

## A „hatodik Kondratieff-hullám” hatása a fröccsöntésre

Az ipari forradalom óta tapasztalható műszaki fejlődés „hullámai” közül elemzők szerint a hatodikat éljük. Mi ennek a fő hajtóereje, és milyen hatásai lehetnek a műanyagfeldolgozás fejlődésére?

*Tárgyszavak: műszaki fejlődés; műanyag-feldolgozás; fröccsöntés; prognózis; Kondratieff-hullám; fejlődő iparágak.*

### Mi az a Kondratieff-hullám?

A gazdasági és társadalmi fejlődést egy 1892–1938 között élt orosz tudós, *Nikolai Kondratieff* megfigyelései szerint *hullámszerű ritmus jellemzi*, egy-egy „hullám” időtartama 40–60 év. Ezt az elméletet fejlesztette tovább az 1968-ban alapított és 2001-ben a Fraunhofer Intézetek hálózatához csatlakozott bonni GMD Kutatóközpontban (**Gesellschaft für Mathematik und Datenverarbeitung mbH**) *Leo A. Nefiodow*, aki szerint a 21. század elején a hatodik „Kondratieff-hullám” szereplői vagyunk. Egy-egy ilyen periódust valamilyen technikai eszköz, valamelyik iparág és valamilyen termékfajta egymással összefüggő rohamos fejlődése jellemzi. Az 1780-as években indult fejlődést hat hullámra vagy periódusra lehet osztani (1. táblázat). Ebből látható, hogy e szerint a prognózis szerint *a jelenlegi „hullám” hajtóereje az egészségügyi piac lesz.*

1. táblázat

Az ipari forradalom után megfigyelt „Kondratieff hullámok”  
időtartama és ismérvei

Időtartam	Új technikai eszköz	Felfutó iparág	Társadalmi eredmény
1780...1830–1850	gőzgép	textilipar	ruházkodás iparosodása
1830–1850...1870–1890	vasút	acélipar	tömegközlekedés, szállítás
1870–1890...1920–1935	elektrotechnika, kémia	villamosipar, vegyipar	tömegfogyasztás
1920–1935...1950–1980	gépkocsigyártás	petrolkémia	egyedi mobilitás
1950–1980...2000–2005	információs technika	számítástechnika	információ, kommunikáció
2000–2005...20(?)	információs medicina	gyógyászat	kiteljesedő egészség

Nefiodow a hatodik hullám alapvető innovációit az információs technikában, a környezetvédelemben (benne a megújuló energiaforrások bővülésében), a biotechnológiában és az egészségügyben várja. Az elkövetkező évtizedekben természetesen más területeken is jelentős fejlődésre lehet számítani. Ilyen a nanotechnológia, az optika és az új anyagok előállítás. Az utóbbiak piaca azonban nem olyan kiterjedt, hogy meg tudnák határozni egy 40–60 éves időtartam jellegét.

A felvázolt irányzatok erősen hatnak majd a műanyagiparra is, meghatározzák annak fejlesztési irányait, nemcsak a feldolgozógépek gyártásáét, hanem a teljes eljárás-technikáét. Az egész világra kiterjedő piaci jelenlét valószínűleg jobban átláthatóvá és hozzáférhetőbbé teszi a folyamatok know-how-ját. A gyártási folyamatok továbbfejlesztésében érvényesülnek majd a ma alapvetően fontosnak tartott szempontok: a környezetvédelem (emissziócsökkentés, energiatakarékosság); a természeti források megóvása és a könnyűszerkezetes építés; az egészségpiac és az orvostechika.

Sok újdonsággal – új anyagokkal, új termékekkel – fogja meglepni a világot a következő évtizedekben a biotechnológia. A biológiai ismeretek növekedése új piacokat teremt az orvostechikában (diagnosztika), a gyógyszeriparban (sejtkultúrák előállítása), a környezetvédelemben (biológiailag lebomló anyagok), az új anyagok gyártásában (megújuló növényi források).

## **Mit várnak a „hatodik hullám”-ban a fröccsöntéstől?**

Végigtekintve a fröccsgépgyártásban az elmúlt évek alatt bekövetkezett fejlesztéseken, *azok célja szinte kizárólag az energiamegtakarítás volt.* Ennek eredményeképpen elsősorban jobb hatásfokú hajtórendszereket alkalmaznak és/vagy igyekeznek a folyamatban termelődő hőt hasznosítani. Ebben nincs valódi innováció. A gépgyártók a villamos hajtás kisebb energiaigényével reklámozzák gépeiket, amit az érintettek már régóta tudnak.

