

**Miskolci Egyetem
Műszaki Anyagtudományi Kar
Metallurgiai és Öntészeti Tanszék
Kerpely Antal Anyagtudományok és Technológiák
Doktori Iskola**



**A szerszám hőegyensúlyának vizsgálata alumínium és
magnézium nyomásos öntésnél**

PhD értekezés tézisei

LUKÁCS SÁNDOR
okleveles kohómérnök

Tudományos vezető: Dr. Tóth Levente
Miskolci Egyetem
Metallurgiai és Öntészeti Tanszék

Kutatási vezető: Prof. Dr. Dr. h.c. Friedrich Klein
Arbeitsgemeinschaft Metallguss
Aalen

Miskolc
2006

1. Bevezetés

A nyomásos öntvények, bonyolult geometriájú, alkatrészek, egy öntvényen belül a különböző falvastagságú részek dermedési ideje eltérő. A zsugorodási üregek kialakulásának valószínűsége a beömlőrendszer irányába történő irányított dermedéssel csökkenthető. Az eltérő falvastagságú öntvényrészek dermedési idejének különbözősége miatt az öntőszerszámban létrejövő hőmérséklet eloszlások és hőtechnikai viszonyok befolyásolják az öntvény későbbi minőségét. A komplex öntvények irányított dermedése eltérő hővezető képességű szerszámanyagok alkalmazásával is elősegíthető. A nyomásos öntőformák ötvözött melegsziárd acélból készülnek, melynek viszonylag kicsi a hővezető képessége, ezáltal a vékonyfalú öntvények gyártása is megoldható, azonban korlátozva van az öntvénnel bevitt hőmennyiség elvonása. A számítógépes szimuláció alkalmazása egyre elterjedtebb az öntődékben, melyek segítségével az áramlástani és hőtechnikai folyamatok valósághűen ábrázolhatók. A kiértékelés során az optimalizált paraméterek felhasználásával jelentős költség takarítható meg.

2. A dolgozat tudományos célkitűzése

A nyomásos öntés során az öntvény későbbi minőségét a gépbeállítási paraméterek mellett a dermedési körülmények, azaz a fémből történő hőelvonás határozza meg. Az öntési folyamat során a folyékony fémmel bevitt és a dermedés közben és után a kilökésig leadott hőmennyiséget az öntőszerszámon keresztül kell elvezetni. Ez a kis hővezető képességű szerszámanyagok miatt nem minden esetben megoldható.

A szerszám hőegyensúlya nemcsak az öntvény tulajdonságait, de a termelékenységet is nagymértékben befolyásolja. Ha egy öntőszerszám hőtechnikailag optimális működik, akkor a folyékony fém által bevitt hőmennyiség elvezetésének ideje a legrövidebb. A forma felületét ciklusonként formaleválasztó anyaggal fűjják le. Ez többnyire vizes kolloid, amely a formafelületét egyben hűti is. A forma felületére felvitt formaleválasztó anyag azonban nem kompenzálja az öntvény falvastagságából eredő hőtechnikai különbségeket. Amennyiben a hőegyensúlyt a túlzott mennyiségű formaleválasztó anyag felvitelével próbálják beállítani, az nemcsak az öntvény tulajdonságaira, de az öntőszerszám élettartamára is nagy hatással van, ugyanis a 400-500 °C hőmérsékletű szerszámfelületre fűjt 25-30°C hőmérsékletű víz annak idő előtti, hősokk által okozott kifáradását okozza. A víz alapú leválasztó anyagok mellett egyre inkább elterjedtebb a por alapú illetve felgőzölögtetett leválasztó anyag, amelyek pozitív hatással vannak az öntőszerszám élettartamára is. Nagyszámú öntvények gyártása esetén a hőegyensúly biztosítására a szerszámbetét belsejébe a bevitt hőmennyiségnek megfelelően méretezett hűtő – esetenként fűtő – furatokat képeznek ki. Ezt a hűtő-fűtő rendszert alapvetően a szerszámba bevitt hőteljesítménynek megfelelően kell megtervezni. A hőtechnikai tervezés a

