

PÁJENÍ A BEZOLOVNATÉ PÁJKY

Doc. Ing. Ivan Szendiuch, CSc.

Podle legislativy Evropské unie vstoupí k datu 1.7.2006 ve všeobecnou platnost nařízení týkající se stažení všech zařízení z vnitřního trhu, která obsahují větší než povolené množství některé nebezpečné látky. Za nebezpečné látky jsou považovány především těžké kovy, mezi něž patří také olovo. V elektronice se toto nařízení vycházející z ekologických norem (ECO) a dalších souvisejících norem (WEEE – Waste Electrical and Electronic Equipment, atd.) výrazně dotýká olovnatých pájek, jež jsou po dlouhá desetiletí neodmyslitelným a masově používaným materiálem při výrobě elektronických a elektrotechnických zařízení. Dále se bude od ledna 2006 platit také za likvidaci vlastních výrobků (viz normy WEEE), podobně jako je tomu dnes v případě obalů. To znamená, že není nutné pochybovat o nutnosti nahradit olovnaté pájky pájkami bezolovnatými a je třeba se na tuto skutečnost předem připravit.

Ve světě je náhrada bezolovnatých pájek řešena na kontinentálních úrovních, např. v Japonsku nastoupili již před léty vlastní cestu, a firmy postupně přechází na pájení bezolovnatými pájkami. V USA již v roce 1993 zavedli poplatky za používání vybraných škodlivých látek mezi něž patří i olovnaté pájky, a proto i tam je enormní zájem o náhradu olovnatých pájek. Všeobecně bude zájem firem o přechod na bezolovnaté pájení nepochybně rychle stoupat také z důvodu ověření konkurenčních výhod u výrobků, které nezatežují životní prostředí („green product“). Statisticky je totiž zjištěn v průběhu posledních dvou let jejich zvýšený prodej o 10-20% v porovnání s ostatními „neekologickými“ produkty.

Jaké jsou aktuální oblasti problémů spojených se zaváděním bezolovnatých pájek? Ke zodpovězení této otázky je třeba pochopit širokou škálu souvisejících skutečností.

Pájky jsou většinou tvořeny binárními nebo ternárními slitinami kovů. Jejich chování je popsáno fázovými diagramy, v nichž je vyznačena čára liquidu určující teplotu přechodu slitiny do tekutého stavu. Samotný pájený spoj je pak tvořen přibližně 75% pájkou, zbylých 25% tvoří povrch pájecí plochy a vývod součástky. Z toho je zřejmé, že pájka je v procesu pájení základní součástí, a proto musí být jejímu výběru věnována nejvyšší pozornost. Při volbě pájky je posuzována řada požadavků, z nichž rozhodující jsou ve většině případů následující kritéria:

- Cena a dostupnost
- Elektrické a mechanické vlastnosti
- Pájitelnost v daném procesu

Jinými slovy pájka musí být na trhu za cenu odpovídající požadavkům konkrétního typu výrobku, její aplikace musí zajišťovat technologickou slučitelnost s příslušným typem výrobního procesu a parametry pájených spojů musí splňovat požadavky na jakost finálního výrobku v nejširším slova smyslu.

Je skutečností, že přechod na bezolovnaté pájky s sebou přináší řadu změn a nových faktorů, a bezpochyby i zásah do technologického procesu resp. do procesu pájení. Kromě odlišných vlastností je podstatná i ta skutečnost, že použití bezolovnatých pájek prozatím přináší také zvýšení nákladů.

Složení bezolovnatých pájek

Většina bezolovnatých slitin je dražší, než klasická Sn/Pb pájka. Pro bezolovnaté pájky je v převážné většině slitin nutná přítomnost minimálně 60% Sn a zbytek je doplňován většinou drahými kovy. Cena slitiny je závislá na ceně jednotlivých složek a odvíjí se od dostupnosti obsažených prvků. Dostupnost a cena každého prvku je pak závislá na velikosti jeho celosvětových zásob.

Na trhu se již dnes vyskytuje celá řada bezolovnatých pájek, avšak jejich způsob použití není zcela shodný s Sn/Pb pájkami. Zásadní, i když zdaleka ne jediný rozdíl je bod tavení pájkové slitiny, který je obvykle vyšší. Zatímco Sn/Pb pájky dosahují tekutého stavu při teplotě 183°C, u převážné většiny bezolovnatých pájek je tento stav dosažitelný v rozmezí teplot 195°C–227°C, v závislosti na jejich složení (viz Tabulka1).

