

NYESTE VIKTOR

Klímakompresszor nyomásos öntvények gyártásának fejlesztése*

A Hanon Systems történetének és tevékenységének bemutatása. A székesfehérvári üzemben történő öntvény- és folyamatfejlesztések ismertetése. Gyártásban lévő kompresszorok bemutatása, azok követelményeinek meghatározása a kompresszor öntvényházak nyomástömörégi követelményeinek pontosabb megértése érdekében. Az alkalmazott nyomásos öntvény fejlesztési folyamatainak feldolgozása, kezdve a prototípus építésétől az öntvény beszállítóinál történő folyamatfejlesztésekig. A nyomásos öntvényekben kialakuló inhomogenitások és az impregnálás bemutatása.

Bevezetés

A Hanon Systems Hungary története 1991-ben kezdődik, mint Ford üzem. Azóta jelentős átalakulások, változások után a gyár a mai tevékenysége személyautók hűtőrendszereinek tervezése és gyártása szerte a világban. A székesfehérvári üzemben a légkondicionáló kompresszorok mellett egyéb, a rendszerhez kapcsolódó termékek gyártása is folyik. A területekhez tartozó tervezőcsapat egyik feladata a légkondicionáló kompresszorok alumínium öntvényházaiknak a tervezése. A kompresszoröntvényház funkcionális tervezése és autógyárakkal történő egyeztetése mellett a beszállítókkal való egyeztetés is beletartozik a feladatkörükbe. Az elkészült öntvények megmunkálása, összeszerelése és tesztelése a székesfehérvári üzemben történik.

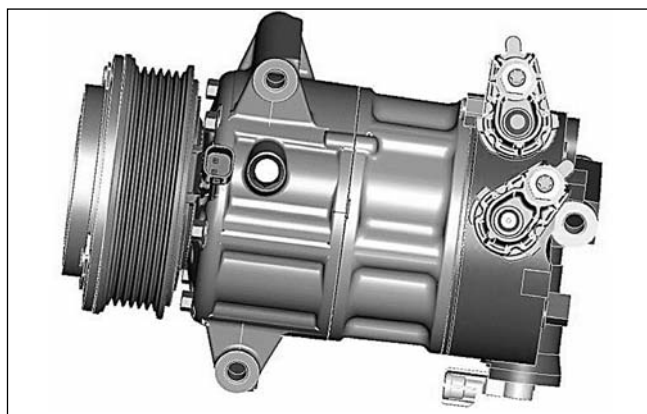
A Hanon Systems által gyártott klímakompresszor-típusok, hűtőközegek

A klímarendszer egyik meghatározó eleme a kompresszor. A különböző igényeknek megfelelően, a teljesség igénye nélkül a kompresszor lehet állandó vagy változtatható szállítású, elektromos vagy mechanikus meghajtású.

A székesfehérvári üzemben jellemzően a mechanikus, változtatható szállítású kompresszorok gyártása történik belső égésű motorokhoz. A felhasznált hűtőközegek szem-

Nyeste Viktor 1999-ben szerzett gépészmérnöki – gyártási rendszerek – diplomát a Széchenyi István Főiskolán, majd 2010-ben öntészet szakirányos MSc kohómérnök oklevelet a Miskolci Egyetem Műszaki Anyagtudományi Karán. 2001 őszétől a Hanon Systems Hungary székesfehérvári üzemében dolgozik, 2004-ben került a klímakompresszor termékfejlesztő csapatába, ahol a kompresszorok nyomásos öntvényei tartoznak hozzá. 2015 őszétől mint nyomásos öntészeti szakértő segíti az öntvények fejlesztését és minőségi problémáinak megoldását a Hanon Systems európai üzemében.

* A 25. Magyar Öntőnapokon legjobb előadói díjat kapott előadás szerkesztett változata.