hőmérséklettér számítógépes szimulációjával segíthető. A szimulációs szoftverek segítségével, nagy pontossággal modellezhetjük mind az áramlástan, formatöltési, mind a hőtani, dermedési folyamatokat. A nyomásos öntészeti gyakorlatban az irányított dermedés gyakran nem megoldható, szükséges egy megbízható számítási módszer a kitáplálás megvalósítására. Kutatásaim során a folyékony fém által bevitt hőmennyiség különböző hőfizikai tulajdonságú acélbetétek segítségével történő elvezetése a cél, oly módon, hogy a betét hővezetőképességének javulásával egy kiegyenlíthető falvastagság-növekedés számítható legyen. A kísérletek során megvizsgáltam, hogy az eltérő hűtési intenzitás és temperálóközeg-hőmérséklet hogyan befolyásolja a dermedési időt. A dermedés mellett meg kellett vizsgálni, hogy az eltérő hűtési paraméterek milyen hatást gyakorolnak az öntvény fizikai és mechanikai tulajdonságaira.

3. Az értekezés felépítése, kísérleti körülmények

Az értekezés első részében a nyomásos öntészeti technológia hőtechnikájával kapcsolatos legfontosabb ismereteket és a napjainkban alkalmazott számítási módokat mutatom be.

Méréseim elvégzéséhez egy 4, 8, 12 mm falvastagságú lépcsőspróba öntvényt terveztem (1. ábra). A lépcsőspróba öntvény nyomásos öntőszerszámának tervezése előtt öntéstechnológiai és hőtechnikai számításokat végeztem, majd a kapott eredmények felhasználásával modelleztem a formatöltési, dermedési folyamatokat, és ciklusszimuláció segítségével a szerszám hőmérsékletviszonyait is megvizsgáltam. A lépcsőspróba öntőszerszám 3, egymástól független és különböző fizikai tulajdonságú acélbetétből épül fel. A 4 mm-es laphoz egy általánosan elterjedt 1.2343 jelű szerszámacél tartozik. A 8 mm-es laphoz egy jobb hővezető képességgel rendelkező, melegszilárd, 1.2367 jelű acélbetét, míg a 12 mm falvastagsághoz egy 1.2999 jelű viszonylag nagy hővezető képességű acélbetét tartozik. A mérés célja a hőegyensúly szegmensenkénti biztosítása és annak kapcsolata az öntvény későbbi minőségével illetve irányított dermedés megvalósítása. A lapok helyzete a beömlőrendszerhez képest egymással tetszőlegesen felcserélhető: a 4-8-12 mm sorrendet választottam, ami öntéstechnológiai szempontból nem optimális ugyan, de az irányított dermedés megvalósítása a legszembeütőbben így mutatható ki.

Az öntést 700 tonnás Müller-Weingarten öntőgéppel végeztem. Az öntés során mértem az öntéstechnológiai paramétereket, úgymint az öntődugattyú által megtett utat, a dugattyú sebességét az 1. és 2. fázisban, és a 3. fázisban felépülő nyomást. Mértem továbbá az öntvény/formafal hőmérsékletének változását a lapok közepén illetve a betétben 3 mm-re a felület alatt. Az öntőszerszám hőtechnikai tervezésekor számítottam arra is, hogy csupán a szerszámbetét hővezető képességének javulása nem lesz elegendő az irányított dermedés megvalósításához, ezért az egyes betétekben kialakított hűtő-fűtő körökben áramoltatott olaj hőmérsékletének változtatását is figyelembe véve végeztem a vizsgálataimat.

A szerszám hőegyensúlyát az 1. táblázatban látható, háromféle szerszámtemperálással vizsgáltam.

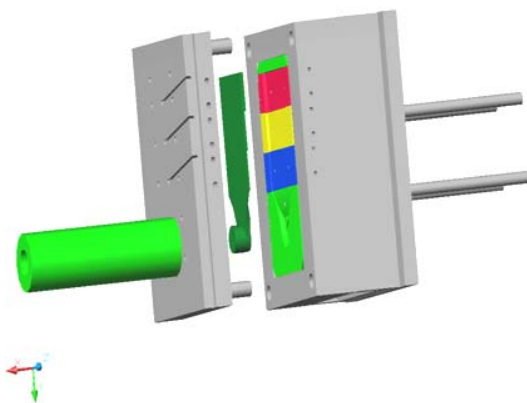
A hőtechnikai eredmények kiértékelése után az öntvény sűrűség és porozitás-vizsgálata mellett mindhárom szériáról szeletelő röntgen (CT) felvételeket készítettem, majd megvizsgáltam az öntvények szakítóvizsgálattal meghatározható mechanikai tulajdonságait.

