

Gyantakötésű formák aktív hűtése vastagfalú öntvények hűlési idejének csökkentésére az öntvényminőség romlása nélkül

Az öntödéktől egyre nagyobb szerkezeti elemek gyártását igénylik, növekvő falvastagsággal, kitűnő minőségben. Ezek a követelmények az öntvények dermedési idejét és így a szükséges hűlési idejét is növelik. A dermedési és a hűlési lépés így döntő a darabok átfutási idejére nézve és közvetlenül hat az árakra és a kapacításra.

Az IfG (Öntészeti Intézet) Düsseldorfban ezért dolgozott egy projekten leöntött, hidegen szilárduló, gyantakötésű formákba öntött vastagfalú öntvények hűlési idejének csökkentésére a formák felső oldalának vizes öntözésével. Vizsgálták a vízesedés hatását a formaalapra és a formaanyagokra, tekintettel a víz mozgására a forma anyagában és meghatározták a száraz és a nedves formaanyagok termofizikai paramétereit. Matematikai modellt dolgoztak ki az aktív hűtés során a formában végbemenő folyamatok szimulálásához. Bizonyítható, hogy az öntvény szükséges hűlési ideje a formában 30%-ig terjedő mértékben csökkenthető aktív hűtéssel, az öntvény tömegének legfeljebb 15%-át kitevő vízzel, a homok/vas aránytól függően. Az aktív hűtés nem rontotta jelentősen a mikroszerkezetet és a tulajdonságokat. A kibocsátási helyzet összehasonlító ellenőrzése azt mutatta, hogy az O₂, CO, TOC és BTEXN kibocsátása nem nőtt, de fokozódott a vízgőz és a kéntartalmú anyagok kibocsátása, kondenzátumként enyhén savas oldat képződött. Mindebből intézkedéseket dolgoztak ki az aktív hűtés alkalmazására a gyakorlatban.

Bevezetés

Az öntvény tömegétől, az öntési hőmérséklettől, a szükséges ürítési hőmérséklettől és az öntvény geometriájától függően, az öntvényeknek különböző hűlési ideje van a formában. Nagy öntvények esetében ez a paszszív gyártási lépés a gyártási idő 50-70%-át igényli. Ezért a gyártó alapterület nagy részét köti le a formák tárolása a hűlés alatt. Az öntvények formában való hűlése időtartamának a csökkentése így az öntöde hatékonyságának (kapacitás, egységköltség) közvetlen javítását eredményezi.

A hűlési idő csökkentésének egyik változata az egész öntvény/forma rendszer aktív hűtése a forma felső oldalának ciklikus vizes öntözésével az öntvény megdermedése után.

Ennek az eljárásnak lényeges előnyei: az egyszerű kezelés, a minimális műveleti költségek és a csekély beruházás.

A technológia céltudatos alkalmazásának előfeltételei a kvantitatív tervezési kritériumok az öntözés paramétereinek (a vízmennyiség, a hőmérsékleti intervallum, az öntözési ciklus) a meghatározásához, a geometriai és a technológiai paramétereiktől (öntési helyzet, homok/vas arány) függően. A szimulációs eszközök képesek optimálisan támogatni az öntözési paraméterek meghatározását. Az aktív hűtés szimulálásához adatok szükségesek a formában végbemenő fizikai folyamatokról.

Az ilyen típusú aktív hűtés különböző hűlési sebességeket idéz elő az öntvény különböző keresztmetszetei-

ben. Az öntvény különböző részei közti, ideiglenesen nagy hőmérséklet-különbségek az öntvény maradó feszültségeinek növekedéséhez és következőképpen torzulásokhoz vagy akár repedésekhez, valamint más fémes mátrix (ferrit/perlit arány) képződéséhez vezethetnek. Ezenkívül, a túlzott nedvességtartalom a használt formázóanyagban jelentős probléma egy hidegen kötő műgyantás homokokat használó nagy öntöde termelési folyamatában. A víz alkalmazása az öntödeben és az ezzel járó gőzkibocsátás miatt ennek a technológiának a lehetséges következményeit a munkakörülmények és a környezetvédelem szempontjából is elemezni kell.

A projekt célja olyan technológia létrehozása volt, amely reprodukálhatóan kezelhető a gyakorlatban, minimális befektetést igényel a megvalósításhoz és ártalmatlan mind az öntvényminőségre, mind a környezeti biztonságra nézve.

A formázóanyag termofizikai paramétereinek mérései

Kétféle formázóanyag (regenerált homokkal és nélküle) termofizikai paramétereit határozták meg a hőmérséklet függvényében, mérési módszerrel, a belső vizsgálatokon kívül. A méréseket meghatározott hőfoktartományban végezték száraz, nedves és átvizesedett állapotban. A formázóanyag telítéséhez szükséges vízmennyiségeket elővizsgálatokkal határozták meg az IfG-nél. Az „átvizesedett” formázóanyag méréseit vízzel telített, hidegen kötő gyantás homokon végezték; a „nedves” formázóanyag fele annyi vizet kapott, mint amennyi a telítéshez szükséges. A mérések lényeges eredményei az alábbiak:

- A fajlagos hőkapacitás a hőmérséklettel nő, míg elér egy maximális hőmérsékletet közelítően 576 °C-nál a száraz formázóanyagban. Ez az

W. Stets és U. Petzschmann a düsseldorfi (Németország) Institut für Gießereitechnik (IfG) munkatársai. Előadásukért a 71. Öntészeti Világkongresszuson (Bilbao, 2014) „A fejlett, fenntartható öntöde” szekcióban nívódíjat kaptak.

endotermikus hatás az α - β kvarcátalakulás.

- Erős endotermikus hatás lép fel a „nedves” és az „átvizesedett” formázóanyagokban már közelítően 100 °C-nál, ami a víz elpárolgásán alapul.
- Mivel a hővezetés egyenesen arányos a fajlagos hőkapacitással, a hőkapacitás hirtelen növekedése közvetlenül hat a formázóanyag hővezetésére.
- A nedvességtartalom növekedésével és a melegedés gyorsulásával a víz párolgási csúcsértéke nagyobb hőmérséklet felé mozdul el. Ezt a folyamatok tehetetlensége okozza.
- A víz párolgási sebessége is nő a melegedési sebességgel.

Vizsgálatok a víznek a formázóanyagban és a formában tanúsított viselkedésére vonatkozóan

A formában, a felső oldal ciklikus öntözéses aktív hűtése során végbemenő folyamatok megértése és szimulációja tudást igényel egyrészt a víz viselkedésére, másrészt a formázóanyag jellegének vele járó változásaira vonatkozóan. Ez okból vizsgálták a víz behatolását és haladását különböző formázóanyagokban, különböző, saját fejlesztésű vizsgáló eszközökkel, hideg állapotban és hőterhelés alatt. Hat formázóanyagot vizsgáltak, kettőt 100% 0,32 mm-es (AFS 45) és 0,24 mm-es (AFS 59) átlagos szemcseméretű kvarchomokkal, valamint négyet 60 és 90% regenerátummal. A különböző vizsgálatokhoz technológiai próbákat, szabványos vizsgálati próbatesteket és hajlító vizsgálati rudakat készítettek mindegyik formázóanyagból. Az összes releváns műszaki-technológiai paramétert meghatározták az összes felhasznált formázó alapanyagokból és előállított formázókeverékekből.

