

Eljárások az extruderhenger és -csiga elhasználódásának csökkentésére

Az extruderek hengerének és csigájának súrlódás, feltapadás, korrózió miatt bekövetkezett kopása jelentősen csökkenti a feldolgozás teljesítményét és veszélyezteti a termék minőségét, ezért a gépgyártók nagy erőfeszítéseket tesznek arra, hogy ezeknek a gép-
elemeknek a kopásállóságát növeljék. A különböző technológiákkal végzett felületkeze-
lés azonban befolyásolhatja az extrudálási folyamatot. Ezt vizsgálták egy német kutató-
intézetben. Az extruder fő elemeinek tartósságát újabban metallurgiai (porkohászati)
technológiákkal próbálják növelni, sőt magukat az elemeket is porkohászati úton állít-
ják elő.

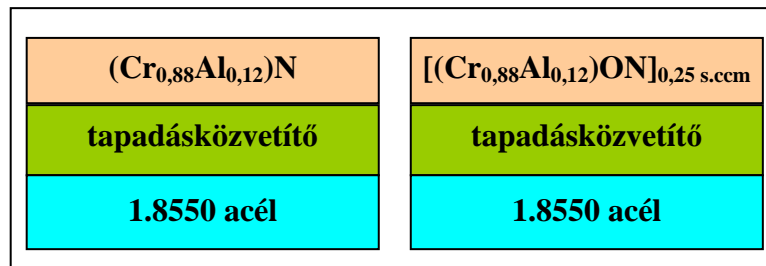
*Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; extrudálás, gépgyártás; csiga; henger;
korrózió; felületkezelés; PVD bevonat; porkohászati eljárások.*

Az extrudercsiga, a henger és a műanyagömladék között sokféle kölcsönhatás lép fel. Az ömladékben lévő töltőanyagok és erősítőszálak koptató hatása mellett agresszív anyagok felszabadulásakor korrózió is felléphet, emellett a fémfelületeken a műanyagok megtapadása anyaglerakódásokat eredményez. Ha csökkentik a műanyagömladék adhézióját a csigafelületen, kisebb lesz a nyomásvesztés, csökken a lerakódás, rövideül a műanyag tartózkodási ideje a gépben, javul a termelékenység. Ennek érdekében a csiga felületét különböző technológiákkal módosítják. Ezt szolgálja a hagyományos polírozás, a keménykrómozás, a különböző bevonati rétegek felhordása PVD és porkohászati technológiákkal, de az utóbbiakkal nemcsak bevonatot, hanem teljes gép-
elemeket is gyártanak.

Vékony, kemény PVD bevonattal ellátott csiga hatása az extruder teljesítményére

Az aacheni műszaki főiskola (RWTH, Rheinisch-Westfälische Technische Hochschule Aachen, Németország) műanyag-feldolgozással foglalkozó kutatóintézete (IKV, Institut für Kunststoffverarbeitung) és felületkezeléssel foglalkozó technikai intézete (OIT, Institut für Oberflächentechnik) PVD eljárással (Physical Vapour Deposition, fizikai gőzlecsapással) bevonatolt csigákkal végzett extrudálási kísérleteket. Mindkét kiválasztott műanyag – az Eval Europe *Eval M100B* márkanévű etilén/vinil-alkoholja (EVOH) és a BASF SE *Ultramid B40* márkanévű poliamid 6-ja (PA 6) – nagy felületi energiájú, erősen poláros anyag. A fémfelületekre nitridált és

oxinitridált krómalapú PVD keménybevonatot vittek fel. Az 1.8550 típusú acélfelületet a nagyobb keménység érdekében plazmakezeléssel nitridálták, majd polírozták. A felület átlagos érdessége $R_a = 0,1$, az érdességi profil mélysége, $R_z < 2 \mu\text{m}$ vastagságú volt. A PVD bevonatoláshoz a CemeCon AG CC800/9 HPPMS berendezését alkalmazták, amely négy dcMS katódot és két HPPM katódot tartalmazott. A bevonatoláshoz CrAl20 célkatódokat használtak. A felvitt rétegeket az 1. ábra mutatja.



