

Bleifreies Lot in der Handlötung

1. Einleitung:

Ein LötKolben ist ein schlichtes Gerät, das weithin zum Löten verwendet wird. Die Verbindungsmethode, die man mit einem LötKolben erzeugt, wird als Handlöten bezeichnet, wobei die Lötspitze ihre Wärme durch Wärmeleitung auf die Lötstelle überträgt, wodurch das Lötzinn schmilzt und in Gegenwart eines Flußmittels eine Lötverbindung entsteht.

Die elektrischen LötKolben, die in der Elektro- und Elektronikindustrie eingesetzt werden, bestehen aus den folgenden drei Hauptbestandteilen: Der Lötspitze, dem Heizelement und dem Temperaturregler.

Die Qualität der Lötung, die mit einem LötKolben erzeugt wird, ist in einem hohen Maße von der Legierung des Lötzinns und von den Eigenschaften des angewandten Flußmittels abhängig, aber auch von der Konstruktion des LötKolbens selber. Kupfer oder eine Kupferlegierung mit einem möglichst hohen thermischen Leitwert wird zur Herstellung verwendet und die Oberfläche der Lötspitze wird mit einer Eisen-schicht oder mit anderen Oberflächen gegen Korrosion überzogen.

Die Wärmequelle ist in aller Regel ein Heizelement aus einem gewickelten Chrom-Nickeldraht oder sie besteht aus einem Sintermaterial, das auch als Keramikheizelement bezeichnet wird.

Weil es von höchster Wichtigkeit ist, die Temperatur der Lötspitze konstant zu halten, werden Temperatursensoren eingesetzt, um die Spitzentemperatur höchst genau regeln zu können.

Für einen guten LötKolben sind folgende Eigenschaften unerlässlich:

1. **Schnelles Nachheizen und eine große Wärmekapazität**
2. **Geringe Temperaturschwankungen während des Lötens**
3. **Gute Benetzbarkeit und geringe Korrosion der Lötspitze**
4. **Geringes Gewicht und einfach zu handhabender Griff**
5. **Leicht auszuwechselnde Lötspitze**

Einige dieser Forderungen sind nicht gleichzeitig zu erfüllen. Zum Beispiel ist eine Lötspitze mit einer "guten" Benetzbarkeit auch anfällig für Korrosion; es ist schwierig beide Eigenschaften gleichzeitig zu optimieren .

2. Gegenstand der Untersuchung

Lotdraht mit einer Flußmittel- Seele (Flux Cored Solder Wire) wird allgemein bei der Handlötung und bei der maschinellen Punktlötung verwendet.

Lot dieser Art, in bleifreier Ausführung, herzustellen ist schwierig und die Auswahl ist begrenzt; beispielsweise besteht Lötzinn mit einem niedrigen Schmelzpunkt aus einer Sn-Zn Legierung oder einer Sn-Bi Legierung; beide Legierungen sind schwer zu Drähten zu formen , beide Legierungen oxidieren leicht; konsequenterweise werden Lotdrähte mit einer Flußmittelseele daher aus Legierungen SN-Cu oder Sn-Ag oder Sn-Ag-Cu hergestellt, die aber erst im Bereich von 210°C bis 230°C schmelzen.

Weiterhin beschreibt dieser Report die Probleme, die während des Lötens mit derartigem Lotdraht auftreten und wie diese Probleme speziell aus Sicht der LötKolben und der anderen Lötwerkzeuge positiv beeinflußt werden können.

3. Probleme die bei der Handlötung auftreten.

Das Löten mit bleifreiem Lötzinn ist schwieriger als Löten mit konventionellem eutektischem Sn-Pb Lötzinn. Die Ursachen für diese Schwierigkeiten werden in den folgenden Abschnitten im Einzelnen diskutiert.