A szabványos próbatestek vizsgálatán kívül saját fejlesztésű fél cső mintákon (R=75 mm, H=200 mm) is végeztek kísérleteket. A hőmérséklet és a nedvességtartalom meghatározásához érzékelőket helyeztek el öt helyen a minták központi tengelyében. A legalsó mérési pozíció a minta alapjától 15 mm-re helyezkedett el. Négy további mérési hely volt 30 mm-rel a legalsó érzékelő felett. Az ebbe a formába vitt formázóanyag-oszlop 150 mm magas volt. „Forró vizsgálatához” ezt a mintát

állandó hőforrásra helyezték. Vízet vezettek a formázóanyag felszínére, hogy meghatározzák a mozgási viselkedését. Pótlólagos nyomásérzékelőket is elhelyeztek, hogy megfigyeljék a gőzt a forró vizsgálat alatt.

Ezen felül, kocka alakú mintákat öntöttek, hogy vizsgálják a víz és a fejlődő gőz háromdimenziós mozgási viselkedését az aktívan hűtött öntőformában. Ennek során, megfelelően öt hőmérséklet- és nyomásérzékelőt formáztak be felül, oldalt és a kocka alakú öntvény alatt.

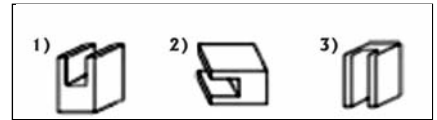
Az elővizsgálatokból a következő fő eredményeket nyerték:

- a 100% kvarchomokból álló formázóanyag közelítően 0,5 g vizet tud abszorbeálni cm³-enként;
- a regenerátum alapú formázóanyag csak közelítően 0,4 g vizet tud abszorbeálni cm³-enként;
- a formázóanyag vízfelvétele lényegesen függ a gázáteresztésétől;
- a vizes telítés és párolgás folyamatai főként a formaüreg felett mennek végbe;
- sem a víz, sem a gőz nem hatol be az alsó formafélbe és csak szórványosan a formaüreg oldalsó részeibe;
- a gőz gyorsan távozik és főként a forma felső oldalán keresztül.

A meghatározott paraméterek szűkségesek voltak a szimuláció általános feltételeinek a meghatározásához, valamint a matematikai modell paramétereikhez. A paraméterek meghatározása elővizsgálatok és mérések révén előfeltétele volt a leöntött és vízzel öntözött, hidegen kötő műgyantás formában végbemenő bonyolult folyamatok matematikai leírásának és szimulációjának.

Gyakorlati kísérletek

U-alakú vizsgálati egységeket (1. ábra) öntöttek három különböző öntési helyzetben és különböző homok/vas aránnyal, az IfG vizsgáló létesítményében végzett kísérletek során. A formákat és a magokat furángyantas formázóanyagból állították elő, 100% kvarchomokkal (közepes szemcse nagysága: 0,32 mm (AFS 45)). Megfelelő intézkedésekkel biztosították, hogy az egységek elhelyezkedése a formában, valamint a Ni-Cr-Ni hőelemeké a formaüregben azonos legyen az öntési helyzetre vonatkozó összes



■ 1. ábra. A próbatest öntési helyzetei

kísérletben. Egy-egy szürke (GJL) és gömbszén (GJS) öntöttvas minőség volt az öntött anyag, míg minden lényeges vizsgálati paramétert – így az adagösszetételt, a vegyi összetételt és az öntési hőmérsékletet – állandó értéken tartották. A formák ciklikus vizes öntözéséhez az IfG-nél a vezérlést is tartalmazó eszközt terveztek.

Az IfG vizsgáló létesítményében, három vizsgálati sorozatban, összesen 27 gyakorlati kísérlet során a következő paramétereket változtatták:

- az öntvény helyzete a formában (1. ábra);
- a homok/vas arány (1,48-tól 3,19-ig);
- a formázóanyag rétegének magassága a minta felett (100 mm és 200 mm);
- az öntött anyag (GJL és GJS);
- az öntözés hőmérsékleti intervalluma (1150-800 °C és 800-400 °C);
- a hűtési ciklus (25 és 50 perc);
- a vízmennyiség (az öntvény tömegének 7-16%-a);
- a fúvókák száma (1 és 4).

Hűlési görbéket vettek fel különböző helyeken az öntvényben, az öntési helyzettől függően. Ezeket összehasonlították a megfelelő azonos mérési helyek között, valamint a megfelelő referenciaöntés hűlési görbéivel, aktív hűtés alkalmazása nélkül. Formázóanyag-mintákat vettek az ürités alatt a felső és az alsó formafél különböző helyeiből a maradó nedvességtartalom megállapításához. Ürités után a vizsgálati öntvények nyugodt levegőn hűltek szobahőmérsékletig. Tekintettel a maradó feszültség későbbi méréseire, a darabokat szükségtelen sörétezésnek és megmunkálásnak nem vették alá.

Az aktív hűtésre tekintettel, vizsgáltak más hatást gyakorló tényezőket is (például a fúvókák számát, a formázóanyag rétegmagasságát az öntvény felett). Kiválasztott kísérletekben, köztük a referenciakísérletben, járulékos H₂O, CO, SO₂, O₂, TOC (Total Organic Carbon azaz teljes szerves karbon), valamint a BTEXN (Benzol, Toluol, Ethylbenzene, Xylene, Naphta-

lene) kibocsátását is mérték.

A 2. ábra az öntözőegységet mutatja, amely lapra szerelt tápegységből, vezérlő modulból, tartályból, valamint öntözőhálózatból áll, flexibilis csövekkel és fűvőkákkal.

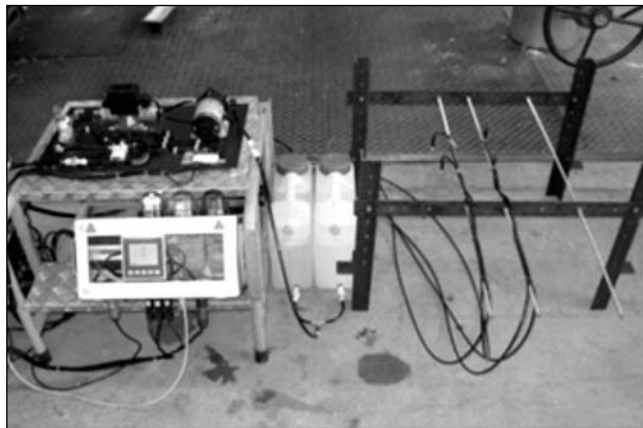
A következő vizsgálatokat az öntvények különböző részeiben végezték, amelyek a gyártás során a felső és az alsó formafélben helyezkedtek el:

- maradó feszültségi mérések a darab falvastagsági átmeneteiben furatmódszerrel;
- optikai geometriai mérések 15 kiválasztott öntvényen;
- Brinell-keménységmérések;
- grafitképződés;
- a fémes mátrix képződése.

A gyakorlati kísérletek eredménye

A formák és az öntvények hűlése

A 3. ábra mutatja az aktív hűtéshez használt vízmennyiség erős hatását. A görbe mutatja a végső hőmérsékletet



■ 2. ábra. Öntözőegység a gyakorlati kísérletekhez az IfG vizsgáló létesítményében

a darabok termikus középpontjában 19 órányi hűlés után, valamint az időt, amelynél az öntvény elérte a felvett 500 °C-os üritési hőmérsékletet. Mivel ez a gyakorlat szempontjából érdekes technológiai célérték, a további értékeléseket erre az eredményre korlátozták.

