



SALDATURA MANUALE CON LEGHE SENZA PIOMBO

A cura di OK International (Divisione Metcal)

Introduzione

Con la progressiva affermazione fra le case produttrici dei processi di saldatura *lead-free*, ovvero senza piombo, la saldatura manuale e le tecniche ad essa correlate sono diventate una delle funzioni chiave, nell'ambito dei processi produttivi, che richiede un'ulteriore attività di ricerca e sviluppo. La saldatura manuale tendenzialmente avviene al termine della linea di produzione, laddove la scheda a circuito stampato ha un elevato valore intrinseco e pertanto un corretto controllo del processo influisce in modo significativo sui costi di produzione e sulla produttività. Il presente articolo tratta gli aspetti fondamentali del processo di saldatura manuale ed illustra gli adeguamenti necessari ai fini di un'efficace implementazione della tecnologia senza piombo.

Il Processo

Molte organizzazioni produttive controllano e definiscono il loro processo di saldatura manuale specificando la temperatura della punta del saldatore. Con l'introduzione delle leghe senza piombo e con punti di fusione più elevati rispetto a quelli delle leghe tradizionali di stagno/piombo, è necessario definire un maggior numero di parametri di processo.

L'Associazione Elettronica Nordamericana, l'IPC, definisce il processo di saldatura manuale con una "regola empirica" che parla in termini di raggiungimento di una temperatura di collegamento ideale per un determinato intervallo di tempo. Ciò attribuisce più importanza al rendimento nel trasferimento del calore che alla temperatura assoluta della punta. Fattori quali la forma e le condizioni della punta, la potenza erogata dal saldatore ed il tempo di permanenza sul giunto influiscono tutti sull'efficacia di trasferimento del calore e pertanto debbono essere considerati nel monitoraggio, nel controllo e nella definizione del processo.

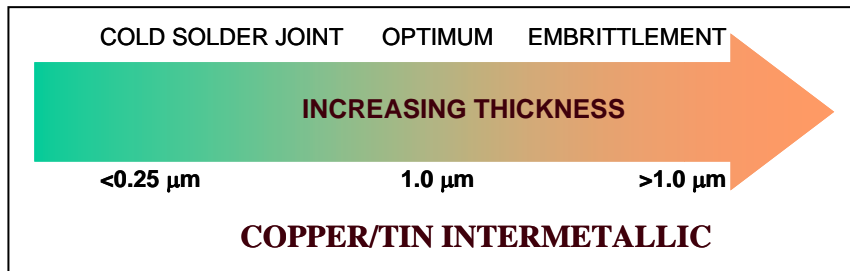
Il processo di saldatura manuale pertanto si può definire suddividendolo nelle seguenti fasi:

- (a) la punta del saldatore deve essere pulita, ben stagnata e della forma giusta per massimizzare l'area di contatto con il giunto da saldare. Il filo di saldatura e la punta riscaldata sono applicate al reforo ed alla piazzola.
- (b) Il giunto viene portato a 40°C oltre il punto di fusione per 2 - 5 secondi, in questo arco di tempo il flussante inizia ad attivarsi e la lega di saldatura inizia a fluire.
- (c) La lega di saldatura fluisce. Si muove lungo la superficie del reforo, riempie il foro passante e copre la piazzola.
- (d) La punta riscaldata viene tolta e la lega di saldatura si solidifica.

Temperatura di collegamento

Come in tutti gli altri processi di saldatura, il raggiungimento della corretta temperatura di collegamento durante la saldatura manuale è di importanza vitale per la formazione di giunti di buona qualità. L'esame dello spessore e della morfologia dello strato intermetallico all'interno del giunto può fornire una chiara indicazione dell'esatta quantità di energia termica che è stata applicata al giunto. La presenza di uno spazio intermetallico è una buona indicazione del fatto che si è verificata una reazione metallurgica fra la lega di saldatura e la terminazione e fra la lega e la piastra/piazzola.

Il controllo dello spessore dello strato intermetallico (velocità di reazione) è di importanza cruciale per la formazione di un giunto resistente dal punto di vista metallico. Il tasso di aumento dello strato intermetallico dipende da temperatura e tempo. Un'eccessiva energia termica produrrà uno strato intermetallico di maggiore volume e quindi una maggiore fragilità. La presenza di uno strato intermetallico troppo piccolo è indice di insufficiente energia termica e comporta la formazione di un giunto "freddo" durante il processo di saldatura.



Lo spessore dello strato intermetallico può essere indicativo della qualità del giunto.

