

DMLS szerszámbetétek szimulációs vizsgálata  
Zink B, Szabó F, Hatos I, Hargitai H, Kovács J G

Accepted for publication in MŰANYAG- ÉS GUMIIPARI ÉVKÖNYV  
Published in 2014

DOI:

# DMLS SZERSZÁMBETÉTEK SZIMULÁCIÓS VIZSGÁLATA

Az RPT technológiák fejlődésével lehetőség nyílik fröccsöntő szerszámokban formakövető hűtés megvalósítására. Az ilyen szerszám betéteket közvetlenül fémporból lézerszinterezéssel állítják elő. A formakövető hűtés során olyan hűtési rendszereket alakítanak ki, amelyek pontosan követik a fröccsöntött termék geometriáját, így nagyobb mennyiségű hőt képesek elvonni. Emellett a hőelvonás egyenletesebben megy végbe, mint a hagyományos hűtési rendszereket esetében. A formakövető hűtő rendszerek tervezése összetett feladat, amelyben kitüntetett szerepet kap a fröccsöntési szimuláció alkalmazása.

With the development of the Rapid Prototyping technologies, injection mold inserts with conformal cooling systems can be manufactured from metal powder by direct metal laser sintering (DMLS). The conformal cooling channels are placed along the geometry of the injection molded product, so they can extract more heat where the heat removal is even comparing to the conventional cooling systems. To design conformal cooling systems is a complex process; a proper design can only be achieved by applying injection molding simulation.

## Bevezetés

A műanyaggyártó- és feldolgozóipar mára a gazdaság egyik meghatározó ágazatává nőtte ki magát, a 2012-es adatok alapján a világ műanyagipari termelése meghaladta a 280 millió tonnát a 2011-es évben. Az ágazaton belül az egyik legfontosabb feldolgozási technológiának számít a fröccsöntés, amellyel a műanyag termékek több, mint harmadát állítják elő. Magyarországon több mint 21 ezer tonna polimer alapanyagot dolgoztak fel fröccsöntéssel 2011-ben, ami a teljes műanyaggyártó- és feldolgozóipar által előállított termékek kb. 27,6%-a [1, 2].

A fröccsöntési ciklus legmeghatározóbb része a termék hűtési ideje, amely – a nagy térfogatú és feldolgozási hőmérsékletű, összetett geometriájú fröccsöntött termékek esetében – a teljes ciklus több mint felét teszi ki. Az ilyen termékeknel a hűtési idő csökkentése jelentősen javítja a termelési hatékonyságot. A hűtési idő csökkentésére az egyik legjobb megoldás a formakövető hűtéssel ellátott szerszámok alkalmazása. A hagyományos hűtőrendszerhez képest ez a megoldás követi a termék geometriáját, így több hőt képes elvonni a fröccsöntött darabtól és a hőelvonás is egyenletesebb. Ennek következményeként csökken a

ciklusidő és javul a termék minősége. Az összetett formájú hűtőkörök gyártása hagyományos megmunkálási technológiákkal is lehetséges, de az anyaghozzáadás elvén működő eljárásokkal összetettebb geometriájú és alakú hűtőkörök alakíthatóak ki. A formakövető hűtőrendszerrel ellátott szerszámok gyártására a legelterjedtebb technológia a szelektív lézer szinterezés, amely lehetővé teszi a különböző keresztmetszetű és alakú hűtőkörök kialakítását [3].

## Formakövető hűtések

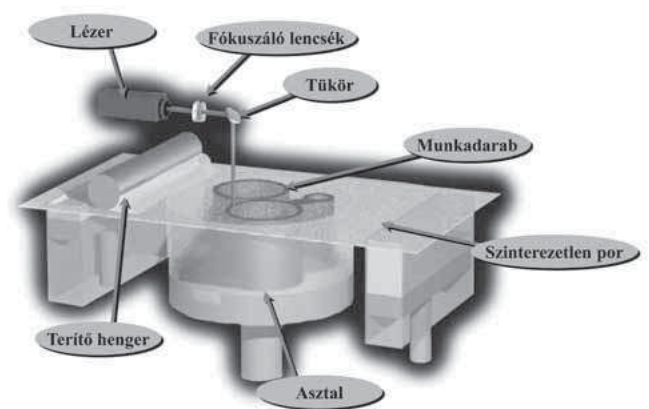
A formakövető hűtési rendszerek olyan alternatív hűtési rendszerek, amelyek követik a formaüreg geometriáját, így a hűtőkör és a termék fala közötti távolság állandó. A hagyományos hűtőköröket fúrással alakítják ki, emiatt csak egyenes részekből állhat, így egy összetett geometriájú termék esetén kialakulhatnak olyan részek a darabon, ahol a hűtési rendszer nem tud megfelelő hőmennyiséget elvonni, emiatt a termék felületi hőmérséklet-eloszlása egyenetlenné válik. A kontúrkövető hűtés ezzel ellentétben a termék geometriáját követve minden részről ugyanannyi hőt képes elvonni, ezáltal lényegesen kisebb vetemedést és belső feszültséget okozva. A for-

makövető hűtések kialakításukból adódóan nem csak egyenletesebben, de gyorsabban is vonják el a hőt a polimertől, így a hűtési idő esetén akár több mint 25%-kal csökkenthető. További előnyt jelent, hogy a szerszámok ciklikus hőterhelése kisebb és egyenletesebb. A kialakítás előnyei a komplex geometriájú, nagy térfogatú, precíziós vagy nagy hőmérsékleten fröccsöntött darabok esetén érvényesülnek igazán, mert ezek igényelnek nagyobb és egyenletesebb hőelvonást. A formakövető hűtések gyárthatóak hagyományos megmunkálási technológiákkal is, de az RPT technológiákkal lehetőség nyílik tetszőleges keresztmetszetű hűtőkör kialakítására, amely a hűtési út folyamán változhat [3].

