



Bewertung von Bauelementen und Leiterplatten auf Ursachen für Voiding in Lötverbindungen

FED – Regionalgruppe Berlin
Treffen bei TechnoLab am 2019-11-07

Lutz Bruderreck
TechnoLab GmbH
Wohrabadamm 13
13629 Berlin
www.technolab.de
Lutz.Bruderreck@technolab.de
Tel.: ++49 30 3641105-12
Fax: ++49 30 3641105-69

1

1



Vorstellung TechnoLab



www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

3



Herr Lutz Bruderreck

Jahrgang 1967
Studium Feinwerktechnik-Gerätekonstruktion TFH Berlin
Seit 1995 bei TechnoLab GmbH
Seit 2001 Geschäftsführer für den Geschäftsbereich Analytik
Schwerpunkte:
Untersuchungen an Elektroniken mit bleifreien Loten
Qualifizierungen von PCB
Schadensanalytik und Schadenssimulation
seit 2002 Beirat des BFE - Fachverband für Bleifreie Elektronik e.V.
seit 2007 Mitarbeiter in der DKE Deutsche Kommission
Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik
K682 Montageverfahren für elektronische Baugruppen – IEC TC 91
seit 2014 2. Vorsitzender des BFE - Fachverband für Bleifreie Elektronik e.V.
seit 2016 Mitarbeiter in der DKE
K511 Sicherheit elektrischer Hausgeräte – IEC TC 61

TL-ANA

www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

4

4



TechnoLab Qualifying and testing solutions

TechnoLab GmbH
Wohlrabadamm 13
13629 Berlin
Phone: ++49303641105-0
FAX: ++4930 364110569
info@technolab.de
www.technolab.de



TL-ANA

www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

5

5



TechnoLab

Qualifying and testing solutions

TechnoLab GmbH
Wohlrabedamm 13
13629 Berlin

Phone: ++49303641105-0
FAX: ++4930 364110569
info@technolab.de
www.technolab.de



TL-ANA

www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

6

6



Gründung 1996

- Buy out aus DeTeWe - Deutsche Telephonwerke Berlin
- Start mit 6 Mitarbeitern
- Kundenstamm aus dem früheren Arbeitsumfeld der DeTeWe
- Gesellschaftsform: GmbH
- Stammkapital: 35T€

Stand 2019

- 26 Mitarbeiter
- Kundenstamm weltweit
- Gesellschaftsform: GmbH
- Stammkapital: 70T€
- Jahresumsatz 3,05 Mio € 2018
- Third Party Labor

Geschäftsfeld:

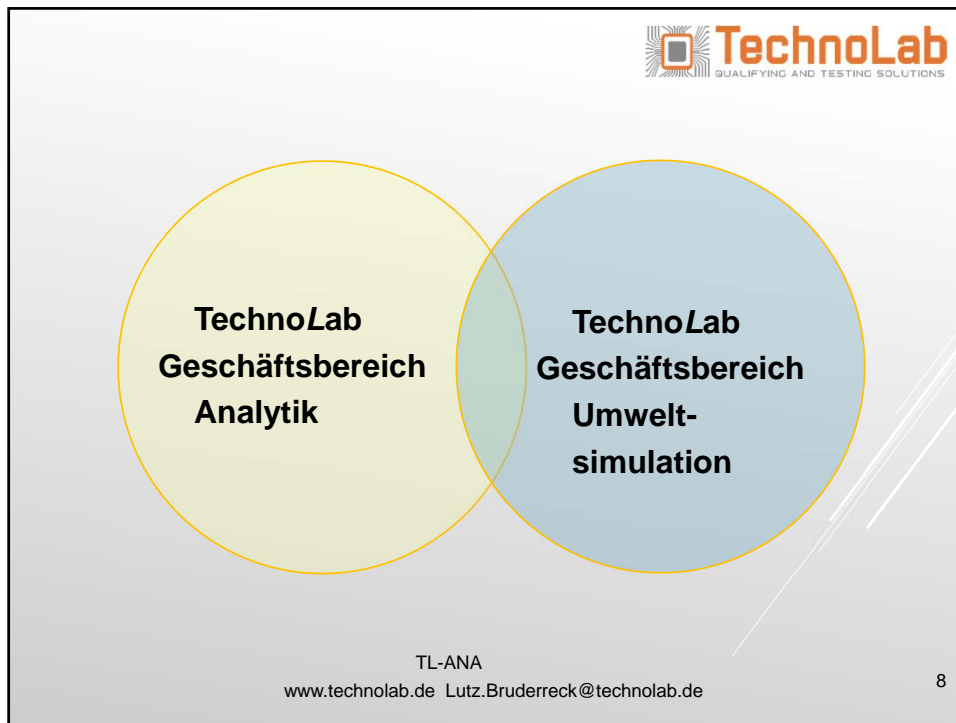
Dienstleistungen der Analytik und Umweltsimulation für Produkte der Elektrotechnik und Elektronik

TL-ANA

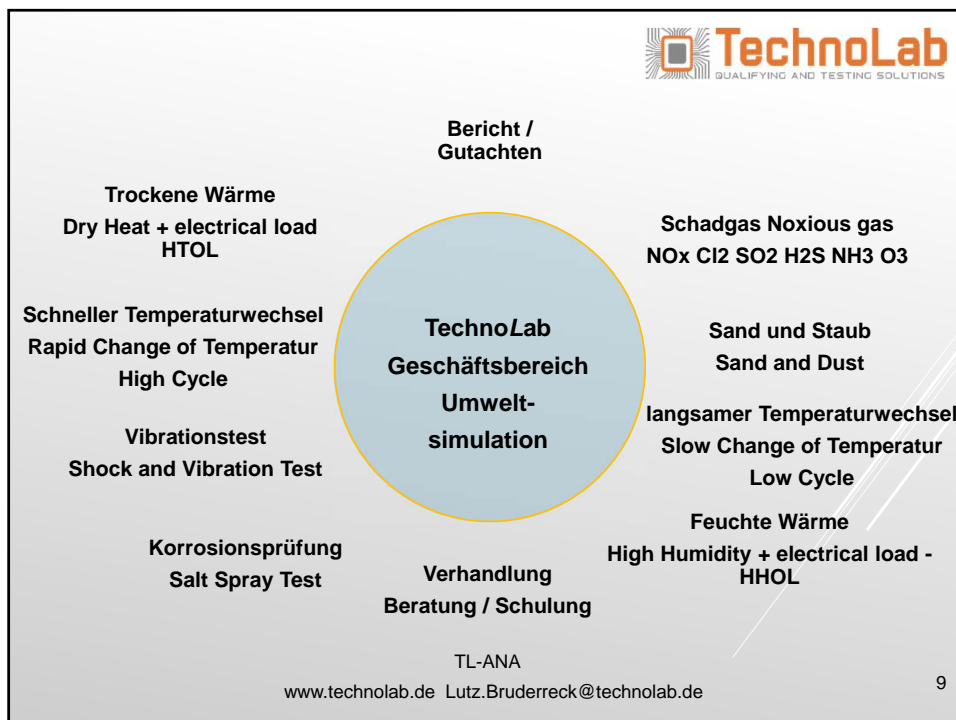
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

7

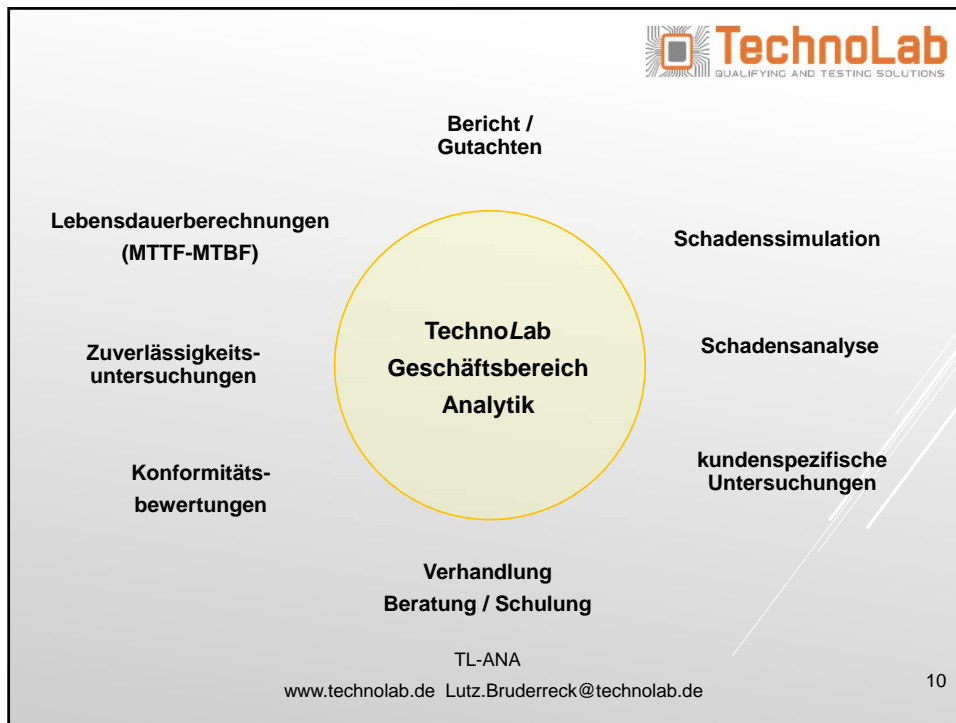
7



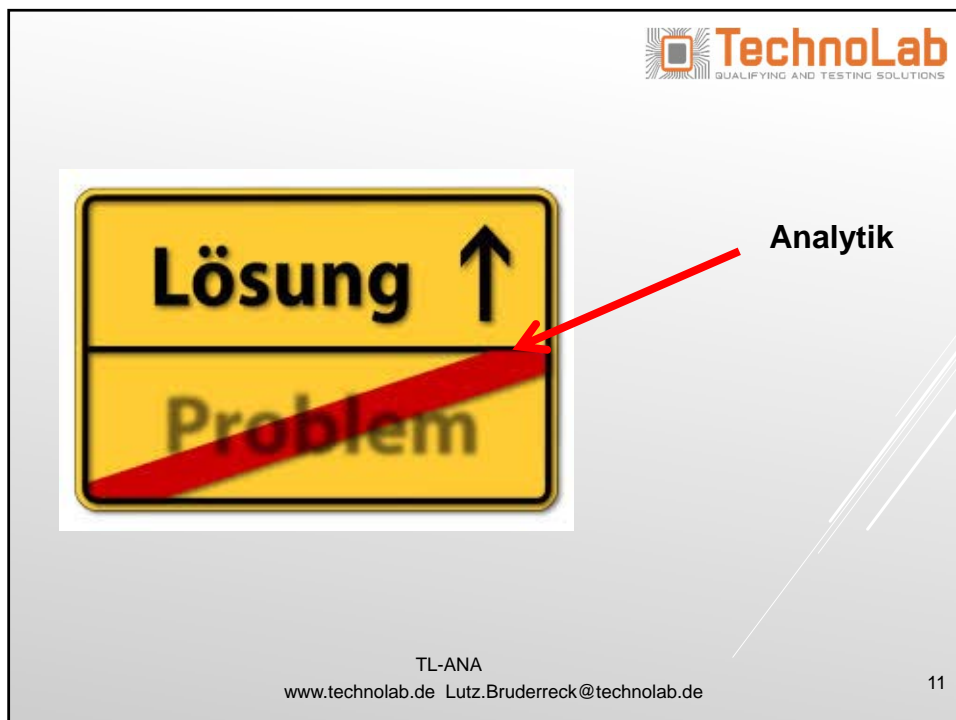
8



9



10



11




Analytik



TL-ANA
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

12

12




Werkzeuge der Analytik

Befunde der
Untersuchungsverfahren und -
methoden

Regelwerke
und
frei zugängliche Referenzen

Interne Erfahrungen
und nicht frei zugängliche
Referenzen



Technisches Beweismittel

Die Schaffung belastbarer Beweismittel erfordert die Validität der gesamten Beweiskette.
Das betrifft die Validität:

- der Untersuchungsmethoden
- der einzelnen Untersuchungsverfahren
- der Referenzen

TL-ANA
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

14

14

Untersuchungsergebnisse als technische Beweismittel

Die Verwertung von Untersuchungsergebnissen als belastbare technische Beweismittel erfordert die Einhaltung von Formalien.
Das betrifft die sorgfältige Trennung zwischen:

1. Untersuchungsbefunden (neutralen Fakten)
2. Interpretationen (was stellt das dar)
3. Meinungen (welche Schlussfolgerungen sind daraus zu ziehen)

TL-ANA

www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

15

15

Typische Untersuchungsziele

1. Findung von belastbaren Beweismitteln **für** eine These oder Szenario
2. Findung von belastbaren Beweismitteln, dass bestimmte Einflüsse ausgeschlossen oder zumindest nicht nachgewiesen werden können
3. Findung von belastbaren Beweismitteln oder Indizien für eine Unterscheidung zwischen Einzelfällen und systematischen Effekten

Weitere nach Absprache




TL-ANA

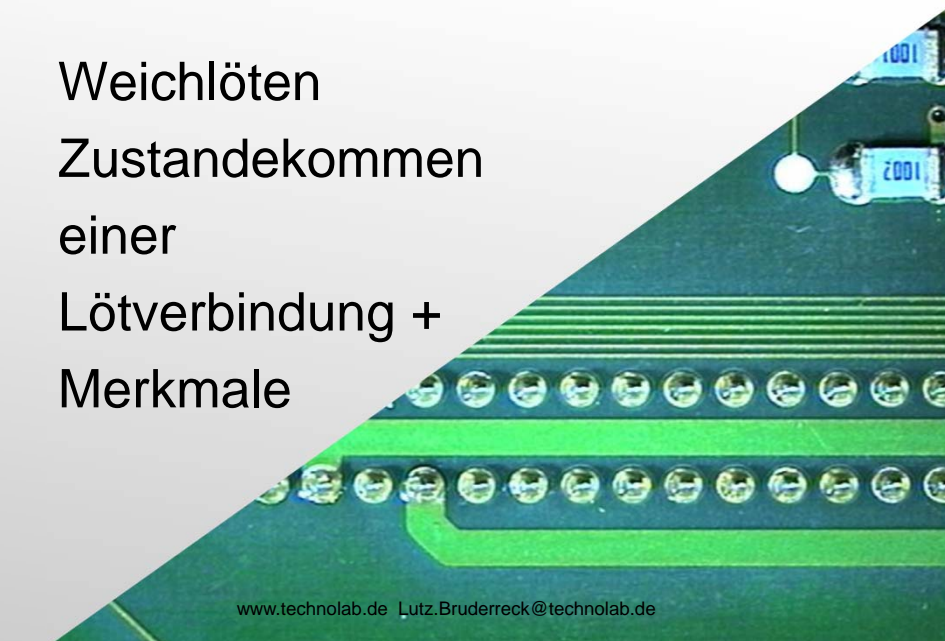
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

16

16

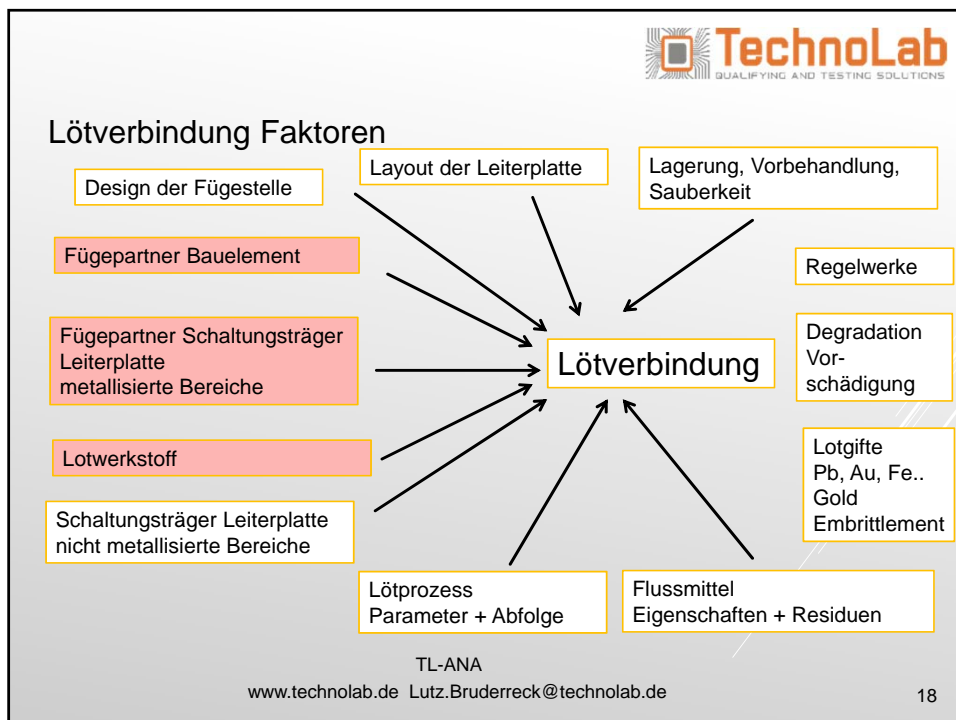


Weichlöten Zustandekommen einer Lötverbindung + Merkmale



www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

17



18

Zustandekommen einer Lötverbindung

Das Zustandekommen einer Lötverbindung erfolgt in mehreren Schritten

1. Aktivierung der Oberflächen
2. Benetzung der Oberflächen der Fügepartner durch den Lotwerkstoff
3. Metallurgische Wechselwirkung zwischen dem Lotwerkstoff und den Oberflächen der Fügepartner
4. Ausbildung der Diffusionszone
5. Erstarrung des Gefüges

Einflüsse während und nach der Erstarrung des Lotwerkstoffs

Erstarrung: Unterschreitung der Solidustemperatur

TL-ANA

www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

19

19

Zustandekommen einer Lötverbindung

Einflüsse während und nach der Erstarrung des Lotwerkstoffs:

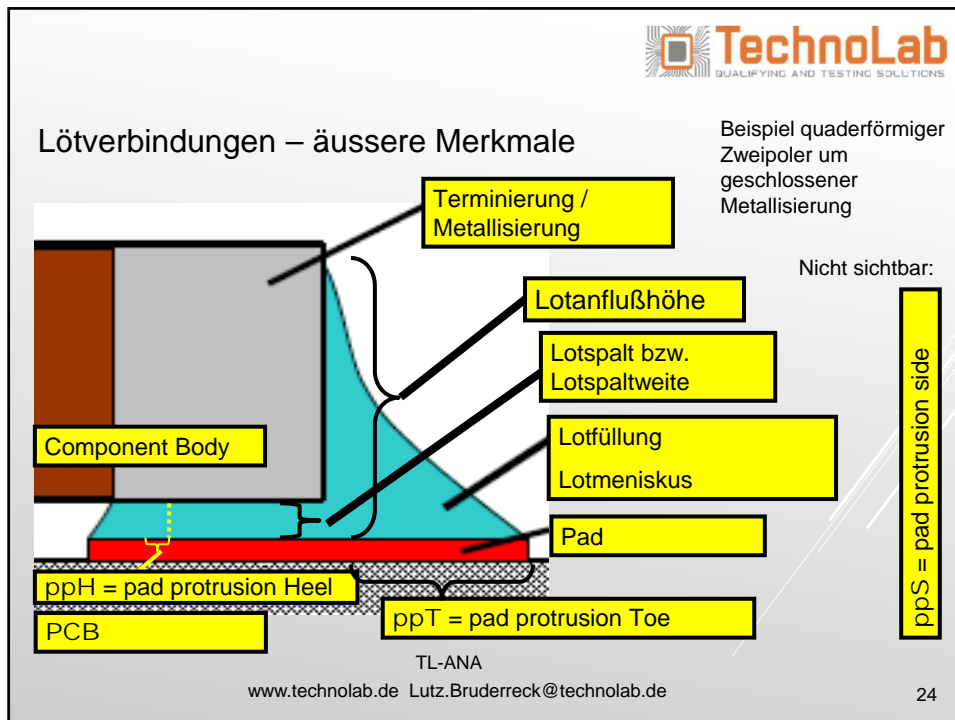
1. Erstarrung des Lotwerkstoffs erfolgt vor der Unterschreitung der Glasübergangstemperatur T_g der meisten Polymere der ET /EK (Schaltungsträger PCB, Packages, Leadframes bei Induktoren)
2. Während und nach Erstarrung erfolgt für die meisten Werkstoffe der Weichlote eine Volumenkontraktion (Ausnahme Bi-haltige Lote)
3. Daraus resultieren mechanische Spannungen innerhalb der Lötstrukturen (besonders markant: BGA-Balls)
4. Daraus resultieren mechanische Spannungen innerhalb der Schaltungsträger
5. Daraus resultiert die Robustheit gegen thermomechanische Wechsellast

TL-ANA

www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

20

20



24

The slide contains text and a list of factors influencing diffusion zones in soldering. It includes the TechnoLab logo and contact information at the bottom.

TechnoLab
QUALIFYING AND TESTING SOLUTIONS

Löten – Diffusionszone

An der Grenzfläche Substrat – flüssiges Metall bilden sich intermetallische Phasen aus. Welche Phasen tatsächlich entstehen, hängt ab:

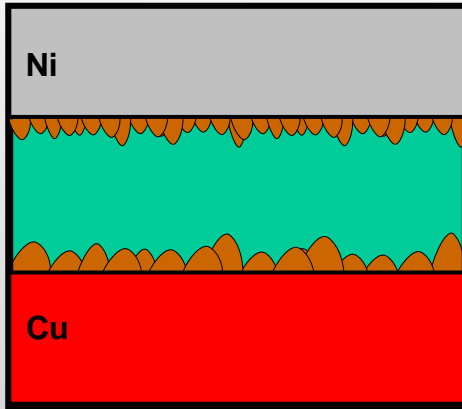
1. vom Diffusionskoeffizienten
2. von der Breite des Homogenitätsbereiches der betreffenden Phase.
3. Eine intermetallische Phase kann durch Interdiffusion nur dann wachsen, wenn sich ein entsprechendes Konzentrationsgefälle ausbildet, was meist der Fall ist.
4. von Diffusionshemmungen zu Beginn des Vorganges. Die Bildung intermetallischer Phasen bei der Interdiffusion beginnt durch Reaktionen an den Phasengrenzflächen.
5. Phasenbildungsbeginn und – wachstum können durch Diffusionshemmung beeinflusst werden
6. Auf alle diese Vorgänge haben Temperatur und Zeit großen Einfluss (ARRHENIUS-Gesetz).
7. Eine Diffusion erfolgt auch im erstarrten Zustand !!!

TL-ANA
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

25

25

Lötverbindungen – innere Merkmale



Merkmal 1 Intermetallische Zone IMZ
Die IMZ ist nur am metallographischen Präparat zweifelsfrei nachzuweisen.
Das lückenlose Vorhandensein der intermetallischen Zone längs der Fügeflächen ist das wichtigste Qualitätskriterium überhaupt.
Ist eine IMZ vorhanden, so hat eine einwandfreie Benetzung stattgefunden.

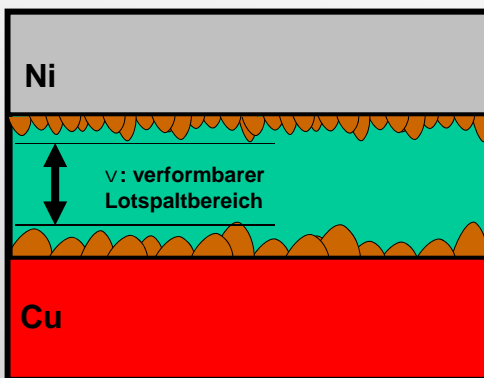
TL-ANA

www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

30

30

Lötverbindungen – innere Merkmale




Merkmal 2 Lotspalt
Ein Lotspalt bedeutet das Vorhandensein einer plastisch verformbaren Bereichs in der Lotfüllung.
Eine zuverlässige Lötverbindung muß auf thermomechanischen Stress durch plastische Verformung reagieren können.

