

Miskolci Egyetem
Anyag és Vegyészmérnöki Kar
Fémelőállítási és Öntészeti Intézet



TDK DOLGOZAT

KOPÁSÁLLÓ VASÖNTVÉNY GYÁRTÁSTECHNOLÓGIÁJÁNAK FEJLESZTÉSE

Szalai János
MSc Kohómérnök hallgató

Konzulens: Dr. Molnár Dániel, egyetemi docens

Miskolc

2023

Tartalom

1. Absztrakt.....	1
2. Irodalmi összefoglaló	2
2.1. Az öntöttvasak csoportosítása	5
2.1.1 Lemezgrafitos öntöttvas	5
2.1.2 Gömbgrafitos öntöttvas	5
2.1.3 Átmeneti grafitos öntöttvas	6
2.1.4 Fehér töretű öntöttvasak	6
3. Kopásálló öntöttvasak	8
3.1 Perlites kopásálló öntöttvasak.....	8
3.2 Ni-Hard kopásálló öntöttvasak	9
3.3 Ni-Hard 4 kopásálló öntöttvasak	10
3.4 Magas krómtartalmú kopásálló öntöttvasak	11
3.4.1 Magas krómtartalmú kopásálló öntöttvasak gyártástechnológiája.....	12
4. Kísérleti munka	15
4.1 Alkalmazott gyártástechnológia	15
4.2 A vizsgált öntvény bemutatása	16
4.3 Az öntvénygeometria vizsgálata szimulációval	18
4.4 Az öntvénycsokor tervezésének folyamata	20
5. Elvégzett vizsgálatok.....	23
5.1 Szimulációs vizsgálatok	23
5.2 Öntödei kísérletek.....	26
5.3 Laboratóriumi vizsgálatok.....	29
5.3.1 Keménységmérés.....	30
5.3.2 Kopásállóság vizsgálata.....	31
Összefoglalás.....	35
Felhasznált irodalmak.....	36
Mellékletek	37

1. Absztrakt

A fémes anyagok felületének kezelésére szolgáló egyik legelterjedtebb módszer a szemcseszórás, mely a szemcsék kinetikus energiáját használja fel a felület tisztítására. A szemcseszórás során a szemcséket jellemzően röpítő kerekkel gyorsítják fel. A koptató szemcsék anyaga többféle lehet, különböző mérettartományba tartozhatnak, fő jellemzőiket az előállításuk módja határozza meg. A koptató szemcsékkel érintkező alkatrészeknek a nagy keménységű szemcsékkel szembeni ellenállósággal kell rendelkezniük.

Ha kopásálló, nagy keménységű öntvényt szeretnénk gyártani, akkor fontos, hogy a megszilárdulás teljes mértékben a metastabilis- karbidos kristályosodás szerint menjen végbe. Az öntvény nagymértékű keménységéért az így keletkező karbidok felelnek. Számos esetben a szemcseszóró berendezések alkatrészei olyan nagymértékű koptató igénybevételnek vannak kitéve, hogy az öntött öntvények hőkezelése is szükség van, ezzel is növelve azok keménységét.

Vizsgálataim során, egy kiválasztott öntvény esetén, egy ún. egyenes kopólemez alkatrész gyártása során végeztem kísérleteket.

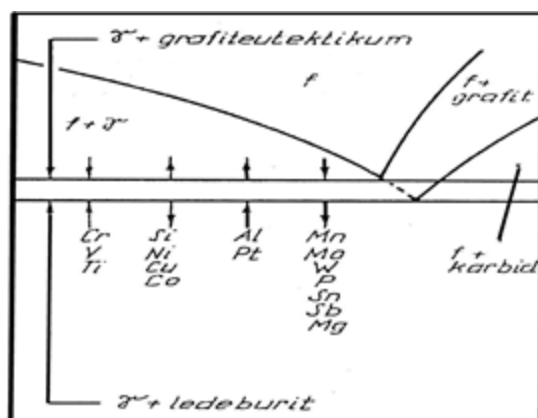
Tudományos Diákköri Kutatómunkám célja egy kopásálló vasöntvény alkatrész gyártástechnológiájának fejlesztése. Számítógépes szimulációval vizsgáltam a lejátszódó formatelési és dermedési viszonyokat és a kialakuló öntvénytulajdonságokat. A számítógépes analízis eredményének függvényében üzemi kísérleteket végeztem a különböző gyártási feltételek hatásainak feltárása céljából. Az elkészült öntvényeken és az azokból kimunkált próbatesteken laboratóriumi vizsgálatokat végeztem.

2. Irodalmi összefoglaló

Az öntöttvasak stabilis (grafitos) és metastabilis rendszer szerint kristályosodhatnak. A kristályosodás első fázisában, primér ausztenit válik ki, miközben az olvadék túlhűl. Ez a lassú túlhűlés stabilis kristályosodáskor grafitcsírák kialakulásához vezet, melyekből grafitos eutektikum képződik a stabilis eutektikus kristályosodás hőmérsékletén. Ahogy a grafitcsírák száma növekszik, hőfelszabadulás következik be, ezért visszamelegedési folyamat játszódik le.

[1] A túlhűlés mértékét a csíraállapot és a lehűlési sebesség befolyásolja. A metastabilis kristályosodás feltételei akkor válnak kedvezőbbé, ha az olvadék a metastabilis eutektikus kristályosodási hőmérsékletre, vagy az alá hűl. Ilyenkor megkezdődik a ledeburit kiválása és fehér töretű öntöttvas keletkezik. Előfordul, hogy a kristályosodás részben stabilis, részben metastabilis rendszer szerint játszódik le. Az ilyen, átmeneti kristályosodás során ún. feles töretű öntöttvas jön létre. A feles töret két fajta módon alakulhat ki. Előfordulhat, hogy az öntöttvas elkezd stabilis rendszer szerint kristályosodni, de az olvadékban feldúsulnak a metastabilis kristályosodást elősegítő elemek. A másik esetben, a forma nagy hőelvonó hatása következtében, nagy túlhűlés keletkezik, ezért metastabilis kristályosodási folyamat játszódik le, viszont a jelentős mennyiségű hőfelszabadulás hatására a hőmérséklet olyan mértékben emelkedhet, hogy a kristályosodás a metastabilis eutektikus hőmérséklet fölött, azaz a stabilis rendszer szerint fejeződik be. [2]

Az öntöttvasakban jelenlévő elemek megváltoztatják a stabilis és metastabilis eutektikus kristályosodás hőmérsékletközét. A lemezgrafitos öntöttvasakban előforduló elemeknek a stabilis- és a metastabilis eutektikus kristályosodási hőmérsékletre gyakorolt hatását az 1. ábra mutatja.



1. ábra A különböző elemek hatása az eutektikus kristályosodására [3]

A fentiek alapján az elemeket négy csoportba soroljuk:

1. A grafitképző elemek az eutektikus hőmérséklet közét bővítik, az által, hogy a stabilis rendszerben növelik, a metastabilis rendszerben csökkentik az eutektikus hőmérsékletet. Ilyen elemek a szilícium, a titán, a nikkel, a réz és a kobalt.
2. A karbidképző elemek oly módon szűkítik az eutektikus hőmérséklet közét, hogy a stabilis rendszerben csökkentik, a metastabilis rendszerben növelik az eutektikus hőmérsékletet. Ilyen elemek a króm és a vanádium.
3. Egyes elemek, mint például a platina és az alumínium, mind a stabilis, mind a metastabilis kristályosodás hőmérsékletét emelik.
4. Léteznek olyan elemek, pl. a mangán, a foszfor, az ón, az ólom, a magnézium, a molibdén és a wolfram, amelyek egyaránt csökkentik a stabilis és a metastabilis kristályosodás hőmérsékletét. [3]

Az utóbbi két csoportba tartozó elemek kristályosodást befolyásoló hatása attól függ, hogy a stabilis és metastabilis eutektikus hőmérséklet közét növelik, vagy csökkentik.

A szilícium az öntöttvasban előforduló elemek közül a szürketöretű lemezgrafitos öntöttvas gyártása szempontjából a legfontosabb grafitképző elem. [4, 5] A szilícium mennyiségének változtatása jelentősen befolyásolja, hogy a kristályosodás milyen módon megy végbe. 1%-nál kisebb szilícium tartalom esetén, a hipoeutektikus öntöttvas a szabványos 30 mm átmérőjű, homokformában öntött rúd esetén tisztán metastabilis rendszer szerint kristályosodik, amely fehér töretet eredményez. A stabilis rendszer szerinti kristályosodás feltétele, hogy a szilícium tartalom 1,5-2,5% között legyen.

Az eutektikus hőmérsékletet a következő módon lehet kiszámítani:

$$T_{est} \equiv 1153 + 6,7Si\% \quad (1)$$

$$T_{emet} \equiv 1147 - 6,93Si^* - 1,717Si^* \quad (2)$$

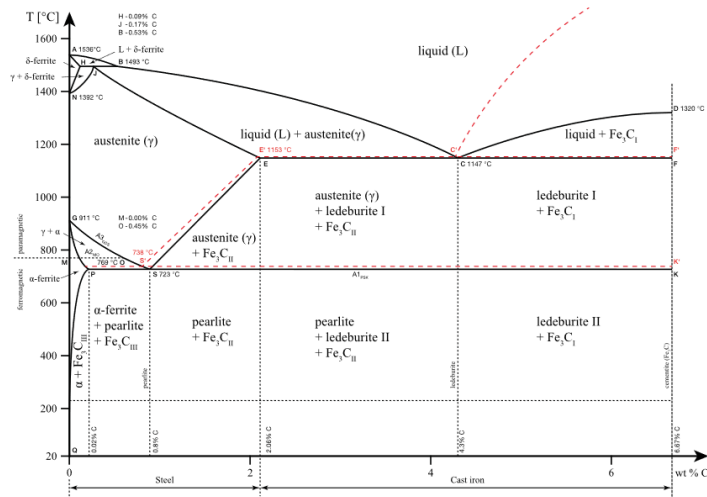
ahol: T_{est} : stabilis eutektikus hőmérséklet

T_{emet} : metastabilis eutektikus hőmérséklet

$$Si^* = Si\% + 2,5P\%$$

A képlet segítségével, kiszámítható a stabilis és a metastabilis eutektikus hőmérséklet köze 1% és 2%-os szilícium esetén. Kiszámítva a stabilis és metastabilis eutektikus kristályosodás hőmérséklet közét 1 és 2 %-os szilícium tartalomra, az 1% szilícium tartalomhoz 20°C, a 2% szilícium tartalomhoz 40°C tartozik. Ebből adódóan, ha a stabilis rendszer szerinti kristályosodás végbemenetele a célunk, akkor legalább 20°C-os, vagy annál nagyobb hőmérsékletközre van szükség. Az EC vonalat, mely a vas-karbon diagram eutektikus

kristályosodással összefüggő része, a szilícium oly módon változtatja meg, hogy a C és E pontokat is balra tolja, mely hatására az ausztenit-mező szűkül. 1% szilícium tartalom a C pontot 0,317%-kal, az E pontot 0,1%-kal tolja el, ennek következtében kisebb karbon tartalomnál kapjuk az eutektikus pontot. A szilíciummentes olvadékban a C pont karbontartalma 4,3 %-nál, 2% szilícium esetén a 3,7 %-nál, 2,5% szilícium tartalomnál 3,5 %-nál található.



2. ábra Fe-C kétalkotós fázisdiagram

Mivel az öntöttvasak több alkotós ötvözetek, ezért a valós ötvözeteket a kétalkotós Fe-C rendszerre vezetjük vissza úgy, hogy a szilícium és a foszfortartalom hatását a karbonra átszámítva kiszámítjuk a karbonegyenértéket:

$$CE = C + \frac{Si}{3} + \frac{P}{3} \quad (3)$$

A telítési szám a kísérő elemek együttes hatásának elemzésére szolgál, a karbon-tartalom és az eutektikus karbontartalom hányadosa. Jelölése T vagy Sc:

$$T = \frac{C\%}{C_{eut}\%} \quad (4)$$

$$T = \frac{C\%}{4,26 - 0,317Si\% - 0,33P\% + 0,027\%Mn + 0,066S\%} \quad (5)$$

A mangán és a kén hatását figyelmen kívül hagyhatjuk, így az egyszerűsített telítési szám:

$$T = \frac{C\%}{4,3 - \frac{(Si\% + P\%)}{3}} \quad (6)$$

Meghatározható a módosított telítési szám, amely az eutektikum arányát mutatja a szövetben:

$$S_R = \frac{C\% - C_E\%}{C_C\% - C_E\%} \quad (7)$$

$$S_R = \frac{C\% + 0,1Si\% - 2,07}{2,3 - 0,2Si\%} \quad (8)$$

Az öntöttvas eutektikus ponthoz viszonyított helyzetét a telítési szám határozza meg. A módosított (relatív) telítési szám az eutektikum arányát mutatja a szövetben.

A likvidusz és a szolidusz hőmérséklet különbsége, a dermedés hőmérséklet köze:

$$\Delta T = T_L - T_S \quad (9)$$

2.1. Az öntöttvasak csoportosítása

2.1.1 Lemezgrafitos öntöttvas

A lemezgrafitos öntöttvasat kedvező tulajdonságai miatt régóta használják a gép- és járműipari öntvények gyártására. Szerkezetére a perlites, vagy ferrites alapszövet jellemző, amelyben a grafit lemezes formában jelenik meg. Jellemző rájuk, hogy nyomószilárdságuk jelentősen nagyobb, mint a szakítószilárdságuk. A bennük lévő grafitlemezek elnyelik a mechanikus rezgéseket, ezért kitűnő a rezgéscsillapító hatásuk. Fontos tulajdonságuk a jó hővezető képesség, valamint az alacsony zsugorodási hajlam dermedés közben, amely kedvező önthetőséget biztosít.

