

SPAJKANJE ELEKTRONSKIH VEZIJ S SPAJKAMI BREZ SVINCA

Marija Zupan¹, Mateja Potočnik¹, Dubravka Ročak²

¹ IskraTEL-Electronics, Kranj, Slovenija

² "Jozef Stefan" Institute, Ljubljana, Slovenija

Ključne besede: spajke brez svinca, tiskana vezja, spajkanje brez svinca

Izleček: Opisali smo osnovne korake za uvajanje novega proizvodnega postopka spajkanja brez svinca elektronskih vezij. V laboratoriju za razvoj tiskanih in hibridnih vezij smo izmerili osnovne lastnosti spajkalnih past brez svinca. Primerjali smo in analizirali eksperimentalne rezultate testa omočljivosti in tvorbe spajkalnih kroglic spajkalnih past brez svinca, ki so bili narejeni v dveh laboratorijih.

Soldering Electronic Circuits Using Lead-free Solder Pastes

Key words: lead-free solder pastes, printed circuits, hybrid circuits, lead-free soldering

Abstract: Electronics manufacturers worldwide are converting to a lead-free soldering process for a variety of reasons, including environmental concerns and compliance with impending legislation. Due to European legislation known as WEEE (the directive on Waste of Electrical and Electronic Equipment) and RoHS (the directive on Restriction of the use of certain Hazardous Substances) the electronics industry must ban the use of hazardous substances by the 1st of July 2006.

The successful implementation of lead-free soldering in a printed-circuits production line requires careful planning and rigorous process monitoring to ensure quality and process control. In order to introduce lead-free soldering in a printed circuits production line, a five-step soldering program was developed. The program begins with selecting the right materials and equipment, after this it is necessary to define the process and develop a robust process, followed by the implementation of the lead-free manufacturing. The last step of the program is control and improvement of the new process.

New materials should be tested in particular ways for hybrids and PCBs with lead-free coatings application. These lead-free solder pastes are not appropriate for hybrid circuits and for PCB applications, because today's technology is based on different materials for soldering (tin-lead solders) and different materials for solder pads. Therefore special lead-free pastes used for soldering hybrid circuits as well as PCBs with lead-free preservative coatings must be developed. The new lead-free solder pastes have a higher melting point than eutectic tin-lead alloys. This has an influence on the wettability of conductor lines in circuits and the technological window of soldering. The basic properties of the selected lead-free pastes such as viscosity, tackiness, solder ball, wettability, and printability were investigated. The optimum parameters for the soldering will be established, and later the soldering surface insulation resistance (SIR) and the electromigration in humid conditions will be tested on hybrid and printed circuits.

The components are the weakest point in the lead-free soldering chain. More often than not, they are only available with SnPb terminations. The reliability of the components at high temperatures is another problem. Reliability tests in several projects indicate that some standard components can also be soldered at slightly higher temperatures. However for some components it will be necessary to modify the currently used plastic material accordingly.

The use of standard material in printed circuit board (PCB) production must also be changed. Alternative PCB materials will include materials such as glass/epoxy or glass/polyimide.

The results of European projects and industrial research on new soldering materials support the use of SnAgCu solder for lead-free reflow processes and SnCu for wave soldering.

In this paper we have reported the results of testing a new Pb-free solder paste for the soldering of electronic in a hybrid and printed circuits production line. The principal characteristics of the SnAgCu and SnAg lead-free solder pastes were tested in two research laboratories. The results of solder-paste wetting and solder-ball occurrence after the reflow soldering process were compared and discussed.

The test samples for electronic component soldering with selected solder pastes were developed on ceramic substrates and on printed circuits. Electronic components with lead-free terminations will be soldered and the reliability tests of soldered joints between components and conductor pads on the circuit will be tested.

1. Uvod

Svinec je znan kot tvegan element za človeško zdravje in že majhne količine povzročajo okvare živčnega sistema in možganov. Če se ostanki svinca nahajajo v naravi, lahko onesnažijo tekočo vodo in iz nje pridejo v človeški organizem.