### DMLS technológia

A Direct Metal Laser Sintering (DMLS) hasonló a szelektív lézer szinterezéshez (SLS), azonban fémporra optimalizált, így nagyobb teljesítményű lézerrel szerelt a berendezés. A DMLS technológia egy közvetlen felépítő eljárás, az építkezés során a fémpor felületét lézersugárral olvasztják meg. A gyártás során a termék pozicionálásához támasztóelemek kialakítása szükséges. Ezek megfelelő számát és elhelyezkedését gyártás előtt meg kell tervezni. A termék és a támasztóelemek tervezésekor létrehozott CAD fájlból a gyártás megkezdése előtt STL fájl generálnak, melyet követ a modell ellenőrzése és korrigálása, a modell elhelyezése a munkatérben, a támasztóképzés, valamint a szelektálás, mely a réteges építkezés miatt szükséges. A DMLS berendezés felépítése, amelyet az 1. ábra szemléltet, megegyezik a szelektív lézerszinterező felépítésével. A port egy simítóléc teríti el a munkatérben, ezután a lézer először a kontúrokat majd a teljes keresztmetszetet szinterezi. A keresztmetszet szinterezése után az asztal lesüllyed egy rétegvastagságnyi és a simítóléc újabb réteg port terít szét, addig ismételve a folyamatot, amíg a darab el nem készül. A gyártás során akkora belső feszültségek léphetnek fel, hogy a munkadarab elválhat az asztaltól vagy a támasztéktól, ennek csökkentésére különböző módszerek terjedtek el.

A fémek szinterezése során fellépő oxidáció elkerülése érdekében védőgázt (nitrogén, argon atmoszférát) alkalmaznak a folyamat alatt. A gyártás végeztével a munkadarabot le kell választani az asztról, majd a támasztékokat és a felesleges port el kell távolítani. A rétegről-rétegre történő építésből adódó belső feszültségek hőkezeléssel csökkenthetők. Fröccsöntő szerszámbetétek gyártása esetén – ahol fokozott hő és koptató igénybevételnek vannak kitéve a szerszám felületek – a betétek fizikai tulajdonságai a hagyományos gyártásúakéval azonos módon hőkezeléssel változtathatók [4, 5].



1. ábra A DMLS berendezés felépítése [6]

A DMLS technológiával készített darabok felületi minősége nem éri el a hagyományos megmunkálási technológiákkal készített termékek felületi minőségét, ezért a szerszámgyártás befejező lépése a felületjavító-megmunkálás, amellyel a DMLS technológiával elért átlagos 10-20  $\mu\text{m}$ -es felületi érdesség a szerszámgyártás elvárásainak megfelelő értékre javítható. A legyártott darabok hagyományos technológiákkal megmunkálhatóak, így forgácsolhatóak, polírozhatóak stb. Ezek az utólagos eljárások viszont időigényesek és nem mindegyik alkalmazható összetett formák esetén [7].

### Fröccsöntőszerszám-alapanyagok

Különböző összetételű és hőkezeltégi állapotú alapanyagok használhatóak a fröccsöntő szerszámok gyártására, amelyek közül mindig a követel-

ményeknek megfelelőt kell kiválasztani. Más típusú alapanyagot igényelnek az egyes szerszámelemek, így például a formalapok, a kidobók, a vezető elemek, de akár a különböző speciális fröccsöntési eljárások is. A műanyag-alakító szerszámanyagokkal szemben támasztott követelmények összetettek, az alapanyagoknak megeresztésállónak, magas hőmérsékleten is kopásállónak, szívósnak, mérettartónak kell lennie. A követelmények teljesülését kisebb széntartalom mellett Si, Mn, Mo, Ni, W, V ötvözők biztosítják. Az acélok a különböző ötvözők hatására más mechanikai és fizikai tulajdonságokkal rendelkeznek. A szerszámalapanyagokat lágyított állapotban szállítják a felhasználó részére, a könnyebb megmunkálhatóság érdekében. Az anyag a végleges tulajdonságait a megmunkálást követő hőkezelés során éri el. A végső hőkezelés a nemesítés, melynek első lépése az edzés. Az edzés során martenzites szövetszerkezet alakul ki, amely nagyon kemény, de egyidejűleg rideg is. Ezt minden esetben megeresztés követi, melynek eredményeként csökken az martenzit rácsban a feszültség, az anyag elveszti ridegségét, míg a keménysége csak kis mértékben csökken. A megeresztési hőmérséklet növelésével az anyag keménysége és szilárdsága tovább csökken, míg a szívóssága (ütőmunka) növekszik. Az egyes szerszámacélok specifikációjában általában közreadják azt a diagramot, ami a keménység, vagy szilárdság értékek alakulását mutatja a megeresztési hőmérséklet függvényében, mely alapján a hőkezelés során a kívánt mechanikai tulajdonság beállítható. A nemesítés során a megeresztés magas hőmérsékleten (~550-660°C) történik, melynek eredményeként a megnövekedett karbon diffúzió révén a rendkívül nagy szívóssággal rendelkező szferoidites szövetszerkezet alakul ki. Az első megeresztést követheti egy második megeresztés. A formalapok gyártására legelterjedtebb alapanyag az 1.2311 acél, vagy más néven P20-as acél, amely Cr, Mo, Mn ötvözésű előnemesített acél, amelyet a következő tulajdonságok jellemeznek [8, 9]: homogén szövetszerkezetű, jól forgácsolható, jó átedződése által egyenletes szilárdságú a teljes keresztmet-

