

Fakulta elektrotechnická
Katedra materiálů a technologií

ZÁVĚREČNÝ PROJEKT

(téma práce: "Analýza nových bezolovnatých pájecích slitin")

Autor práce: **Miroslav Vaňáček**
Vedoucí práce: **Ing. Pavel Rous**

Abstrakt

Tato práce se zabývá srovnáním starších a novějších bezolovnatých pájecích slitin z pohledu vzniku a struktury intermetalických sloučenin. V teoretické části je vysvětlen fyzikální proces pájení, vysvětlené některé pojmy tohoto procesu, vznik IMC a popsány vybrané pájecí slitiny. Praktická část popisuje provedený experiment, při kterém byly vytvořeny materiálografické výbrusy pájených spojů a jejich následná analýza pomocí elektronového mikroskopu.

Klíčová slova

Pájení, bezolovnatá pájka, IMC, intermetalická sloučenina, materiálografický výbrus.

Abstract

This thesis deals with the comparison of older and newer lead-free solder alloys from the point of view of the formation and structure of intermetallic compounds. In the theoretical part, the physical process of soldering is explained, some concepts of this process are explained, the formation of IMC and selected soldering alloys are described. The practical part describes the experiment carried out, during which materialographic grindings of soldered joints were created and their subsequent analysis using an electron microscope.

Key Words

Soldering, lead-free solder, IMC, intermetallic compound, materialographic grinding.

Poděkování

Chtěl bych poděkovat vedoucímu práce panu Ing. Pavlovi Rousovi za trpělivost a poskytnutou nemalou odbornou pomoc, materiály a přístup do laboratoře. Také bych chtěl poděkovat firmě MARMOT® za poskytnuté vzorky pájecích slitin pro měření.

Obsah

Úvod	2
1 Teoretická část	3
1.1 Fyzikální proces pájení	3
1.2 Vlastnosti pájek.....	4
1.2.1 Povrchové napětí	5
1.2.2 Smáčivost	5
1.2.3 Roztékavost	6
1.2.4 Kapilarita	6
1.3 Druhy pájek a legislativa RoHS.....	7
1.3.1 Olovnaté pájky.....	7
1.3.2 Omezení používání olovnatých pájek.....	8
1.3.3 Bezolovnaté pájky	10
1.4 Intermetalické sloučeniny (IMC).....	11
1.5 EDX (energiově - disperzní spektroskopická) analýza.....	11
2 Experimentální část	13
2.1 Výroba vzorků	13
2.1.1 Příprava substrátu	13
2.1.2 Příprava vzorků pro přetavení	13
2.1.3 Přetavení vzorků	14
2.2 Výroba materiálografických výbrusů	15
2.3 Pozorování materiálografických výbrusů	16
2.4 Výsledky experimentu	17
2.4.1 Vzorek 1 – SAC305:	19
2.4.2 Vzorek 2 - Sn97Bi2Cu1P:	21
2.4.3 Vzorek 3 - Sn99,3Cu0,7NiP:.....	23
2.4.4 Vzorek 4 - Sn42Bi58:.....	25
2.5 Ekonomické zhodnocení.....	26
Závěr.....	28
Seznam literatury a informačních zdrojů.....	29
Přílohy	32

Seznam symbolů a zkratk

DPS	Deska plošných spojů
IMC	Intermetallic compound – intermetalická sloučenina
RoHS	Restriction of Hazardous Substances – omezování nebezpečných látek
SMT	Surface mount technology – technolo povrchové montáže
EDX	Energiově – disperzní spektroskopie
MPO	Ministerstvo průmyslu a obchodu

Úvod

Již nějakou dobu je ve většinovém elektrotechnickém průmyslu legislativně zakázáno použití pájecích slitin obsahujících olovo (a další nebezpečné prvky). Toto nařízení reaguje na problém toxicity olova a jeho uvolňování do životního prostředí z elektrotechnického odpadu, kterého stále přibývá, a proto je třeba hledat a vyvíjet nové slitiny, tvořené pro přírodu netoxickými prvky, ale zároveň kvalitativně a ekonomicky srovnatelné (nebo lepší), než jsou tradiční olovnaté pájky.

Za dobu platnosti této legislativy se objevilo již značné množství pájecích slitin a některé z nich se již staly normou (např. SAC305), avšak vývoj a zlepšování užitečných vlastností bezolovnatých pájek je stále předmětem výzkumů a objevují se jak vylepšené, tak zcela nové pájecí slitiny.

Cílem práce je udělat průzkum aktuálního trhu s bezolovnatými pájkami, nalézt relativně nové a zatím příliš nezkoumané pájecí slitiny a porovnat je s již zavedenými pájkami, a to zejména z hlediska ceny, struktury pájeného spoje a tvorby intermetalických sloučenin. Pro experiment jsou vybrány dvě nepříliš známé pájecí slitiny, jejichž složení je patentem firmy MARMOT® a budou porovnávány s již tradičními pájkami SAC305 a Sn42Bi58.

Experiment bude proveden vytvořením jednou a dvakrát přetavených vzorků jednotlivých slitin a pozorováním z nich vytvořených materiálografických výbrusů.

Pozorování struktur a měření velikostí IMC vrstev bude provedeno pomocí elektronového mikroskopu, chemické složení pak zjišťováno pomocí EDX analýzy.

1 Teoretická část

Pájení je metoda spojování dvou (a více) kovových, skleněných, keramických nebo jiných částí pomocí přídavné pájecí slitiny (pájky). Oproti svařování zde nedochází k tavení základního materiálu spojovaných částí, ale natavená pájka smáčí pevný povrch základního materiálu spojovaných částí. Mezi atomy těchto látek dochází k vytvoření adhezních sil. Může docházet k rozpouštění povrchu základního materiálu tekutou pájkou na rozhraní styku a vzájemné difúzi atomů. K usnadnění celého procesu se může používat tavidlo [1].

Teplota tání pájky musí být nižší než teplota tání spojovaných částí. Pájení se podle této teploty dělí na tvrdé a měkké. Pokud je teplota tání pájky, respektive pájecí teplota vyšší, než 450 °C, mluvíme o tvrdém pájení (používají se pájky na bázi mosazi), při teplotě pájení do 450 °C mluvíme o měkkém pájení, používají se nejčastěji pájky na bázi cínu. Pájení v elektrotechnice je v podstatě vždy měkkým pájením, jehož hlavním úkolem je vodivě zafixovat součástky k DPS, popřípadě k sobě navzájem [2].

1.1 Fyzikální proces pájení

Vznik pájeného spoje má tři části. V první části dochází ke kontaktu tuhé fáze základního materiálu spojovaných částí, s tekutou fází roztavené pájky a za zvýšené teploty dochází ke smáčení základního materiálu pájkou. Ve druhé části procesu probíhají metalurgické reakce v oblasti pájení. Ve třetí fázi dochází k zatuhnutí pájecí slitiny a vytvoření finálního pájeného spoje.

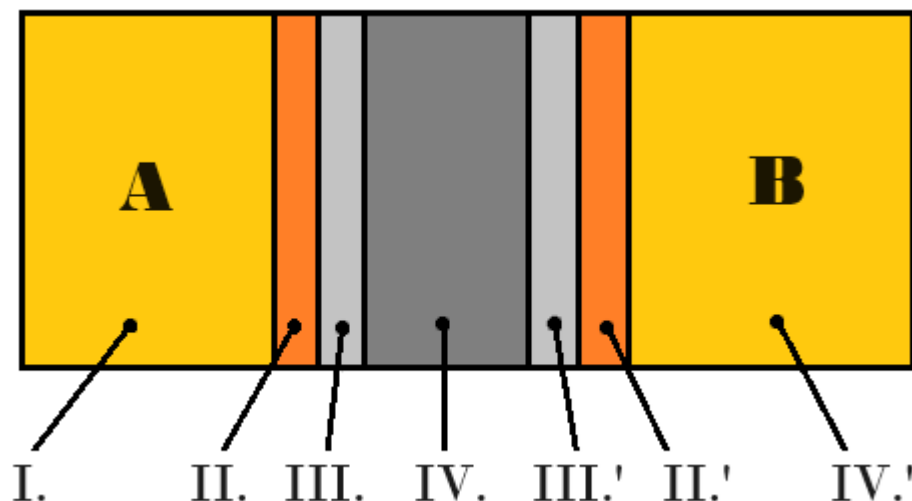
Vzhledem k použitým materiálům (pájené části a pájecí slitina) může ve spoji docházet k těmto metalurgickým reakcím:

- Adheznímu spojení
- Vzájemné difúzi základního materiálu a pájky
- Rozpouštění základního materiálu pájkou
- Reakce složek pájky s povrchovými oxidy základních materiálů

Adhezní spojení – podmínkou adhezního spojení je, že nedochází k vzájemnému rozpouštění základního materiálu a pájky. Toto spojení vykazuje výbornou elektrickou vodivost, avšak horší mechanické vlastnosti, zvláště pak pevnost v ohybu a smyku.

Používá se tam, kde je nežádoucí změna chemického složení pájených částí – např. výroba polovodičů [5].

Difúzní spojení – při difúzi dochází k přestupu atomů pájky a základního materiálu. Podmínkou difúze je zvýšená teplota a nehomogenita složení na rozhraní pájky a základního materiálu, kdy atomy mají tendenci difundovat z místa s vyšší koncentrací do míst s nižší koncentrací. Hloubka difúze a výsledná homogenita závisí dále na pájecí teplotě, rychlosti ochlazování, použitých materiálech a jejich struktuře (poruchy krystalické mřížky). Při difúzním spojení vznikají na rozhraní spojovaných částí a pájky vrstvy různých tloušťek, které mají odlišné chemické složení, než pájka nebo základní materiál a tím i odlišné chemické a fyzikální vlastnosti. Těmto vrstvám říkáme intermetalické sloučeniny (IMC). Zpravidla se vyznačují lepšími mechanickými vlastnostmi jako je třeba pevnost v tahu nebo ohybu, ale horší elektrickou a tepelnou vodivostí. Ve větším množství mohou způsobit křehnutí spoje nebo jinou materiálovou degradaci. Celkové užité vlastnosti spoje určují vlastnosti těchto IMC. Při příliš hluboké difúzi dochází k nežádoucímu rozpouštění základního materiálu, což hlavně u tenkostěnných nebo povlakovaných částí není zcela žádoucí. Schéma spoje s IMC je na Obr. 1 [1], [2], [4], [5].



Obr. 1 Schéma pájeného spoje s IMC: I. (I'.) základní materiál spojované části A (B); II. (II'.) přechodová oblast základního materiálu A (B); III. (III'.) přechodová oblast pájecí slitiny A (B); IV. Pájecí slitina [4]

1.2 Vlastnosti pájek

Základní kvalitativní parametry pájek jsou teplota tání a tuhnutí (u eutektických pájek se jedná o totožnou teplotu), chemické složení a odolnost vůči oxidaci, elektrická a tepelná

vodivost, pevnost v tahu a smyku, rázová houževnatost, povrchové napětí a z něho vyplývající smáčivost, roztékavost a kapilarita.

