

Kompaundálás jobb energiahatékonysággal és korszerűbb eszközökkel

A kompaundáló üzemekben ritkán figyelnek az energiahatékonyságra, pedig néha kis változtatással sok energiát lehet megtakarítani, egy jó szakember pedig a régebbi gépeken is sokat javíthat. Versenyképes a jövőben csak az az üzem lesz, amely csökkenti az energiateljesítményt és áttér a korszerű eszközök alkalmazására. Ebbe beletartozik a monitorizálás, a „karcsúsított gyártás” és jól jár, ha beszerez egy-két ko-knétet is.

Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; kompaundálás; energiahatékonyság.

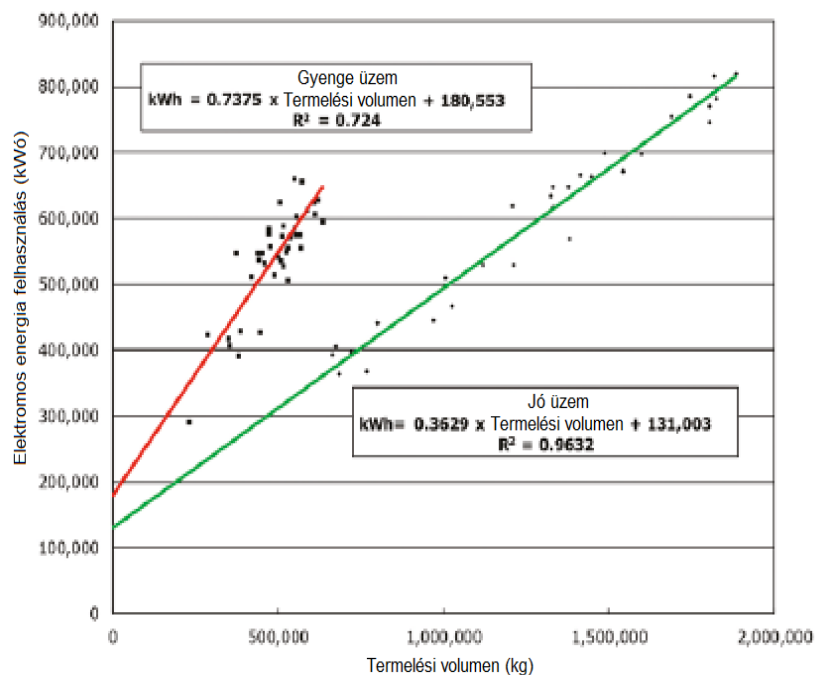
Az energiahatékonyság növelése a kompaundáló üzemekben

Nagyon ritka ma az a kompaundáló üzem, amelyben rögzítik vagy ellenőrzik az energiateljesítményt. Pedig az energia hatékonysága nagyon erősen befolyásolja az üzem gazdaságosságát és jövőbeni fennmaradását. Sokféle módon lehet felmérni, hogy egy üzemben milyen hatásfokkal használják fel az energiát, azaz milyen hatásfokkal vezetik az üzemet. Kezdeti lépésként azt kell felderíteni, hogy hogyan történik a gyártás az üzemben, és hogy annak melyik szakaszában van lehetőség a hatékonyság javítására.

Egy brit tanácsadó iroda, a Tangram Technology (Hitchin, UK) szerint mindenképp meg kell mérni az üzem bázisfogyasztását, azaz annak a villamos energiának a nagyságát, amelyet olyankor használnak fel, ha valamennyi gép be van kapcsolva, de termelést nem végeznek rajtuk. Ezután fel kell rajzolni azt a grafikont, amely megmutatja, mennyi az üzemben felhasznált energia a feldolgozott műanyag mennyiségének függvényében, azaz milyen az üzemre jellemző átlagos fogyasztási „vonal” (PCL, Performance Characteristic Line) Ez az érték az üzem energiateljesítményének „ujjlenyomata”.