1. ábra PVD eljárással kialakított nitridált (balra) és oxinitridált (jobbra) keménybevonat az acélfelületen

A $2,8 \mu\text{m}$ rétegvastagságú és $24,1 \pm 2,9 \text{ GPa}$ keménységű nitridált $(\text{Cr}_{0,88}\text{Al}_{0,12})\text{N}$ réteget $25 \text{ cm}^3/\text{s}$ oxigénárammal kezelve $2,3 \mu\text{m}$ vastagságú $25,7 \pm 2,9 \text{ GPa}$ keménységű oxinitridált réteget kaptak. Az acélfelület és a keményréteg közötti jó tapadást fém-köztes réteggel növelték. A keményrétegek törésfelületén pásztázó elektronmikroszkóppal vizsgálva tömör finom rudas szerkezetet láttak. A további vizsgálatokban összehasonlították a felületkezelés nélküli és a két felületkezelt csiga hatását az extrudálás folyamatára.

A felületkezelés hatása az ömledék szerszámfalnál fellépő nyírófeszültségére

Ahhoz, hogy a fel lehessen mérni, milyen hatást fejt ki a csigák felületének módosítása az extrudálási folyamatra, részletesen meg kell vizsgálni a műanyagömledék és a fémfelületek közötti kölcsönhatást. Ehhez a 2. ábrán látható résszerszámot alkalmazták, amelynek felületét a csigákéhoz hasonló bevonatokkal látták el. A szerszám első szakaszában a csatorna magassága mindössze $1,8 \text{ mm}$, a második szakaszban 4 mm volt. A műanyagömledék szűkebb és tágabb csatornaszakaszban fellépő nyírófeszültségét a falnál (τ_f) a nyomásvesztésgből ($\Delta p = p_1 - p_2$, ill. $p_3 - p_4$) számították ki a következő egyenlettel:

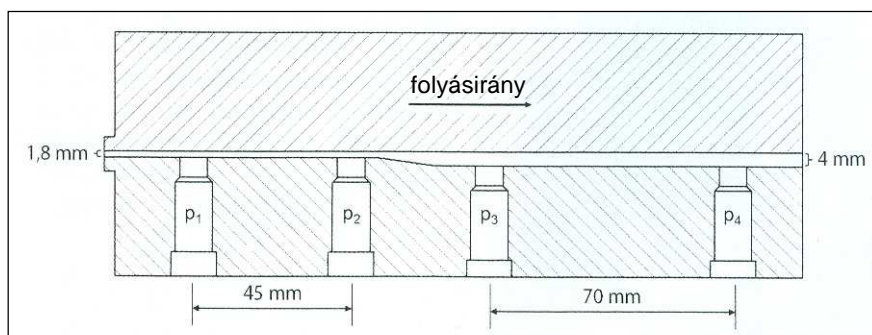
$$\tau_f = \frac{\Delta p \cdot H}{L \cdot 2},$$

ahol H a csatorna magassága, L a $p_1 - p_2$, ill. $p_3 - p_4$ nyomásmérő közötti szakasz hossza.

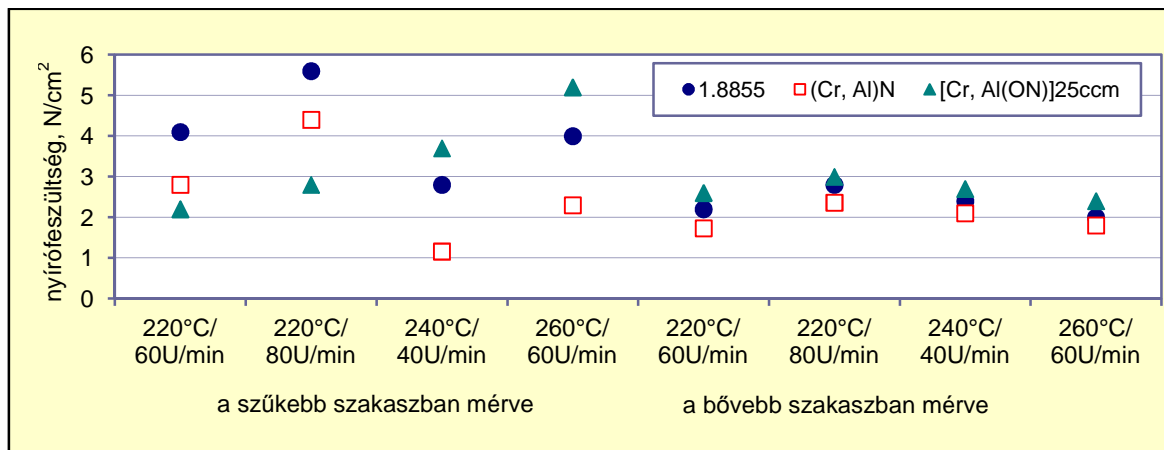
A kísérleti szerszámmal különböző feldolgozási paraméterekkel extrudálták az EVOH-t és a PA-t. Az ömledékek nyomáscsökkenésből kiszámított szűkebb és bővebb