Tabulka 1 Některé používané bezolovnaté pájky

Oblast tavení (°C)	Pájka	Využití v průmyslu	Společnost
Slitiny s vysokým bodem tavení (>210°C)			
227	Sn/Cu	Spotřebitelský	Panasonic 3)
		Telekomunikace	Nortel
221	Sn/Ag *		
217	Sn/Ag/Cu	Automobilový	Panasonic 2)
		Telekomunikace	Nokia, Nortel, Panasonic Toshiba
217	Sn/Ag/Cu/Sb *		
	Sn/In/Ag *		
	Sn/Ag/Cu/Zn *		
	Sn/Ag/Bi/Cu	Vojenský/Letecký	Panasonic
	Sn/Ag/Bi/Cu/Ge	Spotřebitelský	Sony
Slitiny s bodem tavení v rozsahu 180-210°C			
206-213	Sn/Ag/Bi/X	Spotřebitelský	Panasonic
206-213	Sn/Ag/Bi	Vojenský/Letecký	Panasonic 1)
		Spotřebitelský	Hitachi
199	Sn/Zn	Spotřebitelský	NEC, Pan., Toshiba 4)
Slitiny s nízkým bodem tavení (<180°C)			
	Sn/Bi/Zn *		
138	Sn/Bi		Panasonic

Poznámky k tabulce 1 :

- 1) je náchylná na kontaminaci Pb, které zhorší výrazně vlastnosti.
 - 2) Sn_{95,5}/Ag₄/Cu_{0,5} – je nejstarší slitinou objevenou v první polovině minulého století a proto není patentovatelná, není náchylná na kontaminace, proto v jiném složení je nejčastěji patentovanou slitinou pro pájky (např. Sn_{96,5}/Ag₃/Cu_{0,5} – bod tavení kolem 220°C, je asi o 36°C vyšší než u olovnatých pájek). V důsledku obsahu stříbra je její cena vyšší. Je vhodná pro vlnu, přetavení i ruční pájení.
 - 3) je náchylná na kontaminace, zvyšuje se teplota tavení (Sn_{99,3}/Cu_{0,7}).
 - 4) Sn₉₁/Zn₉ – je levná, ale Zn je náchylné k oxidaci a k nečistotám celkem (pájení v dusíku zřejmě nutné). Zn pak zhoršuje i smáčivost a zkracuje i skladovatelnost. Má bod tavení blízký olovnatým pájkám (199°C).
- *) Zatím nepříliš používané slitiny zkoumané pro jejich možné využití.

Tepelné zpracování bezolovnatých pájek

Vzhledem k tomu, že proces přetavení bezolovnaté pájky probíhá v daleko užším rozsahu teplot než je tomu u klasických olovnatých pájek („process window“ je užší), je vyžadováno, aby pájecí vlny či pece pro pájení přetavením fungovaly s mnohem vyšší přesností. V případě pájení přetavením, které dnes v technologii povrchové montáže převládá, je proto vhodné použít pece s urychleným prouděním, u nichž je snadnější udržování kontroly teploty i při vyšších hodnotách.

Řada dodavatelů bezolovnatých past rovněž doporučuje použití ochranné atmosféry s dusíkem. Ten redukuje tvorbu oxidu v pájeném spoji, a tím výrazně podporuje nejen lepší smáčivost, ale v konečném provedení i vyšší jakost samotného spoje.

Jelikož spoje vytvářené užitím bezolovnatých pájek jsou vzhledově matnější, než spoje vytvářené Sn/Pb pájkami, lze v ochranné dusíkové atmosféře částečně potlačit i tento vzhledový jev.

Pece pro pájení přetavením prochází neustálým vývojem, jehož modernizace spočívá nejen v systému urychleného proudění, ale i v dalších konstrukčních zlepšeních, které zahrnují především:

- zvětšení počtu přetavovacích zón a změnu v konfiguraci těchto zón
- redukci celkové délky pece
- zlepšené možnosti centrování desky

Pece konstruované pro přetavení bezolovnatých pájek jsou typické vícesektorovou přetavovací zónou, přičemž délka jednotlivých zón se zkracuje. Tato nová konfigurace přináší lepší kontrolu procesu. Moderní výrobní pece mají přehřívací, přetavovací i chladicí zónu, a jejich délka je kolem 350 cm, a to při stejné propustnosti jakou mají obvyklé pece délky 400 cm a více.

Centrování desky spočívá v reagování na vliv vyšších teplot na pájené desce. Vzroste-li totiž teplota nad 150°C, vstupuje pájená deska do tzv. fáze skelného přechodu, což vyvolává prohnutí desky. Vyšší teplota zvyšuje míru prohnutí a také nebezpečí trvalé deformace desky. To je kritické právě při přetavení první osazené strany u oboustranně osazených desek, protože následné osazování druhé strany prohnuté desky by bylo obtížné. Nejnovější řešení podpory centrování desky zahrnují tento mechanismus jen v těch sekcích pece, kde je to vyžadováno, tj. v sekci přetavení a chlazení.

Navíc přetavovací pece využívající dusík vyžadují oddělení sběru tavidla za účelem jeho odstranění z pece. Se zaváděním norem řady ISO 14000 je vyžadován podobný systém i pro technologii přetavení bez ochranné atmosféry. A to za účelem zamezení úniku těkavých látek do ovzduší. Automatický systém zajišťující odstranění tavidla rovněž slouží k uchování vnitřní čistoty pece a minimalizaci přerušování výroby za účelem údržby pece.

