



Alumínium öntvények menetformázási vizsgálata

Thread forming testing of aluminium castings

¹Stadler Róbert Gábor, ²Fábián Enikő Réka, ³Pinke Péter, ⁴Horváth Richard

¹Óbudai Egyetem. Budapest, Magyarország, stadler.robort@bgk.uni-obuda.hu

²Óbudai Egyetem. Budapest, Magyarország, fabian.reka@bgk.uni-obuda.hu

³Óbudai Egyetem. Budapest, Magyarország, pinke.peter@bgk.uni-obuda.hu

⁴Óbudai Egyetem. Budapest, Magyarország, horvath.richard@bgk.uni-obuda.hu

Összefoglalás

A nyomásosan öntött autoipari alkatrészek összeszerelése érdekében az alkatrészekeken gyakran kell menetes részt kialakítani. Annak függvényében, hogy mekkora a készítendő menet magfuratba meneetalakítási nyomaték nagyban változik. Nagy nyomaték esetén (előírt magurfathoz képest kisebb átmérőknél) viszont nagy diszlokációsűrűség növekedés lép fel. A diszlokációk felületen való feltorlódásai felületi repedéseket hozhatnak létre, amennyiben az alakított rétegben létrejött feszültség meghaladja a kritikus törési szilárdságot. Jelen tanulmányban különböző magfurat átmérők mellett menetformázási műveletet végeztünk, a folyamat során pedig mértük a fellépő forgácsolási nyomatékokat. Ezekután pásztázó elektronmikroszkóp és optikai mikroszkóp segítségével jellemeztük a menetalakítás utáni mintákat. Vizsgálataink azt mutatták, hogy magfurat növelésével csökken a menetprofil a hordozó felületen.

Kulcs szavak: nyomásosan öntött alumínium ötvözet, menetformázás, alakítási repedés.

Abstract

In order to assemble die-cast automotive parts, threading is often required on the parts. Depending on the size of the core hole, the machining torque varies considerably. At high torque, however, a large increase in dislocation density occurs. The build-up of dislocations on the surface can create surface cracks if the stress generated in the formed layer exceeds the critical fracture strength. In the present study, a thread forming operation was carried out at different core hole diameters, and the applied cutting torque was measured during the process. The samples were then studied using scanning electron microscopy and optical microscopy. Our investigations showed that the thread profile on the substrate surface decreases with increasing core fouling.

Keywords: die-cast aluminium alloy, thread forming, deformation cracking

1. Bevezetés

Az alumíniumötvözetből készült öntvények alkalmazása folyamatosan növekvő tendenciát mutat több iparágban, amelyek közül az egyik legjelentősebbet a járműipari felhasználás jelenti. Ez többek között az alkalmazott ötvözetek és feldolgozó technológiák előnyös társításából következik. Az öntészeti ötvözetek megfelelő öntehetősége és fajlagos szilárdsága lehetőséget ad bonyolult geometriájú alkatrészek költséghatékony sorozatgyártására [1].

A nyomásos öntéstechnológia alkalmazása során, a technológiai paraméterek optimalizálása mellett is, kialakulnak különböző öntési hibák, amelyek nagyban befolyásolják a végeredmék

mechanikai és fizikai tulajdonságait. Ezek a hibák többféle mechanizmus által képződnek, amelyek eredményeként a jellemző hibák: a felületi oxidáció, a gázporozitás, a zsugorodási üregek képződése, valamint légzárványok kialakulása [2].

Az öntvényben képződött különböző öntési hibák nagyban kihatnak a termék utómunkálataira is, ezek közül a különböző felületkezelési vagy menetformázási eljárások említhetők. Menetes kötélemeket széles körben alkalmaznak mechanikai és szerkezeti alkalmazásokban, többek között a könnyebb karbantartási, szerelési és javítási lehetőségek miatt [3].

Az öntvények egyre növekvő alkalmazása végett, az ilyen típusú alkatrészekbe gyakran menetformázással készítene meneteket, ebből adódóan a menetformázási technológiákkal összefüggő kísérletek, vizsgálatok száma is megnőtt.

