

KOKILLA ÖNTÉS MEGVALÓSÍTÁSA SZÁMÍTÓGÉPES SZIMULÁCIÓVAL

Computer simulation of gravity die casting process

Halápi Dávid; Dr. Molnár Dániel

BSc Anyagmérnök hallgató, Miskolci Egyetem, Öntészeti Intézet

ABSTRACT

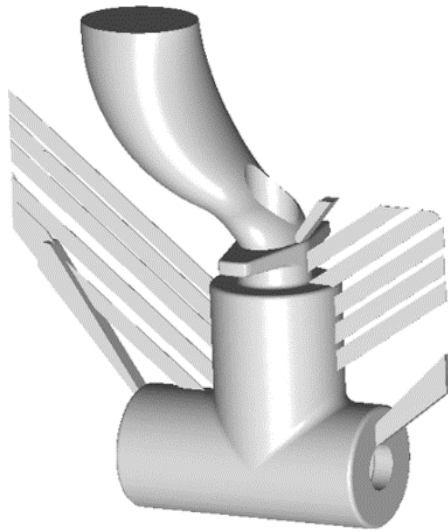
In case of castings with small wall thickness and high complexity geometry the regular technological calculations are not adequate. Computer simulation is the only tool to achieve the required technology concept on an efficient and economical way. The complexity of the project, the half-automatized pouring technology and the high numbers of factors also confirm the necessity of the application of computer simulation tools. In this paper the tilt casting technology of a faucet casting geometry was designed by control volume simulation method.

1. BEVEZETÉS

A TEKA Magyarország Zrt.-nél a billentéssel történő kokillaöntés az egyik legfontosabb gyártástechnológia, mivel ez a módszer teszi lehetővé a bonyolult belső üregekkel rendelkező öntvények előállítását. Egyes nagy bonyolultságú, vékony falvastagságokkal és többszörös falvastagság átmenetekkel rendelkező öntvények esetén a hagyományos technológiai méretezésen túl előzetes szimulációs vizsgálatok elvégzése is szükséges. A gyártási módszer nagyfokú bonyolultsága, a fél-automata üzemű gyártás és az öntés megfelelőségét befolyásoló paraméterek nagy száma mind indokoltá teszi a szimulációs vizsgálatok elvégzését, ezzel biztosítva, hogy a kidolgozott öntéstechnológiával elérhető legyen az öntött alkatrész megfelelősége.

2. SZIMULÁCIÓS VIZSGÁLATOK FOLYAMATA

Vizsgálataim tárgya az 1. ábrán látható CuZn39Pb1AlB_B típusú sárgaréz ötvözetből készült szerelvény geometria. Az öntvényt, a beömlő rendszert és a kilevegőzőket is magába foglaló geometria tömege 1,39kg.



1. ábra
A vizsgált öntvénygeometria

Az fémolvadék öntési hőmérséklete $980-1000^{\circ}\text{C}$, a nem kontúrkövető kokilla anyaga cirkóniummal ötvözött bronz, melyet 250°C -ra melegítenek elő. A mag anyaga furángyantás kötésű homokkeverék, melynek hőmérséklete a formába történő behelyezéskor körülbelül 25°C (a környezeti hőmérséklet nagyban befolyásolja a magok hőmérsékletét). A formában az öntés kezdetén lévő levegő hőmérséklete hozzávetőlegesen 100°C .

A vizsgálatok célja, hogy a jellemzően kis falvastagságú, tehát gravitációs kokillába nehezen önthető alkatrész gyártásának megvalósítását számítógépes szimuláció alkalmazásával támogassuk.

