Ultrahanghullámokkal segített fröccsöntés

A fröccsöntés fejlesztésének egyik új irányzata a vibráció alkalmazása a jobb minőségű termékek előállítására. Az ultrahangos vibrációval létrejövő ún. oszcillációs folyás révén megnövekszik a termék tömege, a szerszámüreg leképezése megközelíti a 100%-ot, csökken a darabban visszamaradó belső feszültség. Az eljárást egy konkáv lencse gyártásának példáján mutatjuk be.

Tárgyszavak: műanyag-feldolgozás; fröccsöntés; ultrahang; optika; lencse; oszcillációs folyás.

Az ultrahang felhasználása a műanyag-feldolgozásban ma már a mindennapok gyakorlatához tartozik. Legtöbbször a szerszámban lezajló folyamatok ellenőrzésére, pl. a termék falvastagságának on-line mérésére, a szerszámkitöltés folyamatának követésére alkalmazzák. Egészen friss információ szerint egy svédországi vállalatnál, a **Reosense AB**-nél kifejlesztett *CureSense* eljárással a szerszámon belül, on-line határozzák meg egy hőre keményedő fröccsöntött gumitermék térhálósodásának optimális idejét.

Néhány éve az ultrahangot egyre gyakrabban próbálják meg felhasználni a technológiai folyamat részeként. Az USA-ban kezdtek foglalkozni a műanyagömledék feldolgozás alatti vibrációjával, amelyhez ultrahangot, újabban kisfrekvenciás mechanikai vibrációs eszközöket is alkalmaznak. Egy kínai egyetem kutatói nagy erőkkel kapcsolódtak be ebbe a kutatásba. Eredményeik közül néhányat a MISZ 2009/1 számában, a 31–38. oldalon mutattunk be.

Ezzel az új technikával mások is foglalkoznak. Erre utalnak a csak véletlenszerűen kiválasztott szabadalmak, pl. az *US Patent 6361733 (Ultrasonic injection molding)*, a japán feltalálók által az USA-ban bejegyeztetett *US Patent 6464485* (*Ultrasonic injection mold for an optical disc*), a kínai *WO/2008/157592* (*Ultrasonic injection molding on a web*). Dél-Koreában, a szöuli **Sogang Egyetemen** is tanulmányozták, hogy hogyan hat az ultrahangos vibráció egy nagyon szűk szerszámfészek kitöltésére. Matematikai modellt állítottak fel, amelynek használhatóságát kísérletekkel ellenőrizték.

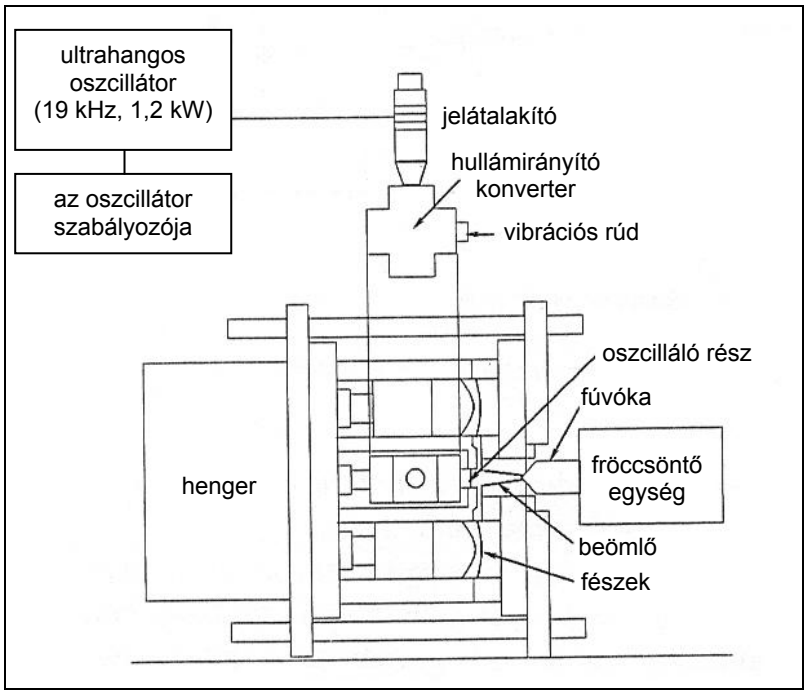
Japánban az **Idemitsu Kosan Co**. (Chiba) technológiai kutatólaboratóriumának és a **Yamagatai Egyetem** (Yamataga) mérnöki fakultásának munkatársai foglalkoznak az ultrahanggal segített fröccsöntés fejlesztésén. A következőkben egy optikai lencse fröccsöntésének példáján mutatjuk be, hogyan alkalmazzák ezt a technikát a gyakorlatban.

