



**Budapesti Műszaki és Gazdaságtudományi Egyetem**

Villamosmérnöki és Informatikai Kar

Elektronikai Technológia Tanszék

Tudományos Diákköri Konferencia  
2019 / 20 / I. félév

# Forraszpaszták szemcseméretének elemzése képfeldolgozási eljárással

Készítette: Lakó Bence Márk (MLP176)

Konzulens: Dr. Krammer Olivér

**BUDAPEST**

**2019**

# Tartalom

1. Bevezetés.....	3
2. A felületszerelési technológia .....	4
3. Forraszpaszták tulajdonságai.....	5
3.1. Forraszpaszták reológiai tulajdonságai .....	5
3.2 Forraszszemcsék előállítása .....	11
3.2.1 Centrifugális porlasztás .....	11
3.2.2 Ultraszónikus porlasztás.....	15
3.3 Szemcseméret szabványos mérési módszerei .....	19
3.4 Irodalmi összefoglaló .....	21
4. Önálló munka .....	22
4.1 Vizsgált minta .....	22
4.2 Kísérlet tervezet.....	22
4.3 Mérési eredmények .....	30
Összefoglalás.....	33
Ábrajegyzék .....	34
Táblázatjegyzék.....	35
Irodalomjegyzék.....	36

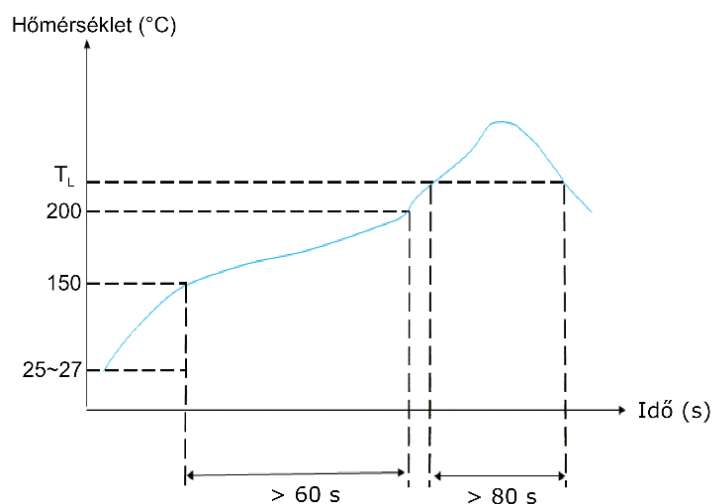
# 1. Bevezetés

Napjaink elektronikus eszközeinek gyártásánál az alapvető forrasztási technológia az úgynevezett újraömllesztéses forrasztás. Ennek kulcslépése a stencilnyomtatás (egy-irodalmak szerint a forrasztási hibák 60-70%-a vezethető erre vissza), melynél az alkalmazott forrasztóanyag a forrasztópaszta. Ez néhányszor 10  $\mu\text{m}$  átmérőjű fémszemcsék szuszpenziója folyasztószerben. A szemcsék térbeli eloszlása a forrasztópaszta reológiai tulajdonságaira nagy hatással van, mely tulajdonságok ismerete igen fontos része az újraömllesztéses forrasztási technológiának, alapvetően befolyásolja a stencilnyomtatás folyamatképességét. A szuszpenziókra igaz, hogy nyugalmi állapotban a szemcsék elkezdnek leülepedni pl. a tégely aljára, így annak érdekében, hogy homogén legyen a forrasztópasztában a szemcsék térbeli eloszlása, az első nyomtatás előtt alaposan fel kell keverni. Az alapos keverés ellenére is előfordulhat, hogy nem lesz tökéletesen homogén a forrasztópaszta, viszont a nyomtatások számának növekedésével képes homogénizálódni. Ennek mérése, valamint általánosságban a forrasztópaszták szemcseméretének ellenőrzése fontos tehát az elektronikai gyártás folyamatszabályozásához, a stencilnyomtatási folyamat stabilitásának megőrzéséhez. Az IPC-TM-650 szabványban több mérési lehetőséget is ismertetnek a forrasztópasztákban található szemcsék méretének megmérésére. Ebben a szabványban ismertetett optikai mérési eljárások hátránya, hogy a szemcsék átmérőjének megméréséhez először monoréteget kell a forrasztópasztából kialakítani.

A TDK munkám során olyan képfeldolgozási eljárás kidolgozása volt a célom, amellyel a szabványos mérési módszereknél egyszerűbben meg lehet határozni a forrasztópasztákban található szemcsék átmérőit.

## 2. A felületszerelési technológia

A nyomtatott huzalozású lemezek legelterjedtebb szerelési technológiája a felületszerelési technológia. Ennél a technológiánál a legelső lépés a forraszpaszta felvitele a hordozóra, amit stencilnyomtatással végeznek. Ez a folyamat kritikus a szerelés szempontjából, a későbbi forrasztási hibák 60-70%-a vezethető vissza a stencilnyomtatásra. Miután megtörtént a megfelelő mennyiségű forraszpaszta felvitele, az alkatrészek beültetése következik. Ez történhet kézzel, illetve automata beültetőgépek használatával. A beültetett alkatrészek forrasztása, az úgynevezett újraömlesztés forrasztás több módszerrel történhet. Az iparban a legelterjedtebbek a szállítószalagos kemencék, melyekből a legújabbak már kényszerkonvekciós fűtést alkalmaznak. Ezek a kemencék több, akár 15 zónával is rendelkezhetnek, melyeknél minden zóna hőmérséklete állítható. Ennél az eljárásnál a hőprofil az egyes zónák hőmérsékletétől és a szállítószalag sebességétől függ. Ahogy látható az 1. ábrán, a hőprofil első része az előmelegítés, mely során történik az alkatrészek fokozott felmelegítése és a folyasztószer aktiválása. Ezt követi a hőntartás, melynek célja, hogy a nagyobb hőkapacitású alkatrészek is azonos hőmérsékletre melegedjenek, mint a kisebb alkatrészek. Ezután tovább melegítik a lemezt, hogy a forrasz átlépje az olvadáspontját, és létrejöjjön a kötés a kontaktusfelület és az alkatrész között. Végül az alkatrészt fokozatosan kb.  $2-4\text{ }^{\circ}\text{C/s}$  hűtéssel visszahűtik szobahőmérsékletre.



1. ábra. Az újraömlesztés forrasztás hőprofilja [7]

## 3. Forraszpaszták tulajdonságai

### 3.1. Forraszpaszták reológiai tulajdonságai

A folyadékokra jellemző tulajdonság a viszkozitás, ami a folyadék belső ellenállásának mértéke a csúsztatófeszültséggel szemben. Az anyagokat az alapján, hogy a csúsztatófeszültség és a nyírási ráta között milyen kapcsolat áll fenn két csoportba osztjuk. Ezek a newtoni és nem-newtoni folyadékok.

Newtoni folyadékoknak nevezzük az olyan folyadékokat, amelyeknél a nyírási ráta növekedése nem befolyásolja az anyag viszkozitását. Egy másik megfogalmazásban a newtoni folyadékoknál a csúsztatófeszültség a nyírási ráta lineáris függvénye. Ebben az esetben, a csúsztatófeszültség az alábbi összefüggéssel adható meg:

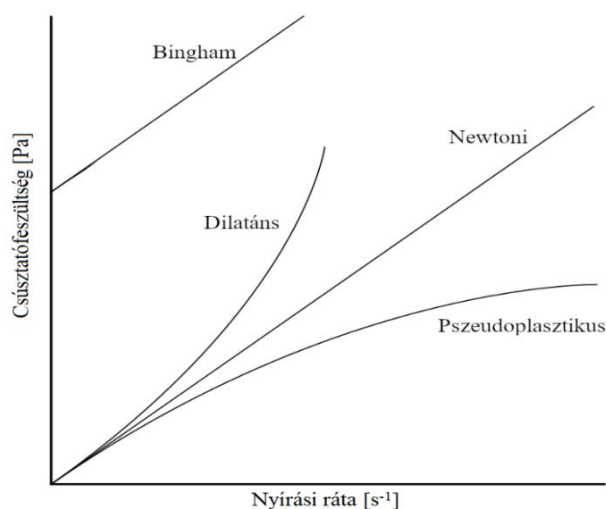
$$\tau = \mu \frac{du}{dy} \quad (1)$$

ahol  $\tau$  a csúsztatófeszültség,  $\mu$  a dinamikai viszkozitási együttható, a  $\frac{du}{dy}$  pedig a sebességgradiens. A dinamikai viszkozitást az alábbi összefüggéssel adhatjuk meg.

$$\mu = \nu \cdot \rho \quad (2)$$

ahol  $\nu$  a kinematikai viszkozitás,  $\rho$  pedig a folyadék sűrűsége.

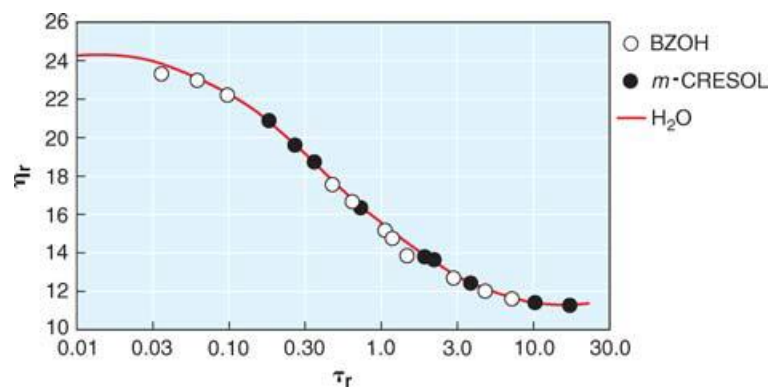
Abban az esetben, ha a fenti (1) összefüggés nem teljesül beszélhetünk nem-newtoni folyadékokról, melyeknél nem lineáris az összefüggés a nyírási ráta és a csúsztatófeszültség között. Különböző nem-newtoni folyadékok jellemző folyásgörbéi láthatók az 2. ábrán.



2. ábra. Különböző nem-newtoni folyadékok folyásgörbéi [6]

A nyírásra vastagodó, vagy más szóval dilatáns folyadékok viszkozitása nő egyre nagyobb nyírási ráta hatására. A nyírásra vékonyodó vagy pszeudoplasztikus folyadékok viszkozitása csökken, ha nő a nyírási ráta. A Bingham folyadékok egy bizonyos csúsztatófeszültség értékig szilárd tulajdonságokat mutatnak, a határérték felett viszont newtoni folyadékként viselkednek.

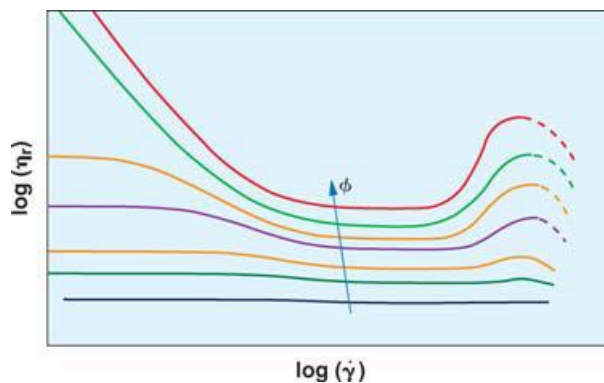
A szuszpenzió olyan elegy, ahol folyadékba keverednek szilárd szemcsék úgy, hogy köztük nem lép fel oldódás. Szuszpenzióra példa a forraszpaszta is, ahol a folyasztószerbe keverve található meg a különböző méretű forraszszemcsék. Az irodalmakban olyan nem-newtoni folyadékokat vizsgáltak, melyeknél a szilárd részecskék térfogatszázaléka meghaladta a 40%-t. Ezeknél az anyagoknál azt tapasztalták, hogy ezek a szuszpenziók pszeudoplasztikus folyadékként viselkednek egy bizonyos tartományon.



3. ábra. Pszeudoplasztikus viselkedés 1 $\mu$ m átmérőjű szemcsét tartalmazó szuszpenzió esetén [1]

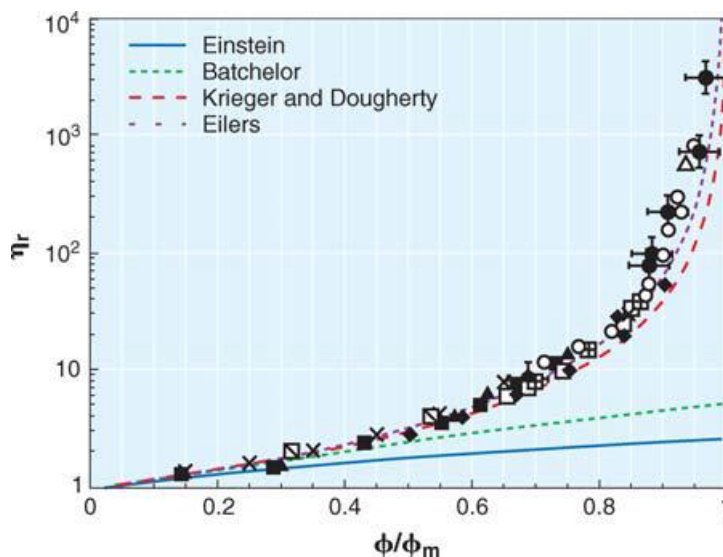
Ahogy látható a 3. ábrán alacsony nyírási ráta esetén a szuszpenzió newtoni folyadékként viselkedik (kivéve nagy sűrűségű szuszpenziók esetén), majd a nyírási ráta növelésével pszeudoplasztikus folyadékként viselkedik, egészen addig a határértékig, amikor már nem csökken a viszkozitás értéke, ekkor ismét newtoni tulajdonságokat mutat. Tovább növelve a nyírási rátát, a szuszpenziók elkezdnek dilatáló folyadékként viselkedni, viszkozitásuk értéke nőni kezd. Barnes sok különböző szuszpenziót vizsgált, és arra a következtetésre jutott, hogy minden szuszpenzió képes a megfelelő körülmények között (magas nyírási ráta hatására) dilatáló folyadékként viselkedni. A 4. ábrán látható, hogyan változik a viszkozitás a különböző térfogatszázalékú szuszpenziók esetén a nyírási ráta növelésével.