Als repräsentatives bleifreies Lötzinn haben wir für diesen Bericht folgende Legierungen gewählt:

Sn – 0.7 % Cu	mit einem Schmelzpunkt von 227 °C
Sn – 3.5 % Ag	mit einem Schmelzpunkt von 221 °C
Sn – 3.5 % Ag – 0.7 % Cu	mit einem Schmelzpunkt von 217 °C

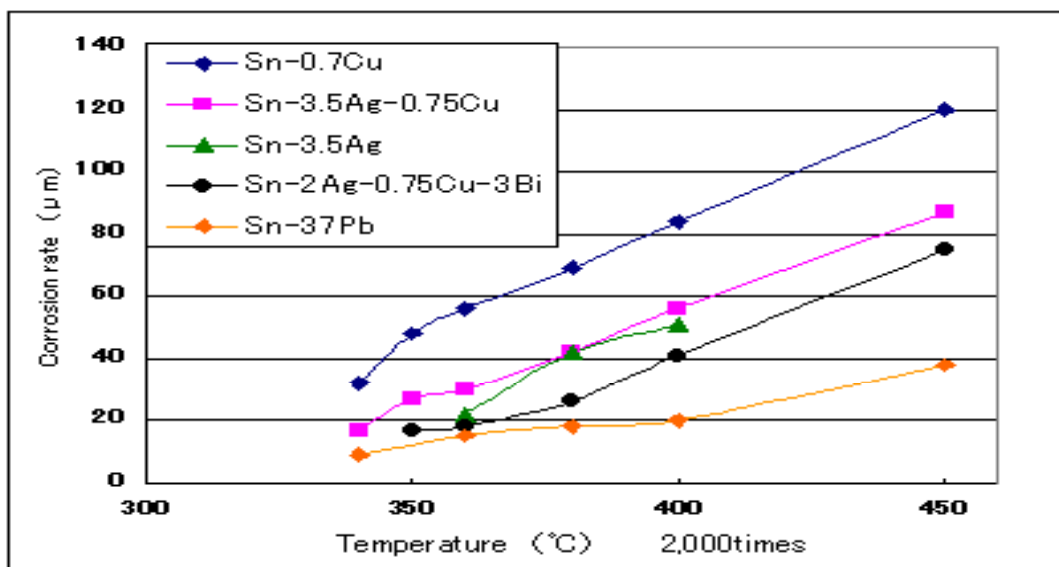
(1) Der Einfluß hoher Schmelzpunkte

Der Schmelzpunkt von bleifreiem Lot ist 20 °C bis 45 °C höher als der Schmelzpunkt von konventionellem eutektischem Lot ; konsequenterweise muß die Temperatur der Lötspitze höher eingestellt werden. Es ist allgemein üblich und auch akzeptabel, daß die Temperatur der Lötspitzen um ca. 50 °C höher als der Schmelzpunkt des Lotes eingestellt wird. Allerdings werden vielfach Lötspitzentemperaturen gewählt, die ca. 100 °C höher sind als die Schmelztemperatur, diese Unterschiede sind von der Wärmekapazität des zu lötenden Werkstückes , der jeweiligen Lötstelle, und der Masse der Lötspitze abhängig. Die Lötspitzentemperaturen werden bei eutektischem Lötzinn Sn – Pb mit ca. 340 °C gewählt und bei Sn – 0.7Cu auf ca. 370 °C eingestellt. Löttemperaturen über 350 °C stoßen an die Grenzen für Lötoperationen. Der Verschleiß von Lötspitzen steigt rapide und der Wirkungsbereich der Flußmittel wird überschritten. Oberhalb dieser Temperaturen verkohlt das Flußmittel, die Aktivität des Flußmittels verringert sich und es kommt zur Trennung von Lot und Flußmittel .