Svinec se že desetletja uporablja kot sestavina v spajkah za spajkanje elektronskih komponent v elektronskih vezjih. Delež svetovne porabe svinca v elektronski industriji je relativno majhen, glede na to, da elektronska industrija predstavlja 1-2% svetovne industrije, vendar je odpad električnih in elektronskih naprav razpršen in težko nadzorovan. Zakonodaja EU je pripravila direktivo WEEE (Waste from Electrical and Electronic Equipment – elektronski odpad) in

Tabela 1. Plan vpeljave spajkanja brez svinca v Evropi

		1999	2000	2001	2002	2003	2004	2005	2006	2007	2008
Material	vsi produkti										
Komponente	prvi produkti				😊						
	pol-produkti					😊					
	vsi produkti						😊				
Montaža	prvi produkti					😊					
	pol-produkti						😊				
	vsi produkti							😊			

RoHS (Restriction of Hazardous Material - prepoved uporabe nevarnih snovi), ki določa skrajni datum za prenehanje uporabe spajke na osnovi svinca. Februarja 2003 je bilo na European Lead-Free Soldering Technology sprejeto, da produkti namenjeni za Evropo, po 1.7.2006 ne bodo smeli vsebovati svinca. Za produkte brez svinca se smatrajo vsi tisti produkti, pri katerih vsebnost svinca ne preseže vrednosti 0,1 odstotka na težo modela.

V elektroniki se svinec uporablja za spajkanje elektronskih komponent. Spajkanje je spajanje dveh kovinskih površin z zlitino Sn-Pb, ki mora stični površini v čim krajšem času zaliti tako, da je dosežena zadovoljiva mehanska trdnost in dober električni kontakt. Prednost uporabe svinca v spajki SnPb je nizka temperatura tališča (183°C) in s tem delovna temperatura (250°C za valno spajkanje in 200 – 230°C za pretaljevalno spajkanje), nizka cena svinca in dosegljivost na tržišču, stabilnost zlitine SnPb ter dobre mehanske lastnosti.

Glavni razlogi za prenehanje uporabe svinca v elektronski industriji so: zakonodaja, zdravju in okolju prijazna tehnologija, enostavnejša reciklaža odpadkov, prednost na tržišču in zahteve kupca po ekološko prijaznih izdelkih.

Nova tehnologija spajkanja mora ostati v skladu s standardi in ne sme bistveno ožiti tehnološke zmožnosti ter zmanjševati stopnje zanesljivosti delovanja elektronskih vezij.

2. Vpeljava tehnologije spajkanja brez svinca

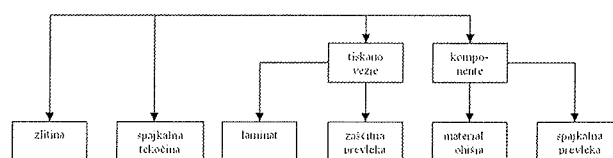
Za uspešno vpeljavo spajkanja s spajkami brez svinca je potrebno slediti naslednjim petim korakom. Prvi in hkrati najpomembnejši korak je izbira materialov in opreme za proizvodnjo. Ko je le-to določeno, je potrebno definirati procese, preveriti robustnost procesov in vpeljati proces spajkanja brez svinca v proizvodnjo. Vpeljan proces je potrebno skrbno kontrolirati, spremljati kvaliteto spajkanja in stalno izboljševati.

Spajke so običajno zlitine različnih kovin, najpogosteje pa vsebujejo kositer in svinec (npr. Sn60/Pb40). Za novo tehnologijo spajkanja brez svinca se uporabljajo različne zlitine, ki imajo praviloma višjo temperaturo tališča. Višja tem-

peratura spajkanja in drugačna kemična sestava spajk pa pogojujeta:

- uporabo elektronskih komponent, ki prenesejo višje temperature
- uporabo materialov za tiskanine, ki prenesejo višje temperature
- primerno obdelavo površin spajkalnih blazinic na tiskanih
- uporabo primernih prevodnih materialov pri hibridnih vezij
- uporabo primernih spajkalnih tekočin
- uporabo primernih čistil
- prireditve obstoječe procesne opreme ali izbira nove
- uvedba novih kriterijev za vizuelno kontrolo kvalitete spojev

Pri izbiri materialov je glavni poudarek na ploščah tiskanega vezja in komponentah. Za tiskano vezja je potrebno izbrati ustrezen laminat in zaščitno prevleko brez svinca. Komponente zahtevajo bolj vzdržljiv material za ohišja in ravno tako spajkalno prevleko brez svinca. Za pretaljevalno in valno spajkanje pa se izbere ustrezna zlitina za spajkalno pasto in spajko ter spajkalno tekočino.