Egy szuszpenzió viszkozitása nagy mértékben függ az oldószer és a benne lévő szilárd szemcsék térfogattörtjétől. Ahogy látható a 4. ábrán is, nagyobb térfogattört esetén egyre nagyobb a szuszpenzió viszkozitása.



4. ábra. Különböző térfogattörtű szuszpenziók viszkozitásának változásának változása a nyírási ráta függvényében [1]

A 5. ábrán látható egy nem-newtoni anyag viszkozitása a térfogattört és a maximális térfogattört hányadosának függvényében. Az, hogy mennyi a maximális térfogattört értéke, nagy mértékben függ az anyag mikrostruktúrájától. Ha az oldószerben lévő szemcsék monodiszperzek, azaz méretük és alakjuk megegyezik, ez a maximális térfogattört körülbelül 0.63 [1]. Több különböző méretű szemcse esetén a maximális térfogattört meghatározása nehezebb, ugyanis a kisebb méretű szemcsék képesek a rendeződött nagyobb szemcsék közötti hézagokat betölteni. A kísérletek azt az eredményt mutatják, hogy ugyanakkora térfogatszázalék mellett, monodiszperz szemcsék esetén a viszkozitás értéke nagyobb, mint a kisebb szemcséket is tartalmazó szuszpenziók esetén.



5. ábra. Viszkozitás függése a térfogattörttől [1]

Einstein olyan szuszpenziók viszkozítására adott összefüggést, melyeknél a térfogattört értéke alacsony (úgy nevezett híg szuszpenziók), illetve a benne lévő szemcsék monodiszperzek.

$$\eta_r = 1 + [\eta]\phi + O(\phi^2) \quad (3)$$

ahol  $\eta_r$  a szuszpenzió viszkozitása ( $\eta_r = \eta/\eta_0$  ahol  $\eta_0$  az oldószer viszkozitása),  $\phi$  a térfogattört,  $[\eta]$  a határviszkozitás és  $O(\phi^2)$  a nagy ordó operátor. Kemény szemcsék esetén a határviszkozitás értéke  $[\eta]=5/2$ .

Ezt az összefüggést, később Batchelor és Green kibővítették, így a következő összefüggés már alkalmazható nagyobb térfogattört esetén is:

$$\eta_r = 1 + [\eta]\phi + B\phi^2 + O(\phi^3) \quad (4)$$

ahol  $B = 6,2$  Brown féle szuszpenziók esetén és  $B = 7,6$  nem-Brown féle szuszpenziók esetén.

Ezek az összefüggések akkor igazak, ha az oldószerben található szilárd szemcsék méretei azonosak. Ha a szuszpenzióban több különböző méretű szemcse is található, a következő összefüggés adja meg a szuszpenzió viszkozitást:

$$\eta_r = \left(1 - \frac{\phi}{\phi_m}\right)^{-[\eta]\phi_m} \quad (5)$$

ahol  $\phi_m$  a maximális térfogattört. Ez az összefüggés azt feltételezi, hogy az oldószerünkben már található szilárd szemcsék és ezt az állapotot veszi kiindulásnak. Ezekhez a szemcsékhez, más méretű szemcséket adva az összefüggés (5) segítségével meghatározható a szuszpenzió viszkozitása.

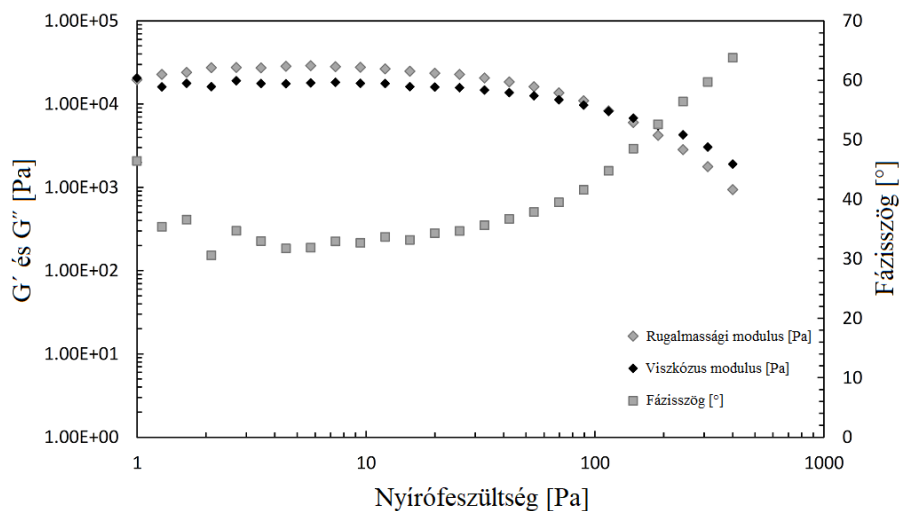
Az anyag viszkózus és elasztikus viselkedésének megismerésére az „Oscillatory test” - et használjuk. Ennek lényege, hogy állandó (0.1 Hz és 10 Hz közötti) frekvencián szinuszosan változó nyírási feszültség értéket használva mérjük az anyag rugalmassági (tárolási) és viszkózus (veszteségi) modulusát. A rugalmassági modulus megadja, hogy mennyi a tárolt és visszanyerhető mechanikai energia, mennyire mutat rugalmas tulajdonságokat az anyag, a viszkózus modulus pedig megadja, hogy mennyi energia disszipálódott el, mennyire mutat viszkózus tulajdonságokat az anyag.

Barbosa és társai [2] egy 3-as típusú SAC405-ös ötvözet esetén végezték el, ezt a vizsgálati módszert. Három mintát különböztettek meg, az első eset amikor a forraszpaszta még frissen került a stencilre, a második eset a 3-5 nyomtatás utáni állapot és a harmadik amikor a nyomtatások száma 5-nél több volt. A mintára 0-400 Pa között váltakozó 1 Hz frekvenciájú terhelést adtak 5 percen keresztül. A vizsgálat eredménye látható a 6. ábrán. Az ábráról látható, hogy befolyással van a forraszpaszta viselkedésére vizsgálatot megelőző nyomtatások száma. A viszkoelasztikus szakasz (melyben az anyag belső struktúrája sértetlen marad) az első esetben

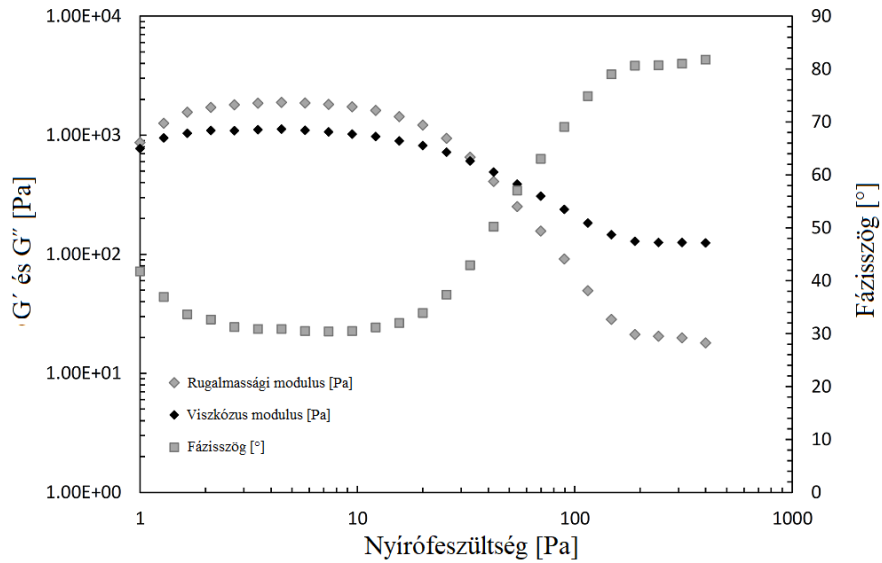


körülbelül 35 Pa nyírási feszültség értékig áll fent, ezután letörnek és nem lineárisan csökkenni kezd  $G'$  és  $G''$  értéke, míg az 5. nyomtatás után vizsgált paszta esetén alacsonyabb nyírási feszültségnél következik be ez a letörés. Az anyag főként szilárd tulajdonságokat mutat amíg a  $G'$  értéke nagyobb, és viszkózus tulajdonságokat amikor  $G''$  értéke nagyobb. Azt a nyírófeszültség értéket, ahol az anyag rugalmas tulajdonságai helyett, a viszkózus tulajdonságok válnak dominánssá keresztelési feszültségnek nevezzük, és akkor következik be, amikor  $G' = G''$ . A keresztelési feszültség értéke az első nyomtatás után körülbelül 115 Pa, míg az 5. nyomtatás után ez az érték körülbelül 33 Pa. A forraszpaszták nyomtathatósági tulajdonságait meghatározó arányszám a  $G'/G''$  hányados. Az irodalom szerint, ez az érték optimális nyomtathatóság esetén körülbelül 1,8. A  $G'/G''$  érték az első nyomtatás után 1,58, a harmadik nyomtatás után 1,85, míg 5-nél több nyomtatás esetén 1,67 volt. Ez azt mutatja, hogy a frissen a stencilnyomtatóba helyezett forraszpasztának rosszabb a nyomtathatósági tulajdonsága, mint annak a forraszpasztának amelyikkel már többször nyomtattak.

A forraszpasztákra jellemző tulajdonság a tixotropia. Ennek mérésére a nyírási feszültség értékét nulláról a lehető legnagyobb értékre növeljük, majd erről a maximumról lecsökkentjük nullára. Ekkor a felmenő és lemenő görbék nem esnek egybe. A felmenő görbe alatti terület és a lemenő görbe alatti terület különbsége a hiszterézis területe. Pozitív hiszterézis esetén tixotróp, negatív hiszterézis terület esetén reopetikus anyagról beszélünk. Barbosa és társai 250 Pa és 12 000 Pa között változtatták a nyírási feszültség értékét, mind a felmenő mind a lemenő ágon 150 másodpercig. Az eredmények láthatók a 7. ábrán.

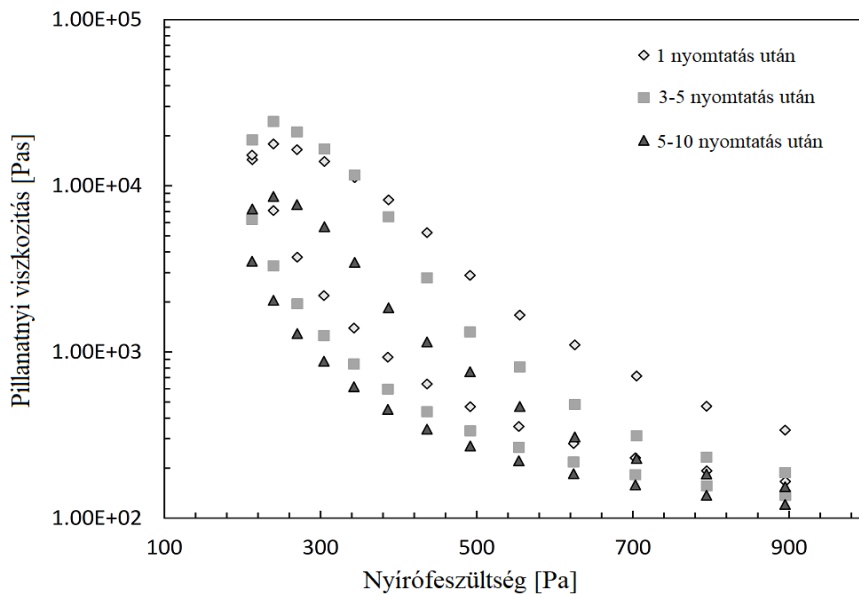


a.,



b.,

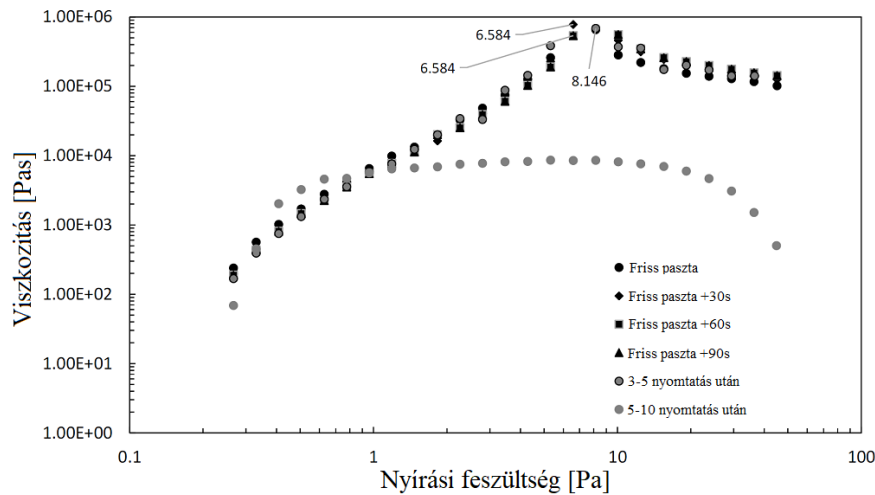
6. ábra. Az „Oscillatory test” eredménye a) egyszer nyomtatott paszta esetén b) 5-nél többször nyomtatott paszta esetén [2]



