

Erfolgreich Selektivlöten mit dem bleifreien Lot Flowtin®

Von Dr. Werner Kruppa, Stannol GmbH, Wuppertal,
und Wolfgang Labod, Hella KGaA Hueck & Co., Recklinghausen

In einer Untersuchung wurde analysiert, wie schnell sich ein kleines Lotbad mit Kupfer anreichert und welche Maßnahmen getroffen werden können, um eine Langzeitstabilität zu erzielen, so dass Wartungsarbeiten minimiert und ein Lotbadaustausch vermieden werden kann. Die Verwendung des mikrolegierten Lotes Flowtin® (Flowtin ist Markenzeichen der Firma Stannol) verhindert das rasche Ansteigen der Kupferkonzentration, so dass das Lotbad praktisch wartungsfrei betrieben werden kann.

Das bleifreie Wellenlöten wird üblicherweise bei Temperaturen von 260 °C bis 265 °C und Kontaktzeiten von 3 s bis 5 s ausgeführt: Ein großes Lotbad verfügt über eine gute Temperaturkonstanz und Prozessstabilität. Änderungen der Lotbadzusammensetzung durch Verunreinigungen stellen sich sehr langsam ein. Beim Selektivlöten findet man oft relativ kleine Lotbäder und die Prozesse sind sehr vielfältig in ihren Anwendungen. Sie werden oft bei höheren Löttemperaturen (275 °C bis 320 °C) durchgeführt, um den Wärmeeintrag zu realisieren. Der für das Löten notwendige Energieeintrag zur Bildung von qualitativ guten Lötverbindungen wird beim Selektivlöten über den Kontakt mit dem schmelzflüssigen Lot der Miniwelle eingebracht. Die für den Lötprozess notwendige Temperatur und Kontaktzeit beeinflusst maßgeblich die Kupferablegierrate und somit auch die Lotbadkontamination. Die chemisch-analytische Beobachtung der Lotbadverunreinigung ist daher sehr viel häufiger notwendig als bei einer großen Wellenlötanlage. Aus den analytischen Daten kann man erkennen, wann eine gesetzte Prozessgrenze erreicht ist und Korrekturmaßnahmen erforderlich sind. Da die Lotvolumina beim Selektivlöten relativ klein sind, wirken sich Kontaminationen sehr viel schneller und stärker aus, mit der Folge, dass das kontaminierte Lot in relativ kurzen Abständen ausgetauscht werden muss.

Berechnungsmodell für ein Lotbad

Die modellhafte Betrachtung des Prozesses ermöglicht es, die Veränderungen im Lotbad zu prognostizieren, um vorherzusagen, ob ein Prozess innerhalb der festgelegten Grenzen stabil zu halten ist. Die Lotbadanalyse gibt Auskunft über den aktuellen Status der Verunreinigungen. Bei einem einigermaßen gleich bleibenden Prozess, kann man die ständig stei-

gende Kupferkontamination gut verfolgen, modellieren und abbilden (Abb. 1).

Nach Einsatz von frischem Lot ist der Anstieg der Kupferwerte nach den ersten Produktionstagen beziehungsweise ein bis drei Wochen schon ausreichend, um zu erkennen, wann die selbst gesetzten Eingriffswerte erreicht sein werden. Wenn die Prozessparameter und der Lotverbrauch bekannt sind, kann man berechnen, ob oder wann die individuellen Prozessgrenzen erreicht werden. Die Hochrechnung nach Gleichung <1> prognostiziert den theoretischen Gleichgewichtszustand (Cu_G). Liegt dieser unterhalb der Eingriffsgrenze, kann man den Prozess unter gleichen Bedingungen langzeitstabil halten und ein Eingriff ist nicht notwendig.

$$Cu_G = \frac{Cu_P - Cu_A \cdot V^P}{1 - V^P} \quad <1>$$

mit:

- P Produktionsmenge (Stück)
- Cu_A Kupferkonzentration (%) zu Anfang der Aufzeichnung
- Cu_P Kupferkonzentration (%) nach einer Produktionsmenge P
- L_v Lotverbrauch (kg)
- L_b Lotbadfüllung (Masse Lot im Lotbad) (kg)
- V Verdünnungsrate durch Zusatz frischen Lotes (Gl. <3>)
- t Kontaktzeit (s)
- F Kontaktoberfläche (mm²) (Kupferpadgröße oft Schätzwert)
- L_r Ablegierrate (µm/s)
- D_{Cu} Dichte von Kupfer (8,92 g/cm³)
- Cu_G Kupferkonzentration (%) im Gleichgewichtszustand <1>

