Smart Moulding Control műszer a minőségi fröccsöntők számára

Dobóvári Éva, Horváth Szabolcs

Cavity Eye Hungary Kft.

1. Bevezetés

Elsősorban az autóipari beszállítók érezhetik, hogy a fröccsöntött alkatrészek megrendelői évről-évre egyre magasabb elvárásokat támasztanak a beszállítóikkal szemben (0 ppm kiszállított selejt, nyomon követhető gyártás, transzparens folyamatok stb.), míg a beszerzési árakat folyamatosan szorítják lefelé. Ennek a két hatásnak az eredménye, hogy a legmodernebb technológiák alkalmazásával lehet csak megfelelni a piaci igényeknek. További nehézséget jelent a kézi munkaerő hiánya. Az emberi válogatásra alapozott minőségbiztosítás is el fog tűnni a következő években. Akik nem gondolnak időben a holnap elvárásaira, az automatizálásra és nem fordítanak kellő figyelmet a fejlesztésekre, azok rövid időn belül versenyhátrányba kerülnek. Ebből kifolyólag érdemes olyan technológiai beruházásokat és fejlesztéseket indítani, melyek rövid távon biztosan megtérülnek.

Azt is fontos hangsúlyozni, hogy a beszerzett eszközök mit sem érnek, ha a felhasználók nincsenek tisztában annak lehetőségeivel. Éppen ezért a Cavity Eye minden új partnere számára a megfelelő szintű tréningeket és folyamatos technológiai támogatást nyújt, ezzel biztosítva az üregnyomás-mérés hatékony alkalmazását.

Miért érdemes szerszámnyomás-mérő rendszereket használni?

1. Hibás termékek leválogatására és 100%-os minőségi felügyeletre alkalmas rendszer, azaz a kézi válogatás elhagyható;
2. A szerszámnyomás görbe alapján a gépi paraméterek finomhangolhatók [1];
3. A szerszámtranszferek rendkívül leegyszerűsödnek, mivel gépfüggetlen technológiát lehet a nyomás görbe alapján létrehozni;
4. A szerszámnyomás alapján egyre több folyamat-paraméter valós időben vezérelhető;
5. A mérési adatok kiértékelésével a döntéshozatal rendkívül megkönnyíthető:
   a. Szerszám karbantartási periódus meghatározása (pl. gázelvezető elszennyeződése);
   b. Fűtött csatorna tisztítási periódusának meghatározása és állapotának felügyelete;
   c. Véletlenszerű, periodikus vagy folyamatos hibák előfordulásának meghatározása;
   d. Újraindítások azonosságának biztosítása (gyártás reprodukálhatóság);
6. Öreg gép tovább tartható a minőségi termelésben…

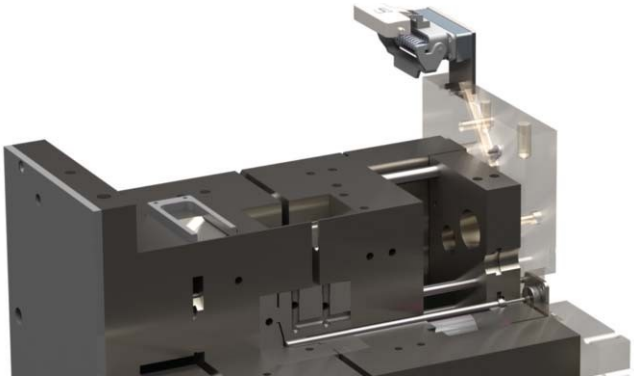
Összességében megállapítható, hogy az üregnyomás-mérést használók nem csak egy szenzorba vagy egy műszerbe ruháznak be, hanem egy új technológiai szemléletet is kapnak, mivel a mért görbék értelmezésével jobban megismerik a saját gyártásukat, annak gyenge pontjait és erős pillérjeit. A gépi paraméterek finomhangolása a szerszámnyomásra alapozható, a gyártási nehézségek nagy része könnyen megszüntethető. Itt érdemes megjegyezni, hogy ha a felhasználó nem hisz a mérési eredményeknek, akkor arra technológiát alapozni nem lehet, ezért is tartjuk rendkívül fontosnak a szerszám megfelelő előkészítését és a szerszámkészítők oktatását.