7. ábra. SAC405 típusú forraszpaszta tixotróp viselkedésének mérése [2]

A folyáshatár megadja, hogy mekkora nyírési feszültségértéknél kezd el az anyag szilárd viselkedés helyett folyadékként viselkedni. A vizsgálat során a 0 Pa és 50 Pa között változtatták a nyírési feszültség értékét 150 másodpercen keresztül. Összesen 6 különböző mintát vizsgáltak meg, melynél az első a friss forraszpaszta volt, majd ezt követően 30, 60, 90 másodperces pihentetésekkel még 3 mérést végeztek ezen az a pasztán, majd pedig a 3-5 nyomtatás közötti, valamint 5-10 nyomtatás közötti forraszpasztát vizsgálták. Az eredmények láthatók a 8. ábrán. Az ábrából látható, hogy a 5-10 nyomtatás utáni forraszpaszta kivételével,

az 5 minta körülbelül egy görbére esik. Ezeknél a mintáknál a folyáshatár körülbelül 7 Pa. Annál a mintánál, amelynél már 5-nél többször nyomtattak nem határozható meg a folyáshatár, ami azt jelenti, hogy nagyon kis nyírási feszültség hatására kezd folyni a forraszpasztta.



8. ábra. Folyáshatár meghatározása [2]

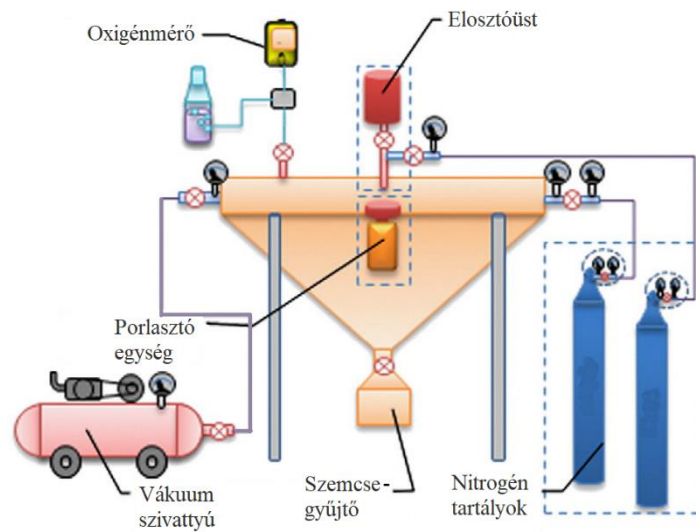
## 3.2 Forraszemcsék előállítása

### 3.2.1 Centrifugális porlasztás

A forraszpaszták előállításának egyik meghatározó része a megfelelő méretű és minőségű szemcsék készítése, melyre több eljárás is lehetséges. Az egyik ilyen eljárást vizsgálták Plookphol és társai. Az eljárás az úgynevezett centrifugális porlasztás. Az eszköz elrendezése látható a 9. ábrán. Az eljárás lényege, hogy a porlasztani kívánt ötvözetet (jelen esetben SAC305) egy elosztóüstbe teszik, ahol megolvastják 318 °C-on. Ezalatt a kamrában melyben a porlasztást végzik csökkentik a nyomást amíg az el nem éri a 15 cm Hg-t, majd nitrogéngázt engednek a kamrába. Ezt addig ismétlik, amíg a kamrában található oxigénszint egy előre meghatározott érték alá nem csökken. Ezután a forgórészt, amelyre később az olvadt fém fog folyni felmelegítik 180 °C-ra, majd egy motor segítségével felgyorsítják a kívánt sebességre. Ezt követően az elosztóüstből egy szórófej segítségével a forgó korongra permetezik a megolvadt fémet, amely a forgómozgásnak köszönhetően vékony réteggént kerül el a korongon. A vékony olvadákréteg a korong szélén felbomlik, és kis cseppekként leesik a kamra alján található szemcsegyűjtőbe [3]. Ezzel az eljárással készült szemcsék esetén, a várható szemcseátmérőt az alábbi egyenlettel lehet meghatározni:

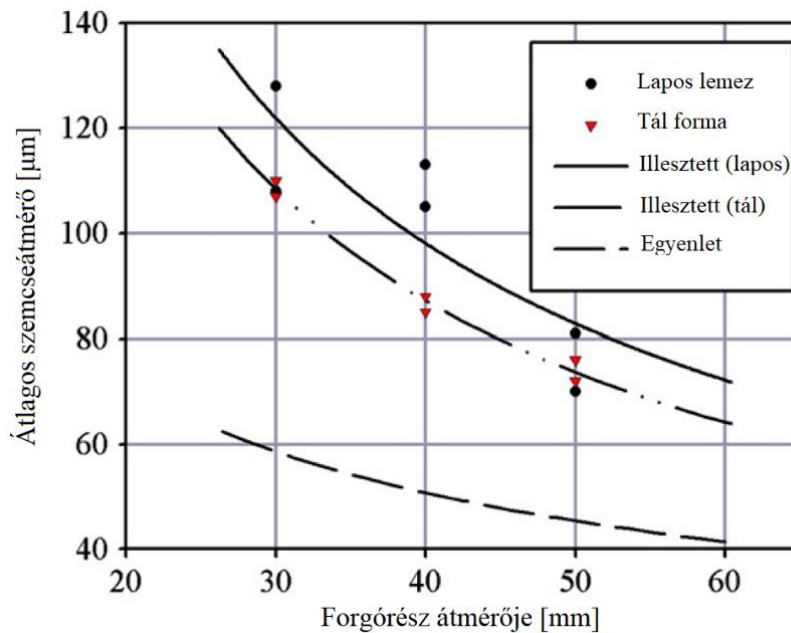
$$d = \sqrt{\frac{6\gamma}{\rho\omega^2 R}} \quad (6)$$

ahol  $d$  a várható szemcseméret,  $\gamma$  a megolvadt anyag felületi feszültsége,  $\rho$  az anyag sűrűsége,  $\omega$  a forgórész sebessége, és  $R$  a porlasztó sugara.



**9. ábra. A porlasztás blokkvázlata [3]**

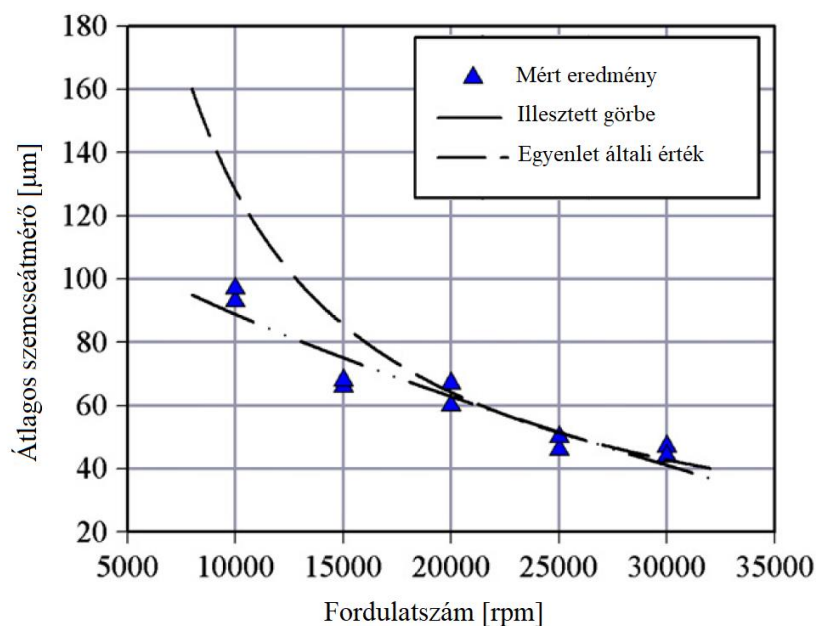
Az eljárás során több paraméter befolyásolja az előállított szemcsék tulajdonságait. Az első befolyásoló tényező a porlasztó geometriája. A vizsgálat során két különböző geometriájú forgórészsel végezték el a méréseket. Az egyik elrendezésben egy teljesen lapos lemezt használtak forgórésznek, a másik elrendezésben pedig egy mélyített (tálhoz hasonlító) forgórészt használva vizsgálták az átlagos szemcseátmérőt. A porlasztó felületét a jobb nedvesítés érdekében a porlasztandó anyaggal vonták be. Az eredmények azt mutatják, hogy a tál alakú forgórész esetén 11%-kal finomabb szemcseméreteket kaptak, mint a sima lapos lemez esetén. A mérésekből az is kiderült, hogy minél nagyobb a forgórész átmérője, annál kisebb az átlagos szemcseméret. A különböző geometriájú forgórészekre irányuló mérés eredménye látható a 10. ábrán.



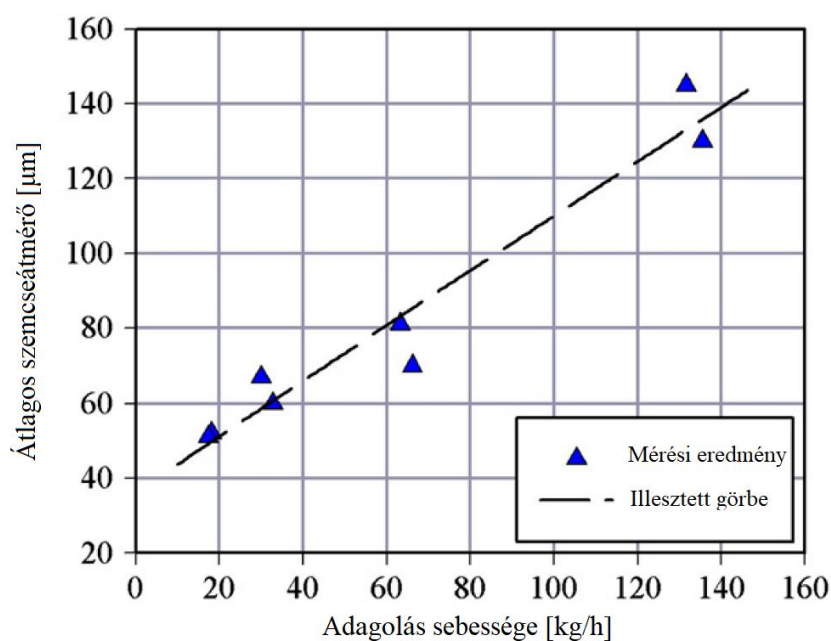
10. ábra. A forgórész geometriájának hatása az átlagos szemcseátmérőre [3]

A következő befolyásoló paraméter, amit vizsgáltak a forgórész forgási sebessége. Itt azt tapasztalták, hogy a sebesség növelésével csökken az átlagos szemcseméret. A mérési tapasztalat szerint az átlagos szemcseátmérő már csak igen kis mértékben változik a 25 000-es fordulatszám felett. A mérés eredményei a 11. ábrán láthatók.

A forraszszerkezetek karakterisztikáját befolyásoló paraméter az olvadék adagolás sebessége. Az adagolás sebességének nem megfelelő megválasztása az olvadék korai megszilárdulásához, vagy a porlasztón kialakuló vékony réteg folytonosságának hiányához vezethet. A mérési eredmények azt mutatják, hogy az olvadék adagolás sebességének növelésével nő a kialakuló szemcsék átlagos átmérője, hiszen ilyenkor vastagabb réteg alakul ki a porlasztó felületén, melynek következtében a lemez szélén nagyobb szemcséként válnak el a forgó korongtól. Az eredmények azt mutatják, hogy ennél az elrendezésnél 0,5 mm-es fűvókával, 17,7 kg/h adagolási sebességnél érhető el a legkisebb átlagos szemcseátmérő (50 μm). A szemcseméret alakulása az olvadék adagolás sebességnek a függvényében látható a 12. ábrán.



