

PROJEKT ZÁRÓ JEGYZŐKÖNYV

**Smart technológiás fröccsöntőszerszám-elemek és intelligens fröccsöntő
szerszám fejlesztése**



Bátonyterenye, 2021.10.31.

KTS METALLTECHNIK KFT.
2072 Zsámbék, Szent István tér 4.
Levelezési cím:
1021 Budapest, Hűvösvölgyi út 54.
Adószám: 12874086-2-13

1. Időszak: 2019. Február – 2019 Április

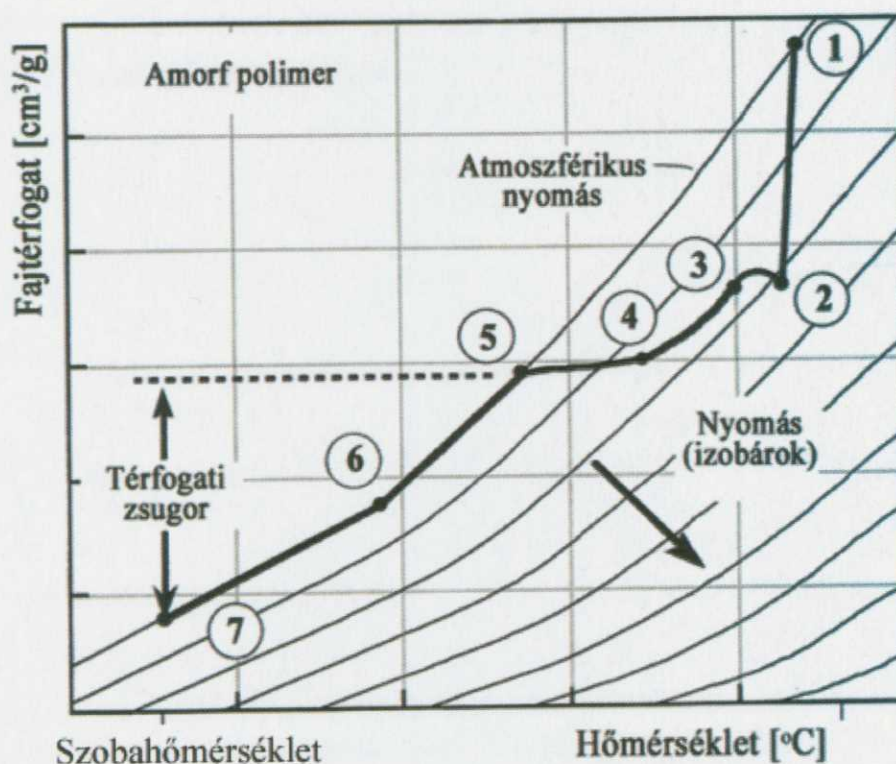
Fő feladat:

A fröccsöntési technológiával kapcsolatos irodalomkutatás és technológiai ismeretek megszerzése.

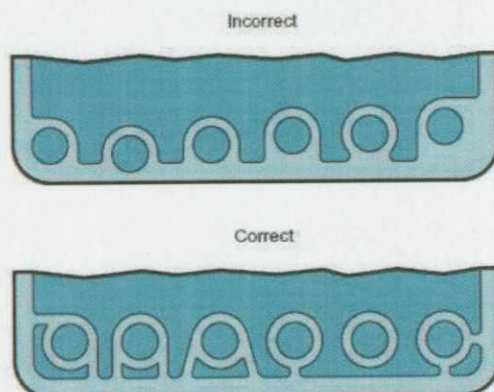
A fröccsöntés alapelve:

A fröccsöntés alapelve, hogy a polimer ömledéket, - amelyet az olvadáspont fölé melegítve *kis viszkozitású* folyadékállapotba vittünk, - *nagy sebességgel*, szűk beömlő nyíláson át *zárt szerszámba* „fecskendezünk”, és ebben a zárt szerszámban a *nagy nyomás* alatt kihűlő polimerből alakul ki a tetszőleges, bonyolult formájú alkatrész, gyakorlatilag hulladékmentes, képlékeny alakítással, nagy méretpontossággal.

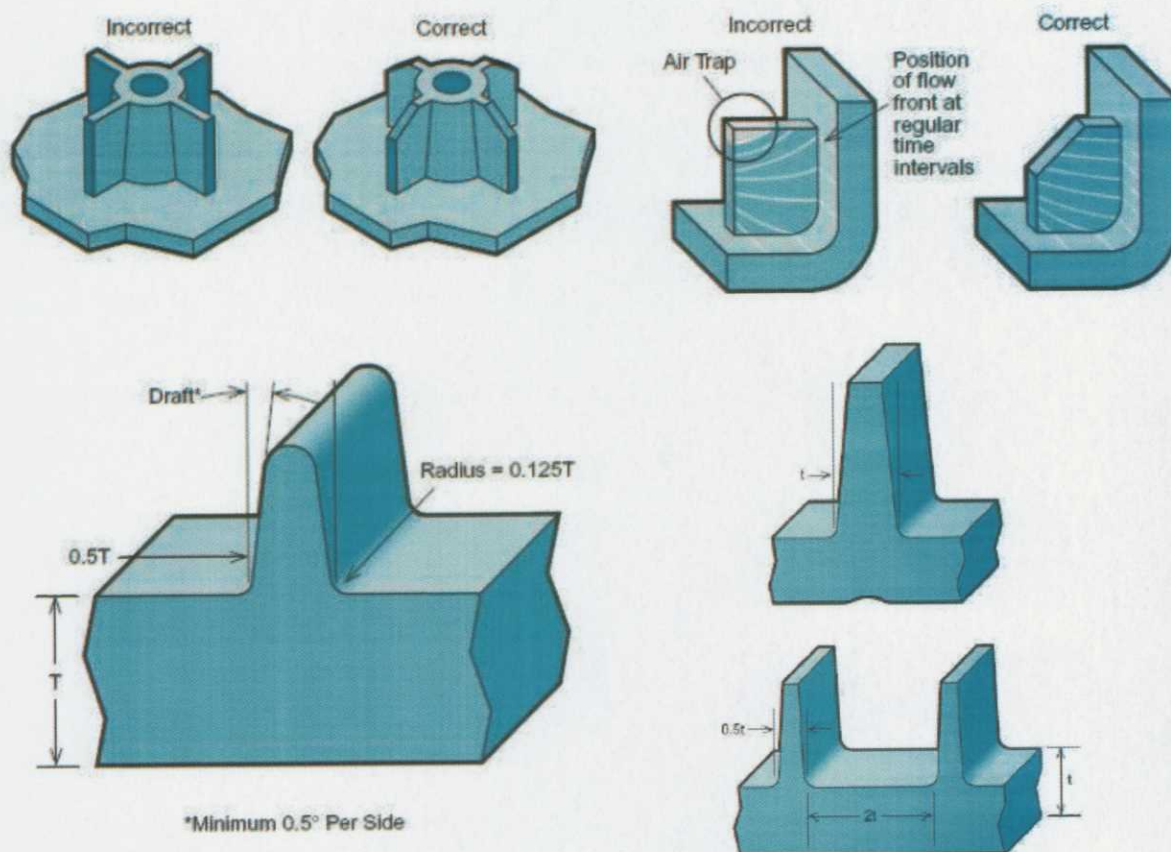
A fröccsöntési ciklusdiagram:



- 1-2. A polimer ömledék megtölti a szerszámüreget (befröccsöntés),
- 2-3. Átkapcsolás utónyomásra,
- 3-4. Utónyomás, ami egészen a lepecsételődésig tart (4-es pont),
- 4-5. Az ömledék – közel állandó fajtérfogaton – hűlni kezd, miközben a nyomás csökken.
- 5-6. Izobár hűlés,
6. Kidobás,
- 6-7. A termék a szabadban tovább hűl és zsugorodik.



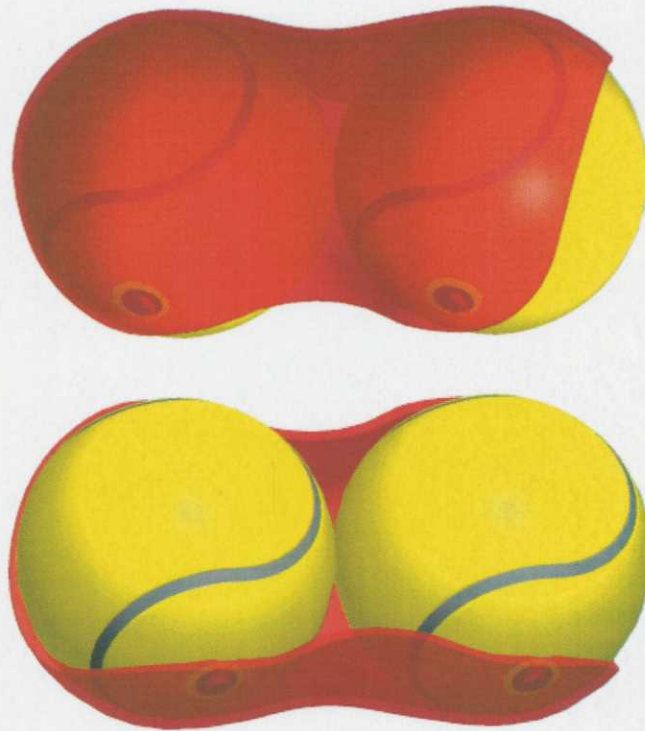
Merevítő bordák:



A kísérleti fröccsöntő szerszámokkal gyártandó műanyag fröccstermékek geometriai kialakításának meghatározása. Ötlettervek, skiccek készítése a megbeszélésen meghatározott feltételeknek megfelelően. A fröccstermékek főbb jellemzőinek (méret, bordázottság, felület kialakítás, használhatóság) meghatározása úgy, hogy a kísérleti termékek lehetőleg használati értékkel, funkcióval is rendelkezzenek. Valamint a szerszámfészkek alakadó felületének komplexitásának kialakítása és optimalizálása.

Két fajta terméket terveztünk, melyeket akár reklám céllal is fel tudunk a későbbiekben használni.

Az egyik termék egy kézi masszírozó, mely műanyag házba épített teniszlabdák segítségével látja el funkcióját. A termék a görbült felülete miatt lett az egyik kísérleti termék.



1. Ábra: A kézi masszírozó 3D-s terve

A másik termék egy olyan irodai asztali rendező, mely a hétköznapiakban elengedhetetlen irodai felszereléseknek, mint a mobiltelefon, bögre és többször használható jegyzet kártyáknak biztosít praktikus és rendezett tárolási lehetőséget. A kialakítása meglehetősen complex, felületei rendkívül tagoltak.



2. Ábra: Az asztali rendező

Mind a két esetben a skiccek mellett elkészítettük az első termék prototípusokat is, melyhez 3D nyomtatót használtunk.

Az alakadás a masszírozó alkatrészénél kifejezetten nehéz, hiszen a termék egyenletes hűtése csak különleges körülmények között biztosítható.