Alessandra Olinda és ts. [4] tanulmányukban kiemelik, hogy a belső menetfúrás az egyik legkritikusabb megmunkálási művelet. Vizsgálataik során AM60 típusú ötvözetben különböző furatátmérők (9,1; 9,3; 9,5 mm), formázási sebességek (60; 80; 100 mm/perc), és szerszám típusok (bevonatos és bevonat nélküli szerszámok) hatását vizsgálták többek között a folyamat során kialakuló nyomatékra és axiális erőre vonatkozóan. Ezekon kívül vizsgálták a keménységet (mikrokeménység mérővel a menet profilon 5 helyen) valamint mikroszerkezeti és topográfiai elemzést is végeztek a kész menetekben. A tanulmányukban többek között arra a következtetésre jutottak, hogy a nyomatékot jobban befolyásolja a furat átmérő, mint az axiális erő, valamint megállapították, hogy kisebb átmérő és nagyobb formázási sebesség mellett keményedés tapasztalható.

Nils Felinks és ts. [5] szintén a változó magfurat átmérők hatását vizsgálták a menet kialakítására vonatkozóan AlSi10MnMg öntött ötvözetben. A tanulmányukban M6-os meneteket formáztak és vizsgáltak két magfurat átmérőn (5,5 és 5,6 mm). A menetformázásokat egy TiN bevonatú menetformázóval hajtották végre, 7,5 m/perc formázási sebesség mellett. A vizsgálatok során mérték a mechanikai szerszámterheléseket (axiális erő és nyomaték), valamint vizsgálták a szárnyprofil mikroszerkezetét. Arra a következtetésre jutottak, hogy a nagyobb méretű magfuratnál kisebb szerszámterhelések lépnek fel, illetve, megállapítást nyert, hogy a magfurat átmérő jelentősen befolyásolja a menet minőségét.

Breno dos Santos Siqueira és ts. [6] a menetformázó szerszám paramétereinek (forgáscstörő, spirálszög, bevonat), valamint a vágósebesség (15; 30; 45 m/perc) hatását vizsgálták menetformázási kísérletek során. A vizsgálatok során detektálták a menetformázási művelet során fellépő axiális erőt és nyomatékot. Az M8-as menetformázási vizsgálatokat SAE 1020-as acél munkadarabban hajtották végre. Mindegyik menetformázást, ugyanolyan geometriai paraméterekkel rendelkező furatban végezték el. Mérés eredményeik alapján megállapították, hogy a formázó szerszám kialakítása jelentős hatást gyakorol az axiális irányú erőre, valamint a keletkező nyomatékra. A nagyobb spirálszöggel rendelkező, bevonatos, forgáscstörő nélküli menetformázó szerszámmal érték el a legjobb eredményeket.

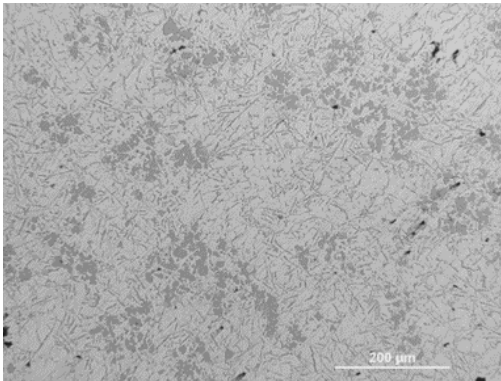
Oliveira és ts. [7] a formázási sebesség (10; 50 m/perc), a menetfűrő bevonatának és a menetfűrő kúpos tartományának hatását vizsgálták menetfűrési művelet során 7075-T6 alumíniumötvözetben. A vizsgált kimenő paraméterek a folyamat során fellépő tolóerő és a nyomaték volt, valamint ezek hatása a menetprofilok mikrokeménységére és minőségére. Minden bemenő faktort két szinten változtattak. Vizsgálati eredményeik alapján arra a következtetésre jutottak, hogy a formázási sebesség, a bevonat és a kúpos tartomány mind jelentős befolyással van a folyamat során keletkező tolóerőre és nyomatékra. A TiN bevonatú, C típusú kúpos szerszámmal előállított menetprofil 10 m/perc alakítási sebességgel adta a legjobb menetprofil topográfiát.

