

Opponensi vélemény  
Kocsis Eszter (okleveles vegyészmérnök)  
**Folyasztószer-minimalizált forrasztás autóiipari elektronikai termékekhez**  
című doktori (PhD) értekezéséről

A dolgozat műhelyvitára bocsátásakor az előzetes bírálatot is én végeztem, és az akkor feltárt -kis számú - hibát, elírást a jelölt mostanra teljesen kijavította.

A dolgozat 5 főbb (2-6) fejezetet és 157 hivatkozást tartalmaz, terjedelme összesen 121 oldal, a kötelező elemek (irodalomjegyzék, stb.) nélkül 98 oldal, a tézisekhez tartozó publikációk száma összesen 10, amiből 5 idegen nyelvű lektorált cikk.

Az ábrák, táblázatok megfelelő méretűek, informatívak. A szöveg jól olvasható, elírást nem találtam. A hivatkozások száma nagy, látszik, hogy jól értesült a jelölt, széleskörűen körbejárta a témát. Az értekezés nyelvezete megfelelő, stílusa megfelel egy PhD dolgozattól elvárható szintnek, tagoltsága jó, érthető. A táblázatok és ábrák jól szerkesztettek, hasznosak a szöveg értelmezése szempontjából.

Az 1. fejezet egy rövid, két oldalas bevezetés.

## **2. fejezet: Irodalmi áttekintés**

Először az elektronikai gyártásban alkalmazott forrasztásról ír általánosságban a jelölt (2.1), majd a plazmakezelésről (2.2), végül a folyasztószer-minimalizált forrasztás fejlesztési irányairól (2.3).

A 3. fejezettől kezdődik a jelölt saját kutatási tevékenységének bemutatása, amelynek címét az előzetes opponensi kritika hatására a kezdeti „Kutatási tevékenységem”-ről „Kísérleti rész”-re változtatta. Ezt sem érzem teljesen helyénvalónak, de nem akarok szörszálhasogatónak tűnni, mindkét cím többé-kevésbé igaz, és elfogadható.

## **3. fejezet: Folyasztószer maradványok által kiváltott elektrokémiai migráció**

Ebben a fejezetben a jelölt a folyasztószer maradványok hatását három különböző aspektusból vizsgálta meg. Először az ún. dendritnövekedés sebességét, majd az átütési feszültséget, végül az ionos szennyezettséget tanulmányozta. Megállapította, hogy folyasztószer maradványok jelenléte fokozza a dendritképződés sebességét, csökkenti a meghibásodásig eltelt időt, csökkenti az átütési feszültséget, és hosszabb távon általában rontja az áramköri lapok elektromos tulajdonságait. Az elvégzett kísérletek során a jelölt (és munkatársai) több esetben saját készítésű áramköri lapokat, szoftvereket, eszközöket használt fel. Az eredmények bemutatása és kiértékelése szakszerű, érthető, az ábrák informatívak. A vizsgálatok során a jelölt két folyasztószer típust használt. Véleményem szerint az eredmények általánosításához

szükséges lett volna több típussal is elvégezni legalább néhány kísérletet. Ezt a hiányosságot a jelölt úgy hidalta át, hogy az ehhez a fejezethez tartozó 1. és 2. tézisben egy konkrét folyasztószer szerepel. A fejezet anyagából született meg a C1-es és C2-es publikáció.

### **Az 1. és 2. tézist elfogadom**

A harmadik fejezethez kapcsolódó kérdések:

- 1) Mi a jelölt elképzelése arról, hogy mennyiben általánosíthatóak a kapott eredmények más típusú, összetételű folyasztószer alkalmazása esetén?
- 2) A 3.4. ábrán az látható, hogy a különböző mértékben etanollal hígított folyasztószer esetén alig van különbség az átlagos meghibásodási idő értékeiben. Ebből milyen következtetést lehet levonni?

### **4. fejezet: Plazmakezelés hatása a nedvesíthetőségre és forraszthatóságra**

A fejezet egy tesztpanel bemutatásával kezdődik. Feltételezem, hogy ez a panel a jelölt saját fejlesztése. Megállapításra kerül, hogy a tisztán levegőből előállított plazma nem alkalmas a plazmakezelésre, viszont a hozzáadott hidrogén gáz mennyisége, legalábbis ebben a tartományban (5%-10%) nem befolyásolta a nedvesítési erőt. A jelölt három különböző bevonat esetében is kimutatta, hogy a plazmakezelés növeli a nedvesítési erőt, és hogy felére csökkentett folyasztószer mennyiség is hasonló (vagy nagyobb) erőt eredményez plazmakezelés esetén, mint a nagyobb mennyiségű folyasztószer, kezelés nélkül. A nedvesíthetőségi eredmények nem ennyire egyértelműek, mert itt csak egy bevonat esetén marad tartós 48 óra után is a kezelés hatása a határfelületi energia mérése alapján. Továbbá kimutatásra kerül, hogy a kezelés sebességének elenyésző a hatása, a kezelés ténye számít elsősorban. Ehhez a fejezethez tartozik a 3. tézispont és a C3, K1, K2 publikációk.

