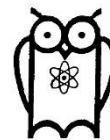




**MISKOLCI EGYETEM
MŰSZAKI ANYAGTUDOMÁNYI KAR
TUDOMÁNYOS DIÁKKÖRI KONFERENCIA**



**Nyomásos öntvény kialakításának és
technológiájának hatása az öntvény minőségére**

**Effects on quality of the design and technology of
die-cast**

ÖNTÉSZETI INTÉZET

2024

Szerző:
Szuromi Kornél Benjámin

Konzulens:
Dr. Erdélyi János

Tartalom

1. Bevezetés	3
2. Irodalmi áttekintés.....	4
2.1. A nyomásos öntészet jellemzői	4
2.2. A hidegkamrás nyomásos öntés	4
2.3. Az öntőszerszám temperálása.....	7
2.4. A kilevegőző rendszer	9
2.5. A lokális tömörítő túske	11
2.6. Alumínium öntészeti ötvözetek	15
2.6.1. A fő ötvözők hatása	15
2.6. Az olvasztás és olvadékkezelés	16
3. Technológiai áttekintés.....	18
3.1. A vizsgált öntvény bemutatása	18
3.2. Az öntési paraméterek meghatározása.....	19
3.3. A szimuláció eredménye.....	24
3.4. A tömörítő túske méretezése	29
4. Egyéni mérések.....	30
4.1. A kísérleti program.....	30
4.2. A lokális tömörítő túske hatásának vizsgálata	33
5. Felhasznált irodalom	43

1. Bevezetés

A folyamatosan fejlődő és egyre nagyobb igényekkel rendelkező autóipar számára a nyomásos öntészet az egyik olyan technológia, melynek segítségével biztosítani tudja a megfelelő mennyiségű, minőségű és vevői elvárásokat is kielégítő termékek előállítását. A relatíve jó teljesítmény, kedvező fogyasztás és magasfokú biztonság manapság elsődleges szempont az új autót vásárlók számára. A jármű össztömegét a lehető legkönnyebb alkatrészek beépítésével érik el, ezek jellemzően nyomásos öntészeti eljárással készülnek. Ezzel a technológiával könnyű, mégis nagy szilárdságú, jellemzően kis falvastagságú, méretpontos, nyomástömör öntvényeket állítanak elő.

A nyomásos öntvény szilárdsági tulajdonságait többek között a gépbeállítási paraméterek határozzák meg, melyek spektruma rendkívül széles, nem létezik egy jó beállítás, hiszen minden geometriára külön kell optimalizálni a technológiát, annak függvényében, hogy az adott öntvény milyen követelményeknek kell megfeleljen. Alapvetően négy tulajdonság írható elő nyomásos öntvényeknél, melyek: a nyomástömörség, a garantált szilárdság, a kiváló felületi minőség, és a méretpontosság [1]. A végeredményt természetesen befolyásolja az, hogy milyen ötvözetből készül az öntvény, a fém tárolása, kezelése melyekre éppoly figyelmet kell fordítani, mint az öntési paraméterek meghatározására. Ehhez nélkülözhetetlen a megfelelő szintű elméleti tudás, viszont fontos a gyakorlatban szerzett tapasztalat, mert a gondosan kiszámolt és meghatározott paraméterek olykor egyéb tényezők (például a gép kopóalkatrészeinek kopása) miatt nem hozzák a várt eredményt. Dolgozatomban bemutatom a nyomásos öntés technológiáját, illetve egy autóipari öntvény technológiai optimalizálásának folyamatát, mely során az öntési paraméterek változtatásával határozom meg a vevői elvárásoknak leginkább megfelelő darab gyártásához szükséges beállításokat.

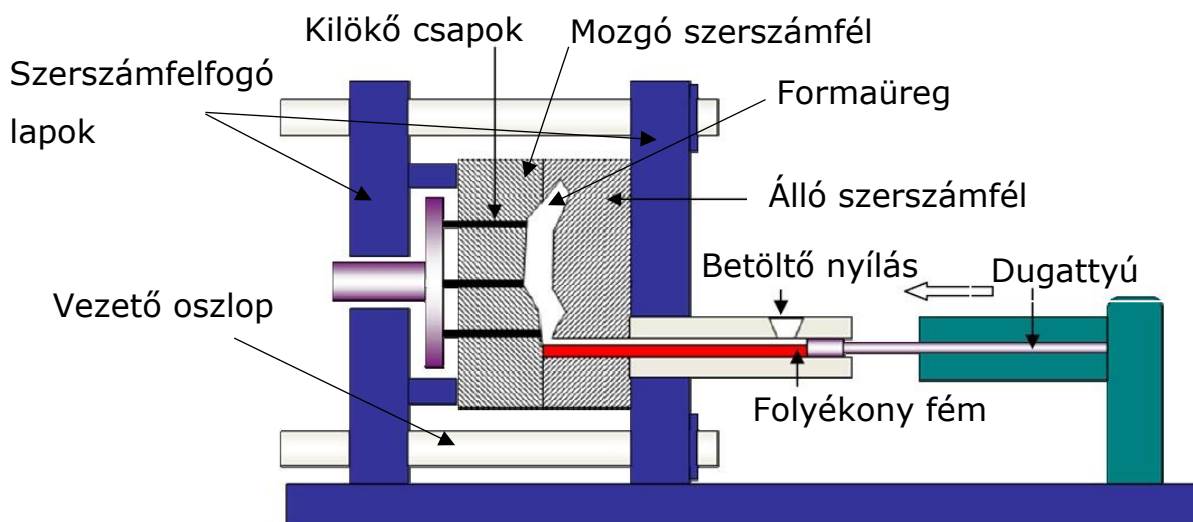
2. Irodalmi áttekintés

2.1. A nyomásos öntészet jellemzői

Nyomásos öntés során az olvadt fémet nagy sebességgel, rövid idő alatt juttatjuk a tartós, acél formába (nyomásos öntőszerszám), majd a dermedés a formaüregben magas nyomás alatt történik. Megkülönböztetünk hideg- és melegkamrás nyomásos öntést. Utóbbi esetében a töltőkamra az olvadékba merül, így a fémet a kemencéből közvetlenül a formába adagoljuk. Ezt az eljárást alacsony olvadáspontú fémek (cink, ón, magnézium) öntésénél alkalmazzák, amelyet gyakran a hőntartó kemencében olvasztanak meg, így nem szükséges külön olvasztó berendezést fenntartani. Az alumínium nyomásos öntéséhez a hidegkamrás eljárást alkalmazzák, ahol az olvasztás külön olvasztókemencében történik, és az öntőgéphez tartozó kemence arra szolgál, hogy a fémet öntési hőmérsékleten tartsa. [1][2]

2.2. A hidegkamrás nyomásos öntés

Az alumínium nyomásos öntésének legelterjedtebb változata a vízszintes hidegkamrás nyomásos öntés, ahol a vízszintes jelző a szerszámfelek zárási irányára és a kamra pozíciójára utal. Az 2.2.1. ábrán egy ilyen öntőgép sematikus ábrája látható. Az öntőgépeket záróerővel jellemezzük, amely az öntési folyamat során fellépő szétfeszítő erővel szembeni ellenállás maximális értékét adja meg, ez hidegkamrás öntőgépek esetében 100-9000 tonnáig terjed. Azt, hogy egy adott geometria öntése során mekkora szétfeszítő erő lép fel, az öntvénynek a szerszámra vonatkoztatott normál irányú vetülete és a lövőhengeren fellépő hidraulikus nyomás határozza meg. Ebből adódóan minél nagyobb darabot szeretnénk gyártani, annál nagyobb záróerőre van szükség. A gép élettartama szempontjából a legelőnyösebb, ha a névleges záróerő kb. 80%-án működtetjük azt, ezért a szükséges záróerő számításánál biztonsági tényezőként érdemes 10-20% plusszal kalkulálni. [2][3]



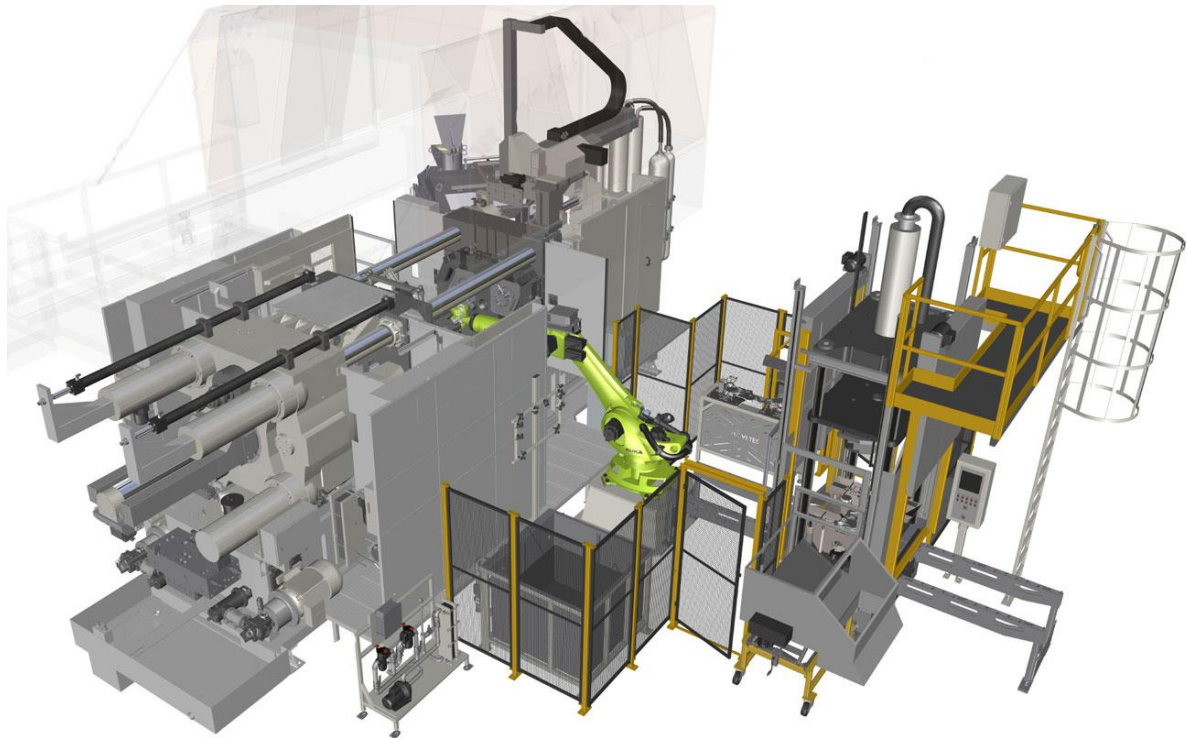
2.2.1. ábra. Vízszintes hidegkamrás öntőgép sematikus ábrája [4]

Az öntési ciklus a két szerszámfél zárásával indul, amelyet egy csuklós könyökemelő biztosít. Ezután a hőtartó kemencéből a szükséges fémmennyiséget a betöltő nyíláson keresztül az öntőkamrába adagolja az automatizált berendezés (régebbi, nem automata gépeknél még előfordulhat kézi adagolás öntőkanállal). Az öntőkamra átmérőjét és hosszát úgy kell megválasztani, a töltöttségi fok 40-60% között legyen. Ez azt mutatja, hogy a fém milyen mértékben tölti meg a kamrát, milyen magasan van a felszíne. Ennek több okból van jelentősége: egyrészt fontos, hogy a fém ne hűljön túl, mert a formatöltés során idő előtt elfagyhat és így nem fogja kitölteni a formaüreget. Másrészt ha ennél alacsonyabb a töltöttség, a kamrában nagyobb a levegő mennyisége, a kamra- és a formatöltés között több idő telik el, így az olvadék könnyebben veszi fel a hidrogént és megnőhet az öntvényben a porozitás [5]. A fém adagolása után a dugattyú lassú, egyenletes vagy gyorsuló mozgást végezve tolni kezdi az olvadékot, ezt kamratöltésnek nevezzük. A sebessége ilyenkor 0,1-0,5 m/s között lehet, de célszerű alacsonyabb értéket választani a felületi habképződés elkerülése végett. A dugattyú sebessége ebben a fázisban nagy mértékben befolyásolja az öntvényben lévő porozitás mértékét, mert a kamratöltés során a fémfront előrefuthat, és elzárhatja a levegő útját, ami így bezáródik és megjelenik a darab belsejében porozitásként vagy lunkerként. A kamratöltés után megkezdődik a formatöltés, ahol a dugattyú

sebessége hirtelen megnő 3-20 m/s közötti értékre, ami a rávágásban a keresztmetszet csökkenése miatt ennél nagyobb sebességet (20-80 m/s) fog eredményezni a Bernoulli-törvény miatt [1][6]. A nagy áramlási sebesség miatt turbulens áramlás jön létre, ami levegőbezáródásokat okozhat. A harmadik fázisban ezeket, és a kamratöltés során keletkezett bezáródásokat a nagy fémre ható nyomással (500-1500 bar) kompenzáljuk, ilyenkor a levegőt és a dermedés során kiváló hidrogént a lehető legkisebbre préseljük össze. Miután a formában lévő darabon kialakult a szilárd öntvénykéreg, a csuklós könyökemelő szétnyitja a szerszámot és a mozgó szerszámfélben elhelyezkedő kilökő csapok segítségével az öntvény eltávolításra kerül a formából. Ezt követi a szerszám lefújása és kenése, amivel egyrészt lehűtjük a szerszámot, másrészt csökkentjük az alumínium feltapadásának veszélyét a következő ciklusban. Napjainkban egyre gyakoribbak a teljesen automatizált öntőcellák, ahol az öntvény elvételét, hűtését, stancolását, valamint a szerszám lefújását is robot végzi, amivel a gyártási ciklusidő állandó értéken tartható, ami gazdasági szempontból nem elhanyagolható.

