

Analyse und automatische Inspektion von BGA-, FBGA- und CSP-Lötstellen ohne Einrichtzeiten

Die Möglichkeiten und Erfordernisse der Röntgeninspektion von substratbasierten Lötstellen werden in diesem Anwenderbericht aus der Sicht des Anwenders im Dienstleistungsbereich beschrieben.

Im Zuge der fortschreitenden Einführung der BGA-, FBGA-, CSP-, und FlipChip-Verbindungstechniken in breitere Bereiche der Baugruppenmontage gewinnt die zerstörungsfreie Prüfung mittels Röntgentechnik fortwährend an Bedeutung, da derartige Lötstellen anderen Prüfmethoden kaum noch zugänglich sind.

Eine wirtschaftliche Alternative zur Anschaffung eines geeigneten Röntgensystems ist für viele mittelständische Firmen, aber auch für QA-Ableitungen größerer Unternehmen, die Durchführung der notwendigen Röntgeninspektionen als externe Dienstleistung.

Der ausführende Dienstleister ist folglich mit einer Vielzahl von Produkt- und Prozessvarianten bei kleinen bis mittleren Losgrößen konfrontiert. Die Inspektionstiefe reicht dabei von der standardisierbaren Qualitätsüberwachung in einer laufenden Serienproduktion bis zu einer tiefergehenden Analyse eventueller Fehlermechanismen.

Zur effizienten und verlässlichen Durchführung dieser Aufgaben bedarf es objektiver und fundierter Untersuchungsmethoden und der dafür geeigneten Röntgensysteme. Dabei waren bisher die langen Einrichtzeiten für die Bewertungs- und Steuerungssoftware eines der Hauptprobleme bei der Prüfung kleinerer Lose.

Im folgenden wird über die Erfahrungen bei der Anwendung von halbautomatischen rechnergestützten Röntgensystemen in diesem Bereich berichtet.

Prüfkriterien und Erfordernisse

Nach Abschluß des BGA-Lötprozesses sind im Hinblick auf die bloße *Funktionsfähigkeit* der Baugruppe zunächst rein qualitative Kriterien relevant:

- ▶ Lotbrücken (Kurzschlüsse)
- ▶ fehlende Lötstellen
- ▶ Versatz
- ▶ offene Lötstellen

Lotbrücken, fehlende Lötstellen und Versatz können bereits im Übersichtsbild bei senkrechter Durchstrahlung durch den Bediener sofort erkannt werden.

Im Gegensatz zu diesen Grobfehlern bedürfen offene Lötstellen in der Regel einer Untersuchung in Schrägdurchstrahlung bei höherer Vergrößerung. Dabei kann entweder direkt eine Lücke in der Lötstelle oder an der Form der Lotmasse eine Nichtbenetzung einer Landefläche – meist auf

der Leiterplattenseite – erkannt werden. Erfahrungsgemäß ist diese Inspektionsmethode gegenwärtig bei der Erkennung offener Lötstellen allen anderen röntgentechnischen Verfahren, insbesondere den laminographischen (oder planar-tomographischen) Methoden überlegen, wie auch eine unabhängige Studie an PBGAs (Pitch 1,5 mm) gezeigt hat¹. Dies gilt sowohl für die Nachweiseffizienz als auch für den Zeitbedarf.

Bei der Untersuchung von kleineren Lötstellen wie sie in FBGAs, μ BGAs, CSPs und Flip Chips vorliegen, kann in der Schrägdurchstrahlung wegen der notwendigen Kippung der Leiterplatte und den dadurch bedingten höheren Abstand der Lötstellen zur Röntgenquelle im Allgemeinen keine hinreichende Vergrößerung mehr erreicht werden. Dieses Hindernis kann nur durch eine entsprechende technische Ausstattung des Röntgensystems, die eine hohe geometrische Vergrößerung auch bei Schrägdurchstrahlung ermöglicht, überwunden werden (OVHM: Oblique View at Highest Magnification)