Význam ochranné atmosféry při pájení

V průběhu klasického pájení je teplota v peci vysoká a ve vzduchu je obsažen kyslík, což vede k rychlejší oxidaci kovových povrchů, než při normálních podmínkách. K odstranění tohoto jevu ještě před provedením samotného pájecího procesu se běžně používají tavidla obsažená v pastě. Ty však mohou negativně ovlivnit následnou spolehlivost a životnost spoje.

Z důvodů požadavku omezení, nebo dokonce vyloučení použití tavidel při pájení se hledaly další možnosti, jak zabránit vzniku oxidů v pájeném spoji. Ze samotné podstaty oxidace je zřejmé, že jednou z cest je zamezení přístupu kyslíku do prostoru pájení vytvořením ochranné atmosféry, například dusíku (N₂). Čím nižší bude objem kyslíku uvnitř pece, tím více bude redukována i oxidace kovů. Z toho je patrné, že bude-li objem zbytku kyslíku nízký, bude také možné použít pasty s nižším objemem tavidla, což je jeden z hlavních důvodů pro použití této metody. Mimo toho tím také získáme výrazně lepší smáčivost pájených povrchů v důsledku dosažení vyššího povrchového napětí a tím budou také vytvořeny předpoklady pro dosažení vyšší jakosti pájených spojů.

Dalšími důvody pro použití ochranné atmosféry jsou také stále přísnější předpisy týkající se ochrany životního prostředí, rostoucí požadavky na jakost, a také připravenost pro pájení nových typů stále menších součástek.

Dosažení určitého zlepšení u pájení přetavením je pozorovatelné již od hladiny kyslíku 1000ppm. Při hodnotě 500ppm již lze pozorovat zřetelně dobrou smáčivost a také potlačení možné změny barvy desek plošných spojů v blízkosti spojů.

Hlavní výhody pájení v ochranné atmosféře lze shrnout do následujících bodů:

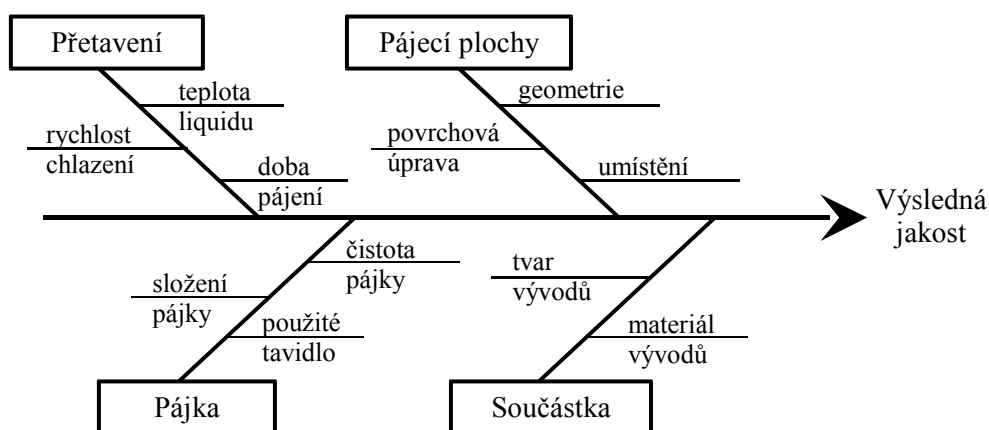
- redukce použití tavidel (aspekt ochrany životního prostředí)
- lze pájet přímo na Cu povrch a další typy nepocínovaných povrchů
- definovanější a vzhlednější pájené spoje (z kosmetického pohledu)
- lepší smáčivost součástek
- nižší pravděpodobnost opálení desky a také zbytků tavidla
- omezení tvoření zkratů a nezapájených spojů

Nevýhody pájení v ochranné atmosféře jsou vyšší pořizovací i provozní náklady, způsobené stálou spotřebou plynu. Z cenových důvodů je k výrobě ochranné atmosféry používán dusík. Spotřeba je závislá na propustnosti a rozměrech desky, stejně jako na počtu a typu součástek. S ohledem na reálné výrobní podmínky (100 desek/h, délka 300mm, šířka 300mm) spotřebují plně konvekční pájecí pece pro zbytkový objem kyslíku 400ppm asi 15m³/h N₂.

V současné době se používá ochranná atmosféra s dusíkem odhadem již u několika desítek procent pájecích pecí. Ačkoliv přestavení standardních pecí (těch, které nejsou schopny pracovat s ochrannou atmosférou) není obvykle možné, řada firem se pro pece s ochrannou atmosférou rozhoduje proto, aby byly připraveny pro případ, kdy bude pájení v dusíkové atmosféře nezbytné. Alternativou jsou pak konstrukce pecí, které lze přizpůsobit pro použití ochranné atmosféry dodatečně.