Napjainkban az öntvényekkel szemben támasztott egyik legfontosabb szempont a tömeghez viszonyított szilárdság, azaz az elvárt szilárdsági tulajdonságokkal egyre csökkenő tömegű öntvényeknek kell rendelkezniük. Ennek megoldása történhet konstrukciós módosítással, de egyéb, kisebb sűrűségű ötvözetek felhasználásával is. Ezért kutatásaimat magnéziumötvözetekre is kiterjesztettem, lépcsőspróba-öntvényt kétfajta magnéziumötvözetből is öntöttem.

1. táblázat

Az alkalmazott temperálóközeg-hőmérsékletek

Széria száma	4 mm	8 mm	12 mm
1	200 °C	200 °C	200°C
2	200 °C	160 °C	120°C
3	200 °C	120 °C	80 °C



a,

A teljes szerszám az öntvénnel



b,

Álló szerszámfél

1. ábra

4. Új tudományos eredmények

1. A méréseimmel bizonyítottam, hogy a Chvorinov [18] összefüggés szerinti dermedési időállandó nemcsak az olvadék és a forma hőfizikai tulajdonságaitól függ, hanem az öntvény(rész) falvastagságától is. Minél kisebb egy öntvény(rész) falvastagsága, annál nagyobb a dermedési időállandója.
- 1.1. Az általam kidolgozott összefüggések segítségével a **dermedési időállandó** (k) egyszerűen kiszámítható a falvastagság és szerszám felületi hőmérsékletének az ismeretében.

	falvastagság	dermedési időállandó	r^2 értéke
Különböző betétek alkalmazása esetén			
Si9Cu3	4 mm – 1.2343	$k = 0,0785T - 1,5157$	0,9983
	8 mm – 1.2367	$k = 0,0656T - 1,8599$	0,9979
	12 mm – 1.2999	$k = 0,0528T - 1,1358$	0,9998
AZ91	4 mm – 1.2343	$k = 0,2628T - 25,859$	0,9724
	8 mm – 1.2367	$k = 0,2296T - 24,765$	0,993
	12 mm – 1.2999	$k = 0,15T - 14,185$	0,9972
AM50	4 mm – 1.2343	$k = 0,1804T - 17,003$	0,9966
	8 mm – 1.2367	$k = 0,171T - 17,669$	0,9944
	12 mm – 1.2999	$k = 0,1124T - 10,061$	0,998

k: dermedési időállandó $\left[\frac{\text{sec}}{\text{cm}^2} \right]$; T: szerszám felületi hőmérséklete $^{\circ}\text{C}$

r^2 : Pearson-féle szorzatmomentum korrelációs együtthatója

- 1.2. A méréseimmel bebizonyítottam, hogy a magnéziumötvözetek dermedési időállandója (k) nagyobb, mint az alumíniumötvözeteké.
2. Meghatároztam az AlSi9Cu3 alumínium-, illetve az AZ91 és AM50 magnéziumötvözet öntésekor a különböző hőfizikai tulajdonságú szerszámacélbetétek hővezetőképességének, illetve a temperáló közeg hőmérsékletének a változtatásával elérhető, azonos dermedési időhöz tartozó falvastagságokat. Létrehoztam a **falvastagság-korrektíós tényezőt** (F_{KT}), melynek alkalmazásával számolható, hogy azonos dermedési idő alatt mennyivel nagyobb falvastagság dermed meg, a szerszámbetét eltérő hővezetőképességének hatására azonos temperálóközegek hőmérséklet mellett.