Durch Umformen von *Gleichung <1>* kann man die Kupferkonzentration (Cu_p) in Abhängigkeit von der Produktionsmenge (P) berechnen beziehungsweise grafisch darstellen (*Abb. 1*). Dazu ist es notwendig die Verdünnungsrate zu kennen. Die Verdünnungsrate des Lotbades (V) ist produktionsabhängig und lässt sich aus dem Verhältnis Lotverbrauch/Lotbadfüllmenge (L_v/L_b) berechnen (*Gl. <3>*).

$$Cu_p = V^P (Cu_A - Cu_G) + Cu_G \quad <2>$$

$$V = 1 - \frac{L_v}{L_b \cdot P} \quad (V < 1) \quad <3>$$

Die Auflegierung (X), das heißt das Anwachsen der Kupferkonzentration von (Cu_A) bis zur Gleichgewichtskonzentration (Cu_G) ist von verschiedenen Faktoren abhängig und kann mit den *Gleichungen <4.1>* und *<4.2>* beschrieben werden:

$$X = Cu_G - Cu_A \quad <4.1>$$

$$X = 100 \cdot D_{Cu} \cdot F \cdot t \cdot L_r/L_v \quad <4.2>$$

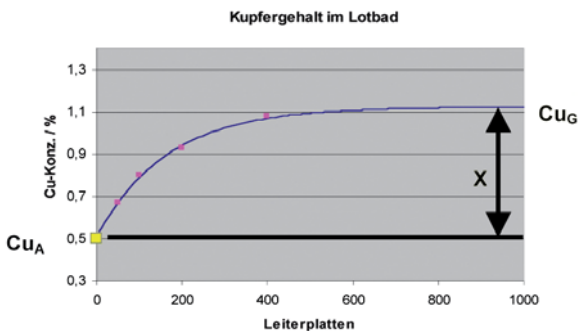


Abb. 1: Analytische Überwachung des Lotbades (rote Punkte) und die dazu gehörige berechnete Kurve

Die Ablegierrate (L_r) ist stark temperaturabhängig und kann experimentell ermittelt werden. In früheren Versuchen (Beitrag von H. Meier und W. Kruppa in *PLUS 06/2009*) wurde gezeigt, dass sie sich in stark strömenden Miniwellen fast proportional mit steigender Temperatur verändert (*Abb. 2*). Bei 285 °C beträgt die Ablegierrate circa 1,5 $\mu\text{m/s}$. Durch Einsatz des mikrolegierten Lotes Flowtin® kann die Ablegierrate mehr als halbiert werden ($L_r = 0,7 \mu\text{m/s}$). Somit hat

Ablegierraten von Kupfer in der Miniwelle

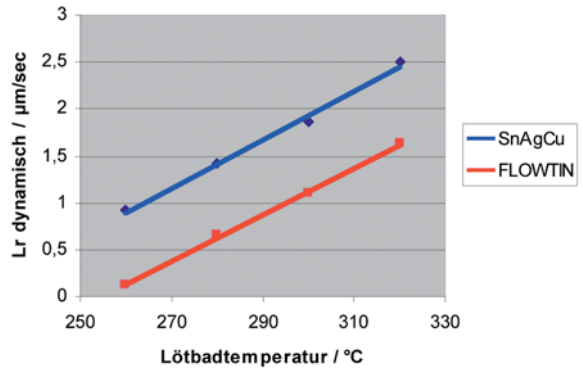


Abb. 2: Abhängigkeit der Kupferablegierraten von der Lotbadtemperatur in der Miniwelle

man eine gute Möglichkeit die Auflegierung des Lotbades mit Kupfer in tolerablen Grenzen zu halten.

Der Selektivlötprozess

In der Praxis muss man beim Selektivlöten bei 285 °C mit einer immens ansteigenden Kupferkonzentration im Lotbad rechnen, die sich durch höhere Lötfehleraten im Prozess und inhomogene Lötverbindungen durch Primärausscheidungen von Kupfer-Zinn-Phasen in den Lötverbindungen bemerkbar macht. Daher werden Prozessgrenzen definiert, um diese Fehlermöglichkeiten auszuschließen. Im vorliegenden Fall wurde die Eingriffsgrenze bei 0,9 % Kupfer festgelegt.

Aufgabe war es, eine Tunerbox aus Cu-Basismaterial mit jeweils 6 großen Lötverbindungen auf einer SMD-Leiterplatte zu befestigen. Der Selektivlötprozess wurde mit einer SEHO Selektivwelle mit N_2 -Abdeckung durchgeführt. Der Selektivlötprozess wurde im Werk Recklinghausen der Hella KGaA durchgeführt, über ein Jahr lang protokolliert und von Stannol analytisch betreut.

