

Válasz Prof. Gácsi Zoltán opponensi véleményére

Először is nagyon köszönöm Prof. Gácsi Zoltán részletes opponensi munkáját, a hasznos megjegyzéseit és kérdéseit. A felmerült megjegyzésekre és kérdésekre a válaszaim a következőkben olvashatók.

Megjegyzés 1:

A fogalmak használatával kapcsolatban egy megjegyzést tennék. Véleményem szerint a jelölt által felváltva használt szimuláció és a modellezés kifejezés különböző szakmai tartalmakat takar az anyagtudományi gyakorlatban

Válasz: a kérdéssel egyetértek, nem voltam elég körültekintő ezen a téren.

Megjegyzés 2:

A gőztér modellel, a kondenzátum réteg modellel és a vákuumos gőzfázisú forrasztás modeljével kapcsolatos felvetésem: a számítások során használt anyagjellemzők (2.1., 2.4. és 2.5. Táblázat) forrás munkáit, meghatározásának körülményeit rendkívül fontos lenne feltüntetni, hiszen ezek a modell futtatásakor kapott eredményeket jelentősen befolyásolják, befolyásolhatják, kérem ezeket pótolni.

Válasz: Az anyagjellemzők a következő forrásokból származnak:

Galden folyadékok adatlapjai: Daitoku Tech, Co., LTD., Manufacturer datasheet of Galden fluid, <http://www.daitokutech.com/products/galden/data/HT170.pdf>.

és

<https://www.solvay.com/en/products/brands/galden-pfpe>

Az egyéb anyagoknál pedig: Material property data <http://www.matweb.com>

Kérdés 1:

Az anyagjellemzők (2.1., 2.4. és 2.5. Táblázat, fajlagos hővezetési tényező) hőmérséklet függését figyelembe vette a számítások során? Ha nem, akkor indokolja a döntését.

Válasz: A számítások során nem vettem figyelembe a fajlagos hővezetés hőmérsékletfüggését, indokaim a következők:

- Az általam vizsgált forrasztási folyamatok során a hőmérsékletváltozás 130-200°C közé esett, amely tartományban véleményem szerintem nem számottevő a fajlagos hővezetés hőmérsékletfüggése. A szakmában (elektronikai szereléstechológiai folyamatok numerikus szimulációja) erre még nem láttam példát.
- A kompozit anyagok esetében (pl. FR4, üveg-kerámia, stb.) a technológiai szórás jóval nagyobb, mint a fajlagos hővezetés hőmérsékletfüggése az adott tartományban.
- A legtöbb modellben szereplő anyag esetében nem is áll rendelkezésre ilyen információ.

Azoknál a paramétereknél (pl. a Galden sűrűsége, dinamikus viszkozitása), ahol a hőmérsékletfüggőség jelentősebb, figyelembe vettem az adott paraméterek hőmérséklet függését.

Az ellenőrző mérések bebizonyították, hogy a számítási eredményeim nagyon jól közelítették a valóságot, így az egyes anyagi paraméterek megválasztásában nem vétettem nagy hibát.

Megjegyzés 3:

A negyedik tézist, amely fontos technológiai megállapítást tesz, ugyanakkor minden hőközlés alapján működő technológiára igaznak és közismertnek tartom: „különös figyelemmel kell lenni a rendszer hőveszteségeire, a szerelt áramkör felépítésre és rendszer beállításaira”, ezért nem tudom elfogadni.

Válasz: Annyiban egyetértek a tisztelt Opponenssel, hogy a tézis első mondata általánosra sikerült, azonban én a tézis második felében megfogalmazottakat tartom új tudományos eredménynek, miszerint: **„Az elszívócsövön elhanyagolhatónak tűnő hőveszteség jelentős hőmérsékletesést okozhat a vákuumkamrában, amely kis hőkapacitású hordozók és alkatrészek esetén a forrasztott kötések korai megszilárdulásához vezethet, ami csökkenti a zárványeltávolítás hatékonyságát.”**

Az a megállapítás ugyanis koránt sem triviális, hogy a gőz elszívása során az elszívócső néhány 1-2°C melegevé olyan lényeges hőmérsékleteséssel párosul a vákuumkamrában, ami egyes esetekben az egész technológia létjogosultságát megkérdőjelezi.

