

Titán alapú amorf ötvözetek tervezése és gyártása

DESIGN AND MANUFACTURE OF TI-BASED AMORPHOUS ALLOYS

RENKÓ József Bálint¹, KÁROLY Dóra²

^{1,2} Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Gépészmérnöki Kar, Anyagtudomány és Technológia Tanszék
Magyarország, 1111 Budapest, Bertalan Lajos utca 7. telefonszám: +36 1 463-1234
¹renko.jozsef@edu.bme.hu, ²kdora@eik.bme.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

Kellően nagy hűtési sebességgel elérhető, hogy az adott fémötvözet ne tudjon kristályos formába rendeződni. Az így kialakuló amorf ötvözet egyes tulajdonságai sokkal kedvezőbbek, mint az azonos összetételű kristályos fázisú ötvözeteké. Ezeket a kedvező szilárdsági tulajdonságokat titán alapú ötvözetekkel kombinálva új, eddig nem használt anyagokat hozhatunk létre.

Kulcsszavak: titán, amorf, ötvözet, tervezés, gyártás

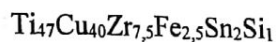
ABSTRACT

With the use of high enough cooling speed on a given alloy, the alloy will not reach crystalline phase. Some of the created amorphous alloy's attributes are more favourable than the same material's crystalline version. If we combine these attributes with Titanium-based alloys, we can create materials that have not been used so far.

Keywords: Titanium, amorphous, alloy, design, manufacture

1. A VÁLASZTOTT ÖTVÖZETEK

Kutatásunk elsődleges célja az volt, hogy titán alapú amorf ötvözetet állítsunk elő, illetve ezzel kapcsolatban a mintakészítés és mintaminősítés lépését megismerjük. Ehhez egy, a szakirodalomból ismert és már elkészített ötvözet, valamint egy eddig nem vizsgált, általunk tervezett ötvözet elkészítését és vizsgálatát kellett megvalósítanunk. Míg az irodalmi minta kiválasztásánál a legfőbb szempont az volt, hogy referenciát és egyfajta ellenőrzést tudjunk végezni, biztosítva ezzel, hogy a mért eredményeket más kutatók munkája is alá tudja támasztani, addig a saját ötvözetnél a tervezés legfőbb szempontja a kis, legfeljebb 5 g/cm³ sűrűség és a jó üvegesedési hajlam volt [1]. A rendelkezésre álló információkból ezért a választott „irodalmi ötvözet” [2]:



Az általunk tervezett ötvözetnél szempont, hogy az ötvözet különösen nagy titán tartalmú legyen, kis, legfeljebb 5 g/cm³ sűrűséggel, de mégis megfelelő üvegesedési hajlammal. A feltételeknek megfelelő „saját ötvözet”:



Ennek elméleti sűrűsége 4,8 g/cm³, elméleti szabadentalpia-változása pedig háromszorosa az irodalmi ötvözetnek, így elmondható, hogy a nagy üvegesedési hajlam feltételének is eleget tesz.

2. MINTAKÉSZÍTÉS

A tervezett atomarányos összetételt tömegarányra átszámolva megkapható, mennyit kell az egyes elemi ötvözőkből összeolvasztani ahhoz, hogy végeredményben 20 grammos minta álljon elő, mivel ennyi az alkalmazott olvasztótégely maximális befogadóképessége. Az elemi összetevőket fűrésszel és csiszolópapírral aprítottuk megfelelően kis méretűre. Erre azért volt szükség, mert olvasztás során nincs lehetőség az olvasadékot megkeverni, így minél kisebbek a darabok, annál jobb lesz a homogenitás összeolvasztáskor.

Mindkét vizsgálandó ötvözet előállítása hidegtégelyes indukciós olvasztás segítségével történt. A homogenitás fokozása érdekében a kész ötvözet öt alkalomnyi összetörése és újraolvasztása szükséges. A vizsgálatok során meggyőződünk arról, hogy már ekkor kis mértékben kialakult üvegfázis a minta réztégely felőli oldalán, ám ennek vastagsága túlságosan kicsi ahhoz, hogy érdemi következtetéseket lehessen levonni belőle (1. ábra).