Teplotní profil pro pájení přetavením

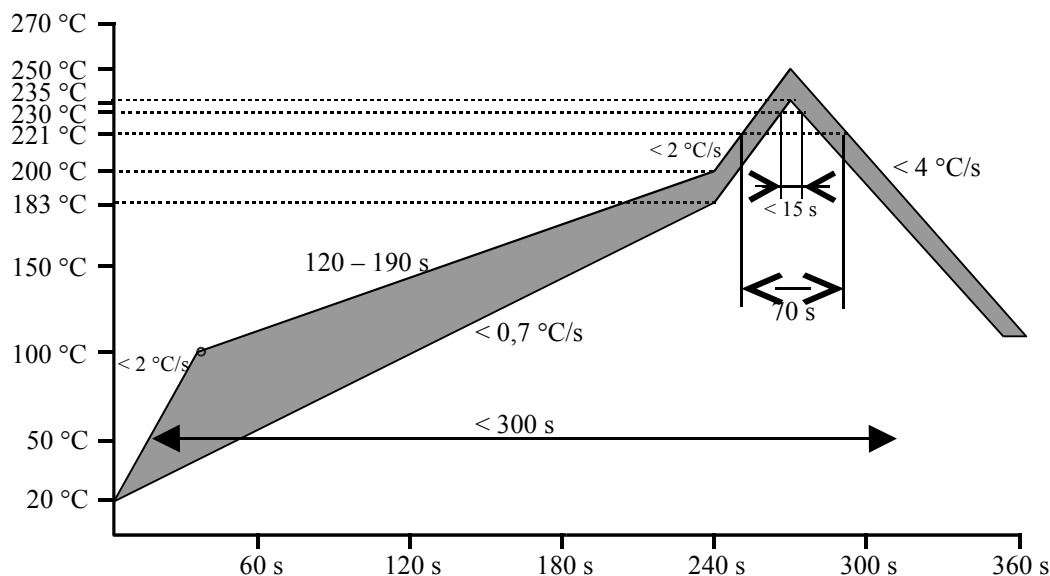
Stanovení optimálního teplotního profilu (závislost průběhu teploty na čase) prochází jistým vývojem. Optimálním teplotním profilem se rozumí takový profil, který zajistí maximální jakost a životnost pájeného spoje. Zachytit všechny technologické faktory působící v procesu pájení je velmi obtížné, avšak alespoň ty nejdůležitější jsou znázorněny v Ishikawově diagramu na obr.1.



Obr.1 Ishikawův diagram pro proces pájení

- Z diagramu je patrné, že v procesu pájení působí na životnost spoje čtyři základní faktory:
- teplotní profil
 - náběh teploty liquidu
 - teplota nad liquidem
 - doba liquidu
 - rychlost chlazení
 - geometrie pájecích ploch
 - tvar
 - velikost
 - umístění na substrátu
 - materiál pájecích ploch
 - čistota
 - složení
 - povrchová úprava
 - pájka
 - složení
 - čistota
 - tavidlo

Doporučený teplotní profil, včetně doby a rychlosti ohřevu, pro bezolovnaté slitiny pájek je zobrazen na obr. 2.



Obr.2 Doporučený teplotní profil pro bezolovnaté slitiny

Vyšší hodnoty bodu tavení zkracují dobu trvání procesu. Eutektické Sn/Pb pájky mají bod tavení 183°C a plně tekutého stavu dosahují v teplotním rozmezí 205°C - 215°C. Maximální teplot substrátu PCB se v tomto případě pohybuje v teplotním rozmezí 240°C - 250°C. Teplotní proces tedy probíhá v teplotním rozsahu (oblast shody) $\Delta T = (25-45) \text{ }^\circ\text{C}$.

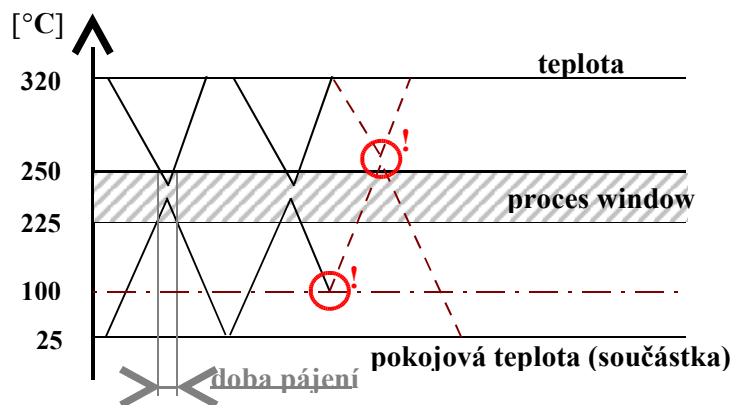
Avšak bod tavení většiny bezolovnatých pájek se pohybuje v rozsahu 215°C - 220°C a teplota plně tekutého stavu se pohybuje v rozmezí 225°C - 235°C. Jelikož maximální možná teplota PCB zůstává stejná, zúží se tedy teplotní rozsah průběhu procesu na $\Delta T = (15-25) \text{ }^\circ\text{C}$. Tento užší rozsah teplot vyžaduje, aby pec pro přetavení fungovala s vyšší úrovní schopnosti reprodukce, přesnosti a přesným dávkováním energie.

