

Kerpely Antal Anyagtudományok és Technológiák Doktori Iskola
Vezetője: **Dr. Roósz András** egyetemi tanár, MTA rendes tagja



***Műanyag ömledékek nagysebességű áramlásának
tanulmányozása***

Doktori (Ph. D.) értekezés tézisei

Szűcs András

okleveles gépészmérnök

Tudományos vezető

Dr. Belina Károly

Egyetemi tanár

Miskolci Egyetem
Műszaki Anyagtudományi Kar
Polimermérnöki Tanszék
Miskolc, 2010.

Bevezetés

Műanyagok folyási jellemzőinek a tanulmányozása az egyik legszerteágazóbb és legkutatottabb terület. A reológiai kísérletek eredményei közvetlenül kapcsolódnak az elméleti polimerfizikai kutatásokhoz, valamint a termékgyártáshoz, minőségbiztosításhoz egyaránt. A szakirodalomban számos cikk foglalkozik műanyagok reológiai vizsgálatával. A szabványos vizsgálati technikák mellett, különféle eszközöket és módszereket fejlesztenek ki napjainkban is, hogy a legváltozatosabb körülmények között határozzák meg a műanyag ömledékek reológiai jellemzőit. Az irodalmat feldolgozva és az ipar igényeit figyelembe véve a dolgozatom kutatási célja az alábbi területekre bontható:

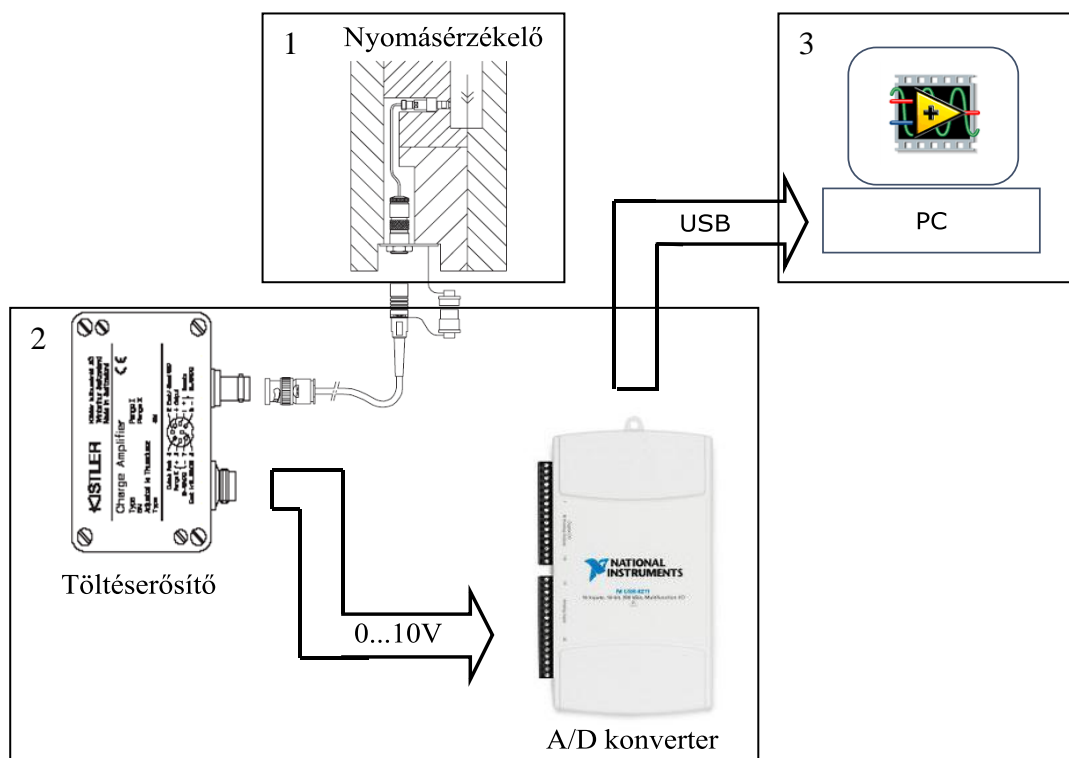
- 1) A reológia mérésre alkalmas műszerezett fröccsöntő szerszám tervezése és elkészítése;
- 2) A reológiai jellemzők meghatározása réskapillárisokkal, nyíróáramban végrehajtott mérések alapján;
- 3) A viszkozitás hőmérséklet – és nyomásfüggésének meghatározása a mérőszerszámban, valós feldolgozási körülmények között;
- 4) A reológiai jellemzők meghatározása nyújtási áramban végzett mérések, alapján a kifejlesztett réskapilláris rendszer alkalmazásával.