TL-ANA

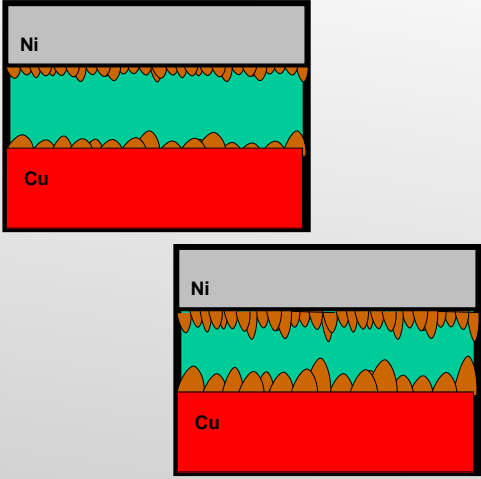
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

31

31

 **TechnoLab**
QUALIFYING AND TESTING SOLUTIONS

Lötverbindungen – innere Merkmale




Merkmal 3 Anteil der IMZ im Lotspalt
Der Lotspalt wächst von beiden Seiten
her mit Intermetallischen Phasen zu, der
verformbare Mischkristall-Bereich
schrumpft, die Scherung wird
sich in diesem Bereich des Lotspalts
konzentrieren, die Schäden entstehen
meist im IP-Bereich.

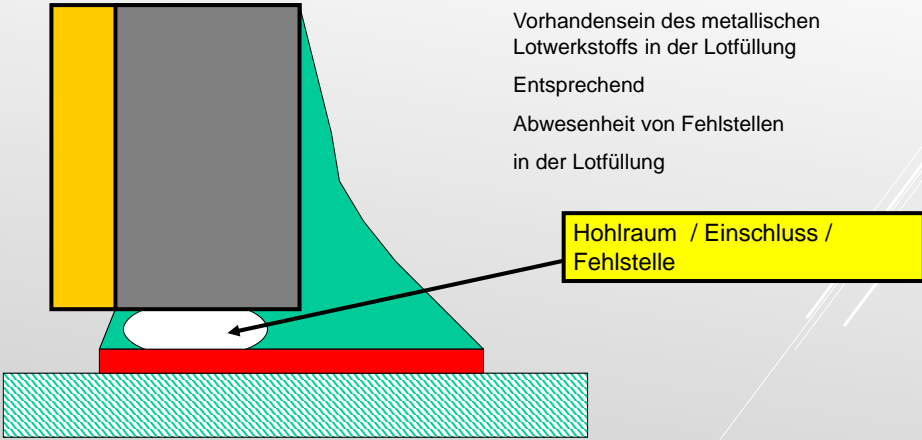
TL-ANA
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

32

32

 **TechnoLab**
QUALIFYING AND TESTING SOLUTIONS

Lötverbindungen – innere Merkmale



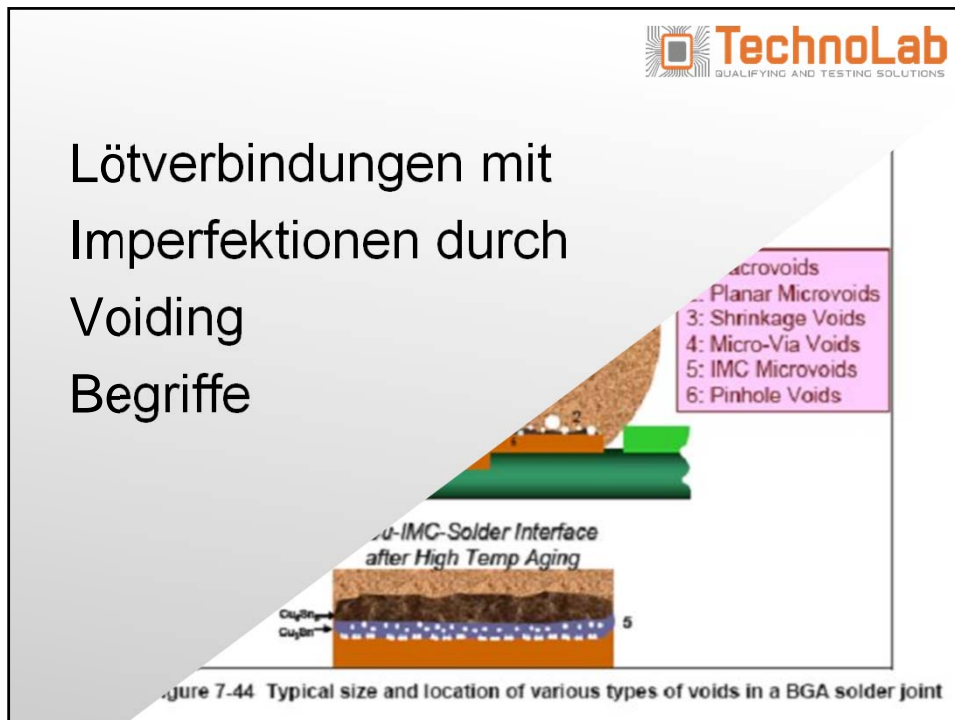
Merkmal 4
Vorhandensein des metallischen
Lotwerkstoffs in der Lotfüllung
Entsprechend
Abwesenheit von Fehlstellen
in der Lotfüllung

Hohlraum / Einschluss /
Fehlstelle

TL-ANA
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

33

33



34

Fragen

1. Was sind Voids?
2. Welche Lötverbindungen sind betroffen?
3. Welche Aussagen treffen die Regelwerke?
4. Welches sind typische Ursachen für das Zustandekommen?
5. Wird die Zuverlässigkeit einer Lötverbindung beeinträchtigt?

TL-ANA
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

35

The slide contains a list of five questions related to voids in BGA solder joints. At the bottom, there is contact information for TechnoLab: TL-ANA, www.technolab.de, and Lutz.Bruderreck@technolab.de. The slide number 35 is in the bottom right corner.

35

Voiding

Effekt des Auftretens von Fehlstellen innerhalb des metallischen Lotwerkstoffs oder an dessen Grenzflächen (absence of solder).

Mögliche Erscheinungsformen:

1. Fehlstellen durch eingeschlossene oder nicht vollständig ausgetretene Gase („air-bubbles“)
2. Fehlstellen durch eingeschlossene oder nicht vollständig ausgetretene Dämpfe – Zersetzungsprodukte Flux
3. Fehlstellen durch eingeschlossene Feststoffe (Krätze)
4. Fehlstellen durch Stoffaustausch an Werkstoffgrenzen
5. Fehlstellen durch Materialschrumpfung (Oberfläche, Gefügenderes)

TL-ANA

www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

36

36

Voiding - Begriffe

Begriff Void:

Fehlstelle im metallischen Gefüge im erweiterten Sinn ohne Bezug zu einer möglichen Ursache

Vorteil: Begriff ist universell verwendbar

Alternative Begriffe

1. Lunker (in der Metall-Giessereitechnik und Keramiktechnologie für Fehlstellen durch eingeschlossene nichtmetallische Feststoffe (Krätze) und Fehlstellen durch Materialschrumpfung
2. Blasen

TL-ANA

www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

37

37

Voiding

Der Effekt betrifft alle gängigen Lotwerkstoffe und Lötverfahren.

Über die Lötparameter – Temperaturgradient bis Druckverhältnisse- wird jedoch Einfluss genommen.

Der Effekt des Voidings kann begleitet werden von weiteren Strukturmerkmalen des Lotgefüges.

Die Bewertung in den Regelwerken beschränkt sich auf die Lötverbindungen der Area Array Components:

1. BGA
2. LGA

TL-ANA

www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

38

38

Void-Typen


1. Macro Voids
2. Planar Microvoids
3. Shrinkage Voids
4. Micro-Via Voids
5. IMC Microvoids
6. Pinhole Microvoids

TL-ANA

www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

39

39

 **TechnoLab**
QUALIFYING AND TESTING SOLUTIONS

Void Typisierung

Schema nach
IPC-7095

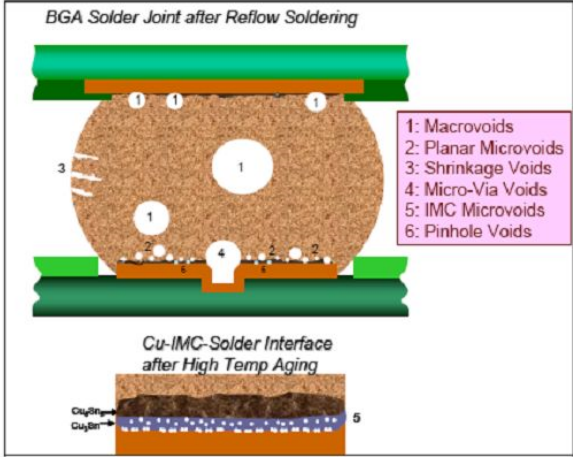




Figure 7-44 Typical size and location of various types of voids in a BGA solder joint

TL-ANA
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de



40

40

 **TechnoLab**
QUALIFYING AND TESTING SOLUTIONS

Gefügemerkmale + Voids

Gefügebestandteile Lotverbindung

- Gefüge in der theoretischen Zusammensetzung der Lotlegierung
- Zonen mit unterschiedlicher Zusammensetzung, z.B. zinnreiche Phasen
- Verunreinigungen an den Korngrenzen (Verunreinigung im Sinne der Gitterstruktur der Grundlegierung)
- IMP – Intermetallische Phasen
- Orte mit Abwesenheit dieser Bestandteile - Voids


TL-ANA
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

41

41



44



Voids - Bewertungsmethoden

Zerstörungsfrei

- Optische Inspektion in Ausnahmefällen erfolgreich: Outgassing von Metallisierungen, Shrinkage Voids
- X-Ray / CT
- Ultraschall / Sonographie

Zerstörend

- Metallographie (Materialographie)
- Bewertung von Bruchflächen nach Zerstörung der Lötverbindung Pull-Test, Shear-Test, Torque Test
- Bei Area Array Packages mit Unterstützung durch Farbeindringprüfung
- REM/EDX

TL-ANA
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

46

Voids

Typische Erscheinungsformen:

1. Vereinzelte, annähernd kugelige Gebilde
2. Ketten von mehreren einzelnen Fehlstellen
3. Langgestreckte fadenförmige Gebilde

Eine Unterscheidung zwischen langgestreckte, fadenförmigen Voids und Schwindungslunkern (shrinkage groove) ist nicht immer zweifelsfrei möglich.

Die Merkmale eines Übergang von Schwachstellen im Gefüge zu Rissen sind nicht randscharf.

TL-ANA

www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

47

47

Voids – shrinkage Voids


- Allgemeines: Volumenschumpfung bei Erstarrung ist Merkmal der meisten Lotlegierungen
- Ausnahme: Bi-Legierungen
- Auftreten: auch an der Oberfläche wahrnehmbar
innerhalb der Lotfüllung überlagert mit Rissmerkmale
- Bewertung: Der Befund von optischer Inspektion und X-Ray liefert keine sicheren Aussagen.
Befund Metallographie: sicher in der Präparationsebene, abgerundete Konturen
- Kriterium: IPC-A-610: unzulässig, wenn Oberfläche der Fügepartner erkennbar ist

TL-ANA

www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

48

48

 **TechnoLab**
QUALIFYING AND TESTING SOLUTIONS

Macrovoids und Microvoids

Eine randscharfe Definition für die Unterscheidung zwischen Macrovoids und Microvoids existiert nicht, Beschreibung unter IPC-7095.


Microvoid: Durchmesser 25-50µm
Macrovoid: Durchmesser 100-300µm

Erscheinungsbild Macrovoids
Erscheinung meist als singulärer Effekt
Ein flächenhaftes Phänomen kann in engen Lotspalten vorliegen.

