Betriebsverhalten und Standzeiten von benetzbaren Lötdüsen in VERSAFLOW Selektivlötsystemen

Jürgen Friedrich
Ersa GmbH
Wertheim, Germany
juergen.friedrich@kurtzersa.de

Kaum ein anderes Lötverfahren hat sich in der Elektronikfertigung in den zurückliegenden Jahren so rasant entwickelt wie die Selektivlöttechnik. Die Beweggründe sind sehr vielfältig und bedingt durch Technologiewandel und immer kürzere „time to market“ Zeiten, kommen ständig neue Aspekte hinzu. Der steigende Kostendruck, dem die Elektronik fertigende Industrie im weltweiten Wettbewerb ausgesetzt ist, erfordert flexible, wirtschaftliche Prozesse, die einen hohen reproduzierbaren Qualitätslevel der produzierten elektronischen Baugruppen garantieren. Eine besondere Herausforderung stellen Produkte dar, die durch ihre konstruktive Gestaltung die Zugänglichkeit der Lötstelle einschränken oder durch die zunehmende Miniaturisierung sehr enge THT-Layouts in unmittelbarer Nachbarschaft von SMDs aufweisen. In diesem Zusammenhang sind beispielsweise immer häufiger Steckerleisten mit Rastermaßen ≤ 2 mm zu verarbeiten. Bereits bei kleinsten Abweichungen der empfohlenen Pad-Layouts ist ein brückenfreies Löten dieser Bauteile mit Herausforderungen verbunden. Eine bewährte Möglichkeit, um die Lötprozessfenster für diese speziellen Anforderungen zu erweitern und höchste Qualitätsanforderungen zu erfüllen, ist der Einsatz von Selektivlötdüsen mit benetzbarer Oberfläche. Diese Technologie ist Stand der Technik, sie erfordert allerdings ein gewisses Verständnis der Metallurgie, um ihren sicheren Einsatz zu gewährleisten.

Metallurgie

Höchste Priorität in Selektivlötprozessen hat die Qualität der Lötstellen. Mit ein entscheidender Faktor um dieses Ziel zu erreichen, ist die benetzbare Oberfläche der Lötdüsen. Ihre Benetzbarkeit bietet dem überschüssigen Lot an der Lötstelle die Möglichkeit, ungehindert nach unten abzufließen. Die Oberfläche des flüssigen Lotes „reißt auf“ und die Oberflächenspannung kann dadurch das überschüssige Lot nicht an der Lötstelle halten.

Die Benetzbarkeit der Oberfläche beruht auf der chemischen Reaktion des Lotes mit dem Düsenmaterial an deren Oberfläche. Zinn reagiert im flüssigen Zustand auf atomarer Ebene mit dem Metall der Oberfläche des Lötdüsen-Grundkörpers. Bei Löttemperatur bildet sich an der Grenzfläche eine Diffusionszone aus, und es entstehen stabile Keime der intermetallischen Phase. Diese stetige Reaktion führt dazu, dass der Werkstoff der Oberfläche permanent in Lösung geht und vom Zinn ablegiert wird. Die benetzbaren Oberflächen unterliegen somit einem permanenten Verschleiß.

Jegliche Oxidation oder Verschmutzung der Düsen-Oberfläche führt nach kurzer Zeit zu einer Passivierung der Oberfläche, so dass sie nicht mehr vom Zinn benetzt wird und damit die Qualität der Lötstellen möglicherweise beeinflusst.

Die Oberfläche der Lötdüsen ist damit sehr empfindlich und ihre Benetzbarkeit hängt von vielen Faktoren ab. Aus diesem Grund ist eine exakte Vorhersage ihrer Lebensdauer nicht möglich.

Die wichtigsten Parameter, die Einfluss auf die Standzeit der Lötdüsen nehmen, sind nachfolgend beschrieben.