Új kutatási eredmények

1. Olyan műszerezett fröccsöntő szerszámot fejlesztettem ki, amellyel széles deformációsebesség-tartományban lehet izoterm és nemizoterm vizsgálati körülmények között meghatározni a polimer ömledékek folyóképességét.

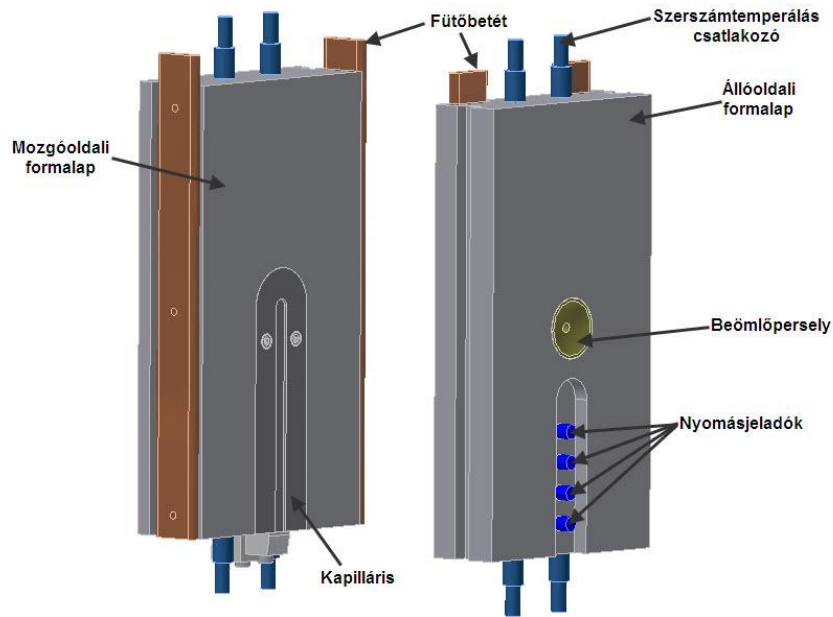
A mérőszerszám tervezését több lépcsőben valósítottuk meg. A mérés alapelve, hogy a vizsgált anyagot állandó térfogatárammal átfroccsöntjük kapillárisbetétben. A mérés során több pontban mérjük a kapilláris részben ébredő nyomást. A mért nyomás értéket felhasználva határozzuk meg a nyírófeszültséget, a térfogatáramot használva pedig a deformáció-sebességet. A kapillárisok cseréjével több áramlási keresztmetszet és hossz mellett tudjuk a méréseinket elvégezni. A szerszám hőmérséklete 20...300°C között változtatható. A mérőrendszer részei (1. ábra):

1. Mérőszerszám és a kapilláris betétek;
2. Nyomásmérő rendszer (nyomásmérő szenzor, töltéserősítő, A/D átalakító);
3. Mérő és kiértékelő program (Labview).