Tradizionalmente indicativi della qualità del giunto di saldatura erano la forma complessiva e la finitura superficiale del giunto concavo di saldatura. Malauguratamente la finitura superficiale e la forma dei giunti nella saldatura senza piombo sono notevolmente diversi da quelli osservabili con le leghe stagno/piombo.



I giunti senza piombo presentano una superficie opaca ed angoli di bagnatura maggiori.

Considerazioni sul flussante

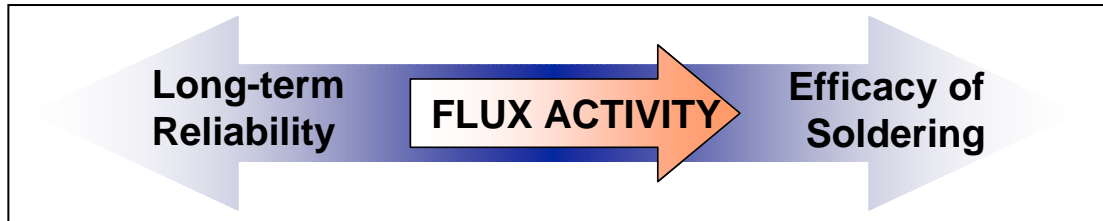
L'applicazione della quantità giusta di energia termica influirà anche sul rendimento del flussante. Di seguito sono indicati i costituenti tipici dei flussanti di qualità elettronica con i relativi punti di ebollizione

Acidi. (Adipico, Glutarico)	200°C-260°C B.Pt
Alcool. (Etanolo, Propanolo)	78°C-180°C B.Pt
Acqua	100°C B.Pt

I punti di ebollizione degli alcool e di alcuni acidi sono ben al di sotto delle temperature standard di saldatura manuale. E'pertanto importante non applicare calore eccessivo e troppo velocemente durante il processo di saldatura manuale, poiché ciò provoca l'evaporazione del flussante prima che esso abbia il tempo di attivarsi e di determinare la corretta bagnatura della lega.

Anche la scelta del flussante è importante per la qualità del processo di saldatura. Con le temperature di processo più alte, che comportano velocità di ossidazione più elevate, e con le forze di bagnatura inferiori delle leghe senza piombo, può rendersi necessario l'uso di flussanti "più forti". E' anche probabile un aumento del volume di flussante in percentuale nel filo di saldatura, da circa 1,0% (valore tipico) ai valori attuali che superano il 2%.

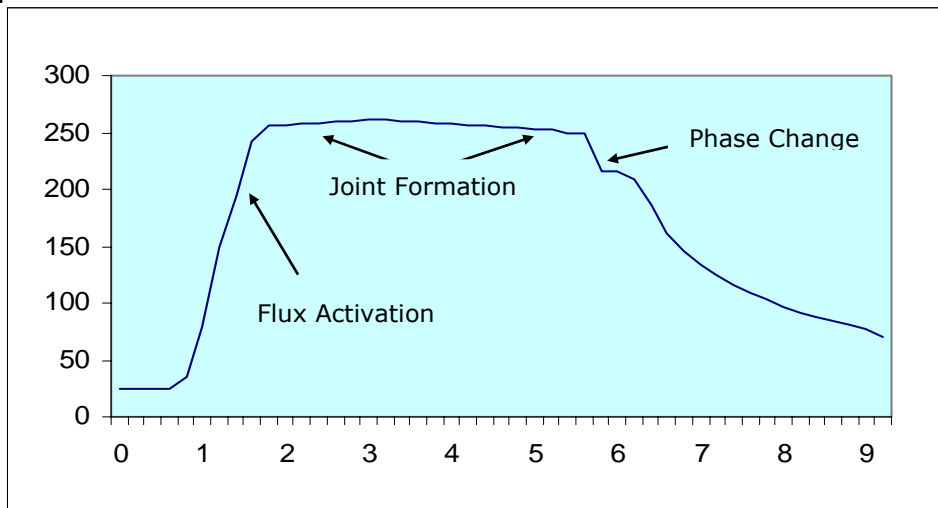
L'uso di fluxanti più forti ed aggressivi in quantità più elevate può richiedere un'operazione di pulizia del circuito stampato al termine del processo di saldatura. Ciò richiede quindi un'ulteriore operazione, dal momento che la maggior parte delle case produttrici di componenti elettroniche non praticano la saldatura "pulita", e l'uso dei materiali di pulizia può essere causa di problemi ambientali.