A FAKUMA 2017 vásáron mutattuk be első alkalommal a *Smart Moulding Control* (SMC) rendszert, amely már hálózati adatmegosztással is rendelkezik. A fejlesztés eredménye, hogy a gyártási folyamat teljesen transzparenssé tehető, a mérési adatok bármilyen számítógépről elérhetők és kielemezhetők, dokumentálhatók (Ipar 4.0). Ennek köszönhetően tervezhető a szerszám megelőző karbantartása, a szerszámot megfelelő géphez lehet dedikálni, csökken az állásidő és nő a kihozatal. Amint a bevezetőben is utaltunk rá, hagyományos gyártást meg lehet valósítani szenzorok nélkül, a hatékony gyártáshoz azonban nélkülözhetetlen a műszerezés és az ipari adatgyűjtés.

Közleményünk célja a szerszámműszerezés, valamint az SMC rendszer kialakításának és lehetőségeinek részletes bemutatása.

2. Szerszám oldal: szenzorok, szerszámcsatlakozó és szerszámmemória

Röviden ismertetjük a nyomásmérő szenzorok beépítését, a szerszámon szükséges átalakításokat. Az *1. ábrán* egy műszerezett szerszám képe látható. A nyomásmérő szenzorok



1. ábra. A műszerezett szerszám képe

majdnem minden esetben a mozgó oldali felfogólapba kerülnek beépítésre. A formaüregben kialakuló nyomás megterheli a kidobócsapokat. A méréshez használt csap mögé beépítésre kerül egy transzfer csap, ami mögött található a nyomásmérő szenzor. Az így kialakított dominó rendszernek és a laza illesztéseknek köszönhetően rendkívül nagy mérési pontosság érhető el. Ezt az fajta elrendezést indirekt mérésnek nevezik és sokáig mellőzték, mert az ipari gyakorlatban a direkt megoldást preferálták. A megfelelő csap- és szenzorillesztésekkel azonban ma már nagyobb mérési pontosság érhető el az *1. ábrán* látható indirekt konstrukcióval. A kialakítás további előnye, hogy az összes szenzor a felfogólapba kerül beépítésre, így azok a szerszám teljes életciklusa alatt a lapban maradnak, egyáltalán nem szükséges ezeket kiszerelni vagy karbantartani. Gyakorlatilag csak a beszereléskor lehet megsérteni azokat, ezért is biztosít a Cavity Eye 1+2 éves garanciaidőt a szenzorokra, ami a piacon egyedülállónak mondható. A felfogólapra felszerelésre kerül egy csatlakozó, amibe a szenzorok kábeleit kötjük be. A csatlakozóban található egy memória modul (*Memory in Mould*, ami a Cavity Eye saját fejlesztése), melyre információt lehet feltölteni, azaz az információ a szerszámmal együtt fog mozogni. A szenzor paraméterek, szerszám azonosítók, jellemzők, referencia görbék, tűréstartományok, feljegyzések mind a szerszámban tárolódnak. Ez rendkívüli mértékben megkönnyíti a rendszer hétköznapi és „szombat éjszakai" alkalmazását, a gyártásindítási folyamatot és a szerszám transzfereket egyaránt.

3. Gép oldal: SMC8 rendszer felépítése

Az SMC8 rendszer több éves IT fejlesztés eredménye, alapvetően egy Ipar 4.0 terméket sikerült piacra juttatnunk. Tulajdonképpen egy ipari hálózatról beszélünk, melynek elemei:

- a fröccsöntő szerszám és a beépített szenzorok, szerszám memória,
- a fröccsöntő gép,
- az ipari számítógép és switch,
- a képernyő,
- a központi szerver,
- egyéb külső perifériák (robotok, temperálók, szállítószalag stb.).