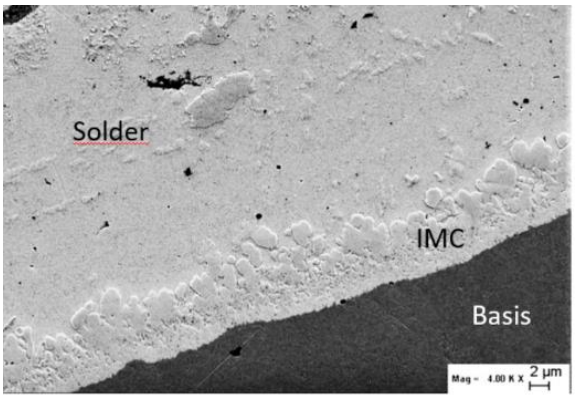


Bild 1. Intermetallische Phase der Düsenoberfläche im Schliffbild

Lotlegierung und Lottemperatur

Die Standzeit der Lötdüsen beim Einsatz von bleifreien Lotlegierungen auf der Basis SnCu und SnAgCu ist generell kürzer im Vergleich zum Betrieb der Anlagen mit SnPb-Loten. Gründe dafür sind u. a. die in der Regel erforderliche höhere Lottemperatur sowie die stärkere Reaktion des Zinns mit der benetzbaren Oberfläche. Zusätzlich nimmt mit steigender Temperatur die Oxidation des Lotes und der Düsenoberfläche zu. Der Betrieb der Düsen in einer Schutzgasatmosphäre reduziert die Oxidation sehr stark, einzig deren Restsauerstoffgehalt führt zur Degradation der Oberfläche.

Zusätze von Phosphor im Lot

Seit geraumer Zeit setzen Lot-Hersteller den Weichlot-Legierungen zunehmend Phosphor zu. Die Zugabe dieses Elementes bewirkt eine Reduzierung der Oxidationsgeschwindigkeit durch die Bildung von Mischoxiden auf der Oberfläche der flüssigen Lote. Im praktischen Betrieb von Selektivlötanlagen soll sich aus diesem Grund weniger Krätze im Lottiegel bilden. Da heute allerdings alle Selektivlötanlagen von Ersa mit Stickstoff betrieben werden und die Lötwellen unter einer Schutzgasatmosphäre arbeiten, ist der Krätzeanfall schon aus diesem Grund sehr gering. Generell sollten alle Lote, die in Selektivlötsystemen mit benetzbaren Düsen oder Strip-Gittern zum Einsatz kommen, keinerlei Zusätze von Phosphor enthalten. Phosphor führt zu einem starken Wachstum der intermetallischen Phasenpartikel auf der benetzbaren Düsenoberfläche.

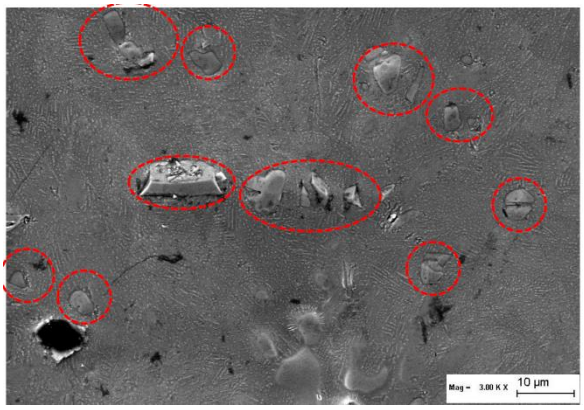


Bild 2. Durchdringung der Lotoberfläche durch IMC-Kristalle, verursacht durch Phosphorzusatz in der Lotlegierung

Dringen die IMC-Partikel unter bestimmten Bedingungen durch die Zinnschicht hindurch und gelangen an die Schutzgasatmosphäre, dann nimmt die Benetzbarkeit der Lötdüsen sehr schnell ab. Je nach Phosphorgehalt reduzieren sich die Standzeiten auf wenige Stunden bis Tage.