1.2.1 Povrchové napětí

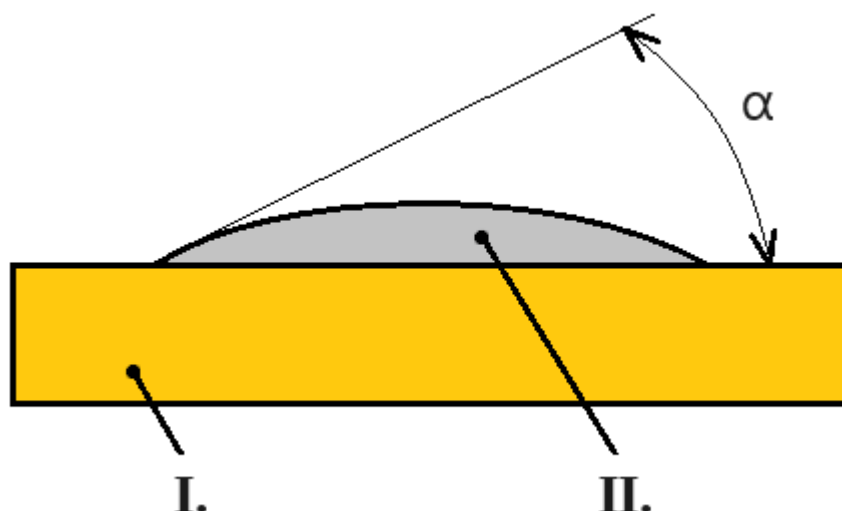
Uvnitř kapaliny působí na molekuly ze všech stran stejně velké síly od jiných molekul téhož druhu obsažených v kapalině. Síly jsou tedy v rovnováze. Na povrchu kapaliny však tyto síly z vnějšku tekutého tělesa chybí a systém se dostává do nerovnováhy – je vtahován dovnitř a tekuté těleso zaujímá tvar s nejmenším možným povrchem – koule. Pokud takovéto tekuté těleso (roztavenou pájku) vložíme na jiný materiál (základní pájený materiál), dojde zde k silové interakci, která bude mít přitažlivý (hydrofilní) nebo odpuzivý (hydrofobní) charakter. S tím souvisí další vlastnosti pájky.

1.2.2 Smáčivost

Je schopnost roztavené pájky přilnout k povrchu pájeného základního materiálu při pájecí teplotě. Smáčivost je dána povrchovým napětím pájky, resp. kombinací základní materiál – pájka. Smáčivost definujeme pomocí stykového úhlu α , který svírá tečna kraje kapky kapaliny vůči podložce – Obr. 2.

Smáčení nastává, pokud platí $0^\circ < \alpha < 90^\circ$. Dále dělíme:

- $0^\circ < \alpha < 15^\circ$ dokonalá smáčivost (vhodnost pro kapilární pájení)
- $15^\circ < \alpha < 75^\circ$ dobrá smáčivost (vhodnost pro nánosové pájení)
- $75^\circ < \alpha < 90^\circ$ smáčivost (dostačující pro nánosové pájení)
- $\alpha > 90^\circ$ nesmáčivost (pájka není vhodná pro žádný způsob pájení) [1]



Obr. 2 Definice smáčivosti pomocí mezního úhlu α ; I. – základní materiál; II. – roztavená pájka

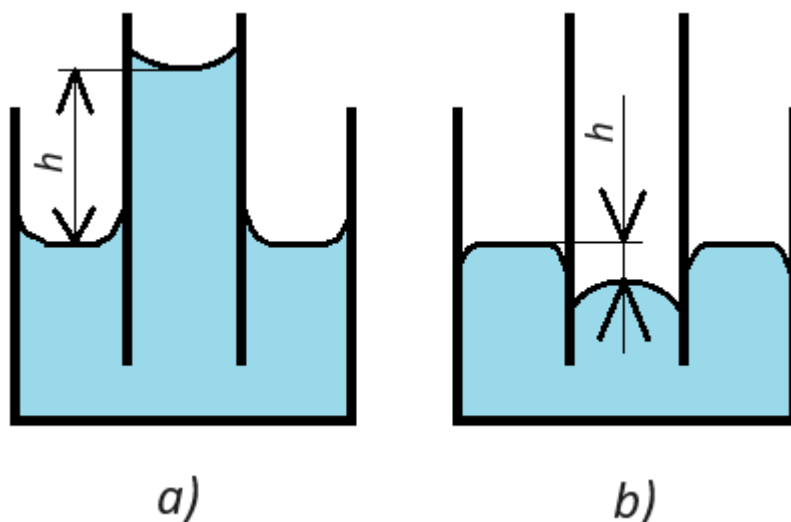
Smáčivost je zásadní pro zatečení pájecí slitiny do všech mezer a vytvoření tak dobrého pájeného spoje. Smáčivost může být negativně ovlivněna oxidací nebo znečištěním pájených povrchů. K odstranění oxidace, znečištění a zlepšení smáčivosti se používá tavidel nanášených na pájené povrchy. Jako prevence před oxidací se používá povlakování pájených povrchů (nikl, zlato, ...).

1.2.3 Roztékavost

Je schopnost roztavené pájky roztéci se po povrchu pájeného materiálu. Úzce souvisí se smáčivostí a je ovlivněna stejnými faktory. Je definována jako velikost plochy v mm^2 , která je smáčena za předem definovaných konstantních podmínek [1].

1.2.4 Kapilarita

Nebo také vzlínavost je schopnost roztavené pájky při pracovní teplotě vyplnit úzké mezery spoje díky kapilární síle. Tato závisí na zakřivení čela postupující roztavené pájky, které je spojeno s povrchovým napětím a smáčivostí. Blíže ji popisují hydrodynamické zákony. Podmínkou kapilárního vzlínání je, aby čelo postupující pájky v mezeře základního materiálu mělo konkávní tvar (Obr. 3). Vzlnavost můžeme definovat jako výšku u vertikálního (nebo délku u horizontálního) vzlínání, kam se až kapalina dostane za předem definovaných podmínek. [1]



Obr. 3 Kapilarita a tvar čela kapaliny: a) smáčivá kapalina; b) nesmáčivá kapalina

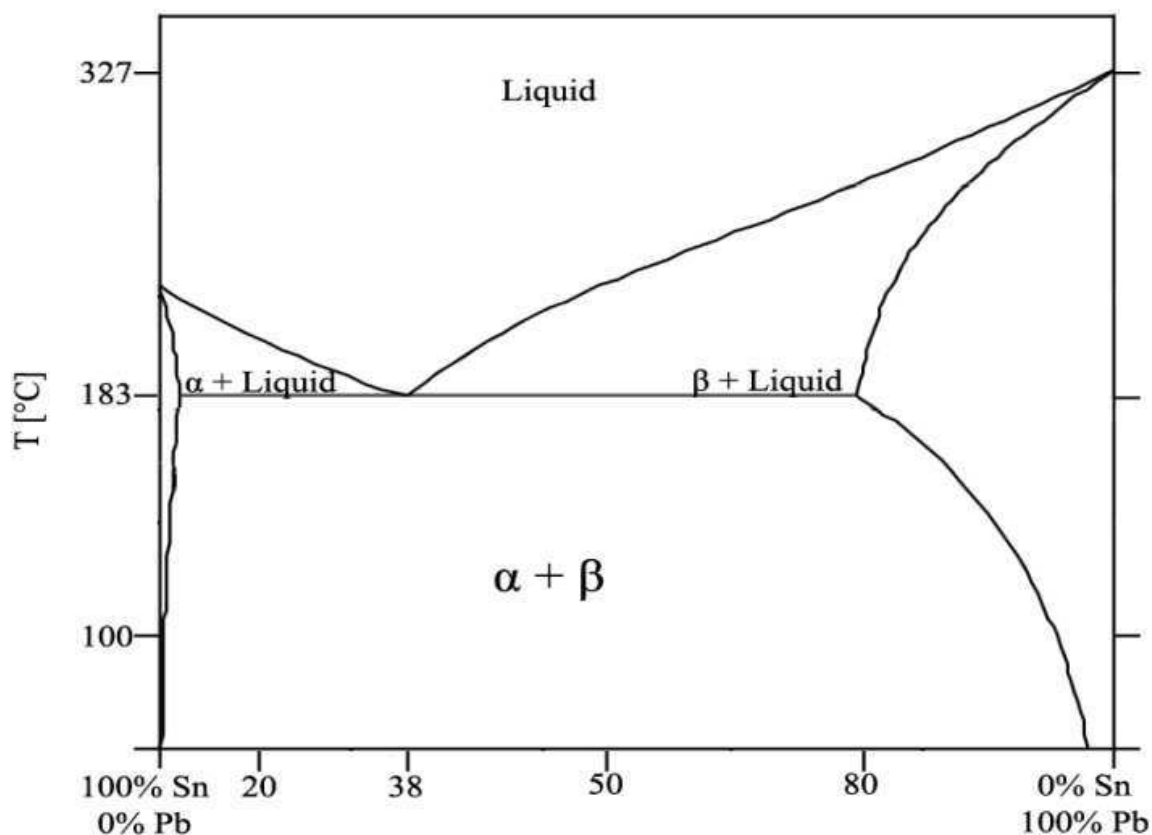
1.3 Druhy pájek a legislativa RoHS

Základní dělení pájek je podle teploty tavení na tvrdé (nad 450 °C) a měkké (do 450 °C). Měkké pájky je dále možno dělit na speciální a cínové. V elektrotechnice nejvíce používané cínové pájky se dělí na olovnaté a bezolovnaté a pro nás jsou nejdůležitější. Použití olovnatých pájek omezuje legislativa RoHS.

1.3.1 Olovnaté pájky

Historicky se olovo jako pájka používá od starověku, kdy s ním byla například spojována vitrážová okna apod. V elektrotechnice se pájky a bázi olova a cínu používaly od samých počátku elektrotechnického průmyslu. Hlavně kvůli relativně nízké teplotě tání, cenové dostupnosti, dobrým užitným vlastnostem a spolehlivosti spoje.

- Sn62Pb38 byla dříve nejpoužívanější olovená pájka na trhu. Při koncentraci 62 % cínu a 38 % olova se vytváří eutektická slitina (slitina s nejnižší teplotou tuhnutí, při které krystaly obou látek tuhnu společně). Tato teplota tuhnutí je 183 °C (Obr. 4). Tato směs má také výhodu v tom, že se během tuhnutí přechází z kapalně fáze rovnou do pevné a nevytváří se tak přechodná plastická fáze. Vytváření plastické fáze během tuhnutí je nežádoucí, jelikož může snižovat mechanickou pevnost a zvyšovat elektrický odpor spoje [2].



Obr. 4 Fázový diagram Sn-Pb slitiny [2]

Tato pájka je vhodná jak pro ruční pájení, tak pro strojové pájení vlnou, popřípadě do pájecích past. Pracovní teplota pájky je 190-350 °C, pevnost v tahu 40-60 MPa a má měrnou elektrickou vodivost $6,67 \times 10^6$ S/m [7].

1.3.2 Omezení používání olovnatých pájek

I když jsou olovnaté pájky oblíbené, levné a jejich všestrannost léty prověřená, jsou zátěží pro životní prostředí. Hlavně malé elektrospotřebiče končívají často v komunálním odpadu a posléze na skládkách, kde se z nich olovo vlivem kyselých dešťů může uvolňovat do půdy a vodních zdrojů [4] nebo končí ve spalovnách, odkud může docházet k uvolňování do ovzduší. Z těchto důvodů začala Evropská unie zavádět postupná opatření k omezení použití olova (a dalších nebezpečných látek) v komerční elektrotechnice. Jde o dvě směrnice EU: směrnici WEEE – Waste Electrical and Electronic Equipment, která řešila bezplatný zpětný odběr elektrických a elektronických zařízení a jejich další recyklaci [4]. A směrnice RoHS - Restriction of Hazardous Substances, která řeší omezování nebezpečných látek. Cílem nařízení je, aby elektrozařízení uváděná na trh, neobsahovala s ohledem na životní prostředí některé látky (olovo, rtuť, kadmium, šestimocný chrom,

polybromované bifenyly a polybromované difenylethery) v homogenních materiálech v množství větším, než je stanoveno jako přípustné [2].