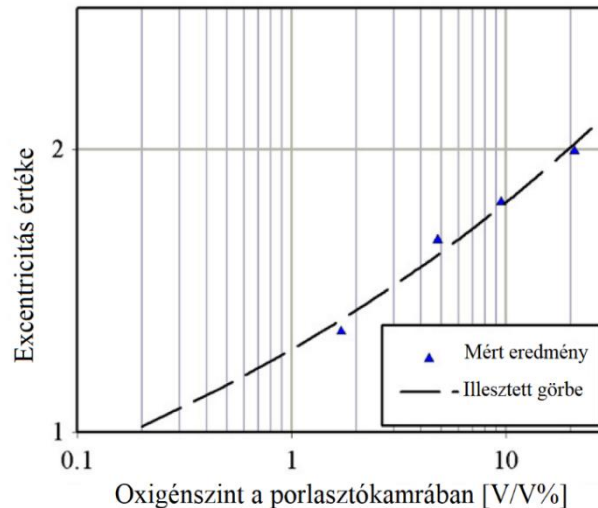
11. ábra. Átlagos szemcseátmérő függése a porlasztó fordulatszámától [3]



12. ábra. Átlagos szemcseátmérő függése az olvadék adagolásának sebességétől [3]

Az oxigénszint mértéke a porlasztókamrában szintén befolyással van a keletkező szemcsék tulajdonságaira. Az oxigénszint csökkenésével csökkent a keletkező szemcsék átlagos átmérője, viszont 10%-os oxigénszint alatt nem változott a keletkező szemcsék átmérője. Ahhoz, hogy egy SAC305-ös ötvözetből készült szemcse elfogadható legyen, a felületén található oxigén mértéke nem haladhatja meg a 100 ppm-et, ehhez viszont egy másik kísérlet szerint a kamra oxigénszintjét 0,05% alá kellett csökkenteni, amit jelen mérési elrendezés segítségével nem tudtak elérni (körülbelül 2%-ra tudták lecsökkenteni az

oxigénszintet). Az oxigénszintnek jelentős szerepe van abban, hogy a porlasztás által milyen formájú szemcsék jönnek létre. Az oxigén hatására oxidréteg keletkezik a szemcsék felületén, melynek következtében csökken az olvadt anyag felületi feszültsége és ennek hatására a szemcsék nem képesek gömb alakot felvenni. A keletkezett szemcsék excentricitásának függése az kamra oxigénszintjétől látható a 13. ábrán.



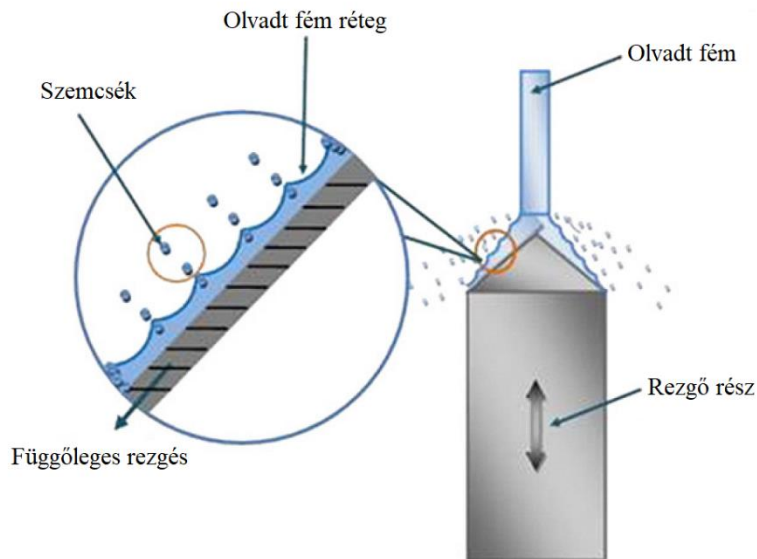
13. ábra. Excentricitás függése a kamra oxigénszintjétől [3]

### 3.2.2 Ultraszónikus porlasztás

Egy másik lehetséges mód a forraszpasztához szükséges szemcsék előállítására az ultraszónikus porlasztó berendezés használata, melynek működését vizsgálta Wisutmethangoon és társai [4]. Ennél az eljárásnál a megolvadt anyagot kúpos végű rezgő szondára juttatják egy szórófej segítségével, melynek felületén az olvadék vékony réteget képez. A rezgés következtében az olvadékrétegen kis hullámok, úgynevezett kapilláris hullámok keletkeznek. Ha a rezgés amplitúdója meghalad egy kritikus értéket, akkor az olvadékból kis szemcsék válnak ki a hullámcsúcsok helyén ahogy látható a 14. ábrán. Az így keletkező szemcsék átmerőjének becslésére vonatkozó egyenlet:

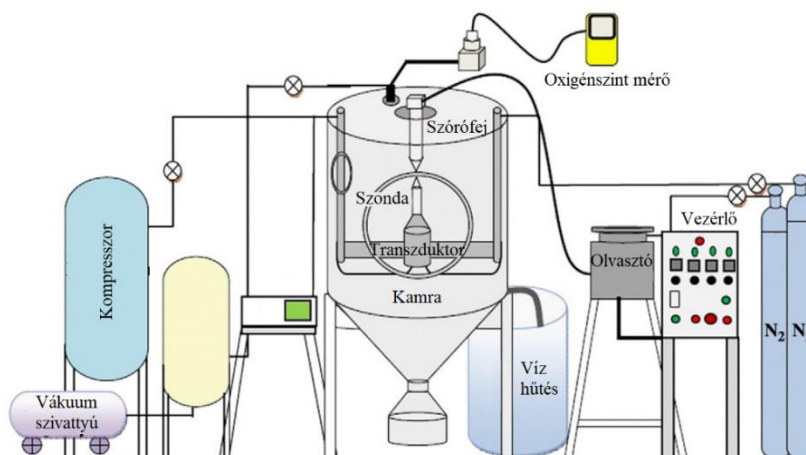
$$D_p = 0,34 \left( \frac{8\pi\sigma}{\rho f^2} \right)^{1/3} \quad (7)$$

ahol  $D_p$  a keletkező szemcse mérete,  $\sigma$  az olvadék felületi feszültsége,  $\rho$  az olvadék sűrűsége és  $f$  a rezgés frekvenciája.



14. ábra. Ultrazónikus porlasztó működése [4]

A mérés során alkalmazott berendezés vázlata látható a 15. ábrán. A mérés során SAC305-ös ötvözzel vizsgálták a porlasztó működését. A porlasztókamrából szivattyú segítségével eltávolították a levegőt, majd nitrogéngázzal töltötték fel a kamrát. A megolvadt ötvözetet egy 0,8 mm átmérőjű szórófejből juttatták a rezgő szondára, melynek alap átmérője 22 mm és alakja a 14. ábrának megfelelően kúpos végződésű.

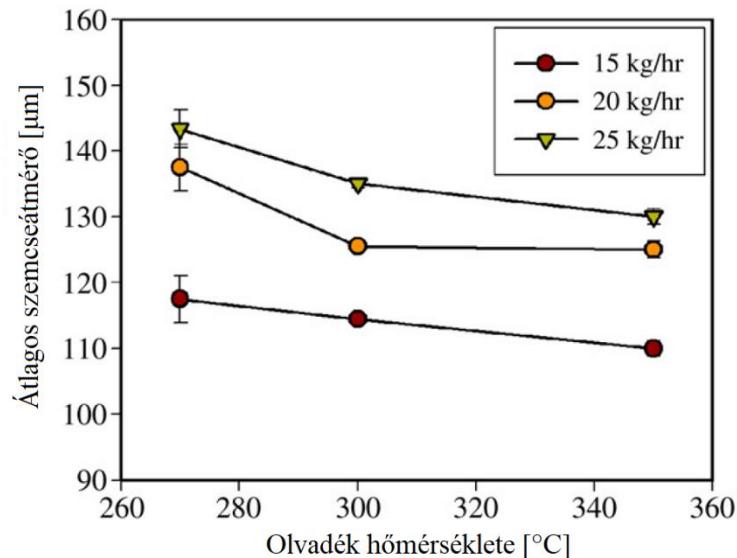


15. ábra. Az ultrazónikus porlasztó berendezés felépítése [4]

A mérés során a keletkező szemcsék tulajdonságainak változását vizsgálták a berendezés paramétereinek változtatásával. Az első vizsgált paraméter az olvadék hőmérséklete volt. A porlasztó rezgésének amplitúdóját 70%-ra, a rezgés frekvenciáját pedig 20 kHz-re állították. A porlasztandó anyagot 270, 300 és 350 °C-ra melegítették majd különböző adagolási sebességgel (15 kg/h, 20 kg/h és 25 kg/h) juttatták a rezgésben lévő szondára. Az átlagos



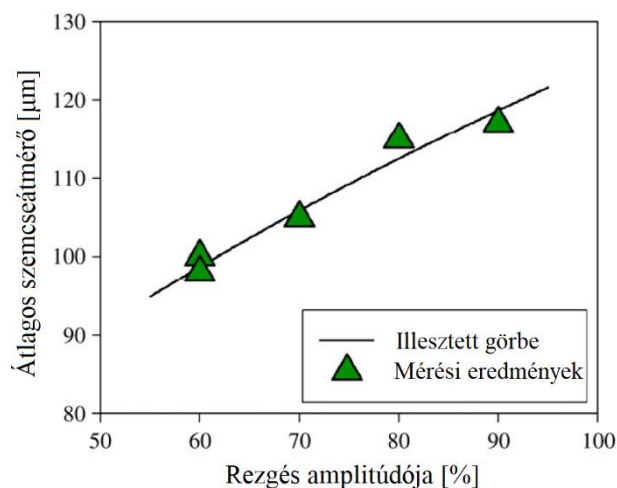
szemcseátmérőre vonatkozó mérési eredmények láthatók a 16. ábrán. Az eredmények azt mutatják, hogy nagyobb hőmérsékletű olvadék esetén csökken az átlagos szemcseátmérő. A növekvő hőmérséklet következtében csökken az olvadék viszkozitása és felületi feszültsége, aminek köszönhetően a szemcsék könnyebben el tudnak szakadni a vékony olvadékrétegből, ennél fogva az átlagos szemcseátmérő kisebb lesz az olvadék hőmérséklet növelésével.



16. ábra. Az átlagos szemcseméret függése az olvadék hőmérsékletétől [4]

Ahogy a 16. ábrán is látszik, az átlagos szemcseméret függ az olvadék adagolásának sebességétől is. 270 °C-os olvadékhőmérséklet esetén, az átlagos szemcseméret 118 µm-ről 143 µm-re nőtt, az olvadékadagolás sebességének 15 kg/h-ról 25 kg/h-ra növelésével. Ennek oka, a centrifugális porlasztóhoz hasonlóan az, hogy nagyobb adagolási sebesség esetén, egyre vastagabb lesz a porlasztó felületén kialakuló olvadékréteg, aminek köszönhetően sokkal nehezebben képződnek szemcsék a rétegből és az így keletkező szemcsék durvábbak lesznek.

A következő vizsgált paraméter a rezgés amplitúdója volt. A kísérlet során 60, 70, 80 és 90%-os amplitúdó érték esetén vizsgálták a keletkező szemcsék méretét. Az olvadék hőmérséklete 300 °C volt, és az adagolási sebesség 20 kg/h. Ahhoz, hogy a szemcsék ki tudjanak lépni a hullámcsúcsokból, az amplitúdó értékének meg kell haladnia egy küszöbértéket, ami jelen esetben 0,375 µm. A mérési eredmények láthatók a 17. ábrán.



17. ábra. Átlagos szemcseátmérő függése a rezgés amplitúdójától [4]

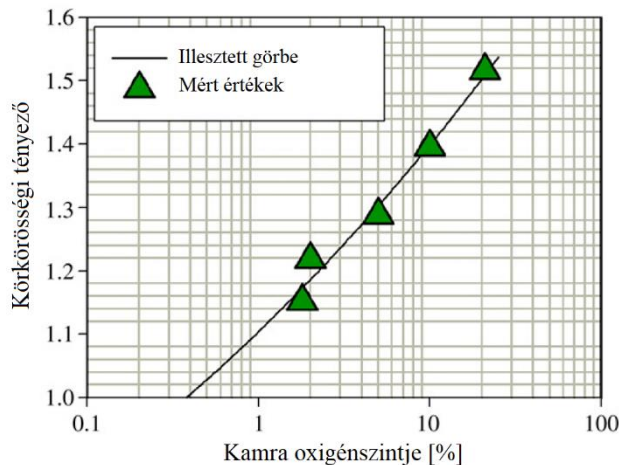
A 17. ábráról látható, hogy az amplitúdó növelésével nőtt az átlagos szemcseátmérő. A nagyobb amplitúdójú kapilláris hullámoknak nagyobb az aktív energiája, melynek eredményeképpen több szemcse keletkezik adott idő alatt, aminek következtében nő az ütközések száma az egyes keletkező szemcsék között mielőtt megszilárdulnának, így azok összeolvadnak és egy nagyobb szemcsét eredményeznek.