### **a 3. tézist elfogadom**

A negyedik fejezethez kapcsolódó kérdés:

- 1) Úgy tűnik, hogy ellentmondás tapasztalható az eredményekben. A leírtak szerint a nedvesítési erő mindhárom bevonat esetén növekszik, azaz javul a nedvesítés minősége, ugyanakkor a határfelületi energia csak az egyik (ImSn) bevonatnál marad tartósan magasabb a referencia értéknél. Kérem a jelöltet, oldja fel ezt az ellentmondást!

### **5. fejezet: Plazmakezelés hatásmechanizmusa a forrasztandó felületen**

A fejezet elején megállapításra kerül, hogy a plazmakezelés sebessége kis mértékben befolyásolja a határfelületi energiát, a nagyobb sebességhez kisebb energia tartozik. A továbbiakban 50mm/s-os kompromisszumos sebességet alkalmaz a jelölt a kísérletekben. Néhány rövid alfejezetben a vizsgálómódszerek és összefüggések bemutatása következik. A plazmakezelés hatására bekövetkező felületi érdesség változás két bevonat esetén (ImSn és ImAg) egyértelmű javulást mutat, míg ENIG bevonatnál a változás kérdéses. Ehhez a fejezethez tartozik a 4. tézispont és a C4-es és K3-as publikáció.

### **A 4. tézist elfogadom**

## **6. fejezet: Forrasztási kísérletek és a folyasztószer minimalizálásának lehetőségei**

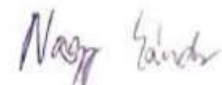
A rövidebb 6.1-es fejezet a plazmakezelés forraszvísszahúzódásra gyakorolt jótékony hatását mutatja be. Ez a téma talán jobb helyen lenne a 4. vagy 5. fejezetben. A 6.2-es fejezetben már valóban mód nyílt a folyasztószer mennyiségének csökkentésére, mert furatszerelt alkatrészeknél a szelektív forrasztás során a folyasztószert adagolni lehet. A mért paraméter a furatkitöltés mértéke volt, és a referenciát a plazmakezelés nélküli 100% folyasztószert tartalmazó forrasztóanyag jelentette. Kiderült, hogy a 12,5%-os folyasztószer tartalmú forrasztóanyag még plazmakezelés mellett is alkalmatlan a forrasztásra. A 25%-os és 50%-os folyasztószert tartalmazó forrasztóanyag jelentősen rosszabb furatkitöltést eredményezett, ráadásul nagy szórás mellett. Mindkét esetben (25% és 50%) a szórás akkora, hogy a minták között szinte biztosan volt nem megfelelő. (A határérték 75% a minimum furatkitöltésre, az értékek átlagai pedig 82% és 83% körül vannak.) Mivel a 4. fejezet mellett ebben a fejezetben van szó konkrétan arról, hogyan lehetne a folyasztószer mennyiségét csökkenteni, ezért problémás, hogy az eredmények szerint ez itt nem tehető meg biztonsággal. Ennek megfelelően nem is tartozik tézispont ehhez a fejezethez.

A dolgozatot a tézisek (7. fejezet), a jelölt kapcsolódó publikációs jegyzéke (8. fejezet), az irodalomjegyzék (9. fejezet), és köszönetnyilvánítás zárja.

A jelölt a folyasztószer mennyiségének csökkentését tűzte ki célul, hiszen a címben is ez szerepel, ugyanakkor az eredmények a plazmakezelés hasznosságát is bemutatják. A műhelyvitára benyújtott dolgozatban kevés formai hibát találtam, ebben a végleges verzióban pedig egyet sem.

**Összefoglalva: Kocsis Eszter „Folyasztószer-minimalizált forrasztás autóipari elektronikai termékekhez” című PhD értekezését elfogadásra javaslom.**

Zalaegerszeg, 2025. június 29.



Dr. Nagy Sándor  
egyetemi docens  
ELTE-BDPK