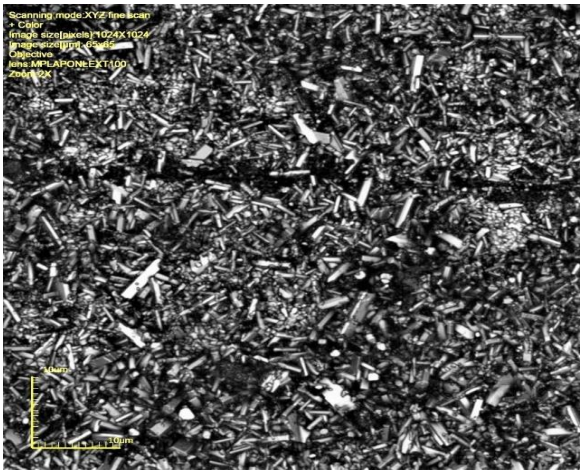


Bild 3. IMC einer Lötdüse mit Phosphor freiem Lot

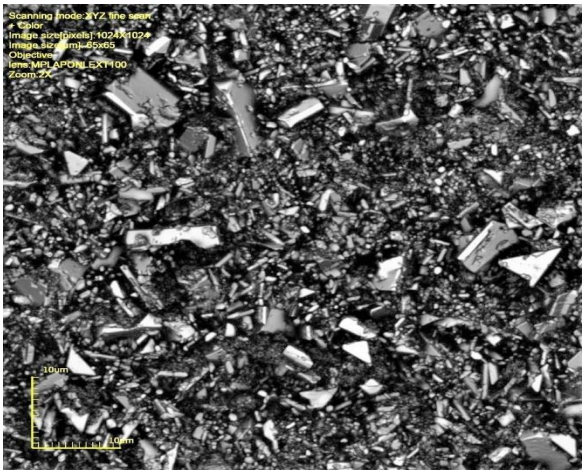


Bild 4. IMC einer Lötdüse mit Phosphor haltigem Lot

Schutzgasatmosphäre an der Lötwelle

Lötdüse, Lötwelle und Lot werden durch eine Stickstoffatmosphäre vor Oxidation geschützt. Die Stickstoff-Inertisierung ist jedoch rein physisch nicht in der Lage, den umgebenden Sauerstoff - in diesem offenen System - zu 100% zu verdrängen. Durch den verbleibenden geringen Restsauerstoffgehalt in der Atmosphäre an der Lötwelle (50 – 100 ppm) ist eine geringste Oxidation an der Düsenoberfläche nicht vermeidbar. Dies spielt z. B. beim Lotabriss eine wichtige Rolle, wenn die Lötwellenhöhe abgesenkt wird. Der Lotfluss über die Düsenoberfläche kommt in diesem Moment zum Erliegen, und die Oberfläche ist für kurze Zeit der Schutzgasatmosphäre ausgesetzt.

Um den Gehalt an Restsauerstoff in der Atmosphäre der Lötwelle so gering wie möglich zu halten, spielt die Reinheit des Stickstoffes eine entscheidende Rolle. Es wird empfohlen, Stickstoff der Klasse 5.0 einzusetzen. Dies entspricht einer Reinheit von 99.9990 %. In diesem Zusammenhang ist die Installation der Stickstoffversorgungsleitungen innerhalb und außerhalb der Fertigungsräume ebenfalls sehr wichtig. Undichte Verschraubungen können z.B. zu hohen Restsauerstoffwerten in der Lötatmosphäre führen.

Eine sehr wichtige Rolle spielen die Inertisierungseinheit, die die Stickstoffatmosphäre rund um die Lötdüse erzeugt, und der darauf aufliegende Führungsring. An dieser Einheit ist penibel darauf zu achten, dass keinerlei Undichtigkeiten auftreten.
Beschädigte Dichtungen des Sinterringes führen partiell zu höheren Strömungsgeschwindigkeiten. Das führt zu dem Effekt, dass Stickstoff aus der Umgebung weggerissen und dadurch Umgebungsluft angesaugt wird. Diese angesaugte Luft wiederum erhöht den Restsauerstoffgehalt der Schutzgasatmosphäre.
Einen ähnlichen Effekt erzeugen Verunreinigungen, die evtl. auf der Auflagefläche des Stickstoff-Führungsringes liegen. Lotspritzer, die nach einem Lötdüsenwechsel nicht entfernt werden, sind hier oft ein Grund. Durch den entstehenden Spalt wird Umgebungsluft in den Führungsring gesaugt, dadurch erhöht sich der Restsauerstoffgehalt.

Beide Effekte führen neben einer kürzeren Düsenstandzeit in der Regel auch zu schlechteren Lötergebnissen, da der Lotabriss durch den höheren Restsauerstoffgehalt verändert ist.