Titán alapú amorf ötvözetek tervezése és gyártása

DESIGN AND MANUFACTURE OF TI-BASED AMORPHOUS ALLOYS

RENKÓ József Bálint¹, KÁROLY Dóra²

^{1,2} Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Gépészmérnöki Kar, Anyagtudomány és Technológia Tanszék
Magyarország, 1111 Budapest, Bertalan Lajos utca 7. telefonszám: +36 1 463-1234
¹renko.jozsef@edu.bme.hu, ²kdora@eik.bme.hu

ÖSSZEFOGLALÁS

Kellően nagy hűtési sebességgel elérhető, hogy az adott fémötvözet ne tudjon kristályos formába rendeződni. Az így kialakuló amorf ötvözet egyes tulajdonságai sokkal kedvezőbbek, mint az azonos összetételű kristályos fázisú ötvözeteké. Ezeket a kedvező szilárdsági tulajdonságokat titán alapú ötvözetekkel kombinálva új, eddig nem használt anyagokat hozhatunk létre.

Kulcsszavak: titán, amorf, ötvözet, tervezés, gyártás

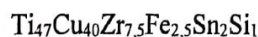
ABSTRACT

With the use of high enough cooling speed on a given alloy, the alloy will not reach crystalline phase. Some of the created amorphous alloy's attributes are more favourable than the same material's crystalline version. If we combine these attributes with Titanium-based alloys, we can create materials that have not been used so far.

Keywords: Titanium, amorphous, alloy, design, manufacture

1. A VÁLASZTOTT ÖTVÖZETEK

Kutatásunk elsődleges célja az volt, hogy titán alapú amorf ötvözetet állítsunk elő, illetve ezzel kapcsolatban a mintakészítés és mintaminősítés lépéseit megismerjük. Ehhez egy, a szakirodalomból ismert és már elkészített ötvözet, valamint egy eddig nem vizsgált, általunk tervezett ötvözet elkészítését és vizsgálatát kellett megvalósítanunk. Míg az irodalmi minta kiválasztásánál a legfőbb szempont az volt, hogy referenciát és egyfajta ellenőrzést tudjunk végezni, biztosítva ezzel, hogy a mért eredményeket más kutatók munkája is alá tudja támasztani, addig a saját ötvözetnél a tervezés legfőbb szempontja a kis, legfeljebb 5 g/cm^3 sűrűség és a jó üvegesedési hajlam volt [1]. A rendelkezésre álló információkból ezért a választott „irodalmi ötvözet” [2]:



Az általunk tervezett ötvözetnél szempont, hogy az ötvözet különösen nagy titán tartalmú legyen, kis, legfeljebb 5 g/cm^3 sűrűséggel, de mégis megfelelő üvegesedési hajlammal. A feltételeknek megfelelő „saját ötvözet”:

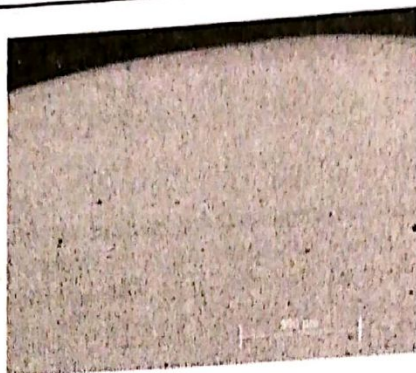


Ennek elméleti sűrűsége $4,8 \text{ g/cm}^3$, elméleti szabadentalpia-változása pedig háromszorosa az irodalmi ötvözetnek, így elmondható, hogy a nagy üvegesedési hajlam feltételének is eleget tesz.

2. MINTAKÉSZÍTÉS

A tervezett atomarányos összetételt tömegarányra átszámolva megkapható, mennyit kell az egyes elemi ötvözőkből összeolvasztani ahhoz, hogy végeredményben 20 grammos minta álljon elő, mivel ennyi az alkalmazott olvasztótégely maximális befogadóképessége. Az elemi összetevőket fűrésszel és csiszolópapírral aprítottuk megfelelően kis méretűre. Erre azért volt szükség, mert olvasztás során nincs lehetőség az olvasztókat megkeverni, így minél kisebbek a darabok, annál jobb lesz a homogenitás összeolvasztáskor.

Mindkét vizsgálandó ötvözet előállítását hidegtégelyes indukciós olvasztás segítségével történt. A homogenitás fokozása érdekében a kész ötvözet öt alkalomnyi összetörése és újraolvasztása szükséges. A vizsgálatok során megbizonyosodtunk arról, hogy már ekkor kis mértékben kialakult üvegfázis a minta réztégely felőli oldalán, ám ennek vastagsága túlságosan kicsi ahhoz, hogy érdemi következtetéseket lehessen levonni belőle (1. ábra).



