

UTJECAJ PRIMJENE TEHNOLOGIJE POVRŠINSKE MONTAŽE NA TISKANE PLOČE

Gorana Lipnjak, Luka Gašpar

KLJUČNE REČI: tehnologija površinske montaže, SMT, SMD, tiskane ploče, elektroničke komponente

SADRŽAJ: Sve veća primjena tehnologije površinske montaže (STM - Surface Mount Technology) postavlja velike zahtjeve na kompleksnost tiskane ploče. Razvojem komponenata za površinsku montažu (SMD - Surface Mount Devices) utječe se u velikoj mjeri na tehnologiju izrade tiskane ploče, a posebno u području povezivanja gdje novi tipovi elektroničkih komponenata i nosivih elemenata za aktivne komponente predstavljaju veliki tehnički izazov i zahtjevaju podlogu sa izuzetno uskim vodovima, malim razmacima među njima, velikim brojem slojeva, te sve većim odnosom debljina ploče / promjer rupe.

THE INFLUENCE OF SURFACE MOUNT TECHNOLOGY ON PRINTED CIRCUIT BOARDS

KEY WORDS: surface mounting technology, SMT, SMD, printed circuit boards, electronic components

ABSTRACT: Ever increasing application of Surface Mount Technology, SMT puts high requirements on Printed Circuit Board, PCB complexity. The development of components for Surface Mount Devices, SMD influences greatly the PCB manufacture technology, specially in the field of connections where new types of electronic components and chip carriers represent great technical challenge and demand a substrate with very narrow circuits, small spacings, great number of layers and high aspect ratio PCB.

UVOD

Tehnologija površinske montaže (SMT - Surface Mount Technology) sve je više prisutna u elektroničkoj industriji. Zbog svojih prednosti nalazi veliku primjenu u proizvodnji elektroničkih sklopova. Uvađanjem SMT-a utječe se u velikoj mjeri na oblik i vrstu komponenata, a promjene su znatne i na tiskanim pločama koje postaju manje, sa užim vodovima, manjim razmacima i rupama sa velikim omjerom dužina / promjer rupe (aspect ratio PCB). Ploče moraju biti dovoljno čvrste da, bez savijanja, izdrže rukovanje, vibracije, mehaničke šokove i termička naprezanja u toku procesa proizvodnje, naročito u fazi lemljenja, a i kasnije u eksploataciji.

1. PREDNOSTI TEHNOLOGIJE POVRŠINSKE MONTAŽE^{1/}

U odnosu na klasičnu tehnologiju izrade sklopova na tiskanim pločama, njene osnovne prednosti su:

1.1. Smanjenje veličine i težine sklopa

Zahvaljujući korištenju SM komponenti značajno manjih dimenzija, povećanoj gustoći vodljive šare na tiskanoj ploči, kao i mogućnosti dvostrane montaže SMD, znatno je povećana horizontalna i vertikalna gustoća pakiranja,

pa se iste funkcije mogu postići uz uštedu na prostoru od 40% (jednostrana) do 70% (dvostrana montaža).

1.2. Poboljšana funkcionalna svojstva

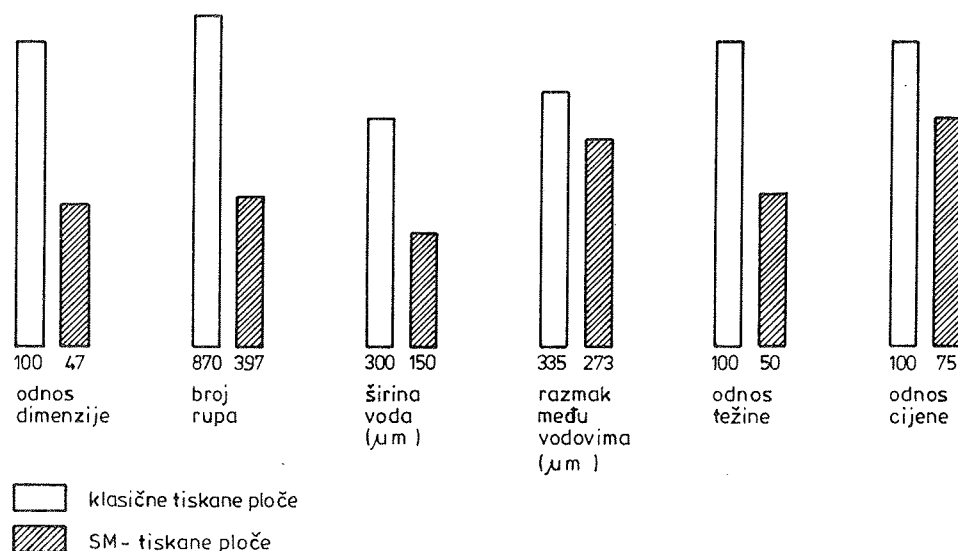
Skraćenje vodova rezultira u smanjenju nepoželjnih induktivnosti i kapacitivnosti, dok eliminacija izvoda kod pasivnih komponenata u čip formi utječe na porast pouzdanosti.

