontján nyomóékkal terhelve eltörjük. A vizsgálandó próbatestet felülről egy, alulról pedig két ponton éri erőhatás. A terhelés nulláról indulva folyamatosan növekszik, míg a próbatest el nem törik. Eközben a próbatest közepén mérésre kerül az erő,

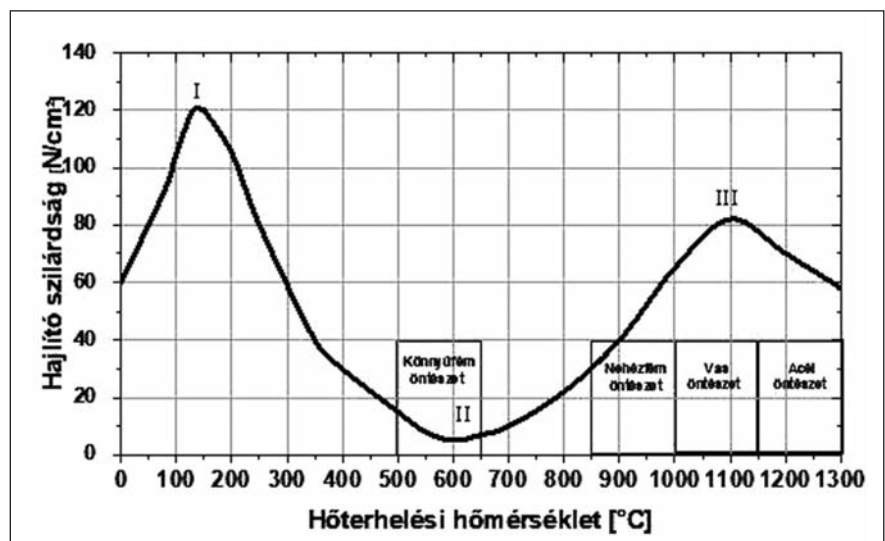


■ 2. ábra. A hajlítóvizsgálat során a próbatestre kifejített erő sematikus ábrája [13]

amely alapján számolható a hajlítószilárdság. A hajlítószilárdság az a maximális feszültség, amelynél a próbatest eltörik [9] [11] [12]. Az új típusú hajlítószilárdság-mérő berendezések digitális kijelzésűek, amelyek a már számolt hajlítószilárdság értéket N/cm^2 mértékegységben adják meg. A 2. ábrán a hajlító próbatest vizsgálatának sematikus ábrája látható.

A maghomok-keverékek alkalmazása során az egyik legfontosabb követelmény amellett, hogy a magok méretpontosak legyenek és jó felületi minőséggel rendelkezzenek az, hogy az öntést követően lehetőleg elveszítsék a szilárdságukat, és könnyen eltávolíthatók legyenek az öntvény belső üregeiből. A homokmagok öntést követő maradó szilárdságának (üríthetőségének) vizsgálata a hőterhelést követően a hajlítószilárdság meghatározásával történik.

A klasszikus vízüveges eljárásoknál az egyik legjelentősebb munka a hőterhelés közben bekövetkező szilárdságváltozások jellemzésére *Jelinek* nevéhez fűződik, aki azt vizsgálta, miként változik a vízüveges homokkeverékből készített próbatestek szilárdságértéke 20 °C és 1300 °C közötti hőmérsékleten. A hőmérsékletskálát kellően széles intervallumban adta meg, és a vizsgálatok során arra fókuszált, miként fog viselkedni a vízüveges homokkeverék eltérő hőmérsékletű fémolvadékkal való érintkezést követően. Vizsgálta a könnyűfém ($500\text{--}600\text{ °C}$), a nehézfém ($850\text{--}1000\text{ °C}$), a vas- ($1000\text{--}1150\text{ °C}$), ill. az acélöntészetben ($1150\text{--}1300\text{ °C}$) tapasztalható homokmag hőmérséklet-tartományokat [14] [15]. A 3. ábrán a Jelinek



■ 3. ábra. A vízüveg-CO₂-eljárással előállított hajlító próbatestek hőterhelését követően mért szilárdságértékek változása [14]

által mért hajlítoszilárdság változása látható a vízüveg-CO₂-eljárás alkalmazásával, különböző hőmérséklet-tartományokon.