Tanto più forte è il fluxante, quanto più aggressivi saranno i relativi residui

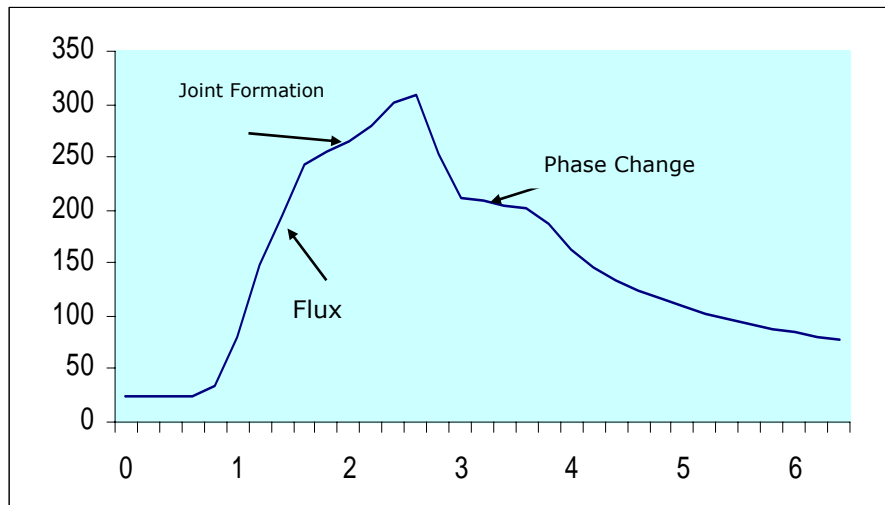
Profilo termico

Per ottenere un buon processo di saldatura manuale, abbiamo bisogno di applicare una quantità sufficiente di energia termica, il che equivale a portare la temperatura di collegamento a 40°C al di sopra del punto di fusione della lega per un arco di tempo di 2-5 secondi. La maggior parte delle case produttrici che stanno adottando processi di produzione senza piombo, sembra optare per leghe SAC basate sull'eutettico Stagno/3,8Argento/0,7 Rame. Esso presenta un punto di fusione di 217°C dal quale risulta una temperatura di collegamento target di 257°C. Ciò significa che nell'uso delle leghe SAC la temperatura di collegamento può dover essere portata fino a circa 260°C. Se dovessimo tracciare un profilo teorico, tenendo conto della "regola empirica" dell'IPC, otterremmo quanto segue:



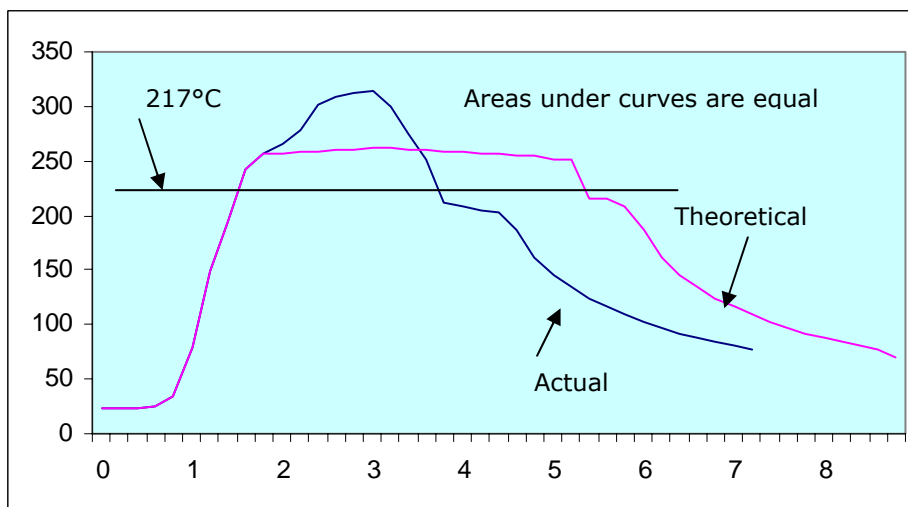
Inizialmente, quando la punta ed il filo vengono messi a contatto con il giunto, si osserva un rapido aumento della temperatura, durante il quale il fluxante si attiva. Man mano che la temperatura sale oltre il punto di fusione della lega, la lega di saldatura fluisce ed inizia a formare la saldatura. La temperatura viene quindi mantenuta per circa 4 secondi, il saldatore viene rimosso ed il giunto si raffredda. Occorre notare che nella curva si forma un avvallamento quando lo stato della lega di saldatura passa dalla fase liquida a quella solida durante la parte di solidificazione del processo.