Kromě vyšších teplot vyžaduje většina bezolovnatých pájecích past prodlouženou dobu setrvání v tekutém stavu, obvykle 60 až 90 sekund oproti tradičním 40 až 60 sekundám.

Ruční pájení, jehož teplotní profil je znázorněn na obr.3, se vyznačuje některými specifickými vlastnostmi souvisejícími se značným podílem působení subjektivního faktoru v průběhu této operace. Pro ruční pájení platí obecně následující pravidla:

- Je nutné definovat vztah mezi teplotou pájky a teplotou hrotu. Aby bylo dosaženo co požadované teploty pájky v co nejkratším čase, musí být teplota hrotu mezi 320 a 350°C.
- Vyrovnání teploty mezi hrotem a pájeným spojem se musí pohybovat v pásmu nad bodem tání pájky (asi 225°C) a pod hranicí 250°C, kde už je pájená součástka vystavena nebezpečí poškození a v pájeném spoji dochází k nárůstu difúzní vrstvy.
- Čas vlastního pájení (tedy doby, kdy se pájka nachází v tekutém stavu) se pohybuje mezi 2 až 4 sekundami (závisí i na typu a rozměrech součástek, u součástek menších rozměrů a hmotností je tento čas ještě o poznání nižší).
- Celkový čas pájení včetně ohřevu závisí na výkonu pájedla, tepelném odporu pájecího hrotu a teplotních přechodových odporech. Celkový čas pájení včetně ohřevu závisí na výkonu pájedla, tepelném odporu pájecího hrotu a teplotních přechodových odporech.

Z obr.3 je patrné, že mezi jednotlivými cykly pájení je nutné, aby se teplota součástky dostala zpět na svou původní hodnotu. Při nedostatečné časové prodlevě by totiž výměna tepla mezi hrotem (320°C) a součástkou (100°C) znamenala, že k vyrovnání teplot mezi hrotem a součástkou dojde právě při teplotě vyšší než 250°C, což by mohlo znamenat nejen teplotní ohrožení pájené součástky, ale také nežádoucí nárůst difúzní vrstvy v pájeném spoji.



Obr.3 Simulace teplotního profilu při ručním pájení

Jakost pájeného spoje

Jakost pájených spojů může být posuzována z různých hledisek. Z funkčního hlediska je ve většině případech rozhodujícím parametrem životnost pájeného spoje. Je to čas, po který je zaručena spolehlivá funkce, to znamená vodivost spoje. To je ovlivněno řadou faktorů, z nichž mezi ty nejzákladnější patří:

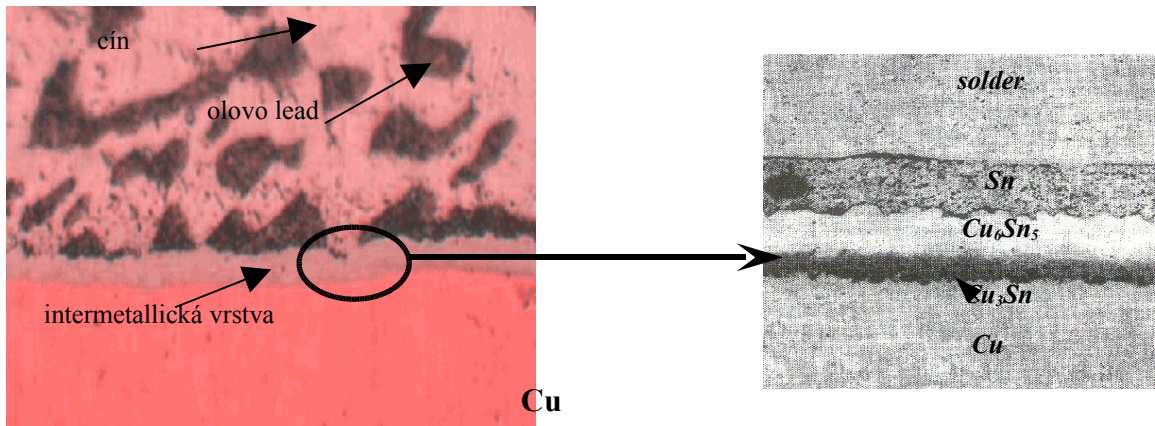
- a) stárnutí materiálů
- b) mechanické namáhání
- c) teplotní namáhání

Ada) Stárnutí materiálu

Pájený spoj představuje heterogenní dynamický systém, jehož přibližné složení tvoří 75% pájky, 15 - 20% kontaktní plochy na substrátu a 5 - 10% vývod součástky. I když procentuální zastoupení jednotlivých složek může být odlišné, jejich podíl na jakosti spoje může být různý. To znamená, že je všem třem složkám podílejícím se na pájitelnosti nezbytné věnovat na počátku stejnou pozornost.

