Individuell und trotzdem prozesskonform

Selektivlöten lohnt sich auch bei kleinen Stückzahlen

Das maschinelle Selektivlöten ist ein in der Industrie lange etablierter Prozess. Der Artikel informiert rund um das Thema und bringt den Leser auf den neusten Stand.

Die Selektivlötanlage Novo von Nordson Select im Einsatz bei Elektrotechnik Weber. Dank eingebautem Kamerasystem lässt sich jeder Lötvorgang im Detail auf dem Monitor verfolgen

Mischbestückungen von Schaltungsträgern mit SMT- und THT-Bauteilen sind in der mittelständischen Elektronikindustrie allgegenwärtig. In aller Regel werden erst die SMDs bestückt, anschließend die bedrahteten Bauteile (Bild 1). Soll die Baugruppe vor der Weiterverarbeitung auch gewaschen werden, gibt es meist zwei THT-Durchläufe. Den ersten, bei dem alle Bauteile bestückt werden, welche das Waschen vertragen – und nach dem Waschen diejenigen Bauteile (wie etwa bestimmte Relais), welche nicht gewaschen werden dürfen.

Autor:
Freddy Weber
info@etech-weber.de
www.etech-weber.de

Selektiv- oder Handlöten?

Während im Prototypenbau das Handlöten immer noch der häufigste THT-Prozess ist, sind Handlötungen in der Serie verpönt und im Automotive-Umfeld ganz klar verboten. Und das hat seinen Grund. Denn beim Handlöten hängt die Qualität und die Prozessstabilität in erster Linie von der Person ab, welche lötet. Oder anders formuliert: Die Lötstelle ist nur so gut wie die Person, welche diese herstellt. Dazu kommen individuelle Parameter wie Tagesform und Aufmerksamkeit.

In Handarbeit entstandene Lötstellen sind damit im Prinzip alles Unikate. Klassische Problemfelder für Abweichungen oder unbefriedigende Ergebnisse sind zu niedrige oder zu hohe Temperatur, zu kurze oder zu lange Lötzeit, zu viel oder zu wenig Flussmittel. Diese Liste ließe sich durchaus fortsetzen.

In vielen Fällen bleiben solche prinzipiellen Schwachpunkte einer Elektronik ohne Folgen – sie können aber bei belasteten Baugruppen, also z.B. Wechselrichtern oder Ladeschaltungen, recht schnell zu Qualitätsproblemen im Feld führen.

Für das Selektivlöten spricht also:

- höhere Prozesssicherheit
- verlässliche Reproduzierbarkeit
- Flussmittelmenge exakt einstellbar
- Lötzeit für jeden Lötpunkt einstellbar – aber dann über alle Baugruppen gleich
- niedrige Kosten bei gleichzeitig hoher Qualität

Bild 1: Eine Baugruppe mit zahlreichen Steckverbindern und anderen THT-Bauteilen wird eingelegt. Im Hintergrund erkennt man den Löttiegel sowie die Kamerabeleuchtung

Bild 2: Das Firmengebäude von Elektrotechnik Weber ist ein Effizienzhaus; geheizt wird zu einem großen Teil über die Abwärme der Maschinen. Das extrem weiche Wasser für das Reinigen der Leiterplatten stammt aus der eigenen Quelle. Benötigten Medien werden vor Ort erzeugt

Gelegentlich wird noch als Vorteil für das Handlöten angeführt, dass sich jede Lötstelle einer Baugruppe individuell behandeln lässt – doch das können moderne Selektiv-Lötanlagen, wie die Novo von Nordson Select auch.

