A fröccsöntő gépek energiahatékonyságának javítása

A prémium minőségű hidraulikus olajok 5–10%-kal képesek csökkenteni a fröccsgépek energiafogyasztását és a ritkább olajcserék és meghibásodások révén növelik a gyártás termelékenységét, emellett csökkentik a mozgó alkatrészek kopását és az olaj hűtésigényét. A szerszámok jobb hőmérséklet-szabályozása szintén energiamegtakarítást eredményez. Egy új, induló vállalkozás megoldása 40-50%-kal csökkenti a fröccshenger energiafelvételét.

Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; fröccsöntés; fröccsszerszám; energiahatékonyság; hidraulika olaj.

Egy fröccsöntési folyamat energiahatékonyságának javítását többféle módon is elérhetjük. Sokszor a legegyszerűbb módszerek is komoly eredményre vezetnek. Noha a legújabb „okos” technológiák alkalmazása az adatgyűjtés és interpretálás révén mindenképpen javítja a helyzetet, más módszerek is hatékonynak bizonyultak.

Prémium hidraulika olaj

A hidraulikus meghajtású fröccsgépeknél az első dolog a hidraulika folyadék helyes megválasztása. Az autókhoz hasonlóan, a jó minőségű, „prémium” olajok jobb hatásfokkal dolgoznak, mint a közönségesek. Mégis, az üzemekben gyakran az olcsó változatot használják.

A Shell felmérése szerint *az üzemek 55%-a nem sokat törődik a hidraulika olaj kiválasztásával,* amely a karbantartási munkáknál alacsony prioritást élvez. A Shell egy magyar fröccsüzem példájára hivatkozik, ahol a cég *Tellus S4 ME 46* hidraulika olajára cserélték a korábbi kommersz olajat, és ezt a Shell *LubeAnalyst* állapot monitorozó programmal egészítették ki. Ennek hatására az *üzem áramfogyasztása átlagosan 9,5%-kal csökkent, és az olaj élettartama ötszörösére növekedett, ami a ritkább olajcserék révén megnövelte a termelékenységet is.* Az ilyen prémium olajok energiacsökkentő hatása összetételükben rejlik. Ennek következtében például javul szűrhetőségük és levegő felszabadító képességük, ami tisztább olajat és kisebb nyomásveszteséget eredményez, vagyis hatékonyabb működést.

Azonban a maximális hatékonyság érdekében gondot kell fordítani a kenés menedzsmentre is. Ehhez jól képzett karbantartókra, megfelelő olajtárolásra és a szennyeződéseket elkerülő kezelésre van szükség. Az olajat az előírásoknak megfelelő gyakorisággal kell cserélni, hogy a jó kenés révén elkerüljék a fröccsgép alkatrészeinek idő

előtti kopását. Fontos az olaj állapotának monitorozása, ami segít diagnosztizálni a berendezések problémáit, mielőtt az károsodáshoz vezetne.

Az ExxonMobil cég szintén kínál speciális hidraulika folyadékot a fröccsöntő gépekhez. Amikor a dél-afrikai MPact Polymers átállt az ExxonMobil vállalat *Mobil DTE 10 Excel* márkanevű hidraulika olajának használatára, 7%-kal csökkent a feldolgozó berendezéseinek áramfogyasztása. Emellett pedig lecsökkent a nem tervezett karbantartások száma és a hosszabb élettartam révén csökkentek a fáradt olaj megsemmisítésének költségei.

A cég szintén bevezette az ExxonMobil *Mobol Serv Lubricant Analysis* elnevezésű rendszerét. A használt olaj elemzése felderíti azokat a problémákat a rendszerben, amelyek később meghibásodásokat okoznának. Az olaj nagy nyírási stabilitása és széles hőmérséklet-tartományban használhatósága segített az energiafelhasználás csökkentésében. Az olaj hosszú ideig használható, ami 200 literrel csökkentette a cég éves olajfogyasztását. A ritkább olajcsere és a meghibásodások gyakoriságának lecsökkenése évi 27 órával kevesebb karbantartási időt és ezáltal jobb termelékenységet okozott.