In realtà succede molto raramente che il saldatore venga lasciato sul giunto per un tempo superiore a due secondi circa e quindi i profili effettivi tendono a mostrare molto più di un picco termico per un arco di tempo più breve. (vedere illustrazione successiva).



Da un confronto dei profili teorici con quelli effettivi, emerge che in generale le temperature del giunto raggiungono un livello più elevato rispetto ai 40°C al di sopra del punto di fusione della lega consigliati, ma per un arco di tempo molto più breve.

Tuttavia, l'energia termica utilizzata in ciascun caso è molto simile poiché essa dipende da temperatura e tempo. L'energia termica è calcolabile come l'area presente al di sopra della linea del punto di fusione. Da questo grafico si può vedere che le aree sono uguali.



Allo scopo di evidenziare eventuali differenze nel processo si saldatura manuale, la divisione Metcal di Ok International ha condotto una serie di studi dedicati alle saldature con leghe senza piombo. Una serie di profili termici è stata rilevata dai fori passanti metallizzati di una scheda a circuito stampato a quattro strati. Sono stati scelti i fori dei connettori in quanto essi rappresentano le applicazioni di saldatura manuale di "forma più insolita" ed anche, come precedentemente sottolineato, in considerazione del probabile aumento iniziale di questo tipo di saldatura manuale con l'introduzione delle leghe senza piombo.

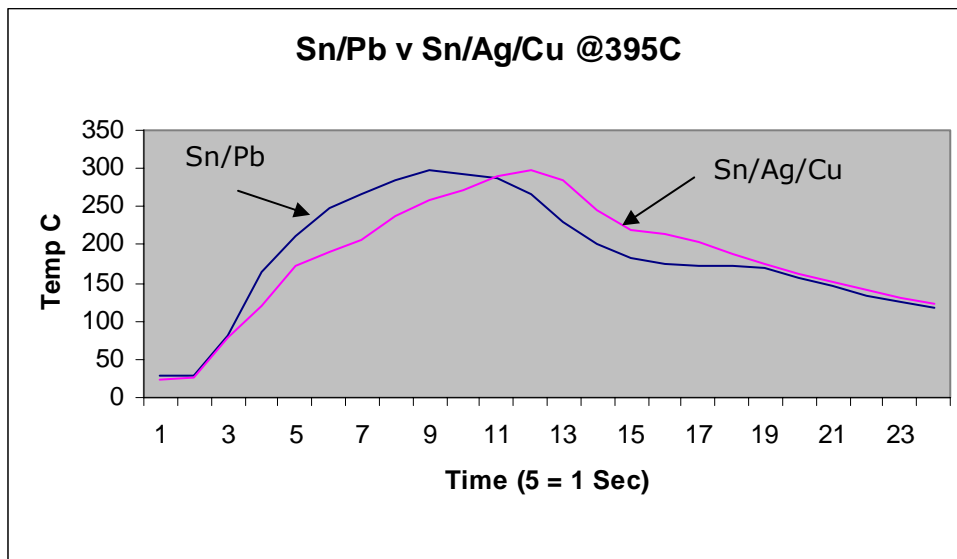
Una termocoppia di tipo K è stata posizionata all'interno del foro passante metallizzato, quindi si è inserito il connettore e l'operazione di saldatura manuale è stata completata.

Gli stessi 4 fori sono stati saldati durante lo studio per ottenere confronti veritieri.

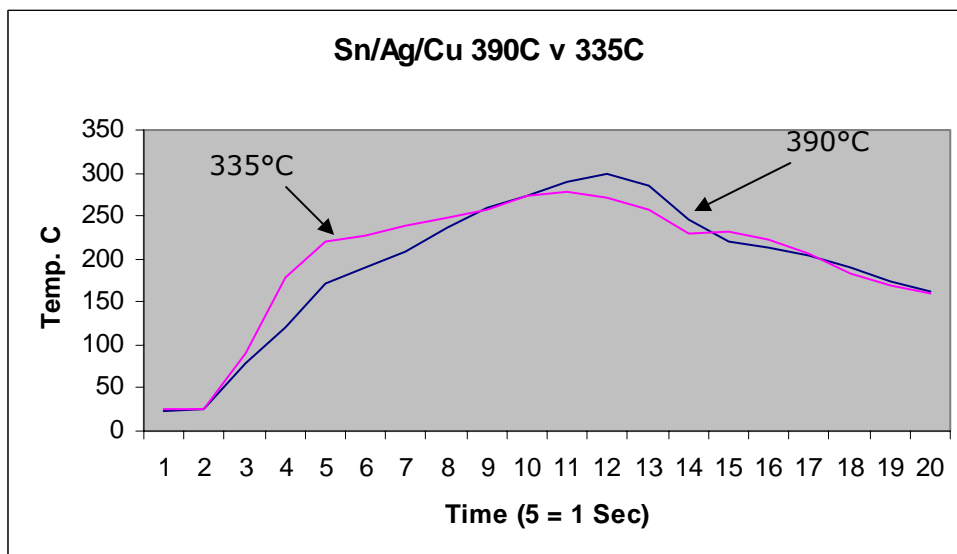
Sono stati sviluppati i profili e si sono generati dei profili medi utilizzando una punta standard alla una temperatura misurata di 395°C utilizzando una lega Sn/Pb 60/40 e si è ripetuta l'operazione utilizzando una lega Sn/Ag/Cu.