A következő vizsgált paraméter a porlasztáshoz használt kamrában lévő oxigénszint volt. A mérést 1,8, 2, 5, 10, 20,9% oxigénszint esetén végezték el. A porlasztást 300°C-os olvadékkal végezték, 25 kg/h adagolási sebesség és 70%-os amplitúdó esetén. A pásztázó elektronmikroszkóppal készült képek azt az eredményt mutatják, hogy 20,9%-os oxigénszint esetén a keletkező szemcsék szabálytalan formájúak lesznek, míg 1,8%-os oxigénszint esetén közel kör alakúak. A jelenség a szemcsék felületén képződő oxidréteg jelenlétével magyarázható, ez ugyanis csökkenti az anyag felületi feszültségét, így az kevésbé képes a gömb forma elérésére. A körköröségi tényező egy adott szemcse esetén képes annak alakjáról információval szolgálni. Minél közelebb található ez az érték az 1-hez, az alakzat annál inkább közelíti a tökéletes kör alakot. A körköröségi tényező meghatározására szolgáló egyenlet:

$$\varphi = \frac{P^2}{4\pi A} \quad (8)$$

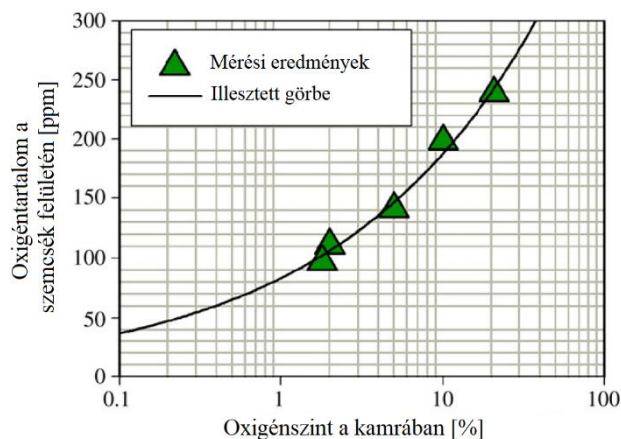
ahol  $\varphi$  a körköröségi tényező,  $P$  az alakzat kerülete és  $A$  az alakzat területe.

A körköröségi tényező változása különböző oxigénszint esetén látható a 18. ábrán.



18. ábra. Körköröségi tényező függése a kamra oxigénszintjétől [4]

Az átlagos szemcseátmérőre vonatkozó mérés során azt tapasztalták, hogy növekvő oxigénszint esetén csökken az átlagos szemcseátmérő. Ennek oka, hogy az átlagos szemcseátmérőt meghatározására szitán keresztül szűrték a szemcséket. A szabálytalan formájú szemcsék könnyebben át tudnak jutni a szita résein, mint a szabályos kör alakú szemcsék, így adva téves mérési eredményeket. Ahogyan a centrifugális porlasztásnál említésre került, az SAC305-ös ötvözet esetén elvárás, hogy a szemcsék felületén található oxigén mértéke ne haladja meg a 100 ppm-et. Ahogy látható a 19. ábráról ez csak akkor valósul meg a jelenlegi elrendezéssel, ha az oxigénszint a kamrában alacsonyabb mint 1,8%.



19. ábra. A szemcsék oxigéntartalmának függése a kamra oxigénszintjétől [4]

### 3.3 Szemcseméret szabványos mérési módszerei

A forraszpasztákat csoportosításának egyik lehetséges szempontja a benne található szemcsék átmérője szerinti csoportosítás. Az elektronikai ipar gyors fejlődésével, és az eszközök méretének csökkenésével, az alkatrészek kivezetéseinek méretei is csökkentek.

Ennek a méretcsökkenésnek a következménye, hogy egyre kisebb szemcseméretű paszták alkalmazása vált szükségessé, ugyanis ahhoz, hogy a nyomtatás eredménye megfelelő legyen, egy apertúrába legalább 5 forraszszemcsének el kell férnie egymás mellett. A forraszpaszták IPC szabvány szerinti osztályozása látható az 1. táblázatban.

**1. táblázat. Forraszpaszták osztályozása szemcseátmérő szerint**

IPC szabvány szerinti típus	Maximális méret [ $\mu\text{m}$ ] (<1% nagyobb ennél)	Szemcseméret [ $\mu\text{m}$ ] (80% közötté)	Minimális méret [ $\mu\text{m}$ ] (<10% kisebb ennél)
Type 1	150	150-75	20
Type 2	75	75-45	20
Type 3	45	45-25	20
Type 4	38	38-20	20
Type 5	25	25-10	10
Type 6	15	15-5	5
Type 7	11	11-2	
Type 8	10	8-2	

Az IPC-TM-650-es szabványban több módszert is ismertetnek arra, hogyan lehetséges a forraszpasztákban található szemcsék méretének a megmérése. Az egyik ilyen mérés során 150 g szobahőmérsékletű forraszpasztát felkeverve egy edénybe helyeznek, majd ehhez 50 ml oldószert adnak. Ezt a keveréket felkeverik azért, hogy az oldószerben feloldódjon a folyasztószer. A keverés után hagyják, hogy a szemcsék az edény aljára leülepedjenek, majd egy üveglapot az edény tetejére téve óvatosan leöntenek róla annyi folyadékot, amennyi lehetséges anélkül, hogy forraszszemcsét öntenénk ki az edényből. Ezt az oldószeres mosást elvégzik 5 alkalommal, minden alkalommal újabb 50 ml oldószert hozzáadva a keverékhez. Ezután 50 ml acetont adnak a forraszszemcsékhez, majd ezt is felkeverve segítik a szemcséket a száradásban. Az acetonos mosást megismétlik 2 alkalommal, majd addig várnak amíg a szemcsék teljesen meg nem száradnak. Ezután a forraszpaszták típusának megfelelően kiválasztott szitákat megméri, majd egymás fölé helyezik őket úgy, hogy a legkisebb lyukú legyen legalul, és erre helyezik rá az egyre nagyobb lyukú szitákat, alulra pedig egy felfogóedényt tesznek. Megméri a szemcséket, majd a legfelső szitára teszik. Ezután a szitákat rajta a forraszszemcsékkel egy rázógépbé helyezik, ahol körülbelül 40 percet hagyják. Ezután újra megméri a szitákat és az edényt, amibe a legkisebb szemcsék kerültek, ezután kivonják a sziták és az edény súlyát az üres szita és edény súlyából, hogy megtudják, mekkora része a szemcséknek esik bele a mérettartományba, vagy nagyobb vagy kisebb annál. Egy másik lehetséges mérési módszer lényege, hogy körülbelül 1 gramm forraszpasztát felkevernek,

amihez 4 gramm oldószert adnak hozzá, majd addig keverik, amíg homogén nem lesz a keverék. Ezután, egy üveglapkára cseppentenek ebből a keverékből, majd erre a lapkára egy másik üveglemezt tesznek, hogy elterüljön a kis csepp az üveglemezek között. Ezután mikroszkóp segítségével körülbelül 50 olyan szemcsének mérik meg a szélességét és hosszúságát, amelyet nagyobbak és kisebbnek látnak az átlagos szemcséknél. A méréshez mikroszkóp által készített képeket is használhatnak, melyeket utólagosan dolgoznak fel.

Az adatlapokban általában azt a mérettartományt adják meg, amelyben 80% a valószínűsége, hogy azon belül található a benne lévő szemcsék átmérője (Type 3-as forraszpasztá esetén ez a tartomány 25  $\mu\text{m}$  – 45  $\mu\text{m}$  között található). Ezen kívül megadják az eljárást, amivel ellenőrizték a szemcsék méretét az adott forraszpasztában. Ezt az ellenőrzést általában pásztázó elektronmikroszkóp és lézeres mérés segítségével végzik el.

### **3.4 Irodalmi összefoglaló**

Az irodalomkutatás során arra az eredményre jutottam, hogy a forraszpaszták, mint szuszpenziók reológiai tulajdonságai függenek a bennük található szemcsék méretbeli eloszlásától. A forraszpasztákban található forraszszerkecsék méretének vizsgálatára több szabványban rögzített mérési eljárás van, viszont ezeknek az eljárásoknak a hátránya azok bonyolultsága. Az szemcsék méretének vizuális ellenőrzéséhez optikai mikroszkópot használnak a szabványban, mely szükségessé teszi, hogy a szemcsékből monoréteget alakítsunk ki, ellenkező esetben fókuszálási problémák adódnának. A kisebb szemcsemérettel rendelkező forraszpaszták esetén az optikai mikroszkóppal készített képek már nem megfelelőek a szemcsék méretének elemzésére.

A munkám során egy olyan eljárás kidolgozása volt a célom, amellyel a forraszpasztákban található szemcsék méretének mérése egyszerűbb, mint a szabványban rögzített mérési eljárások.

## 4. Önálló munka

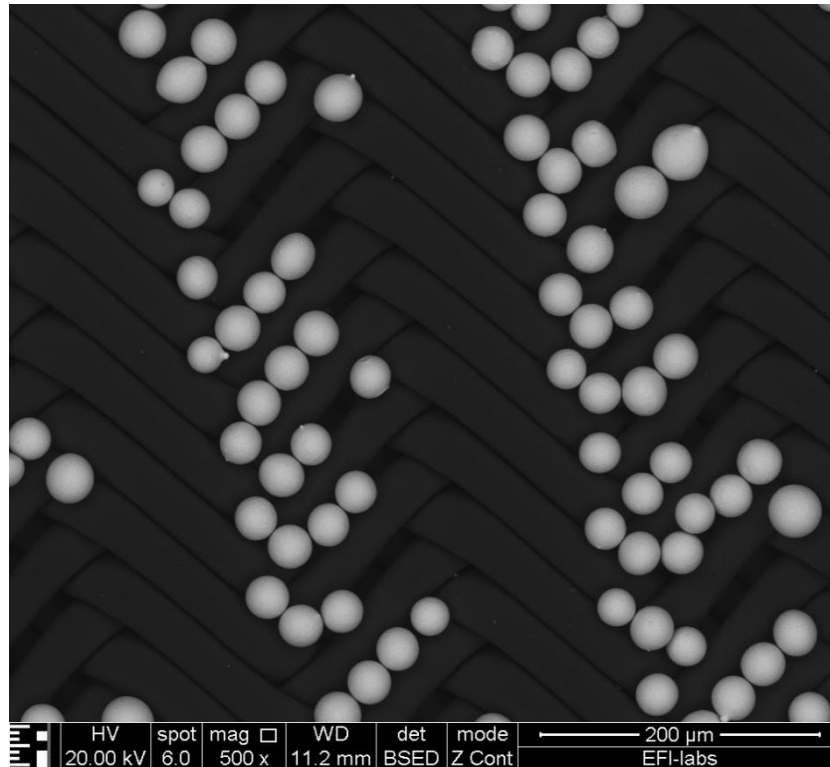
### 4.1 Vizsgált minta

A TDK munkám során két különböző forraszpaszta gyártó cég forraszpasztáit vizsgáltam. A Senju M705-GRN360-K1-V típusú forraszpasztája, amely ötvözetét tekintve SAC305, a szemcseátmérő az adatlap alapján 25-36  $\mu\text{m}$  közé esik, illetve a KOKI által készített 3-as, 4-es és 5-ös típusú forraszpasztákat.

### 4.2 Kísérlet tervezet

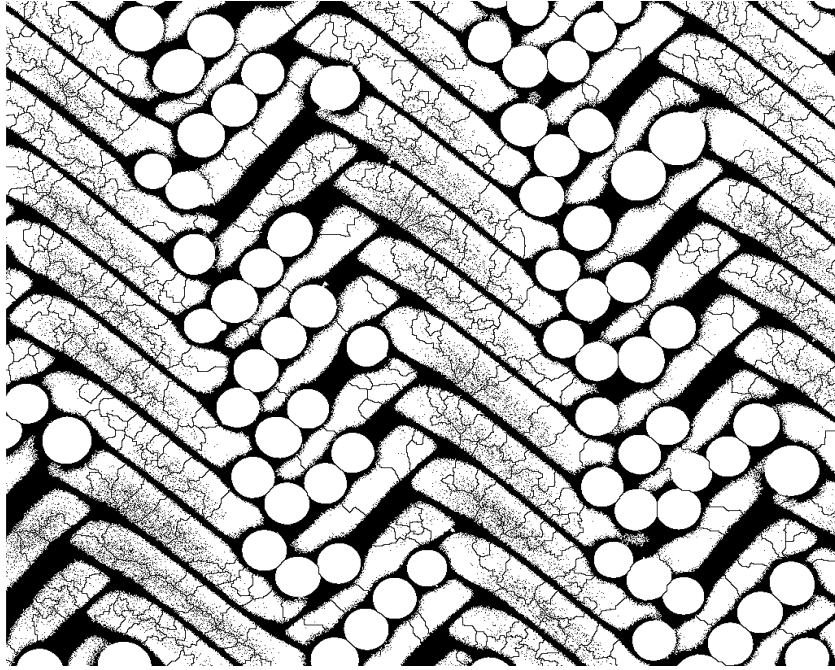
A forraszpaszták nyomtatásához a tanszéken található DEK 248-as típusú stencilnyomtatót használtam. A nyomtatások után egy 0,75 mm vastag polikarbonát lemezből készített csipesz segítségével mintát vettem a nyomtatókés mentén gördülő forraszpasztából, a nyomtatókés közepéről, illetve a Senju forraszpaszta esetén a kés két szélétől 5-5 cm távolságra. Ahhoz, hogy meg tudjam határozni a nyomtatások száma milyen hatással van a szemcsék méretbeli eloszlására a nyomtatókés mentén mintát vettem először az első nyomtatás után, majd a nyolcadik nyomtatás után is. A vett mintákat a folyasztószer eltávolítása érdekében izopropil-alkoholba tettem, majd addig kevertem az oldatot, amíg a forraszpasztában lévő folyasztószer fel nem oldódott benne. Ezután az izopropil-alkoholos oldatot egy 5 mikrométeres szűrőfóliára öntöttem, melynek felületén ott maradtak a forraszpasztában található szemcsék. Ezeket a szemcséket a minta kiszárítása utána pásztázó elektronmikroszkóppal vizsgáltuk, mellyel mindegyik mintáról 10 képet készítettünk, így összesen 90 kép állt rendelkezésemre (60 kép a Senju forraszpasztáról, és 30 kép a KOKI forraszpasztákról) az elemzésre. A pásztázó elektronmikroszkóppal készült képeket utólag MATLAB program segítségével dolgoztam fel.