A rendszer a következő egységekből áll:

SMP8 (Smart Measuring Plug): a műszer adatgyűjtő egysége, melyet egy általános ipari csatlakozóba integráltunk (*2. ábra*). Ez teszi lehetővé a fröccsöntő szerszámhoz való csatlakozást. Kommunikál a szerszám memóriával, elvégzi a jelek A/D átalakítását és helyi hálózaton keresztül, ipari protokollon továbbítja a nyomásértékeket a feldolgozó számítógépbe.

SCS16 (Smart Control Socket): 20 pólusú fix aljzat, amely a fröccsöntő gépen kerül kiépítésre. Az aljzat tartalmaz egy memória egységet, mely eltárolja az egyes lábak feladatát. Az aljzatot a legtöbb gépgyártó előre ki tudja építeni a fröccsöntő gépekre.

SCP412 (Smart Control Plug): ipari csatlakozóba integrált számítógép 4 be- és 12 kimenetet tud kezelni az SCS16 aljzaton

2. ábra. SMP8 mérőcsatlakozó

keresztül. 24 V-os jelekkel kommunikál a fröccsöntő géppel, ami lehetővé teszi, hogy régi és új gépre egyaránt könnyen kiépíthető legyen.

Ipari számítógép és switch: a nagy teljesítményű ipari számítógépen LINUX operációs rendszer fut. A Cavity Eye legújabb szoftver verzióját JAVA környezetben fejlesztettük, mely még az eddigieknél is stabilabb működést eredményez.

Képernyő: a mérési adatok megjelenítéséhez 10"-os érintőképernyőt használunk.

Központi adatbázis (Central DataBase): a mérési adatokat az SMC számítógépe továbbítja a központi szerver számára, ami SQL adatbázisba foglalja azokat. Az adatbázis könnyen illeszthető más vállalat- vagy termelésirányítási rendszerekhez. A Cavity Eye saját *Analízis Statisztika és Riport* (ASR) programcsomagjával fészkenként elvégezhető a statisztikai és technológiai elemzés (pl. $t_{\text{kitöltés}}$, $p_{\max}$, p_{int}, C_p, C_{pk}, átlag értékek, szórások, trendek) [2].

A rendszer felépítését a *3. ábrán* szemléltetjük. A bonyolultnak tűnő, valójában rendkívül egyszerű (plug and play) kialakításnak köszönhetően, a műszer teljesen mobilis és a rendszer telepítésének ideje néhány percre csökkenthető.

4. Az SMC rendszer alkalmazási lehetőségei

A Cavity Eye rendszerek első megrendelői legtöbb esetben hiányos termékek leválogatására alkalmazzák a mérőműszereket. Amint tapasztalatot szereznek, felismerik, hogy a szerszámnyomás görbe pontosabban jellemzi a termék minőséget, mint a gépi paraméterek, így gyártás optimalizálásra is kiválóan használható. Kis idő múlva megjelenik az igény egyéb gépi paraméterek vezérlésre (pl. átkapcsolás), végül a Cavity Eye rendszerek hálózatba kötésével megvalósítható a termelési adatok elemzése (*4. ábra*).

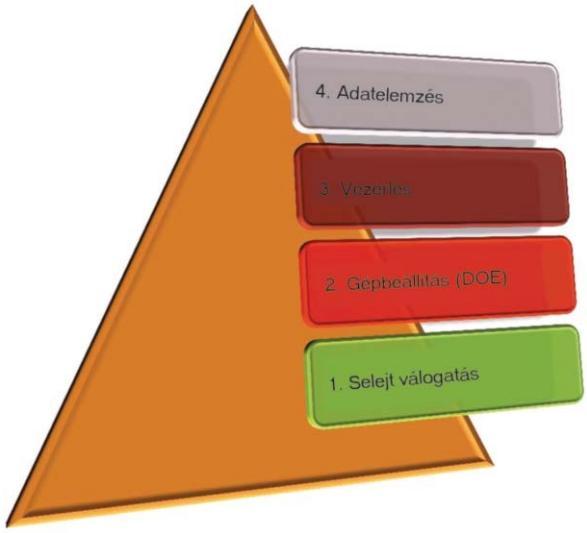
4.1. Esettanulmány hiányos vagy gyanús termék leválogatására