E' stato successivamente sviluppato un altro gruppo di profili ed altri profili medi sono stati generati con Sn/Ag/Cu utilizzando la punta a due temperature diverse (395°C e 335°C).

Dal confronto dei primi gruppi di profili medi emerge che le temperature picco sono molto simili e che anche la velocità di aumento della temperatura durante la fase di attivazione del fluxante è molto simile. C'è stato un aumento marginale nel tempo per la fase di formazione del flusso/giunto di saldatura, che normalmente è di 0,25-0,5 secondi. Ciò probabilmente è dovuto alle minori forze di bagnatura delle leghe Sn/Ag/Cu rispetto a quelle Sn/Pb.



Il secondo gruppo di profili confronta le due diverse temperature di saldatura. Si può notare che alle temperature più basse della punta diventa più lunga la fase di formazione del flusso /giunto di saldatura. Anche la temperatura massima del giunto raggiunta è inferiore, anche se la differenza di temperatura sembra essere piuttosto contenuta. E' interessante notare che la velocità di aumento della temperatura durante l'attivazione del fluxante è maggiore quando la temperatura della punta è più bassa ed il tempo di saldatura complessivo più o meno uguale.



Le conclusioni generali che si possono trarre da questi studi sono le seguenti:

1. Si riscontra un leggero prolungamento del tempo di processo durante la fase di flusso della lega/formazione del giunto di saldatura del profilo con leghe Sn/Ag/Cu a causa delle proprietà bagnanti inferiori di queste leghe (effetto lega).
2. Sembra che sulla temperatura di attivazione del fluxante e sulla temperatura massima del giunto non influisca la variazione della composizione della lega.
3. Sulla temperatura massima del giunto può influire la temperatura della punta del saldatore, ma questo effetto può essere minimizzato da un buon trasferimento termico all'inizio del processo (effetto saldatore e dimensione del giunto).

E' necessario raggiungere il giusto equilibrio fra tempo di processo, costo del processo in termini di elementi di consumo e giusta qualità del giunto.

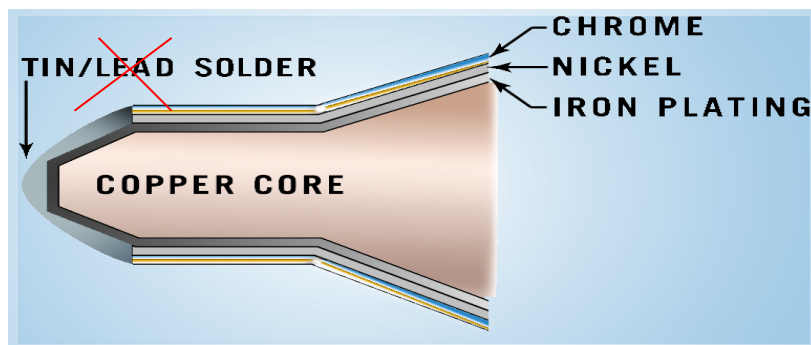
Un aumento della temperatura della punta può inizialmente fornire la "sensazione" di migliorare le caratteristiche di bagnatura delle leghe senza piombo ed accelerare il tempo complessivo del processo, ma ciò tende ad influire sulla velocità di attivazione e rischia di danneggiare la scheda ed i componenti, oltre che ridurre drasticamente la durata delle punte stesse.

L'altra opzione consiste nell'aumentare e mantenere livelli elevati di rendimento nel trasferimento del calore e proprio questo è il punto di forza della tecnologia Metcal Smart Heat®.