Ehhez nagyszámú mérést kell végezni, majd korrelációs számítással meg kell határozni azt az egyenest, amely a legjobban alkalmazkodik a mérési pontok irányultságához. Két üzem ilyen mérési eredményei látható az *1. ábrán*. Az alsó, zöld egyenes egy jó hatásfokkal működtetett kompaundáló üzemre jellemző PCL; a felső, piros egyenes egy éppen hogy elfogadható üzem PCL vonala. A vonal kiinduló pontja a bázisfogyasztás, a teljes fogyasztásnak kb. 30%-át teszi ki. A vonal további része a termelés energiaigénye, ennek elfogadott értéke 0,4–0,6 kWh/kg.

A grafikonon látható, hogy a rosszul működtetett cég bázisfogyasztása nagyobb, a gépek terhelése meredeken növeli a fogyasztást, 0,7-es korrelációs együtthatója a még elfogadható érték körül van. A jól vezetett cég bázisfogyasztása és a gépek terhelése is kisebb mértékben növeli a fogyasztást, R^2 értéke pedig megközelíti az (elméletileg) ideális 1 értéket.



1. ábra Az alsó, zöld egyenes egy jól működtetett üzem PCL vonala; ennek bázisfogyasztása 131003 kWh, teljes üzemi fogyasztása pedig a következő korrelációs egyenlettel számítható ki:

$$\text{áramfelvétel (kWh)} = 0,3629 \times \text{feldolgozott műanyag (kg)} + 131003 \text{ kWh};$$

korrelációs tényező, $R^2 = 0,9632$.

A felső, piros egyenes egy éppen csak elfogadható energiahatékonysággal dolgozó üzem PCL vonala, ennek bázisfogyasztása 180553 kWh, korrelációs egyenlete a következő:

$$\text{áramfelvétel (kWh)} = 0,7375 \times \text{feldolgozott műanyag (kg)} + 180553 \text{ (kWh)}, R^2 = 0,724.$$

A tanácsadó cég szerint a kompaundáló üzem energiahatékonyságának javításához feltétlenül meg kell határozni a vállalat energiapolitikáját, és egyértelműen ki kell jelölni ennek felelősét. Ki kell tűzni az elérendő célt, és ehhez pénzt és időt kell adni. Folyamatosan mérni kell az energiafelhasználás adatait és össze kell vetni őket az elérendő céllal.

A Tangram Technology szerint egy jó energiaprogram elkészítése önmagában 30%-kal csökkenti az energiafogyasztást és a költségeket. Ehhez elég felülvizsgálni a gyártási folyamatot és a felfedezett hibákat a szokásos karbantartási eljárásokkal megszüntetni. További 30%-ot lehet elérni az olyan javításokkal, amelyek költsége nem haladja meg a 2000 fontot. A további megtakarítást a hosszabb idő alatt elérhető, esetleg új beruházásokat igénylő célok megvalósulása eredményezheti.

Ez a harmadik lépcső hozzáértő döntéseket igényel, és függ attól, hogy a kompaundáló üzem hol tart az energiahatékonyság növelése útján. Kezdenek érdemes először a gyártási folyamatban használt kiegészítő berendezéseket felülvizsgálni, pl. a sűrített levegőt szolgáltató eszközöket vagy a hűtőrendszert, amelyek sok energiát igényelnek. A nagyobb tapasztalattal rendelkező üzemekben már induláskor foglalkozhatnak a teljes gyártási folyamat energiahatékonyságával.

Lehet, hogy a sűrített levegő nyomásának csökkentésével is lehet energiát megtakarítani, de a rosszul záró tömítések kicserélésével biztosan. Kevesebb energiát fogyaszt a hűtés, ha kicsit megemelik annak hőmérsékletét, és akkor is, ha folyadék helyett levegővel hűtenek.

Ha a kiegészítő berendezések (perifériák) rendben vannak, jöhet az extruder átvizsgálása. Az extruderek hajtásában nagy előrelépést jelentett az egyenárammal működő AC+VSD motorok alkalmazása a korábbi váltóáramú (DC) motorok helyett. A legújabb, ismét váltóáramot igénylő permanens mágneses motorok új kihívást jelentenek, mert valamennyi korábbi motornál kisebbek, energiahatékonyabbak, és nincs szükségük transzmissziós rendszerre. Egy hozzáértő szakember azonban öregebb gépek energiafelhasználását is tudja mérsékelni.

