

## Mérési módszer a fröccsöntés során fellépő gázképződés mechanizmusának vizsgálatára és a gázképződéssel kapcsolatos hibák kiküszöbölése

A cikk a fröccsöntő szerszámokban kialakuló lerakódások okaival és a folyamat vizsgálatával foglalkozik. Az ismertetett módszer közvetlenül a műanyag-feldolgozás körülményei között keletkező illékony komponenseket vizsgálja, de alkalmas a lerakódások letisztításához használt technológiák minősítésére is. Foglalkozunk egyéb, a szerszámokban rekedt gázok által okozott hibák kiküszöbölésével is.

*Tárgyszavak: fröccsöntés, gázképződés, pirolízis, lerakódás, öntési hibák*

### 1. A pirolízisgázok okozta szerszámlerakódás és annak vizsgálata

A feldolgozóipari környezet drámai változásával a kiváló minőségű és nagy teljesítményű alapanyagokkal szemben támasztott követelmények elkerülhetetlenül nőnek. Meg kell felelni az autóipar által támasztott újabb követelményeknek, mint pl. az elektromos autók és az automatizálási kívánalmainak, valamint támogatni tudják a méret- és súlycsökkentési törekvéseket.

Az egyre szigorúbb követelményeknek való megfelelés érdekében a műanyag alapanyagoknak még magasabb teljesítményszintet kell elérniük. Új funkciókat adhatunk az alapanyagoknak azáltal, hogy különféle alappolimerekből több komponensből álló ún. kompaundokat és speciális adalékanyagokkal újabb alapanyagokat hozunk létre, miközben egyre nagyobb teljesítmény elérésére törekszünk, mindamelllett a magas hőmérsékletű és a nagy feldolgozási sebességű követelményeknek is eleget kell tenniük.

A magas hőmérséklet, a nagy sebesség, nagy nyírás – feldolgozási körülmények között a műanyag komponensei károsodhatnak, emiatt akár nagy mennyiségben gáz halmazállapotú bomlástermékek szabadulhatnak fel. Nem ritkán ezek a felszabaduló gázok súlyosan befolyásolják a fröccsöntött végtermék minőségét.

A fröccsöntés során tapasztalható lerakódások, beégések, a nagy sebességű fröccsöntés során keletkező pirolízisgázok okozhatnak minőségi problémát, beleértve olyan nemkívánatos hatásokat is, mint például a termékek méretpontossági és megjelenési/küllem problémái.

A kiváló minőségű fröccsöntött termék gyártásának feltétele, hogy a szerszám szellőztető gázvezető csatornákat gyakorta ellenőrizni kell az 1. ábrán látható módon. Sok esetben az ebből eredő



1. ábra. Hibaelemző körfolyamat, példa a termelési költségek növekedésére.

karbantartási költségek a gyártási költségek növekedéséhez vezetnek, ami a versenyképesség elvesztéséért is felelős lehet.

A fröccsöntéshez használt műanyagok alapanyagok elkerülhetetlenül gáznemű bomlástermékeket bocsátanak ki magas feldolgozási hőmérsékleten. Azonban még mindig nem tudtuk, hogy milyen mechanizmus okozza ezeknek a pirolízis gázoknak a képződését. Ennek az az oka, hogy a jelenség a szerszám belsejében történik, ami lényegében egy fekete doboz. Mivel a mechanizmus nem világos, a megfelelő mérési módszert kidolgozása nagy kihívást jelent.

Ennek megoldására saját szabadalmaztatott módszert fejlesztett ki a **Polyplastics** cég, amely detektálja és értékeli a fröccsöntés során keletkező gázokat. A mérési technikát elnevezték Gas Investigation Method in Injection Molding (GIMIM – gázvizsgálat fröccsöntés során). Ezzel a módszerrel képesek voltak feltérképezni a pirolízis gázok képződésének mechanizmusát.

## Háttér

### Szerszámlerakódások előfordulása

A szerszámlerakódás egy általánosan használt kifejezés a fröccsöntés során a szerszámforma felületeire, réseibe kitapadt lerakódás leírására. Szerszámlerakódások leggyakoribb okait az 1. táblázatban gyűjtöttük össze.