A falvastagság-korrektíós tényező (F_{KT}) meghatározható a különböző falvastagságokhoz tartozó dermedési időállandók felhasználásával:

$$F_{KT} = \sqrt{\frac{k_1}{k_2}}$$

ahol:

F_{KT} : A falvastagság-korrektíós tényező (dimenzió nélkül)

k_1 : a kisebb falvastagságú lap dermedési időállandója $\left[\frac{\text{sec}}{\text{cm}^2} \right]$

k_2 : a nagyobb falvastagságú lap dermedési időállandója $\left[\frac{\text{sec}}{\text{cm}^2} \right]$

- 2.1. Bebizonyítottam, hogy az azonos hőmérsékletű szerszámbetét-párokra meghatározott falvastagság-korrektíós tényező (F_{KT}) a hűtőközeg hőmérsékletétől a vizsgált tartományban nem függ.
- 2.2. Meghatároztam a napjainkban használt szerszámacél anyagok alkalmazásával a falvastagság korrektíós tényező értékeit (F_{KT}). Alumínium ötvözet esetén az 1.2343 acélbetéhez képest az 1.2367 acélbetétnél 1,13-szoros, az 1.2999-esnél 1,23-szoros, míg magnéziumötvözetek esetén az 1.2343 acélbetéhez képest az 1.2367 acélbetétnél 1,1-szeres, az 1.2999-esnél 1,32-szeres a falvastagság-korrektíós tényező értéke.
3. Megállapítottam, hogy a nagyobb hővezetőképességű acélbetét önmagában nem elegendő a nagy öntvényfalvastagság különbség irányított dermedésének megvalósítására, továbbá a hagyományos, olajat keringtető temperáló berendezésekkel sem lehetséges a túlságosan nagy mértékű falvastagság átmenetek kiegyenlítése.
- 3.1. A kiegyenlíthető falvastagság különbség korlátja a temperálóközeg legnagyobb és legkisebb hőmérsékletének illetve az acélbetét hővezető képességének a szűk tartománya. Méréseimmel meghatároztam, hogy 2 mm-nél nagyobb falvastagság-különbség felett, olaj temperáló közeg alkalmazása esetén, a nagyobb falvastagságok dermedési idejének kiegyenlítéséhez olyan nagy hőmérsékletkülönbségre lenne szükséges, amely már kívül esik a hőközlő folyadék alsó és felső üzemi hőmérséklettartományán.
- 3.2. Megvizsgáltam a temperáló közeg hőmérsékletének a dermedési időt befolyásoló hatását és meghatároztam a különböző falvastagságú részek azonos idő alatti dermedéséhez szükséges temperáló közeg hőmérsékletet a vizsgált (szokásos) falvastagság tartományban:

$$T_{olaj2} = T_{olaj1} - \frac{(0,0093 \cdot T_{olaj1} - 0,343)}{0,0192} \cdot \left[\frac{s_2}{s_1} \right]^2$$

ahol:

T_{olaj1} - a vékonyabb részhez tartozó temperáló olaj hőmérséklete [°C]

T_{olaj2} - a vastagabb részhez tartozó temperáló olaj hőmérséklete [°C]

s_1 - a kisebb falvastagság [mm]

s_2 - a nagyobb falvastagság [mm]

4. A vizsgált próbatestek sűrűség- és porozitásvizsgálata alapján megállapítottam, hogy a kialakuló porozitás összefügg a szerszámbetétek hőfizikai tulajdonságaival és hőmérsékletével. Igazoltam, hogy a kisebb temperáló közeg hőmérséklet alkalmazásával csökken a porozitás mindhárom falvastagságú nyomásos öntvény esetén. Megállapítottam, hogy a szerszámbetét hővezetőképességének növelésével is csökken a porozitás.
5. Meghatároztam AlSi9Cu3 ötvöztet azokat az öntési idő határértékeket, melyek maximális értéként alkalmazhatók különböző öntvény falvastagságoknál eltérő hőfizikai tulajdonságú szerszámbetétek és temperálóközeg-hőmérsékletek esetén.

Falvastagság/szerszámbetét	Olaj hőm.	200°C	160°C	120°C	80°C
4 mm /1.2343	Öntési idő [s]	0,051	-	-	-
8 mm /1.2367		0,182	0,155	0,134	-
12 mm /1.2999		0,392	-	0,287	0,253

6. A különböző falvastagságú AlSi9Cu3 lapöntvényből kimunkált próbatestek mechanikai tulajdonságainak vizsgálata alapján megállapítottam, hogy a szerszámbetét eltérő hőfizikai tulajdonságai befolyásolják a mechanikai tulajdonságokat.
- 6.1. Nagyobb hővezető képességű és kisebb hőmérsékletű szerszámbetét alkalmazása a mechanikai tulajdonságok növekedését eredményezi.
- 6.2. Megállapítottam, hogy az eltérő temperáló közeg hőmérséklet alkalmazása AlSi9Cu3 ötvöztet és mindhárom vizsgált falvastagság esetén, a kialakuló kristályszerkezeten keresztül hogyan befolyásolja a szilárdsági tulajdonságokat. A temperáló olaj hőmérsékletének 200-ról 100°C-ra csökkentése esetén a szakítószilárdság és a folyáshatár kismértékű növekedése mellett a nyúlásérték jelentősen, mintegy 70%-kal nőtt.