Az öntődékben a lehető legnagyobb hatásfok és darabszám elérése érdekében egyre nagyobb teret hódít az öntészeti automatizálás. Az automata öntőcellák esetén a lefújást, a darab elvételét, stancolását is robot végzi, amely egy jól elkészített programmal állandó és gyors ciklusokat eredményez. Sok öntőgépet forgalmazó gyártó már automata cellákat értékesít, ami tartalmazza a részfolyamatokhoz szükséges robotokat, berendezéseket. A legnagyobb gyártók jelenleg az IDRA, a Bühler és az ItalPresse, de folyamatosan jelennek meg a piacon újabb márkájú gépek, és igyekeznek felvenni a versenyt a piacon. Jelenleg a legnagyobb záróerővel rendelkező öntőgépek az IDRA céghez köthetőek, ezeket a gépeket a GigaPresse fantázianév illeti, ezek 5500-9000 tonna közötti záróerővel rendelkeznek. A 2.2.2. ábrán egy ItalPresse által forgalmazott automatizált öntőcella CAD modellje látható, amint a robot az öntőcellába nyúl elvenni a kész öntvényt. Mellette látható a stancoló berendezés és hűtőkád, ahol a robot meghatározott ideig hűti a darabot

stancolás előtt. Közvetlenül az ajtó mellett általában egy szenzortábla helyezkedik el, ez látható az ábrán is, az itt elhelyezkedő szenzorok megállapítják, hogy a darab a robotnál van-e, emellett vizsgálja az öntvény bizonyos részeit, ami alapján bizonyos selejtek kiszűrhetők. Ezeket a robot rögtön a selejtgyűjtőbe helyezi.



2.2.2. ábra. Az ItalPresse által forgalmazott, teljesen automatizált öntőcella [7]

2.3. Az öntőszerszám temperálása

A nyomásos öntés során a magas hőmérséklet mellett a nagy fémsebesség is nagy igénybevételnek teszi ki az öntőformát. Gazdasági szempontból különösen fontos, hogy az élettartamot csökkentő hatásokat minimalizáljuk. Az öntőszerszámban a folyamatos hősokk hatására húzó- és nyomófeszültségek lépnek fel, amelyek hajszálrepedések megjelenéséhez vezetnek. Formatöltés közben a szerszám felülete 500 °C fölé is melegedhet, majd a leválasztó anyag és kenőanyaja felvitele során a következő ciklus kezdetéig 300 °C körüli hőmérsékletre hűl vissza. A vizes közegben diszpergált leválasztó anyagok akár 100 °C alá is hűthetők a

szerszámot, ami extrém nagy ciklikus hőingást eredményez. A szerszám élettartama szempontjából az olaj-alapú leválasztó anyagok kedvezőbbek, viszont ezek használata környezetvédelmi okokból korlátozott, ezért az öntődék gyakran az ún. minimálkenést alkalmazzák a szerszámokon, amikor kis mennyiségben permetezik az olaj-alapú kenőanyagot a szerszám felületére. Ahhoz, hogy a leghatékonyabban csökkentsük a nagy hőingást és az ebből adódó hőkifáradást, a szerszám hőmérsékletének változását a lehető legkisebb intervallumban kell tartani a ciklusok során. Ezt a leghatékonyabban a szerszámba épített hűtőcsatornákkal érhetjük el amelyekben nyomás alatt tartott vizet, vagy olajat keringtethetünk, utóbbival akár 350 °C is elérhető.

Célszerű a hőmérsékletet az ajánlott tartomány felső határához közelíteni, mert így érhető el a legkisebb hőmérséklet különbség a szerszám felülete és az olvadék között. A hűtő-fűtő csatornákat az öntvény kontúrjához közeli zónákban kell elhelyezni. A ciklusidő alacsonyan tartása miatt érdemes a beömlőrendszert intenzíven, vizes temperáló körrel hűteni, hogy a nagy falvastagságú csatornák is rövid idő alatt megdermedjenek annyira, hogy az öntvény kilökése nem okoz deformációt, törést. Emellett érdemes vizes hűtést alkalmazni az öntvény nagy falvastagságú régióiban ugyanezen okok miatt. Kisebb falvastagságú, akár lapszerű öntvények olajos temperálást igényelnek, mert ilyenkor a túl intenzív hűtés korai dermedést, és hidegfolyást eredményez. Az olajos berendezések ezáltal hűtő és fűtő szereppel is bírnak, míg a vizes közeggel működtetett berendezések többnyire a hűtésért felelősek.

A berendezések rendelkeznek egy kimenő és egy bemenő ággal, de vannak egy- és két körös temperáló berendezések, ahol két be- és két kimenő ág van. A zárt rendszerben keringtetett víz és olaj nyomása jellemzően 4-6 bar között van, térfogatárama 10-20 liter/perc. A 2.3.1. ábrán olajos és vizes temperáló berendezések láthatóak, amelyek információs paneljéről leolvasható a keringtetett közeg beállított hőmérséklete, nyomása és térfogatárama.



2.3.1. ábra. Kétkörös temperáló berendezések

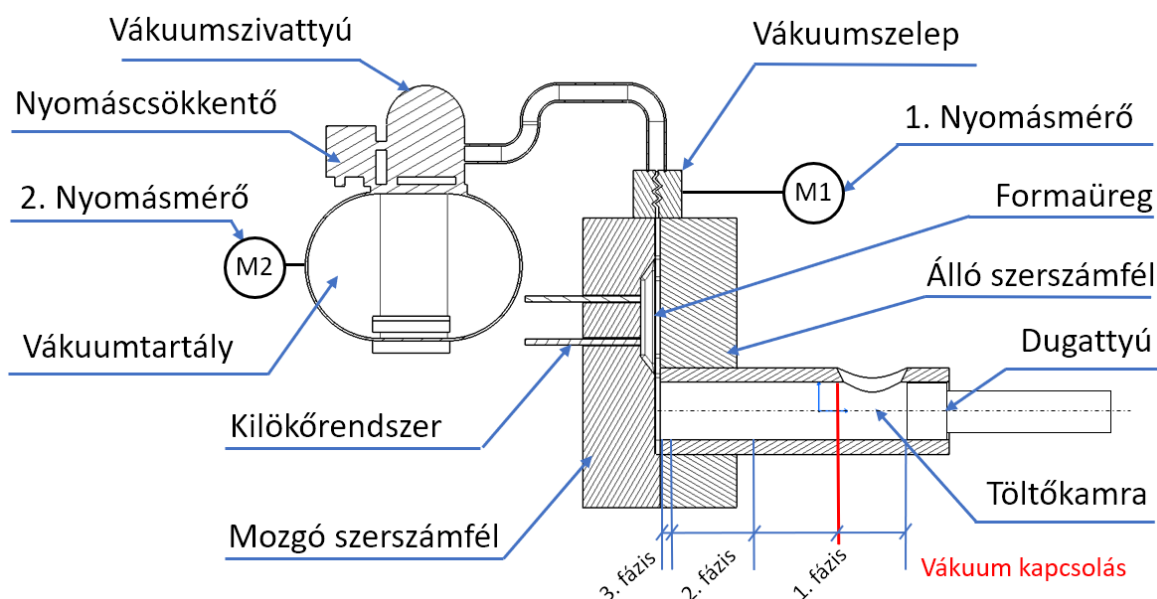
Az öntvény azon régióiban, ahol nagy falvastagság és a térfogatos zsugorodást a beömlőrendszeren keresztül már nem lehet kitáplálni, célszerű intenzív hűtést vagy lokális tömörítést. Az intenzív hűtést egy kis átmérőjű hengerben, nagy nyomással keringtetett alacsony hőmérsékletű víz biztosítja. Ez az ún. jet-cooling, amikor az utoljára megdermedő öntvényrészre koncentrált hűtést, ezáltal nagyobb mértékű hőelvonást biztosítunk, így a zsugorodási üreg kialakulását elkerülhetjük. [1][8]

2.4. A kilevegőző rendszer

Az öntvényben megjelenő porozitás mértéke főként az öntés első fázisától (kamratöltés) függ. A töltöttségi fok, a fém hőmérséklete, és a dugattyú sebessége az első fázisban kritikusak az oldott és bezárt gáz mennyiségének szempontjából. Ezt nyilvánvaló, hogy nem tudjuk nullára csökkenteni, de optimális paraméterek mellett a kilevegőző rendszerben el tudnak távozni a formaüregből a bezárt gázok. A kilevegőző csatornákat az öntvény olyan területeire kell csatlakoztatni, ahol jó eséllyel meg fog jelenni a porozitás, vagy lunker. Ezt öntészeti szimuláció segítségével tudjuk a legegyszerűbben meghatározni. A kilevegőző csatornáknak éles irányváltásokat kell tartalmazniuk, és folyamatosan növekvő

keresztmetszettel kell a waschbretig elérnie. Ennek célja, hogy a keresztmetszet-csökkenés miatt felgyorsuló fémet kellőképpen lelassítsa, ezzel elkerülve, hogy a fém kilőjön a szerszámból.

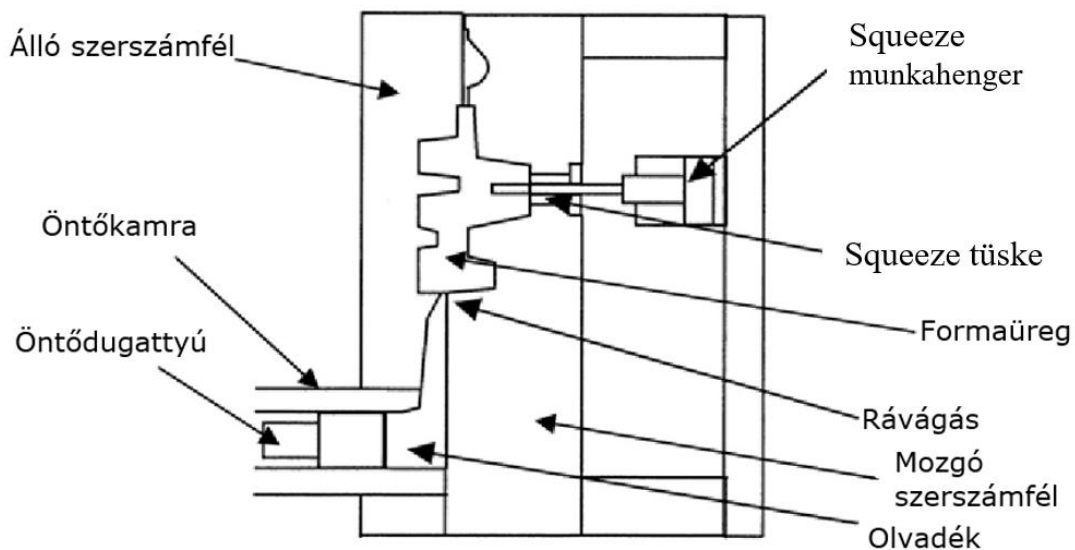
Vákuumos kilevegőzés esetén különösen nagy figyelmet kell fordítani erre, hiszen a vákuumrendszer szűrőjét és csöveit az alumínium eltömítheti, ami gátolja a vákuum felépülését az öntőformában. A vákuumos kilevegőzés egy olyan technológia, amely során az öntőformában lévő nyomást a légköri nyomás alá csökkentjük, ezáltal a levegő eltávozik a formából. A vákuumszivattyút hatásosan az 1. fázis azon pontjától üzemeltethetjük, amikor az öntődugattyú a betöltőnyílást elhagyva lezárja az öntőkamrát. Ezzel mind a kamrából, mind a formából eltávozik a bezárt levegő, így az 1. fázis során is kisebb mértékű lesz a fémhullámokból adódó levegőbezáródás. A vákuumcsatorna a waschbret végére van csatlakoztatva, ezért van jelentősége a fentebb említett lassításnak. A 2.4.1. ábrán látható a vákuumos öntés sematikus ábrája. [3]



2.4.1. ábra. A vákuumos kilevegőzéssel ellátott vízszintes hidegkamrás nyomásos öntés sematikus ábrája [3]

2.5. A lokális tömörítő túske

A nyomástömör öntvények esetén a porozitást és az anyagihiányt a legkisebb mértékűre kell csökkenteni, ezért különösen fontos az, hogy a gyártástervezés során kiemelt figyelmet fordítsunk azon régiók feltárására, amelyek potenciális anyaghalmozódási helyek. Ezek sok esetben már a 3D modell alapján megállapíthatóak, de a legpontosabban az öntési szimuláció segítségével tudjuk meghatározni az elhelyezkedésüket. Attól függően, hogy a geometria mely részén található, több mód is van a zsugorodási üregek kiküszöbölésére. Egyrészt alkalmazhatunk intenzív hűtést, de lehetőség van a lokális tömörítő túske (squeeze pin) alkalmazására. A tömörítő túske az öntés 3. fázisában (utánnyomás) lokálisan nagy nyomást fejt ki az adott területre, ezzel a részben szilárd fázist tartalmazó fémét összepréselve. A tömörítő túske elhelyezését a szerszámban a 2.5.1. ábra szemlélteti.



2.5.1. ábra. A squeeze túske elhelyezkedése a szerszámban [9]

Az, hogy a túske mikor lép működésbe, meghatározza az adott öntvényrész minőségét. Az optimális késleltetési idő (a 2. fázis kezdetétől számítva) a helyi lehűlési viszonyoktól függ. Ha a túske túl korán lép működésbe, akkor van esély arra, hogy a rávágás még nem dermedt meg, így a fém visszanyomhatja a beömlőrendszerbe, vagy nem elég koncentráltan fejt ki a hatását. Ezzel szemben ha túl későn, akkor a szilárd

fázis arány már olyan nagy, hogy a tűske nem, vagy csak a felületi minőség rovására tud behatolni az öntvénybe, és a lokális tömörítés nem lesz effektív, valamint nem lesz homogén a szerkezet. A legjobb eredményt akkor érjük el, amikor az adott öntvényrészben lévő fém már tartalmaz szilárd fázist, de még folyamatban van a kristályosodás [9][10].