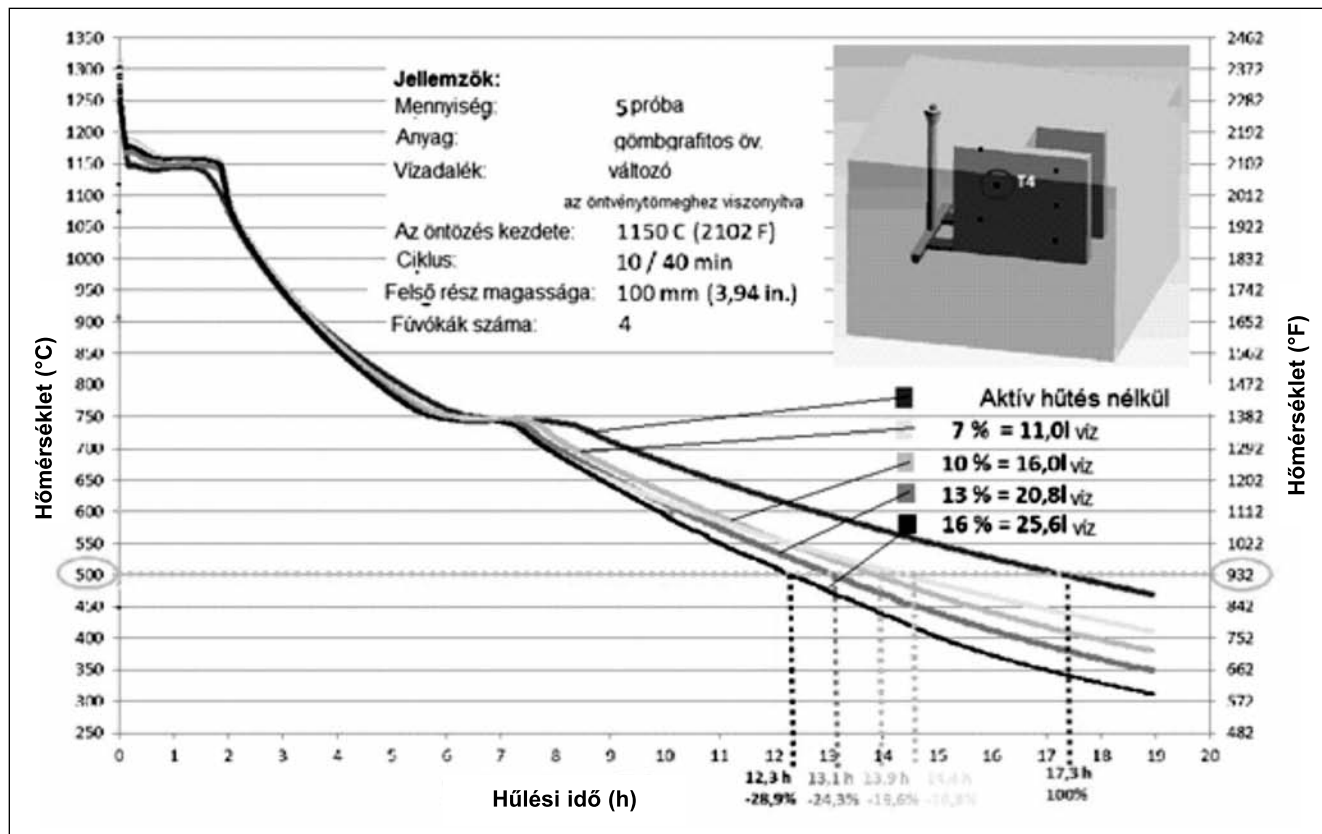
Világos, hogy az öntvény szükséges formában tartási idejének közelítően 15%-os csökkentését az öntvénytömeg 7%-át kitevő, viszonylag kis mennyiségű vízzel érték el.

A 4. ábra mutatja a homok/vas

arány hatását a meghatározott hűlési időmegtakarításhoz szükséges vízmennyiségre, 1150 °C-nál kezdett öntözés, 10 pernyi esőzésből és 40 perc öntözés nélküli időből álló öntözési ciklus mellett, az összes azonos homok/vas arányokhoz az adott öntési helyzetben.

Nyilvánvaló, hogy az elérhető időmegtakarítás a vízmennyiséggel nő. Másrészt, a meghatározott időmegtakarításhoz szükséges vízmennyiség a homok/vas arány növekedésével csökken. Nagyobb formázóanyag-mennyiség kezdetben nagyobb hőmennyiséget képes elnyelni. Ez a hő gyorsan csökkenthető a formázóanyagba bevitt vízzel.

A következő összefüggés a hűlés időtartamának 500 °C-ra csökkentéséhez, a vízmennyiségtől és a homok/vas aránytól függően, a formában, a dermedés befejezése után (hozzávetőleg 1150 °C-ról), 50 perces ciklusidővel végzett aktív hűtés esetére vonatkozó eredmény:



■ 3. ábra. GJS (gömbszemes) vasöntvények termikus középpontjának hűlési görbéi

$$\Delta t_{500\text{ }^{\circ}\text{C-hoz}} [\%] = -8,88 + 1,854m_{\text{v\u00edz}} [\%m_{\text{\u0151nt\u00e9ny}}] + 3,94 \text{ homok/vas}$$

$$R^2=92,4\%, R^2_{\text{adj.}}= 91,5\%, \quad =3,26 \quad (1)$$

A k\u00f6vetkez\u0151 \u00f3sszef\u00fcgg\u00e9s \u00e9rv\u00e9nyes ismert homok/vas ar\u00e1ny\u00e1n\u00e1l annak a v\u00edzmennyis\u00e9gnek a meghat\u00e1roz\u00e1s\u00e1hoz, amely sz\u00fcks\u00e9ges az \u0151nt\u00e9ny form\u00e1ban h\u00fat\u00e9se idej\u00e9nek a kiv\u00e1nt cs\u00f3k\u00e9nt\u00e9s\u00e9hez:

$$m_{\text{v\u00edz}} [m_{\text{\u0151nt\u00e9ny}}\%] = +5,02 + 0,49 \Delta t_{500\text{ }^{\circ}\text{C-hoz}} [\%] - 1,87 \text{ homok/vas}$$

$$R^2=91,6\%, R^2_{\text{adj.}}= 90,6\%, \quad =1,68 \quad (2)$$

Az 5. \u00e1bra a legnagyobb h\u00f6m\u00e9rs\u00e9klet-k\u00fcl\u00f6nbs\u00e9get \u00e1br\u00e1zolja a kísérleti \u0151nt\u00e9nyekben a 2. \u0151nt\u00e9si (v\u00edzszintes) helyzetben, a fel\u00fal elhelyezett v\u00e9kony fal \u00e9s a termikus k\u00f6z\u00e9ppont k\u00f6z\u00f6tt. Az id\u0151tengely alatt l\u00e1that\u00f3 nyilak az id\u0151szektorokat jel\u00f6lik, amelyek alatt v\u00e9grehajtott\u00e1k a k\u00fcl\u00f6nb\u00f6z\u0151 vizsg\u00e1lati csoportok \u0151nt\u00f6z\u00e9s\u00e9t.