Egy harmadik olajgyártó, a Chevron adatai szerint a prémium minőségű hidraulika olaj használata amellett, hogy javítja a termelékenységet és csökkenti az energiafelhasználást, de azáltal is növeli a hatékonyságot, hogy az egész hidraulikus rendszernek segít abban, hogy az a viszkozitási görbe optimális működési tartományában (16-36 mm^2/s) maradjon alacsonyabb hőmérsékleteken (<45 °C) is. E jelenség magyarázata a prémium minőségű *hidraulika olaj alacsonyabb folyadéksúrlódási tényezője* és a mozgó alkatrészekkel történő érintkezésnél is alacsonyabb súrlódás tényezője. Mindez nemcsak a működés hatékonyságát támogatja, hanem csökkenti a mozgó alkatrészek kopását, és lecsökkenti a működés hőmérsékletét.

A Chevron cég összehasonlította a *Clarity Synthetic Hydraulic Oil* nevű típusának teljesítményét egy kommersz hidraulika olajéval egy *Husky XL 300* típusú fröccsöntő gépben. A jól karbantartott fröccsgép folyamatos műszakban (24/7) PET palack előformákat gyártott. A gép a gyári érzékelőkön felül még más érzékelőkkel is fel volt szerelve, amelyek minden szivattyúnál mérték a nyomást és a kimeneti hőmérsékletet, emellett pedig mérték a hőmérsékletet a tárolóban és az üzemben, továbbá az elektromos motor áramerősség- és feszültségfelvételét mindhárom fázisban. A két összehasonlított olaj márkaneve a *Clarity Synthetic Hydraulic Oil AW 32* és a referenciaként szolgáló *AW 46* monograde olaj volt. A prémium hidraulika olaj használata 4,2%-kal csökkentette az energiafelvételt.

Az Evonik cég *Dynavis* technológiájával gyártott olaja akár 10%-kal is csökkenti a hidraulikus meghajtású fröccsgépek energiafogyasztását. E prémium kategóriájú olaj használata kiszélesíti az optimális működés hőmérséklettartományát és javítja a hidraulikus egységek hatékonyságát. Ez az olaj kevésbé melegszik és hatékonyabban ellenáll a nyíróerőknek. A hatékonyság növeléséhez csak le kell cserélni az *ISO 46* viszkozitás kategóriájú hidraulika olajat a *Dynavis* összeállítású *ISO 32* típusra. Az Evonik különböző fröccsgépgyártók gépein próbálta ki a *Dynavis* termékeket, és átlagosan 7–10%-os energiamegtakarítást ért el. Ez például egy Boy *35E* fröccsgépnél évi 400

EUR megtakarítást jelentett, míg egy Engel *Victory 330/120* fröccsgépnél a 6,2%-os energiamegtakarítás évi 1200 EUR-ral csökkentette a költségeket.

Szerszámhőmérséklet

Az energiamegtakarítás egy másik nyilvánvaló eszköze a szerszámhőmérséklet jobb szabályozása, miközben a termék minősége nem változik, sőt esetenként még javul is. A területen vezető szerepet játszó német GWK egyesület (Gesellschaft Wärme Kältentechnik) szerint azt követően, hogy a múlt év júliusában megvásárolta a Hahn Enersave cég eszközeit, kínálatába felvette a *Protemp* termékcsaládot, amely olyan kompakt hőmérséklet-szabályozó egységekből áll, amelyek a cég adatai szerint a legnagyobb energiahatékonysággal rendelkeznek a jelenlegi piacon.

Ezt centrifugál szivattyúk és frekvencia-kontrollált meghajtók kombinációjával érik el. A legtöbb hőmérséklet-szabályozó egységbe beépített standard, terelőlapátos (impeller) típusú szivattyúkkal összehasonlítva ezek (a cég információi szerint) akár 86%-os hatékonyság növekedést érhetnek el azonos működési és sorozatgyártási körülmények között. Ennek az az oka, hogy a centrifugálszivattyú szignifikánsan nagyobb folyási sebességet hoz létre a működési ponton, mint a terelőlapátos perifériás szivattyú, miközben energiafogyasztása is alacsonyabb. Ennek eredményeképpen akár négy hagyományos szerszámhőmérséklet-szabályozó is helyettesíthető egy GWK *Protemp* egységgel.