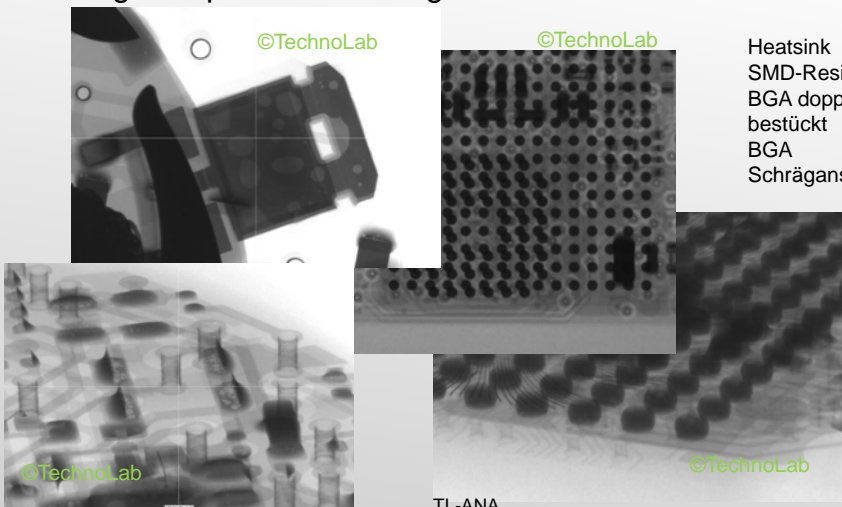
TL-ANA
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

49

49

 **TechnoLab**
QUALIFYING AND TESTING SOLUTIONS

Röntgeninspektion - Voiding



©TechnoLab ©TechnoLab ©TechnoLab ©TechnoLab

Heatsink
SMD-Resistoren
BGA doppelseitig
bestückt
BGA
Schrägsicht

TL-ANA
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

52

52

Röntgeninspektion - Voiding

25%

1. Grenzwert oder Prozessindikator?
2. Gültig für einfache Projektion, das gesamte Volumen, Voids in verschiedenen Höhenlage summarisch, Voids mit der ausgeprägtesten Randkontur, runde Voids mit bekanntem Erscheinungsbild...?
3. Übertragbarkeit von BGA / LGA auf QFN, SMD, THT?
4. Übertragbarkeit auf alle Dimensionen von Lotvolumen und Fügeflächen

TL-ANA

www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

57

57

Metallographische Analyse

Metallographische Analyse – typische Schritte

1. Auswahl des Präparationsorts
2. Dokumentation initial vor der Probenentnahme
3. Vorbehandlung der Probe (Reinigung, Fixierung, Entfernen störender BE)
4. Mechanischer Abtrag bis zum Zielort
5. Nachbehandlung der Probe (Reinigen, Nachverguss)
6. Dokumentation Zwischenstände + finaler Zustand
7. Auswertung (Bewertung optische Befunde)
8. Weitere Methoden (Ätzung, REM)
9. Bewertung auf Verhalten nach Lagerung - Langzeiteffekte
Whisker, korrosive Degradation, Migration von Elektrolyten

TL-ANA

www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

59

59

Metallographische Analyse - Probenpräparation



©TechnoLab

- Präparationsstrecke
- Schleif- und Polierautomat
- Schleif- und Polierscheiben

TL-ANA

www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

60

60

Visuelle Inspektion am metallographischen Präparat



©TechnoLab

Werkzeug:
Metallmikroskop
Polyvar Met
Probe auf Probenträger
ausgerichtet


Einsatz verschiedener
Methoden:
a) Hellfeld,
b) Dunkelfeld,
c) Interferenzkontrast
d) Polarisationskontrast
e) VIS / UV-Anteil

TL-ANA

www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

63


63

 **TechnoLab**
QUALIFYING AND TESTING SOLUTIONS


Auswertung am metallographischen Präparat

1. Inspektion und Dokumentation
 - optische Inspektion mit verschiedenen Methoden
 - Hellfeld, Dunkelfeld, Interferenzkontrast, Polarisationskontrast, evtl. Topografie
2. Ergänzung der Inspektion am Lasertopographen -Topografie der Übergänge unterschiedlich harter Bestandteile über längere Wegstrecken
3. Datensammlung geometrische Größen, Gefügemerkmale
4. Verhalten nach Alterung des Präparats - Whiskering
5. Vorbehandlung für weitere Analyseverfahren (optional)
 - Bedampfen mit C, Au oder Pt
6. Analyseverfahren (optional)
 - EDX, WDX

TL-ANA
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de


64

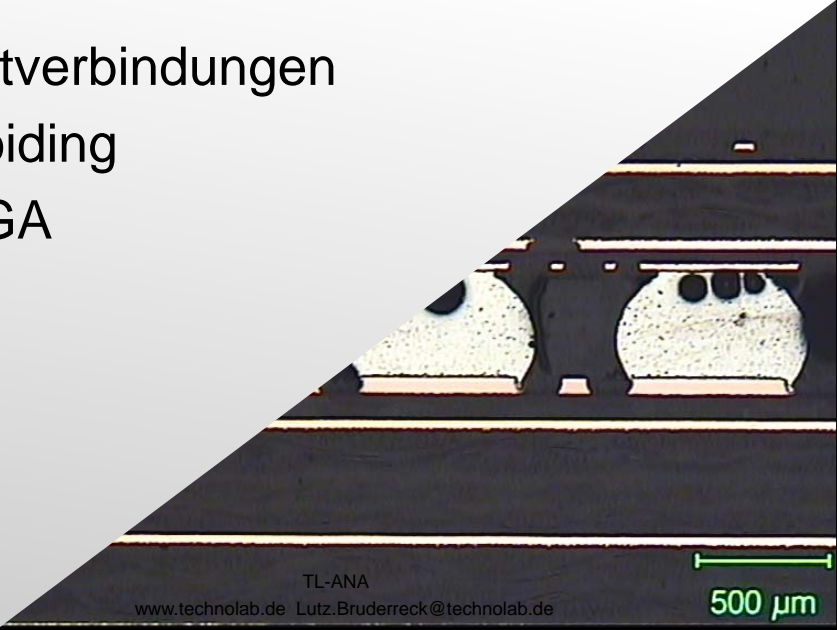
64

 **TechnoLab**
QUALIFYING AND TESTING SOLUTIONS

Lötverbindungen

Voiding

BGA



TL-ANA
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

500 µm

65

Analytik an BGA - Lötverbindungen

Untersuchungsanliegen

1. Bewertung Verhältnis Voidanteil zu Lotvolumen
2. Typisierung der Voids
3. Bewertung der Benetzung der Pads
4. Nachweis von Rissen
5. Metallurgie der Lötverbindung
6. Homogenität des Lotgefüges - Verteilung von Blei bei Mischtechnologien
7. Beschädigungen in der Struktur des BGA
8. Beschädigungen in der Struktur der Anwender-PCB

TL-ANA

www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

66

66

Voiding in BGA – Balls - Anwenderlötung

Voids als Folge von Designmerkmalen der PCB

Merkmal: nicht verschlossenes Via in Pad

Gasquellen: Luftvolumen des Microvia (genau definiert),
Prozessgase (Flux)

Zersetzungsprodukte von Rückständen im Microvia

Erscheinung: einzelnes, kompaktes Void, meist kuglige Gestalt

Aufenthaltsorte: Ausbuchtung der Lotfüllung oberhalb des Microvia
Verweilen an der Oberfläche der Anwender-PCB
im Lotvolumen

Aufsteigen zum Interposer des BGA

Via in Pad kann dabei durch den Lotwerkstoff gefüllt werden, muss es

TL-ANA

jedoch nicht www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

69

69

Voiding in BGA – Balls - Anwenderlötung

Voids als Folge von Designmerkmalen der PCB – micro-via induced Voids

Anmerkung:

Das μ -Via im Pad kann dabei durch den Lotwerkstoff gefüllt werden, muss es jedoch nicht.

Einflussgrößen: Final Finish der PCB als vollständige Schicht

Eigenschaften der Lotpaste

Prozessparameter (Temperaturgradient) - Gasblasen

Rückstände im Via (Permanent Solder Mask, sonstige)

Diese Betrachtungen gelten allgemein für Lötverbindungen mit Via in Pad, nicht nur für BGA. Bei anderen Bauelementen werden sie jedoch nicht gesondert betrachtet,

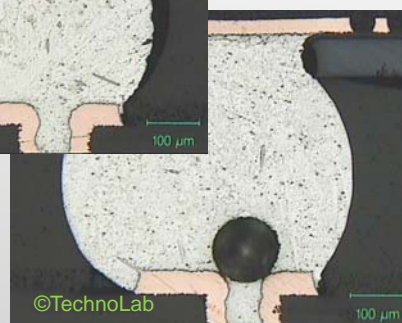
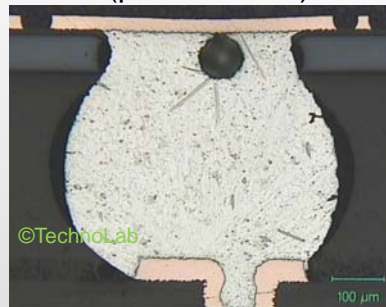
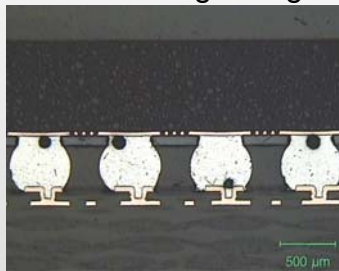
TL-ANA

www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

70

70

BGA Voiding Design-induced (μ via-induced) voids



Voids im Umfeld von Mikro-Vias
Position der Voids Type D + E
Final Finish immSn
SnPb Balls +SnPb-Lot
Lotwerkstoff hat Luftvolumen
verdrängt, keine stationäre Gasquelle
Befund Metallographie


TL-ANA

030139

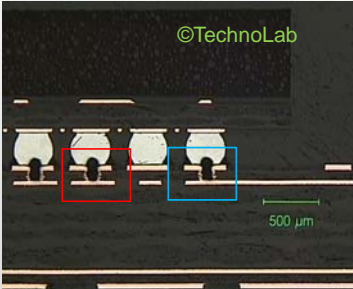
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

71

71

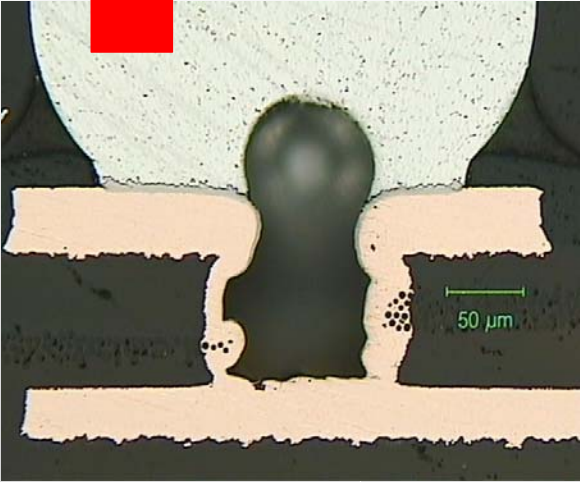
 **TechnoLab**
QUALIFYING AND TESTING SOLUTIONS

BGA Voiding Design-induced (μ via-induced) voids



©TechnoLab

500 μ m



50 μ m


Voids im Umfeld von Mikro-Vias
Final Finish ENIG, Lot SAC
Luftvolumen expandiert und
verdrängt den Lotwerkstoff,
keine stationäre Gasquelle,
Keine erkennbaren Cracks
Befund Metallographie
080170

TL-ANA

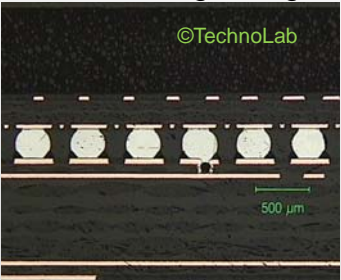
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

72

72

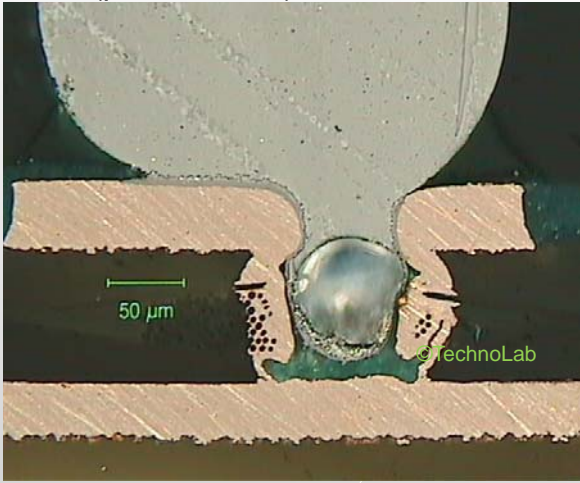
 **TechnoLab**
QUALIFYING AND TESTING SOLUTIONS

BGA Voiding Design-induced (μ via-induced) voids



©TechnoLab

500 μ m



50 μ m

©TechnoLab


Mikro-Via in Pad
Finish ENIG, Abscheidungsmängel
Residuen Lötresist
Keine Benetzung des Barrel durch
den Lotwerkstoff
Gasblase verbleibt eingeklemmt
keine stationäre Gasquelle
Befund Metallographie
080170