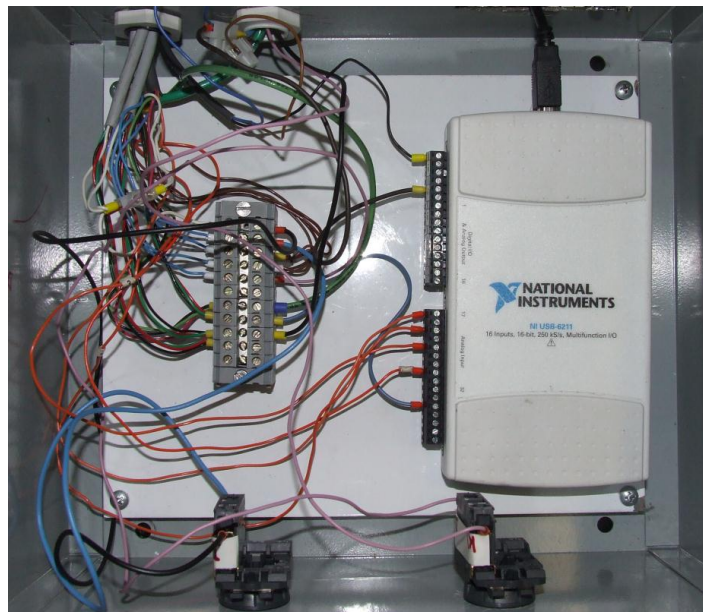
1. ábra. A mérőrendszer blokkvázlata

A mérőszerszám kialakítása az 2. ábrán látható.

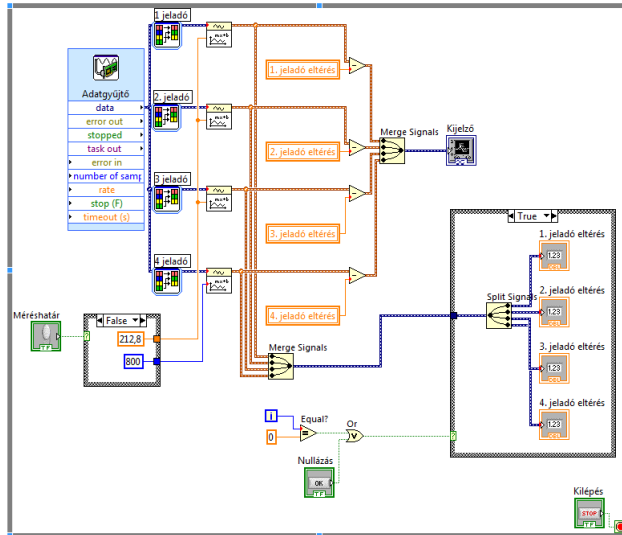


2. ábra. A mérőszerszám formalapjainak a kialakítása

A szerszámba három darab Kistler 6157BD típusú nyomásjeladó és egy darab 6190A jelzésű hőmérséklet és nyomásmérésre is alkalmas jeladót építettünk be. A szenzorok 2000 bar nyomásig használhatók és a maximális szerszám hőmérséklet 300°C-ot is elérheti. A mért jel töltéserősítőn (Kistler 5039A222) és egy A/D átalakítón (3. ábra) keresztül jutott egy személyi számítógépbe. A mérést és adatgyűjtést Labview szoftverkörnyezetben saját fejlesztésű programmal végeztük el (4, 5. ábra).



3. ábra. NI USB-6211 A/D átalakító



4. ábra. A mérőprogram blokkvázlata

párhuzamos mérések (3 darab)

Adat állományok kezelése

Mért értékek grafikus megjelenítése

Mért értékek és a szórásuk

5. ábra. A mérőprogram felülete

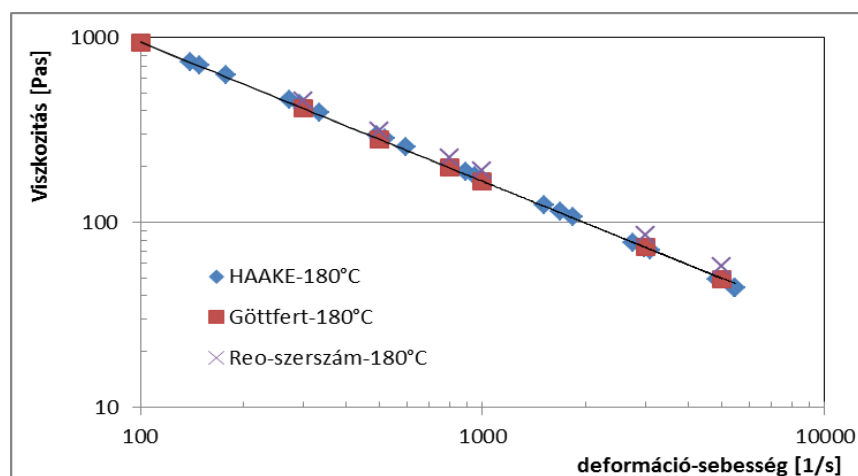
A kidolgozott mérőrendszer szabadalmaztatási eljárása elkezdődött.