A lemezgrafitos öntöttvasak szilárdság növelésének lehetőségei:

- A perlit arányának növelése az alapszövetben, melyet az öntöttvas szilíciummal való ötvöztetésével lehet elérni.
- A grafit lemezek méretének csökkentése FeSi vagy CaSi adagolásával. Ezen vegyületek olvadékba való juttatása sok kristályosodási középpontot alkot a grafit számára, ezáltal egyenletesebb eloszlást biztosítanak.
- Alacsony karbontartalom. Lemezgrafitos öntöttvas esetében a karbonból a kristályosodás során lemez alakban jelenlévő grafit képződik, amely bemetsző hatása révén jelentősen rontja az öntöttvas szilárdsági tulajdonságait. [6]

2.1.2 Gömbgrafitos öntöttvas

A gömbgrafitos öntöttvas a 40-es években jelent meg, az öntöttvas minőségének javításával foglalkozó kísérletek eredményeként. Gyártása bonyolult folyamat, mivel rendkívül tiszta, alacsony kén-, foszfor- és a gömbösödést zavaró nyomelem tartalmú olvadék szükséges ahhoz, hogy megfelelő minőségű gömbgrafitos öntöttvasat kapjunk. [7] A gömbgrafitos vasöntvények olvadékát gömbösítő adalékkal (pl cérium, vagy magnézium) kezelik. A kezelés következtében

az olvadék öntészeti tulajdonságai rendkívül jók lesznek. Bonyolult, vékony falú öntvények öntése is lehetséges, a megfelelő folyékonyságú és formakitöltő képességű olvadék révén.

A gömbgrafitos vasöntvények kiemelkedő mechanikai tulajdonságokkal rendelkeznek. Jelentős nagyságú a szakítószilárdságuk, és a szívósságuk. A szilárdságért és a mechanikai tulajdonságokért az alapszövet a felelős. Az alapszövetet széles határok között tudjuk változtatni, amely eltérő mechanikai tulajdonságokat eredményez. A gömbgrafitos öntöttvas tulajdonságai ötvözéssel tovább javíthatók. Például a nikkellel erősen ötvözött öntöttvas akár a 40% nyúlást is elérheti. A gömbgrafitos öntöttvasak a lemezgrafitossal ellentétben hőkezelhetőek. Például a magas karbantartalmú ausztenit edzésével jön létre az ausztemperált gömbgrafitos öntöttvas (ADI), melyek a legnagyobb szilárdsággal rendelkeznek az öntöttvasak világában. [8] A gömbgrafitos öntöttvasak mechanikai tulajdonságai mellett, kiemelkedő a hő-, hőszokk- és reveállóság, egyes minőségek korrózió-, illetve kopásállósága. Szintén lényeges tulajdonságuk a kiváló hegeszthetőség és megmunkálhatóság. [9]

2.1.3 Átmeneti grafitos öntöttvas

Az átmeneti grafitos öntöttvas kristályosodása magában hordozza a lemezes-, valamint gömbgrafitos öntöttvasak jellegzetes tulajdonságait. A lemezgrafitos öntöttvashoz hasonlóan kristályosodás során összefüggő vázat képez, de a grafit növekedésének fő iránya a c-tengely. A térben összefüggő grafitkomplexum egy középpontból fejlődik és a hexagonális kristály rácsszerkezete szerint növekszik. Az így kialakuló grafit morfológiája különösen a grafit növekedésének mechanizmusától és az ezt befolyásoló tényezőktől függ. Az átmeneti grafitos öntöttvasak kristályosodása a gömbgrafitoséhoz hasonlóan indul meg, majd eltérő módon folytatódik és fejeződik be. Előállítása úgy történik, hogy az olvadékot gömbösítő eljárással kezdik el kezelni, viszont ezt a folyamatot gömbösítést zavaró elemekkel megzavarják, mielőtt teljes mértékben gömbgrafitos öntöttvas keletkezne. Az átmeneti grafitos öntöttvas mechanikai tulajdonságai magában hordozzák a lemezgrafitos és a gömbgrafitos öntöttvas jellemzőit is. Fő felhasználási területe az autóipar (dízelmotor hengerfej), ahol a nagy hőterhelésnek való ellenállás mellett, a megfelelő mértékű szakítószilárdság is szükséges. [10]

2.1.4 Fehér töretű öntöttvasak

Ha a szilícium tartalom az öntöttvasban kisebb, mint 1,0% és a hűlési sebesség megfelelően nagy, akkor a kristályosodás a metastabilis rendszer szerint fog végbemenni és az öntöttvas ledeburitos töretű lesz, mely töret jellemzően fehér színű. Az anyag jellemzője, hogy a benne

lévő karbon kémiaiilag kötött formában, karbidként jelenik meg, így a töreten nem látható a grafitos kristályosodásra jellemző szürke szín, hanem az fehér színű lesz. [11]

A fehér töretű öntöttvas egy rendkívül rideg, kopásálló anyag. A karbidos kristályosodást az ötvözők egy csoportja, az ún. karbidképző elemek segítik elő, például a króm, a volfrám, a vanádium és a molibdén. A keletkező karbidok lehetnek Fe_3C , illetve különböző fémes alkotókkal képzett karbidok, pl. $\text{Fe}_x\text{Me}_y\text{C}$, Me_xC_y , ahol a fémes elem lehet, pl. Cr, W, Mo, V, Co és Nb. A keletkező karbidok egy alpmátrixban helyezkednek el, ami állhat perlitből, bainitből, martenzitből vagy ausztenitből. Az öntvény kopásállóságát az ötvözőelemek fajtája és mennyisége mellett alapvetően az alpmátrix minősége határozza meg.

A fehértöretű öntöttvasakat olyan területeken használják fel, ahol jelentős koptató igénybevétellel szemben kell ellenállniuk. Ilyen területek például a keverő és őrlő berendezések, a szemcseszórók, a törőberendezések, valamint a mezőgazdasági gépek kopó alkatrészei.

3. Kopásálló öntöttvasak

A kopásálló öntöttvasak olyan vasbázisú ötvözetek, melyek nagykeménységű kopásálló karbidokat tartalmaznak, amik az eutektikum kristályosodása során jönnek létre az olvadékból való kiválással. A karbidok kiválásának pozitív és negatív hatása is van: biztosítják az öntöttvas kopásállóságát, ugyanakkor alacsony szívósságot és rossz ütőmunka értékeket eredményeznek. A kopásállóság nem olyan típusú anyagtulajdonság, mely egy adott paraméter függvénye, hanem számos befolyásoló tényező (pl. rugalmas- és maradó alakváltozási képesség, felkeményedés, szívósság) együttesen határozza meg a kopással szembeni ellenállás mértékét. Mindazonáltal kijelenthető, hogy a keménység növekedésével arányosan nő az anyagok kopásállósága.

Az egyes anyagok megnevezésénél ismertetem azok angol megfelelőjét is, mivel a szakirodalomban jellemzően angolul lehet korszerű forrásokat találni. A kopásálló öntöttvasakat összetételük és szövetszerkezetük szempontjából öt csoportba lehet sorolni, lásd. 1. táblázat.

1. táblázat: Kopásálló öntöttvasak csoportosítása

	Elnevezés	Karbid
1.	Perlites kopásálló öntöttvasak	Fe ₃ C
	Pearlitic Abrasion Resistant Cast Iron	
	Chilled Abrasion Resistant Cast Iron	
2.	Ni-Hard kopásálló öntöttvasak	M ₃ C
	Ni-Hard Abrasion Resistant Cast Iron	
	Ni-Cr Abrasion Resistant Cast Iron	
3.	Ni-Hard 4 kopásálló öntöttvasak	M ₇ C ₃
	Ni-Hard 4 Abrasion Resistant Cast Iron	
4.	Magas krómtartalmú kopásálló öntöttvasak	M ₇ C ₃
	High-Cr Abrasion Resistant Cast Iron	
5.	Speciális kopásálló öntöttvasak	M _x C
	Specialty Abrasion Resistant Cast Iron	

3.1 Perlites kopásálló öntöttvasak

A perlites kopásálló öntöttvasak a legrégebben gyártásban lévő kopásálló öntöttvas ötvözetek, jellemzően az abrázios kopással szembeni jó ellenállással jellemezhetőek. A szakirodalomban több elnevezéssel is megtalálhatóak (indefinite chill iron, white iron, chill iron). Az öntvény kristályosodása során az öntöttvas olvadékból a kokillafallal, vagy kokilla betéttel érintkezve alakul ki a kopásálló karbidos szerkezet.

A vas-karbon rendszer metastabilis kristályosodása a gyors hűlésnek köszönhetően zajlik le, a hűtött kokillafallal, vagy betéttel való érintkezés során. A gyors hűlés közben eutektikus reakció játszódik le, melynek során ausztenit és vaskarbid (Fe_3C) keletkezik.

Ahogy a dermedési front távolodik a hűtött kokillafaltól, a dermedési sebesség csökken és a rendszerben lévő karbon a stabilabb grafitos kristályosodás szerint kristályosodik, így a szövetben ausztenit és grafit lesz megtalálható. A metastabilisból stabilis kristályosodásba való átmenet nem pillanatszerűen, hanem egy folyamat részeként játszódik le. Következésképpen vastagfalú öntvény keresztmetszetében egy külső kopásálló karbidos felület, egy karbidos-grafitos átmeneti zóna és egy belső grafitos szerkezet lesz megtalálható.

A karbidos kopásálló réteg vastagsága számos metallurgai eljárással befolyásolható. Például, ha vékonyabb karbidos réteg kialakítása a cél, akkor növelni kell az öntöttvas szilíciumtartalmát, ami grafitképző elemként növeli a grafitos kristályosodás esélyét. Ha vastagabb karbidos réteg kialakítása a cél, akkor kismértékű króm és magnézium adagolása célszerű az öntöttvasba, melyek karbidképző elemek.

A kialakuló, kívül kopásálló, belül grafitos szerkezetű anyag jellemzően jó tulajdonságokkal rendelkezik, mivel grafitos eutektikum ellensúlyozza a karbidos rész nagy keménységéből adódó rossz mechanikai tulajdonságokat.

A perlites kopásálló öntöttvasak keménysége 350-500 HB. A keménység a kopásálló réteg vastagságával, illetve a perlit szerkezetének befolyásával növelhető. Ezek a típusú öntöttvasak nem kezelhetők 600°C fölötti hőmérsékleten, mivel ekkor a karbid elbomlik.

A perlites kopásálló öntöttvasak gyártásához a kémiai összetétel, a kokillafalon való hűtőhatás szabályozása, az öntési hőmérséklet, a beoltás és a falvastagság egyidejű gondos kontrollja szükséges. [11]

3.2Ni-Hard kopásálló öntöttvasak

A Ni-Hard fantázianevű kopásálló öntöttvas minőségeket az International Nickel Company nevű cég fejlesztette ki és háromfajta öntöttvas összetétel tartozik közéjük: Ni-Hard 1, 2 és 3. Ezen anyagok, a keménységnövelés céljából, primer ötvözőként nikkelt (Ni) tartalmaznak. Az anyagminőség másik fontos ötvözője a króm (Cr), mely elősegíti a fémes karbidok kristályosodását a grafittal szemben. A Ni-Hard típusú kopásálló öntöttvasak ajánlott minimális krómtartalma 1,4%, de a króm jellemző mennyisége 2,0% körüli. A krómtartalom stabilizálja az eutektikus reakciót és a karbidok képződésének kedvez, függetlenül a dermedés sebességétől. Így a kopásálló szerkezet, ami ausztenit és karbid eutektikus keveréke, független

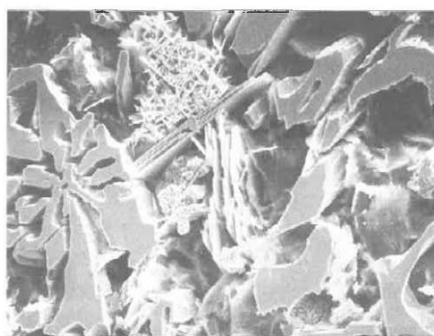
az öntvény falvastagságától és a hűlés sebességétől. A Ni-Hard anyagok szövetszerkezetére jellemző, hogy a fémes mátrixot kemény fémkarbidok veszik körül.

Ha krómot, vagy ritkább esetben mangánt (Mn) és molibdént (Mo), adagolnak a karbidos fázis stabilizálása céljából, Me_3C fémes karbid keletkezik. Mivel a Ni-Hard ötvözetekben előszeretettel alkalmaznak nikkelt és krómot a kívánt keménység elérése céljából, ezért ezeket az anyagokat Ni-Cr ötvözeteknek is nevezik.

A Ni-Hard kopásálló öntvények fő felvevő piaca a bányaiipar. Az ötvözet az alacsony ötvözőanyag tartalma miatt olcsón előállítható, formakitöltő képessége jó és keménysége öntött állapotban is magas. A Ni-Hard kopásálló öntöttvas öntvény főleg keménységében tér el a perlites kopásálló öntöttvasakból öntött öntvényektől. A nagy keménységet az eredményezi, hogy nem perlit, hanem a magas nikkeltartalom hatására, martenzit kristályosodik. A 3-5% nikkeltartalom teszi lehetővé, hogy az ausztenit eléri a martenzitesedés kiinduló hőmérsékletét, perlit képződése nélkül. Mivel a lejátszódó átalakulási reakciók sosem tökéletesek, így a Ni-Hard öntvények szövetszerkezete ausztenit és martenzit keverékéből áll. Ha az öntvénynek változó a falvastagsága, akkor a nagyobb falvastagságú részekben perlit nyomai találhatók. Ebből következik, hogy a geometriai viszonyok ismerete nélkül, kizárólag a metallurgiai viszonyok alapján nehéz előre jelezni az öntvények várható kopásállóságát. [12]

3.3 Ni-Hard 4 kopásálló öntöttvasak

A Ni-Hard anyagok sikere alapján felmerült, hogy további anyag típusokat fejlesszenek ki az ötvözetcsoporthoz belül. A Ni-Hard anyagok egyik negatív tulajdonsága az alacsony szívósság. A fejlesztés kezdeti szakaszában nem ismerték fel, hogy szívósság tekintetében a karbidok hálózata játszik fontos szerepet. A kifejlesztett új Ni-Hard 4 ötvözetben M_7C_3 összetételű fémes karbidok vannak jelen, melyek sokkal kedvezőbbek a szívósság szempontjából. Az új Ni-Hard 4 ötvözet jobb kopásállósági és szívóssági tulajdonságokkal rendelkezik, mint a korábbi Ni-Hard ötvözetek. A Ni-Hard 4 különleges tulajdonságait biztosító M_7C_3 összetételű karbidháló a 3. ábrán látható.