Ez különböző ötvözeteknél eltérő nagyságú hőmérsékletközt, ezáltal eltérő időintervallumot eredményez, hiszen az Al-Si rendszereknél minél közelebb van a Si tartalom az eutektikushoz, annál kisebb a likvidusz és az eutektikus hőmérséklet közötti hőköz. Az Al-Si-Cu ötvözetek esetében a primer alumínium kristályosodása ~ 610 °C-on kezdődik meg, ami után az Al-Si eutektikum ~ 560 °C-on kezd kiválni. Ezt követően ~ 540 °C-on a Mg_2Si és az $Al_8Mg_3FeSi_6$ fázisok kristályosodnak. ~ 525 °C-on kezdődik a rezes fázis kiválása, amely először blokkos alakban jelenik meg, majd ~ 570 °C-on történik meg a $CuAl_2$ eutektikus átalakulása. A tömörítő tűske hatása az eutektikus hőmérsékletközben, azaz az Al-Si eutektikus kiválása után, a dermedés vége előtt (560 °C- ~ 507 °C között) egyrészt jobban érvényesül, mert a lokális nyomás kifejtésére több idő áll rendelkezésre, másrészt ipari körülmények között könnyebb megtalálni a leginkább optimális késleltetési időt. A különböző késleltetési idők eltérő hatásairól több kutatás készült, amelyek szemléltetik a lokálisan tömörített régió változásait. Ezek alapján nem csak a késleltetési idő, hanem a tűske átmérője és behatolási mélysége is befolyásolja az öntvény tömörségét. A tömörítő tűske által kifejtett nyomást az 1. egyenlet segítségével határozhatjuk meg, melyből adódik, hogy adott munkahenger nyomás mellett a nagyobb tűske átmérő nagyobb tömörítő nyomást eredményez. [11]

$$D = d \cdot \sqrt{\frac{p_1}{p_2}}$$

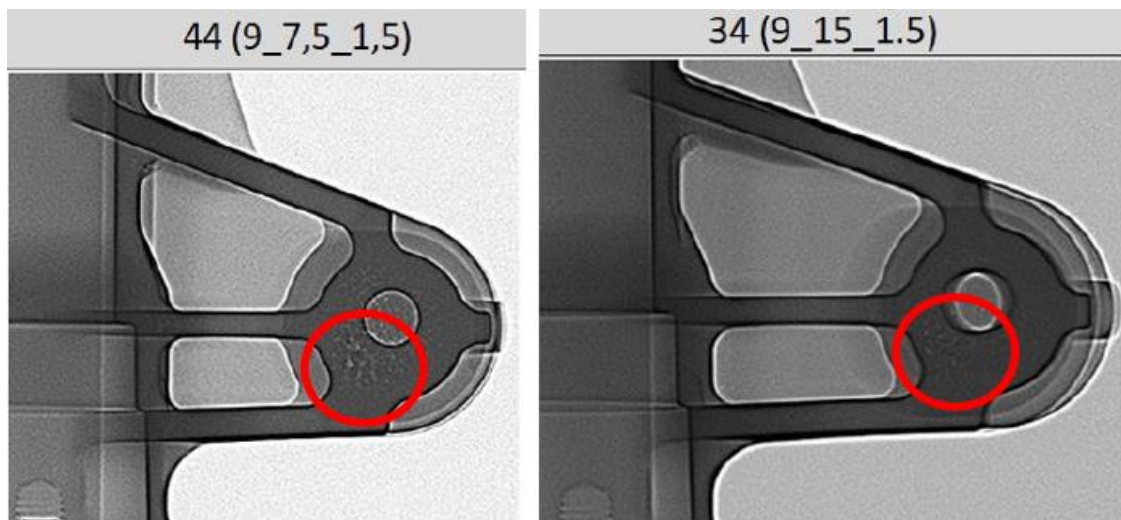
Ahol: D = A munkahenger dugattyú átmérője

d = A tömörítő tűske átmérője

p_1 = A munkahenger nyomása

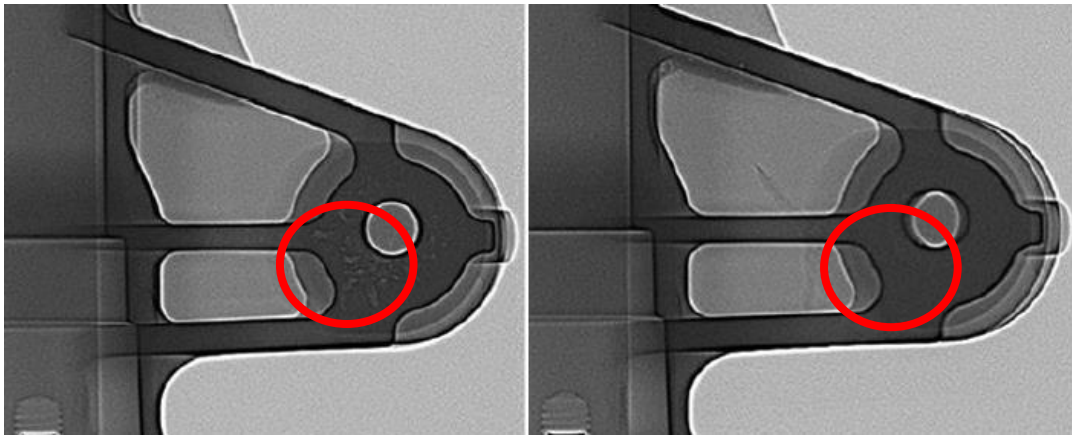
p_2 = A tömörítő tűske nyomás

Különböző átmérőjű tűskék alkalmazása esetén a lokális nyomásviszonyok változása miatt a tömörítés hatékonysága is eltérő lehet. Adott késleltetési idő mellett a nagyobb átmérő és behatolási mélység eredményez jobb minőségű öntvényt. Erre irányuló kísérletek során készült röntgenképek közül kettőt a 2.5.2. ábrán hasonlítok össze. A képeken látható darabok közötti eltérést a tömörítési mélység eredményezte: a bal oldalon látható képen ez 7,5 mm, míg a másik esetben 15 mm volt.



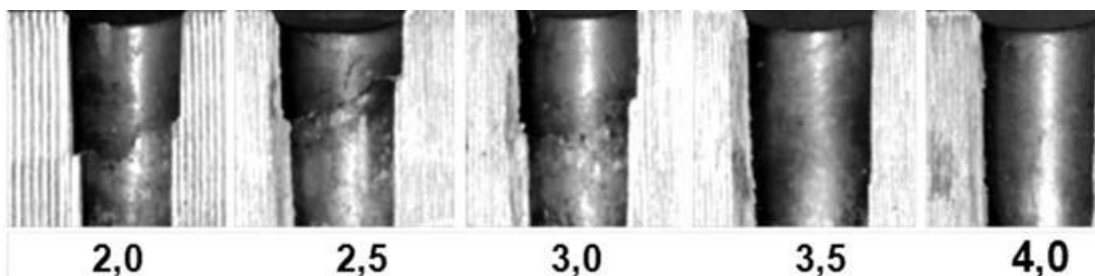
2.5.2. ábra. A tömörítés mélységének hatása az öntvény minőségére [9]

Ugyanezen kísérletsorozat igazolta azt is, hogy a csupán a késleltetési idő változtatása is befolyásolja a végeredményt. A 2.5.3. ábrán adott behatolási mélység mellett 1 másodperc eltéréssel indított tömörítés eredménye látható.



2.5.3. ábra. A késleltetési idő hatása az öntvényre. Bal oldali képen ez 1 s, míg a jobb oldalin 2 s. [9]

A tömörítő túske a szerszámhoz hasonlóan acélból készül, ezért az élettartam szempontjából előnyt jelent, ha alacsony vastartalmú ötvözetet használunk, mert így kisebb a feltapadás veszélye, melyet szintén befolyásol a késleltetési idő. Minél korábban tömörít a túske, annál nagyobb az olvadék fázis arány, így nagyobb az esélye, hogy az alumínium a túske palástján kristályosodik, így amikor a munkahenger visszahúzza azt az eredeti pozíciójába, a túske felszakíthatja a furat belső palástját, ami nagy eséllyel selejt öntvényt eredményez, és nagy valószínűséggel a feltapadt alumínium gátolni fogja tömörítő túske működését. A késleltetési idő és a feltapadás közötti összefüggést a 2.5.4. ábrán látható kísérleti darabok metszeti képe igazolja. Emellett a túske területénél különös figyelmet kell fordítani a megfelelő temperálásra, lefűvásra, mert az anyaghalmozódás miatt ezeken a részeken a szerszám túlmelegedhet, így a lokális dermedési idő a gyártás során tovább növekedhet. [9-12]



2.5.4. ábra. A lokális tömörítő túske késleltetési idejének hatása a feltapadásra [10]

2.6. Alumínium öntészeti ötvözetek

Az alumínium színfémként nem rendelkezik azokkal az elvárt mechanikai tulajdonságokkal, amelyeket az öntvények szilárdsági előírásai tartalmaznak, ezért ötvözőelemekkel javítják a tulajdonságait. Az alumínium nyomásos öntészeti ötvözeteinek alapja az Al-Si kétalkotós rendszer, melyekhez további elemeket adnak az elérni kívánt tulajdonságok függvényében. Az autóiparban többnyire szekunder ötvözeteket alkalmaznak. A szekunder ötvözetet hulladékfémből állítják elő, és energiaszükséglete nagyságrendekkel alacsonyabb, mint a bauxitból való primer alumínium előállításának, így a piaci ára is jóval alacsonyabb.

2.6.1. A fő ötvözők hatása

Az alumínium legfontosabb ötvözőeleme a szilícium. Az ötvözet szilíciumtartalma a legtöbb esetben 7-12%, tehát hipoeutektikus. Elterjedésének oka, a szilárdsági tulajdonságok javítása mellett hogy az eutektikus ponthoz közeli összetétel esetén alacsonyabb olvadáspont és öntési hőmérséklet érhető el, így gazdaságos a gyártás során, emellett jó a formakitöltő képessége is. A szilícium szobahőmérsékleten korlátozottan oldódik az alumíniumban, durva, lemezes eutektikumot képez. [13-14]

A stroncium, a nátrium és az antimon alkalmas az eutektikum módosítására, melyek hatására egy finomabb, szálas szerkezet jön létre és jobb mechanikai tulajdonságokat eredményez. Az iparban a leggyakrabban alkalmazott eutektikum módosító a stroncium, mert ez rendelkezik a legmagasabb lecsengési idővel (a legtöbb ideig fejti ki a hatását), nem jelent egészségügyi kockázatot és kicsi a kiégés veszélye. A stronciummal való módosítást az öntés előtt végzik, jellemzően az olvasztó kemencéből történő csapolás után, esetenként a hőntartó kemencében. A stroncium az Al-Si rendszer eutektikus hőmérsékletét csökkenti, és eltolja a magasabb Si tartalom irányába, ezáltal a primer Al dendritek kristályosodási ideje és az eutektikum képződéséhez szükséges túlhűlés mértéke megnő, gátolva

ezzel a nagyméretű Si poliéderek kiválását. A túlhűlés megváltozása miatt a módosítás hatékonysága termikus analízissel ellenőrizhető. [13-14]

A titán és a bór szemcsefinomító ötvözők, általában előötvözetként adják az olvadékhoz. A finomabb szövetszerkezet jobb mechanikai tulajdonságokat eredményez (szívósság, folyáshatár). A szemcsefinomító hatást a kristálycsírák számának növelése okozza.

A magnézium növeli a szilárdságot, a keménységet, a megmunkálhatóságot és a melegszilárdságot, viszont rontja a kifolyási tulajdonságokat, illetve növeli az oxidációs és habosodási hajlamot. A magnézium napjainkban fontos ötvöző, mert biztosítja az alumínium nyomásos öntvény hőkezelhetőségét.

Néhány esetben a réz is elősegítheti a hőkezelést amellet, hogy javítja a szilárdsági tulajdonságokat, a megmunkálhatóságot, és csökkenti a térfogatos zsugorodás mértékét. Jellemzően kis mennyiségben alkalmazzák, mert a korrózióállóságot rontja, és a magas réztartalmú ötvözetek hajlamosak a melegrepedésre.

Ehhez hasonlóan a vas is olyan elem, amely kis mennyiségben pozitív hatással van az öntési folyamatra (max. 1%), mert csökkenti az alumínium feltapadási hajlamát a formára, de intermetallikus vegyületek formájában csökkenti a szilárdsági tulajdonságokat. [14-15]

2.6. Az olvasztás és olvadékkezelés

Alumínium öntödékben a leggyakoribb olvasztóberendezés a teknős-aknás kemence, amely földgázzal működik. Az olvasztást megelőzően a szilárd betétet a kemencében megelőzi a szennyezők leégetése forró füstgázok által, csak ezután kerül a kemence olvasztó részébe. Az öntödékben jellemzően több ilyen olvasztó áll rendelkezésre, tekintettel a felhasznált ötvözetek számára, ugyanis ezekben az olvasztó kemencékben az ötvözetváltás hosszú időt vesz igénybe és a különböző ötvözetek felhasználása általában párhuzamosan zajlik. [16]

Az olvasztókemencének a hőntartó szerepe is van, de az öntőgépek mellett lévő kifejezetten hőntartási célból alkalmazott kemencéknél

magasabb hőmérsékleten üzemel, ezért itt nagyobb a leégési veszteség és csapolás után nagyobb az oxidációs hajlam és a hidrogénoldó képesség. Az alumínium olvadék állapotban nagy mennyiségű hidrogén ($0,9 \text{ cm}^3/100\text{g}$) felvételére képes akár a levegő páratartalmából levegő páratartalmából, ezért az öntőgéphez való szállítást általában megelőzi egy nitrogénnel vagy argonnal történő gáztalanítás, rotoros gáztalanító berendezéssel. Ilyenkor a hidrogén az inert gázzal együtt a fém felszínére úszik és távozik a fémből, ezáltal csökkenthető az öntvény porozitása. A hidrogén beoldódását meg lehet előzni, vagy mértékét csökkenteni takarósók alkalmazásával, amelyek megolvadva az alumínium felületén egy vékony sőrétetet képeznek, ezzel elválasztva a fémet a levegőtől.[17-18]

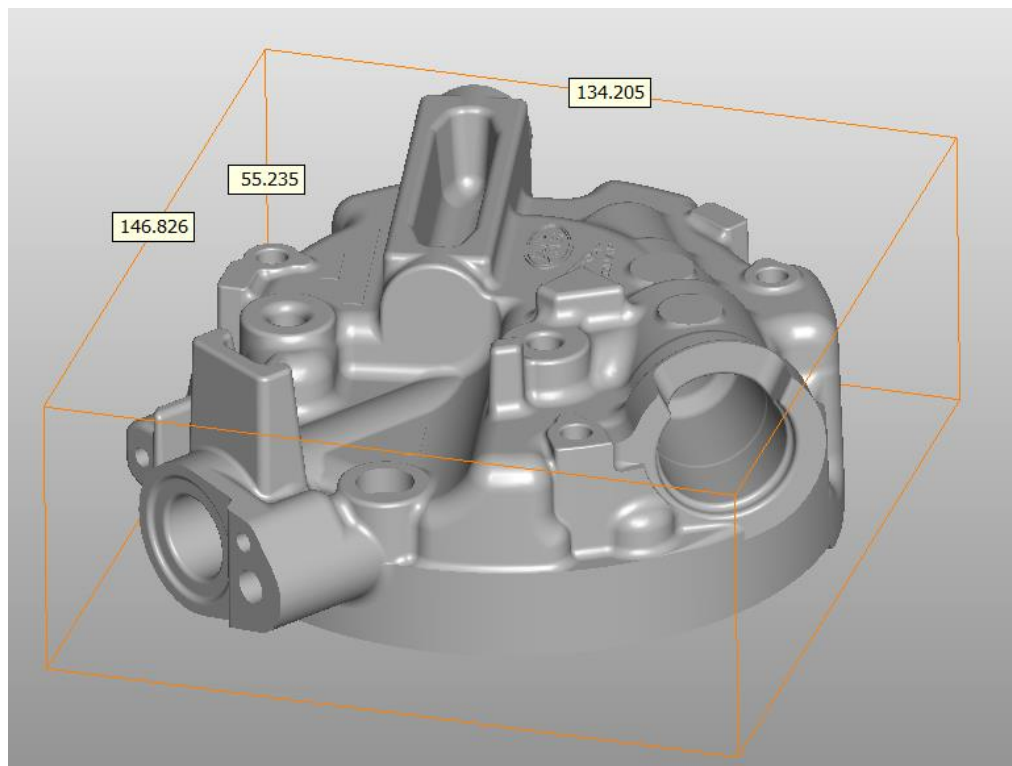
A porozitás mellett mechanikai tulajdonságok szempontjából kedvezőtlenek az olvasztás és fémmozgatás során kialakuló zárványok, oxidok az olvadékban. Ezek a kialakuló szövetszerkezetet feltördelik és feszültséggyűjtő helyként szerepelnek a mátrixban. Ezek eltávolítását kezelősókkal végzik, amelyek az alumíniumban megolvadva megkötik az alumínium-oxid, magnézium-oxid zárványokat és a felszínre úsznak és salak formájában eltávolítható a felszínről. Gyakran rotoros gáztalanítás közben adagolnak kezelősót is, így az oldott hidrogént és az olvadékban lévő zárványokat egyidőben távolítják el.

