

MOLNÁR DÁNIEL

Öntvények visszamaradó öntési feszültségének mérése és szimulációja

A számítógépes szimuláció az utóbbi években a korszerű öntvénygyártás és -tervezés egyre nagyobb mértékben alkalmazott segédeszközévé vált. Jelen munka, amely egy sikeresen megvédett PhD dolgozat összefoglalója, az öntvények visszamaradó öntési feszültségének mérése és szimulációja terén a szerző által elért eredményeket ismerteti.

1. Bevezetés

A költséges kísérletsorozatok lerövidítése ill. mellőzése, valamint a kialakuló hibaokok feltárása érdekében napjainkban már egyre szélesebb körben terjedt el a különféle öntészeti szimulációs programok alkalmazása, melyek segítségével már az öntvénytervezés fázisában tanulmányozhatjuk az öntéskor lejátszódó termikus és mechanikai folyamatokat. Fontos, hogy a szimulációs programokba folyamatosan beépítsük a legújabb kutatási eredményeket, ami folyamatos kutatófejlesztő munkát feltételez.

2. A visszamaradó öntési feszültség mérése

Az öntvényekben a megszilárdulás és a lehülés folyamán feszültségek keletkeznek. Ez a jelenség azzal magyarázható, hogy az öntvények zsugorodnak és bennük hőmérséklet-különbségek alakulnak ki. Ha a keletkezett feszültségek nagyobbak az ötvözet folyási határánál, az öntvényekben képlékeny alakváltozás jön létre, és a méretei megváltoznak. Ha a lehülés folyamán az öntvények képlékeny alakváltozásra nem képes részeiben rugalmas alakváltozás közben belső feszültségek halmozódnak fel, akkor ez a visszamaradó fe-

szültség csökkenti az öntvények szerkezeti szilárdságát. Kedvezőtlen körülmények között (ütés, hirtelen terhelés) a felhalmozódott rugalmas feszültségek előidézhetik az öntvények törését, ugyanakkor a megmunkálás során a feszültségekkel terhelt öntvényeknek változhat a méretük és bekövetkezhet a vetemedésük, deformálódásuk. A felhalmozódott rugalmas feszültségek következtében hosszú idő alatt, kis mértékben változhat az öntvények alakja, és a rugalmas erők által előidézett vetemedés nagymértékben veszélyeztetheti a készre munkált öntvények méretpontosságát [1].

Az öntvényekben kialakuló visszamaradó öntési feszültségek mérése bonyolult és nehezen kivitelezhető feladat. Ezért a törvényszerűségek összefüggésének megállapítására egyszerű próbatesteken végeznek méréseket és gyűjtenek adatokat. Összefüggéseket keresnek az ötvözetek összetételétől függően a várható visszamaradó öntési feszültség, a rugalmas alakváltozás, a vetemedés és a hosszú ideig tartó öntvény-alakváltozás okainak felderítésére. A visszamaradó öntési feszültségek vizsgálatára leggyakrabban alkalmazott technológiai próbatest az ún. szimmetrikus, kettőskeretű rácsok csoportjába tartozó, különféle átmérőjű rudakból álló Bauer-Shipp-típusú feszültségmérő [2, 3].

Kísérleteink során különböző átmérőarányú öntött feszültségmérő próbate-

stet vizsgáltunk. A középső és a szélső rudak átmérője rendre 32-12, 32-20, 42-20, ill. 42-30 mm volt. A próbatesteknek a kémiai összetételét, telítési számát, grafitosodási hajlamát, szakítószilárdságát, keménységét, visszamaradó öntési feszültségét, relatív feszültségét, rugalmassági modulusát, relatív keménységét és relatív szilárdságát mértük, ill. számítottuk. A kísérleti adagokat 50 kg befogadóképességű középfrekvenciás téglés indukciós kemencében olvasztottuk. A forma anyaga minden esetben bentonitos nyers formázókeverék volt.

2.1 A visszamaradó öntési feszültség és a szilárdsági tulajdonságok kapcsolata

A visszamaradó öntési feszültség összefügg a lemezgrafitos öntöttvas mechanikai tulajdonságaival és szövetszerkezetével. A lemezgrafitos öntöttvasak mechanikai tulajdonságainak vizsgált jellemzője a szakítószilárdság és a Brinell-keménység. Ezekből származtatott jellemző a rugalmassági modulus.

A visszamaradó öntési feszültség és a szilárdsági tulajdonságok kapcsolatát, szabványos szilárdsági kategóriák szerinti csoportokat képezve, a mérési eredmények átlagértékei alapján mutatjuk be. Az Ø32-12 mm-es geometriájú próbatestek mért és számított értékeinek átlaga az 1. táblázatban található.