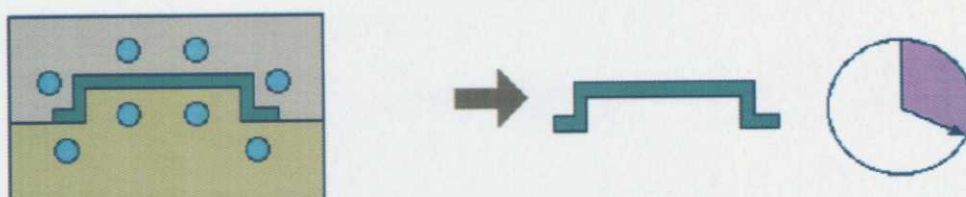
Az asztali rendező alkatrész alakadás szempontjából különleges jellegét az mutatja, hogy a szintén héjformában előállítható, elméletileg jól fröccsönthető darab a megszakított palacktároló miatt csúcsos formával rendelkezik, de ez az alkatrész sík felületekkel is tagolt, amely pedig a hűtés szempontjából nehezen körbejárható felületeket feltételez.

Összességében elmondható, hogy mindkét alkatrész alakadása hagyományos körülmények között csak nehézségekkel, illetve hosszú hűtési ciklusidővel valósítható meg optimálisan. Különös nehézséget jelent a nem egyenletes felületi hőelvonás az alakrögzítés során, ugyanis elsősorban a névjegykártyatartó esetén a nem egyenletes hűtés a hűtetlen csúcsonál terméktorzulást, termék-deformációt eredményezhet.

2. Időszak: 2019. Május – 2019. Július

Fő feladat: A smart technológiás és hagyományos gyártástechnológiával gyártott fröccsöntőszerszám fészkeihez tartozó temperáló csatorna és pneumatikus kidobó rendszer kialakításának támogatása. A hagyományos gyártástechnológiával gyártandó első prototípus fröccsöntőszerszám fészkehez tartozó temperáló csatornák optimális szerszámüreg távolságának a meghatározása, a csatornák sűrűségének a kiosztása, hogy megfelelő intenzitású hűtés keletkezzen és a hűtésből eredő termékdeformáció mértékét minimálisan tudjuk tartani.

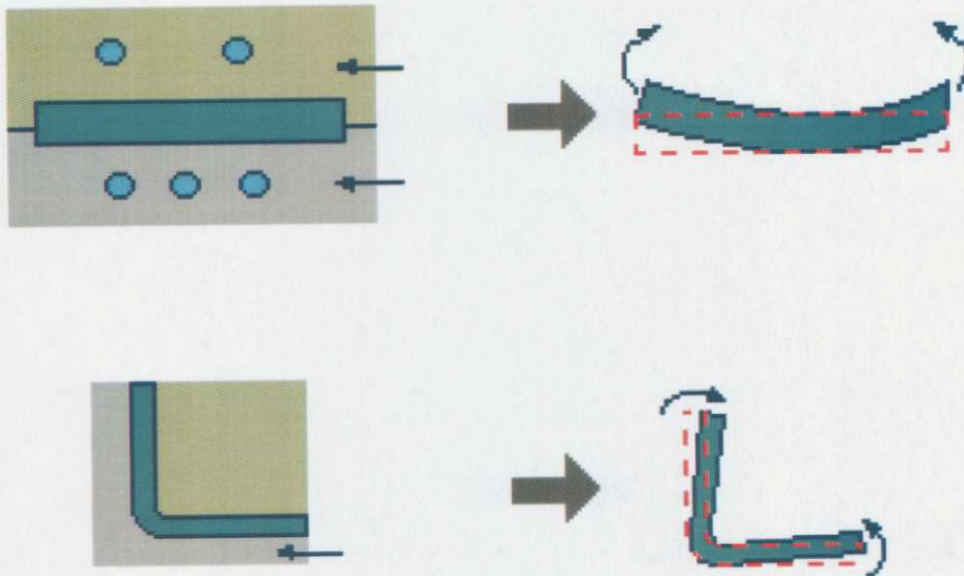
Tanulmányokat végeztünk a hűtőcsatornák hűlési zsugorodásra, vetemedésre gyakorolt hatásáról. Valamint a csatornák geometriai jellemzőinek hűtési időre gyakorolt hatásáról is.



Megfelelő hűtés: nincs vetemedés, rövidebb hűtési idő

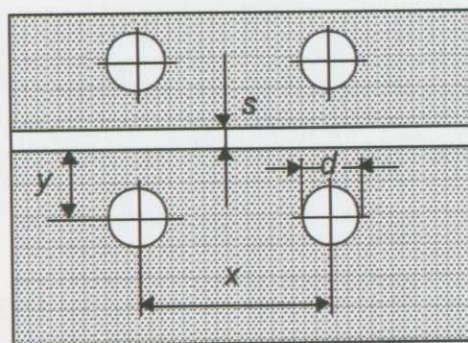


Rossz hűtés: vetemedés, hosszabb hűtési idő



3. Ábra: Hűtőcsatornák kialakításának hatása a termékgeometriára

A fröccsszerszámban az alakadás során a polimer ömledék állapotban van. A szerszámba épített hűtőcsatorna (4. Ábra) és a benne keringő hűtőközeg feladata, hogy a polimer ömledéket az olvadási hőmérséklet alá hűtse és az ömledék halmazállapotot váltson, vagyis megdermedjen.



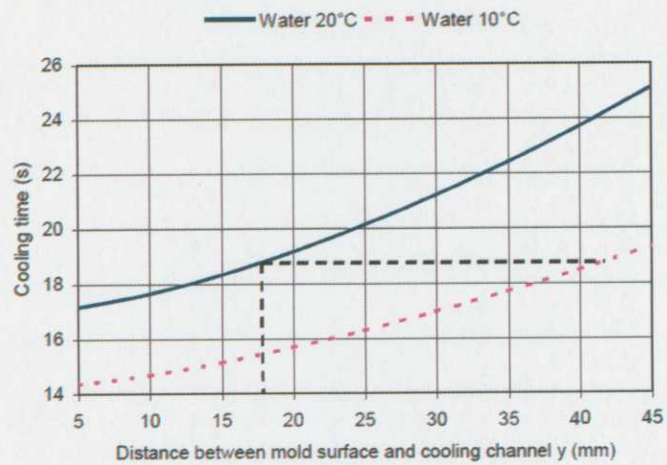
4. Ábra: Hűtő csatorna sematikus képe

A hűtés hatékonyságát, vagyis a ciklusidő hosszát több paraméter is befolyásolja, ilyen lehet:

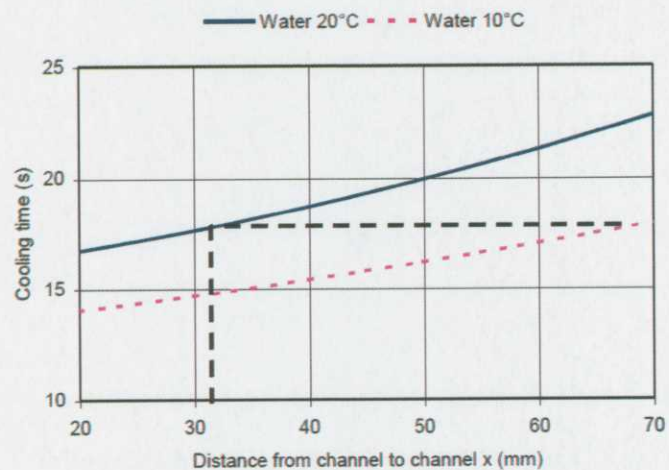
- A hűtőcsatorna és a formaüreg közötti távolság (y)
- A hűtőcsatorna átmérője (d)
- A csatorna kiosztásának sűrűsége (x)
- A hűtőközeg hőmérséklete
- A szerszám anyagának a hővezető képessége
- A műanyag fröccstermék falvastagsága (s)

Irodalmi adatok alapján az alábbi általános szabályok érvényesek:

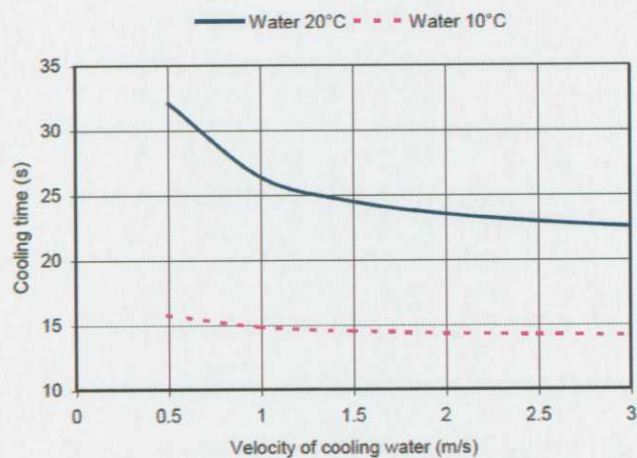
Hűtővíz hőmérsékletének és a hűtőcsatorna – formaüreg távolságának hatása:



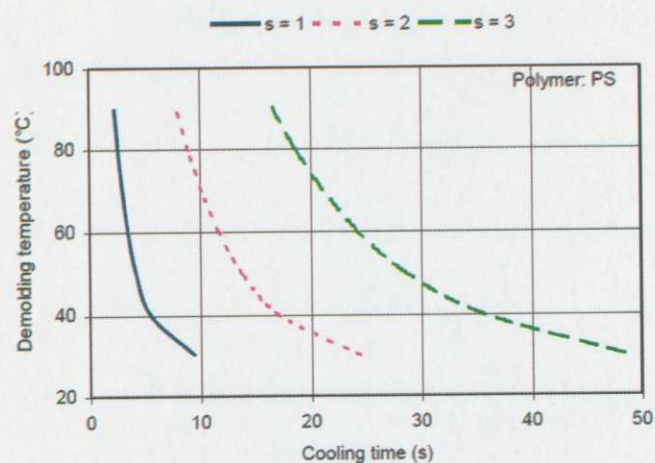
Hűtővíz hőmérsékletének és a hűtőcsatornák sűrűségének hatása:



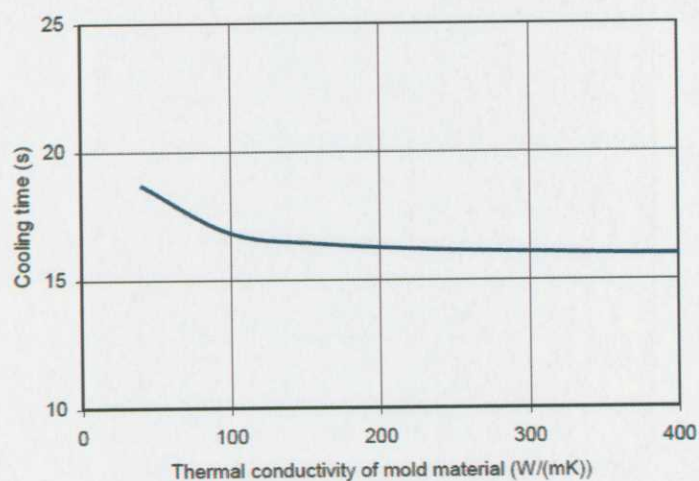
Hűtővíz hőmérsékletének és áramlási sebességének hatása:



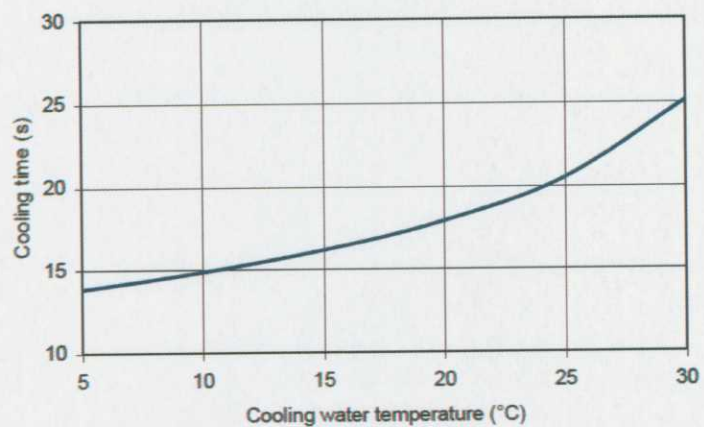
A termék falvastagságának hatása a hűtési időre:



A szerszám anyagának hővezető képességének hatása a hűtési időre:



Hűtőközeg hőmérsékletének hatása a hűtési időre:

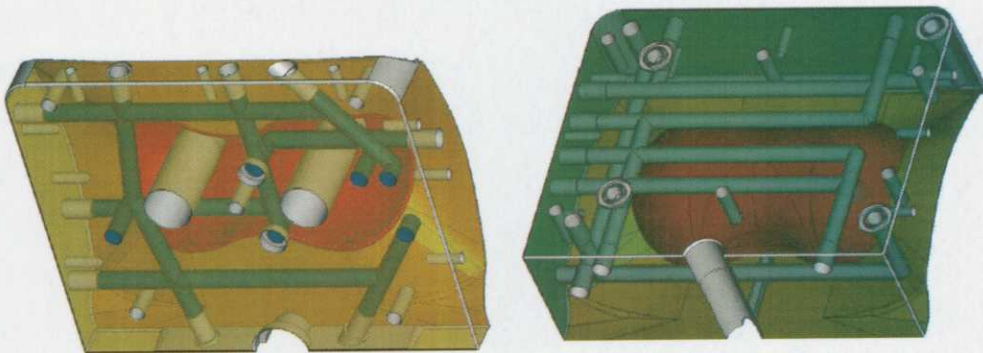


A hűtési idő csökkentésére pozitívan hat ha:

- A hűtőfolyadék hőmérséklete alacsonyabb
- A hűtőcsatorna és a formaüreg közötti távolság kisebb
- A hűtőcsatornák közötti távolság kisebb
- A szerszám anyagának a hővezető képessége nagyobb
- A hűtőfolyadék áramlási sebessége nagyobb, bár itt nincs nagy mértékű javulás.

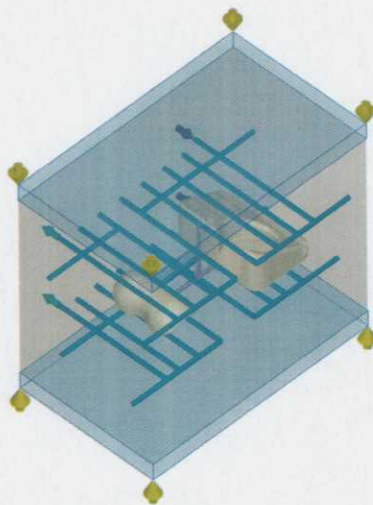
A hűtési idő csökkenésére negatívan hat:

- A fröccsöntött termék falvastagsága
- A hűtőfolyadék magasabb hőmérséklete



5. Ábra: Hagyományos technológiával gyártott fröccsöntőszerszám betétnél alkalmazható hűtőcsatorna kialakítás.

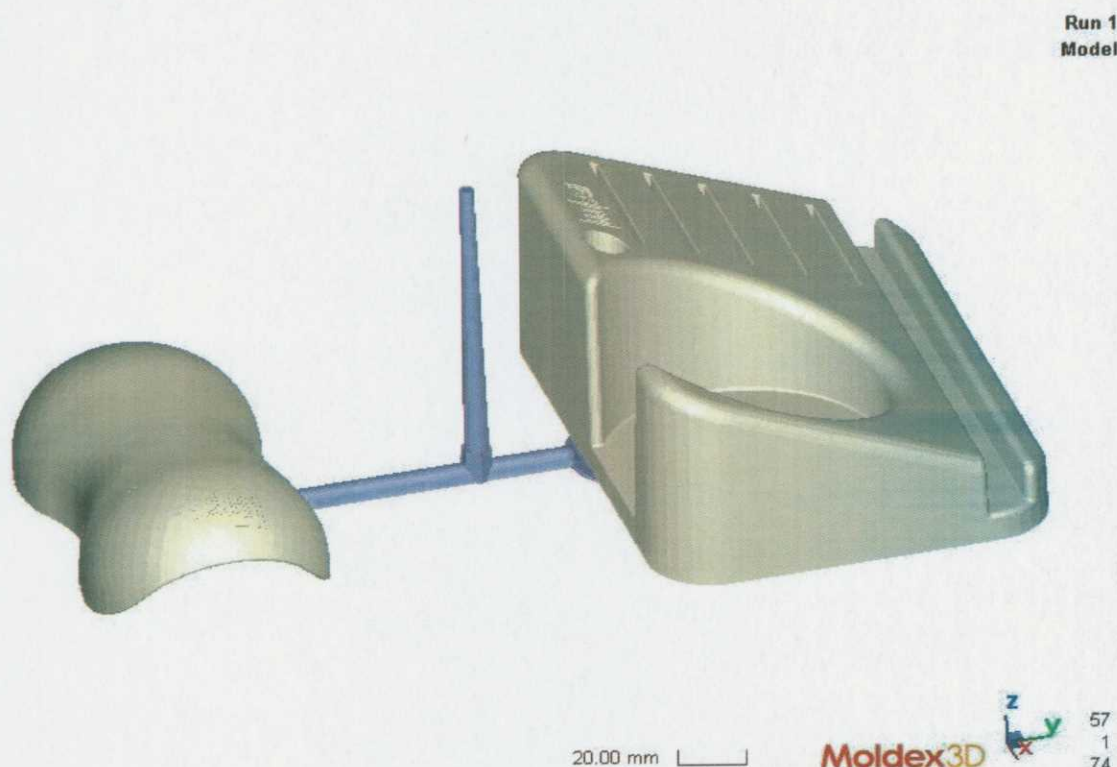
A 5. Ábrán egy hagyományos fémmegmunkálási technológiával kialakítható temperáló csatornarendszert mutatunk be, melynél 8 mm átmérőjű furatokat alkalmaztunk, a terméktől való távolság nem állandó.



6. Ábra: Hagyományos hűtőcsatorna rendszer

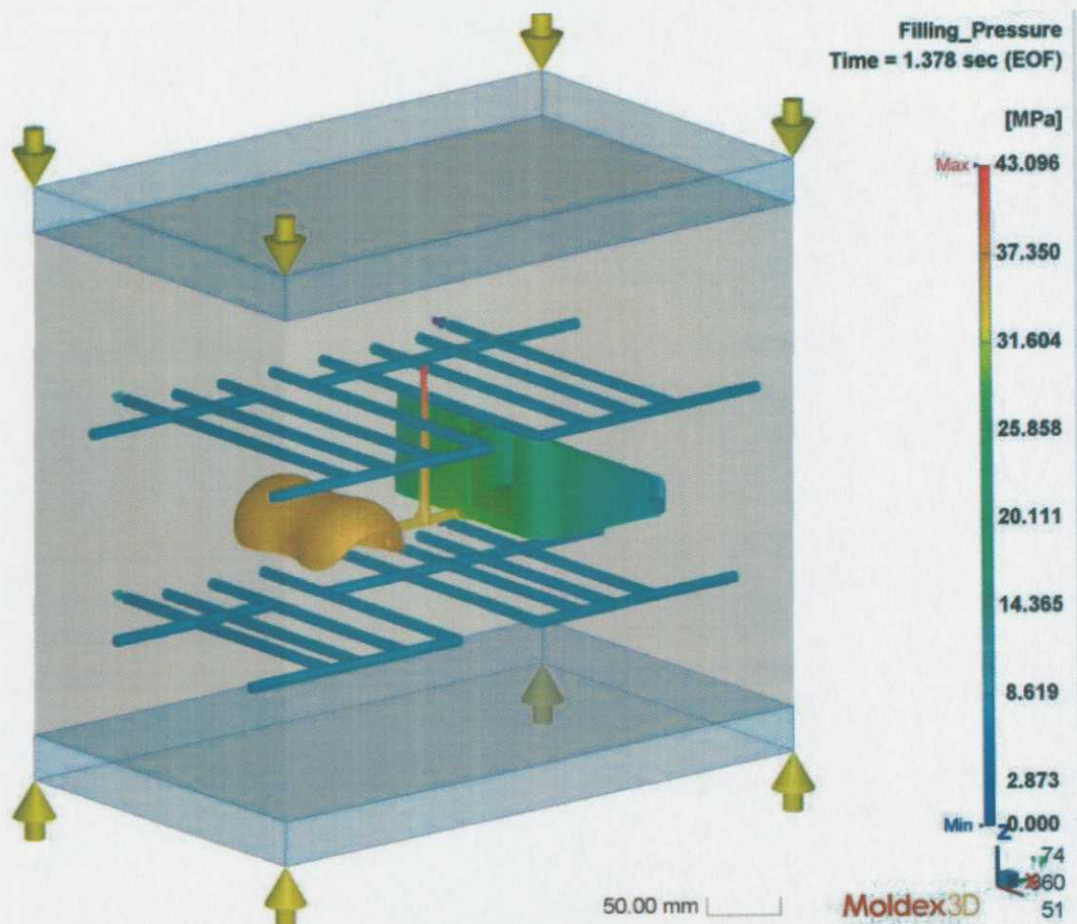
3. Időszak: 2019. Augusztus – 2019. November

Fő feladat: A hagyományos és additív gyártástechnológiával gyártott fröccsöntőszerszám szerszámfészkeihez tartozó beömlőrendszer kialakításának támogatása. Az additív és hagyományos gyártástechnológiával gyártandó második prototípus fröccsöntőszerszám fészkehez tartozó polimer ömledék elosztó csatorna rendszer áttervezett alkatrészeinek a legyártása. A két eltérő volumennel rendelkező fészkeknek a gát kialakításának támogatása, hogy az üregtöltési idő közel azonos legyen. Különböző gátkialakítások gyárthatóságának és használhatóságának a figyelembe vételével.



7. Ábra: Szimulációval támogatott beömlőrendszer és gátkialakítás vizsgálat modellje

Mint ahogy a 7. ábrán is jól látható, a formaüreg kettős formaüreg, ami nem egyenlő töltőtérfogatú, eltérő geometriájú fröccsönthető termékeket mutat be. Az egyik formaüreg egy nyeregfelületet szimuláló hajlított és lekerekített geometria, a masszírozó konstrukciójához hasonlítható, míg a másik formaüreg egy íróasztali névjegykártya-tartó, ami fel van ruházva mobiltelefon-tartó résszel és palacktárolóval, valamint névjegykártyanyílásokkal is. A két formaüreget ömledékcsatorna köti össze. Az ömledékcsatornán jól látható, hogy a beömlő nem fűtött, hanem kúpos botbeömlő, az osztócsatorna pedig a beömlővel merőlegesen elhelyezett U keresztmetszetű ömledékcsatorna, ami összeköti a szerszám beömlő nyílását a formaüreggel.