Základní otázkou je, jakým způsobem lze životnost spoje určit, resp. jakou životnost pájených spojů lze pro danou aplikaci zaručit. Životnost spoje lze v tomto případě chápat jako čas resp. dobu, po níž je zaručena spolehlivá funkce spoje.

Stárnutí pájených spojů je zásadním způsobem ovlivněno tvorbou difúzní vrstvy vytvořené na rozhraní cínu a mědi, jak je patrné z obr.4. Tato vrstva na jedné straně potvrzuje, že došlo k vytvoření pájeného spoje, ale na straně druhé působí negativně na zhoršení jeho vlastností, ať už zvyšováním odporu spoje nebo s postupem času dokonce jeho mechanickým narušením. Difúzní vrstva je tvořena intermetalickými slitinami Cu_6Sn_5 , Cu_3Sn atd., které mají tu vlastnost, že s časem narůstají resp. zvyšují svoji tloušťku, což je výrazně urychlováno působením zvýšených teplot. Běžné tloušťky difúzní vrstvy se pohybují řádově v mikrometrech, avšak mohou narůstat až na několik desítek mikrometrů. Potom takový spoj ztrácí své mechanické a elektrické vlastnosti, a v určitém okamžiku přestává plnit požadovanou funkci (viz dále obr.7).



Obr.4 Detailní pohled na strukturu pájeného spoje tvořeného pájkou SnPb

Adb) Mechanické namáhání

Mechanické namáhání rozlišujeme dvojího typu:

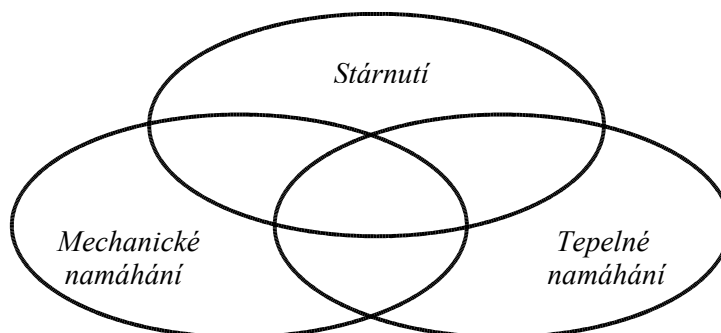
- externí (na spoj působí zvenčí, např. vibrace)
- interní (spoj je namáhán v důsledku změn vnitřních poměrů, např. tepelným namáháním)

Mechanické namáhání způsobuje únavu materiálu spoje, která se pak projevuje snížením jeho mechanických vlastností a následným mechanickým narušením. Namáhání způsobené rozdílnými délkovými roztažnostmi materiálů spoje je vyvoláno tepelným ohřevem.

Adc) Tepelné namáhání

Tepelné namáhání je důsledkem tepla působícího na pájený spoj. Může být způsobeno vlivem okolí (např. aplikace v automobilu, v topných elektrospotřebičích apod.), nebo vzniká v samotném obvodu jako vedlejší produkt v důsledku vyzařovaného ztrátového výkonu (to je charakteristické pro růst integrace, kdy je ve stále menším objemu vyzařován stále větší výkon).

Působení tepla vyvolává jevy, které jsou buď nevratné (stárnutí materiálu v důsledku změny struktury, difúze apod.), nebo vratné (změny rozměrů, průhyby materiálu apod.). Z uvedeného je patrné, že všechny tři faktory spolu úzce souvisí, jak je naznačeno na obr.5.



Obr.5 Znázornění faktorů ovlivňujících životnost pájených spojů

Životnost pájených spojů

Životnost výrobku je obecně definována dobou, za kterou se výrobek opotřebuje natolik, že nemůže plnit svoji funkci. Poněvadž životnost většiny výrobků se pohybuje v rozsahu několika let, již v minulosti u klasických součástek se zjišťovala s pomocí tzv. zrychlených zkoušek. Jedná se o simulaci pracovního režimu za zvýšené teploty resp. v režimu střídání záporných a kladných teplot a v případné zvýšené relativní vlhkosti. To urychluje stárnutí, dochází k simulaci vnitřních jevů v pájených spojích a součástkách nastávajícím za běžného provozu, a je urychlována jejich degradace. Jedná se především o fyzikální procesy difúze a elektrochemický proces koroze.