A hibás termék leválogatásának folyamatát két fázisra lehet bontani:

1. *Referencia görbe meghatározása*

Legtöbbször a folyamat első fázisában – ha lehet – minimálisan változtatunk, finomhangolunk a gépi paramétereken (fészek egyensúly beállítás, nyomás ingadozások megszüntetése stb.). Ellenőrizzük, hogy a beállított paraméter kombinációt a gép képes-e megvalósítani. A stabilizált gyártófolyamat során,

3. ábra. Az SMC rendszer részei



4. ábra. A Cavity Eye rendszer alkalmazásának lépései

egy gombnyomással meghatározzuk a jó termékhez rendelhető referencia nyomásgörbét.

2. Tűréstartomány meghatározása

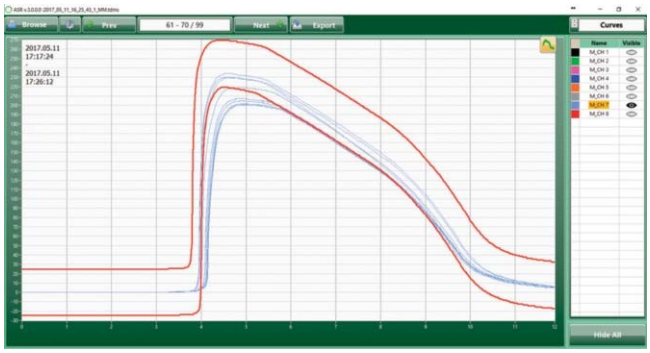
Második lépésben változtatunk a gépi paramétereken, majd figyeljük a görbe alak és a termék minőség változását, azaz kapcsolatot teremtünk a termék minősége és a görbe alak között. Ennek segítségével a görbe tűréstartománya is meghatározható.

Az *5. ábrán* egy 8 fészkes szerszám egy fészkének mestergörbéje és a hozzá tartozó tűréstartomány, a *6. ábrán* pedig a tűrésen kívüli lövések láthatók.

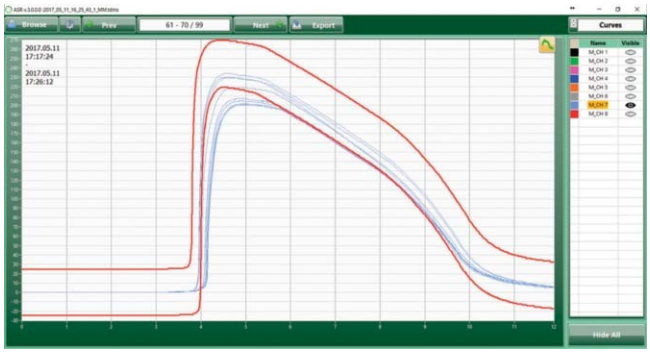
Gyakran előfordul, hogy a fűtött csatorna bizonytalanságából egyes fészkek lényegesen alul töltődnek, fél, negyed darabokat kapunk. Ilyen esetben csak néhány kidobócsap fog érintkezni a darab felületével, és azt nem kitolja, hanem csak elfordítja a formaüregben. A következő zárás során a beszorult darab betéttörést okozhat. Részleges töltés esetében a szerszámnyomás lényegesen elmarad, gyakran teljesen 0 bar a formaüregben. Amennyiben a szerszámnyomás bármelyik fészekben nem ér el egy minimális határértéket, akkor a Cavity Eye szoftver „stop a ciklus végén” jelet küld a gépnek, és a kezelőszemélyzet ellenőrzi, hogy a darabok kiestek-e a szerszámból. Ezzel a módszerrel a visszazárásból adódó betéttörések teljesen megszüntethetők.