1. táblázat.  
A szerszámlerakódás forrásai

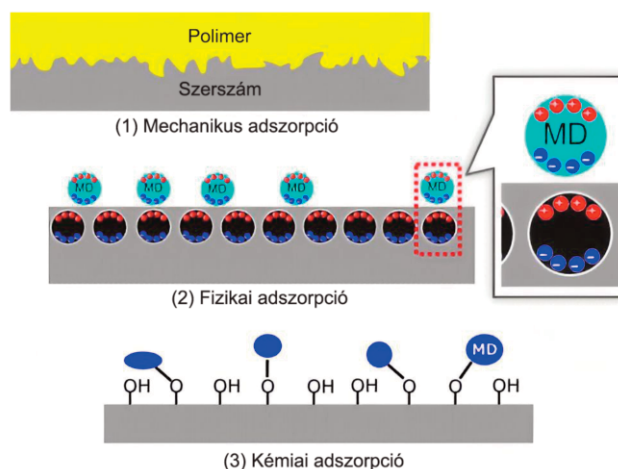
Granulátumból származó pirolízis termékek	Granulátumból származó anyagok „lerakódása”	Nem granulátumból származó forrás
<ul style="list-style-type: none"> <li>• oligomerek</li> <li>• monomerek</li> <li>• elasztomerek</li> <li>• adalékok</li> <li>• színezékek</li> <li>• stabilizátorok</li> <li>• formaleválasztók</li> <li>• csúsztatók</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• stabilizátorok</li> <li>• formaleválasztók</li> <li>• csúsztatók</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• szerszám felületkezelő vegyszerek</li> <li>• feldolgozásségítő olaj</li> <li>• egyéb olajok</li> <li>• korróziós inhibitorok</li> <li>• rétegszétválasztó anyagok</li> <li>• egyéb kirakódott anyagok a szerszámszellőzés nem megfelelő volta miatt</li> </ul>

A megömlesztett polimerek pirolízise mellett a szerszámlerakódás okozhat a rétegződést és rétegléválást, de nem ritkán találkozunk szerszámlerakódást egyéb okokból is.

A szerszámlerakódás kialakulásának lehetséges mechanizmusait a 2. ábra szemlélteti.

### Fizikai adszorpció

A szerszámlerakódások a Van der Waals-féle erők hatására alakulnak ki a fröccs-szerszám fémfelületeinek és a keletkező



2. ábra. Az ömledék mechanikai adszorpciója (1), szerszámlerakódások fizikai adszorpció következtében (2) és a kémiai adszorpció következtében (3). Az MD a „mold deposit” – szerszámlerakódás rövidítése.

részecskék kölcsönös polarizációja miatt. Ezt tartják a szerszámlerakódások legalapvetőbb kiváltó okának.

### *Kémiai adszorpció*

Ez akkor jön létre, amikor a nemkötő elektronpárok megoszlanak a felületi rétegek (fém és az ömledék) molekulái (atomjai) között, mellyel kovalens kötések, vagy hidrogén-híd kötések hoznak létre. A kémiai adszorpció könnyebben létre tud jönni a fizikailag már adszorbeált rétegből.

## **A jelenlegi kiértékelési módszerek, kihívások**

Számos analitikai módszer létezik a kirakódás okainak vizsgálatára, amelyet a fröccsöntés során keletkező pirolízis gázok okoznak. Ezek egyrészt olyan módszerek, amelyekkel a műanyag alapanyagot (általában granulátumot) felmelegítik, majd meghatározzák a keletkezett bomlási gázok mennyiségét és összetételét (a továbbiakban: granulátum alapú módszerek), másrészt olyanok, amelyek valójában elvégzik a fröccsöntés folyamatát és ennek során elemzik a keletkező illékony komponenseket, amelyek a szerszámhoz tapadhatnak (az utóbbiakat itt szerszámalapú módszereknek nevezzük).

A granulátum alapú módszerek lényege, hogy a polimerek termikus bomlása során keletkező gázokat egy kromatográfiás szétválasztó oszlopra küldik, majd a keletkezett pirolízis gázokat az oszlop állófázisához fűződő affinitásuk sorrendjében „szétválogatja”. Az így szétválogatott molekulákat a detektorba küldik, ahol a mennyiségük és minőségük meghatározására kerül. Általában tömegspektrométer detektorral ellátott gázkromatográfokat (GC/MS) használnak, de lángionizációs detektorok is használhatók kifinomult elemzésekhez. Annak ellenére, hogy a kromatográfiás analitikai módszer nagy érzékenységgel rendelkezik, a koncepció jelentős mértékben eltér a tényleges műanyag-feldolgozás során létrejövő körülményektől (hőmérséklet, levegő atmoszféra, ömledéknyírás), mivel nem tükrözi a fröccsöntő gépben kialakult körülményeket, illetve a granulátum termikus bomlása is inert gáz atmoszférában történik.

Ezzel szemben a szerszámalapú módszerek a szerszámformára kitapadt tényleges lerakódásokat okozó forrást vizsgálják, így ezek a módszerek közel állnak a tényleges feldolgozási körülményekhez. Ezek a módszerek ezért széles körben használatosak, mint például a szerszámlerakódás tömegének mérése. Ez a módszer tényleges feldolgozást végez és meghatározza a lerakódott degradálódott anyagok tömegét és megjelenését. Azonban a szerszámalapú módszerek sok esetben szintén nem egyeznek a tényleges eredményekkel, mivel ezek a módszerek nagymértékben függenek a körülményektől, beleértve magát a feldolgozógépet is és a szerszámformát is.