Výjimky RoHS pro použití olova v pájkách (výňatek z předpisu MPO) [2]:

- Výjimka pro olovo v pájkách a potahů desek tištěných spojů, v pájkách ke spojování vodičů a kabelů, v pájkách ke spojování snímačů a čidel, které se za normálních a skladovacích podmínek trvale používají při teplotách nižších než -20 °C;
- Výjimka pro olovo v pájkách, v potahové vrstvě koncovek elektrických a elektronických součástí a desek tištěných spojů, spojích elektrických vodičů, konektorech stínění a chráněných konektorech používaných a) v magnetickém poli v okruhu 1 m od isocentra magnetu (bod v magnetickém poli s nulovou magnetickou indukcí), který je součástí vybavení pro snímkování pomocí magnetické resonance pro lékařské účely, včetně monitorů pacienta navržených tak, aby mohly být v tomto okruhu používány, nebo b) v magnetickém poli v okruhu 1 m od vnějšího povrchu cyklotronových magnetů a magnetů používaných v nukleární medicíně k přenosu a směrování svazku paprsků;
- Výjimka pro olovo v pájkách používaných k montáži digitálních detektorů z teluridu kadmia a z teluridu kadmia — zinku na desky tištěných spojů;
- Výjimka pro olovo v pájkách na deskách tištěných spojů řídicích jednotek a jednotek pro získávání dat pozitronové emisní tomografie (PET), které jsou začleněné do vybavení pro magnetickou rezonanci (MRI);
- Výjimka pro olovo v pájkách na osazených deskách plošných spojů používaných do jiných mobilních zdravotnických prostředků třídy IIa a IIb podle směrnice 93/42/EHS než přenosných pohotovostních defibrilátorů;
- Výjimka pro olovo v pájce v jednom rozhraní velkoplošných prvků z vrstvených čipů;
- Výjimka pro olovo v pájkách a povrchové úpravě vývodů elektrických a elektronických součástí a v povrchové úpravě desek plošných spojů používaných v modulech zapalování a jiných elektrických a elektronických řídicích systémech motorů;
- Výjimka pro olovo v pájkách pro elektrické připojování teplotních čidel v určitých zařízeních;

1.3.3 Bezolovnaté pájky

Na základě výše uvedeného nařízení RoHS vyvstala poptávka po bezolovnatých pájecích slitinách použitelných v průmyslu. V dnešní době je již na trhu mnoho bezolovnatých pájecích slitin, jejich vývoj však stále pokračuje.

Pro účely experimentu byly zvoleny tyto bezolovnaté pájky: SAC305 jako zástupce nyní patrně nejvíce využívané bezolovnaté pájky, Sn42Bi58 jako zástupce nízkoteplotní pájky s vysokým obsahem bizmutu a nakonec dvě poměrně nové pájecí slitiny Sn97Bi2Cu1P a Sn99,3Cu0,7NiP, které jsou patentem české firmy MARMOT® a z hlediska měření poměrně neznámé.

- **SAC305:** Jedná se momentálně o nejběžněji používanou bezolovnatou pájecí slitinu typu SAC. Je složená z 96,5 % cínu, 3 % stříbra a 0,5 % mědi. Slitina není eutektická a teplota tání se tedy pohybuje v rozmezí 217 – 221 °C, pracovní teplota je pak 250 - 300 °C [11]. Pájka se velice osvědčila ve formě pájecí pasty pro pájení SMT, vykazuje ale dobré vlastnosti (srovnatelné s olivnatou pájkou Sn62Pb38) i při pájení vlnou nebo ručním pájením [11]. Díky nízkému obsahu stříbra se jedná o relativně levnou pájecí slitinu. Má poměrně nízkou teplotu tavení, dobrou smáčivost a slučitelnost s různými tavidly. Pájený spoj je spolehlivý a mechanicky odolný [11]. SAC305 má měrnou elektrickou vodivost $7,58 \times 10^6$ S/m [8] a pevnost v tahu 40 MPa [9].
- **Sn42Bi58:** Jedná se o eutektickou pájecí slitinu s velmi nízkou teplotou tání 138 °C [9], to je výhodné pro pájení teplotně citlivých částí, je ale třeba ohlídat maximální pracovní teplotu zařízení. Spoje s touto pájkou vykazují dobrou mechanickou pevnost a v oblasti mezi pokojovou teplotou a teplotou tání nízkou teplotní roztažnost. Spoje jsou však křehké v rázu a mají nižší pevnost ve smyku. Vyšší obsah bizmutu blokuje větší rozvoj IMC na rozhraní pájky a mědi. Nevýhodou této pájky je vysoká cena. Sn42Bi58 má měrnou vodivost $2,89 \times 10^6$ S/m [9] a pevnost v tahu 27 [MPa] [9].
- **Sn97Bi2Cu1P:** Jedná se o patentovanou slitinu firmy MARMOT® s teplotou tání 225 - 228 °C a optimální pracovní teplotou 252°C. Pájka nahrazuje pájecí slitiny s obsahem drahého stříbra, bizmut snižuje tepelnou roztažnost a zvyšuje pevnost, měď redukuje rozpouštění měděných spojovaných součástí a fosfor zlepšuje roztékavost. Pájka má dobrou smáčivost a je vhodná pro ruční pájení i pájení vlnou [6].

- **Sn99,3Cu0,7NiP** Jedná se o patentovanou slitinu firmy MARMOT® s teplotou tání 225 - 228 °C a optimální pracovní teplotou 280°C. Pájka nahrazuje pájecí slitiny s obsahem drahého stříbra, měď redukuje rozpouštění měděných spojovaných součástí a obsažený nikl zas redukuje rozpouštění niklu z povlakových vrstev spojů, a částí pájecích zařízení, jako jsou hroty páječek, čerpadla pájecích van apod. Fosfor zlepšuje roztékavost. Pájka má dobrou smáčivost a je vhodná pro ruční pájení i pájení vlnou [6].

1.4 Intermetalické sloučeniny (IMC)

Jak bylo zmíněno, rozpouštěním základního materiálu v pájce a difúzí pájky do základního materiálu, vznikají na společném rozhraní vrstvy intermetalických sloučenin (IMC). Tyto IMC jsou nezbytné pro dosažení potřebné adhezní síly a tím k vytvoření dostatečně pevného spojení. Při vyšších tloušťkách těchto IMC ale dochází ke křehnutí spoje a zhoršení elektrické vodivosti spojení.

Při smáčení měděných částí pájkou na bázi cínu začne poměrně rychle na rozhraní měděné plošky a pájky vznikat vrstva IMC Cu_6Sn_5 , o síle v řádu desetin mikrometrů. Vrstva se tvoří vzájemnou difúzí mědi a cínu, a to i po zatuhnutí pájky. Tato vrstva je nezbytná pro vytvoření pevného spojení pájky a základního materiálu. Teplota tání této IMC je 415 °C.

Za určitých podmínek může po nějaké době začít vznikat na rozhraní mědi a Cu_6Sn_5 vrstva další IMC s chemickým vzorcem Cu_3Sn . Z pohledu pájení je tato vrstva problematická. Pájka (Sn-Pb) tuto vrstvu IMC nesmáčí a její další pájení je možné pouze, je-li pokryta vrstvou Cu_6Sn_5 . Tato vrstva má navíc poměrně vysokou teplotu tání (vyšší než 670 °C), což znamená, že její odstranění je možné pouze mechanicky nebo odleptáním [13].

Další IMC, které se mohou tvořit při použití pájek s obsahem stříbra, mědi nebo niklu mohou být Ag_3Sn , Ni_3Sn_4 , $(\text{CuNi})_6\text{Sn}_5$ [2].

1.5 EDX (energiově - disperzní spektroskopická) analýza

Jedná se o metodu zpracování signálů z elektronového mikroskopu. Elektronové mikroskopy vysílají na povrch vzorků proud primárních elektronů a následně zpracovávají tři druhy signálu: Sekundární elektrony, které vznikají pár nanometrů pod povrchem tím, že primární elektron v horní vrstvě atomu nahradí a tím vyrazí sekundární elektron. Zpracování tohoto signálu vykresluje topografii vzorku, jelikož jich vzniká více na hranách

než v ploše. Druhým typem signálu jsou zpětně odražené elektrony, které vznikají několik mikrometrů pod povrchem vzorku tím, že se primární elektron „obtočí“ kolem jádra atomu. Počet zpětně odražených elektronů je úměrný hmotnosti jader atomů vzorků a jejich zpracování nám tedy řekne, z jak těžkých materiálů se vzorek skládá. Třetím typem signálu je charakteristické rentgenové záření, které vzniká tak, že primární elektron vyrazí elektron ze spodních vrstev elektronového obalu atomu a následným seskokem elektronu z vyšší vrstvy na toto uvolněné místo dojde k vyzáření fotonu rentgenového záření. Energie tohoto fotonu je unikátní pro každý prvek a zpracováním tohoto signálu získáme tedy představu o chemickém složení vzorku. Zpracování tohoto záření se nazývá EDX analýza [14].

2 Experimentální část

2.1 Výroba vzorků

Pro experiment byly zvoleny čtyři výše uvedené bezolovnaté pájecí slitiny v následujícím pořadí:

Vzorek 1: SAC305 – jako zástupce nejvíce používané a nejuniverzálnější pájecí slitiny

Vzorek 2: Sn97Bi2Cu1P – zástupce patentované pájecí slitiny firmy MARMOT®

Vzorek 3: Sn99,3Cu0,7NiP – zástupce patentované pájecí slitiny firmy MARMOT®

Vzorek 4: Sn42Bi58 – jako zástupce nízkoteplotní pájky s vysokým obsahem bizmutu

2.1.1 Příprava substrátu

Z poměděné laminátové desky pro výrobu plošných spojů (též známe jako kuprexit) jsme pomocí pákových nůžek nastříhali čtyři přibližně stejně velké destičky, které jsme z jedné strany popsali čísly budoucích vzorků (1-4) a následně byla druhá strana destiček očištěna od oxidace mechanickým odstraněním povrchových oxidů za použití běžné kancelářské pryže.