Ebben a cikkben eltérő magfurattal rendelkező mencealakítást végeztünk nyomásosan öntött alumínium ötvözetben abból a célból, hogy a magfurat csökkenéséből adódó nyomaték növekedés és az abból adódó alakítás növekedése, hogyan hat a menetprofilra. A nagymértékű alakítás okozhat-e

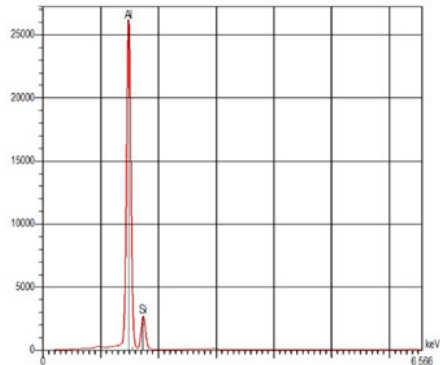
akár repedéseket a menetalkítás során, mely szivárgási útvonalként szolgálhat a gáztömör követelményekkel rendelkező ötvények esetében.

2. Anyag és módszer

A menetformázási vizsgálatokat tömeggyártásban készült nyomásosan öntött hipereutektikus összetételű Al-Si próbatesteken (Al = 82,8%; Si = 17,3%) végeztük el. A minta szövetszerkezete az 1.a). ábrán, a pásztázó elektronmikroszkópos (SEM) elemzésekor felvett spektruma pedig az 1.b). ábrán látható. A metallográfiai elemzés és a SEM spektrum alapján látható hogy hipereutektikus Al-Si ötvözetéről van szó, ahol a primer szilíciumkristályok kisebb csoportosulásokban oszlanak el az anyagban.



a,



b,

1. ábra. A vizsgált nyomásosan öntött alkatrész szövetszerkezete (a) és SEM elemzési spektruma (b)

A vizsgálatok során M5 típusú menetek formázását hajtottuk végre. A formázási kísérletek során Mazak Nexus 410A-II típusú CNC marógépet és egy Walter gyártmányú TC420-M5-C0-WW60BA kódú menetformázó szerszámot alkalmaztunk. A mérések során alkalmazott forgácsolási paramétereket a szerszám katalógusa alapján választottuk, amelyek minden mérési pontban azonosak voltak (n – fordulatszám: 3500 1/perc; v_f – előtolási sebesség: 175 mm/perc). A vizsgálatok során egy paramétert, a magfurat átmérőt változtattuk 3 szinten (4,6; 4,65; 4,7 mm). A menetformázás során pedig a különböző magfuratok alakítása során fellépő nyomatékot mértük egy Kistler 9123C típusú nyomatékmérővel. Azonos magfurat átmérőn három mérést végeztünk. A mért nyomaték értékeket átlagoltuk.

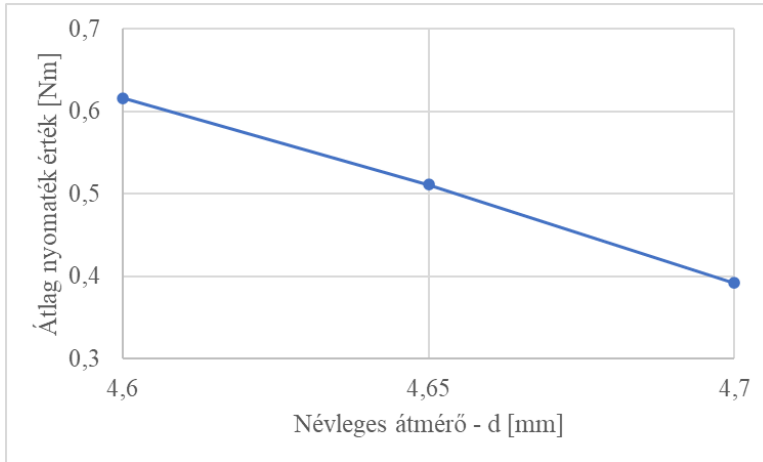
A menetformázás után a vizsgálati mintákat kettétörtük. A kapott töretfelületeket egy Jeol JSM 5310 típusú pásztázó elektron-mikroszkópon, valamint egy Optika SZM2-e típusú sztereomikroszkópon vizsgálatuk.