A *Protemp Connect* kommunikációs interfész lehetővé teszi, hogy a *Proflow* vízelosztók és hőmérsékletmérő egységek összekapcsolódjanak a *Protemp* hőmérséklet-szabályozóval, és így akár 12 hőfokszabályozó kör monitorozható a hőfokszabályozó egységgel. Az áramlási sebesség mérésének preferált módja a *Proflow* elosztó rendszerben az ultrahangos, érintésmentes és karbantartást sem igénylő eljárás. A szabályozó szivattyú minden terméknél a gyártási körülményeknek megfelelően módosítja a folyadék áramlási sebességét.

Kombinációban az *Integrat Direct* vízelosztó-rendszerrel, ez azt jelenti, hogy nem csupán az egyes köröket lehet a termikus igényeknek megfelelően beállítani, hanem a szerszám teljes minimális átfolyási értékét is, és így a lehető legkisebb energiabevitelt érik el. A szivattyú energiafogyasztása minden esetben megjelenik a hőmérséklet-szabályozó egység monitorán.

Egy tökéletesen koordinált szivattyúhidraulika, motor, és frekvencia inverterek rendszere, elegendő teljesítmény tartalékkal, lehetővé teszi a funkció folyamatos fenntartását, anélkül, hogy észrevehetően megnövekedne a szivattyú kopása. Az *OPC UA* interfész alkalmazásával a sebesség előre megadható a fröccsgép szabályozó egységéből, vagy bármely más szabályozóból, amelyet az *OPC UA* hálózatba kötöttek az *Euromap 82.1* protokollal.

Hasonló témakörben az Engel cég bejelentette, hogy egyik vevője, a Procter & Gamble Manufacturing megnövelte hőmérséklet-szabályozási folyamatainak áttekinthetőségét és hatékonyságát az Engel *E-Flomo* és *iQ* folyadékszabályozó rendszerének használatával.

A P&G technológusa kijelentette, hogy korábban a szerszámok hőmérséklet-szabályozása „fekete doboz” volt számukra. Sokáig csak a bemenő hőmérsékletet ismerték. A feldolgozás közben az egyes hűtőcsatornák hőmérséklet-eloszlását csak termográfiás módszerrel tudták mérni, vagyis egy olyan bonyolult módszerrel, ami csupán pillanatfelvételt készít a szerszám állapotáról.

Három évvel ezelőtt azonban a németországi (Marktheidenfeld) Fröccsöntő Technológia divíziójukban elkezdték elemezni és optimalizálni a fröccsöntési folyamat hőmérséklet-szabályozását. Az üzem 100 fröccsgépet használ az 500–5000 kN záróerő tartományban.

Az Engel cég információi szerint a K2010 kiállításon bemutatott *Flomo* elektronikus hőmérséklet-szabályozó vizes csőcsatlakozó egységük teremtette meg a lehetőséget a transzparens és konzisztens hőmérséklet-szabályozáshoz. A *Flomo* helyettesíti a karbantartás igényes hűtővízelosztókat, és még alapváltozata is képes egyenként monitorozni és dokumentálni az összes hűtő- és hőmérséklet-szabályozó kör egységet. A legújabb *E-Flomo* berendezés szabályozza az áramlási sebességet vagy a hőmérséklet-különbséget minden egyes körben.

A HB Therm céggel közösen kifejlesztett és a K2016 kiállításon bemutatott *iQ* áramlásszabályozó berendezéssel az Engel tovább lépett ennél. Ez automatikusan kompenzálja a hőmérséklet-különbségeket a hűtővíz elosztó körben, mégpedig az *E-Flomo* egység által mért értékek alapján és beállítja a szivattyú sebességet az *E-Temp* elektronikus hőmérséklet-szabályozó egységekben az aktuális feldolgozási körülményeknek megfelelően. Ez lehetővé tette integrációját az Engel *CC300* szabályozó egységbe, amelynek első alkalmazója a P&G cég volt.

Az elektromos fogkefe töltőegységének 56 fűtő/hűtő csatornát tartalmazó szerszámát használták elsőként az új rendszer kipróbálásához, mivel ez a termék nagy precizitást és konzisztenciát igényel. Korábban viszonylag gyakran volt tapasztalható vetemedés az egyenetlen hőfokszabályozás következtében. Az etázs rendszerű szerszám 32 fészkes, két szétváló felületű kialakítással. Mivel a műanyagömledéket keresztül vezetik az első szétváló felületen a másodikhoz, sok hő keletkezett a középső szerszámlapon. Az eredeti kialakításnál tíz hőmérséklet-szabályozó egységet alkalmaztak.