4.2. Gépbeállítás

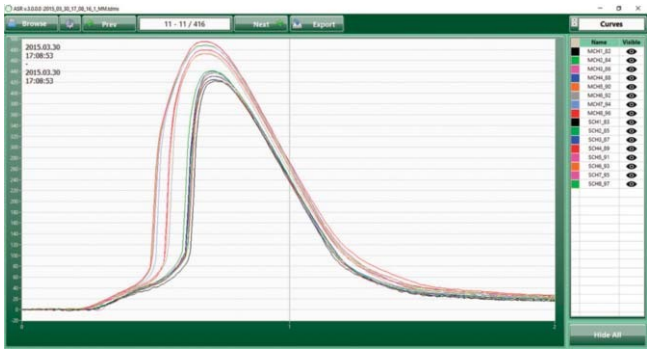
A szerszámok első próbája rendkívül nehéz feladat. Nagyon sok paramétert kell beállítani, melyek egymásra is hatással vannak. Éppen ezért a hagyományos DOE folyamatok csak korlátozottan használhatók. Egy fröccsöntő szerszám működése a szerszámnyomás görbék alapján optimalizálható,



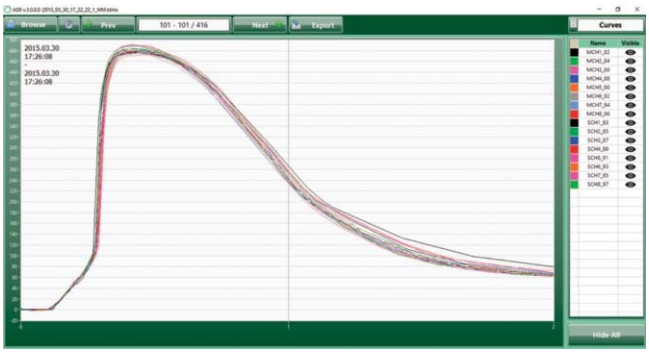
5. ábra. Egy fészek referencia görbéje és a hozzá tartozó tűréstartomány



6. ábra. Tűréstartományon kívüli lövések



7. ábra. Szerszámnyomás görbe optimalizáció előtt (16 fészek 1 ciklus)



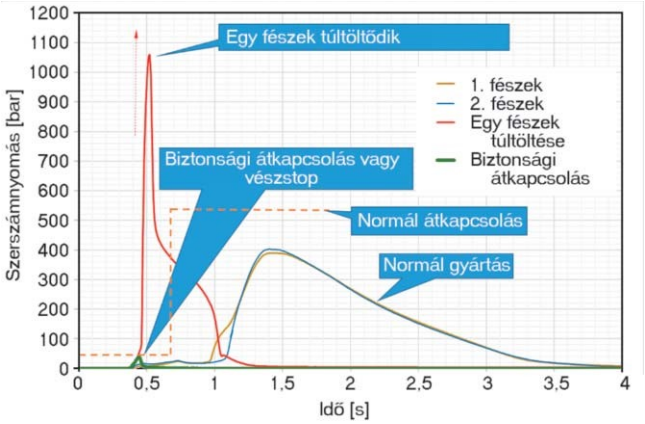
8. ábra. Szerszámnyomás görbék optimalizáció után (16 fészek 1 ciklus)

finomhangolható. Amennyiben stabil, és a szerszámnyomás alapján megfelelően felépített technológia nem kívánt minőséget eredményez, akkor érdemesebb a szerszám módosításán gondolkodni. A másik út, hogy módosítjuk a gépi paramétereket, ami rövidebb-hosszabb ideig megoldja a termék minőséget, azonban könnyen instabil gyártást eredményez. Sajnos a legtöbb esetben a második utat választják a cégek, ami hosszú távon biztos, hogy veszteségeket fog eredményezni. Valójában vannak átfedések a két módszer között, de meggyőződésünk, hogy először a gépműködést kell stabilizálni és utána van esély a végleges termékminőség kialakítására. A *7. ábra* egy 16 fészkes szerszám nyomásgörbéit szemlélteti optimalizáció előtt, a *8. ábra* pedig az optimalizáció utáni állapotot mutatja be.

