

Optimális extrúziós csigák a nagyobb teljesítmény érdekében

Az optimális geometriájú csigák előnye a jobb termékminőség, a kisebb veszteség, a kevesebb karbantartási igény, a szélesebb összetétel tartomány (pl. töltőanyag), a kevesebb adalék és mindezek eredményeként a nagyobb nyereség.

Tárgyszavak: ikercsigás extruder, folyamatos átmenet a zónák között, kemény PVC, kopás, termelékenység, kevesebb adalék, több töltőanyag

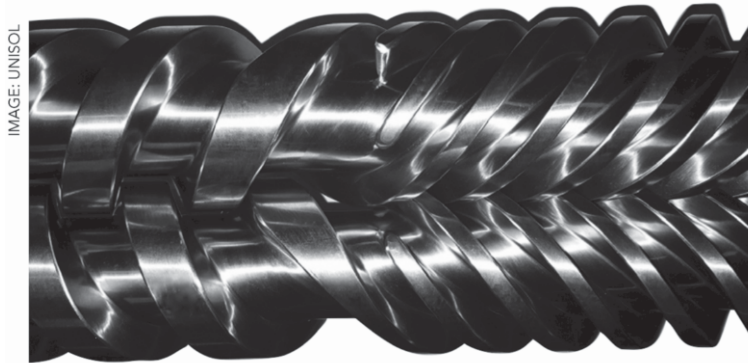
Optimalizált csigaprofil az OEM verzió helyett – mit nyerhetünk?

A csövek és profilok extrúziójában az egyszeres és a szemben forgó ikercsigák játsszák a fő szerepet, ezek juttatják el az ömledéket a szerszámba és ezek határozzák meg az extrúziós teljesítményt és a termék minőségét. Ezzel nem minden feldolgozó van tisztában, és tekintettel a változó feldolgozott nyersanyagokra, inkább általános célú csigát választanak. Ha azonban nagy a feldolgozott mennyiség és hosszú ideig gyártanak egyfajta terméket, kifizetődő az adott célra optimális csigakonstrukciót kialakítani. A megfelelő csiga kialakítása konzultációt és lépcsőzetes megközelítést igényel, mert a folyamat minden részletét figyelembe kell venni. Ha valamiért csigát kell cserélni egy extruderben, mindenképpen érdemes megfelelő energiát fektetni a megtervezésébe.

Poliolefint (PE vagy PP) feldolgozó csigáknál az élettartam 10 év is lehet, töltött PVC esetében (amely többnyire kalcium karbonát vagy talkum töltőanyagot tartalmaz) ez akár ennek töredéke is lehet, mindössze 2–3 év. Ugyanez mondható el a korrozív gőzöket fejlesztő kompaundok feldolgozásáról is. A manapság divatos faliszt tartalmú rendszerek ugyancsak meglehetősen abrazívak, annak ellenére, hogy a fa keménysége kisebb az ásványi anyagokénál. Esetenként a reciklátumok is tartalmaznak koptató jellegű szennyeződések. A kopásnyomok jól észlelhetően rontják az extruder teljesítményét, ha vizuálisan nem is feltűnők. Csökken a kihozatal, nő a felvett teljesítmény, több segédanyagot (pl. csúsztatót) kell használni, érezni lehet az égett anyag szagát. A kopás anyagvisszatartást okozhat a fő- és oldal beadagolásnál, valamint a kompressziós zónában – ez mind rontja a kihozatal. Igaz, ezt ellensúlyozni lehet adalékolással (csúsztatókkal, stabilizátorokkal stb.) ami a felületen eltünteti a hibákat, de nem árt tudni, hogy az adalékok költsége a termelési költségek 80%-át is elérheti – ezért mennyiségük csökkentése a termelési költséget is csökkenti. Egy konkrét esetben, pl. a stabilizátor mennyiségének 1,3%-ról 1%-ra történő csökkentése kevesebb mint egy év alatt kompenzálta a csiga és a henger célzott cseréjének költségeit.