A h\u00fat\u00f3hat\u00e1sra vonatkoz\u00f3 eredm\u00e9nyek mellett a k\u00f6vetkez\u0151 eredm\u00e9nyeket \u00e9rt\u00e9k el az IfG vizsg\u00e1lati telep\u00e9n:

- a h\u00f6m\u00e9rs\u00e9klet-k\u00fcl\u00f6nbs\u00e9g az \u0151nt\u00e9nyben az eutektoidos dermed\u00e9s szektor\u00e1ban, k\u00f6zel\u00edt\u0151en 750 \u00b0C-n\u00e1l

\u00e9ri el a maximum\u00e1t;

- a maximum helye függ az akt\u00edv h\u00fat\u00e9s param\u00e9tereit\u0151l;
- az id\u0151leges legnagyobb h\u00f6m\u00e9rs\u00e9klet-k\u00fcl\u00f6nbs\u00e9g az \u0151nt\u00e9nyben az akt\u00edv h\u00fat\u00e9s k\u00f6vetkezt\u00e9ben n\u0151;
- a legnagyobb h\u00f6m\u00e9rs\u00e9klet-k\u00fcl\u00f6nbs\u00e9g az \u0151nt\u00e9nyben a ciklusid\u0151 cs\u00f3k\u00e9nt\u00e9s\u00e9vel n\u0151;
- a nyugalmi f\u00e1zisokban \u00e9s az akt\u00edv h\u00fat\u00e9s befejez\u00e9se ut\u00e1n a h\u00f6m\u00e9rs\u00e9klet az \u0151nt\u00e9nyben kiegyenl\u00edt\u0151dik, az \u0151nt\u00f6z\u00e9si ciklus \u00e9s az akt\u00edv h\u00fat\u00e9si id\u0151tartam optim\u00e1lis koordin\u00e1ci\u00f3ja minimaliz\u00e1lja az \u0151nt\u00e9ny marad\u00f3 fesz\u00falts\u00e9g\u00e9t;
- az \u0151nt\u00e9ny anyaga (GJL/GJS) nem hat ugyanolyan \u0151nt\u00e9ny h\u00fal\u00e9si sebess\u00e9g\u00e9re ugyanolyan form\u00e1ban;
- az 500 \u00b0C-os h\u00f6m\u00e9rs\u00e9kletet 9%-kal gyorsabban \u00e9rt\u00e9k el a kísérletek sor\u00e1n egy f\u00falv\u00f3k\u00e1val, mint n\u00e9gygel. Az akt\u00edv h\u00fat\u00e9s kevesebb f\u00falv\u00f3k\u00e1val hat\u00e9konyabb, mivel a v\u00edznek kisebb r\u00e9sze k\u00e9pez aeroszolt;
- az akt\u00edv h\u00fat\u00e9snek nincs hat\u00e1sa a grafitk\u00e9pz\u0151d\u00e9sre;
- lemezgrafitos (GJL) \u0151nt\u00e9nyekben az akt\u00edv h\u00fat\u00e9snek nincs jelent\u0151s hat\u00e1sa a f\u00e9mes m\u00e1trixra;
- G\u0151mbgrafitos (GJS) \u0151nt\u00e9nyek eset\u00e9ben a f\u00e9mes m\u00e1trix ferrit-tartalma

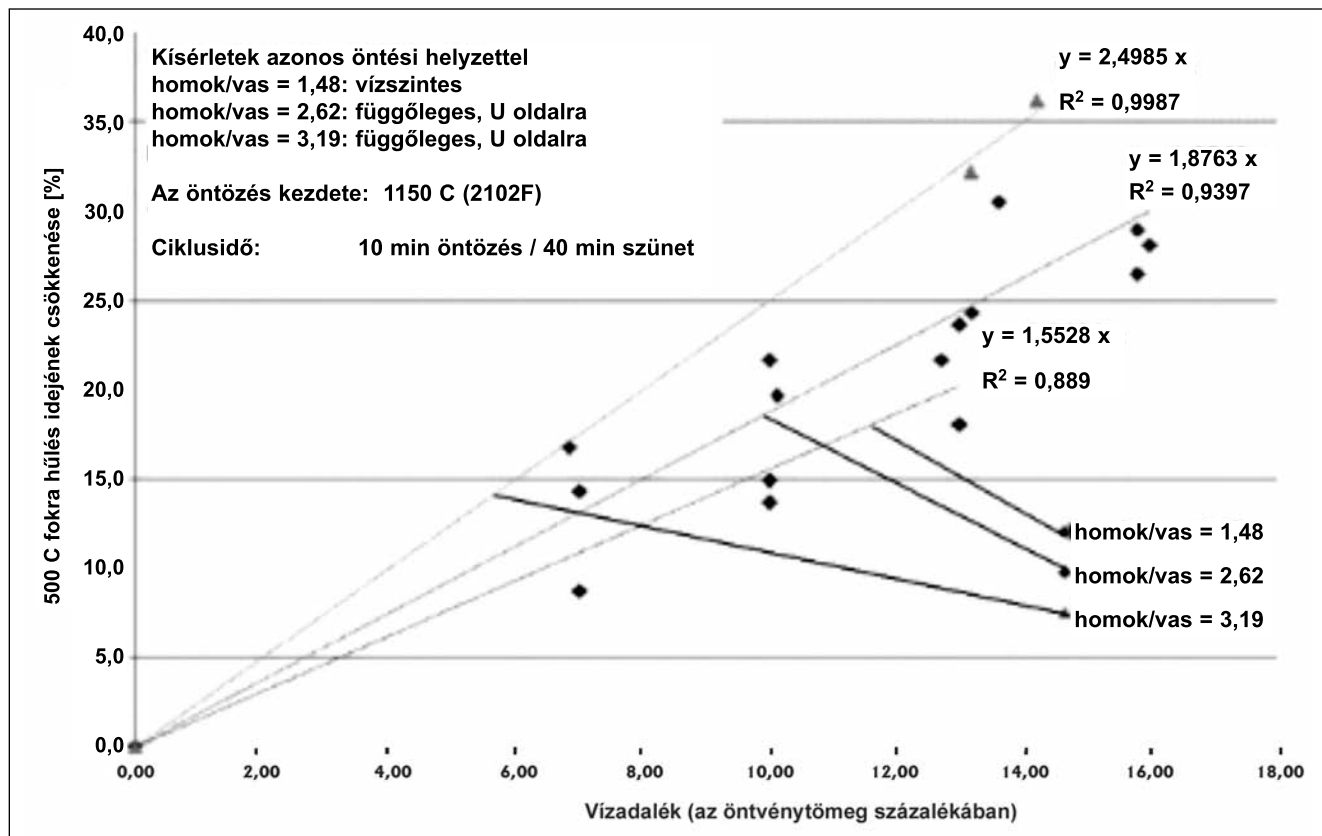
cs\u00f3k\u00e9nt, amint akt\u00edv h\u00fat\u00e9st alkalmaznak. A ferrit-tartalom cs\u00f3k\u00e9nt\u00e9se a form\u00e1ban fel\u00fal elhelyezked\u0151 r\u00e9szekre korl\u00e1toz\u00f3dik, \u00e9s 10% k\u0151r\u00fal, m\u00edg az alkalmazott v\u00edzmennyis\u00e9g nem relev\u00e1ns. Ez 15 HB-ig terjed\u0151 m\u00e9rt\u00e9kben n\u0151veli a helyi kem\u00e9nys\u00e9get;

- Az akt\u00edv h\u00fat\u00e9s \u00e1ltal\u00e1nos hat\u00e1s\u00e1t az \u0151nt\u00e9ny marad\u00f3 fesz\u00falts\u00e9g\u00e9re nem tudt\u00e1k bemutatni az IfG vizsg\u00e1l\u0151 telep\u00e9n v\u00e9gzett kísérletekben. Az akt\u00edv h\u00fat\u00e9ssel \u00e9s n\u00e9lk\u00fal\u00e9l el\u0151\u00e1ll\u00edtott kísérleti \u0151nt\u00e9nyek k\u00f6z\u00f6tt az optikai m\u00e9r\u00e9sek sem jeleztek geometriai k\u00fcl\u00f6nbs\u00e9geket.