Ennek az eljárásnak az előnye a 3.3 fejezetben ismertetett IPC szabványban rögzített mérési eljárásokkal szemben, hogy a forraszpasztából nem szükséges monoreteget kialakítani, hiszen az elkészített kód képes az egymáson lévő szemcséket szeparálni, továbbá a szabványban ismertetett optikai mikroszkópos vizsgálat esetén, az egymáson lévő szemcsék fókuszálási problémákat okoznának, ennek elkerülése érdekében a mérés során pásztázó elektronmikroszkóppal készítettem el a képeket, melynél nem okoznak problémát az egymáson elhelyezkedő szemcsék. A pásztázó elektronmikroszkóp használata, és a program általi szeparáció lehetővé teszi a szemcsék méretének egyszerűbb mérését, a szabványban ismertetett módszerekhez képest.

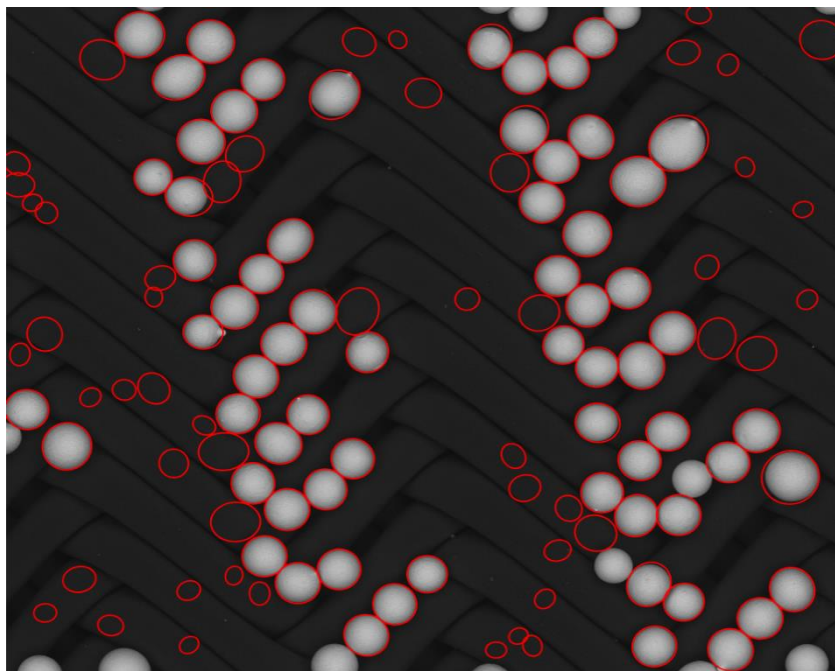


20. ábra. A mintáról készült pásztázó elektronmikroszkópos kép

A MATLAB kód, melyet a képek elemzésére készítettem a kép beolvasása és a kép méretre vágása után először az optimális binarizálási határértéket keresi meg. A binarizálási határérték az az érték, ami felett a binarizált kép adott pixele fehér, alatta pedig fekete lesz. A binarizálás optimális küszöbértéknek megtalálása érdekében egy  $i$  változót kellene futtatni 1-től 256-ig, mely  $i$  változó jelentené a binarizálási határértéket. A mérési tapasztalatok azt mutatják, hogy 40-nél kisebb binarizálási értékek esetén jelentősen változik az átlagos szemcseátmérő. Ez annak köszönhető, hogy ha a binarizálási érték 40-nél kisebb, a háttér nem különül el a rajta található szemcséktől, így a háttéren kialakuló alakzatok hamis mérési eredményekhez vezetnek. A binarizálási értéket 35-re beállítva, majd egy képet ezzel az értékkel vizsgálva az alábbi 21. ábrán látható eredményt kaptuk.



a)



b)

**21. ábra. 35-ös threshold érték esetén készült képek a) a binarizált kép „watershed transzformáció” után b) a megtalált szemcsék az eredeti képen**

Minél nagyobb a binarizálási érték, a szemcsék átlagos átmérője annál kisebb lesz, mígnem körülbelül 200-as határérték esetén teljesen eltűnnek a szemcsék a képről. Ábrázolva az átlagos szemcseméret függését a binarizálási határérték függvényében (22. ábra) látható, hogy a 40-től 100-ig terjedő tartományban csak kis mértékben csökken az átlagos szemcseátmérő,



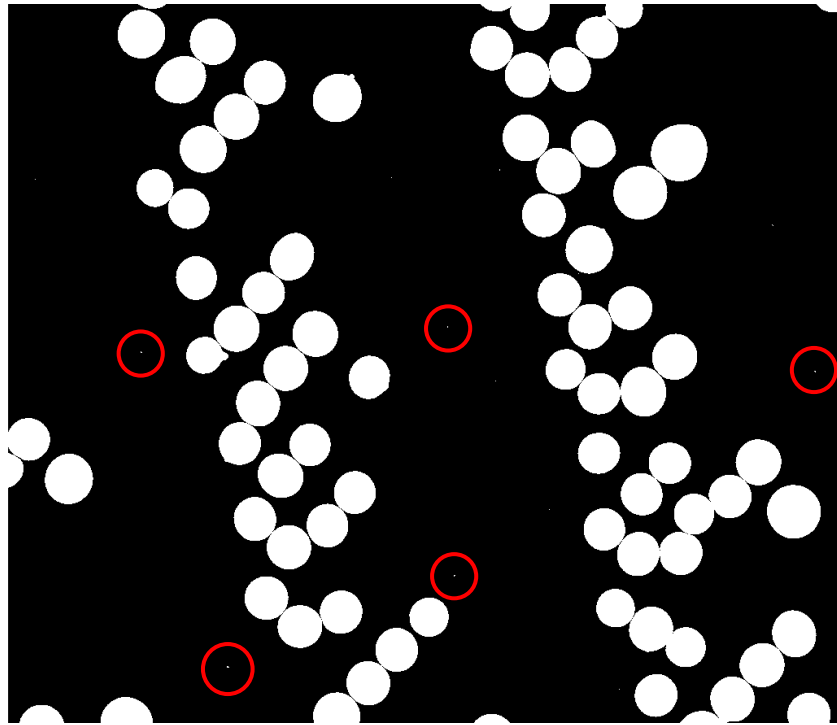
míg körülbelül 100-as értéktől meredekebben kezd csökkenni. Azért, hogy a kód futási idejét csökkentsem, az optimális binarizálási értéket jelentő  $i$  változót csak 30-tól 120-ig futtattam.



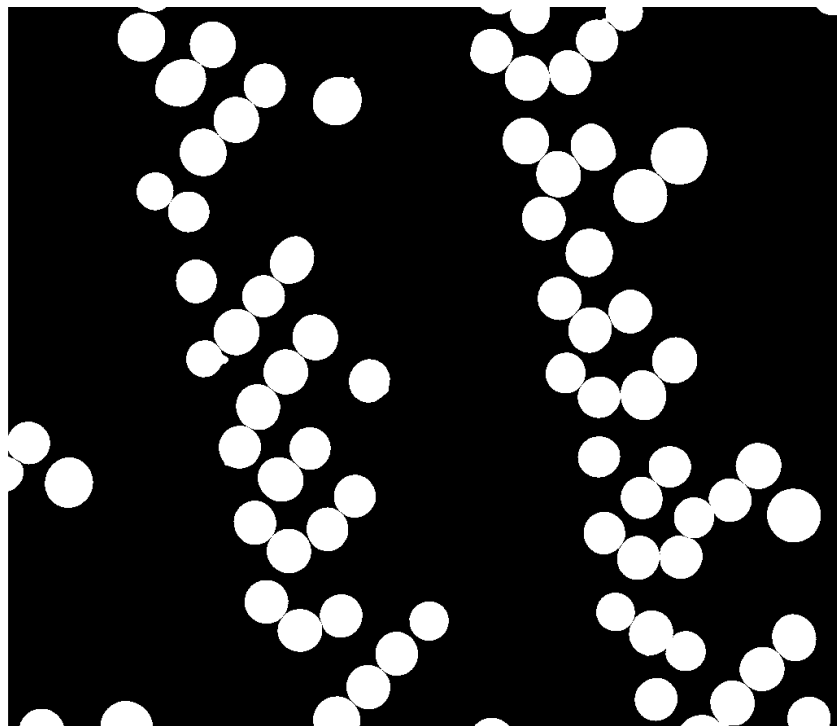
**22. ábra. Az átlagos szemcseátmérő függése a binarizálási határértéktől**

Előfordul, hogy a binarizálás során kis területek (néhány egymás melletti pixel) éppen átlépik a binarizálási határértéket. Ezek a kis területek a szemcseátmérő meghatározásánál jelentősen meghamisították a mérési eredményeket, így ezeket pixelnyi területeket a *bwareaopen* paranccsal kiszűrtem a képről, amelynek hatása látható a 23. ábrán.

A képeken előfordul, hogy a szemcsék egymáshoz nagyon közel helyezkednek el, így azok a binarizálás hatására teljesen egybeolvadnak. Ezeknek az egybeolvadt szemcséknek a szétválasztására használtam a watershed transzformációt. A transzformáció lényege, hogy a szürkeárnyaltos képet, mint egy topográfiai térkép kezeli, melyen a világosabb pixelek a magasabb, a sötétebb pixelek az alacsonyabb pontok. Ez alapján képes arra, hogy megtalálja azokat a vonalakat, amelyek úgynevezett vízgyűjtőként funkcionálnának, ha a kép egy topográfiai térkép lenne. Jelen esetben ezek a vonalak azok, amelyek a képeken található szemcsék között futnak, így ezekhez a vonalakhoz 0 bináris értéket rendelve a binarizált képen lehetséges az egymáshoz közel lévő szemcsék szeparációja. A watershed transzformációval megtalált vízgyűjtők helye pirossal kiemelve látható a 24. ábrán.

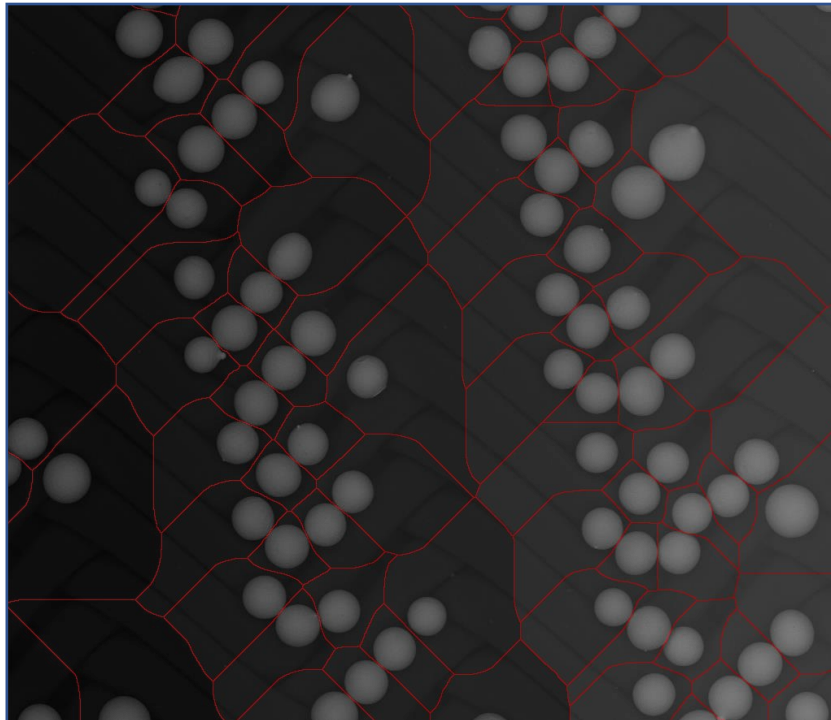


a)

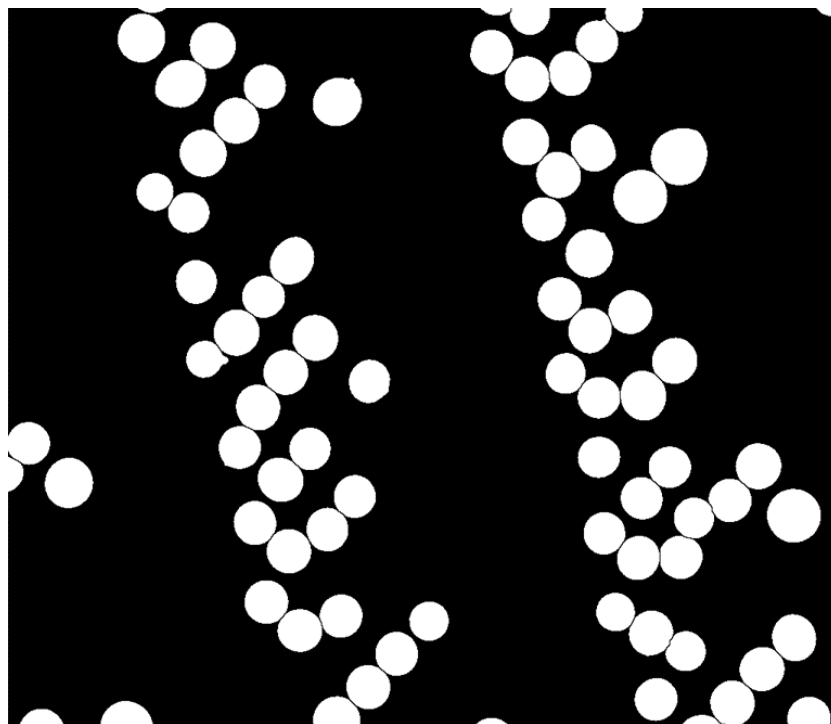


b)