Zur Bewertung der *Zuverlässigkeit* der Baugruppe sind weitere Untersuchungskriterien heranzuziehen. Hier ist zunächst die *Güte* der Landeflächenbenetzung von Bedeutung. Das zugehörige Prüfkriterium hängt davon ab, ob die effektive Kontaktfläche durch den Lötstoplack (solder mask defined) oder durch die metallische Landefläche selbst (non solder mask defined) bestimmt ist. Im zweiten Fall sind die Landeflächen bei *guter Benetzung* vom Lot umflossen. Im Röntgenbild sind charakteristische dunkle Ringe am Rand der Landeflächen zu erkennen, die von der dort größeren Lotdicke herrühren, s. Abbildung 1. Im ersten Fall zeichnen sich die Kontaktflächen bei guter Benetzung als dunkle Kreisflächen im Röntgenbild der Lötstelle ab. Eine Schrägdurchstrahlung bei hoher Vergrößerung ermöglicht auch hier eine genauere Untersuchung des Benetzungsverhaltens an den Landeflächen.

Weiter ist für die Bewertung der Zuverlässigkeit der Verbindung die Untersuchung der Lötstellen auf Lunker (Voids) von Wichtigkeit. Die Lunker erscheinen im Röntgenbild als hellere Kreisflächen innerhalb der Lötstellen, wie in Abbildung 1 dargestellt..

Die Darstellung dieser Merkmale stellt bereits hohe Anforderungen an das Röntgensystem, da es notwendig ist, die stark absorbierenden Lötstellen mit hinreichender Intensität zu durchstrahlen, ohne daß Überstrahlungseffekte der schwach absorbierenden Umgebung (Leiterplatte) etwa den Durchmesser der Lötstellen scheinbar verringern. D.h., in der Praxis muß das

Röntgensystem bei hoher Röhrenspannung (120-130 kV), niedrigem Strom (4- 20 μ A) und kleinem Brennfleck (<10 μ m) betrieben werden.

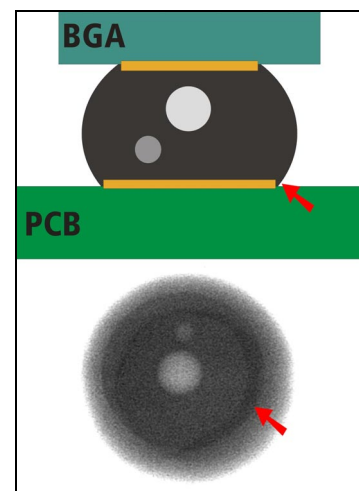


Abbildung 1: Zur Interpretation des Röntgenbildes einer BGA-Lötstelle

Quantifizierung der Prüfergebnisse

Über die grundsätzliche Untersuchung der Abhängigkeit des Lötresultates von den Prozessparametern hinaus ist hinsichtlich der Zuverlässigkeit eine geeignete Kontrolle des Fertigungsprozesses in der Serie notwendig. Diese ist im Allgemeinen auf statistische Methoden angewiesen und erfordert insofern die quantitative Messung *objektiv* wohldefinierter Größen an möglichst vielen Proben (u.U. 100%).

So stellt beispielsweise das bloße Vorhandensein von Lunkern noch keine Beeinträchtigung der Zuverlässigkeit dar. Vielmehr ist der Prozentanteil der Lunkerflächen an den *einzelnen* Lötstellenflächen maßgeblich², der wiederum empfindlich von den Prozessparametern abhängt³. Daher ist eine Messung der relativen Porengrößen möglichst aller Lötstellen eines Bauelements erforderlich.

Die in der Serienprüfung zuverlässig *automatisch* bewertbaren Kriterien sind in Tabelle 1 aufgeführt.

Eine automatische Bewertung einer bestimmten BGA-Lötung kann nun einfach durchgeführt werden, indem ein derartiger Satz von Meßdaten mit Schwellwerten verglichen wird. Damit ist ggf. auch eine halbautomatische 100%-Sortierung ermöglicht.

Tabelle 1: Prüfkriterien für die automatische BGA-Inspektion

Prüfkriterium	Fehler
Vorhandensein von Lotbrücken	Kurzschlüsse
Fehlende Lötstellen	Unterbrechung
Durchmesser-Abweichungen der Lötstellen	Fehlerhafter Pastendruck
	Benetzungsfehler
	Bauelement-Verkippung
Abweichungen der Lötstellen von der Kreisform	Benetzungsprobleme Bauelement-Verkippung
Grauwert-Abweichungen der Lötstellen	Bauelement-Verkippung Offene Lötstellen
Ortsverschiebungen der Lotkugeln	Versatz des Bauelements
Lunkeranteil und Überschreiten einer Akzeptanzschwelle für Lunkeranteil	Mangelhafte Zuverlässigkeit

Manuelle Inspektion mit automatischer Auswertung

Für die Inspektion kleinerer Baugruppen-Lose wurde die Probe durch den Bediener per Joystick im Strahlengang bewegt und die Auswertung mittels BGA-Bewertungssoftware ausgeführt.