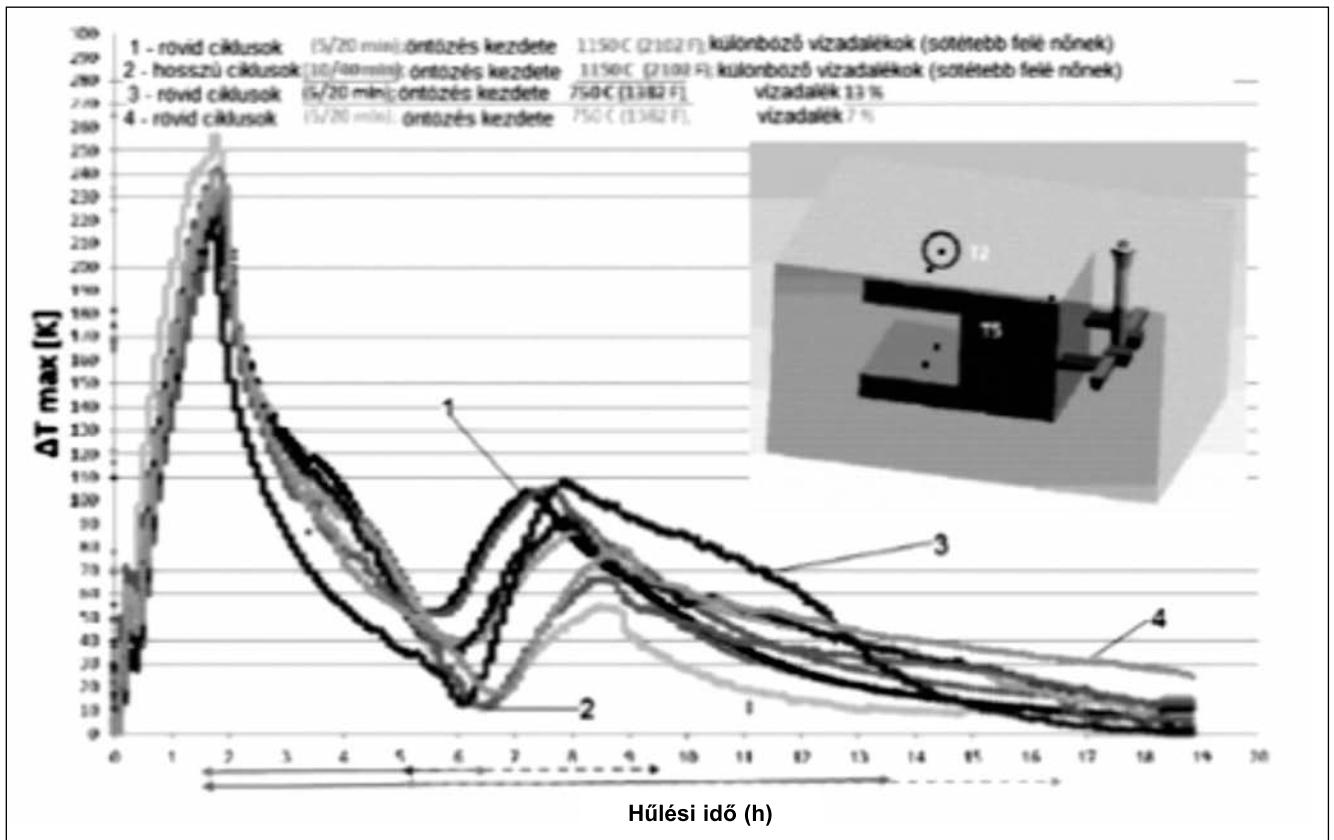
Marad\u00f3 nedvess\u00e9g a form\u00e1z\u00f3anyagban

Azon a t\u00e9nyen k\u00falv\u00fal, hogy a marad\u00f3 nedvess\u00e9gtartalom a form\u00e1z\u00f3anyagban n\u0151vekszik az akt\u00edv h\u00fat\u00e9sre haszn\u00e1lt v\u00edz n\u0151vekv\u0151 alkalmaz\u00e1s\u00e1val, nem volt kimutathat\u00f3 függ\u0151s\u00e9g az akt\u00edv h\u00fat\u00e9s m\u00e1s param\u00e9tereit\u0151l, amilyen az intervallum \u00e9s a ciklus.

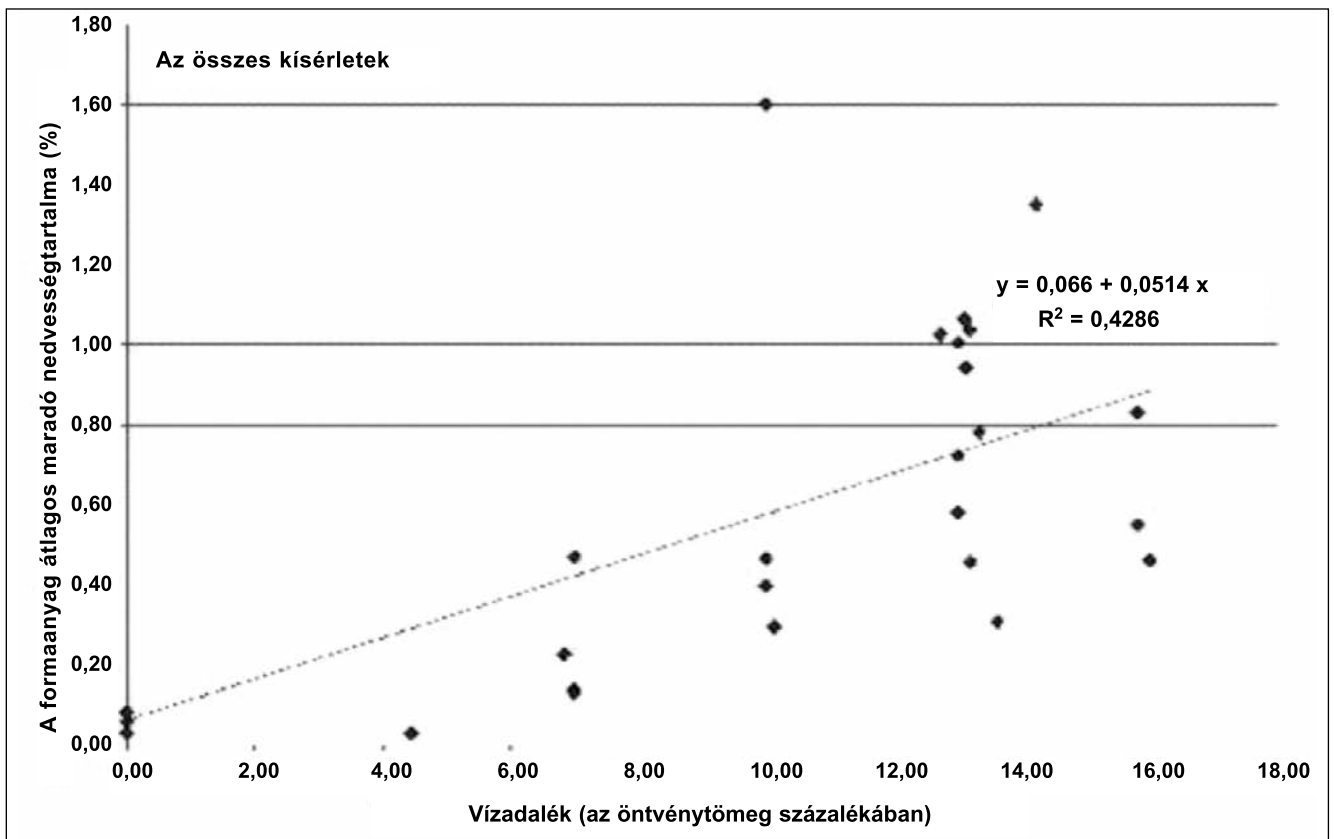
Tendenciaszer\u00fal\u00e9n, a marad\u00f3 nedvess\u00e9g nagyobb a fels\u0151 r\u00e9szben. Nedvess\u00e9gt\u00e1rol\u00f3kat tal\u00e1ltak azonban az oszt\u00e1s terület\u00e9n \u00e9s az als\u0151 formaf\u00e9lben is. A nedvess\u00e9gt\u00e1rol\u00f3k