Mi mindent tud tenni egy szakértő?

Egy professzionális energiamérnök nem ért jobban a kompaundáláshoz, mint az üzemi szakemberek, de tudja, hogy hova kell nyúlni, mit kell megvizsgálni.

Az ilyen szakértő felméri, hogy a régebben vásárolt extruder alkalmas-e arra a munkára, amelyre használják. Csökkentheti a motor terhelését és optimálja az átviteli arányt (gear ratio). Ha a rendszerben szíjhajtásos áttétel van, az addig használt heveder helyett tüskés vagy V-heveder alkalmazását ajánlja. Óva inti a feldolgozókat, hogy túlterheljék a sebességváltót. Ellenőrzi, hogy abban megfelelő olajat használnak-e és hogy optimális-e a hőmérséklete. Ha az extruder fűtése folyamatosan vesz fel áramot, a nyírásból eredő hőmennyiség nem elegendő a szükséges hőmérséklet fenntartásához, ezért a henger hőszigetelését ajánlja. Beállítja a fűtés és a hűtés optimális viszonyát. Szemügyre veszi az extruderszerszámot, a szűrőt és a szűrőcserélőt. Ha elszívót használnak az extruder felett, azt ajánlja, azt állítsák le, ha az extruder nem dolgozik.

Nem mindenki szakember, aki annak mondja magát. Ha egy „szakértő” az üzem világitásával kezd foglalkozni, amely az energia legfeljebb 5%-át használja fel a termelés 66%-ával szemben, ajánlatos más szakértőt hívni.

Az energiafogyasztás ellenőrzése nem új feladat, csak a jelenben megnőtt ennek a fontossága. Jól szervezett üzemekben erre korábban is figyeltek. Ilyen üzemekbe belépve a látogató általában rendet és tisztaságot észlelt; a gyengén teljesítő üzemek többnyire elhanyagoltak voltak.

Az ENTEK International a Lean Manufacturing alkalmazása mellett döntött

Az ENTEK International céget az USA-ban alapították, de a világ minden részében jelen van. (Telephelyeinek címét sűrű homály fedi.) Egyirányban forgó kétcsigás extrudereket, kulcsra kész extrúziós gyártórendszereket és cserélésre szoruló extruder alkatrészeket gyárt. A cég úgy döntött, hogy a vállalatnál megvalósítja a *Lean Manufacturing* alkalmazását, amelynek révén nagy lépést tehet az Ipar 4.0 elve szerinti műanyag-feldolgozás felé.

(A Lean Manufacturing-ot magyarul „karcúsított gyártásnak” szokás fordítani, de ez nem fejezi ki ennek a gyártásmódnak a lényegét, amely napjainkban a legtöbbet igénylő, a teljes vállalati felépítményt átalakító vállalatiirányító rendszerré kezd válni.

Első közelítésben úgy lehet megfogalmazni, hogy a Lean minimalizálja, illetve megszünteti a folyamatokban alkalmazott, de, nem értéknövelő műveleteket, és csak a legszüksé-

gesebb erőforrásokat (ember, gép, raktározás stb.) használja fel úgy, hogy az adott terméket, szolgáltatást vagy információt a vevő által megkívánt minőségben, árban és határidőre adja át.

A Karcsúsított Gyártással foglalkozó irodalmak szerint a módszer használóinak a következő előnyöket ígérik:

- az átfutási idő (lead time) csökkentése (60–90%),
- a gyártásban lévő termékek számának (WIP – Work-in-Process) csökkentése (40–80%),
- az alapterület igényének csökkentése (75–80%),
- a termelékenység növekedése (50%),
- a minőség javulása (50–80%),
- a karbantartási költségek csökkenése (10–50%),
- a minőségi költségek csökkenése,
- a munkaerőigény csökkenése.