3. Technológiai áttekintés

Kutatómunkám célja egy klímakompresszor hátsó részének öntéstechnikai tervezése és optimalizálása volt, amelyet a békéscsabai Csaba Metál Zrt. nyomásos öntődjében végeztem.

3.1. A vizsgált öntvény bemutatása

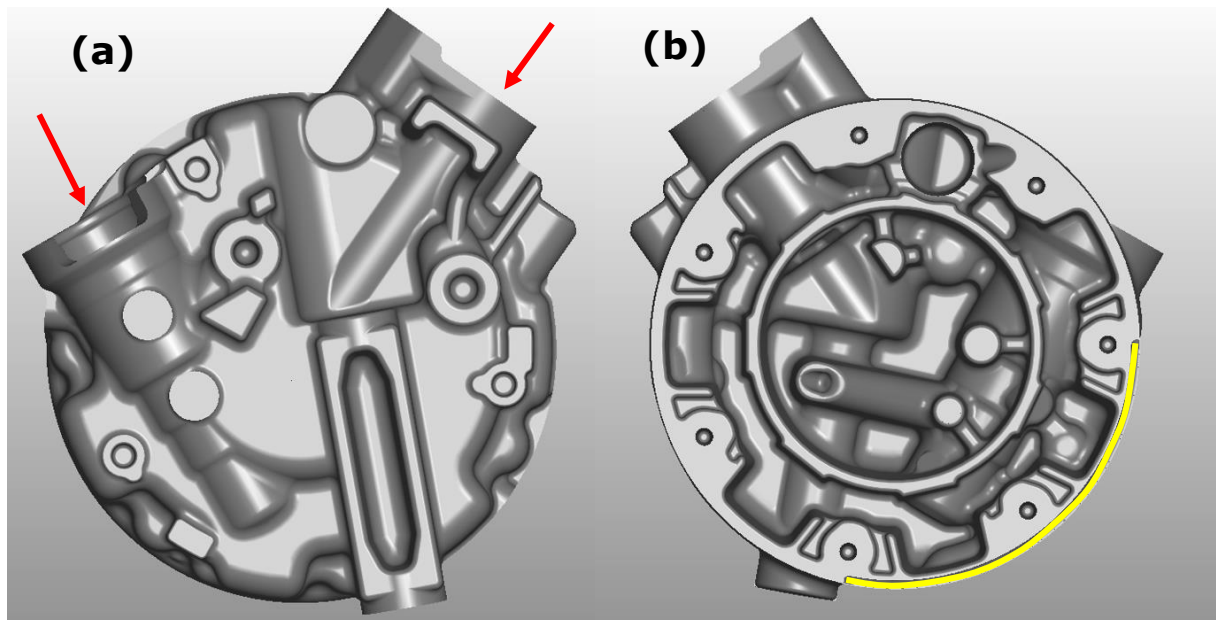
Azért erre az öntvényre esett a választás, mert bonyolult geometriával rendelkezik és gyártástechnológiai szempontból is sok kihívás elé állítja a tervezőt. Az öntvény AlSi12Cu1 ötvözetből készül, tömege ~700 g. A darabra előírt követelmény a nyomástömörség, amelyet héliumos nyomáspróbázó berendezéssel tesztelnek, ezért különösen fontos az, hogy az öntvényben a lehető legkisebb legyen a porozitás mértéke, ne legyen lunker és repedés a darabban, különösen a megmunkált felületek közelében. Az öntött geometria izometrikus képét és befoglaló méreteit a 3.1.1. ábra mutatja.



3.1.1. ábra. A vizsgált öntvény izometrikus nézete a befoglaló méretekkel

A 3D modellen látható, hogy a kisnyomású cső csatlakozóját és a nagyméretű furatot oldalmaggal kell kialakítani, mert előöntés nélkül

ezenek a területeken a falvastagság túl nagy lenne, melyeket nem, vagy nagyon körülményesen lehetne kitáplálni. A darabról készült egy előzetes csokorterv, amelyen az öntési pozíciót és a megvágás helyét adja meg. Az álló és mozgó szerszámfél által kialakított geometriát, valamint a rávágás és a magok pozícióját a 3.1.2. ábrán mutatom be.



3.1.2. ábra. Az álló (a) és mozgó (b) szerszámfél által kialakított geometria, valamint a rávágás (sárga vonal) és a magok pozíciója (piros nyilak)

3.2. Az öntési paraméterek meghatározása

A 2. fejezetben szó esett arról, hogy az öntőgépen beállított értékek közvetlenül befolyásolják azt, hogy milyen lesz az öntvény minősége, ezért az öntési paramétereket meghatározására különös figyelmet kell fordítani és a gyártás megkezdését gondos számításoknak kell megelőzniük. Ebben a fejezetben az öntéstechnikai számításom főbb összefüggéseit mutatom be, melyekhez a kiinduló adatokat és jelöléseiket az 3.2.1. táblázatban foglalom össze.

3.2.1. ábra. Az összefüggésekben szereplő adatok és jelöléseik

Kiindulási adatok			
Megnevezés	Jelölés	Érték	Mértékegység
Öntvény tömeg	m_{δ}	700	g
A csokor tömege	m_{csokor}	2150	g
Jellemző legkisebb falvastagság	S	0,3	cm
Öntvény modul	M	0,16	cm
Túlfolyók tömege egy öntvényen	m_t	100	g
Az öntvények száma a szerszámban	n	2	-
A fémre ható nyomás a dermedés közben	P_3	1100	bar
Az öntőkamra átmérője	A_k	70	mm
Az öntőkamra aktív hossza	$L_{k.\text{aktív}}$	570	mm
A hidraulikus dugattyú átmérője	D_h	145	mm
Waschbret felülete egy öntvényen	A_w	2400	mm ²
A szétfeszítő felület	A_{szf}	58800	mm ²
Olvadék sűrűsége	$\rho_{\text{olv.}}$	2,39	g/cm ³
Szilárd sűrűség	$\rho_{\text{szil.}}$	2,65	g/cm ³
Megvágások összkeresztmetszete	ΣA_{meg}	560	mm ²

Elsőként az öntött térfogatot számoltam ki, ez az öntőkamra töltöttségi foka szempontjából fontos. Ez nagyban befolyásolja az öntvény minőségét, erről az 2.2. fejezetben írtam bővebben. Az olvadék térfogata befolyásolja az alkalmazott kamra méretét, mert úgy kell megválasztani azt, hogy a

töltöttségi fok 40-60% közé essen, így érhető el a legjobb eredmény. A térfogat a csokor tömege és az ötvözet sűrűsége alapján könnyen számolható.

$$V_{olv.} = \frac{m_{csokor}}{\rho_{olv.}} = \frac{2250 \text{ g}}{2,39 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} = 940 \text{ cm}^3$$

Ebből az szükség van külön az öntvények és a túlfolyók térfogatának összegére a későbbiekben, a térfogatáram számításához:

$$V_{\text{ö+t}} = \frac{2 \cdot (700 \text{ g} + 100 \text{ g})}{2,39 \frac{\text{g}}{\text{cm}^3}} \cong 670 \text{ cm}^3$$

Az öntéstechnikai optimalizáláshoz meghatározom a szükséges záróerőt, amelyhez szükség van a fémre ható nyomásra a 3. fázisban. Ez az öntés utolsó fázisa, ekkor a fémre magas nyomással hatunk dermedés közben, ezzel a lehető legkisebbre összepréselve a porozításokat, gázbezáródást. Az öntvényre előírt követelmény a nyomástömörség, ezért célszerű magas nyomást alkalmazni, mely ebben az esetben 1100 bar. Ebből a szétfeszítő erő:

$$F_{szf} = A_{szf} \cdot P_{der} = 1100 \text{ bar} \cdot 588 \text{ cm}^2 \cdot 1,2 \cong 7765 \text{ kN} = 776,5 \text{ tonna}$$

A számítás alapján és az öntödében rendelkezésre álló gépek ismeretében a gyártást egy OMS-800 típusú öntőgépre tervezem, melynek záróereje 800 tonna. Az öntőgép méretbeli korlátait figyelembe véve nem alkalmazható tetszőleges méretű kamra. A kamra minimális hosszát úgy kell megválasztani, hogy a betöltőnyílás kiérjen az álló oldalból és az adagolás problémamentes legyen. Ez alapján a rendelkezésre álló kamrák méreteit és a hozzájuk számolt adatokat a 3.2.2. ábrán mutatom be.

3.2.2. ábra. A rendelkezésre álló kamrák méretei és a számolt adatok

D_k [mm]	L_k [mm]	F_g [%]	v_{1d} [m/s]
70	585	43	0,25
70	610	41	0,26
80	585	32	0,33
80	610	31	0,32
90	640	23	0,40

Töltöttség és 1. fázis sebesség szempontjából is a 70 mm átmérőjű kamra optimális, a táblázatban lévő adatok számolásának menetét az alábbiakban 70 mm átmérőjű, 585 mm hosszúságú kamrával számolva mutatom be.

A kamra hosszának és átmérőjének ismeretében számítható annak térfogata:

$$V_{kamra} = A_k \cdot L_{k.aktív} = 3,5 \text{ cm}^2 \cdot \pi \cdot 57 = 2194 \text{ cm}^3$$

Ebből számítható a töltöttségi fok:

$$F_g = \frac{940 \text{ cm}^3}{2194 \text{ cm}^3} \cdot 100 \cong 43\%$$

A töltöttségi fokból meghatározható a fém magassága az öntőkamrában, amely szükséges az 1. fázis dugattyú sebességének számításához.

$$h_0 = \frac{D_k}{2} - x$$

ahol x : az 50%-ra kiegészítő magasság

$$x = \frac{D_k \cdot \pi}{8} \cdot (1 - 2 \cdot F_g) = \frac{70 \cdot \pi}{8} \cdot (1 - 2 \cdot 0,43) \cong 3,85 \text{ mm}$$

A kiegészítő magasság értékét a öntőkamrában lévő fém magasság összefüggésébe:

$$h_0 = \frac{70}{2} - 3,85 = 31,15 \text{ mm}$$

Ezzel minden érték adott az 1. fázis dugattyú sebességének meghatározásához. A sebesség változásával a kamrában változik a fém áramlása, ezáltal a kialakuló hullámok száma is. Ahhoz, hogy csökkentsük

a gázbezáródás lehetőségét a kamratöltési fázisban, arra kell törekedni, hogy páratlan számú hullám alakuljon ki. Az áramlási viszonyokat figyelembe véve 5 hullámcsapással számoltam, mert így a dugattyú sebessége alacsonyabb. Ezzel az öntőkamra élettartama növelhető, mert kisebb eróziós hatásnak tesszük ki, mindemellett az alumínium olvadék esetén 0,3 m/s sebesség fölött felületi habképződés alakul ki, ezért érdemes ezen határ alatt tartani a fémsebességet az öntőkamrában, ami további gázbezáródást okoz, ezt is figyelembe vettem a 3.2.2. táblázatban bemutatott kamrák közötti választás során.

$$v_{1d} = \sqrt{\frac{2 \cdot g \cdot (D_k - h_0) \cdot \frac{(1 - F_g)}{(1 + F_g)}}{5}} =$$

$$= \sqrt{\frac{2 \cdot 9,81 \frac{m}{s} \cdot (0,07 m - 0,0315 m) \cdot \frac{(1 - 0,43)}{(1 + 0,43)}}{5}} \cong 0,25 \frac{m}{s}$$

A fémsebesség ebben az esetben kisebb, mint a habképződéshez tartozó érték, így megfelelőnek tekinthető. Az 1. fázis sebességét követően az öntés folyamatán tovább haladva kiszámolom a 2. fázis dugattyú sebességét is. Az öntvénnel szemben támasztott követelményt itt is figyelembe kell venni, nyomástömör öntvények esetén a megvágásban az optimális fémsebesség 40-50 m/s, én az alsó határértéket választottam, tekintettel a szerszám élettartamára.

$$v_{2d} = \frac{\sum A_{meg} \cdot v_{meg}}{A_{dug}} = \frac{5,6 cm^2 \cdot 4000 \frac{cm}{s}}{3,5^2 cm \cdot \pi} = 5,82 \frac{m}{s}$$

Ebből a térfogatáram:

$$Q_{fém} = A_{dug} \cdot v_{2d} = 3,5^2 cm \cdot \pi \cdot 5,82 \frac{cm}{s} = 22397 \frac{cm^3}{s}$$

A térfogatáramból számítható az optimális öntési idő:

$$t_{\text{önt}} = \frac{v_{\text{önt}}}{Q} = \frac{670 \text{ cm}^3}{22397 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}}} \cong 0,03 \text{ s} = 30 \text{ ms}$$

Az öntőgép fizikai korlátait figyelembe véve a gyártás során a 2. fázisban a dugattyú sebességét drasztikusan csökkenteni kellett, mert a számolt sebesség nagy mértékű kopást eredményez a kamrában.