Slika 1: Izbira materialov

2.1. Izbira materialov

2.1.1. Izbira zlitine

Izkušnje kažejo, da se bo kot alternativa za SnPb uporabljala SnAgCu (za pretaljevalno spajkanje) in SnAgCu oziroma SnCu (za valno spajkanje). Izbira zlitine je odvisna od:

- termično mehanske lastnosti zlitine in temperatura tališča
- testa omočljivosti

- raziskav
- dosegljivosti in cene
- izkušenj podjetja s tehnologijo brez svinca

Tabela 2: Izbira zlitine

Izbira zlitine			
temperatura		aplikacija	opombe
zlitine z visokimi tališči (250-300°C)			
227	SnCu	nizki stroški, valno spajkanje	temperatura
221	SnAg	ustrezno območje, odlične termične lastnosti, zanesljivejši spoji	strupeno srebro
217	SnAgCu	valno in pretaljevalno spajkanje, višja razteznost, pogosto uporabljena zlitina	strupeno srebro
217	SnAgCuSb	Sb poveča zanesljivost pri valnem spajkanju	strupeno srebro, antimon, štiri-komponentna zlitina
srednje območje (180 - 205°C)			
200-216	SnAgBi	SMT aplikacije, valno in pretaljevalno spajkanje, Bi znižuje tališče	strupeno srebro
199	SnZn	nizke temperature	oksidacija cinka, zahteva aktivnejšo spajkalno tekočino, slaba omočljivost
zlitine z nizkimi tališči (180-205°C)			
138	SnBi	zaradi nizke temperature primeren za občutljive komponente, pretaljevalno in valno spajkanje	Bi je stranski produkt v rudnikih Pb, prenizko tališče pri posameznih aplikacijah

2.1.2. Izbira spajkalne tekočine

Spajkalna tekočina je sestavni del spajkalne paste in predstavlja ~ 10 odstotni delež. Vpliva na viskoznost same spajkalne paste.

Spajkalna tekočina se uporablja tudi pri valnem spajkanju. Njena naloga je, da najprej očisti površino in jo hkrati aktivira, ostanki po spajkanju pa ne smejo povzročati korozije.

Iz okolje varstvenega izhodišča spajkalna tekočina ne sme vsebovati hlapnih ogljikovodikov (zaradi zmanjševanja VOC emisije) in halogenov.

2.1.3. Izbira tiskanega vezja

Material za plošče tiskanega vezja (laminat) mora zdržati višje temperature spajkanja, ne da bi pri tem bistveno spremenil lastnosti oziroma se skrivil in ne sme vsebovati halogenov. Najpogostejše uporabljene prevleke na prevodnih likih tiskanega vezja so zbrane v Tabeli 3.

Tabela 3: Izbira prevleke za prevodne like tiskanega vezja

Izbira zaščite priključkov komponent		
prevleka	aplikacija	opombe
NiPd	SMT komponente: IC	materialni stroški, razpoke, spajkljivost
NiPdAu	alternativa Ni Pd, rahlo izboljšano omočenje	materialni stroški
SnBi	SMT komponente: IC - klasične komponente: IC, diode, tranzistorji	združljiv z Sn/Pb spajko
Sn	klasične komponente: CCD	"whiskering" Sn, visoka temperatura tališča
SnAg (potopno)	SMT komponente: diode - klasične komponente: IC, tranzistorji, diode	možnost galvaniziranja še ni zagotovljena
SnCu	klasične komponente: diode	"whiskering" Sn, majhna vsebnost Cu, potrebna redna kontrola Cu kot nečistoče

2.1.4. Izbira komponent

Pri izbiri komponent moramo upoštevati naslednje zahteve:

- komponenta ne sme vsebovati svinca in halogenov
- nove plastike za ohišja morajo biti obstojne na višje temperature

Proizvajalci komponent najpogostejše uporabljajo za priključne površine spajkalne prevleke, ki so zbrane v Tabeli 4.