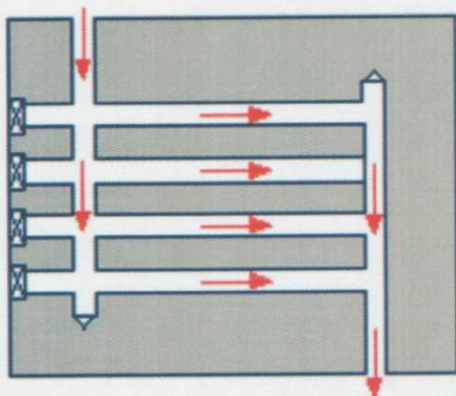


7. Ábra: Különböző üregtöltési nyomások kialakulása a nem megfelelő gátrendszer kialakítás miatt.

4. Időszak: 2019. December – 2020. Július

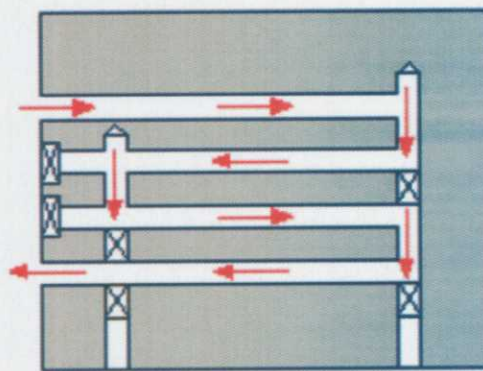
Fő feladat: A hagyományos és additív gyártástechnológiával gyártandó második prototípus fröccsöntőszerszám fészkehez tartozó polimer ömledék elosztó csatorna rendszer átervezett alkatrészeinek a legyártása. A kétfészkes fröccsöntőszerszám első prototípusánál nem megfelelően kialakított elosztó és beömlő rendszer kialakításának támogatása. Valamint a hagyományos és additív gyártástechnológiával gyártandó második prototípus fröccsöntőszerszám fészkehez tartozó temperáló csatorna rendszer átervezett alkatrészeinek a legyártása. A két eltérő volumennel rendelkező fészeknek a temperáló körének a kialakításának támogatása, a megváltozott karakterisztikájú üregtöltésből adódó intenzívebb hőterhelésnek az elvezetésének a fokozása, javítása. Hűtési és üregtöltési folyamatok optimalizálása.

Párhuzamos és soros hűtőkörök kialakításának vizsgálata a hűtés intenzitásának növelése érdekében.



Párhuzamos körök

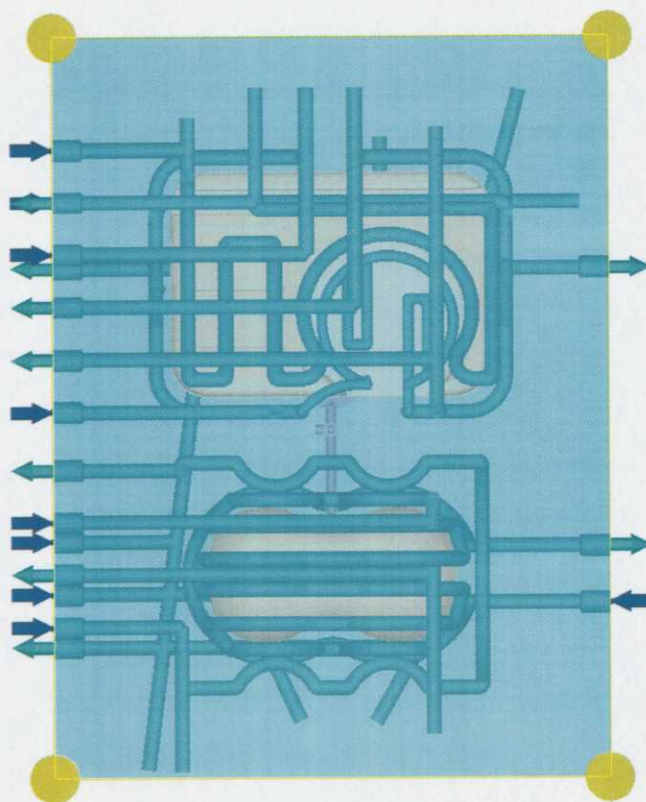
- Főáramról több oldalág
- Áganként eltérő áramlás
- Nem egyenletes a szerszám hűtése
- Pangó víz
- Hatékonyság az inzertek körül



Soros körök

- Egyenletes áramlás
- Egyenletes hőelvonás
- Turbulens áramlású víz
- 5 °C-os melegedés (ajánlott)
- Nagyobb a nyomásesés

8. Ábra: A párhuzamos és soros hűtőcsatorna kialakításának jellemzői.

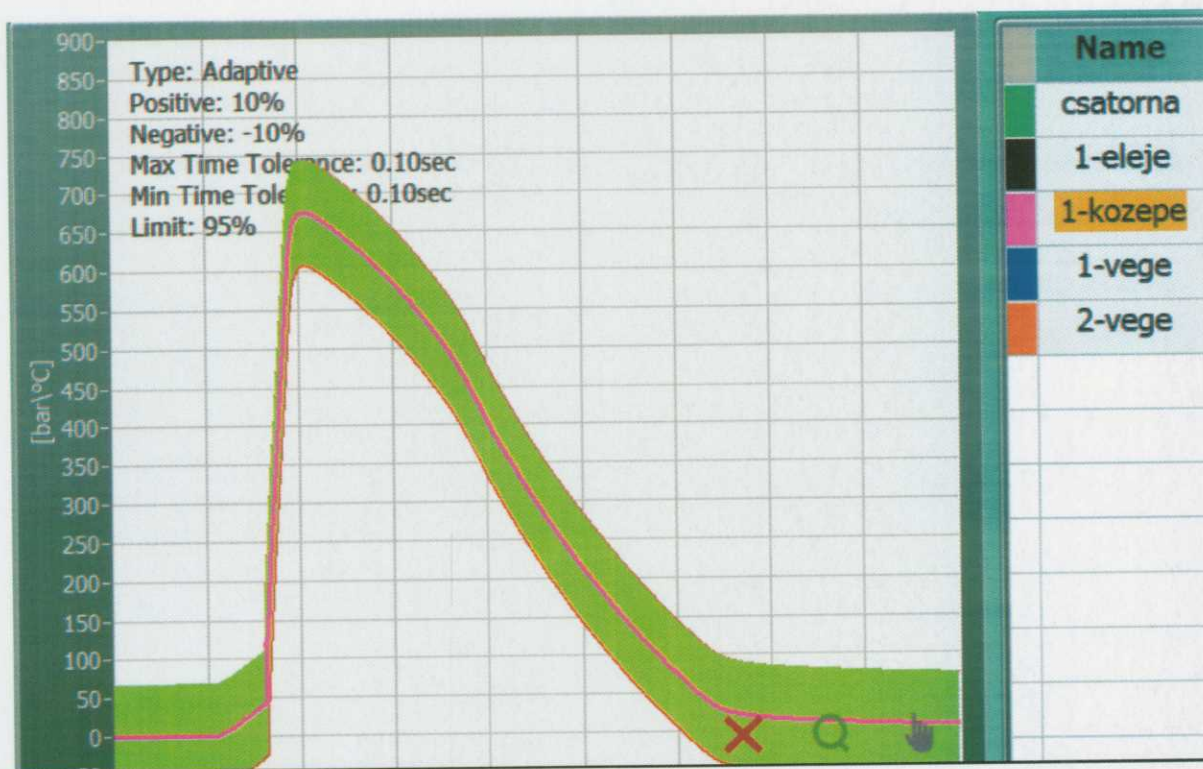


9- Ábra: Sorosan kialakított szerszámtemperáló csatornák additív technológiával gyártott szerszám esetén.

5. Időszak: 2020. Augusztus – 2021. Január

Fő feladat: A selejtválogató rendszerhez tartozó szenzorok és alkatrészek beépíthetőségének vizsgálata. A selejtválogató rendszerhez tartozó szenzorok fogadására alkalmas betétek gyártása. Nyomás és hőmérséklet szenzorok különböző pozícióban történő beépítésének támogatása.

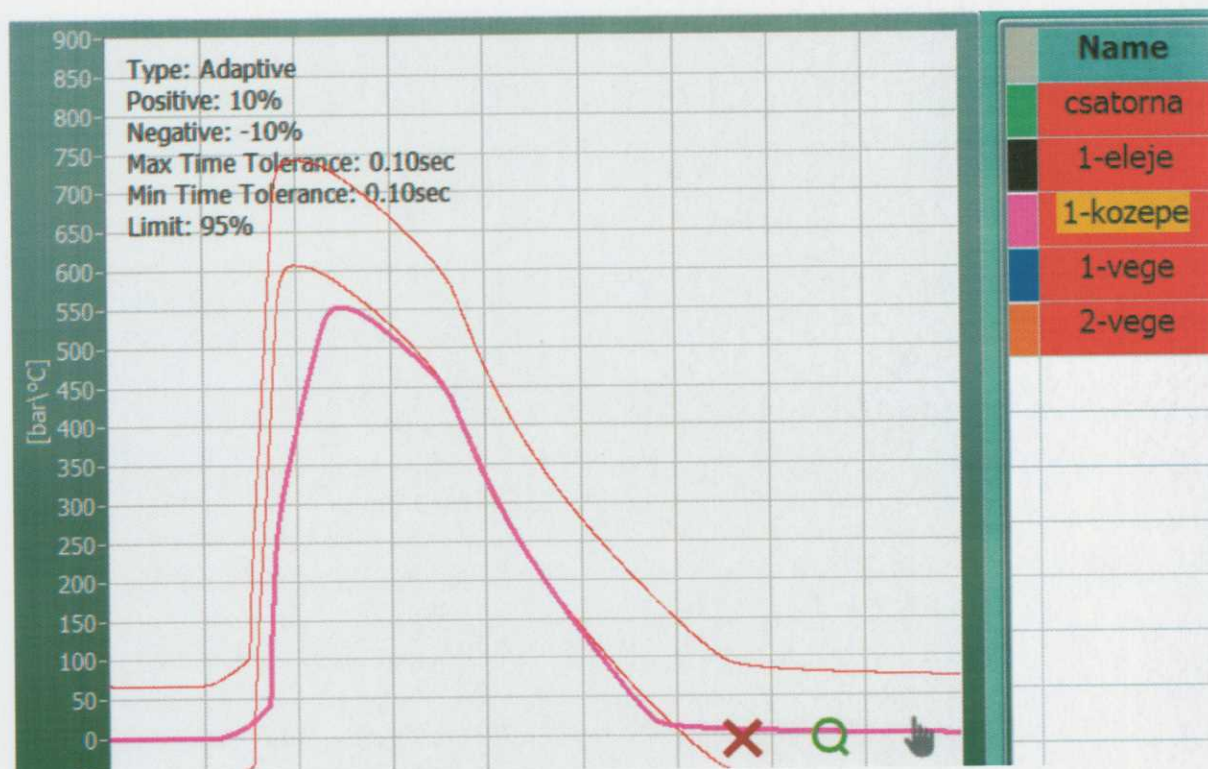
A szerszámokba a gyártási folyamatok technológiai paramétereit (hőmérséklet, nyomás) figyelő szenzorokat terveztünk be, ezáltal XXI. századnak megfelelő, a gyártás minőségét analizáló komplex rendszert kapunk. A zárt szerszámban lejátszódó folyamatok szabad szemmel nem láthatóak, viszont a P-V-T (nyomás, térfogatváltozás, hőmérséklet) állapothatározók ismeretében kontrollálhatók. Ezen paraméterekre meghatározott kritériumok segítségével megvalósítható egy olyan intelligens rendszer, mely automatikusan válogatja a hibátlan és selejt termékeket. A gyártás folyamatát rendkívül módon hátráltatni tudja, hogy a termékek megfelelőségét emberi szemrevételezéssel ellenőrzik. Az intelligens fröccsöntő szerszámmal a megfelelőség elbírálását már a szerszámnyitás előtt meg tudjuk határozni. A gyártott termékhez specifikusan szenzorokat tervezünk a fröccsöntő szerszámba, melyek képesek meghatározni, hogy milyen hőmérsékleti és nyomás viszonyok uralkodnak a szerszámba, ezen ismeretek birtokában egy számítógépes algoritmus meg tudja határozni, hogy a szerszám töltése, az utónyomás mértéke, a zsugorodási állapotok mennyire voltak kielégítőek, majd számítás után dönt, hogy a robotkar a megfelelő vagy a selejt termékeknek előkészített szalagra helyezze a terméket.



