

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Printed board assemblies –

Part 6: Evaluation criteria for voids in soldered joints of BGA and LGA and measurement method

Ensembles de cartes imprimées –

Partie 6: Critères d'évaluation des vides dans les joints brasés des boîtiers BGA et LGA et méthode de mesure

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61191-6:2010



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2010 IEC, Geneva, Switzerland

All rights reserved. Unless otherwise specified, no part of this publication may be reproduced or utilized in any form or by any means, electronic or mechanical, including photocopying and microfilm, without permission in writing from either IEC or IEC's member National Committee in the country of the requester.

If you have any questions about IEC copyright or have an enquiry about obtaining additional rights to this publication, please contact the address below or your local IEC member National Committee for further information.

Droits de reproduction réservés. Sauf indication contraire, aucune partie de cette publication ne peut être reproduite ni utilisée sous quelque forme que ce soit et par aucun procédé, électronique ou mécanique, y compris la photocopie et les microfilms, sans l'accord écrit de la CEI ou du Comité national de la CEI du pays du demandeur.

Si vous avez des questions sur le copyright de la CEI ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de la CEI de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland
Email: inmail@iec.ch
Web: www.iec.ch

About the IEC

The International Electrotechnical Commission (IEC) is the leading global organization that prepares and publishes International Standards for all electrical, electronic and related technologies.

About IEC publications

The technical content of IEC publications is kept under constant review by the IEC. Please make sure that you have the latest edition, a corrigenda or an amendment might have been published.

- Catalogue of IEC publications: www.iec.ch/searchpub

The IEC on-line Catalogue enables you to search by a variety of criteria (reference number, text, technical committee,...). It also gives information on projects, withdrawn and replaced publications.

- IEC Just Published: www.iec.ch/online_news/justpub

Stay up to date on all new IEC publications. Just Published details twice a month all new publications released. Available on-line and also by email.

- Electropedia: www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 20 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary online.

- Customer Service Centre: www.iec.ch/webstore/custserv

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please visit the Customer Service Centre FAQ or contact us:

Email: csc@iec.ch

Tel.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

A propos de la CEI

La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est la première organisation mondiale qui élabore et publie des normes internationales pour tout ce qui a trait à l'électricité, à l'électronique et aux technologies apparentées.

A propos des publications CEI

Le contenu technique des publications de la CEI est constamment revu. Veuillez vous assurer que vous possédez l'édition la plus récente, un corrigendum ou amendement peut avoir été publié.

- Catalogue des publications de la CEI: www.iec.ch/searchpub/cur_fut-f.htm

Le Catalogue en-ligne de la CEI vous permet d'effectuer des recherches en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Il donne aussi des informations sur les projets et les publications retirées ou remplacées.

- Just Published CEI: www.iec.ch/online_news/justpub

Restez informé sur les nouvelles publications de la CEI. Just Published détaille deux fois par mois les nouvelles publications parues. Disponible en-ligne et aussi par email.

- Electropedia: www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne au monde de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 20 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans les langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International en ligne.

- Service Clients: www.iec.ch/webstore/custserv/custserv_entry-f.htm

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions, visitez le FAQ du Service clients ou contactez-nous:

Email: csc@iec.ch

Tél.: +41 22 919 02 11

Fax: +41 22 919 03 00

INTERNATIONAL STANDARD

NORME INTERNATIONALE



Printed board assemblies –

Part 6: Evaluation criteria for voids in soldered joints of BGA and LGA and measurement method

Ensembles de cartes imprimées –

Partie 6: Critères d'évaluation des vides dans les joints brasés des boîtiers BGA et LGA et méthode de mesure

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

W

ICS 31.180

ISBN 978-2-88910-439-0

CONTENTS

FOREWORD.....	4
INTRODUCTION.....	6
1 Scope.....	7
2 Normative references	7
3 Terms and definitions	7
4 Voids in solder joints	8
4.1 General.....	8
4.2 Sources of voids.....	8
4.3 Impact of voids.....	9
4.4 Void detection	9
4.5 Void classification	9
5 Measurement	10
5.1 X-ray transmission equipment	10
5.2 Measuring environment	10
5.3 Measurement procedure.....	10
5.4 Record of the measured value.....	11
5.5 Considerations on measurement	11
5.5.1 X-ray intensity for void detection.....	11
5.5.2 Detection of real edge	11
5.5.3 Verification of measurement results.....	11
6 Void occupancy	11
6.1 Calculation of void occupancy	11
6.2 Void occupancy for multiple voids.....	14
7 Evaluation	14
7.1 Soldered joints to be evaluated	14
7.2 Evaluation of thermal life cycle decreased due to voids	14
7.3 Evaluation criteria for voids	15
Annex A (informative) Experimental results and simulation of voids and decrease of life due to thermal stress.....	16
Annex B (informative) X-ray transmission equipment	20
Annex C (informative) Voids in BGA solder ball	22
Annex D (informative) Measurement using X-ray transmission imaging.....	34
Bibliography.....	38
Figure 1 – Void occupancy.....	13
Figure 2 – Voids in a soldered joint.....	15
Figure A.1 – BGA soldered joint, Sn-Ag-Cu.....	17
Figure A.2 – BGA soldered joint, Sn-Zn	17
Figure A.3 – LGA soldered joint	18
Figure B.1 – Construction of the equipment	20
Figure C.1 – Small voids clustered in mass at the ball-to-land interface	26
Figure C.2 – X-ray image of solder balls with voids.....	27
Figure C.3 – Example of voided area at land and board interface	27
Figure C.4 – Voids in BGAs with crack started at corner lead.....	31

Figure D.1 – X-ray transmission imaging.....	35
Figure D.2 – X-ray transmission imaging of solder joint.....	36
Figure D.3 – Typical X-ray transmission images of solder joint.....	36
Table 1 – Void classification	9
Table 2 – Examples of Cross-section of joint and void occupancy.....	14
Table A.1 – Fatigue life reduced by voids in soldered joint of BGA.....	17
Table A.2 – Fatigue life reduced by voids in soldered joint of LGA.....	18
Table A.3 – Voids evaluation criteria for soldered joints of BGA.....	19
Table A.4 – Voids evaluation criteria for soldered joints of LGA	19
Table C.1 – Void classification.....	27
Table C.2 – Corrective action indicator for lands used with 1,5 mm, 1,27 mm or 1,0 mm pitch.....	28
Table C.3 – Corrective action indicator for lands used with 0,8 mm, 0,65 mm or 0,5 mm pitch	30
Table C.4 – Corrective action indicator for micro-via in-pad lands used with 0,5 mm, 0,4 mm or 0,3 mm pitch	32
Table C.5 – Ball-to-void size image comparison for common ball contact diameters	33
Table C.6 – C = 0 sampling plan (sample size for specific index value).....	33

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61191-6:2010

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

PRINTED BOARD ASSEMBLIES –**Part 6: Evaluation criteria for voids in soldered joints of BGA and LGA and measurement method**

FOREWORD

- 1) The International Electrotechnical Commission (IEC) is a worldwide organization for standardization comprising all national electrotechnical committees (IEC National Committees). The object of IEC is to promote international co-operation on all questions concerning standardization in the electrical and electronic fields. To this end and in addition to other activities, IEC publishes International Standards, Technical Specifications, Technical Reports, Publicly Available Specifications (PAS) and Guides (hereafter referred to as "IEC Publication(s)"). Their preparation is entrusted to technical committees; any IEC National Committee interested in the subject dealt with may participate in this preparatory work. International, governmental and non-governmental organizations liaising with the IEC also participate in this preparation. IEC collaborates closely with the International Organization for Standardization (ISO) in accordance with conditions determined by agreement between the two organizations.
- 2) The formal decisions or agreements of IEC on technical matters express, as nearly as possible, an international consensus of opinion on the relevant subjects since each technical committee has representation from all interested IEC National Committees.
- 3) IEC Publications have the form of recommendations for international use and are accepted by IEC National Committees in that sense. While all reasonable efforts are made to ensure that the technical content of IEC Publications is accurate, IEC cannot be held responsible for the way in which they are used or for any misinterpretation by any end user.
- 4) In order to promote international uniformity, IEC National Committees undertake to apply IEC Publications transparently to the maximum extent possible in their national and regional publications. Any divergence between any IEC Publication and the corresponding national or regional publication shall be clearly indicated in the latter.
- 5) IEC itself does not provide any attestation of conformity. Independent certification bodies provide conformity assessment services and, in some areas, access to IEC marks of conformity. IEC is not responsible for any services carried out by independent certification bodies.
- 6) All users should ensure that they have the latest edition of this publication.
- 7) No liability shall attach to IEC or its directors, employees, servants or agents including individual experts and members of its technical committees and IEC National Committees for any personal injury, property damage or other damage of any nature whatsoever, whether direct or indirect, or for costs (including legal fees) and expenses arising out of the publication, use of, or reliance upon, this IEC Publication or any other IEC Publications.
- 8) Attention is drawn to the Normative references cited in this publication. Use of the referenced publications is indispensable for the correct application of this publication.
- 9) Attention is drawn to the possibility that some of the elements of this IEC Publication may be the subject of patent rights. IEC shall not be held responsible for identifying any or all such patent rights.

International Standard IEC 61191-6 has been prepared by IEC technical committee 91: Electronics assembly technology.

The text of this standard is based on the following documents:

FDIS	Report on voting
91/897/FDIS	91/909/RVD

Full information on the voting for the approval of this standard can be found in the report on voting indicated in the above table.

This publication has been drafted in accordance with the ISO/IEC Directives, Part 2.

A list of all parts of the IEC 61191 series, under the general title *Printed board assemblies*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the maintenance result date indicated on the IEC web site under "<http://webstore.iec.ch>" in the data related to the specific publication. At this date, the publication will be

- reconfirmed,
- withdrawn,
- replaced by a revised edition, or
- amended.

IMPORTANT – The 'colour inside' logo on the cover page of this publication indicates that it contains colours which are considered to be useful for the correct understanding of its contents. Users should therefore print this document using a colour printer.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61191-6:2010

INTRODUCTION

The necessity for the evaluation of voids in soldered joints increases in the industry because the voids may affect the reliability of joints as the devices get smaller. As the number of interconnections increases the reliability per joint must also increase.

This subject has been discussed in some countries and trade organizations, and specific proposals have been made for classification or evaluation of voids to develop process guidelines. The same subject is also studied in academia to find correlation between voids and reliability of a joint. Appreciable findings are now available from the reliability study including relation between shapes of voids and degradation of life due to voids in a joint in thermal cycle stress.

Based on the information available, we developed evaluation criteria of voids in soldered joints for BGA (Ball Grid Array) and LGA (Land Grid Array) and a measurement method.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61191-6:2010

PRINTED BOARD ASSEMBLIES –

Part 6: Evaluation criteria for voids in soldered joints of BGA and LGA and measurement method

1 Scope

This part of IEC 61191 specifies the evaluation criteria for voids on the scale of the thermal cycle life, and the measurement method of voids using X-ray observation. This part of IEC 61191 is applicable to the voids generated in the solder joints of BGA and LGA soldered on a board. This part of IEC 61191 is not applicable to the BGA package itself before it is assembled on a board.

This standard is applicable also to devices having joints made by melt and re-solidification, such as flip chip devices and multi-chip modules, in addition to BGA and LGA. This standard is not applicable to joints with under-fill between a device and a board, or to solder joints within a device package.

This standard is applicable to macrovoids of the sizes of from 10 μm to several hundred micrometres generated in a soldered joint, but is not applicable to smaller voids (typically, planar microvoids) with a size of smaller than 10 μm in diameter.

This standard is intended for evaluation purposes and is applicable to

- research studies,
- off-line production process control and
- reliability assessment of assembly

2 Normative references

The following referenced documents are indispensable for the application of this document. For dated references, only the edition cited applies. For undated references, the latest edition of the referenced document (including any amendments) applies.

IEC 60068-1:1998, *Environmental testing – Part 1: General and guidance*
Amendment 1:1992

IEC 60194:2006, *Printed board design, manufacture and assembly – Terms and definitions*

3 Terms and definitions

For the purposes of this document, the terms and definitions given in IEC 60194 and the following apply. The terms and definitions for BGA and LGA have been added for the benefit of the reader, see also IEC 60194.

3.1

ball grid array

BGA

surface mount package wherein the bumps for terminations are formed in a grid on the bottom of a package

[IEC 60194, definition 34.1096]

3.2

land grid array

LGA

surface mount package with termination lands located in a grid pattern on the bottom of the package

[IEC 60194, definition 33.1891, modified]

3.3

void occupancy

ratio of the void cross-section area in a joint to the maximum cross-section area of the joint

NOTE Practical calculation for a void evaluation is specified in 6.1.

3.4

macrovoid

the most widely occurring voids in solder joints; these are caused by volatile compounds that evolve during the soldering processes, and they are typically larger than 10 µm in diameter

3.5

planar microvoids

series of small voids located at the interface between the PCB (Printed Circuit Board) lands and the solder; they are caused by the surface condition of the board

4 Voids in solder joints

4.1 General

A change in void size or frequency of voids may be an indication that the manufacturing parameters need to be adjusted. Two reported causes of voids are trapped flux that has not had enough time to be released from the solder paste, and contaminants on improperly cleaned circuit boards. Voids appear as a lighter area inside the X-ray picture of solder joints and are usually found randomly throughout the package.

4.2 Sources of voids

There can be voids in a BGA solder ball, in the solder joint to LSI (Large-Scale Integration) package interface, or in the solder joint to PCB interface. Various sources or reasons can be responsible for these voids. Voids can be carried over from original voids in BGA solder balls, which could be the result of the ball manufacturing process. Voids can be induced into the reflowed solder joint by either the voids in the original component solder ball, or during the reflow attachment process. Voids can also form near the PCB interface during attachment. These voids are typically formed during the reflow soldering process by flux volatiles trapped during the solidification of the molten solder. The source of flux volatiles can be either from applied flux itself (typically rework), or flux which is one of the constituents of the solder paste used in the reflow assembly process.

In addition to voids formed from via-in-pad construction, some voids are detected in the middle to top (ball/device interface) of the reflowed solder joint. This is expected because the trapped air bubble and the vaporized flux, which is applied to the PCB lands, rises during the reflow profile. This occurs when the applied solder paste and the BGA's collapsible solder balls melt together during the reflow profile. If the reflow profile cycle doesn't allow sufficient time for either the trapped air or vaporized flux to escape, a void is formed as the molten solder solidifies in the cool down area of the reflow profile. Therefore, the development of the reflow profile is extremely important as a contributor to the formation of voids.

Voiding can also be a result of surface contamination at the component land or at the PCB land, inter-metallics forming between solder ball and land, or un-expelled flux residues from the assembly process.

4.3 Impact of voids

How many and what size of voids should be allowable in the product before they impact the product's required reliability? Voids may impact reliability by weakening the solder balls and reducing functionality because the reduced cross-section will have lower heat transfer and current carrying capabilities. Large voids are more detrimental but small pre-existing voids can merge during reflow to create larger voids. The elimination of voids, or at least a substantial reduction, is generally preferred.

4.4 Void detection

X-ray is required for the detection of voids in BGA and LGA solder joints. Higher cost equipment is based on X-ray tomography or laminography. Both types of these systems provide valuable techniques for void detection and location.

X-ray systems tend to distort the size of voids depending on measuring conditions and the capability of the X-ray system used. It is possible to accurately measure the true volume of a void but the procedure can be involved and requires a known reference for radiometric calibration of the X-ray film or detector. In most cases the effort is better spent on identifying and eliminating the cause of the voids.

4.5 Void classification

In order to assess different conditions, voids have been given a specific identifier, based on location, to establish a method of void identification and the possibility of corrective action for process improvement. The details are provided in Table 1 which shows the classification criteria for the location of voids in the BGA solder ball structure.

The following descriptions identify the three different void types.

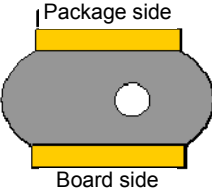
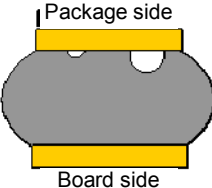
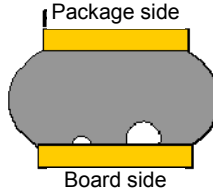
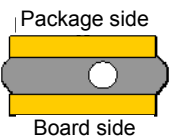
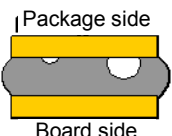
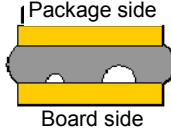
Type C: Void(s) within the ball after the board level assembly process.

Type D: Void(s) at the ball/package substrate interface after the board level assembly process.

Type E: Void(s) at the ball/board substrate interface after the board level assembly process.

This standard specifies evaluation criteria for voids in soldered joints and the reliability of the joints of devices assembled on a board. This standard is not applicable to the voids in the BGA package as received (refer to type A and type B in Table C.1), because any correlation between voids as received and voids after assembling has not been confirmed yet.

Table 1 – Void classification

	Type C Void within the joint	Type D Void at the package interface	Type E Void at the board interface
Void in BGA soldered joint			
Void in LGA soldered joint			

5 Measurement

5.1 X-ray transmission equipment

Micro-focus X-ray transmission equipment is such that it can observe a BGA or LGA mounted on a board from above or below the board. X-ray computer tomography (CT) equipment may also be used, if necessary.

The test equipment should have the following specification and performance. An example of the specification of available equipment is described in Annex B.

- a) Maximum voltage: not less than 120 kV
- b) Feature recognition size of X-ray: typically 2 μm
- c) Maximum geometric magnification: more than 100×

Commonly available transmission X-ray systems can vary in the grayscale sensitivity that they provide in the image which, in turn, can have an effect on the precision of the area calculation. It should be noted that systems with lower grayscale sensitivity may cause the void(s) to appear at a reduced size (and hence at a lower value) within the solder joint, as there is insufficient sensitivity to observe the true edges of the spherical void, and the smallest voids may not be visible at all. It is suggested that an X-ray system used for this standard has sufficient capability to be able to see a 20 μm diameter void (for a 6 layer double sided board).

5.2 Measuring environment

Unless otherwise specified, measurements should be made in the standard atmospheric condition, as specified in IEC 60068-1, after keeping the specimen in the condition for an appropriate period.

NOTE The standard condition is the following.

Temperature:	15 °C to 35 °C
Relative humidity	25 % to 75 %
Atmospheric pressure	86 kPa to 106 kPa

5.3 Measurement procedure

The following procedure is recommended for reference measurement of joint size and void size, using X-ray transmission equipment with area calculation function. Different procedures may be applied for higher throughput with minimum accuracy required.