3. ábra Ni-Hard 4 ötvözet 3D karbidhálójának [16]

Az M_7C_3 karbid képződését a növelt krómtartalom (min. 7%) és a szilíciumtartalom (~1,8%) okozza. Nem csak az M_7C_3 karbidok eloszlása kedvezőbb a mátrixban, ami a jobb szívósságot okozza, hanem maga a karbid keménysége is nagyobb, mint a M_3C karbidé. A Ni-Hard 4 ötvözet hátránya viszont a többi Ni-Hard ötvözetekhez képest a nagyobb előállítási költség. A Ni-Hard 4 ötvözet formakitöltő képessége kitűnő, köszönhetően az eutektikushoz közeli összetételének és a magas szilícium tartalomnak. Az öntvény keménység értéke öntött állapotban is elérheti a 600 HB-t, ami hőkezeléssel tovább növelhető. [13]

3.4 Magas krómtartalmú kopásálló öntöttvasak

Ha olyan ötvözetekre van szükség, melyek szívóssága, kopásállósága és korrózióállósága egyaránt fontos, akkor a magas krómtartalmú öntöttvasak csoportját kell alkalmazni. A magas krómtartalmú öntöttvasakat a korai 1900-as évek óta gyártják, ezek voltak az első kifejlesztett kopásálló öntöttvas anyagok. Az ötvözetcsoport anyagainak mechanikai és kopásállósági tulajdonságai, a metallurgiai viszonyoktól függően kialakuló szövetszerkezettől, és az M_7C_3 karbidháló eloszlásától függ. Megfelelő ötvözéssel még nagy falvastagságú öntvények esetén is biztosítható a falvastagságon belüli egységes keménység. Az ötvözetcsoport tipikus ötvözői a Cr, Mo, Ni és Cu, lásd 2. táblázat. [14]

2. táblázat Magas krómtartalmú kopásálló öntöttvasak tulajdonságai

Jelölés	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	HV
	%	%	%	%	%	%	%	%	%	
EN-GJN-HV600(XCr11)	1,8-3,6	1,0	0,5-1,5	0,08	0,08	11,0-14,0	2,0	3,0	1,2	600
EN-GJN-HV600(XCr14)	1,8-3,6	1,0	0,5-1,5	0,08	0,08	14,0-18,0	2,0	3,0	1,2	600
EN-GJN-HV600(XCr18)	1,8-3,6	1,0	0,5-1,5	0,08	0,08	18,0-23,0	2,0	3,0	1,2	600
EN-GJN-HV600(XCr23)	1,8-3,6	1,0	0,5-1,5	0,08	0,08	23,0-26,0	2,0	3,0	1,2	600

A magas krómtartalmú kopásálló öntöttvasak csoportjába sokkal több ötvözet tartozik, mint a Ni-Hard ötvözetek közé és azok mechanikai és kopásállósági tulajdonságai is sokkal szélesebb tartományt fednek le. Ebből adódóan nagyon nehéz általánosságban beszélni a magas krómtartalmú kopásálló öntöttvasokról. Az egyik fő jellemzője általánosságban az ilyen anyagminőségeknek, hogy öntött állapotban a szövetszerkezetük kismértékben eltér a Ni-Hard ötvözetekétől. Öntött állapotban a magas krómtartalmú öntöttvasak karbonban és krómban túltelítettek.

Ez a magas karbontartalmú összetétel stabilizálja az ausztenites mátrixot a lehűlés során. A magas krómtartalmú kopásálló öntöttvasak csoportjába tartozó anyagok skálája olyan széles, hogy az öntött szerkezet lehet perlites, bénites, martenzites, ausztenites, vagy ezek keveréke. A nagy krómtartalmú öntöttvasakban lévő karbidháló szerkezete hasonlít a Ni-Hard 4 anyagokban található szerkezethez.

Számos érvet és ellenérvet fel lehet hozni a nagy krómtartalmú kopásálló öntöttvasak használatával kapcsolatban. A legelőnyösebb tulajdonság, hogy köszönhetően a változatos szövetszerkezetnek, ezeket az anyagokat hozzá lehet igazítani az elvárt öntvénytulajdonságokhoz, ami egyben a hátránya is, hogy az anyag- és technológiaválasztás megfelelően történik-e az összetétel, az öntvénygeometria, az olvasztástechnika, a lehűlési körülmények és a hőkezelés szempontjából.

3.4.1 Magas krómtartalmú kopásálló öntöttvasak gyártástechnológiája

Az öt osztályba sorolt kopásálló öntöttvasak közül, a magas krómtartalmú kopásálló öntöttvasak csoportjába tartozó anyagok gyártástechnológiáját mutatom be részletesen. A fehérítőreputú kopásálló öntöttvasak alapvetően eltérnek a lemez-, vagy gömbgrafitos öntöttvasaktól, számos szempontból inkább a nagyszilárdságú acélokhoz hasonlóak. A kopásálló öntöttvasak fő különbsége a többi öntöttvastól, hogy kristályosodásuk közben bennük nem keletkezik grafit, ami nagymértékben befolyásolja a táplálási karakterisztikájukat, mivel az anyag zsugorodását nem kompenzálja grafitkiválás. Ezeknek az ötvözeteknek jellemzően 4-5% a zsugorodási együtthatójuk, ami azonos nagyságrendű az acélokénak, így táplálásuk hasonló azokhoz.

Az acélokkal összehasonlítva viszont a kopásálló öntöttvasaknak tulajdonképpen nincsen nyúlása. A dermedésük módja, a kialakuló karbidos szerkezet és a relatíve alacsony hőmérsékleten lezajló átalakulások repedésérzékennyé teszik őket.

A magas krómtartalmú kopásálló öntöttvasak csoportjába számos eltérő összetételű anyag tartozik, melyek krómtartalma jellemzően 12-40%, karbon tartalma 1-4% és számos további ötvöző elemet tartalmaznak, pl. Mo, Ni, Cu, V, stb. Ezek alapján vannak közöttük erősen hipoeutektikus anyagok, melyeket gyakran az acélok közé sorolnak, valamint eutektikus- és hipereutektikus összetételű anyagok. Ez a változatos összetétel és az alkalmazható hőkezelések széles skálája biztosítja, hogy konkrét felhasználásra alkalmas anyagok gyárthatóak belőlük a kívánt szívósságnak, edzhetőségnek és az előállítási költségeknek megfelelően.

Olvasztás technológia

A magas krómtartalmú kopásálló öntöttvasak indukciós, vagy ívfényes kemencében gyárthatóak. Mivel nikkelfügetes magas krómtartalmú acélhulladék nem áll rendelkezésre, ezért általában visszatérő hulladékból és nagy tisztaságú alapanyagokból gyártják őket. Az olvadék nem alkalmas a hosszú időn át tartó hőntartásra a krómtartalom magas reakcióképesége miatt.

Indukciós kemencében történő gyártás javasolt adagösszetétele: alacsony karbon tartalmú acélhulladék, saját visszatérő anyag, alacsony szilíciumtartalmú nyersvas, alacsony karbon tartalmú ferrokróm, magas karbon tartalmú ferromangán, ferromolibdén, 75% szilícium tartalmú ferroszilícium, ferronikkel és további ferroötvözetek. [15]

Az olvasztás az alábbiak szerinti technológiai sorrendben valósítható meg:

1. Nyersvas, acélhulladék, visszatérő anyag és ötvözők adagolása.
2. Beolvasztás és túlhevítés. Normál karbon és krómtartalom esetén a túlhevítés hőmérséklete 1480°C, alacsony karbontartalom és magas krómtartalom esetén 1600°C, hogy biztosított legyen az adagolt ferrokróm beoldódása.
3. Krómötvözés.
4. A króm beoldódása után a lehető legkisebb mértékű túlhevítés beállítása.
5. Magas karbontartalmú ferromangán adagolása a kemencébe.
6. A lehető leghamarabbi átcsapolás az öntőüstbe, melynek alján ferroszilícium kerül elhelyezésre.
7. Öntvények leöntése a lehető legalacsonyabb túlhevítéssel.

Formázás, beömlő- és táplálórendszer

Minden típusú formázóanyag és kötőanyagrendszer használható magas krómtartalmú öntöttvasak esetén, ami az öntöttvasaknál-, vagy acéloknaál alkalmazható.

A minták esetén átlagosan 2% lineáris zsugorodással lehet számolni, de ez az érték a gyakorlatban 1,3-2,5% között változik a szövetszerkezet függvényében:

- öntött állapotban ausztenites szerkezet esetén nagyobb a zsugorodási együttható,
- perlites szerkezet esetén kisebb a zsugorodási együttható.

A magas krómtartalmú kopásálló öntöttvasak esetén törekedni kell az irányított dermedés megvalósítására. A tápfejen keresztüli öntés technológiája alkalmazható. A tápfejek táplálási hatósugara azonos öntvény keresztmetszetek esetén, megegyezik az acéloknaál alkalmazott tápfejekével: a táplálási hatósugár a tápfej átmérő 4-7-szerese, az olvadékminőség függvényében. Nincsen általános szabály a tápfejek számával, méretével, vagy pozíciójával

kapcsolatosan. Előnyös, ha a tápfejek nem az öntvény felhasználáskori kopófelületére csatlakoznak. A tápfejek modulja a Nicolas szabálynak megfelelően minimálisan a kitáplálendő öntvénymodul 1,2-szerese.

A hőszigetelő, vagy exotherm tápfejsapkák alkalmazása a kihozatal növelése szempontjából ajánlott. Nagyméretű öntvények esetén kívánatos a nyitott tápfejekre történő olvadék ráöntés az öntés után. A beömlőrendszer kialakításánál figyelembe kell venni, hogy az olvadék felületén nagyviszkózitású oxidfilm alakul ki. Ezt a beömlőrendszer kialakításával kell megfogni és törekedni kell a gyors, turbulencia mentes formatelésre.

Az öntvényben nagymértékű belső feszültségek keletkezhetnek, melyek repedéseket, vagy törést okozhatnak. Ezek bekövetkezésének csökkentése céljából biztosítani kell a lassú hűlést a formában, vagy a melegen kirámolt öntvényt szabályozott körülmények között, pl. kemencében-, vagy hőszigetelő paplan alatt kell lehűteni.

Magas krómtartalmú kopásálló öntöttvasak esetén lehet hűtővasakat alkalmazni az irányított dermedés megvalósítása céljából, de azokkal nem növelhető a kopásállóság mértéke. Ezeknél az anyagoknál szemcsefinomítást nem alkalmaznak, mivel az nem növeli a kopásállóságot. [16]

4. Kísérleti munka

TDK dolgozatom kísérleti munka részét a Pyroven kft. vasöntödéjében és az Anyag- és Vegyészmérnöki Kar Intézeteiben készítettem. A vállalatnál több mint 800 féle kopásálló vasöntvényt gyártanak, elsősorban szemcseszóró gépek alkatrészeit. Gyártmányaik nagy része az Európai Unió piacokra kerül. Az üzem gyártástechnológiáját az alábbiakban mutatom be.

4.1 Alkalmazott gyártástechnológia

A cégnél kézi, illetve gépi formázást alkalmaznak. Technológiailag bentonitos homokformázás, héjformázás, vízüveges formázás és furán gyantás homokformázás is megtalálható. Vizsgálataim során a furán gyantás homokformába öntött öntvények technológiájával foglalkoztam. A formakészítés menetét az alábbiakban mutatom be.

A forma két formafélből kerül összeállításra. A mintalapra épített mintára elhelyezésre kerül a fából készült formaszekrény, majd adott mennyiségben feltöltésre kerül a regenerált öntődei homokból, furán gyantából és katalizátorból álló formázóanyag keverékkel. A formázóanyag tömörítése vibrációs rázóberendezéssel történik. A kötés megtörténte után a formaszekrény leemelésre kerül a mintalapról, majd a forma körül eltávolításra kerül a formaszekrény. Következő lépésben, a geometriától függően behelyezésre kerül a mag, majd összevezetésre kerül a két formafél. A furán gyantás homok formázás előnye, összehasonlítva az üzemben alkalmazott többi formázási módszerrel, hogy gyorsan megköt a forma, ami termelékeny eljárást eredményez. A formafelek összevezetése után azok lesúlyozása következik, melynek célja hogy az olvadék felhajtóerejével szemben biztosítsa a felső formafél megemelkedését, valamint hogy megelőzze a dermedés közben ébredő erők okozta elmozdulásokat.

Az olvasztás 1 t/óra teljesítményű, VIP POWER TRAK 500 típusú, Inductotherm gyártmányú középfrekvenciás indukciós kemencében történik. Az olvasztás során fontos a homogén, szennyeződésmentes betétanyag használata. Ez egyrészt biztosítja a megfelelő kémiai összetétel elérését, másrészt kíméli a kemence falzatát és így meghosszabbítja annak élettartamát. Az adagolás során fontos a lehetőleg tömör induló betétanyag, ami biztosítja a kemence megfelelő terhelhetőségét és a lehető legrövidebb adagidőt.

A betétanyag vásárolt acélhulladékból, saját visszatérő anyagból (beömlő- és tápláló rendszer, stb.) valamint tömbformában adagolt segédanyagokból (ferrokrom, ferromangán, ferroszilícium) és karbonból áll. Az adagszámításnál figyelembe kell venni a várható leégést, amely tapasztalat szerint a krom és karbon esetében lehet jelentősebb. Az olvadékból öntés előtt érempróbát vesznek és az adag összetételét spektroszkópiai vizsgálattal ellenőrzik. Próbavétel

és csapolás előtt a salakot eltávolítják. A kemence falazat kímélése és a leégés minimalizálása végett a megfelelő csapolási hőfok elérése után azonnal öntik a formákat. A folyékony fém hőmérsékletét bemelegítő hőmérsékletmérővel mérik. Az olvadék a buktatható kemencéből előmelegített darus buktatható üstbe kerül átcsapolásra, melyből az öntés történik.