A 2. fázis fontos paramétere a kapcsolópont. A dugattyú ekkor vált az 1. fázis sebességéről a 2. fázis sebességére. A kapcsolópontot úgy kell meghatározni, hogy a kapcsolás pillanatában a fémfront a megvágás közelében legyen. Ez a fentebb is említett eróziós hatások és áramlási viszonyok szempontjából fontos. Az erre alkalmazott általános összefüggés 100%-os kamratöltöttségre vonatkozik:

$$L_1 = \frac{V_k \cdot (1 - F_g)}{A_k} = \frac{2194 \text{ cm}^3 \cdot (1 - 0,43)}{38,48 \text{ cm}^2} \cong 32,5 \text{ cm} = 325 \text{ mm}$$

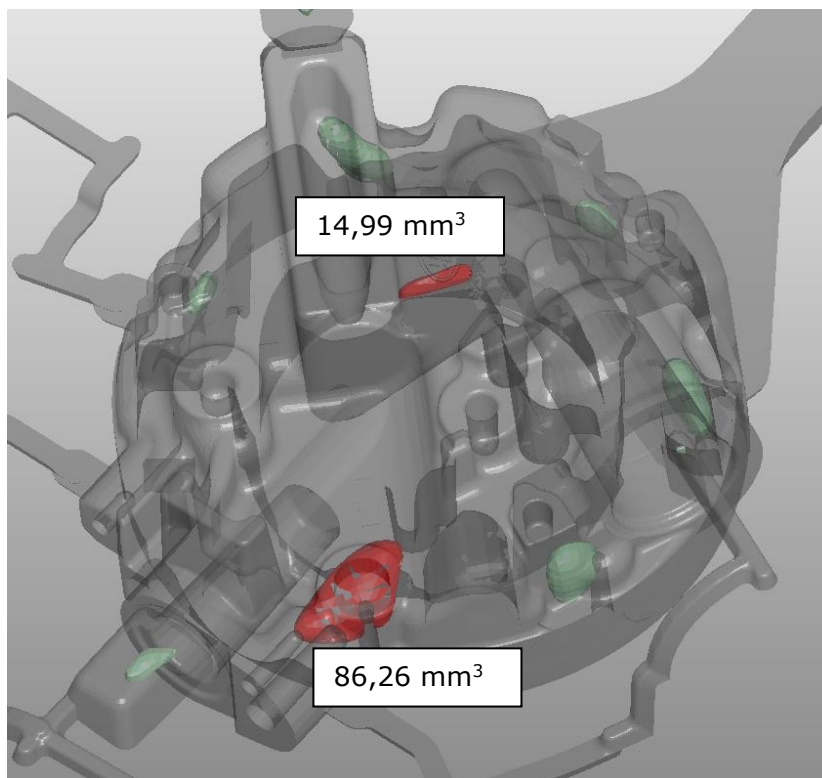
A formatöltés közben megtett dugattyúút akkor optimális, ha legalább a dugattyú átmérőjénél 50%-kal nagyobb. Ebben az esetben a 70 mm átmérőjű kamránál az út minimum 105 mm hosszú kell legyen. Ez azért lényeges, mert így van elég ideje felgyorsulni a dugattyúnak. Ezt a következő összefüggés szerint számolom:

$$L_2 = \frac{V_{\text{önt}}}{A_k} - L_{\text{pogácsa}} = \frac{670 \text{ cm}^3}{38,48 \text{ cm}^2} - 3 \text{ cm} \cong 144 \text{ mm}$$

3.3. A szimuláció eredménye

Az öntvénycsokor elkészülte után a szerszámterv készítését érdemes öntészeti szimulációval megelőzni. Ez megmutatja azokat a régiókat a darabban, ahol a legnagyobb valószínűséggel keletkezik porozitás, lunker, zsugorodási üreg. Emellett meghatározhatóak azok a pontok, ahol az öntőszerszám túlmelegedhet, ezért intenzív hűtést igényel, így az öntvény temperálási tervének elkészítésében is segítséget nyújt. A szimulációt a számított paraméterekkel, a NovaFlow&Solid szimulációs szoftverben

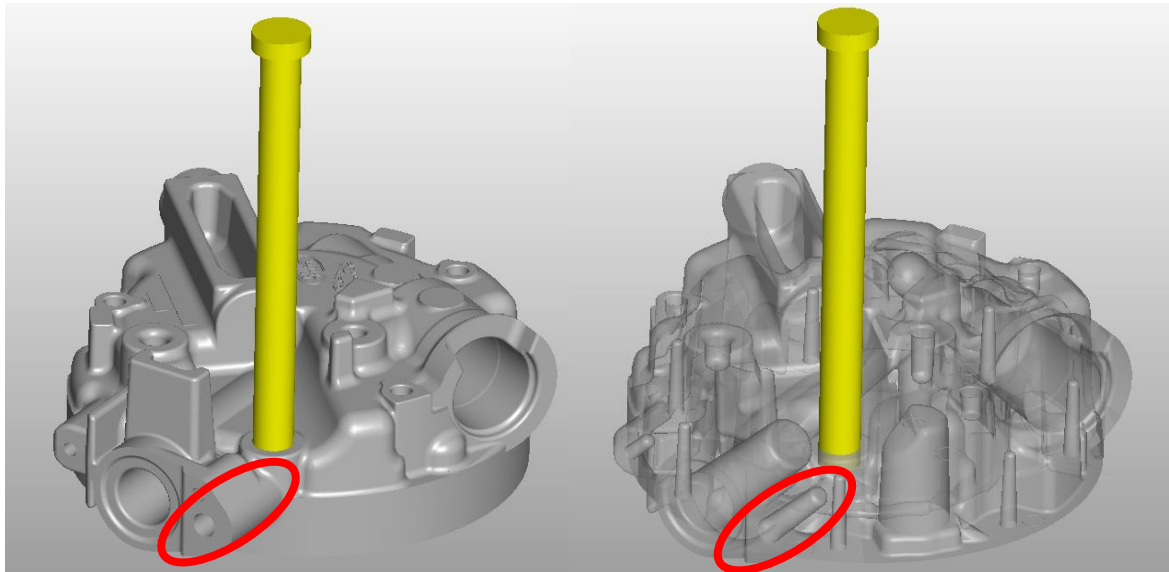
Az ábrán látható, hogy a csatlakozó melletti zsugorodási üreg az itt elhelyezkedő két furattal szinte közvetlenül érintkezik. Ha ez az öntvényben is megjelenik, akkor ez egy potenciális szivárgási hely lesz a lecsökkent falvastagság miatt. Az említett okok miatt az itt fellépő zsugorodást a lehető leghatékonyabban kell csökkenteni, ezért ezen a ponton lokális tömörítésre van szükség a 2.5. fejezetben ismertetett squeeze tuskével, valamint a csatlakozót kialakító oldalmagba jet-cool rendszer kerül beépítésre. A tömörítő tüske az álló szerszámfélbe kerül, pozícióját a 3.3.2. ábra szemlélteti.



3.3.2. ábra. A kritikus zsugorodási üregek méretének változása a módosítás után

Az ábrán látható, hogy a csatlakozó melletti zsugorodási üreg az itt elhelyezkedő két furattal szinte közvetlenül érintkezik. Ha ez az öntvényben is megjelenik, akkor ez egy potenciális szivárgási hely lesz a lecsökkent falvastagság miatt. Az említett okok miatt az itt fellépő zsugorodást a lehető leghatékonyabban kell csökkenteni, ezért ezen a ponton lokális tömörítésre van szükség a 2.6. fejezetben ismertetett squeeze tuskével, valamint a csatlakozót kialakító oldalmagba jet-cool rendszer kerül beépítésre. A másik

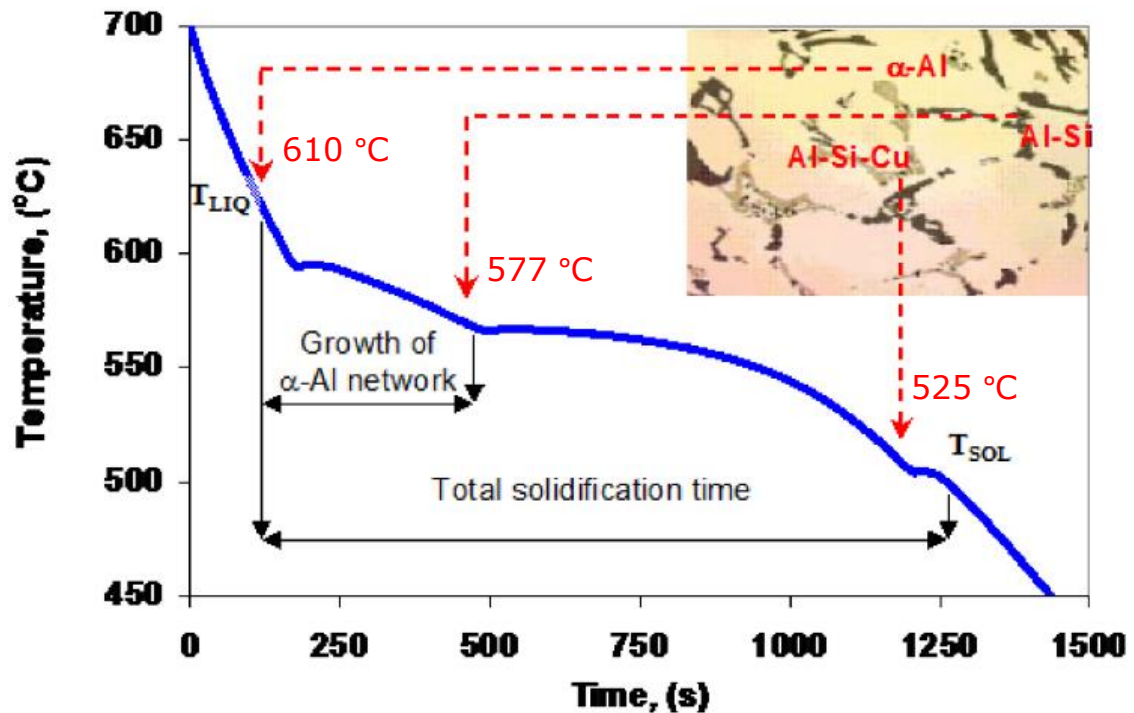
pirossal jelzett zsugor az öntvényen lévő nagyobb borda felső részében alakul ki, ami a másik oldalmag által kialakított furat végéhez közel helyezkedik el, így célszerű ezt az oldalmagot is egy jet-cool rendszerrel ellátni. A tömörítő túske az álló szerszámfélbe kerül, pozícióját a 3.3.3. ábra szemlélteti. Az ábrán a pirossal jelölt furat látható a későbbiekben bemutatott metszeti képeken is, ennek a síkjában fűrészeltem el a darabokat a tömörítés irányára merőlegesen.



3.3.3. ábra. A lokális tömörítő túske pozíciója

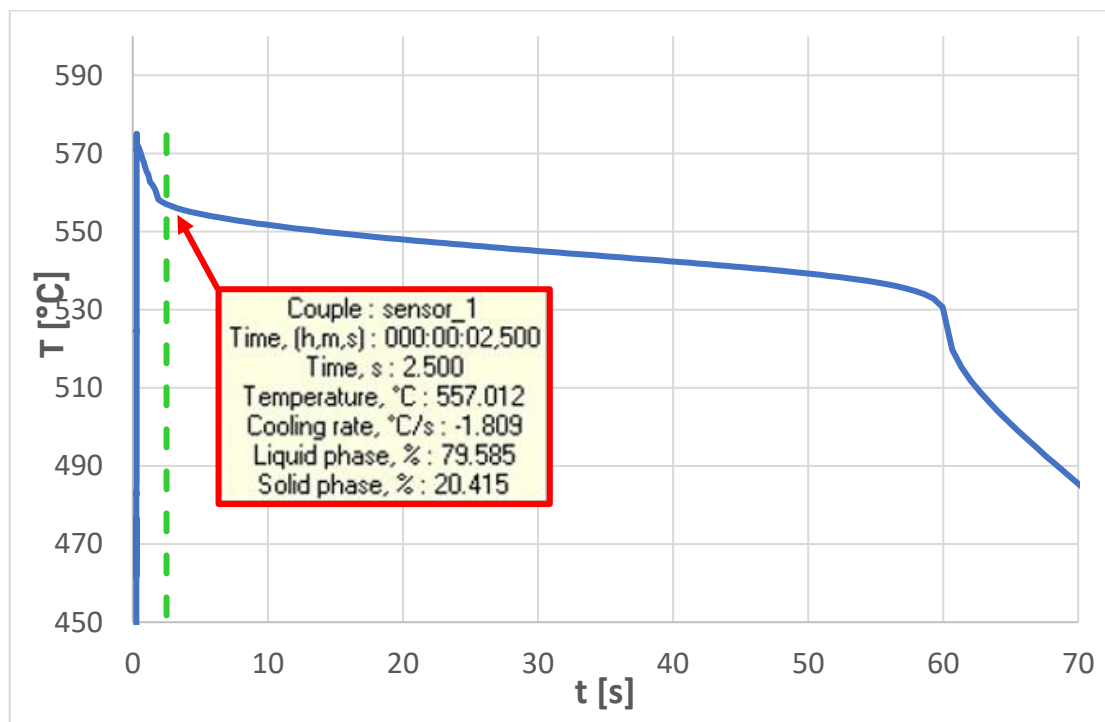
A túske által kialakított furat az eredeti modellen nem szerepel, ez látható a 3.1.2. ábrán is, így ezzel a módosítással a falvastagság is csökken ezen a ponton, így az anyaghalmozódás mértéke is kisebb, de még mindig jelentős.

Ahogy a 2.5. fejezetben ismertettem, a tömörítő túske késleltetési ideje meghatározó paraméter a tömörítés sikerességének szempontjából. Ennek a megfelelő időpillanatát is meghatároztam a szoftver segítségével. Az alkalmazott ötvözet lehűlési görbéje látható a 3.3.4. ábrán, amiről leolvasható, hogy a dermedés során ~ 560 °C-on éri el az ötvözet az eutektikus hőmérsékletet, amely után az Al-Cu fázis még folyékony állapotban van, így ez az a hőmérsékleti tartomány, ahol a tömörítést effektíven el lehet végezni.



