

## Fröccsöntés: az átkapcsolási pont és az előre jelzett karbantartás hatásai

A fröccsöntés az egyik legelterjedtebben alkalmazott műanyag-feldolgozási technológia. Az így legyártott alkatrészek minősége és a gyártás gazdaságossága folyamatos kihívások elé állítja a piaci szereplőket. A fröccsöntési folyamat egyik kulcskérdése az átkapcsolási pont helyes megválasztása, ami jelentős hatással van a gyártás hatékonyságára és a termék minőségére. A megelőző karbantartás nemcsak a fröccsöntő gép, hanem nagy sorozatok esetén a szerszám esetében is alkalmazandó, jelentős versenyelőnyt jelentő megoldás, amihez a fröccsüzem és a szerszámgyártó szoros együttműködése szükséges.

*Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; fröccsöntés; folyamatszabályozás; karbantartás.*

A fröccsöntés hatékonyságát és a termékek minőségét nagyon sok tényező, az alapanyag és a gyártási környezet körülményeinek ingadozásai, a gép és a szerszám állapota, elhasználódása, a beállított gyártási folyamat robusztussága, stb. befolyásolja. A fröccsöntési folyamat reprodukálhatóságának egyik legfontosabb tényezője az a mód, ahogyan a szerszámüreg kitöltése után a gép a nagyobb fröccsnyomásról átkapcsol a kisebb utónyomásra, amely az anyag lehűlése okozta összezsugorodásának kompenzálására még anyagot pumpál a szerszámüregbe.

A karbantartás elhanyagolása termékminőségi problémákat, illetve a meghibásodások okozta váratlan leállások miatt jelentős bevételkiesést is okoz. A feleslegesen gyakori karbantartás viszont drága és növeli az állásidőt, ezáltal lerontva a gyártás hatékonyságát. E probléma megoldását segíti a beavatkozások szükségességét előrejelző, megelőző karbantartás nemcsak a fröccsöntő gépeknél, de a gyártó szerszámoknál is.

### Az átkapcsolási pont problematikája

A fröccsöntésnél régi probléma, hogy milyen folyamati jellemző változásánál kapcsoljunk át a fröccsnyomásról utónyomásra. A helytelenül megválasztott átkapcsolási pont rontja a termék minőségét, szélsőséges esetekben hiányosan kitöltött darabokat, vagy erős sorjaképződést is okozhat. Kevésbé drasztikus eltéréseknél beszívódások, felületi hibák, illetve túl nagy maradó belső feszültségek jönnek létre.

Az ideális átkapcsolást akkor kellene végrehajtani, amikor az ömledékfront a folyási út legvégét eléri. A jelen gyakorlat szerint két átkapcsolási módot használnak elterjedten: a csiga pozíciójának alapján, illetve a szerszámfészkekben elhelyezett nyomásmérő érzékelő jelének

alapján történő átkapcsolást. Miután az anyag tulajdonságai és a környezeti körülmények ingadoznak, a gyártás minősége erősen függ a gépbeállító és a gépkezelők tapasztaltságától.

A fenti két módszer összehasonlítására a Németországi IKV (Aachen) kutatói tervezett (részleges faktoriális) kísérletsorozatot hajtottak végre annak eldöntésére, hogy a különböző feldolgozási paraméterek változásai hogyan befolyásolják a termék minőségét. Mindkét átkapcsolási móddal azt vizsgálták, hogy a különböző hatásokra mennyire változnak a termék méretei és tömege, illetve hogyan alakul ezek szórása.

A kísérletsorozatot egy *Allrounder 370 A* (gyártó: Arburg) fröccsöntő géppel végezték polipropilén (*PP579 S*, gyártó: Sabcic) alapanyaggal. A gyártott termék egy 140 mm hosszú, 90 mm széles és 2 mm vastag lemez (kb. 27 g tömegű) volt, a lemez egyik végén egy plusz kb. 20 mm részt kialakítva a tengely vonalában, merőlegesen elhelyezett rúdbeömlésnek. A beömléstől kb. 35 mm-re, a középtengelyen helyezték el a szerszámban a nyomásérzékelőt (*6157 BA*, Kistler Instrumente GmbH). A változtatott fröccsöntési paramétereket az *1. táblázat* mutatja be. A változtatásokkal a gyártás során bekövetkező ingadozásoknak a termék méreteire gyakorolt hatását igyekeztek szimulálni. Minden mérési pont 10-10 párhuzamoson alapul.

