

## Oponentský posudek na diplomovou práci

Student: Bc. Daniel Koc

Název diplomové práce: Posouzení pájecích past z pohledu expirace

Oponent: Ing. Jiří Starý, Ph.D.

Dne: 5. června 2024

Student Bc. Daniel Koc řešil diplomovou práci s názvem „Posouzení pájecích past z pohledu expirace“.

Po krátkém úvodu se student v teoretické části soustředil na problematiku povrchové montáže a otázku pájecích past. Dále rozebral širokou škálu defektů pájených spojů, často souvisejících s procesem tisku, kvalitou samotné pájecí pasty i s intermetalickými sloučeninami. V poslední páté části teorie student podrobně rozebral jednotlivé testovací metody a tím nastínil i jednotlivé oblasti praktické části.

V praktické, stěžejní části práce, student porovnával dvě pájecí pasty pomocí sedmi testovacích metod, jak nedestruktivních, tak destruktivních. Pájecí pasty byly stejného složení, hmotnostních poměrů pájecí slitiny, aktivity tavidla, přičemž jedna byla po expiraci a byly rozdílné šarže. Student se práci pečlivě věnoval zkoumání povrchu mikrostruktur zrn i pomocí mikrovýbrusů. Změny složení analyzoval zejména za využití plynové chromatografie, nepřímo též sledováním dynamické viskozity a roztékavosti. Dále provedl analýzu a porovnání pájitelnosti obou testovaných pájecích past, pomocí extrakce tavidla z těchto pájecích past. Aplikoval metodu smáčecích vah a následně kuličkový test.

Student v teoretické části práce rozebral širokou škálu defektů, často souvisejících jak s tiskem, designem pájecích ploch, tak i kvalitou pájecí pasty. Stručně a výstižně popsal mnohé defekty a lze ocenit i rozebrání málo známých defektů, jako je skewing a graping.

Z praktické části jsou přínosné detailní snímky pájecích zrn po odstranění tavidla. Promytá pájecí zrna byla nanášena na kolíčky pomocí vodivého oboustranně lepidla uhlíkového terčíku. Získané snímky pomocí elektronového mikroskopu a několika přehledových snímků z konfokálního mikroskopu zobrazují povrch zrn pájecích slitin. Pomocí prvkové analýzy byla detekována oxidace povrchu, což zřejmě nebylo překvapení.

U destruktivní metody analýzy různých starých zrn pájecí slitiny a s metalografickými výbrusy využil student stolní rastrovací skenovací elektronový mikroskop, na kterém následně provedl i prvkovou analýzu pozorovaných IMC u pájecích zrn. Zajímavé a logicky opodstatněné jsou i poznatky, že u zrn ze starší pasty bylo pozorováno více intermetalických sloučenin, a to především na snímcích z konfokálního mikroskopu. Tabulka 10 zobrazuje prvkovou analýzu s koncentrací prvků v různých místech výbrusu, které se liší i barevně.

Roztékavost byla porovnána na mědi plátovaném základním materiálu bez povrchové úpravy a s povrchovou úpravou OSP a imerzní cín. Po průchodu konvekční reflow peci

s nastaveným doporučeným teplotním profilem pro pájecí pastu nedošlo k výrazným změnám v roztečení Změny korespondují se směrodatnou odchylkou.

Student inspirativně využil i nedestruktivní metody analýzy vlastností různě starých pájecích past pomocí Brookfieldova viskozimetru kužel–deska. Jak bylo předpokládáno, viskozita starší pájecí pasta stoupla a měřením bylo zjištěno, že přibližně o 15 – 20 %.

Měření pomocí plynové chromatografie je jedním z pilířů této práce. V diplomové práci se student zaměřil na plynovou chromatografii s hmotnostní spektrometrií. Identifikace látek a jejich změny jsou uvedeny a tabulce 15 a 16. a v grafu 4. Výrazně erudovaná je diskuze provedené analýzy na konci kapitoly 6.5. Plynovou chromatografií byl prokázán pokles koncentrace rozpouštěl, který koresponduje s tixotropními vlastnostmi pájecí pasty a tedy i se změnou viskozity.

Pro porovnání pájecích past student provedl analýzu pájitelnosti. Po odseparování tavidel obou pájecích past využil student standardní metodu smáčecích vah ponorem měděného drátku do pájky SAC při teplotě 270 °C. Pro porovnání smáčecích charakteristik student použil hodnotící model převzatý z [66] a vyhodnocovací tabulky kritérií smáčecích křivek ze strany 26 – 28 předložené práce. Práce porovnává i obě pájecí pasty kvantifikací času průchodu korigovanou nulou i maximálními hodnotami smáčecích sil.

Analogicky separované tavidlo a podobný postup byl použit pro kuličkový test, který však prokázal značnou nekonzistentnost, přičemž příčiny by bylo zajímavé analyzovat.

K práci mám několik drobných připomínek

→ na str.13 ... umělá pryskyřice – lépe používat termín syntetická pryskyřice

... dělení aktivátorů na: bez aktivátoru, halogenové a nehalogenové, přesnější by bylo použít termín ... s halogenidy a bez halogenidů

→ na str. 14 se student zmiňuje ... Další používanou alternativou olověných pájek je SC běžně se skládající z 99,3 % cínu a 0,7 % mědi. Přičemž student neuvedl druhou nejvíce používanou pájecí slitinu SN100C, která kromě SC základu obsahuje i malé množství Ni a Ge, event. I jiných prvků.

→ u výrazů na str. 19 ... stupeň poklesu za studena ..., navrhuji používat termín sedání za studena (cold slumping) ... u termínů horký sesuv nebo horký propad ...navrhuji používat termín sedání za tepla (hot slumping).

Diplomová práce přináší komplexnější pohled na změnu vybraných parametrů pájecí pasty vlivem skladování a degradace vlastností vnějším prostředím, především teplotou. V práci byly analyzovány i vlivy chemických reakcí doprovázejících stárnutí past, jako je oxidace nebo tvorba intermetalických sloučenin na povrchu pájecích zrn. V diplomové práci se student zaměřil i na plynovou chromatografii s hmotnostní spektrometrií. na identifikaci látek a jejich změn v procesu stárnutí.

Student v diplomové práci prokázal vysokou odbornou erudici a soustředěné zaujetí tématem.

Předložená práce neobsahuje gramatické chyby.

Rozsah používané literatury včetně norem i odbornou úroveň zpracování diplomové práce lze hodnotit jako nadprůměrnou.

Diplomant splnil zadání diplomové práce v plném rozsahu a v mnohých směrech ji překročil. Ztotožňuji se též se závěrem práce a návrhem pokračování ve zkoumání změn vlastností pájecí pasty jedné šarže stárnuté v teplotně časové ose.

Práci doporučuji k obhajobě a hodnotím stupněm  
„výborně“

Zpracoval: Ing. Jiří Starý, Ph.D.

V Brně dne 6.6.2024

Otázky k obhajobě:

- 1) Dokážete vysvětlit proč intermetalická vrstva více narostla při použití pasty s aktivnějším tavidlem ROL1, než při použití méně agresivního tavidla?
- 2) Začlenil byste do vyhodnocovací tabulky kritérií smáčecích křivek též rozdílné tepelné kapacity testovaných vzorků a pokud ano, máte představu, jak?
- 3) Proč jste u metody smáčecích vah pro pájku SAC použil teplotu 270 °C – nevede tato vyšší teplota ke zkreslení porovnávaných výsledků?