A számok valóban lenyűgözőek, és a bemutatott esettanulmányok is azt bizonyítják, hogy a napi gyakorlatban is megvalósíthatóak. Sokan vallják, hogy a XXI. század vállalkozásai nem lehetnek sikeresek a Lean alkalmazása nélkül. Ezt az eljárást elsőként a japán autógyártásban, a Toyota cégnél kezdték alkalmazni, ott nevezték el „lean production”-nak. A japán megközelítés a nyugati tömeggyártástól abban különbözött, hogy magasan képzett, multifunkcionális operátorokkal dolgoztak, egyszerű, de flexibilis eszközöket alkalmaztak, azt készítették, amit a vásárlók kívántak. A Lean megnevezés onnan jött, hogy a gyártóhelyeken a humán erőforrás szükséglete fele volt a megszokottnak, a gyártásokat fele akkora területen valósították meg, még az eszközökbe fektetett pénz is feleződött a klasszikus tömeggyártáshoz képest, és ráadásul az új termékeket is fele annyi idő alatt fejlesztették ki.

A Lean eljárást egyre többen alkalmazzák, és néhányan kiemelkedő eredményekkel értek el.)

Az ENTEK technikai, marketing és gazdasági menedzsere közösen jelölte ki azt a területet, amelyen a legfontosabbnak vélték az energiaveszteség csökkentését.

Az első ilyen terület volt a gépek felülvizsgálata. Ha ugyanis az extruder és/vagy a kiegészítő berendezések alá vagy fölé vannak méretezve, az negatívan hat az energia hatékonyságára. A vízzel hűtött motorok sokkal jobb energiahatékonysággal dolgoznak, mint a levegővel hűtöttek, mert az előbbiek a motor belsejét hűtik, az utóbbiak külső felületükre fűjják a levegőt. A váltakozó frekvenciával működő motorok (VFD, variable frequency drive) kevesebb energiát vesznek fel, mert nem forognak a legnagyobb sebességgel, ha arra nincs szükség. Az extruder hengerének hőmérséklete is kellő figyelmet érdemel. Egy jó hengerhűtő rendszer kihasználja a víz párolgásának hatását és belülről végzi a hűtést. A henger fűtésének energiafelvételét hőszigeteléssel és külső burkolattal lehet csökkenteni.

Második területként a gyártási eljárás részleteit tekintették át. A legtöbb energia az extruderben frikciós hőként jelenik meg, amelyhez az áramot a motor veszi fel. Ezt a feladathoz optimalizált csigával lehet csökkenteni. A csigának nem kell nagyon agresszívnek lennie. Ha jó minőségű terméket lehet gyártani 0,1 kW.h/kg fajlagos energiával (SEI, specific energy input), de a csiga 0,13 kW.h/kg SEI értékkel dolgozik, a túlméretezett csiga 30% energiaveszteséget okoz. A túl nagy sebességgel forgó csiga ugyancsak fölös energiát vesz fel.

Az egyirányban forgó kétcsigás extruder mindössze 10–15%-os hatásfokú ömledék-pumpaként működik. Ennek oka, hogy az energia egy részét a homogenitást szolgáló szűkített keverőszakaszok használják fel. Ha a csigába szivattyúzást segítő elemeket építenek be, javul a szivattyúzás hatásfoka, csökken a gép SEI értéke. Ha a csiga és a henger kopni kezd, a szivattyúzás hatásfoka is csökken.



2. ábra Az ENTEK cég HMI márkanevű kontrollberendezése

Nem szabad az extrudert hosszabb ideig áram alatt tartani, ha nem folyik rajta termelés. Ilyenkor nemcsak feleslegesen fogyasztja az áramot, hanem a benne maradt műanyag elszeneledhet, a gépet ki kell üríteni, meg kell tisztítani, ami ugyancsak jelentős energiavesztéssel jár.

Az ENTEK cég rendkívül hasznos HMI kontrollberendezésével (2. ábra) bármikor be lehet tekinteni a gyártási folyamatba, amely nagy segítséget nyújt a stabil gyártáshoz. Ez az eszköz már teljesen az Ipar 4.0 elvei szerint működik; folyamatosan fenntartja az optimális gyártási paramétereket, és azonnal beavatkozik, ha valamilyen okból változást észlel.