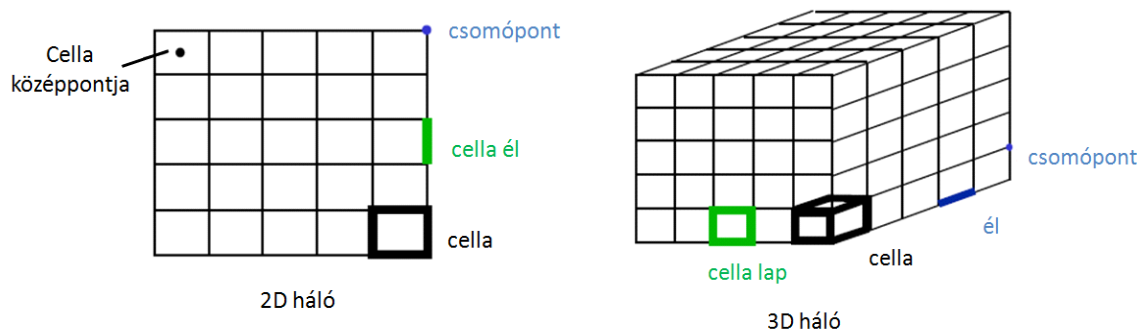
A kísérleti munka az alábbi logikai séma alapján került megvalósításra: a vizsgált geometriai elemek 3D modelljét Solid Edge modellező szoftverrel készítettem el parametrikus alakelem alapú modellezéssel. Szimulációs vizsgálataimat a svéd NovaCast Systems AB szoftvercég által fejlesztett NovaFlow&Solid CV szimulációs programkörnyezetben végeztem.

A szimulációs vizsgálatokat előkészítő-, számítási- és kiértékelési részekre lehet felosztani.

2.1 Előkészítő folyamat (Pre-processing)

Az előkészítő folyamat során történik a kívánt geometria feldolgozása. Minden olyan geometriát be kell vinni a szimulációs programba melyet figyelembe kívánunk venni a folyamat során. Be kell olvasni az öntvénycsokor geometriáját, amely tartalmazza az öntvényt, valamint a beömlő- és táplálórendszert. A beolvasott STL formátumú 3D-s geometria alapján történik a hálógenerálás. A vizsgálatoknál alkalmazott egyenközű háló két dimenzióban négyzetekből, három dimenzióban

szabályos hexaéderekből áll. A strukturált háló alkalmazása esetén az egyes elemek és nevezetes geometria helyek a 2. ábrán láthatóak.

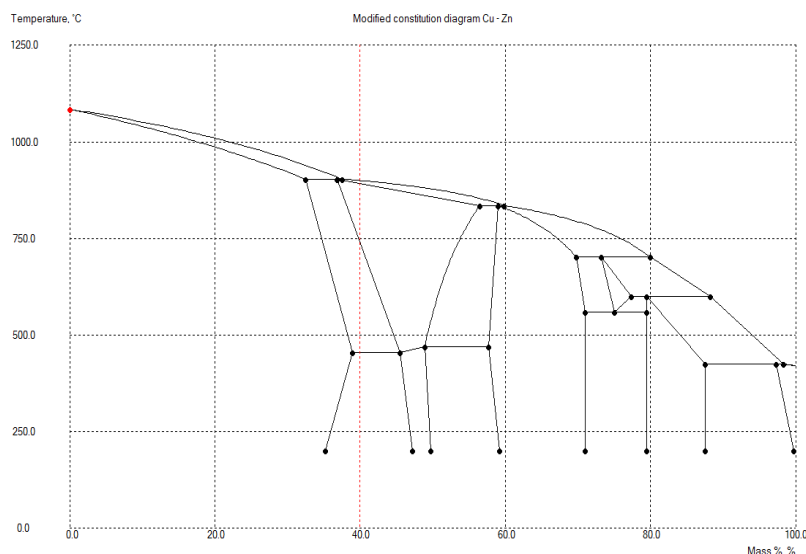


2. ábra
Két- és háromdimenziós CV háló

2.2 Számítási folyamat (Main-processing)

A hálógenerálást követően definiálni kell a vonatkozó anyagtulajdonságokat, kezdeti és peremfeltételeket. Ezután az összes geometriai, időbeli és értelmezési peremfeltételt is definiálni kell. A geometriai feltételeknél meg kell határozni a beömlési, táplálási pontokat is. Az időbeli definícióknál meg kell adni a formatöltési időt, a billentve öntés paramétereit, a kokilla zárva tartási idejét, stb.

Annak érdekében, hogy a szimulációs vizsgálat minél jobban megközelítse a valós körülményeket, a vizsgált anyagok tulajdonságainak részletes megadása szükséges. Itt definiálni kell az ötvény-forma-környezet rendszer anyagtulajdonságait. A szimulációs programok adatbázisából kiválaszthatók a rendszert jellemző anyagtulajdonságok. A vizsgált ötvözet kétalkotós fázisdiagramja az 3. ábrán látható.