Questa è di gran lunga l'opzione migliore, sia perché comporta una riduzione delle possibilità di danneggiamento termico, sia perché consente di mantenere il più basso possibile il costo del processo, manutenzione e ricambi inclusi.

Ottimizzazione del trasferimento del calore

Questi sono i materiali **precedentemente** utilizzati in tutte le punte di saldatori standard.



Tutte le punte ora sono disponibili con rivestimento senza piombo

Il rame viene utilizzato per l'elevata conduttività termica che lo contraddistingue, la placcatura di ferro (Fe) è usata in quanto contribuisce a mantenere la forma del materiale dell'anima in rame tenero e previene lo scioglimento del rame stesso. Il rivestimento del saldatore (che ora deve essere senza piombo) mantiene la placcatura in ferro bagnata e funge da ponte termico. La manutenzione di quest'ultimo strato è di importanza fondamentale per l'ottimizzazione del trasferimento del calore.

(Il cromo ed il nichel vengono utilizzati per impedire che la lega di saldatura si sollevi e si ritiri dall'area della punta utilizzata per l'operazione di saldatura).

L'altro fattore importante per il miglioramento del rendimento nel trasferimento termico è la scelta della punta giusta.

La punta giusta deve avere dimensioni simili a quelle dell'oggetto da saldare. Le punte piatte producono un'area di contatto con una terminazione più estesa rispetto alle punte rotonde e pertanto tendono a rendere di più in termini di trasferimento del calore.



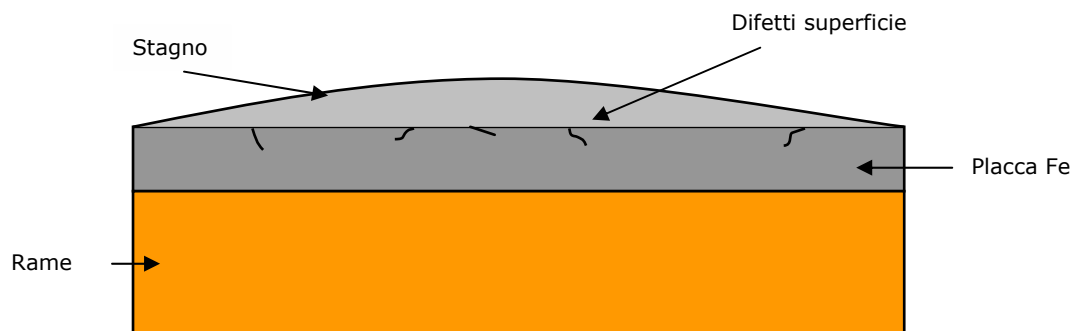
La punta deve avere una dimensione simile all'oggetto di saldatura

Vita utile della punta

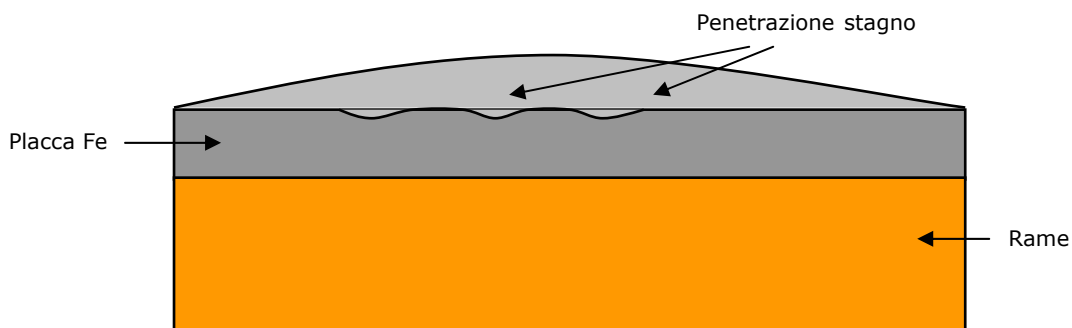
In generale, le punte di tutte le case produttrici hanno una vita utile ridotta quando vengono utilizzate con le leghe senza piombo. Questo è dovuto ai seguenti fattori:

1. al maggiore contenuto di stagno della lega. Lo stagno erode facilmente la placcatura in ferro (Fe);
2. al punto di fusione più elevato delle leghe senza piombo. La velocità ed il tasso di erosione dipendono dalla temperatura di esercizio utilizzata;
3. ad un'ossidazione più rapida della placcatura in ferro;
4. ai flussanti più aggressivi.