TL-ANA

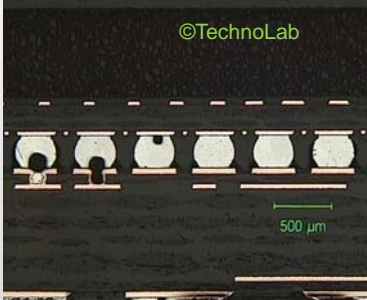
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

76

76

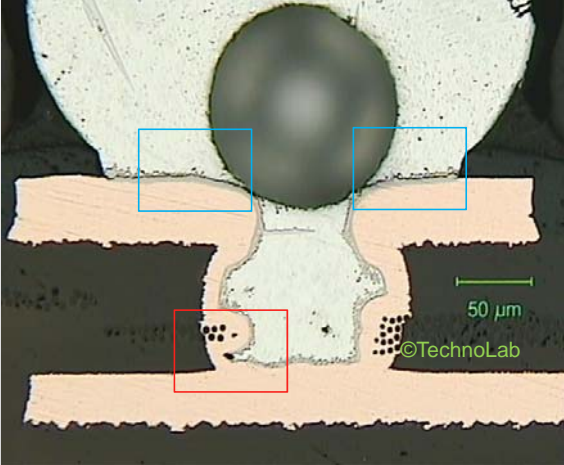
 **TechnoLab**
QUALIFYING AND TESTING SOLUTIONS

BGA Voiding Design-induced (μ via-induced) voids



©TechnoLab

500 μ m



50 μ m

©TechnoLab

Voids im Umfeld von Mikro-Vias
PCB Final Finish ENIG,
Lot SAC
Mikro-Via durch den Lotwerkstoff
gefüllt
Cracks entlang der IMZ
Befund Metallographie
080170

TL-ANA

www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

77

77

 **TechnoLab**
QUALIFYING AND TESTING SOLUTIONS

Voids + Schwindungslunker - shrinkage groove



©TechnoLab

100 μ m



©TechnoLab

30 μ m


BGA
Void nach außen geöffnet oder
shrinkage groove
SnPb
Finish ENIG
Befund Metallographie
050211

TL-ANA

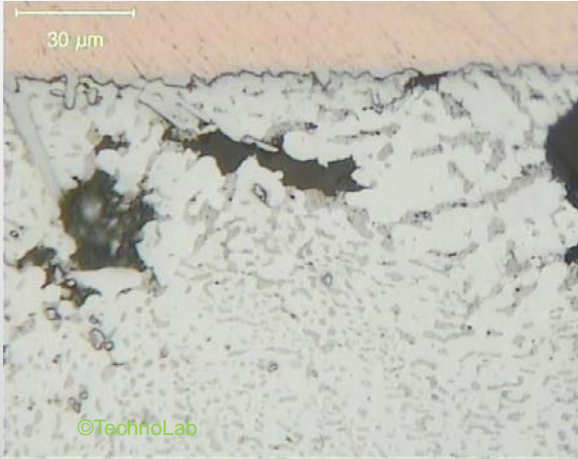
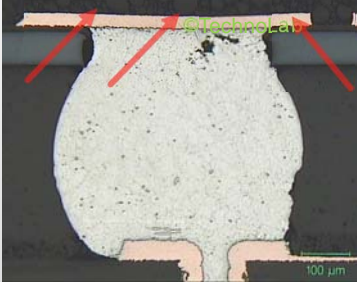
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

83

83

 **TechnoLab**
QUALIFYING AND TESTING SOLUTIONS

Voiding in BGA




shrinkage groove
Final Finish immSn
SnPb Balls + SnPb-Lot
Befund Metallographie,
Pfeile: Hinweis auf Schwindung

030139

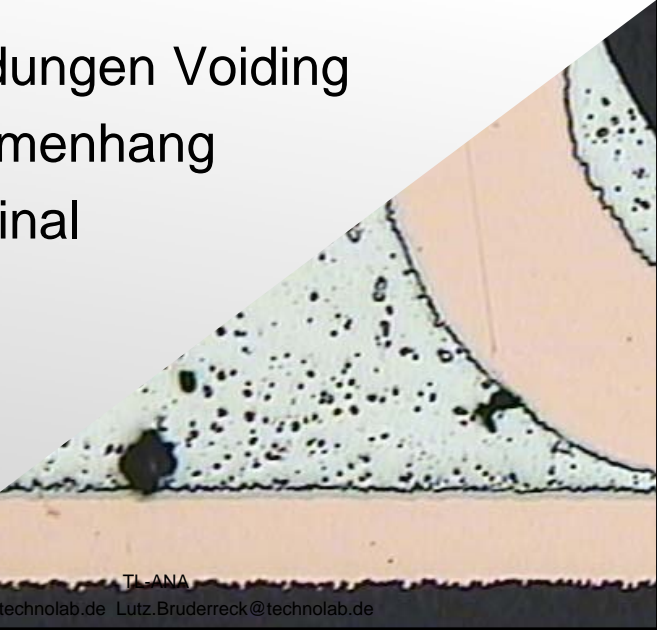
TL-ANA
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

85

85


 **TechnoLab**
QUALIFYING AND TESTING SOLUTIONS

Lötverbindungen Voiding im Zusammenhang mit dem Final Finish der PCB

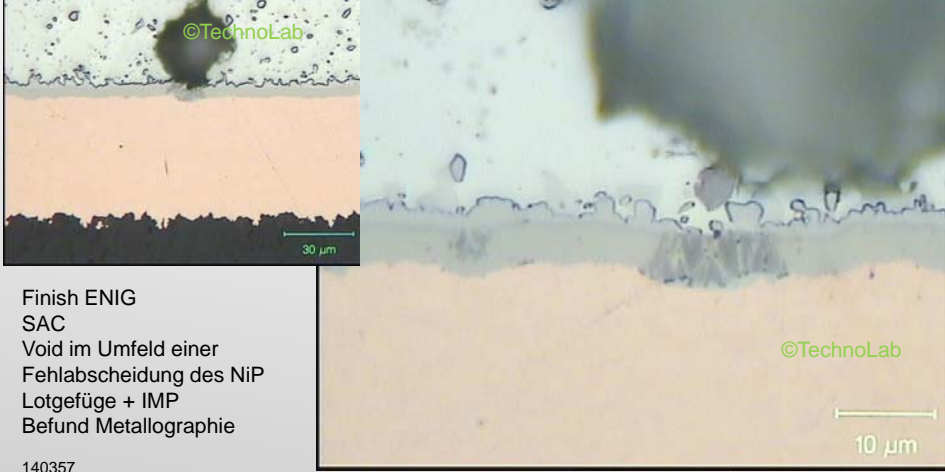


TL-ANA
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

91

 **TechnoLab**
QUALIFYING AND TESTING SOLUTIONS

Voids – Final Finish ENIG



©TechnoLab

Finish ENIG
SAC
Void im Umfeld einer
Fehlabscheidung des NiP
Lotgefuge + IMP
Befund Metallographie


140357

TL-ANA

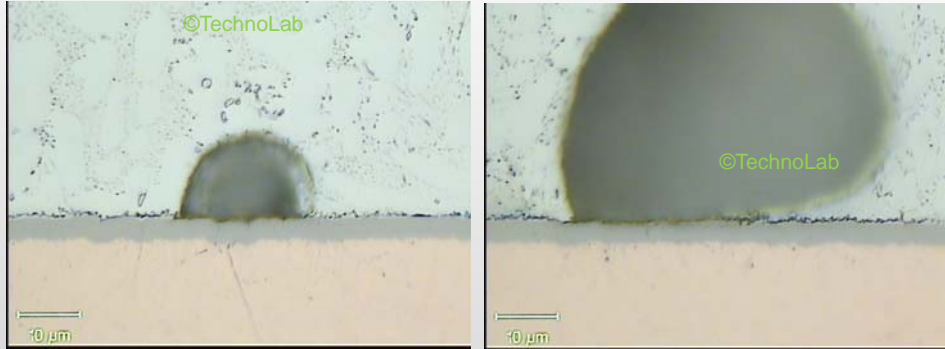
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

92

92

 **TechnoLab**
QUALIFYING AND TESTING SOLUTIONS

Voids – Final Finish ENIG



©TechnoLab

Finish ENIG SAC
Fehlabscheidung des NiP Lotgefuge + IMP
Befund Metallographie

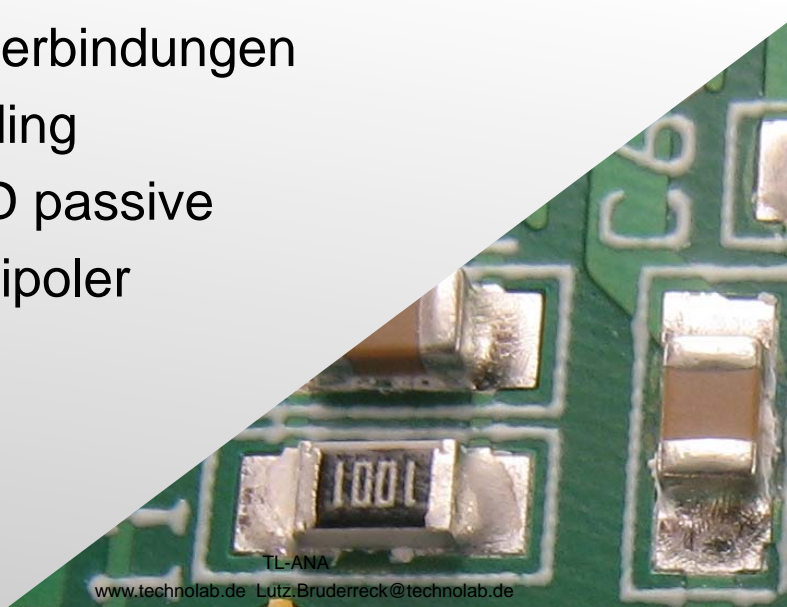
150091

TL-ANA

www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

97

97



TechnoLab
QUALIFYING AND TESTING SOLUTIONS

Lötverbindungen

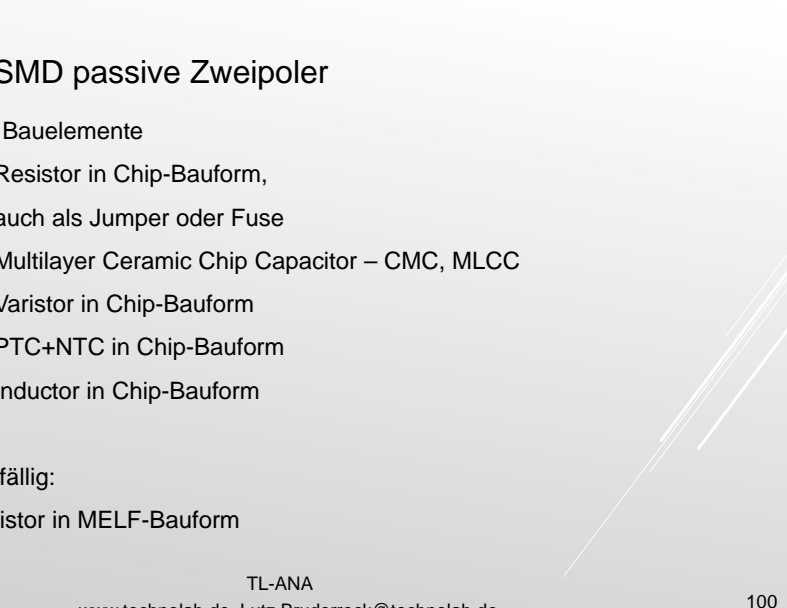
Voiding

SMD passive

Zweipoler

TL-ANA
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

99



TechnoLab
QUALIFYING AND TESTING SOLUTIONS

Voiding SMD passive Zweipoler

Auffällige Bauelemente

1. SMD Resistor in Chip-Bauform,
auch als Jumper oder Fuse
2. SMD Multilayer Ceramic Chip Capacitor – CMC, MLCC
3. SMD Varistor in Chip-Bauform
4. SMD PTC+NTC in Chip-Bauform
5. SMD Inductor in Chip-Bauform

Kaum auffällig:
SMD Resistor in MELF-Bauform

TL-ANA
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

100

Voiding SMD passive Zweipoler

Erscheinungsformen

1. Vereinzelte, annähernd kugelige Gebilde
2. Schwindungslunker (shrinkage groove) an der Oberfläche
3. Voids mit großem Volumen - Hinweis auf Einschlüsse in den Terminierungen
4. Ketten von Voids (Porenketten) bei Defekten der galvanischen Aufbauten, Mehrschichten