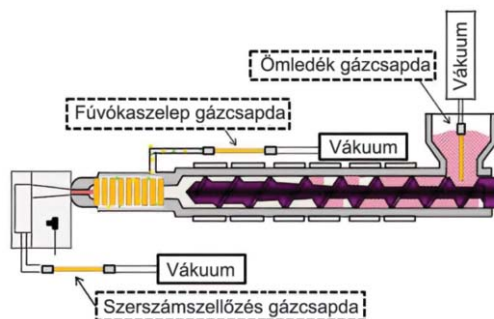
A Polyplastics-nál a gáz- és szerszámlerakódásokkal kapcsolatos problematikát mérnöki úton közelítették meg, az anyagok teljesítményét a fentebb említett analitikai és szerszámalapú módszerek kombinálásával valósították meg. A polimer alapanyagokról és a fröccsöntésről összegyűjtött tudásukat hasznosítva technológiák széles skáláját javasolják a szerszámkarbantartási ciklusokhoz és a gáz problémák meghatározására. Néha azonban nehezen megmagyarázható esetekkel is találkozhatnak. Ez főleg azért van, mert a fröccsöntés során a gázképződésben szerepet játszó mechanizmusok még nem ismertek kellőképpen.

Egy innovatív értékelési módszer segítségével sikerült korrelációt találni a fröccsöntési folyamat során képződő pirolízisgázok, az alapanyagok, a fröccsgépek, a fröccsformák, valamint a gázok és a szerszámlerakódás problematikája között, melyeket korábban nehéz volt összekapcsolni.

Most már meg tudják magyarázni a mechanizmust és javasolni tudnak mérési módszert ennek kezelésére.

### A fröccsöntés során végzett gázvizsgálati módszer leírása

A GIMIM egy hibrid, szerszámalapú elemző módszer, amelyhez gázkromatográfiás analitikai módszer kapcsolódik. A Polyplastics által szabadalmaztatott módszer „csapdázza” a fröccsöntő gép különböző pontjain keletkező gázokat, majd a GC/MS (gázkromatográfia/tömegspektroszkópia) analitikai technikát használva meghatározza a keletkezett gázok minőségi és mennyiségi összetételét, azonosítja a keletkezett gázok forrásait. Az elemző módszert a 3. ábra szemlélteti.



3. ábra. GIMIM módszer sematikus ábrája.

A rendszerkonfiguráció a feldolgozás három szakaszára terjed ki: az adagolásra, a befecskendezésre, és a szerszámkitöltésre. Minden rész külön gázcsapdával van felszerelve, hogy el lehessen különíteni egymástól a folyamat egyes részeiben keletkezett gázokat.

A céltól függően körülbelül 1–10 fröccsöntési ciklust hajtanak végre a tényleges fröccs-szerszámmal és GC/MS technikát használnak a keletkező gázok elemzéséhez.

Amikor egyszerűen csak granulátumokat pirolizálunk és elemzünk Py-GC/MS (pirolízis GC/MS) alkalmazásával, a keletkező illékony összetevők összetétele és relatív koncentrációjuk is különbözik, hiszen maga a polimer nem ugyanazon a hőtörténeti előéleten ment keresztül, mint ami a tényleges fröccsöntés során éri a polimer molekulákat. A granulátumok mérése inert gáz atmoszférában történik, oxigén kizárásával, ami azt jelenti, hogy teljesen más kémiai reakciók játszódnak le, mint ami a feldolgozás esetén éri a polimer molekulákat. Ezzel szemben a GIMIM a tényleges feldolgozási körülményeket biztosítja. A 2. táblázat összehasonlítja a két módszert. A GIMIM segítségével meg lehet mérni azokat a nagy molekulatömegű anyagokat is, amelyek szerszámleakódásért a leginkább felelősek.

A GIMIM egy nagy pontosságú elemzési módszer, amely közel áll a tényleges valós feldolgozási folyamatokhoz és rendelkezik a nagy pontosságú analitikai módszerek által kínált előnyökkel.

2. táblázat.

Az aktuális feldolgozási körülmények között végzett gázvizsgálat (GIMIM) és a pirolízis gázkromatográfia/tömegspektrometria (Py-GC/MS) összehasonlítása

	GIMIM	Py-GC/MS
<b>Környezet</b>	<b>Levegő</b>	<b>Hélium</b>
Hőtörténet	Komplex, kompaundálási hőmérséklet profil, frikciós hő, fűtőtestek által közölt kontakthő, stb.	A pirolízis GC által meghatározott, egyszerű hőmérséklet profil
Kapott eredmény	Főleg nagy molekulatömegű illó komponensek	Főleg kis molekulatömegű illó komponensek

### Az elemző módszer leírása

- Kis molekulatömegű összetevők (alacsony forráspontú komponensek). A feldolgozás hőmérsékletén gáz halmazállapotú, könnyen emittálható összetevők. A GC/MS inkább a kis retenciós idejű komponenseket detektálja. Ezek a kis móltömegű frakciók nem nagyon okoznak szerszámlerakodást.
- Nagy molekulatömegű összetevők (magas forráspontú komponensek). Ezek a komponensek a feldolgozás hőmérsékletén inkább folyékonyak vagy szilárd halmazállapotúak lehetnek. A GC/MS nagyobb retenciós idejű komponenseket detektálja. Ezek a nagy móltömegű frakciók okozzák inkább szerszámlerakodást.