1. ábra. Székesfehérváron gyártott változtatható szállítású kompresszor 3D modellje

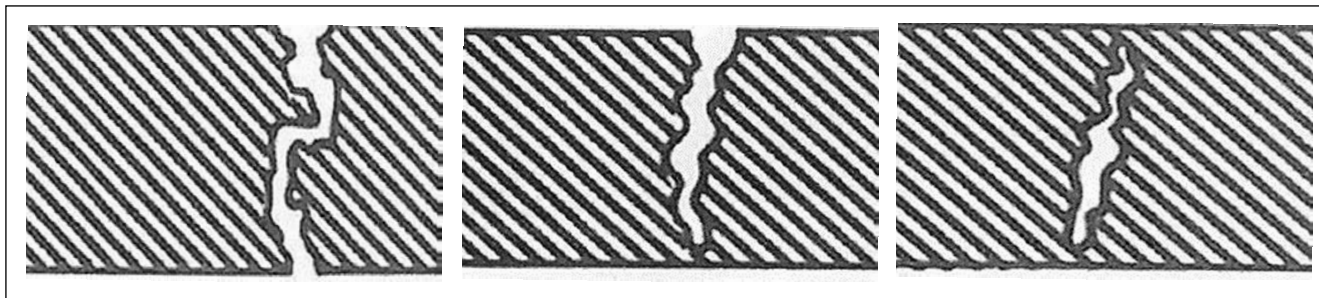
pontjából is tudunk különbséget tenni, az YF1234 típusú gázt pár éve az R134a típusú hűtőközeg váltotta le, ugyanis ennek kisebb az üvegházhatása. Az alternatív hűtőközeg lehet az R744, azaz szén-dioxiddal működtetett klímarendszer.

Az elektromos autózás térhódítása mellett továbbra is megvan a normál belső égésű motorokhoz használt kompresszorokra az igény, a magyarországi üzem teljes kapacitását az ilyen kompresszorok gyártása teszi ki.

Változtatható szállítású kompresszor gyártása belső égésű motorokhoz

A kompresszor három, nyomásos öntéssel előállított alumínium alkatrészből áll (1. ábra). Az öntvények megmunkálása a Hanon üzemében történik Európában.

A megmunkálás után impregnálással javítjuk a nyomástömörséget. Az öntvény minőségétől függően az impregnálás történhet egyszer vagy kétszer. A mosás és vákuumos szárítás után a nedvességmentes, tiszta öntvényeket vákuumkamrába helyezünk, ahol az elvárt vákuumérték (10-20 mbar) elérése után a kamrát folyékony gyantával árasztjuk



■ 2. ábra. Impregnálás szempontjából eltérő porozitástípusok: átmenő, nyitott és zárt

el. A kialakuló nyomáskülönbségek hatására a gyanta bekerül a nyitott porozitásokba (2. ábra). Ezt követően az öntvények hideg mosása következik, az öntvény felületéről a gyantát el kell távolítani. Ezt egy forró vízzel történő mosás követi, ahol a gyanta azonnal elkezd térhálósodni a nagyobb hőmérséklet következtében, és eléri végső térhálósodott formáját (3. ábra).

A beszállítóknál történt jelentős fejlesztési munkálatoknak köszönhetően, az impregnálást bizonyos termék esetén sikerült teljes mértékben elhagynunk.

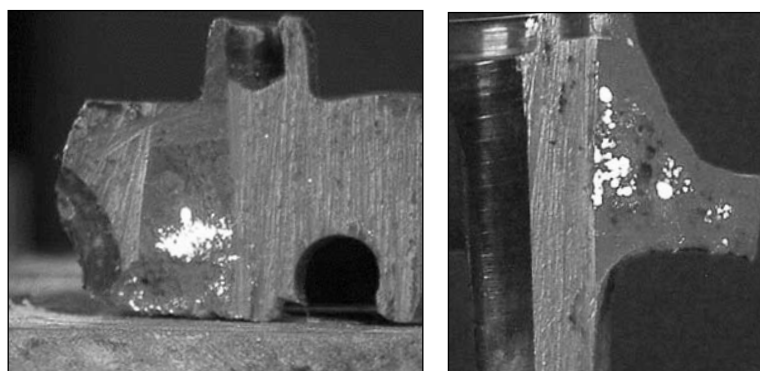
Összeszerelés után 100%-ban teszteljük a kompresszorok szivárgását. A szivárgásteszt jellemzően héliummal történik 16-18 bar töltőnyomással. Nem hagyhatja el az üzemeltető, hogy nem felelt volna meg szivárgási előírásoknak.

Az öntvény végleges minősítése a Hanon üzemében történik, ezért az öntvény geometriája, a gyártási módja, a gyártási folyamat adott termékhez a legjobban a felhasználó által optimalizálható.

Belső eljárásaként különböző vizsgálati módszereket dolgoztunk ki, ilyenek a röntgenes minősítés, vagy manapság egyre gyakrabban elérhető ipari CT (Computer Tomography) használata. A roncsolásmentes minősítés mellett próbamegmunkálás, szivárgástesztelés és a kritikus keresztmetszetek darabolással történő ellenőrzése is előírás-ként szerepel az öntvény specifikációjában.