3. ábra
CuZn39Pb1AlB_B sárgaréz ötvözet fázisdiagramja

2.3 Kiértékelési folyamat (Post-processing)

A kiértékelési folyamat során történik a számítás eredményeinek kiértékelése. Ekkor lehetőség van a számított változók (hőmérséklet, nyomás, sebesség, stb.) kinyerésére, illetve a geometriai változások (repedés, vetemedés) megjelenítésére. Az eredmény kiértékelése számokkal, szimbólumokkal, nézetek, metszetek és skálák segítségével történik. [1-6]

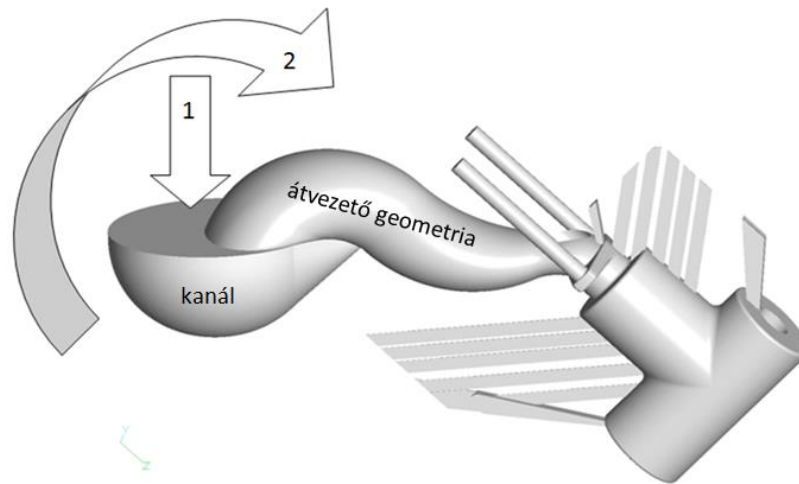
4. GRAVITÁCIÓS ÖNTÉS VIZSGÁLATA

Szimulációs vizsgálataim első részében a vizsgált geometriát billentés nélküli gravitációs kokilla öntéssel kívántam vizsgálni. Ebben az esetben a gravitációs vektor a normál viszonyoknak megfelelően lefelé mutat és a kokilla nem kerül mozgatásra. A formatöltési viszonyok számításánál olyan további kiindulási feltételek kerültek definiálásra, mint a metallosztatikus nyomómagasság és öntési sebesség.

A számítási eredmények alapján megállapításra került, hogy a vizsgált paraméterek alkalmazásával az öntvény nem gyártható, mivel a formaüreg megtelése során az öntvény alsó hengeres részében hiányos térkitöltés alakul ki, a teljes formaüregnek csak 93%-a telik meg olvadékkal. Azon célból, hogy a teljes formatöltés megvalósuljon további vizsgálatok során növeltem a formatöltés sebességét, de a formaüreg teljes megtelését csak akkor értem el, ha a formatöltési sebességet olyan irreálisan nagyra választottam, mely viszonyok valós üzemi körülmények között nem megvalósítható.

5. BILLENTEVE ÖNTÉS VIZSGÁLATA

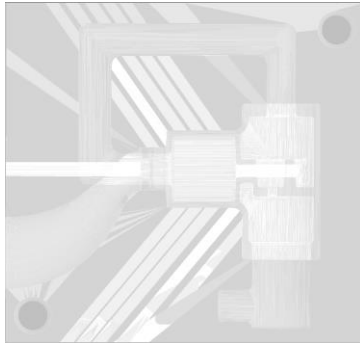
Mivel a gravitációs öntési vizsgálatok alapján megállapítható, hogy az öntvény a vizsgált technológiával nem gyártható, szimulációs vizsgálataim második részében a billentve öntés szimulációs szoftverrel történő megvalósíthatóságának lehetőségét kívántam vizsgálni. A számítás során alkalmazott anyagtulajdonságok, kiindulási- és peremfeltételek megegyeznek a gravitációs öntésnél alkalmazott értékekkel, kiegészítve azokat a billentve öntés további technológiai paramétereivel: öntött fémtömeg mennyisége, kanál anyaga és hőmérséklete, a kanálba beömlő fémsugár beömlési keresztmetszete, nyomómagasság, kanálba történő öntési sebesség, kanál magassága, kanál kifolyó keresztmetszete, átvezető csatorna geometriája és a billentés ideje. A billentve öntés üzemben alkalmazott technológiájának megfelelően a formatöltés folyamata két lépcsőben került megvalósításra. Első lépésben egy, a valóságban is meglévő kanál geometriát kell gravitációsan megtölteni az olvadékkal, majd az ahhoz illeszkedő átvezető geometrián keresztül kell a teljes rendszer billentésével a formaüregbe juttatni a fémeket. A 4. ábrán a billentve öntés kétlépcsős megvalósítása látható a nevezetes geometriai elemek jelölésével [7].