A cég vezetői harmadik területként a karbantartást jelölték ki. Ezt egy jól kezelt gépnél minimalizálni lehet. Ilyen gépen kisebb a kopás, rendben van a fűtés és a hűtés.

A Coperion cég az üzemek energiafogyasztásának feltérképezését javasolja

A stuttgarti Coperion GmbH megkezdte kompaundáló üzemének energiahatékonyság szerinti feltérképezését. Fel akarják mérni valamennyi extruderük és más villamos áramot igénylő eszközük (levegőt, hűtővizet, nitrogént vagy más közeget szolgáltató berendezésük) felmérését, és ezt térképszerűen meg akarják jeleníteni. Ennek alapján kiderül, hogy melyik gépükkel vagy más üzemi berendezésükkel kell foglalkozniuk, és melyek azok, amelyeknek nincs komoly szerepük az üzem energiahatékonyságában. Az erre vonatkozó adatokat elemzésre egy központi helyre kell küldeni. Ezekből meg lehet majd határozni az egyes gépek vagy eszközök által felvett áram vagy más közeg standard mennyiségét, és ezt be lehet táplálni a gépek szabályozórendszerébe. Egy teljesen integrált és jól kezelt energiafigyelő és menedzserrendszerrel az üzem teljes energiafogyasztását kézben lehet tartani, és el lehet kerülni az időnként fellépő csúcspontokat, pl. úgy, hogy a nagy energiafelhasználással járó műveleteket olyankor végzik el, amikor az üzem teljes energiaigénye viszonylag alacsony.

Attól függően, hogy az üzem hol tart az energiahatékonyság növelésében, első lépésként ki kell alakítani az üzem valamennyi energiafogyasztó eszközére kiterjedő monitorrendszert, amely rövid idő múlva ki fogja mutatni, hol lépnek fel csúcspontok, amelyeket viszonylag könnyen ki lehet küszöbölni. Hosszabb időt igényel annak feltárása, hogy a folyamatos gyártáson belül melyik szakaszban (anyagkezelés, extrudálás, csomagolás) lép fel túlfogyasztás. Ebben nagy segítséget adhat a Coperion cég OFF (overall equipment effectiveness) nevű

monitorja, amelyet a legutóbbi düsseldorfi kiállításon mutatott be, és amellyel ki lehet mutatni, hol képződik veszendőbe menő energia, és amellyel könnyebb a gyártási eljárást optimalizálni. Ha ez az eszköz azonosítja azt a helyet, ahol a gép energiahatékonysága nem kielégítő, szoftverje a hiba kijavítására is megoldást javasol. Ha az üzem valamennyi gépét ilyen módon optimalizálják, az egész üzem energiahatékonysága növekszik.

Beruházáskor érdemes mindig a legújabb gépet megvásárolni. A régebbi gépek több energiát igényelnek, mint az újak, mert nem elég erősek, vagy más hátrányos tulajdonságaik vannak. Emellett kompaundálásra szánt és optimált csigákat kell választani, ezekkel is elég sok energiát lehet megtakarítani, és még a kihozatalt is növelik. A Coperion saját tesztelő laboratóriumában is végez optimalizálást, amivel 10–20% energiát lehet megtakarítani. Néha egészen kis beavatkozással meglepő javulást lehet elérni.