Tabela 4: Izbira zaščite priključkov komponent

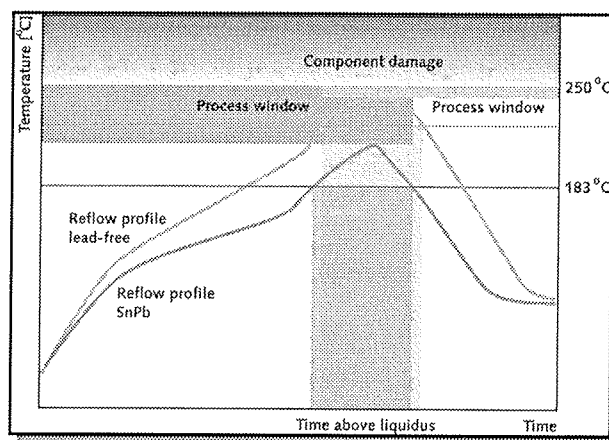
Izbira prevleke za prevodne like tiskanega vezja			
	opis	opomba	opombe
OSP	organska zaščita	nizka cena, dobra spajkljivost	čas skladiščenja, visoke temperature, večkratno spajkanje
Kem. NiAu	nikelj, zlato	primerno za višje temperature, večkratno spajkanje, za visoko zahtevne produkte	visoka cena
Kem. Sn	potapljanje v čistem kositru	večkratno spajkanje, stabilen proces	različni rezultati
Kem. Ag	potapljanje v srebru	dobra zapolnitev izvrtin, stabilen proces	tanek nanos
HASL (brez Pb)	nanos z vročim zrakom - brez Pb	dobro omočenje	krivljenje TIV zaradi visokih temperatur

2.2. Strojna oprema

Pri prehodu na spajkanje brez svinca se bistveno spremeni oprema, namenjena pretaljevalnemu in valnemu spajkanju.

2.2.1. Pretaljevalno spajkanje

S spajkanjem brez svinca se približamo maksimalni dovoljeni temperaturi 250°C. To je območje, ki še ne povzroča poškodb komponent in krivljenja plošč tiskanega vezja. S tem se zmanjša tudi samo procesno okno, kar je razvidno na Sliki 2.



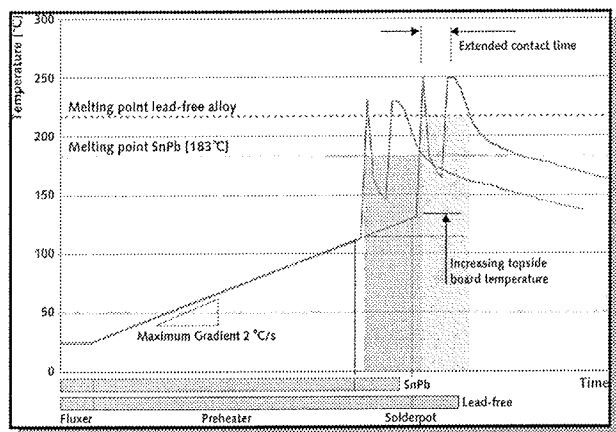
Slika 2: Temperaturni profil za pretaljevalno spajkanje

Višje temperature bodo povečale možnost krivljenja plošč, kar lahko preprečimo z ustrezno podporo v peči med samim spajkanjem. Uporaba dušika med spajkanjem je priporočljiva pri uporabi organske zaščite površin na tiskanih vezjih. Dušik izboljša omočljivost, vendar so pri pretaljevalnem spajkanju opazili tudi pojav večjega števila drugih napak spajkanja (dvignjena komponenta - tombstoning).

2.2.2. Valno spajkanje

Bistvena razlika med SnPb spajkanjem in spajkanjem brez svinca je v višjih temperaturah tališča zlitin brez svinca. Le-te zahtevajo ustrezno višje temperature predgretja zaradi morebitnih temperaturnih šokov na prvem valu in uporabo spajkalnih tekočin na vodni osnovi, ki ustrezajo tem zahtevam in so hkrati okolju prijazne.