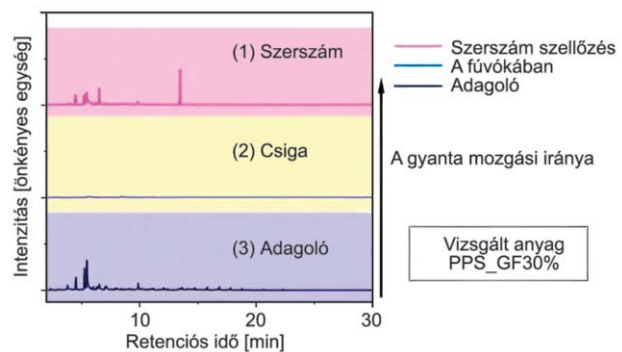
### A gázképződés folyamata a feldolgozás során

A keletkezett gázokat a granulátum adagolónál (3), a megömlesztési zóna végén (2) és a fröccsszerszámban (1) is csapdázzák. Az kromatogramokat a 4. ábrán láthatjuk.

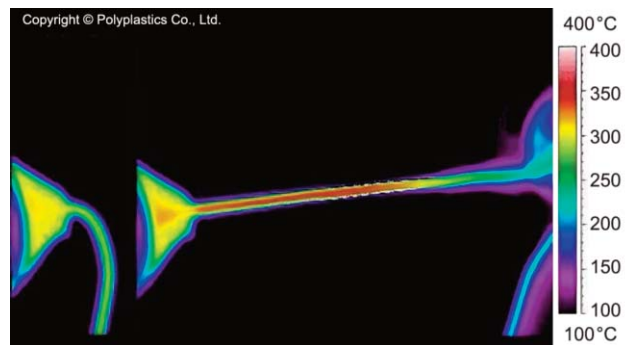
Az extruder betöltő pontján (3) vett mintából és a fröccsszerszámnál (1) sok csúcsot kaphatunk, míg a megömlesztési zónánál (2) kevés csúcs detektálható. Nagy mennyiségű gáz keletkezik a megömlesztési és fröccsöntési zónában, ahol a polimert nagy frikciós hőhatás éri levegő jelenlétében. Mivel az oxigénnel való érintkezés a megömlesztés során minimális, ezért gázképződés csak néhány fröccsöntési ciklus után detektálható. Valószínűsítjük, hogy a polimer megömlése során keletkező gázok a garat oldaláról távoznak és ezek a gázok az injektálás során képződnek.

Termográfia segítségével megfigyeltük a fűvókából kijövő ömlény hőmérsékletét és megerősítésre került, hogy a befecskendezési sebességtől függ a kialakult ömlédékhőmérséklet (5. ábra). Az ábra bal oldalán az ömlény hőtérképét láthatjuk, amikor azt a szabadba engedik, a jobb oldalon pedig a fröccsszerszámba való injektálást. Látható, hogy a fröccsöntés során az ömlény felforrósodik.

A 3. táblázat mutatja az ömlédékhőmérsékleteket különböző fröccsöntési körülmények között. A körülményektől függően látható, hogy a 100 °C-kal magasabb ömlény hőmérséklet is kialakulhat a fröccsöntés során, ahhoz képest mintha az ömlényt egyszerűen a szabadba extrudálnánk. Ez is azt bizonyítja, hogy az ömlédék hőmérsékletéért elsősorban az ömlédék nyírása során keletkezett frikciós hő felelős.



4. ábra. Mérési eredmények a fröccsöntési folyamat különböző pontjain.



5. ábra. Az ömlédék hőtérképe, bal oldal: szabadba engedve; jobb oldal: fröccsöntés során.

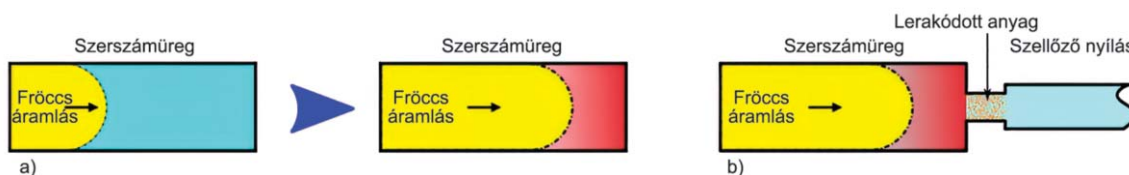
3. táblázat.  
Az ömledék hőmérséklet és fröccssebesség összefüggései

Anyag	Henger hőmérséklet [°C]	Fröccssebesség [mm/min]	Mért ömledékhőmérséklet [°C]		
			Szabadba engedve	Fröccsöntésnél	Hőmérséklet változás
GF 30% PPS	300	30	280	321	41
		100		363	83
	340	30	305	345	40
		100		382	77
		100		423	118
		200			

## 2. A fröccsöntött termékek felületén kialakuló gázbeégés mechanizmusa

### Pirolízis gázok okozta problémák

A gázbeégést az adiabatikus kompresszió okozza, amikor a műanyag alapanyag gáz halmazállapotú bomlástermékeket bocsájt ki és azok csapdába kerülnek a fröccsszerszámban. Normál esetben a szerszámban vannak kigázosító csatornák és a keletkező gázok el tudnak távozni, ezért nem történik gázbeégés, ha azonban a szerszámot folyamatosan használjuk, ezek a gázelvezető csatornák eltömődhetnek és az adiabatikus kompresszió hasonló beégést okoz amint az a 6. ábrán látható.