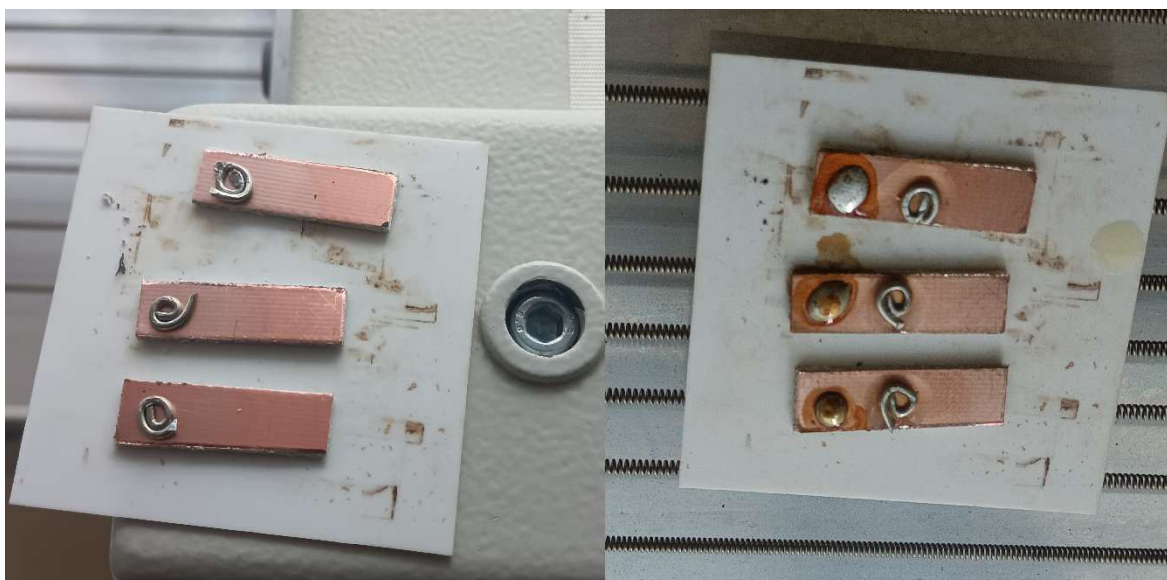


Obr. 5 Příprava substrátu

2.1.2 Příprava vzorků pro přetavení

Vzorky pájecích slitin byly k dispozici ve formě pájecího drátu, s výjimkou slitiny Sn42Bi58, která byla ve formě pájecí pasty. Na očištěné destičky 1 až 3 jsme nanесли

tavidlo Stannol Testiflux Actiec 5 a na něj vložili do spirálky stočené, přibližně stejně dlouze odříznuté jednotlivé vzorky pájek. Vzorek 4 – Sn42Bi58 se nanášel ve formě pasty přímo na očištěnou destičku (pájecí pasta již tavidlo obsahovala). První vzorky byly nanесeny vždy na kraj destiček, aby uprostřed zbylo místo pro nanесení vzorků pro druhý průchod peci po prvním přetavení. Tím nám vlastně na každé destičce vznikly dva vzorky stejné pájky, na kraji byl vzorek přetaven 2x, uprostřed jednou.



Obr. 6 Příprava vzorků pro přetavení

2.1.3 Přetavení vzorků

Samotné vzorky byly přetavené v průběžné přetavovací peci Mistral 260, která funguje na principu cirkulace horkého vzduchu ve třech různě nastavitelných teplotních zónách, kterými prochází vzorky konstantní nastavitelnou rychlostí. Pro vzorky 1-3 byl nastaven teplotní profil pece takto:

První sekce (Předehřev 1):	170 °C
Druhá sekce (předehřev 2):	200 °C
Třetí sekce (přetavení):	285 °C
Rychlost posuvu:	30 cm/min

Pro vzorek 4 (Sn42Bi58) byla teplota snížena:

První sekce (Předehřev 1):	85 °C
Druhá sekce (předehřev 2):	150 °C
Třetí sekce (přetavení):	220 °C
Rychlost posuvu:	40 cm/min

Následně se vzorky nechaly 2x projít pecí (vytvoření 1x a 2x přetavených vzorků).



Obr. 7 Přetavení vzorků

2.2 Výroba materiálografických výbrusů

Po vychladnutí byly vzorky vloženy do speciálních držáků a umístěny nastojato do válcových formiček, na které se přenesla čísla vzorků. Do formiček byla poté nalita akrylátová pryskyřice a takto zalité vzorky byly umístěny do tlakové nádoby. Zde se nechaly za zvýšeného tlaku vzduchu (2,5 bar) po dobu 15 minut vytvrdnout. Tlak se zvyšuje z důvodu vytlačení případných vzduchových bublinek v pryskyřici, které by mohly narušit pozdější pozorování vzorků. Po vytvrdnutí a vyjmutí vzorků z formiček a přenesení čísel vzorků na odlité vzorky, byly tyto ze spodní strany přebroušeny pod vodou pomocí poloautomatické materiálografické brusky/leštičky Buehler Vector Phoenix Beta brusnými papíry s postupně se zvyšující zrnitostí (200, 500, 800, 1200, 2400), následně byly vzorky pomocí stejné leštičky leštěny za pomoci leštící pasty Buehler MasterMet 2[®], a leptány leptadlem Buehler MasterPrep[™]. Leptadlo se používá pro zvýraznění struktury intermetalických sloučenin. Poslední fáze přípravy výbrusů bylo jejich vyčištění pomocí ultrazvukové čističky.



Obr. 8 Výroba materiálografických výbrusů

2.3 Pozorování materiálografických výbrusů

Samotné pozorování vzorků bylo uskutečněno pomocí rastrovacího elektronového mikroskopu Thermo scientific Phenom ProX. Tento mikroskop umí poměrně rychle zobrazit strukturu a určit lokální materiálové složení vzorku pomocí EDX analýzy.

Vzorky se postupně vložily do držáků a zasunuly do pozorovací komory mikroskopu, výsledky byly poté zpracovány počítačem a vhodně vizualizovány.



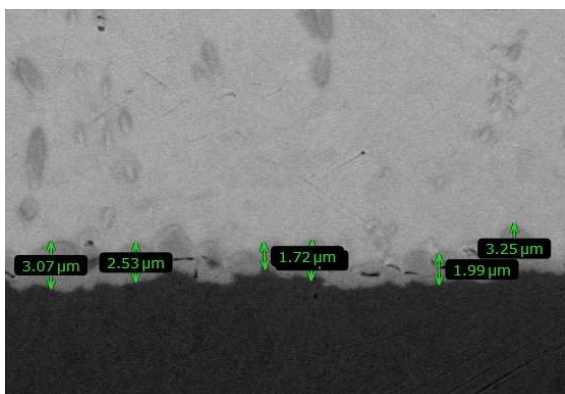
Obr. 9 Elektronový mikroskop Thermo scientific Phenom ProX

2.4 Výsledky experimentu

Z mikroskopu jsme udělali několik obrázku, jak v oblasti přetavené pájky, kde jsme se zaměřili na strukturu ztuhlé pájky, tak v oblasti rozhraní základní materiál – pájka, kde jsme se zaměřili na vrstvy IMC na tomto rozhraní. Byly mezi sebou porovnány obrázky struktur po prvním a druhém přetavení pro každou pájku. Dále byly vytvořeny snímky struktur, u kterých bylo pomocí EDX analýzy určeno složení a byly vytvořeny obrázky, kde jsou jednotlivé prvky ve struktuře vizualizovány pomocí přiřazených barev k jednotlivým prvkům.

Na snímcích IMC vrstev rozhraní byla pomocí SW nástroje Phenom Image Viewer měřena síla IMC vrstvy. Měření probíhalo ve všech případech na 1000x zvětšeném snímku IMC vrstvy dlouhé 30 μm , tato délka byla rozdělena na 20 bodů a zde bylo provedeno měření síly IMC vrstvy. Z těchto hodnot byla vypočtená průměrná síla IMC vrstvy pro

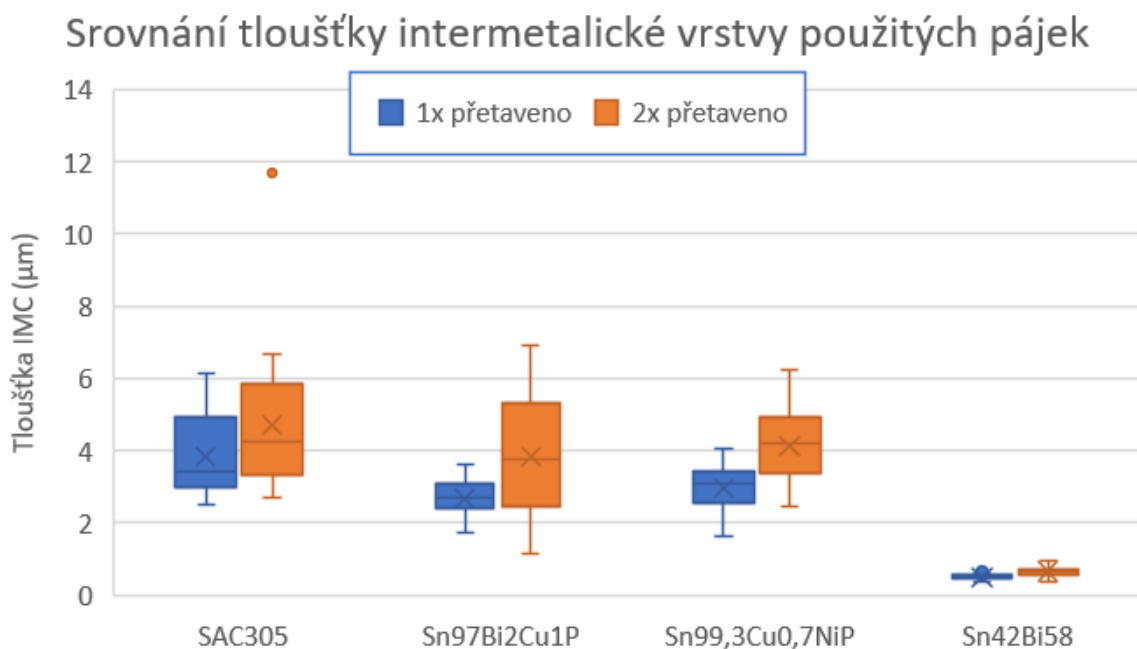
každou pájku a pro jedno a dvě přetavení (Tab. 1). Dále byly tyto hodnoty použity jako zdrojová data pro vytvoření krabicového (boxplot) grafu k porovnání síly vrstvy mezi jednotlivými pájkami a mezi prvním a druhým přetavením (Obr. 10). Jak je z Tab. 1 a Obr. 10 vidět, vícenásobné přetavení způsobilo, že intermetalická vrstva narostla ve všech případech pájecích slitin. Jednotlivé vrstvy jsou rozebrány dále u jednotlivých pájek.



Obr. 10 Měření síly IMC vrstvy – 1000x zvětšeno

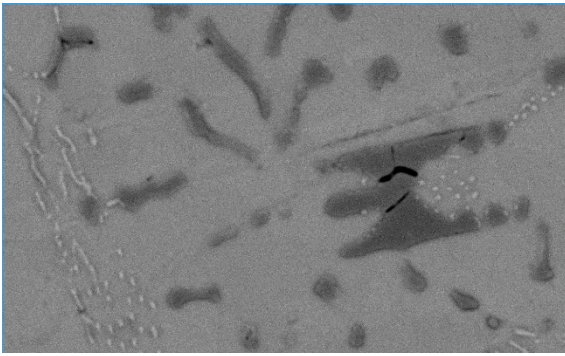
Tab. 1 Průměrná síla IMC vrstev

Pájka	Průměrná výška IMC vrstvy [μm]	
	1x přetaveno	2x přetaveno
SAC305	3,83	4,72
Sn97Bi2Cu1P	2,69	3,84
Sn99,3Cu0,7NiP	2,97	4,14
Sn42Bi58	0,51	0,66

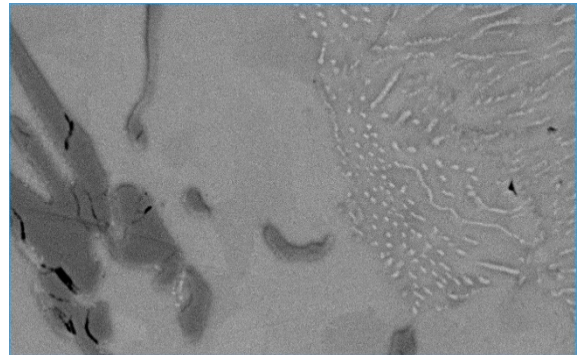


Obr. 11 Srovnání síly IMC vrstev na rozhraní základní materiál – pájka

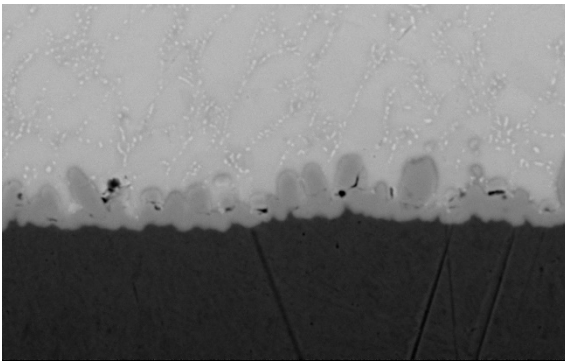
2.4.1 Vzorek 1 – SAC305:



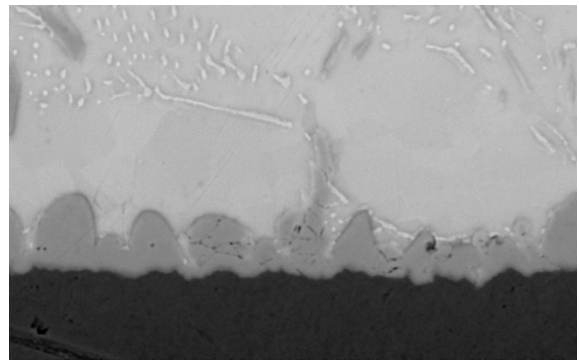
Obr. 12 1x přetavená SAC305
(3000x zvětšeno)



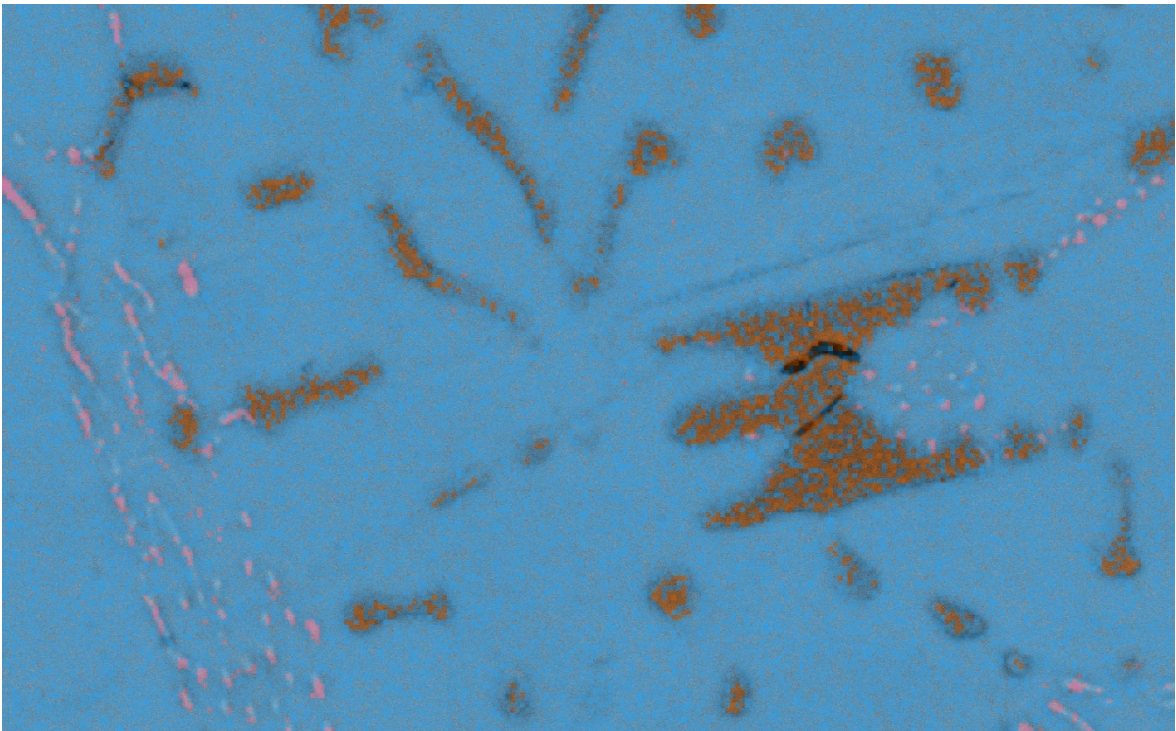
Obr. 13 2x přetavená SAC305
(3000x zvětšeno)



Obr. 14 1x přetavená SAC305 IMC vrstva (3000x
zvětšeno)



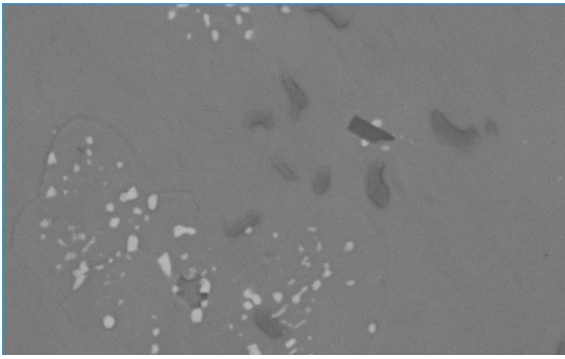
Obr. 15 2x přetavená SAC305 IMC vrstva (3000x
zvětšeno)



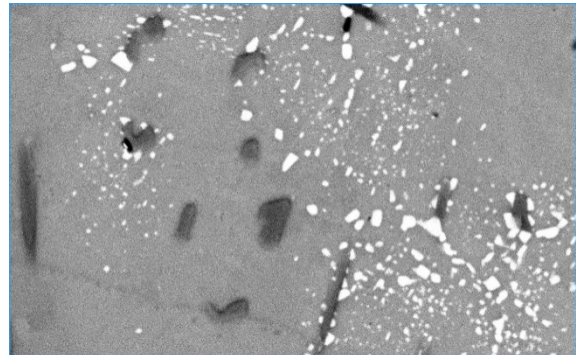
Obr. 16 EDX analýza SAC305 – 3000x zvětšeno (modrá – cín; oranžová – měď, růžová – stříbro)

V přetavené pájce (Obr. 12, Obr. 13) vidíme v základní cínové matrici (šedá barva) tmavé útvary, které by na základě EDX měly být tvořeny mědí a malé, světlé útvary, které by měly být tvořeny IMC Ag_3Sn [2]. Na rozhraní základního materiálu a pájky (Obr. 14, Obr. 15) vidíme tmavě šedou IMC vrstvu, kterou na základě výše zmíněné teorie, tvoří Cu_6Sn_5 , která zasahuje v oblých výběžcích do pájky. Zatím co struktura pájky samotné (Obr. 12, Obr. 13) se mezi prvním a druhým přetavením výrazně nezmění, na IMC vrstvě na rozhraní (Obr. 14, Obr. 15) je vidět nárůst objemu těchto útvarů (Tab. 1 a Obr. 10).

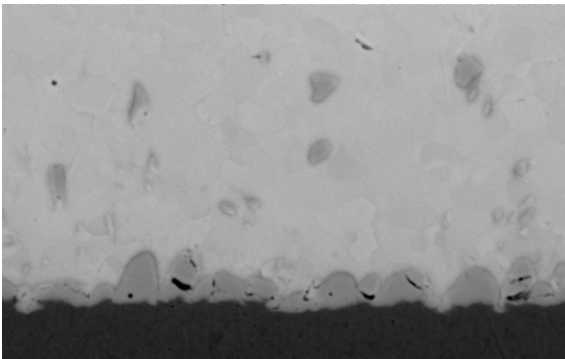
2.4.2 Vzorek 2 - Sn97Bi2Cu1P:



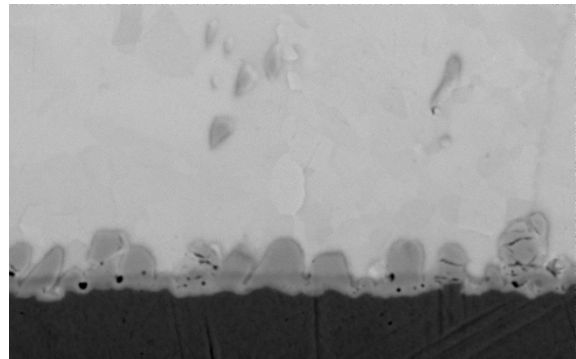
Obr. 17 1x přetavená Sn97Bi2Cu1P
(3000x zvětšeno)



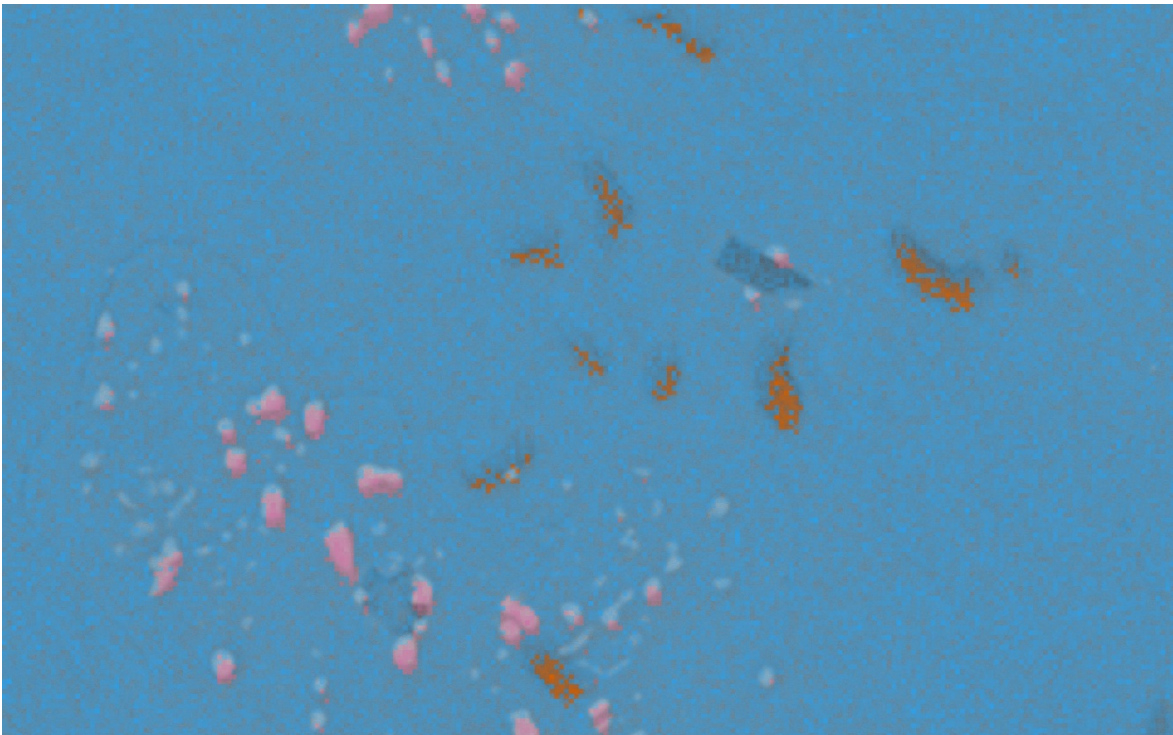
Obr. 18 2x přetavená Sn97Bi2Cu1P
(3000x zvětšeno)



Obr. 19 1x přetavená Sn97Bi2Cu1P IMC vrstva
(3000x zvětšeno)

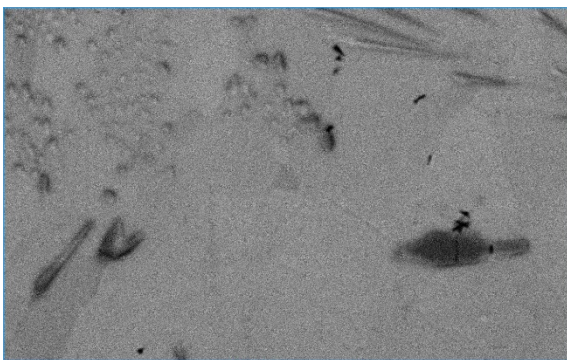


Obr. 20 2x přetavená Sn97Bi2Cu1P IMC vrstva
(3000x zvětšeno)