A mérési eredmények statisztikai kiértékelése alapján elmondható, hogy nagyobb szakítószilárdságú öntvényminőséghez nagyobb visszamaradó öntési feszültség, nagyobb Brinell-keménység és nagyobb rugalmassági modulus tartozik.

A vizsgált próbatestek esetén a visszamaradó öntési feszültség és a szakítószilárdság kapcsolatát az 1. ábra szemlélteti.

Az 1. ábra trendvonalának egyenlete $\sigma = 0,3834 R_m$, a korrelációs együttható értéke $R^2 = 0,63$. A visszamaradó öntési feszültség közelítő értékeként elfogadható, hogy $\sigma_{\text{átlag}} = 0,4 R_m$.

A különböző összetételű, különböző betétanyagból, különböző olvadékezeléssel előállított próbák mérési eredményei azt mutatják, hogy azonos szakítószilárdság esetén a visszamaradó öntési feszültség jelentős mértékben változik. A vizsgált próbák metallurgiai jellemzői alapján a közelítő összefüggéshez képest nagyobb feszültségi értékeket a kedvezőtlen betétanyagból (öntöttvas töredék, forgács, acélhulladék), illetve a nem megfelelő olvadékezeléssel, csíráképző beoltással előállított próbák esetén kaptunk. A közelítő összefüggéshez képest kisebb visszamaradó öntési feszültség értékeket a kedvező betétanyagból (hematit nyersvasat is tartalmazó betét), illetve a hatáson csíráképző beoltással előállított próbák esetén kaptunk.

A visszamaradó öntési feszültség értéke összefügg a lemezgrafitos öntöttvas szövetszerkezetével is. A szövetszerkezet hatásának kimutatására a Brinell-keménység értékeit használjuk. A visszamaradó öntési feszültség és a Brinell-keménység kapcsolatát a 2. ábra szemlélteti. A 2. ábra trendvonala, vagyis a mérési eredmények kapcsolata, egyenes arányosságot feltételezve, a $\sigma = 0,83 \text{ HB} - 85$ összefüggéssel írható le, a korrelációs együttható értéke $R^2 = 0,71$.

Megállapítható, hogy az öntöttvas szilárdsági és minőségi jellemzői közül, az EN-GJL HB 175–255 öntvényminőségek in-

1. táblázat. Az $\varnothing S_c32-12$ mm geometriájú próbatetek mért és számított értékeinek átlaga

Öntvényminőség	Telítési szám	Grafitosodási hajlam	Szakítószilárdság	Visszamaradó feszültség	Relatív feszültség	Keménység	Rugalmasági modulus
	Sc	K	R_m , N/mm ²	σ_v , N/mm ²	$(\sigma_v/R_m)^* 100$	HB	E_0 , kN/mm ²
GJL-150	0,96	1,62	191,8	68,5	35,7	177,75	107,6
GJL-200	0,93	1,83	225,0	84,9	37,7	221,00	108,4
GJL-250	0,87	1,35	272,9	104,8	38,4	210,75	124,412
GJL-300	0,82	1,11	319,9	132,3	41,4	232,25	128,9

tervállomában, a visszamaradó öntési feszültség és Brinell-keménység összefüggése adja a legjobb korrelációt: $\sigma_v = 0,83 \text{ HB} - 85$.

3. A visszamaradó öntési feszültség szimulációja

A technológiai próbákon mért feszültségek jellemzőek, de nem azonosak az öntvényeken mérhető feszültségekkel. Az öntvényekben keletkező öntési feszültségek nagyságának megállapítására kidolgozott módszerek nehézkesek és pontatlanok. Ezért fokozott igény merül fel a szimulációs módszerek alkalmazására.

Az „Öntvények visszamaradó feszültségeinek számítógépes analízise” című cikkben *Dúl Jenő* és *Égert János* [4] részletesen ismerteti a visszamaradó öntési feszültségek szimulációjának elméleti alapjait. A jelen számításaink során alkalmazott véges elemes modell alapvetően megegyezik az említett cikkben ismertetettel. A szimulációs számításokat az RWP GmbH által fejlesztett SIMTEC/WinCast véges elemes programkörnyezetben végeztem. A 3. ábrán a viz-

sgált próbatest CAD-geometriája látható.

