

TECHNICAL REPORT

RAPPORT TECHNIQUE

Environmental testing –

Part 3-12: Supporting documentation and guidance – Method to evaluate a possible lead-free solder reflow temperature profile

Essais d'environnement –

Partie 3-12: Documentation d'accompagnement et guide – Méthode d'évaluation d'un profil de température possible de brasage sans plomb par refusion



THIS PUBLICATION IS COPYRIGHT PROTECTED

Copyright © 2014 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 l'IEC ou du Comité national de l'IEC du pays du demandeur. Si vous avez des questions sur le copyright de l'IEC ou si vous désirez obtenir des droits supplémentaires sur cette publication, utilisez les coordonnées ci-après ou contactez le Comité national de l'IEC de votre pays de résidence.

IEC Central Office
3, rue de Varembe
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel.: +41 22 919 02 11
Fax: +41 22 919 03 00
info@iec.ch
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.

IEC Catalogue - webstore.iec.ch/catalogue

The stand-alone application for consulting the entire bibliographical information on IEC International Standards, Technical Specifications, Technical Reports and other documents. Available for PC, Mac OS, Android Tablets and iPad.

IEC publications search - www.iec.ch/searchpub

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 It also gives information on projects, replaced and withdrawn publications.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

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

Electropedia - www.electropedia.org

The world's leading online dictionary of electronic and electrical terms containing more than 30 000 terms and definitions in English and French, with equivalent terms in 14 additional languages. Also known as the International Electrotechnical Vocabulary (IEV) online.

IEC Glossary - std.iec.ch/glossary

More than 55 000 electrotechnical terminology entries in English and French extracted from the Terms and Definitions clause of IEC publications issued since 2002. Some entries have been collected from earlier publications of IEC TC 37, 77, 86 and CISPR.

IEC Customer Service Centre - webstore.iec.ch/csc

If you wish to give us your feedback on this publication or need further assistance, please contact the Customer Service Centre: csc@iec.ch.

A propos de l'IEC

La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) 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 IEC

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

Catalogue IEC - webstore.iec.ch/catalogue

Application autonome pour consulter tous les renseignements bibliographiques sur les Normes internationales, Spécifications techniques, Rapports techniques et autres documents de l'IEC. Disponible pour PC, Mac OS, tablettes Android et iPad.

Recherche de publications IEC - www.iec.ch/searchpub

La recherche avancée permet de trouver des publications IEC en utilisant différents critères (numéro de référence, texte, comité d'études,...). Elle donne aussi des informations sur les projets et les publications remplacées ou retirées.

IEC Just Published - webstore.iec.ch/justpublished

Restez informé sur les nouvelles publications IEC. Just Published détaille les nouvelles publications parues. Disponible en ligne et aussi une fois par mois par email.

Electropedia - www.electropedia.org

Le premier dictionnaire en ligne de termes électroniques et électriques. Il contient plus de 30 000 termes et définitions en anglais et en français, ainsi que les termes équivalents dans 14 langues additionnelles. Egalement appelé Vocabulaire Electrotechnique International (IEV) en ligne.

Glossaire IEC - std.iec.ch/glossary

Plus de 55 000 entrées terminologiques électrotechniques, en anglais et en français, extraites des articles Termes et Définitions des publications IEC parues depuis 2002. Plus certaines entrées antérieures extraites des publications des CE 37, 77, 86 et CISPR de l'IEC.

Service Clients - webstore.iec.ch/csc

Si vous désirez nous donner des commentaires sur cette publication ou si vous avez des questions contactez-nous: csc@iec.ch.

TECHNICAL REPORT

RAPPORT TECHNIQUE

Environmental testing –

Part 3-12: Supporting documentation and guidance – Method to evaluate a possible lead-free solder reflow temperature profile

Essais d'environnement –

Partie 3-12: Documentation d'accompagnement et guide – Méthode d'évaluation d'un profil de température possible de brasage sans plomb par refusion

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

COMMISSION
ELECTROTECHNIQUE
INTERNATIONALE

PRICE CODE
CODE PRIX

Q

ICS 19.040

ISBN 978-2-8322-1888-4

Warning! Make sure that you obtained this publication from an authorized distributor. Attention! Veuillez vous assurer que vous avez obtenu cette publication via un distributeur agréé.
--