A 3. ábra alapján megállapítható, hogy 150 °C körüli hőmérsékleten tapasztalható a vízüveges homokkeverékből készített próbatestek első maximum szilárdság (I) értéke. Ezen a tartományon a vízüveges oldatban jelen vannak még olyan alkotók, amelyekben a kémiai reakció csak részlegesen játszódott le. 600 °C-on újabb dehidratációs folyamat megy végbe, amikor a még jelen lévő SiO₂ gél elfogy. Ennek következtében a hajlítoszilárdság-értékek eléri a minimum értéket (II). Ezt követően olvadékfázis fog kialakulni, amelynek hatására újabb kötések jönnek létre a formázókeverékben, amely a második szilárdság maximumot fogja okozni (III) [1] [15].

3. A kísérleti paraméterek áttekintése

A kísérletek célja az volt, hogy megvizsgáljuk a vízüveges homokkeverékből készített próbatestek melegdeformációs és az üríthetőségi tulajdonságainak változását eltérő kötőanyag és adalékanyag-tartalom mellett. A vizsgálatokat a Miskolci Egyetem Öntészeti Intézetének homoklaboratóriumában végeztük el. Az elvégzett vizsgálatok részfolyamatait a 4. ábrán látható folyamatábra mutatja be.

A vizsgálatainkhoz SH33-as típusú alaphomokot alkalmaztunk, amely egy háromalkotós kvarchomok. A homokkeverékhez egy módosított vízüveges kötőanyagot és egy poralapú adalékanyagot használtunk. Az 1. táblázatban a vizsgálatainkhoz alkalmazott receptúrák listája és jelölése látható. Az adalékanyag-tartalmú keverékek esetében megtartottuk az adalékanyag és a kötőanyag egymáshoz viszonyított arányát.

A vizsgálataink során elkészítettük a melegdeformációs

1. táblázat. A vizsgálatokhoz alkalmazott receptúrák és azok jelölése

A sorozat			B sorozat		
Jelölés	Kötőanyag, %	Adalékanyag, %	Jelölés	Kötőanyag, %	Adalékanyag, %
A1	2,0	0	B1	2,0	1,2
A2	2,2		B2	2,2	1,33
A3	2,4		B3	2,4	1,45

2. táblázat. A próbatest-előállítási paraméterek

Paraméter	Érték
Magszékély hőmérséklet, °C	180
Elgázosítási hőmérséklet, °C	100
Elgázosítási idő, s	30

3. táblázat. A kísérleteinkhez alkalmazott hőterhelési hőmérséklet-tartományok listája

Hőterhelési hőmérséklet, °C	Időtartam, h
25	1
150	
180	
210	
250	
280	
300	
450	
600	