Bei Standard-BGA-, FBGA-, und CSP-Lötstellen erfolgte die Einrichtung der Bewertungssoftware selbstständig: das System erkannte das BGA-Layout sowie den richtigen Lötstellendurchmesser und -grauwert direkt bei der Bewertung, d.h. ohne Einrichtung. Die Bewertung lieferte dabei sämtliche oben angegebene Prüfergebnisse gemäß der voreingestellten Akzeptanzschwellen. Die automatische Einrichtung hatte bei der manuellen Inspektion vor allem den Vorteil, daß keine exakte Positionierung und Einhaltung der Vergrößerung notwendig war. Außerdem ist das Ergebnis der Auswertung durch die selbsttätige Einrichtung in einem gewissen Bereich unabhängig von den Röntgenparametern. Als einzige Voraussetzung für die automatische Einrichtung hat sich herausgestellt, daß mindestens ca. 80% der Lötstellen im Gesichtsfeldes hinsichtlich Durchmesser und Grauwert den Akzeptanzkriterien entsprechen müssen, was in der Praxis fast immer zutrif. In gegenteiligen Fall konnten die Sollwerte entweder an einer Gruppe von akzeptablen Lötstellen eingeteacht oder von Hand vorgegeben werden, wobei das Programm durch Vorschlagswerte und Meßeinrichtungen Hilfestellung leistete. Typische Einrichtung war ca. 10 Minuten für einen Bauelement-Typ. Die für die Bewertung notwendige Zeit liegt bei etwa zwei Sekunden, so daß die gesamte Prüfzeit im wesentlichen durch manuelle Manipulation der Proben bestimmt ist. So sind für die automatische Bewertung eines Standard-PBGA 255 in 4-6 Teilansichten maximal ein bis zwei Minuten zu veranschlagen.

Abbildung 2 zeigt ein einzelnes Ergebnisbild aus einer BGA-Reiheninspektion. Der maximal

akzeptable Prozentanteil der Lunker war auf 5% eingestellt. Es ist zu bemerken, daß die deutlich sichtbaren Hintergrundstrukturen (Lot auf der Leiterplattenrückseite) bei der Bewertung vollständig unterdrückt werden und das Ergebnis nicht beeinflussen.

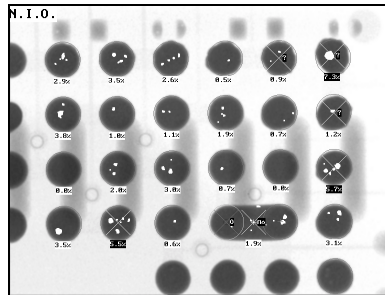


Abbildung 2: Typisches Ergebnisbild einer automatischen BGA-Bewertung (PBGA 352) mit Selbsteinrichtung: 3 Lötstellen weichen mehr als 13% von der Kreisform ab, 1 Lotbrücke ist vorhanden, 2 Lötstellen haben mehr als 5% Lunkeranteil. Unter den Lötstellen wird der jeweilige Lunkeranteil angezeigt.

Je nach Kundenwunsch und Prozeßstatus waren auffällige Lötstellen zu Ergründung der genauen Fehlerursache im hochvergrößernden Bild und im OVHM-Modus zu analysieren. In Abbildung 3 sind z.B. 6 Lötstellen eines µBGA zu sehen. Ein leichter Versatz und unterschiedliche Lötstellendurchmesser fallen sofort ins Auge. An den markierten Lötstellen sind gemäß der eingangs erwähnten Kriterien (fehlendes Plateau, kein dunkler Ring) Benetzungsfehler identifiziert worden. Im OVHM-Bild (Abbildung 4) zeigte sich nun, daß diese Lötstellen tatsächlich offen sind – das Lot hängt nur am Bauelement an. Die Lötstelle rechts unten zeigt in senkrechter Durchstrahlung zwar noch das zentrale Plateau, ist aber im OVHM-Bild aufgrund des fehlenden Lotmeniskus ebenfalls als offen einzuordnen.