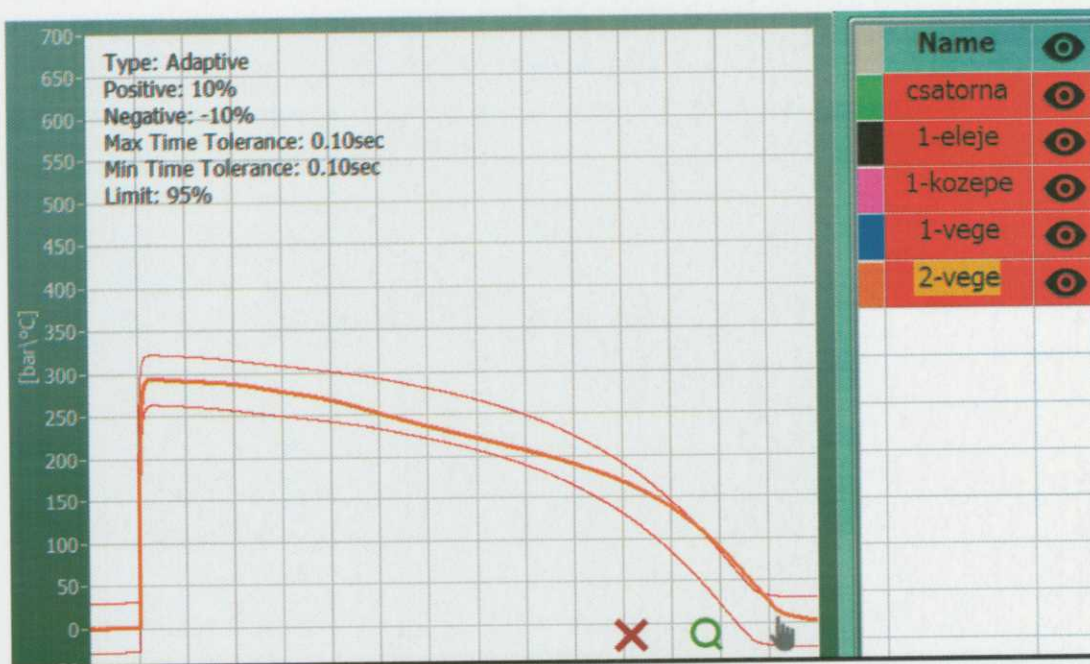
11. Ábra: Fröccsöntési ciklus közben felvett nyomás görbe a szerszámüreg közepénél mérve



12.Ábra: Fröccsöntési ciklus közben felvett nyomás görbe a beömlőcsatorna közelénél mérve

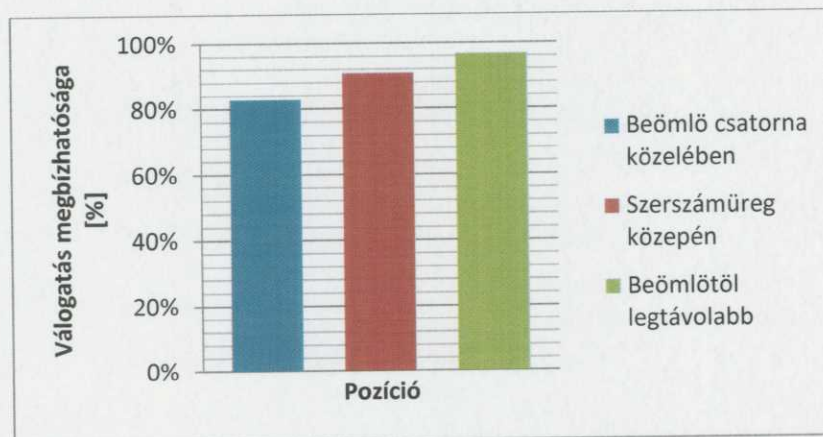


13.Ábra: Nem megfelelő nyomás érték hibás termék esetén



14.Ábra: Majdnem megfelelő nyomás érték hibás termék esetén, szenzor pozíciója a beömléstől legtávolabb

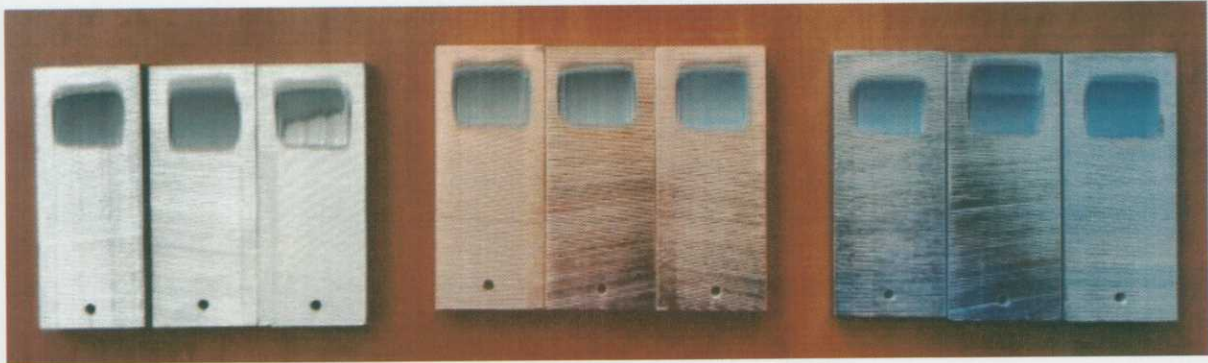
A 11-14 Ábrákon látható, hogyan tudjuk mérni az üregtöltés közben kialakuló nyomást a szerszámban. A nyomás jelleggörbéje függ attól, hogy a szenzorok hol helyezkednek el a szerszámban. A válogatás során lehet egy túl magas intervallumot beállítani, mely között a fröccsöntés és a termék jó minőségűnek mondható. A termék ilyen esetben nem lesz hiányos és beszívódási nyomoktól is mentes lesz. A rendszer érzékenység jól mutatja a 14. Ábra, ahol az utónyomás mértéke túl magas és ebben az esetben is hibás lett a termék. A túlzottan nagy nyomás miatt vetemedett és/vagy húzási nyomos termékeket kaptunk. Ha a szenzor a beömlőhöz közel helyezkedik el, akkor sajnos előfordul, hogy az ott mért megfelelő értékű nyomás ellenére a termék selejt lesz. Ez adódhat abból, hogy az ömledék nem elég meleg és a szerszámüreg távolabb eső részét már nem tudja megfelelően kitölteni. Emiatt célszerű a szenzorokat a beömlési ponttól lehető legtávolabb elhelyezni a szerszámüregben. A válogatási kísérletek kiértékelése is ezt támasztja alá.



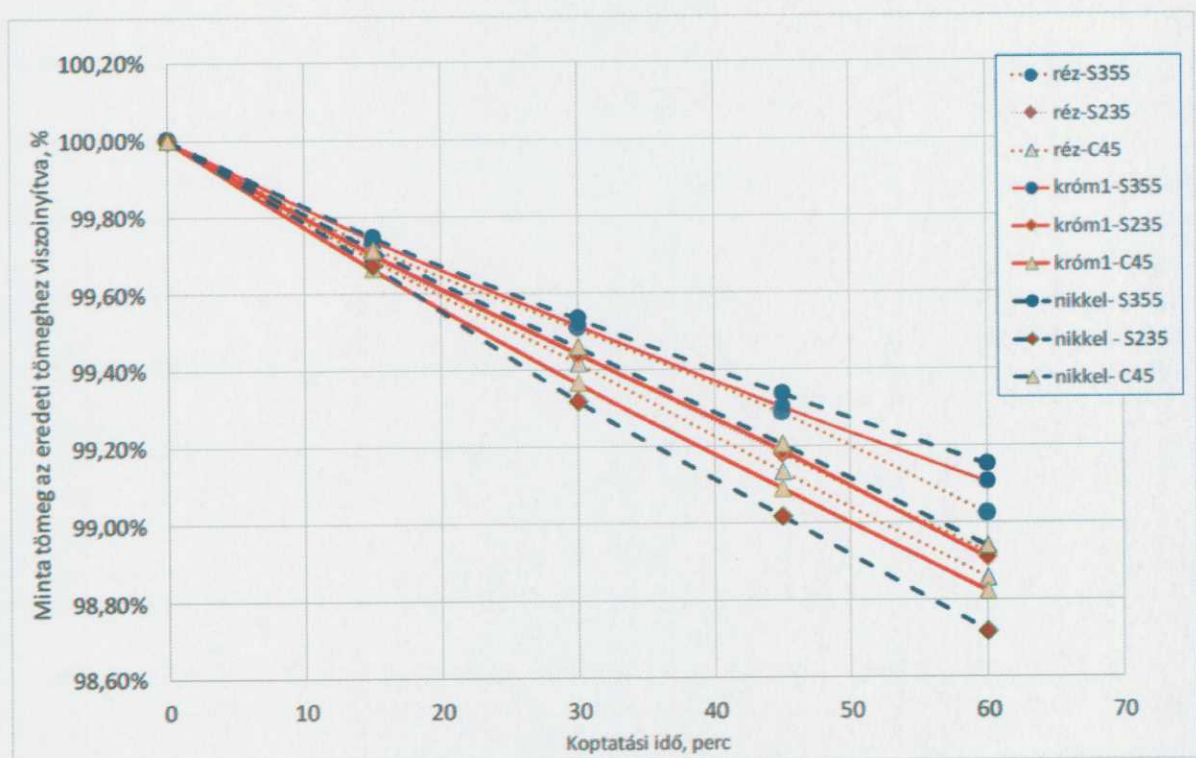
15. Ábra: A szenzorok pozíciójának hatása a válogatás megbízhatóságára

5. Időszak: 2021. Február – 2021. Április

Fő feladat: A fröccsöntő szerszámbetétek kopásállóságának fejlesztése és vizsgálata. Különböző bevonatok, felületkezelési technológiák alkalmazhatóságának vizsgálata. Különböző acélokat és felületkezeléseket is alkalmaztunk azért, hogy megvizsgáljuk melyik anyagpárosítás lehet a legjobb kopásállóság szempontjából. Ezeket nem csak a feldolgozás közben, hanem koptatóvizsgálatok alkalmazásával is vizsgáltuk.