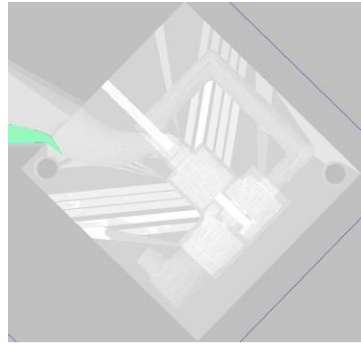
4. ábra
Billentve öntés megvalósítása

A kiinduló beállításokkal végzett billentve öntési szimuláció kiértékelése alapján megállapítható, hogy kizárólag a gravitációs kokilla öntés formatöltési paramétereinek adaptálásával billentve öntéssel sem biztosítható a formaüreg megtelése. A feltárt áramlási rendellenességek között jellemző volt a beömlőrendszerben történő túlzott olvadéklehűlés, melynek következménye, hogy az olvadéka már a beömlőrendszerben elfagy, vagy hidegfolyás alakul ki a formaüregben belül. A hiba oka, hogy a folyékony fém a kanálból túl vékony sugárban érkezik a beömlőrendszerbe és ott a felületen szétterülve a nagy hőelvonás következtében lehűl. További rendellenesség volt, hogy az üzemi körülmények között az olvadék a kokilla 45°-os billentési pozíciójában lépett be a formaüregbe, míg ez a szimulált formatöltés során csak 63°-os billentésnél történt meg. Ebben az esetben viszont az olvadék nem a valós üzemi körülményeknek megfelelően áramlott a beömlőrendszerben, hanem nagy sebességgel érkezve nekicsapódott a szemben lévő kokillafalnak.

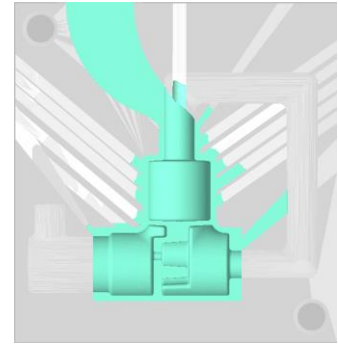
A további szimulációk elvégzése során arra fókuszáltam, hogy az egyes paraméterek módosításával elkerüljem a hiányos formatöltést és a hidegfolyásból eredő hibákat; valamint a rendellenes áramlások megszüntetésének céljából módosítottam a kanál- és átvezető geometrián. Az 5. ábrán láthatóak az egyes öntési helyzetben eszközölt változtatások. Az egyes szimulációs vizsgálatok alapján született az az elgondolás, hogy a 45°-os billentés helyett 90°-os billentéssel, valamint átalakított kanál- és átvezető geometriával végezzem el a további vizsgálatokat. A kanál geometriai átalakítása azt a célt szolgálta, hogy a szükséges fémennyiség kanálba történő adagolása után a billentés elején 0° és 45° billentési értékek között csak tartsa és vezesse a fémeket, mely csak a 45° billentési szög elérése után kerüljön a beömlőrendszerbe.



Billentés kiinduló helyzete
0°



Olvadék belépése a
beömlőrendszerbe
~45°



Dermedési pozíció
90°

5. ábra
A billentés módosított megvalósítása

5. ÜZEMI KÖRÜLMÉNYEK MEGVALÓSÍTÁSA

Vizsgálataim további részében az előzetesen elvégzett szimulációk eredményei alapján további 16 szimulációs vizsgálatot végeztem, melyek során minden esetben az eredmények kiértékelése alapján módosítottam a geometriai és technológiai paramétereket, hogy a vizsgált öntvény a valós üzemi körülményeknek megfelelően kerüljön leöntésre. A vizsgált geometriai és technológiai paraméterek, valamint azok minimum és maximum értékei az 1. táblázatban láthatóak.