1. táblázat

Az alkalmazott feldolgozási paraméter beállítások egy  $2^{7-3}$  részleges faktoriális kísérletsorozathoz.

Paraméter	Kiindulási érték	Változtatások száma (+/-)
Fúvóka hőmérséklet, °C	240	13
Szerszám hőmérséklet, °C	40	6
Befröccsöntési áramlási sebesség, cm <sup>3</sup> /s	21	10
Utónyomás, bar	250	25
Hűtési idő, s	12	5
Adagtérfogat, cm <sup>3</sup>	45	2
Torlónyomás, bar	60	5

A szakirodalomból ismert, hogy mindkét átkapcsolási mód többé-kevésbé sikeresen kompenzálja a gyártási körülmények ingadozásaiból származó eltéréseket. *Míg a csiga elmozdulás szerinti átkapcsolás az adag-térfogat ingadozásaira érzékeny, addig a szerszámnyomás szerinti átkapcsolás a viszkozitás ingadozásaira.* A kétféle átkapcsolási módszer szerinti szórásokat (valamennyi beállítást figyelembe véve) a *2. táblázat* tartalmazza. A termék tömege és hossza nem mutatott szignifikáns eltérést, azonban a szélesség adatoknál a szerszámnyomást alkalmazó átkapcsolási módszernél már szignifikáns mértékű, 0,067 mm-rel kisebb szórást mértek. Vagyis ez azt jelenti, hogy a szerszámnyomás mérésén alapuló átkapcsolási módszer esetén a termékjellemzők kevésbé ingadoznak, mint a csiga-elmozduláson alapulónál.

Amikor közelebbről megvizsgálták, hogy az egyes paraméterek milyen hatással vannak az eltérésekre, azt találták, hogy ezek hatása erősen eltérő mértékű. Így például a hűtési idő 1 másodperces meghosszabbítása a csigapozíción alapuló átkapcsolásnál a hosszat 0,127 mm-rel növelte, míg a szerszámban elhelyezett nyomásérzékelőn alapuló átkapcsolásnál ez az

érték nagyobb, 0,209 mm volt. Ugyanakkor a szerszám hőmérsékletének ellentétes hatása volt a két átkapcsolási módszernél: a hőmérséklet emelésénél a csigapozíció alapuló átkapcsolásnál növekedett (0,02mm), míg a nyomásérzékelő módszernél csökkent (-0,07mm) a próbatest hossza. Az adagsúly változtatásánál pedig kisebb mértékű, és ellentétes előjelű változás volt tapasztalható. A vizsgálatokból arra a következtetésre jutottak, hogy egyetlen paraméter változtatásával nem lehet megbízhatóan kontrollálni a fröccsöntési folyamatokat.

2. táblázat

A minőség jellemzésére használt tulajdonságok szórása a kétféle átkapcsolási módszer szerint

Átkapcsolási módszer	Tömeg, g	Hossz, mm	Szélesség, mm
Csigapozíció	0,117	0,426	0,179
Szerszámnyomás	0,121	0,423	0,112

Amikor megvizsgálták a szerszámon belüli nyomás változását a kétféle átkapcsolási móddal végrehajtott kísérletek során, azt tapasztalták, hogy a csiga elmozdulásán alapuló eljárásnál a nyomás felfutása meredeken nő, majd az átkapcsolás után először gyorsan, majd később fokozatosan csökken, és lassan csökkenő platót alkot az utónyomás ideje alatt. A fúvóka lezárását követően a nyomás viszonylag meredeken csökken az anyag lehülési zsugorodása következtében, és 9-10 másodperc után gyakorlatilag lenullázódik. A szerszámnyomáson alapuló átkapcsolásnál a nyomás felfutása eleinte gyorsan, majd lelassulva emelkedik, majd pedig az utónyomás megkezdése után is egy rövid ideig folytatódik, mielőtt, hasonlóan a másik módszer nyomás lefutásához, csökken.