A vevő által megkövetelt anyagminőség biztosítása céljából az egyes öntvények hőkezelésre kerülnek. A cég három elektromos fűtésű hőkezelő kemencével rendelkezik. A termékek jellemző keménysége hőkezelés után 61-66 HRC. Igény esetén vákuumos hőkezelés is megvalósítható, külsős partnerek bevonásával.

Mivel az öntődében kopásálló szemcseszóró alkatrészeket gyártanak, ezért a hőkezelés célja a keménység növelése. Ennek céljából edző hatású hőkezelést alkalmaznak. Az edzés ausztenitesítésből és ezt követő gyors lehűtésből áll. Az ausztenítés után a gyors hűtésekort martenzit keletkezik. A hőkezelés az alábbi lépésekből áll:

- 960-1040°C hőmérsékletre történő, több lépcsős felfűtés,
- 2-4 órás hőntartás,
- intenzív lehűtés védőgázban, vagy levegőn,
- 200°C-on történő 1 órás megeresztés.

Az edzés eredményességét Vickers vagy Rockwell típusú keménységméréssel ellenőrizhetjük.

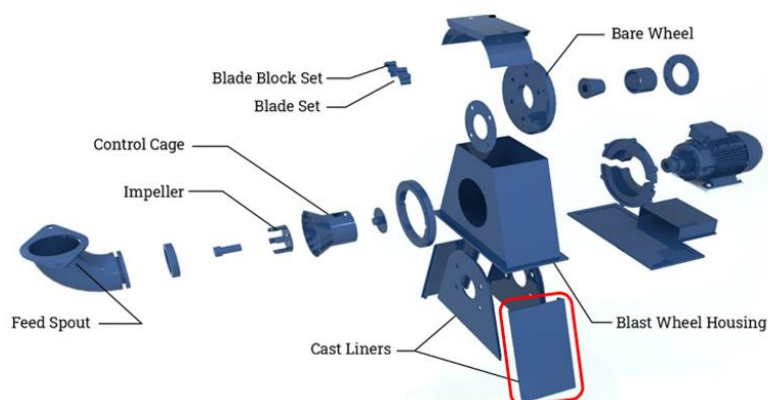
4.2 A vizsgált öntvény bemutatása

TDK munkám során egy szemcseszóró gép alkatrészének gyártástechnológiáját és az öntvény minőségét vizsgálom. A szemcseszóró gépek az iparban elterjedt kulcsfontosságú berendezések. Feladatuk a felület előkészítése, melynek során az igények szerinti minőségű koptató anyagot egy szórófej segítségével a megtisztítandó felületre juttatják, és a szemcse kinetikai energiájával a felületet megtisztítható.

A szemcseszóró berendezések egyik fő része az ún. szóróház, melynek öntött alkatrészei különböző koptató igénybevételeknek vannak kitéve. A legjobban igénybevett alkatrészek a szórólapátok, a második leginkább igénybevett alkatrészek, az általam vizsgált kopólemezek. A termékek élettartalmát jelentősen befolyásolja az alkalmazott szórószemcse keménysége és alakja. A berendezések szórási teljesítménye a lapátok számától, szélességétől és az alkalmazott fordulatszámtól függ. A szemcsék kilépési sebességét a fordulatszám és a kerékátmérő, valamint a lapát alakja (egyenes, hátra hajló, előre hajló) határozza meg. [17]

Az általam vizsgált öntvény egy szemcseszóró gép egyenes kopólemeze (side wear plate), ami a szórótér egyik fő eleme. A vizsgált termék extrém igénybevételnek van kitéve, mivel a koptató berendezést nagy keménységű-, sarkos szemcsével üzemeltetik. A koptató berendezés

robbantott ábrája, a vizsgált öntvény megjelölésével (side wear plate: egyenes kopólemez) az 4. ábrán látható.



4. ábra Szemcseszóró gép robbantott ábrája a vizsgált öntvény megjelölésével

A vizsgált egyenes kopólemez öntvény műszaki rajza a mellékletben látható. Az öntvény anyagminősége az egyes szabványoknak megfelelően:

DIN EN 1213 szerint: EN-GJN-HV600(XCr18); EN-JN3039

DIN 1695 szerint: G-X260 CrMoNi 20 2 1; 0.9645

Az öntvény befoglaló méretei: hossz: 517 mm x szélesség: 114 x vastagság: 28 mm

Tömege: 7,725kg

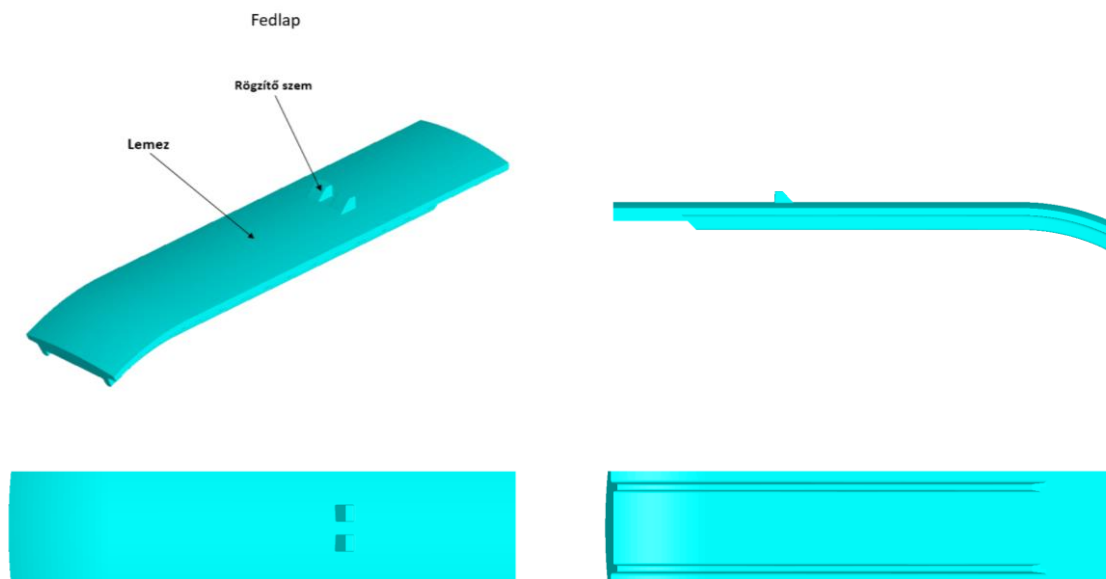
Nem jelölt formázási ferdeségek: 3°

Nem jelölt lekerekítések: R1

Vevői követelmények:

- egyenletes kémiai összetétel
- egyenletes keménység a darab teljes keresztmetszetében
- jó felületi minőség
- lunker mentesség

A műszaki rajz alapján, parametrikus modellezési eszközökkel elkészítettem az öntvény 3D modelljét, mely az 5. ábrán látható. Az öntvény nevezetes részei a fedlapon található rögzítő szem és a hátlapon található záróperem. Az öntvény felülete 721660,41 mm², térfogata 5377238,929 mm³.



5. ábra Az öntvény 3D modellje

4.3 Az öntvénygeometria vizsgálata szimulációval

Az öntvénygeometria vizsgálatára ún. „Natural Erstarrung” vizsgálatot végeztünk. Ennek során az öntvény anyagminőségével azonos, definiált kiinduló hőmérsékletű olvadékkal kitöltött geometria dermedését vizsgáljuk a formázóanyaggal megegyező anyagminőségű formában, az öntési helyzetnek megfelelően. A vizsgálat során elemezhető a dermedési karakterisztika, az először- és utoljára dermedő öntvényrészek, az anyag- és hőhalmozódási helyek. A szabványos, az üzemben mért és a szimulációs programban definiált ötvözet összetételi értékei a 3. táblázatban láthatóak.

3. táblázat az olvadék összetétele

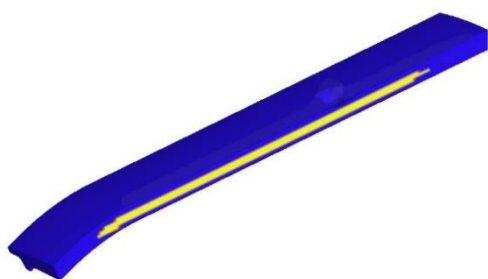
	szabványos, %	üzemi, %	szimuláció, %
Cr	18,0-23,0	18,5-20,0	19,25
Ni	<2,0	-	-
Si	<1,0	0,7-1,1	0,9
Mn	0,5-1,5	0,5-1,0	0,75
C	1,8-3,6	3,2-3,6	3,4
Mo	<3,0	1,1-1,5	1,3
Cu	<1,2	-	-

A szimulációs program adatbankjából kerültek beolvasásra az adott anyagminőséghez tartozó kristályosodási hőmenntiség, valamint a hőmérséklet függvényében a hővezetés, fajlagos hőkapacitás és sűrűség értékei. Az üzemben mért öntési hőmérséklet: 1420-1520°C. A dermedési vizsgálat során definiált olvadék kiinduló hőmérséklete: 1470°C. A forma anyaga

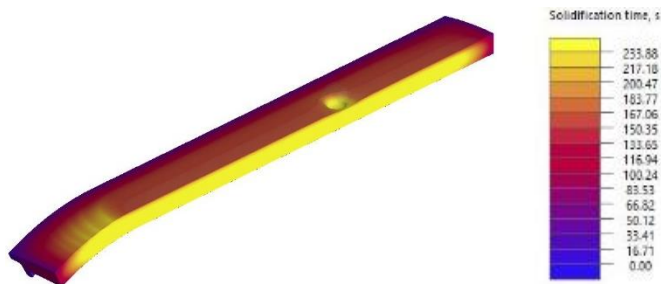
furángyantás homokkeverék, kiinduló hőmérséklete: 20°C. A környezet levegő, hőmérséklete: 20°C. Az alkalmazott elemi cellaméret: 2,74 mm. A cellák száma: 496500 db. Az öntvény dermedésének folyamata az 1. ábrason látható, mely a mellékletben található.

Az öntvény dermedése az öntvény fedlap oldalán lévő két, a síkból kiemelkedő, rögzítő szem geometriákkal kezdődik. Időben ezt az öntvénylemez sarkai és élei követik, majd ezekkel közel azonos időben kezdődik meg a hátlaphoz csatlakozó záró perem dermedése. Az öntvény dermedése a sarkok és az élek mentén folytatódik a lemez középpontja felé. Az utoljára dermedő öntvényrész a lemez középvonalában található.

A vizsgált öntvény hőhalmozódási helye a lemez öntvényrész középvonalában található, az Y irányú középvonali metszeten bemutatva, lásd 6. ábra. A vizsgált öntvény dermedési ideje az Y irányú középvonali metszeten bemutatva látható a 7. ábrán. Skála, $t_{\text{derm}}=0,0-233,8$ s.



6. ábra Hőhalmozódás helye, 3D metszet

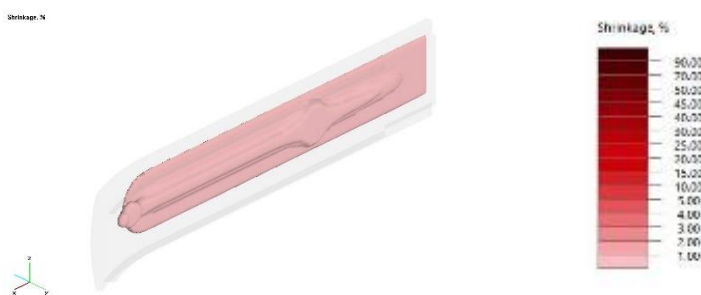


7. ábra A vizsgált öntvény dermedési ideje

A vizsgált dermedési esetben nem alkalmaztunk táplálást, így a kialakuló fogyási üregek a gravitációnak és az öntvény geometriájának megfelelően alakultak ki. A kialakuló fogyási üregek a 8-9. ábrán láthatóak a fedlap és a hátlap irányából átlátszó nézetben. Skála: fogyás, 1,0-90,0%.



8. ábra Kialakuló fogyási üregek
Fedlap oldal, áttetsző nézet



9. ábra Kialakuló fogyási üregek
Hátlap oldal, áttetsző nézet

A zsugorodást megjelenítő ábrákon látható, hogy táplálás hiányában az öntvény geometriája és az öntési helyzete határozza meg a kialakuló fogyási üregek elhelyezkedését. A vizsgálat szerint a lemez öntvényrész fedlap oldala és a lemez falvastagságának belső részében alakulnak ki fogyási üregek.

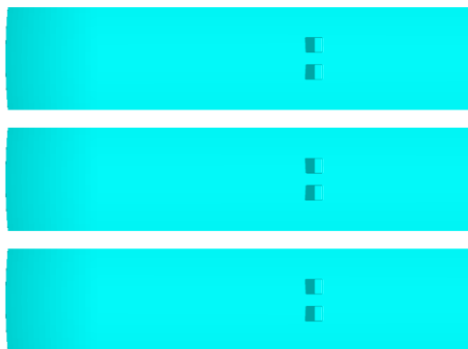
4.4 Az öntvénycsokor tervezésének folyamata

A vizsgált öntvény furángyantas homokkeverékből készült formába kerül leöntésre. A rendelkezésre álló formázástechnológiai módszerek közül azért a furános technológiai került kiválasztásra, mivel ez a fajta formázás kiváló felületi minőséget biztosít, valamint alkalmazása esetén minimális a formában bekövetkező deformáció. Ez utóbbi tulajdonság kulcsfontosságú paraméter a vizsgált szemcseszóró berendezés alkatrészeinél, mivel így biztosítható az alkatrész egyes elemeinek illeszkedése és így megelőzhető a szórótérből a szemcsék kijutása. Az öntvény egy háromfészkés öntvénycsokor elemeként kerül legyártásra. Ennek oka a rendelkezésre álló mintalap- és szekrényméret alkalmazása esetén elérhető gazdaságos kihozatal. Az alkalmazott formaméret ugyanakkor nem akadályozza a formafelek biztonságos mozgatását és összerakását, valamint a forma kézzel történő manipulálását.