Említésre méltó újítás a transzrapid technikából ismert lineáris hajtás bevezetése a fröccstechnikába. Ennek köszönhető nemcsak a 2000 mm/s-os fröccssebesség, hanem a csiga 8 g/s (g = földi gyorsulás) gyorsulása vagy fékezése is. Ha ehhez hozzájárul egy <0,01 mm-es pozicionálási pontosság is, az már valóban olyan teljesítmény, amely lehetővé teszi a vékony és még vékonyabb falú termékek fröccsöntését.

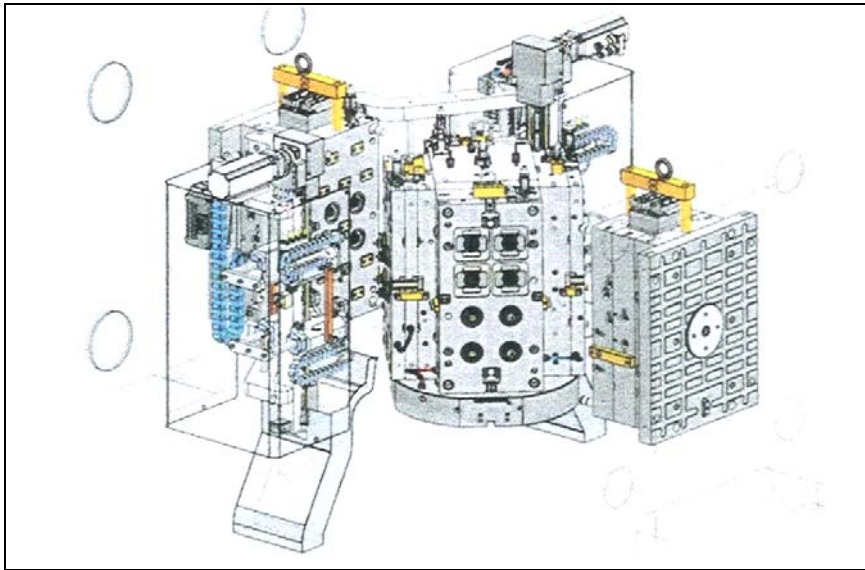
Persze nem csak a hajtással lehet energiát csökkenteni. Az iparág arra is törekszik, hogy kisebb energiabevittel tudja a műanyagokat plasztikálni. Ezért próbálkoznak indukciós fűtéssel, földgáz fűtéssel, végül azonban mindig oda lyukadnak ki, hogy a henger hőszigetelésével célszerű a hőveszteséget mérsékelni.

### *Fröccsöntés pörgő és „bukfencező” szerszámokkal*

A feldolgozógép-gyártás különlegessége a *mikrofröccsöntő gyártócella*. Ezen az új elven felépített gépen a mozgó szerszámfél többállomásos forgó lapra van felszerelve. A hagyományos fröccsgépektől eltérően itt a *variaterm szerszámtemperálás* és a kész darab kivétele a szerszámzárás terén kívül történik. A forgó lap (vagy asztal, ese-

tenként csúszka) a mozgó szerszámfelet a benne lévő formadarabbal együtt szállítja a hűtőállomásra, a beömlőcsonk levágásához, a kidobáshoz, majd az ismételt felfűtés helyére.

Az ún. *elfordulólapos szerszámokkal* (Wendeplattentechnik) rugalmasan és nagy hatásfokkal lehet kétkomponensű fröccsöntést végezni. Itt a mozgó felfogólap mindkét oldalán van egy félszerszám (ezáltal a szerszámnak két osztósíkja van). A felfogólap függőleges tengely mentén 180°-ban el tud fordulni, és miután befröccsöntették az első anyagot, nyitás után átfordul, és az ismételt szerszámzárás után be lehet fröccsönteni a második anyagot.



1. ábra Egy fröccsgép vázlata négy osztósíkot tartalmazó kockaszerszámmal.  
A gépen kívül elhelyezett felfogólap lehetővé teszi a szerelést a ciklusidő meghosszabbítása nélkül

Ennek a szerszámfajtának továbbfejlesztett változata az ún. *kockaszerszám* (Würfeltechnik) négy osztósíkkal (amelyben egy-egy szerszámelem szinte bukfenchezésre képes). (Tessék elképzelni egy négy kockára lebutított Rubik-kockát. A tömörítő megjegyzése) (1. ábra). A két elforduló lappal a változatok bővíthetők, a lehetőségeket még korántsem használták ki.

#### *A jövő a kombinált eljárásoké*

A műanyag-feldolgozásban az 1980-as években kezdték az olyan különleges eljárásokat alkalmazni, mint a gázzal vagy vízzel segített fröccsöntés, ill. a szerszámban díszítés. Ma egyre inkább igyekeznek egyetlen munkafázisban egyre több műveletet elvégezni, mert ezzel energiát, munkaidőt és munkabért, ezáltal költséget takarítanak meg, de csökkentik a hibalehetőséget is. A többféle eljárás kombinálására jó példa az **Engel Austria** cég *Dolphin* eljárása, amellyel hőre lágyuló magra habosított hőre lá-

gyuló elasztomert fröccsöntenek. Puha tapintású gépkocsielemeket gyártanak így nagy sorozatban.