A legjobb minőségű, robusztus folyamatot eredményező gyártást úgy tudták elérni, hogy (kooperációban az RWTH Intézettel, Aachen) átkapcsolási pont nélküli, kaszkád nyomákszabályzást alkalmaztak. *Itt a csigadugattyú elmozdulási sebességét a szerszámba beépített nyomásérzékelő jele szabályozta*, ami kevésbé meredek felfutást, és az utónyomás ideje alatt egyenletes értékű ömledéknyomást eredményezett a szerszámban. Ennél a módszernél ki kell jelölni egy ún. referencianyomás értéket, amely a kísérleteknél 250 bar volt. Az aktuális nyomást a szerszámban mindig ehhez az értékhez viszonyította a vezérlő egység. Így a befroccsöntés viszonylag meredek nyomásnövekedéssel indult, amely a referencianyomás közelében fokozatosan lassult, majd kb. 4 másodpercig 250 bar közelében állandósult. Ezt követte egy eleinte lassan, majd meredekebben csökkenő szakasz.

Az így szabályozott megoldás jóval reprodukálhatóbb, nyomáscsúcsoktól mentes fröccsöntési eljárást és egyenletesebb termékminőséget eredményez. Az ideális paraméter beállítások feltárása és az előzetes eredmények számszerűsítése és kibővítése további kutatómunkát igényel.

## Megelőző karbantartás a fröccsszerszámoknál

A nagy sorozatokat gyártó üzemeknél komoly gazdaságossági problémát jelentenek a termelő berendezések meghibásodásából származó, „nem tervezett” leállások. Így például az

autógyártó üzemeknél egy ilyen, 5 perces leállás átlagosan 100 000 EUR veszteséget okoz. A műanyag alkatrészek gyártóinál persze nem ekkora a kár, de itt is komolyan rontják a termelés gazdaságosságát a váratlan, meghibásodásokból eredő leállások. A korszerű fröccsöntő gépek gyártói már gyakran úgy építik meg gépeiket, hogy az alkatrészek kopása és más okból bekövetkező karbantartások és alkatrészcsere előre jelezhetőek legyenek. Ugyanakkor a szerszámok terén erre kevés példát találunk, noha ezek is drága és bonyolult eszközök, amelyek jelentős hatással vannak az üzem teljesítményére.

A fröccsszerszámok előrejelzéses karbantartásának módszertanát kialakítandó kezdett bele kutatási projektjébe az Aachen székhelyű RWTH intézet szerszámkészítő laboratóriuma (WZL), kooperációban a WBA Achener Werkzeugbau Akademie GmbH szerszámgyártóval, mivel hamar felismerték, hogy az ilyen megoldások csakis a fröccsüzem és a szerszám gyártója közötti szoros együttműködés esetében lehet eredményes. A projekt fontos gazdasági problémával foglalkozik, mivel a német szerszámgyártók árbevételének 56%-a a fröccsszerszámok gyártásából származik.

A német kutatók meggyőződése szerint a fröccsszerszámok előrejelzéses karbantartásához minden szerszám esetében végig kell haladni a következő lépéseken:

#### *Elemzés fázis*

- A feldolgozási folyamat és a szerszám kiválasztása.
- Az összes lehetséges feltétel és követelmény listájának rögzítése.
- A szerszám és a termék lehetséges meghibásodási módjainak listázása.
- A gyártási folyamat és a szerszám működésének részletekbe menő megértése a munkacsoport tagjai által.
- Az egyes meghibásodásokat okainak megértése és az ezeket feltáró mérési értékek és releváns érzékelők meghatározása.
- A meghibásodások és az ezek elhárítását célzó intézkedések közötti javító intézkedések kapcsolatainak tisztázása.
- A különböző szintű beavatkozásokat igénylő mérési érték kijelölése.
- Az előrejelző rendszer előkészítése.
- Döntés a továbblépésről.