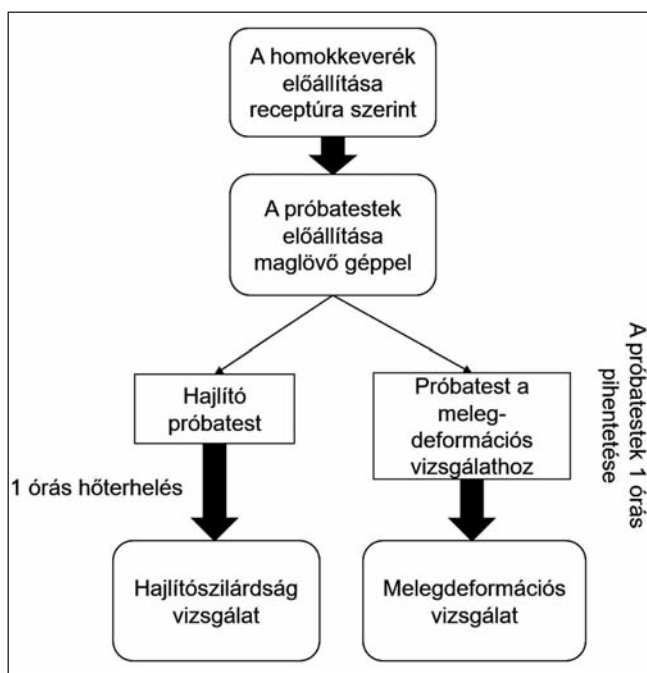
vizsgálatokhoz szükséges próbatesteket és a hőterheléses vizsgálatokhoz szükséges hajlító próbatesteket a meleg levegős átfűvűsű warm-box eljárással. A próbatesteket az Öntészeti Intézet homoklaborjában található maglövőgéppel állítottuk elő a 2. táblázatban megadott paraméterekkel.

A mérésekhez három-három próbatestet állítottunk elő, majd ezt követően egy óra pihentetést követően elvégeztük a próbatestek melegdeformációs vizsgálatát. A hőterheléses vizsgálatoknál a hajlító próbatesteket kemencében egy órán át hőterheltük a 3. táblázatban bemutatott hőterhelési hőmérsékleteken.

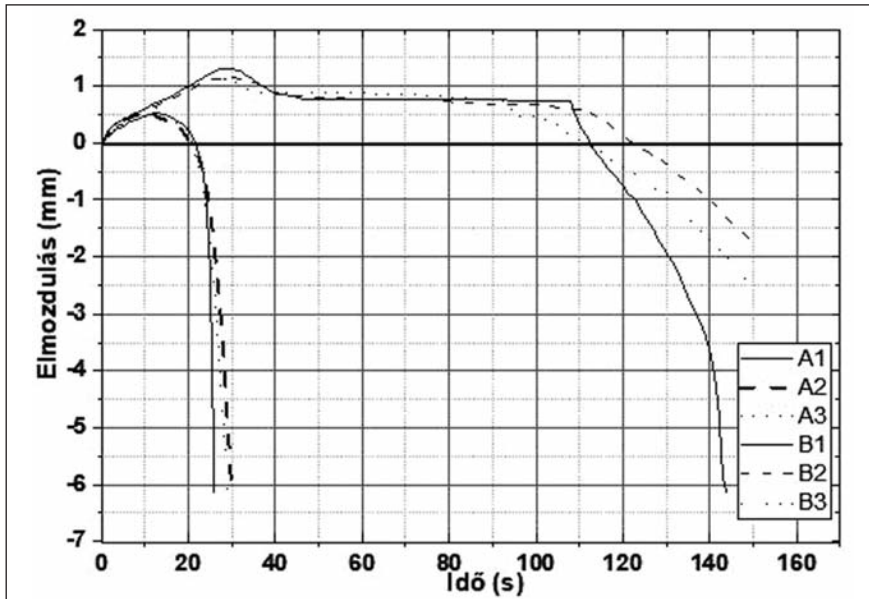
A hőterheléses vizsgálatok esetében is egy órát pihentettük a próbatesteket, ill. a hőterhelést követően egy órát hagytuk hűlni a szilárdságvizsgálatok előtt. A bemutatott mérési eredmények az átlagértékeket jelölik.

