3.2 3.3 2.5 Optimalizálás és a minőség-ellenőrzés javítása a műanyag-feldolgozásban

Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; fröccsöntés; profilextrudálás; szerszámtemperálás; optimalizálás; infravörös kamera; felületellenőrzés; optikai eljárás.

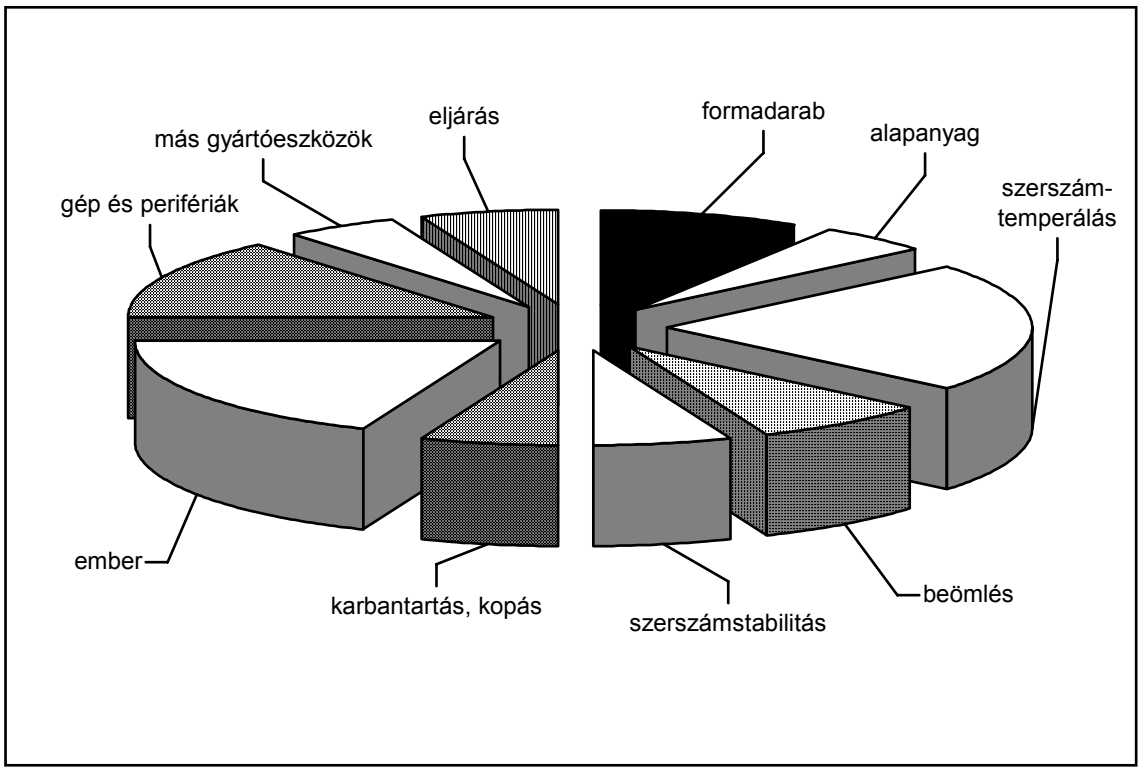
A fröccsöntés optimalizálása infravörös kamera segítségével

A fröccsöntő üzemeknek, ha versenyképesek akarnak maradni, állandóan figyelniük kell a darabonkénti termékköltségre. A temperáló rendszer megfelelő elhelyezése a szerszámban olyan új költségcsökkentési lehetőségeket rejt, amelyre eddig kevés figyelmet fordítottak. A termékminőség, a ciklusidő és a darabköltség optimalizálása szempontjából fontos a termék, a szerszám és a feldolgozási folyamat szakszerű megtervezése *(1. ábra).* A termék hibái közül a leggyakoribbak:

– a vetemedés,
– a méretingadozás,
– túlöntés esetében a sorjaképződés,
– a felületi hibák.