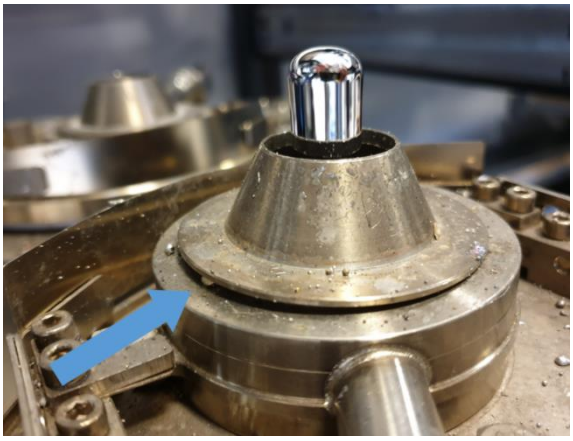


Bild 5. Leckage durch Lotspritzer nach nicht sorgfältig ausgeführten Wartungsarbeiten

Abrissverhalten der Lötwelle

Um fehlerfrei zu löten, ist die Präsenz von Flussmittel unabdingbar. Auch beim Abriss, dem Austauchen der Lötstelle aus der Lötwelle, ist, neben der Schutzgasatmosphäre, die Präsenz von Flussmittel erforderlich, um die optimale Oberflächenspannung des Lotes für den perfekten Abriss zu gewährleisten.
Sind die Aktivatoren beim Abriss bereits verbraucht, steigt die Tendenz zur Lötbrückenbildung.
Um den Lotabriss perfekt zu gestalten, wird die Höhe der Lötwelle i. d. R. auf 1 % reduziert, wodurch das überschüssige Lot von den Lötstellen der Baugruppe, über die benetzbare Düsenoberfläche ungehindert abfließt.
Beim Reduzieren der Lötwellenhöhe auf 1 % stoppt der Lotfluss über die Düsenoberfläche für kurze Zeit und diese kommt in Kontakt mit der umgebenden Stickstoffatmosphäre. Abhängig vom Restsauerstoffgehalt der Schutzgasatmosphäre besteht das Risiko, dass die Düsenoberfläche leicht oxidiert und aus diesem Grund ihre Benetzungsfähigkeit mit der Zeit abnimmt. Je länger der Abriss im Lötprogramm programmiert wird, desto höher ist dieses Risiko.
Im selben Moment können ebenfalls Flussmittelrückstände auf die Düsenoberfläche gelangen. Abhängig von deren Art und Menge besteht die Gefahr, dass diese Flussmittelrückstände auf der Oberfläche einbrennen. Diese Kontaminationspunkte können wachsen und zu nicht benetzbaren Spots auf der Düse führen.



Bild 6. Perfekter Lot-Abriss unter reiner Schutzgasatmosphäre



Bild 7. Gestörter Lot-Abriss unter hohem Restsauerstoffgehalt

Verhältnis von Punkt- zu Bahnlötungen

Beim Löten einzelner Lötstellen (Punkte) fließt das Lot gleichmäßig über die gesamte Düsenfläche ab. In diesem Fall ist die Oberfläche vollständig vom abfließenden Lot bedeckt, ohne dass die Gefahr besteht, die Düsenoberfläche der Umgebungsatmosphäre auszusetzen (was evtl. nur während des Lot-Abrisses erfolgt). Beim Bahnlöten fließt das Lot nicht gleichmäßig über die Düsenoberfläche ab. Der in Fahrtrichtung vordere Abschnitt der Düse zeigt einen geringeren Lotfluss als die gegenüberliegende Seite der Düse. Hier bildet sich regelrecht ein Lotschweif aus, der der Lötdüse in ihrer Bewegung folgt.

Abhängig von den Lötparametern (Geschwindigkeit und Lötwellenhöhe) kann der Lotfluss über den vorderen Teil der Düsenoberfläche vollständig zum Stillstand kommen. In diesem Fall ist dieser Teil der Düsenoberfläche der Stickstoffatmosphäre ausgesetzt und kann leicht oxidieren.

Bevorzugte Lötrichtung

Wie oben beschrieben, steigt das Risiko weiter, wenn die Orientierung der Bauteile, hier vor allen Dingen Steckerleisten, auf den elektronischen Baugruppen immer in die gleiche Richtung weist. In diesem Fall ist während des Lötens immer der gleiche Abschnitt der Düsenoberfläche der umgebenden Stickstoff-atmosphäre ausgesetzt.