- a) Detect an image of solder joints and identify the solder joints with voids to be measured. Multiple joints may be detected in a screen for higher throughput.
- b) Determine geometric magnification for measurement. It is recommended that only one solder joint is detected in a screen for precise measurement. For example, approximately 80x is recommended for the measurement of a joint with diameter of 500 μm . When a higher resolution of an image digitizing system is available, multiple solder balls may be detected in a screen. Each ball in the screen is recommended to have more than 400 pixels in diameter.
- c) Detect an image of void, with enough X-ray intensity to pass through the joint (for example, tube voltage is 100 kV), and adjust X-ray intensity and imaging condition.
- d) Capture the void image and calculate the cross-section area.
- e) Repeat procedure c) and d), when there are multiple voids. Measurement for smaller voids may be skipped, according to 6.2.
- f) Detect an image of joint, with enough X-ray intensity to be identified (for example, tube voltage is 40 kV), and adjust X-ray intensity and imaging conditions.
- g) Capture the solder joint image and calculate the cross-section area.

- h) Calculate the void occupancy for the solder joint.
- i) Repeat procedures c), d), e), f), g) and h) when there are multiple solder joints to be measured.

In procedure f), the same condition as in procedure c) may be applied, if there is no significant difference between calculated results under those conditions.

Predetermined conditions may be applied repeatedly in the procedures c) and f), if similar measurements are repeated as the measurement of the different points of the same LSI package.

5.4 Record of the measured value

Unless otherwise specified, the following measurement results should be recorded for each solder joints.

- a) Void occupancy (O_v)
- b) X-ray image

The following supplemental data may be recorded, if necessary.

- c) Cross-section area of voids ($A_{v1}, A_{v2}, A_{v3} \dots A_{vn}$)
- d) Maximum cross-section area of soldered joint (A_{smax})

5.5 Considerations on measurement

5.5.1 X-ray intensity for void detection

Sufficient intensity of X-ray (for example, tube voltage is 100 kV) to pass through the joint, is required for detection and measurement of voids in a soldered joint. When the X-ray intensity is insufficient (for example, tube voltage is 40 kV), X-rays are attenuated almost completely, whether there is a void or not in the path, and they can't make any image of the void, but only the shadow of the joint.

5.5.2 Detection of real edge

The thickness of solder in the path of X-rays changes gradually in the periphery of a void and joint. An X-ray transmission image of a void and joint is detected with the gradation of black and white in its periphery. It is very important to detect the outer edge of the gradation and to measure the maximum size of the outline image to obtain a precise measurement.

5.5.3 Verification of measurement results

The user should have some procedure that provides a reasonable correlation between the measurement and the actual void size. The verification with a specimen of a known dimension, or an observation of the cross-section is recommended.

6 Void occupancy

6.1 Calculation of void occupancy

The void occupancy, O_v , defined in 3.3 is calculated from the maximum cross-section area of the soldered joint, A_{smax} , and the cross-section area of a void, A_v . The maximum cross-section area of the joint, A_{smax} , is measured from the projected image of a joint. The cross-section area of the void, A_v , is also measured from the projected image of a void, regardless of its location in the joint.

$$O_v = \frac{A_v}{A_{smax}} \quad (1)$$

where

O_v is the void occupancy,

A_{smax} is the maximum cross-section area of the soldered joint,

A_v is the cross-section area of the void.

For example, if the solder ball size = 300 µm and void size = 50 µm in diameter and the cross-section of void and joint is approximated by a circle, the void occupancy is calculated as follows:

$$\text{void occupancy} \quad O_v = \frac{A_v}{A_{smax}} = \frac{\frac{\pi}{4}(50)^2}{\frac{\pi}{4}(300)^2} = 0,028 \cong 3 \% \quad (2)$$

The relationship between cross-section image detected by X-ray and void occupancy is shown in Table 2.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61191-6:2010

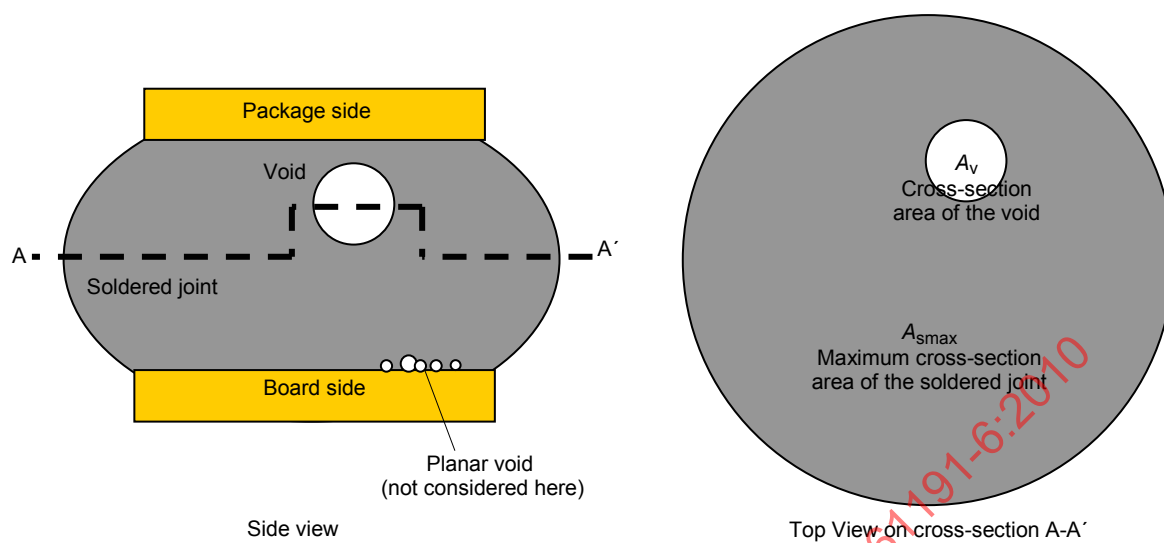


Figure 1a – BGA soldered joint

IEC 011/10

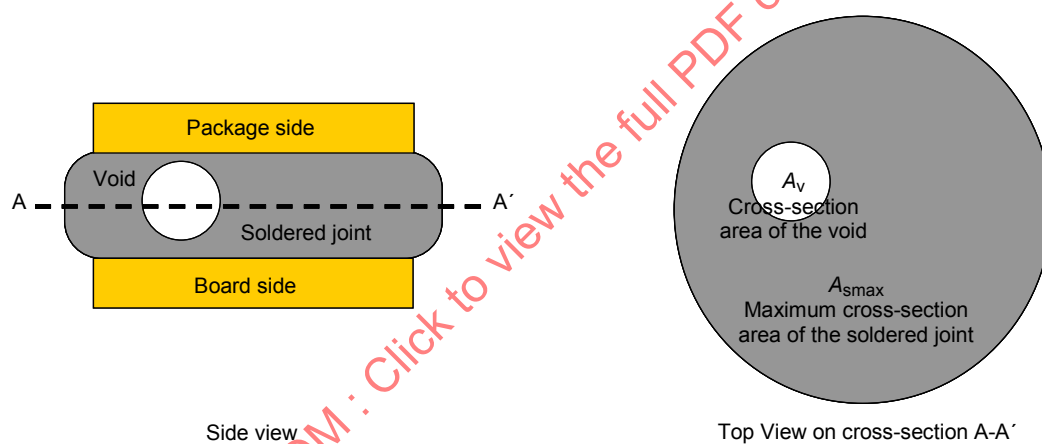
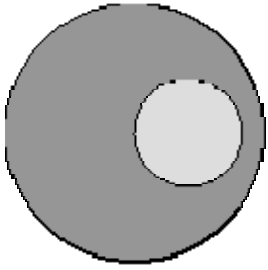
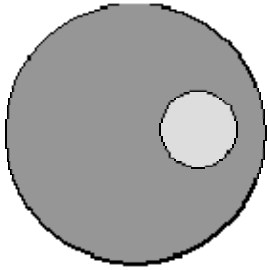
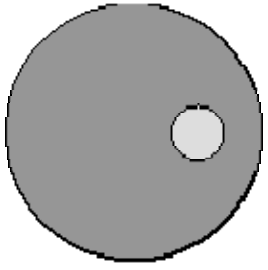


Figure 1b – LGA soldered joint

IEC 012/10

Figure 1 – Void occupancy

Table 2 – Examples of Cross-section of joint and void occupancy

Cross-section of joint and void				
Void occupancy	$\frac{A_v}{A_{smax}}$	17 %	6 %	3 %
Ratio of void to joint in maximum diameter ^a	$\frac{D_v}{D_s}$	41 %	25 %	17 %
D_v is the diameter of void. D_s is the diameter of solder joint.				
a When cross-section of void and joint is approximated by circle.				

6.2 Void occupancy for multiple voids

When there are multiple voids, the sum of the cross-section area of all voids is taken as the cross-section area of the void in the joint.

$$O_v = \frac{A_v}{A_{smax}} = \frac{A_{v1} + A_{v2} + A_{v3} + \dots + A_{vn}}{A_{smax}} \quad (3)$$

The void occupancy may be calculated taking only the voids with the cross-section area larger than 0,25 % of the maximum cross-section area of the solder joint into account, and the smaller may be omitted from the calculation. When multiple voids overlap, the area of projected image of the multiple voids may be used to calculate void occupancy, instead of the sum of the cross-section areas of each void.

7 Evaluation

7.1 Soldered joints to be evaluated

Unless otherwise specified, all soldered joints should be evaluated. However, a void might only reduce the life time of an assembled BGA in thermal cycling if it is located in one of the joints with the highest thermo/mechanical stress. Where it is known that specific joints affect reliability in thermal cycle stress in a package, only these joints may be evaluated and the other joints may be omitted from evaluation.

7.2 Evaluation of thermal life cycle decreased due to voids

The evaluation criterion, void occupancy, is specified corresponding to the allowable thermal life cycle. The thermal life cycle is reduced due to voids and is described in the ratio to the life cycle without a void. The criterion can be applied to any solder ball joint, regardless of life

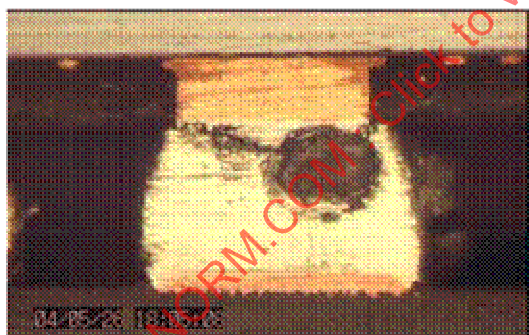
length, stress applied, solder material and joint structure, as long as the occurrence of breaking is not affected.

For comparatively small voids, their effect on the joint reliability depends on the interaction relation between the positions of the voids and the failure mode (fatigue crack route) in the solder joints. Only the voids which locate at around the fatigue route in the solder joints, decrease the joint reliability. Generally, there is only one failure mode in the solder joints, and it rarely changes, but the positions of the small or middle size voids are uncertain factors. As a result, it becomes rare that the small voids happen to locate at the fatigue crack route. However, there exist few possibilities for that case, and it is the worst case for the reliability issues because the cracks routes are not known in advance, and the location of the voids can not be detected in vertical direction by the 2-dimensional evaluation, this worst case should be considered.

Figure 2a shows how a void in Sn-Ag-Cu solder joint affects the joint reliability. Since the void locates near to the fatigue crack route in the solder joint, it reduces the cross section at the crack route and decreases the fatigue life of the solder joints. In the Sn-Ag-Cu solder joints, the fatigue cracks usually propagate through the solder volume, so the voids which locate near to the crack route have high possibility to interact with the crack and affect the joint reliability. However, if comparative small voids locate away from the crack route, the joint reliability will not be affected by them.

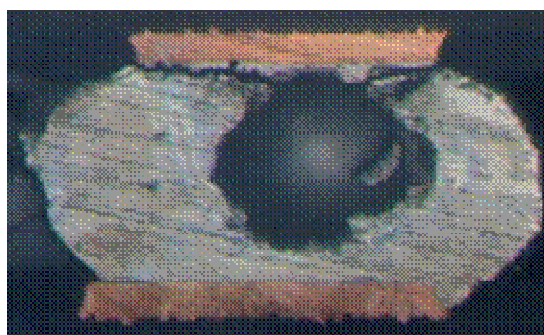
On the other hand, in the Sn-Zn alloy solder joints, the fatigue cracks propagate with a route very close to the interface between the solder area and the Cu electrode, as shown in Figure 2b, and the macrovoids rarely overlap with this kind of the interface crack route. As a result, the interaction between the voids and fatigue crack route doesn't happen even for the case of considerably big voids. Therefore a different criterion is specified for BGA with Sn-Zn alloy solder joints.

NOTE Material composition of a lead-free solder alloy is given in IEC 61190-1-3.



IEC 013/10

Figure 2a – Void in joint of Sn-Ag-Cu alloy



IEC 014/10

Figure 2b – Void in joint of Sn-Zn alloy

Figure 2 – Voids in a soldered joint

7.3 Evaluation criteria for voids

Typical evaluation criteria of voids in soldered joints of BGA and LGA are shown in Annex A. The criteria are based on the experimental result and analysis of data described in Annex A.

The evaluation criteria are not specified for those assemblies with different structures and materials from the ones described in this standard, or for those assemblies having a sufficient design margin of reliability.

Annex A (informative)

Experimental results and simulation of voids and decrease of life due to thermal stress

There are several scientific articles which conclude that big voids in BGA solder joints decrease the joint reliability, and very small voids don't affect the reliability. For the middle size voids, their effect on the reliability depends on the interaction relation between their positions in the solder joints and the failure modes of the solder joints. Generally, there is only one failure mode in the solder joints, and it rarely changes, but the positions of the small or middle size voids are uncertain factors. As a result, small and middle size voids rarely happen to locate at the fatigue crack route, and this kind of void doesn't have a bad influence on the reliability behaviour. However, there exist few possibilities that the small and middle voids happen to locate near to the fatigue crack paths in the solder joints, and that they decrease the joint reliability. It is very difficult to get this kind of result by a few number of test vehicles. If the reliability issue for a big number of commercial products has to be dealt with, the worst case should be focused on. Therefore, it is necessary to research the mechanism of the effect of the voids on the reliability.

An isothermal mechanical fatigue test was used to investigate the effect of the macrovoids on the thermal fatigue reliability of BGA solder joints. Instead of the thermal mismatch between both ends (chip side and PCB side) of the joints, a suitable shear deformation was repetitively applied to BGA solder joints by using a special fatigue testing equipment driving by Piezo-device actuator, where the deformation can be controlled with very fine resolution. The position and size of the voids in the solder joints were measured before the tests. During the testing process, the fatigue cracks in BGA solder joints were checked directly by an optical microscope. The number of cycles was defined as the fatigue life of the joint, when the fatigue cracks have expanded to the whole of the projected area in the joint. Therefore, by comparing the fatigue lives in the solder joint without remarkable voids in relation to that in the joint with some voids, the effect of the voids on the reliability of BGA joints can be made clear.

Figure A.1 and Figure A.2 show the relationship between relative fatigue lives of solder joints, which were normalized by the fatigue life of BGA solder joints without any remarkable voids, and the position and size of the voids. In the Sn-Ag-Cu specimens, the fatigue cracks appear frequently around the solder area closing to the end of the chip side, so the fatigue lives were greatly affected by the big voids locating at the same side. Since it is very difficult to control the location of these kinds of voids in the solder joints, the effect of the voids located in the same area as the fatigue crack route should be considered as the worst case for the Sn-Ag-Cu solder joints. In the Sn-Zn alloy solder joints, because the hardness of Sn-Zn is much higher than that of Sn-Ag-Cu solder, and the micro-structure around the interface between the solder and the Cu electrode is different from that in the Sn-Ag-Cu solder joints, the fatigue cracks propagate with a route very close to the interface between the solder area and Cu electrode. As a result, the macrovoids rarely overlap with this kind of the interface crack route, and the interaction between the voids and fatigue crack route doesn't happen even for the case of the considerable big voids. This is the reason why the effects of voids in Sn-Zn solder joints isn't as remarkable as the voids in Sn-Ag-Cu solder joints.

The effect of the macrovoids on the thermal fatigue life of LGA soldered joints was investigated using a finite element analytical approach, where the fatigue processes from the initial fatigue crack to the crack growth and complete failure of the joints have been carried out, and the analytical quality has been confirmed by comparing the agreement of the experimental results and analytical results of BGA cases. Three different LGA soldered joints have been studied, and it was shown that the impact of the macrovoids on the reliability of LGA soldered joints is scarcely affected by the shapes of the soldered joints, and the fatigue life decreases with almost the same ratio of void area to soldered area. Furthermore, the basic trend of the relation shown in Figure A.3 does not depend on the solder material.