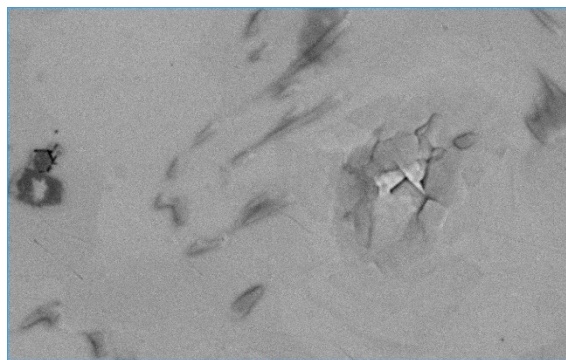


Obr. 21 EDX analýza Sn97Bi2Cu1P– 3000x zvětšeno (modrá – cín; oranžová – měď, růžová – bizmut)

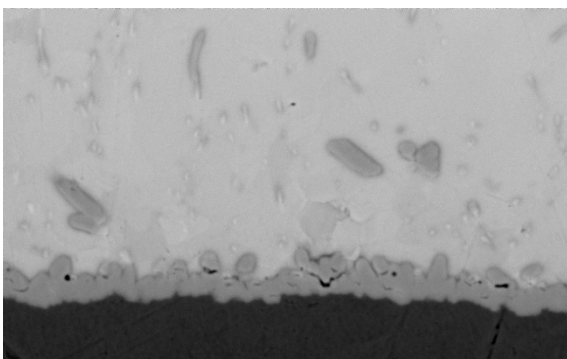
Výsledná struktura je dost podobná struktuře SAC305 z prvního vzorku, což se dá očekávat, vzhledem k podobnému chemickému složení. Namísto intermetalické sloučeniny Ag_3Sn se zde tvoří v šedé matici cínu shluky malých světlých kulovitých útvarů, tvořených zřejmě bizmutem (Obr. 16, Obr. 17). Po druhém přetavení se zdá, že těchto bizmutových útvarů přibylo. Co se týče IMC vrstvy na rozhraní základního materiálu a pájky, tato by měla být opět tvořena vrstvou Cu_6Sn_5 (Obr. 18, Obr. 19). Oproti SAC305 jsou ale tyto útvary, zvláště po prvním přetavení, jemnější a menší (Tab. 1 a Obr. 10), což by mohlo mít pozitivní vlastnosti na spolehlivost spoje, to ale nebylo předmětem této práce. Po druhém přetavení je vidět razantní nárůst intermetalické vrstvy, stále je ale menší, než u SAC305 (Tab. 1 a Obr. 10).

2.4.3 Vzorek 3 - Sn99,3Cu0,7NiP:

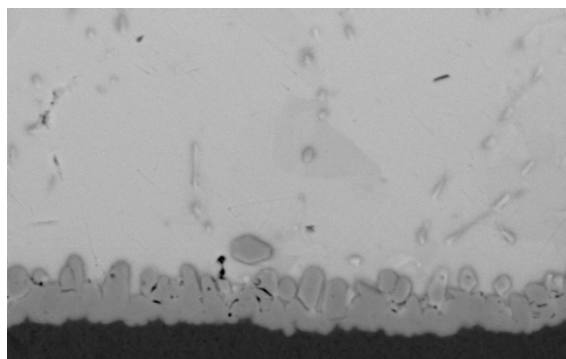
Obr. 22 1x přetavená Sn99,3Cu0,7NiP
(3000x zvětšeno)



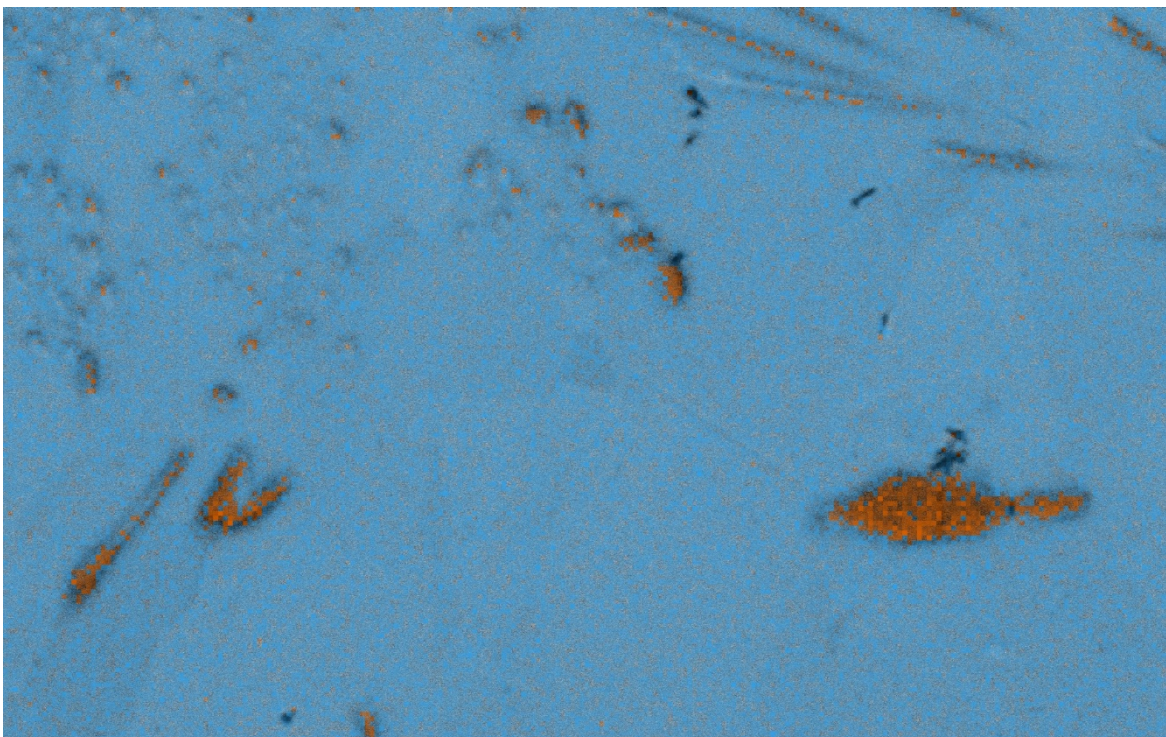
Obr. 23 2x přetavená Sn99,3Cu0,7NiP
(3000x zvětšeno)



Obr. 24 1x přetavená Sn99,3Cu0,7NiP IMC vrstva
(3000x zvětšeno)



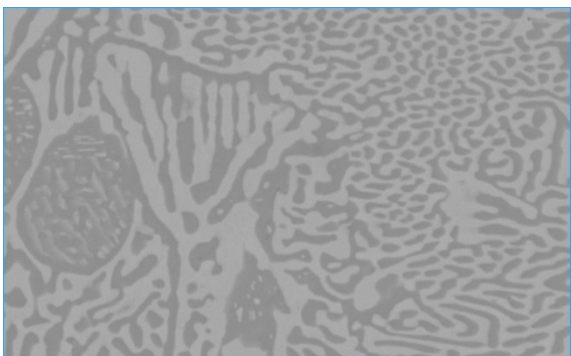
Obr. 25 2x přetavená Sn99,3Cu0,7NiP IMC vrstva
(3000x zvětšeno)



Obr. 26 EDX analýza Sn99,3Cu0,7NiP – 3000x zvětšeno (modrá – cín; oranžová – měď)

Výsledná struktura je opět podobná struktuře SAC305 z prvního vzorku. Na obrázcích Obr. 22, Obr. 23 můžeme pozorovat větší tmavé útvary mědi, ale také drobné kulovité a protáhlé jehlovité útvary. Předpoklad je, že tyto struktury by měly být tvořeny IMC Cu_6Sn_5 . Po druhém přetavení se zdá struktura homogennější. Co se týče IMC vrstvy na rozhraní základního materiálu a pájky, tato by měla být opět tvořena vrstvou Cu_6Sn_5 (Obr. 24, Obr. 25). Oproti SAC305 jsou ale tyto útvary, zvláště po prvním přetavení, jemnější a menší (Tab. 1 a Obr. 10). Po druhém přetavení je vidět razantní nárůst této vrstvy, stále je ale poměrně malá (Tab. 1 a Obr. 10).

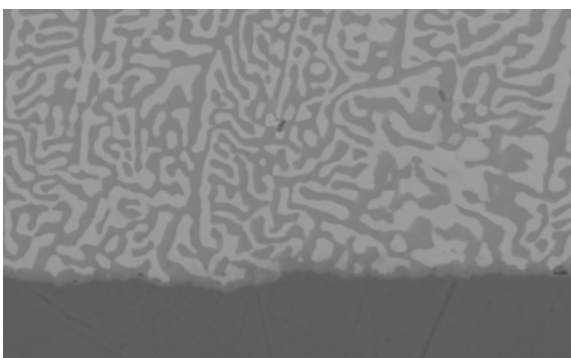
2.4.4 Vzorek 4 - Sn42Bi58:



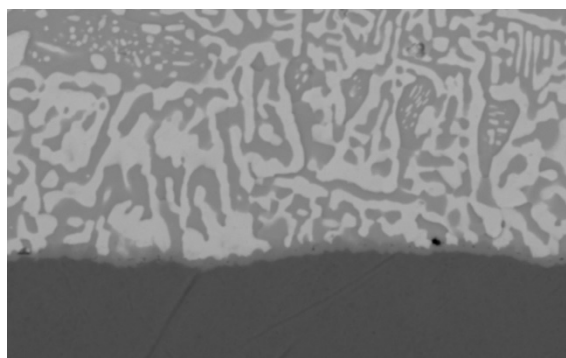
Obr. 27 1x přetavená Sn42Bi38 (3000x zvětšeno)



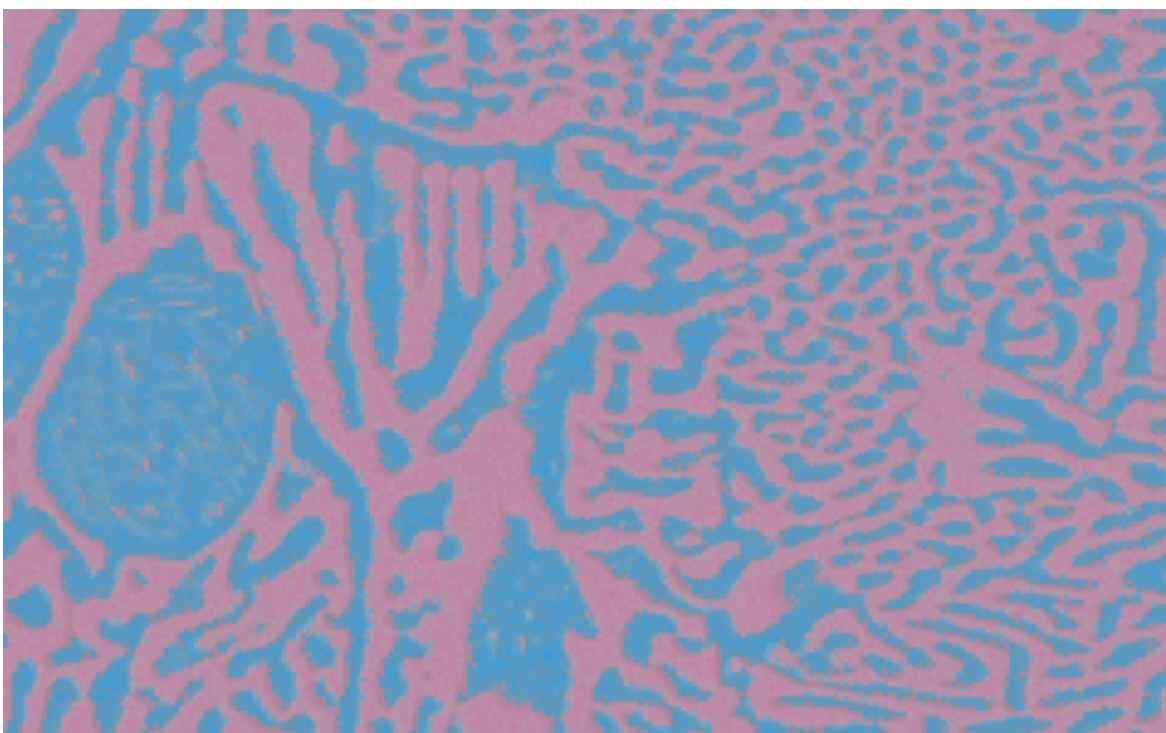
Obr. 28 2x přetavená Sn42Bi38 (3000x zvětšeno)