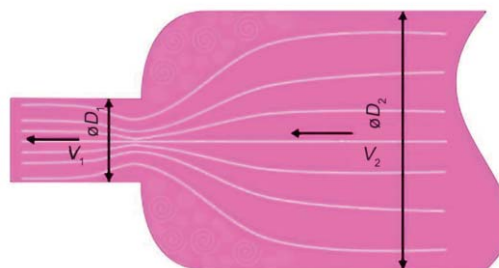
6. ábra. a) A gázbeégés a becsapdázott levegő és gáz miatt. b) A gázbeégés az eltömődött szellőztető rendszer miatt.

## A fröccsöntés során keletkező energiavesztésből származó gáz

Pontosan nem tudjuk meghatározni, hogy mi okozza a fröccsszerszám kigázosító csatornáinak eldugulását, vagyis a gyökérok ismeretlen maradt és nagyon nehéz reprodukálni a jelenséget.

Jelentős mértékű ömledék-összenyomódás nem csak a fúvóka belépő pontjánál figyelhető meg, hanem a fröccstermék fröccsöntési pontjainál is.

Ez az alak által kiváltott energiavesztés általában arányos az ömledék áramlási sebességének négyzetével, tehát minél gyorsabb a befecskendezési sebesség, annál nagyobb az energiavesztés, amely hővé alakul, és végső soron nagy mennyiségű pirolízisgáz képződéséhez vezethet. Ebből arra következtethetünk, hogy csökkenteni kell az áramlási sebességet és megfelelő formájú belépő



7. ábra. Az ömledék drasztikus összetömörödése a fröccsöntőgép fúvókájánál.

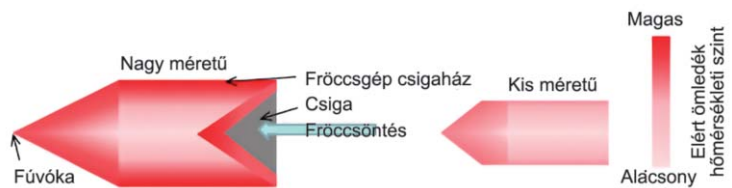
pontokat és fúvókákat kell használnia az energiaveszteség, a fröccsöntés során képződött gázok minimalizálása érdekében.

A következő módszerekkel lehet az áramlási sebességet csökkenteni:

- 1.) A fröccsöntési sebesség csökkentése.
- 2.) Többlépcsős belépési pontok alkalmazása.
- 3.) Többlépcsős szerszámbelépési pontok használata.
- 4.) Nagyobb átmérőjű fúvóka használata (nagyobb  $D_1$  alkalmazása a 7. ábrán).

## Egyenetlen hőeloszlás a fröccsöntőgép hengerében

A műanyagok megömlesztésére jellemzően nyírási (súrlódási) hőt és a csigaház fűtőtestei által szolgáltatott hőközlést alkalmazunk. A megolvadt anyag folyamatosan hőhatásnak van kitéve a fűtőzónától egészen a befecskendezési pontig. A 8. ábra a hengerben lévő ömledékhőmérsékleti szintek sematikus diagramját mutatja. A fűtőzónák az ömledék külső oldalával érintkeznek, onnan a hő a belsőbb rétegekbe a hővezetéssel jut el, így érthető, hogy jelentős hőmérsékletkülönbség alakulhat ki az ömledék külső és belső rétegei között.

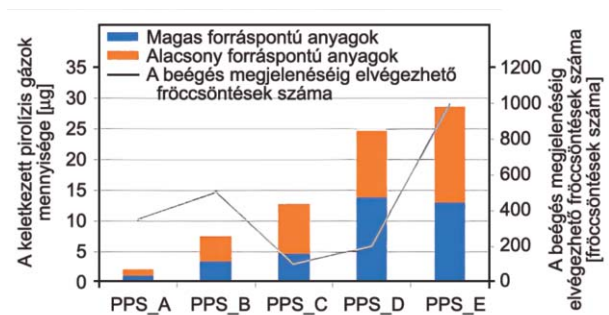


8. ábra. Különböző hőmérsékletű ömledékrétegek kialakulása a fröccs csigaházban.

Minél nagyobb fröccs csigaház átmérője, annál nagyobb lesz a hőmérsékletkülönbség az ömledék külső és belső rétegei között. Idővel a csigaház falán álló, stagnáló ömledék rétegben a polimer termikus bomlása (pirolízis) megindul. A következő intézkedésekkel azonban megelőzhetők ezek a problémák.