4. A vízüveges maghomokkeverékből készített próbatestek melegdeformációs tulajdonságainak vizsgálata

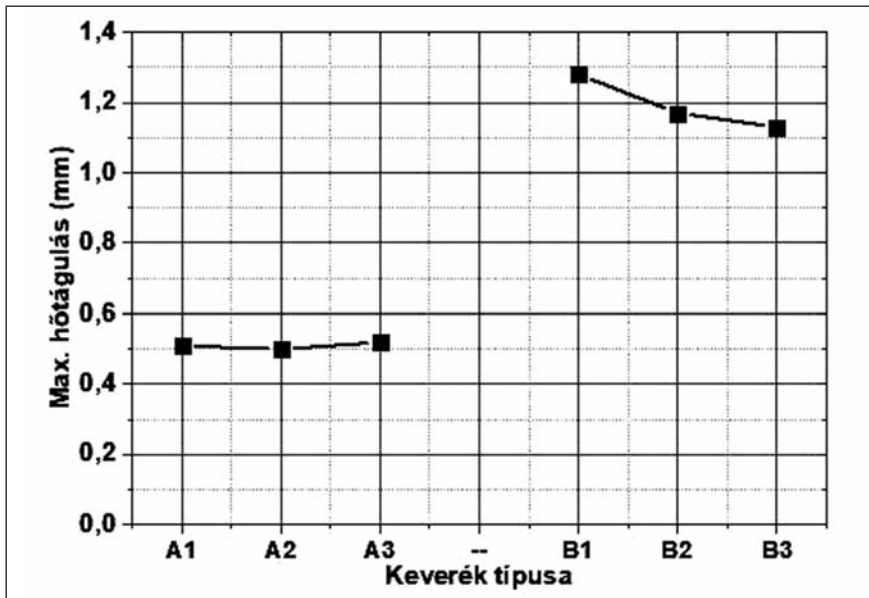
A kísérletek során először megvizsgáltuk a vízüveges homokkeverékből készített próbatestek melegdeformációs tulajdonságait. Az A jelölésű homokkeverékek nem tartalmaztak adalékanyagot, míg a B jelölésű keverékek esetében adalékanyagot is adagoltunk a keverékhez. A vizsgálataink során összehasonlítottuk az adalékanyag-mentes és az adalékanyaggal készült homokkeverékek melegdeformációs tulajdonságait, továbbá a kötőanyag- és az adalékanyag-tartalom növelésének a hatását is. Az 5. ábrán az adalékanyag-mentes és az adalékanyaggal készült próbatestek melegdeformációs vizsgálata során felvett idő-elmozdulás görbék láthatók.



4. ábra. Az elvégzett vizsgálat részfolyamatai



■ 5. ábra. A kötőanyag- és az adalékanyag-tartalom hatása a vízűveges homokkeverékből készített próbatetek melegdeformációjára



■ 6. ábra. A vízűveges homokkeverékből készített melegdeformációs próbatetek maximális hőtágulása

Az 5. ábra alapján megállapítható, hogy a kötőanyag-tartalom hatása az adalékanyag-mentes keverékek hőtágulására kismértékű, ugyanis a maximális elmozdulás nem haladja meg a 0,5 mm-t. Az adalékanyag hatására a homokkeverék hőtágulása és a hővel szemben tanúsított ellenálló képessége nagyobb, mint az adalékanyag-mentes keverékeknél.

A mérési eredmények alapján elmondható, hogy a hőigénybevétel hatására a vízűveges homokkeverék deformációja két jellegzetes szakaszra osztható: a hőtágulás és a képlékeny deformáció szakaszára. A hőterhelés kezdetén a darabban hőmérséklet-különbség alakul ki, amely pozitív deformációhoz, hőtáguláshoz vezet. A vízűveges homokkeveréket kismértékű hőtágulás jellemzi. A deformációs görbék jellegzetes szakaszait részletesebben is kielemeztük, melynek során három jellegzetes paramétert ábrá-

zoltunk: a maximális hőtágulást, a hozzátartozó időt, valamint a képlékeny deformáció időtartamát. Ezt a három paramétert az alábbiak szerint jellemezzük:

- Maximális hőtágulás (mm): A próbatetek hőterhelés hatására bekövetkező pozitív deformációjának maximális értékét jelenti.

- Maximális idő (s): A hőterhelés kezdetétől (0 pont) a maximális hőtágulás értékéig meghatározott idő.