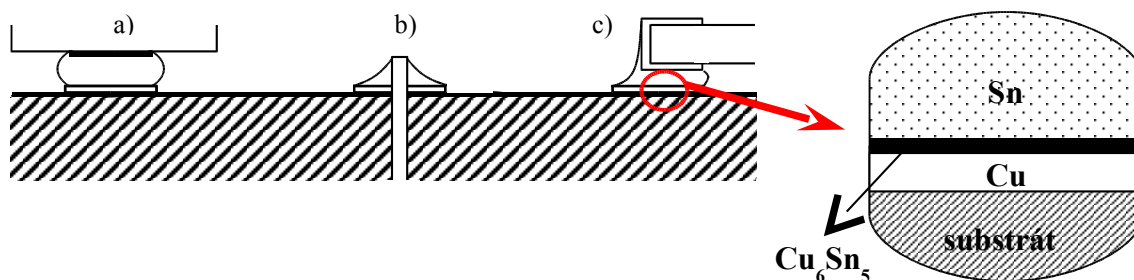
Difúze materiálů se projevuje již zmíněným vznikem intermetalických slitin a jejich neustálým nárůstem. Vzhledem k tomu, že tyto vrstvy vykazují zhoršené elektrické vlastnosti, především vodivost, vede tento proces k degradaci, a postupně k nefunkčnosti spoje.

Elektrochemická koroze mění vlastnosti materiálu spoje, především narušuje jeho homogenitu, zhoršuje adhezi a rovněž vede k jeho destrukci.

Pro testování životnosti pájených spojů je možné stanovit zkoušky teplotními cykly, např. od $-50\text{ }^{\circ}\text{C}$ do $+150\text{ }^{\circ}\text{C}$ po určitou dobu, např. 1000 h, nebo pro určitý počet cyklů, např. 10 000. Tyto zkoušky mohou probíhat navíc za zvýšené relativní vlhkosti, např. 95%. Pro simulaci mechanického namáhání, např. pro aplikaci v automobilovém průmyslu, lze využít také vibrace. Sleduje se vodivost spojů, jejich vzhled, a mechanická pevnost, např. po každých 250 hodinách, což se vyhodnocuje obyčejně graficky s pomocí statistických metod.

Pro stanovení poměrů a analýzu stárnutí spojů se využívají fázové diagramy, diagramy difúzních rychlostí mezi kovy (Au/Ni, Sn/Cu apod.).

Z hlediska pájitelnosti a zvláště smáčivosti je difúzní jev hodnocen jako pozitivní, neboť svědčí o vlastním vytvoření spoje. Avšak jeho sekundárním důsledkem je růst intermetalických vrstev, kde je většinou dominující struktura Cu_6Sn_5 . Tato vrstva tvoří bariéru mezi čistým cínem na jedné straně a kovem kontaktní plošky na straně druhé (obr.6).

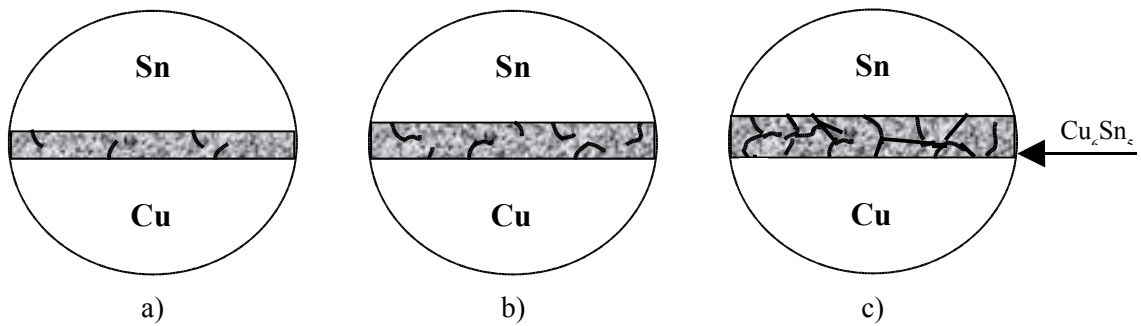


Obr.6 Tvary pájených spojů a) BGA
b) Propojení skrz substrát
c) SMD s detailem místa spoje

Vznik difúzní vrstvy je z hlediska vytvoření spoje nezbytným průvodním jevem, ovšem s rostoucí tloušťkou snižuje pevnost spoje. Nadměrný růst této vrstvy může být vyvolán buď v samotném počátku vzniku spoje při ohřevu (příliš vysoká teplota nebo dlouhá doba ohřevu), nebo potom ohřevem spoje v průběhu provozu.

Nárůst difúzní vrstvy probíhá především na úkor cínu, a tím vlastně dochází k postupnému úbytku samotného pájeného spoje. To způsobuje znatelné zhoršení elektrických a mechanických vlastností spoje, vedoucí postupem času až k jeho nefunkčnosti.