Ko-knéter, amely kíméletesen nyírja, diszpergálja és gyúrja a kompaundot

A ko-knéter működési elve nem új. Egy német mérnök, Heinz List 1944-ben Svájcban, ahol az ottani Buss cég (Pratten) felkarolta találmányát, amelyre 1945-ben megkapta a szabadalmi oltalmat. A találmány lényege az volt, hogy a speciális csigát tartalmazó egycsigás extruderben előrehaladó műanyagmassza a hengerbe beépített stabil csapokba vagy pöcökbe ütközik, és mialatt a csiga tengelyirányban előre-hátra mozog, ez által erős gyúró hatásnak van kitéve. A feltaláló a technológia nevében a „ko” jelzővel a folyamatos (kontinuus) gyúrászt akarta kiemelni. A csiga szárnyai nagyon másképpen néznek ki, mint a szokásos csigáké, fordulatonként 2–4 bevágást tartalmaznak, amelyekbe forgás közben az ütközőelemek be tudnak hatolni, és a csiga előre-hátra mozgása mellett a gyúrászt el tudják végezni, gyakorlatilag „átfésülik” az áramló ömledéket (3. ábra). Ezek az egymást követő gyúró ciklusok megkímélik a kompaundot a kétcsigás keverőextruderekben fellépő erős nyíró igénybevételtől, sokkal egyenletesebben homogenizálják a keveréket és öntisztulóvá teszik a knéttert. A megömléshez és a diszpergáláshoz szükséges nyíró erő a csigaszárnnyak és az ütközőelemek közötti résben képződik. Méretét (s) a csiga ármérőjéhez (D_0) viszonyítják. Ezért – más csigás eszközökkel szemben – a nyírás nagysága egyenesen arányos a csiga forgási sebességével, és független a gép méretétől.



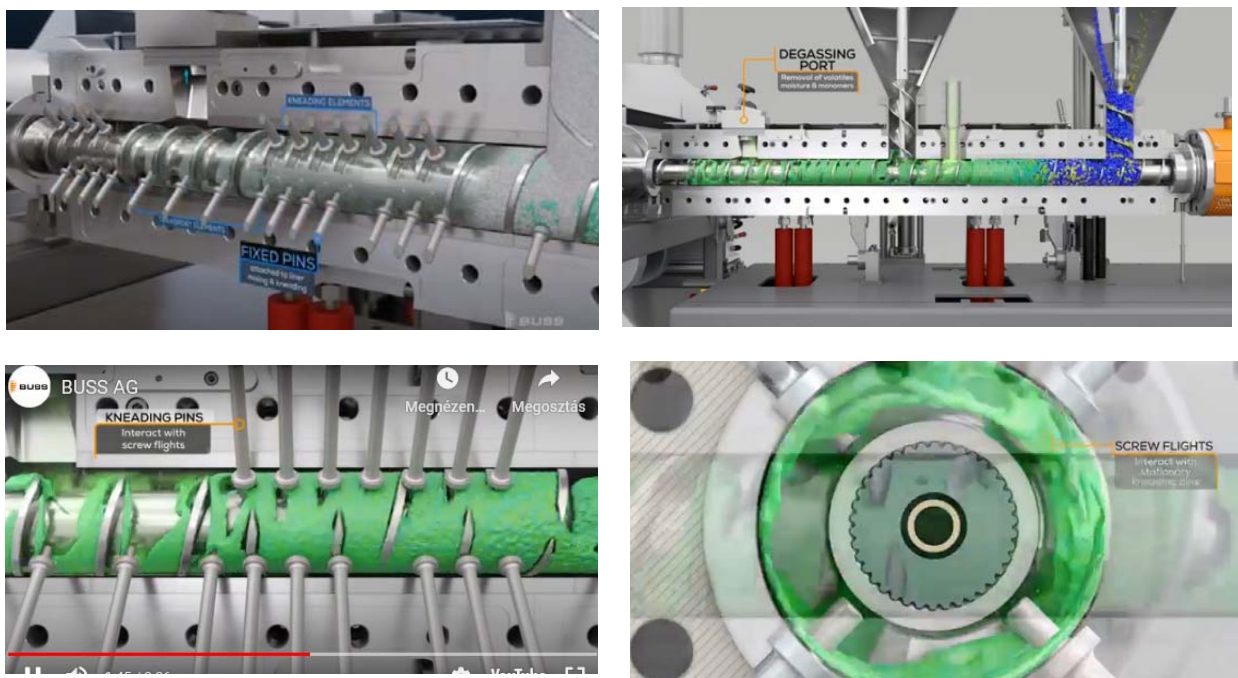
3. ábra A ko-knéter 2-4 bevágást tartalmazó csigaszárnnyai (balra) és a henger belső falába beépített stabil ütközőelemek (jobbra)

A ko-knéterekben a csigaszárnny és az ütközőelem közötti rész nagysága $0,01D_0$, ($D_0/s = 100$), szűkebb, mint a szokásos egycsigás extruderekben, de sokkal nagyobb, mint a kétszigás extruderekben. Ennek köszönhető, hogy a kompaundálás a jobb keverődés mellett is sokkal kíméletesebb, és alkalmas nagyobb nyírásra és hőmérsékletre érzékeny polimerek feldolgozására vagy viszkózus ömledékek hőmérsékletcsúcsok nélküli keverésére.

