

Műanyagok fúrása, fűrészelése

Műanyagtermékeket nemcsak a hagyományos ömlesztéses technológiákkal (fröccsöntés, extrudálás, fúvás stb.) lehet előállítani, hanem a fémekhez hasonlóan forgácsolással, fűrészeléssel vagy más utómegmunkálási technikával. A műanyagok viszkoelasztikus tulajdonsága, a szálerősítésű műanyagok inhomogén szerkezete miatt azonban számos eltérés adódik a fémek és a műanyagok megmunkálása között.

Tárgyszavak: poliamid; műszaki műanyagok; üvegszálal erősítés; forgácsolás; fűrészelés; fúrás.

Műanyagok forgácsoló alakítása

A műanyagokat akkor szokták forgácsolással alakítani, ha a termékek száma miatt nem éri meg szerszámot készíteni, vagy ha a méretpontosság betartása túl drága lenne. Annak ellenére, hogy nagy értékű műszaki műanyagoknál viszonylag gyakran használják ezt a megoldást, a többi feldolgozási módszerhez képest nagyon keveset tudunk a műanyagok forgácsolás során mutatott viselkedéséről, és nincsenek jó modellek a vágóerő megjósolására. Eleinte olyan modelleket próbáltak használni, amelyeket eredetileg fémekre vezettek le, majd a 60-as évek második felében jelent meg egy könyv, amely összefoglalta a műanyagok forgácsolására vonatkozó empirikus ismereteket. *Mai ismereteink szerint a műanyagok teljesen másképp viselkednek a forgácsolás során, mint a fémek, hiszen a polimerek alapvetően viszkoelasztikus rendszerek, figyelembe kell venni az időfüggő mechanikai jellemzőket, az idő-hőmérséklet szuperpozíciós elvet és a szilárd állapotban is megjelenő viszkozitás hatását.*

Töltött és erősített, hőre lágyuló és hőre keményedő műanyagok fúrása során képződő forgácsok mennyiségét és szerkezetét vizsgálva megállapították, hogy a plasztikus deformáció mértékét az erősítőanyag mennyisége és a mátrix deformálhatósága együtt határozza meg. A fűrt felület széle általában meglehetősen éles, kivéve, ha a nagyon nagy vágási sebesség vagy a kis előtolási sebesség miatt túl sok hő halmozódik fel, ami a vágott felület „elkenődéséhez” vezet. Kompozitok megmunkálása során azt is megfigyelték, hogy a kompozitok készítésének (konszolidációjának) módja és körülményei is alapvetően befolyásolják a megmunkálhatóságot és annak minőségét. Extrudált szálerősítésű hőre lágyuló kompozitoknál azt is figyelembe kell venni, hogy a szálorientáció nem egyenletes az extrudált anyag keresztmetszetében: a minta belsejében több az áramlási irányra merőlegesen, a fal mentén pedig az azzal párhuzamosan orientált szál.

A sugárirányban végzett kísérleteknél a fúrási sebességet 2500 1/min-nél, az előtolási sebességet 100,5 mm/min-nél rögzítették, és itt inkább a homogenításra voltak kíváncsiak. A fúrásnál nem használtak hűtőközeget. A fúrásnál a tolóerőt egy erőmérő cella segítségével mérték. Minden egyes fúráshoz egyetlen tolóerőt rendeltek átlagolással úgy, hogy a görbe legelejét és legvégét kihagyták. A sugár irányában vett 10 mintán DSC-vel is mérték a homogenitást. A 10 °C/min sebességgel szobahőmérséklettől 280 °C-ig felvett görbékből az olvadási csúcshoz rendelhető hőmérsékletet és a csúcs alatti területet (olvadáshő) határozták meg. A mechanikai jellemzők lokális változását keménységvizsgálattal ellenőrizték a korong átmérője mentén.