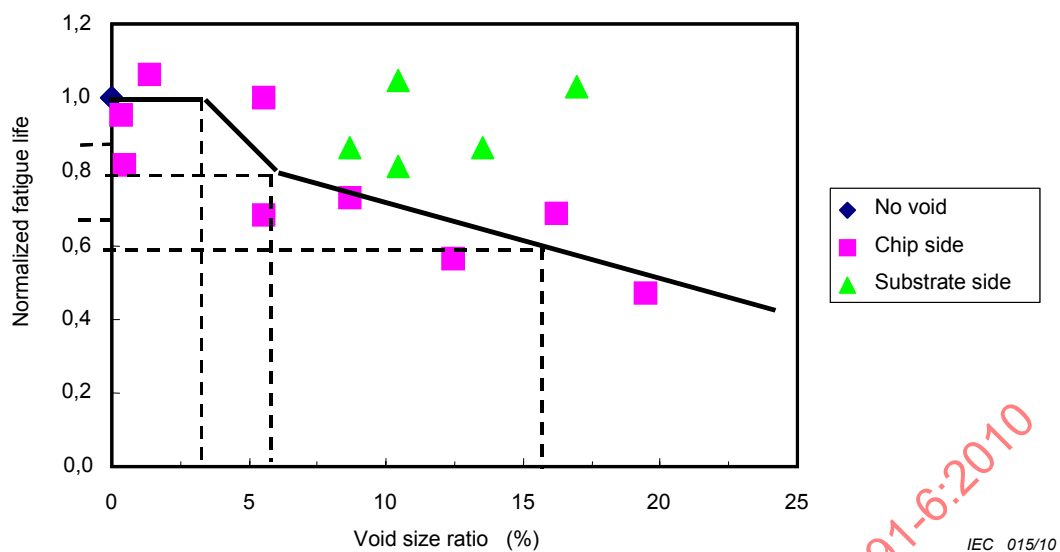


Figure A.1 – BGA soldered joint, Sn-Ag-Cu

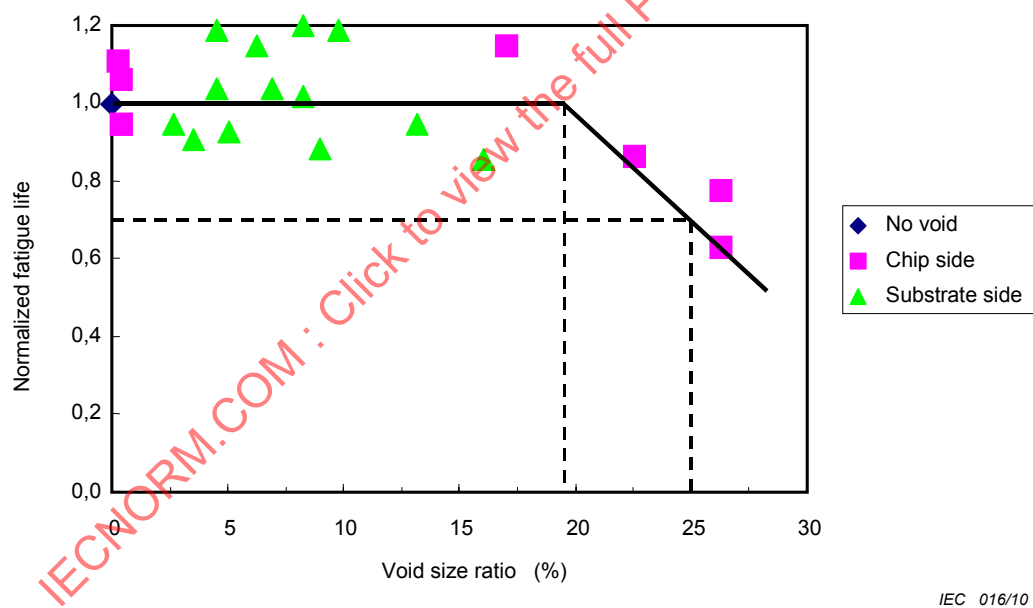


Figure A.2 – BGA soldered joint, Sn-Zn

Table A.1 – Fatigue life reduced by voids in soldered joint of BGA

Reduced fatigue life to the designed life (no void)		60 %	80 %	Equivalent to the designed life
Void evaluation criteria (void occupancy)	Sn-Ag-Cu alloy	<20 %	<10 %	<5 %
	Sn-Zn-(Bi) alloy	<30 %	<25 %	<20 %

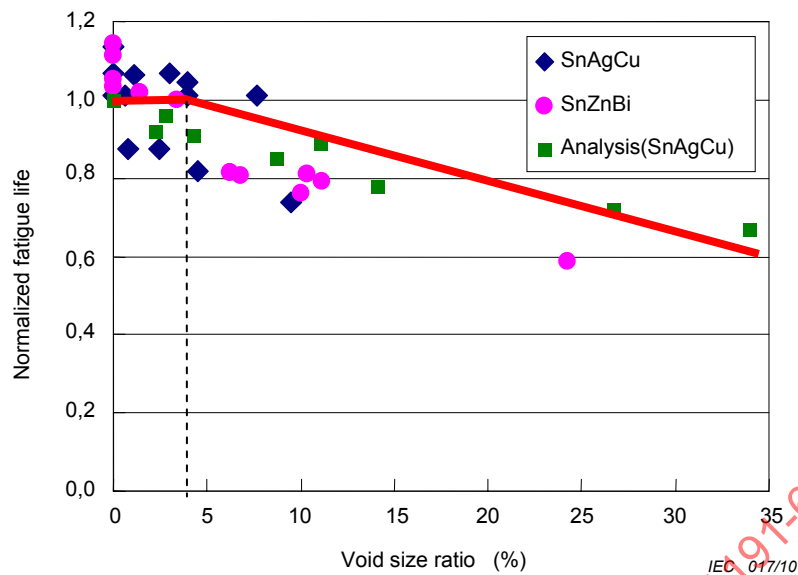


Figure A.3 – LGA soldered joint

Table A.2 – Fatigue life reduced by voids in soldered joint of LGA

Reduced fatigue life to the designed life (no void)	60 %	80 %	Equivalent to the designed life
Void evaluation criteria (for all lead-free solder) (void occupancy)	<35 %	<20 %	<5 %

Table A.1 and Table A.2 show the worst cases of the impact of voids on the reliability. The data were confirmed by experimental and analytical approaches. And the data show the real one-to-one relation between the fatigue lives of BGA solder joints and the size of voids, which locate in the corresponding joint. These tables do not give the void allowance for the corrective action indicator. They show the worst possibility of the effect of the voids on the reliability of BGA solder joints. Detailed information about the scientific proof can be found in "Effect of voids on the reliability of BGA/CSP solder joints" (see Bibliography) or in Article No. 14 from of Shibutani et al. (see Bibliography).

On the other hand, the article "Effect of Voiding on Lead-Free Reliability", M Wickham et al. (see Bibliography), shows the experimental results of the effect of void on the reliability of BGA, but it just shows the average effect of the voids in every solder joint. It is therefore very difficult to understand the one-to-one relationship between the void size and its effect on the reliability.

The reference of "Effect of voids on the reliability of BGA/CSP solder joints" "Mohammad Yunus et al., shows the study results on the effect of voids on the reliability of BGA by experimental and analytical approaches. Also, in this article only experimental data of the average effect of the void sizes on the reliability is shown, and it is not shown how much the reliability of the solder joints can be affected by their own voids. However, it is shown that small voids also influence the reliability, and furthermore the relationship between reliability and the influence of small voids by an analytical approach has been shown.

In IPC-7095B (see Bibliography), Table 7-10, Table 7-11, and Table 7-12 show a criterion of corrective action indicator, and the document indicates a restriction of void allowance. (Maximum void size in any ball is 5 % of the area (22 % of the image diameter)) should be prepared for the fine pitch BGA.

Based upon the above reviews of studies, it should be concluded that it is important to standardize both the measurement method and the evaluation criteria of the void size. Proposed evaluation criteria are shown in Table A.3 and Table A.4.

Table A.3 – Voids evaluation criteria for soldered joints of BGA

Process goal for decreased void percentage occupancy		Marginal	Preferred	Target
Void evaluation criteria (void occupancy)	Sn-Ag-Cu alloy	<20 %	<10 %	<5 %
	Sn-Zn-(Bi) alloy	<30 %	<25 %	<20 %
The evaluation criteria are not specified for those assemblies, that have a sufficient design margin of reliability.				

Table A.4 – Voids evaluation criteria for soldered joints of LGA

Process goal for decreased void percentage occupancy		Marginal	Preferred	Target
Void evaluation criteria (for all lead-free solder) (void occupancy)		<35 %	<20 %	<5 %
The evaluation criteria are not specified for those assemblies, that have a sufficient design margin of reliability.				

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61191-6:2010

Annex B (informative)

X-ray transmission equipment

B.1 General

An example of the performance of X-ray transmission equipment is shown in Figure B.1.

NOTE X-ray systems may have the X-ray tube below the sample and the detector above.

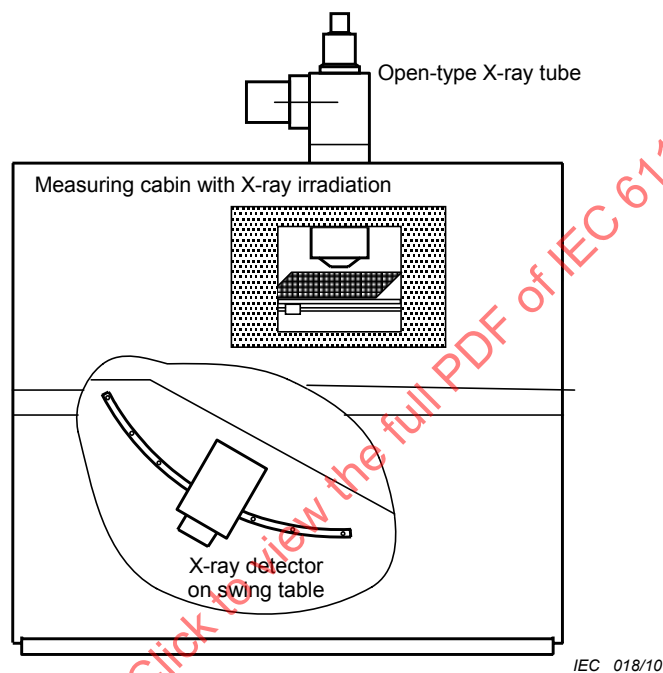


Figure B.1 – Construction of the equipment

B.2 X-ray tube

X-ray tubes may have the following characteristics.

- Open or sealed-transmissive type X-ray tube
- Voltage 30 kV to 160 kV
- Current 0 mA to 0,2 mA
- Target output Maximum 3-10 W
- Feature recognition X-ray size typically 2 μ m
- Target transmission type Tungsten (W) target
- Target thickness 0,5 mm or less
- X-ray radiation angle 120° or more

B.3 Manipulator

Manipulators may have the following characteristics.

- Multi-axis remote control manipulator
- X-axis (sideway) range 400 mm (± 5 mm)
- Y-axis (to the depth) range 300 mm (± 5 mm)
- Z-axis (vertical) range 250 mm (± 5 mm)

B.4 TV system

TV systems may have the following characteristics.

- Maximum geometric magnification 200 $\times$, or more
- Detector Image intensifier (I.I tube), 2", 4", 6"
- Centre resolution 75 line pair/cm
- Camera 2/3" CCD camera
- Horizontal resolution 570 TV-line

NOTE Some systems have a CMOS detector in place of image intensifiers.

B.5 Image processor

Image processors may have the following characteristics.

- Integration, averaging, contrast control
- Measurements of two points, area and area ratio

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61191-6:2010

Annex C (informative)

Voids in BGA solder ball

C.1 Solder ball contact voids

Current industry data suggests that voids in the solder joint is not a reliability concern. However, a change in void size or frequency of voids may be an indication that the manufacturing parameters need to be adjusted. Two reported causes of voids are trapped flux that has not had enough time to be released from the solder paste, and contaminants on improperly cleaned circuit boards. Voids appear as a lighter area inside the X-ray picture of solder joints and are usually found randomly throughout the package.

The quality of void measurement in X-ray systems will depend on the capability and quality of the X-ray system being used in addition to the correct application of suitable X-ray tube conditions for the item under test. It is possible to accurately measure the true volume of a void but the procedure can be involved and requires a known reference for radiometric calibration of the X-ray film or detector. In most cases the effort is better spent on identifying and eliminating the cause of the voids.

C.2 Sources of voids

There can be voids in a BGA solder ball, in the solder joint to BGA interface, or in the solder joint to PCB interface. Various sources or reasons can be responsible for these voids. Voids can be carried over from original voids in solder balls, which could be the result of the ball manufacturing process. Voids can be induced into the reflowed solder joint by either the voids in the original component solder ball, or during the reflow attachment process. Voids can also form near the PCB to ball interface during BGA to PCB attachment. These voids are typically formed during the reflow soldering process by flux volatiles trapped during the solidification of the molten solder. The source of flux volatiles can be either from applied flux itself (typically rework), or flux which is one of the constituents of the solder paste used in the reflow assembly process.

In addition to voids formed from via-in-pad construction, some voids are detected in the middle to top (ball/BGA interface) of the reflowed solder joint. This is expected because the trapped air bubble and the vaporized flux, which is applied to the PCB BGA lands, rises during the reflow profile. This occurs when the applied solder paste and the BGA's collapsible solder ball(s) melt together during the reflow profile. If the reflow profile cycle doesn't allow sufficient time for either the trapped air or vaporized flux to escape, a void is formed as the molten solder solidifies in the cool down area of the reflow profile. Therefore, the development of the reflow profile is extremely important as a contributor to the formation of voids.

Voiding can also be a result of surface contamination at the component land or at the PCB land, inter-metallics forming between solder ball and land, or un-expelled flux residues from the assembly process, as shown in Figure C.1.

C.3 Impact of voids

How many and what size of voids should be permitted in the product before they impact the product's required reliability? Voids may impact reliability by weakening the solder balls and reducing functionality because the reduced cross-section will have lower heat transfer and current carrying capabilities. Large voids are more detrimental but small pre-existing voids can merge during reflow to create larger voids. The elimination of voids, or at least a substantial reduction, is generally preferred.

There are a number of studies that have shown that a small increase in reliability is observed as a result of moderate size voids. These are typically from processes that are in control. The increased reliability results from increased solder joint height and a temporary and local retardation of crack propagation. X-rays are required for the detection of voids in BGA solder joints. Cross-sectioning may be necessary in order to determine the impact of the void or its location.

Unlike a leaded component, BGAs have solder joints that are not only on the component's periphery, but have internal solder joints that are not inspected by normal visual techniques. Higher cost equipment is based on X-ray tomography or laminography. Both types of these systems provide valuable techniques for void detection and location. It is recommended, however, that the process be qualified for void acceptance before being released for production.

C.4 X-ray detection and measurement cautions

Some old X-ray inspection systems in use for the detection of solder voids employ an X-ray imaging device that exhibits an aberration referred to in the literature as "voltage blooming" or "phosphor blooming". The manifestation of this aberration, shown in the accompanying images (see Figure C.2), is that light areas contained in a dark background (such as the appearance of a solder void) will grow or shrink in size as the voltage adjustment to the X-ray source is increased or decreased respectively. This change can be fairly large. The consequence is that the measurement of the actual size of the void becomes indeterminate.

X-ray system capabilities have improved dramatically over the last few years with digital X-ray imaging readily available at up to 2 000 000 pixels with typical systems having values in the 1 000 000 to 1 300 000 range. However, of greater impact is the improvement in the grayscale sensitivity and this has had a profound impact on what can now be seen compared to earlier systems. Today's X-ray systems are now able to offer 16-bit grayscale sensitivity compared to the 8-bit of older systems. They are able to differentiate subtle changes of density far better. As a result, and without any voltage blooming, they are able to see more, both in terms of quantity of the smaller voids as well as providing a better definition of the larger voids in the bulk of the joint. So, these later systems will see more and provide void calculations that are greater in value than would be calculated, for the same device, on earlier, or less competent X-ray systems.

C.5 Void classification

In order to assess different conditions, voids have been given a specific identifier, based on location, to establish a method of void identification and the possibility of corrective action for process improvement. The details are provided in Table C.1 which shows the classification criteria for the location of voids in the BGA solder ball structure.

The following descriptions identify the five different void types:.

- Type A: Void(s) within the ball (package level) as received.
- Type B: Void(s) at the ball/package substrate interface as received.
- Type C: Void(s) within the ball after board level assembly process.
- Type D: Void(s) at the ball/package substrate interface after board level assembly process.
- Type E: Void(s) at the ball/board substrate interface after board level assembly process.

C.6 Control of voids

End users should work with their suppliers to control the frequency and size of voids in the BGA solder balls to some acceptable level. The suppliers can adjust their process and/or materials control in order to meet these objectives.

Typically, few voids are detected in the incoming BGA solder joints. Reflow time-temperature profile, flux amount, type and properties should be investigated for improvement. The formation of voids can also be influenced through material and/or process adjustment and optimization. The use of excessive flux in the initial BGA attachment or in BGA rework has a tendency to create voids due to flux volatilization. The process should be characterized to keep flux application to a minimum.

C.7 Process control criteria for voids in solder balls

There is a continuing need for process development and control to accommodate changing technologies. As BGA land sizes, solder ball sizes and land pitch continue to decrease, the dimensional parameters used on the production floor need to change. New materials and processes may be required to meet quality and reliability goals.

Voids will likely be encountered during various stages of product life from development through manufacturing. Maintaining a minimum acceptable standard is necessary to assure that the product meets customer expectations, product-life and reliability requirements. Manufacturers are advised to use process control and continuous product improvement techniques for void control.

A change in frequency and size of voids should indicate a need for process control as well as improving the process and materials. A baseline can be used to determine the need for process adjustments to control the frequency and size of voids. As an example, an acceptable limit goal could be established that no more than 5 % of the solder balls have voids. In addition, a void size limit could be established. Size is determined in relationship to the ball. Thus, a void size larger than 25 % of the solder ball's cross-sectional diameter is approximately 6 % of the total contact area (see Figure C.3). Any such process control limits should be set with the customer's agreed to contractual commitment.

When there is more than one void per solder ball, the dimensions of the voids will be added to calculate the total voiding in that solder ball. In regard to voids and the percentage of voids within the ball, location of the voids is of greater concern. There is no evidence or empirical data that indicates that voids within the ball will cause failure. Voids at the interface between the ball and package substrate as well as voids at the interface between the ball and PCB are more likely to contribute to solder joint cracking. This is because cracks (if they occur) will typically occur at the interface and the void or voids can provide (in time) a path to accelerate the cracking condition.

C.8 Evaluation criteria

The evaluation criteria for BGA assemblies are based on the experiences of the electronic industries assembly process professionals. Void clarification is defined as to whether the voids occur prior to attachment to the mounting structure, or after the assembly has taken place. This useful information can be correlated to reliability conditions based on the end use environment. Using the size limitation structure a process can be established that helps to meet the customer's defined acceptability conditions.

C.9 Process characterization

The characteristics detailed in Table C.2 to Table C.4 identify the particular void types and relates this information to the number of occurrences that there could be in the three

performance levels adopted by the IEC. The evaluation of an increase in the number of voids that has been set as a target value can be a good aid to determining a process shift or a required change in some of the process parameters.

A process change should be driven by an appropriate SPC methodology which should be used during normal production cycles. The use of Table C.2 to Table C.4 should also be used for new product introduction, product and process qualifications, equipment set changes, component qualifications, response to customer feedback, and any similar change to the process or parameters. The sampling plan used should be implemented at a printed circuit assembly level, unless the SPC results show a component related issue (for example, voids in one collapsible BGA and no voids across the other collapsible BGAs on the board). In this case, the sampling plan should be executed at a component level of the suspect component part rather than examining the assembly process.

C.10 Detectable void percentages with respect to different solder joint diameters

Considering a 0,20 mm diameter void as an example, Table C.5 furnishes the void percentages for different ball sizes. The percentage void diameter detectable becomes larger as solder joint size decreases, that is, 27 % on 0,75 mm joint inflates to 67 % on 0,30 mm solder joint size. Defective determination is made by the product's reliability requirements. As an example, if the maximum allowable void size is 30 % of the solder ball diameter (equivalent to 11 % of the area), this can be either one void, or the summation of many voids. Some of the newer X-ray equipment use algorithms that are able to summarize the void areas, however, algorithms for X-ray tomography may not perform the summation of the voids.

For a single void, X-ray, tomography can identify a defect caused by a void that is greater than the pre-determined size.

Example: If the solder ball size = 0,75 mm and the maximum allowable void size = 30 % of the ball diameter, the maximum void size at the centre of the ball would be calculated as follows:

$$30 \% \text{ of } 0,75 \text{ mm} = (0,75 \text{ mm})(0,3) = 0,225 \text{ mm maximum void diameter.}$$

When the void is not in the centre of the ball and near the land pattern on the board or the component, the cross-sectional diameter of the ball will be reduced as well as the maximum allowable size for a void.

C.11 Sampling plans for void evaluation

Because of the industry concern regarding voids, this standard attempts to define criteria for void baseline goals and process control techniques. Everyone agrees that it makes no sense to throw away a good product, or rework a product where a void is identified without some indication as to the complexity and the impact on reliability of that condition. Void occurrence criteria are not based on 100 % inspection, but are accomplished through the use of sampling plans.

The sampling plan conditions are identical to those shown in Table C.6. It should be noted that the table is based on $C = 0$. What this means is that, when a sample is selected, any occurrence of exceeding the characteristics for void size shown in Table C.2 requires 100 % evaluation of the total lot. The appropriate corrective action may vary based on level of product and customer requirements. The ultimate action is to remove and replace the affected component, however, those solutions must be carefully evaluated as the product should have been designed to permit repair procedures that include re-evaluation.