Selektivlöten besteht aus drei Prozessschritten:

- Fluxen (Flussmittel auftragen)
- Vorwärmen (nur wenn nötig; siehe Praxistipps weiter unten)
- Löten
- Flussmittelauftrag

Zu viel Flussmittel kann nicht nur zu Lötfehlern führen – in vielen Fällen müssen die Rückstände nach dem Bestücken abgewaschen werden. Es lohnt sich also mehrfach, den Flussmittelauftrag exakt zu dosieren und an die Lötstellen anzupassen. Das selektive Fluxen reduziert Verunreinigungen auf der Leiterplatte ebenso, wie den Flussmittelverbrauch – und damit letztlich die Fertigungskosten.

- Vorwärmen

Das Lot ist immer auf Temperatur. In einer Selektiv-Lötanlage wird das Lot in einem separaten Tiegel gehalten, der sich leicht auf bestimmte Temperaturen einstellen lässt. So lassen sich im Prinzip alle Arten von Loten verarbeiten. In diesem Tiegel herrscht eine Stickstoff-Atmosphäre, um zu verhindern, dass sich unerwünschte Oxide mit dem Luftsauerstoff bilden (Schlacke). Beim Lötvorgang strömt der Stickstoff mit dem Lot an der Lötstelle aus und sorgt für eine oxidfreie Verbindung. Nachhaltige Fertigungsdienstleister, wie etwa Elektrotechnik Weber aus Zandt, stellen den dafür benötigten Stickstoff mittels Luftzerleger vor Ort selbst her (Bild 2) und ersparen der Umwelt damit aufwändige Transport von Industriegasen mittels Druck-Tankwagen.

- Löten mit der „Miniwelle“

Das maschinelle Selektivlöten ist ein in der Industrie lange etablierter Prozess. Technisch handelt es sich um eine „Miniwelle“, welche in zahlreichen Parametern einstellbar ist. In aller Regel wird die Lötquelle in x-, y- und z-Richtung bewegt, während das zu lötende Objekt stillsteht. Die Höhe der Welle lässt sich durch die Pumpenleistung steuern. Überwacht man diese Höhe z.B. mit einem Kamerasystem, kann man die Pumpe entsprechend regeln und die Lötwelle dauerhaft reproduzieren. Angenehmer Nebeneffekt: Der Bediener kann den Lötvorgang, der ja in aller Regel unterhalb der Leiterplatte, und damit außerhalb des Sichtfeldes erfolgt, am Monitor problemlos überwachen.

Theoretisch ließen sich vergleichbare Ergebnisse auch mit einer Standard-Lötwelle und entsprechenden Aufnahmen und Masken für den Schaltungsträger erreichen. Damit wird die Entscheidung „Selektivlöten“ oder „Wellenlöten mit Abkleben“ eine Stückzahlenentscheidung.

Herausforderungen im Lötprozess

In aller Regel ist der Schaltungsträger, auf dem z.B. eine vielpolige Steckerleiste eingelötet werden soll, schon SMD-bestückt. Das heißt, dass es bestimmte Bereiche auf der Leiterplatte gibt, die sehr temperatursensitiv sind, etwa BGAs. Aber auch THT-Bauteile können temperaturempfindlich sein, etwa Elkos oder Miniaturtaster.

Gerade bei Steckverbindern (zahlreiche Pins in einer Reihe) besteht die Gefahr der Brückenbildung zwischen den Pins. Moderne Selektivlötanlagen, wie etwa die Novo, kompensieren das dadurch, dass die Lotzufuhr abrupt reduziert wird, unmittelbar bevor die Lötdüse abgezogen wird. Überschüssiges Lot wird dadurch vom Pin „abgesaugt“. Da nur die benötigte Lotmenge auf dem Pad verbleibt, sinkt die Gefahr der Brückenbildung enorm.

