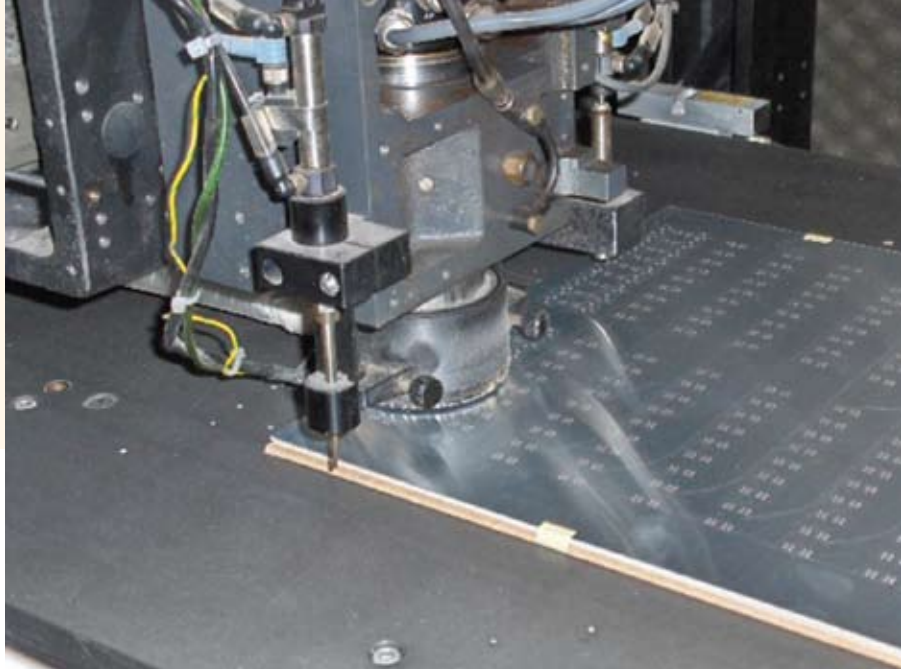


L'ottimizzazione della produzione e la riduzione degli scarti passa anche dal corretto processo di foratura e metallizzazione; conoscerne i vari passaggi e i possibili difetti contribuisce a creare le premesse per valutare quanto un prodotto possa essere tecnologicamente affidabile.



Processo e difetti del plated through hole

DI **D. GOZZI**

Le criticità spesso raggiunte dai circuiti stampati, la velocità di esecuzione e di attraversamento delle linee produttive, l'assoluta necessità di ridurre fortemente gli scarti e gli errori di produzione per contenere quanto più possibile i costi, richiedono impianti e macchine affidabili e di alta precisione. Foratura e fresatura rivestono un aspetto importante delle lavorazioni meccaniche di un circuito stampato, rivelandosi uno dei tanti punti critici tra tutti i processi di costruzione di un PCB.

A partire dal circuito monofaccia tradizionale per giungere fino ai più sofisticati circuiti multistrato con fori ciechi, fori interrati e microvia, così come per lavorazioni particolari come sulle schede metal core, la foratura e la fresatura costituiscono spesso la variabile che fa la differenza qualitativa.

Nel presente articolo si affrontano le problematiche relative al pro-

cesso di foratura e di metallizzazione dei via hole, con l'intento di aiutare EMS e OEM a meglio comprendere sia lo svolgimento del processo sia i risultati che ci si deve attendere, così come poter individuare e identificare eventuali difetti.

DUE NOTE SULLA FORATURA

In molti settori la domanda di incremento delle funzionalità a fronte di una riduzione di dimensioni e peso, porta verso lo sviluppo di tecnologia HDI (high density interconnection) con piste e isolamenti di 50 micron a cui deve per forza di cose corrispondere la diminuzione del diametro dei fori.

Gli sforzi tecnologici dei costruttori di macchine hanno portato allo sviluppo e all'utilizzo del laser nella foratura dei PCB, ma senza che per questo venga tralasciata la tradizio-

nale foratura meccanica a mandrino, ancora ampiamente utilizzata, che per questa ragione ha subito continui miglioramenti passando dai convenzionali 0,35 mm agli attuali 0,25 mm e 0,1 mm. La flessibilità di questi sistemi consente di soddisfare la produzione quotidiana di diversi codici, con tempi di set up ridotti, ma comunque significativi se moltiplicati per 25/30 lotti lanciati su base giornaliera.