A mintalap mérete: 760 x 530 mm

A forma magassága: 280 mm.

A háromfészkés elrendezés oly módon került kialakításra, hogy a mintalapon elég hely legyen a beömlő- és táplálórendszer részére. A 10. ábrán a 3 fészek elrendezése és a mintalap képe látható.



10. ábra Fészekkiosztás és mintalap

Az öntvény tápláló rendszerének tervezése üzemi technológiai tapasztalat és a Foseco cég számítási módszere alapján történt. A táplálási szükséglet meghatározásának kiinduló adata, hogy a vizsgált ötvözet térfogatós zsugorodása 1,7%. Ennek kiszolgálására három darab,

ráültetett pozíciójú exotherm tápfej került elhelyezésre az öntvényen, azok táplálási hatósugarát figyelembe véve. Az öntvény és a tápfejet kitöltő olvadék geometriája a 11. ábrán látható.



11. ábra A tápfejek pozíciója oldal és felülnézetben

Az öntvényen két darab nagyméretű és egy darab kisméretű exotherm tápfej került elhelyezésre, a fenti ábra szerint:

- A gyártási tapasztalatok alapján elmondható, hogy rögzítő szemek környezetében jellemzően szívódás alakul ki. Ennek megfelelően a rögzítő szemektől jobbra egy nagyméretű, míg balra egy kisméretű tápfej került elhelyezésre.
- Az öntvény alsó része, a működés során a legnagyobb mértékű igénybevételt szenved el, tehát ez a rész kopik el a leghamarabb, ezért indokolt oda egy további nagyméretű tápfejet elhelyezni.

A táplálás céljára exotherm tápfejsapkákat alkalmazunk, melyek a Foseco cég Kalminex típusú termékei, melyek a 12. ábrán láthatóak. A tápfejek belső, olvadékkal kitöltött, méretei a 4. táblázatban láthatóak.



12. ábra Foseco Kalminex tápfejsapkák [20]

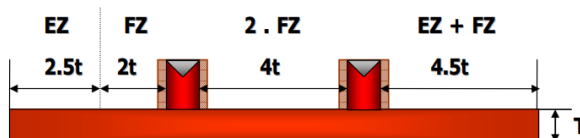
	kisméretű	nagyméretű
típus	Kalminex 4/7	Kalminex 6/9
magasság	70,0 mm	90,0 mm
felső átmérő	31,5 mm	50,5 mm
alsó átmérő	40,0 mm	60,0 mm
tápfejnyak átmérő	20,0 mm	30,0 mm
tápfejnyak magasság	19,0 mm	19,0 mm
modul	1,16 cm	1,65 cm

4. táblázat tápfej méretek

A kiválasztott és pozícionált tápfejeket (fehér kör) grafikailag ráhelyeztük a „Natural Erstarrung” számítás során számított zsugorodásokra, mely az 13. ábrán láthatóak.



13. ábra A számított zsugorodások és az arra grafikusán pozicionált tápfejek helyzete és átmérője



14. ábra Tápfej hatósugár számítás [18]

Az üzemi tapasztalat és a korábbi gyártásból rendelkezésre álló tapasztalat alapján méretezett és elhelyezett tápfejek megfelelősége alátámasztható a „Natural Erstarrung” vizsgálat során kapott eredményekkel. A Foseco által alkalmazott tápfej táplálási hatósugár számítása a 14. ábrán látható. [18]

A szükséges tápfejek száma az alábbi összefüggés szerint számítható:

$$n_f = \frac{L \text{ (mm)}}{d \text{ (mm)} + FD \text{ (mm)} \times T \text{ (mm)}}$$

Ahol, n_f : szükséges tápfejek száma

L: öntvény hossz

d: tápfej átmérő

FD: táplálási hossz faktor (öntöttvas esetén 6,0-10,0)

T: öntvény falvastagsága

A fentiek alapján pozicionált tápfejek alkalmasak az öntvény tömörre táplálására.

Az öntvények három fészkes elrendezésével és a kilenc darab pozicionált tápfejjel előállt az a fémmennyiség (táplálás nélkül 31 kg, tápfejekkel 38 kg), melyet a beömlőrendszeren keresztül kívánunk kontrollált formában bejuttatni a formaüregbe. A beömlőrendszer teljes mértékben a hasonló öntvények gyártása során megszerzett technológiai tapasztalat alapján került kialakításra. A beömlőrendszer elemei:

- beömlő tölcser: magasság: 120,0 mm, átmérő_{min}: 70,0 mm
átmérő_{max}: 100,0 mm
- lefelé szűkülő álló: átmérő_{min}: 30,0 mm, átmérő_{max}: 70,0 mm, magasság: 250,0 mm
- szűrőfészek: magasság: 50,0 mm, szélesség: 50,0 mm
- elosztó csatorna: keresztmetszet: 23,0 x 18,0 mm, hossz: 268,0 mm
- rávágások: 75,0 x 8,0 mm

5. Elvégzett vizsgálatok

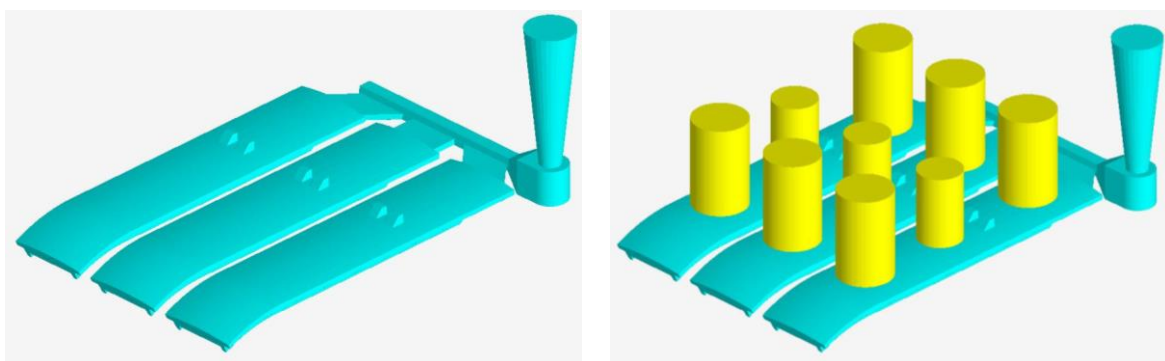
Az öntvény vizsgálata céljából szimulációs, üzemi és laboratóriumi kísérleteket végeztem. Az elvégzendő vizsgálatok kiinduló koncepciója az volt, hogy az önténycsokor kerüljön leöntésre a gyártástechnológiának megfelelően, valamint azonos gyártási körülmények mellett, de tápfejek alkalmazása nélkül. Szimulációval vizsgáltuk a tápfejjel és a tápfej nélkül öntött csokrok formatelési- és dermedési viszonyait, valamint az öntvények kialakuló tulajdonságait. Üzemi körülmények között leöntésre kerültek a tápfejjel és a tápfej nélkül öntött csokrok, majd a tápfejjel öntött csokrok közül a kiválasztott daraboknak megtörtént a vákuumban történő hőkezelése. A laboratóriumi vizsgálatok során vizsgáltuk az öntvények keresztmetszetében a keménységet és kimunkált próbatesteken a kopásállóságot. A kísérleti mátrix az 5. táblázatban látható.

5. táblázat Kísérleti mátrix

Vizsgálat	Tápfejjel öntött		Tápfej nélkül öntött	
	Öntött állapotú	Hőkezelt	Öntött állapotú	Hőkezelt
Szimuláció	X	-	X	-
Öntödei kísérletek	X	X	X	X
Laboratóriumi	X	X	X	X

5.1 Szimulációs vizsgálatok

Szimulációs vizsgálataink során két kísérletet végeztünk, melyek között a fő különbség a táplálás megvalósítása volt: Önténycsokor vizsgálata táplálás nélkül és táplálással. A vizsgált geometriák a 15. ábrán láthatóak.

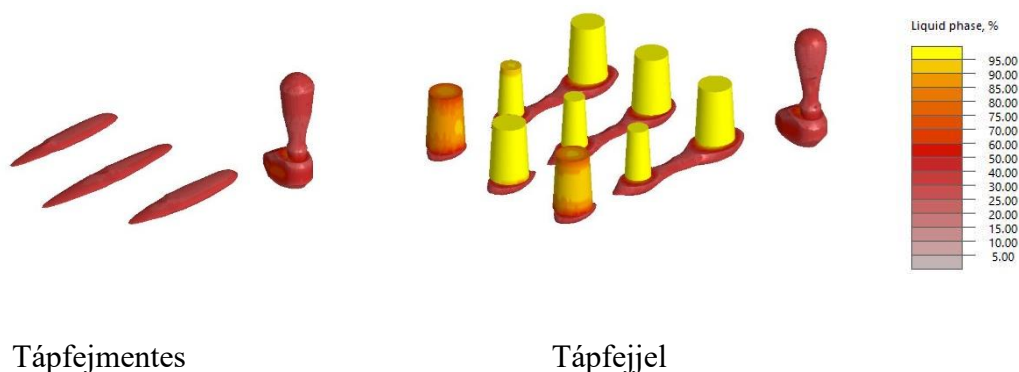


15. ábra Az önténycsokor modellje tápfej nélkül (felül), tápfejjel (bal) és tápfejsapkákkal (jobb)

A szimulációs vizsgálatok kiindulási és peremfeltételei mindkét vizsgálati esetben azonosak voltak:

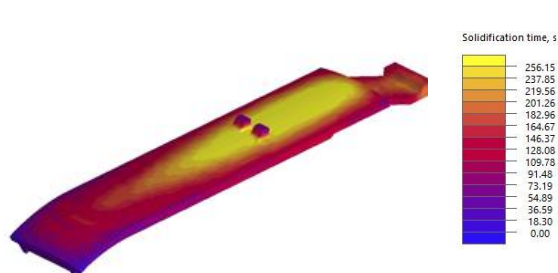
elemi cella mérete:	5,8 mm	
cellák száma:	454.034 db	
forma mérete:	654x475x283 mm	
öntvény anyaga:	high-alloyed CR	1470°C
forma anyaga:	furane sand	20°
tápfesapka:	exothermic	20°C
Formatelés térfogatára:	1,19 kg/s	
Metalosztatikus nyomómagasság:	80 mm	

A formatelési viszonyok elemzése nem képezte vizsgálataink tárgyát, ezért annak eredményeire nem térünk ki részletesen. A formateléssel alapján kijelenthető, hogy a beömlőrendszeren keresztül a formaüreg teljes mértékben, levegőbezáródás nélkül feltölthető. A formatelés végén, mindkét esetben megkezdődött az olvadék dermedése a rávágással szembeni oldalon. Az először dermedő öntvényrészek a rávágástól távoli része az öntvénynek. Az öntvény utoljára dermedő részei az 16. ábrán láthatóak. Folyékony fázis skála: 5-95%.

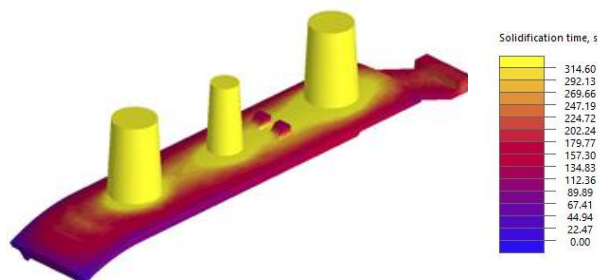


16. ábra Utoljára dermedő öntvényrészek

A tápfementes esetben az utoljára dermedő öntvényrész az öntvények lapjának belsejében található, míg a tápfettel ellátott esetben az utoljára dermedő öntvényrészek a tápfetekhez csatlakoznak. Az öntvények dermedési ideje az állótól legtovábbi fészékben, a 17-18. ábrákon látható. A skála mindkét esetben a dermedési idő, de a skála felosztása nem azonos a két esetben. Tápfementes esetben a legnagyobb dermedési idejű rész az öntvény rávágás és rögzítő szem közötti részén található.



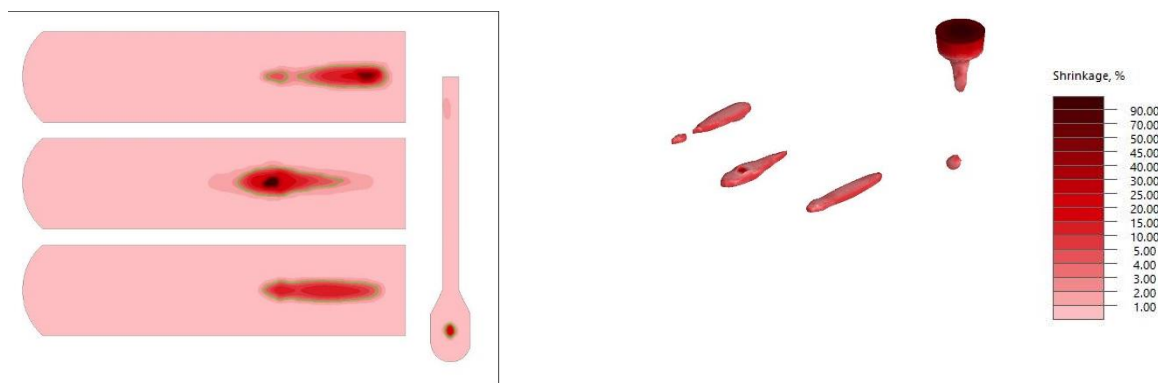
17. ábra Dermedési idő tápfementes esetben
skála: 0-256 s



18. ábra Dermedési idő tápfettel esetén
skála: 0-314 s

Táplálási esetben a legnagyobb dermedési idejű részek a tépfejekhez kapcsolódóan találhatók. A zsugorodási viszonyok vizsgálata alapján megállapítható, hogy a tápfejjel öntött esetben zsugorodás az öntvényben nem alakul ki, az öntvények épek.