Konkáv optikai lencse fröccsöntése ultrahangos oszcilláció segítségével

Az elmúlt években megnőtt az igény a *nagy precizitású műanyagtermékek* iránt, amelyek gyártása hagyományos fröccsöntéssel meglehetősen nehéz. Az említett japán kutatócsoport úgy próbálta javítani a szerszám tökéletes leképezését, hogy a műanyagömledéket a fröccsöntés alatt ultrahangos vibrációnak tette ki. Ez helyi felmelegedést okoz a polimerben, és csökkenti a belső súrlódást, ill. az ömledékfront és a szerszám fala közötti súrlódást.

Korábbi ultrahangos rendszerükben a vibrációt a teljes szerszámra terjesztették ki, amely longitudálisan rezonált a hangforrás hullámhosszára. Ezt a rendszert azonban nehéz alkalmazni bonyolult formájú szerszámban. Újabb rendszerükben ezért az oszcillációt a kétfészkes szerszám beömlőcsatornájában hozták létre, ott, ahol az elágazik az egyes fészkek felé.

A fröccsöntő gépre szerelhető új ultrahangos rendszert az *1. ábra* mutatja. A rendszer egy ultrahangos oszcillátort, egy oszcillátorszabályozót és egy szerszámot tartalmaz, amely csatlakozik a jelátalakítóhoz és az ultrahanghullámok irányítását végző konverterhez. Az oszcillátor frekvenciája 19 kHz, maximális teljesítménye 1,2 kW. A hullámirányító konverter egy 40 mm átmérőjű rúddal van összekapcsolva, hogy az ultrahanghullámokat a fröccsöntött termékre fókuszálják. A rúd 19 kHz frekvenciával vibrál, maximális amplitúdója 11 μm. Az ultrahangos vibrációt közvetlenül a fészek kitöltése után indítják meg. A gyártáshoz kiválasztott fröccsöntő gép záróereje 3430 kN volt.

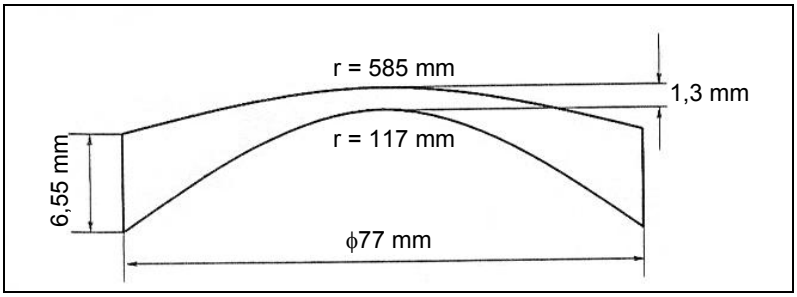


1. ábra Az ultrahangos rendszer vázlata

A technológiát egy konkáv lencse fröccsöntésével próbálták ki. A lencse anyaga polikarbonát volt (az Idemitsu Kosan Co. terméke; molekulatömege 22 000, folyási száma 10 g/10 min). A lencse méretei a *2. ábrán* láthatók. A külső és a belső görbület fókuszának távolsága a következő képletből számítható ki:

$$1/F = (N - 1)(1/r_1 + 1/r_2)$$

ahol F a fókusztávolság, r_1 a külső, r_2 a belső görbület sugara, N a törésmutató (1,585). Ebből következően F = –0,25 m. A lencse vastagsága a középpontban 1,3 mm.