2. Számítási módszert dolgoztam ki a részben mérhető jellemzők reológiai paraméterekre konvertálására. Igazoltam a mérési módszer alkalmazását és a számolási módszer pontosságát. Az új módszerrel meghatározott eredmények jó közelítéssel megegyeztek a hagyományos berendezésekkel meghatározott értékekkel.

Az anyag viszkozitás görbéjének meghatározására számos módszer létezik. A mérésekhez rés kapillárisokat használtam. A primer mérési adatokat felhasználva látszólagos értékeket kapunk, amelyek erősen függenek az alkalmazott kapilláris geometriájától. Ezért a látszólagos értékeket több korrekciós számolás után tekinthetjük valósnak. Berendezéssel végzett mérések segítségével a következő korrekciós számolásokat végeztem el:

- Falhatást figyelembevevő számolás (réskapillárisok alkalmazásakor szükséges).
A számítás alapján azt találtuk, hogy a látszólagos nyírófeszültség minden esetben csökken a korrekció hatására, a látszólagos deformáció sebesség pedig növekszik (a korrekció magában foglalja a Rabinowitsch korrekciót is).
- A belépési és kilépési hatás veszi figyelembe a Bagley korrekció.
Azonos keresztmetszetű, de eltérő hosszúságú kapillárisok voltak jól alkalmazhatók a korrekciós számításokhoz.
- A falcsúszás meghatározása alkalmas a Mooney analízis.
A falcsúszás meghatározásához azonos hosszúságú, de eltérő magasságú kapillárisokat használtam. A kiértékelés során azt találtam, hogy csúszás nem lép fel az áramlás során.

A 6. ábra két szabványos és az új szerszámmal meghatározott viszkozitásgörbét szemlélteti.



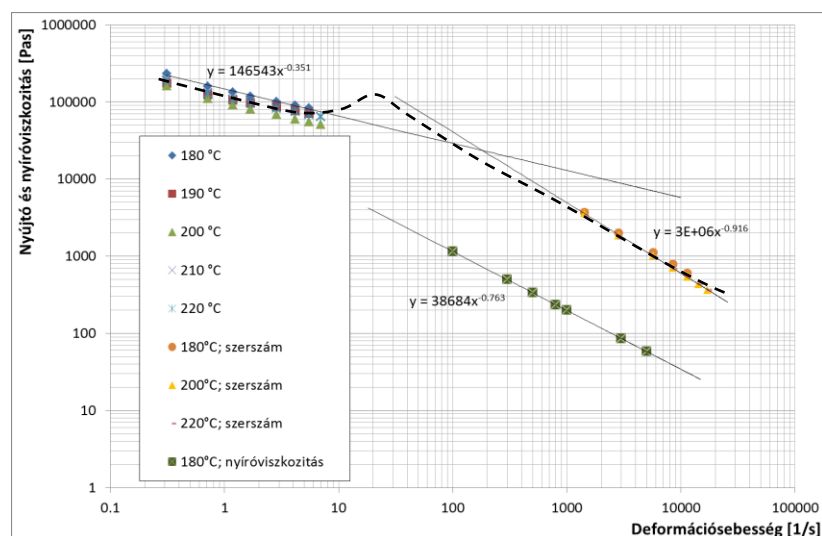
6. ábra. Viszkozitás görbék összehasonlítása

3. *Dimenziómentes mennyiségek segítségével kimutattam, hogy a polimer ömledék folyása a szerszámrésben milyen beállítások és vizsgálati körülmények mellett tekinthető izotermnek, nemizotermnek, illetve adiabatikusnak.*

A mérések során minden esetben számolni kell a disszipációs hőfejlődéssel, és amennyiben a szerszám hőmérséklete alacsonyabb, mint az anyag hőmérséklete, akkor a keresztirányú hőárammal is. A számolási eredmények alapján azt mondhatjuk, hogy a disszipációs hőfejlődés 5...15 °C között van. A keresztirányú hőáram a falhoz közeli vékony réteg lehülését okozza, ami kis kapilláris magasság esetében erősen befolyásolja a mért nyomásértékeket. Vizsgáltam továbbá a nyomás hatását a viszkozitásra és azt találtam, hogy a nyomás okozta viszkozitás növekedés közel azonos értékű a hőmérsékletemelkedés okozta viszkozitás csökkenéssel, így a két ellentétes hatás jó közelítéssel kiegyenlíti egymást.