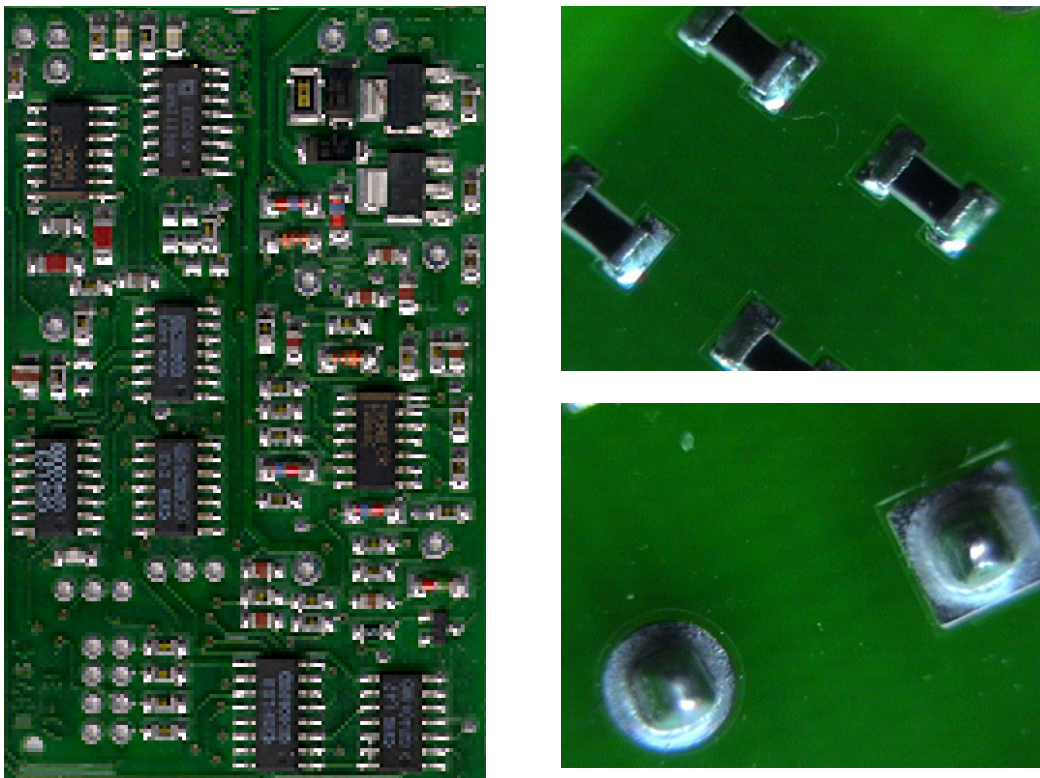
Projevující se účinky stárnutí a namáhání v intermetalické vrstvě Cu_6Sn_5 jsou v průběhu tří časových sekvencí znázorněny na demonstrativním mikroskopickém pohledu na obr.7. Tloušťka intermetalické vrstvy nejen roste, ale současně se zvětšují i trhliny, postupně se spojují, až dojde k úplné degradaci pájeného spoje.



Obr.7 Znázornění vlivu stárnutí a namáhání v intermetalické vrstvě Cu_6Sn_5

- ve vrstvě se objevují trhliny
- vrstva roste a trhlín přibývá a zvětšují se
- vrstva a trhlíny jsou natolik velké, že může dojít až k nefunkčnosti spoje

Kritická místa pájených spojů jsou především na kraji struktury Cu_6Sn_5 . Zde se stárnutí a namáhání projevuje nejen samotným růstem vrstvy, ale i vznikem trhlín v této struktuře. Každé zvětšení vrstvy a trhlín se sebou přináší zhoršení jak mechanických, tak i elektrických vlastností, které se projevují poklesem elektrické vodivosti spoje. Čím více trhlín se ve vrstvě objevuje, tím vzniká větší přechodový odpor, který způsobuje vyšší tepelné namáhání spoje a vrstva i trhlíny se tudíž dále rozšiřují. Na obr.8 je uveden příklad testovací desky se spoji pájenými bezolovnatou pájkou Sn Cu.



Obr. 8 Aplikace bezolovnaté pájky SnCuAg

- celkový pohled na desku
- detailní pohled na rezistory 0603
- detail zapájených prokovených otvorů

Závěr

Problematika pájení je vzhledem ke stále menším rozměrům elektronických zařízení, a s tím i se stále menšími součástkami a také vzdálenostmi mezi spoji stále více aktuální. To znásobuje i ta skutečnost, že nesprávným postupem při pájení se může výrazně zkrátit životnost nejen samotného pájeného spoje, ale i celého elektronického systému. Proto je třeba této problematice věnovat zvýšenou a samostatnou pozornost. Ta je nutná i z důvodu blížícího se data náhrady olovnatých pájek pájkami bezolovnatými do roku 2006, což sebou přinese pro výrobce řadu nových skutečností.

Tato problematika je systematicky řešena na Ústavu mikroelektroniky FEKT, Vysokého učení technického v Brně v rámci výzkumného záměru MŠCR MSM 262200022 MIKROSYT a grantu GAČR 102/04/0590 Vývoj mikroelektronických montážních technologií pro 3D obvody a systémy.

Literatura

- [1] R.J. Klein Wassink, Soldering in Electronics, Electrochemical Publications Limited, 1989
- [2] WEEE legislation, www.weee-recycle.com