Nach der Umstellung von Zinn/Blei-Lot auf das bleifreie Lot SnAg3,5Cu0,5 (Ecoloy® TSC 355) begannen die Schwierigkeiten: Die Kupferkonzentration von 0,9 % Kupfer (gesetzter Eingriffswert) wurde bereits nach einem Monat überschritten, so dass als Korrekturmaßnahme ein Lotbadtausch oder Teilaustausch notwendig geworden ist (*Abb. 3 schwarze Kurve*).

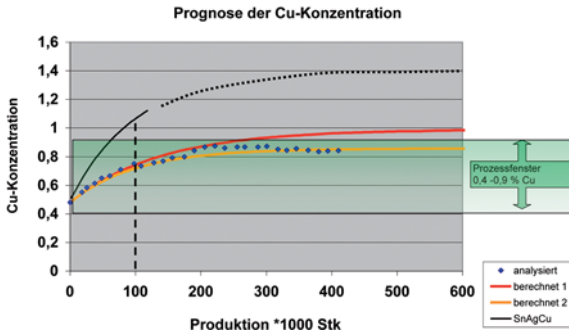


Abb. 3: Verlauf der gemessenen Kupferkonzentration und Prognosekurven (schwarze Linie: Löten mit SnAg_{3,5}Cu_{0,5}/kein Flowtin®
blaue Punkte: reale Cu-Werte im Lotbad, analysiert
rote Linie: berechnete Kurve nach Gl. <1> und Gl. <2> für P = 100.000 Stück
gelbe Linie: berechnete Kurve nach Gl. <1> und Gl. <2> für P = 320.000 Stück)

Die Umstellung des Verfahrens auf das mikrolegierte Lot Flowtin® SnAg_{3,5}Cu_{0,5} brachte insoweit Erfolg, dass die Auflegierung auf Werte um 0,4 % bis 0,5 % reduziert wurde, so dass sich im Gleichgewicht ein Kupferwert um 0,85 % bis 0,95 % einstellen konnte (Abb. 3).

Wie in Abbildung 3 zu sehen ist, hat sich letztlich im Lotbad ein stabiler Wert bei knapp unter 0,9 % Cu eingestellt. Da der Prozess nie ganz gleichmäßig gefahren werden konnte, führten Schwankungen der Prozessparameter und Messfehler zu Abweichungen von der Prognosekurve, die mit den Daten aus Tabelle 1 berechnet wurden. Die Temperatur der

Miniwelle beeinflusst die Ablegierrate stark. Geringe Variationen der Kontaktfläche und geringe Toleranzen der Kontaktzeiten machen sich ebenfalls stark bemerkbar. In der Lotbadprognose wird mit einer konstanten Ablegierrate gerechnet, was im Modell für die Prognose vernachlässigt wird, denn die Ablegierrate ist auch noch vom Kupfergehalt im Lotbad abhängig. Dies erklärt auch den langsameren Anstieg der Kupferwerte, nachdem 100 000 Baugruppen gelötet wurden, und die relative Konstanz zwischen 200 000 und 400 000 Baugruppen.

Robuster Prozess – sichere Qualität

Da die Cu-Werte jedoch an der oberen Eingriffsgrenze des Prozessfensters lagen, wurde beschlossen, den Prozess mit dem kupferfreien Lot Flowtin® TS SnAg_{3,5} weiterzuführen, um die Prozessgrenzen noch sicherer einzuhalten. Wie sich diese Maßnahme ausgewirkt hat, ist in Abb. 4 zu erkennen. Wie nicht anders zu erwarten war, sanken die Kupferwerte im Lotbad ab. Mit Hilfe der Prognoserechnung aus den ersten 3 Analysen konnte eine Gleichgewichtskonzentration von 0,53 % Kupfer im Lotbad errechnet werden. Die Übereinstimmung der modellhaften Betrachtung mit der Realität ist auch hier gut gegeben, die gemessenen Kupferwerte pendelten sich um 0,6 % Kupfer in der Mitte des Prozessfensters ein. Da der Selektivlötprozess sehr empfindlich auf alle möglichen Einflussgrößen reagiert, hat man somit einen höhere Stabilität erreicht, besser als mit Kupferwerten, die wie in Abbildung 3 in der Nähe der oberen Prozessgrenze sind, ein wichtiges Argument für die Prozesskontrolle und die Qualitätssicherung.