1. ábra
Irodalmi öntecs 50x nagyítással

Amorf mintákat centrifugálöntéssel, az indukciósan felhevített ötvözet előre kialakított formájú kokillába öntésével kívántuk létrehozni [3]. Mivel a minták olvadáspontja nagyon nagy, így szükség volt az esetleges öntőtégely-lyukadás ellen védekezni. Az öntőtégelybe ezért grafitömbből esztergált betétet készítettünk. A grafitbetét így az előre behelyezett és felhevített tiszta titánnal titánkarbidot képez, amelynek olvadáspontja már kellően nagy ahhoz, hogy védje az öntőtégelyt. Sajnálatos módon a rendelkezésre álló berendezéssel végül sem a tiszta titánt, sem a vizsgálandó ötvözeteket nem sikerült megolvasztani, mivel a gép nem bírta előállítani az ehhez szükséges hőmérsékletet.

Mivel olvasztással és az azt követő gyorsűtéssel nem sikerült féműveget előállítani, érdekes alternatívát találtunk. Malomban őrölve a szemcsék elaprózódnak, valamint a folyamatos dinamikus igénybevétellel diszlokációk vihetők a szerkezetbe. Kellő idejű és intenzitású igénybevétellel elérhető, hogy fokozatos szemcsecsökkenés során nano-, majd amorf fázis alakuljon ki. Ezért az ötvözeteket 15 órán át őröltük golyós malomban.

Az így kapott porral viszont felmerült egy újabb probléma. Pormintákon ugyanis a megszokott vizsgálati módszerek nem alkalmazhatóak, ezért nincs lehetőség sem keménységmérésre, sem mikroszkópos csiszolati vizsgálatra. A porokat ezért tömbösíteni kellett. Erre két különböző eljárást alkalmaztunk. Először egy egyszerű préselést, amely során 10 tonna nyomóerő alatt préseltük az alig 1 grammos mintákat két percig. A két vizsgált ötvözet közül az irodalmi minta tömörített felülete meglepő módon már ekkor alkalmassá vált a kívánt vizsgálatok elvégzésére, ugyanis nagy, összefüggő, tükörsima felületek alakultak ki a pormintán. Mivel a saját ötvözetnél a tömörítés után durva, egyenetlen felület alakult ki, a minták újabb tömörítése következett. Másodszor HPT (High Pressure Torsion) technológiával, úgynevezett nagynyomású torzióval tömbösítettük a mintákat. Itt a 10 tonna nyomóerő mellett torziós igénybevétel érte a porokat.

Az elkészült minták vizsgálatra való előkészítését egyaránt elvégeztük az öntött, a tömörített és a HPT technológiával kezelt mintákon is, igaz ezek eredményessége változó volt. A mintákat szilikon formában először duracryl gyantába öntöttük, amelyet nagy nyomás alatt térhálósítottunk. A kész mintákat egyre finomabb csiszolópapírral csiszoltuk, ügyelve arra, hogy a csiszolás iránya váltakozó legyen. A P4000-es, 6 μm szemcse nagyságú csiszolópapír után polírozógépen 3 μm -es gyémánttal políroztuk tükörsimára a felületeket, ahol arra lehetőség volt.

3. VIZSGÁLATOK

3.1. Sűrűségmérés

A megfelelően felületkezelt minták mérése hélium gáz piknométeres sűrűségméréssel kezdődött.

1. táblázat. Sűrűségmérés eredményei

Ötvözet	Irodalmi	Saját
Elméleti sűrűség [g/cm^3]	6,3742	4,8029
Minta tömege [g]	2,87	1,99
Térfogatmérés átlaga [cm^3]	0,4977	0,4824
Térfogatmérés szórása [cm^3]	0,0019	0,0014
Átlagsűrűség [g/cm^3]	5,7671	4,1249
Sűrűség szórása [g/cm^3]	0,0215	0,0121

A fenti táblázatból látható, hogy jó közelítéssel sikerült megkapni az elméleti sűrűségeket. Az ettől való kb. $0,6 \text{ g/cm}^3$ eltérés betudható az amorf fázis jelenlétének, az ötvözet esetleges inhomogenitásának és a gép hibájának.

3.2. Mikroszkópos vizsgálatok

Mikroszkópos vizsgálatok során lehetőség volt arra, hogy a mikroszkópos képek alapján előzetesen eldöntsük, alkalmas-e az adott minta a további vizsgálatokra. Az öntecseken, vagyis a kristályos kiindulási ötvözeteken megfelelő előkészítéssel könnyedén kialakítható volt a szükséges felület. Tömörítés után az irodalmi minta felszínén kiváló minőségű, nagy kiterjedésű összefüggő felületek jöttek létre. Polírozással megfelelő felületet kapható a keménységméréshez. Ugyanez a saját ötvözetéről nem mondható el, a minta felszínén bár kialakultak sima, egyenletes felületek, ezek kiterjedése olyan kicsi, hogy megfelelő mérési eredmény elérésére nem alkalmas. A HPT technológiával készített minták, köszönhetően a nagy keménységnek, nem tömörödtek össze megfelelően (2. ábra). Bár sikerült megcsiszolni több szemcsét is, elmondható, hogy a minta felülete nem alkalmas keménységmérésre, a legkisebb terhelés hatására is a szemcsék elváltak egymástól és a szerkezet szétesik.