3. Eredmények bemutatása

Az 1. táblázatban láthatóak a mért nyomaték értékek az egyes mérési pontokban, illetve az azonos magfuratban mért formázó nyomatékok átlagértékei. A 2. ábrán az egyes magfuratokon mért nyomatékok átlaga látható.

1. táblázat: A névleges és tényleges magfuratátmérő értékek

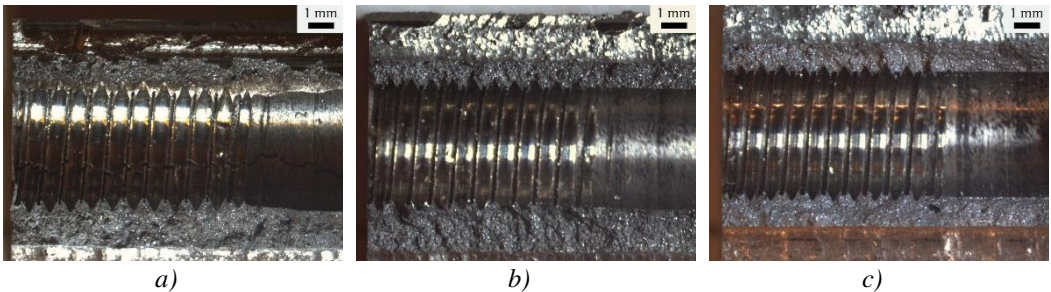
Névleges átmérő [mm]	1. mérés, Nm	2. mérés, Nm	3. mérés, Nm	Átlag, Nm
4,6	0,622	0,608	0,618	0,616
4,65	0,499	0,522	0,512	0,511
4,7	0,384	0,390	0,401	0,392



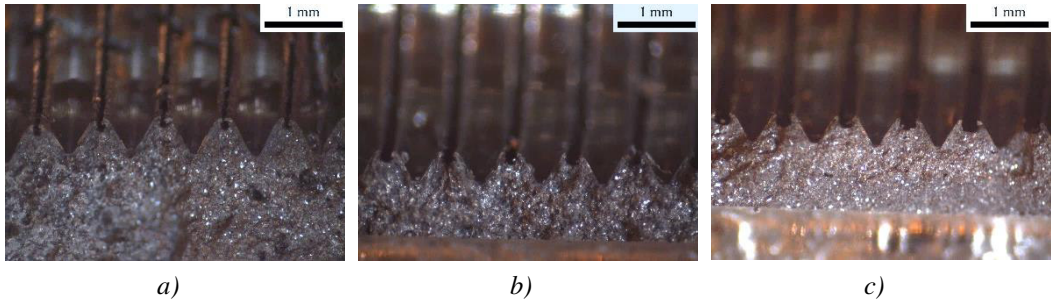
2. ábra: A mért átlag nyomaték értékek a névleges magfurat átmérő függvényében

A mért eredményekből jól megfigyelhető, hogy a legnagyobb nyomaték értékeket a legkisebb magfurat átmérőn mértük ($d = 4,6$ mm), míg a legkisebb nyomaték értékek a legnagyobb magfurat átmérőn ($d = 4,7$ mm) kaptuk. Az azonos magfuratokon mért nyomatékértékek közt minimális eltérés tapasztalható. Az eredmények alapján kijelenthető, hogy a magfurat növelésével csökken a formázás során fellépő formázási nyomaték, ezzel csökken a szerszámra ható terhelés, valamint a menetalakítás mértéke is.