1.3. Visoko automatiziran proces proizvodnje

Zahvaljujući načinu pakiranja SM i, u usporedbi s klasičnom tehnologijom, daleko jednostavnijem postupku plasiranja komponenata na podlogu, za sastav je moguće koristiti strojeve za plasiranje velike brzine.

1.4. Ušteda na troškovima

Smanjenje potrebe za većim brojem strojeva za bušenje i klasično plasiranje značajno smanjuje investicijska ulaganja u opremu (do 30%) i prostor (do 50%), a SM sklopovi i SMD malih dimenzija potrebu za skladišnim prostorom. Visoko automatizirana proizvodnja snižuje troškove ljudskog rada.



Slika 1: Karakteristike SM-tiskanih ploča u odnosu na klasične tiskane ploče

1.5. Mogućnost hlađenja

Prednost površinske montaže je kod sistema, koji zahtjevaju hlađenje, u tome da jedna strana ploče ostaje po potrebi slobodna za pričvršćenje izvoda za hlađenje povećavajući znatno mogućnosti odvođenja topline.^{12/}

2. KARAKTERISTIKE SM-TISKANIH PLOČA

Osnovne karakteristike klasične tiskane ploče u odnosu na ploču predviđenu za tehnologiju površinske montaže^{13/}, prikazane su na slici 1.

Kod tiskanih ploča predviđenih za tehnologiju površinske montaže funkcija rupe se mijenja - slika 2. Rupe više ne služe za smještaj izvoda komponenata nego za povezivanje vodova.

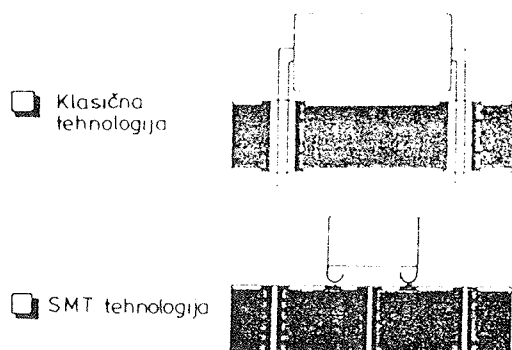
Zbog veće gustoće pakovanja SMT sklopova pojavljuje se i potreba za višeslojnim tiskanim pločama, gdje se vodovi povezuju pomoću prespojnih rupa ("plated through vias") pojednostavnivši smještaj vodova i kom-

ponenata u usporedbi s dvostranom tiskanom pločom.^{14/} Nadalje, kod višeslojne ploče mnogo je lakše postići povoljne impedance nego kod dvostrane. Također, lakše se postiže zaštita linijskog signala od preslušavanja, što je posljedica mogućnosti boljeg raspoređivanja kako vanjskih tako i unutarnjih vodova za napajanje i uzemljenje.

Tendencija razvoja višeslojnih tiskanih ploča od 1970. god. prikazana je na slici 3.^{15/} Prve višeslojne tiskane ploče bile su sastavljene od 4 sloja, dok je danas uobičajena izrada ploča sa 20 ili čak više slojeva. Slično je i sa gustoćom izbušenih rupa koja je 1970. godine iznosila 6 rupa sa promjerom 1 mm na 1 cm², dok danas iznosi 64 rupa sa promjerom 0,3 mm na 1 cm². Povećala se i debljina višeslojnih tiskanih ploča od 1,5 mm na 5 mm, a širina vodova se suzila od 250 μm na 80 μm .