16.Ábra: Fénykép koptató vizsgálatra használt próbatestekről



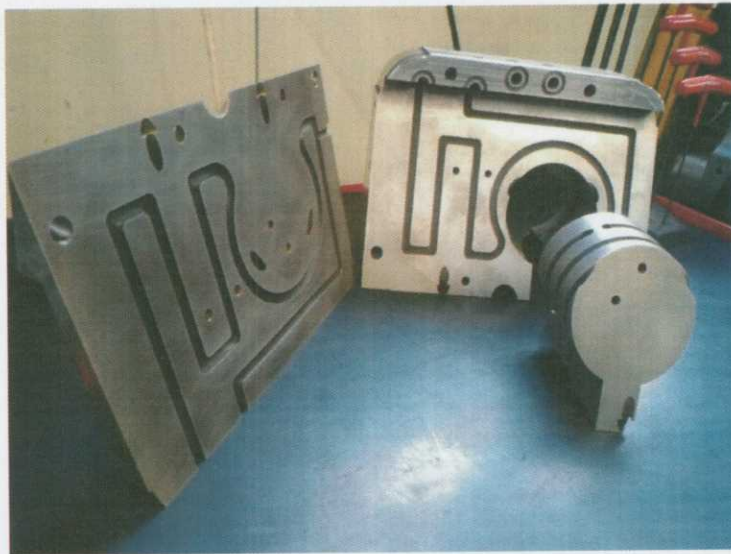
17. Ábra: A koptatóvizsgálat eredménye

Acélok közül az S355-s szerkezeti acél áll legjobban ellen az abrazív koptatásnak, a kopásállóságot legjobban a nikkel bevonat javítja, utána a krómozás és a réz bevonat. A réz bevonat jelentősége a hővezetőképesség esetén sem jelentkezik számottevően, emiatt nem is érdemes használni.

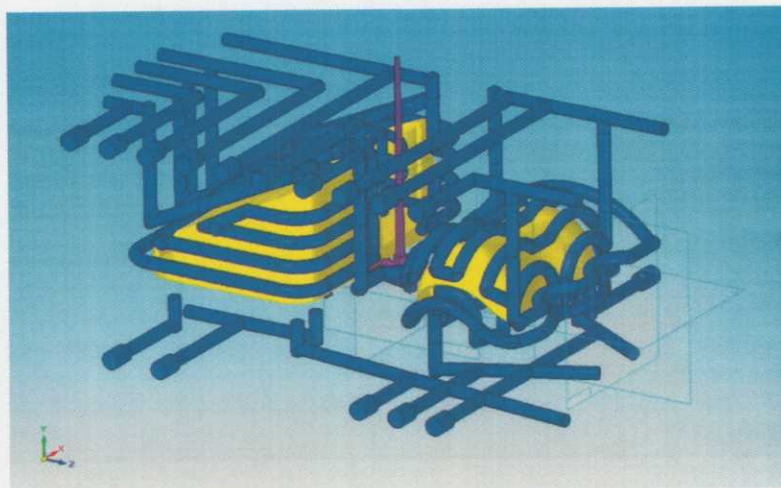
6. Időszak: 2021. Május – 2021. Augusztus

Fő feladat: Fröccsöntő betétek és szerszámok végleges kialakítása. A legnagyobb átmérőjű hűtőcsatorna kialakítása.

Az additív gyártástechnológiával kialakítottunk olyan formakövető hűtőcsatornákkal rendelkező szerszámbetéteket is, melyek segítségével intenzív lokális hűtést illetve fűtést lehet elérni a speciálisan kialakított, nagy fajlagos felületű, a termék formájához leginkább optimalizált hűtőcsatorna kialakításával. A technológiánk segítségével olyan speciális, akár csavaros, spirál formában futó csatornát is meg tudtunk alkotni, mely hagyományos technológiákkal nem megmunkálható.



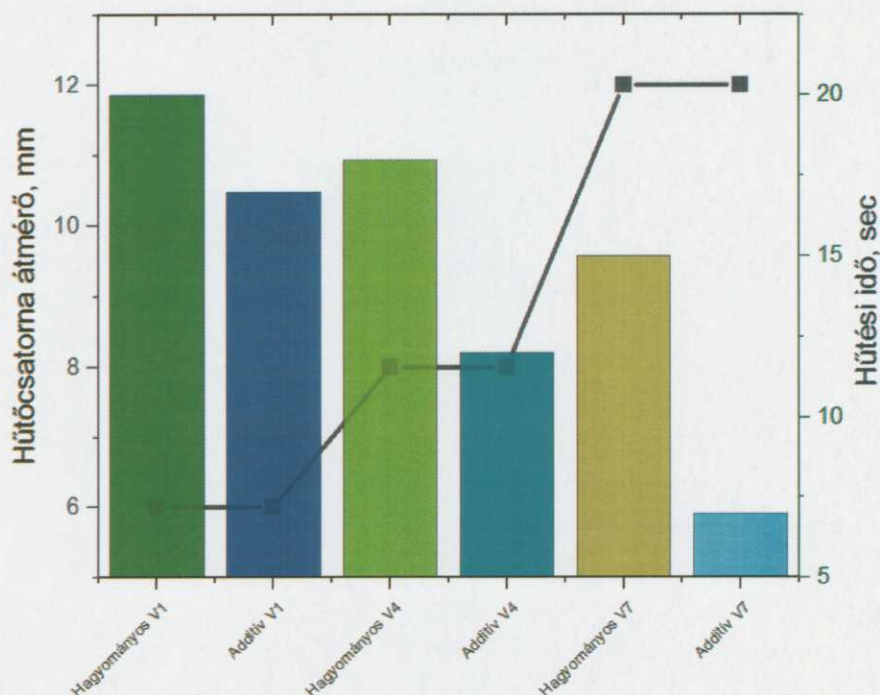
18. Ábra: Egy additív technológiával készült betét „preparált” állapotban



19.Ábra: Formakövető hűtőcsatorna végleges kialakítása

A próbafröccsöntések eredménye alapján a mintaalkatrészek esetén elmondható, hogy a fröccstermék gyártásának hűtés ideje közel 75 %-al csökkent a formakövető hűtőcsatornák alkalmazásával.

Hűtőcsatorna kialakítás	Hűtőcsatorna átmérő, mm	Hűtési idő, sec
Hagyományos V1	6	20
Additív V1	6	17
Hagyományos V4	8	18
Additív V4	8	12
Hagyományos V7	12	15
Additív V7	12	7



19. Ábra: Különböző hűtőcsatorna-kialakítás hatása a hűtési időre

A táblázatban és a grafikonon megfigyelhető, hogy az additív technológiával gyártott, formakövető hűtést tartalmazó szerszámmal a ciklusidők drasztikusan csökkenthetők. Az első verziós hagyományos technológiával készült szerszám esetén 20 másodperces hűtési idő után tudtuk eltávolítani a terméket a szerszámból, míg az additív technológiával gyártott betétek közül a legjobb esetben 7 másodpercre tudtuk csökkenteni a ciklusidőt. A kísérletek során azt tapasztaltuk, hogy a hűtőcsatorna bonyolultsága és a temperáló csatorna átmérőjének meghatározása során érdemesebb a nagyobb keresztmetszetű csatornákat preferálni a túlságosan bonyolult és részletes hűtőcsatorna kialakítással szemben. A kis átmérővel és bonyolult geometriai kialakítással rendelkező (hosszú) csatornák esetén a hűtőközeg lassabban fordul meg a szerszámban, ami csökkenti a hűtés hatékonyságát. A nagy átmérőjű hűtőcsatornák további előnye, hogy csökkenti az alapanyaghasználatot, így az alapanyag költség is csökken.

6. Időszak: 2021. Szeptember – 2021. Október

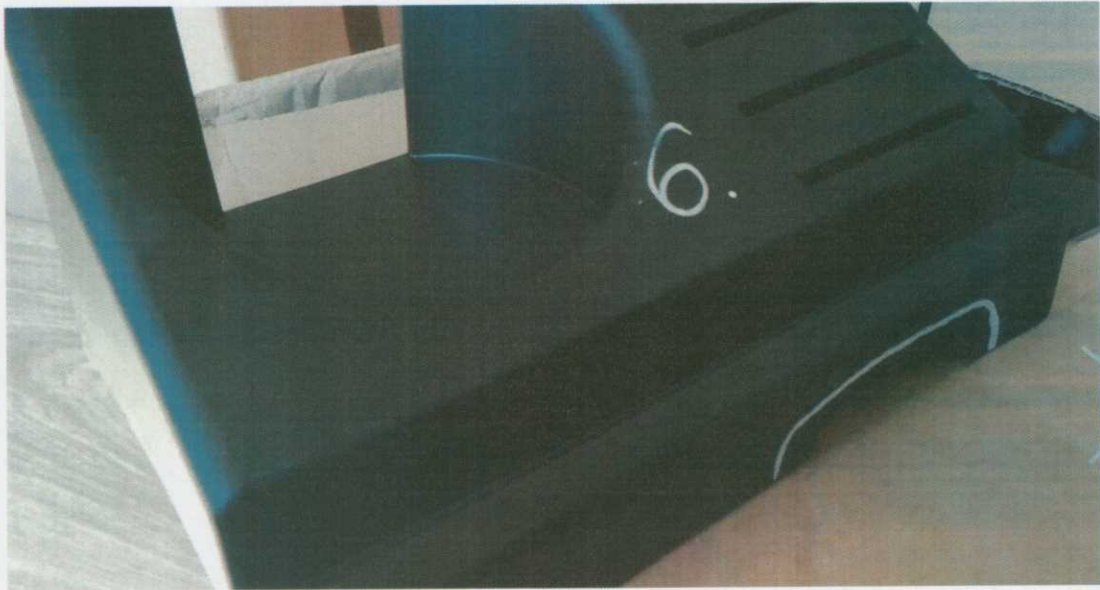
Fő feladat: Projektzárás, Eredmények összesítése, cikkírás.

Függelék:

A projekt teljes időtartamában próbafröccsöntéseket végeztünk, melynek során vizsgálatuk a betétek módosításának termékminőségre gyakorolt hatását.