(2) Die Verkürzung der Standzeit der Lötspitzen

Die Lötspitzen werden aus Kupfer, oder zur besseren Wärmeleitung auch aus Kupferlegierungen hergestellt. Die Oberfläche der Lötspitzen werden zum Schutz - gegen Korrosionen beim Löten oder Oxidation durch hohe Temperaturen- mit Eisen plattiert. Die Korrosionsrate steigt mit der Höhe der Temperaturen an der Lötspitze, insbesondere oberhalb von 400 °C. Diese Zunahme der Korrosion wird durch die, mit der Temperatur steigende, Entstehungsrate von Intermetallverbindungen zwischen Eisen und Zinn begünstigt.

Figur 2 zeigt die Korrosionsrate an Lötspitzen bei der Anwendung von bleifreiem Lot



Figur 1 : Relation der Korrosion zwischen bleifreien - und Sn-Pb Loten

Die Aufstellung in der **Figur1** zeigt, daß Lötspitzen bei der Anwendung der untersuchten Lote Sn–3.5Ag–0.7Cu um den Faktor 2.8 schneller korrodieren und bei Lot Sn–0.7Cu sogar 4.2 mal so schnell, verglichen mit der Korrosionsgeschwindigkeit beim Einsatz von eutektischem Lötzinn und gemessen bei 400 °C.

Die Korrosion wird durch den Einsatz von bleifreiem Lot beschleunigt. Die Ursache hierfür ist der höhere Anteil von Zinn in der Lotlegierung und Zinn reagiert leicht mit der Oberfläche der Lötspitze . Anteile von Blei Pb , Silber Ag , oder Wismut Bi können die Lötspitzen vor der Korrosion schützen. Zudem ist der Schmelzpunkt der bleifreien Lote höher und das Lot ist härter als eutektisches Lötzinn. Daher werden Lötspitzen durch den Einsatz von bleifreiem Lot offensichtlich schneller oxidiert und abgenutzt.

(3) Die Oxidation an der Spitze der Lötspitze

Beim Löten mit bleifreiem Lot kann man ebenfalls beobachten, daß sich die Lötspitze schwarz verfärbt und das Lot nicht mehr haftet. **Figur 2.**



Figur 2 . geschwärzte Lötspitze

Eine auf diese Art geschwärzte Lötspitze hat ihre Benetzbarkeit verloren und kann deshalb die zum Löten erforderliche Wärme nicht mehr auf das zu lötende Teil übertragen . Es ist das Lot auf der Lötspitze, das als Übertragungsmedium zwischen der Lötspitze und der Lötstelle wirkt und das die Wärme auf die Lötstelle überträgt. Wenn die Lötspitze nicht mehr ausreichend vom Lot benetzt wird , entsteht nur eine kleine Kontaktzone, über die nicht genügend Wärme übertragen werden kann.

Wenn man das schwarze Material untersucht, das sich auf der Lötspitze gebildet hat, so kann man folgende Prozesse auf der Oberfläche der Spitze unterscheiden :

- **Verkohlte Bestandteile aus dem Flußmittel und aus anderen Rückständen haben sich auf der Eisenoberfläche festgefressen.**
- **Die Eisenschicht der Lötspitze war ungeschützt und so der Oxidation bei den hohen Temperaturen ausgesetzt.**
- **Das im Lot enthaltene Zinn oxidierte durch die hohen Temperaturen.**
- **Die Intermetallverbindung aus Zinn und Eisen, die sich auf der Lötspitze gebildet hat, oxidierte bei den hohen Temperaturen.**

Manchmal treten diese Prozesse einzeln auf, meistens sind jedoch zwei oder mehrere Vorgänge beteiligt.

(Anmerkung G.K.)

Weitere Literaturstellen (5) berichten von der Erkenntnis, das Eisen bei Temperaturen oberhalb von 350 °C sich in seiner kristallinen Struktur rapide verändert und es zu Rissen im Eisenmantel kommt.“ Die Grenztemperatur für eine Lötspitze mit Eisenüberzug dürfte bei 450 °C liegen. Oberhalb von 450 °C findet eine völlige Umstrukturierung der Eisenkristalle statt , was zum Reißen des Mantels führt.“

Zusammengefaßt: Sobald mit bleifreiem Lot gearbeitet wird, kommt es wegen der erforderlichen erhöhten Lötspitzentemperaturen vermehrt zur Oxidation an der Lötspitze.