Az Engellel együttműködve a P&G egy új gyártócellát hozott létre olyan szerszámkialakítással, amelyet az *E-Flomo* alkalmazásához optimáltak. Ennél csak három hőmérséklet-szabályozó egységet alkalmaztak a korábbi tíz helyett. Így mindhárom szerszámlap saját hőmérséklet-szabályozót kapott. Kezdetben a valamennyi szabályozó egységnél elérhető 200 l/min áramlási kapacitás háromnegyedét használták, de ezt lehetséges volt 40 l/min értékre csökkenteni a rendszer validálásakor. A kevesebb hőmérséklet-szabályozó egység és az alacsonyabb áramlási sebesség alacsonyabb beruházási költséget jelent, továbbá kompakt kialakítást és mindenekelőtt szignifikáns energiamegtakarítást.

A fröccsegység hatása

Az új fröccsöntő gépek tervezésénél nagy figyelmet fordítanak az energiahatékonyságra, mivel ennek komoly költséghatása van, hiszen 2018-ban a villamos energia

ára elérte a 0,1717 EUR/kWh szintet, ami 184%-os emelkedést jelent 2000 óta. Az energiatudatos vállalatok energiaauditokat végeztetnek az *EN 16247* szerint, vagy energiamenedzsment rendszerüket az *ISO 50001* szerint auditáltatják. Mindezek azt eredményezték, hogy egyre növekednek az igények az energiahatékony megoldások felé.

A fröccsgépek tervezésénél legtöbbször a meghajtás energiafelvételének csökkentésére törekednek és a fröccshenger energiafogyasztásának javítását elhanyagolják. Ennek az az oka, hogy, különösen régebben, a fröccshenger energiafogyasztása az összes energiafelvétel max. 25%-a volt.

Azonban az újabb változások következtében ott, ahol korábban merev hidraulika szivattyúk energiazabáló aszinkron motorokat használtak, ma sokkal energiahatékonyabb megoldásokkal találkozunk: az elektromos csigameghajtású hibrid gépeknél a szervohidraulikát alkalmazzák, és természetesen a nagyon hatékony teljesen elektromos meghajtású gépeknél is. Ideje volt, hogy a sokáig elhanyagolt fröccshenger fűtésekre is figyelmet fordítsanak, amelyek energiafogyasztásának részaránya, a többi területen végrehajtott fejlesztések következtében, akár 50%-ra is növekedett.

Még a szigetelt fűtőköpenyek esetében is, a kis átmérőjű fröccsegységeknél az üzem légterébe jutó hőveszteség eléri a 60%-ot. Szigetelés nélkül ez az érték ≥75%. És itt a henger hűtésére használt hűtővíz által elvitt energiát még nem is vettük tekintetbe. Még ha a növekvő kihozatali teljesítmény mellett a palástfűtés szerepe erősen lecsökken, akkor is ez olyan mértékű veszteség, amelyet vissza kell szorítani.

E probléma megoldására koncentrált a német inmex GmbH, amely *egy újfajta fűtőrendszert fejlesztett ki.* E megoldásnál a *Clou:Statt* fűtőelemeket a fröccshengerbe integrálják. Ez jelentősen javítja a hőátadást a fűtőelem és a fröccshenger anyaga között, és a hatékony szigeteléssel az energiafelvételt a korábbi érték 55%-ára csökkenti. Egy konkrét alkalmazásnál a polikarbonátot 280 °C-on, 2 kg/h kihozatallal dolgoztak fel egy 500 kN záróejű és 25 mm-es csigával rendelkező Arburg gyártmányú *Allrounder 270 C 50-100* fröccsgépen. Az *inmex* fröccsegységgel a fogyasztást 1025 W értékről 450 W-ra sikerült lecsökkenteni, noha az eredeti fröccshenger szigeteléssel rendelkezett az első fűtőzónánál.

Az *inmex* felszerelése egyszerű, mivel a cég a fröccsgép gyártójától függetlenül használható fröccsegységet készít, ahol a fűtőzónák száma, a dugaljak és kapcsolódások az eredetinek megfelelők. A fúvóka és a csiga kompatibilis a gyártóéval, így a fröccshenger meghajtó egysége a szokás módon működhet. Még a fűtőelemek is cserélhetők, ha erre van szükség.