szet mentén (max. 400 mm), nagy szívósságú, nitridálható, betétedzhető, lánggal és indukciósan edzhető, keménykrómozható, bevonatolható, jól polírozható, szikraforgácsolható, fotomaratható.

A speciális fröccsöntési eljárásokhoz léteznek nagy hőtűrésű, korrózióálló, stb. anyagok, ezek viszont kisebb szilárdságúak és a megmunkálásuk is nehezebb. A hűtési idő csökkentésére alternatív megoldást nyújtanak a nagy hővezető képességű anyagok. Ilyen anyagokat gyárt többek között az Ampco Metal, ami több nagymértékben ötvözött réz alapanyagot kínál, elérhető a jobb hővezető képességű, de rosszabb mechanikai tulajdonságokkal rendelkező anyag és létezik az acél mechanikai tulajdonságait megközelítő, de rosszabb hővezetésű réz alapanyag is [11].

További megoldást nyújthat a hűtési idő csökkentésére, ha DMLS technológiával készült szerszámbetétek kerülnek felhasználásra. A DMLS technológiához általánosságban felhasznált anyag az MS1 acélpor, ami hőkezelés után a P20-as (1.2311) acélhoz hasonló mechanikai és fizikai tulajdonságokkal rendelkezik. A felsorolt alapanyagok fontosabb mechanikai és fizikai tulajdonságait a 1. táblázat mutatja [10-12].

	1.2311	Ampcoloy 940	MS1
Sűrűség [kg/m <sup>3</sup> ]	7800	8710	8100
Szakító szilárdság [MPa]	1020	544	1950
Folyáshatár [MPa]	900	475	1900
Rugalmassági modulus [GPa]	250	131	180
Hővezetési tényező [W/mK]	29	208	20
Fajhő [J/kgK]	460	380	450

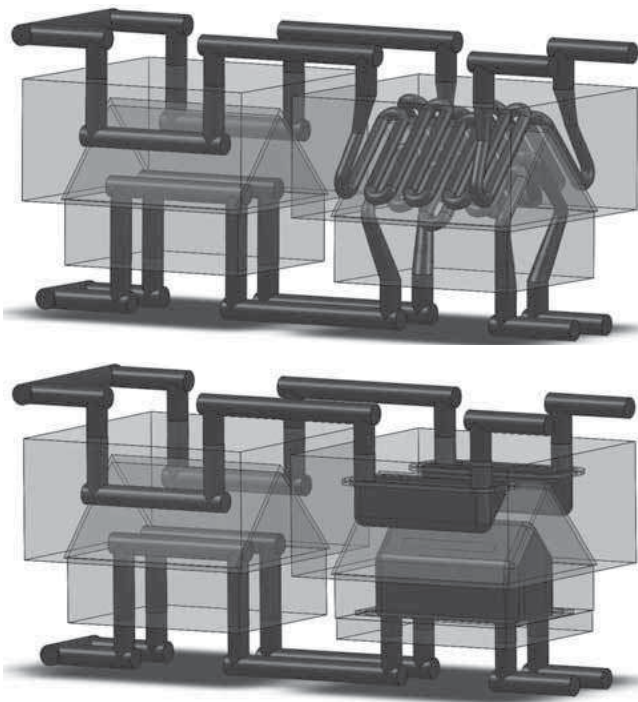
1. táblázat A szimulációkhoz felhasznált alapanyagok fontosabb tulajdonságai [10-12]

### Vizsgálatokhoz felhasznált szerszámalkalítások

A hűtési vizsgálatokhoz négy különböző szerszámbetét került kialakításra. Az iparban leggyakrabban alkalmazott konstrukció volt a referencia, amely hagyományos hűtőgeometriával 1.2311-es jelölésű



szerszámacélból készült. A második vizsgálati minta a formakövető hűtőrendszerű MS1 alapanyagú szerszámbetét volt. A harmadik minta a hagyományos hűtőrendszerű, de jó hővezető képességű, Ampcoloy 940 alapanyagból kialakított szerszámbetét volt. Az utolsó, azaz negyedik kialakítás a hagyományos 1.2311-es szerszámacél alapanyagú, de speciálisan a felületet jobban lekövető, marással több részből kialakított szerszámbetét volt. A különböző hűtőkör kialakításokat a 2. ábra szemlélteti.