■ 4. \u00e1bra. A h\u00fal\u00e9si id\u0151 cs\u00f3k\u00e9nt\u00e9se a homok/vas ar\u00e1ny \u00e9s a v\u00edzmennyis\u00e9g függv\u00e9ny\u00e9ben

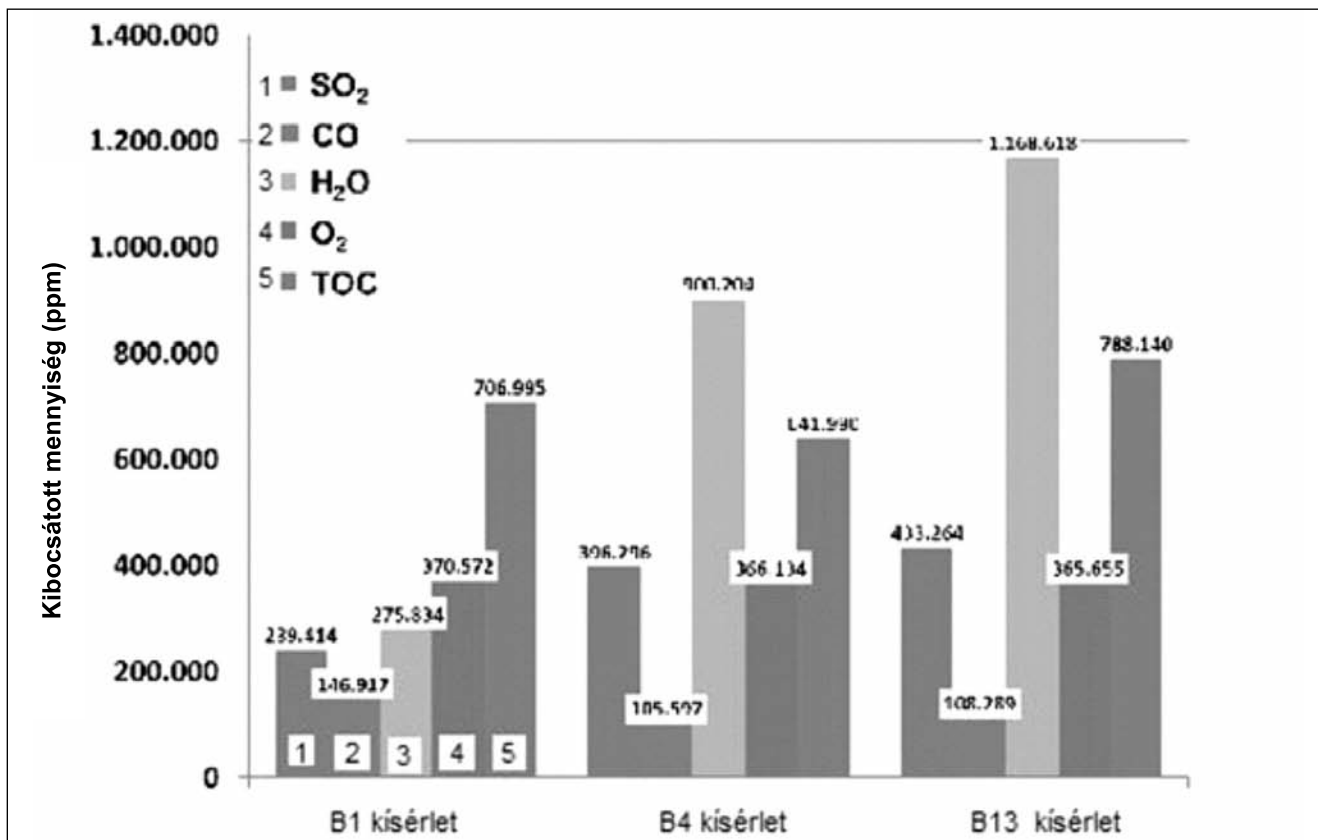


■ 5. ábra. A legnagyobb hőmérséklet-különbségek az A vizgálsorozat öntvényeiben



■ 6. ábra. A formázóanyag maradó nedvességtartalmának átlagos értéke a vízmennyiségtől függően

helye függ a kondenzációs zónák reprezentatív a forma teljes formázó- bízható eredményhez a formázóanyag képződésétől a formában, és nem anyag mennyiségére nézve. Meg- teljes mennyiségének a nedvességtar-



■ 7. ábra. Kibocsátás az öntés utáni 75. és 400. perc között, 90 perc után kezdett öntözéssel

talmát kell meghatározni, ami rendkívüli műszaki erőfeszítést igényel.

Bárhogyan is, az aktív hűtéshez alkalmazható legnagyobb vízmennyiség a gyakorlati kísérletek alapján könnyen megállapítható. A 6. ábra mutatja az összefüggést a maradó nedvességtartalom és a vízmennyiség között, függetlenül az öntözési paramétereitől és a homok/vas aránytól.

Az öntvény tömegének közelítően 15%-át kitevő vízmennyiség átlagosan 1%-ig terjedő maradó nedvességtartalmat eredményez, amelyet a forma hat helyén mértek. Ezenkívül, a következő megállapítások tehetők:

- az aktívan nem hűtött formázóanyag átlagos maradó nedvességtartalma közelítően 0,65%;
- a maradó nedvességtartalom az alkalmazott vízmennyiséggel nő;
- a maradó nedvességtartalom a felső formafélben nagyobb, mint az alsóban.

Az IfG kísérleti eredményeit az ipari próbák nagyjából megerősítették. Egy közelítően 15 t tömegű GJS öntvény több mint 13 órával korábban érte el az 500 °C-os hőmérsékletet (20,6%-os időtartam-csökkenés). Az 1. egyenlet számított időmegtakarítás 19,5%.

Ezenfelül világossá vált, hogy nedvesség az aktívan nem hűtött formában is összegyűlik. A felső oldal öntözése ellenére, a felső formafélben csak enyhén növelt nedvességi értékeket mértek. Nagyon nagy víztartalmat mértek azonban két leolvasási pontban az osztás területén. Tekintve a formázóanyag teljes mennyiségét, az ilyen helyi, összegyűlt nedvesség marginálisnak tekinthető.

A formázóanyag nedves csomói az ürítés és a még meleg formázóanyagban való további haladásuk alatt megszáradnak, és így nem akadályozzák a formázóanyag-szállító rendszert.