csatornában mért felületspecifikus nyírófeszültségét (τ_{fp1-p2} ; τ_{fp3-p4}) a 3. ábra tartalmazza. A felületminőséget jelző üres szimbólumok az EVOH, a teli szimbólumok a PA mérési eredményei.

Az EVOH a szűkebb csatornában mindkét módosított felületen kisebb nyírófeszültséget mutatott, mint a módosítatlanon. A kezelt felületeken kisebb volt a nyomáscsökkenés, a módosító bevonatok tehát csökkentették az ömledék tapadását, azaz az áramlással szemben kifejtett ellenállást. A bővebb csatornában a különbségek csekélyek voltak, az viszont egyértelmű, hogy a szűkebb csatornában a nyírófeszültségek magasabbak voltak. Ennek oka az lehet, hogy a bővebb csatornában kisebb a nyírósebesség az ömledékben belül és nem lépi túl azt a kritikus nyírófeszültséget a falnál, amelynél az ömledék meg tud csúszni. Ilyen esetben a felületek minősége alárendelt szerepet játszik.



2. ábra A felületmódosítás és a derékszögű csatorna falánál fellépő nyírófeszültség közötti összefüggés vizsgálatára használt szerszám vázlatos képe

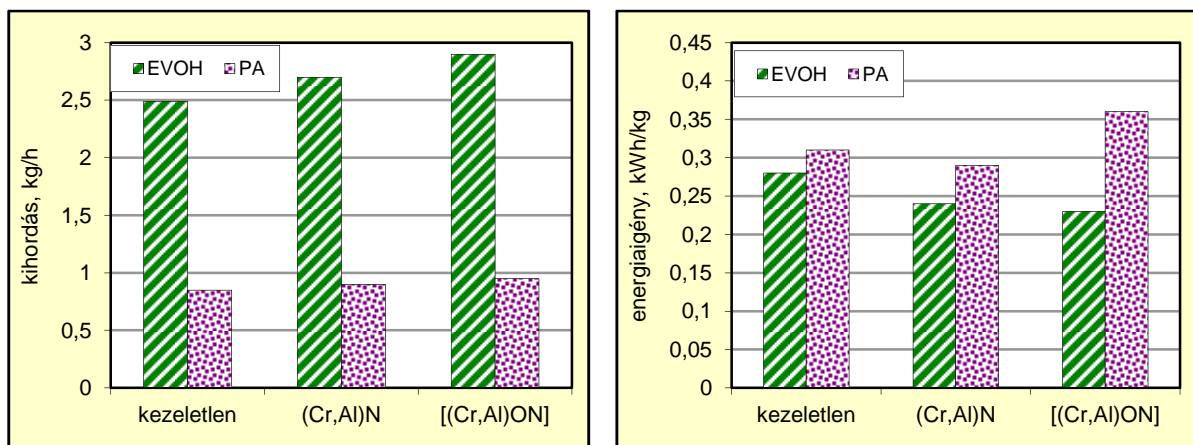


3. ábra A 2. ábra szerinti szerszám szűkebb és bővebb csatornájában mért felületspecifikus nyírófeszültségek a vízszintes tengelyen feltüntetett különböző extrudálási paraméterek mellett. Az üres szimbólumok az EVOH, a teli szimbólumok a PA mérési eredményeit jelzik

A poliamid extrudálásakor a szűkebb csatornában a nitridált felületen kisebb, az oxinitridált felületen viszont nagyobb nyírófeszültséget mértek, mint a kezeletlen. Feltételezhető, hogy a műanyagömladék és az oxinitridált felület között kémiai kölcsönhatás lépett fel. A nagyobb csatorna-keresztmetszet itt is csökkentette a nyírófeszültséget és elmosta a különbségeket a különböző minőségű felületek között. A kísérletek azt bizonyították, hogy a felültkezelés kiválasztásakor figyelembe kell venni, hogy a gépen milyen műanyag(ka)t fognak extrudálni.