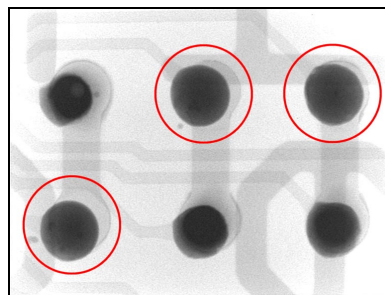


Abbildung 3: Röntgenbild von sechs µBGA-Lötstellen in senkrechter Durchstrahlung

Automatische Offline-Inspektion

Für größere Lose (ab ca. 20 Stk.) empfiehlt sich die automatische Offline-Inspektion, d.h. die Prüfpositionen werden nach Einlegen der Leiterplatte in eine Halterung und Programmstart selbstständig angefahren und die im jeweiligen Gesichtsfeld sichtbaren Lötstellen automatisch bewertet. Das Prüfergebnis wird in einem Protokoll (Textdatei) niedergelegt.

Bei der Programmierung für ein Bauelement mit Standardlayout (d.h. mit geschlossenen Reihen von Lötstellen) kann man auf die Selbsteinrichtung der BGA-Bewertungssoftware zurückgreifen; lediglich die gewünschten Prüfpositionen müssen manuell angefahren und eingeteacht werden.

Abweichende Layouts (z.B. einzelne freie Anschlußstellen) können mittels eines graphischen Menüs für jede Prüfsicht individuell eingegeben werden. Das gleiche gilt für die Akzeptanzschwellen und ggf. sonstige Parameter einschließlich der Röntgenparameter. So können auch verschiedene BGA-Bauelemente auf einer Leiterplatte in einem Durchgang geprüft werden.

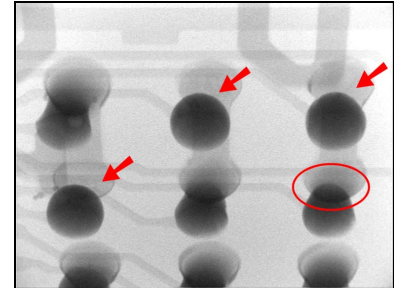


Abbildung 4: OVHM-Röntgenbild derselben sechs Lötstellen

In der Praxis betrug die Einrichtungzeit für die einen µBGA 5 bis zehn Minuten, für einen BGA mit einigen hundert Lötstellen je nach Layout und Zahl der Prüfpositionen 5 bis 30 Minuten. Die Durchlaufzeit lag zwischen einigen Sekunden (µBGA mit zwei Prüfsichten) und 2 Minuten (BGA 352 mit ca. 40 Prüfsichten). Geprüft wurde dabei auf alle in Tabelle 1 aufgeführten Kriterien.

Schlußbemerkung

Die bisherigen Anwendungen zeigen, daß aufgrund der minimierten Einrichtungzeiten eine automatische und quantitative Prüfung substratbasierter Lötstellen an kleineren Lose machbar und rentabel ist. Durch die OVHM-Technik können nun auch bei Lötstellen mit feinerem Pitch (CSP, FlipChip) in Schrägdurchstrahlung bei hoher Vergrößerung Benetzungsfehler analysiert werden. Wünschenswert bleibt eine automatische Auswertung auch von Schrägdurchstrahlungsbildern und der o.g. Benetzungskriterien. Dies dürfte jedoch aufgrund der Vielfalt der Fehlersymptome einen erweiterten Ansatz bei den Bildanalyse-Algorithmen erfordern.

Dr. Holger Roth ist Applikationsingenieur bei der phoenix|x-ray Systems + Services GmbH und betreibt in der Zweigstelle Stuttgart ein Dienstleistungslabor für Röntgeninspektion.

¹ M. Wickham et al., An Investigation into Ball Grid Array Inspection Techniques, ESA STM-261, September 1999

² S. Liu and Y.H. Mei, Effects of Voids and Their Interactions on SMT Solder Joint Reliability, Soldering and Surface Mount Technology 18, 1994, 21-32

³ W.B. O'Hara and N.-C. Lee, How Voids Develop in BGA Solder Joints, SMT, January 1996, 44-47