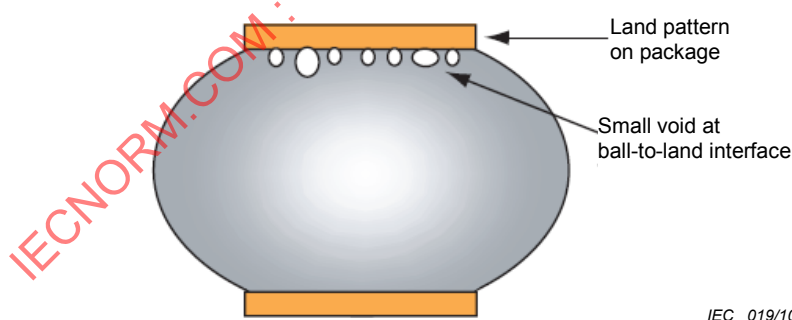
C.12 Example for the use of Table C.6 on sampling

Once a void protocol has been established as to the percent attachment permitted, random samples should be taken from the production units and evaluated as to compliance with the accepted conditions identified in the protocol. The decision on how many samples to take depends on the number of units being produced. The number of BGAs that are part of the particular assembly should also be considered.

The index value of 2,5 seems a good representation that can provide an insight into the capabilities of the process regarding BGA assembly and the occurrence of voids. The index 2,5 of level A can be used to evaluate commercial products used in consumer goods and computer applications. It is also appropriate for telecommunications' equipment. For a level B equipment where high performance and extended life is required, and for which uninterrupted service is desired but is not critical, and certain cosmetic imperfections are allowed, an index indicator of 1,5 should be used.

Level C is for high reliability electronic products and includes equipment for commercial and military products where continued performance or performance on demand is critical. Equipment downtime cannot be tolerated, and must function when required such as for life support items, or critical weapons systems. Printed board assemblies that contain BGAs in this class are suitable for applications where high levels of assurance are required and service is essential, thus the evaluation requires a sampling of 1,0 index value.

The purpose of the index value is to define the possibility that although the samples reviewed all meet the defined void protocol there is still a statistical possibility of the percentage shown by the index that some of the products may not meet the conditions established. A 1,0 index for level C requires that 13 samples be examined from a production lot of 125 assemblies. Even if the samples all meet the protocol, there is still a possibility that 1,0 % of the lot size do not. This relates to less than 2 assemblies and would be a satisfactory risk in many applications.



IEC 019/10

Figure C.1 – Small voids clustered in mass at the ball-to-land interface

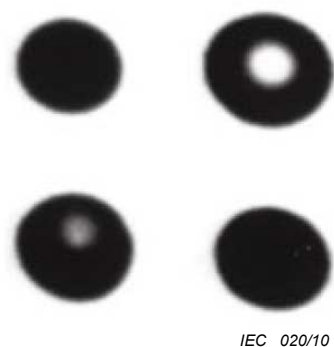


Figure C.2a – Voids at 50 kV

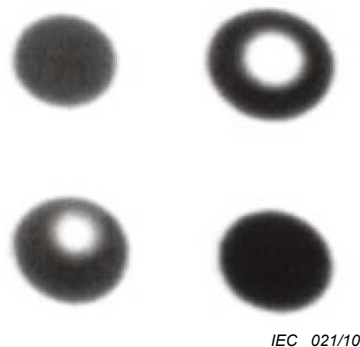
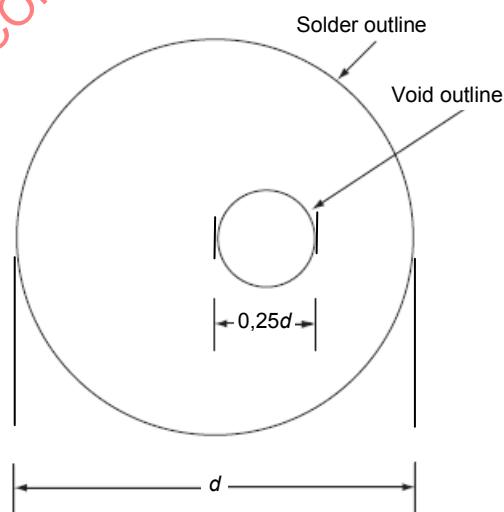


Figure C.2b – Voids at 60 kV

Figure C.2 – X-ray image of solder balls with voids

Table C.1 – Void classification

Void analysis	Voids within the ball	Voids at the package interface	Voids at the mounting surface interface
Voids in BGA balls prior to attachment to a PWB	 Type A	 Type B	N/A
Voids in BGA balls after attachment to a PWB	 Type C	 Type D	 Type E



IEC 022/10

Figure C.3 – Example of voided area at land and board interface

**Table C.2 – Corrective action indicator for lands used
with 1,5 mm, 1,27 mm or 1,0 mm pitch**

Void type	Void description	Corrective action indicator			Action taken
		Class 1	Class 2	Class 3	
Determined by cross-section/X-ray laminography (sampling according to Table C.6) at component incoming evaluation					
A	Voids within the solder ball (prior to assembly)	Up to 90 % of the balls may have voids Maximum void size in any ball is 20 % of the area (45 % of the image diameter)			Investigate the root cause in the process and take corrective action.
B	Voids at package interface (prior to assembly)	Up to 80 % of the balls may have voids Maximum void size in any ball is 15 % of the area (40 % of the image diameter)	Up to 70 % of the balls may have voids Maximum void size in any ball is 10 % of the area (32 % of the image diameter)	Up to 50 % of the balls may have voids Maximum void size in any ball is 5 % of the area (22 % of the image diameter)	Investigate the root cause in the process and take corrective action.
		All balls with cumulative voids, no matter what size, are considered.			
Determined by cross-section/X-ray laminography (sampling according to Table C.6) Evaluation after assembly					
C	Voids within the ball after polar cap absorption (PCA) reflow	Up to 100 % of the balls may have voids Maximum void size in any ball is 25 % of the area (50 % of the image diameter)			Investigate the root cause in the process and incoming parts, take corrective action.
D	Voids at the package interface after PCA reflow	Up to 100 % of the balls may have voids Maximum void size in any ball is 25 % of the area (50 % of the image diameter)	Up to 80 % of the balls may have voids Maximum void size in any ball is 20 % of the area (45 % of the image diameter)	Up to 60 % of the balls may have voids Maximum void size in any ball is 15 % of the area (40 % of the image diameter)	Investigate the root cause in the process and incoming parts, take corrective action.
		All balls with cumulative voids, no matter what size, are considered.			
E	Voids at the mounting surface interface after PCA reflow	Up to 100 % of the balls may have voids Maximum void size in any ball is 25 % of the area (50 % of the image diameter)	Up to 80 % of the balls may have voids Maximum void size in any ball is 20 % of the area (45 % of the image diameter)	Up to 60 % of the balls may have voids Maximum void size in any ball is 15 % of the area (35 % of the image diameter)	Investigate the root cause in the process and incoming parts, take corrective action.
		Balls with cumulative voids smaller than 2 % of the area (15 % of the image diameter) are not counted.			

Void type	Void description	Corrective action indicator			Action taken
		Class 1	Class 2	Class 3	
Determined by transmission X-ray (sampling according to Table C.6) For process evaluation either at component incoming or after assembly					
A, B	Voids at incoming	Up to 80 % of the balls may have voids	Up to 70 % of the balls may have voids	Up to 50 % of the balls may have voids	Investigate the root cause in the process and take corrective action.
		Maximum void size in any ball is 15 % of the area	Maximum void size in any ball is 10 % of the area	Maximum void size in any ball is 5 % of the area	
		(35 % of the image diameter)	(32 % of the image diameter)	(22 % of the image diameter)	
		All balls with cumulative voids, no matter what size, are considered			
C, D, E	Voids after PCA reflow	Up to 70 % of the balls may have voids	Up to 60 % of the balls may have voids	Up to 50 % of the balls may have voids	Investigate the root cause in the process and incoming parts, take corrective action.
		Maximum void size in any ball is 25 % of the area	Maximum void size in any ball is 25 % of the area	Maximum void size in any ball is 20 % of the area	
		(50 % of the image diameter)	(50 % of the image diameter)	(45 % of the image diameter)	

C.13 Fine pitch BGAs

The amount of attachment area that remains after the void is identified is much less than in the standard pitch BGA. Table C.3 is intended to show the corrective actions that should be taken when the X-ray image shows the presence of voids in the incoming evaluation of the component or the evaluation after assembly. The ball image is based on the BGA pitch and as it gets smaller so is the land and the resultant attachment area. The recommendations for corrective action have taken this into account and reduced the void size to compensate and thus improve the final attachment reliability.

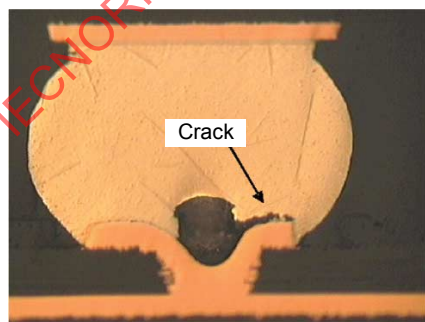
**Table C.3 – Corrective action indicator for lands
used with 0,8 mm, 0,65 mm or 0,5 mm pitch**

Void type	Void description	Corrective action indicator			Action taken
		Class 1	Class 2	Class 3	
Determined by cross-section/X-ray laminography (sampling according to Table C.6) at component incoming evaluation					
A	Voids within the solder ball (prior to assembly)	Up to 90 % of the balls may have voids Maximum void size in any ball is 15 % of the area (40 % of the image diameter)			Investigate the root cause in the process and take corrective action.
B	Voids at package interface (prior to assembly)	Up to 80 % of the balls may have voids	Up to 70 % of the balls may have voids	Up to 50 % of the balls may have voids	Investigate the root cause in the process and take corrective action.
		Maximum void size in any ball is 12 % of the area (35 % of the image diameter)	Maximum void size in any ball is 9 % of the area (30 % of the image diameter)	Maximum void size in any ball is 4 % of the area (20 % of the image diameter).	
		All balls with cumulative voids no matter what size are considered.			
Determined by cross-section/X-ray laminography (sampling according to Table C.6) Evaluation after assembly					
C	Voids within the ball after PCA reflow	Up to 100 % of the balls may have voids Maximum void size in any ball is 20 % of the area (45 % of the image diameter)			Investigate the root cause in the process and incoming parts, take corrective action.
D	Voids at the package interface after PCA reflow	Up to 100 % of the balls may have voids	Up to 80 % of the balls may have voids	Up to 60 % of the balls may have voids	Investigate the root cause in the process and incoming parts, take corrective action.
		Maximum void size in any ball is 20 % of the area (45 % of the image diameter)	Maximum void size in any ball is 15 % of the area (40 % of the image diameter)	Maximum void size in any ball is 12 % of the area (35 % of the image diameter).	
		All balls with cumulative voids, no matter what size, are considered.			
E	Voids at the mounting surface interface after PCA reflow	Up to 100 % of the balls may have voids	Up to 80 % of the balls may have voids	Up to 60 % of the balls may have voids	Investigate the root cause in the process and incoming parts, take corrective action.
		Maximum void size in any ball is 20 % of the area (45 % of the image diameter)	Maximum void size in any ball is 15 % of the area (40 % of the image diameter)	Maximum Void size in any ball is 12 % of the area (35 % of the image diameter)	
		Balls with cumulative voids smaller than 2 % of the area (15 % of the image diameter) are not counted.			

Void type	Void description	Corrective action indicator			Action taken
		Class 1	Class 2	Class 3	
Determined by transmission of X-rays (sampling according to Table C.6) For process evaluation either at component incoming or after assembly					
A, B	Voids at incoming	Up to 80 % of the balls may have voids Maximum void size in any ball is 9 % of the area (30 % of the image diameter)	Up to 70 % of the balls may have voids Maximum void size in any ball is 6 % of the area (26 % of the image diameter)	Up to 50 % of the balls may have voids Maximum void size in any ball is 4 % of the area (20 % of the image diameter).	Investigate the root cause in the process and take corrective action.
		All balls with cumulative voids, no matter what size, are considered.			
C, D, E	Voids after PCA reflow	Up to 70 % of the balls may have voids Maximum void size in any ball is 20 % of the area (45 % of the image diameter)	Up to 60 % of the balls may have voids Maximum void size in any ball is 15 % of the area (40 % of the image diameter)	Up to 50 % of the balls may have voids Maximum void size in any ball is 10 % of the area (32 % of the image diameter)	Investigate the root cause in process and incoming parts, take corrective action.
		Balls with cumulative voids smaller than 4 % of the area (20 % of the image diameter) are not counted.			

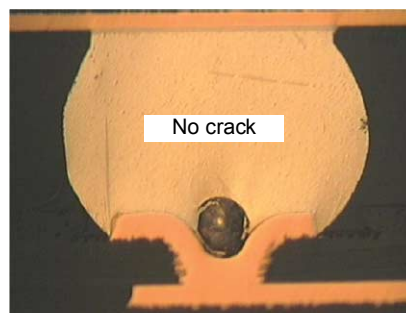
C.14 Via-in-pad design in fine pitch BGAs

As designs get into finer and finer pitch the need to obtain sufficient routing space encourages the use of micro-vias and via-in-pad design. The conditions become more critical especially in the use of designs that require lead-free assembly. Figure C.4 shows an example as to how the cracks in the solder joint propagate out from the void that has been created by the absence of material in the land. This condition can be overcome if the via is filled and over-plated so that air entrapment does not promote this condition. Via-in-pad designs require a further restriction of void allowance, as shown in Table C.4.



IEC 023/10

Figure C.4a – BGA ball at first corner pin



IEC 024/10

Figure C.4b – BGA ball at adjacent to first corner pin

Figure C.4 – Voids in BGAs with crack started at corner lead

Table C.4 – Corrective action indicator for micro-via in-pad lands used with 0,5 mm, 0,4 mm or 0,3 mm pitch

Void type	Void description	Corrective action indicator			Action taken
		Class 1	Class 2	Class 3	
Determined by cross-section/X-ray laminography (sampling according to Table C.6) at component incoming evaluation					
A	Voids within the solder ball (prior to assembly)	Up to 90 % of the balls may have voids Maximum void size in any ball is 9 % of the area (30 % of the image diameter)			Investigate the root cause in the process and take corrective action.
B	Voids at package interface (prior to assembly)	Up to 80 % of the balls may have voids Maximum void size in any ball is 6 % of the area (25 % of the image diameter)	Up to 70 % of the balls may have voids Maximum void size in any ball is 4 % of the area (20 % of the image diameter)	Up to 50 % of the balls may have voids Maximum void size in any ball is 2 % of the area (15 % of the image diameter)	Investigate the root cause in the process and take corrective action.
		All balls with cumulative voids no matter what size are considered.			
Determined by cross-section/X-ray laminography (sampling according to Table C.6) Evaluation after assembly					
C	Voids within the ball after PCA reflow	Up to 100 % of the balls may have voids Maximum void size in any ball is 25 % of the area (50 % of the image diameter)			Investigate the root cause in the process and incoming parts, take corrective action.
D	Voids at the package interface after PCA reflow	Up to 100 % of the balls may have voids Maximum void size in any ball is 15 % of the area (40 % of the image diameter)	Up to 80 % of the balls may have voids Maximum void size in any ball is 10 % of the area (32 % of the image diameter)	Up to 60 % of the balls may have voids Maximum void size in any ball is 5 % of the area (22 % of the image diameter)	Investigate the root cause in the process and incoming parts, take corrective action.
		All balls with cumulative voids, no matter what size, are considered			
E	Voids at the mounting surface interface after PCA reflow	Up to 100 % of the balls may have voids Maximum Void size in any ball is 15 % of the area (40 % of the image diameter)	Up to 80 % of the balls may have voids Maximum Void size in any ball is 10 % of the area (32 % of the image diameter)	Up to 60 % of the balls may have voids Maximum Void size in any ball is 5 % of the area (22 % of the image diameter)	Investigate the root cause in the process and incoming parts, take corrective action.
		Balls with cumulative voids smaller than 2 % of the area (15 % of the image diameter) are not counted.			

Void type	Void description	Corrective action indicator			Action taken
		Class 1	Class 2	Class 3	
Determined by transmission X-ray (sampling according to Table C.6) For process evaluation either at component incoming or after assembly					
A, B	Voids at incoming	Not recommended			Investigate the root cause in the process and take corrective action.
C, D, E	Voids after PCA reflow	Not recommended			Investigate the root cause in the process and incoming parts, take corrective action.

Table C.5 – Ball-to-void size image comparison for common ball contact diameters

Solder ball diameter/X-ray image mm	Void 0,20 mm diameter	
	Void diameter	Void area
	%	%
0,85	24	6
0,75	27	7
0,65	31	9
0,55	36	13
0,45	44	20
0,40	50	25
0,30	67	44

Table C.6 – C = 0 sampling plan (sample size for specific index value^{a)}

Lot size	Level A			Level B			Level C			
	2,5	4,0	6,5	1,5	2,5	4,0	0,10	1,0	2,5	4,0
1 to 8	5	3	2	b	5	3	b	b	5	3
9 to 15	5	3	2	8	5	3	b	13	5	3
16 to 25	5	3	3	8	5	3	b	13	5	3
26 to 50	5	5	5	8	5	5	b	13	5	5
51 to 90	7	6	5	8	7	6	b	13	7	6
91 to 150	11	7	6	12	11	7	125	13	11	7
151 to 280	13	10	7	19	13	10	125	20	13	10
281 to 500	16	11	9	21	16	11	125	29	16	11
501 to 1 200	19	15	11	27	19	15	125	34	19	15
1 201 to 3 200	23	18	13	35	23	18	125	42	23	18
3 201 to 10 000	29	22	15	38	29	22	192	50	29	22
10 001 to 35 000	35	29	15	46	35	29	294	60	35	29

a Index value is associated to the acceptable quality level (A.Q.L.) value. If a particular product is determined to be critical by the user and a smaller index value is required, the user shall designate the requirement in the procurement document and should state the 'critical requirement on the master drawing.

b Denotes inspect entire lot.

Annex D (informative)

Measurement using X-ray transmission imaging

D.1 Principle of X-ray imaging

Figure D.1 shows the principle of X-ray transmission imaging. X-rays emitted from X-ray source transmit through the specimen and project an enlarged shadow of the specimen on the imaging area. The X-rays are attenuated by the material in the solder joints, the copper wiring and other materials within the board, and reach the imaging area with a varied intensity distribution according to the configuration of joint and void. The intensity distribution of the X-rays is transformed to black and white images by the imaging device (typically, an image intensifier). Some transmission X-ray systems can make the area calculation function by digitizing the image (typically, with 400 000 pixels resolution or more) and summing the pixels in the area. Commonly available transmission X-ray systems can vary in the grayscale sensitivity that they provide in the image which, in turn, can have an effect on the precision of the area calculation. It should be noted that systems with lower grayscale sensitivity may cause the void(s) to appear at a reduced size (and hence at a lower value) within the solder joint, as there is insufficient sensitivity to observe the true edges of the spherical void, and the smallest voids may not be visible at all. It is suggested that an X-ray system used for this standard has sufficient capability to be able to see a 20 µm diameter void (for a 6 layer double sided board).