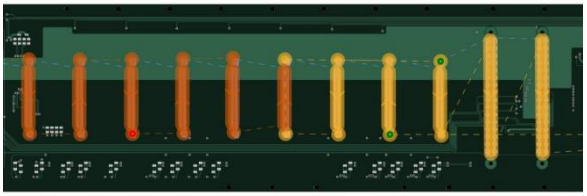


Bild 8. Baugruppe mit immer gleichen Verfahrwegen der Lötdüse

Lötdüsen Durchmesser

Je größer der Lötdüsendurchmesser, desto größer ist das Volumenstrom des fließenden Lotes (doppelter Durchmesser = vierfaches Volumen). Ein höheres Lotvolumen bedeckt die Düsenoberfläche besser, schafft stabilere Betriebsbedingungen und verringert das Risiko ihrer Oxidation. Unter diesen Gesichtspunkten sollte man immer den für die Applikation größten Lötdüsendurchmesser wählen, der auch das Lötprozessfenster automatisch erweitert.

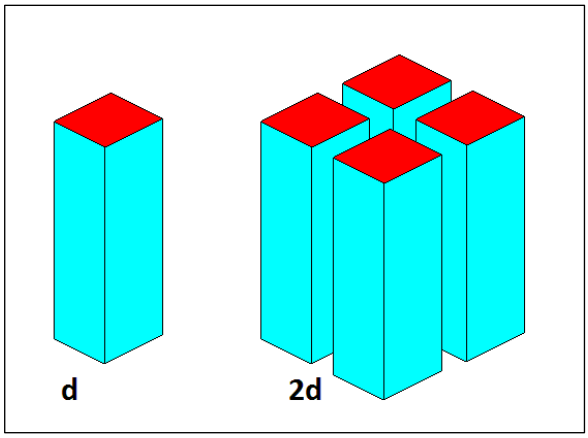


Bild 9. Verhältnis Durchmesser-Volumen

Flussmittel

Abhängig von der Art des Flussmittels, der Lottemperatur und der Benetzungszeit können beim Abriss mehr oder weniger verbrauchte Flussmittel-rückstände auf der Düsenoberfläche verbleiben. Diese Rückstände können zu einer Passivierung der Düsen-oberfläche führen. (siehe Punkt Lötwellen-Abriss).
Harzhaltige Flussmittel der Klassen RO und RE hinterlassen tendenziell etwas mehr Rückstände als Flussmittel der Klasse OR. Dies ist allerdings stark vom jeweiligen Flussmittel abhängig und darf aus diesem Grund nicht generell verallgemeinert werden.

Handhabung der Lötdüsen

Die Handhabung der Lötdüsen bedarf besonderer Sorgfalt des Personals. Die Lötdüsen dürfen grundsätzlich nur mit der dafür vorgesehenen Zange berührt werden, auf keinen Fall mit Handschuhen.

Wartung der Lötdüsenoberfläche

VERSAFLOW Lötdüsen sind nicht völlig wartungs-frei. Von Zeit zu Zeit muss die Düsenoberfläche mit einer speziellen Aktivierungspaste bzw. -pulver aktiviert werden, um die Benetzbarkeit der Ober-fläche zu erhalten. Erfolgt die Aktivierung manuell vom Bediener, muss der Auftrag der Paste mit einer weichen Edelstahlbürste erfolgen. Andere Bürsten-materialien können die Oberfläche kontaminieren und zu einer Passivierung führen.
Die regelmäßige Aktivierung ist Voraussetzung, um die Benetzbarkeit auf einem konstanten, hohen Niveau zu halten. Wird mit der Aktivierung erst dann begonnen, nachdem die Düse bereits schwer benetzbare Bereiche aufweist, führt das Verfahren

normalerweise nicht dazu, die ursprüngliche Benetzbarkeit wieder herzustellen.
Um manuelle, vom Bediener ausgeführte, Arbeiten zur Aktivierung der Düsen zu vermeiden, ist ein vollautomatisches System verfügbar, das die Düsenaktivierung ohne Bedienereingriff in regelmäßigen Abständen durchführt. Damit ist die stabile Benetzbarkeit über einen langen Zeitraum gewährleistet.