Za nanos spajkalne tekočine na plošče tiskanega vezja je priporočljiva uporaba razpršilne naprave, ki spajkalno tekočino zelo drobno razprši, saj mora vsa voda odhlapeti, preden pride plošča na prvi val. Temperatura plošče na zgornji strani bo narasla na 130°C v zadnji coni predgretja. Uporaba spajk brez svinca bo zahtevala višje temperature kopeli odvisno od vrste zlitine (za SnCu 270°C in za SnAgCu 260°C). Priporočljiva je tudi uporaba dušika in s tem spajkanjem v inertni atmosferi. Prednost uporabe dušika je v boljši omočljivosti spojev, manjšemu nastajanju oksida, slabost pa cena dušika.



Slika 3: Temperaturni profil za valno spajkanje

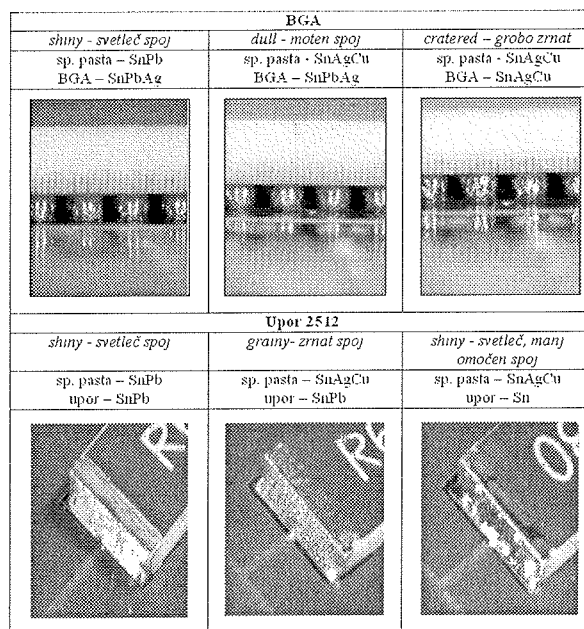
2.3. Vizuelni izgled spojev brez svinca

Spajkalni spoji, ki so zaspajkani s spajko SnPb, se že vizuelno ločijo od spojev, ki so zaspajkani s spajko brez Pb. Na Sliki 4 so prikazani primeri spajkanja BGA ob uporabi:

1. spajkalna pasta - SnPb, BGA - SnPbAg
2. spajkalna pasta - SnAgCu, BGA - SnPbAg
3. spajkalna pasta - SnAgCu, BGA - SnAgCu in primeri spajkanja upora 2512 ob uporabi:
 1. spajkalna pasta - SnPb, upor - SnPb
 2. spajkalna pasta - SnAgCu, upor - SnPb
 3. spajkalna pasta - SnAgCu, upor - Sn

3. Eksperimentalno delo in rezultati

V primerjalnih laboratorijih Iskratel Electronics-a in Inštituta Jožef Stefan smo preizkusili in testirali spajkalne paste različnih proizvajalcev in sestav (Tabela 5) ter jih primerjali med seboj.



Slika 4: Vizuelni izgled spojev

Tabela 5: Spajkalne paste

Spajkalne paste brez Pb	
X 13018	Sn95,5Ag4,0Cu0,5
OM 310	Sn95,5Ag4,0Cu0,5
F 610	Sn95,5Ag4,0Cu0,5
NX 9900	Sn96,5Ag3,0Cu0,5
R 910	Sn95,5Ag3,8Cu0,7
R 910	Sn96,5Ag3,5
Referenčna spajkalna pasta	
R 244	Sn62Pb36Ag2

Po standardu IPC-TM650 smo naredili sledeče analize in testiranja:

- test omočljivosti (Metoda 2.4.45)
- test tvorbe spajkalnih kroglic (Metoda 2.4.43)
- merjenje površinske izolacijske upornosti - SIR (Metoda 2.6.3.3)
- razlezenje (Metoda 2.4.35)
- merjenje viskoznosti (Metoda 2.4.34.4)

Rezultate testa omočljivosti in tvorbe spajkalnih kroglic smo primerjali med seboj in so zbrani v Tabeli 6 in Tabeli 7. Kot referenčno spajkalno pasto smo uporabili spajkalno pasto SnPbAg.