5. Az értekezés tudományos eredményeinek jelentősége és hasznosításuk lehetőségei

A tézisekben megfogalmazott tudományos eredmények új ismeretekkel bővítik az alumínium és magnézium nyomásos öntészet tudományterületét. Az elért új eredmények jól hasznosíthatók az oktatásban, kutatásban és a gyártásfejlesztésben egyaránt.

Az első tézisben ismertetett dermedési idő számításának módszere jobb közelítést ad az eddig alkalmazott számításokkal szemben, így az öntvény(rész) várható dermedési ideje pontosabban megbecsülhető. A számított, pontosabb öntéstechnológiai paraméterek alkalmazásával a megfelelő gépbeállítás hatására javul az öntvénykihozatal, csökken a ciklusidő.

A második tézis eredményeiből megállapítható, hogy a dermedési időt az általam vizsgált hőmérséklettartományban leginkább nem a szerszám hőmérséklete vagy hőmérsékletkülönbsége határozza meg, hanem az alkalmazott betét hőfizikai tulajdonságai. Egy komplex geometriájú öntvény nagyobb falvastagságú részeihez a megfelelő betét alkalmazásával csökkenthető a vastagabb rész dermedési ideje, ezáltal megvalósítható az irányított dermedés.

A harmadik tézisben ismertetett adatok alapján méretezési módszer alkalmazása válik lehetővé a falvastagság egyenérték segítségével. Kiválasztható az a betét, mely hőtechnikai tulajdonságaiból eredően alkalmas lehet a vastagabb rész által bevitt nagyobb hőmennyiségnek és a vékonyabb részek által bevitt kisebb hőmennyiségeknek közel azonos időben történő elvezetésére. A számításaim alkalmazásával az öntvényrészek sajátos, lokális temperálásával megvalósítható a különböző falvastagságú öntvényrészek dermedési idejének kiegyenlítése illetve az irányított dermedés!

A negyedik és ötödik tézisben meghatározott, szerszámbetétre és temperálási hőmérsékletre jellemző öntési idők betartásával, a szilárdsági tulajdonságok megtartása mellett az öntvény porozitása minimálisra csökkenthető.

A hatodik tézisben megfogalmazott eredmények felhasználásával az öntvény szakítószilárdságának növekedése mellett nyúlásának növekedése is elérhető.

Az értekezésben szereplő valamennyi tézis az öntő szakirányos kohómérnökképzés előadásában és gyakorlati anyagának gazdagításában közvetlenül hasznosítható. Az irányított dermedés nagyobb találati pontossággal valósítható meg, ami jobb minőségű öntvények előállítását teszi lehetővé.

Az értekezésben foglalt eredmények eddig 2 TDK dolgozat 2 diplomatervezet elkészítésénél hasznosultak és nemzetközi FP6 projekt illetve nemzeti OM projekt jelentéseibe is beépültek. Az eredmények alkalmazásával a FÉMALK Zrt. öntödéjében öntött PEDAL öntvény, mely repülőgép irányítására szolgál 1. helyezést kapott az AEROSPACE kategória, DEGREE OF DIFFICULTY minősítés során.