2. ábra A hagyományos és formakövető a) valamint az Ampcoloy és üregezt b) hűtőkör kialakítások

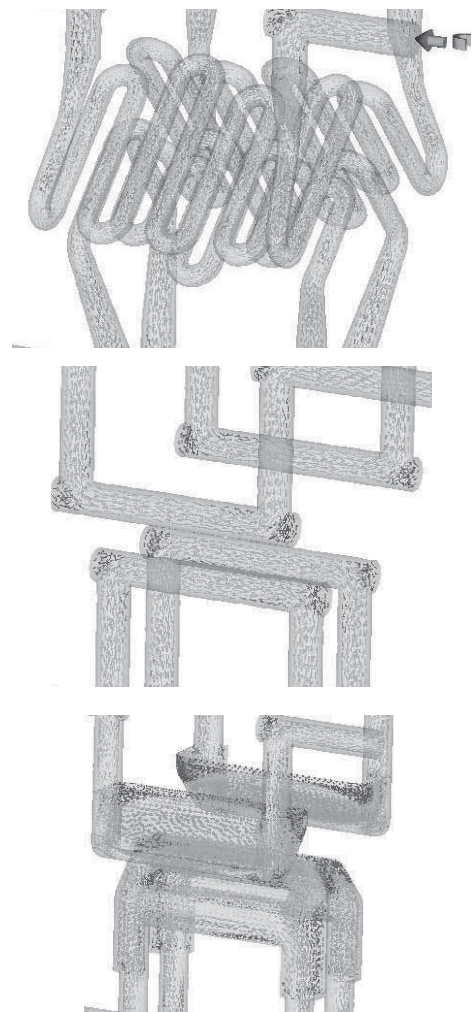
### Vizsgálati eredmények

Munkánkban azonos szimulációs paraméterek mellett vizsgáltuk a különböző szerszám kialakítások és alapanyagok hatását a hűtési hatékonyságra és a termékminőségre. Kiértékeljük a különböző kialakításokhoz tartozó keresztmetszeti hőmérséklet-eloszlásokat a szerszámbetétben, valamint a virtuálisan gyártott próbatestek deformációját.

### Hűtőkörök áramlási elemzése

A hűtőközeg áramlási sebessége (3. ábra) meghatározó fontosságú a hűtési hatékonyság szempontjából. A sötétkék szín jelöli a legkisebb, a piros

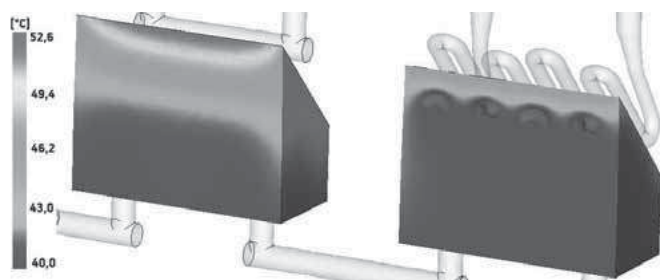
szín pedig a legnagyobb áramlási sebességet. A hagyományos kialakítású betétben a sarokponton a hűtőfolyadék pang, ami csökkenti a hőátadást és növeli a pangó övezetben lévő hűtőfolyadék hőmérsékletét, ezáltal csökkenti a hűtési hatékonyságot. Látható továbbá, hogy a DMLS betétben az átmérőszűkítés hatására lényegesen megnő a folyadék sebessége, ezzel növelve a Reynolds számot, így növelve a hőátadási hatásfokot. Az üregezzel készült szerszámbetétekben a folyadék áramlási sebessége a sarkokban lecsökken, ezeken a helyeken csökken a hűtési hatékonyság. A hűtőkör viszont olyan kialakítású, hogy a legfontosabb helyeken a sebesség nőjön, így a mozgó szerszámbetét felső éléhez több hűtőfolyadék áramoljon.



3. ábra A folyadék áramlási sebessége az út függvényében a DMLS a), a hagyományos b) és az üregezt c) szerszámbetétekben

### Szerszámbetétek keresztmetszeti hőmérsékletének vizsgálata

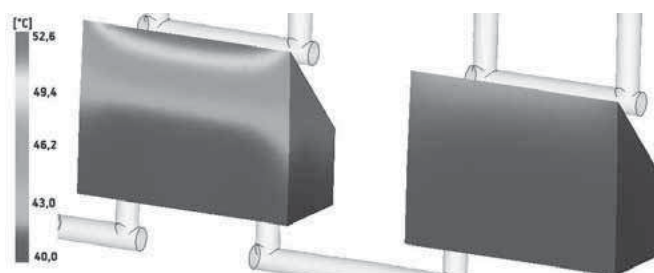
A 4. ábra mutatja a formakövető és a hagyományos rendszer által hűtött szerszámbetétek hőmérséklet-eloszlását a szerszámbetét középső keresztmetszetében. Látható, hogy a formakövető szerszámbetét a felület közelében  $46^{\circ}\text{C}$ -os, az alatta lévő terület közel  $43^{\circ}\text{C}$ -os, viszont a keresztmetszet további része a hűtőközzel megegyező hőmérsékletű. A hagyományos betét felülethez közeli része lényegesen melegebb,  $53^{\circ}\text{C}$ -os, a keresztmetszet további része fokozatosan csökkenő hőmérsékletet mutat. Összehasonlítva a két betétet, látható, hogy a DMLS szerszámbetét hőmérséklete is megnövekedett a szerszámbetét csúcsában, viszont sokkal kisebb mértékben és kisebb térfogatra korlátozódva, mivel a formakövető hűtési rendszer nagyobb hőt képes elvonni, mint a hagyományos hűtőrendszer. A DMLS szerszámbetét belső oldalán a hőmérsékletek nagyobbak, mint a külső oldalon, ami abból következik, hogy itt helyezkedik el a szerszámiban a beömlő csatorna, amiből plusz hőmennyiség jut a szerszámbetétre.