2. ábra

Saját, HPT eljárással tömörített minta 200x nagyítással

3.3. Keménységmérés

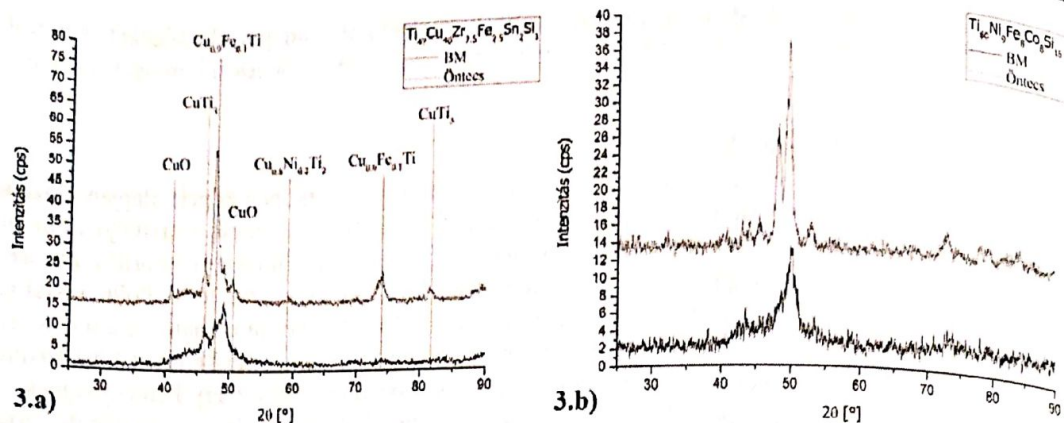
A megfelelő felülettel rendelkező mintákon végzett Vickers mikrokeménység-mérés alapján elmondható, hogy a keménység a vizsgált irodalmi minta esetén porítás és tömörítés után nőtt az öntöthöz képest, ez pedig arra enged következtetni, hogy kialakult benne amorf fázis.

2. táblázat, Keménységmérés eredményei

Ötvözet	Minta típusa	Átlagos keménység [HV]
Irodalmi	Öntecs	423
Irodalmi	Tömörített	489
Saját	Öntecs	716

3.4. Röntgendiffrakciós mérés

A vizsgálat a minták röntgendiffrakciós mérésével zárult. Az öntés utáni (öntecs) és az örlött mintáról (BM) készült röntgendiffrakciós mérések egymásra illesztésével megfigyelhető, hogy a legtöbb karakterisztikus csúcs mechanikai őrlés során eltűnt, valamint a legnagyobb intenzitású csúcsok nagyságrendekkel lecsökkentek és kiszélesedtek. Minden esetben, amikor egy karakterisztikus csúcs ellaposodik, az adott vegyületre jellemző kristályos fázis megszűnik az ötvözetben (3. ábra).



3. ábra

Irodalmi (3.a) és saját (3.b) ötvözet röntgendiffrakciós képei öntés és őrlés után

Elmondható, hogy irodalmi ötvözet esetén sikerült mechanikai őrléssel amorf ötvözetet előállítani, mivel az egyes vegyületekre jellemző karakterisztikus csúcsok többségében eltűntek. A saját ötvözetéről készített röntgendiffrakciós felvételeken is tapasztalható, hogy a mechanikai őrléssel létrehozott por fázisában részben amorf lett, ám ezeknél a mintáknál a kristályos részarány jóval nagyobb maradt. Mivel az ötvözet keménysége nagyon nagy, így hosszabb ideig tartó őrlésre lett volna szükség ahhoz, hogy az irodalmihoz hasonló, lelapult görbét kapjunk. Megfigyelhető a 70-90 fokos tartományon, hogy a kis karakterisztikus csúcsok az irodalmi minta esetében teljesen eltűntek. A saját ötvözetnél ugyanezen a tartományon a csúcsok bár elkezdtek eltűnni, szinte mindegyik megtalálható a BM görbéjén is.