23. ábra. Optimális binarizálási értékkel binarizált kép a) a binarizált kép a rajta található néhány pixel nagyságú ponttal b) a bwareopen paranccsal szűrt kép



24. ábra. A watershed transzformáció által megtalált vízgyűjtők az eredeti képen



25. ábra. A watershed transzformáció által szeparált szemcsék

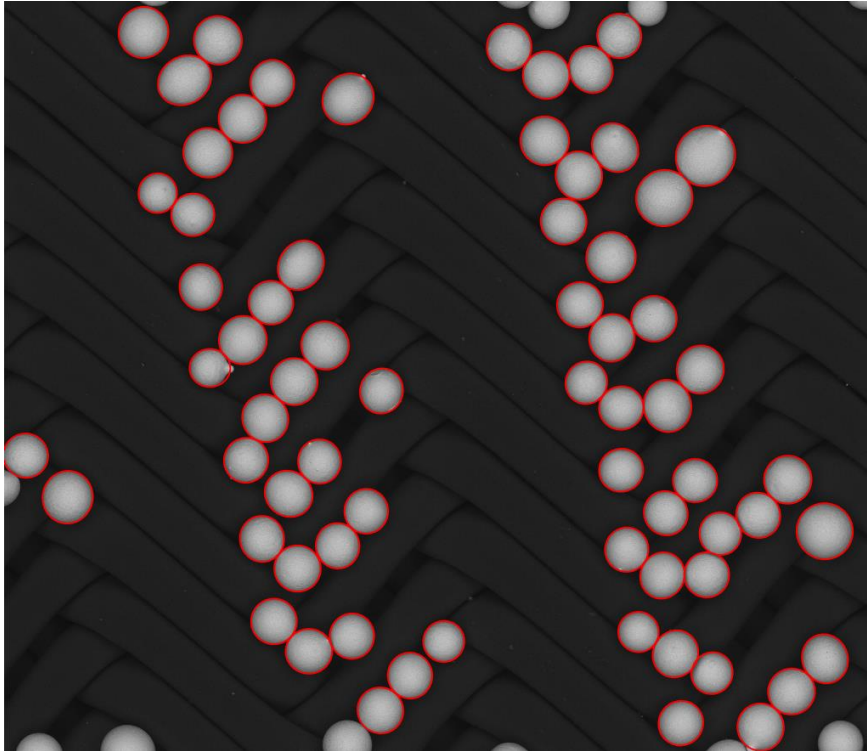
A „watershed” transzformációnak köszönhetően kialakult a 25. ábrának megfelelő binarizált kép, melyen a szemcsék elkülönülnek. Ezután ezen a képen kellett meghatározni a szemcsék tulajdonságait. Erre szolgál a *regionprops* parancs, amellyel a képen található alakzatok tulajdonságait mérem, jelen esetben a leghosszabb és legrövidebb átmérő hosszát.

Minden egyes szemcsére eltároljuk ezt a két változót két különböző vektorban, majd az egy képen található szemcsék legrövidebb és leghosszabb átmérőjét átlagolva megkapjuk az átlagos szemcseméretet egy adott binarizálási érték esetén.

Az optimális határértéket az alapján határoztam meg, hogy hol lesz a legkisebb a meredeksége a függvénynek, amely az átlagos szemcseátmérő függését ábrázolja a threshold érték függvényében (22. ábra). A kódban ezt a *gradient* paranccsal tehettem meg, amely megadta a szomszédos mérési eredmények közti különbséget, majd ennek minimumát véve meghatároztam, hogy az adott minimum a tömb hányadik eleme volt, amely érték megegyezett az optimális binarizálási értékkel.

Az optimális binarizálási határérték megtalálása után el kellett végezni ezzel az értékkel a kép binarizálását, majd az előbb ismertetett módon először a *bwareaopen* paranccsal kiszűrtem a nagyon kicsi 50 pixelnél kisebb összefüggő alakzatokat melyek a binarizálási határérték átlépése miatt keletkeztek, majd a *watershed transformáció* segítségével különválasztottam a binarizálás során összeolvadt szemcséket. Azért, hogy a megtalált szemcséket a képeken ábrázolni tudjam a *regionprops* paranccsal a két átmérőhossz mellett lekérdeztem a szemcsék középpontját, az excentricitásuk értéket, illetve a szemcsék orientációját is.

Miután rendelkezésre állnak ezek az adatok egy képről, a két átmérőhossz, a középpont és az orientáció segítségével lehetséges a kód által megtalált szemcsék vizualizációja az eredeti képen. Azért, hogy a nagyon aszimmetrikus szemcsék, illetve a kép szélein lévő levágott szemcsék ne befolyásolják a mérési eredményt egy szűrést tettem be a szemcsék kirajzolása elé, amely kiszűri a  $\sim 60 \mu\text{m}$ -nél nagyobb és  $\sim 11 \mu\text{m}$ -nél kisebb szemcséket, valamint azokat is, amelyeknél az excentricitás értéke magasabb 0,6-nál. Egy optimális binarizálási érték mellett lefutott keresés eredménye látható a 26. ábrán.



**26. ábra. Optimális határértékkel elvégzett binarizálás során megtalált szemcsék ábrázolása**

Ezután ugyanazon a cikluson belül, amelyben a szemcsék kirajzolása történt lementettem az adatokat egy változóba majd ebben tároltam mindaddig amíg a kód le nem futott az összes képre. Mivel az adatok mentése is a méret és excentricitás szűrésen belül történt, ezért az aszimmetrikus alakzatok nem befolyásolták a mérés eredményét. Miután a kód lefutott az összes képre, ennek a változónak az adatait egy Excel fájlba írtam, ahogy látható a 27. ábrán, majd ebben a fájlban történt a mérési eredmények kiértékelése.

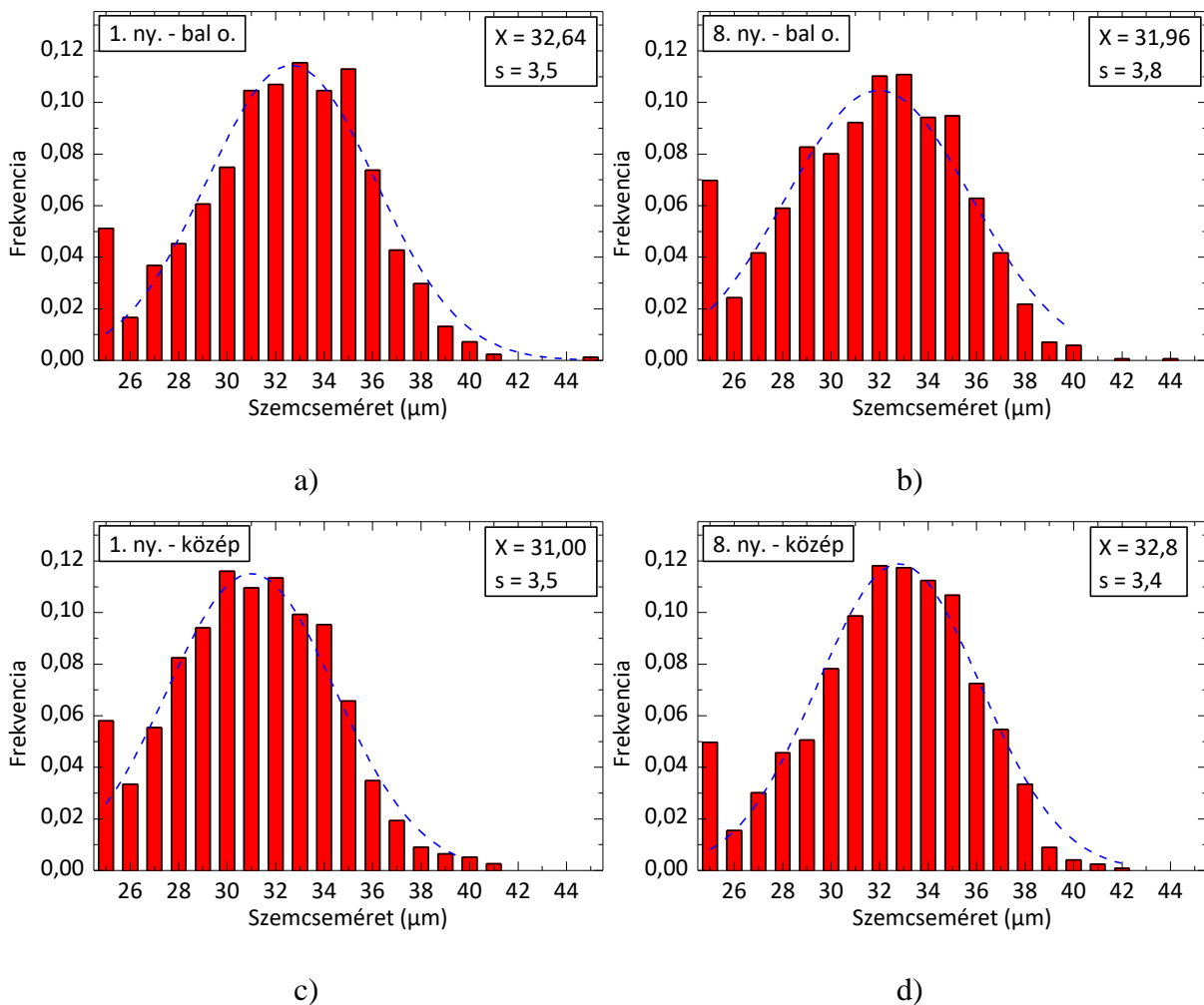
	A	B	C	D	E	F
1	File name	Major	Minor	Avg	Avg um	Eccentricity
2	1_BO_01	58,19074	54,43986	56,3153	32,74146	0,353216568
3	1_BO_01	56,87982	53,25849	55,06916	32,01695	0,351111683
4	1_BO_01	55,8874	49,50193	52,69467	30,63643	0,464174005
5	1_BO_01	59,14546	53,86645	56,50595	32,8523	0,412968641
6	1_BO_01	49,59753	42,0111	45,80432	26,63042	0,531528717
7	1_BO_01	61,6875	55,02441	58,35595	33,92788	0,452062164
8	1_BO_01	61,02037	50,92533	55,97285	32,54235	0,550912751
9	1_BO_01	42,77448	41,44633	42,1104	24,48279	0,24725722
10	1_BO_01	58,28138	57,45426	57,86782	33,64408	0,167875831
11	1_BO_01	46,64492	44,66371	45,65432	26,54321	0,288348069
12	1_BO_01	51,09751	50,74076	50,91913	29,60415	0,117960475

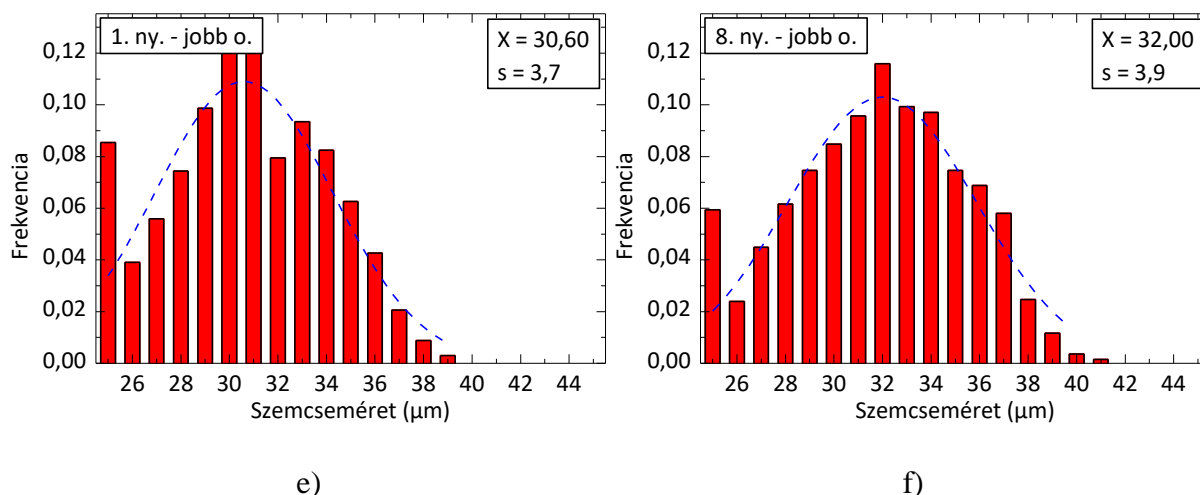
**27. ábra. Az Excel fájlba kimentett adatok**

### 4.3 Mérési eredmények

A mérés eredményeinek kiértékeléséhez egy a MATLAB által létrehozott Excel fájl állt rendelkezésemre. A Senju paszta mérése során 60 darab kép készült, ezekről összesen 7144 szemcsét elemezve kaptam meg a mérési eredményeket. Az adatlapnak megfelelően az átlagos szemcseátmérő 80%-ban 25  $\mu\text{m}$  és 36  $\mu\text{m}$  közé esik.