Uobičajene pločice bušene su duž čitave tiskane ploče, tako da je površina koju zauzimaju vodovi i rupe velika. Smanjenje te površine rješava se povezivanjem slojeva koristeći tzv. "slijepe" ili "jamne" rupe (blind and buried vias), koje mogu znatno "uštedjeti" površinu ploče - slika 4. Takve rupe ostavljaju slobodne vanjske vodove za montiranje komponenata površinske montaže na gustoću kompatibilnu onoj na hibridnim sklopovima. "Jamne rupe" povezuju dva unutarnja voda višeslojne tiskane ploče i ne povezuju se sa vanjskim vodovima, za razliku od "slijepih" rupa koje povezuju vanjske vodove sa jednim ili više unutarnjih slojeva.

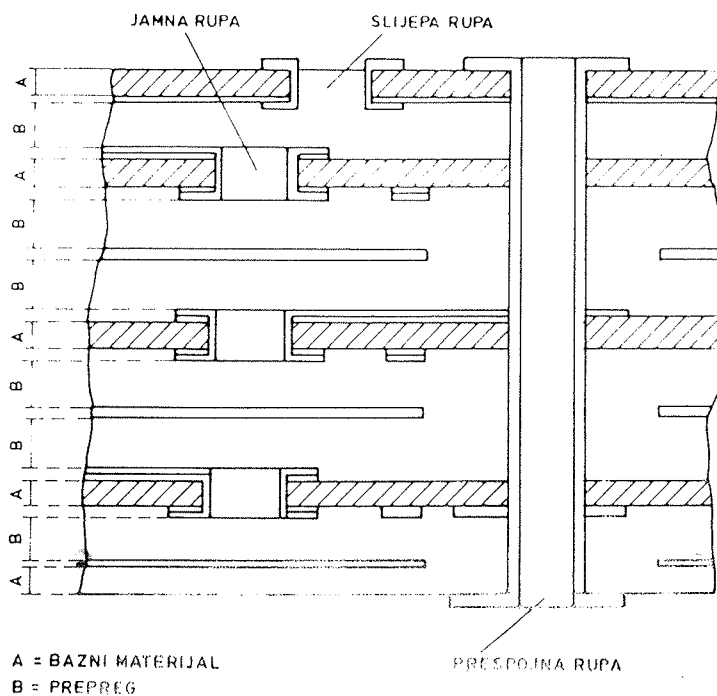
Već u konstrukciji tiskanih ploča za SMT potreban je drugačiji pristup obzirom da se radi o novim pravilima geometrijskog rasporeda. U novije vrijeme koriste se CAD programski paketi, koji u potpunosti podržavaju SMT izvedbu tiskanih ploča.^{16/}



Slika 2: Funkcije rupa kod različitih tehnologija

	1970	1975	1980	1985	1990	1995
Broj slojeva	4	6	10	12	20	30
Izbušene rupe gustoća / cm ²	6	9	16	32	64	128
Debljina (mm) Izbušena rupa promjer	1,5 1,0 ϕ	2,0 0,8 ϕ	3,0 0,6 ϕ	4,0 0,4 ϕ	5,0 0,3 ϕ	6,0 0,15 ϕ
Širina voda (mm)	0,25	0,19	0,13	0,10	0,08	0,05
Veličina (mm)	233,5 x 160		450 x 600		600 x 600	?

Slika 3: Tendencija razvoja višeslojnih tiskanih ploča u razdoblju od 1970-1995.



Slika 4: Funkcija rupa kod višeslojne tiskane ploče

	keramika (alumina)	FR4	staklo/poliamid	staklo PTFE
dielektrična konstanta	9,5	4,8	4,5	2,3
termička vodljivost (W/mK)	26	0,18	0,35	
termička ekspanzija x-y	6	18	13	24
(ppm/°C) z	6	50-150	60	>260
apsorpcija vlage (%)	0	0,1	0,4	1

Tablica 1: Osnovna svojstva klasičnih substrata

3. ODABIR PODLOGE ZA SMT-SKLOPOVE

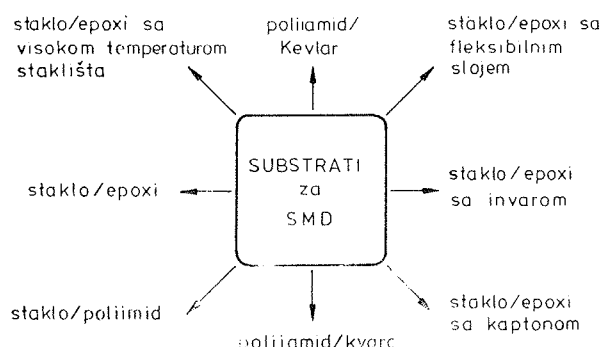
Tehnologija površinske montaže pretežno kao podlogu koristi klasične laminare tj. staklo-epoksi (FR4). Međutim, ukoliko se koriste veliki hermetički kondenzatori, te komponente sa velikim brojem izvoda (na pr. LCCC), klasični laminati, zbog relativno visokog toplinskog koeficijenta rastezanja (TCE) ne zadovoljavaju. U tom slučaju primjenjuje se keramika, koja se uglavnom koristi u debeloslojnoj hibridnoj tehnologiji.^{17/}