Ezzel szemben a tápfej nélküli esetben az öntvények falvastagságának közepén zsugorodási üregek alakulnak ki, az egyes fészkekben eltérő mértékben. A teljes csokorra vetítve a zsugorodás mértéke 2,18%. A kialakuló zsugorodások különböző nézetekben a 19. ábrán láthatók. Zsugorodás skála: 1-90%. A megjelenített zsugorodásokat úgy kell értelmezni, hogy az adott térfogaton belül összesen a skála szerint jelzett mennyiségű anyaghiány fog kialakulni.



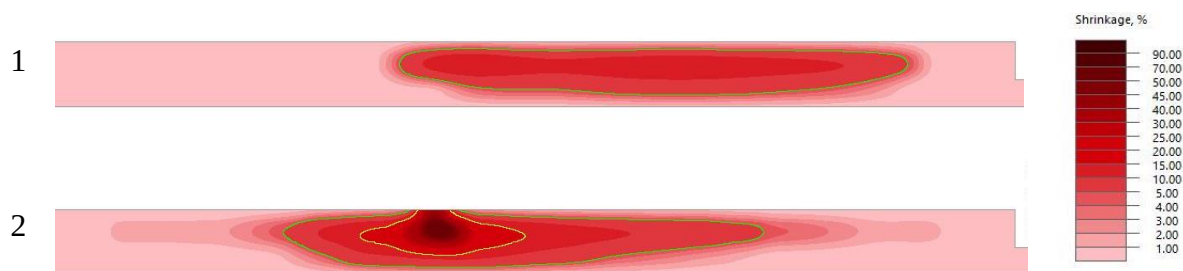
19. ábra Zsugorodások különböző nézetekben

A három öntvény esetén eltérő zsugorodás alakul ki az egyes fészkekben lévő öntvényeknél. Az egyes fészkekben lévő öntvények középvonali metszetén lévő zsugorodások kinagyított képe a 20. ábrán látható. Az 1. fészkek az állóhoz legközelebbi, a 2. fészkek a középső, míg a 3. fészkek az állótól legtávolabb lévő öntvényt jelöli. Zsugorodás skála: 1-30%.



20. ábra Az egyes öntvények középvonali metszetén lévő zsugorodások

Vizsgáljuk meg a legnagyobb (2. fészek) és a legkisebb (1 fészek) mértékben zsugorodott öntvényekben a zsugorodási üregek eloszlását, lásd 21. ábra. Zsugorodás skála: 1-90%.



21. ábra A legkisebb (1. fészek) és a legnagyobb (2. fészek) mértékű zsugorodások

Az 1. fészek esetén az 5%-nál nagyobb zsugorodású részeket körbefogó izometrikus vonallal körbevett terület befoglaló méretei: 148x13 mm. A legnagyobb zsugorodás mértéke: 13%.

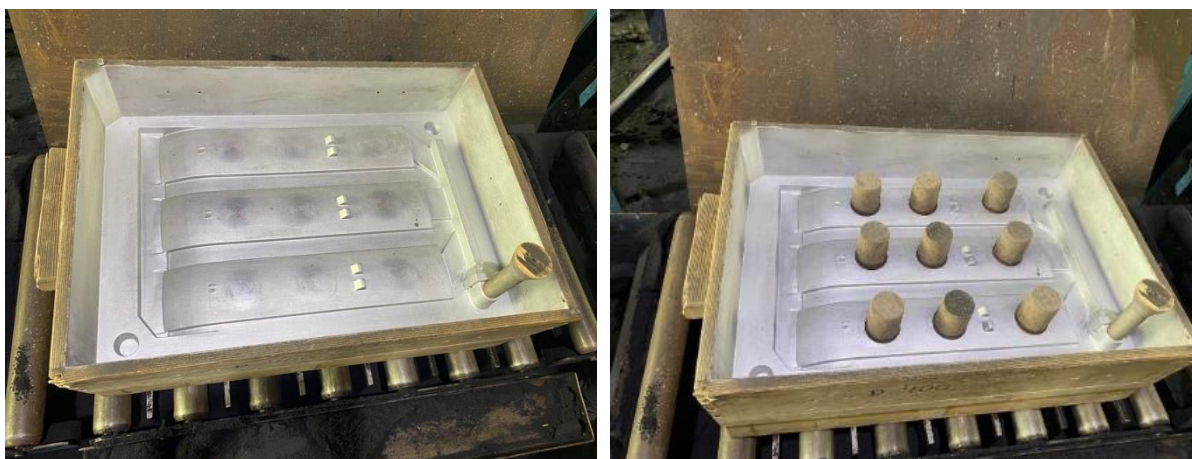
A 2. fészek esetén az 5%-nál nagyobb zsugorodású részeket körbefogó izometrikus vonallal körbevett terület befoglaló méretei: 140x16 m. A legnagyobb zsugorodás mértéke: 56%.

5.2 Öntödei kísérletek

Az elvégzett üzemi kísérletek során az öntvénycsokor két formában került leöntésre:

- 3 db csokor a valós üzemi körülményeknek és paramétereknek megfelelően tápfejekkel,
- 3 db csokor tápfejek nélkül öntve, azonos technológiai paraméterek mellett.

A mintalapok a 22. ábrán kerülnek bemutatásra.



22. ábra Bal: tápfej nélkül öntve, jobb: tápfejjel öntve

Az öntés 250 kg-os buktatható üstből történt. Öntés során ügyeltünk rá, hogy egyenletes legyen az öntési sebesség. A CAD modellek alapján a tápfej nélküli esetben 31 kg, míg a tápfejjel öntött esetben 37 kg volt a csokor tömege a vizsgált anyagminőség esetén. Az olvadék öntési hőmérséklete mindkét esetben 1470°C volt. A forma ürítése az öntés után egy nappal történt.

A tápfej nélküli és a tápfejjel öntött csokrok a 23. ábrán láthatóak.



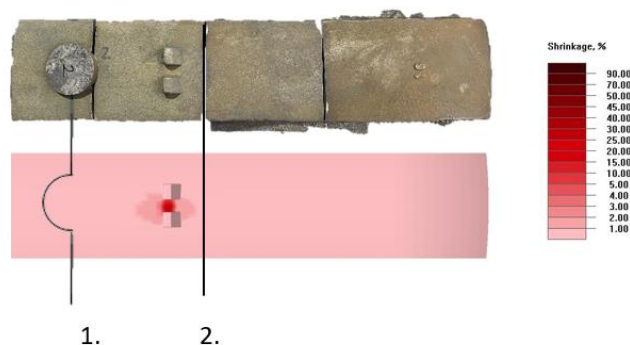
23. ábra Tápfej nélkül és tápfejjel öntött öntvénycsokrok

A vizsgált öntvények fedlapján a két vizsgált esetben jelentős eltérés nem tapasztalható, de az öntvény hátlapján, amely a kopófelület, jelentős méretű zsugorodásból adódó üregeket lehet megfigyelni a tápfej nélküli öntött próbadarabon. Az öntvényhiba a 24. ábrán látható.



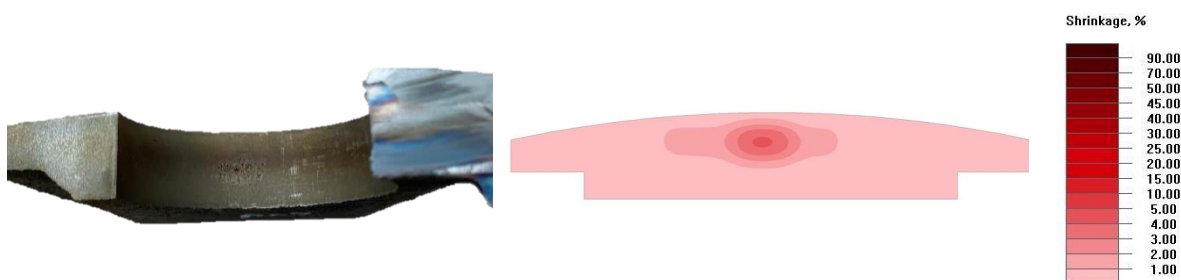
24. ábra Zsugorodási üregek a tápfej mentesen öntött darabon

- 3 db csokor került tápfej mentesen leöntésre, azaz 9 db öntvényt vizsgáltam szemrevételezéssel. Ezek közül 1 db öntvény esetén voltak a felületen is detektálható zsugorodási üregek.
 - 3 db csokor került tápfejjel leöntésre, azaz 9 db öntvényt vizsgáltam szemrevételezéssel. Ezek alapján minden öntvény megfelelt a felület épségének szempontjából.
- 2 db öntvény (egy tápfejjel öntött és egy tápfej nélkül öntött) került szétvágásra, hogy vizsgálhassuk a kialakuló zsugorodási üregeket az öntvény keresztmetszetén. Az egyes metszeteket 1. és 2. metszeteknek neveztük el. Az 1. metszet követi az öntvényből kimunkált kopásállósági próba alakját, míg a 2. metszet az öntvény keresztmetszetére merőleges egyenes mentén került meghatározásra, lásd. 25. ábra.



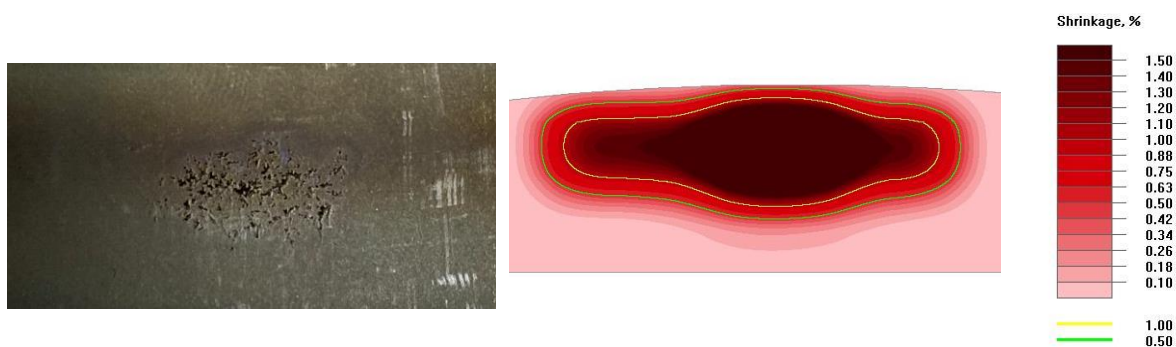
25. ábra Metszetek helyének meghatározása

A tápfejjel öntött kopólap keresztmetszetén nem alakultak ki zsugorodási üregek. A tápfej nélküli öntvény mindkét vizsgált metszetén porozitások detektálhatóak. Az 1. metszet teljes vizsgált keresztmetszete az 25-27. ábrákon látható. Bal oldalon az öntött öntvény, míg jobb oldalon az azonos helyen vizsgált szimulációval létrehozott metszet látható, ahol a zsugorodás skálája 1,0-90,0%.



26. ábra Az 1. metszeten jelentkező zsugorodási üregek (skála: 1-90%)

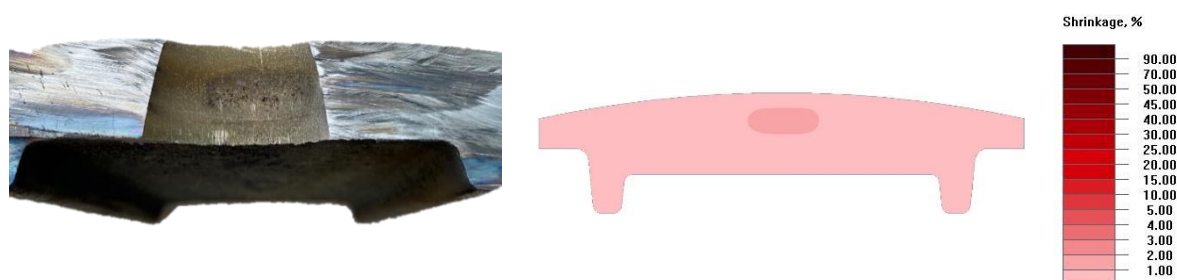
Az 1. metszeten látható, hogy az öntvény középvonalában alakul ki zsugorodási üreg, melynek nagyítása a 27. ábrán látható, ahol a jobb kiértékelhetőség miatt megváltoztattuk a szimulációs képen a skálázást: 0,1-1,5%. A szimulációs ábrán a zöld vonallal határolt részekben belül a zsugorodás értéke nagyobb, mint 0,5%, míg a sárga vonallal határolt részekben belül nagyobb, mint 1,0%.



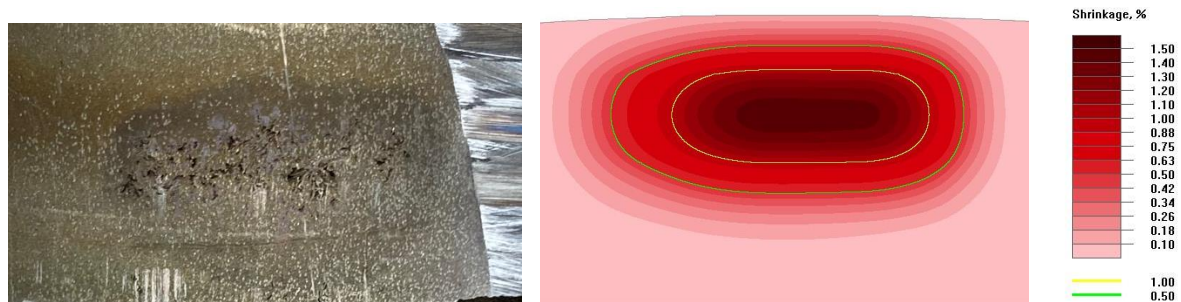
27. ábra Az 1. metszeten jelentkező zsugorodási üregek, zoom (skála: 0,1-1,5%)

Az 26-27. ábrákon bemutatott öntvény- és szimulációs metszetek alapján kijelenthető, hogy a vizsgált helyen, tápfej alkalmazásának hiányában, zsugorodások alakulnak ki, melyek szimuláció segítségével is előre jelezhetőek. A szimulációval számított zsugorodott terület befoglaló mérete: 25,5 x 9,6 mm.