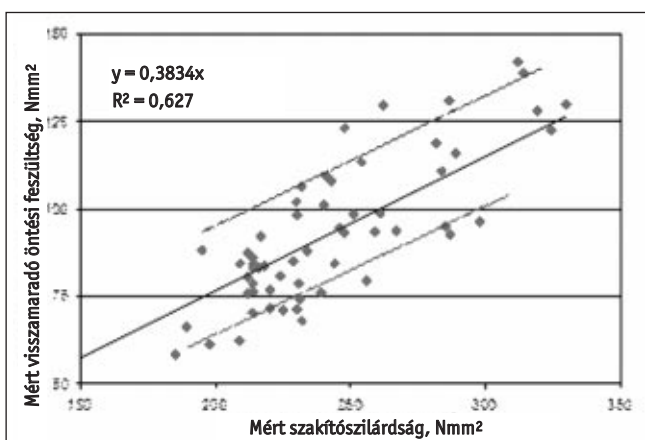
A vizsgálat során a definiált kiindulási és peremfeltételek az alábbiak voltak:

- az ötvözetek minősége GJL-150, GJL-200, GJL-300;
- az olvadék kiinduló hőmérséklete 1400 °C;
- a forma anyaga bentonitos homokkeverék;
- a forma kiinduló hőmérséklete 25 °C.

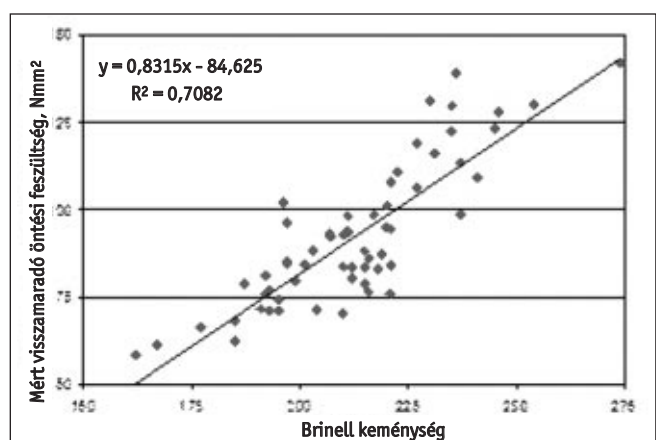
3.1 Az öntési feszültség és a lehülési viszonyok kapcsolata

A feszültség-arány-próbatest hossz tengelyre merőleges szimmetriásíkjában a középső és a szélső rúd középpontjában felvett lehülési görbék adatait vizsgáltam a szimuláció eredményei alapján. A különböző keresztmetszet-arányú próbatetek lehülési görbéit GJL-200 anyagminőség esetén a 4. ábra szemlélteti.

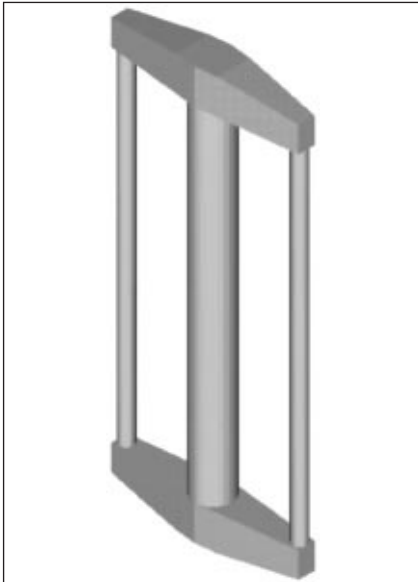
A lehülési görbék kezdő (öntési hőmérséklet) és végső értéke (szobahőmérséklet) azonos, a két szélső időpont között változó hőmérséklet-különbséget mutatnak. Lemezgrafitos öntöttvasak