1. táblázat
Geometriai és technológiai paraméterek

		min.	max.
Öntési hőmérséklet	°C	1000	1300
Kokilla hőmérséklete	°C	250	300
Kanál anyaga	-	karbon acél	kerámia
Kanál hőmérséklete	°C	950	1000
Beömlési sugár	mm	40	60
Nyomómagasság	mm	5	50
Öntési sebesség	kg/s	2,7	19,5
Kokilla kiinduló helyzete	-	vízszintes (0°)	45°
Billentés ideje	s	1	4
Billentés szöge	°	45°	90°
Kanál magasság	-	kiinduló	növelt
Kanál kifolyó keresztmetszet	-	kiinduló	növelt
Átvezető geometria	-	kiinduló	növelt

6. ÖSSZEFOGLALÁS

Az elvégzett szimulációs vizsgálatok fő eredménye, a megfelelő öntvény gyártásához alkalmazandó technológiai paraméterek megállapítása mellett, hogy a NovaFlow&Solid CV szimulációs programkörnyezetben kidolgoztam az üzemi körülményeknek megfelelő billentve öntési technológia megvalósítását, mely módszer alkalmazásával további öntvények (pl. alumínium turbófeltöltők) vizsgálata is elvégezhető. A billentve öntés szimulációs vizsgálata az alábbi paraméterek megfelelő definiálásával végezhetőek el:

6.1 Geometriai megfelelőség. A kanál magasságának megválasztása, a kanál kifolyó keresztmetszetének meghatározása, valamint a kanál és a beömlőrendszer között definiált átvezető elem geometriájának megfelelő kialakítása.

6.2 A kanál olvadékkal történő feltöltésének módja. A kanálba belépő olvadéksugár keresztmetszetének megfelelő megválasztása és a nyomómagasság megválasztása oly módon, hogy azzal elkerülhető legyen az olvadék kanálból történő kicsapása.

6.3 A kanál- és az átvezető geometriát befoglaló kokillarész anyagának megfelelő megválasztása.

6.4 Az egyes alkalmazott geometriai elemek megfelelő hőmérsékleti értékeinek megválasztása a hidegfolyás elkerülésének céljából.

6.5 A billentés paramétereinek megfelelő megválasztása. A kokilla kiinduló helyzetének, a billentés szögének és idejének megfelelő megválasztása.

Az elvégzett vizsgálatok alapján megállapítható, hogy a szimulációval meghatározott geometriai és technológiai paraméterek alkalmazása esetén a vizsgált alkatrész öntése megvalósítható. A forma megtelésének pillanatában levegő csak a kokilla osztósíkjában kiképzett kilevegőző csatornában található, melyek ellátják feladatukat. A forma megtelésének pillanatában az öntött fémtömeg az öntvény tápfejeként is szolgáló beömlő tölcserében a legmelegebb, amivel megvalósul az irányított dermedés.

7. KÖSZÖNETNYILVÁNÍTÁS

A tanulmányban ismertetett kutató munka a TÁMOP-4.2.1.B-10/2/KONV-2010-0001 projekt eredményeire alapozva a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0019 jelű projekt részeként – az Új Széchenyi Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

Ezúton köszönöm a TEKA Magyarország Zrt. vezetőinek és munkatársainak hogy vizsgálataimhoz megteremtették a feltételeket és készséggel álltak rendelkezésemre felmerülő kérdéseim megválaszolásával kapcsolatba. Köszönöm az Öntészeti Intézet munkatársainak és konzulensemnek Dr. Molnár Dánielnek, hogy biztosították számomra a szimulációs szoftverekhez való hozzáférést.

8. IRODALOMJEGYZÉK

- [1] Jávora A., Benkő T.: **Diszkrét rendszerek szimulációja**
Műszaki könyvkiadó Budapest, 1979
- [2] Páczelt István, et al.: **A végelem-módszer alapjai**
Miskolci Egyetem, 2007
- [3] T.J. Chung: **Computational fluid dynamics**
Cambridge University Press, 2003
- [4] Molnár Dániel: **Öntészeti szimuláció elméleti alapok és megoldások**
Miskolci Egyetem, 2011
- [5] Erwin Flender: **Gießtechnische Simulation**
Giesserei 2009/5
- [6] Tony C. Midea, David Schmidt: **1999 Casting simulation software survey**
Modern Casting, 1999 May
- [7] Guss aus Kupfer und Kupferlegierungen – **Technische Richtlinien**
Herausgeber BDG und Deutsches Kupferinstitut, Düsseldorf 2011