A PVD bevonatok hatása az extruder teljesítményére

A kísérletek további szakaszában a kutatók a Brabender GmbH & Co. KG (Duisburg) 19/10DW típusú háromzónás csigát tartalmazó extruderével végeztek feldolgozási próbákat az EVOH-val és a PA-val. Az ömladék egy zsinórszerszám felületkezelés nélküli 5 mm átmérőjű kör alakú nyílásán áramlott ki. Egy-egy munkaponton (paraméteregyüttessel) 3–3 extrudálási folyamatot végeztek. Mérték az extruder teljesítményét (a szerszámból óránként kiáramló ömladék tömegét) és a fajlagos energiafelvételt. A mért értékeket a 4. ábra mutatja.



4. ábra Az EVOH és a PA anyagkihozatala (balra) és fajlagos energiafelvétele (jobbra) különböző felületkezelést kapott csigákkal

Az extruder teljesítménye az EVOH extrudálásakor a kisebb tapadás miatt jelentősen növekedett a felületmódosítás nyomán; a legnagyobb kihozatalt az oxinitridált felülettel érték el. A kisebb adhézió következtében kisebb forgatónyomatékkal lehet fenntartani a konstans extrudálási paramétereket; ez által az áramigény is kisebb volt. Ezek az eredmények jó összhangban vannak a speciális szerszám falánál mért felületfajlagos nyírófeszültségekkel.

A PA extrudálásakor ugyancsak növelte a kihozatalt a felületkezelés. A nitridált felület az energiafelhasználást is csökkentette. Az oxinitridált felületű csiga azonban jelentősen növelte az energiaigényt. Ennek oka az erősebb adhézió kölcsönhatás a műanyagömladék és a csigafelület között. Ez az eredmény is összhangban van a koráb-

ban mért nagyobb nyírófeszültséggel. Az extrudálás eredményei további nyomatékokat adnak annak a megállapításnak, hogy a gépelemek bevonatának kiválasztásakor tekintettel kell lenni a bevonat és a feldolgozott anyagok fizikai és kémiai tulajdonságaira.

Új henger- és csigafelület-kezelő technológiák

Az extruderhenger és a benne lévő csiga új korában dolgozik a legjobb hatásfokkal. Idővel azonban fokozatosan elhasználódik, különösen ha koptató és korrodáló hatású anyagokat dolgoznak fel benne. Ennek következtében a gép hatásfoka jelentősen csökken. A gép karbantartásakor van lehetőség a hatásfokcsökkenés kompenzálására, de a beavatkozás újabb gondokat okozhat, pl. növekszik a nyíróerő, a polimer hődegradációja, hosszabbá válik a hűtési idő; az is előfordul, hogy a kopás nemhogy csökkenne, inkább felgyorsul. Meglehetősen gyakori jelenség, hogy csak akkor próbálnak segíteni a bajon, amikor a gépelemek már szinte használhatatlanná válnak. Az utóbbi években azonban számos gépgyártónál fejlesztettek ki és vezettek be olyan technológiákat, amelyekben speciális anyagokat és felületkezelő eljárásokat alkalmaznak, amelyekkel megnövelik a csigák, a hengerek és a szerszámok teljesítményét, élettartamát.

Új ígéretes eljárás a henger kopásállóságának növelésére

A németországi *Extruder Experts GmbH* (Monschau) speciális kopásálló anyagokat használ extruderei kopásnak kitett elemeihez. Az egyes csigaszakaszok szívósságát (ductility) úgy próbálja növelni, hogy kopásállóságuk emiatt ne csökkenjen. Az extruderek teljesítménye ugyanis folyamatosan emelkedik és egyre nagyobb forgatónyomatékkal dolgoznak, a hornyolt henger és a csigaszakasz tengelye között egyre nagyobb erők lépnek fel az anyag továbbításakor, ami erősen növeli a súrlódást a henger és a csiga felületén.