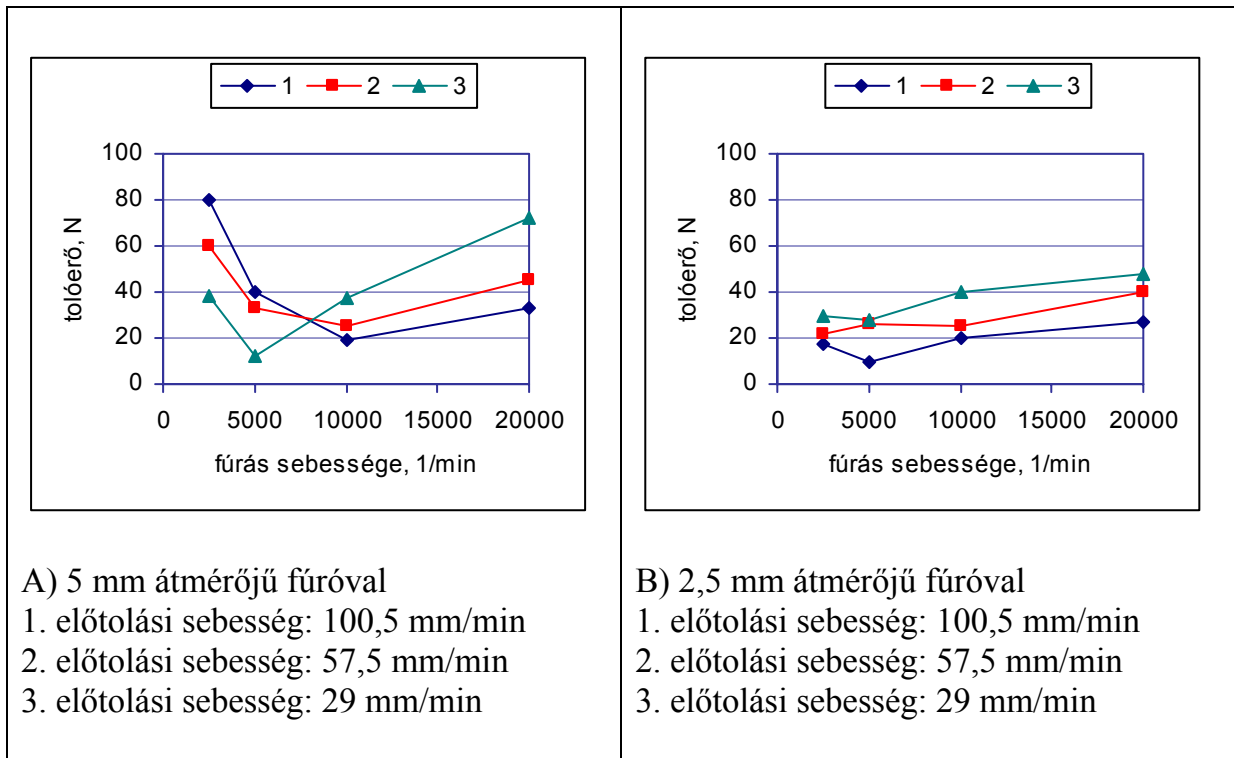
Forgácsok és tolóerők

A különböző körülmények között végzett fúrási kísérletekben négyféle forgács képződött. Folyamatos forgács csak az 5 mm-es fúrónál képződött alacsony fúrási sebesség mellett. Ha nő a fúrási sebesség a forgácsok megnyúlnak, bizonyos esetekben olvadni kezdenek. Még tovább növelve a sebességet a forgács szakadozik, és mérete rendkívül lecsökken. A 2,5 mm-es fúrónál folyamatos forgácsot soha nem figyeltek meg, már 2500 1/min fordulatonál is szakadozott, ha pedig növelték a sebességet, a forgács megolvadt és rátapadt a fúróra vagy a darabra, jelentősen rontva a fúrt lyuk minőségét. A 2. ábrán láthatók a tolóerők a fúrási sebesség függvényében a két különböző átmérőjű fúró alkalmazásánál, a 3. ábra pedig a tolóerő változását mutatja állandó sebességnél a korong közepétől mért távolság függvényében. A DSC görbéből meghatározott olvadási paraméterek (4. ábra), valamint a benyomódásos keménységmérésből meghatározható terhelés/elmozdulás meredekségi értékek (5. ábra) mind azt mutatják, hogy a vizsgált próbatest nem tekinthető homogénnek, és ez hatással van mind a fúrás során mért viselkedésre, mind más fizikai jellemzőkre. Az inhomogenitás egyértelműen az erősítőszálak jelenlétének, ill. orientációeloszlásának tulajdonítható, ugyanis a töltetlen PA66 mintán ezek az eltérések nem voltak megfigyelhetők.