A 2. metszet teljes vizsgált keresztmetszete és a hibahely nagyított képe a 28-29. ábrákon látható. Bal oldalon az öntött öntvény, míg jobb oldalon az azonos helyen vizsgált szimulációval létrehozott metszet látható. A teljes keresztmetszeti képen a zsugorodás skálája 1,0-90,0%, a nagyított ábrán a skála: 0,1-1,5%.



28. ábra A 2. metszeten jelentkező porozitás (zsugorodási skála: 1-90%)



29. ábra A 2. metszeten jelentkező zsugorodási üregek, zoom (skála: 0,1-1,5%)

A 28-29. ábrákon bemutatott öntvény- és szimulációs metszetek alapján kijelenthető, hogy a vizsgált 2. metszeti helyen, tápfej alkalmazásának hiányában kisebb mértékű zsugorodások alakulnak ki, mint a vizsgált 1. helyen. Ezek a szimuláció segítségével is előre jelezhetőek. A szimulációval számított zsugorodott terület befoglaló mérete: 16,8 x 5,9 mm.

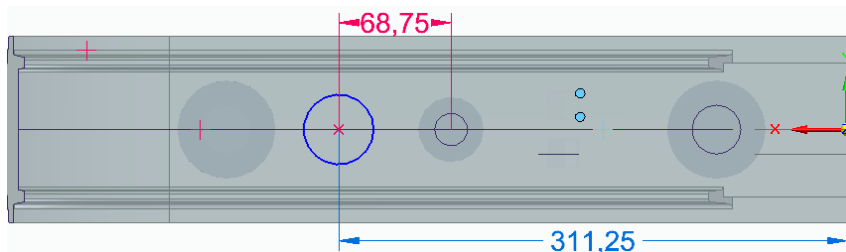
5.3 Laboratóriumi vizsgálatok

A szakirodalmi alapján is kijelenthető, hogy a kopásállóságra, mint anyagtulajdonságra számos faktor van hatással: geometria, metallurgia, gyártástechnológia. Maga a kopásállóság különböző elveken működő módszerekkel mérhető, melyek üzemi körülmények között nehezen kivitelezhetőek. Ebből adódóan, mivel a szakirodalom és a gyakorlati tapasztalatok alapján is kijelenthető, hogy a vizsgált öntöttvasak kopásállósága annál nagyobb, minél

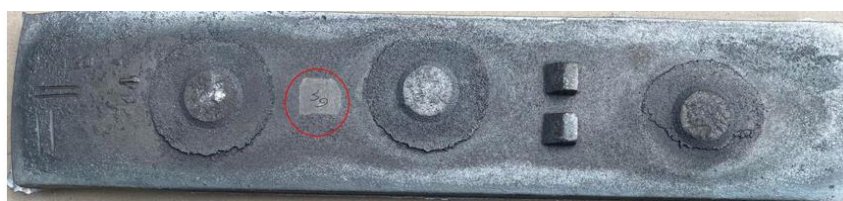
nagyobb az öntvények keménysége, így üzemi körülmények között az öntvények keménységét mérik. [19]

5.3.1 Keménységmérés

A keménységmérés helye és geometriai pozíciója a 30-31. ábrákon látható.

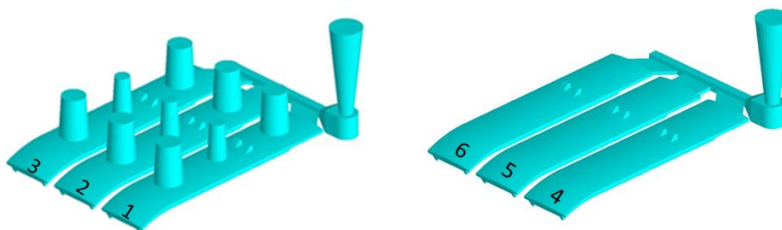


30. ábra Keménységmérés geometriai pozíciója az öntvény hátlapja felől nézve



31. ábra A keménységmérési hely előkészítve a mérésre

Keménységmérést a tápfejjel és tápfej nélkül öntött öntvényeken végeztem hőkezelés előtt és hőkezelés után. Mindegyik variáció esetén (tápfejjel/tápfej nélkül; hőkezelés előtt/hőkezelés után) összesen 9 leöntött öntvényt vizsgáltam. A fészkek számozása a 32. ábrán látható.

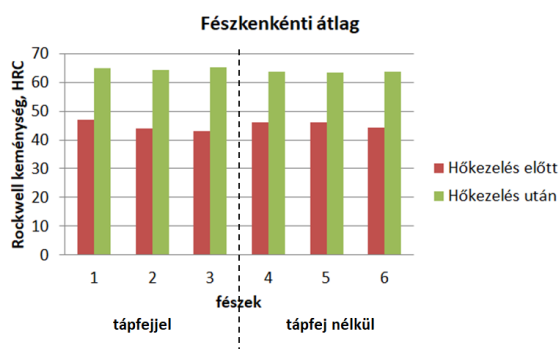


32. ábra Fészkek azonosítása

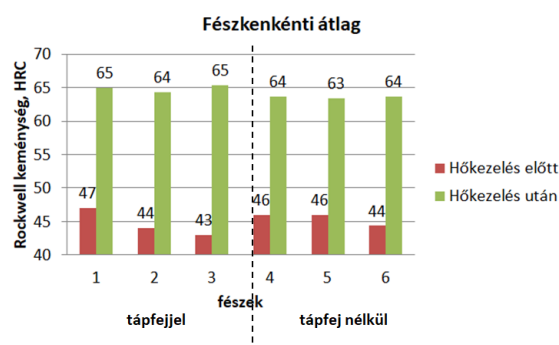
A kísérleti mátrix és a mérés eredményei a 6. táblázatban és az 33-34. ábrákon láthatóak.

6. táblázat Mérési eredmények

		Hőkezelés		Hőkezelés		Hőkezelés	
		Előtt	Után	Előtt	Után	Előtt	Után
	Öntvény	I. csokor		II. csokor		III. csokor	
		HRC		HRC		HRC	
tápfejjel	1.	48	67	48	65	45	63
	2.	44	63	46	64	42	66
	3.	42	64	43	66	44	66
tápfej nélkül	4.	47	63	46	63	45	65
	5.	48	64	43	63	47	63
	6.	48	63	45	63	40	65



33. ábra Rockwell keménység mérési
eredmények (0-70 HRC)



34. ábra Rockwell keménység mérési
eredmények (40-70 HRC)

A keménységmérési adatokból az a következtetés vonható le, hogy az egyes öntvények csokron belüli helyzete (fészek száma) érdemben nem befolyásolja a keménység értékét: HRC_{min} : 42; HRC_{max} : 48. Megállapítható, hogy a táplálás módja (tápfejjel, tápfej nélkül) szintén nincs hatással a keménység értékére.

Ami a keménység értékeket érdemben befolyásolja az az elvégzett hőkezelés, melynek hatására a mért keménység értékei ~19 HRC értékkel növekedtek. A hőkezelés utáni szélső értékek: HRC_{min} : 63; HRC_{max} : 67.

5.3.2 Kopásállóság vizsgálata

A szilárd anyagok súrlódó igénybevételének vizsgálata számos mérési elv alapján történhet. Ezek közül az ún. „pin on disk” rendszerű laboratóriumi tribométerekkel történő mérést alkalmaztuk. [19] A vizsgálat előtt megmértem az öntvényből kimunkált próbatestek keménységét, melyet a 7. táblázatban foglaltam össze.

7. táblázat A próbatestek keménysége

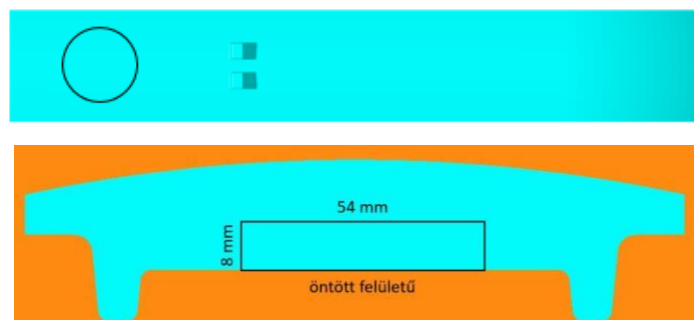
Próbatest hőkezeltisége	Próbatest tápfejezése	Próbatest keménysége (HRC)
hőkezelés nélküli	tápfejjel	49
hőkezelt	tápfej nélkül	65

A próbatestek a 35. ábrán jelzett helyen, vízsugaras vágógéppel kimunkált 54 mm átmérőjű, 8 mm magasságú korongok. Vizsgáltam a kimunkált próbatestek keménységét, melynek eredményei a fenti táblázatban. Mivel korábbi vizsgálataim során a keménységet az öntvény felületén mértem, így a kimunkált próbatesteken lehetőség volt az öntvény belső keménységének meghatározására. A mért belső keménységek összehasonlítása a felülete mért keménységi értékekkel a 8. táblázatban láthatóak.

8. táblázat Öntvény belső részén vs. felületén mért keménységek

Próbatest	Tápfejezés	Belső keménység (HRC)	Felületi keménység (HRC)
hőkezelés nélküli	tápfejjel	49	43-47
hőkezelt	tápfej nélkül	65	63-64

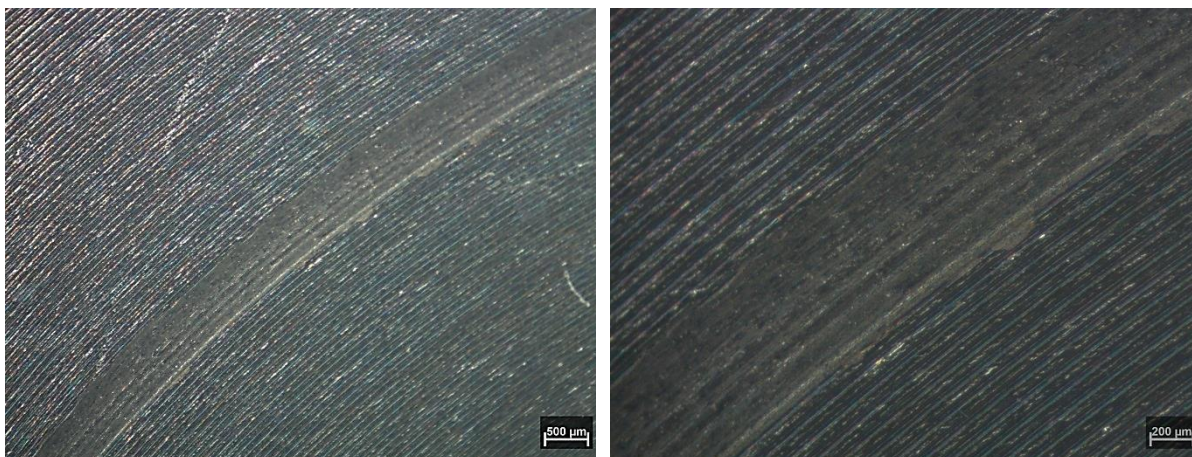
Ezek alapján arra a következtetésre jutottam, hogy az öntvény keménységi tulajdonságai a teljes keresztmetszeten vizsgálva közel azonosak az egyes tápfejezési és hőkezelési esetekben.



35.ábra a kimunkált próbatest fő paraméterei

A koptató vizsgálat előtt a próbatestek előkészítése szükséges. Ennek során a kimunkált próbatest korongok mindkét felületét alkohollal tisztítottuk és az egyes próbatestek tömegét négy tizedes pontossággal lemértük. A kopásállósági vizsgálathoz alumínium-oxidból készült, golyó alakú koptató testet nyomtunk 10 Newton nagyságú normálerővel a korong alakú próbatestre. A próbatestet forgatjuk a fixen elhelyezett koptatótest alatt. A mérés idejét az általunk definiált, a koptatótest által megtett út hossza határozza meg, ami a vizsgált esetben 5000 m volt. A vizsgálat során a koptatótest a próba kopásállóságának függvényében egy kikoptatott nyomot hoz létre, mely a próbatest térfogatából anyageltávozásával jár. A mérés végén a tömeg újbóli mérésével határozható meg a kikoptatott anyag mennyisége.

A mérés során R20-as rádiusz mentén 5000 méter hosszon végeztük a koptatási vizsgálatot. A vizsgálat két szakaszra bontható: első szakaszban 880 fordulatot tett meg a próbatest miközben 10 N erővel történt a koptatótest benyomása, a második szakaszban pedig 39000 fordulatot tett meg a próbatest, miközben 5 N erővel történt a koptatótest benyomása. A két lépcsőben végzett mérés oka a vizsgálóberendezés fordulatszámának mérés közbeni leesése volt. Mivel mindkét próbatestet a fenti módszer szerint, azonos módon vizsgáltuk, így az egyes mérési eredmények összehasonlíthatóak. A hőkezelés nélküli próbatesten lévő kopásnyom képe, Zeiss Stemi 2000-C sztereo mikroszkópi felvételen, a 36. ábrán látható, eltérő nagyítások esetén.

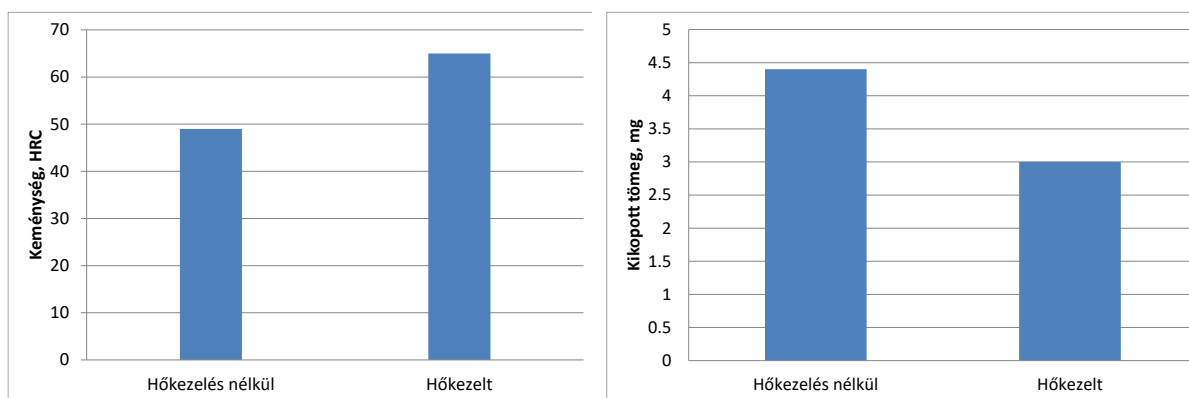


36. ábra Kopásnyom, hőkezelés nélküli próbatest

A vizsgálat eredményei a 9. táblázatban és a 37. ábrán láthatóak láthatók.