U tablici 1 prikazane su komparativno karakteristike keramike i ostalih klasičnih materijala.^{18/} Vidljivo je da je keramički materijal okarakteriziran velikom dielektričkom konstantom, dobrom termičkom vodljivošću i niskim termičkim koeficijentom ekspanzije, što daje dobre preduvjete za formiranje SMT-sklopova. Materijal je također izvanredno kemijski stabilan i koroziono otporan.

Osim keramike, za specijalne SM-sklopove koriste se i skupi specijalni laminati, kontroliranog niskog TCE, kao što su laminati s metalnom jezgrom i laminati kod kojih su staklena vlakna zamijenjena vlaknima kvarca, kevlar i slično, slika 5.

Kod sistema koji se zagrijevaju, potrebno je izbjeći lokalnu koncentraciju topline na tiskanoj ploči, pa se odabiru substrati sa odgovarajućom termičkom vodljivošću.

Na slici 6 prikazane su termičke vodljivosti različitih materijala, pri čemu je vidljivo da je substrat s metalnom bazom daleko najpovoljniji.^{12/}

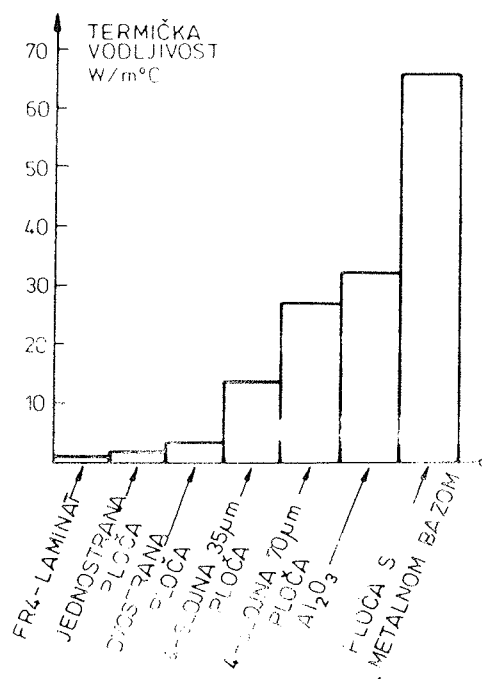


Slika 5: Substrati za SMT-sklopove

4. MEHANIČKE OBRADJE

Bušenje rupa malog promjera zahtjeva posebnu pažnju i korištenje preciznih bušilica, a posebno kod tiskanih ploča većih debljina. Za razliku od klasičnih tiskanih ploča, gdje se referentne rupe buše istovremeno s rupama za montiranje komponenata, u slučaju SM-tiskanih ploča, te se rupe buše na kraju procesa. Naime, za vrijeme mnogih faza u toku izrade, mogu se javiti deformacije u smislu skraćivanja ili ekspanzije ploče. Referentne rupe mogu se bušiti optički ili automatski. Jedan od najboljih sistema je tzv. ADAM (Adapter Drilling After Manufacture), koji automatski kompenzira pogreške i buši referentne rupe u preciznom odnosu prema šari.^{13/} U tom slučaju, nepotrebni su vrlo skupi optički sistemi na mašinama za plasiranje.

Također se mehaničke obrade brušenja i čišćenja rupa moraju provoditi uz strogo definirane uvjete rada.