- Képlékeny deformáció időtartama (s): A termoplasztikus megereszkedés szakasza az utókeményedés szakasz kezdetéig tart. A maximális hőtágulástól a 0 pontig tartó elmozdulás időtartama.

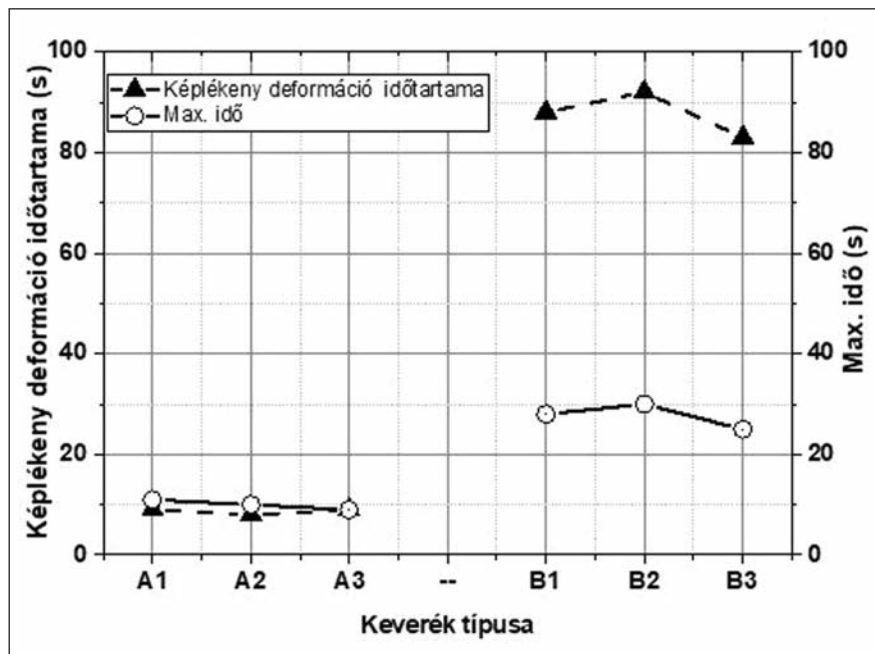
A kísérleteink során először a vízűveges homokkeverékből adalékanyag-mentes és az adalékanyaggal készített próbatetek maximális hőtágulását vizsgáltuk meg, amelynek az átlagértékei a 6. ábrán láthatók a keverék típusa szerint ábrázolva.

A 6. ábra alapján megállapítható, hogy az adalékanyag-mentes próbatetek esetében a kötőanyag-tartalom növelésének nincs jelentős hatása a maximális hőtágulási értékekre. Az adalékanyaggal készült próbatetek esetében a kötőanyag és az adalékanyag mennyiségének a növelésével csökken a maximális hőtágulási érték. Az adalékanyag-tartalmú próbatetek esetében minél nagyobb a kötőanyag- és az adalékanyag-tartalom, úgy csökken a próbatetek termikus ellenálló képessége is.