4. ÖSSZEFOGLALÁS

A választott és az általunk tervezett ötvözetet is elő tudtuk állítani, ám ezeket centrifugálöntéssel már nem sikerült amorfizálni, mivel a berendezés nem volt alkalmas az ötvözetek megolvasztásához szükséges hőfok elérésére. Mechanikus őrléssel azonban sikerült por alapú, részben kristályos mintákat készíteni, amelyek a választott vizsgálati módszerek bár nem maradéktalanul, de elvégezhetőek voltak. Ezekről mind a két ötvözet esetében elmondható, hogy bár a mintában megjelent amorf fázis, a kristályos fázis nem tűnt el nyomtalanul. Az irodalmi mintánál az amorf fázis jelenlétét mind a röntgendiffrakciós vizsgálat, mind a keménységmérés megerősítette. A saját tervezett mintán a keménységmérés megfelelő felület hiányában nem volt elvégezhető a tömörített mintán, ám a röntgendiffrakciós vizsgálatok összehasonlításakor a karakterisztikus csúcsok ellaposodtak, vagyis itt is kialakult amorf fázis.

5. IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] F. Ashby, D. R. H. Jones, Engineering materials 2, An introduction to Microstructures, Processing and Design, Oxford (1986) pp. 62-68.
- [2] Liu, Ying et al.: Formation and properties of Ti-based Ti-Zr-Cu-Fe-Sn-Si bulk metallic glasses with different (Ti + Zr)/Cu ratios for biomedical application. Intermetallics. 72. pp. 36-43. (2016)
- [3] Bárdos András: Vasalapú tömbi üvegfémek előállítása és vizsgálata, Budapest (2006)

COMPARISON OF COOLING SIMULATIONS OF INJECTION MOULDING TOOLS CREATED WITH CUTTING MACHINING AND ADDITIVE MANUFACTURING

^{1,2} Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Gépészmérnöki Kar, Anyagtudomány és Technológia Tanszék,
Magyarország, 1111 Budapest, Bertalan Lajos utca 7. telefonszám: +36 1 463-1234

³ Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem
Gépészmérnöki Kar, Gyártástudomány és -technológia Tanszék,
Magyarország, 1111 Budapest, Műegyetem rkp. 3. telefonszám: +36 1 463-2515
¹renko.jozsef@edu.bme.hu, ²kemenydauid@edu.bme.hu, ³nyj@manuf.bme.hu

A ma használt korszerű gyártási technológiákkal lehetőségünk nyílik az eddig használt szerszámok, gépek újragondolására. Kiváló példa erre a fröccsöntés, mert az additív megmunkálással gyártott szerszámok speciális, nagy bonyolultságú hűtésrendszerrel láthatóak el. Felmerül azonban a kérdés, hogy vajon az így kialakított, drágább szerszámber tékek valóban lehetőségünk van olcsóbban gyártani?

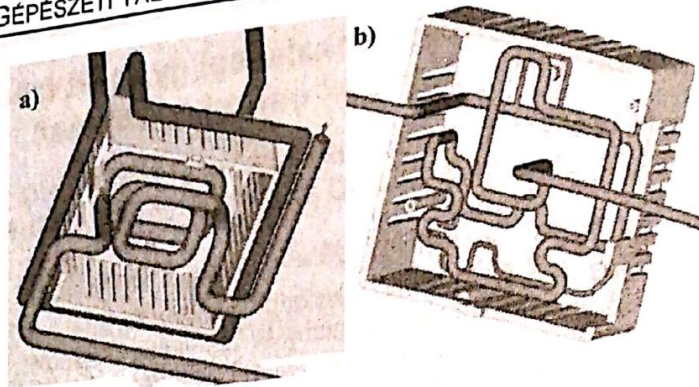
Kulcsszavak: additív megmunkálás, szimuláció, fröccsöntés, Moldex 3D, összehasonlítás

ABSTRACT
With the modern manufacturing technologies we have the opportunity to redesign the tools and machines in use. An example for that is injection moulding, because using additive manufacturing we can create tools with highly complex cooling systems. But the question arises whether it is worth using more expensive tools?

Keywords: additive manufacturing, simulation, injection moulding, Moldex 3D, comparison

A vizsgálandó termék kiválasztásakor néhány fontosabb szempontot kellett felállítani. Mivel nem célunk teljes egészében kiváltani a hagyományos úton gyártott szerszámokat, így nagyon egyszerű geometriájú, könnyen szerszámozható terméket nem érdemes választani. A szimulációk időbeni lefutását viszont egy túl bonyolult, nagyméretű termékgeometria megnehezítheti, így a választás a Famü Kft. által gyártott „Box tető” elnevezésű termékre esett. A termék geometriája nem túl bonyolult, ám megfelelő mélységű ahhoz, hogy egy mély szerszámotét alkalmazását szükségessé tegye. A szerszám hűtésének kialakítása is nehézséget okozhat, mivel a termék belső elemeinek kialakítása miatt a betétben alig marad hely a hűtőkörnek.