D.2 Geometric magnification

Geometric magnification is the ratio of the distance from X-ray focal spot to imaging area (A+B) to the distance from X-ray focal spot to specimen (A), illustrated in Figure 1.

NOTE X-ray systems can be configured with the X-ray tube either above or below the detector.

$$\text{Geometric magnification} = \frac{A+B}{A} = \frac{D_1}{D_0} = \frac{d_1}{d_0} \quad (\text{D.1})$$

Geometric magnification is a factor to define the magnification of the image and it is important for precise measurement. Geometric magnification depends on the distance from the X-ray source to the point to be observed, even though the specimen is fixed, and it is important to decide the distance for every measurement to realize a precise measurement using X-ray transmission imaging.

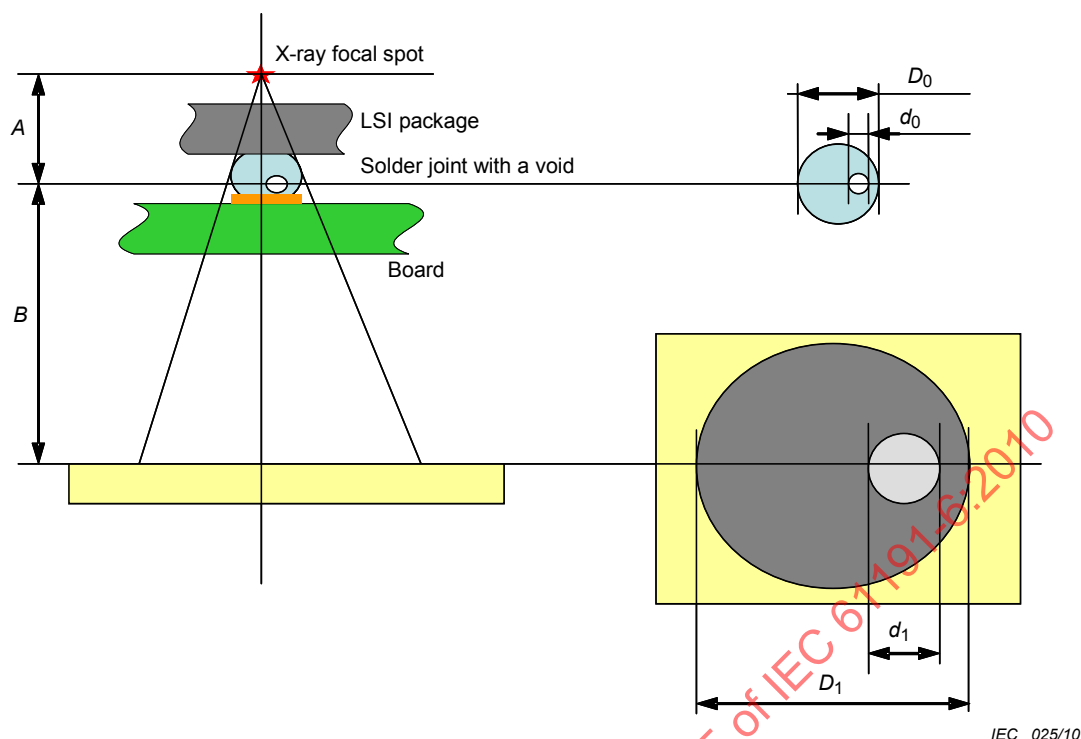


Figure D.1 – X-ray transmission imaging

D.3 X-ray intensity required for void detection

The thickness of solder material that the X-ray transmits through in a joint is shown in Figure D.2a and Figure D.2b. The X-ray is attenuated according to its path length in the joint. When it is irradiated with an X-ray intensity which is sufficiently strong to pass through the joint and make an image with acceptable contrast (for example, the tube voltage is 100 kV), the void is detected in the solder joint. On the other hand, if the joint is irradiated with insufficient X-ray intensity (for example, the tube voltage is 40 kV), the resultant image will only show the joint without any void detected because the X-ray is attenuated almost completely, whether or not there is a void in the path. Therefore, sufficient X-ray intensity to pass through the joint is required for detection and measurement of voids in solder joints.

D.4 X-ray transmission image of joint and void

The X-ray intensity distribution to be detected by an imaging device, is shown in Figure D.2c. The thickness of solder in the path of X-rays is not uniform and decreases gradually in its periphery as the joint is spherical. X-rays are attenuated and detected on the imaging device according to the thickness of the joint. The detected X-ray intensity is increased gradually in the joint periphery where the thickness of solder is decreased, and the X-ray transmission image of the joint is detected with the gradation of black and white in its periphery. It is very important to detect the outer edge of the gradation and to measure the maximum size of the joint outline image in order to obtain a precise measurement. The image of the maximum outline size means the real size of a joint and is less subject to the measurement conditions with less gradation, as seen in Figure D.2c.

On the other hand, the thickness of solder including a void, increases gradually in a void periphery as the void is spherical. The detected X-ray intensity is decreased gradually in a void periphery where the thickness of solder is increased, and the X-ray transmission image of a void is also detected with the gradation of black and white in its periphery. As well as the joint, it is also very important to detect the outer edge of the gradation and to measure the

maximum size of a void outline image in order to obtain a precise measurement, as shown in Figure D.2c.

Whether the joint or the void is measured, it is essential to detect the maximum size of the outline, in order to measure the real size of a void or a joint and to avoid ambiguity of the gradation in the periphery.

X-ray transmission images corresponding to various X-ray tube voltages, are shown in Figure D.3.

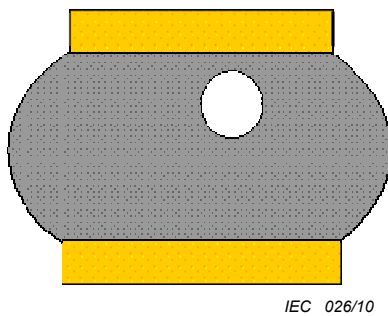


Figure D.2a – Solder joint

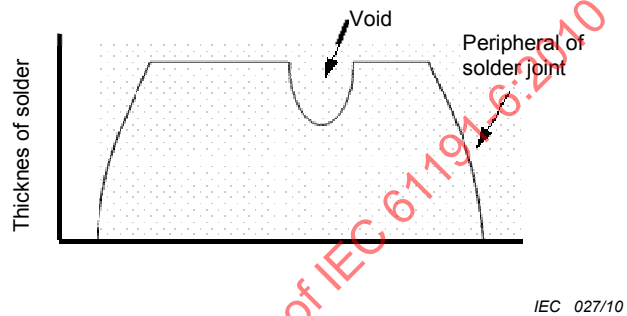


Figure D.2b – Thickness of solder in joint

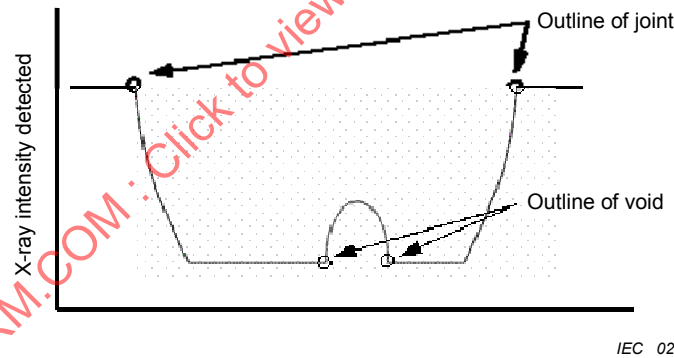
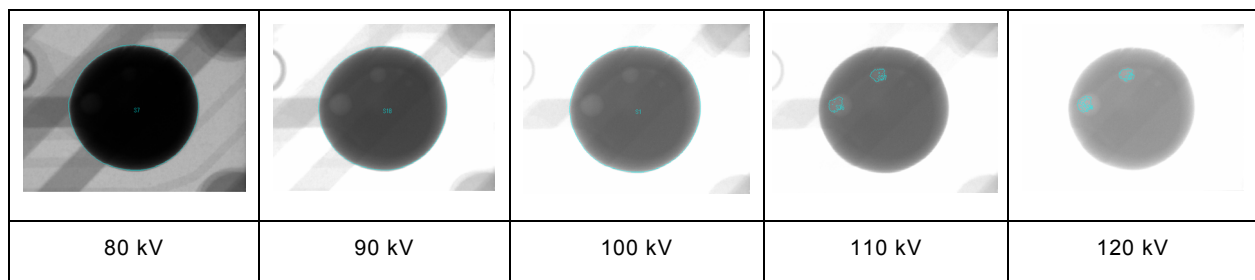


Figure D.2c – Detected X-ray intensity and outline of joint and void

Figure D.2 – X-ray transmission imaging of solder joint



IEC 029/10

Figure D.3 – Typical X-ray transmission images of solder joint

D.5 Background

There are wiring and via holes of copper or other metal materials in the printed wiring board assembled for products with BGA or LGA, and both these metal parts as well as joints or voids are detected on the same view of an X-ray transmission image. It is also important to distinguish joints and voids clearly on the images from the unnecessary background. Most BGA solder ball joints with thicknesses (for example, more than 300 μm) can be recognized easily. On the other hand, if a LGA solder joint is thinner than BGA (for example, 100 μm), then the measurements have to be executed carefully to identify the joint.

D.6 Confirmation of measurement

The relation between the actual size of a joint or a void and the X-ray transmission image measurement size, should be examined, by measuring the cross-section area of a joint or a void of an extra specimen with the same structure, materials and dimensions as the specimen for calibration.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61191-6:2010

Bibliography

IEC 61190-1-3:2007, *Attachment materials for electronic assembly – Part 1-3: Requirements for electronic grade solder alloys and fluxed and non-fluxed solid solders for electronic soldering applications*

IEC 61191-1, *Printed board assemblies – Part 1: Generic specification – Requirements for soldered electrical and electronic assemblies using surface mount and related assembly technologies*

Yu Qiang, Shibutani Tadashiro, Kim Do-Seop, Kobayashi Yusuke, Yang Jidong and Shiratori Masaki, “*Effect of process-induced voids on isothermal fatigue resistance of CSP lead-free solder joints*”, *Microelectronics Reliability*, 48, 2008, 431-437, 2008

Yu Qiang, Shibutani Tadashiro, Kobayashi Yusuke and Shiratori Masaki, “*The effect of voids on thermal reliability of BGA lead-free solder joint and reliability detecting standard*”, *Proc. 10th InterSociety Conference on Thermal and Thermomechanical Phenomena in Electronic System (Itherm 2006)*, pp. 1024-1030, 2006

Kim Doseop, Yu Qiang, Kobayashi Yusuke, and Shibutani Tadashiro, “*Effect of voids on thermal fatigue reliability of lead free solder joint*”, *Proc. IPACK05*, pp. 1-6 (IPACK2005-73136), 2005

Wickham M., Dusek M., Zou L. and Hunt C., “*Effect of Voiding on Lead-Free Reliability*”, *NPL REPORT DEPC MPR 033*, April 2005

Yunus Mohammad, Srihari K., Pitarresi J.M., Primavera Anthony, “*Effect of voids on the reliability of BGA/CSP solder joints*”, *Microelectronics Reliability* 43 (2003) pp. 2077–2086

Yu, Q., Shibutani, T., Kim, D., Kobayashi, Y., Yang, J., Shiratori, M., “*Effect of Process-induced voids on isothermal fatigue resistance of CSP lead-free solder joints, Microelectronics reliability*”, 48, 2008, 431-437, 2008

IPC-7095B:2008, “*Design and Assembly Process Implementation for BGAs*”, Association Connecting Electronics Industries

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61191-6:2010

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	42
INTRODUCTION	44
1 Domaine d'application	45
2 Références normatives	45
3 Termes et définitions	45
4 Vides dans les joints de brasures	46
4.1 Généralité	46
4.2 Sources des Vides	46
4.3 Impact des vides	47
4.4 Détection des vides	47
4.5 Classification des vides	47
5 Mesure	48
5.1 Matériel de transmission à rayons X	48
5.2 Environnement de mesure	49
5.3 Procédure de mesure	49
5.4 Enregistrement de la valeur mesurée	49
5.5 Considérations sur la mesure	50
5.5.1 Intensité des rayons X pour la détection des vides	50
5.5.2 Détermination de la taille réelle	50
5.5.3 Confirmation des résultats de mesure	50
6 Occupation du vide	50
6.1 Calcul de l'occupation du vide	50
6.2 Occupation du vide pour vides multiples	52
7 Évaluation	52
7.1 Joints brasés à évaluer	52
7.2 Evaluation de la durée de vie du cycle thermique amoindri par la présence de vides <	52
7.3 Critères d'évaluation des vides	53
Annexe A (informative) Simulation et résultats expérimentaux des vides et diminution de la durée de vie à cause de la contrainte thermique	54
Annexe B (informative) Equipement de transmission à rayons X	58
Annexe C (informative) Vides dans la boule de brasure du BGA	60
Annexe D (informative) Mesure utilisant l'imagerie par émission de rayons X	72
Bibliographie	76
Figure 1 – Occupation du vide	51
Figure 2 – Vides dans un joint brasé	53
Figure A.1 – Joint brasé de BGA, Sn-Ag-Cu	55
Figure A.2 – Joint brasé de BGA, Sn-Zn	55
Figure A.3 – Joint brasé de LGA	56
Figure B.1 – Structure de l'équipement	58
Figure C.1 – Petits vides regroupés en masse au niveau de l'interface boule à pastille	65
Figure C.2 – Image aux rayons X de boules de brasure comportant des vides	65
Figure C.3 – Exemple de zone de vide au niveau de l'interface pastille à carte	66

Figure C.4 – Vides dans les BGA comportant une fissure débutant au niveau du bord de la sortie.....	69
Figure D.1 – Imagerie par émission de rayons X.....	73
Figure D.2 – Imagerie par émission de rayon X du joint de brasure	74
Figure D.3 – Images typiques de joint de brasure par émission de rayons X	74
Tableau 1 – Classification des vides.....	48
Tableau 2 – Exemples de section transversale du joint et de l'occupation du vide	52
Tableau A.1 – Durée de vie réduite à cause des vides dans les joints brasés des BGA	56
Tableau A.2 – Durée de vie réduite à cause des vides dans les joints brasés des LGA.....	56
Tableau A.3 – Critères d'évaluation des vides des joints brasés des BGA.....	57
Tableau A.4 – Critères d'évaluation des vides des joints brasés des LGA.....	57
Tableau C.1 – Classification des vides.....	65
Tableau C.2 – Indicateur d'action corrective pour des pastilles utilisées avec un pas de 1,5 mm, 1,27 mm ou 1,0 mm.....	66
Tableau C.3 – Indicateur d'action corrective pour des pastilles utilisées avec un pas de 0,8 mm, 0,65 mm ou 0,5 mm.....	68
Tableau C.4 – Indicateur d'action corrective pour micro-trous sur pastilles des plages de connexion utilisées avec un pas 0,5 mm, 0,4 mm ou 0,3 mm	70
Tableau C.5 – Comparaison des images de taille de boule et de vide pour les diamètres des contacts communs de boule.....	71
Tableau C.6 – C = 0 plan d'échantillonnage (taille d'échantillon pour une valeur d'indice spécifique).....	71

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ENSEMBLES DE CARTES IMPRIMÉES –

**Partie 6: Critères d'évaluation des vides dans les joints brasés
des boîtiers BGA et LGA et méthode de mesure**

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (CEI) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de la CEI). La CEI a pour objet de favoriser la coopération internationale pour toutes les questions de normalisation dans les domaines de l'électricité et de l'électronique. A cet effet, la CEI – entre autres activités – publie des Normes internationales, des Spécifications techniques, des Rapports techniques, des Spécifications accessibles au public (PAS) et des Guides (ci-après dénommés "Publication(s) de la CEI"). Leur élaboration est confiée à des comités d'études, aux travaux desquels tout Comité national intéressé par le sujet traité peut participer. Les organisations internationales, gouvernementales et non gouvernementales, en liaison avec la CEI, participent également aux travaux. La CEI collabore étroitement avec l'Organisation Internationale de Normalisation (ISO), selon des conditions fixées par accord entre les deux organisations.
- 2) Les décisions ou accords officiels de la CEI concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de la CEI intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de la CEI se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de la CEI. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que la CEI s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; la CEI ne peut pas être tenue responsable de l'éventuelle mauvaise utilisation ou interprétation qui en est faite par un quelconque utilisateur final.
- 4) Dans le but d'encourager l'uniformité internationale, les Comités nationaux de la CEI s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de la CEI dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de la CEI et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) La CEI elle-même ne fournit aucune attestation de conformité. Des organismes de certification indépendants fournissent des services d'évaluation de conformité et, dans certains secteurs, accèdent aux marques de conformité de la CEI. La CEI n'est responsable d'aucun des services effectués par les organismes de certification indépendants.
- 6) Tous les utilisateurs doivent s'assurer qu'ils sont en possession de la dernière édition de cette publication.
- 7) Aucune responsabilité ne doit être imputée à la CEI, à ses administrateurs, employés, auxiliaires ou mandataires, y compris ses experts particuliers et les membres de ses comités d'études et des Comités nationaux de la CEI, pour tout préjudice causé en cas de dommages corporels et matériels, ou de tout autre dommage de quelque nature que ce soit, directe ou indirecte, ou pour supporter les coûts (y compris les frais de justice) et les dépenses découlant de la publication ou de l'utilisation de cette Publication de la CEI ou de toute autre Publication de la CEI, ou au crédit qui lui est accordé.
- 8) L'attention est attirée sur les références normatives citées dans cette publication. L'utilisation de publications référencées est obligatoire pour une application correcte de la présente publication.
- 9) L'attention est attirée sur le fait que certains des éléments de la présente Publication de la CEI peuvent faire l'objet de droits de propriété intellectuelle ou de droits analogues. La CEI ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de propriété et de ne pas avoir signalé leur existence.

La Norme internationale CEI 61191-6 a été établie par le comité d'études 91 de la CEI: Techniques d'assemblage des composants électroniques.

Le texte de cette norme est issu des documents suivants:

FDIS	Rapport de vote
91/897/FDIS	91/909/RVD

Le rapport de vote indiqué dans le tableau ci-dessus donne toute information sur le vote ayant abouti à l'approbation de cette norme.

Cette publication a été rédigée selon les Directives ISO/CEI, Partie 2.

Une liste de toutes les parties de la série CEI 61191, présentées sous le titre général *Ensembles de cartes imprimées*, peut être consultée sur le site web de la CEI.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de maintenance indiquée sur le site internet de la CEI sous "<http://webstore.iec.ch>" dans les données relatives à la publication recherchée. A cette date, la publication sera

- reconduite,
- supprimée,
- remplacée par une édition révisée, ou
- amendée.