Megjegyzés 4:

A Jelölt bemutatja a tűkristályok darabszámának meghatározására szolgáló félautomatikus módszert, amelynek alapja egy olyan algoritmus amelyik elválasztja a tűkristályokat a kép háttérétől. Ezzel szemben a bináris kép létrehozása biztosan nem a „tűkristályok ún. átlagos befogott úthosszána számítása (ASTM E112-12)” alapján történik. A szegmentálás az objektumok (pld. tűkristályok) és a háttér elkülönítése teljesen más módon, valamilyen jellemzőjük (pl. szűrkeségi szintjük, textúrájuk, morfológiájuk) alapján történik, aminek eredményeképpen bináris kép áll elő.

Válasz: A tisztelt Opponensnek igaza van, a megfogalmazásom nem volt pontos, mivel nem binarizáció történt az átlagos befogott szabad úthosszal, hanem a binarizációs szűrkeárnyalati szint meghatározása. A whisker számláló algoritmus dr. Krammer Olivér kollégám munkája, az algoritmus működését a következő kérdések során ismertetem.

Kérdés 2:

Milyen algoritmus alapján történt a tűkristályok szegmentálása, a háttértől való elválasztás? A szegmentálás teljesen automatikusan történt, vagy szükség volt a kezelő beavatkozására, korrekciójára?

Válasz: A módszer lényege dr. Krammer Olivér kollégám által tervezett, adaptív binarizációs algoritmus, amely elválasztja a whiskereket a háttértől. A binarizációs szűrkeárnyalati szint meghatározása azon alapul, hogy kiszámítjuk az átlagos befogott úthosszt a teljes képre:

$$MIL = \frac{L_L}{N_L}, \quad (1)$$

ahol L_L a lineáris befogott úthosszok összege a vizsgálati vonalak egység hosszán és N_L a befogott struktúrák száma a vizsgálati vonalak egység hosszán. Egy adott kép esetében, ha a MIL-t kiszámítjuk az összes létező binarizációs küszöbértékre (ami a szűrkeségi szint 0-255-ig), akkor a MIL függvény lokális maximuma a megfelelő binarizációs szűrkeárnyalati szint a whiskerek szeparálására a háttértől, mivel a MIL erősen korrelál a dezorientált struktúrák hosszával, valamint a nagymértékben anizotrop struktúrák szélességével és ezek a tulajdonságok jellemzőek az ön whiskerekre. Az algoritmus a MIL értékek számítása előtt egy általános zajcsökkentést is tartalmaz. Az algoritmus teljesen automatikus, nincs szükség

beavatkozásra a képfeldolgozás során. Az algoritmusról bővebben a következő cikkünkben olvasható:

O. Krammer, B. Illés, R. Bátorfi, K. Dušek, Automatic characterisation method for statistical evaluation of tin whisker growth, MICROELECTRONICS RELIABILITY 73 (2017) 14-21.

Kérdés 3:

Milyen szempontok alapján, milyen módon történt a vizsgált terület kijelölése? Hogyan döntötte el, hogy a tűkristályok sűrűségét milyen méretű felületegységre (0,0025-1 mm²) vonatkoztatja?

Válasz: A vizsgált területek kijelölése minden esetben véletlenszerű volt, a mintákról számos felvétel készült, amelyekből n db mindig véletlenszerűen került kiválasztásra a kiértékeléskor. A felületegység nagyságát a whiskerek darabszáma határozta meg. Azoknál a kísérleteknél, ahol több whisker képződött, ott kisebb felületet használtam, ahol több whisker nőtt, ott nagyobb felületet alkalmaztam.

Kérdés 4:

Az alkalmazott 20 mérés estén összesen hány darab tűkristályt vizsgált?

Válasz: Ez nagymértékben függött az adott kísérletben tapasztalt whisker gyakoriságtól, így kísérletenként nagyon változó volt, ~500 – 50000db / kísérlet tartományba tehető.

Kérdés 5:

Az intermetallikus réteg vastagságnak meghatározásakor hogyan választotta ki a vizsgált rétegeket (4 db) és a mérési pontokat (60 db)?