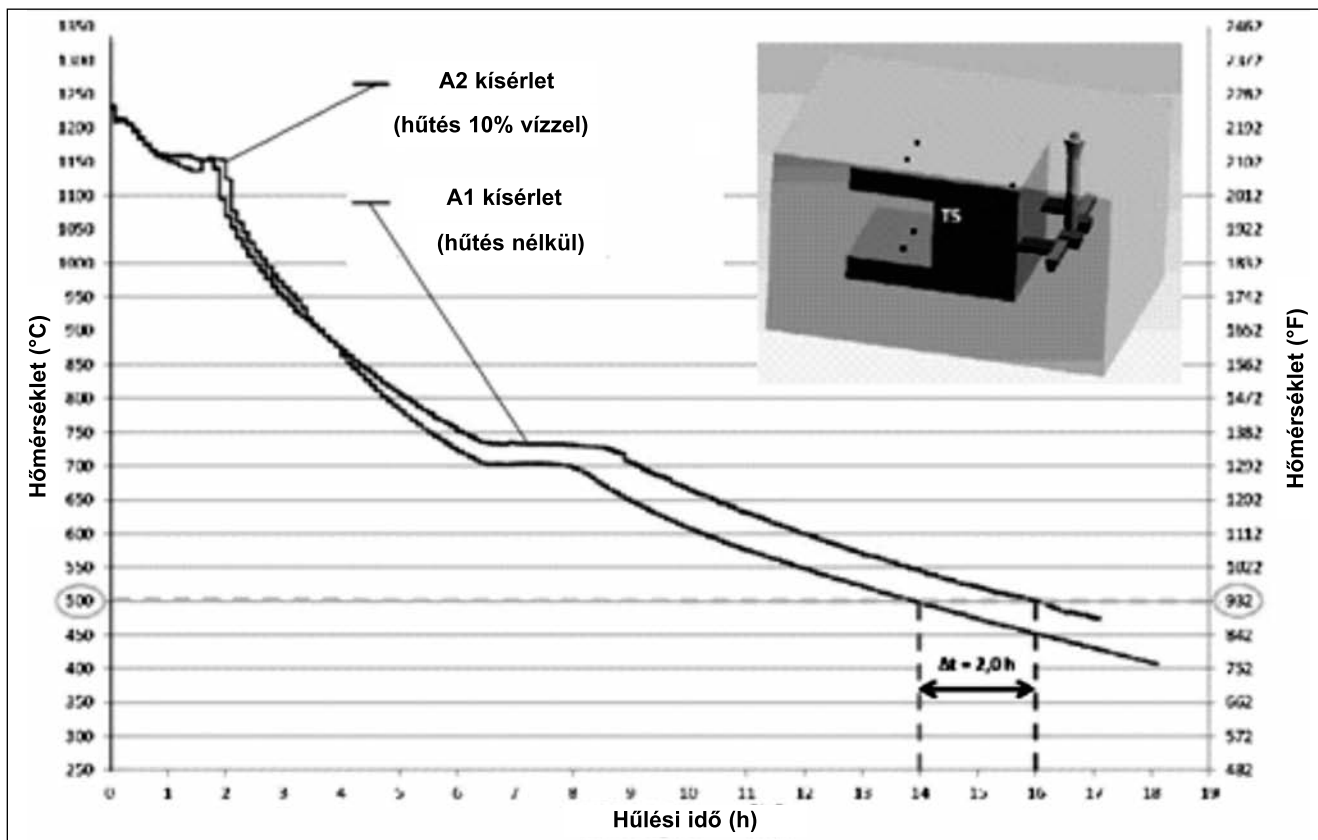
A keménységmérések és a metallográfiai vizsgálatok alátámasztották az IfG vizsgáló telepén végzett kísérletek észleléseit.

A hűtött öntvények felső részeiben a maradó feszültség közel a kétszerese volt a nem hűtött darabénak. Ennek megfelelően, aktív hűlés esetén növelt maradó feszültségi szintek várhatók az öntvénynek a felső formafélben elhelyezkedő részeiben. A maradó feszültség eltérése az öntvény magasságával nő. Lapos, kompakt öntvényekben a maradó feszültségnek csak jelentéktelen növekedése várható.

Emisszió

Az aktív hűtés kibocsátási helyzetére gyakorolt hatásának az értékelése céljából egyes kísérletekben emissziós méréseket végeztek. Az öntés utáni 75. és 400. perc között mért kibocsátást a 7. ábra mutatja. A B1 kísérlet hűtés nélküli referenciavizsgálat. A B4 és B13 kísérletekben öntés után 90 perccel öntözést indítottak. A B13 kísérletben a hűtő közeghez nátriumhidroxidot adagoltak.

Az oxigén és az összes szerves karbon (TOC) kibocsátására az aktív hűtés nem hat. A CO-mérések aktív hűtés esetén közelítően 30%-os csökkenést mutattak, ami azonban nem tekinthető kémiaiilag valószínűnek. Ezért a mérési eredmények ellenére, állandó CO-kibocsátást feltételeztek. Mint várható volt, az aktív hűtés hatására a gőztartalom jelentősen megnő. Az SO₂-kibocsátás kétszeresnek látszik, ami kémiaiilag szintén valószínűtlen. Mivel savas kondenzátum (pH 2,5–3,5) is volt, azt állapították meg, hogy az SO₂-ként meghatározott kibocsátás H₂O által indukált keresztérzékenység hatása volt. A színképelemzés azt jelezte, hogy az SO₂ és a



■ 8a. ábra. Az A1 és A2 kísérletek T5 pontban mért hőmérsékleti görbéinek összehasonlítása

H_2SO_4 csúcsok részlegesen átlapolódtak. Ez okból kiegészítő kibocsátási méréseket végeztek a gázok előkezelésével (szárításával), a gázelemzőbe való belépésük előtt. Ezek a mérések nem mutattak növelt SO_2 -szintet. Ez azt bizonyítja, hogy az aktív hűtés következtében kénsav kibocsátása történik.

A hűtő közeg hígítása nátrium-hidroxiddal a B13 kísérletben a kondenzátum pH-értékének 4,5-re való növekedéséhez vezetett. A NaOH-adaléknak még hipersztöchiometrikus aránya esetén sem értek el teljes semlegesítést. Ez azt jelenti, hogy a gőzben savak és bázisok is vannak, és a semlegesítés csak a kondenzáció után megy végbe. Az öntözés előtt és után megfelelően mintákat vettek a BTEXN-emissziók megállapításához. Az aktív hűtés nem hat a BTEXN-kibocsátásra.

Az aktív hűtés szimulációja

Matematikai modellt dolgoztak ki és dinamikus modellt létesítettek az aktív hűtés alatt az öntőformában végbeműködő termofizikai folyamatok szimulálására. E célra ANSYS FLUENT® CFD

(Computational Fluid Dynamics) szoftvert alkalmaztak. Ez lehetővé teszi a formázóanyagban lévő levegő-, víz- és gőzfázisok leírását az energia, folyamatosság és impulzus egyenlet alapján.

A modellezéshez formázóanyag és öntöttvas zónát határoztak meg. Az öntöttvas zónát (öntvény) hőforrásnak tekintették a szimuláció alatt és a sűrűséggel, a hővezetéssel és a fajlagos hőkapacitással határozták meg. A formázóanyag különböző fizikai tulajdonságú, különböző alkotókból (például homok, kötőanyagok, pórusok) áll és nehezen írható le pontosan. Ez okból a formázóanyag zónát homogén, porózus közegként írják le, bruttó sűrűséggel, porozitással, áteresztő képességgel és hővezetéssel, ehhez a formázó alapanyag és a folyadék részecskék hővezető képességét ismerni kell.

A víz tömegtranszport miatti fázisátmenetének az egyenletét vették figyelembe, a mért termofizikai formázóanyag-paraméterek (párolgási sebesség) alkalmazásával. Az alkalmazott kondenzációs sebességek korábbi IfG vizsgálatokból származnak. A víz viselkedését a többfázisú számításban figyelembe vették a szoftverben saját kidolgozású szubrutin révén. A mate-