TL-ANA

www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

102

102

Voiding SMD passive Zweipoler

Tendenzaussagen

1. Resistoren in Chip-Bauform sind stärker betroffen als Zweipoler wie CMC mit abgerundeten Konturen der Terminierungen
2. Bauelemente mit organischen Zwischen-Schichten auf Basis Silber Epoxy (Soft Metallization, Soft Terminierung...) sind häufiger betroffen als Bauelemente ohne dieses Merkmal.
3. Beide Terminierungen eines Bauelements können abweichendes Verhalten zeigen – Hinweis auf Galvanikeffekte (Trommelgalvanik)
4. Lötbarkeitstests mit reduzierter Lotmenge liefern Hinweise auf ein Outgassing von Galvanikaufbauten

TL-ANA

www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

103

103

Voiding SMD Resistoren

1. Resistoren in Chip-Bauform weisen im Vergleich zum MELF die deutlich höhere Voidrate auf
2. Die thermomechanische Robustheit der Lötverbindungen von Resistoren in Chip-Bauform wird neben dem Voiding von weiteren Faktoren beeinflusst
3. Eine Voiding ist kritisch, wenn der Lotspalt in kompletter Fläche nicht ausgefüllt ist. Werte bis etwa 50% bleiben ohne erkennbare Einflüsse
4. Signifikante Einflüsse:
 - Aufbau der Terminierung – Schichtabfolge
 - Ausführung der Schichten - Outgassing
 - Formgebung der Kanten des Bauteilkörpers – Bruchcharakteristik
 - mechanische Nachbearbeitung der Terminierung - Tumbling

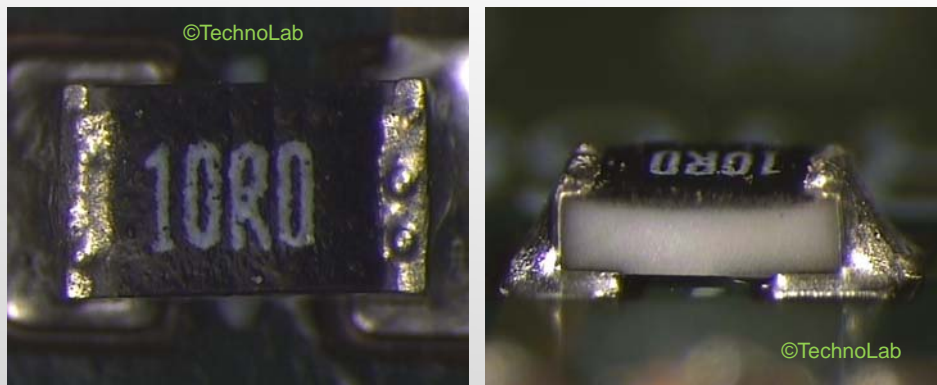
TL-ANA

www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

106

106

Voiding




Ausgasen der Terminierungen unter Einwirkung von Lötwärme
Befund OI
070145

TL-ANA


www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

107

107

 **TechnoLab**
QUALIFYING AND TESTING SOLUTIONS

Voiding - Resistor in Chip-Bauform




Resistor in Chip-Bauform
Voids im Lotspalt
Größe
Verteilung
Lagebeziehung
Befund Metallographie
080170

TL-ANA


www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

108

108

 **TechnoLab**
QUALIFYING AND TESTING SOLUTIONS

Voiding - Resistor in Chip-Bauform




Resistor in Chip-Bauform
Ausgasende Metallisierung
der Terminierung
Befund Metallographie
080170

TL-ANA

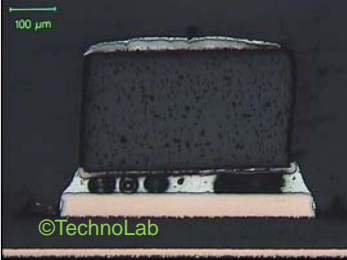
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

109

109

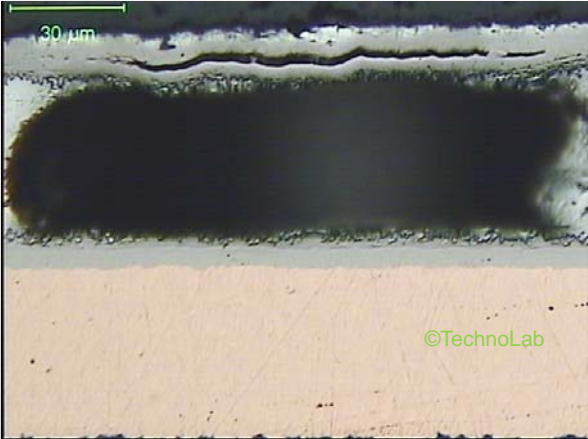
 **TechnoLab**
QUALIFYING AND TESTING SOLUTIONS

Voiding - Resistor in Chip-Bauform



100 µm

©TechnoLab



30 µm

©TechnoLab

Resistor in Chip-Bauform
Ausgasende Metallisierung
der Terminierung durch
Fehlabscheidungen
Befund Metallographie


130188

TL-ANA

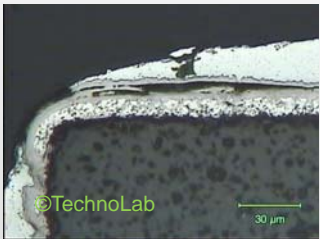
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

110

110


 **TechnoLab**
QUALIFYING AND TESTING SOLUTIONS

Voiding - Resistor in Chip-Bauform



30 µm

©TechnoLab



10 µm

©TechnoLab

Resistor in Chip-Bauform
Nickel-Layer in mehreren
Schichten, Separationen
Befund Metallographie


110278

TL-ANA

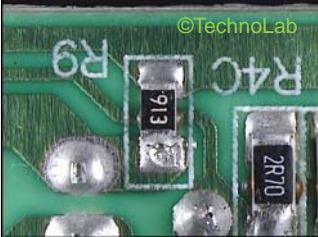
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

111

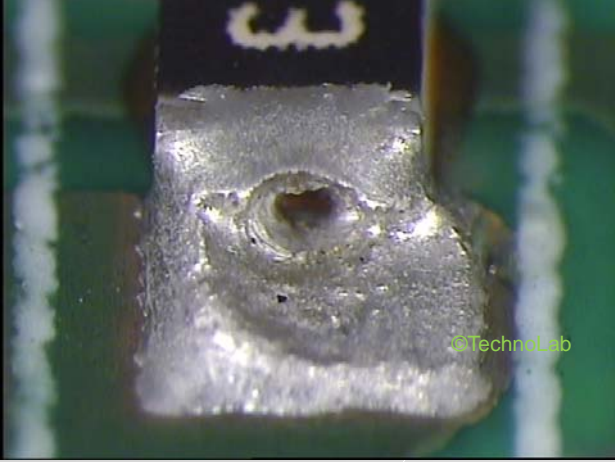
111

 **TechnoLab**
QUALIFYING AND TESTING SOLUTIONS

Voiding - Resistor in Chip-Bauform



©TechnoLab




©TechnoLab

Resistor in Chip-Bauform
Voids im Lotspalt
Ausbläser
PCB OSP, SAC, WL
Befund OI
100051

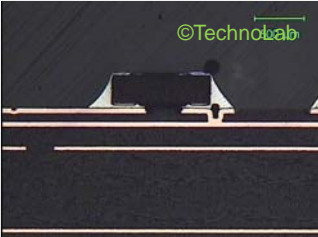
TL-ANA
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

112

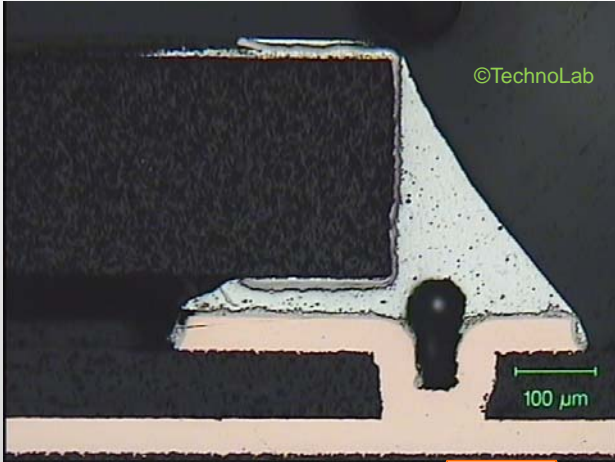
112

 **TechnoLab**
QUALIFYING AND TESTING SOLUTIONS

Voiding layoutbedingt - Resistor in Chip-Bauform



©TechnoLab




©TechnoLab

100 µm


Voids im Umfeld von Mikro-Vias
Chip Resistor
SAC, ENIG, RL
Befund Metallographie

160205

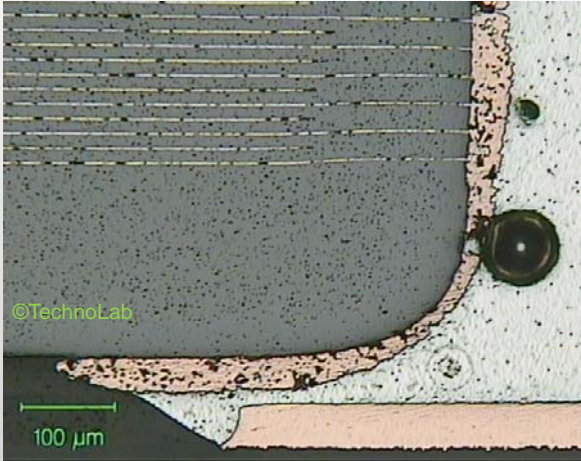
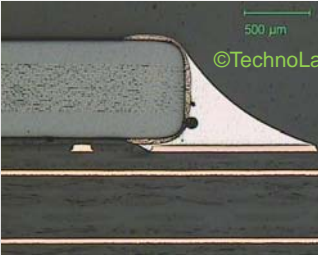
TL-ANA
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

 117

117

 **TechnoLab**
QUALIFYING AND TESTING SOLUTIONS

Voiding - CMC in Chip-Bauform




Voids direkt an der
Metallisierung der Terminierung,
Lotgefuge unauffällig
CMC BME-Typ
Ni-Barrier-Layer
Lot SnPb
PCB Finish HAL
Befund Metallographie
030074

TL-ANA



www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

120

120

 **TechnoLab**
QUALIFYING AND TESTING SOLUTIONS

Voiding - CMC in Chip-Bauform Soft Termination




CMC BME-Typ
Soft termination
Ni-Barrier-Layer
Lot SnPb
PCB Finish ENIG
RL1
Befund Metallographie
120016

TL-ANA

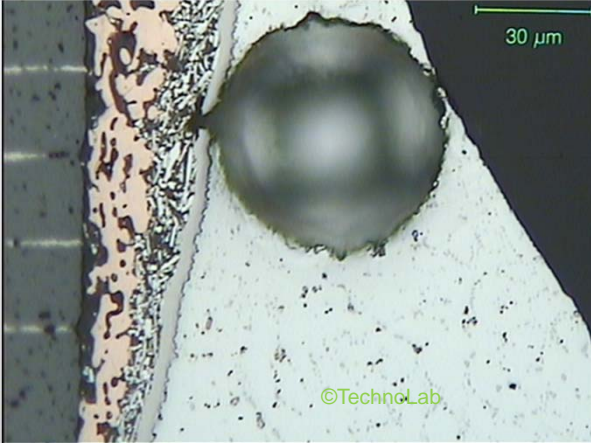
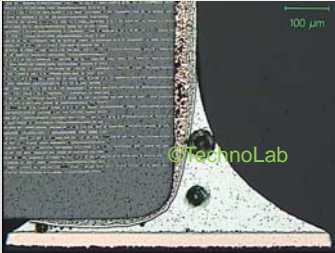
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

124

124


 **TechnoLab**
QUALIFYING AND TESTING SOLUTIONS

Voiding - CMC in Chip-Bauform Soft Termination




CMC BME-Typ
Soft termination
Ni-Barrier-Layer + galv. Sn
Fehlstellen ohne erkennbare
Kaverne
Lot SAC
PCB ENIG
Befund Metallographie
160030