IMPORTANT – Le logo "colour inside" qui se trouve sur la page de couverture de cette publication indique qu'elle contient des couleurs qui sont considérées comme utiles à une bonne compréhension de son contenu. Les utilisateurs devraient, par conséquent, imprimer cette publication en utilisant une imprimante couleur.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61191-6:2010

INTRODUCTION

La nécessité de l'évaluation des vides dans les joints brasés, augmente dans l'industrie, du fait que les vides peuvent affecter la fiabilité des joints, étant donné que les dispositifs deviennent plus petits. Comme le nombre d'interconnexions augmente il faut que la fiabilité par joint augmente également.

Des discussions ont eu lieu dans certains pays et dans des organisations professionnelles sur ce sujet, et des propositions spécifiques ont été faites pour une classification ou une évaluation des vides en vue de développer des lignes directrices de processus. Ce même sujet est également étudié dans des académies afin de trouver une corrélation entre les vides et la fiabilité d'un joint. Des conclusions appréciables sont à présent disponibles, à partir de l'étude de fiabilité, y compris la relation entre les formes des vides et la dégradation de la durée de vie, en raison des vides dans un joint lors de contraintes en cycles thermiques.

En se fondant sur les informations disponibles, nous avons développé des critères d'évaluation des vides dans les joints à billes brasés pour les boîtiers BGA (Ball Grid Array, boîtier à billes) et LGA (Land Grid Array, boîtier à plots organisés en matrice) et une méthode de mesure.

IECNORM.COM : Click to view the full PDF of IEC 61191-6:2010

ENSEMBLES DE CARTES IMPRIMÉES –

Partie 6: Critères d'évaluation des vides dans les joints brasés des boîtiers BGA et LGA et méthode de mesure

1 Domaine d'application

La présente partie de la CEI 61191 spécifie les critères d'évaluation pour les vides à l'échelle de la durée de vie du cycle thermique et la méthode de mesure des vides au moyen d'observations aux rayons X. La présente partie de la CEI 61191 s'applique aux vides générés dans les joints de brasure des boîtiers BGA et LGA brasés sur une carte. La présente partie de la CEI 61191 ne s'applique pas au boîtier BGA lui-même avant qu'il ne soit assemblé sur une carte.

La présente norme s'applique également aux dispositifs dont les joints sont réalisés par fusion et resolidification, tels que les dispositifs à puce retournée (flip chip) et les modules multipuce, en plus des BGA et des LGA. La présente norme ne s'applique pas aux joints présentant un manque de métal entre un dispositif et une carte ni aux joints de brasure à l'intérieur d'un boîtier de dispositif.

La présente norme s'applique aux macrovides de tailles compris entre 10 μm et plusieurs centaines de micromètres se produisant dans un joint brasé, mais elle ne s'applique pas aux vides plus petits (typiquement, microvides planaires) dont le diamètre est inférieur à 10 μm .

La présente norme est destinée à l'évaluation et s'applique aux

- études de recherche,
- contrôle du processus de fabrication hors ligne et
- évaluation de la fiabilité de l'assemblage

2 Références normatives

Les documents de référence suivants sont indispensables pour l'application du présent document. Pour les références datées, seule l'édition citée s'applique. Pour les références non datées, la dernière édition du document de référence s'applique (y compris les éventuels amendements).

CEI 60068-1:1988, *Essais d'environnement – Partie 1: Généralités et guide*
Amendement 1:1992

IEC 60194:2006, *Printed board design, manufacture and assembly – Terms et definitions*
(disponible en anglais seulement)

3 Termes et définitions

Pour les besoins du présent document, les termes et définitions figurant dans la IEC 60194 et les suivants s'appliquent. Les termes et définitions pour BGA et LGA ont été traduits de l'anglais par commodité pour le lecteur, voir aussi la IEC 60194.

3.1

boîtier matriciel à billes

BGA¹

boîtier pour montage en surface dans lequel les bosses des sorties sont formées matriciellement au fond d'un boîtier

3.2

boîtier matriciel à pastilles

LGA²

boîtier pour montage en surface comportant des pastilles de sortie situées dans un quadrillage au fond du boîtier

3.3

occupation du vide

rapport entre la section transversale du vide dans un joint et la section transversale maximale du joint

NOTE Un calcul pratique en vue d'une évaluation du vide est spécifié en 6.1.

3.4

macrovide

les macrovides sont ceux que l'on rencontre le plus souvent dans les joints de brasure; ceux-ci sont provoqués par des composés volatils qui se développent au cours du processus de brasage, et leur diamètre est typiquement supérieur à 10 micromètre

3.5

microvide Planaire

les microvides planaires sont une série de petits vides, situés à l'interface entre les pastilles d'une carte à circuit imprimé (CCI) et la brasure; ils sont générés par l'état de la surface de la carte

4 Vides dans les joints de brasures

4.1 Généralité

Une modification de la taille des vides ou de la fréquence des vides peut être une indication que les paramètres de fabrication nécessitent un ajustement. Les deux causes signalées de vides sont le flux piégé qui n'a pas eu suffisamment de temps pour s'échapper de la pâte à braser, et les contaminants sur des cartes de circuit n'ayant pas été correctement nettoyées. Les vides des joints de brasure apparaissent comme une zone plus claire sur l'image des joints de brasure obtenue aux rayons X et on les trouve généralement de manière aléatoire un peu partout dans le boîtier.

4.2 Sources des vides

Il peut y avoir des vides dans une boule de brasure de BGA, dans le joint de brasure de l'interface du boîtier LSI³, (Intégration à grande échelle), ou dans le joint de brasure de l'interface de la CCI. Diverses sources ou raisons peuvent être responsables de ces vides. Des vides peuvent être transférés à partir des vides d'origine dans des boules de brasure de BGA, ce qui peut être le résultat du processus de fabrication de boules. Des vides peuvent être induits dans le joint de brasure refusé soit par les vides de la boule de brasure d'origine du composant soit au cours du processus de fixation par refusion. Des vides peuvent également se former à proximité de l'interface de la CCI pendant la fixation. Ces vides se forment généralement au cours du processus de brasage par refusion avec des flux volatils

¹ BGA = Ball Grid Array

² LGA = Land Grid Array

³ LSI = Large-Scale Integration

piégées pendant la solidification de la brasure en fusion. La source des flux volatiles peut soit provenir des flux appliqués eux-mêmes (généralement des retouches) ou soit du flux qui est un des constituants de la pâte à braser utilisée pour le processus d'assemblage par refusion.

Outre les vides formés par la construction de trous de liaison dans la plage de connexion, certains vides sont détectés dans le milieu jusqu'au sommet (boule/ interface du dispositif) du joint de brasure refusé. Ceci est supposé du fait que la bulle d'air piégée et le flux vaporisé, qui est appliqué sur les pastilles de la CCI, augmentent au cours du profil de refusion. Cela se produit lorsque la pâte à braser appliquée et les boules de brasure détachables du BGA fondent ensemble pendant le profil de refusion. Si le cycle du profil de refusion ne permet pas un temps suffisant pour la libération de l'air piégé ou du flux vaporisé, un vide se forme lorsque la brasure fondue se solidifie dans la zone de refroidissement du profil de refusion. De ce fait, le développement du profil de refusion est extrêmement important en tant que contributeur à la formation des vides.

Les vides peuvent également être le résultat d'une contamination en surface au niveau de la pastille du composant ou au niveau de la pastille de la CCI, des intermétalliques se formant entre la boule de brasure et la pastille, ou des résidus de flux non expulsés du processus d'assemblage.

4.3 Impact des vides

Combien de vides et de quel taille convient-il d'admettre dans le produit avant qu'ils aient un impact sur la fiabilité requise du produit? Les vides peuvent avoir un impact sur la fiabilité en affaiblissant les boules de brasure et en réduisant la fonctionnalité car la section réduite comportera un transfert de chaleur inférieur et des courants limites admissible plus faibles. Des vides de grandes tailles sont plus préjudiciables mais des vides préexistants de petites tailles peuvent fusionner au cours de la refusion pour créer des vides plus grands. L'élimination des vides, ou au moins une réduction substantielle, est généralement privilégiée.

4.4 Détection des vides

Le rayonnement X est exigé pour la détection des vides dans les joints de brasure des BGA et des LGA. Des équipements plus coûteux sont basés sur la tomographie ou la laminographie par rayons X. Ces deux types de systèmes fournissent des techniques précieuses pour la détection et la localisation des vides.

Les systèmes à rayons X ont tendance à déformer la taille des vides en fonction des conditions de mesure et de la capacité du système à rayon X utilisé. Il est possible de mesurer précisément le vrai volume d'un vide mais la procédure peut être impliquée et exige une référence connue pour l'étalonnage radiométrique du film radiographique ou du détecteur radiographique. Dans la plupart des cas, il est plus rentable de concentrer son effort sur l'identification et l'élimination de la cause des vides.

4.5 Classification des vides

Afin d'évaluer différentes conditions, il a été attribué aux vides un identifiant spécifique, fondé sur l'emplacement, afin d'établir une méthode d'identification des vides et la possibilité d'une action corrective en vue de l'amélioration du processus. Les détails sont donnés au Tableau 1 qui indique les critères de classification pour l'emplacement des vides dans la structure des boules de brasure des BGA.

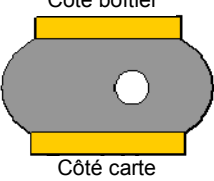
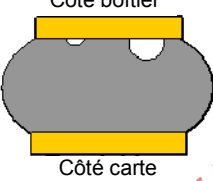
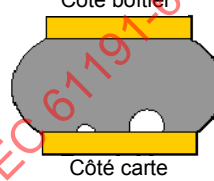
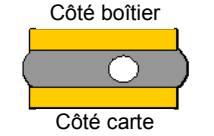
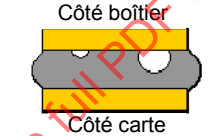
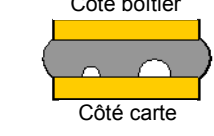
Les descriptions suivantes identifient les trois différents types de vide:

- Type C: Vide(s) à l'intérieur de la boule après le processus d'assemblage au niveau de la carte.
- Type D: Vide(s) au niveau de l'interface substrat du boîtier/boule après le processus d'assemblage au niveau de la carte.

- Type E: Vide(s) au niveau de l'interface substrat de la carte/boule après le processus d'assemblage au niveau de la carte.

La présente norme spécifie les critères d'évaluation des vides dans les joints brasés et la fiabilité des joints des dispositifs assemblés sur une carte. La présente norme ne s'applique pas aux vides dans les boîtiers BGA à l'état de livraison (se référer aux types A et B du Tableau C.1), car pour l'instant, aucune corrélation entre les vides à l'état de livraison et les vides après l'assemblage n'a été confirmée.

Tableau 1 – Classification des vides

	Type C Vide à l'intérieur du joint	Type D Vide à l'interface du boîtier	Type E Vide à l'interface de la carte
Vide dans le joint brasé du BGA			
Vide dans le joint brasé du LGA			

5 Mesure

5.1 Matériel de transmission à rayons X

Le matériel de transmission à rayons X micro-foyer est tel qu'il peut observer un BGA ou un LGA monté sur une carte à partir du dessous ou du dessus de la carte. Un appareil tomodensitométrie (TDM) à rayon X peut également être utilisé, si nécessaire.

Il convient que le matériel d'essai comporte la spécification et la performance suivantes. Un exemple de spécification du matériel disponible est décrit à l'Annexe B.

- Tension maximale: supérieure à 120 kV
- Taille des rayons X focalisés: généralement 2 μm
- Grossissement géométrique maximal: supérieur à 100×

Les matériels de transmission à rayons X habituellement disponibles sur le marché peuvent avoir une sensibilité de niveau de gris variable qu'ils fournissent à l'image, qui à son tour, peut avoir un effet sur la précision du calcul de surface. Il convient de noter que les systèmes possédant une sensibilité de niveau gris la moins importante peuvent provoquer l'apparition de vide(s) d'une taille réduite (et, donc à une valeur plus faible) à l'intérieur du joint de brasure, étant donné qu'il existe une sensibilité insuffisante pour observer les vrais bords du vide sphérique, et les vides les plus petits peuvent ne pas être visibles du tout. Il est suggéré qu'un système à rayons X utilisé pour la présente norme ait une capacité suffisante pour être en mesure de visualiser un vide d'un diamètre de 20 μm (pour une carte double face à 6 couches).

5.2 Environnement de mesure

Sauf spécification contraire, il convient que les mesures soient effectuées dans des conditions atmosphériques normales telle que spécifiée dans la CEI 60068-1, après avoir conservé l'éprouvette en condition pendant la période appropriée.

NOTE La condition normale est la suivante:

Température:	15°C à 35°C
Humidité relative	25 % à 75 %
Pression atmosphérique	86 kPa à 106 kPa

5.3 Procédure de mesure

La procédure suivante est recommandée pour la mesure de référence de la taille du joint et du vide, en utilisant le matériel de transmission à rayons X avec fonction de calcul de surface. Des procédures différentes peuvent être appliquées pour des rendements plus importants et une précision minimale requise.

- Détecter une image de joints de brasure et identifier les joints de brasure à mesurer possédant des vides. Des joints multiples peuvent être détectés sur un écran pour un rendement plus important.
- Déterminer le grossissement géométrique pour la mesure. Il est recommandé qu'un seul joint de brasure soit détecté par écran pour une mesure précise. Par exemple, une valeur d'à peu près 80x est recommandée pour la mesure d'un joint d'un diamètre de 500 μm . Lorsqu'une meilleure résolution du système de numérisation de l'image est disponible, de multiples boules de brasure peuvent être détectées sur un écran. Il est recommandé que chaque boule à l'écran ait un diamètre supérieur à 400 pixels.
- Détecter une image du vide, avec une intensité suffisante des rayons X pour passer à travers le joint (par exemple, la tension du tube est de 100 kV), et régler l'intensité des rayons X et les conditions d'imagerie.
- Saisir l'image du vide et calculer la section transversale.
- Répéter les procédures c) et d), lorsqu'il y a plusieurs vides. On peut ne pas effectuer la mesure des plus petits vides, selon 6.2.
- Détecter une image de joint, avec une intensité des rayons X suffisante pour être identifié (par exemple, la tension du tube est de 40 kV), et régler l'intensité des rayons X et les conditions d'imagerie.
- Saisir l'image du joint de brasure et calculer la section transversale correspondante.
- Calculer l'occupation du vide pour le joint de brasure
- Répéter les procédures c), d), e), f), g) et h) lorsqu'il y a de multiples joints de brasure à mesurer.

La procédure f) peut être réalisée dans les mêmes conditions que celles de la procédure c), s'il n'existe pas de différences significatives entre les résultats calculés dans ces conditions.

Dans les procédures c) et f) des conditions prédéterminées peuvent être appliquées à plusieurs reprises, si les mesures équivalentes sont répétées comme la mesure des différents points du même boîtier LSI.

5.4 Enregistrement de la valeur mesurée

Sauf spécification contraire, Il convient que les résultats de mesures suivants soient enregistrés pour chaque joint de brasure.

- Occupation du vide (O_v)
- Image aux rayons X

Si nécessaire, les données complémentaires suivantes peuvent être enregistrées.

- c) Section transversale des vides ($A_{v1}, A_{v2}, A_{v3} \dots A_{vn}$)
- d) Section transversale maximale du joint brasé (A_{smax})

5.5 Considérations sur la mesure

5.5.1 Intensité des rayons X pour la détection des vides

Une intensité suffisante des rayons X (par exemple, tension du tube à 100 kV) pour passer à travers le joint est nécessaire pour détecter et mesurer les vides dans un joint brasé. Lorsque l'intensité des rayons X est insuffisante (par exemple, tension du tube à 40 kV), les rayons X sont presque complètement atténués, qu'un vide ou non soit présent sur le trajet, et ils ne peuvent prendre aucune image du vide, seulement le masque du joint.

5.5.2 Détermination de la taille réelle

L'épaisseur de la brasure sur le trajet des rayons X varie progressivement à la périphérie du vide et du joint. La transmission de l'image du vide et du joint par rayons X est détectée grâce à la gradation du noir et du blanc à sa périphérie. Il est très important de détecter le bord extérieur de la gradation et de mesurer la taille maximale de l'encombrement de l'image afin d'avoir une mesure précise.

5.5.3 Confirmation des résultats de mesure

Il convient que l'utilisateur possède des procédures qui lui procurent une corrélation raisonnable entre la taille réelle et la taille mesurée du vide. Il est recommandé d'effectuer une vérification à l'aide d'une éprouvette de dimension connue ou une observation de la section transversale.

6 Occupation du vide

6.1 Calcul de l'occupation du vide

L'occupation du vide, O_v , définie en 3.3 est calculée à partir de la section transversale maximale du joint brasé, A_{smax} , et de la section transversale d'un vide, A_v . La section transversale maximale du joint, A_{smax} , est mesurée à partir de l'image projetée d'un joint. La section transversale du vide, A_v , est également mesurée à partir de l'image projetée d'un vide, quel que soit son emplacement dans le joint.

$$O_v = \frac{A_v}{A_{smax}} \quad (1)$$

où

O_v est l'occupation du vide,

A_{smax} est la section transversale maximale du joint brasé,

A_v est la section transversale du vide.

Par exemple, si la taille de la boule de brasure = 300 μm et la taille du vide = 50 μm de diamètre et si la section transversale du vide et du joint est proche du cercle, l'occupation du vide est calculée comme suit:

occupation du vide

$$O_V = \frac{A_V}{A_{smax}} = \frac{\frac{\pi}{4}(50)^2}{\frac{\pi}{4}(300)^2} = 0,028 \cong 3 \% \quad (2)$$

La relation entre l'image de la section transversale détectée par rayons X et l'occupation du vide est indiquée dans le Tableau 2.