Válasz: Véletlenszerűen választottam a minták felszínén 4 helyet, ahol a FIB vágást elvégeztem. Az elkészült FIB-SIM felvételeket pedig egyenletesen 60 részre osztottam, majd minden osztásnál megmértem az IMR vastagságát.

Megjegyzés 5:

Az ötödik tétel a szilárd/szilárd fázisban létrejött „Sn/Ni réteghatáron az intermetallikus réteg kialakulásának jellemzése” nem tudományos tétel. Bár az alpontokban technológiai szempontból értékes megállapítások szerepelnek, de nem jelentenek tudományos újonságot. Egyet kivéve: „ón whisker képződési hajlamának egyik lényeges tényezője az ónréteg felvitelekor kialakuló (kezdeti) intermetallikus rétegek szerkezetbeli különbsége és nem csak a Cu₆Sn₅ réteg nagyobb abszolút növekedési sebességének”. Itt viszont az általam aláhúzott mondatrész nem pontosan érthető. Így ezt a tételt ebben a formában nem tudom elfogadni. Ugyanakkor kérem, hogy magyarázza meg ezt az alpontot.

Válasz: Szilárd/szilárd fázisban, az Sn/Ni réteghatáron kialakuló intermetallikus rétegnek lényeges szerepe van az ón whisker képződés kutatása szempontjából, mivel a nikkel köztesréteg elhelyezése a réz és az ón közé az egyik leghatékonyabb ón whisker képződést mérséklő módszer. Mivel az ón a nikkellel is alkot intermetallikus vegyületet, így a módszer csak mérsékeli, de nem gátolja meg az ón whisker képződést. Kutatásom célja az volt, hogy megértem, pontosan ez hogyan is történik. Természetesen nem én fedeztem fel az Sn/Ni intermetallikus rétegképződést, de véleményem szerint új tudományos megállapításokat tettem

a jelenség időbeni lefolyásával kapcsolatban, amely megállapítások megmagyarázzák a nikkel köztesréteg ón whisker képződést mérséklő hatását.

Ilyen új tudományos megállapításnak tartom például a Sn/Ni és Sn/Cu intermetallikus réteg hasonló növekedési rátájának és hasonló határfelületi érdesség változásának felfedezését, mivel ezen jellemzők határozzák meg leginkább, hogy a végül kialakuló intermetallikus réteg mekkora mechanikai feszültség kialakítására képes az ón rétegben, és hogyan alakul az ón whisker növekedés.

Ezen kívül szintén új tudományos megállapításnak tartom, amit a tisztel Opponens is kiemelt, hogy „az Sn/Cu rétegszerkezet az Sn/Ni/Cu-hez képest intenzívebb ón whisker képződési hajlamának egyik lényeges tényezője az ónréteg felvitelekor kialakuló (kezdeti) intermetallikus rétegek szerkezetbeli különbsége és nem csak a Cu_6Sn_5 réteg nagyobb abszolút növekedési sebességének.”

Az Opponens által aláhúzott résszel azt kívántam kiemelni, hogy – ellentétben a szakmai állásponttal - az Sn/Ni rétegszerkezeten nem azért képződik sokkal lassabban az ón whisker, mint az Sn/Cu rétegszerkezeten, mert az Sn/Ni intermetallikus réteg sokkal lassabban növekszik, mint az Sn/Cu intermetallikus réteg, hanem főleg azért, mert a rétegfelvitelt követően az Sn/Ni intermetallikus réteg sokkal vékonyabb és simább. Ugyanakkor a réteg öregedése során a két intermetallikus réteg nagyon hasonlóan viselkedik a növekedési paraméterek szempontjából, úgymint a növekedési ráta vagy a határfelületi érdességük változása.

Új tudományos megállapításnak tartom az 5. tézis második felében megfogalmazott eredményt is, miszerint az Ni_3Sn megjelenik relatíve alacsony hőmérsékleten és kémiai aktiváció nélkül is, mivel ezt korábban még nem publikálta senki.

Budapest 2018.12.18



.....
dr. Illés Balázs György