A vizsgálat célja az volt, hogy meghatározzam milyen hatással van a nyomtatások száma a szemcseméret eloszlására a nyomtatókés mentén. Az 1. és 8. nyomtatás utáni sűrűségfüggvények láthatók a 28. ábrán.





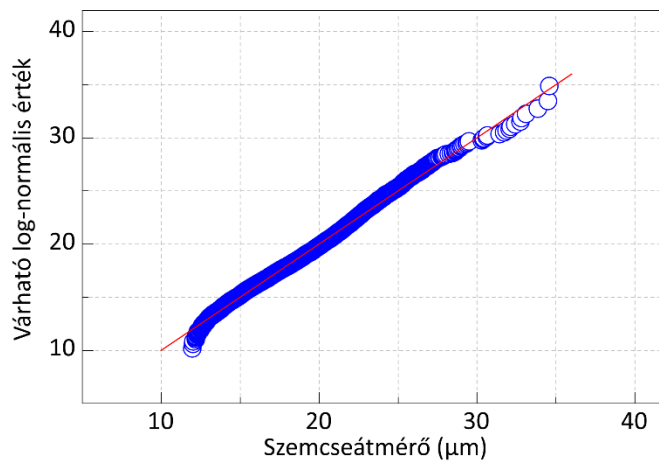
28. ábra. A minták sűrűségfüggvényei a) bal oldalról vett minta az 1. nyomtatás után b) bal oldalról vett minta a 8. nyomtatás után c) középről vett minta az 1. nyomtatás után d) középről vett minta a 8. nyomtatás után e) jobb oldalról vett minta az 1. nyomtatás

2. táblázat. Az átmérő várható értéke az 1. és a 8. nyomtatás után

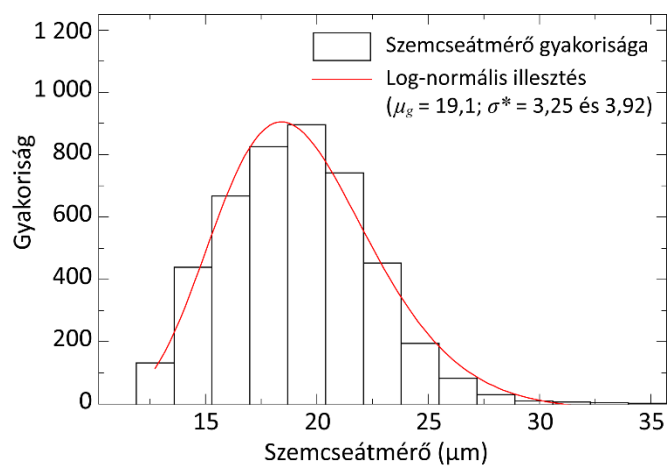
Átmérő várható é. (µm)	BO	KP	JO	Átlag	Rel. terjedelem
1. nyomtatás	32,64	31	30,6	<b>31,41</b>	<b>6,5%</b>
8. nyomtatás	31,96	32,8	32	<b>32,25</b>	<b>2,6%</b>

A 2. táblázatból látható, hogy az első nyomtatás után az átlagos szemcseátmérő relatív terjedelme 6,5% volt. A 8. nyomtatást követően az átmérő várható értékében a relatív terjedelem lecsökkent 2,6%-ra, ami azt jelenti, hogy a forraszpaszta több nyomtatás után homogénebbé vált, a kés mentén a különböző méretű szemcsék egyenletesebben oszlanak el a 8. nyomtatás után.

A KOKI forraszpasztákról összesen 30 kép készült, melyeken 7962 szemcsét elemezve kaptam meg az eredményeket. A vizsgálat célja az volt, hogy különböző típusú forraszpaszták esetén megvizsgáljam a szemcsék méretbeli eloszlását. A szemcsék méretbeli eloszlását tekintve eltérő karakterisztikát kaptam a korábban említett Senju forraszpasztáétól. Míg a Senju forraszpaszta esetén szemcseméret várható értéke  $\sim 32 \mu\text{m}$  volt, és a szórása pedig  $\sim 3,5 \mu\text{m}$ , addig a 3-as típusú KOKI forraszpaszta esetén a szemcseméret várható értéke  $26,6 \mu\text{m}$ , a szórása pedig  $8,1 \mu\text{m}$ . A két forraszpasztát vizsgálva azt az eredményt kaptam, hogy míg a Senju forraszpaszta esetén a szemcsék méretbeli eloszlása normális és lognormális eloszlást is követ, addig a KOKI forraszpaszta esetén a méretbeli eloszlás inkább lognormális. A 3-as, 4-es, és 5-ös típusú forraszpaszta szemcseméretének várható értéke és szórása látható a 3. táblázatban. Ebből az látszik, hogy míg a 3-as típusú forraszpaszta esetén a szórás nagyobb, mint a Senju forraszpaszta esetén, addig a 4-es és 5-ös típusú esetén a szórás közel azonos a Senjuével.



29. ábra. 5-ös típusú KOKI forraszpasztá szemcseméret eloszlásának tesztelése Q-Q ábra segítségével



30. ábra. 5-ös típusú KOKI forraszpasztá szemcseméretének eloszlása

3. táblázat. A 3-as, 4-es és 5-ös típusú KOKI forraszpaszták várható értékei és szórásai

	Várható érték [ $\mu\text{m}$ ]	Szórás [ $\mu\text{m}$ ]
3-as típusú forraszpasztá	26,6	8,1
4-es típusú forraszpasztá	25,0	4,4
5-ös típusú forraszpasztá	19,1	3,6



## Összefoglalás

A TDK munkám során olyan képfeldolgozási eljárás kidolgozása volt a célom, amellyel anélkül lehetséges a szemcseméret mérése, hogy a forraszpasztából monoréteget alakítanánk ki – képes a mintán esetlegesen egymásra rakódó szemcsék szeparációjára. Ehhez a forraszpasztához oldószert adtam, majd alapos felkeverés után ezt az oldatot átöntöttem egy szűrőpapíron, melynek felületén a forraszszemcsék megmaradtak. Száradás után pásztázó elektronmikroszkóppal képeket készítettem a forraszszemcsékről. A pásztázó elektronmikroszkóppal készített képek előnye az optikai mikroszkóppal készítettekhez képest a nagyobb mértékű mélységélesség, mely által az esetlegesen egymásra rakódó szemcsék is élesek maradnak. A képek feldolgozásához MATLAB programban készített kódot használtam. Cél volt az, hogy a képek feldolgozása teljesen automatikusan történjen. Ehhez szükség volt a szeparációs (binarizálás) küszöbérték automatikus meghatározására, valamint az egymáson lévő szemcsék szeparálására, amelyet a „watershed” transzformáció segítségével valósítottam meg.

Az elkészített kód segítségével a 3-as (szemcseméret 25–45  $\mu\text{m}$ ), 4-es (szemcseméret 20–38  $\mu\text{m}$ ) és 5-ös (szemcseméret 15–25  $\mu\text{m}$ ) típusú forraszpasztákban lévő szemcsék méreteloszlását elemeztem. Az eredményekből látható, hogy a stencilnyomtatás során a nyomtatások számának növelésével hogyan képes homogenizálódni a forraszpasztá, illetve, hogy hogyan alakul a szemcsék méretbeli eloszlása különböző típusú forraszpaszták esetén.

## Ábrajegyzék

1. ábra. Az újraömlesztéses forrasztás hőprofilja.....	4
2. ábra. Különböző nem-newtoni folyadékok folyásgörbéi .....	5
3. ábra. Pszeudoplasztikus viselkedés 1µm átmérőjű szemcsét tartalmazó szuszpenzió esetén	6
4. ábra. Különböző térfogattörtű szuszpenziók viszkozitásának változásának változása a nyírási ráta függvényében .....	7
5. ábra. Viskozitás függése a térfogattörttől .....	7
6. ábra. Az „Oscillatory test” eredménye a) egyszer nyomtatott paszta esetén b) 5-nél többször nyomtatott paszta esetén.....	10
7. ábra. SAC405 típusú forraszpaszta tixotróp viselkedésének mérése .....	10
8. ábra. Folyáshatár meghatározása.....	11
9. ábra. A porlasztás blokkvázlata.....	12
10. ábra. A forgórész geometriájának hatása az átlagos szemcseátmérőre .....	13
11. ábra. Átlagos szemcseméret függése a porlasztó fordulatszámától .....	14
12. ábra. Átlagos szemcseátmérő függése az olvadék adagolásának sebességétől .....	14
13. ábra. Excentricitás függése a kamra oxigénszintjétől .....	15
14. ábra. Ultraszónikus porlasztó működése .....	16
15. ábra. Az ultraszónikus porlasztó berendezés felépítése .....	16
16. ábra. Az átlagos szemcseméret függése az olvadék hőmérsékletétől .....	17
17. ábra. Átlagos szemcseátmérő függése a rezgés amplitúdójától .....	18
18. ábra. Körkörösségi tényező függése a kamra oxigénszintjétől .....	19
19. ábra. A szemcsék oxigéntartalmának függése a kamra oxigénszintjétől .....	19
20. ábra. A mintáról készült pásztázó elektronmikroszkópos kép .....	23
21. ábra. 35-ös threshold érték esetén készült képek a) a binarizált kép „watershed transzformáció” után b) a megtalált szemcsék az eredeti képen .....	24
22. ábra. Az átlagos szemcseátmérő függése a binarizálási határértéktől.....	25
23. ábra. Optimális binarizálási értékkel binarizált kép a) a binarizált kép a rajta található néhány pixel nagyságú ponttal b) a bwareaopen paranccsal szűrt kép .....	26
24. ábra. A watershed transzformáció által megtalált vízgyűjtők az eredeti képen .....	27
25. ábra. A watershed transzformáció által szeparált szemcsék.....	27
26. ábra. Optimális határértékkel elvégzett binarizálás során megtalált szemcsék ábrázolása	29
27. ábra. Az Excel fájlba kimentett adatok .....	29

28. ábra. A minták sűrűségfüggvényei a) bal oldalról vett minta az 1. nyomtatás után b) bal oldalról vett minta a 8. nyomtatás után c) középről vett minta az 1. nyomtatás után d) középről vett minta a 8. nyomtatás után e) jobb oldalról vett minta az 1. nyomtatás .....	31
29. ábra. 5-ös típusú KOKI forraszpasztá szemcseméret eloszlásának tesztelése Q-Q ábra segítségével .....	32
30. ábra. 5-ös típusú KOKI forraszpasztá szemcseméretének eloszlása.....	32

## **Táblázatjegyzék**

1. táblázat. Forraszpaszták osztályozása szemcseátmérő szerint .....	20
2. táblázat. Az átmérő várható értéke az 1. és a 8. nyomtatás után .....	31
3. táblázat. A 3-as, 4-es és 5-ös típusú KOKI forraszpaszták várható értékei és szórásai .....	32

## Irodalomjegyzék

- [1] Jonathan J. Stickel and Robert L. Powell: „Fluid mechanics and rheology of dense suspensions”, Annual Review of Fluid Mechanics, vol. 37, 2005, 129-149. o.,
- [2] Flávia V. Barbosa, Pedro E. A. Ribeiro, Maria F. Cerqueira, Delfim F. Soares, José C. F. Teixeira, Senhorinha F. C. F. Teixeira, Rui A. M. M. Lima, Diana M. D. Pinho: Rheology Characterization of Solder Paste”, ASME 2017 International Mechanical Engineering Congress and Exposition, vol. 7, 2017
- [3] Thawatchai Plookphol, Sirikul Wisutmethangoon, Sarawut Gonsrang: „Influence of process parameters on SAC305 lead-free solder powder produced by centrifugal atomization”, Powder Technology vol. 214, 2011, 506–512. o.
- [4] Sirikul Wisutmethangoon, Thawatchai Plookphol, Phairote Sungkhaphaitoon: „Production of SAC305 powder by ultrasonic atomization”, Powder Technology vol. 209, 2011, 105-111. o.
- [5] Flavia V. Barbosa, José C.F. Teixeira, Senhorinha F.C.F. Teixeira, Rui A.M.M. Lima, Delfim F. Soares, Diana M.D. Pinho: „Rheology of F620 solder paste and flux”, Soldering & Surface Mount Technology, vol. 31, 2018, 125-132 o.
- [6] [https://en.wikipedia.org/wiki/Non-Newtonian\\_fluid](https://en.wikipedia.org/wiki/Non-Newtonian_fluid)
- [7] A.M. Najib, M.Z. Abdullah, A.A. Saad, Z. Samsudin, F. Che Ani: „Experimental Study of Self-Alignment during Reflow Soldering Process”, 2017