## A gázbeégést és a szerszám szellőzőnyílásának eldugulását okozó tényezők

A GIMIM által mért különféle gáz halmazállapotú anyagok közül a magas forráspontú molekulák inkább hozzátapadnak a szerszámhoz, mint hogy kiürüljenek. Ezzel szemben az alacsony forráspontú anyagok nagy valószínűséggel a szellőző portokon eltávoznak. Az alábbi teszteredményekből azonban megállapíthatjuk, hogy nincsen lineáris összefüggés a szellőzőnyílások eltömődését okozó szerszám lerakódások és a magas forráspontú anyagok mennyisége között. Egy tesztszerszám segítségével szemléltetjük az összefüggést a keletkezett gázmennyiség és beégésig elvégezhető fröccsöntések száma között (9. ábra). Látható, hogy nincs összefüggés a gázbeégésig tartó maximális fröccsöntés-szám és a teljes keletkezett gázmennyiség, vagy magas forráspontú gázmennyiség között.



9. ábra. A gázbeégésig elvégezhető fröccsöntések száma és a keletkezett gázok mennyiségei közti összefüggés különböző anyagok esetében.

A GIMIM-mel elemezve a jelenséget megállapítható, hogy a szellőzőnyílások eltömődését okozó folyamatok rendkívül összetettek, az alacsony forráspontú, a magas forráspontú és a teljes keletkezett gázmennyiség között bonyolult összefüggések vannak.

A magas forráspontú anyagok a szellőzőnyílásokhoz ragadhatnak, majd szerszámlerakódásokká alakulhatnak. Előfordult azonban az is, hogy ezek a lerakódások a levegővel és/vagy alacsony forráspontú gázokkal eltávoznak (eloxidálódnak). Más szóval, ha a levegő és/vagy az alacsony forráspontú gázok mennyisége egyenlő vagy nagyobb, mint a magas forráspontú anyagok mennyisége, amely a szellőzőnyílásokhoz tapadt, a szellőzőnyílások eltömődése nem következik be. Ezt követően gázbeégés nem valószínű.

A következő módszerek használhatók az eltömődött szellőzőnyílások okozta égési sérülések megelőzésére:

- (1) Csökkentsük a henger hőmérsékletét, amennyire csak lehetséges, hogy ne forduljon elő pirolízis
- (2) Használjunk rongyot vagy hasonló tárgyat, hogy gyakran töröljük le az enyhe szerszámlerakódásokat

## A GIMIM alkalmazása a tisztítási folyamat ellenőrzésére

Korábban a tisztítási folyamat hatékonyságát csak vizuálisan lehetett ellenőrizni több ezer-tízezer fröccsöntési ciklus után. Mivel a GIMIM ppm (milliomod rész) szinten képes kimutatni anyagokat, most már használhatjuk az tisztítási folyamatok ellenőrzésére kevés számú fröccsöntés mellett.

Különböző tényezők határozzák meg, hogy az anyag eltávolítható-e a tisztítási folyamat során, mint pl. az anyagok polaritása, viszkozitása és kompatibilitása közötti különbségek. Valószínűtlen, hogy a henger belsejében lévő ömledék teljesen eltávolítható. A tisztító anyag kiválasztásával azonban a maradék ömlely mennyiségét hasonló szintre le tudjuk csökkenteni, mint szétszereléssel és tisztítással. Az alábbiakban a különböző öblítési folyamatok vizsgálati eredményei láthatók. Az „A” és „B” módszerben ugyanazt a fröccsöntő gépet használták, ugyanazt a fröccsszerszámot, fröccsöntési paramétereket, és fröccsöntött anyagot, csak a tisztító anyagban volt különbség. Majd végeztek egy gázelemzést.

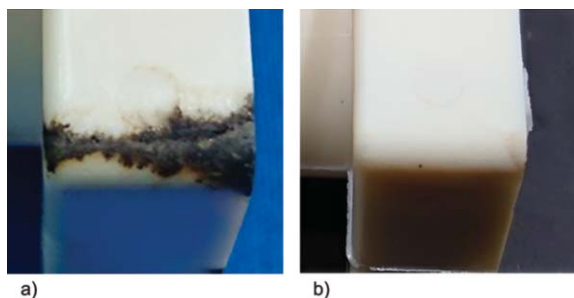
„A” módszer:

Előző anyag → nagy viszkozitású PE tisztító anyag → üvegszállal erősített PC → PPS anyag

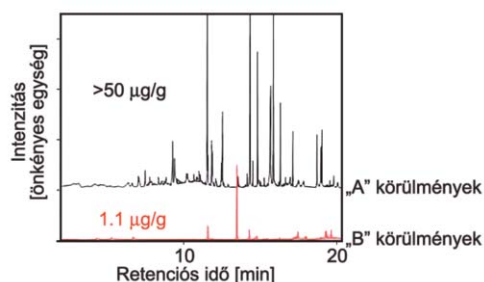
„B” módszer:

Előző anyag → nagy viszkozitású PE tisztító anyag → kereskedelmi forgalomban kapható tisztító anyag → PPS tisztító → PPS anyag

Látható, hogy gázbeégés a folyás végén következik be néhány fröccsöntés után az „A” tisztítási módszert alkalmazva, de a „B” módszer esetében a gázbeégés gyakorlatilag megszűnik, a keletkező pirolízis gázok mennyisége sokkal kisebb (lásd a 10. és 11. ábrát).