A rendszer az energiamegtakarítás mellett további előnyöket is kínál. A plasztikáló egység kétszer olyan gyorsan fűt fel, mint az eredeti, és egy bádog burkolat hatékonyan megvédi a szennyeződésektől, mint amilyen pl. a fúvóka és a szerszám tömítetlenségéből ered. Emellett az *inmex* henger jobb hőmérséklet-eloszlást biztosít, mivel nincs fűtetlen rész a fűtőzónák között. A fröccshenger továbbá jobban homogenizálja az alapanyagot az adalékokkal, ezért gyakran nincs szükség pl. a színezékek előzetes kompaundálására.

A plasztikáló egység energetikailag ésszerű szigetelése azonban kritikus pontokat is felvet, például a gyakori anyagváltások esetében. Ilyenkor a belső hő lényegesen

lassabban távozik a hengerből, amikor azt az anyagváltáshoz le kell hűteni. Azonban az *inmex* erre a problémára is kínál megoldást: egy opcionálisan beszerezhető vízhűtést, ami a fröccshengert a szigetelés ellenére nagyon gyorsan lehűti.

Egy további kritikus pont a túlmelegedés a kompressziós zónánál, amelyet a csiga gyors forgása és a torlónyomás okozhat a jól szigetelt környezetben. Itt azonban a helyes gépbeállítás segíthet, például a fordulatszám csökkentése, ami megnöveli a hűtési időt. Egy másik lehetőség a sokszor túl magasra állított torlónyomás csökkentése stb.

Az ilyen problémákkal már megalapítása óta foglalkozik az inmex cég. Mivel az alapítók a Bonn-Rhein-Sieg főiskolából váltak ki, megfelelő tudományos alapképzettséggel rendelkeznek. Ezért folyamatosan kutatják az új megoldásokat a termékfejlesztésnél. Ebből származik az a szolgáltatásuk is, hogy elemzik egy berendezés energiahatékonyságát. Ennek során mérik az energiaáramlásokat a plasztikálási folyamat körül, amit külső érzékelőkkel valósítanak meg. Ily módon megállapítható, hová kerül a betáplált hőenergia:

- a műanyagba, amelyet a csiga forgásával disszipált hővel együtt megolvaszt,
- a környezetbe,
- a behúzó zóna hűtővízébe, ami jelentős energiamennyiséget elvihet.

Ez utóbbinál meghatározó, hogy a behúzó zóna hűtése, folyamatos vízárammal, vagy pedig hőfokszabályozással működik-e. A folyamatos vízhűtés jó egynéhány kW energiát elpazarolhat. Az *inmex* plasztikáló egységek ezért egy egyszerű termikus elválasztást alkalmaznak a csigahenger hűtött behúzó zónája és fűtött része között. E módszerrel több száz watt teljesítmény megtakarítható.

De az energiamegtakarítás korlátokba ütközik, hiszen a műanyag megömlesztéséhez mindenképpen energiát kell bevinni, ami tovább már nem csökkenthető. Azt a legkisebb hőenergiát, amely egy adott tömegű műanyag időegység alatt egy adott hőmérsékletre képes felmelegíteni entalpiának nevezzük. Minden műanyag, a hőmérséklet függvényében, rendelkezik egy specifikus kJ/kg-ban kifejezett entalpiával (fajhővel), amelyet ha megszorzunk az anyagáram értékével (kg/ó) megkapjuk az entalpiát.

Az ideális állapot, vagyis amikor csak a szükséges entalpiamennyiséget visszük be a plasztikálási folyamatba, sohasem érhető el. Azonban egy *inmex* plasztikáló egység és egy szabályozott behúzó zóna hűtés segítségével az energiaveszteség drasztikusan lecsökkenthető. Vagyis ez egy ésszerű beruházás.

Németországban szövetségi és tartományi szinten is vannak olyan programok, amelyek az energiacsökkentésre irányuló beruházásokat hivatottak támogatni (30–70%-kal).

Összeállította: Dr. Füzes László

Mapleston P.: Oiling the wheels of energy efficiency = www.injectionworld.com, Injection World, máj. 2019. p. 33–39.
Ifland A: Energieefficientes Aufschmelzen = Kunststoffe, 2019. 2. sz. p. 42–45.