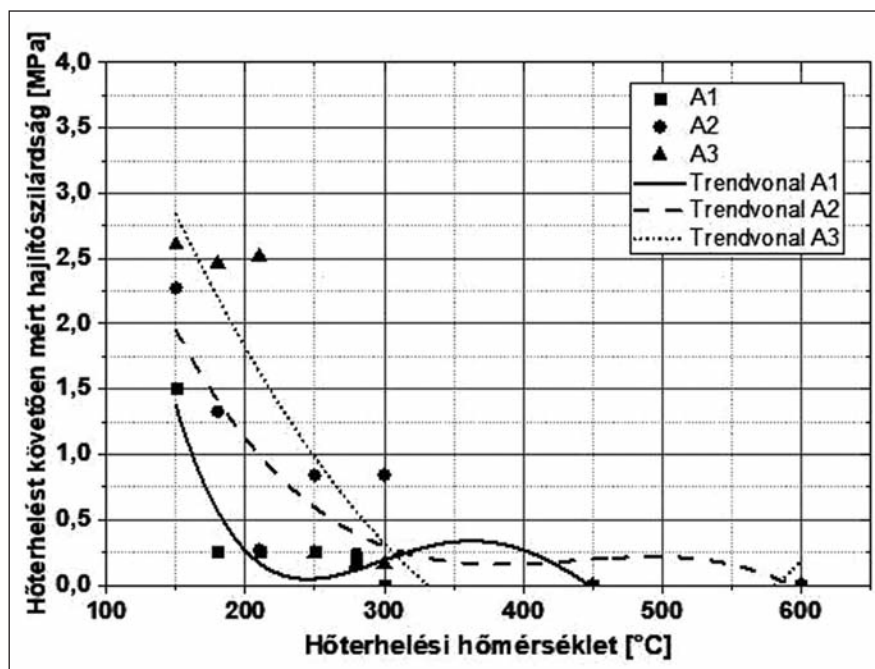
Ezt követően megvizsgáltuk a maximális hőtáguláshoz tartozó időszükségletet, ill. a képlékeny deformáció időtartamát is. A 7. ábrán a vízűveges homokkeverékből adalékanyaggal és

adalékanyag nélkül készített próbatetek maximális hőtágulásához szükséges (max.) idő értékének és a képlékeny deformáció időtartamának változása látható.

A 7. ábra alapján megállapítható, hogy az adalékanyag-mentes keverékből készített próbatetek képlékeny deformációjának időtartama és a maximális hőtáguláshoz szükséges (max.) idő csökken a kötőanyag-tartalom növelésével. A nagyobb kötőanyag-tartalom miatt a homokkeverékek termikus ellenálló képessége csökken, ezáltal hamarabb megy végbe a képlékeny deformáció. Az adalékanyaggal készült próbatetek esetében a képlékeny deformáció időtartama jelentősen hosszabb, mint az adalékanyag-mentes keverékek esetében. A B2 keverék esetében a maximális idő és a képlékeny deformáció időtartama nő a B1 keverékhez képest, majd a B3 keveréknél csökkenést tapasztaltunk mindkét paraméter esetében.



■ 7. ábra. A vízüveges homokkeverékből készített próbatetek képlékeny deformációjának időtartama és a maximális hőtágulás eléréséhez szükséges (max.) idő



■ 8. ábra. Az adalékanyag-mentes homokkeverékekből készített hajlító próbatetek szilárdsági tulajdonságainak hőterhelés hatására bekövetkező változása

A 6. és 7. ábra eredményeit összefoglalva megállapítható, hogy az adalékanyag-mentes keverékek esetében a kötőanyag-tartalom növelésével a próbatetek hővel szembeni ellenálló képessége csökken, a maximális hőtágulás nem változik, de az ehhez szükséges (max.) idő és a képlékeny deformáció időtartama csökken. Az adalékanyag-mentes és az adalékanyaggal készült próbatetek mérési eredményeit összehasonlítva megállapítható, hogy az adalékanyag alkalmazásával növelhető a próbatetek termikus ellenálló képessége. Az adalékanyag-tartalmú keverékek esetében is a kötőanyag és az adalékanyag-tartalom növelésével csökken a próbatetek termikus ellenálló képessége.

5. A vízüveges maghomokkeverékek üríthetőségi tulajdonságainak vizsgálata

Megvizsgáltuk a vízüveges homokkeverékből készített hajlító próbatetek hajlítószilárdság értékének a változását az eltérő hőmérsékleten végzett hőterhelést követően. A 8. ábrán az adalékanyag-mentes homokkeverékből készített hajlító próbatetek szilárdsági tulajdonságainak hőterhelés hatására bekövetkező változása látható.