Ezeknek a hibáknak a többségét a fröccsszerszám inhomogén hőmérséklet-eloszlása okozza. A kialakuló hibák 60%-a a szerszámban elhelyezett temperáló rendszer nem megfelelő kialakításához rendelhető. A hőközvetítő közeg nem megfelelő kezelése (a furatok, a csővezetékek nem megfelelő elhelyezése) gyakran szükségtelenül növeli a ciklusidőt, és minőségi problémákat okoz a terméken. Sok műanyag-feldolgozó üzemben rémítő állapotban vannak a vízvezetékek, és a szilárd szennyezések sokszor eltömik a hűtőcsatornákat. Ez rontja a hőátadást, és inhomogén hőmérséklet-eloszláshoz vezet a szerszámon belül. Azt minden esetben ki kell vizsgálni, hogy ez a felelős személyek ismerethiányából vagy hanyagságából ered-e. Ahhoz, hogy eldönthessék: van-e lehetőség a további optimalizálásra, és ha igen, milyen irányban, elsőként gondosan meg kell vizsgálni a fennálló állapotokat. Erre szakosodott tanácsadó cégek (pl. a GTT GmbH, Nassau) szívesen elvégzik az átvilágítást: megvizsgálják a terméket, a szerszámot és a feldolgozási folyamatot, azonosítják a minőségi hibákért vagy a szükségtelenül hosszú ciklusidőért fe-

lelős tényezőket. A hibák ismeretében meg lehet becsülni, hogy milyen mértékű javulás várható, mibe kerül a korrekció, és a darabköltség mekkora csökkenését eredményezik a változtatások.



1. ábra A fröcsöntött termék minőségét, ciklusidejét
és a darabonkénti költségeket befolyásoló főbb tényezők

Az elemzés legfontosabb része a hőháztartás feltérképezése. A szerszám hőmérséklet-eloszlását legegyszerűbben infravörös kamerával lehet megvizsgálni – ebből pedig következtetni lehet a temperáló rendszer állapotára. A termikus vizsgálat azonban önmagában nem elég, gondosan mérlegelni kell a reológiai viszonyokat is. Az eljárás akkor tekinthető optimálisnak, ha mindkét feltétel teljesül: a homogén hőmérséklet-eloszlás és a reológiai szempontból akadálytalan szerszámfeltöltés is. Ez szavatolja a jó termékminőséget és a lehető legrövidebb ciklusidőt. A vizsgálatból levont következtetések birtokában a tanácsadó cég a megrendelővel együtt megállapodik egy optimalizációs stratégiában, amelynek kivitelezése ugyancsak a tanácsadó cég feladata.

Vannak esetek, amikor a gyártószerszámot alaposan át kell tervezni, vagy magát a terméket kell megváltoztatni, mert az eredeti szerszám nem teszi lehetővé a stabil működtetést, és gondokat okoz a termelésben. Egy konkrét autóipari alkalmazásban pl. kiderült, hogy az új szerszám ugyan 20%-kal

drágább lesz a réginél, de a darabköltség 18%-kal csökken, és a többletberuházás mintegy 15 hónap alatt amortizálódik. Az optimalizálás részleteit az *1. táblázat* tartalmazza. A szimuláció szerint az új szerszámkonstrukcióval jóval homogénebb hőmérséklet-eloszlás érhető el, és ezt támasztották alá az infravörös felvételek is, amelyek szerint a hőmérséklet-különbségek a szerszámfalon nem haladták meg az 5 °C-ot. Ezt a következtetést a szerszámból frissen kivett termék infravörös vizsgálatából vonták le. További előnyt jelent a folyási front tudatos alakítása a szerszámfeltöltés során. Gondos szerszámtervezéssel megelőzhetők a hegedési varratok, és a légzárványok nagysága és száma is csökkenthető. Ideális eset, amikor a problémát a szerszám újratervezésével lehet megoldani, de ez gazdasági szempontból csak akkor kifizetődő, ha nagy darabszámokból álló tételeket gyártanak.