A cégnél többféle új anyagot próbáltak ki, amelyek kellően szívósak, de kopásállóságuk hasonló, mint a hagyományos PM-HIP acéloké (powder metallurgy hot isostatic pressing; porkohászati eljárással, izosztikus melegsajtólással, másik néven nyomásos szintereléssel feldolgozható acél). Eddig mindössze egy olyan ígéretes nem bimetál típusú acélt találtak, amelyet további vizsgálatoknak vetnek alá, mielőtt bevezetnék a piacra. Szakértők szerint erősen korrozív anyagok kétcsigás extruderekben végzett feldolgozásához még mindig a „régimódi” ponthegesztéssel gyártott bimetál gépelemek a legalkalmasabbak.

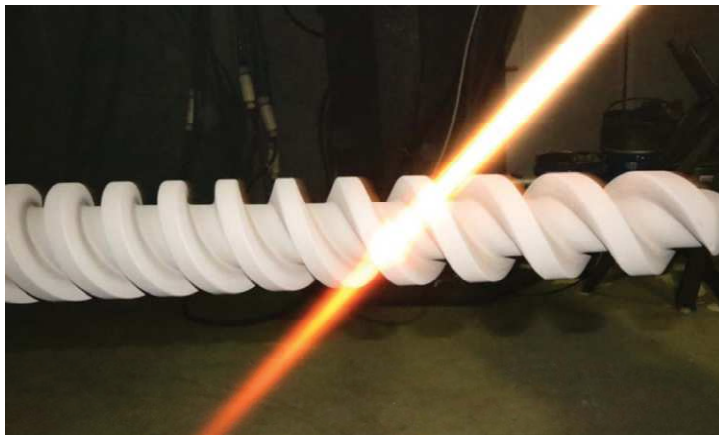
Az extruderben a csigatengely mellett a henger a legdrágább gépelem, de vannak olyan erősen kopásálló bélelő vagy bevonó anyagok, amelyek kétszeresére vagy háromszorosára is megnövelhetik a henger élettartamát. Ilyen az *Extruder Experts* cégnél kifejlesztett porkeverék, amelyet forrasztással visznek a henger belső felületére, és amelyből nagyon kis átmérőjű *volfrám-karbid* (WC) gömböket tartalmazó nikkelréteg képződik. 60–70% volfrám-karbiddal rendkívül magas kopásállóságot lehet elérni. A

cég szerint az ilyen karbidszemcsékkel sokkal kisebb a csiga és a henger közötti adhezív kopás, mint a jól ismert keményforrasztásos rendszerekben.

Általánosan igaz, hogy az extrudálók ma egyre nagyobb forgatónyomatékkal dolgoznak, és egyre hosszabbak a gép egyes feldolgozó szakaszai, ami növeli az adhezív kopást. A vékonyabb csigatengelyek a nagy fordulatszámnál fellépő magas forgatónyomaték hatására meghajlanak és a csigaszárnycsúcsok nagy erővel feszülnek neki a henger falának, különösen a gyűrűszakaszban és a szerszám végénél. Emiatt erősen megnövekszik az adhezív kopás. Ezt csak a nagyon jól kiválasztott és összehangolt anyagokból elkészített henger-csiga párral lehet kézben tartani.

További eljárások a csiga abrazív kopásának csökkentésére

A Nordon Corp. (Westlake, Ohio, USA) a 2016-os düsseldorfi műanyagkiállításon mutatta be új kopásálló termikus szóróanyagát, amelyet *Xaloy MPX* néven forgalmaz, és amely ugyancsak a volfrám-karbid erre alkalmas tulajdonságaira épül. Ebben a WC gömbök alig nagyobbak, mint a cigarettafüst részecskéi. Az anyagot az egy- és kétcsigás plasztikáló rendszerek abrazív (súrlódás okozta) kopásának és korrózió okozta elhasználódásának csökkentésére ajánlja. Az 5. ábrán egy csiga felületkezelését végzik termikus szórással. A cég szerint ennek a bevonatnak jobb a védőhatása, mint a csigák felületkezeléséhez széles körben alkalmazott nagy sebességű lángszórás (HVOF, high velocity oxygen fuel).