4. ábra Hőmérséklet-eloszlás a hagyományos és DMLS betétek középső keresztmetszetében

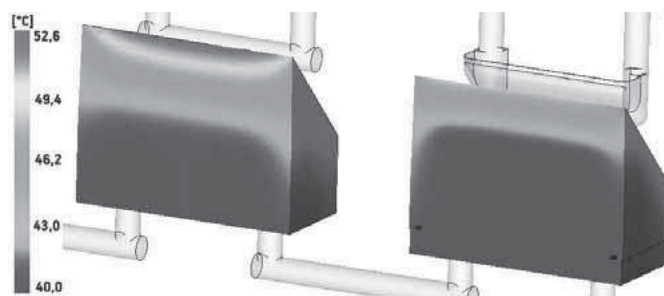
Az 5. ábra a hagyományos és az Ampcoloy 940-es szerszámbetét középmetzeti hőmérséklet eloszlását mutatja az előzővel megegyező módon. Az Ampcoloy 940-es szerszámbetét hőmérséklet-eloszlása egyenletes, a szerszámbetét csúcsában található a maximális hőmérséklet, ami a hagyományos szerszámbetéttel összehasonlítva közel  $10^{\circ}\text{C}$ -kal kisebb. Az eredmények alapján elmondható, hogy az Ampcoloy betét hagyományos fűrt hűtőrendszerrel is jobban képes elvonni a hőt a vizsgált szerszámnál, mint a DMLS technológiá-

val gyártott hűtőkörök. Összetettebb hűtőkör-geometriák esetében viszont ez az eredmény már nem feltétlenül igaz, mert a DMLS technológiával jobban lekövethető a termék geometriája, továbbá annak anyaga jobban ellenáll a fröccsöntés során fellépő mechanikai igénybevételeknek.



5. ábra A hőmérséklet-eloszlás az 1.2311-es alapanyagból készült hagyományos hűtőrendszerrel szerelt és az Ampcoloy 940 alapanyagú szintén hagyományos hűtési rendszerrel rendelkező szerszámbetétek keresztmetszetében

Az utolsó vizsgált szerszámalkatás az üregelemmel több részből készült szerszámbetét, amelyet szintén a hagyományos szerszámbetéttel hasonlítottunk össze (6. ábra). Látható, hogy az üregelemmel készült szerszámbetét maximális hőmérséklete kisebb, a hőmérséklet-eloszlás egyenletesebb. A hagyományos hűtési rendszerrel rendelkező és a DMLS szerszámbetéthez hasonlóan a szerszámbetét csúcsánál nagyobb hőmennyiség halmozódott fel, mert a hűtési rendszer erről a helyről nem képes elvezetni a hőt.