Klassische Fehlerbilder und ihre Ursachen

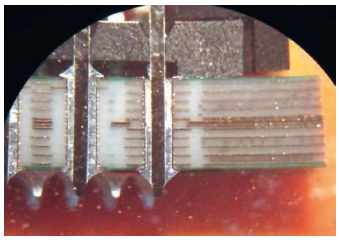


Bild 3: Die linke Durchkontaktierung ist gut gefüllt; rechts haben sich Fehlstellen gebildet. Der obere Meniskus ist so gut wie nicht vorhanden © Nordson

Bild 3 offenbart einen ungenügenden Füllgrad von Durchkontaktierungen. Ursachen:

- zu wenig Flussmittel oder ungünstiger Auftrag des Fluss-

mittels (z.B. Abschattung durch benachbarte Bauteile)

- Temperatur auf der Oberseite zu gering (vorwärmen?)
- von außen nicht erkennbare, große innenliegende Masseflächen, welche zu viel Wärme „absaugen“
- unpassendes Verhältnis zwischen dem Durchmesser des Bohrlochs und dem Durchmesser des Anschlussdrahts (Lead-to-Hole-Ratio); dieses sollte etwa bei 1,5:1 liegen (1,5 mm Bohrloch für 1 mm Anschlussdraht)

Bild 4 zeigt einen anderen Fehler: zu wenig Lot. Ursachen:

- zu wenig Flussmittel oder ungünstiger Auftrag des Flussmittels (z.B. Abschattung durch benachbarte Bauteile)

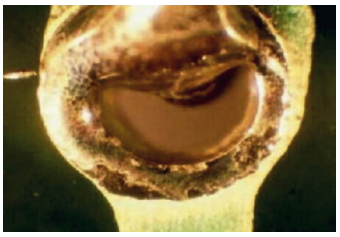


Bild 4: Bei dieser Lötstelle wurde zu wenig Lot aufgetragen; der Meniskus ist nur teilweise ausgebildet © Nordson

- Verweildauer der Lötwelle an der Lötstelle zu kurz
- schlechte Lötbarkeit der Kontakte (vorher reinigen?)
- verschmutzte Pads (Leiterplatte vorher waschen?)

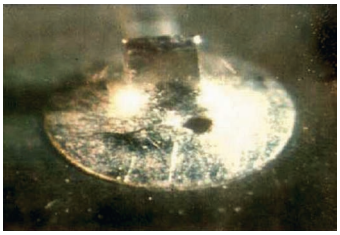


Bild 5: Fehlstelle – das Lot wurde z.B. durch ausgasendes Flussmittel – oder ausdampfende Feuchte frisch gewaschener Leiterplatten verdrängt © Nordson

Fehlstellen/Voids sieht man in Bild 5. Ursachen:

- Leiterplatte ist „zu kalt“ – vorwärmen?
- Flussmittel gast aus und verdrängt das Lot
- Leiterplatte ist feucht (unmittelbar zuvor gereinigt?)
- Lötstoppmaske ist noch nicht ausgehärtet

Bild 6: Lotperlen zeigen an, dass zu viel Lot aufgetragen wurde © Nordson

Zu viel Lot erkennt man in Bild 6. Ursachen:

- Lötwelle kommt zu nahe an die Leiterplatte
- Lötzeit ist zu lang
- Es wurde zu viel Flussmittel aufgetragen.
- Die Löttemperatur ist zu gering.
- Lot ist verunreinigt

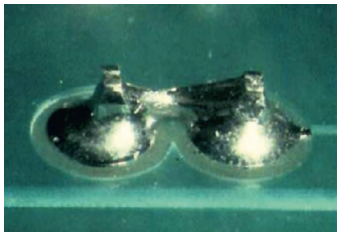


Bild 7: Bei dieser Lötung ist eine ungewollte Brücke entstanden © Nordson

Eine Brückenbildung zeigt Bild 7. Ursachen:

- Lötwelle kommt zu nahe an die Leiterplatte
- ungenügende Benetzung mit Flussmittel
- Löttemperatur ist zu gering
- Lötzeit ist zu kurz

Ungenügender Durchstieg ist in Bild 8 zu erkennen. Ursachen:

- ungenügende Benetzung mit Flussmittel
- Oberseite der Leiterplatte ist „zu kalt“
- Leiterplatte ist verunreinigt (Bohrspäne?)
- Kontakte sind schlecht lötbar (vorher reinigen?)