4. *A szerszámrés megfelelő geometriai kialakításával meghatároztam a kissűrűségű polietilén nyújtási viszkozitását nagy deformációsebesség-tartományban.*

Göttferth Rheotens berendezéssel és a mérőszerszámmal is meghatároztuk a vizsgált LDPE alapanyag nyújtó viszkozitás görbéjét. A 7. ábrán jól látható, hogy a mérési eredmények megfelelnek az irodalomban publikáltaknak. A két mérési módszerrel meghatározott értékek jól követik a várt meredekség változást. Szaggatott vonallal jelöltük az elméleti átmenetet a két tartomány között. Megállapítható, hogy az általunk alkalmazott geometria alkalmas a polimer ömledékek nyújtási viszkozitásának meghatározására nagy deformációsebesség-tartományban.



7. ábra. Nyújtóviszkozitás görbék összehasonlítása

Új kutatási eredmények alkalmazhatóságának lehetőségei, fejlesztési lehetőségek

A kifejlesztett mérőrendszerrel széles nyírősebesség tartományban, feldolgozás körülmények között tudja műanyag ömledékek folyási jellemzőit meghatározni. A berendezés alkalmas a korrekciók elvégzésére és a (könnyű kapillárisbetét cserének köszönhetően) változatos áramlási rést alkalmazva tudjuk a méréseinket elvégezni. A mérőberendezés egyedülálló olyan téren, hogy a szerszámrés hőmérsékletét változtatva anizoterm áramlási körülmények mellett tudjuk a méréseket elvégezni, ami a fröccsöntő szerszám kitöltésének modellezésére alkalmas.

A berendezés kisebb módosításával lehetőség nyílik:

- Belső nyomás gradiens vizsgálata hosszú kapillárisokban;
- Tranziens kitöltési folyamat tanulmányozása;
- Fröccsöntési folyamat behatóbb tanulmányozása;
- Ömledéktörés vizsgálata;
- Nyomás alatti viszkozitás vizsgálatára;
- Szabad térfogat tanulmányozása;
- Végeselemes programok „validálására”.

Új tudományos eredményekhez kapcsolódó publikációk

Nyomtatott magyar nyelvű folyóirat cikk, konferencia kiadvány

1. Szűcs András, Belina Károly: Reológiai jellemzők meghatározása műszerezett fröccsöntő szerszámmal, *Műanyag és Gumi* **12.**, 476-478, 2009.
2. Szűcs András, Belina Károly, Pósa Márk: *LDPE folyási jellemzőinek meghatározása*, AGTEDU 2009, Kecskemét 2009. november 5.
3. Szűcs András, Belina Károly: Reológiai mérőrendszer fejlesztése, *A GAMF Közleményei* **23**, 31-40, Kecskemét, 2009.
4. Szűcs András: *Nyomáskereső mérés spirálsatornás fröccsöntő szerszámban*, FMTÜ 2008. Konferencia, Kolozsvár, külföldi konferencia kiadvány 2008. március 14-15
5. Szűcs András, Belina Károly: *Polimerek folyásának tanulmányozása spirál szerszám alkalmazása*, *Műanyag- és gumiipari évkönyv* 13-14. oldal 2008.
6. Szűcs András, Belina Károly: *Kitöltési folyamat tanulmányozása fröccsöntőszerszám formaiüregében*, *Műanyag- és gumiipari évkönyv* 2006. 13-15. oldal, 2006.
7. Szűcs András: *Műanyagok folyóképességének meghatározása fröccsöntési folyamat közben*, FMTÜ 2007. Konferencia, Kolozsvár, külföldi konferencia kiadvány 185-188. oldal, 2007. március 16-17.
8. Szűcs András, Pósa Márk, Szabó Ferenc: *Mérőrendszer üregnyomás méréshez*, XI. FMTÜ, Kolozsvár, 2006. március 24-25 (359-362).
9. Szűcs András, Pósa Márk: *Fröccsöntési paraméterek hatása az üregnyomásra*, XI. FMTÜ, Kolozsvár, 2006. március 24-25 (355-358).