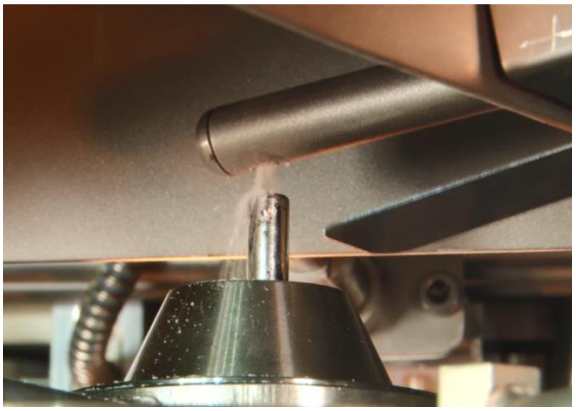


Bild 10. Automatische Lötdüsenaktivierung

Lötdüsenparameter

Bei der Einstellung der spezifischen Düsenparameter sollte der Stand-by-Wert der Lötwellenhöhe in einem Bereich der regulären Arbeitshöhe liegen. Dadurch ist ein ausreichender Lotfluss über die gesamte Düsenoberfläche gewährleistet, es besteht keine Gefahr der Oxidation.

Alternative Werkstoffe und Oberflächen

„Gott schuf den Festkörper, der Teufel die Oberfläche"

Diese Aussage von Wolfgang Ernst Pauli, Träger des Nobelpreises für Physik 1945, trifft auch in der Löttechnik den Nagel auf den Kopf.

Die Benetzung einer Metalloberfläche durch ein Weichlot stellt eine chemische Reaktion dar, die durch kleinste Störgrößen negativ beeinflussbar ist. Die Integrität dieser Reaktion in der täglichen industriellen Praxis einer Elektronikfertigung sicher zu stellen ist nicht leicht. Im Zuge der Entwicklung der ERSADUR Beschichtung für Lötspitzen in den 1960er Jahren wurden von Ersa sehr viele Materialien getestet. Ziel all dieser Tests war die Entwicklung einer Metalloberfläche, die von Weichlot sehr gut benetzt wird, die aber, aufgrund der Reaktion mit dem Zinn, eine sehr geringe Ablegierungsrate aufweist. Bei all diesen Tests, nicht nur von Ersa, sondern auch anderer Hersteller von Lötequipment weltweit, kristallisieren sich immer wieder Eisenwerkstoffe unter Abwägung aller Vor- und Nachteile als gut geeignete Materialen heraus.

Viele Jahre später, Anfang der 2000er, im Zuge der Entwicklung benetzbarer Selektiv-Lötdüsen, wurden die Materialuntersuchungen unter dem Blickwinkel neuer Erkenntnisse der Metallurgie fortgesetzt.
So wurden u. a. Leiterplattenmetallisierungen wie z. B. Nickel/Gold als Beschichtung auf den Lötdüsen getestet. Nach Auswertung der Kundenfeedbacks ist diese Oberfläche damals ausgeschieden. Auch andere vielversprechende Materialien und Legierungen zeigten unter den unterschiedlichen Anforderungen des Marktes kein befriedigendes Betriebsverhalten.



Bild 11. Selektivlötdüse mit Nickel/Gold Oberfläche

Zusammenfassung

Der vielfache Wunsch nach verlässlichen Aussagen zur exakten Standzeit der Lötdüsen in Selektivlötsystemen von Ersa ist, bei knapp 4000 installierten Systemen am Markt und den darin verbauten ca. 9000 Lötaggregaten, nur bedingt möglich. Die in diesem Bericht dargelegten Fakten und mannigfaltigen Einflussgrößen, in Kombination mit den unterschiedlichsten Kunden-Applikationen erklären und veranschaulichen diese Aussage.

Literatur/Referenzen

[1] Untersuchungsberichte Fraunhofer IZM, Berlin 2005, 2007
[2] Untersuchungsberichte, Fraunhofer ISIT, Itzehoe 2012
[3] Untersuchungsberichte Fraunhofer IWM/CAM, Halle 2014
[4] Untersuchungsberichte Fraunhofer IMWS, Halle 2020
[5] Persönliche Notizen, Dr. Werner Kruppa
[6] Persönliche Notizen, Dr. Klaus Bartl
[7] Persönliche Notizen, Dr. Hector Steen