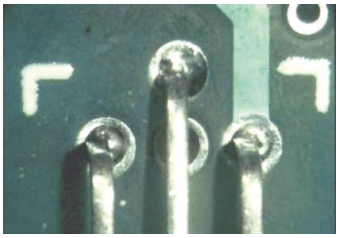
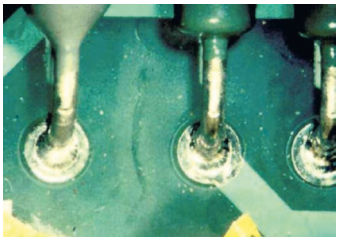


Bild 8: Während des Abkühlens hat der Durchstieg das noch flüssige Lot von der Lötstelle abgesaugt; die Lötstelle ist schlecht – und der Durchstieg vermutlich ungenügend gefüllt © Nordson

Versunkene Lötstellen zeigt Bild 9. Ursachen:

- ungenügende Benetzung mit Flussmittel oder generell falsche Einstellung des Fluxers



Bil 9: Diese Lötstellen sind teilweise „abgesoffen“. In die Bohrung nachströmendes Lot ist hier die Ursache © Nordson

- Oberseite der Leiterplatte ist „zu kalt“
- unpassendes Verhältnis zwischen Durchmesser des Bohrlochs und Durchmesser des Anschlussdrahts

Fertigungsprozesse mittels X-Ray qualifizieren

Während das geschulte Auge die richtige Ausbildung der Menisken „auf einen Blick“ sieht, ist die Beurteilung der Füllgrade von Durchstiegen mit dem bloßen Auge nicht zuverlässig möglich. Entsprechend werden bei Elektrotechnik Weber die ersten Muster durch eine detaillierte Röntgen-Inspektion der erzeugten Lötverbindungen überprüft. Werden unbefriedigende Lötstellen entdeckt, werden die Einstellungen der Selektivlötanlage nachjustiert. Wenn alles passt, wird der Fertigungsprozess der (kleinen) Serie freigegeben.

Praxistipps

Häufig wird empfohlen, Baugruppen generell vorzuwärmen. Elektrotechnik Weber hingegen hat sich angewöhnt, jede Baugruppe detailliert zu betrachten – denn auch das Vorwärmen bedeutet thermischen Stress für Bauteile, der nach Möglichkeit vermieden werden sollte. Die Praxisempfehlung lautet daher: Beginnen Sie nach Möglichkeit gleich mit dem Selektivlöten (ohne Vorwärmen). Starten Sie dabei mit den am wenigsten temperatursensitiven Lötstellen, bei denen man die etwas schlechtere Lötbarkeit der „kalten“ Leiterplatte durch etwas längere Lötzeiten kompensieren kann; etwa bei einem Steckverbinder. Durch diese Lötungen erwärmt sich die Leiterplatte; die temperaturempfindlichsten Stellen werden zum Schluss und möglichst kurz gelötet.

Die vorgenannte Strategie funktioniert auch dann, wenn die Baugruppe nicht vorgewärmt werden darf.

Eine weitere Möglichkeit, thermischen Stress von empfindlichen Bauteilen fernzuhalten ist, nicht alle Anschlussbeinchen direkt nacheinander zu löten. Stattdessen sollte das Löten nach einem oder mehreren Anschlüssen unterbrochen werden, damit die Komponente etwas abkühlen kann. In dieser Zeit können z.B. andere Komponenten verlötet werden, ehe man die weiteren oder finalen Lötungen am ersten Bauteil vornimmt.

Bei größeren Stiftleisten hilft es, diese zunächst vorne und hinten kurz zu „punkten“ um ein Aufstehen während des Selektivlötens zu verhindern. Diese „gepunkteten“ Verbindung werden später nochmals mit den gleichen Einstellungen für alle Anschlüsse nachgelötet. ◄