9. táblázat A keménységmérés és a koptatóvizsgálat eredményei

Hőkezelés	hőkezelés nélküli	hőkezelt
Tápfejezés	tápfejjel	tápfej nélkül
Keménység [HRC]	49	65
Koptatás előtti tömeg [g]	134,3638	127,9897
Koptatás utáni tömeg [g]	134,3594	127,9867
Koptatás során eltávozott tömeg [mg]	4,4	3,0



37. ábra Keménységmérés és koptatóvizsgálat eredményei

Az elvégzett keménységmérések alapján megállapítható, hogy a hőkezelés hatására a keménységnövekedés mértéke 32,6% volt. A kopásállósági vizsgálatok alapján a próbadarab kopásállósága jellemezhető a koptatás során eltávozott tömeggel. A mérések alapján megállapítható, hogy a hőkezelés nélküli próbadarab esetén az eltávozott anyag mennyisége 4,4 mg, míg a hőkezelt darab esetén az eltávozott anyag mennyisége 3,0 mg, ami 31,82%-os csökkenést jelent.

Az elvégzett keménységmérés és a kopásállósági vizsgálatok alapján kijelenthető, hogy a vizsgált esetben a keménység mérés alkalmas a kopásállóság jellemzésére, mivel a két vizsgálat esetén a mért keménységi és kopásállósági értékek jó korrelációt mutattak ($R^2=1$).

Összefoglalás

A szakirodalmi összefoglalóban bemutattam az öntöttvasak kristályosodását, fő ötvözőit és típusait. Összefoglaltam a kopásálló öntöttvasak fő típusait és azok jellemzőit, és ismertettem a magas krómtartalmú kopásálló öntöttvasak gyártástechnológiáját.

Vizsgálataim során bemutattam a kopásálló öntöttvasak üzemi gyártástechnológiáját egy kiválasztott öntvény esetén. A vizsgált öntvény egy kopólemez alkatrész, melynek elemeztem a geometriai kialakítását és szimulációval vizsgáltam dermedési viszonyait.

A vizsgált esetben elvégeztem a táplálórendszer méretezését. A táplálás megfelelőségét szimulációs eszközökkel és öntödei kísérletekkel vizsgáltam. A tápláló rendszer méreteit és kialakítását azzal a közelítéssel is kívántam vizsgálni, hogy az öntvényből öntöttem táplálás nélküli darabokat is. Vizsgáltam a különböző peremfeltételekkel legyártott öntvények tulajdonságait tápfejjel és tápfej nélkül öntött-, hőkezelés nélküli és hőkezelt öntvények esetén. Méretellenőrzést és keménységvizsgálatot végeztem, meghatároztam a zsugorodási üregek pozícióját, eloszlását és méretét, valamint vizsgáltam az öntvényből kimunkált próbatestek kopásállóságát és keménységét.

Az elvégzett vizsgálatok alapján megállapítható, hogy az anyagtulajdonságok és peremfeltételek megfelelően definiált értékei esetén a szimulációs eljárás alkalmas a kopásálló öntvények zsugorodási viszonyainak előrejelzésére.

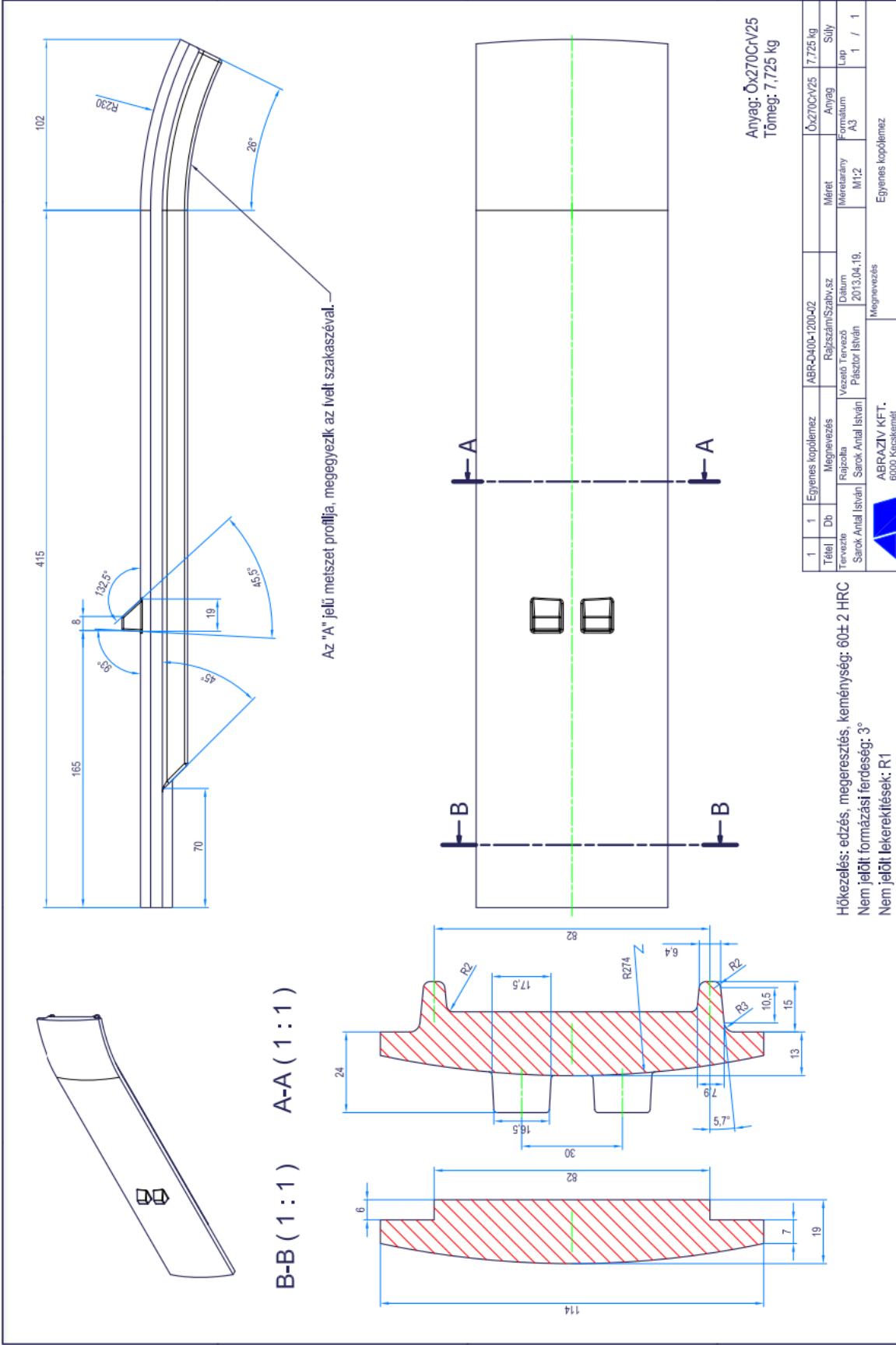
A kopásállóság és a keménység méréseivel igazoltam, hogy a vizsgált peremfeltételek mellett a keménységmérés alkalmas a kopásállóság jellemzésére.

A vizsgált öntvény a bemutatott technológiával gyártva, azaz tápfejjel öntve és hőkezelve, teljesíti az előírt követelményeket.

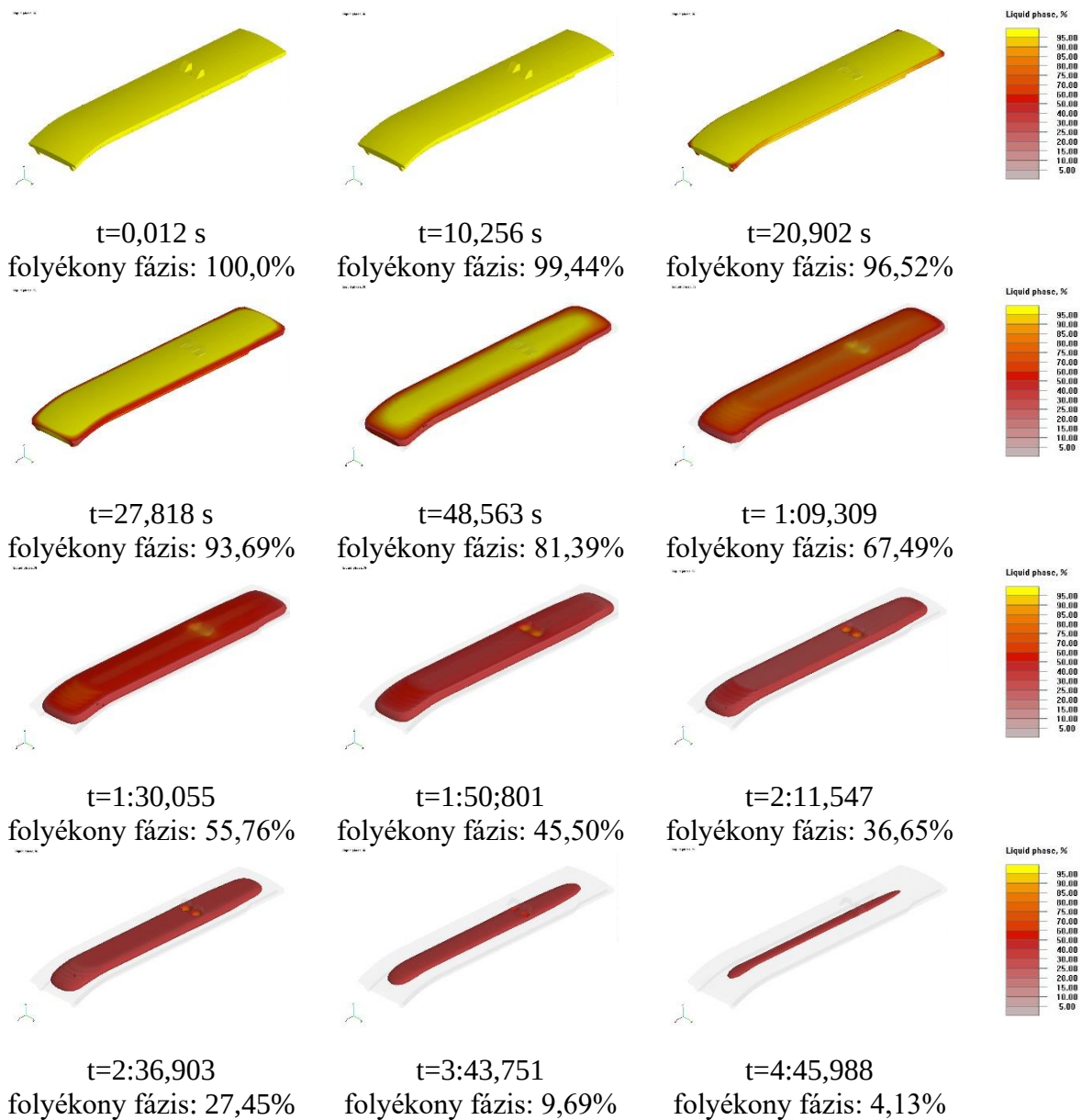
Felhasznált irodalmak

- [1] Dr. Varga Ferenc: Öntészeti Kézikönyv, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1985
- [2] Dr. Verő József et al.: A vasötvözetek tana, Tankönyvkiadó, Budapest 1969
- [3] N.G.Girsovics: Vasöntészet, Franklin nyomda, Budapest 1952
- [4] Verő József: Vasötvözetek Fémtana, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1980
- [5] Verő József et al.: Fémtan, Nemzeti Tankönyvkiadó, Budapest, 1996.
- [6] Dr. Dúl Jenő: Vas-és acélöntés, Oktatási segédlet, 2008
- [7] Dr. Faragó Elza et al.: Az öntöttvas olvasztása villamos kemencében, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1987
- [8] Kathy L.Hayrynen: ADI: Another avenue for Ductile Iron foundries, Modern Casting 1998/10
- [9] Dr. Faragó Elza: Nagyszilárdságú öntöttvasak, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1985
- [10] Vas és acélöntés, egyetemi előadás jegyzet, 2020
- [11] Casting Design and Performance, ASM International, Ohio, 2009
- [12] Document Center Inc., DIN-1695 szabvány
<https://www.document-center.com/standards/show/DIN-1695>
- [13] Total Materia Database, High-Alloy White Irons, Dec. 2002
<https://www.totalmateria.com/page.aspx?ID=CheckArticle&site=kts&LN=PL&NM=92>
- [14] Matmatch Materials Search Platform, EN 12513 szabvány
<https://matmatch.com/materials/minfm64857-en-12513-grade-gjn-hv600-xcr11>
- [15] Felner Sándor: Vasöntödék olvasztó berendezése, Műszaki Könyvkiadó, Budapest, 1974
- [16] Abrasion-Resistant Cast Iron Handbook, American Foundry Society, Illinois, 2000
- [17] Tóth Levente: Öntödei gépek és berendezések, Tankönyvkiadó, Budapest, 1989
- [18] Rajesh M. Naik: Feeding Systems for Steel and Iron Castings, Foseco, 2009
- [19] Dr. Czél György, Kollár Mariann: Anyagvizsgálati praktikum, SUNPLANT Kft. 2008

Mellékletek



melléklet 1. ábra Az öntvény műszaki rajza



1. ábrásor Az öntvény dermedésének folyamata, folyékony fázis skála: 5-95%