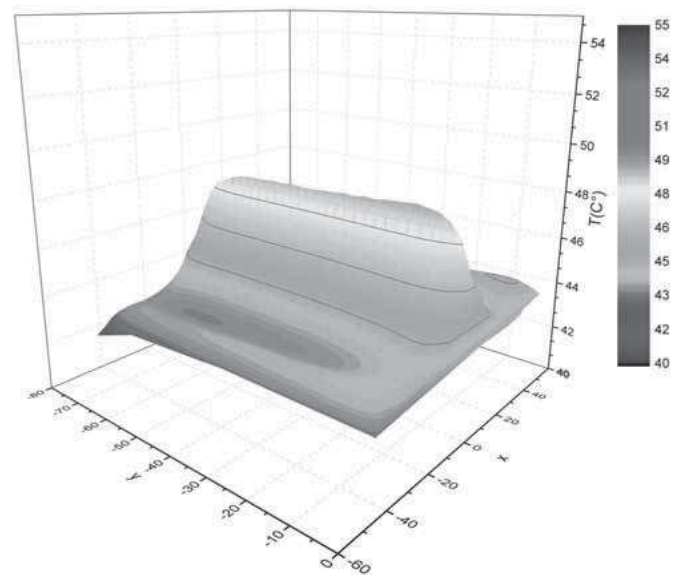
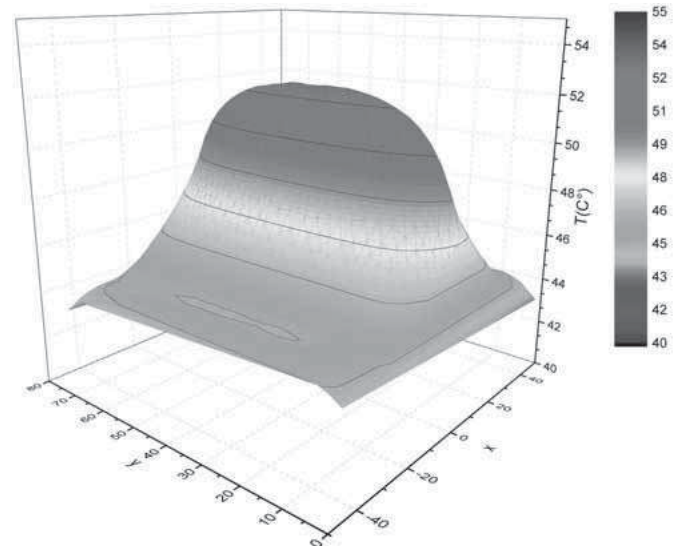
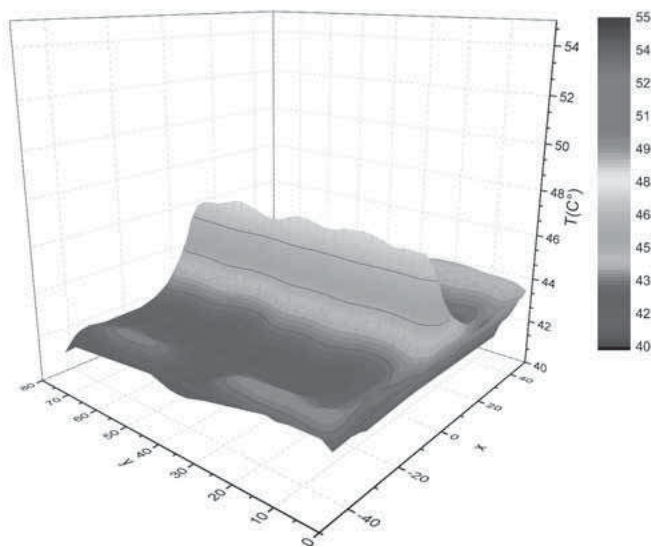


6. ábra A fűrésszel és az üregelemmel kialakított szerszámbetétek keresztmetszeti hőmérséklet-eloszlása

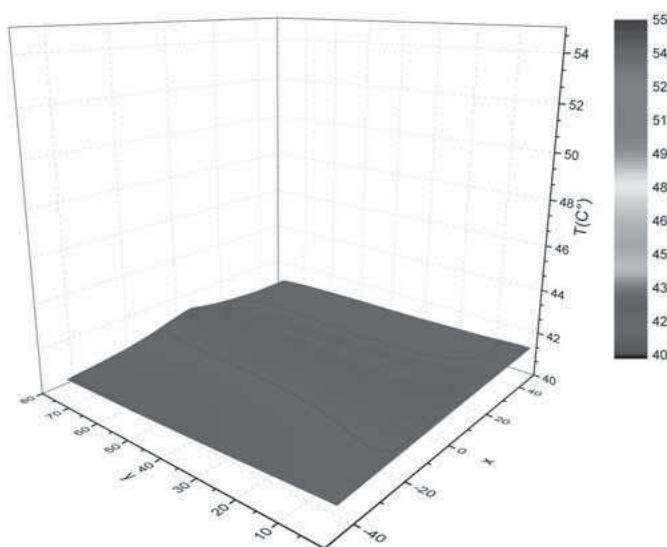
### A felületi hőmérséklet kiértékelése

A felületi hőmérsékletek kiértékeléséhez a szerszámbetét felületéhez tartozó koordinátákat egy síkba transzformálva az eredmények 3D diagramon ábrázolhatóak, ahol az x, y helykoordináta függvényében láthatók a felületi hőmérsékletek (7. ábra és 8. ábra).

A diagramokon látható, hogy a DMLS betétek felületi hőmérséklet különbsége  $7^{\circ}\text{C}$  körüli, amely a precíziós, részben kristályos fröccsöntött termékekhez tartozó  $10^{\circ}\text{C}$ -os hőmérsékleti ajánlásnak eleget tesz, de az amorf anyagokra vonatkozó  $5^{\circ}\text{C}$ -nak már nem. Az Ampcoloy 940-ből készült szerszámbetét felületi hőmérséklet különbsége viszont csak  $3^{\circ}\text{C}$  körüli, így jobb hűtési hatékonysággal rendelkezik, mint akár a DMLS betét. A hagyományos megoldáshoz képest mind a két újszerű kialakítású szerszámbetét jobb eredményeket ért el, a DMLS betét  $6^{\circ}\text{C}$ -kal, az Ampcoloy betét pedig  $10^{\circ}\text{C}$ -kal kisebb maximális hőmérsékleti értékkel rendelkezik.