Tabela 6: Rezultati testa tvorbe spajkalnih kroglic

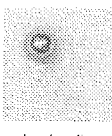
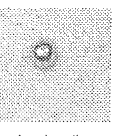
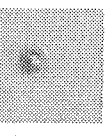
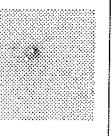
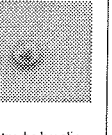
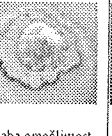
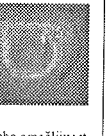
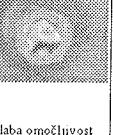
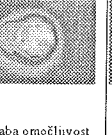
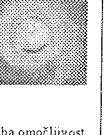
	Referenca SnPbAg	SnAgCu	SnAgCu	SnAg
	R 244	NX 9900	X 13018	R 910
Iskratele Electronics				
	brez kroglic	brez kroglic	brez kroglic	tvorba kroglic
IJS				
		brez kroglic	brez kroglic	tvorba kroglic

Tabela 7: Rezultati testa omočljivosti

	Referenca SnPbAg	SnAgCu	SnAgCu	SnAg
	R 244	NX 9900	X 13018	R 910
Iskratele Electronics				
	dobra omočljivost	dobra omočljivost	slaba omočljivost	slaba omočljivost
IJS				
		slaba omočljivost	slaba omočljivost	slaba omočljivost

4. Zaključek

Zahteva direktiv RoHS in WEEE po prepovedi uporabe svinca kot nevarne snovi po 1.7.2006 je prinesla nove tehnološke študije in raziskave v elektronsko industrijo na področju spajkanja. Različne študije so pokazale, da bo potrebno velik poudarek nameniti izbiri materialov, vpeljavi spajkanja brez svinca v proizvodnjo in vizuelni kontroli spojev. Zanesljivost novih produktov bo potrebno preveriti s klimo mehanskimi testi in testi življenjske dobe.

Po standardu IPC-TM 650 so bile testirane spajkalne paste brez svinca s sestavo SnAgCu in SnAg različnih proizvajalcev. Rezultate testa omočljivosti in tvorbe spajkalnih kroglic smo primerjali z referenčno spajkalno pasto SnPbAg. Razlika je predvsem opazna v slabši omočljivosti nekaterih past brez svinca. Ravno tako pa bo potrebno preveriti zanesljivost spojev z uporabo različnih spajkalnih past brez svinca in različnih prevlek na prevodnih likih tiskanih vezij na testnih ploščah s klimo mehanskimi testi in testi življenjske dobe.

5. Literatura

- /1/ K. Bukat, D. Ročak, J. Sitek, J. Fajfar-Plut, D. Belavič, "An Investigation of lead-free Solder pastes", Proceedings of 25th International Spring Seminar on Electronics Technology, May 11-14, 2002, Prague, Czech Republic, 314-317
- /2/ K. Bukat, D. Ročak, J. Sitek, J. Fajfar-Plut, D. Belavič, "Lead-Free Solder Pastes for Soldering Printed and Hybrid Circuits", Proceedings of IMAPS EUROPE, June 16-18, 2002, Cracow, Poland, 61-66
- /3/ D. Ročak, M. Zupan, J. Fajfar-Plut, "Testing of Lead-Free Solder Pastes for Component Soldering on Printed and Hybrid Circuits", Informacije MIDEM, 2, June 2002
- /4/ D. Barbini, G. Diepstraten, "Five Steps to Successful Lead-Free Soldering", Circuits Assembly, April 2001

Marija Zupan, Mateja Potočnik,
IskraTEL-Electronics, Ljubljanska 24a,
4000 Kranj, Slovenija

Dubravka Ročak
Jozef Stefan Institute, Jamova 39,
1000 Ljubljana, Slovenija

Prispelo (Arrived): 04.12.2003 Sprejeto (Accepted): 20.06.2004