Slika 6: Vrijednosti za termičke vodljivosti različitih materijala

5. PROCES METALIZACIJE

Proces metalizacije, koji se sastoji od čitavog niza obrada (čišćenje, dekapiranje, aktiviranje, kataliziranje, kemijsko bakrenje...) izuzetno je osjetljiv obzirom na dimenzije rupa. Potrebno je temeljito ukloniti zaostale čestice i krhotine na stjenkama uskih dugačkih rupa, a kod višeslojnih tiskanih ploča još i ostatke tzv. "smear"-a (ostaci polimerizirane smole, staklenih vlakana i komadića bakra). Zbog toga se gotovo svakodnevno mijenjaju i usavršavaju, kako kemijski preparati i postupci, tako i hidrodinamski uvjeti rada.^{9/}

Kod kemijskih preparata nastoji se maksimalno povećati aktivnost otopine, kako bi se i najudaljenija mjesta u rupi mogla obraditi. Najnoviji uređaji za metalizaciju konstruirani su tako da ploča prolazi horizontalno kroz uređaj, pri čemu se postiže kvalitetnija kemijska obrada i jednolika raspodjela metala u rupi i na površini tiskane ploče.^{10/} Osim toga okretanjem ploče u procesu za 90° može se automatizirati proces budući da se ploča kontinuirano kreće iz faze u fazu procesa. Automatska kontrola je jednostavnija, a rukovanje se reducira. Veličina ploče postaje irelevantna i svaka se proizvodi zasebno. Nema efekta "sredine košare", pa je kvaliteta poboljšana. Osim toga kad se ploče obrađuju horizontalno, rupe su smještene vertikalno, pa krhotine otpadaju, a plinovi izlaze van, a to znači da se i veoma male rupe mogu metalizirati, bez opasnosti od prisutnih plinova. Neke od faza procesa kombiniraju se u novim uređajima sa ultrazvukom i / ili sa sprejanjem otopina uz pojačani pritisak, pri čemu se intenziviraju procesi čišćenja, uklanjanja viška smole i metaliziranja.

Novo metode metalizacije koriste kemijski nikl umjesto kemijskog bakra.^{11/} Velika prednost tog postupka leži u činjenici da je mnogo jednostavnije tretirati otpadne vode, budući da ne sadrže kompleksante. Osim toga adhezija nikla na epoksi-smolu je odlična. Prevlaka nikla nije sklona pasivaciji, a najeda se u istim otopinama kao i bakar. Tanka prevlaka nikla inkapsulirana je između kaširanog bakra i elektrolitskog bakra, pa se tzv. "skin efekt", koji nastaje kod visokih frekvencija može zanemariti. Osim toga velik broj testova lemljivosti, koje je provoden na tiskanim pločama nije pokazao efekt isplinjavanja (outgassing).

6. ODABIR POVRŠINSKE ZAŠTITE

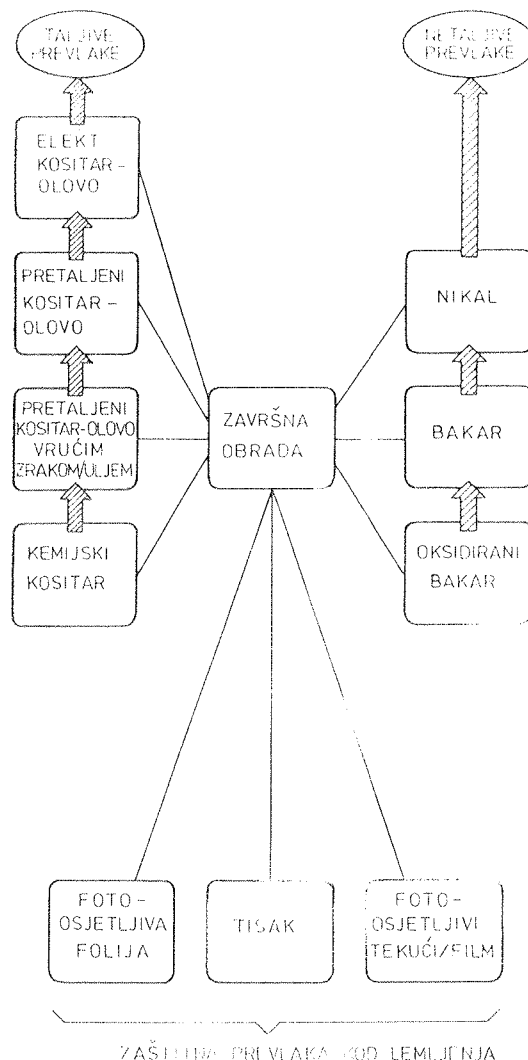
Za površinsku zaštitu tiskanih ploča primjenjenih u tehnologiji površinske montaže koriste se različite prevlake. Odabir ovisi o velikom broju faktora, uključujući u prvom redu raspoloživ proces lemljenja, vrste komponenata, vrstu redaža za plasiranje, kao i relevantne standarde. Na slici 7 su najčešće korištene taljive i netaljive prevlake, kao i vrste lemnop otpornih izolacionih maski.