Ami a csigaélettartamot illeti, a legtöbben elintézik azzal, hogy megfelelő szerkezeti anyagot és kopásálló bevonatot választanak, pedig a megfelelő csigakonstrukció önmagában 50–60%-kal növeli az élettartamot. A legtöbb kopás oka a hirtelen nyomásnövekedés az ömledékben, amely húzó igénybevételt okoz a csigában. A szemben forgó ikercsigás rendszerekben a

nyomásnövekedés a hengerfalhoz nyomja a csigákat. Ez mind a hengerfalat, mind magát a csigát koptatja. Ha a kopás a csiga egy rövidebb szakaszán következik be, a csiga minden fordulaton hajlító igénybevételnek is ki van téve, ami nagyon veszélyes. Ha sikerül kiküszöbölni a hirtelen nyomásnövekedést, kisebb a törés veszélye. A kanadai **UniSol** cég a német **GTS (German TwinscrewS GmbH)** céggel együttműködve, amelynek hatalmas adatbázis áll rendelkezésére anyagokról, receptúrákról, feldolgozási paramétereiről és OEM dizájnokról, olyan szimulációs rendszert dolgozott ki, amely adott alkalmazáshoz, anyagösszetételhez, hőmérsékletprogramhoz és kihozatalhoz képes optimalizálni a csigák geometriáját. A megoldás kulcsát az ömledékeloszlás szimulációja jelenti a teljes csigahossz mentén. Természetesen a tervezésen túl a kivitelezés, a csiga megfelelő megmunkálása is legalább olyan fontos. A GTS által tervezett csigákban nincsenek „üres” szakaszok a különböző zónák között, hogy megakadályozzák az anyag felgyűlését. A csigaszárnnyak (flight) folyamatosan mennek át egymásba, így az anyagáram is folyamatos (lásd az *1. ábrát*).



1. ábra. Egyedi csiga a zónák közti folyamatos átmenettel.
(Forrás: Moin, 2022).

Az optimalizált csigageometria lehetővé teszi például, hogy mind nagy- mind kisnyomású csöveket nagy kihozattal gyártsunk. A váltáshoz mindössze arra van szükség, hogy optimalizáljuk a szerszámot és megnöveljük kalibrációs és hűtőegység hosszát, de ezek viszonylag egyszerű beavatkozások. Az extrudersor sebességének növeléséhez elegendő mennyiségű és megfelelő minőségű ömledékre van szükség. A GTS PVC-hez olyan csigákat tervezett, amelyek optimalizálják a kompaundálás végső fázisát és a gélesedést. A nagyobb kihozatal mellett a megfelelő csigadizájn mellett a horizontális és vertikális hőmérsékleteloszlás változatlan marad, az ömledékhőmérséklet mégsem nő meg túlságosan. A profilgyártók sokszor azzal szeretnék növelni a kihozattal, hogy több profilt próbálnak egyszerre extrudálni, de itt a sebesség növelésének a kalibráló rész szab határt, különösen bonyolultabb ablakprofilok esetében. Az utóbbi időben inkább a jó minőségű ömledék előállítására koncentrálnak, és inkább a szerszámokat cserélik. A termelés jobban tervezhető, ha a szerszámok hasonló berendezések között cserélhetők. Az optimalizált csigák pontosan ezt teszik lehetővé: ugyanazt a szerszámot lehet használni különböző extruderekhez.

A megfelelő csigatervezés csodákat művelhet. Egy OEM csigával szállított extruder teljesítménye, amelynek nominális teljesítménye 4,5 tonna/óra volt, idővel 3,5 tonna/óra csökkent, a megfelelő csigára való áttérés ezt 8,5 tonnára növelte. A kihozattal a környezeti tényezők, így a hőmérséklet és a páratartalom is befolyásolják. Amikor pl. egy berendezést Floridából vittek Torontóba, ahol sokkal kisebb a páratartalom, a csigát és a hengert is kicserélték, és egy kigázósító egységet is ki lehetett venni belőle, amivel a kihozatal 35%-kal javult. Az optimalizált csigageometria abban is segíthet, hogy szélesebb legyen a „feldolgozási ablak”. Ismert, hogy még a névleg azonos sarzsok között is vannak eltérések, és a gyártónál az is előfordulhat, hogy kisebb-nagyobb mértékben változtatni kell az összetételen – vagyis a reológiai paraméterek is változnak. Ezen is segíthet egy megfelelő csiga.

A megfelelően választott csiga a tervezési lehetőségeket is javítja. Ha pl. valaki PVC habot gyárt és csökkenteni tudja a sűrűséget (természetesen a mechanikai jellemzők nagyobb romlása nélkül), az nagyot nyer rajta, mert a műanyag habot hossza/térfogatra árulják, nem tömegre. Egy PVC habgyártó pl. 50 -ról 48 g/dm³-re akarta csökkenteni a sűrűséget a mechanikai jellemzők romlása nélkül. A PVC feldolgozása speciális, mert nem elég egyszerűen a hő alkalmazása, úgynevezett „zselizálásra” vagy gélesítésre van szükség nagyobb nyírás alkalmazásával, 130–150 °C között. Ezen felül a polimer, töltőanyag, adalék és habosítószer eloszlása nagyon homogen kell, hogy legyen, különben nagyobb buborékok alakulnak ki a habban, amik gyenge helyet jelentenek a szerkezetben. A csiga tervezésekor azt is figyelembe kell venni, hogy a habosító szerek csak megfelelő nyomáson és hőmérsékleten aktiválódnak. Mire erre sor kerül, a PVC-nek tökéletesen zselizálnak kell lennie. Ez után a pont után azonban már nem szivároghat gáz az extruderből, mert az növelné a sűrűséget.