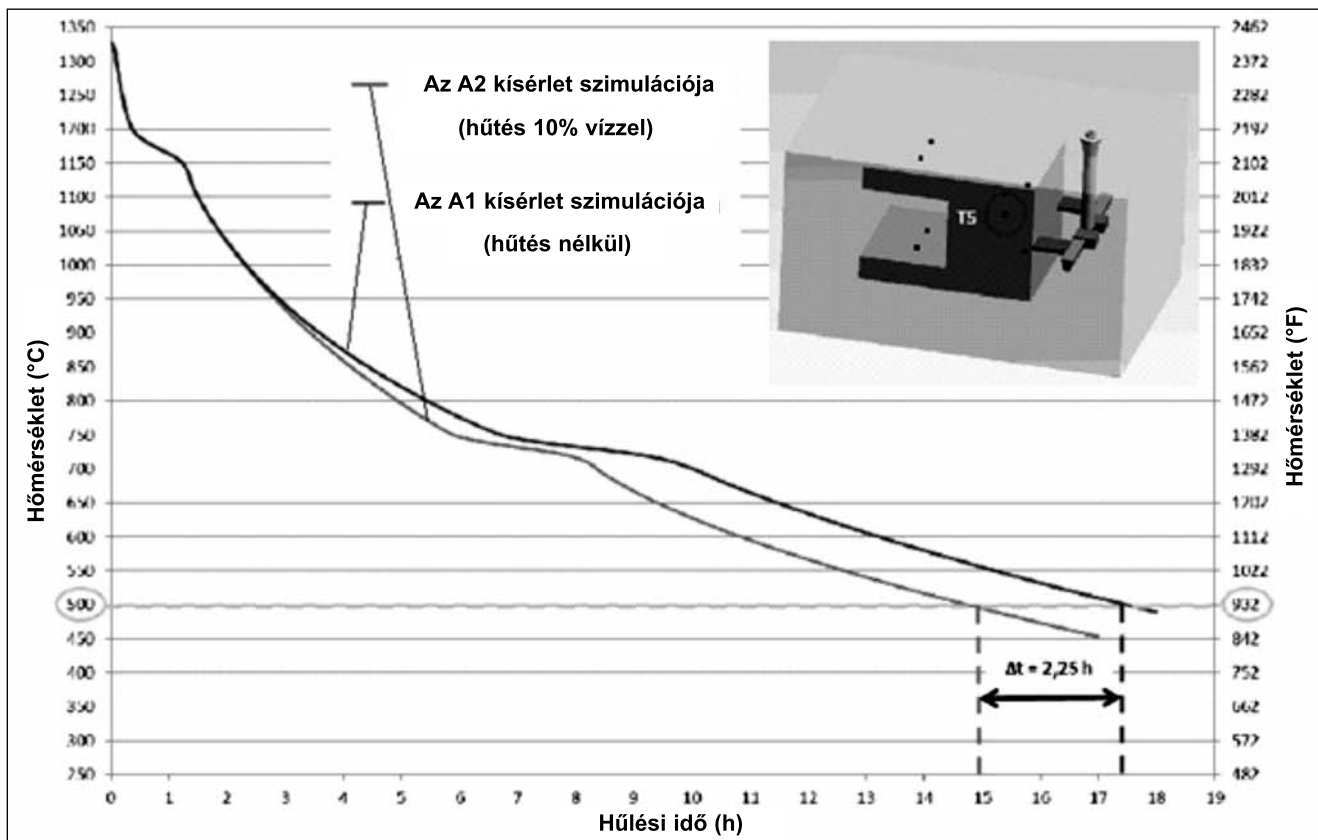
matikai modelleket kezdetben egyszerű 2D geometriával ellenőrizték és később vitték át 3D geometriába. A 3D-s szimuláció eredményeit összehasonlították az IfG vizsgáló telepen végzett kísérletek eredményeivel.

A 8a. ábra összehasonlítja az A1 referenciakísérlet hűlési görbéjét az aktív hűtésű A2 kísérletével a T5 pontra vonatkozóan a termikus központban. A 8b. ábra az ehhez tartozó szimulációs eredményeket mutatja.

A szimuláció a kísérleteknek való jó megfelelést mutat. Az elérhető időmegtakarítás 500 °C-os hőmérséklet eléréséig közelítően 1,5%-os pontossággal szimulálható.

Következtetés és perspektíva

Az öntvény formában tartásának szükséges időtartama jelentősen csökkenthető aktív hűtéssel, a forma felső oldalának vízzel való öntözése révén. A homok/vas aránytól és a víz mennyiségétől függően, a hűlési idő 30%-os mértékig csökkenthető, tekintettel a formázóanyag maradó nedvességtartalmára. A kapacitás közvetlen növelése mellett, ez a csökkentés az átfutási idő rövidítéséhez vezet, csökkentve



■ 8b. ábra. Az A1 és A2 kísérletek T5 pontjára számított hőmérsékleti görbék összehasonlítása

így az egység költségeit is. A hűtőhatást a víz párolgása következtében a formázóanyag gyorsan növekvő hőkapacitása okozza.

Az aktív hűtést az öntvény teljes megszilárdulását követően kell megkezdeni, minimálisra csökkentendő a hőmérséklet-különbséget az öntvényben a hűlés alatt. Az öntözési ciklusnak elég hosszúnak, és a ciklusonként alkalmazott vízmennyiségnek elég csekélynek kell lennie. A hűlési idő elérhető csökkenése és/vagy az alkalmazandó vízmennyiség a homok/vas aránytól függően számítható.

A hűlési idő elérhető csökkenése nő a homok/vas aránnyal és a vízmennyiséggel. A homok/vas arány csökkenése kompenzálható a vízmennyiség növelésével. Az aktív hűtéshez az öntvénytömeg 15%-áig terjedő vízmennyiség használható anélkül, hogy a formázóanyag maradó nedvessége kritikussá válna. A formázóanyag maradó nedvességtartalma hatására vonatkozóan további vizsgálatok szükségesek.

Az aktív hűtés alkalmazása nem hat a grafitképződésre és csak kevésbé hat a mikroszerkezet alakulására. GJS (gömbgrafitos öntöttvas) esetén a

perlit tartalom és a Brinell-keménység enyhén nő. Az aktív hűtés hatását az öntvények maradó feszültségi állapotára nem tudták megbízhatóan meghatározni. Különösen a műveleti kísérletek mutattak a maradó feszültség mérsékelt növekedésére a gyártás során a forma tetejénél elhelyezkedő, nagy függőleges méretű öntvényrészekben. Viszonylag lapos, kompakt öntvényekben nem várható a maradó feszültség jelentős növekedése. Számos darab optikai alakmérései nem mutattak ki torzulásokat. Növelt maradó öntvényfeszültség lehetséges képződésére vonatkozó megbízható megállapításokhoz, különösen valóban nagy öntvények esetén további méréseket kell végezni.

Az aktív hűtés alatt savas gőz válik ki, amely enyhén savas kondenzátumot képez. Ez veszélyezteti az aktív hűtő részlegben foglalkoztatottakat. Másrészt, a kondenzátum az acélszerkezetek, például a tető- és a daruszerkezetek fokozott korróziójához vezet.

A hidegen kötő műgyantás formák aktív hűtése a formák felső oldalának ciklikus vizes öntözésével egyszerű és praktikus technológia, amely minimális befektetéssel megvalósítható. A pro-

jekt eredményei lehetővé teszik a technológia biztonságos alkalmazását, biztosítva az öntvények minőségét és a felhasznált formázóanyag kellően kis maradó nedvességtartalmát. Szervezési, valamint szellőzési és rendszertechnikai intézkedések lehetnek szükségesek a dolgozók, a szerkezeti anyagok és a technológia védelmére. Az eljárás különösen akkor alkalmazható sikeresen, ha a hűtéshez elkülönített terület áll rendelkezésre, ahol az öntözéshez állandó technológiai berendezés állítható be.

A „Forschungsvereinigung Giesse-
reitechnik e. V. (FVG)”, Sohnstrasse 70,
40237 Düsseldorf 16545 N jelű jelen
IGF projektjét támogatta az AiF az
„Industrielle Gemeinschaftsforschung
und – entwicklung” (IGF) (ipari együtt-
működési kutatás és fejlesztés) finan-
szírozási program keretében, a
„Bundesministerium für Wirtschaft und
Technologie” (Szövetségi Gazdasági
és Technológiai Minisztérium) részé-
ről, a Deutscher Bundestag határozata
szerint.

Angolból fordította:

Szende György