Jellemző öntvényhibák a klímakompresszorok öntvényeiben

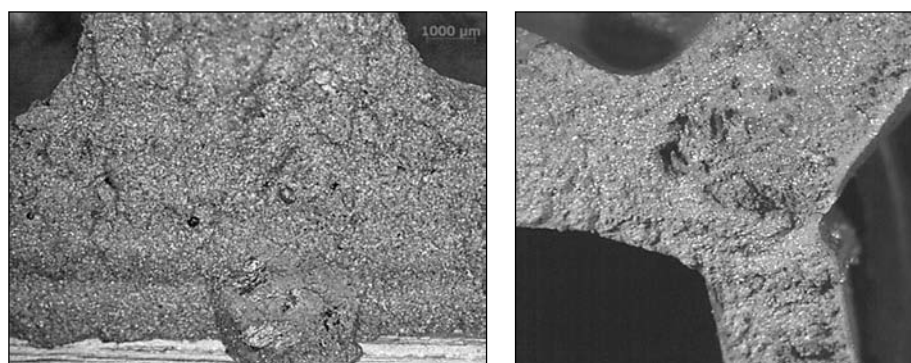
Legnagyobb gondot a különböző falvastagságú részek eltérő dermedési idejéből származó zsugorodási porozitá-



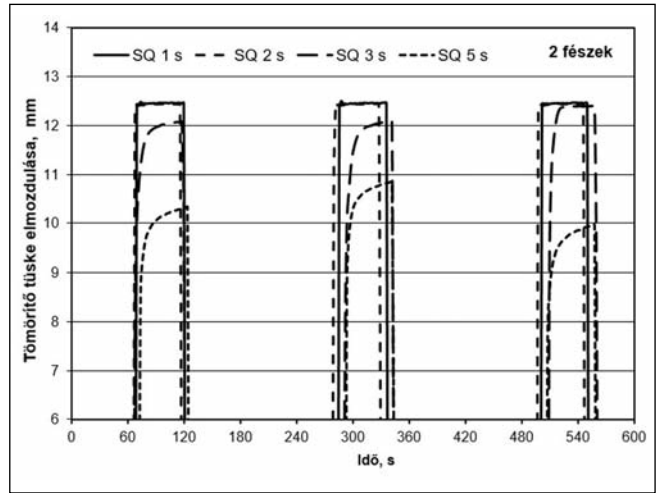
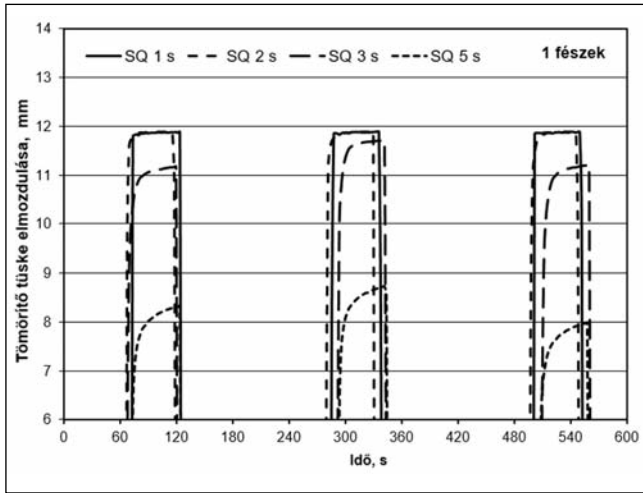
■ 3. ábra. Öntvény UV fényvel megvilágított törete, a gyanta fehéren világít

sok, lunkerek okozzák. A lunkerekkel együtt a levegőbezáródás okozta gázporozitások is megjelennek. Mivel a gázporozitás üregei többnyire gömb alakúak és nem képeznek kapcsolatot egymással, a jelenlétük a szivárgásra nincs negatív hatással. A gondot a barlangszerűen összekapcsolódó zsugorodási porozitási üregek okozzák (4. ábra).