7. KARAKTERISTIKE METALNIH PREVLAKA

Metalne prevlake nanašaju se elektrolitski (bakar, kositar, kositar-olovo legure, nikl, zlato), kemijski (kositar) ili uranjanjem u talinu (kositar-olovo legure). U ukupnom procesu proizvodnje tiskanih ploča elektrolitsko izlučivanje bakrene prevlake zauzima značajno mjesto. Uspjeh i kvaliteta ove važne operacije ovise o razumijevanju procesa i njegovu praćenju, što zahtjeva odgovarajuću procesnu kontrolu te, na osnovu njenih rezultata, osiguranje uvjeta za mogućnost kvalitetne proizvodnje kroz duži vremenski period. Primjenjuju se najnovija saznanja iz elektrokemije i elektro kemijskog inženjers-tva, bazirane na ponašanju elektrokemijskog dvosloja na granici elektroda / elektrolit.

Također se velika pažnja posvećuje obliku i veličini elektrokemijskog reaktora, udaljenosti i dimenzionalnom odnosu anoda / katoda, kao i amplitudi i brzini gibanja ploča i vrsti cirkulacije elektrolita.

Depozicija metala pulsnom strujom, pri čemu se postiže ravnomjerniji sloj metala, posebno značajan za slojeve u rupi tiskane ploče, u posljednje vrijeme se sve više koristi.^{12/}



Slika 7: Vrste prevlaka kod SM-tiskanih ploča

Uvođenjem automatskog doziranja aditiva u velikim automatskim uređajima, omogućuje se kontinuirano održavanje optimalne koncentracije, smanjuje se oscilacija u koncentraciji aditiva i broj potrebnih analiza.^{/13/}

Aditivi u elektrolitima za bakrenje analiziraju se metodama polarografije i cikličke voltametrije.^{/13/} Na bazi karakteristika voltamograma određuju se i nečistoće organskog porijekla u samom elektrolitu i određuje se pravi trenutak za čišćenje elektrolita sa aktivnim ugljenom. Analize ostalih procesnih medija također su bazirane na modernim analitičkim metodama polarografije, spektroskopije, kromatografije, voltametrije i sl.^{/14/}

Kod kompleksnih tiskanih ploča bitno svojstvo bakrene prevlake je duktilnost. Duktilne prevlake ne pucaju u stjenkama metaliziranih rupa kod termičkih naprezanja, koja nastaju u toku procesa lemljenja. Posljedica takovih naprezanja kod neduktilnih prevlaka su pojave grešaka u električnim kontaktima, koje je u većini slučajeva vrlo teško locirati. Zbog toga se kvaliteti bakrene prevlake, odnosno elektrolitu iz kojeg se bakar taloži posvećuje velika pažnja.^{/16/} Parametri pod kojima elektrolit optimalno radi održavaju se u što je moguće užim granicama. Mjerenje duktilnosti same prevlake provodi se modernim instrumentima, duktilometrom i instrumentom za mjerenje unutarnjih napetosti.

Elektrolitski nanešena prevlaka kositar-olovo legure povoljna je zbog dobre lemljivosti, međutim nedostatak joj je prikrivanje ev. prisutnih prekida u vodovima i stvarne širine vodova. Takovi nedostaci mogu se ukloniti pretalivanjem ili "hot air leveling"-om.

U svakom slučaju, treba imati na umu, da je svako pretalivanje ujedno i ispitivanje otpornosti tiskane ploče na delaminaciju, kao i utvrđivanje širine i oblika vodova. Na taj način mogu se izbjeći skupa i neugodna iznenađenja kasnije u eksploataciji. Međutim, svaki proces vezan za nanašanje kositar-olovo legure povećava cijenu tiskane ploče, pa se željena obrada mora odvagati u odnosu na zahtjevanu pouzdanost i cijenu.

8. FOTO-GRAFIČKE OBRADJE

Velika gustoća pakiranja zahtjeva tiskane ploče finih vodova na malom razmaku i rupe vrlo malog promjera, te strogo pozicioniranje izolacionih slojeva jednolične debljine, sve u vrlo uskim tolerancijama.^{/17/} Obzirom da su postupci sito tiska ograničeni na 250 - 300 μm , koriste se za nanošenje, kako slike vodova, tako i lemno otpornih izolacionih maski foto osjetljive folije ili tekućine.