5. ábra Egy csiga felületkezelése a Nordson cég Xaloy MPX technológiájával (balra) és egy Xaloy réeggel bevont csigaszárny metszete

[Megjegyzés: A HVOF szórástechnika abban különbözik a legtöbb hagyományos termikus szóró eljárástól, hogy a gáz áramlási sebessége, és ezzel együtt a szórás sebessége is sokkal nagyobb. A HVOF bevonatok nagyon tömörek és szilárdak. HVOF bevonatokat többnyire olyankor használnak, amikor a nagy bevonatsűrűség és a nagy szilárdság elérése az elvárás, és más termikus szórástechnikákkal ez nem megvalósítható. A HVOF eljárásban az

oxigénhez, a bevonat jellegétől függően, acetilént, propilént, propánt vagy hidrogént kevernek. A port axiálisan és nagy nyomással a HVOF berendezés égésterébe adagolják, Ezt a szórástechnikát leginkább ott alkalmazzák, ahol kiemelt fontosságú az alkatrészek, gépelemek mechanikai elhasználódással szembeni védelme (kopással szemben, pl. WC-Co szóróanyagot használva) és a korrózióval szembeni védelem.]

A Nordon cég *Xaloy MPX* márkanévű termikus szóróanyagában a részecskéket főképpen WC alkotja, amelyek 0,005 µm-es átmérőjükkel hatszor-hétszer kisebbek, mint a szokásos HVOF bevonatoké. Emiatt a részecskék sokkal szorosabban helyezkednek el a védett felületen és erősebb kötással kötődnek ahhoz. A *Xaloy MPX* technológiával készített bevonatokon az ASTM G65 szabvány szerinti koptató vizsgálatban 61%-kal, az *ASTM G77-es* csúszósúrlódási vizsgálatban 18%-kal kisebb tömegvesztést mértek, mint a HVOF bevonatokon, az előbbi bevonatok *ASTM C633* szabvány szerint mért kötődési erője pedig 8,5-ször volt nagyobb az utóbbiakénál. A *Xaloy MPX* bevonatok korrózióállóságára jellemző, hogy sós ködben 1000 óra után is épek maradtak, porozitásuk 0 körül volt.

A cég felületkezelő technológiáját 15–35% koptató hatású töltőanyagot tartalmazó vagy korróziót okozó műanyag (PVC, halogéntartalmú égésgátlót tartalmazó polimer) feldolgozása esetén ajánlja. 35% feletti töltőanyagot tartalmazó anyag feldolgozásakor célszerűbb a keményebb *Xaloy X-8000* bevonatot választani. A *Xaloy MPX* technológia bármilyen típusú és méretű csigához alkalmazható; a bevonat felvihető a csiga teljes felületére vagy csak a különösen védendő szakaszokra. A bevonat szokásos vastagsága 300 µm, de vastagsága a csiga különböző részein eltérő is lehet. A bevonat a henger belső felületére is felvihető, ha azt a cég *Xaloy X-800* nikkel/volfrám-karbid anyagával bélelték.

A felületkezelésekre szakosodott Extreme Coatings cég (St. Petersburg, Fl. USA) ugyancsak termikus szórással felvihető *CarbideX* márkanévű felületkezelő anyaga is volfrám-karbidot tartalmaz nikkel vagy kobalt mátrixban. Ez a bevonat a bimetál csigákéhoz képest két-háromszorosára növeli a csiga élettartamát olyan koptató hatású műanyagok extrudálásakor, mint pl. az üvegszálal poliamid vagy a kalcium-karbonáttal töltött PVC. A bevonat korrózió ellen is védelmet ad, mert gyakorlatilag porozitásmentes, ezért CPVC, fluorpolimerek és halogéntartalmú égésgátlót tartalmazó műanyagok feldolgozásához is ajánlják.