Az átlagosnál nagyobb falvastagság és az adott helyen jelentős megmunkálás esetén tömörítő tűske (squeeze pin) alkalmazásával próbáljuk a megfelelő nyomástömörtséget elérni. Fontos paraméter a tömörítő tűske működtetésénél, hogy mikor és milyen úthosszon működtetjük a csapot. A zsugorodás a helyi szilárfázis-arányhoz igazodik, ezért a formatöltés után se a korán, se a későn indított tömörítés nem jó. Mivel az adott öntvényrész hőmérséklet-viszonyainak a mérése nem, vagy csak nagyon nehezen kivitelezhető, ezért a tömörítő tűske elmozdulása és a tömörítés közben fellépő erők arányából tudunk következtetni a megfelelő időben történő működtetéséről. Az utántömörítés hatásossága a hőmérséklet-viszonyok mellett a szerszám állapotától függően is változik, ezért előfordulhat, hogy a tömörítő tűske nem tér vissza a kiindulási pozíciójába, megszorul. A tömörítő tűske működésének valós idejű mérési módszerét dr. Lukács Sándorral együtt valósítottuk meg egy átalakított hidraulikus munkahengerrel [1]. A különböző késleltetési idővel (különböző szilárfázis-aránynál) indított tömörítő-tűske-elmozdulás mérési eredményei és az utántömörített öntvényrészek törési felülete az 5-6. ábrákon látható. Megfigyelhető a tűske eltérő elmozdulása az 1 s,



■ 4. ábra. Klímakompresszorokban jellemzően előforduló inhomogenitások



■ 5. ábra. A tömörítő túske elmozdulása különböző késleltetések esetében [2]

illetve 5 s késleltetési idő esetén. A szerszámban lévő két fészek között is látunk eltérést, ami az eltérő hőmérsékletviszonyokra enged következtetni.

Öntvénygeometria optimalizálási fejlesztések

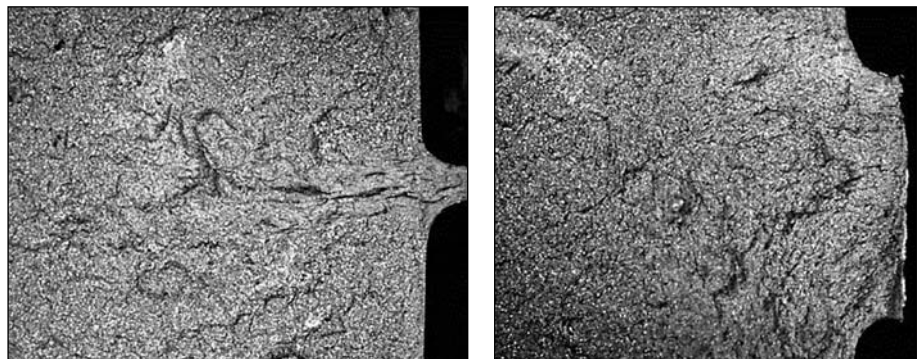
Prototípus építés

2008-ban kezdődhetett meg a valódi öntvényfejlesztési folyamat a székesfehérvári üzemben. Az új programok esetén prototípusokat is elő kell állítanunk. Ezek történhetnek különböző kézi formázási eljárásokkal, illetve kokilla szerszámmal vagy nyomásos öntéssel.

A 3D nyomtatás fejlődésével igény esetén az elérhető technológiák alkalmazása is megvalósul (7. ábra).

Technológia-, szerszám- és folyamatfejlesztés

A beszállítóinkkal, mint partnereinkkel történő folyamatos és szoros együttműködés eredménye például, hogy 2014-ben beépítésre került egy meglévő gyártóeszközbe egy SLS (Selective Laser Sintering) fémnyomtatással előállí-

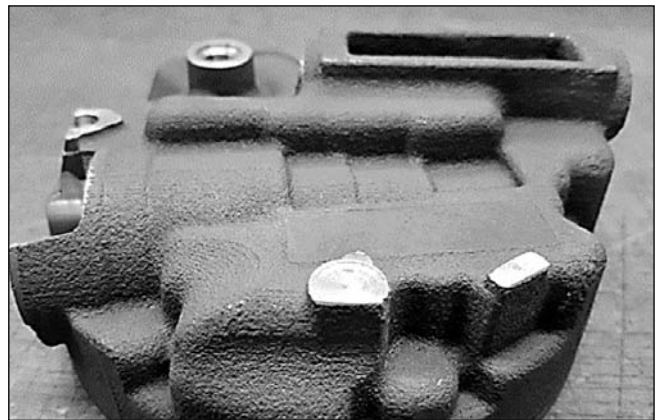
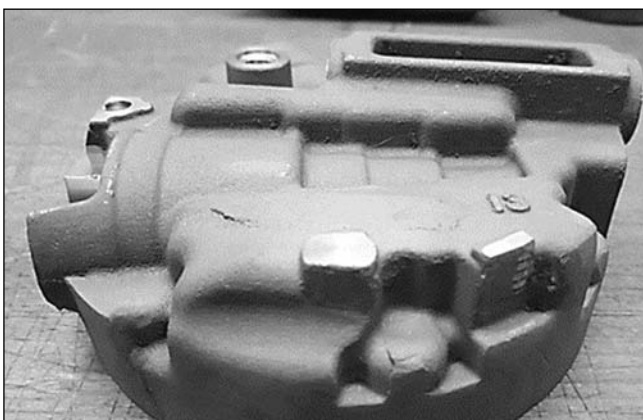