Külföldi írott publikáció

1. Szűcs András: *Rheological and thermal analysis of the filling stage of injection moulding*, eXPRESS Polymer Letters, elfogadott folyóirat cikk.
2. Szűcs András: *Study of non-isothermal mould filling*, International Doctoral Seminar, Konferencia kiadvány 467-474, 2010.
3. Szűcs András, Pósa Márk, Belina Károly: *Development of viscosity measuring system for polymers*, PPS-24, Salerno (Olaszország), 2008. június 15-19. (konferencia kiadvány CD)
4. Belina Károly, Szűcs András: *Investigation of polymer flow during filling stage*, PPS2006, Pretoria, Konferencia kiadvány CD, 2006. október 9-13.

Magyar nyelvű szakmai előadások

1. Szücs András: *LDPE folyási jellemzőinek meghatározása műszerezett fröccsöntőszerszámmal*, Vegyésznap 2009. Kecskemét 2009. november 11.
2. Szücs András, Belina Károly, Pósa Márk: *LDPE folyási jellemzőinek meghatározása*, AGTEDU 2009, Kecskemét 2009. november 5.
3. Szücs András, Belina Károly: *Szimulációs programok alkalmazása műanyagipari kutatás-fejlesztésben*, VIII. eCon végeeselemes felhasználói konferencia, Budapest, 2009. április 23.
4. Szücs András, Belina Károly: *Reológiai mérésre alkalmas fröccsöntő szerszám tervezése*, Mechanoplast 2009, Balatonaliga, 2009. március 18.
5. Szücs András: *Nyomáskereső mérés spirálcatornás fröccsöntő szerszámban*, FMTÜ 2008. Konferencia (magyar nyelvű előadás) 2008. március 14-15
6. Szücs András: *Műanyagok folyóképességének meghatározása fröccsöntési folyamat közben*, FMTÜ 2007. Konferencia, Kolozsvár. Szakmai előadás, 2007. március 16.
7. Szücs András: *Műanyagok folyóképességének meghatározása fröccsöntési folyamat közben*, FMTÜ 2007. Konferencia, Kolozsvár. Szakmai előadás
8. Szücs András: *Műanyag ömledékek folyásának meghatározása a szerszámüregben*, Vegyésznap 2006, Kecskemét, 2006. november 9.
9. Szücs András, Belina Károly, Pósa Márk: *Műanyagömledékek áramlásának vizsgálata*, AGTEDU 2006, Kecskemét, 2006. november 9.
10. Szücs András, Pósa Márk, Belina Károly: *Kitöltési folyamat tanulmányozása fröccsöntő szerszám formaiüregében*, GAMF Szakmai nap, Kecskemét, 2006 április 13.
11. Szücs András, Pósa Márk, Szabó Ferenc: *Mérőrendszer üregnyomás méréshez*, XI. FMTÜ, Kolozsvár, 2006. március 24-25.
12. Szücs András, Pósa Márk: *Fröccsöntési paraméterek hatása az üregnyomásra*, XI. FMTÜ, Kolozsvár, 2006. március 24-25.
13. Szücs András: *Fröccsöntés technológiai paramétereinek hatása az üregnyomásra*, II. Mechanoplast Országos Doktorandusz Konferencia, 2005. november 12.
14. Szücs András, dr Belina Károly, Pósa Márk: *Nyomásmérés fröccsöntőszerszám formüregében*, Magyar Tudomány Napja, Kecskemét 2005. november 10
15. Szücs András: *Nyomásmérés fröccsöntőszerszám formaiüregében*, Mechanoplast, Gyula 2005. március 8-10.

Angol nyelvű szakmai előadások

1. Szűcs András: *Determination of flow properties of thermoplastics at high shear rates by instrumented injection mold*, ANTEC 2011, Boston, 2011. május 02.
2. Szűcs András: *Study of non-isothermal mould filling*, International Doctoral Seminar, Smolenice, 2010. május 17.
3. Szűcs András, Belina Károly: *Investigation of high speed rheology of polymers, I.* International Scientific and Expert Conference (TEAM 2009), 14-18., Slavonsky Brod 2009.
4. Szűcs András: *Development of viscosity measuring system for polymers*, PPS-24, Salerno Olaszország, 2008. június 15-19. (poszter előadás)