La foratura presenta sempre notevoli difficoltà, dovute in parte alle disuniformità che si incontrano nel substrato, in particolare al problema che riguarda la distribuzione delle fibre di vetro nel laminato di base, non sempre omogenea.

I sistemi di ultima generazione utilizzano mandrini sincroni che hanno una coppia molto più alta dei mandrini asincroni tradizionalmente in uso, in particolare - lavorando a bassi regimi di giri - rendono possibile la foratura di fogli con dimensioni che

vanno dai 100 micron a oltre 6 mm di spessore. Sono possibili velocità di foratura superiori alle 500 battute al minuto; la precisione sull'asse Z arriva a ± 8 micron a 3 sigma.

La corsa dei tre assi avviene con motori lineari. La calibrazione automatica dei movimenti sugli assi X-Y della macchina, dopo la foratura di ogni "pacco" di produzione, garantisce sempre un'alta precisione e una costante ripetibilità del processo.

DALLA FORATURA ALLA METALLIZZAZIONE

L'operazione prende avvio col taglio a misura del laminato a cui segue, per un circuito mono, doppia faccia o multilayer, la composizione del "pacco" o sandwich di foratura composto da un fondello di cartone, dal laminato e da un fondello di alluminio; il tutto tenuto insieme dalla spinatura.

Il fondello di cartone, posto nella parte inferiore del "pacco", serve per far fuoriuscire in modo corretto l'utensile evitando la formazione di "bava" sul colletto del foro; mentre il fondello di alluminio ha lo scopo di disperdere il calore provocato dall'attrito delle punte sul materiale da forare e di evitare, anche in questo caso, la formazione di bave.

Nel caso dei circuiti multilayer ci sono alcuni passaggi che vengono eseguiti prima dell'ingresso in foratura:

- esposizione degli inner layer (gli starti interni);
- incisione degli inner layer;
- test ottico;

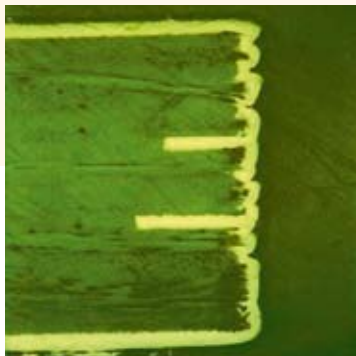


Fig. 1 - Rugosità 1

- fase di black oxide del rame (per aumentare il grip tra rame e prepreg);
- bonding, ovvero l'applicazione di alcuni punti di saldatura sui bordi per "legare" l'insieme dei vari layer (è applicato dal sesto strato in poi);
- pressatura;
- realizzazione dei fori di riferimento;
- foratura dei via hole a cui segue il desmearing ovvero la pulizia dei fori per liberarli da eventuali residui di resina.

Il numero di circuiti (variabile da 1 a 3, per un laminato con spesse-

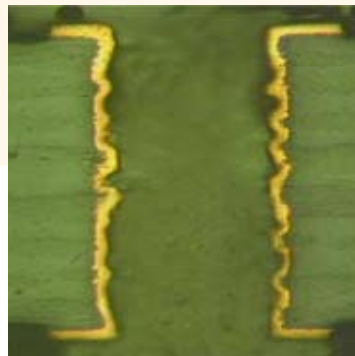


Fig. 2 - Rugosità 2

re di 1,60 mm), che viene impilato nel sandwich di foratura, dipende dal diametro minimo della punta utilizzata, con uno spessore massimo di quasi 5 mm; mentre il diametro di foratura viene abitualmente calcolato di 0,1-0,15 mm superiore al valore nominale perché tiene conto dei successivi riporti metallici. La velocità media di foratura rientra nell'intervallo di 5000-7000 fori/ora e sono realizzati in contemporanea sia i fori che dovranno essere metallizzati sia i fori di fissaggio, fino ad un diametro massimo di 6,5 mm.