A 2. és 3. ábrán láthatóak a sztereomikroszkópos felvételek az elkészült menetek töretfelületeiről.



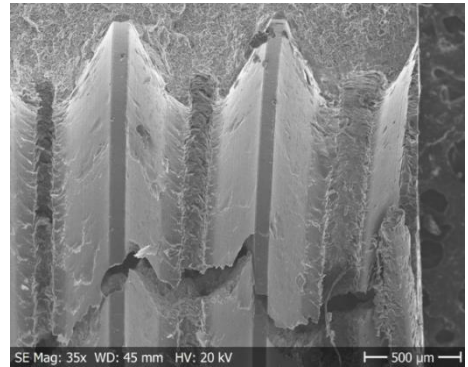
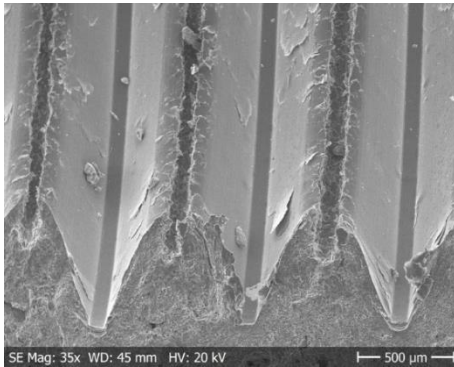
3. ábra: A különböző magfuratokon kapott menetek megjelenése sztereomikroszkópos vizsgálat során (ridegítetten eltört minták felülnézete) a) $d=4,6$ mm b) $d=4,65$ mm c) $d=4,7$ mm



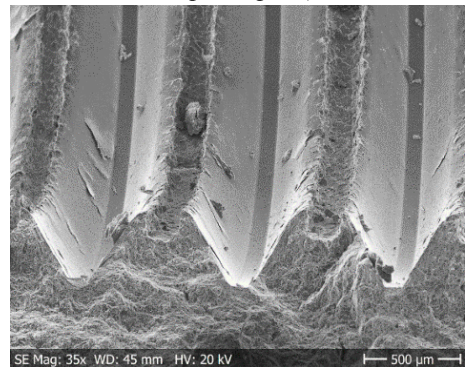
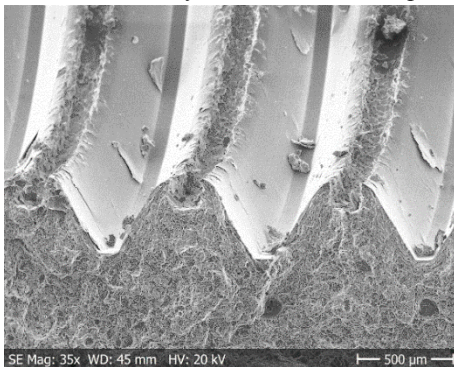
4. ábra: A különböző magfúraton kapott menetek profiljai oldalnézetből sztereomikroszkópos felvétel a) $d=4,6$ mm b) $d=4,65$ mm c) $d=4,7$ mm

A sztereomikroszkópos vizsgálatok során azt tapasztaltuk, hogy minél nagyobb a magfúrat, annál kisebb a menetprofil hordozó felülete. A sztereomikroszkópos felvételek alapján jó felületi minőségűnek látszanak a profilok, a 4,6 mm magfúrat átmérőn formázott menet felületén feltételezhető egy jelentősebb méretű repedés. A 4,65 mm és 4,7 mm magfúrat átmérőn formázott menetek töretfelületén nem vált láthatóvá repedés ezen vizsgálatok során.