Ugyancsak ipari méretekben alkalmazzák a fröccsöntéssel kombinált

- extrudálást, előzetes kompaundálás igényekor,
- reakciós technikát, PUR lakk kombinált felvitelekor,
- PUR tömítés utólagos (szerszámon kívüli) felhordását,
- plazmasugárzást, plazmapolimerizációhoz vagy PUR tömítések felvitelekor szerszámon belül,
- hőalakformázást a fröccsszerszámon belül,
- alacsony olvadáspontú fémek nyomás alatti kofröccsöntését.

Az utóbbi technikával a K'2010-es düsseldorfi műanyag-kiállításon beépített fémvezetővel fűthető és ezért párasodásmentes sportszemüveget gyártottak, ami mágnesként vonzotta a látogatókat. (Erről részletesebben a MISZ 2013/2 számában tudósítottunk.)

Megjelentek az első hírek a fröccsöntés és a részecskék habosításának kombinálásáról. A két technológia egyesítése valószínűleg nagyon hasznos volna a szendvics-szerkezetek, energiaelnyelők, hangtompító, hőszigetelő anyagok gyártásában.

### *Előnyben a könnyű szerkezetek*

A szövettel vagy szövetbetétekkel erősített műanyagok merevek és erősek, emellett az ütési energia nagyrészt elnyelik, ezért könnyű szerkezeti elemek gyártására alkalmasak. A szállal erősített félkész termékekből legtöbbször hőformázással vagy sajtolással készítik el a végterméket. Ezeknek az eljárásoknak a termelékenysége nem vethető össze a fröccsöntésével. Ezért keresik azt a technológiát, amellyel a könnyű szerkezeti elemek gazdaságosan, nagy darabszámban és további funkciók hozzáadásával lehetnének gyárthatók.

Viszonylag új gyártási módszer a végtelen szállal erősített hőre lágyuló félkész termékek, az ún. szerves bádogok feldolgozása fröccsöntéssel kombinálva. Ebben az eljárásban a szerves bádog formaadását (a majdani késztermék mechanikai tulajdonságait) a fröccsöntés tervezési szabadságával és integrálhatóságával kombinálják egyetlen gyártási folyamatban.

A K'2010-en két gyártócellát mutattak be, amelyeken a félkész termékből kiindulva teljesen automatikusan készítettek kontúrkész terméket. Az egyik berendezésen a félkész terméket a fröccsöntő szerszámban előformázták (és ezzel megtakarítottak egy külön lépést), a formázás közben folyamatosan mérték a nyomást és a hőmérsékletet.

Időközben továbbfejlesztették az eljárást, amellyel már egészen nagy darabokat is tudnak készíteni. Egy bemutatón gépkocsi-ajtóelemet állítottak elő ezzel a technológiával. Az előkonfekcionált szerves bádog elemet robot helyezte az infravörös fűtőálmomásra, majd a meglágyult lemezt a vezető-, tartó- és formázóelemeket tartalmazó fröccsszerszámba fektette. A záródó szerszám elvégezte az előformázást. A zárt szerszámba ezután befröccsöntették a hőre lágyuló anyagot, amelyből kialakultak a további erősítő és funkciós elemek, és megadták a darab végső formáját.

Az ipari és főiskolai fejlesztőintézményekben közösen kutatják a különböző szálak, textilarchitektúrák, mátrixanyagok, építőelem-geometriák alkalmazhatóságát. A jövőben meg fognak jelenni a részlegesen habosított felületek és magok. A hőre lágyuló mátrixszal készített textilerősítésű termékek visszaszorítják majd a hőre keményedő gyantákkal készítéseket. Előbb-utóbb az erősített műanyagok feldolgozásában is meghatározó részt foglal majd el a nagy sorozatok gyártásában gazdaságos fröccsöntés.

A reaktív fröccsöntés is megjelent a hőre lágyuló műanyagok birodalmában. Egy munkacsoport közös munkájának eredményeképpen aktivátorral és katalizátorral kevert  $\epsilon$ -kaprolaktámot injektáltak egy nagynyomású reaktív transzferöntéshez (RTM) használt szerszámba, amelybe előzőleg erősítő vázat helyeztek. A kis viszkozitású kaprolaktám tökéletesen átítatta a vázat, eközben végbement a kémiai reakció, a polikondenzáció eredményeképpen a rostok között létrejött a poliamid. Ez az eljárás már felcsillantja a fröccsöntéssel összevethető termelékenység reményét.