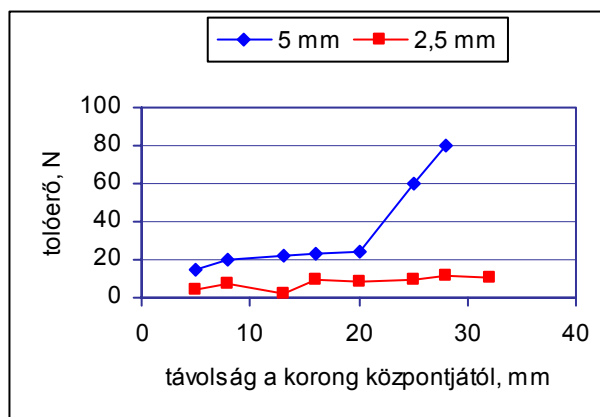
A fémektől eltérő viselkedés

Fémek fúrásánál a vágóerő általában nő az előtolás sebességével és csökken a fúrási sebességével. Az erősített PA mintánál azonban úgy tűnik, hogy a forgácsképződés mechanizmusa döntő hatással van a vágóerőre. A korong középpontjától számított egyenlő távolságra az anyagjellemzők feltételezhetően közel azonosak, tehát a tolóerő nagysága csak a fúrás paramétereitől függhet. 5 mm-s fúrót használva 5000 1/min fúrási sebességig hasonló eredményeket kapnak, mint a fémeknél, és a forgácsképződés folyamatos. E fölött a fúrási sebesség fölött azonban a tolóerő hirtelen megnő, és a kisebb előtolási sebesség mellett kaptak nagyobb tolóerőket. Ilyen körülmények között kisméretű, nem folytonos forgács képződik. A kisméretű, nem folytonos forgács nem alkalmas arra, hogy eltávolítsa a hőt a fúrás helyéről, ami megváltoztatja a vágás mechanizmusát. A fémekre vonatkozó empirikus képlet is csak a folyamatos forgácsképződés tartományában alkalmazható. Az ezen kívül eső tartományban a polimer

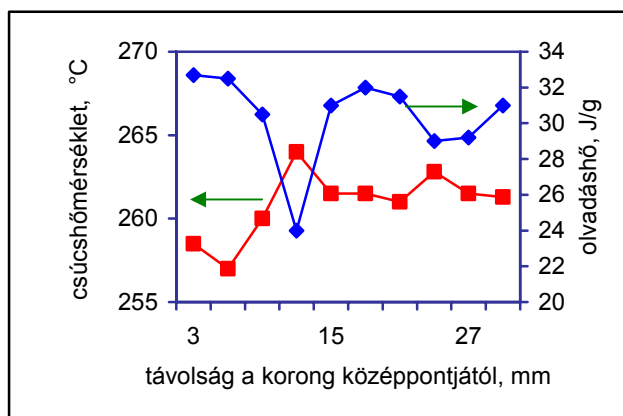
viszkoelasztikus jellemzői határozzák meg a viselkedést, ennek leírására még nem született megfelelő elmélet.