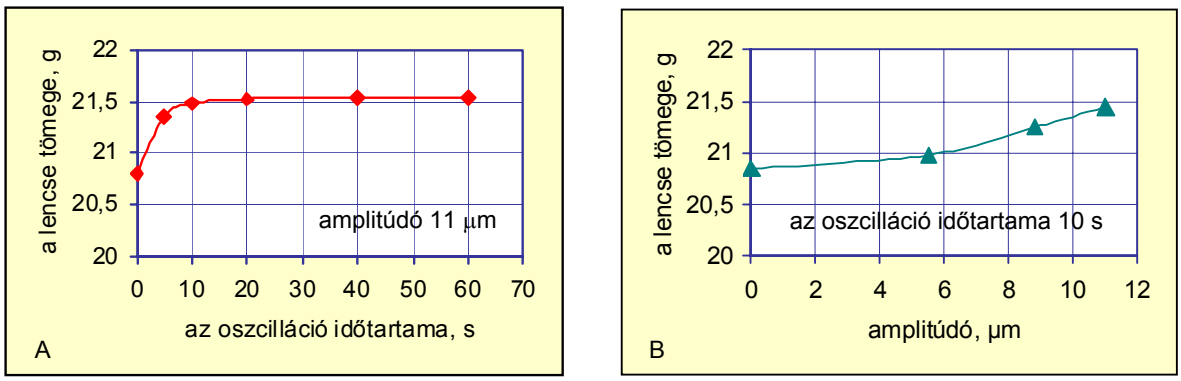


2. ábra A konkáv lencse méretei

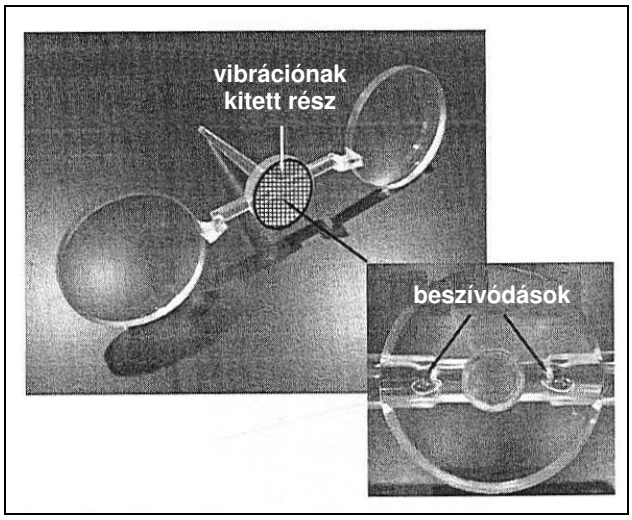
Az ultrahangos vibráció hatása a lencse tömegére

Az ultrahangos vibráció hatására a lencse tömege növekszik, a kísérletek tanúsága szerint a vibráció időtartamának függvényében kb. 20 s-ig, az amplitúdó függvényében pedig a nagyobb amplitúdók felé a lineárisnál nagyobb mértékben *(3. ábra)*. Ennek oka, hogy a szerszámüreg megtöltése után bekapcsolt ultrahangos oszcilláció hatására a beömlőcsatornából még további ömledék nyomul be a fészekbe (oszcillációs folyás). Ezt bizonyítja a *4. ábra*, amely a szerszámból kivett kettős lencsét mutatja, amelyeken még rajta van a beömlőcsatornában megdermedt anyag. Az utóbbin az oszcillációra kényszerített résztől jobbra és balra beszívódás látható, amelyet a pótlólag a fészekbe jutó anyag hiánya idézett elő.