Sok feldolgozó elfogadja a rövid csiga-élettartamot, mint ami az üzlet elkerülhetetlen velejárója, és inkább adalékokkal oldja meg a felmerülő problémákat, pedig a csigageometria optimalizálása sokkal költséghatékonyabb megoldás. A magasabb beruházási költséget túlkompensálja a kisebb termelési költség és a hosszabb élettartam. A termelési költség csökkenésében benne van a kisebb energiaigény és az olcsóbb nyersanyag, a kevesebb adalék.

Az optimalizált csigageometria előnyei a kemény PVC feldolgozás példáján

A kemény (nem lágyított) PVC-ből készült csövek és profilok látszólagos egyszerűségük ellenére komoly műszaki tudást igényelnek, mert a kemény PVC megfelelő feldolgozásához a PVC por szállításának, keverésének, melegítésének, nyírásának és nyomás alatti szerszámba préselésének számos problémáját kell megoldani. Ennek eszköze a szembe forgó ikercsigás extruder. Ezen belül is kitüntetett jelentősége van a megfelelő csigageometriának. A kemény PVC feldolgozása során a PVC port az adalékokkal egyenletesen és fokozatosan 150 °C körüli hőmérsékletre melegítik, összekeverik, majd ezután intenzív nyírásnak teszik ki (zselizálás), a végső hőmérséklet 180–200 °C. A folyamatban használt ikercsigás rendszer csigái lehetnek párhuzamos vagy kúpos elrendezésűek. A kemény PVC mellett lehetnek kopolimerek vagy klórozott PVC (cPVC) is a rendszerben – ezeket használják csőgyártás mellett ablak és ajtóprofilok gyártására is. A kúpos elrendezésű csigák nagy betáplálási szakaszt tartalmaznak, de a csiga korlátozott hossza miatt a kihozatal is korlátozott. A párhuzamos elrendezésű ikercsigás rendszerekben nincsenek ilyen hossz-korlátok. Ez a különbség az ún. L/D (hossz-átmérő) arányban látszik meg. 30 évvel ezelőtt a tipikus L/D érték 20 körül volt, 15 éve 30 körül, ma pedig már sok $L/D = 40$ csigát használnak.

A 2. ábra mutat egy párhuzamos elrendezésű ikercsigás rendszert kisserelt állapotban.



2. ábra. Egy optimalizált, párhuzamos elrendezésű ikercsigás rendszer. (Forrás: Willaims, 2021.)

A kemény PVC extruderekben használt koptató töltőanyagok és az anyag korrozív jellege miatt (elkerülhetetlen sósav-fejlődés) a csigákat viszonylag gyakran cserélni kell, általában 1–1,5 évente, nagyon gondos tervezés és működtetés esetén 4 évente. Ha nem figyelünk a kopást jelző változásokra (amelyek eleinte nem feltűnőek, pl. a feldolgozás vagy a termék minősége fokozatosan romlik), akkor jelentősen megnőhet a selejtszázalék (tipikusan 1,5-ről akár 10%-ra is emelkedhet). Egy másik árulkodó jel az egyik termékről a másikra való átálláshoz szükséges idő megnövekedése (a szokásos 1–2 óra a duplájára, vagy akár a négyszeresére is nőhet). A beégés már durva jelzés és a csigák tisztítása hosszú leállásokat eredményezhet. A legtöbb feldolgozó a csigakopás kérdését az anyagválasztással és a bevonatokkal intézi el, holott a kopott csiga optimalizált geometriájúra történő cseréje akár 60%-kal is csökkentheti a kopást. A kopás egyik legjelentősebb tényezője az ömledék turbulenciája, amely lokális nyomásnövekedést eredményez. Ezt a nyomásnövekedést lehet előre jelezni megfelelő szimulációs szoftver segítségével, ami jelentősen lerövidíti az optimális geometria kifejlesztését a tisztán empirikus vagy a próba-hiba módszerhez képest. A várható problémák megoldását és az optimális dizájn elkészítését hatékonyan támogatja a régi, kopott csiga beható vizsgálata. A kopási nyomok pontos leképezése segít annak kiszámításában, hogy milyen energia-igénybevételnek van kitéve a csiga az erősen és gyengén igénybe vett területeken, és az új csigageometriát már úgy lehet megtervezni, hogy ezt el tudja viselni. A kopásállóbb szerkezet része az, hogy kerülni kell az „üres” átmeneti zónákat, ahol az anyag meggyűlhet és megnő a nyomás. A GTS által tervezett csigákban az utolsó 100–250 mm-en megduplázzák a menetszárnyak mennyiségét, hogy simább legyen a cső belseje és csökkenjen az ömledéknyomás ingadozása.