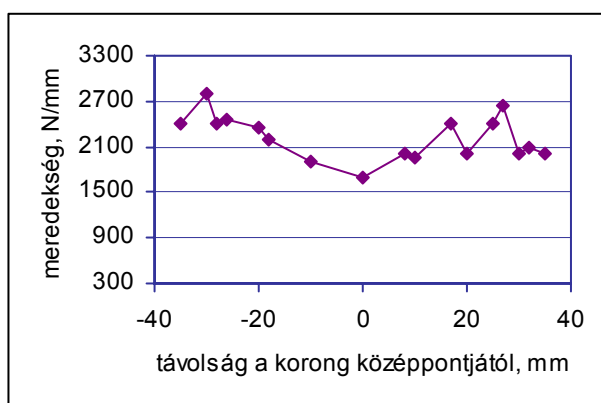
2. ábra A tolóerő változása a fúrási sebesség függvényében különböző előtolási sebességeknél 5 mm és 2,5 mm átmérőjű fúrókat alkalmazva



3. ábra A tolóerő változása a korong közepétől mért távolság függvényében, 2,5 és 5 mm átmérőjű fúrókat használva (előtolási sebesség = 100,5 mm/perc, fúrási sebesség = 2500 1/min)



4. ábra A DSC görbéből meghatározható olvadási paraméterek a korong középpontjától számított távolság függvényében



5. ábra A nyomódásos keménységmérésből meghatározható terhelés/elmozdulási görbe meredeksége a korong középpontjától számított távolság függvényében

A minta inhomogenitásának hatását éppen ezért jobban tudták követni az 5 mm-s fúróval, mert azt nem fedte el a hőképződés hatása. *A tolóerő a korong pereme felé akár nyolcszorosa is lehet a középpontban mért értéknek.* Az egyenlőtlen száeloszlás mellett a mátrix kristályosodása sem egyenletes (valószínűleg a nagy átmérőjű extruderszerszám használata miatt az egész rúd nem tudott egyenletesen lehűlni). Az olvadási hőmérséklet a rúd középpontjától kifelé haladva nő, adott esetben megkettőződik (átkristályosodás). A nyomódásos keménységméréssel meghatározott mechanikai paraméterek a középponttól kifelé haladva nőnek, de középtájon maximumot mutatnak és a korong peremén megint kisebbek.

A polimerek tehát a fémektől eltérő viselkedést mutatnak a fűrés során a viszkóelasztikus jelleg miatt, és a forgácsképződés mechanizmusának megváltozásával olyan viselkedés alakul ki, amely nem is emlékeztet a fémekére, és az ott használt empirikus

leírások érvénytelenné válnak. A fémektől eltérően a polimerek esetében nem mindig segít a megmunkálási sebesség növelése. Az is kiderült, hogy erősítő szálak jelenlétében a szálorientáció-eloszlásnak nagyobb szerepe van a megmunkálhatósági paraméterek meghatározásában, mint az átlagösszetételnek. A keménység lokális változásait benyomódásos keménységméréssel lehet követni.

Műanyagok feldolgozása forgácsolással

A műanyag-feldolgozás megszokott módszerei a fröccsöntés, extrúzió, fúvás stb. de vannak cégek, pl. a **Polytron Kunststofftechnik**, amely *műanyag lemezekből, profilokból, csövekből, tömbökből indul ki, és hagyományos forgácsolási technológiákkal alakítja őket, mint a fémeket vagy a fát*. A cég fő megrendelői az orvostechika, az élelmiszeripar, a csomagolóstechnika valamint a közlekedés. Megoldásaikkal sokszor fémeket helyettesítenek, azoknál előnyösebb alkalmazást kínálva. Az alapanyagok rendszerint nagy teljesítményű műszaki műanyagok, pl. poli(aril-ketonok) (PEEK, PEKK, PEK), poli(amid-imid) (PAI), poli(benzimidazol) (PBI) vagy poli(tetrafluor-etilén) (PTFE). *Az egyik tipikus alkalmazás a csúszócsapágy, amely elkészíthető fémből is, de a műanyag csapágy kenés nélkül is működik. A műanyag csapágyak darabára magas, de nem kell polírozni őket.*

A PAI csapágyak (amelyeket nem az alaptípusból, hanem egy módosított változathoz készítenek) akár 260 °C-ig is alkalmazhatók. Annak érdekében, hogy nagy siklási sebességnél is megfelelő legyen a száraz siklási viselkedés, a polimerhez grafitot és PTFE port adnak a súrlódás csökkentése érdekében. Ezek az anyagok nagyon szívósak és nagy a hajlító- és ütészállóságuk.