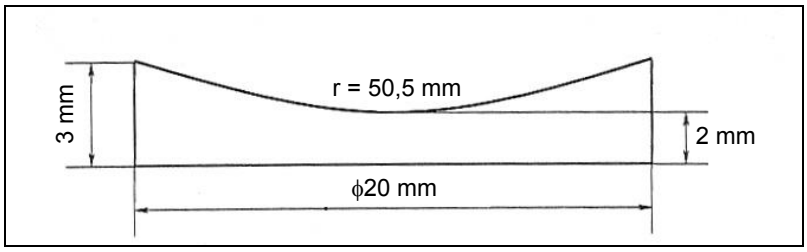
A kutatócsoport vizsgálta azt is, hogy a fröccsöntés (utánnyomás) és az ultrahangos kezelés paraméterei (a fröccsciklus kezdete és az ultrahangos vibráció megkezdése közötti ún. akcióidő, a vibráció időtartama, a hanghullámok amplitúdója) együttesen hogyan hatnak a lencse tömegére. Ezekben a kísérletekben az előbbi kísérletekben gyártott konkáv lencsék helyett az *5. ábrán* látható jóval kisebb plán-konkáv lencséket fröccsöntöttek. A kísérletek eredményeit a *6. ábra* foglalja össze. Látható, hogy *az akcióidő változása befolyásolja a lencse tömegét.* Az oszcillációs folyás akkor is észlelhető, ha a vibrációt a szerszám teljes megtöltése előtt kapcsolják be; de 6 s után, amikor a fészek beömlőnyílását a megdermedő ömledék lezárja, az ultrahang okozta vibráció sem tud további ömledéket szállítani.



3. ábra A konkáv lencse tömege az oszcilláció időtartamának (A kép) és az amplitúdó nagyságának (B kép) függvényében



4. ábra A kétfészkes szerszámból kiemelt lencsék a beömlőcsatornában megdermedt ömledékkel. A vibrációnak kitett résztől jobbra és balra beszívódás észlelhető



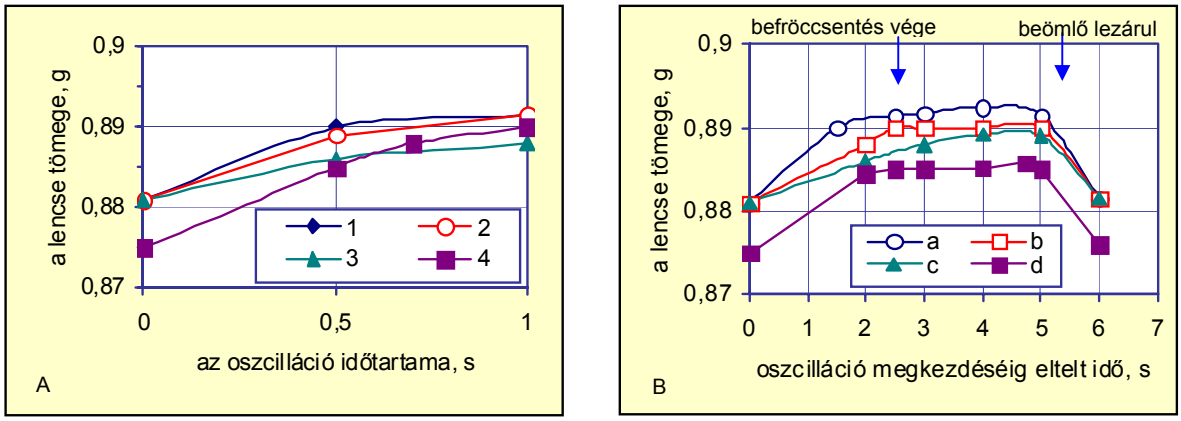
5. ábra A plán-konkáv lencse méretei

A kutatócsoport vizsgálta az oszcillációs folyás mechanizmusát, amelynek okát a belső súrlódás okozta helyi felmelegedésnek tulajdonítja. A hangintenzitás, annak terjedési sebessége, az energiaelnyelés, az anyag sűrűségének és hőkapacitásának figye-

lembevételével két egyszerű képletet írtak fel a hőmérséklet-emelkedés (ΔT) és a tömegnövekedés (ΔV) kiszámítására:

$$\Delta T = k_1 A^2 T,$$
$$\Delta V = k_2 A^2 t,$$

ahol A = amplitúdó, t = a vibráció időtartama, k_1, k_2 = kísérleti úton meghatározott konstans.