Il meccanismo di cedimento è inevitabile ed avviene in modo "naturale". Sostanzialmente tutte le forme di placcatura presentano minuscoli difetti superficiali. Essi assumono la forma di piccole incrinature superficiali, inclusioni o zone di sollecitazione.



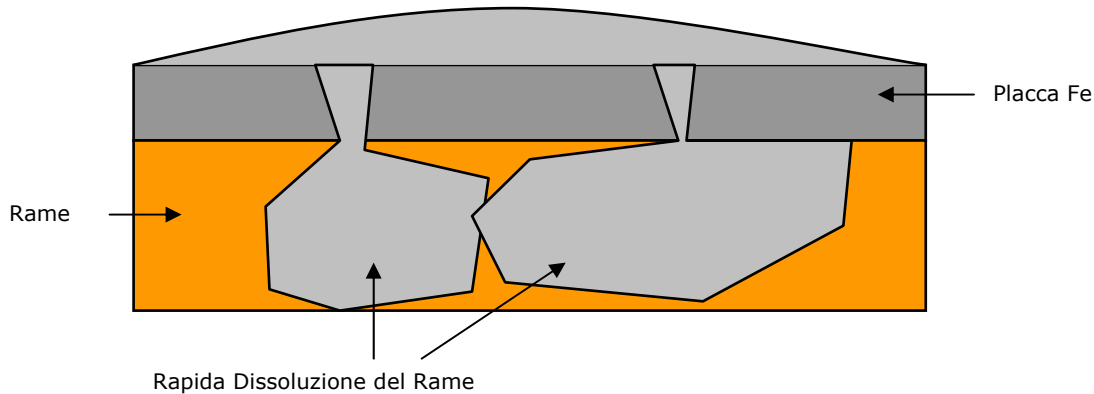
La lega di saldatura fusa inizia a penetrare in questi difetti superficiali. Questa è la cosiddetta fase di "innescò" del difetto e rappresenta la frazione più lunga del tempo che intercorre fino al cedimento.



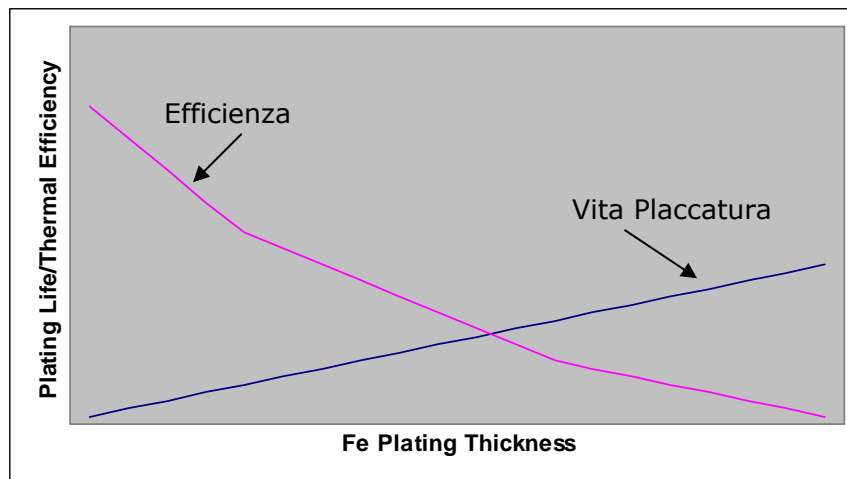
Questa fase iniziale copre il 90% del tempo complessivo che intercorre fino al cedimento.

Una volta che la lega di saldatura si è infiltrata attraverso la placcatura di ferro, l'anima di rame si scioglie rapidamente e la punta alla fine cede.

Questa è la cosiddetta fase di propagazione del difetto e costituisce circa il 10% del tempo complessivo che intercorre fino al cedimento definitivo della punta.



L'aumento dello spessore della placcatura di ferro (Fe) determina un prolungamento della vita utile della punta. Tuttavia il ferro (Fe) presenta una conduttività termica relativamente scarsa e quindi il rendimento complessivo della punta in termini di trasferimento termico sarà notevolmente ridotto.



Una placcatura di buona qualità e buone tecniche di manutenzione sono molto utili poiché prolungano notevolmente la vita utile della placcatura e quindi della punta, oltre ad incrementare l'efficacia di trasferimento del calore.