Tab. 1: Prozessdaten und abgeleitete Größen für die Berechnung der Prognosekurven

| | | | | | |
|--------------------|-----|--------|-------------------|--------|--------|
| Anfangskonz. | CuA | 0,49 | % | | |
| Lotzusatz | CuZ | 0,49 | % | | |
| Dichte | Dcu | 8,92 | g/cm ³ | | |
| Cu-Fläche | F | 64000 | mm ² | | |
| Kontaktzeit | t | 2,5 | sec | | |
| Ablegierrate | Lr | 0,7 | 0,56 | 1,36 | µm/sec |
| Lotbad | Lb | 28,2 | kg | | |
| Lotverbrauch | Lv | 0,21 | kg | | |
| Produktionseinheit | P | 1 | 1000 Stk | | |
| Verdünnungsrate | V | 0,993 | | | |
| Auflegierung | X | 0,4757 | 0,381 | 0,9243 | % |
| Gleichgew.-konz. | CuG | 0,9657 | 0,871 | 1,4143 | % |

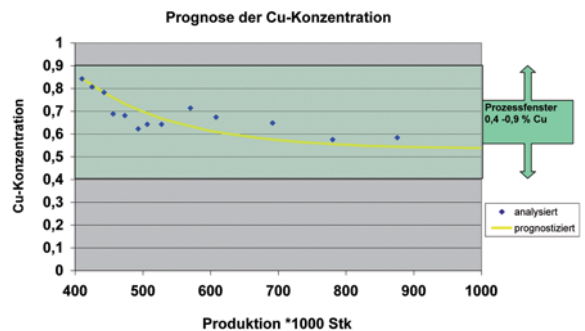


Abb. 4: Weiterführung des Prozesses mit Flowtin® TS SnAg_{3,5}, ohne Kupfer

Schlussbetrachtung

Zwischenzeitlich sind mit dem zuvor beschriebenen Prozess über 1 Mio. Baugruppen selektiv gelötet worden. Kostenaufwändige Lotbadkorrekturen waren im Versuchszeitraum nicht mehr notwendig. Es konnte gezeigt werden, wie mit Flowtin® eine Prozessstabilisierung des empfindlichen Selektivlötprozesses herbeigeführt wurde, die Lotbadwartung konnte auf ein Minimum reduziert werden und der Lotbadaustausch, der früher alle 3 Monate durchgeführt werden musste, entfiel.

Die Erkenntnisse aus der Untersuchung sind:

- Die Kupferanreicherung kann durch Anwendung des mikrolegierten Lotes vom Typ Flowtin® im Lotbad soweit reduziert werden, dass eine Prozessstabilisierung eintritt, was mit üblichen bleifreien Loten des Typs SAC nicht zu erreichen ist.
- Selbst die Anwendung eines normalen kupferfreien SnAg-Lotes ist nicht zielführend, da die Ablegierraten bei 285 °C noch viel zu hoch sind und zu einer starken Auflegung des Lotbades führen.
- Erst durch drastische Senkung der Ablegierraten, wie sie durch den Flowtin®-Effekt eintreten, kann eine sichere Stabilisierung des Lotbades erreicht werden.
- Die anfänglich wöchentliche Analyse ist notwendig und zeigt den Trend an, wie sich die Zusammensetzung des Lotbades im Laufe der Zeit entwickelt. Nach der Stabilisierung kann auf den routinemäßigen Analyserhythmus umgestellt werden.

Der Einsatz der mikrolegierten Lote ist speziell dort zu empfehlen, wo prozessbedingt höhere Löttemperaturen oder längere Kontaktzeiten notwendig sind. Durch die reduzierte Ablegierrate beim Einsatz mikrolegierter Lote werden auch Mehrfachlötungen wie beispielsweise Reparaturprozesse möglich, ohne die Baugruppe an der Lötstelle durch Ablegieren der Pads oder der Hülse nachhaltig zu schädigen.

Dr. Werner Kruppa, Stannol GmbH, Oskarstr. 3-7, D-42283 Wuppertal, Tel. +49/202/585-119, werner.kruppa@Stannol.de, www.Stannol.de





SMD-Schablonen

**bequem online
bestellen:
www.photocad.de**

Zum Beispiel
Matz 300 x 500 mm

- ◆ lasergeschnitten
- ◆ Indusive 1500 Pads
- ◆ Indusive Oberflächenbehandlung
- ◆ Indusive 100% Stencil-Check
- ◆ Indusive Archivkarton



Preis 59,- Euro
zzgl. MwSt. und Versand





photocad GmbH & Co. KG
Landsberger Straße 225 · 12623 Berlin
Telefon 030-56 50 60 8-0
Telefax 030-56 50 60 8-10
mailto:photocad.de · www.photocad.de