A gyártásban használt terveket felhasználva kétféle geometria került kialakításra. Mivel az álló szerszámfélben kialakított hűtésrendszer felépítése egyszerű, feladatát viszont jó ellátja, ezért ezen nem történt változtatás. A mozgó szerszámfél hűtőkörében a betét belsejének hűtését eredetileg két hűtőujjal oldották meg, ez a kialakítás azonban nem feltétlen hatékony. Ezt javítandó, az 1. ábrán bemutatott két hűtésrendszer került kialakításra. Mivel az additív megmunkálás közel korlátlan szabadságot biztosít a szerszámgeometria kialakításában, így a formakövető hűtés újra és újra továbbfejleszthető, míg el nem érjük az „ideális” szerszámot, amelynek hűtési időszükséglete minimális. Ezt hivatott bemutatni az alábbi formakövető, valamint továbbfejlesztett formakövető hűtőrendszer.



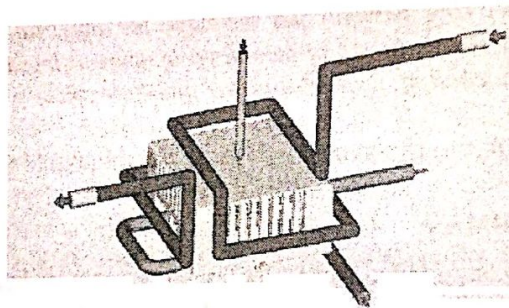
1. ábra

Formakövető hűtőkör (a) és továbbfejlesztett formakövetésű hűtőkör (b)

Formakövető hűtőkörnél (1.a) elsődleges szempont volt az eredeti hűtőkörhöz való hasonulás, így ennél a kialakításnál a hűtőkör belső átmérője az eredeti hűtőkör átmérőjével megegyezik. Ennek hatására azonban a kritikus területek, mint a sarkok vagy a kiálló részek hűtése nem mindig megoldható. Az ebből adódó problémák megoldására alakítottuk ki a továbbfejlesztett formakövetést, amely a kritikus részek hűtését hatékonyabban képes biztosítani, jobban kihasználva az additív megmunkálás nyújtotta előnyöket [1].

3. SZIMULÁCIÓK

A szimulációk elkészítéséhez a Moldex3D R.15.0 szoftvercsaládot használtunk [2]. Az előzetesen elkészített munkadarabot és szerszámmodelleket először importáltuk, majd a szimulációhoz szükséges, de még meg nem adott elemeket kellett beállítani. Ekkor került be a beömlőcsatorna, a hűtőkör, valamint a melegcsatorna és a meglövési pont helye. Ezek elhelyezkedését a 2. ábra mutatja be.



2. ábra

Termék, hűtőkörök, valamint a beömlőcsatorna elhelyezkedése

A geometria után az anyag- és szerszámtulajdonságok kerültek beállításra. A szerszám a valós modellel megegyezően 246x246x283-as méretű, 1.4404-es jelölésű ausztenites korrózióálló acélból készült [3]. Ez az anyagminőség rendelkezésre áll additív megmunkálásnál is, mint alapanyag, így a szimulációknál a szerszámanyag nem változik, a hűtés tehát kizárólag a geometriától függ. A fröccsöntési, utónyomási és hűtési idő alatti szerszámmozgásokat, nyomásokat és hőmérsékleteket a termék technológiai lapján megadott értékek szerint vettük fel, ezzel is biztosítva, hogy az eredmények a valósághoz a lehető legközelebb álljanak. A modell hálózása BLM (Boundary Layer Mesh) módszerrel történt, vagyis a test a felületek közelében sűrűn, míg a belsejében lazábban lett hálózva.

A szimulációk során összesen négy esetet vizsgáltunk. A „hagyományos” (forgácsolással gyártott) és a „formakövető” (additív megmunkálással gyártott) hűtésrendszer szimulációját két-két különböző beállítással futtattuk le, először standard, másodsor pedig tranziens szimulációként. Elmondható, hogy a két módszerrel közel azonos értékeket kapunk, ezek külön-külön történő kiértékelése (köszönhetően az elhanyagolhatóan kis eltérésnek) nem szükséges.