10. ábra, Gázbeégések különböző tisztítási folyamatok után (a) „A” és (b) „B” módszer).



11. ábra. GIMIM kromatogramok különböző („A” és „B”) folyamatok után.



Az „A” tisztítást használva a tisztítóanyag bomlástermékei és a maradék PPS (polifenilén-szulfid) mutathatók ki, míg a „B” módszert alkalmazva csak a PPS összetevők detektálhatóak, és a pirolízis gázok mennyisége is drasztikusan lecsökkent. Ezt követően összehasonlították a maradék pirolízis gázokat az anyagok és tisztítók kombinációjával (4. táblázat). A relatív összehasonlítás a mennyiségek alapján történt. A vizsgálati módszert sematikusán a 12. ábra mutatja be.

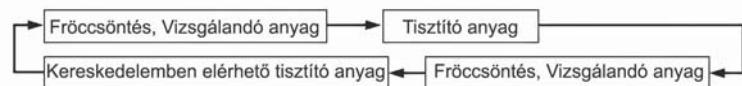
4. táblázat.

Vizsgált anyagok és maradék gázok.

Tisztító anyag	Vizsgált anyag			
	POM	PBT	PPS	LCP
Üvegszálás PP	Tisztító anyag maradt benne	Tisztító anyag maradt benne	–	–
Üvegszálás PC	–	–	Nagyon kevés tisztító anyag maradt	Nagyon kevés tisztító anyag maradt
HDPE	Nem detektálható	Tisztító anyag maradt benne	Tisztító anyag maradt benne	Tisztító anyag maradt benne
POM	Nem detektálható	–	–	–
PBT	–	Kis mennyiségű PBT maradt	–	–
PPS	–	–	PPS maradt	–
LCP	–	–	–	LCP maradt
Kereskedelmi tisztító (1*)	–	Nem detektálható	Nem detektálható	–
Kereskedelmi tisztító (2*)	Nem detektálható	–	–	–

\*Daicel Miraizu Ltd. terméke

A ciklust többször megismételve elemezték a keletkezett gázokat. Az eredményekből látható, hogy sok esetben azok a gázok jöttek ki, amelyek a tisztítás után maradtak a szerszámban, illetve a tisztítások hatékonyságában is nagy eltérések voltak. A POM (polioximetilén), a PBT (polibutilén tereftalát) és a PPS (polifenilén szulfid) teszteredményeinél láthatók továbbá, hogy a kereskedelmileg elérhető tisztító anyagok hatékonyak.



12. ábra. A különböző tisztítási módszerek gázképződésre gyakorolt hatásának vizsgálata.

A GIMIM módszer használatával új ismeretekre tudunk szert tenni a fröccsöntés során keletkező pirolízis gázok által okozta problémákkal kapcsolatban. A téma kutatása kezdeti stádiumban van, de az alkalmazott módszernek nagy távlatai vannak, mert újabb eredményeket és megoldásokat kínál a gázokkal és szerszámlerakódási kapcsolatos problémákra, segít a tisztítóanyagok, feldolgozási technológiák összehasonlító elemzésében és optimalizálásában.

### 3. Egyéb, szerszámban maradt gázokkal vagy vákuummal kapcsolatos hibák és kiküszöbölésük

A szerszámban maradt gázokkal kapcsolatos hibák könnyen kialakulhatnak, de nehéz őket megszüntetni, és mivel a szakirodalom ritkán foglalkozik keletkezésük okaival, a gépkezelőnek sokszor

nagy nehézségbe és sok időbe kerül a hiba megszüntetése. A „gáznyom” alatt olyan hibát értünk, amely a folyásirányban jelentkezik az öntvény felületén és a szerszámba kerülő vagy abban maradó gázokkal hozható összefüggésbe. Ha a szerszámban levő gázt a bejövő ömledék nem tudja folyamatosan kiszorítani, a gáz keveredni fog vele. Lehűlés után az ömledék belsejében maradt gáz pórusokat, üregeket hoz létre, a felületen marad gáz pedig bemélyedéseket. Valójában a gáz jelenléte a szerszámban elkerülhetetlen, és ha a nyomás elég nagy, valamint a gázmennyiség elég kicsi, a gáz beoldódik az ömledékbe, ha nem ez a helyzet, felszabadul és megjelenik a felszínen. A „gáznyom” keletkezésének néhány lehetséges oka:

- a fröccsgép nem felel meg a gyártott terméknek
  - a szellőzőnyílások átmérője vagy száma nem megfelelő
  - a gyártási folyamat nem megfelelő
  - magában a műanyagban képződik gáz
  - nagy a környezet nedvességtartalma (gőzképződés)
  - az ömledék folyóképessége nem elegendő.
- Nézzük meg ezeket a tényezőket egyenként.