4.3. Vezérlés szerszámnyomás alapján

Egyre több gépi paraméter vezérelhető szerszámnyomás alapján. A jelenlegi rendszer átkapcsolási pont, szelep nyitás és zárás vezérlésére alkalmas, de későbbi céljaink között szerepel a fűtött csatorna és a szerszámhőmérséklet valós időben történő vezérlése is. Előző cikkünkben [3] részletesen ismertettük a szerszámnyomásra történő átkapcsolás lehetőségeit. Röviden összefoglalva, az átkapcsolásnak folyamatszabályzási vagy biztonsági funkciói lehetnek. Folyamatszabályozás esetén minden egyes ciklusban egy meghatározott szerszámnyomás elérésével a Cavity Eye rendszer kiadja az átkapcsolási jelet (24 V). A Cavity Eye szoftverben megadható, hogy hány szenzornak kell elérnie a nyomáslimitet az átkapcsolási jel kiadásához, ami biztosítja a megfelelő átkapcsolási pillanatot. Többfészkes, fűtött csatornás szerszámok esetében minden fészekbe kerül szenzor. Fontos beállítani a fészekegyensúlyt és érdemes profilozni, az átkapcsolás előtt lelassítani a csigadugattyú sebességet. E technika alkalmazásával régebbi gyártású gépeket is minőségi gyártásban lehet tartani.

A következőkben az átkapcsolás biztonsági funkciójának jelentőségét hangsúlyozzuk. Gyakran előfordul, hogy induláskor vagy akár véletlenszerű előfordulással néhány fészek töltése részleges vagy teljesen elmarad (gátba beszakadt anyag, ledermedt fúvókacsúcs stb.). Ha út szerinti átkapcsolással dolgozunk, akkor fix anyagmennyiséget fröccsöntünk a szerszámba. Mivel ilyen esetben egy vagy több fészek nem töltődik, a többi fészket túltöltjük és nyomáscsúcs fog létrejönni. Ez a nyomáscsúcs megfeszíteni a betéteket, sorja kerülhet a



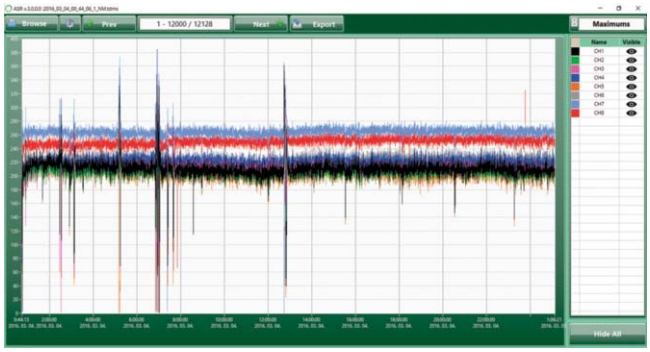
9. ábra. A biztonsági nyomáshatár

nem kívánt helyekre, de akár betéttörés is lehet. A túltöltés elkerülésének érdekében két átkapcsolási nyomást állíthatunk be, melyeket egy időhatárral választunk el egymástól. Az első átkapcsolási nyomás a biztonsági ideig tart és értéke nagyon alacsony. Ezt csak akkor lépheti túl a rendszer, ha egy vagy több fészek töltése nem kezdődött el. A második szakasz a normál átkapcsolási szakasz. Amennyiben a szerszámnyomás eléri az előírt limitet, akkor megtörténik az átkapcsolási jel kiadása. Bizonyos esetekben az átkapcsolási jelet a gép vészstop bemenetére szoktuk bekötni. A beállítást a *9. ábrán* szemléltetjük.

Érdemes felhívni a figyelmet arra, hogy a szerszámok túltöltése nagyobb károsodást okozhat, mint több tízezer normál ciklus. A fenti technológiával a szerszám élettartama nagyban megnövelhető.