A questo punto le operazioni di foratura terminano col deburring, la

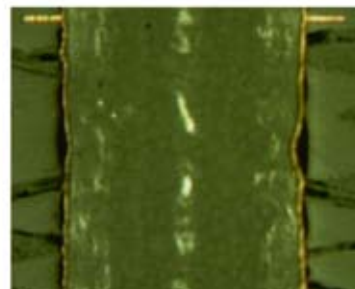
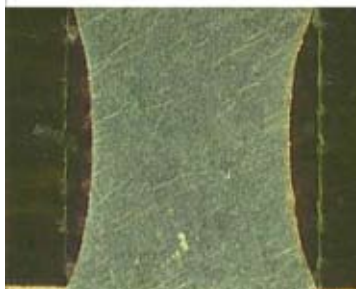
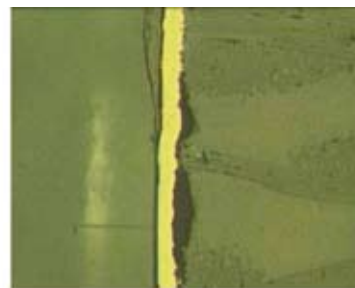
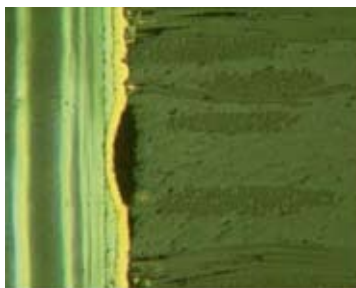
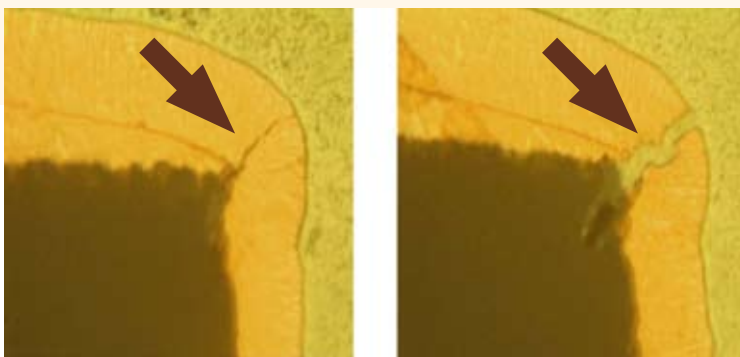


Fig. 3 - Pth separation Pull away
Rsin recession

Fig. 4 - Corner cracking



rimozione cioè delle bave, e i circuiti sono pronti per entrare nelle fasi di metallizzazione.

METALLIZZAZIONE

La lavorazione prosegue con una “prima metallizzazione” dei fori in modo da rendere conduttivo l'interno degli stessi, permettendo poi in fase di galvanica il deposito elettrolitico del rame.

A questo punto i circuiti entrano in camera gialla per la laminazione del dry film a cui segue l'esposizione e lo sviluppo creando così il layout delle piste/isolamenti. La successiva fase di galvanica, come detto, deposita elettroliticamente (i pcb rappresentano il catodo del processo) il rame all'interno dei fori e sopra le piste (rame di riporto) già delineate in camera gialla, così come un secondo step galvanico ricopre di stagno tutte le parti in rame a questo punto realizzate.

La rimozione del dryfilm (strip-paggio), la successiva incisione chimica del rame (le piste ricoperte da stagno, etch resist, non vengono aggredite) e l'asportazione dello stagno completano la fase “umida” del processo rendendo il pcb elettricamente funzionante.

DIFETTI RILEVABILI NEI FORI DIVIA

Una prima caratteristica che il foro di via deve possedere è la sua centratura rispetto alla piazzola. Vengono date tre classi di accettabilità in funzione di quanto la condizione reale si discosta da quella ideale. Nel caso in cui foro e pad non siano concentrici, la misura minima della corona circolare deve essere di 0,05 mm (classe 3). Classe 1 e 2 accettano anche sconfinamenti del foro rispetto alla piazzola di 90° e oltre, disallineamenti più o meno gravi possono verificarsi anche tra strati interni e quelli esterni.

Per problemi imputabili a più fattori del processo, le pareti del foro possono accusare la presenza di strappi o rotture della fibra di vetro, per cui la parte del foro (barrel) non si presenta liscia a sufficienza; la rugosità si può suddividere in cinque “classi”, in cui la più critica presenta un valore di rugosità (picco tra il minimo ed il massimo) di oltre 36 micron, valore questo che genera micro-interruzioni che possono portare a fenomeni di outgassing durante gli stress termici.