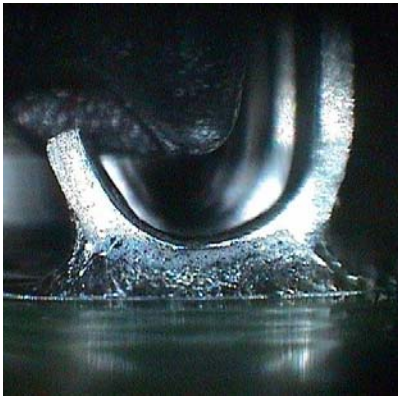
L'aspetto del giunto di saldatura

In generale i giunti senza piombo hanno un aspetto completamente diverso da quelli realizzati con leghe di stagno/piombo.

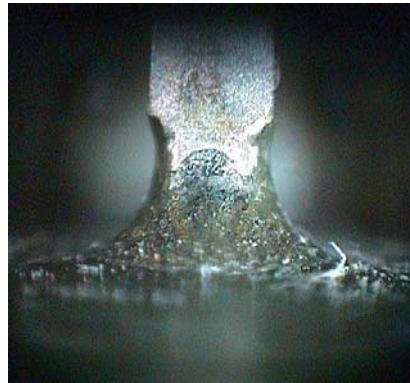
Organizzazioni come l'IPC stanno introducendo standard specifici sull'aspetto del giunto, ma molte aziende definiscono i loro standard internamente.

Si pone l'importante esigenza per le case produttrici di mettere a punto nuovi programmi di addestramento sull'ispezione per evitare che vengano scartati da operatori e ispettori della qualità giunti di saldatura in realtà perfetti con conseguente ricorso ad inutili rilavorazioni.

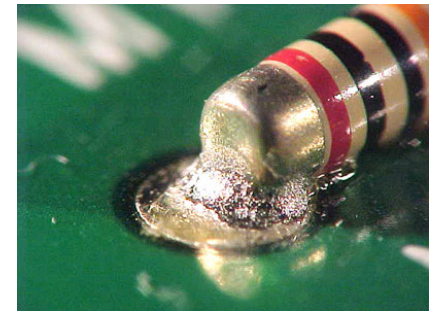
Di seguito si riportano alcuni esempi tipici di giunti saldati senza piombo



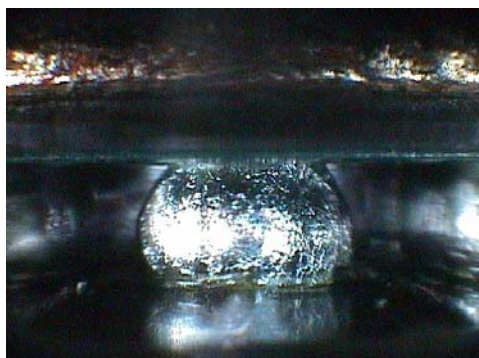
Angolo di contatto alto sul PLCC



Finitura opaca su foro passante



Scarse proprietà di bagnatura



(BGA) Differenze nella forma della sfera, finitura superficiale, ed altezza distanziale

Conclusioni generali

Per evitare temperature di processo eccessive e conseguenti danni termici agli elementi durante il processo di saldatura manuale, occorre tenere conto dei seguenti aspetti:

1. forma e condizioni della punta. L'uso di una punta delle giuste dimensioni consente di massimizzare l'area di contatto della punta con il giunto e di migliorare in rendimento in termini di trasferimento del calore.
2. Contenuto di fluxante del filo di saldatura e velocità d'attivazione. E' probabile che i contenuti di fluxante, in volume, aumentino. Ciò da un lato favorisce il trasferimento termico, dall'altro può richiedere un intervento di pulizia successivo alla saldatura. L'attivazione del fluxante alla giusta velocità è di importanza vitale.
3. La capacità termica del saldatore. La capacità del saldatore di imporre la giusta velocità di aumento della temperatura al giunto è importante sia per l'attivazione del fluxante che per la temperatura finale del giunto di saldatura.
4. Temperatura della punta. Le temperature delle punte esistenti possono essere utilizzate nella maggior parte delle applicazioni, a condizione che siano adottate la giusta forma di punta e adeguate tecniche di manutenzione.

L'affermazione delle leghe senza piombo renderà il controllo dei processi ancora più importante di quanto non sia stato in passato. Il processo della saldatura manuale richiederà pertanto una definizione più dettagliata e la specificazione della forma della punta, della potenza erogata e del rendimento nel trasferimento termico oltre che della temperatura assoluta della punta.

Riferimento: IPC standard IPC-610

Per ulteriori informazioni: OK International - Strada Statale 11 n. 28 20010 Vittuone MI
☎ +39 (02) 90 25 161 fax: +39 (02) 90 11 11 47 web site: www.okinternational.it