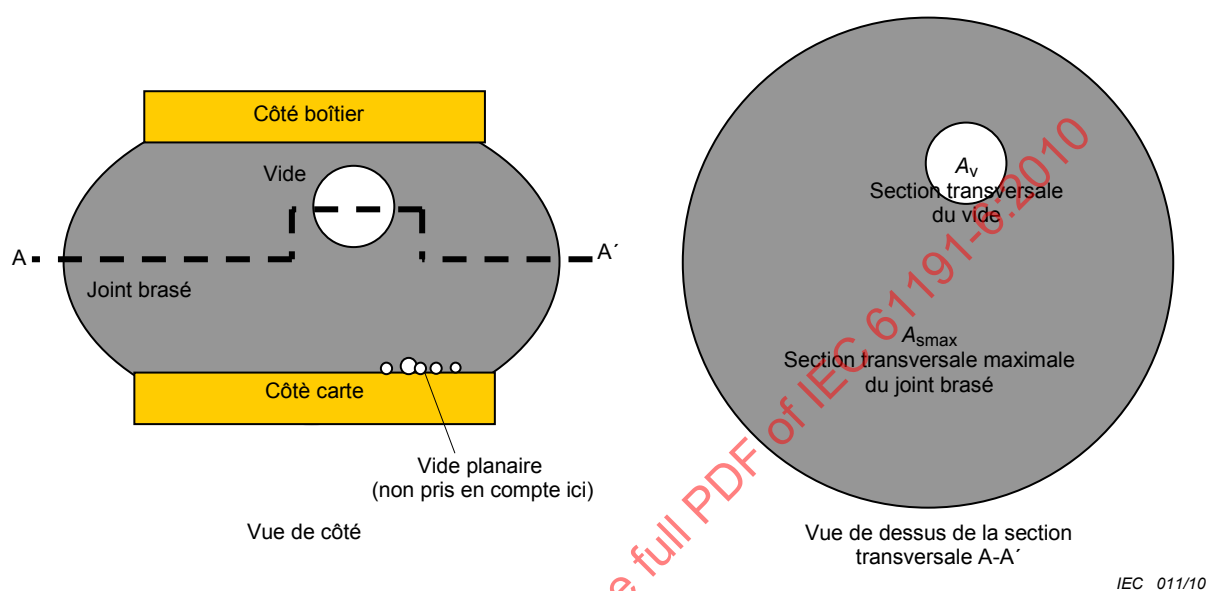


Figure 1a – Joint brasé du BGA

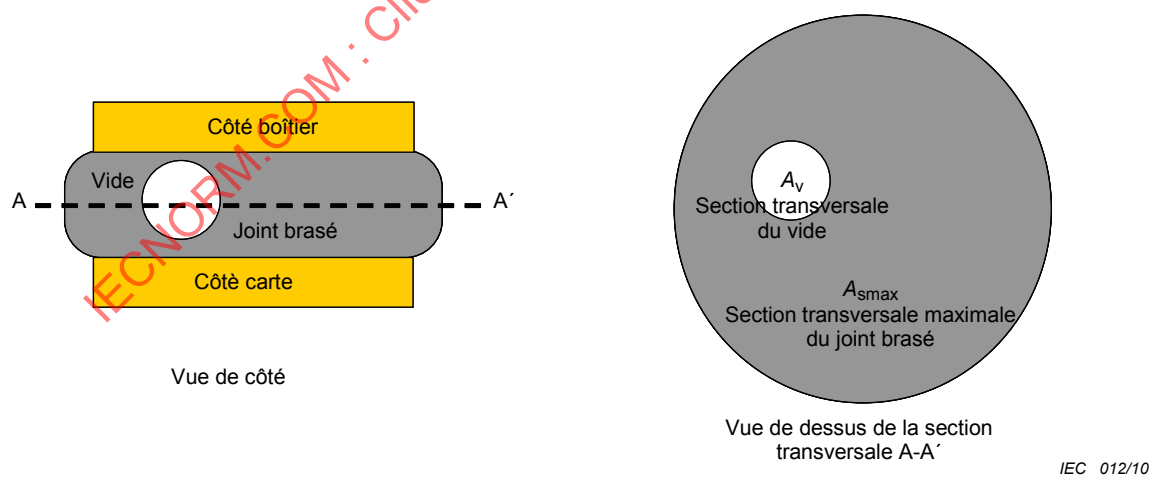
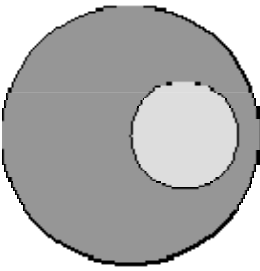
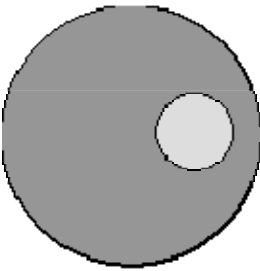
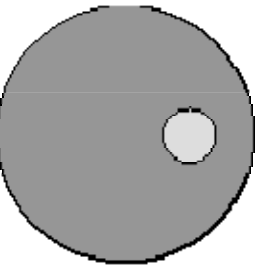


Figure 1b – Joint brasé du LGA

Figure 1 – Occupation du vide

Tableau 2 – Exemples de section transversale du joint et de l'occupation du vide

Section transversale du joint et du vide				
Occupation du vide	$\frac{A_v}{A_{smax}}$	17 %	6 %	3 %
Rapport entre le vide et le joint en diamètre maximal ^a	$\frac{D_v}{D_s}$	41 %	25 %	17 %
D_v est le diamètre du vide.				
D_s est le diamètre du joint brasé.				
^a Lorsque la section transversale du vide et du joint est proche du cercle.				

6.2 Occupation du vide pour vides multiples

Lorsqu'il y a plusieurs vides, on prend la somme des sections transversales de tous les vides en tant que section transversale du vide dans le joint.

$$O_v = \frac{A_v}{A_{smax}} = \frac{A_{v1} + A_{v2} + A_{v3} + \dots + A_{vn}}{A_{smax}} \quad (3)$$

L'occupation du vide peut être calculée en prenant uniquement en compte les vides dont la section transversale est supérieure de 0,25 % de la section transversale maximale du joint de brasure, et la plus petite peut être occultée du calcul. Lorsque plusieurs vides se chevauchent, la zone des vides multiples sur l'image projetée peut être utilisée pour calculer l'occupation du vide, à la place de la somme des sections transversales de chaque vide.

7 Évaluation

7.1 Joints brasés à évaluer

Sauf spécification contraire, il convient que tous les joints brasés soient évalués. Cependant un vide ne peut que réduire l'espérance de vie d'un BGA assemblé lors du cycle thermique s'il est situé dans un des joints le plus exposé aux contraintes thermo/mécanique. Dans le cas où il est connu que des joints spécifiques affectent la fiabilité des contraintes du cycle thermique dans un boîtier, seuls ces joints peuvent être évalués et les autres joints peuvent être occultés de l'évaluation.

7.2 Evaluation de la durée de vie du cycle thermique amoindri par la présence de vides

Le critère d'évaluation, occupation du vide, est spécifié en correspondance avec la durée de vie du cycle thermique admissible. La durée de vie du cycle thermique est réduite à cause des vides est décrite en fonction de la durée de vie sans vide. Le critère peut être appliqué à tout joint à boule de brasure, quelle que soit la durée de vie, la contrainte appliquée, le matériau de brasage et la structure du joint, tant que l'occurrence de rupture n'est pas affectée.

Comparativement, pour les petits vides, leur influence sur la fiabilité des joints dépend de l'interaction entre les positions des vides et le mode de défaillance (trajet de propagation des fissures subséquentes à la fatigue) des joints de brasure. Seuls les vides situés à proximité du trajet de propagation des fissures subséquentes à la fatigue dans les joints de brasure amoindrissent la fiabilité du joint. Généralement, il n'y a qu'un mode de défaillance dans les joints de brasure et il change rarement, mais les positions des vides de petites ou moyennes tailles sont des facteurs incertains. Par conséquent, il est assez rare de voir les petits vides se loger sur le trajet de propagation des fissures subséquentes à la fatigue. Cependant, il existe de faible possibilité pour que ce cas se produise, et il est considéré comme le pire cas pour les questions de fiabilité. Etant donné que les trajets de propagation des fissures ne sont pas connus à l'avance et comme l'emplacement des vides ne peut pas être détecté verticalement par une évaluation bidimensionnelle, il convient que le cas le plus pire soit considéré.

La Figure 2a indique comment un vide sur un joint de brasure en Sn-Ag-Cu affecte la fiabilité du joint. Puisque le vide se situe à proximité du trajet de propagation des fissures subséquentes à la fatigue sur le joint de brasure, il réduit la section transversal au niveau du trajet de propagation des fissures et amoindrit la durée de vie des joints de brasure. Dans les joints de brasure en Sn-Ag-Cu les fissures dues à la fatigue se propagent généralement à travers le volume de brasure, donc les vides qui sont situés à proximité du trajet de propagation des fissures ont de grande probabilité d'interagir avec les fissures et d'affecter la fiabilité du joint. Cependant, si des petits vides comparatifs se trouvent éloignés du trajet de propagation des fissures, ils n'affecteront pas la fiabilité du joint.

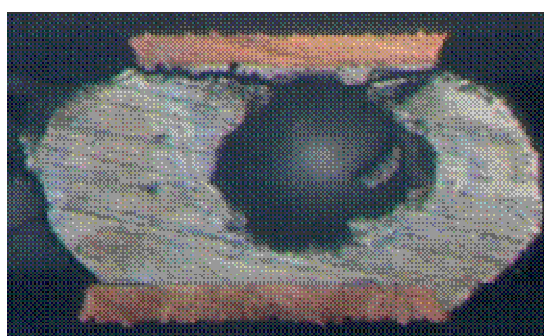
Par ailleurs, dans les joints de brasure en alliage Sn-Zn, les fissures dues à la fatigue se propagent en suivant un trajet proche de l'interface entre la zone de soudure et l'électrode Cu, comme indiqué à la Figure 2b et les macrovides se chevauchent rarement dans ce genre de parcours de fissure d'interface. En conséquence, l'interaction entre les vides et le trajet de propagation des fissures subséquentes à la fatigue n'a pas lieu, même dans les cas où les vides sont très importants. C'est pourquoi on spécifie des critères différents pour les BGA ayant des joints de brasure en alliage Sn-Zn.

NOTE La composition des matériaux d'un l'alliage de brasure sans plomb est fournie dans la CEI 61190-1-3.



IEC 013/10

Figure 2a – Vide dans un joint d'alliage Sn-Ag-Cu



IEC 014/10

Figure 2b – Vide dans un joint d'alliage Sn-Zn

Figure 2 – Vides dans un joint brasé

7.3 Critères d'évaluation des vides

Les critères d'évaluation typiques des vides dans les joints brasés des BGA et des LGA sont indiqués à l'Annexe A. Les critères sont basés sur les résultats et les analyses expérimentaux des données décrites dans l'Annexe A.

Les critères d'évaluation ne sont pas spécifiés pour les ensembles dotés de structures et matériaux différents de ceux décrits dans la présente norme ou pour les ensembles comportant une marge de conception suffisante de la fiabilité.

Annexe A (informative)

Simulation et résultats expérimentaux des vides et diminution de la durée de vie à cause de la contrainte thermique

Il existe plusieurs rapports qui concluent que les vides importants dans les joints de brasure des BGA amoindrissent la fiabilité du joint et que les petits vides n'affectent pas la fiabilité. Pour les vides de taille moyenne leur effet sur la fiabilité dépend de l'interaction entre leurs positions dans les joints de brasure et les modes de défaillance des joints de brasure. Généralement, il n'y a qu'un mode de défaillance dans les joints de brasure et il change rarement, mais les positions des vides de petites ou moyennes tailles sont des facteurs incertains. Par conséquent, il est assez rare de voir les petits vides se loger sur le trajet de propagation des fissures subséquentes à la fatigue et ce genre de vide n'a pas d'effet néfaste sur l'évolution de la fiabilité. Cependant, il existe peu de probabilité que des vides de petites ou moyennes tailles arrivent à se trouver sur le trajet de propagation des fissures subséquentes à la fatigue dans les joints de brasure et qu'ils amoindrissent la fiabilité du joint. Il est très difficile d'obtenir ce genre de résultat avec un nombre de véhicule d'essai limité. Si la question de la fiabilité pour un grand nombre de produit commercial doit être traitée, il convient de se focaliser sur le cas le plus défavorable. C'est pourquoi, il est nécessaire de faire des recherches sur le mécanisme de l'effet des vides sur la fiabilité.

Un essai de fatigue mécanique isothermique a été utilisé pour rechercher l'effet des macrovides sur la fiabilité de la fatigue thermique des joints de brasure des BGA. A la place du déséquilibre thermique entre les deux extrémités (le côté puce et le côté CCI) des joints, une déformation adaptée sous forme de cisaillement a été appliquée à plusieurs reprises aux joints de brasure des BGA, en utilisant un matériel spécial d'essai de fatigue entraîné par un actionneur piézoélectrique, où la déformation peut être contrôlée par une résolution très fine. La position et la taille des vides dans les joints de brasure ont été mesurées avant les essais. Au cours du processus d'essai, les fissures de fatigue des joints de brasure des BGA ont été directement vérifiées par un microscope optique. Le nombre de cycles a été défini comme étant la durée de vie du joint, lorsque les fissures de fatigue se sont étendues à l'ensemble de la zone projetée dans le joint. De ce fait, en comparant les durées de vie dans le joint de brasure sans vides notables par rapport à celles dans le joint comportant certains vides, l'effet des vides sur la fiabilité des joints des BGA peut être établi clairement.

La Figure A.1 et la Figure A.2 représentent les relations entre les durées de vie relative des joints de brasure, qui ont été normalisées pour la durée de vie des joints de brasure des BGA sans vides notables, ainsi que la position et la taille des vides. Dans les éprouvettes de Sn-Ag-Cu, les fissures par fatigue apparaissent fréquemment autour de la zone de brasure à proximité de l'extrémité du côté puce, c'est pourquoi les durées de vie sont considérablement affectées par les vides de grande taille situés du même côté. Étant donné qu'il est très difficile de contrôler l'emplacement de ce type de vide dans les joints de brasure, il convient de considérer l'effet des vides se trouvant dans la même zone que celle du trajet de propagation des fissures subséquentes à la fatigue comme étant le cas le plus défavorable pour les joints de brasure en Sn-Ag-Cu. Dans les joints de brasure en alliage Sn-Zn, parce que la dureté de la brasure Sn-Zn est plus importante que celle de la brasure Sn-Ag-Cu et que la microstructure autour de l'interface entre la brasure et l'électrode Cu est différente de celle des joints de brasure en Sn-Ag-Cu, les fissures dues à la fatigue se propagent sur une distance très proche de l'interface entre la zone de brasure et l'électrode Cu. Par conséquent les macrovides se chevauchent rarement dans ce genre de parcours de fissure d'interface et l'interaction entre les vides et le trajet de propagation des fissures subséquentes à la fatigue n'a pas lieu, même dans les cas où les vides sont très importants. C'est la raison pour laquelle les effets des vides dans les joints de brasure en Sn-Zn ne sont pas aussi remarquables que dans les joints de brasure en Sn-Ag-Cu.

L'effet des macrovides sur la durée de vie en température des joints brasés des LGA a été recherché au moyen d'une approche analytique d'éléments finis, où des processus de fatigue

allant de la fissure par fatigue initiale à la croissance de la fissure et à la défaillance complète des joints ont été réalisés, et la qualité analytique a été confirmée en comparant l'accord des résultats expérimentaux et des résultats analytiques des boîtiers BGA. Trois joints brasés différents de LGA ont été étudiés et on a démontré que l'impact des macrovides sur la fiabilité des joints brasés des LGA affectait à peine les formes des joints brasés, et que la durée de vie diminuait avec presque le même rapport que la zone de vide en fonction de la zone brasée. De plus, la tendance générale de la relation illustrée à la Figure A.3 ne dépend pas du matériau de brasure.

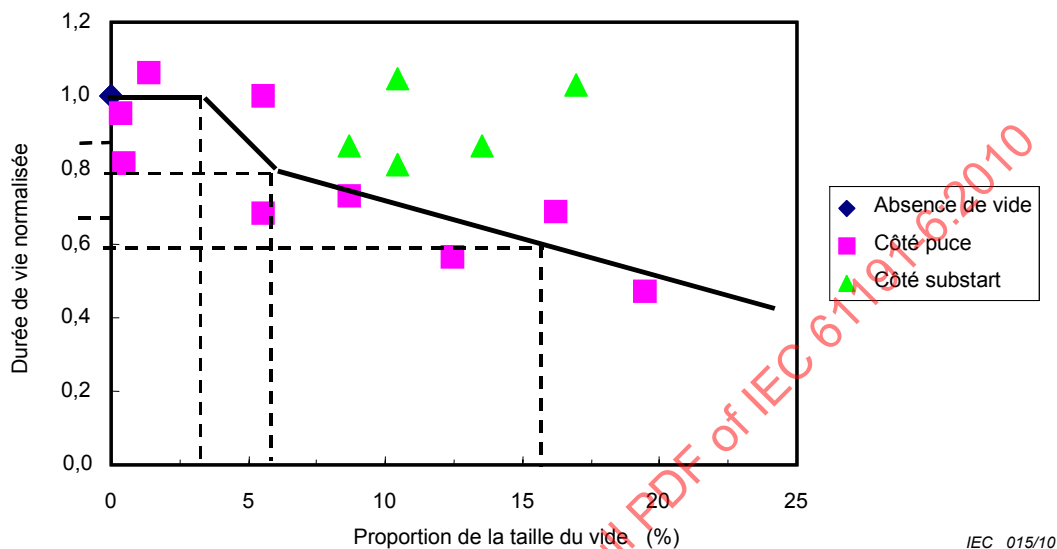


Figure A.1 – Joint brasé de BGA, Sn-Ag-Cu

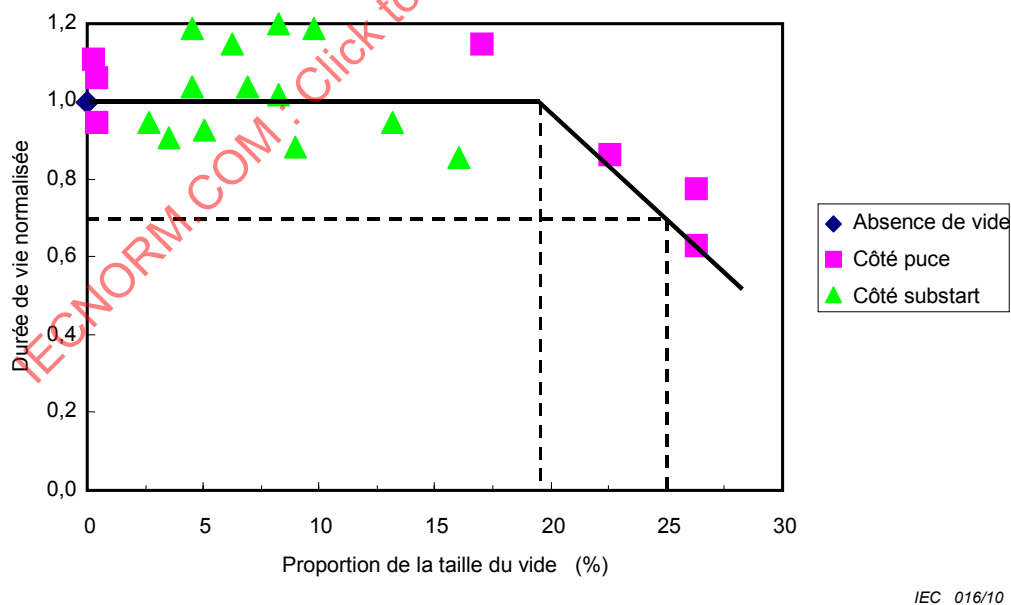


Figure A.2 – Joint brasé de BGA, Sn-Zn

Tableau A.1 – Durée de vie réduite à cause des vides dans les joints brasés des BGA

Durée de vie réduite jusqu'à la durée de vie préconçue (absence de vide)		60 %	80 %	Equivalente à la durée de vie préconçue
Critères d'évaluation des vides (occupation des vides)	Alliage Sn-Ag-Cu	<20 %	<10 %	<5 %
	Alliage Sn-Zn-(Bi)	<30 %	<25 %	<20 %

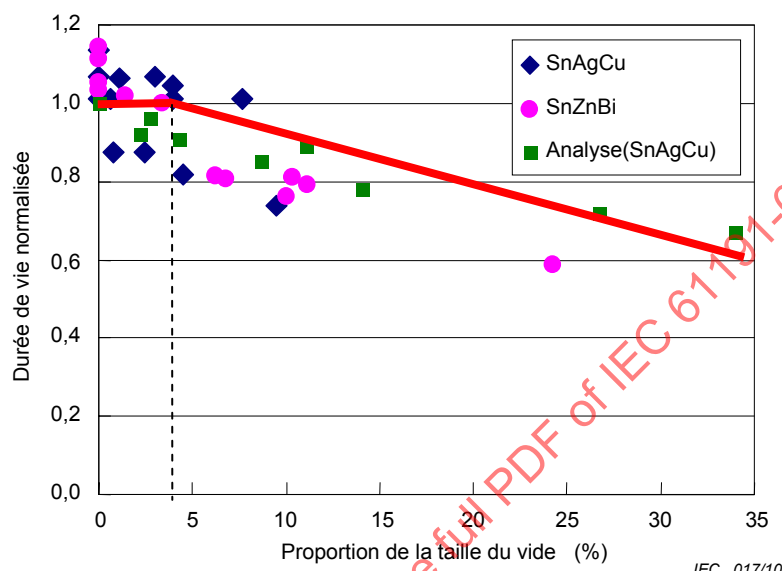


Figure A.3 – Joint brasé de LGA

Tableau A.2 – Durée de vie réduite à cause des vides dans les joints brasés des LGA

Durée de vie réduite jusqu'à la durée de vie préconçue (absence de vide)		60 %	80 %	Equivalente à la durée de vie préconçue
Critères d'évaluation des vides (pour toutes les brasures sans plomb)		<35 %	<20 %	<5 %
(occupation des vides)				

Les Tableaux A.1 et A.2 de la présente Annexe représentent les cas les plus défavorables de l'impact des vides sur la fiabilité. Les données ont été confirmées par des approches expérimentales et analytiques. Et les données démontrent la relation réelle et linéaire entre les durées de vie des joints de brasure des BGA et la taille des vides, situés dans le joint correspondant. Ces tableaux ne donnent pas de tolérance sur le vide pour l'indicateur d'action corrective. Ils indiquent le plus mauvais effet possible des vides sur la fiabilité des joints de brasure des BGA. Les informations détaillées sur la preuve scientifique peuvent être trouvées dans «Effet des vides sur la fiabilité des joints de brasure des BGA/CSP» (voir Bibliographie) ou dans la référence N° 14 provenant de l'article scientifique de Shibutani et al. (voir Bibliographie).