A GTT GmbH eddigi tapasztalataiból azt a következtetést vonja le, hogy gyakran van szükség a szerszám kisebb-nagyobb mértékű módosítására a sikeres optimalizálás érdekében. A módosítások sokszor költségesek, de szükségesek ahhoz, hogy jobb legyen a termékminőség vagy rövidebb legyen a ciklusidő. A rövidebb ciklusidők eléréséhez csodaszerként ajánlott „impulzushűtés” rosszul elrendezett temperáló csatornával nem sok segítséget jelent. A gondosan megválasztott és egyszerűen kezelhető, több körös hűtés a tapasztalatok szerint sikeresebb megoldás. A hőháztartás szempontjából a legfontosabb a temperáló csatornák elrendezése, a szerszámon belüli hőmérsékletprogram megválasztása és a hőcserélő közeget továbbító szivattyúk állapota. A nagy nyomásesés a rendszerben további problémákat okozhat. A tapasztalatok alapján a következő általános összefüggéseket állapították meg:

– a szerszámfal hőmérsékletének 1 °C-os emelése kb. 2%-kal növeli a hűtési időt,
– a temperálás jó beállításával a gazdaságosság 20–40%-kal javítható.

Reológiai változtatásokra van szükség, ha nem jó a szerszám kitöltése, vagy ha nagy belső feszültségek lépnek fel a termékben. A jó szerszámkitöltés legalább annyira felelős a termék minőségéért és a ciklusidőért, mint az egyenletes hőmérséklet-eloszlás. A termikus és a reológiai feltételek egymásra épülnek. A legjobb eredményeket akkor érik el, ha mindkét problémacsoportban előre tudnak lépni. A GTT GmbH tapasztalatai szerint az optimalizálás során nemritkán 30-50%-os ciklusidő-csökkentést lehetett elérni. Ha a megbízás már a szerszám készítésének időszakában érkezik, arra is lehetőség van, hogy az analízist és optimalizálást a szerszámkészítés alatt végezzék el. Mivel az optimalizálás széles körű hozzáértést igényel, legcélszerűbb azt a szerszámgyártó és a tanácsadó cég szoros együttműködésével elvégezni.

Nem egészen világos, hogy a műszakilag egyszerűen kivitelezhető IV-termográfiát eddig is miért nem használták nagyobb mértékben a fröccsöntéssel kapcsolatos problémák kiküszöbölésére. Az biztos, hogy a beruházási költségek magasak, de a hűtési idő csökkentéséből, a szerszámjavításokból

1. táblázat

Egy gépkocsi-ajtóbetét gyártásának optimalizálási folyamata

Az optimalizálás előtti állapot	**Az optimalizálás lépései**	**Az optimalizálás utáni állapot**
- ingadozó termékminőség, - erős sorjaképződés, elsősorban a kidobó és a szerszámzáró síkok környékén, - erős vetemedési hajlam a termékben, - erős méretingadozások a fontos szerelési méretekben, - tömegingadozás > 2,5%, - szűk feldolgozási tartomány, - a nem egyenletes szerszámhőmérséklet (ΔT=37,5 °C) műszaki termékeknél nem elfogadható, - a gépbeállításhoz szükséges öntvények száma: 15-20 darab.	1. A hűtés javítása javított furattechnikával és a szerszámformát közelítő hőmérséklet-eloszlás betétek alkalmazásával. 2. A beömlőcsatornák temperálása, hőelvezetés a termikusan kritikus területekről. 3. A hűtőcsatornák optimalizálása (átmérő, hossz), a hűtőkörök elválasztása, nincs szükség fokozásra. 4. Többkörös temperálás bevezetése. 5. Új szerszám tervezése, forrócsatornás rendszer megteremtése, célzott hőmérséklet-programozás ±2°C-os pontossággal.	- a hőmérséklet-eloszlás a termékben meglehetősen homogén, egyenletes szerszám-hőmérséklet (ΔT=5 °C), - 7%-kal nőtt a hasznos idő, - a selejt 1% alá csökkent, - a tömegingadozás 0,2% alá csökkent, - kisebb sorjaképződés, - szélesebb feldolgozási tartomány, - vetemedésmentes termelés, - már 2-5 fröccsöntés után jó darabok kaphatók.
Ciklusidő: 100% Darabköltség: 100% Szerszámköltség: 100%		Ciklusidő: 65% Darabköltség: 82% Szerszámköltség: 120%