Außerdem führt die Zugabe von Zink (Zn), Indium(In) oder Germanium (Ge) nicht zu einer Verbesserung der problematischen Phänomene; in einigen Fällen kann dies im Gegenteil sogar zu einer Verschlechterung führen.

Vom praktischen Standpunkt aus ist es deshalb anzuraten folgende Regeln einzuhalten:

1. **Lasse den LötKolben nie länger als erforderlich bei voller Temperatureinstellung und ohne Lötarbeit eingeschaltet !**
 2. **Wähle nie Temperaturen oberhalb von 400 °C**
 3. **Löte mit Flußmittel mit der geringst möglichen Aktivierung.**
 4. **Wähle bleifreie Lote mit einer speziellen Legierung**
4. **Handhabung der Probleme, die beim Handlöten mit bleifreiem Lot auftreten.**

Wie vorangehend erklärt wurde, treten beim Handlöten (Löten mit einem LötKolben, um die Wärme durch direkten Kontakt zu übertragen) mit bleifreiem Lot verschiedene Probleme auf. Als diese Probleme untersucht wurden , wurde festgestellt, daß das Blei eine wichtige Rolle beim Löten gespielt hat. Genaugenommen ist zur Zeit kein alternatives Metall bekannt, das die Eigenschaften des Blei im Lot ersetzen könnte, insbesondere in Bezug auf die Lötbarkeit (Oberflächenspannung) Viskosität, Fließigenschaften, Oxidationsschutz (im geschmolzenen Zustand), Flexibilität, Elastizität und die Biegsamkeit (des Lotes selber) und nicht zuletzt den Kosten .

Es ist deshalb dringend erforderlich, bei Handlötungen mit bleifreiem Lot, die Grundregeln für eine gute Lötstelle zu beachten.

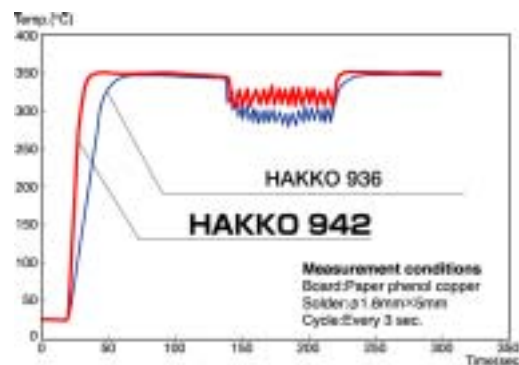
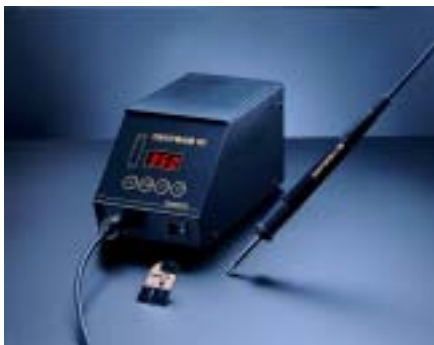
Die folgenden Stichworte halten wir dabei für besonders wichtig:

- **Das Management der Lötspitzentemperatur**
- **Das Management der Lötspitzenoberflächen**
- **Das Management der Löt - Oberflächen**
Die richtige Behandlung der Oberfläche der Leiterplatten
Die richtige Auswahl der Oberflächen der Bauteile, die gelötet werden sollen.
So ist anzuraten immer nur Bauteile zu wählen, die vom Hersteller für den bleifreien Löt - Einsatz freigegeben wurden.
- **Die Auswahl und wirksame Anwendung eines geeigneten Flußmittels .**

Die folgenden werkzeugbezogenen Hinweise und Regeln können bei der Anwendung von bleifreiem Lot sehr hilfreich sein.