Lemno otporne izolacione maske nanašaju se različitim načinima:

- **metoda sitotiska** - Najjeftinija metoda, kod koje se izolaciona maska nanaša sitotiskom na čitavu površinu
- **metoda "zavjese"** (curtain-coated) - Ploča prolazi kroz zavjesu tekuće lemno-otporne maske, koja se nanaša obostrano.
- **suhi film** - Obostrana laminizacija ploče s foto osjetljivom folijom.

9. LEMLJIVOST

Zahtjevi na lemljivost i dimenzionalne tolerancije lemnih mjesta na tiskanim pločama za SMT mnogo su stroži, pa se na pr. proces elektrolitske depozicije kositar-olovo legure (ukoliko je odabran ovaj način očuvanja lemljivosti lemnih mjesta, a ne inhibitorima), te naknadno pretalivanje IR zračenjem, moraju se odvijati pod strogo kontroliranim uvjetima, ili se umjesto ove dvije tehnike koristi tehnika uranjanja u talinu, praćena tzv. "hot air levelling" tehnikom.^{/18/}

10. ISPITIVANJA U TOKU PROIZVODNOG PROCESA I KONTROLA KVALITETE

Zbog izuzetno visokih zahtjeva na finoću vodova i rupa tiskanih ploča za SMT, uobičajeni postupci metaliziranja, elektro-depozicije i najedanja moraju se provoditi uz dodatno nadgledanje proizvodnih procesa i uz učestalu kemijsku kontrolu elektrolita i otopina. Svaka faza procesa podređena je strogim zahtjevima kontrole, baziranim na međunarodnim standardima serije ISO 9000.

Isto tako gotove tiskane ploče podvrgavaju se čitavom nizu ispitivanja, kako vizuelnih (debljine vodova, razmaci...), tako i električnih.^{/19/} Automatska optička ispitivanja (automatic optical inspection) također se primjenjuju, a u posljednje vrijeme razvijen je i sistem laserskog testiranja FLAIR (Fast Laser Inspection Rey).

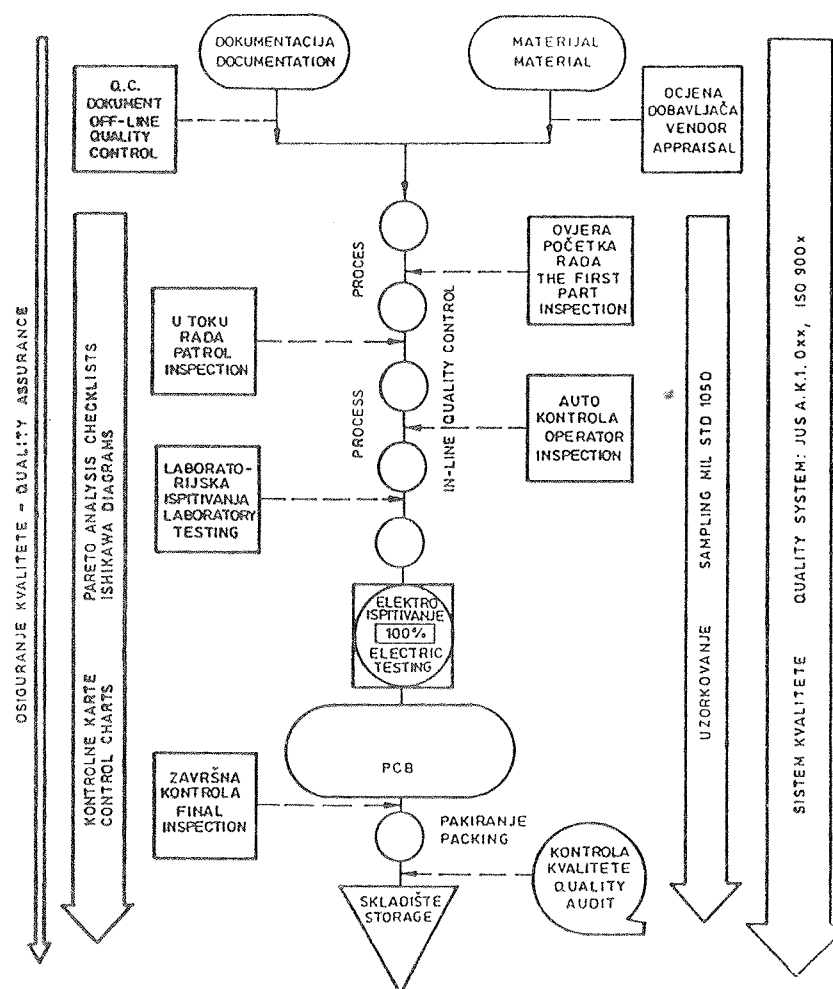
Sistem osiguranja kvalitete tiskanih ploča prikazan je na slici 8.