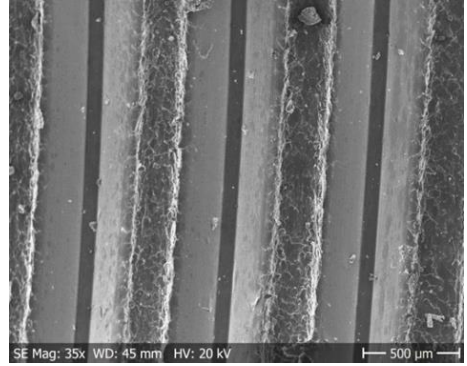
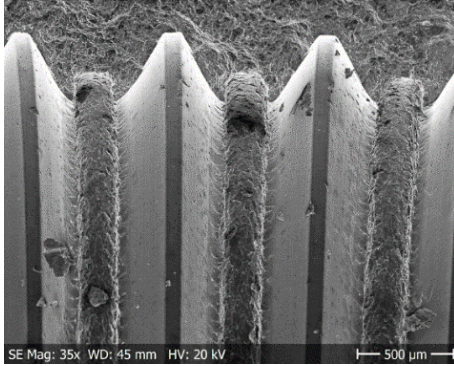
A pásztázó elektron mikroszkópos vizsgálatok alkalmasak a nagyobb felbontóképességre, jó mélységélesség mellett. Ennek következtében a menetformázás során keletkezett esetleges hibák és azok jellege jobban feltérképezhető. A 5., 6. és 7. ábrán a három különböző átmérőn formázott menetek néhány jellegzetes felvételét láthatjuk.



4. ábra: A töretfelületekről készített pásztázó elektron-mikroszkópos képek ($d = 4,6$ mm)



5. ábra: A töretfelületekről készített pásztázó elektron-mikroszkópos képek ($d = 4,65$ mm)



6. ábra: A töretfelületekről készített pásztázó elektron-mikroszkópos képek ($d = 4,7 \text{ mm}$)

A vizsgálat során bebizonyosodott, hogy $d = 4,6 \text{ mm}$ -es magfurat megmunkálásakor a menetek felületén számos felhasadás, illetve teljes törésvonal is kialakult (4. ábra).

Ismeretes, hogy az alakítások során az alakváltozás mértékének növelésével nő az anyagban létrejövő diszlokáció mennyisége, amely az anyag szilárdság növekedését okozza, mely az alábbi módon számítható:

$$\Delta\sigma = \alpha Gb\sqrt{\rho} = \alpha Gb\sqrt{\frac{\varepsilon}{bL}} \quad (1)$$

ahol : α – keményedési kitevő,
 G – csúsztató rugalmasági modulusz,
 ρ – diszlokációsűrűség
 L – diszlokációk szabad úthossza
 ε – fajlagos alakváltozás
 b – Burgers vektor

A mérési eredmények és megfigyelések egybevágznak a szakirodalomban fellelhető adatokkal, Wu és tsi. [8] hasonlóan nyomásosan öntött hipereutektoidos alumínium – szilícium ötvözetnél azt találták, hogy a szakadási feszültség 275-400 MPa közé esik, az anyag szemcseméretének függvényében, amit az öntéskor alkalmazott nyomással módosítottak.

A $d = 4,6 \text{ mm}$ -es magfurat megmunkálásakor a felhasadások azt mutatják, hogy ennél az alakításnál a diszlokációsűrűség növekedése által okozott feszültség meghaladta az anyag minőségének megfelelő szakadási feszültséget.

A $d = 4,65 \text{ mm}$ -es magfurat megmunkálásakor a menetek felületén több, de apróbb felhasadás jelent meg a megmunkálás során, viszont nagy repedés nem jelent meg. Itt is kijelenthető, hogy az alakított felületek még mindig akkora alakváltozást szenvedtek, amelytől a diszlokációk a felületre kifutva apró felrepedéseket hoztak létre, ahogy azt a 5. ábra felvételei is mutatják.

A $d = 4,7 \text{ mm}$ -es magfurat megmunkálásakor a menetek felülete sík, sima, felületi felhasadások nem észlelhetők. A 6. ábra felvételeinek tanúsága szerint a 0,392 Nm nyomaték nem hozza létre a kritikus, felrepedést okozható diszlokációmennyiséget, amit az előzőleg bemutatott magfurat átmérőkön tapasztaltunk. Továbbá a SEM képsorozatok alátámasztják a sztereomikroszkópos vizsgálatok megfigyeléseit, miszerint a magfurat növelésével csökken a menetprofil a hordozó felületen.