Obr. 29 1x přetavená Sn42Bi38 IMC vrstva
(3000x zvětšeno)



Obr. 30 2x přetavená Sn42Bi38 IMC vrstva
(3000x zvětšeno)



Obr. 31 EDX analýza Sn42Bi38 – 3000x zvětšeno (modrá – cín; růžová – bizmut)

Jedná se o jedinou testovanou eutektickou pájecí slitinu, což znamená, že všechny složky roztavené směsi tuhnou společně, na výbrusu se to projevuje nejvíce rovnoměrně rozloženou strukturou, kdy vidíme, zvláště na jedenkrát přetaveném vzorku, promíchané fáze cínu a bizmutu (Obr. 27). Na 2x přetaveném vzorku je již vidět tvoření jemněji promíchaných zrn (Obr. 28). Na rozhraní základního materiálu a pájky vzniká opět IMC vrstva Cu_6Sn_5 . Tato je ale výrazně tenčí, než u ostatních testovaných vzorků (Tab. 1 a Obr. 10). Vzhledem ke struktuře této nízkoteplotní eutektické pájky je předpoklad, k velice dobrým mechanickým vlastnostem, jako je pevnost v tahu a smyku.

2.5 Ekonomické zhodnocení

Pro ekonomické zhodnocení pájecích slitin byly vzaty ceny z českých e-shopů platné k 22. 5. 2024. Snažil jsem se pro každou pájku vzít cenu z alespoň dvou e-shopů a za různá množství, z těchto cen byla následně spočtena průměrná cena pro každou pájecí slitinu. Pro lepší představu byla do srovnání zahrnuta i olovnatá pájecí slitina Sn60Pb40. Jak je vidět z Tab. 2, cena pájek se může značně lišit na základě dodávaného množství, a to i značně. Např. slitina Sn99,3Cu0,7NiP se dá objednat v množství 10 g, toto však bude 5x dražší než balení 1 250 g. Také dosti kolísá cena pájecí pasty Sn42Bi58, kde v jednom e-shopu 500 g pasty vychází výrazně draž, než 50 g od konkurence. Zde si myslím, že může být na vině podíl pájecí slitiny a tavidla v pastě, bohužel se mi nepodařilo dohledat technické listy k těmto konkrétním produktům.

Jako nejlevnější pájecí slitina se jeví Sn99,3Cu0,7NiP od firmy MARMOT[®], která v balení 1 250 g vychází přesně na 100 Kč za 100 g pájky. Další v pořadí je klasická olovnatá pájka Sn60Pb40, je možné, že by tato pájka byla ještě levnější, avšak vzhledem k legislativnímu omezení použití, a tedy klesající poptávce, si pájka drží cenu výš. Nutno ještě podotknout, že tuto pájku již nelze koupit bez patřičného živnostenského oprávnění.

Dále je překvapující poměrně vysoká cena pájky SAC305 vzhledem k faktu, že se jedná dnes již o standardní pájecí slitinu. Vysoká cena je patrně způsobena vysokou cenou stříbra na trhu. Pokud by se ukázalo, že kvalitativní a technologické vlastnosti ostatních pájecích slitin jsou srovnatelné, ne-li lepší, znamenalo by to, že pájky typu SAC305 se stávají překonané.

Tab. 2 Porovnání cen pájecích slitin

E-shop	Forma pájky	Nabízené množství [g]	Cena za nabízené množství vč. DPH [Kč]	Cena přepočtená za 100 g vč. DPH [Kč]	Webová adresa
SAC305					
CONRAD	Δ tyč	250	1019,0	407,6	https://www.conrad.cz [15]
HOTAIR®	Drát ø0,5 mm	250	1016,4	406,6	https://www.hotair.cz [16]
HOTAIR®	Drát ø0,75 mm	500	1815,0	363,0	https://www.hotair.cz [17]
HOTAIR®	Drát ø0,75 mm	750	2541,0	338,8	https://www.hotair.cz [18]
Průměrná cena za 100 g [Kč]:				379,0	
Sn42Bi59					
PÁJENÍČKO.CZ	Pasta	50	169,0	338,0	https://pajenicko.cz [19]
HOTAIR®	Pasta	500	2783,0	556,6	https://www.hotair.cz [20]
Průměrná cena za 100 g [Kč]:				447,3	
Sn97Bi2Cu1P					
RASEL, spol. s.r.o.	Drát ø1 mm	12	40,0	333,3	https://www.rasel.cz [21]
RASEL, spol. s.r.o.	Drát ø1 mm	250	440,0	176,0	https://www.rasel.cz [22]
Marmot-shop.cz	Drát ø0,8 mm	250	545,0	218,0	https://www.marmot-shop.cz [23]
Marmot-shop.cz	Drát ø1 mm	1000	2500,0	250,0	https://www.marmot-shop.cz [24]
Průměrná cena za 100 g [Kč]:				244,3	
Sn99,3Cu0,7NiP					
Marmot-shop.cz	Drát ø1 mm	10	52,0	520,0	https://www.marmot-shop.cz [25]
KONDIK.CZ	Drát ø0,8 mm	40	149,0	372,5	https://www.kondik.cz [26]
Marmot-shop.cz	Drát ø1,5 mm	250	524,0	209,6	https://www.marmot-shop.cz [27]
Marmot-shop.cz	Drát ø0,5 mm	1250	1250,0	100,0	https://www.marmot-shop.cz [28]
Průměrná cena za 100 g [Kč]:				300,5	
Sn60Pb40					
PÁJENÍČKO.CZ	Drát ø0,6 mm	100	329,0	329,0	https://pajenicko.cz [29]
HOTAIR®	Drát ø0,7 mm	500	1101,1	220,2	https://www.hotair.cz [30]
Marmot-shop.cz	Drát ø1 mm	1000	1399,0	139,9	https://www.marmot-shop.cz [31]
RASEL, spol. s.r.o.	Drát ø1 mm	1000	1600,0	160,0	https://www.rasel.cz [32]
Průměrná cena za 100 g [Kč]:				212,3	

Závěr

Co se vlastností a použití testovaných pájek týče, tak se zdají být plně zaměnitelné, s výjimkou Sn42Bi58, která má podstatně nižší teplotu tání, což by v některých aplikacích mohl být problém (a obráceně, jsou součástky, které je třeba pájet nízkou teplotou).

Z výsledků experimentů této práce a ekonomického zhodnocení mi vychází obě bezolovnaté pájky firmy MARMOT® jako lepší náhrada za SAC305. Všechny tři pájky mají podobnou pracovní teplotu i technologickou oblast použití (ruční pájení, pájení vlnou, ...). Z pohledu tvorby IMC vrstvy na rozhraní pájeného spoje mi připadají tyto dvě pájecí slitiny také lepší. Obě tvoří IMC vrstvy o menší tloušťce a struktura vybíhajících útvarů těchto vrstev je jemnější, což dává předpoklad větší mechanické pevnosti. Toto by však chtělo potvrdit nebo vyvrátit samostatným experimentem. S pájecí slitinou Sn42Bi58 příliš zaměnitelné nebudou, hlavně s přihlédnutím k pracovní teplotě i jiné struktuře. Bylo by ale zajímavé porovnání mechanických vlastností těchto slitin.

Při zpracování projektu jsem se dozvěděl mnoho věcí z oblasti mechanismu vzniku pájeného spoje. Ale také o metodách testování a měření kvalitativních vlastností pájek. Zvláště přínosné pro mě bylo, krom praktické části, pročítání materiálů, které posloužily jako zdroje k sepsání teoretické části této práce. Práce byla pojata jako srovnání méně známých bezolovnatých pájek na základě praktického experimentu a měření, což si myslím, že splnila (hlavně ve smyslu srovnání pájek firmy MARMOT®, jejichž testy jsem v jiných zdrojích nenašel), nicméně v budoucnu bych ji asi pojal trochu jinak a zaměřil se více na užité vlastnosti pájek, technologičnost pájení a elektrické a mechanické vlastnosti. Jistě by bylo zajímavé provést zkoušku tahem, rázem a stárnutím. Do budoucna bych chtěl také zjistit chování těchto pájek v extrémních podmínkách kosmického použití – chlad a ionizující záření.

Seznam literatury a informačních zdrojů

- [1] BARTÁK, Jiří. Fyzikální podstata pájení. [online]. Techportal: ©2012 [cit. 19. 3. 2024]. Dostupné z: https://www.techportal.cz/searchcontent.phtml?getFile=2AXR_TUAMiBFGAgUc6BzY5pKR4a_RmSdJyeRJhvvhWt6GT3USXlrOHEn2FFltCyda4qSAP2hZNnz_st-3-A4fw
- [2] HRABÁK, Petr. Vznik a růst intermetalických sloučenin u bezolovnatých pájených spojů. V Plzni, 2014. Bakalářská práce (Bc.). Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce Ing. Václav Wirth.
- [3] Ministerstvo průmyslu a obchodu, Odbor 31200. [online]. ©14. 5. 2019 [cit. 20. 3. 2024]. Dostupné z: <https://www.mpo.cz/cz/prumysl/prumysl-a-zivotni-prostredi/rohs-elektrozarizeni/zakladni-informace-k-problematice-rohs--158558/>
- [4] Bc. PŘÍBEK Petr. Intermetalické sloučeniny bezolovnatých pájecích slitin. V Plzni, 2015. Diplomová práce (DP). Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta elektrotechnická. Vedoucí práce doc. Ing. František Steiner, Ph.D.
- [5] WELCO spol. s r. o. Měkké pájení. [online]. ©30. 10. 2019 [cit. 21. 3. 2024]. Dostupné z: https://www.welco.cz/file/download?id=1747&route_url_id=357
- [6] MARMOT – laboratoře pro chemickou výrobu a služby elektronikům. [online]. ©2024 [cit. 25. 3. 2024]. Dostupné z: <https://www.MARMOT.cz/>
- [7] Shenzhen Huaqiu Electronics Co., Ltd. [online]. ©2024 [cit. 2. 4. 2024]. Dostupné z: <https://www.nextpcb.com/blog/lead-vs-lead-free-solder>
- [8] Cynel-Unipress Sp. z o.o. [online]. ©2023 [cit. 7. 4. 2024]. Dostupné z: <https://www.cynel.com.pl/en/products/103-sn96-5ag3cu0-5-sac305>
- [9] SENZHEN BBIEN TECHNOLOGY CO., LTD. [online]. ©2024 [cit. 7. 4. 2024]. Dostupné z: <http://cz.bbiansolders.com/bar-solder/lead-free-alloy-wave-soldering-bar/sac305-lead-free-wave-silver-soldering-bar.html>
- [10] Qualitec international, Inc. [online] ©2023 . [cit. 10. 5. 2024]. Dostupné z: https://www.qualitek.com/sn42_bi58_solder_wire_tech_data.pdf