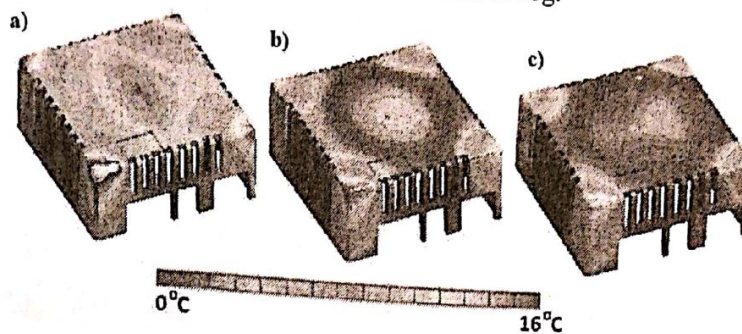
4. KIÉRTÉKELÉS

A szimulációk során három szempont szerint hasonlítottuk össze a hűtőköröket. Először a termék két oldalán kidobáskor mérhető hőmérséklet-különbség szerint, amely a vetemedésért felelős, másodsor a kido-

bási hőmérséklet eléréséhez szükséges időszükséglet szerint történt az összehasonlítás. Végül a szerszámokon belüli hőmérséklet-eloszlás került kiértékelésre.

4.1. Hőmérséklet-különbség a termék két oldalán

A termék kidobásakor az egyik legnagyobb veszélyt az jelenti, ha a termék hűtése nem egyenletes, vagyis a mozgó és álló szerszámfél hűtőköréi által elvont hő nem közel azonos. Ennek veszélye az, hogy ha kidobáskor a hőmérséklet-különbség túl nagy, a termék vetemedni fog.



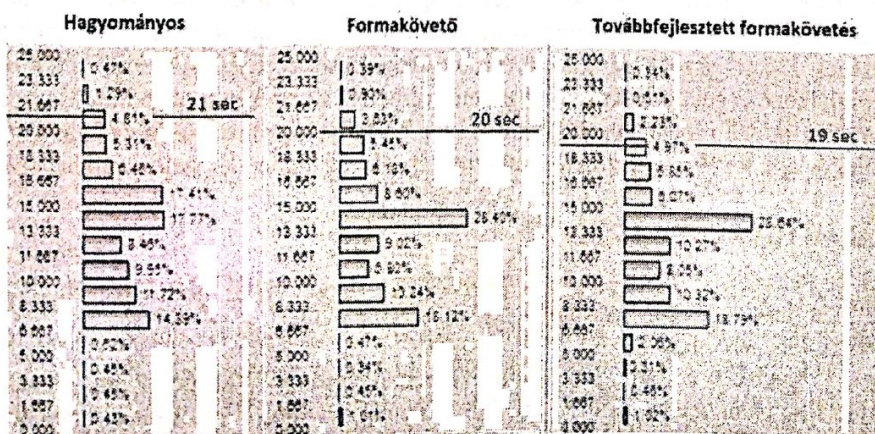
3. ábra

Hőmérséklet-különbség a termék két oldalán hagyományos (a), formakövető (b) és továbbfejlesztett formakövetésű (c) hűtésrendszer használatakor

A 3. ábrán látható, hogy formakövető hűtésrendszer használatakor a kritikus, 16 °C-nál nagyobb eltérésű területek (fehér sarkok) teljesen eltűntek, az eltérés a termék oldalai közt jelentősen csökkent. Az eltérés mértéke továbbfejlesztett hűtés esetén még számottevőbb. A hőmérséklet-különbséggel szoros kapcsolatban áll vetemedés, amelynek maximális értéke bár egyik esetben sem változott, a nagy vetemedésű elemek száma töredékére csökkent.

4.2. Maximális hűtési időszükséglet

A maximális hűtési időszükségletet a szoftver úgy számolja, hogy az egyes falvastagságokhoz tartozó elemek közül a szoftver kiválasztja azt, amelynek kidobási hőmérsékletre hűtéshez a leghosszabb időre van szüksége. Így a valósághoz sokkal közelebb álló eredményeket kaphatunk, mintha elemről elemre vizsgálnánk a hűtési időt, hiszen hűtésekor mindig a belső, leglassabban kihűlő térrészek jelenthetnek gondot. Ahhoz, hogy a termék biztonságosan eltávolítható legyen, a keresztmetszet legalább 95%-ának meg kell dermedni. Mivel a termék technológiai lapján 25 sec hűtési idő volt megadva, így a szimulációk során is ekkora hűtési idő került beállításra (4. ábra).