6. Az értekezés témakörében megjelent publikációk

Publikációk:

1. **Lukács Sándor:** Különböző szerszámbetét-anyagok hatása a nyomásos öntvényekre, Doktoranduszok fóruma, Műszaki Anyagtudományi Kar Szekciókiadványa, pp 125-137
2. **Lukács Sándor:** Különböző fizikai tulajdonságú szerszámbetét-anyagok hatása nyomásos öntvényekre, VII. Bányászati Kohászati Földtani Konferencia, 2005. március 31-április 3, Nagyvárad; **Konferenciakiadvány**, pp52.
3. **Lukács Sándor:** Különböző fizikai tulajdonságú szerszámbetét-anyagok hatása a nyomásos öntvényekre, X. Fiatal műszakiak tudományos ülészsaka, 2005. március 18-19, Kolozsvár **Szekciókiadvány**, pp267-270
4. **Sándor Lukacs:** The affection of different tool parts in high pressure die casting, 42. Cseh Öntőnapok, 2005. szeptember 20-21. Brno, **Konferenciakiadvány**, pp27-40
5. **Lukács Sándor:** Lépcsőspróba öntvény szerszámtervezésének bemutatása, Anyag és Kohómérnöki Tudományok, II. sorozat, 32. kötet, 1. füzet, **kiadvány** pp49-59
6. **Lukács Sándor, Gurutze Arruebarrena, Sándor Balázs:** Magnéziumöntészeti kutatások, motiváció és első tapasztalatok a Fémalk Rt-ben. Bányászati és Kohászati Lapok, 139. évfolyam, 2006/3. szám, **folyóíratcikk**, pp19-23
7. **Lukács Sándor, Prof. dr. dr.h.c. Friedrich Klein:** Untersuchung der Wärmebilanz beim Stufenplatte, Giesserei, Giesserei, 2007, **folyóíratcikk**, megjelenés alatt
8. **Lukács Sándor, Dr. Konrad Weiß:** Thermische Verhältnisse der Druckgusswerkzeug beim Aluminium und Magnesiumgeissen Giesserei Praxis, 2007, **folyóíratcikk**, megjelenés alatt

Szóbeli előadások:

1. **Lukács Sándor:** Nyomásos öntés hőmérsékletviszonyainak mérése és szimulációja, 17. Magyar öntőnapok, 2003. október 5-7, Lillafüred, **Szóbeli előadás**
2. **Lukács Sándor:** Különböző szerszámbetét-anyagok hatása a nyomásos öntvényekre, Doktoranduszok fóruma, 2004. november 4-9, Miskolc, **Szóbeli előadás**
3. **Walter Leis; Sándor Lukacs; Michael Haas, Dr. Friedrich Klein:** Giessen und thixoschmieden – ein gemeinschaftsprojekt das Landes Baden Württemberg. 25. Aalener Giessereisymposium, 2004. április 21-22. **Szóbeli előadás**
4. **Walter Leis; Sándor Lukacs; Michael Haas, Dr. Friedrich Klein:** Giessen und thixoschmieden – ein gemeinschaftsprojekt das Landes Baden Württemberg. Universität Stuttgart 2004. május 13. **Szóbeli előadás**
5. **Lukács Sándor:** Különböző fizikai tulajdonságú szerszámbetét-anyagok hatása nyomásos öntvényekre, VII. Bányászati Kohászati Földtani Konferencia, 2005. március 31-április 3. Nagyvárad. **Szóbeli előadás**
6. **Lukács Sándor:** Különböző fizikai tulajdonságú szerszámbetét-anyagok hatása a nyomásos öntvényekre, X. Fiatal műszakiak tudományos ülészsaka, 2005. március 18-19, Kolozsvár; **Szóbeli előadás**
7. **Sándor Lukacs:** The affection of different tool parts in high pressure die casting, 42. Cseh Öntőnapok, 2005. szeptember 20-21. Brno, **Szóbeli előadás**
8. **Sándor Balázs, Lukács Sándor:** IDEA Projekt, Magnéziumöntés, motiváció és első tapasztalatok a Fémalk Rt-nél, 18. Magyar öntőnapok, 2005. október 9-11. Balatonfüred, **Szóbeli előadás**

Poszterelőadások:

1. **Lukács Sándor:** 20 mm lapöntvény szimulációs és mérési eredményei, 17. Magyar Öntőnapok, 2003. október 5-7, Lillafüred, **Poszterelőadás**
2. **Lukács Sándor:**Különböző acélbetétek alkalmazása lépcsőspróba öntésénél, 17. Magyar Öntőnapok, 2003. október 5-7, Lillafüred, **Poszterelőadás**
3. *Molnár Dániel*, **Lukács Sándor:** Öntéstechnológia tervezése szimuláció alkalmazásával, Doktoranduszok fóruma, 2004. november 4-9, Miskolc, **Poszterelőadás**