8. ábra A hagyományos a) és az üregelessel gyártott b) szerszámbetétek felületi hőmérséklet-eloszlása



7. ábra A DMLS a) és az Ampcoloy 940-es b) szerszámbetéthez tartozó felületi hőmérséklet-eloszlás

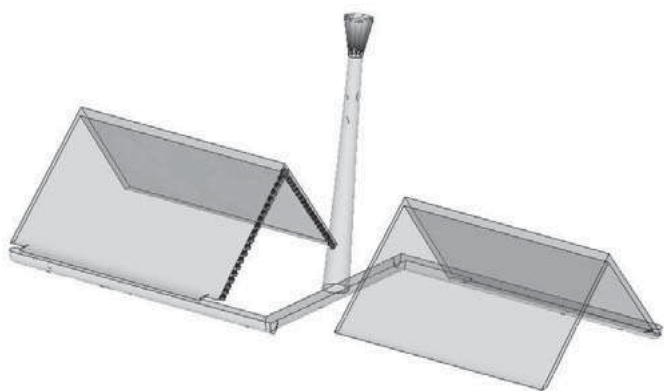
Az üregelesi eljárással előállított szerszámbetétet összehasonlítva a hagyományos hűtőkörrel rendelkező szerszámbetéttel az látható, hogy a maximális hőmérsékletek kisebbek, szintén csak a mag felső élénél nő meg a hőmérséklet néhány fokkal, ebből a részből a hőmennyiség elvonása a hűtőkörök segítségével nem lehetséges. A gát oldalán a hőmérsékletek nagyobbak, mint a túlsó oldalon, hasonlóan a DMLS szerszámbetéthez ez a megoldás sem képes a gátnál felgyülemelő polimertől elvezetni a hőmennyiséget. Továbbá a többi megoldáshoz hasonlóan jól látható a hűtőkör helye a hőmérsékleti eloszláson, az üregeelt szerszámbetét esetén a maximális és minimális hőmérsékletek különbsége  $7^{\circ}\text{C}$ , ez az érték a hagyományos szer-



számbetétnél 6°C-kal kisebb, a DMLS szerszámbetétnél pedig 2°C-kal nagyobb. Ezek alapján elmondható, hogy a megoldás hűtési hatékonysága a DMLS és a hagyományos szerszámbetétek hűtési hatékonysága közé tehető, a hagyományos megoldásnál közel 4°C-kal kisebb a maximális hőmérséklet, a DMLS szerszámbetétnél viszont nagyjából 2,5°C-kal nagyobb a legnagyobb hőmérsékleti érték az üregektől.

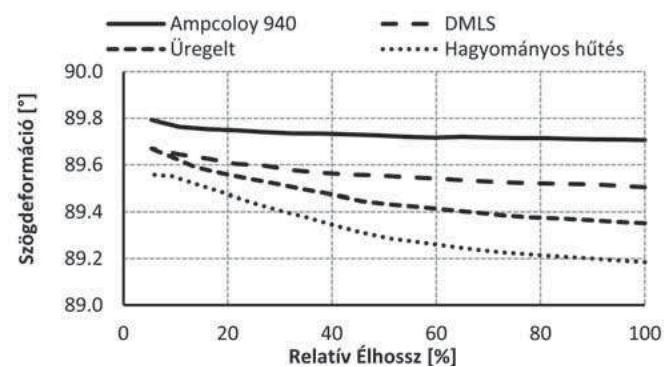
### Vetemedésvizsgálat

A fröccsöntött termékek vetemedését befolyásolja a hűtési egyenletességen kívül többek között a nyomás, a gát elhelyezkedése és az orientáció is. A szerszámalkalakitásból adódik, hogy várhatóan a termék a filmgáthoz közelebbi oldalon az utónyomási szakasz során nagyobb nyomás alakul ki az ömledékben, így ezen az oldalon várhatóan kisebb lesz a fellépő zsugorodás. Az alapanyag erősítő-, illetve töltőanyagot nem tartalmaz, így az áramlás irányával párhuzamos irányban a zsugorodás nagyobb mértékű lesz. A hűtésből, azaz a két szerszámfél eltérő hőmérsékletéből adódóan a termék vetemedni fog. A szimulációs vetemedésszámítás kiértékelése a fröccsöntött termék két, elvileg 90°-ot bezáró oldaléle által bezárt valós szög meghatározásával történt (9. ábra).



9. ábra A kiértékeléshez felhasznált élék

A koordináták és az elmozdulás, azaz a deformáció ismeretében számítható a koordinátákhoz tartozó szögdeformáció a relatív úthossz függvényében (10. ábra). A relatív élhossz nullpontja termék csúspontjában található. Látható, hogy a deformálatlan állapotbeli 90°-os szöget az Ampcoloy szerszámbetétben gyártott termék közelíti meg leginkább, de a DMLS szerszámbetétben fröccsöntött termék is jobb értékeket ér el, mint a hagyományos betétben gyártott termék. A hőmérséklet-eloszlásnak megfelelően az üregektől előállított szerszámbetéthez tartozó próbatést a DMLS és a hagyományos szerszámbetéttel előállított termék szögdeformációja közé esik.



10. ábra A különböző szerszámbetétekhez tartozó szögdeformációs értékek a relatív úthossz függvényében

### Összefoglalás

A hűtési hatékonyság optimalizációjára a legjobb megoldást a formakövető hűtési rendszerek nyújthatják, amelyek követik a fröccsöntött termék kontúrvonalát. Ezzel a megoldással egyenletesebben és nagyobb hőmennyiség vonható el a terméktől, mint a hagyományos hűtési rendszerekkel, ezáltal csökken a hűtési idő és javul a termék méretpontossága. A formakövető hűtési rendszerek tervezése összetett feladat, így a hűtőkörök szimulációs ellenőrzése elengedhetetlen.