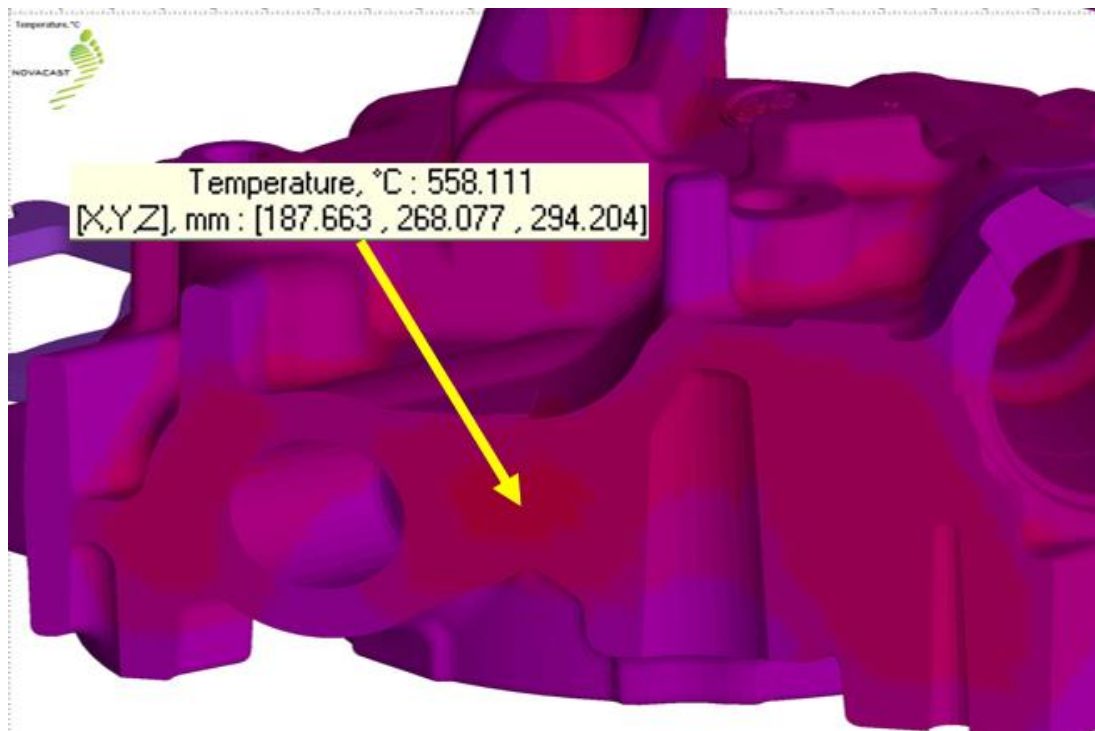
1.3.4. ábra. Az Al-Si-Cu ötvözet lehűlési görbéje [19]

A szimulációs szoftverben a vizsgált területre virtuális hőelemet helyeztem, ami alapján elkészült ezen pont lehűlési görbéje, amelyről leolvasható, hogy melyik időpillanatban éri el a lokális hőmérséklet az eutektikus hőmérsékletet.



3.3.5. ábra. A szimulációs szoftver által felvett lehűlési görbe

Ez alapján a tömörítő tűske megfelelő késleltetési ideje 2,5 s.



3.3.6. ábra. A vizsgált terület hőmérséklete 2,5 s-nél

3.4. A tömörítő tüske méretezése

A tömörítő tuskét működtető munkahenger 140 bar nyomással működik, ezért ahhoz, hogy a tömörítő nyomás megközelítse a 3000 bart, a munkahenger és a tömörítő tüske felületarányának ~20:1-nek kell lennie. A tömörítő tüske átmérője korlátozott, ez a 3D modell alapján $d=11$ mm lett. Ebből a szükséges munkahenger átmérő $D = 140$ mm. A tömörítő tüske nyomása a 2.6. fejezetben ismertetett összefüggés alapján:

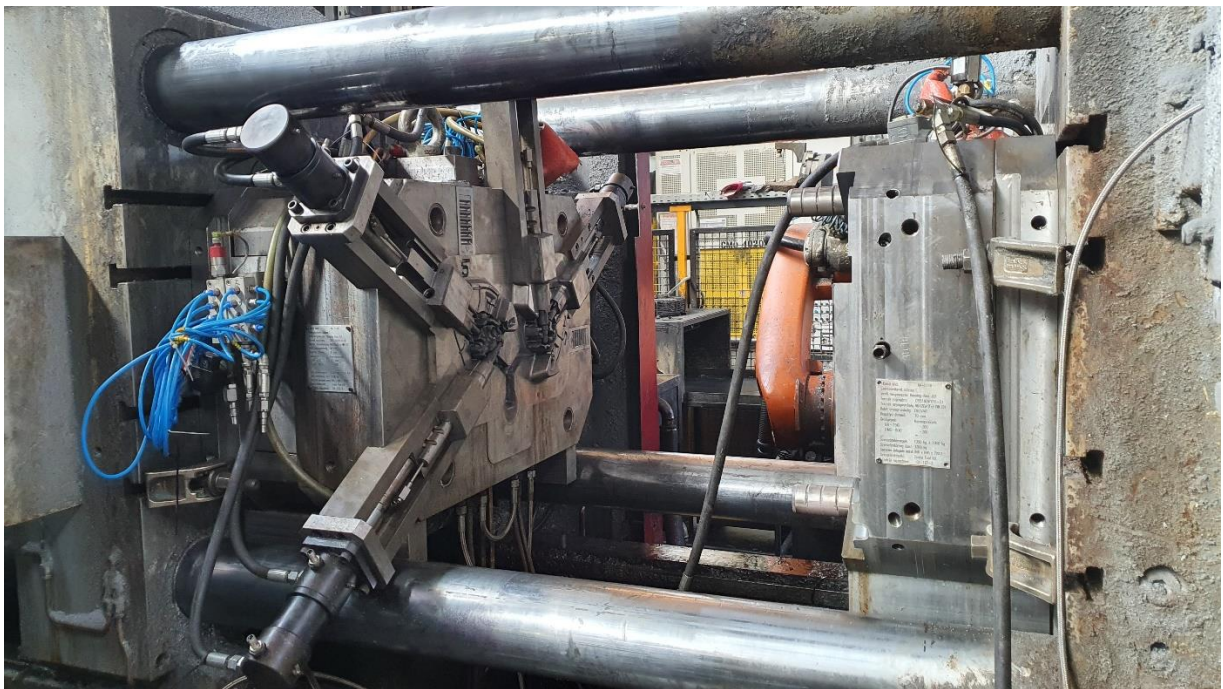
$$50 \text{ mm} = 11 \text{ mm} \cdot \sqrt{\frac{140 \text{ bar}}{p_2}}$$

Az egyenlet átrendezése után p_2 kifejezhető, értéke $p_2=2893$ bar. A nyomásérték a számítás alapján megfelelő.

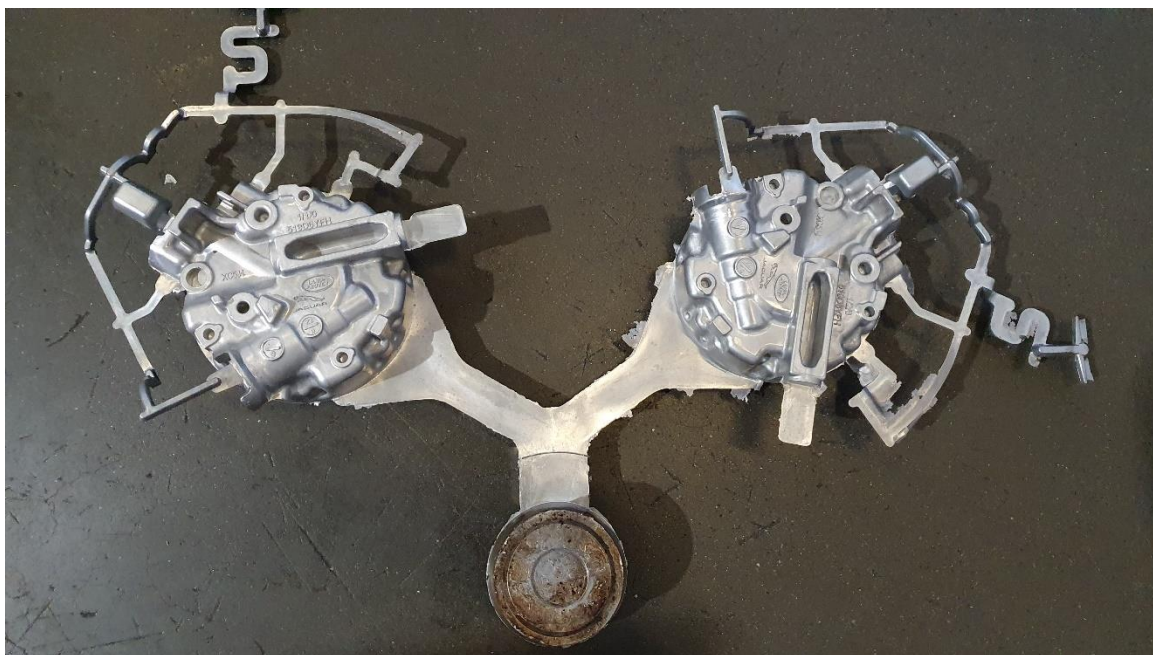
4. Egyéni mérések

4.1. A kísérleti program

A kísérleteket az első és második fázis dugattyú sebességének változtatásával kezdtem a kiválasztott OMS 800 típusú öntőgépen és röntgen felvétel alapján ellenőriztem a darab minőségét. Az öntőgépre szerelt szerszám a 4.1.1. ábrán, az öntött csokor a 4.1.2. ábrán látható. Az öntvényre előírt követelmény a nyomástömörség, ezért a 3. fázis nyomását nem változtattam, ez a korábban meghatározott 1100 bar volt. A kísérleti paramétereket a 4.1.1. táblázatban foglalom össze. A 2. fázis dugattyú sebességét az öntőgép fizikai korlátjaiból adódóan nem tudtam ennél 4,1 m/s értéknél magasabbra állítani, ezért választottam az alábbi paramétereket.



2.1.1. ábra. Az öntőgépre szerelt szerszám mozgó oldala



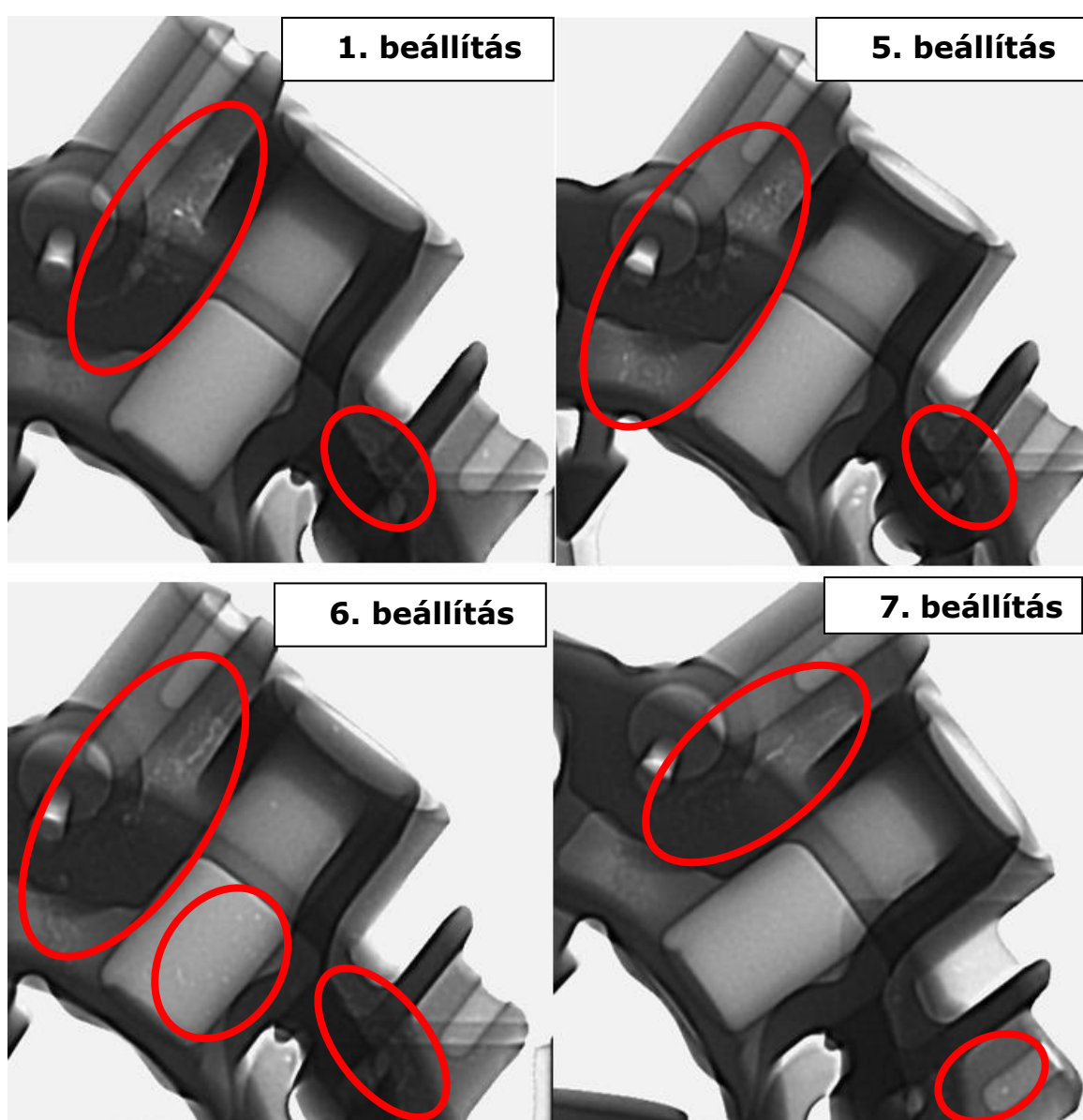
4.1.2. ábra. Az elkészült öntvénycsokor

4.1.1. táblázat. A kísérleti beállítások

	1. fázis sebessége [m/s]	2. fázis sebessége [m/s]
1. beállítás	0,25	4,1
2. beállítás	0,25	3,6
3. beállítás	0,25	3,1
4. beállítás	0,18	4,1
5. beállítás	0,18	3,6
6. beállítás	0,18	3,1
7. beállítás	0,10	4,1
8. beállítás	0,10	3,6
9. beállítás	0,10	3,1

A kísérleti darabok felületén a próbagyártás során fellépő problémákat (hidegfolyás, anyaghiány) nem tapasztaltam, vizuális ellenőrzés alapján felületük megfelelő volt. A különbséget ezután röntgen képek alapján

állapítottam meg: minden darabról meghatározott pozíciókban készítettem felvételt, ez program alapján futott, ami a vizsgálatot reprodukálhatóvá tette. A kritikus terület a tömörítő túske melletti furat környéke. ahogy azt a szimuláció is előjelezte. A dugattyú sebességek változtatása során a lokális tömörítés késleltetési ideje minden beállításnál 0,3 s volt. A kritikus zónáról készült röntgen felvételek a 4.1.3. ábrán láthatóak. Néhány esetben nem, vagy nagyon minimális különbség volt, ezért a jobb szemléltetés érdekében csak a jól érzékelhető eltérést mutató képeket mutatom be.