### *Az orvostechnika mint hajtóerő*

Elteltekintve a 2009-es krízisévtől, az orvostechnikai piac évről évre növekszik. 2006 és 2011 között a német orvostechnikai ágazat forgalma 16 milliárd EUR-ról 21 milliárd EUR-ra nőtt. Ebből 65% volt az export, az alkalmazottak száma pedig 79 000-ről 92 000-re emelkedett. A világpiac növekedési ütemét 2009–2014 között évi 7,3%-ra becsülik.

Ennek a sikernek a titka egyrészt az, hogy az ágazat jövedelmének 9%-át kutatásra és fejlesztésre fordítja, másrészt az, hogy az ágazaton belül jó az együttműködés és a kommunikáció, ill., hogy szoros kapcsolatot tartanak a felhasználókkal.

Ami a műanyag-feldolgozás hozzájárulását illeti a sikerhez, elsősorban a tisztatéri technológiát kell megemlíteni. Ennek a sikeres megvalósítása kedvezően érintette a gyógyszer-, a kozmetikai és az élelmiszeripart is. A berendezésgyártók ma már sokféle feldolgozógépet kínálnak tisztatérbe, amelyek magas fokozatát lamináris áramlású boksszal, aszeptikus gyártóegységekkel biztosítják.

A jövőben bizonyára megvalósul az aszeptikus feldolgozás. Meg kell találni a megoldást a sterilizálási eljárások kiküszöbölésére, de legalább azok enyhítésére. A költségektől eltekintve, ezek hátrányosak a műanyagokra. Az etilén-oxid nyoma ott marad a terméken, a besugárzás a mechanikai tulajdonságokat rontja.

A fröccsöntés viszonylag magas, általában  $>200$  °C-os hőmérséklete és a magas nyomás sterilizálja az anyagot, a termék a szerszámból kiemelve autosterilnek tekinthető. A feladat tehát az volna, hogy ezt az állapotot megőrizték a becsomagolásig. Ehhez a termék további útján meg kellene teremteni az EU „jó gyártási gyakorlatra” (*GMB, Good manufacturing practice*) vonatkozó irányelveinek *A fokozatú* munkalépéseit és be kellene tartani a *B fokozatú* környezetre vonatkozó követelményeket.

Az aszeptikus gyártásnál nem lehetnek kompromisszumok. A termékek sterilitását szigorúan dokumentálni kell. Az ilyen gyártásban egészen más követelmények szerint kell dolgozni, mint bármely más eljárásban.

## További kilátások

A következő években kétségtelenül *előre fognak törni a kombinált eljárások*, ezekből pedig kialakul néhány különleges technológia. Ilyen lehet a folyadékinjektálásos eljárás, a (ko)habosítás, a (ko)prégelés, a fémolvadékok kofröccsöntése.

A jövőt kutatva elképzelhető, hogy nagy fröccsgépek függőleges záróegységgel további lendületet adnak majd a könnyűszerkezetes elemek gyártásának. Ez megkönnyítené az előmelegített és ezért könnyen deformálódó erősítőanyag szerszámba helyezését. Egy ilyen záróegység a habosításkor is előnyös volna.

A bonyolultabb eljárások átláthatóságának javulnia kell a dokumentálás kötelezettsége és a minőségbiztosítási előírások következtében. Ehhez a jövőben további érzékelőket kell majd beépíteni a szerszámokba.

Növekedni fog az optikai célú műanyag formadarabok gyártása, mindenekelőtt a gépkocsik világítástechnikájának fejlődése miatt. A műanyagok kitűnően teljesítik mind a biztonsággal, mind pedig az eleganciával szemben támasztott fokozott elvárásokat.

Ha a plasztikáláshoz szükséges energia mennyiségét csökkenteni akarják, a jövőben sem szabad megfeledkezni a földgáztól. Ennek a közvetlen gazdasági előnyei mellett vannak ökológiai előnyei is. Ha ugyanis a gáz energiatartalmát nem alakítják át először villamos energiává, majd azt hőenergiává, sokkal kisebb az átalakulások révén elvesző energia, és a szénmonoxid-emisszió is jóval kevesebb.

A jövőben az első újdonságok várhatóan a szorosan együttműködő partnerek eredményeiként szülehetnek meg. Elengedhetetlen ezért a tudomány és az ipar eddiginél szorosabb együttműködése, a fejlesztésekben az eddiginél több vállalatnak kell részt vennie. Ezzel egyébként saját vállalatuk biztos jövőjéhez is hozzájárulnak.

Összeállította: Pál Károlyné

Bürkle, E.: Das Zeitalter der Verfahrenskombination beginnt = Kunststoffe, 102. k. 10. sz. 2012. p. 44–52.