A cég eredetileg a teljes csigafelület bevonását javasolta, de nem minden feldolgozónak van szüksége ilyen mértékű védelemre. Ezért kifejlesztette a *Flite Guard* technológiát is, amellyel csak a csigaszárnnyak csúcsát látják el különleges védelemmel, mert itt várható a legerősebb kopás. Ezzel a technológiával a kopott csigák eredeti méreteit is vissza lehet állítani. A szerszámacélból (porból szinterezéssel vagy erősen ötvözött D2 acélból) előállított csigák forrasztással nem javíthatók, ilyeneket a *Flite Guard* technológiával lehet újra használhatóvá tenni.

A cég kínálatában szereplő *CarbideX CRP* (chrome plating replacement) bevonat, amelyet szintén termikus szórással visznek fel PVC-t feldolgozó gépek csigájára és rotorjára, és amely jobb védelmet nyújt, mint a keménykrómozás (HCP, hard chrome plating). A PVC feldolgozás közben képződő korrozív gázai ugyanis behatol-

nak a HCP réteg mikrorepedéseibe és pórusaiba, és megtámadják a gépelemeket (6. ábra).

A *CarbideX CPR* szén- és krómszemcséket tartalmaz nikkelmátrixban. Ez a bevonat két-háromszor olyan vastag (0,8-1,0 mm), mint a szokásos HCP bevonat, és tökéletesen befedi a csiga teljes munkafelületét. Ez nagy előnye az új eljárásnak, mert a bonyolult geometriájú csigán nehéz egyenletes bevonatvastagságot elérni. A bevonat tükörfényes felületet képez (7. ábra). Tapasztalatok szerint a *CarbideX CPR* bevonattal ellátott csigák akár ötször hosszabb ideig használhatók, mint a HCP bevonatúak, és az előbbi bevonat többször is újra felvihető.



6. ábra Nitridált extrudercsiga etetőzónája 10 hónapos PVC-extrudálás után (A kép); CarbideX-CRP bevonattal ellátott csiga 10 hónap után ugyanebben a folyamatban (B kép)



7. ábra Az Extreme Coatings *CarbidX CPR* bevonattal ellátott tükörfényes csigája

A cég jelenleg nem vállalja hengerek bevonását, csak olyan gépelemeket, amelyek külső, látható felületére kell a bevonatot felszórni. Van ugyan már egy olyan kísérleti szórópisztolyuk, amellyel belső felületek is kezelhetők, de ennek továbbfejlesztésén még dolgoznak.

Tartós gépelemek gyártása porkohászati anyagokból

A Leistriz csoport (Nürnberg, Németország) egyik vezetőjének az a véleménye, hogy a gépek tartósságának növelését az szolgálja legjobban, ha valamennyi eleme olyan anyagból készül, amely csak lassan használódik el. Számos elemet porkohászati

Az *Acrolloy 55* molibdént is tartalmazó gyorsacél, amely széles hőmérséklet-tartományban hőkezelhető a dekarburáció jelentősebb veszélye nélkül. (A metallurgiában karburációnak nevezik az alacsony széntartalmú acélok hőkezelését, amelynek hatására a felületen növekszik a szénkoncentráció, ettől keményebb lesz a felület. A dekarburáció ezzel ellentétes folyamat, a felületi szénkoncentráció és a felület keménysége csökken.). Az új gyorsacél szénvesztése jóval kisebb, mint a szokásos porkohászati gyorsacéloké (HSS AISI M35), emellett melegen is kemény, szívós és kopásálló marad, vágható és finom szemcsés szerkezete van. A cég laboratóriumi vizsgálatai szerint koptatási vizsgálatokban azonos vizsgálati körülmények között a *HSS ANSI M35* gyorsacél tömegvesztése éppen kétszer akkora volt, mint az *Acrolloy 55*-é.

Összeállította: Pál Károlyné

Mapleson, P.: Screws and barrels can wear it well = Film & Sheet Extrusion, 2017. jan/febr. p. 29–30, 33–35.

Engineered surface to extend service life and performance = Extreme Coatings – Engineered surfaces, [http:// www. extremecoatings.net/](http://www.extremecoatings.net/)

Hopmann, Ch.; Höfs, Ch. stb.: Drei Mikrometer Hightech = Kunststoffe, 106. k. 7. sz. 2016. p. 62–65.