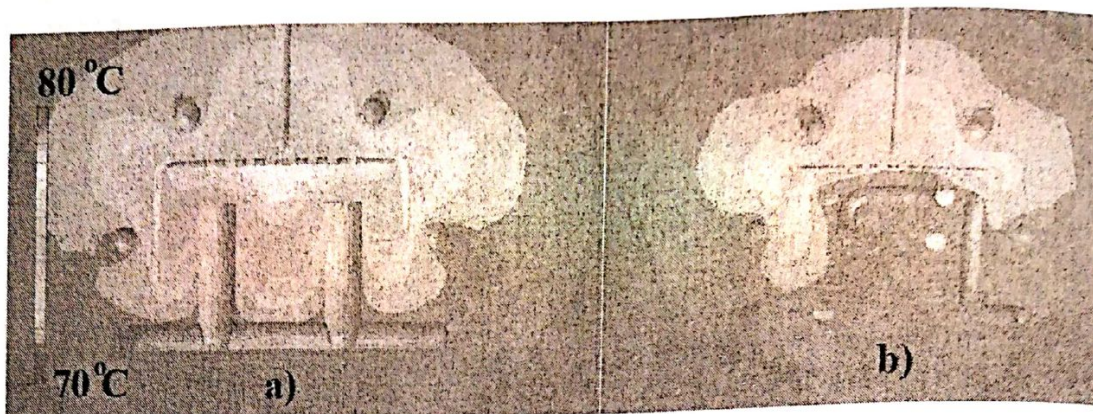
4. ábra

Hagyományos és formakövető hűtőkörök maximális időszükséglete

Látható, hogy ha behúzzuk a 95%-os határt, hagyományos hűtőkör esetén a hűtési idő 21 sec, formakövető hűtésnél 20 sec, továbbfejlesztett formakövetésnél pedig 19 sec. Tehát ha 21 sec hűtési idővel gyártjuk a terméket, az 1 sec megtakarítás 4,7%-os, a 2 sec megtakarítás 9,5%-os javulást jelent a hűtési időben.

4.3. Szerszámhőmérséklet

A szerszámban kidobáskor mért hőmérsékletek nagysága megmutatja, hogy milyen mértékű termikus igénybevételnek tesszük ki a szerszámot egy-egy fröccsöntési ciklus során. A szerszám hőmérséklet-eloszlását bemutató, különböző metszeteket készítettünk a szerszámról a kidobás pillanatában (5. ábra).



5. ábra

Hőmérséklet-eloszlás a szerszámban hagyományos (a) és formakövető (b) hűtőkörök használata esetén

A termék kidobásának pillanatában látható, hogy a hagyományos hűtőkör hűtő ujjai közel sem olyan hatékonyan veszik fel a hőt, így a szerszám hőmérséklete nem tud visszaállni fröccsöntés előtti szintre. A formakövető hűtésnél azonban a szerszámbetétek hőmérséklete sokkal egyenletesebb, az alsó, formakövető hűtőkör szinte teljesen vissza tudta hűteni a szerszámot. Ennek köszönhetően a szerszám hőterhelése lecsökkent, a termikus kifáradása pedig sokkal később következik majd be.

5. ÖSSZEFOGLALÁS

Kijelenthető, hogy ha a termék gyártásához szükséges szerszámbetéteket additív megmunkálással gyártjuk le, nagy sorozatú gyártásnál az esetleges többletköltségek ellenére is gazdaságosabban, pontosabban lehet termelni vele. Ezt jól bizonyítja, hogy egy ilyen kis bonyolultságú, de mély termék esetén is közel 10%-os megtakarítást tudunk elérni hűtési időben, nem beszélve a vetemedés csökkenése jelentette méretpontosság-javulásról. Fontos azonban megjegyezni, hogy az additív megmunkálás teljesen sosem fogja felváltani a hagyományos forgácsoló megmunkálással elkészített szerszámokat, hiszen egyszerű geometriáknál a technológia nyújtotta előnyök nem használhatók ki. A technológia tehát az iparban felhasználható, de annak alkalmazása csak akkor indokolt, ha a hagyományos hűtésrendszer megfelelő kiépítése a termék komplexitása miatt nem lehetséges. Ekkor viszont már kis ciklusidő-csökkenéssel is jelentősen növelheti a cég bevételeit, hiszen az ezzel foglalkozó cégek egyszerre több gépen gyártanak, az ezeken megspórolt összegek pedig összeadódnak. Továbbá, mivel a technológiával elméletileg bármilyen geometriát ki tudunk alakítani, a szerszám hűtőköre újra és újra tovább fejleszthető, amelynek csupán az emberi képzelet szab határokat.

6. IRODALMI HIVATKOZÁSOK

- [1] A. Simchi, F. Petzoldt, H. Pohl: On the development of direct metal laser sintering for rapid tooling, Journal of Materials Processing Technology 141, 319-328., 2003
- [2] <http://www.moldex3d.com/en/>
- [3] S. Matthes, S. Szemkus, S. Jahn, Jena: Additive manufacturing – Recent Developments in Manufacturing of metallic components. (YPUC 2017, 3rd Young Welding Professionals International Conference, August 16-18. 2017, Germany)