■ 6. ábra. A tömörített térfogat törési felülete 1 s és 5 s késleltetési idő esetén

tott, kontúrközeli hűtőcsatornával kialakított csap. Célunk volt az öntvény minőségének javítása (8. ábra).

Az elvárt selejtszázalék (szivárgásmentesség) teljesítése érdekében nagyon fontos, hogy az öntvény kialakítása támogassa a nyomástömörtség eléréséhez szükséges, elvárt geometriát a gazdaságossági kihívások (fészekszám) figyelembevételével.

Az egyik ilyen fontos fejlesztési folyamat a kompresszorok felfogató füleinek az optimalizálása volt. A kiinduló hibát minden esetben a zsugordási porozitások okozták. Optimális esetben a megmunkálás minimalizálásával különböző geometriai módosítások nélkül megoldható lett volna



■ 7. ábra. Kézi homokformázással és 3D nyomtatással készített, homokformába öntött klímakompresszor öntvényház

a szivárgási hiba megszüntetése, valamint előöntött furatokat alkalmazunk a kritikus területeken, és nem munkálunk bele a kialakult hibahelybe. Az elvárt fészekszám miatt nem mindenütt tudunk furatképző csapokat elhelyezni a szerszámban, ami indokolta a geometria alapos felülvizsgálatát. A változtatás célja az anyaghalmozódási helyek elkerülése, zsugorodási porozitási üregek kialakulásának csökkentése. A tervezett módosítások ebbe az irányba indultak el (9. ábra).

A legfontosabb kihívás az volt, hogy a geometria megfeleljen az elvárt egyenletes falvastagság alapszabályának, miközben a kompresszor funkciójának a teljesítését (mechanikai terhelések, zaj és vibráció) tekintve nem lehetett rosszabb. Pontos vevői előírások, specifikációk hiányában magunknak kellett kidolgozni és minősíteni az egyes változatokat.

Az első és legfontosabb, hogy a módosított geometria okoz-e bármilyen beszerelési gondot a motortérben, ugyanis „ütközés” vagy az előírt távolságok lecsökkenése nem engedhető meg.

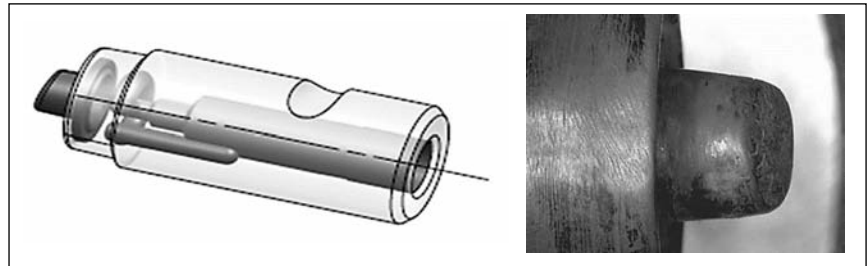
Miután a CAD geometria ellenőrzés alapján megbizonyosodtunk arról, hogy a beépítés szempontjából a kialakítás rendben lesz, kezdődhetek a további vizsgálatok. Ezek minden esetben végeeselemes feszültség-szimulációk voltak. Erre a Creo/Catia 3D tervező programok beépített FEA modulját használtuk, mely számunkra elfogadható közelítést adott. Előnyös volt, hogy a módosítások FEA számítását nagyon rövid idő alatt le tudtuk futtatni, és nem kellett hosszú időt várnunk arra, hogy a geometria egy másik szimulációs programban átmodellezésre kerüljön.