adódó haszon ennél jóval magasabb lehet. A módszer elve nagyon egyszerű: a termokamera leképezi egy test felületi hőmérsékletének eloszlását, és színkódok alapján egyszerűen kiértékelhetővé teszi azt. Követhető a hőmérséklet időbeli és térbeli alakulása is. A kamerával rögzíthető a frissen kivett termék hőmérséklet-eloszlása és követhető a lehűlés folyamata. Felismerhetők a forró foltok, a felületi hibákhoz vagy a vetemedéshez vezető hőmérséklet-eloszlási problémák. Az infravörös kamera a folyamat optimalizálásában és a minőség-ellenőrzésben is fontos szerepet játszhat, pl. kritikus esetekben segítségével félbeszakítható a termelés is, ha hibás terméket állítanak elő. Bizonyos, hogy az infravörös kamerák egyre fontosabb szerepet fognak játszani a termelési költségek csökkentésében és a minőség-ellenőrzésben.

Extrudált profilok felületminőségének ellenőrzése

Az utóbbi években jelentősen megnőtt az extruderek teljesítménye. Ma már 4–6 m/min elhúzási sebességgel működik a legtöbb berendezés, ami szinte lehetetlenné teszi, hogy a működtető személyzet vizuálisan ellenőrizze a termék minőségét. Ezt csak automatikus megfigyelő rendszerekkel lehet elérni.

A hibák definíciója és felismerése azonban nem mindig könnyű, és nincs teljes egyetértés még a szakértők között sem. A hibák nagysága, alakja sem állandó, ezért ha mintadarabokra vagy az ellenőr szubjektív benyomásaira építenék a minősítést, csakhamar megoldhatatlan problémákba ütköznének. A felületi minőséget vizsgáló rendszernek fel kell ismernie és rendszereznie kell az előforduló sokféle hibát. Az osztályozási rendszert a felhasználóval együttműködve kell megállapítani.

A felületminőséget vizsgáló rendszerek (mint pl. a promex CSI nevű rendszer) az értékeléskor a következő szempontokat veszik figyelembe:

- *érzékenység:* ezzel a paraméterrel azt döntik el, hogy mit is tekintenek hibának, és mi tekinthető még megengedhető ingadozásnak. Erre jellemző példa pl. a felületi elszíneződés mértéke,
- *gyakoriság:* itt a hiba méretének vagy előfordulási gyakoriságának szabnak határt. Vészjelzést csak akkor ad a rendszer, ha ennél nagyobb vagy gyakoribb hibát észlel,
- *hibaosztály:* a profilextrúzió során különféle hibák léphetnek fel *(2. táblázat),* amelyek egészen különböző következményekkel járnak a termék használhatóságára nézve. A rendszernek fel kell ismernie és osztályoznia kell a különböző hibákat, és ezeket egymástól függetlenül kell kezelnie.