A 8. ábra alapján megállapítható, hogy a kötőanyag-tartalom növelésével nő a próbatetek szilárdságértéke. Mindhárom keveréknél a 150 °C-os hőterheléstől kezdődően 250 °C-ig csökken a próbatetek hőterhelést követően mért szilárdsága. A hőterhelés további növelésével 0,25 és 0 MPa értéktartomány között változik a szilárdságérték.

Megvizsgáltuk az adalékanyaggal készült hajlító próbatetek szilárdsági tulajdonságainak hőterhelés hatására bekövetkező változását is, amely a 9. ábrán látható.

A 9. ábra alapján megállapítható, hogy az adalékanyaggal készült próbatetek esetében is a hőterhelés hatására a szilárdságértékek csökkennek. A B1 és a B2 keverékek esetében a szilárdságértékek között nincs jelentős különbség. A B3 keverék esetében tapasztaltuk a legnagyobb maradó szilárdságértékeket. 300 °C-tól kezdődően a szilárdságértékek mindhárom keverék esetében 0,25 és 0 MPa értéktartományban változnak, kivéve egy nagyobb kiugró értéket a B2 keveréknél 450 °C-on.

Az adalékanyag-mentes és adalékanyaggal készült próbatetek mérési eredményeit összehasonlítva megállapítható, hogy az adalék-

anyag alkalmazásával nagyobb a maradó szilárdságérték a hőterhelést követően, mint az adalékanyag-mentes keverékek esetében. Továbbá az adalékanyag-mentes keverékeknél a kötőanyag-tartalom növelése a hőterhelést követően mért szilárdságértéket növeli, amelyet az adalékanyaggal készült keverékeknél csak a B3 (legnagyobb kötőanyag- és adalékanyag-tartalom) esetében tapasztaltunk.

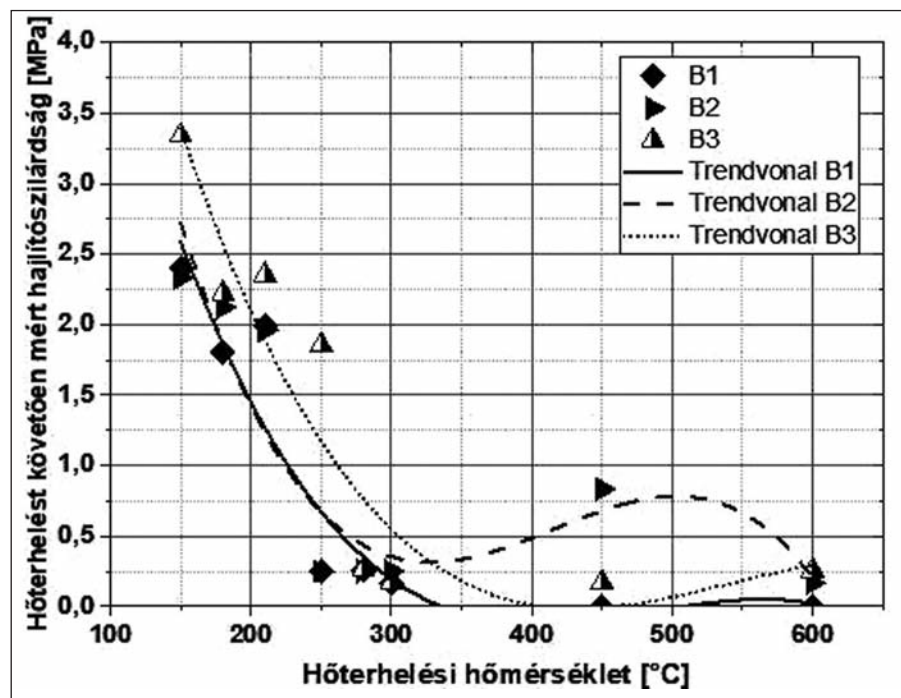
Gyakorlati szempontból az adalékanyaggal készült magok az öntés után történő eltávolítása problémás lehet. Az eredmények alapján elmondható, hogy a vízüveges homokkeverékekből készített próbatetek az ada-

Köszönetnyilvánítás

A cikkben bemutatott kísérletek az EFOP-3.6.1-16-2016-00011 projekt keretén belül a 2. Korszerű Anyagok és Technológiák Kiválósági Központ támogatásával készültek.