A megfelelőnek tartott öntvénygeometria 3D modelljének elkészítése után következtek az általunk definiált egyszerű és gyorsan kivitelezhető összehasonlító terhelési tesztek (10. ábra). A teszteléshez kézi formázással készült homoköntvényeket használtunk. Az eredeti geometria (termelésben lévő nyomásos öntvény) esetében is készültek prototípus öntvények, hogy az eltérő anyagminőségből, gyártási módszerből eredő hibákat ki tudjuk zárni.

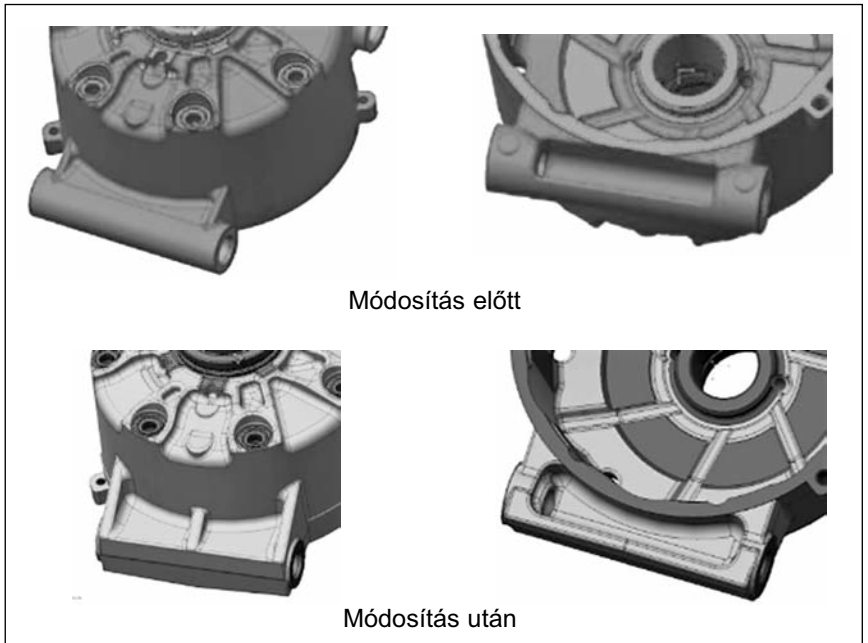
A statikus terheléseket szimuláló vizsgálatok után a vibrációra, zajra és rezonanciára gyakorolt hatást a kiválasztott geometria kompresszorszerű vizsgálatait követték.

Az új geometriák esetében nem volt változás a felfogató fül funkcióját illetően, sőt egyes esetekben javulást is megfigyeltünk. Ezen eredmények birtokában tudtuk a vevői jóváhagyás folyamatát elindítani minden egyes termék esetében, és a jóváhagyások után a meglévő öntőszerszámok módosítását is el tudtuk végezni.

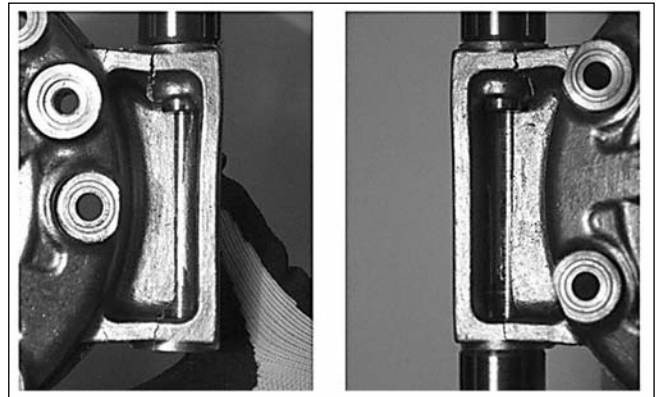
Megállapítható, hogy az öntvény geometria optimalizálása teljesíti a tőle elvárt minőségi javulást, mert a felfogató fül



■ 8. ábra. SLS csap 3D geometriája, és a csap 100 000 lövés után



■ 9. ábra. Kompresszoröntvényház fülgeometriája módosítás előtt és után



■ 10. ábra. Prototípusöntvények terheléses vizsgálat közben

esetében jelentős szivárgáscsökkenést tapasztaltunk az összeszerelő sorokon. Az így kialakított geometria tovább öröklődik az új klímakompresszor-öntvényházak esetében is.

Irodalomjegyzék

- [1] Dr. Lukács Sándor: Measurement of the movement parameters and process temperature of the FRONT-HEAD die casting mold. Jelentés 2017.
- [2] Dr. Dúl Jenő: Kísérleti FRONT HEAD nyomásos öntvények szerkezetvizsgálata. Jelentés, 2016.