1. **Setze LötKolben mit den bestmöglichen thermischen Eigenschaften ein !
Dazu gehört z.B. eine zuverlässige Nachheizcharakteristik.**

Zur Vermeidung von thermischen Schäden an den Bauteilen und um stabile Arbeitsbedingungen zu gewährleisten, ist trotz der möglichen Anfangsprobleme, eine Temperatur im Bereich zwischen nur 350 °C und 370 °C zu bevorzugen. Das setzt allerdings den Einsatz einer Lötstation und eines LötKolben mit ganz hervorragenden Regel- und Nachheizeigenschaften voraus, Eigenschaften die bei der Lötstationen **HAKKO 941 und 942** nachweisbar vorliegen. Die Lötspitzen dieser HAKKO Lötstationen sind als integrierte Elemente aufgebaut, bei denen der Sensor und der Heizkörper eine Einheit mit der Lötspitze bilden; es ergibt sich daraus eine enge thermische Kopplung, die schließlich zu einer schnellen Nachregelung führt. (**Figur 3**)



Testbedingungen :
Platin : Phenol Hartpapier
Lötunkte : 1,6 x 5 mm
Lötzyklen : alle 3 Sekunden

Figur 3. Eine Lötstation mit hervorragender Nachregelung HAKKO 942

2. Wähle ein Lötspitze mit der richtigen Form und Spitze

Es ist sehr wichtig für die jeweilige Lötaufgabe eine Lötspitze mit der am besten geeigneten Form zu wählen. Wenn also die Möglichkeit besteht aus einer Vielzahl von Lötspitzen- Größen und Formen zu wählen, kann bei der richtigen Wahl die Löttemperatur gesenkt werden und die Qualität der Lötstelle verbessert werden. Besondere Beachtung muß auf die Lötung verwendet werden, wenn wie üblich eine sehr feine Lötspitze gewählt wird; in den feinen Lötspitzen ist weniger Kupfer als Wärmespeicher enthalten, als in den massereicheren Lötspitzen, außerdem ist durch die geringe Berührungsfläche, die Übertragung der erforderlichen Wärme auf die Lötstelle, erschwert.

Wenn tatsächlich, wie üblich nur die Lötspitze auf dem Heizkörper eines LötKolben auswechselbar ist, kann es zu Ungenauigkeiten in der Prozeßsicherheit kommen. Die Wärmeübergangswiderstände sind dann stets sehr unterschiedlich und damit werden alle Parameter des Lötprozesses unsicher und das Resultat ist ungewiß.

Bei dem System der integrierten Lötspitzen, bilden Heizkörper und Lötspitze und Temperaturfühler eine untrennbare Einheit. Die LötKolben der HAKKO 941 und HAKKO 942 Lötstationen sind mit integrierten Lötspitzen ausgerüstet und durch die koaxialen Anschlüsse sind diese Lötspitzen auch sehr einfach sicher und schnell auswechselbar. Eine hohe Prozeßsicherheit ist auch bei häufigem Lötspitzenwechsel gewährleistet.

Achtung : (Anmerkung G.K.)

Zu beachten ist in diesem Zusammenhang aber auch, daß der äußere Anschein einer integrierten Lötspitze durchaus trügen kann und der innere, unstabiler Aufbau durchaus die Ursache für Langzeitfehler oder andere mechanisch bedingte Ungenauigkeiten sein kann.

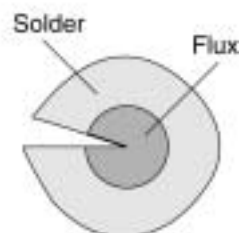


Figur 5 HAKKO LötKolben mit Lötspitze

3. Setze das Flußmittel wirkungsvoll ein

Wenn mit einem LötKolben und Lot mit einer Flußmittelsee gearbeitet wird, so wird die Temperatur des Lotes sehr schnell von Zimmertemperatur auf die Temperatur der Lötspitze erhöht; häufig spritzen dadurch Flußmittel und Lot auseinander. Bei der Arbeit mit bleifreiem Lot mit einem hohen Schmelzpunkt tritt der Effekt der Vereinzelnung noch deutlicher auf und das Flußmittel tendiert dabei zur Verkohlung, und dies wiederum führt zu einer Verminderung der erwarteten Aktivierung durch das Flußmittel. Abhilfe kann in dieser Situation ein V-förmiger Einschnitt in den Lötdraht bewirken. Das Flußmittel wird durch diese Maßnahme effektiver genutzt und das Auseinanderspritzen wird reduziert.