Par ailleurs, l'ouvrage intitulé “*Effect of Voiding on Lead-Free Reliability*” de M Wickham, et al. (voir Bibliographie), présente les résultats expérimentaux de l'effet des vides sur la fiabilité des BGA, mais il n'expose que l'effet moyen des vides sur tous les joints de brasure. De ce fait, il est très difficile de comprendre la relation réelle et linéaire entre la taille du vide et son effet sur la fiabilité.

L'ouvrage intitulé «*Effect of voids on the reliability of BGA/CSP solder joints*» de Mohammad Yunus et al., expose les résultats d'études sur l'effet des vides sur la fiabilité des BGA par des approches expérimentales et analytiques. De même, ce document ne présente que les données expérimentales de l'effet moyen de la taille des vides sur la fiabilité, et n'est pas en mesure de démontrer à quel point la fiabilité des joints de brasure peut être affectée par ses propres vides. Cependant, il mentionne que de petits vides exercent également un effet sur la fiabilité et a étudié la relation entre la fiabilité et l'influence des petits vides par une approche analytique.

Dans l'IPC-7095B (voir Bibliographie), les Tableaux 7-10, 7-11, et 7-12 représentent un critère d'indicateur d'action corrective, et le document indique qu'il convient d'établir une restriction sur la tolérance de vide. (La taille maximale du vide de n'importe quelle boule est de 5 % de la zone (22 % du diamètre de l'image)) pour les BGA à pas fin.

En se basant sur les revues ci-dessus, il convient de conclure qu'il est important de normaliser tant la méthode de mesure que les critères d'évaluation de la taille des vides. Des critères d'évaluation sont illustrés au Tableau A.3 et au Tableau A.4.

Tableau A.3 – Critères d'évaluation des vides des joints brasés des BGA

Objectif du processus pour la réduction du pourcentage d'occupation des vides		Limite	Préférentiel	Cible
Critères d'évaluation des vides (occupation des vides)	Alliage Sn-Ag-Cu	<20 %	<10 %	<5 %
	Alliage Sn-Zn-(Bi)	<30 %	<25 %	<20 %
Les critères d'évaluation ne sont pas spécifiés pour les ensembles qui possèdent une marge de conception suffisante de la fiabilité.				

Tableau A.4 – Critères d'évaluation des vides des joints brasés des LGA

Objectif du processus pour la réduction du pourcentage d'occupation des vides		Limite	Préférentiel	Cible
Critères d'évaluation des vides (pour toutes les brasures sans plomb) (occupation des vides)		<35 %	<20 %	<5 %
Les critères d'évaluation ne sont pas spécifiés pour les ensembles qui possèdent une marge de conception suffisante de la fiabilité.				

Annexe B (informative)

Équipement de transmission à rayons X

B.1 Généralités

Un exemple de performance d'un équipement de transmission à rayons X est illustré à la Figure B.1.

NOTE Dans les systèmes à rayons X, le tube à rayons X peut se situer au-dessous de l'échantillon et le détecteur au-dessus.

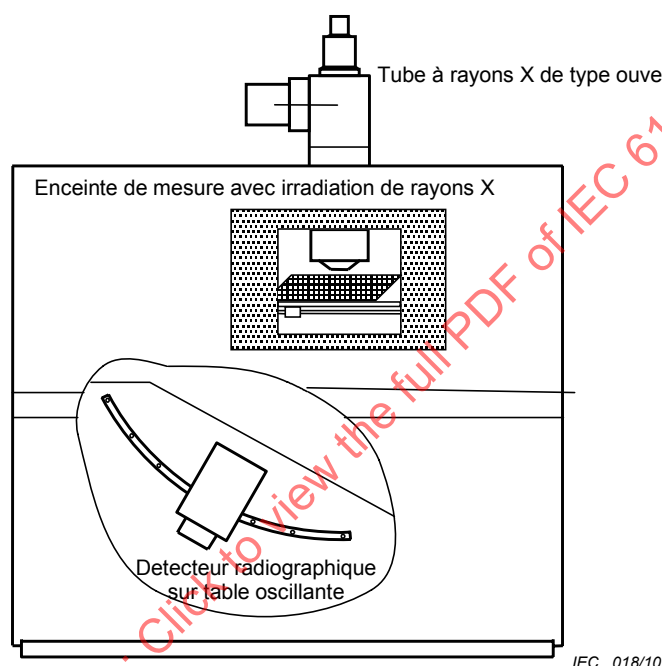


Figure B.1 – Structure de l'équipement

B.2 Tube à rayons X

Les tubes à rayons X peuvent avoir les caractéristiques suivantes:

- Tube à rayons X, de type ouvert ou fermé
- Tension 30 kV à 160 kV
- Courant 0 mA à 0,2 mA
- Sortie cible maximum 3 W à 10 W
- Taille des rayons X focalisés: généralement 2 μ m
- Cible cible de transmission en tungstène (W)
- Épaisseur de la cible inférieure ou égale à 0,5 mm
- Angle de rayonnement du rayon X supérieur ou égal à 120°

B.3 Manipulateur

Les manipulateurs peuvent avoir les caractéristiques suivantes:

- Manipulateur multi-axe à commande à distance
- Axe X (latéral) plage 400 mm (± 5 mm)
- Axe Y-(en profondeur) plage 300 mm (± 5 mm)
- Axe Z (vertical) plage 250 mm (± 5 mm)

B.4 Système TV

Les systèmes TV peuvent avoir les caractéristiques suivantes:

- Grossissement géométrique maximal supérieur ou égal à 200×
- Détecteur intensificateur d'image (tube I.I), 2", 4", 6"
- Résolution centrale 75 paires de ligne/cm
- Caméra Caméra à dispositif à transfert de charge (CCD) 2/3"
- Résolution horizontale 570 lignes-TV

NOTE Certains systèmes comportent un détecteur CMOS à la place des intensificateurs d'images.

B.5 Processeur d'images

Les processeurs d'images peuvent avoir les caractéristiques suivantes:

- Commande du contraste, de la valeur moyenne et de l'intégration
- Mesures de deux points, la surface et le rapport de surface

Annexe C (informative)

Vides dans la boule de brasure du BGA

C.1 Vides sur les contacts des boules de brasure

Les données industrielles en cours suggèrent que les vides dans les joints de brasure ne constituent pas une préoccupation pour la fiabilité. Cependant, une modification de la taille des vides ou de la fréquence des vides peut être une indication que les paramètres de fabrication nécessitent un ajustement. Les deux causes signalées de vides sont le flux piégé qui n'a pas eu suffisamment de temps pour être libéré de la pâte à braser, et les contaminants sur des cartes à circuit n'ayant pas été correctement nettoyées. Les vides apparaissent comme une zone plus claire sur l'image par rayons X des joints de brasure et on les trouve habituellement de manière aléatoire un peu partout dans le boîtier.

La qualité de la mesure des vides dans des systèmes à rayons X dépendra de la capacité et de la qualité du système à rayons X utilisé, y compris l'application correcte de conditions adaptées au tube à rayons X pour l'élément en essai. Il est possible de mesurer précisément le vrai volume d'un vide mais la procédure peut être impliquée et exige une référence connue pour l'étalonnage radiométrique du film radiographique ou du détecteur radiographique. Dans la plupart des cas, il est plus rentable de concentrer son effort sur l'identification et l'élimination de la cause des vides.

C.2 Sources des vides

Il peut y avoir des vides dans une boule de brasure de BGA, dans le joint de brasure à l'interface du BGA, ou dans le joint de brasure à l'interface de la CCI. Diverses sources ou raisons peuvent être responsables de ces vides. Des vides peuvent être transférés à partir de vides d'origine dans les boules de brasure, ce qui peut être le résultat du processus de fabrication des boules. Des vides peuvent être induits dans le joint de brasure par fusion soit par les vides dans la boule de brasure du composant original soit au cours du processus de fixation par fusion. Des vides peuvent également se former à proximité de l'interface de la CCI avec la boule pendant la fixation du BGA sur la CCI. Ces vides se forment généralement au cours du processus de brasage par refusion avec des flux volatiles piégées pendant la solidification de la brasure en fusion. La source des flux volatiles peut soit provenir des flux appliqués eux-mêmes (généralement des retouches) ou soit du flux qui est un des constituants de la pâte à braser utilisée pour le processus d'assemblage par refusion.

Outre les vides formés par la construction de trous de liaison dans la plage de connexion, certains vides sont détectés dans le milieu jusqu'au sommet (boule/ interface du dispositif) du joint de brasure refusé. Ceci est supposé du fait que la bulle d'air piégée et le flux vaporisé, qui est appliqué sur les pastilles de la CCI, augmentent au cours du profil de refusion. Cela se produit lorsque la pâte à braser appliquée et les boules de brasure détachables du BGA fondent ensemble pendant le profil de refusion. Si le cycle du profil de refusion ne permet pas un temps suffisant pour la libération de l'air piégé ou du flux vaporisé, un vide se forme lorsque la brasure fondue se solidifie dans la zone de refroidissement du profil de refusion. De ce fait, le développement du profil de refusion est extrêmement important en tant que contributeur à la formation des vides.

Les vides peuvent également être le résultat d'une contamination en surface au niveau de la pastille du composant ou au niveau de la pastille de la CCI, des intermétalliques se formant entre la boule de brasure et la pastille, ou des résidus de flux non expulsés du processus d'assemblage, comme l'illustre la Figure C.1.

C.3 Impact des vides

Combien de vides et de quel taille convient-il d'admettre dans le produit avant qu'ils aient un impact sur la fiabilité requise du produit? Les vides peuvent avoir un impact sur la fiabilité en affaiblissant les boules de brasure et en réduisant la fonctionnalité car la section réduite comportera un transfert de chaleur inférieur et des courants limites admissibles plus faibles. Des vides de grandes tailles sont plus préjudiciables mais des vides préexistants de petites tailles peuvent fusionner au cours de la refusion pour créer des vides plus grands. L'élimination des vides, ou au moins une réduction substantielle, est généralement privilégiée.

Il existe un certain nombre d'études qui ont démontré qu'une petite augmentation de la fiabilité est observée à la suite de vides de taille plus modérée. Ils proviennent généralement de processus qui sont sous contrôle. L'augmentation de la fiabilité résulte d'une augmentation de la hauteur des joints de brasure et d'un ralentissement temporaire et local de la propagation des fissures. Les rayons X sont exigés pour la détection des vides dans les joints de brasure des BGA. Une coupe transversale peut être nécessaire afin de déterminer l'impact du vide ou son emplacement.

Contrairement au composant avec plomb, les BGA ont des joints de brasure qui non seulement sont situés à la périphérie du composant, mais qui comportent des joints de brasure internes non examinés par des techniques visuelles normales. Un matériel plus coûteux repose sur la tomographie ou la laminographie par rayons X. Les deux types de systèmes fournissent des techniques précieuses pour la détection et la localisation des vides. Cependant, il est recommandé que le processus soit qualifié en vue d'une acceptation des vides avant d'être livré pour la production.

C.4 Détection par rayons X et précautions de mesure

Certains anciens systèmes à rayons X utilisés pour la détection des vides de brasure emploient un dispositif d'imagerie par rayons X qui présente une aberration dont on fait référence dans des ouvrages, sous le terme «d'éblouissement de tension» ou «d'éblouissement au phosphore». La manifestation de cette aberration, représentée par des images d'accompagnement, (voir Figure C.2) correspond à des zones lumineuses contenues dans un arrière-plan sombre. (tel que l'aspect d'un vide de brasure) qui augmentent ou rétrécissent en taille lorsque le réglage de tension pour la source de rayons X est respectivement augmenté ou diminué. Cette variation peut être assez grande. La conséquence en est que la mesure de la taille réelle du vide devient indéterminée.

Les capacités des systèmes à rayons X ont considérablement progressé au cours de ces dernières années avec l'imagerie numérique par rayons X facilement disponible à et jusqu'à 2 000 000 pixels avec des systèmes typiques dont les valeurs se situent dans la plage comprise entre 1 000 000 et 1 300 000. Cependant, le plus grand impact est celui de l'amélioration de la sensibilité de l'échelle des gris qui eut un profond impact sur ce que l'on peut voir actuellement par rapport aux anciens systèmes. De nos jours, les systèmes à rayons X sont en mesure de proposer une sensibilité des niveaux de gris de 16 bit comparée aux 8 bit des anciens systèmes. Ils sont en mesure de bien mieux différencier des variations subtiles de densité. Par conséquent, et sans aucune tension excessive, ils sont capable de mieux visualiser, en termes de quantité des vides de petite taille et de fournir une meilleure définition des vides de plus grande taille dans la majeure partie du joint. Ainsi, ces systèmes plus récents permettent une meilleure visualisation et fournissent des calculs de vides qui sont de plus grande valeur que ceux effectués, pour le même dispositif, sur des systèmes précédents ou moins compétents.

C.5 Classification des vides

Afin d'évaluer différentes conditions, il a été attribué aux vides un identifiant spécifique, fondé sur l'emplacement, afin d'établir une méthode d'identification des vides et la possibilité d'une

action corrective en vue de l'amélioration du processus. Les détails en sont fournis dans le Tableau C.1 qui représente les critères de classification pour l'emplacement des vides dans la structure des boules de brasure des BGA.

Les descriptions suivantes identifient les cinq différents types de vide:

- Type A: Vide(s) à l'intérieur de la boule (au niveau du boîtier), état de livraison.
- Type B: Vide(s) au niveau de l'interface boule/substrat du boîtier, état de livraison.
- Type C: Vide(s) à l'intérieur de la boule après le processus d'assemblage au niveau de la carte.
- Type D: Vide(s) au niveau de l'interface boule/substrat du boîtier après le processus d'assemblage au niveau de la carte.
- Type E: Vide(s) au niveau de l'interface boule/substrat de la carte après le processus d'assemblage au niveau de la carte.

C.6 Contrôle des vides

Il convient que les utilisateurs finaux collaborent avec leurs fournisseurs pour contrôler la fréquence et la taille des vides dans les boules de brasure des BGA en vue d'obtenir un niveau acceptable. Les fournisseurs peuvent ajuster la commande de leurs processus et/ou matériaux, afin de remplir ces objectifs.

Généralement, peu de vides sont détectés dans les joints de brasure des BGA, à l'entrée. Il convient d'étudier le profil temps-température de refusion, la quantité de flux, son type et ses propriétés, en vue d'améliorations. La formation des vides peut également être influencée par l'ajustement et l'optimisation des matériaux et/ou du processus. L'utilisation excessive de flux lors de la fixation initiale du BGA ou lors de la retouche du BGA a tendance à provoquer des vides en raison de la volatilisation du flux. Il convient de caractériser le processus afin de conserver l'application du flux à un niveau minimum.

C.7 Critères de commande de processus relatifs aux vides dans les boules de brasure

Il existe un besoin continu d'adapter le développement et la commande de processus aux progrès des technologies. Étant donné que les tailles des pastilles des BGA, les tailles des boules de brasure et le pas des pastilles continuent à diminuer, il est nécessaire de modifier les paramètres dimensionnels utilisés dans les ateliers de production. De nouveaux matériaux et processus peuvent être exigés afin de remplir les objectifs de la qualité et de la fiabilité.

Des vides sont susceptibles d'être observés au cours des divers stades de la vie des produits allant du développement à la fabrication. Le maintien d'une norme minimale acceptable est nécessaire pour s'assurer que le produit satisfasse aux attentes des clients, aux exigences de durée de vie et de fiabilité du produit. Il est conseillé aux fabricants d'utiliser des techniques de commande de processus et d'amélioration continue de produits en vue de limiter les vides.

Il convient qu'une variation de fréquence et de taille des vides indique la nécessité d'une commande de processus, ainsi que l'amélioration du processus et des matériaux. Une ligne de base peut être utilisée pour déterminer la nécessité de réglages de processus pour réguler la fréquence et la taille des vides. A titre d'exemple, un objectif limite acceptable pourrait être établi, selon lequel pas plus de 5 % des boules de brasure contiendraient des vides. De plus, une limite de taille de vide pourrait être établie. La taille est déterminée en fonction de la boule. De ce fait, une taille de vide supérieure à 25 % du diamètre de la section transversale de la boule de brasure correspond à environ 6 % de la zone de contact total (voir la Figure C.3). Il convient que de telles limites de commande de processus soient fixées avec l'accord du client dans un engagement contractuel.