Irodalom

- [1] *H. Polzin*: Inorganic binders for mould and core production in the foundry 2014 Schiele & Schön kiadó
- [2] *C. Wallenhorst*: Grundlagen zum Verständnis der anorganischen Kernfertigung, Giesserei-Praxis 06/ 2010, 181–184.
- [3] *Tóth L.*: Forma és magkészítési ismeretek oktatási segédlet, 2011
- [4] *Bakó K.*: Öntödei formázóanyagok, Műszaki Könyvkiadó, Budapest 1976



■ 9. ábra. Az adalékanyaggal készült hajlító próbatetek szilárdsági tulajdonságainak hőterhelés hatására bekövetkező változása

lékanyag-mentes keverék esetében 250 °C-tól, az adalékanyaggal készült próbatetek esetében pedig 300 °C-tól kezdődően a szilárdságértékek 0,25 és 0 MPa érték tartományba esnek.

Összefoglalás

A kísérleteink során megvizsgáltuk az adalékanyag-mentes és az adalékanyaggal készült próbatetek melegdeformációs tulajdonságait és a hőterhelés hatását a szilárdsági tulajdonságokra. A mérési eredmények alapján megállapítható, hogy mindkét vizsgálatnál az adalékanyag-tartalmú keverékek esetében tapasztaltunk nagyobb értékeket. A melegdeformációs vizsgálatok során a kötőanyag-tartalom növelésével ugyan csökken a hőállóképesség, azonban az adalékanyag adagolásával ez javítható. A hőterheléses vizsgálatok rávilágítottak arra, hogy az adalékanyaggal készült próbatetek esetében az öntést követően problémás lehet a homokmagok eltávolítása. A folyamat biztos eltávolításhoz legalább 300 °C-os homokmag-hőmérséklet elérése szükséges.

Összességében elmondható, hogy az adalékanyag adagolásával a vízüveges kötőanyag-tartalmú keverékek esetén a homokmagok termikus tulajdonságai javulnak, azonban az üríthetőségi tulajdonságai romlanak.

- [5] *S. McIntyre, S. M. Strobl*: Adapting hot distortion curves to process control, Foundry Management & Technology March 1998 pp. 22–26.
- [6] *J. Müller, H. Deters, M. Oberleiter, H. Zupan, H. Lincke, R. Resch, J. Körschgen, A. Kasperowski*: Geht nicht, gibt's nicht – Weiterentwicklungen im Bereich anorganischer Bindersysteme. Giesserei-Praxis 1-2/2014 O: 20–25.
- [7] VDG-Merkblatt P73; Bindemittelprüfung (1996)
- [8] VDG-Merkblatt P74; Bindemittelprüfung (2000)
- [9] *B. Stauder, H. Kerber, P. Schumacher*: Foundry sand core property assessment by 3-point bending test evaluation, Journal of Materials Processing Technology, 2016 június
- [10] *W. Witt, U. Köhler, J. List*: Hochgeschwindigkeits Bildanalyse zur Charakterisierung von Partikelgröße und Form
- [11] VDG-Merkblatt P72: Bindemittelprüfung
- [12] https://regi.tankonyvtar.hu/hu/tartalom/tamop412A/2010-0012_polimerek_merestechnikaja/ch05s04.html
- [13] http://www.substech.com/dokuwiki/lib/exe/fetch.php?w=&h=&cache=cache&media=3-point_flexure.png
- [14] *Foseco*: Anorganische Formstoffbindemittel-Silikate
- [15] *E. Flemming, W. Tilch*: Formstoffe und Formverfahren, Deutscher Verlag für Grundstoffindustrie, Leipzig, Stuttgart, 1993