Cross section of solder



Figur 6. HAKKO 375 Gerät zum V-förmigen einschneiden eines Lotdrahtes

4. Behandle und pflege die Lötspitzen gut.

Sobald mit bleifreiem Lot gearbeitet wird, sind die Lötspitzen auch für einen längeren Zeitraum hohen Temperaturen ausgesetzt, dabei kommt es zu Oxidationen auf der Oberfläche und Verkrustungen, die bis zur Unbrauchbarkeit führen können. Zur Minderung dieser Einflüsse empfehlen wir die folgenden Wartungsschritte:

- **Wähle eine möglichst niedrige Löttemperatur**
- **Verzinne nach jedem Arbeitsgang und vor der Ablage in den LötKolbenhalter die Lötspitze mit frischem Lot.**
- **Schalte die Lötstation in jeder Pause, die länger als ein paar Minuten dauert, ab.**
- **Sobald die Lötspitze oxidiert oder schwarz ist, und selbst frisches Lot nicht mehr annimmt, entferne die Schicht mit Stahlwolle oder feinem Schmirgelpapier (# 800 oder #1200) und verzinne die Lötspitze sofort wieder mit frischem Lot.**



Figur 7. HAKKO 599



Figur 8. clean-o-point
(Anmerkung : G. K.)

- **Vor jedem neuen Arbeitsgang sollte das alte Lot abgestreift werden – dabei hilft das Lötspitzen Reinigungsgerät clean-o-point, mit nur handfeuchten Schwämmen, oder das völlig trocken arbeitende HAKKO 599 Lötspitzenreinigungssystem – um dann mit frischem Lot weiter zu löten.**

5. Zusammenfassung

Es ist anzunehmen, daß die unterschiedlichsten LötKolben und Reworksysteme auf dem Markt weiterentwickelt werden, um auch die Probleme der bleifreien Lötungen zu beherrschen. Es ist jedoch auch anzunehmen, daß keines der Lötssysteme die Probleme, die beim bleifreien Löten auftreten, völlig aus der Welt schaffen wird; um so wichtiger ist es für den Anwender die Eigenschaften der Legierungen und der Lote zu kennen und zu verstehen.

Bei dem Versuch bleifreies Lot in der gleichen Weise zu verwenden wie es bei dem eutektischen Pb-Sn möglich war, werden unweigerlich die in diesem Report geschilderten Probleme auftreten; der LötKolben wird unbrauchbar und fehlerhafte Lötstellen werden die Folge sein.

Nichtsdestoweniger sind wir fest davon überzeugt, daß auch mit bleifreiem Lot gute und zuverlässige Handlötungen möglich sind :

Wenn die Eigenschaften des bleifreien Lotes verstanden wurden,

Wenn die fundamentalen Lötregeln streng eingehalten werden,

Wenn die Lötspitzen in einer angemessenen Weise gewartet und gepflegt werden.

Quellen für diesen Bericht:

HAKKO : 2002 Lead-free Solder and Manual Soldering

Literaturhinweise :

PLUS Verband: Zeitschrift

Prof. Rahn Seminar : Bleifrei – Technik

R.J. Klein Wassink: Weichlöten in der Elektronik

Verlag moderne Industrie: Enzyklopädie für Naturwissenschaft und Technik

Krutschnitt und Maier: Löten in der Elektrotechnik und Elektronik

Übersetzt und Copyright: Günter R. J. Kullik 2002-05-23