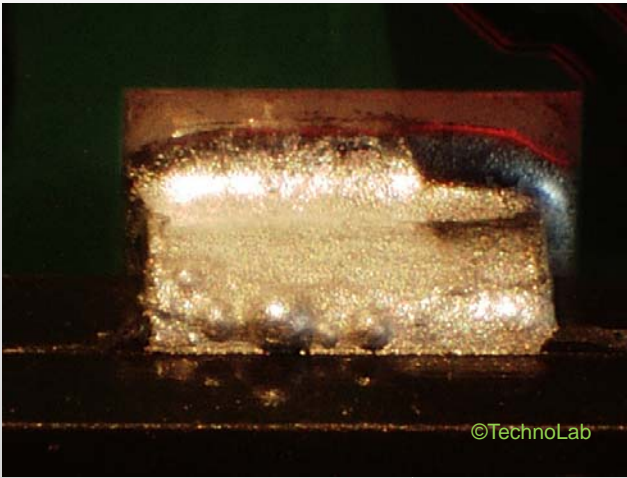
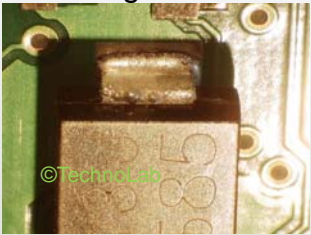
TL-ANA
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

 128

128

 **TechnoLab**
QUALIFYING AND TESTING SOLUTIONS

Voiding - Leads




Diode SMD
Bauform DO-214
Ausgasende Metallisierung
der Terminierung durch
Fehlabscheidungen
HAL
SnPb
Befund OI
080218

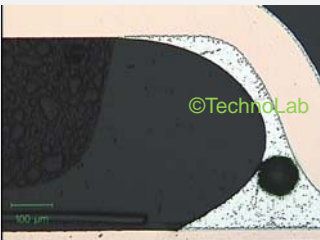
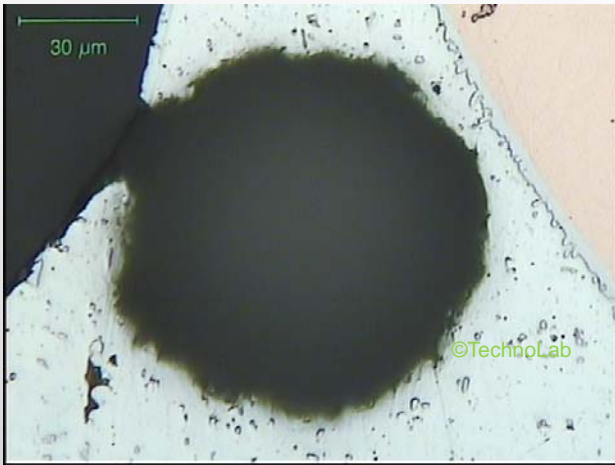
TL-ANA
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

135

135

 **TechnoLab**
QUALIFYING AND TESTING SOLUTIONS

Voiding - Leads



©TechnoLab

Gullwing-Lead
Cu + galv. Ni
Voids teilweise geöffnet
Lot SAC
PCB Finish ENIG
Befund Metallographie
160030

©TechnoLab

TL-ANA
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

136

136

 **TechnoLab**
QUALIFYING AND TESTING SOLUTIONS

Voiding - Leads



©TechnoLab

SMD-Quarz
Pin Stahl + Ni-Layer + Sn-
Layer mit Biegerissen,
SnPb
Befund OI + Metallographie
060256

©TechnoLab

TL-ANA
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

137

137

 **TechnoLab**
QUALIFYING AND TESTING SOLUTIONS

Voiding - Leads




SMD-Quarz
Pin Stahl + Ni-Layer + Sn-
Layer mit Biegerissen,
SnPb
Befund Metallographie
060256

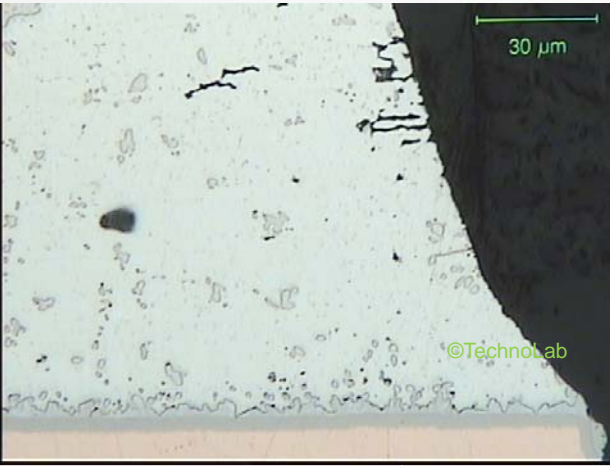
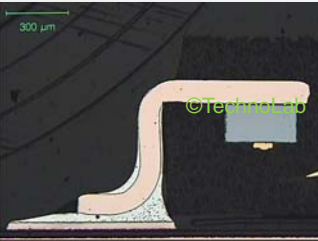
TL-ANA
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

138

138

 **TechnoLab**
QUALIFYING AND TESTING SOLUTIONS

Voiding - Leads




Gullwing-Lead
Cu + galv. Sn
Lot SAC
PCB Finish ENIG
Shrinkage Groove
Oberfläche und Gefüge

Befund Metallographie
160030

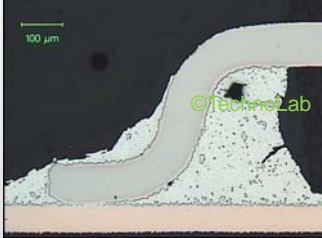
TL-ANA
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

139

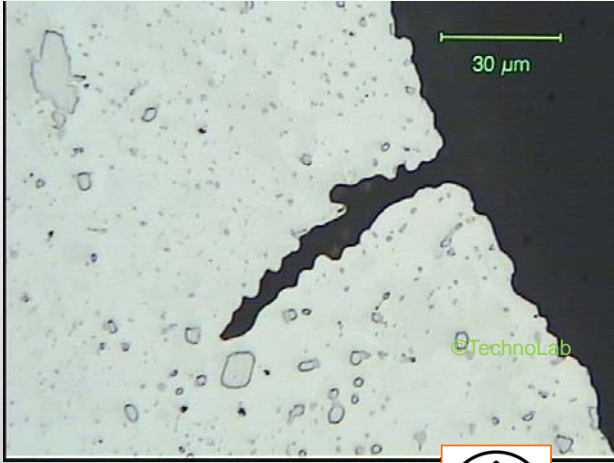
139

 **TechnoLab**
QUALIFYING AND TESTING SOLUTIONS

Voiding - Leads




©TechnoLab



©TechnoLab

Gullwing-Lead
Stahl + galv. Cu
Voids teilweise geöffnet
Lot SAC
PCB Finish HAL
Shrinkage Groove
Befund Metallographie
130064

TL-ANA
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

 140

140

 **TechnoLab**
QUALIFYING AND TESTING SOLUTIONS

Voiding THT


Erscheinungsformen

1. Vereinzelt, annähernd kugelige Gebilde
2. Ketten von Voids (Porenketten)
3. Schwindungslunker (shrinkage groove) an der Oberfläche
4. Voids mit großem Volumen - Hinweis auf Ausbläser als Folge von Mängeln beim workmanship der PCB
5. Voids als Folge von getrappten Prozessgasen – Designeinfluss, Einfluss der Bauelemente

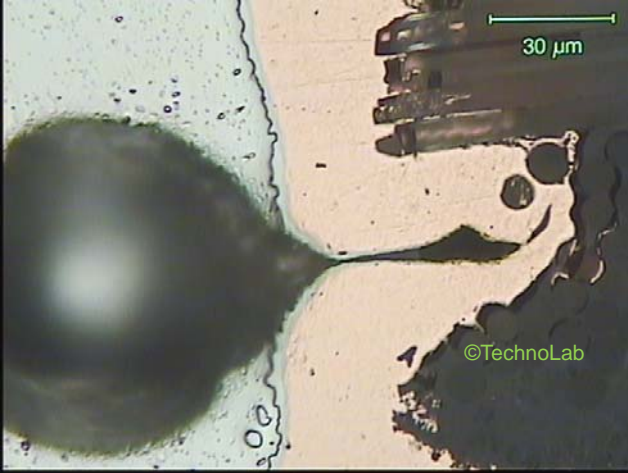
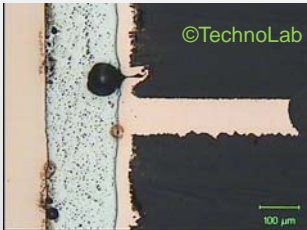
TL-ANA
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

147

147

 **TechnoLab**
QUALIFYING AND TESTING SOLUTIONS

Voids Ausbläser der PCB



Voids durch Ausbläser der PCB an Metallized Folds
HAL
SAC
Befund Metallographie
140286

TL-ANA
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de 149

149

 **TechnoLab**
QUALIFYING AND TESTING SOLUTIONS


Voids – gestaute Prozessgase



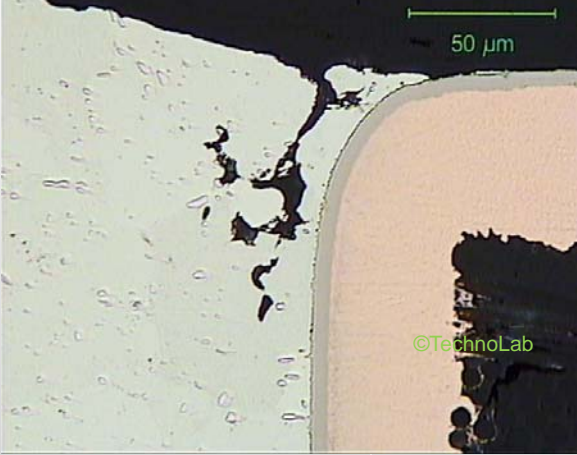
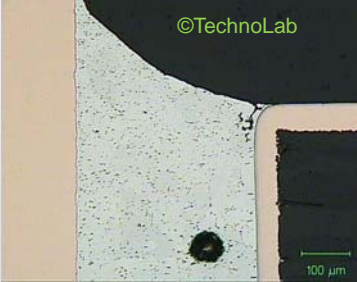
Entweichen von Prozessgasen blockiert Voding oder unvollständiger Lotdurchstieg
Befund Metallographie
140083

TL-ANA
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de 150

150

 **TechnoLab**
QUALIFYING AND TESTING SOLUTIONS

Voids + Schwindungslunker - shrinkage groove



THT-Pin CuSn4
feuerverzinkt
SAC Finish ENIG
Schwindungslunker
Befund Metallographie

050074

TL-ANA

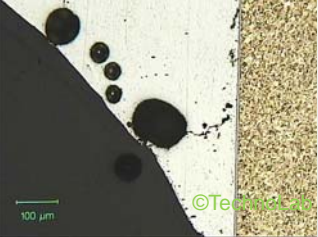
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

151

151

 **TechnoLab**
QUALIFYING AND TESTING SOLUTIONS

Voids + Schwindungslunker - shrinkage groove



Connector power pins
THT-Montage
Pin Ms + Sn
PCB ENIG
Lot SAC
Befund Metallographie

150266

TL-ANA

www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

153

153

 **TechnoLab**
QUALIFYING AND TESTING SOLUTIONS

Voids + Schwindungslunker - shrinkage groove




Pin CuSn4+galvanisch Sn ohne Ni-Barrier Layer
Schwindungslunker erweitert zu Riss
Befund Metallographie
080151

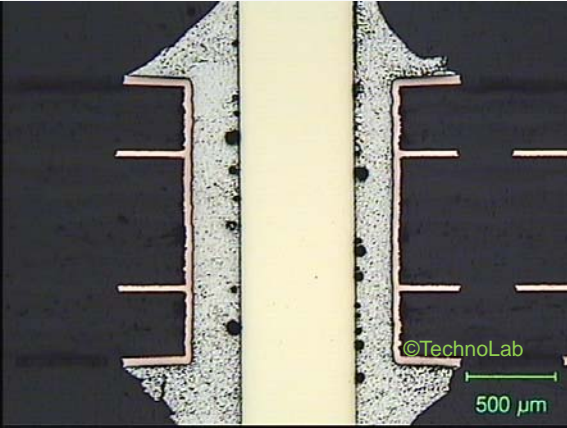
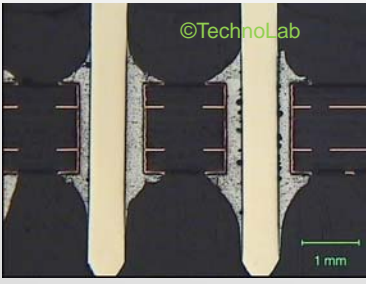
TL-ANA
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