A felületvizsgálat alapja mindig valamilyen optikai érzékelő. Az érzékelőnek lehetőleg minél kisebbnek és ipari környezetben működőképesnek kell lennie. A promex CSI rendszer moduláris felépítésű. Van benne egy kiértékelő rendszer (elektronika és szoftver), egy optikai rendszer (CCD-kamera, leképe-

ző rendszer és megvilágítás). A kiszolgáló egység lehet olcsóbb, nyomógombos változat és igényesebb, érintőképernyős változat, amely a hibák optikai megjelenítésére is alkalmas. Ezenkívül további segédeszközök is vásárolhatók, mint pl. jelölőrendszerek, riasztólámpák stb., amelyek az érzékelőket valóságos felügyeleti rendszerré varázsolják. A megvilágító és felvevő egységet közös dobozban helyezték el, hogy könnyen felszerelhető legyen a gyártósorra.

2. táblázat

Az extrúzió alatt fellépő jellegzetes felületi hibák

Hiba	**Leírás**
Karcolás, barázda	Vonalszerű felületi hibák az extrúzió irányában. A karcolások keskenyek, szélük éles és nem túl mélyek. Rendszerint az alakadóban (kalibrálóban) levő szennyezések okozzák. A barázdák lekerekítettek, szélesebb, mélyebb hibák. Rendszerint a szerszámban előforduló anyagfelhalmozódás okozza.
Matt csíkok	Vonalszerű felületi hibák az extrúzió irányában. Szélesebbek, mint az előbbi hibák és nincs mélységük. Itt feldurvult felületről van szó.
Pórusok és üregek	Pontszerű felületi hibák. Az üregek megnyúltabbak és mélyebbek, mint a pórusok.
Idegen testek, zárványok, szennyeződések	Ezek a hibák különféle alakot ölthetnek. A nagyobb zárványok után rendszerint farokszerű, nyúlvány alakú üreg képződik. Ilyen hibát rendszerint rosszul megömlött vagy beégett műanyag okoz (pl. a szerszám vákuumcsatornáiban). A vákuumcsatornák tisztítása fémeszközzel fémszennyezések kialakulását eredményezheti.
Márványosság	Nagy felületű hiba, amely rendszerint a teljes profilszélességen jelentkezik. Az eddigi hibáktól eltérően nem rendelhető hozzá jellemző forma, inkább a felületi fényesség hibájáról van szó, amit a rossz gázmentesítés okozhat.
Szélhullámosság	Tulajdonképpen nem felületi hiba. Bizonyos körülmények között hullámos vetemedések alakulnak ki az extrúziós irányra merőlegesen.

A felvételi rendszert (élesség, blende) nem kell külön beállítani, mert az automatikus profilfelismerő rendszer felismeri a vizsgálandó felület fekvését és szélességét a kamera által rögzített képen. Ha új profilt kezdenek gyártani, a kiszolgáló egységet is újra be kell állítani. A felvevő egység gondoskodik a vizsgált felület megfelelő árnyékolásáról is, hogy az idegen fények ne okozzanak zavart a hiba felismerésében. A még ezen felül fellépő világosságingadozásokat a megvilágítási idő szabályozásával egyenlítik ki. A kezelőrendszer nem feltételez sem számítógépes, sem képfeldolgozási ismereteket. Az alapváltozatban még monitorra sincs szükség, csak nyomógombokkal is beállítható a rendszer. Az igényesebb felhasználásokhoz érintőképernyős, grafikus felülettel ellátott monitorok is rendelkezésre állnak. A felhasználó a

mérőprogramban maga állíthatja be az egyes hibatípusokat. Az egyes hibatípusokon belül érzékenység szerint választható durva, közepes és finom fokozat. Ugyancsak a felhasználó határozza meg, hogy milyen méretű, vagy milyen gyakoriságú hibák esetén adjon a felügyeleti rendszer hibajelzést.

(Bánhegyiné Dr. Tóth Ágnes)

Steinko, W.: Kostenfressen auf der Spur. = Kunststoffe, 92. k. 9. sz. 2002. p. 121–124.

Haus, A.: Kratzern keine Chance. = Plastverarbeiter, 53. k. 9. sz. 2002. p. 82.