A megmunkáló szerszám megválasztása

A PAI-t lemez formában veszik meg, és abból vágják ki a végtermékhez szükséges darabokat. Eleinte közönséges fafűrészszel dolgoztak, de később megpróbáltak olyan megmunkáló eszközt választani, amellyel minimalizálható a képződő hulladék mennyisége – hiszen igen drága nyersanyagokról van szó. Az elhatározást tett követte, és 2005/2006 évfordulóján a cég vásárolt egy lemezdaraboló fűrészgépet, amelyet kifejezetten műanyagok fűrészelésére fejlesztettek ki. A fűrészgyártó **Holzma** cég képviselői úgy ítélték meg, hogy olyan mértékben nő az igény a műanyagok megmunkálására alkalmas fűrészek iránt, hogy érdemes volt egy egész sorozatot kifejleszteni erre a célra. Tekintettel arra, hogy a műanyagok keménysége, rugalmassága, repedezés- és ütészállósága széles tartományban változik, a vágási paramétereknek ehhez alkalmazkodniuk kell, amit a gép vezérlésével lehet elérni. A szilárd acél fűrészkeszi egy elővágó és egy fő fűrészszel van ellátva, a fűrészlapok könnyen cserélhetők. A műanyag megolvadását a fűrészlapra három fúvókából bejuttatott kenő/hűtőanyag akadályozza meg, amely majdnem teljesen elpárolog. A különböző műanyagokhoz különböző fogazatú fűrészeket lehet kapni.

Nagyobb munkadarabok

A korszerű fűrészgépek lehetővé teszik, hogy nagyméretű (akár 3 m-s) lemezeket is könnyen, pontosan feldolgozzanak. A lemezek csomagban is feldolgozhatók 110 mm vastagságig, a feldolgozás pontossága 0,1 mm. Az érzékeny anyagokat az asztalon elhelyezkedő lyukak segítségével szívással lehet rögzíteni és kifeszíteni. Az optimális vágási geometria kiválasztásában és a vágás végrehajtásában a géphez adott szoftver nyújt segítséget. A vágási folyamat a monitoron követhető, és leolvasható a következő művelethez szükséges minden információ. Ha a művelet során bármilyen probléma merül fel, a szoftver hibakeresési lehetőséget kínál fel, sőt ha a felhasználó egyedül nem tudja elhárítani a hibát, egy modemem keresztül közvetlenül kapcsolatba léphet a fűrészgépet gyártó cég szervizének szakemberével, akinek munkáját megkönnyítik a beépített szenzorok és hibajelzők. A gép kiszállítása előtt a fűrészgyártó cég telephelyén betanították a dolgozókat, de kiszállítás után is három technikus volt jelen a beüzemelésnél esetlegesen fellépő problémák elhárítására.

A műanyagok forgácsoló megmunkálásáról ritkán esik ugyan szó, de nyilvánvaló, hogy itt is sok érdekes, a műanyagokra nézve specifikus probléma lép fel, amelyek tanulmányozása hozzásegíthet a megfelelő technológia kiválasztásához.

Összeállította: Dr. Bánhegyi György
www.polygon-consulting.ini.hu

Quadrini, F.; Squeo, E. A.; Tagliaferri, V.: Machining of glass fiber reinforced polyamide. = eXPRESS Polymer Letters, 1. k. 12. sz. 2007. p. 810–816.
Schöffler, K.: Restlos aufgeteilt. = Plasverarbeiter, 58. k. 2007. 4. sz. p. 18–19.