A gépmérettől független nyíró hatás lehetővé teszi, hogy a kompaundálást könnyen átvigyük egy más méretű gépre, vagy, hogy egy laboratóriumi, esetleg kísérleti próbát rövid idő alatt bevezessenek a gyártásba. A konténerben előrehaladó ömledéket képező rétegek nagyszámú átfogatása ezt a technológiát különösen alkalmassá teszi korommal töltött villamosan vezető műanyagok vagy akár 90% töltőanyagot tartalmazó kompaundok előállítására. A knéter öntisztító volta megakadályozza a műanyag lerakódását vagy a holt terek kialakulását.

A Buss cég változatlanul gyártja a ko-knéterek legújabb változatait. A neten látható videójukon látványosan mutatják be a technológiát (4. ábra). Gépeik modulokból rakhatók össze, ezért igen változatos variációkat tudnak összeállítani. Az ütközőelemekbe különböző érzékelők is beköthetők, az itt beépített hőmérők az ömledék valódi hőmérsékletét jelzik ki. Rajtuk keresztül folyékony adalékot is be lehet juttatni közvetlenül az ömledékbe, és nem kell attól tartani, hogy az felkenődik a henger falára

A ko-knéteres kompaundálás különösen alkalmas nagyon igényes vagy nagyon kényes keverékek előállítására, pl. nagyfeszültségű kábelek szupertiszta szigetelőanyagainak gyártására vagy nagyobb mennyiségű halogénmentes égésgátlók bekeverésére műanyagokba mérsékelt hőmérsékleten. Nagyon hasznos lehet reaktív extrudáláshoz, kormot vagy grafitot tartalmazó félvezető műanyagok előállításához, viszkózus anyagok, pl. szilikonkaucsuk vagy fluoropolimerek feldolgozásához.



4. ábra. A ko-knéter belseje üresen (balra, fenn), munka közben (jobbra fenn); a csiga és az ütközőelemek munka közben, oldalnézetben (balra lenn), a henger és az ütközőelemek szembe nézetben (jobbra, lenn).

Az orvostechnika számára is ajánlható ez a technológia folyadékok (vér, infúziós oldatok) kezelésére szánt zacskók, antibakteriális vagy antivírusos keverékek, orvosi ragasztószalagok anyagainak gyártásához.

Különösen ajánlható a ko-knéteres gyúrás a nagyon szűk feldolgozási ablakkal feldolgozható polimerek keverékeinek kezelésére. Ilyen a poli(butilén-tereftalát) (PBT), a magas hőállóságú poliamid (PA); a hőre keményedő műanyagokhoz, amelyeknél nem indulhat be a térhálósodás. A növényi rostokkal erősített műanyagok; de az elektronika, az autó- és repülőgépgyártás sem maradhat ki ebből a felsorolásból.

Összeállította: Pál Károlyné

Holmes, M.: Make your work = Compounding World, 2020. febr. p. 15, 16, 18, 21, 22, 24. www.compoundingworld.com

Tóth Csaba László: A Karcsúsított Gyártás – a Lean Production (A Lean, ahogyan én látom). = <http://www.thotquality.hu/cikkek/a-karcsusitott-gyartas-a-lean-production.html>

Loviat, F.; Niklaus, A.; Hollosi, R.: The one that shears, splits and folds material = Kunststoffe International, 2020. 8. sz. p. 46–49. www.kunststoffe-international.com

BUSS AG – Working Principle Co-Kneader <https://busscorp.com/>
https://www.youtube.com/watch?v=YDbV-VFFZpA&feature=emb_rel_pause