4.4. Adatelemzés

A Cavity Eye rendszerek több hónapnyi mérési adatot tudnak tárolni. Az adatmentés másik módja egy központi szerverre való továbbítás, ahol a megőrzött információ mennyiségének csak a számítógép kapacitása szabhat határt. Ennek köszönhetően nyílik lehetőség nagy mennyiségű adat megjelenítésére és kiértékelésére. A görbék és a görbe jellemzők összehasonlításával nagyon nagy érzékenységben szemléltethetjük a technológiai folyamatot. Az *10. ábrán* 12 000 lövés látható. A függőleges tengely a szerszámnyomás csúcsot szemlélteti. Jól látható, hogy folyamatos gyártás mellett időszakonként és véletlenszerűen megjelennek lényegesen alacsonyabb és magasabb szerszámnyomás értékek is. A folyamat elemzése során azt találtuk, hogy a fűtött csatornában az anyag degradációt szenved és a degradálódott anyagszemcsék véletlenszerűen eltömítették a fúvókacsúcsokat. Amíg a hiba előfordulásának gyakorisága viszonylag ritka, addig a gyanús darabok a Cavity Eye rendszerrel könnyen leválogathatók. Amennyiben a hibás lövések száma emelkedik, akkor a fűtött csatorna karbantartása szükséges. A karbantartási periódus nem ciklusszámhoz, hanem a hibák elfordulásához rendelhető. A degradáció lassítható a henger, az elosztótömb és a fúvókacsúcsok hőmérsékletének csökkentésével. A feltételezések és a technológiai próbák eredményei könnyen vizualizálhatók, amelyek nagyban segítik a döntéshozatalt, mint például a szerszám karbantartásának gyakorisága.



10. ábra. 8 fészkes szerszám fészeknyomás csúcsa 12 000 ciklusra vetítve

11. ábra. 8 fészkes szerszám nyomásintegrál értéke (fészkenként két szenzor)

A *11. ábrán* egy 8 fészkes szerszám szerszámnyomás görbéinek az integrálértéke látható, melybe fészkenként két szenzort építettünk be. Az 1500 lövés alapján jól megfigyelhető, hogy periodikusan megjelennek maximumok, melyek fokozatosan csengenek le. Ezt nagy valószínűséggel az anyag tulajdonságainak változása okozza, és nem a gép vagy a szerszámjellemzők változnak. Megvizsgáltuk az anyagfelszívás időszakait és azt találtuk, hogy azok egybeesnek a csúcsok megjelenésével. A mérési adatok elemzésével ki tudtuk mutatni, hogy a gép adagolótölcsérében való tartózkodási idő hatással van a gyártási folyamatra. Az alapanyag nagy valószínűséggel nedvességet vesz fel ez alatt a 1,5–2 óra alatt, ami biztosan hatással van a gyártott termék tulajdonságaira. Az intézkedési terv, mérésekkel alátámasztva, gyorsan meghatározható volt.

5. Összefoglalás

Közleményünkben bemutatásra került a legújabb fejlesztésű mérőrendszerünk felépítése és működésének alapjai. Egy ilyen műszer csak akkor értékelhető igazán, ha annak használói a rendelkezésre álló információ segítségével, vagyis a mérési jelek értelmezésével hatni tudnak a gyártási folyamatra. Néhány esettanulmányon keresztül ismertettük a szerszámnyomás mérés jelentőségét, valamint a Cavity Eye *Smart Moulding Control* rendszer főbb funkcióit.

Cégünk célja 2017-ben az volt, hogy nemzetközi projektek lebonyolításában tapasztalatot szerezzünk. Jelenleg több mint 10 országban futtatunk projekteket és reméljük, hogy a hazai szakemberek is egyre nagyobb számban felismerik a rendszerben rejlő lehetőségeket. Eddig az összes projektünket sikerrel zártuk, amit a kiváló minőségű, saját fejlesztésű termékeinken túl a személyre szabott oktatásoknak és az eladást követő támogatásainknak köszönhetünk.

Irodalomjegyzék

[1] Kulkarni, S.: Robust process development and scientific molding, Hanser Publications, 2017.
[2] Schott, N. R.: Understanding plastics engineering calculations, Hanser Publications, 2015.
[3] Horváth, Sz.; Vámos, D.; Boros, R.; Szűcs, A.: Átkapcsolás hatása a fröccsöntési folyamatra és a szerszámnyomásra, Polimerek, 3, 125–128 (2017).

INNOVATIVE MOLDING SOLUTIONS FOR BETTER EFFICIENCY

CAVITY EYE

INTELLIGENCE IN MOLDING