#### *Kialakítási fázis*

- A szerszámgyártó által, a gyártás közben végzendő szolgáltatások koncepciójának kidolgozása, ahol a fröccsüzem a megbízó és a szerszámgyártó szolgáltató. Meg kell határozni az igényeket mindkét fél oldaláról, és fel kell állítani a prioritásokat.
- Külön kell választani a közvetlen és a közvetett szolgáltatásokat, és kijelölni relevanciájukat mindkét fél szemszögéből.
- Az érzékelők kiválasztása és integrálása a szerszámba. Az érzékelőket a feldolgozási folyamathoz kell igazítani és összekapcsolni a feldolgozási paraméterekkel, konkrét fellépő meghibásodásokkal. Ki kell jelölni az egyes érzékelők típusát és elhelyezkedését a szerszámban. Az adatáramláshoz az IoT (az Eszközök Internete) kommunikációt kell létrehozni.
- Digitális infrastruktúra létrehozása az előző lépéssel iteratív módon, ahol az egyes érzékelők jeleit egy központi rendszer gyűjti össze, amely ezeket az adatokat előfeldolgozást követően a felhőben, vagy az üzem központi szerverén tárolja.
- Ki kell alakítani egy adatplatformot, amely az elemzések eredményeit megjeleníti a fröccsüzem és a szerszámgyártó számára.

### Megvalósítási fázis

- Az alkalmazandó előrejelző algoritmus kifejlesztése és validálása gyakorlati adatok alapján. A cél az, hogy az algoritmus a meghibásodásokat, sérüléseket már a korábban kijelölt beavatkozási határok elérése előtt jelezze, és így megelőző korrekciós intézkedéseket lehessen megvalósítani. Az algoritmus tréningje kulcsfontosságú lépés, hogy lehetővé váljon a magas prognózisminőség.
- E feladat kivitelezéséhez a „Felügyelt Tanulás” módszerét lehet alkalmazni. Itt a bemenő adatok és az eredmények alapján meg lehet határozni az összefüggéseket a fellépő hibák és a releváns feldolgozási paraméterek között a korábbi adatok felhasználásával. Így a szükséges javítási intézkedések előre jelezhetőek lesznek.
- A fenti elképzelések szisztematikus megvalósítását támogatja a 3. táblázat szerinti áttekintő anyag.

3. táblázat

Szisztematikus megközelítéssel terméken megjelenő hibák és a szerszámmal kapcsolatos végzendő intézkedések jól összehangolhatók

<b>Termék</b>	hiba megjelenése	beszívódás, hólyag, vetemedés, sorja, folyásnyom
	hiba minősítése	még tolerancián belüli, utómegmunkálással javítható, selejt
	mért mennyiség	nyomás, hőmérséklet, idő, elmozdulás
	érzékelő	hőmérő, nyomásmérő stb.
	adatforrás	ERP, BDE
	javítás nagysága	javítás, nagy karbantartás, kis karbantartás
<b>Szerszám</b>	kár a szerszámban	sorjaképződés, fészek/kidobócsap törése, hidraulika szivárgás
	hiba mértéke	működésképtelen, hibás működés, törés/repedéstömítetlenség
	intézkedés	kicserélés, tisztítás/polírozás, kenés
	javítás nagysága	nagy karbantartás, rövid karbantartás

A fröccsszerszám megelőző karbantartása az üzem és a szerszámgyártó együttműködésének eredményeképpen a következő közvetlen és közvetett előnyökkel jár:

#### Közvetlen előnyök

- Csökkennek a javítási és az állásidőből származó költségek.
- Nő az árbevétel.
- Csökken a nem tervezett leállások kockázata.
- Nő a javító intézkedések száma.
- Előre jelezhetőek a leállások és a karbantartások.
- Javul a karbantartások koordinációja.
- Jobb lesz a gyártási folyamat.
- Javul a szerszám működése.