11. EKOLOGIJA

Bez obzira što SMT nema direktnog utjecaja na ekološke zahtjeve, treba ih spomenuti, budući da utječu na zamjenu pojedinih materijala i postupaka kod izrade tiskanih ploča i postaju jedan od osnovnih pokretača razvoja novih tehnologija. Nastoje se izbaciti otrovni štetni materijali i zamijeniti s manje opasnim, što ponekad mijenja čitav kemijski proces. Već se uspješno organska otapala i razvijači zamjenjuju s vodenim otopinama.

12. ZAKLJUČAK

Tehnologija površinske montaže zahtjeva tiskane ploče sa izuzetno uskim vodovima, malim razmacima među njima, velikim brojem slojeva, te rupama za sve većim odnosom debljina ploče / promjer rupe. Takove ploče moraju izdržati vibracije, mehaničke šokove i termička naprezanja u toku procesa proizvodnje, a i kasnije u eksploataciji. Da bi se takove tiskane ploče mogle proizvesti, primjenjuju se novi materijali, nove kemijske tehnike i nove kontrolne metode, što zahtjeva uključivanje interdisciplinarnog tima stručnjaka različitih profila.



Slika 8: Osiguranje kvalitete tiskanih ploča

LITERATURA

1. Gašpar L., "Osnovni elementi tehnologije površinskog montiranja", ITA, 7, No. 1-2 (1988)
2. Liljestrand L., "The Development of Packing Technology", Ericsson Review, No. 4 (1987)
3. Philips - tehnički podaci (1989)
4. Kreisel R., "New Process Tehnology for High Tolerance Circuit Boards", Circuit World, 14, No. 2 (1988)
5. Habicht M., "Chemische Durchmetallisierung", Galvanotechnik, 81, No. 11 (1990)
6. Hendrickson G., "Surface Mount Success: Redesigning the Process", PC Fabrication, No. 9 (1989)
7. Jackson G., "A User's Viewpoint of SMT Boards", PC Fabrication, No. 12 (1988)
8. Moran P., "Cu Plated Ceramic Technology", Electronic Production, No. 1 (1990)
9. Vogt U., "Durchmetallisierung und nasschemische Bearbeitung von Leiterplatten nach neustem tehnschen Stand", Galvanotechnik, 81, No. 7 (1990)
10. House R., "Processing PTHs Horizontally", Electronic Production, No. 11 (1990)
11. Schlötter - tehnički podaci (1990)
12. Montgomery A., "Pulse Plating of Electrolytic Cooper", Circuit World, 15, No. 2 (1989)
13. Johann K., "Chemische Lochwandreinigung", Galvanotechnik, 81, No. 9 (1990)
14. Vanhumbeeck J., "Processlenhung in der Leiterplattergalvanik", Galvanotechnik, 81, No. 4 (1990)
15. Bressel B., "Moderne Analytik von sauren Kupferbädern nit CVC und HPLC", Galvanotechnik, 75, No. 11 (1984)
16. Kanani N., "Über dem Einfluss des Mikrogefüges der Durchkontaktierung auf das Termoschock - Verhalten Von Multilayer-Leiter-platten", Galvanotechnik, 82, No. 5 (1991)
17. Holby A., "Fundamentals of Screens for Electronics Screen Printing", Circuit World, 16, No. 4 (1990)
18. Fincham E., "Finish with Solderability", Circuit Manufacturing, No. 2 (1988)
19. Kear F., "Checking up on Board Quality", Circuits Manufacturing, No. 11 (1988)

Mr. Gorana Lipnjak, dipl.ing.
Mr. Luka Gašpar, dipl.ing.
Poduzeće "NIKOLA TESLA"
Zagreb,
Krapinska 45

Prispelo: 20.9.91

Sprejeto: 15.11.91