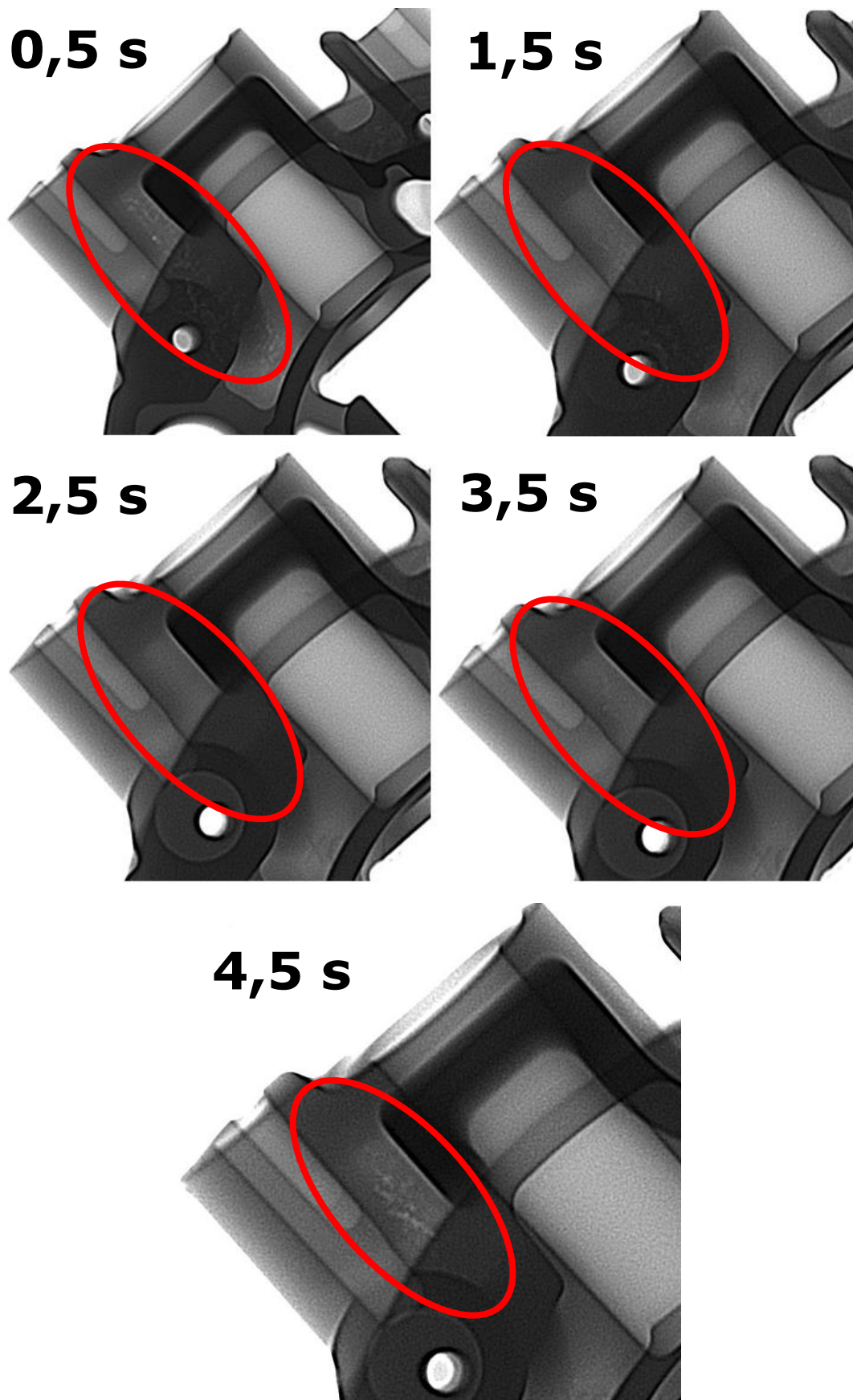
4.1.3. ábra. A kísérleti beállítások hatása a kritikus zónában a porozitás mértékére

4.2. A lokális tömörítő tűske hatásának vizsgálata

A röntgen felvételek alapján a legjobb beállítás a dugattyú sebességeire vonatkozóan a 7. beállítás volt, ezért a továbbiakban ezek maradtak az állandó értékek, így folytattam a kísérleteket. Az, hogy az alacsonyabb dugattyú sebesség mutatott jobb eredményt annak tulajdonítható, hogy a vákuum kapcsolási pontja nem a betöltő nyílás zárásához volt igazítva, hanem az öntőkamra közepéhez, így az effektív vákuum eléréséhez lassabb dugattyú sebességre volt szükség, mert csak így tudott felépülni a szükséges nyomás a megvágás elérése előtt. Látható, hogy ezzel is nagy az anyagihiány mértéke, és a porozitás nem tűnt el, csak mérséklődött a különböző beállítások esetén, ezért további optimalizálásra volt szükség. A 4.1.1. ábrán a nagyobb porozitás a szimuláció által is jelzett terület, ahova a lokális tömörítő tűske került. A tömörítés késleltetésének jelentőségét a 2.6. fejezetben mutattam be. A szerszámban nem volt elhelyezve hőelem, így pontos információ nem volt arról, hogy mi a legoptimálisabb késleltetési idő, ezért kísérleteket végeztem a kiinduló 0,5 s értéktől egészen 4,5 s késleltetésig (a 2. fázis kezdetétől számítva), ezt a 4.2.1. táblázatban foglalom össze. A kísérleti program során minden beállítással 5 csokor, tehát 10 öntvény készült. Szignifikáns különbség 0,5 s léptékben nem volt, ezért az eredményeket 1 s késleltetési idő növelések esetén mutatom be a 4.2.1. ábrán, feltüntetve az adott darab esetében a késleltetési időt.

4.2.1. táblázat. A lokális tömörítő tűske késleltetési idejének változtatásával végzett kísérletek paraméterei

	1. fázis sebessége [m/s]	2. fázis sebessége [m/s]	A lokális tömörítő tűske késleltetési ideje [s]
1. beállítás	0,10	4,1	0,5
2. beállítás	0,10	4,1	1
3. beállítás	0,10	4,1	1,5
4. beállítás	0,10	4,1	2
5. beállítás	0,10	4,1	2,5
6. beállítás	0,10	4,1	3
7. beállítás	0,10	4,1	3,5
8. beállítás	0,10	4,1	4
9. beállítás	0,10	4,1	4,5



4.2.1. ábra. A tömörítő tűske késleltetési idejének hatása a kritikus zóna tömörségére

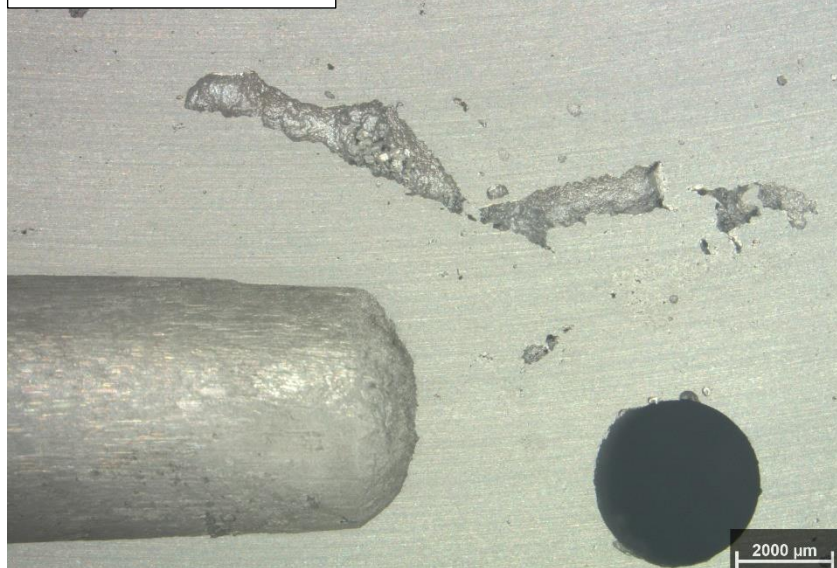
Látható, hogy 0,5 s késleltetés esetében a legnagyobb az üreg, és a porozitás mértéke, ekkor a fém még majdnem a teljes formaüregben olvadék állapotban van, ezért a tömörítő tűske csupán a folyékony fém áramlását befolyásolja. A fém ebben a geometriában kezd kristályosodni és ebben az állapotban fejeződik be a dermedés, azzal ellentétben, hogy a dermedés közben kell a tűskének behatolnia, mert ekkor lesz effektív tömörítő hatása. A falvastagság ezzel az 5 mm behatolással is nagy ezen a területen, így a zsugorodási üreg kialakul. A második képen (1,5 s) már jelentős javulás látható, ekkor a tűske már kifejtette a tömörítő hatást, de még mindig nagy volt az olvadék fázis arány, ezért a zsugorodás ebben az esetben is fellépett a tűske behatolása után.

A harmadik képen (2,5 s) a zsugorodási üreg és a porozitás a röntgen felvételen nem érzékelhető, a darab minősége porozitás szempontjából kiváló. Ebben az esetben a késleltetés a formatöltés végén indult, amikor a szilárd fázis arány már nagyobb az olvadék fázisnál, ekkor a zsugorodási üreg kialakulása közben történik a tűske behatolása, és a tömörítési idő alatt az adott zóna teljes keresztmetszetében megszilárdul, így nem alakulhat ki újabb üreg.

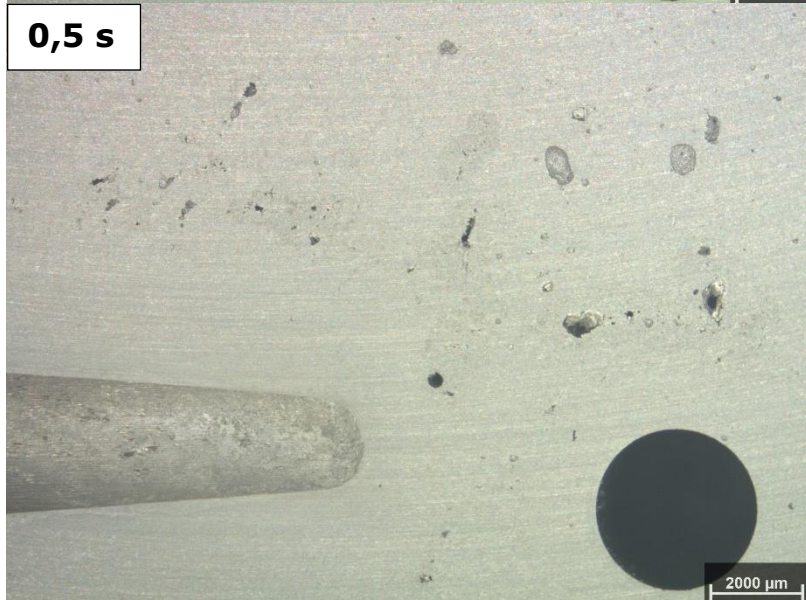
A negyedik (3,5 s) és ötödik (4,5 s) képeken újra megjelenik az anyaghány, mert ekkor a szilárd fázis arány már túl nagy, és akadályozzák a tömörítő tűske behatolását. A tömörítő hatás ugyan érzékelhető, hiszen a 0,5 s késleltetés esetében ezeknél szemmel láthatóan rosszabb volt a darab minősége, de a tömörítés hatékonysága alacsonyabb. Ilyenkor előfordulhat, hogy az öntvénykéreg már teljesen szilárd és a tűske átszakítja azt, ezzel felületi hibát okozva.

A kísérleti darabokról metszetet és mikroszkópos felvételeket készítettem annak érdekében, hogy a tűske környékén lejátszódó folyamatokról pontosabb információt kapjak. A szövetszerkezet alapján következtettem, hogy az egyes késleltetési idők esetében a kristályosodás mely szakaszában hatolt be a tűske az öntvénybe.