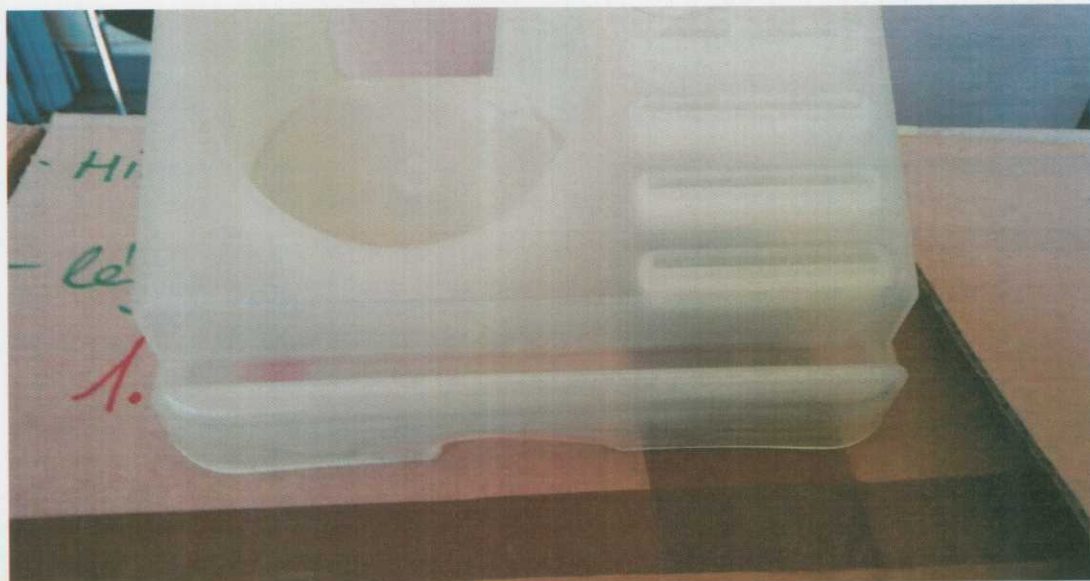
Az alábbiakban bemutatjuk a főbb hibatípusokat:

1. Hiányos termék:



Hiba rövid leírása: A termék hiányos, a formaüreg kitöltése nem megfelelő, a termék azon részén tapasztalható anyaghiány, ami a gáttól a legtávolabb található.

2. Hiányos termék:



Hiba rövid leírása: A termék hiányos, a formaüreg kitöltése nem megfelelő, a termék azon részén tapasztalható anyaghiány, ami a gáttól a legtávolabb található.

3. Vetemedés:



Hiba rövid leírása: A termék oldalán a tervezett geometria mérettől eltérés található. A termék kontúrja deformálódott, befelé horpadt.

4. Beszívódás:



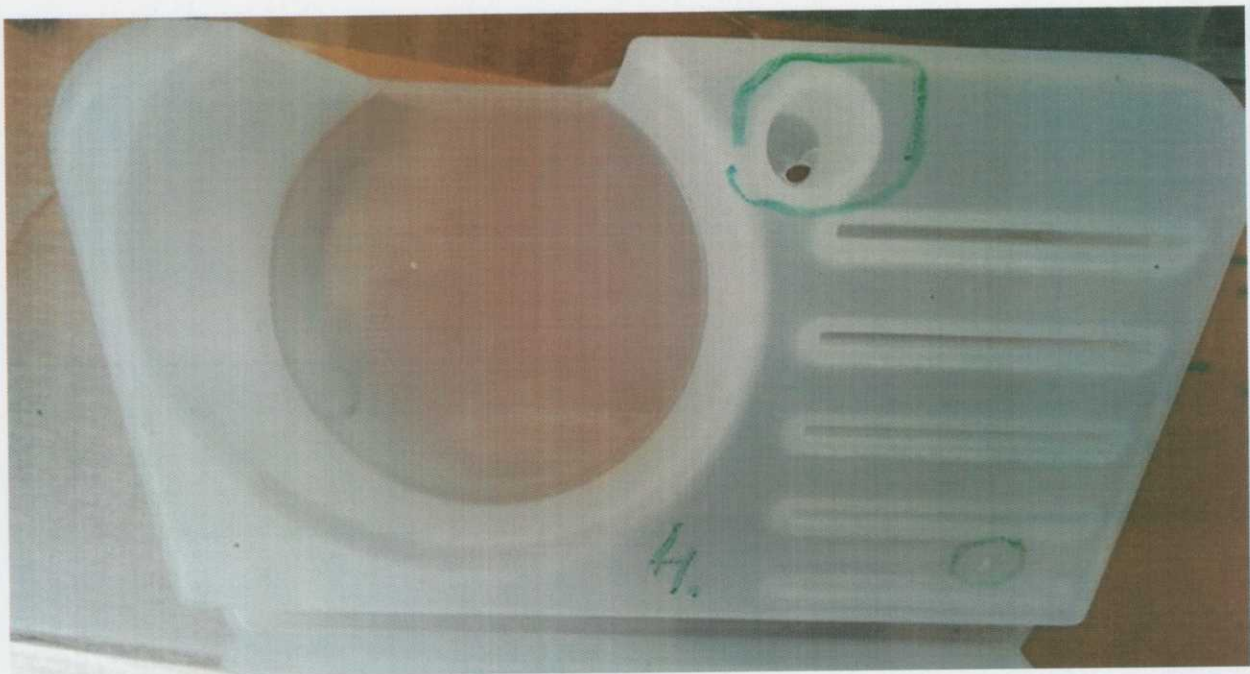
Hiba rövid leírása: A termék oldalán beszívódási nyomok találhatók. A termék kontúrja deformálódott, befelé horpadt. Kitöltési hibával párosulva.

5. Dízelhatás:



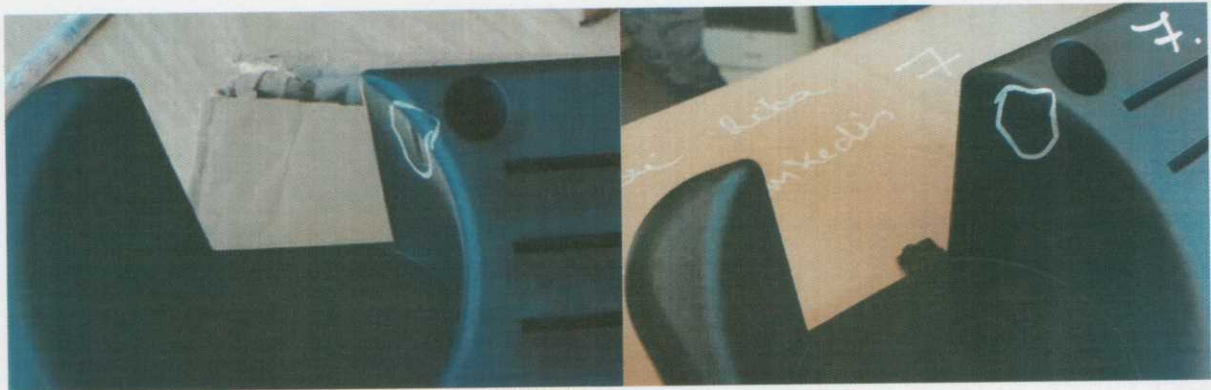
Hiba rövid leírása: A termék felületén több helyen is hólyagok találhatók

6. Hiányos termék + légzárvány:



Hiba rövid leírása: A termék kritikus részén (tolltartó) anyagfolytonossági hiány található.
Lokális delamináció. A termék egyéb felületén légzárvány látható.

7. Deformáció, anyagtöbblet:



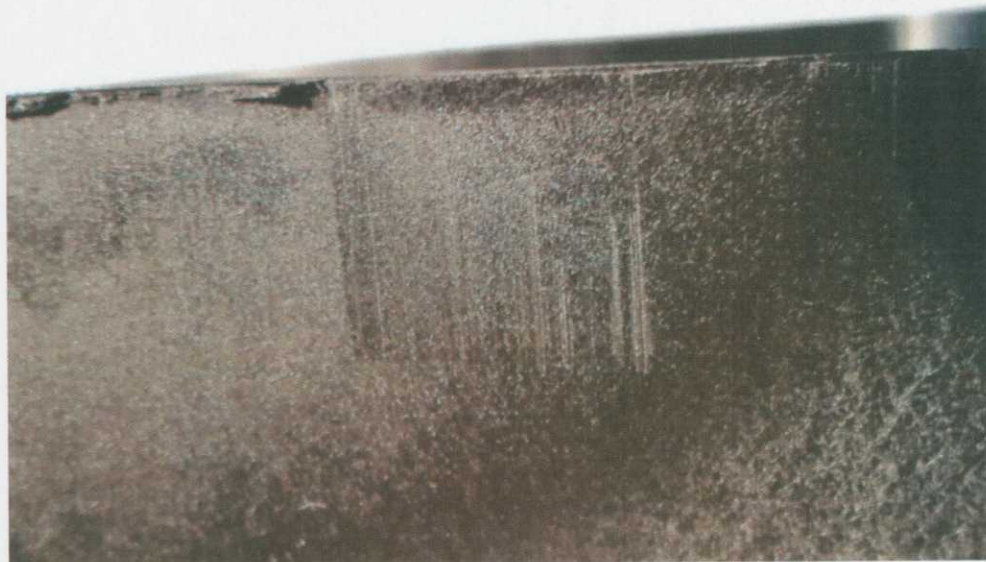
Hiba rövid leírása: A termék felületén anyagtöbblet, kitüremkedés található

8. Hiányos termék + légzárvány:



Hiba rövid leírása: A termék kritikus részén (tolltartó) anyagfolytonossági hiány található. Lokális delamináció. A termék egyéb felületén légzárvány látható.

9. Húzási nyomok:



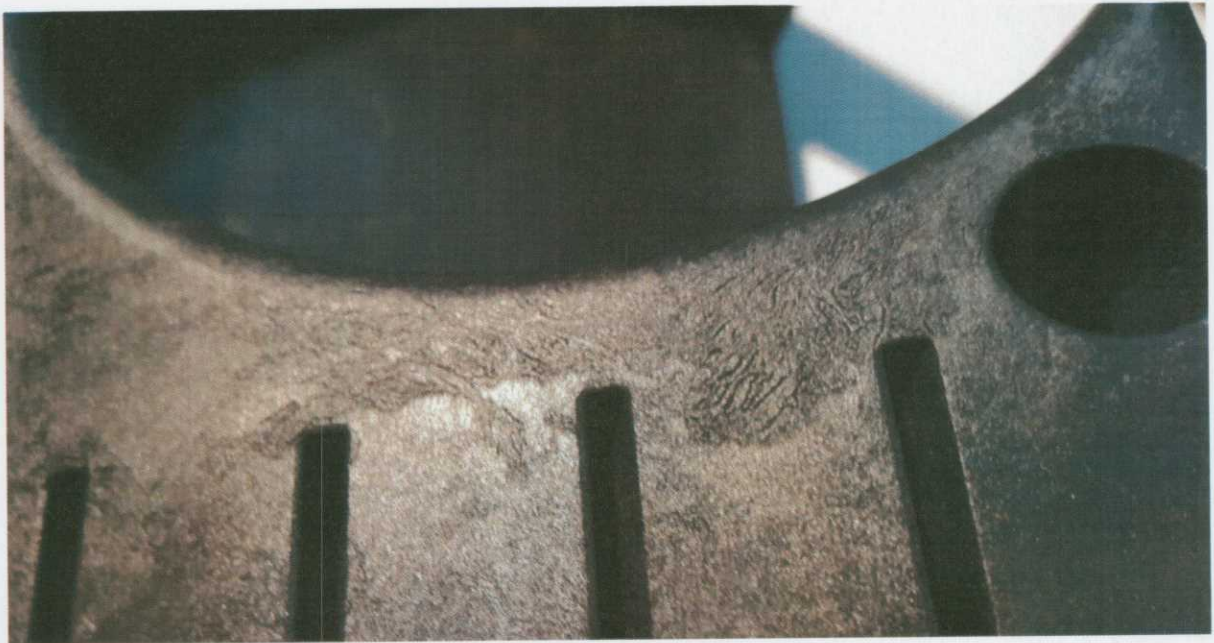
Hiba rövid leírása: A termék felületén a szerszám osztósíkjára merőleges, a szerszámnyitás irányával párhuzamos felületi sérülések, karcok figyelhetők meg.