- [11] Ing. PLAČEK Martin. Sledování vlastností bezolovnatých pájených spojů. V Praze, 2019. Disertační práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta elektrotechnická. Školitel: doc. Ing. Karel Dušek, Ph.D. Školitel specialista: Ing. David Bušek, Ph.D.
- [12] EL-BEDIWI Abu Bakr. Materials science. Volume 10, Issue 8. Mansoura, 2014. Dostupné z: <https://www.tsijournals.com/articles/structural-electrical-mechanical-and-soldering-properties-of-new-proposed-tinzinccadmium-lead-free-solder-alloys.pdf>
- [13] Doc, Ing. MACH Pavel CSc. Montáž v elektrotechnice. Vyd. 1. Praha: ČVUT, 2001, 440 s. ISBN 80-010-2392-3.
- [14] JURMANOVÁ Jana. Energiově-disperzní spektroskopie EDX. CEPLANT. V Brně 2024. Dostupné z: <https://ceplant.cz/media/3490970/p3-edx.pdf>
- [15] CONRAD. [online]. ©2024 [cit. 22. 5. 2024]. Dostupné z: https://www.conrad.cz/cs/p/stannol-flowtin-tsc305-fairtin-bezolovnaty-pajeci-cin-bez-olova-sn96-5ag3cu0-5-flussmittelfrei-230-g-2104759.html?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwgdayBhBQEiwAXhMxtgOH7kvt9pfdnGic8ctj3Bnb8tD4WUpj5EEwjItWuluq5gHshlfIvhoC_UoQAvD_BwE#productDownloads
- [16] HOTAIR®. [online]. ©2024 [cit. 22. 5. 2024]. Dostupné z: <https://www.hotair.cz/detail/pasty-ciny-lepidla/bezolovnaty/bezolovnaty-cin-alpha-telecore-3-3-sac305-250g-0-5mm.html>
- [17] HOTAIR®. [online]. ©2024 [cit. 22. 5. 2024]. Dostupné z: <https://www.hotair.cz/detail/pasty-ciny-lepidla/bezolovnaty/bezolovnaty-cin-alpha-telecore-hf-850-2-2-sac305-500g-0-75mm.html>
- [18] HOTAIR®. [online]. ©2024 [cit. 22. 5. 2024]. Dostupné z: <https://www.hotair.cz/detail/pasty-ciny-lepidla/cin-pro-pajeni/bezolovnaty-cin-alpha-telecore-xl-825-sac305-s-sn96-5ag3cu0-5-750g-0-75mm.html>
- [19] PÁJENÍČKO.CZ. [online]. ©2024 [cit. 22. 5. 2024]. Dostupné z: <https://pajenicko.cz/bezolovnata-pajeci-pasta-best-bst-706a-50g-s-nizkym-bodem-tani-sn42bi59>
- [20] HOTAIR®. [online]. ©2024 [cit. 22. 5. 2024]. Dostupné z: <https://www.hotair.cz/detail/pasty-ciny-lepidla/cinove-pasty/bezolovnata-pajeci-pasta-s-nizkym-bodem-tani-sn42bi58-500g.html>

- [21] RASEL, spol. s.r.o.. [online]. ©2024 [cit. 22. 5. 2024]. Dostupné z: <https://www.rasel.cz/cin-bezolovnaty-sn97bi2cu1p-1mm-12g-p27857/>
- [22] RASEL, spol. s.r.o.. [online]. ©2024 [cit. 22. 5. 2024]. Dostupné z: <https://www.rasel.cz/cin-bezolovnaty-sn97bi2cu1p-1mm-250g-p27718/>
- [23] Marmot-shop.cz. [online]. ©2024 [cit. 22. 5. 2024]. Dostupné z: <https://www.marmot-shop.cz/p/bezolovnata-pajka-sn97bi2cu1p-mtl-568-o-0-8mm#209>
- [24] Marmot-shop.cz. [online]. ©2024 [cit. 22. 5. 2024]. Dostupné z: <https://www.marmot-shop.cz/p/bezolovnata-pajka-sn97bi2cu1p-mtl-568-o-1mm>
- [25] Marmot-shop.cz. [online]. ©2024 [cit. 22. 5. 2024]. Dostupné z: <https://www.marmot-shop.cz/p/bezolovnaty-cin-sn99-3cu0-7nip-mtl-568-o-1mm>
- [26] KONDIK.CZ. [online]. ©2024 [cit. 22. 5. 2024]. Dostupné z: <https://www.kondik.cz/cinova-pajka-sn99-3cu0-7nip-0-8mm/>
- [27] Marmot-shop.cz. [online]. ©2024 [cit. 22. 5. 2024]. Dostupné z: <https://www.marmot-shop.cz/p/bezolovnata-pajka-mtl-568-sn99-3cu0-7nip-o-1-5mm#180>
- [28] Marmot-shop.cz. [online]. ©2024 [cit. 22. 5. 2024]. Dostupné z: <https://www.marmot-shop.cz/p/bezolovnata-pajka-sn99-3cu0-7nip-mtl-568-o-0-5mm#267>
- [29] PÁJENÍČKO.CZ. [online]. ©2024 [cit. 22. 5. 2024]. Dostupné z: https://pajenicko.cz/olovnata-pajka-kovohute-pribram-0-dot-6mm-100g-sn60pb40?gad_source=1&gclid=CjwKCAjwgdayBhBQEiwAXhMxtto8MkOMDeFyFJ61hHXCtpdtDcfly5lhyetL4LYpRs5AtBBaYL5aphoCN28QAvD_BwE
- [30] HOTAIR®. [online]. ©2024 [cit. 22. 5. 2024]. Dostupné z: <https://www.hotair.cz/detail/pasty-ciny-lepidla/olovnaty/trubickovy-cin-0-7mm-sn60pb40-hs10-stannol-500g.html>
- [31] Marmot-shop.cz. [online]. ©2024 [cit. 22. 5. 2024]. Dostupné z: <https://www.marmot-shop.cz/p/olovnata-pajka-sn60pb40-mtv-009#196>
- [32] RASEL, spol. s.r.o.. [online]. ©2024 [cit. 22. 5. 2024]. Dostupné z: <https://www.rasel.cz/cin-1-0mm-sn60pb40-1-0kg-p15199/>

Přílohy



Laboratoře pro chemickou výrobu
a služby elektronikům

Roztocká 145, Velké Přílepy 252 64, Česká Republika.
Tel.: 420 220 930 076, Fax: 420 220 930 196, e-mail: marmot@marmot.cz, www.marmot.cz

Technický list	Sn97Bi2Cu1P
Název produktu:	Pájka MARMOT Sn97Bi2Cu1P
Popis výrobku:	<ul style="list-style-type: none"> • Patentovaná bezolovnatá (RoHS) pájka MARMOT® určená pro pájení v elektrotechnice. • Pájka má výbornou roztékavost, netvoří mikrotrhliny. • Svou účinností plně nahrazuje pájky s obsahem drahého stříbra. • Nízká pracovní teplota – podstatná vlastnost pro pájení plastových konektorů a oček. • Povrch pájeného spoje nedosahuje vysokého lesku. • Obsah Mědi redukuje rozpouštění měděných pájených částí. • Obsah Bismutu snižuje vnitřní molekulární prnutí a zvyšuje pevnost pájeného spoje. • Obsah Fosforu zlepšuje roztékavost pájky, omezuje vzdušnou oxidaci.

Technická specifikace pájky		Sn97Bi2Cu1P				
Obchodní název:		Tyčový pájka MARMOT Sn97Bi2Cu1P				
Dodáváno ve formě lité tyče nebo drátu bez tavidla						
Průměr a balení		10x10x10x400	mm			
		25x45/50x400	mm			
Složení:						
		Legování		Rozsah		
			J	min.	max.	J
Ag	Stříbro		%	0,000	0,050	%
Bi	Bismut	1,80	%	1,600	2,400	%
Fe	Železo		%	0,000	0,020	%
P	Fosfor	0,10	%	0,020	0,200	%
Sb	Antimon		%	0,000	0,050	%
Al	Hliník		%	0,000	0,001	%
Cd	Kadmium		%	0,000	0,002	%
In	Indium		%	0,000	0,050	%
Pb	Olovo		%	0,000	0,049	%
As	Arzen		%	0,000	0,010	%
Cu	Měď	0,65	%	0,600	0,800	%
Ni	Nikl		%	0,000	0,010	%
Zn	Zinek		%	0,000	0,001	%
Sn	Cín	97,45	%	zbytek	zbytek	%
Bod tání:		223–225	°C			
Pracovní teplota:		252	°C			
Pracovní teplota je kdy pájka má nejlepší roztékavost pro pájení.						



Laboratoře pro chemickou výrobu
a služby elektronikům

Roztocká 145, Velké Přílepy 252 64, Česká Republika.
Tel.: 420 220 930 076, Fax: 420 220 930 196, e-mail: marmot@marmot.cz, www.marmot.cz

Technický list	Sn99,3Cu0,7NiP
Název produktu:	Pájka MARMOT Sn99,3Cu0,7NiP
Popis výrobku:	<ul style="list-style-type: none"> • Patentovaná bezolovnatá (RoHS) pájka MARMOT® určená pro pájení v elektrotechnice. • Pájka má výbornou roztékavost, netvoří mikrotrhliny. • Povrch pájeného spoje dosahuje zrcadlového lesku. • Standardní pracovní teplota pro bezolovnaté pájky. • Svou účinností plně nahrazuje pájky s obsahem drahého stříbra. • Obsah Mědi redukuje rozpouštění měděných pájených částí. • Obsah Niklu redukuje rozpouštění niklových součástí pájecího zařízení, jako jsou pájecích hroty, čerpadla, vany dále omezuje oxidaci slitiny • Obsah Fosforu zlepšuje roztékavost pájky, omezuje vzdušnou oxidaci.

Technická specifikace pájky		Sn99,3Cu0,7NiP	
Obchodní název:	Tyčová pájka MARMOT Sn99,3Cu0,7NiP		
Dodáváno ve formě lité tyče nebo drátu bez tavidla.			
Průměr a balení	10x10x10x400	mm	
	25x45/50x400	mm	
Složení:			
	Legování		Rozsah
		J	min. max. J
Ag	Stříbro	%	0,000 0,050 %
Bi	Bismut	%	0,000 0,050 %
Fe	Železo	%	0,000 0,020 %
P	Fosfor	0,1 %	0,020 0,200 %
Sb	Antimon	%	0,000 0,050 %
Al	Hliník	%	0,000 0,001 %
Cd	Kadmium	%	0,000 0,002 %
In	Indium	%	0,000 0,050 %
Pb	Olovo	%	0,000 0,049 %
As	Arzen	%	0,000 0,010 %
Cu	Měď	0,65 %	0,600 0,800 %
Ni	Nikl	0,05 %	0,030 0,099 %
Zn	Zinek	%	0,000 0,001 %
Sn	Cín	99,20 %	zbytek zbytek %
Bod tání:	225–228	°C	
Pracovní teplota:	280	°C	
Pracovní teplota je kdy pájka má nejlepší roztékavost pro pájení.			