155

155

 **TechnoLab**
QUALIFYING AND TESTING SOLUTIONS

Voids - Voidketten

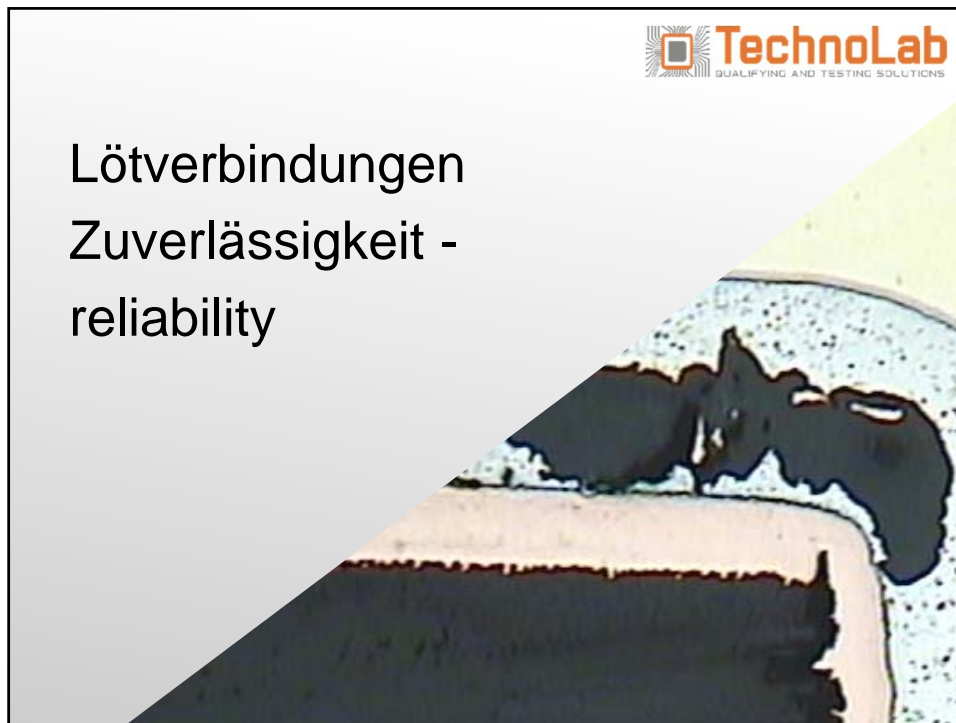


THT-Pin
Messing + galv. Nickel + galv. Zinn
Voidketten im Umfeld von geleachten galvanischen Überzügen
Unterschiede der Pins, PCB Finish HAL, SAC
Befund Metallographie
120202


TL-ANA
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

157

157



170



TechnoLab
QUALIFYING AND TESTING SOLUTIONS

Reliability IEC / DIN EN 61709

DIN EN 61709_2015-01 - Entwurf
Elektrische Bauelemente - Zuverlässigkeit - Referenzbedingungen für
Ausfallraten und Beanspruchungsmodelle zur Umrechnung (IEC
56/1583/CD:2014)
Electric components - Reliability - Reference conditions for failure rates and
stress models for conversion (IEC 56/1583/CD:2014)


Beschreibung
Portierung der Siemens SN 29500 in einen internationalen Standard
Gremium IEC/TC 56 DKE-K132 Zuverlässigkeit

Portierung betrifft formale Kriterien.
Inhaltlich besteht weitestgehende Übereinstimmung.

TL-ANA
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

171

171



Reliability IEC / DIN EN 61709


Type of connection	Details	Conductor cross section (mm ²)	Failure rate λ_{ref} in FIT	Notes: Standards/Guide
Solder	manual machine		0.5 0.03	IPC 610, class 2
Wire bond for hybrid circuits	Al Au		0.1 0.1	28 μ m / Wetch bond 25 μ m / Ball bond
Wire-wrap		0.05 - 0.5	0.002	DIN EN 60352-1/IEC 60352-1
Crimp	manual machine	0.05 - 300	0.25	DIN EN 60352-2/IEC 60352-2
Termi-point		0.1 - 0.5	0.02	DIN 41611-4
Press-fit		0.3 - 2	0.005	IEC 60352-5
Insulation displacement		0.05 - 1	0.25	IEC 60352-3, IEC 60352-4
Screw		0.5 - 16	0.5	DIN EN 60999-1
Clamp	elastic force	0.5 - 16	0.5	DIN EN 60999-1

comparison between different electrical connection technologies

TL-ANA
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

172

172



Reliability

Anmerkungen:

IEC 61709 nimmt keinen Bezug auf die Merkmale einer Lötverbindung:

1. Anschlussfläche Bauelement
2. Anschlussfläche Schaltungsträger
3. Formgebung wie Lotspaltweite
4. Lotlegierung
5. Metallurgie
6. Voiding
7. im Schaltungsverbund: thermomechanische Wechsellast durch CTE-mismatch

TL-ANA
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

173

173

Reliability

Anmerkungen:

Ein einfacher numerischer Zusammenhang zwischen dem theoretisch möglichen Metallanteil einer Lötverbindung und dem praktisch erreichten Metallanteil besteht nicht.

Der Versuch einer vereinfachten Betrachtung beim Voiding von BGA-Solder Joints war Gegenstand der DIN IEC 61191-6 draft 2007-12.

Die Tabellen zur Reduzierung der Zuverlässigkeit wurden nicht Inhalt der Norm

TL-ANA

www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

174

174

Reliability

DIN IEC 61191-6 draft 2007-1

Die Bewertungskriterien gelten nicht für Baugruppen mit anderen Strukturen und Materialien als diejenigen in diesem Dokument oder für Baugruppen mit ausreichender Auslegungsspanne bezüglich der Zuverlässigkeit. In derartigen Fällen dürfen die Bewertungskriterien zwischen Anwender und Lieferant vereinbart werden.

Tabelle 3 – Hohlraum-Bewertungskriterien für Lötverbindungen von BGA

Produktniveau		Niveau A	Niveau B	Niveau C
Zulässige Verminderung der Lebensdauer bei Temperaturwechselbeanspruchung auf Grund von Hohlräumen		60 % des Falls ohne Hohlraum	80 % des Falls ohne Hohlraum	Äquivalent zu der ohne Hohlraum
Hohlraum-Bewertungskriterium (Hohlraumanteil)	Sn-Ag-Cu-Legierung	< 17 %	< 6 %	< 3 %
	Sn-Ag-(Bi-)Legierung	< 27 %	< 23 %	< 20 %

Die Bewertungskriterien gelten nicht für Baugruppen mit ausreichender Auslegungsspanne bezüglich der Zuverlässigkeit.

TL-ANA

www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

175

175

 **TechnoLab**
QUALIFYING AND TESTING SOLUTIONS

Reliability

DIN IEC 61191-6 draft 2007-1

Tabelle 4 – Hohlraum-Bewertungskriterien für Lötverbindungen von LGA

Produktniveau	Niveau A	Niveau B	Niveau C
Zulässige Verminderung der Lebensdauer bei Temperaturwechselbeanspruchung auf Grund von Hohlräumen	60 % des Falls ohne Hohlraum	80 % des Falls ohne Hohlraum	Äquivalent zu der ohne Hohlraum
Hohlraum-Bewertungskriterium (Hohlraumanteil) für alle bleifreien Lote	< 32 %	< 17 %	< 3 %

Die Bewertungskriterien gelten nicht für Baugruppen mit ausreichender Auslegungsspanne bezüglich der Zuverlässigkeit.

TL-ANA
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

176

176

 **TechnoLab**
QUALIFYING AND TESTING SOLUTIONS

Zusammenfassung

Ausblick



TL-ANA
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

177

Fazit Voiding

1. Voids lassen sich auf verschiedene Ursachen zurückführen. Eine einseitige Schuldzuweisung an den Lötprozess ist wenig hilfreich
2. Der Nachweis von Voids in der Röntgeninspektion ist an eine bestimmte Größe gebunden.
3. Große kompakte Voids innerhalb der Lotfüllung stellen mehrheitlich kein Problem dar.
4. Kritisch sind Voids mit einem Bezug zu den Oberflächen der Fügepartner.
5. In der Praxis hat sich die Kombination beider Methoden bewährt.
6. Beide Methoden X-Ray und Metallographie erfordern eine technische Mindestausstattung und Erfahrung bei der Anwendung.
7. Die Interpretation der Befunde wird durch die Regelwerke nur unzureichend unterstützt.
8. Eine zielführende Interpretation der Befunde erfordert eine exakte Vorarbeit (Präparationsort, „Handwerk“) und Erfahrung.

TL-ANA

www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

178

178

Metallographische Präparation vs Röntgeninspektion


	Merkmal	Metallo	X-Ray
1	Geometrie der Lotfüllung (Präparationsebene vs gesamtes Volumen)	+++ (+)	++
2	Benetzungswinkel zwischen der Lotfüllung und den Oberflächen der Fügepartner (Präparationsebene vs gesamtes Volumen)	+++ (+)	++
3	Dicke der Intermetallischen Zonen auf beiden Seiten der Fügepartner	+++	-
4	Zustand der Intermetallischen Zone auf beiden Seiten der Fügepartner (Geschlossenheit, Dicke über Kanten. Struktur. Bestandteile)	+++	-
5	Eingelagerte Intermetallische Phasen im Lotgefüge	+++	-

TL-ANA

www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

179

179



Metallographische Präparation vs Röntgeninspektion

	Merkmal	Metallo	X-Ray
6	Ansammlungen von Intermetallischen Phasen um Fehlstellen im Lotgefüge herum	+++	-
7	Fehlstellen im Gefüge (Voids) in verschiedenen Größen (Präparationsebene vs gesamtes Volumen)	+++ (+)	++
8	Hohlräume, die beim Erstarren wieder mit Lot gefüllt wurden	+++	-
9	Struktur der Oberfläche von Fehlstellen: Voids als Folge von Gaseinschlüssen mit meist glatter Oberfläche. Risse und Schwindungslunker meist mit zerklüfteter Oberfläche	++	-
10	Merkmale der Fügepartner, die in einem Zusammenhang mit dem Entstehen von Voids stehen: Risse in Schichten, metallisierte Falten	+++	-

TL-ANA
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

180

180



Metallographische Präparation vs Röntgeninspektion

	Merkmal	Metallo	X-Ray
11	Risse mit unterschiedlich dicht aufeinanderliegenden Rissflanken	+	-
12	Struktur der Lotfüllung (dendritische Erstarrung von Gefügebestandteilen. Vorliegen und Verteilung von eutektischen Gefügebestandteilen, Korngröße)	+++	-
13	Vorhandenseins und Verteilung von unerwünschten Gefügebestandteilen (speziell Gold- als Ursache für Gold- Embrittlement und Blei als Kontaminant in bleifreien Loten)	+++	-
14	Vorliegen von sehr kleinen Ausscheidungen entlang der Intermetallischen Zone und an Korngrenzen	++	-
15	Dicke und Verlauf des Lotspalts zwischen Fügepartnern	+++	+++

TL-ANA
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

181

181

Metallographische Präparation vs Röntgeninspektion

	Merkmal	Metallo	X-Ray
16	Vorhandensein von Lotgefüge bei sehr engen Lotspaltweiten oder gealterten Lötverbindungen	+++	-
17	Zustand des Finishes von Leiterplatte oder Bauteilanschluß	+++	+
18	Wiederholte Bewertung des Zustands bei verschiedenen Belastungen oder zu verschiedenen Alterungsstufen	-	+++
19	Dynamische Vorgänge Benetzung, Rissbildung	-	+++
20	Bewertung von großen Proben mit Erhalt des Zusammenhangs ohne eine Beeinflussung als Folge der Zerlegung der Proben	-	+++

TL-ANA
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

182

182

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit

Ich bitte um Ihre Fragen und Anregungen

Lutz Bruderreck
TechnoLab GmbH
Wohlrabedamm 13
13629 Berlin
www.technolab.de
Lutz.Bruderreck@technolab.de
Tel.: 030-3641105 -12
Fax: 030-3641105 -69

TL-ANA
www.technolab.de Lutz.Bruderreck@technolab.de

184

184