10. Összezapási nyomok:



Hiba rövid leírása: A termék felületén a polimer ömledék találkozásánál jól kivehető "heggedési nyomok" láthatók.

11. Hanglemez effektus:



Hiba rövid leírása: A termék felületén barázdák kialakulása figyelhető meg.

A fröccsöntési folyamatot és a hűtés hatékonyságát Testo 885 típusú hőkamerával vizsgáltuk, ipari körülmények között. A hagyományos technológiával és az additív technológiával gyártott szerszámok két különálló, de egyforma fröccsöntőgépre voltak felszerelve. A fröccsöntési paraméterek egyforma értékre voltak beállítva. A fröccsöntőgép TMC 200 E típusú 200 tonna záróerővel rendelkezik.



20. ábra: TMC típusú fröccsöntőgép (csak példa)

A termo kamerával a fröccsöntési ciklus különböző időpillanataiban vizsgáltuk a szerszámok hőmérsékletét. Az ipari termográfia is a testek infravörös tartományban mérhető hőszugárzásán alapul, ami alapján a testek hőmérséklete, illetve a hőmérséklet térbeli vagy időbeli eloszlása meghatározható. Alkalmazható műszaki diagnosztikai célra - például egy gép rendellenes melegedésének felismerésére, amely utalhat a csapágyak elhasználódott állapotára. A termográfiai vizsgálat értékelésénél figyelembe kell venni a vizsgált test emissziós tényezőjét (az abszolút fekete test emissziós tényezője 1), valamint a környezeti reflexiókat. A mérés alkalmas a hűtés hatékonyságának meghatározására.

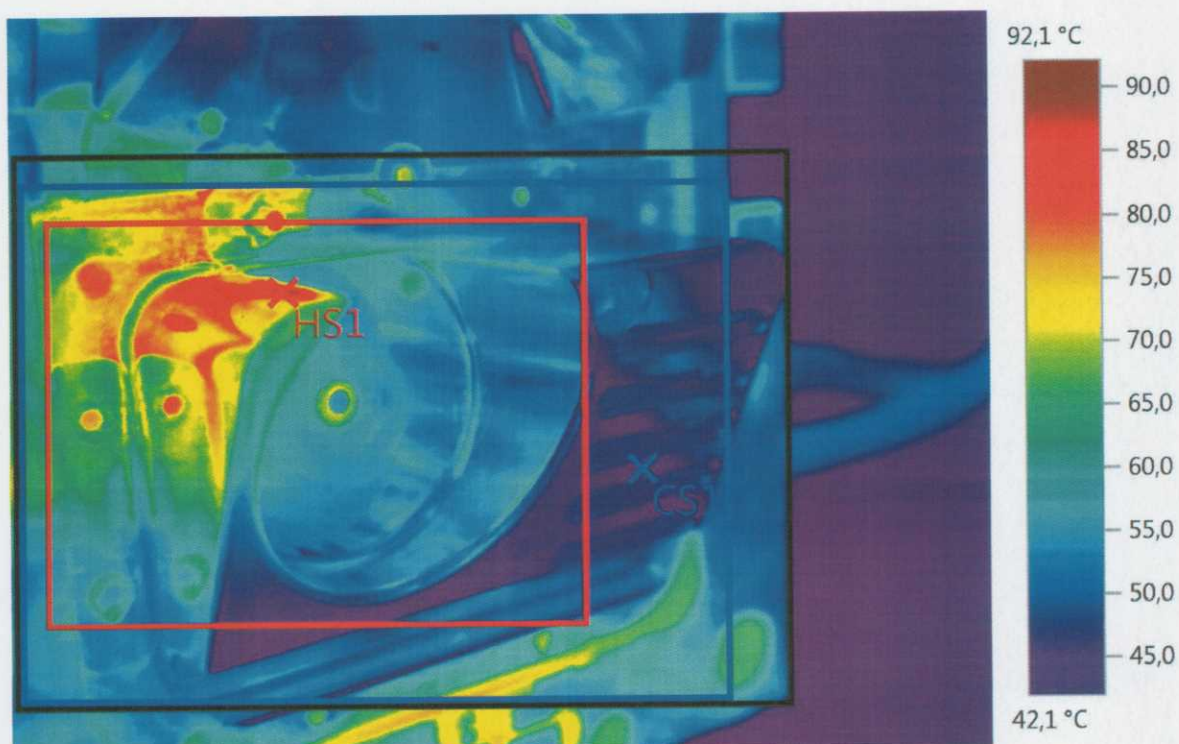


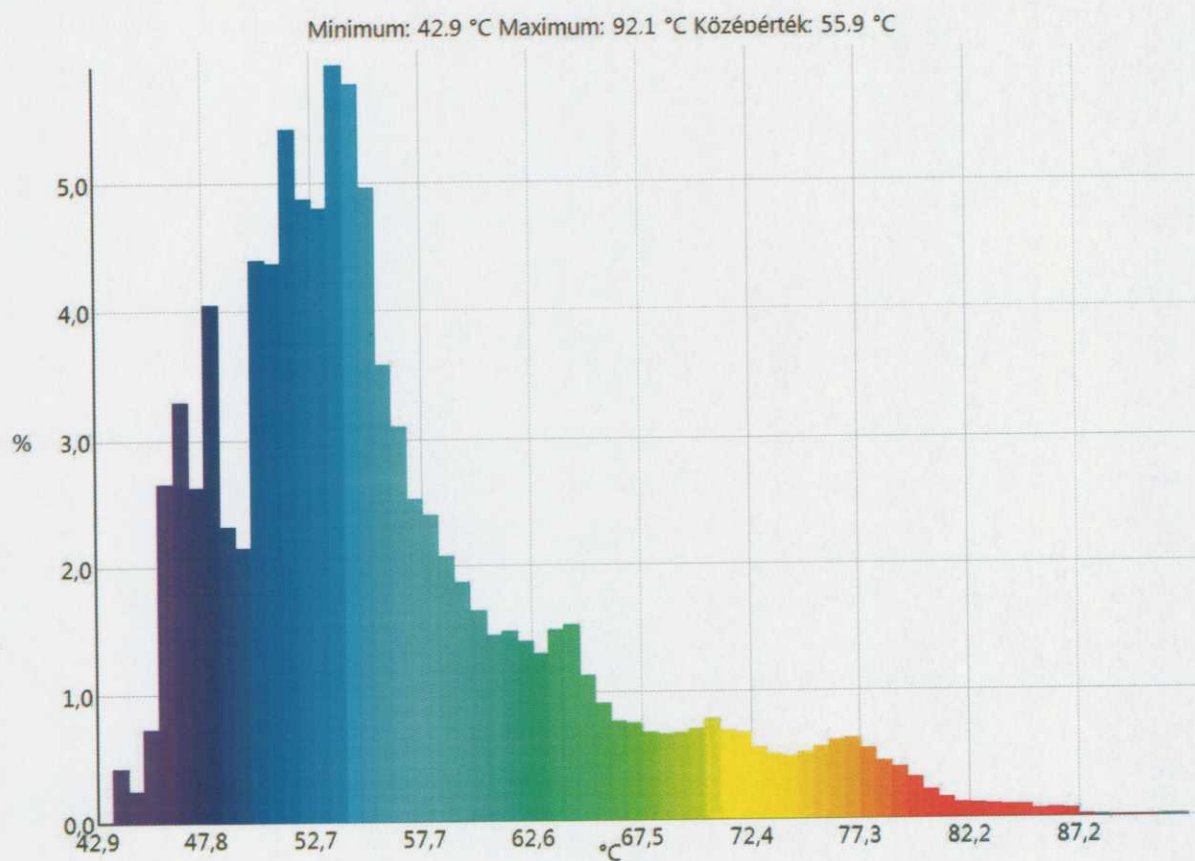
21. ábra: Testo 885 típusú hőkamera

Az alábbiakban egy példát mutatunk be a mérésre.

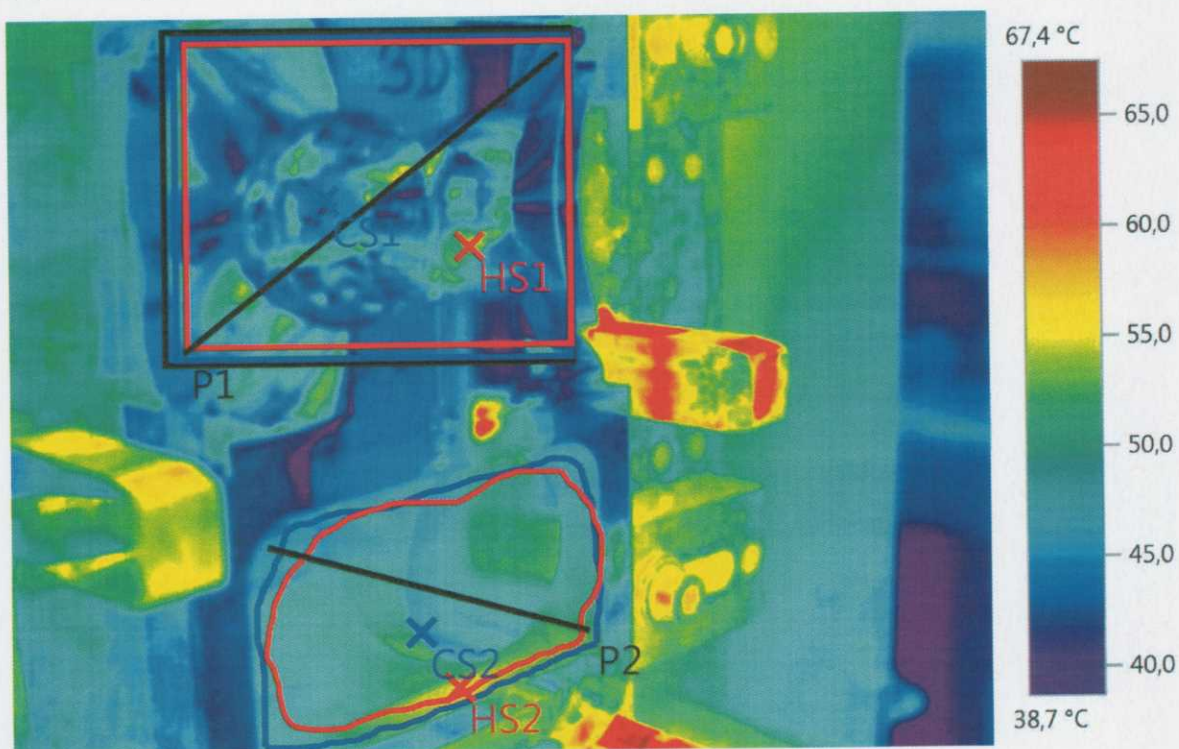
Additív szerszám, mozgó szerszámfél. V3, PP

Szerszámnyitás után 5 mp





Szerszámnyitás után: 15 mp



Hőmérséklet eloszlás a jelölt területeken