1. ábra. A szakítószilárdság és a visszamaradó öntési feszültség kapcsolata



2. ábra. A visszamaradó öntési feszültség és a Brinell-keménység kapcsolata

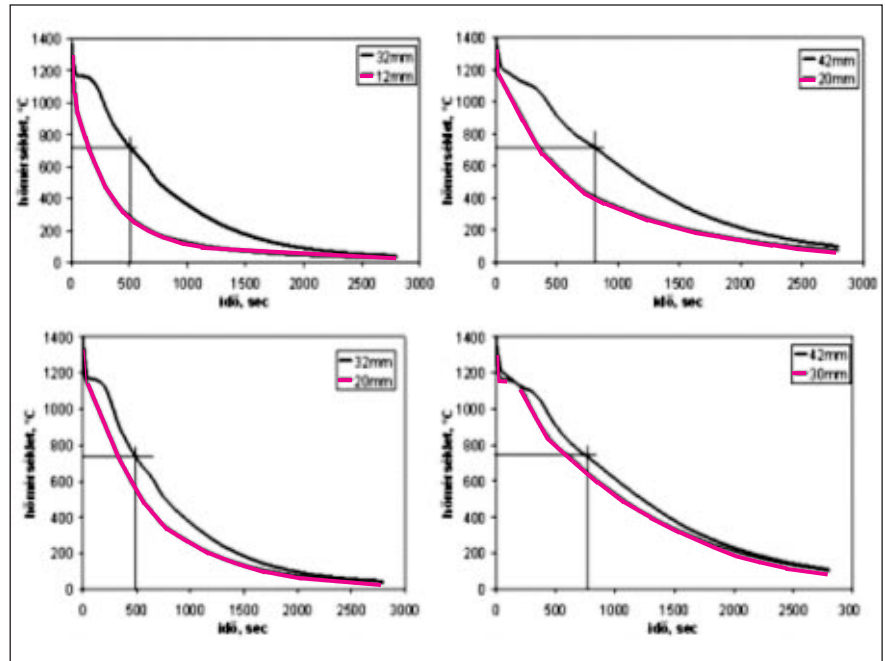


■ 3. ábra. A vizsgált geometria

esetén az öntési feszültség az A_1 átalakulási hőmérsékletet követően alakul ki. Ennek figyelembevételével vizsgáltuk a kialakuló visszamaradó öntési feszültség és a feszültségrács vastag és vékony rúdja közötti hőmérséklet-különbség kapcsolatát. A különböző átmérő-kombinációjú feszültségrácsok esetén a vastag rúd A_1 átalakulási hőmérsékletének időpontjához tartozó hőmérséklet-különbséget jelöltük ki az összefüggések vizsgálatára.

A lehülési görbékben jelöltem az A_1 átalakulás hőmérsékletét. Ahol ez az egyenes metszi a vastag rúd lehülési görbéjét, ott az y -tengellyel párhuzamosan levettük egy egyenest, ami metszi a vastag és a vékony rudak lehülési görbéjét, és így meghatározható a vastag rúd A_1 hőmérsékletéhez tartozó hőmérséklet-különbség (ΔT_{A_1}). Az így mért hőmérséklet-különbségi értékek és a szimulációval meghatározott visszamaradó öntési feszültségi (középső rúd főfeszültsége) értékek a 2. táblázatban láthatóak.

Az elvégzett szimulációs vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a visszamaradó öntési feszültség várható értéke meghatározható a vastag rúd A_1 átalakulási hőmérsékletéhez tartozó, időben kialakuló vastag-vékony rúd hőmérséklet-különbsége alapján a következők szerint: GJL-150 anyagminőség esetén $\sigma_v = 0,0726 T_{A_1} + 32,185$; GJL-200 anyagminőség esetén $\sigma_v = 0,0976 T_{A_1} + 33,221$; GJL-300 anyagminőség esetén $\sigma_v = 0,1214 T_{A_1} + 48,833$.



■ 4. ábra. A feszültségrács-próbatestek rúdjaik geometriai középpontjában felvett lehülési görbék GJL-200 anyagminőség esetén

2. táblázat. A hőmérséklet-különbség és a visszamaradó öntési feszültség kapcsolata

Átmérő, mm	GJL-150		GJL-200		GJL-300	
	$\Delta T_{A_1}, ^\circ\text{C}$	σ_v , N/mm ²	$\Delta T_{A_1}, ^\circ\text{C}$	σ_v , N/mm ²	$\Delta T_{A_1}, ^\circ\text{C}$	σ_v , N/mm ²
32-12	428,1	64,3	437,3	77,9	436,1	104,1
32-20	163,9	46,9	179,5	58,0	174,5	78,4
42-20	299,9	51,3	308,1	57,2	308,3	79,3
42-30	77,9	36,7	90,0	38,9	89,6	56,0

4. Összefoglalás

Laboratóriumi körülmények között öntött feszültségrács próbatestek segítségével megvizsgáltuk a visszamaradó öntési feszültség és a mért és származtatott értékek közötti összefüggéseket. A mért és származtatott értékek közül kiemelten vizsgáltuk a visszamaradó öntési feszültség és a Brinell-keménység kapcsolatát, mivel a mért keménység a szövetszerkezetre jellemző szilárdsági mérőszám. A mérési eredmények kiértékelése alapján a visszamaradó öntési feszültség várható értéke jobb közelítéssel határozható meg a Brinell-keménység értékéből, mint a szakítószilárdság alapján.

Az elvégzett végeelemes szimulációs vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a visszamaradó öntési feszültség várható értéke meghatározható a próbatest vastag rúdjának A_1 átalakulási hőmérsékletéhez tartozó időpontban kialakuló vas-

tag és vékony rúd hőmérsékleteinek különbsége alapján.

Irodalom

- [1] Dr. Nándori Gy.: Elméleti öntészet II. Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1979
- [2] Quack, U. és tsai.: Messung und Simulation von Eigenspannungen in Gusseisen. Giesserei, 11/2010
- [3] Gustafsson, E.: Optimization of Castings by using Surrogate Models. Department of Mechanical Engineering, Linköping University, Sweden, 2007
- [4] Égert J. – Dül J.: Öntvények visszamaradó feszültségeinek számítógépes analízise. Bányászati és Kohászati Lapok, 2003/5