Nincs tömörítés

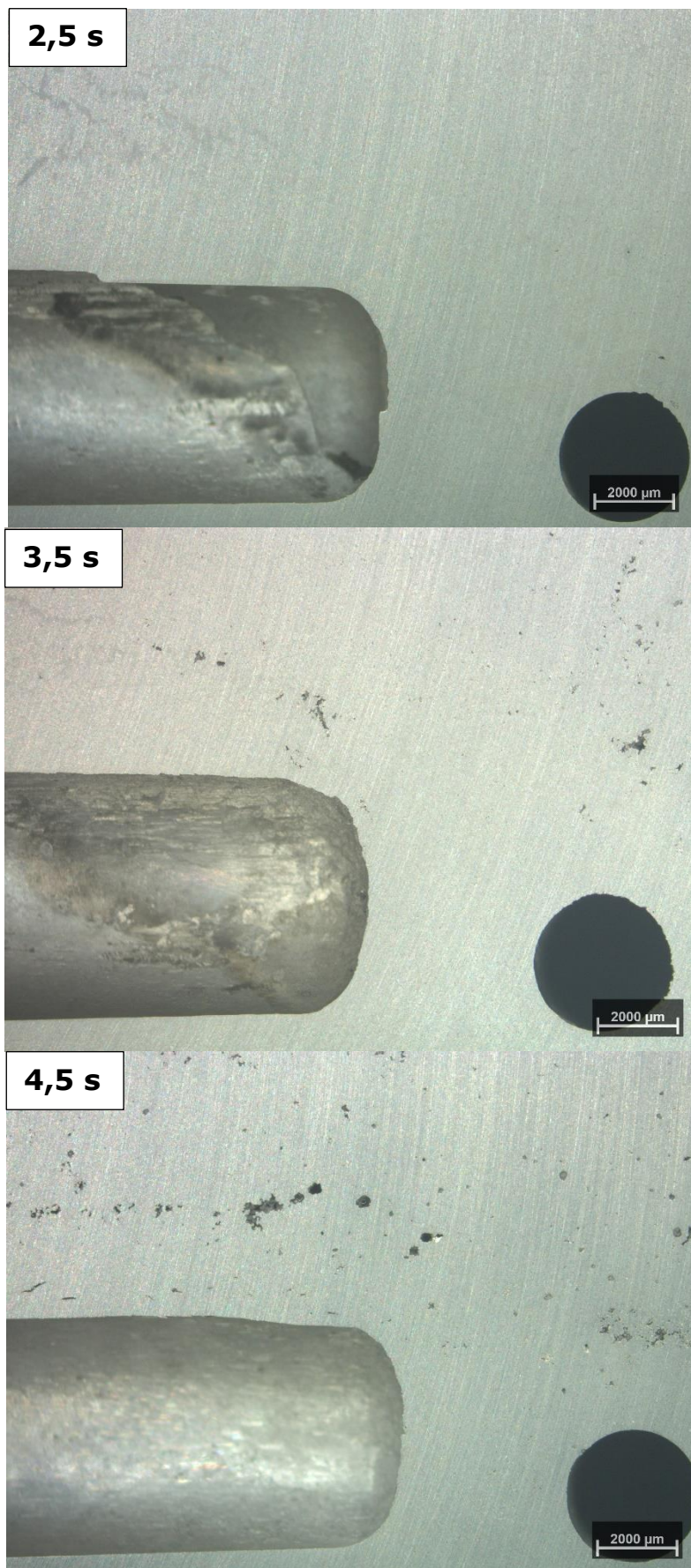


0,5 s



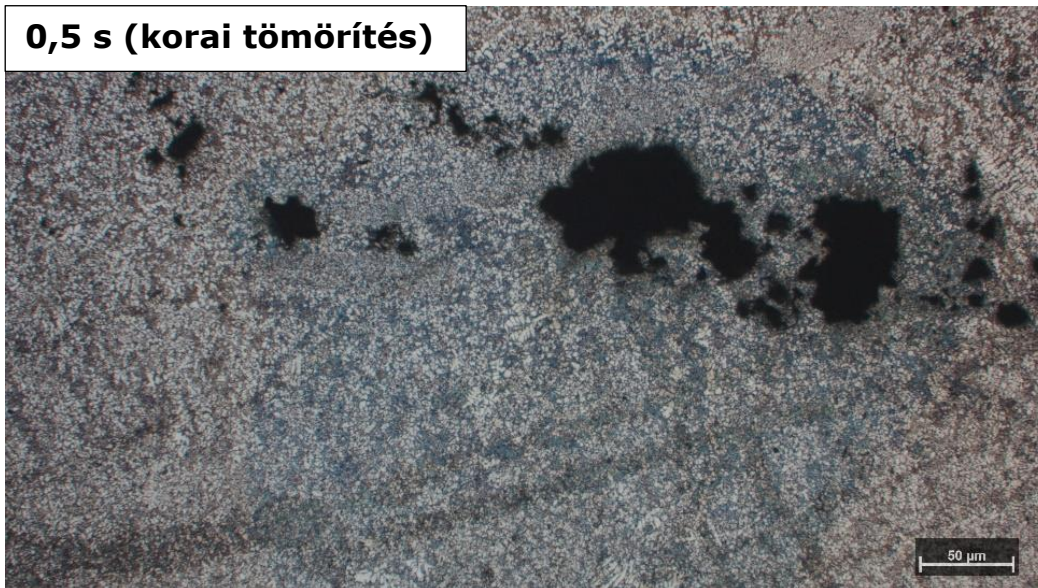
2,0 s



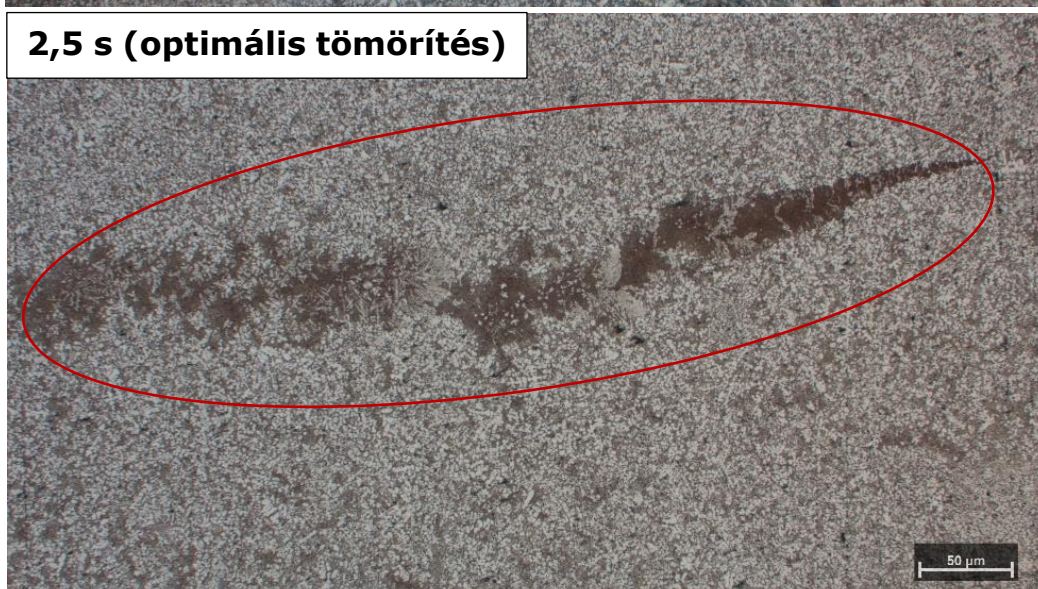


4.2.2. ábra. A metszetekről készült mikroszkópos felvételek

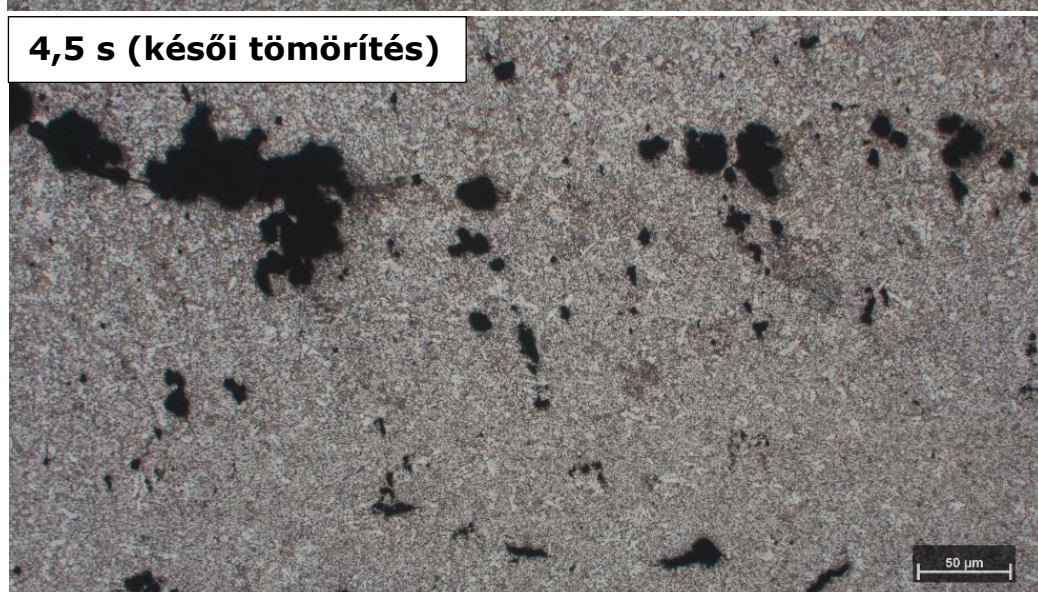
0,5 s (korai tömörítés)



2,5 s (optimális tömörítés)



4,5 s (késői tömörítés)



4.2.3. ábra. A metszetekről készült fénymikroszkópos felvételek

A 4.2.2. ábrán látható, hogy az adott öntvényrészben milyen mértékű az anyagihiány, ha nem alkalmazunk tömörítő tűskét, ez a kiinduló állapot, ezt kívánjuk megszüntetni. A tömörítő tűske alkalmazásával 0,5 késleltetés esetében a legnagyobb az üreg, és a porozitás mértéke, ekkor a fém még majdnem a teljes formaüregben olvadék állapotban van, ezért a tömörítő tűske csupán a folyékony fém áramlását befolyásolja. A fém ebben a geometriában kezd kristályosodni és ebben az állapotban fejeződik be a dermedés, azzal ellentétben, hogy a dermedés közben kell a tűskének behatolnia, mert ekkor lesz effektív tömörítő hatása. A falvastagság ezzel az 5 mm behatolással is nagy ezen a területen, így a zsugorodási üreg kialakul. A második képen (1,5 s) már jelentős javulás látható, ekkor a tűske már kifejtette a tömörítő hatást, de még mindig nagy volt az olvadék fázis arány, ezért a zsugorodás ebben az esetben is fellépett a tűske behatolása után.

A harmadik képen (2,5 s) a zsugorodási üreg és a porozitás a röntgen felvételen nem érzékelhető, a darab minősége porozitás szempontjából kiváló. Ebben az esetben a késleltetés a formatöltés végén indult, amikor a szilárd fázis arány már nagyobb az olvadék fázisnál, ekkor a zsugorodási üreg kialakulása közben történik a tűske behatolása, és a tömörítési idő alatt az adott zóna teljes keresztmetszetében megszilárdul, így nem alakulhat ki újabb üreg. Erre utal a fénymikroszkópos felvételen pirossal karikázott rezes eutektikum, amely utoljára kristályosodik a dermedés során, így a már kialakult alumínium dendritágak között a tömörítő tűske még olvadék fázisban átpréseli a rezes eutektikumot, ezért jelenik meg ezen a területen nagyobb arányban. Ez az eredmény igazolja a 3.3. fejezetben bemutatott szimulációs előrejelzést.

A negyedik (3,5 s) és ötödik (4,5 s) képeken újra megjelenik az anyagihiány, mert ekkor a szilárd fázis arány már túl nagy, és akadályozzák a tömörítő tűske behatolását. A tömörítő hatás ugyan érzékelhető, hiszen a 0,5 s késleltetés esetében ezeknél szemmel láthatóan rosszabb volt a darab minősége, de a tömörítés hatékonysága alacsonyabb. Ilyenkor előfordulhat,

hogy az öntvénykéreg már teljesen szilárd és a tűske átszakítja azt, ezzel felületi hibát okozva.

Összefoglalás

Kutatómunkám egy komplex, vékonyfalú öntvény gyártásának optimalizálására épült, amely kiterjedt az öntvénycsokor módosítására és az öntőgépen beállítandó paraméterek számítására is. Bemutattam a különböző öntvénycsokrokról készült szimulációk eredményét és a kalkulált hibahelyek megjelenését valós körülmények között.

Kísérleteket végeztem az öntőgép paramétereinek, majd a lokális tömörítő tűske késleltetési idejének változtatásával a legjobb minőség elérése és a késleltetési idő hatásának vizsgálata érdekében.

Anyagszerkezeti vizsgálatokat végeztem a kísérleti darabokról sztereó- és fénymikroszkóp segítségével, amelyhez az egyes mintákról csiszolatot készítettem.

Az öntvényre előírt elsődleges követelmény nyomástömörség volt, amit a megrendelői visszaigazolások alapján sikerült teljesíteni.

5. Felhasznált irodalom

- [1] Dr. Dúl Jenő: Nyomásos Öntészeti Ismeretek, Nemzeti Tankönyvkiadó, 2009.
- [2] Arman Rahimi: Introduction Of High Pressure Die-Casting And Common Defects In Die-Casting, 2003.
- [3] Szalva Péter: Alumínium nyomásos öntvények tartamszilárdsága a gyártástechnológiából adódó anyaginhomogenitások figyelembevételével, Budapest, 2022.
- [4] Hiren R. Kotadia: Solidification Behaviour of Al-Sn-Cu Immiscible Alloys and Al-Si Cast Alloys Processed under Intensive Shearing, Brunel University, Uxbridge, 2010.
- [5] Bill Andersen: Die Casting Engineering, A Hydraulic, Thermal and Mechanical Process, Marcel Dekker, 2005
- [6] Y.B. Lui, W.B. Lee, B. Ralph: A reclassification of the die-filling stages in die-casting processes. Journal of Materials Processing Technology 1996, 57, (259-265).
- [7] ItalPresseGauss weboldal - <https://www.italpressegauss.com/en-gb/die-casting-automation-cell>
- [8] Szabó Richárd: Öntéstechnikai és hőtechnikai paraméterek hatása az alumínium nyomásos öntvény szilárdsági tulajdonságaira, 2012.
- [9] Ferencz Peti, Gabriela Strnad: The effect of squeeze pin dimension and operational parameters on material homogeneity of aluminium high pressure die cast parts. Acta Marisiensis, Seria Technologica, Vol. 16 (XXXIII), No. 2, 7-12, 2019.
- [10] I. Ohanka, JD. Zhu, A. Sugiyama, F. Kinoshita: A Method to set process parameters of local squeeze in HPDC. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 33, 012001, pt 8., 2012
- [11] C.H. Cáceres, M.B. Djurdjevic, T.J. Stockwell and J.H. Sokolowski: The effect of Cu content on the level of microporosity in Al-Si-Cu-Mg casting Alloys. Scripta Materialia, Vol. 40, No. 5, 631–637, 1999
- [12] Majoros Csaba, Szabó Richárd, Molnár Dániel: Kettős működtetésű utántömörítés hatása a vastag falú nyomásos öntvény belső térfogati

inhomogenitására. Bányászati és kohászati lapok, 153. évfolyam, 2020/5-6. szám, 11-16.

[13] Szombatfalvy Anna: Járműipari öntészeti AlSi-ötvözetek tulajdonságainak vizsgálata, 2012.

[14] Dr. Jónás Pál: Könnyűfém Öntészeti Ismeretek, Nemzeti Tankönyvkiadó, 2009.

[15] John Campbell: Complete Casting Handbook: Metal Casting Processes, Metallurgy, Techniques and Design, Elsevier Ltd. 2011.

[16] Dr. Tóth Levente: Környezetvédelem az öntészetben, öntödei hulladékok, Nemzeti Tankönyvkiadó, 2011.

[17] Szalay Zsolt: Alumínium-Szilícium öntvények porozitás-kimutathatóságának pontosságnövelése roncsolásmentes vizsgálati módszerek alkalmazása esetén, 2001

[18] Dr. Dúl Jenő, Gyurán László, Szombatfalvy Anna: Járműipari Al-olvadékok tulajdonságainak optimalizálása. Mechanotrika, Anyagtudomány, Miskolc, Vol. 1, No. 3 (2007), 63-72.

[19] M. B. Djurdevic, M. A. Grzinčič: The effect of major alloying elements on the size of secondary dendrite arm spacing in the as-cast Al-Si-Cu alloys, Versita, Vol. 12. Issue 1 (2012.), 19-24.