4. Következtetés

Jelen tanulmányban különböző magfurat átmérők mellett hajtottunk végre menetformázási műveleteket nyomásosan öntött alumínium próbatestekbe. A vizsgálatok során 3 különböző magfurat átmérőn 3-3 menetformázási vizsgálatot végeztünk. A formázási művelet során minden mérési pontban azonos forgácsolási sebességet alkalmaztunk, továbbá mértük a menetalakítás során fellépő nyomatékot. A nyomaték mérés eredményeiből arra a következtetésre jutottunk, hogy a magfurat átmérő (d) növelésével csökken a formázás során fellépő nyomaték, ezáltal a szerszámra ható terhelések is. A növelt átmérő mellett a menetformázó szerszámnak kevesebb anyagmennyiséget kell alakítani a művelet végrehajtása során. Az elektronmikroszkópos és az optikai sztereomikroszkópos felvételek alapján megfigyeltük, hogy a 4,6 mm és a 4,65 mm magfuratok esetén a felületen repedések, apró felhasadások figyelhetők meg. Vizsgálataink azt mutatják, hogy ezeknél a méréseknél a diszlokációsűrűség növekedése által okozott feszültség meghaladta az anyag minőségének megfelelő szakadási feszültséget. A legnagyobb magfurat átmérőnél ($d=4,7$ mm) mért 0,392 Nm-es nyomaték nem okozott a menetek felületén felszakadást, ugyanakkor a magfurat növelésével csökken a menetprofil a hordozó felületen.

Köszönetnyilvánítás

Az Emberi Erőforrások Minisztériuma ÚNKP-22-3 kódszámú Új Nemzeti Kiválóság Programjának támogatásával készült.

A kutatás a 2019-1.1.1-Piaci KFI-2019-00462 projektpénzügyi támogatásával valósult meg.

5. Hivatkozások

- [1] Lordan, E., Lazaro-Nebreda, J., Zhang, Y., Dou, K., Blake, P., & Fan, Z. (2020). On the relationship between internal porosity and the tensile ductility of aluminium alloy die-castings. *Materials Science and Engineering: A*, 778, 139107.
- [2] Jolly, M., & Katgerman, L. (2022). Modelling of defects in aluminium cast products. *Progress in Materials Science*, 123, 100824.
- [3] Croccolo, D., De Agostinis, M., & Vincenzi, N. (2010). Experimental study of friction in aluminium bolted joints. In *EPJ Web of Conferences* (Vol. 6, p. 08003). EDP Sciences.
- [4] de Carvalho, A. O., Brandão, L. C., Panzera, T. H., & Lauro, C. H. (2012). Analysis of form threads using fluteless taps in cast magnesium alloy (AM60). *Journal of Materials Processing Technology*, 212(8), 1753-1760.
- [5] Felinks, N., Krumme, E., Beer, C., Hechtle, D., Sarafraz, Y., Walther, F., & Biermann, D. (2022). Influence of Core Hole Diameter on Thread Quality for a High-Performance Tapping Technology in AlSi10MnMg Cast Alloys. *Procedia CIRP*, 115, 42-47.
- [6] dos Santos Siqueira, B., Freitas, S. A., Pereira, R. B. D., Lauro, C. H., & Brandão, L. C. (2019). Influence of chip breaker and helix angle on cutting efforts in the internal threading process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 102(5), 1537-1546.
- [7] de Oliveira, J. A., Ribeiro Filho, S. L. M., & Brandão, L. C. (2019). Investigation of the influence of coating and the tapered entry in the internal forming tapping process. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 101(1), 1051-1063.
- [8] Wu, F. F., Li, S. T., Zhang, G. A., & Jiang, F. (2014). Microstructural evolution and mechanical properties of hypereutectic Al-Si alloy processed by liquid die forging. *Bulletin of Materials Science*, 37, 1153-1157.