A termelékenység jelentősen javítható az L/D érték növelésével, pl. ha 32-ről 35-re növeljük, a termelékenység 25%-kal nőhet – feltéve, hogy a meghajtás bírja. A megfelelő csigageometria azt is lehetővé teszi, hogy több töltőanyagot és kevesebb (drága) adalékanyagot használjunk, vagyis nő a profitabilitás. A kemény PVC csövek 100 egység PVC-re 100–150 egység kalciumkarbonát töltőanyagot tartalmaznak, a bepattintható padlóelemek esetében ez 300 súlyrész is lehet. Az extruder henger olajfűtése helyett a zártkörös víztemperálás sokkal hatékonyabb, pl. ha a csigacsúcsnál sok hő keletkezik, az azonnal átírányítható a betáplálási zónába – ezzel komoly mennyiségű fűtési hő megspórolható. Ez a temperálási rendszer csökkenti az anyag termikus károsodásának veszélyét is.

Összefoglalva az optimalizált csigakonstrukció az alábbi elemeket tartalmazza:

Optimalizált temperálás

Az optimalizált, zártkörű csigatemperálás a szemben forgó ikercsigás rendszerekben jobb eredményt ad, mint az olajtemperálás, és nincs szükség karbantartásra. A belső csigatemperálás növeli a feldolgozási ablakot és javítja a kihozatalt. Többféle kihozatal mellett is állandó hőmérsékletprofilot biztosít és elkerülhető lesz a csigacsúcs előtti hőmérsékleti csúcs.

Nincs üres szakasz a zónák között

A PVC feldolgozásánál jól meghatározott hőmérsékleti-, nyírási viszonyokra és tartózkodási időre van szükség. Az szemben forgó ikercsigás rendszerekben ehhez 6–8 különböző zónára van szükség. A legtöbb csigán a zónák között van egy üres szakasz, ami megváltoztatja a tartózkodási időt és a nyírósebességet. Ehelyett folyamatos átmenetek is tervezhetők és megvalósíthatók a csiga tervezése és gyártása során.

Kisebb hőmérsékletingadozás

A szemben forgó ikercsigás rendszerekben az adagoló zónában rendszerint nagy a hőmérséklet, ezért itt intenzív hengerhűtést kell alkalmazni, de a hűtőrendszerek nem mindig tudnak elég hőt elvonni, ami károsítja az anyagot. Megfelelő csigakialakítással a csigák nagy nyomás mellett is képesek kisebb túlmelegedést eredményezni. Nagy nyomásra van szükség vékony falú csövek, hullámos falú csövek és vékony falú profilok esetében.

Kisebb kopás

Mivel a primer csigakopás oka a csigadizájn, annak optimalizálásával a kopás is jelentősen csökkenthető. A másodlagos kopás oka a csiga és a henger reológiai jellemzőiben van. A kopás csökkenthető, ha mind a csiga, mind a henger nitridált acél. Még nagyobb védelmet lehet kialakítani az ún. PTA (Plasma Transferred Arc = plazma-közvetített ív) hegesztés alkalmazásával a csiga felületén és az ikercsigák belsejében pedig bimetál réteg alkalmazásával.

A vágat karbantartása

A GTS a hengerek temperálását kerámia fűtőtekercsekkel oldja meg, valamint karbantartást nem igénylő léghűtéssel. A fűtőelemek közvetlenül a hengert fűtik, nem a környező levegőt. A fűtőelemek dizájnja pontosan megfelel a csigadizájnnak, és minimális energiafelhasználásra vannak optimalizálva. Ez is optimális temperálást és széles feldolgozási ablakot biztosít.

Összeállította: Dr. Bánhegyi György

Moin S.: Optimized screws raise extrusion performance = Pipe and Profile Extrusion, 2022. április, p. 13-18

Williams D.: Optimized Extrusion Screw Design Maximizes Throughput, Quality in Rigid PVC Products, Plastics Today, 2021. október,

<https://www.plasticstoday.com/extrusion-pipe-profile/optimized-extrusion-screw-design-maximizes-throughput-quality-rigid-pvc>