6. ábra A plán-konkáv lencse tömege az oszcilláció időtartamának (A kép) és a fröccsöntési ciklus kezdetétől az oszcilláció megkezdéséig eltelt idő (akcióidő) (B kép) függvényében különböző feldolgozási paraméterek mellett

Paraméterek, A kép: 1 – utánnyomás 80 MPa, akcióidő 5 s, amplitúdó 11 μm; 2 – utánnyomás 80 MPa. akcióidő 5 s, amplitúdó 9 μm; 3 – utánnyomás 80 MPa, akcióidő 2 s, amplitúdó 9 μm; 4 – utánnyomás 60 MPa. akcióidő 5 s, amplitúdó 9 μm.
B kép: a – utánnyomás 80 MPa, oszcilláció időtartama 0,7 s, amplitúdó 11 μm; b – utánnyomás 80 MPa, oszcilláció időtartama 0,5 s, amplitúdó 11 μm; c – utánnyomás 80 MPa, oszcilláció időtartama 0,5 s, amplitúdó 9 μm; d – utánnyomás 60 MPa, oszcilláció időtartama 0,5 s, amplitúdó 9 μm. (A 0 akcióidőhöz tartozó pontok az oszcilláció nélkül fröccsöntött lencsék tömegét jelzik).

A vibráció hatása fókusztávolságra, a szerszámfelület mikroszerkezetének leképezésére és a visszamaradó optikai feszültségre

A fröccsöntött lencsék tervezett és valóságos fókusztávolságának különbségét a feldolgozás körülményei határozzák meg. A konkáv lencse tervezett fókusztávolsága (mint korábban bemutattuk) -0,25 m. Az ultrahangos vibráció nélkül gyártott lencséké ezzel szemben -0,26 m volt, de az oszcilláció időtartamának növekedésével az ideális és a valódi fókusztávolság közötti különbség erősen csökkent; 20 s-os vibrációval –0,258 m volt. Extrapolálással azt is kiszámították, hogy ha a lencsék tömege elérné a 21,75 g-ot, azok fókusztávolsága éppen –0,25 m volna.

A hangrezgéssel gyártott lencsék felülete 25%-kal tökéletesebben képezte le a szerszám felületét, mint a hagyományos módon gyártottaké. Egyrészt ugyanis az oszcillációs folyás ellensúlyozza a szerszám kitöltése és az utónyomás alatt bekövetkező zsugorodást, másrészt a még folyós ömledék és a már részlegesen megdermedt külső réteg („bőr") határfelületén fellépő helyi felmelegedés csökkenti a „bőr" ellenállását a deformációval szemben, ezért az könnyebben hatol be a szerszámfelület legfinomabb egyenetlenségeibe is.

A lencsékben a gyártás után visszamaradó optikai feszültséget polarizált fényben vizsgálták. A hagyományos módon fröccsöntött lencsékhez képest a vibrációval gyártott lencsékben jóval kevesebbet tudtak kimutatni, és a feszültség a központ felé erősen csökkent. Feltételezik, hogy itt is a hanghullámok vibrációja és az általuk okozott helyi felmelegedésnek, ill. az ebből származó egyenletesebb lehűlésnek köszönhető a jobb eredmény.

Összeállította: Pál Károlyné

Lunsberg, J.: CureSense ultrasonic online cure time control in injection molding = KGK – Kautschuk, Gummi, Kunststoffe, 2009. 10. sz., ill. Plastverarbeiter, 2009. 12. sz. (www. plastverarbeiter.de)

Jaeyeol Lee; Naksoo Kim; Jaewook Lee: Numerical analysis of injection molding for filling efficiency on ultrasonic process = Korea-Australia Rheology Journal, 20. k. 2. sz. 2008. június, p. 79-88. [www. reology.or.kr/pdf/20-2(6).pdf]

AtsushiSato, Hiroshi Ito; Kiyohito Koyama: Study of application of ultrasonic wave to injection molding = Polymer Engineering and Science, 49. k. 4. sz. 2009. p. 768–773.