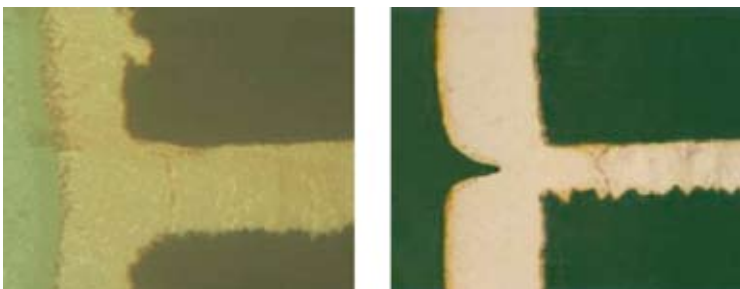
Nel caso in cui ci siano protuberanze eccessive della fibra di vetro all'interno del foro, potrebbero originarsi dei noduli sulle pareti durante la metallizzazione con rame, causando un restringimento del diametro interno; se la protuberanza è eccessiva, l'inserimento del reoforo del componente può strappare la metallizzazione originando outgassing.

Il difetto definito come *glass fiber protrusion* è sempre imputabile ai fasci di fibra di vetro che sporgono all'interno del foro, ma hanno come conseguenza la riduzione dello spessore metallico di riporto.

Altri difetti che in fase di saldatura possono generare outgassing sono dovuti a interruzioni, mancanze (*plating void*) o separazioni (*PTH separation, resin recession, pull away*) più o meno estese, della metallizzazione dalle pareti del foro. La separazione della metallizzazione è ritenuta accettabile fino a un massimo del 15% (anche discontinuo) rispetto alle pareti del foro.

Un problema che tende a ridurre il diametro del foro dopo il processo galvanico di metallizzazione è

Fig. 5 - Negative etch back



il *burr*, generato dalla bava di foratura non rimossa e piegata all'interno.

Lo *smearing* genera invece problemi di connessione elettrica ed è dovuto alla spalmatura della resina epossidica sulla parete del via durante la foratura e non asportata durante il *desmearing*; la sua presenza può isolare elettricamente gli strati interni dalle pareti metallizzate del foro.

Post separation è la separazione tra strato interno e *barrel* (parete metallizzata del foro di via), difetto che, anche in questo caso, ha più cause.

Un altro problema che si può presentare a livello di strato interno è il *negative etchback*, l'arretramento del rame dello strato intermedio, la cui causa è da ricercare in un eccesso di *microetching* (tutte quelle fasi chimiche che, per la pulizia delle superfici, asportano quantità minime di rame). Se il rientro è eccessivo, la successiva metallizzazione galvanica o non riesce a livellare o, livellando, lascia una cavità; in entrambi i casi gli stress termici dei seguenti processi di assemblaggio possono portare a rotture della connessione *layer-barrel*.

La differenza nei coefficienti di espansione termica di rame e fibra di vetro/resina può causare diversi problemi, come il *barrel cracking* cioè la rottura del rivestimento del foro, oppure il *corner cracking* che è la rottura del rame sul colletto del foro (dove questo si raccorda col pad). Non di rottura, ma di indebolimento del colletto del foro si parla invece nel caso del *deburring*, là dove ci sia un eccesso di sbavatura dopo la foratura con asportazione del rame di base.

Nel descrivere il processo e gli eventuali problemi che possono emergere, sembra tutto di una semplicità sconcertante, quasi scontata. In realtà la partita si gioca tutta sul filo del micron e nulla è così evidente come sembra trasparire dalla descrizione; spesso i problemi emergono solo quando la scheda è in fase di assemblaggio o, peggio, quando si trova già alla fine del ciclo produttivo, con un valore aggiunto dato sia dalle lavorazioni a cui è stata sottoposta sia dai componenti che ormai gli sono solidali. La ricerca dei difetti originati durante la produzione dei circuiti stampati, non tutti, ma sicuramente quelli descritti, richiede sempre (o almeno spesso) un'analisi di tipo distruttivo, in quanto il difetto emerge solo in seguito al sezionamento della scheda e richiede un processo elaborato e costoso per essere evidenziato. ■

Si ringrazia Tecnometal per la cortese collaborazione alla stesura dell'articolo da parte del suo team tecnico.