Munkánk során összehasonlítottuk a hagyományos és a formakövető hűtési rendszereket fröccsöntés-szimulációs eljárással, valamint vizsgáltuk a különböző hővezetésű és fajhőjű fröccsöntőszerszám-alapanyagok a fröccsöntési ciklusra és a termék minőségre gyakorolt hatását. Megállapítottuk, hogy egyszerű geometriájú termékek esetében is a hagyományos helyett formakövető hűtési rendszer alkalmazása javítja a termék minőségét, csökkenti a szerszám hőterhelését és csökkenti a ciklusidőt. Az eredmények alapján elmondható, hogy a rézalapú erősen ötvözött szerszámanyagok hagyományos hűtési rendszerrel is nagyobb hőmennyiséget képesek elvonni egyszerű és kis térfogatú fröccsöntött termék-



kek esetén, mint a formakövető hűtések, így ezek az anyagok nagyobb mértékben javítják a termékminőséget.

### Köszönetnyilvánítás

A cikk a Bolyai János Kutatási ösztöndíj támogatásával készült. A szerzők köszönetüket fejezik ki az Országos Tudományos Kutatási Alap (OTKA PD 105995) anyagi támogatásáért. Köszönjük továbbá az Arburg Hungária Kft-nek az Arburg Allrounder 370C 700-250 Advance típusú fröccsöntőgépet, a Piovan Hungary Kft-nek a temperálót és a kiegészítőket, valamint a Lenzkes GmbH-nak a szerszámfelfogókat. A munka szakmai tartalma kapcsolódik a «Minőség-orientált, összehangolt oktatási és K+F+I stratégia, valamint működési modell kidolgozása a Műegyetemen» c. projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. A projekt megvalósítását az Új Széchenyi Terv TÁMOP-4.2.1/B-09/1/KMR-2010-0002 programja támogatja. A munka szakmai tartalma kapcsolódik a «Új tehetséggondozó programok és kutatások a Műegyetem tudományos műhelyeiben» c. projekt szakmai célkitűzéseinek megvalósításához. A projekt megvalósítását a TÁMOP -4.2.2.B-10/1--2010-0009 program támogatja. A cikkben ismertetett kutató munka a TÁMOP-4.2.2.A-11/1/KONV-2012-0029 jelű projekt részeként – az Új Széchenyi Terv keretében – az Európai Unió támogatásával, az Európai Szociális Alap társfinanszírozásával valósult meg.

ZINK BÉLA\*

doktorandusz

SZABÓ FERENC\*

doktorjelölt

HATOS ISTVÁN\*\*

tanársegéd

DR. HARGITAI HAJNALKA\*\*

egyetemi docens

DR. KOVÁCS JÓZSEF GÁBOR\*

egyetemi docens

\*Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem, Gépészmérnöki Kar, Polimertechnika Tanszék

\*\*Széchenyi István Egyetem,

Anyagtudományi és Technológiai Tanszék

### Irodalomjegyzék

1. Plastics Europe: Plastics- the Facts 2012, An analysis of European plastics production, demand and waste data for 2011, 2012
2. Buzási Lajosné: Fröccsöntés helyzete Magyarországon 2012-ben, Műanyag és Gumi, 49/9, 2012, 321-325
3. B. Duleba, F. Greskovic: Conformal cooling for plastics injection moulding, Technical University of Kosice
4. A. Coremans, M. Kauf, P. Hoffmann: Laser assisted rapid tooling of molds and dies, Proceedings of the Fifth European Conference on Rapid Prototyping and Manufacturing, Finland, 1996, 195-210
5. F. Petzoldt, H. Pohl, A. Simchi, B. Alcantara: DMLS gets an expert once-over, EPMA's EuroPM2005 Conference and Exhibition in Prague, 2006
6. Dunai A., Macskási L.: Műanyagok fröccsöntése, Lexica Kft., Budapest, 2003
7. M.W. Khaing, J.Y.H. Fuh, L.Lu: Direct metal laser sintering for rapid tooling: processing and characterisation of EOS parts, Journal of Materials Processing Technology Vol.113, 2001, 269-272
8. Pálmai Z., Dévényi M., Szőnyi G.: Szerzőanyagok, Műszaki kiadó, Budapest, 1991
9. Artinger I., Csikós G., Krállics Gy., Németh Á., Palotás B.: Fémek és kerámiák technológiája, Műegyetemi kiadó, Budapest, 2006
10. Böhler P20 adatlap ([http://www.bucorp.com/files/P20\\_data\\_sheet\\_09032013.pdf](http://www.bucorp.com/files/P20_data_sheet_09032013.pdf), 2013. szeptember 11.)
11. Ampcoloy 940 adatlap ([http://www.ampcometal.com/common/datasheets/en/A940\\_EX\\_E.pdf](http://www.ampcometal.com/common/datasheets/en/A940_EX_E.pdf), 2013. szeptember 11.)
12. EOS MaragingSteel MS1 adatlap ([http://www.harbec.com/media/uploads/maragingsteel\\_ms1\\_material\\_data\\_sheet\\_07-07\\_en.pdf](http://www.harbec.com/media/uploads/maragingsteel_ms1_material_data_sheet_07-07_en.pdf) (2013. szeptember 11.)