#### *A fröccsgép hatása*

Ha a termék és a beömlőcsonk tömege kevesebb mint 20%-a a maximális injektálható tömegnek, a visszamaradó anyag dekompressziója során gáz képződik a csiga nyíróereje és a fröccshenger fűtése miatt. Ha ez a tömeghányad meghaladja a 80%-ot, az ömledék nem melegszik át egyenletesen és nehéz pontosan megmunkált terméket előállítani. Ha jól tervezett, a feldolgozott műanyaghoz illő csigát használunk, a feldolgozási ablak viszonylag széles lesz, ellenkező esetben nehezen megy a feldolgozás. A fűvóka furatátmérője (2,5 és 5 mm között) függ a fröccsöntő gép méretétől: minél nagyobb a gép, annál nagyobb. Ha túl szűk a fűvóka vagy ha más okokból az anyag túl nagy nyírásnak van kitéve, az anyag részben bomlik (lásd a cikk elején elmondottakat).

#### *Rossz szellőzés*

Ha magas hőmérsékleten kis viszkozitású műanyagot hirtelen injektálunk a szerszámba egy szűk nyílások keresztül, levegő szorulhat a műanyagba. Ha az osztósíkok mentén vagy máshol nem gondoskodunk szellőzőnyílásokról, a levegő benne marad a műanyagban és „gáznyomot” képez.

#### *Hibás feldolgozási ciklus*

Ha túl gyors a befroccsöntés és a gáznak nincs ideje eltávozni, a kompresszió miatt nagy mechanikai energia gyűlik fel, amely hővé alakul és „gáznyomot” vagy beégést képez. Ha viszont túl lassú a befroccsöntés, nő a ciklusidő, lehül az anyag és nehezebben folyik, ami ömledéktörést vagy repedést is okozhat a termékben. Ha lassú az anyag áramlása és az áramlási front lehül, a nagy viszkozitású „dugó” akadályozza a gázok eltávozását is. Ha ilyen körülmények között erőtettjük az anyag mozgását pl. egy vékony falú termékben, az a felület túlhevüléséhez és beégéshez vezethet.

#### *A műanyagban képződő gázok*

Ezt a problémát részletesen tárgyaltuk a cikk elején, de a műanyag bomlásán kívül lehet egy másik oka is a gázképződésnek: a nem kielégítően szárított nyersanyag (vízgőz felszabadulása). Ez bizonyos műanyagok esetében (polikarbonát, poliészterek, poliamidok) nem csak gáznyomokat okozhat, de a műanyag degradációját is fokozza. Ha a környezet pártartalma túl magas, a víz kondenzálhat a szerszám felületén, és ez is felületi hibákat okoz.

### *Vákuum hibák*

Esetenként a vákuum kialakulása okoz problémát. Ha például nem kerül elég műanyag a szerszámba és lehűlés során a műanyag zsugorodik, beszívódás nyomok alakulnak a felszínen, vagy kis nyomású üregek a termék belsejében. Ha ez okozza a problémát, az alábbi lehetőségek állnak rendelkezésre a kiküszöbölésére:

- nagyobb befroccsöntési és utónyomás vagy hosszabb injektálási idő,
- nagyobb átmérőjű fúvóka, elosztó csatorna és beömlő nyílás,
- megfelelő hőmérsékletbeállítás (alacsonyabb olvadáspontú polimer, szerszám temperálás, forrócsatornás szerszám),
- szerszám újratervezése – ha pl. a túl vastag fal okozza a zsugorodást.

Összeállította: Balanyi Krisztián és dr. Bánhegyi György

New Evaluation Method to Identify the Mechanism of Gas Formation During Injection Molding

Part 1: Applied to mold deposits caused by pyrolysis gas, 2021 július,

[https://www.polyplastics.com/en/support/mold/gas\\_md/index.html](https://www.polyplastics.com/en/support/mold/gas_md/index.html)

New Evaluation Method to Identify the Mechanism of Gas Formation During Injection Molding

Part 2: Gas Burns on the Surface of Injection Molded Articles, 2021 szeptember,

[https://www.polyplastics.com/en/support/mold/gas\\_burn/index.html](https://www.polyplastics.com/en/support/mold/gas_burn/index.html)

Deligio T.: New Test Method Analyzes Gas Formation in Molding, *Plastics Technology* (online), 2021 szeptember,

<https://www.ptonline.com/articles/new-test-method-identifies-gas-formation-in-molding>

Analysis and elimination of gas mark in plastic products to help you make accurate judgements, 2019 augusztus,

<https://gudmould.wordpress.com/2019/08/13/analysis-and-elimination-of-gas-mark-in-plastic-products-to-help-you-make-accurate-judgments/>

Injection Molding Defects: Vacuum Voids and Gas Pockets, 2019 május,

<https://www.midstatemold.com/injection-molding-defects-vacuum-voids-and-gas-pockets/>