CONTENTS

FOREWORD.....	3
1 Scope.....	5
2 Basics	5
3 Boards under investigation	6
3.1 Test board approach	6
3.2 Production board approach	6
4 Temperature tolerances.....	7
4.1 Temperature tolerances in Study A	7
4.2 Temperature tolerance and board size influence in Study B	8
5 Peak form and width.....	9
5.1 Peak form and width in Study A	9
5.2 Reflow oven investigation in Study B	9
6 Classification.....	10
6.1 Device classification in Study A	10
6.2 Board classification in Study B	12
7 Consideration for a lead-free reflow temperature profile.....	13
7.1 Determined lead-free reflow temperature profile in Study A.....	13
7.2 Lead-free reflow temperature profile approach in Study B	14
8 Conclusion	15
Bibliography.....	16
Figure 1 – Curve shape for a peak temperature of at least 20 s at 230 °C and 1 s at 233 °C	6
Figure 2 – Position of the assembled devices and temperature dependence on the device position.....	7
Figure 3 – Lower and upper temperature tolerances of the reflow solder profile	8
Figure 4 – Temperature tolerance and board size influence	8
Figure 5 – Hat type peak profile with 40 s at $T_{\max} - 5 \text{ K} = 255 \text{ °C}$ for the small devices and the PCB	9
Figure 6 – ΔT by different reflow oven capabilities	10
Figure 7 – Representative test board measurements	11
Figure 8 – Example of the small board (camcorder)	13
Figure 9 – Example of the mid-size board (personal computer (PC))	13
Figure 10 – Lead-free reflow temperature profile for device qualification.....	14
Table 1 – Measured temperatures of devices and values including lower and upper tolerances.....	11
Table 2 – Possible temperature classification of surface mount devices.....	12
Table 3 – Proposed requirements for a lead-free reflow profile	14

INTERNATIONAL ELECTROTECHNICAL COMMISSION

ENVIRONMENTAL TESTING –

**Part 3-12: Supporting documentation and guidance –
Method to evaluate a possible lead-free solder
reflow temperature profile**

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.

The main task of IEC technical committees is to prepare International Standards. However, a technical committee may propose the publication of a technical report when it has collected data of a different kind from that which is normally published as an International Standard, for example "state of the art".

IEC TR 60068-3-12, which is a technical report, has been prepared by IEC technical committee 91: Electronics assembly technology.

This second edition cancels and replaces the first edition published in 2007 and constitutes a technical revision.

This edition includes the following significant technical changes with respect to the previous edition:

- the content has been adapted to the state-of-the-art of reflow-oven technology and termination finishes;
- minor language adjustments were performed.

The text of this technical report is based on the following documents:

Enquiry draft	Report on voting
91/1158/DTR	91/1177/RVC

Full information on the voting for the approval of this technical report 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 the parts in the IEC 60068 series, under the general title *Environmental testing*, can be found on the IEC website.

The committee has decided that the contents of this publication will remain unchanged until the stability date indicated on the IEC website 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.

ENVIRONMENTAL TESTING –

Part 3-12: Supporting documentation and guidance – Method to evaluate a possible lead-free solder reflow temperature profile

1 Scope

This part of IEC 60068, which is a technical report, presents two approaches for establishing a possible temperature profile for a lead-free reflow soldering process using SnAgCu solder paste.

This process covers a great variety of electronic products, including a large range of package sizes (e.g. molded active electronic components, passive components and electromechanical components).

Study A addresses requirements needed in the production of high-reliability electronic control units (ECU), as for example in automotive electronics. These requirements include measurement and production tolerances.

Study B represents consumer electronics products and includes reflow oven capability, board design and package sizes.

2 Basics

The process temperature for SnPb solder paste has a wide margin due to the liquid temperature of the solder alloy. During reflow soldering, temperature differences between components exist but are not critical. The process temperature of SnAgCu solder paste is about 20 K to 30 K higher than SnPb solder paste. Furthermore, the temperature difference between components (ΔT) becomes wider and sometimes the heat resistance temperature of components can become critical.

To avoid soldering failures which could be very harmful in safety-related applications and also generate higher failure costs, the capability of the soldering process is very important. A compromise between the temperature requirements of highly reliable solder joints and the limited solder-heat resistance of the electronic components has to be sought. In addition, the different aspects of mass production have to be considered. To achieve a reliable solder joint, the conventional reflow soldering process with eutectic SnPb solder paste is usually performed at a minimum peak temperature of about 203 °C at the coldest solder joint (i.e. at least 20 K above the liquid temperature of SnPb $T_{\text{liquid}} = 183$ °C).

The selected lead-free solder is SnAgCu with a melting point at around $T_{\text{liquid}} = 217$ °C [1]¹. It is a generally preferred material for lead-free reflow and wave soldering in mass production [2]. Using SnAgCu solder paste, it is not possible to solder the coldest solder joints at least 20 K above the liquid temperature ($T_{\text{liquid}} = 217$ °C), which would result in minimum temperatures of 237 °C. When the coldest solder joint is 237 °C, the temperature spread between small and large components, small semiconductor, and passive components, as well as the printed circuit board (PCB), will be too large for the components to survive the heat impact. Despite the aim to achieve a relatively low temperature at the coldest solder joint, the reliability of the solder joint has to be assured.

¹ Numbers in square brackets refer to the Bibliography.

To reach this target in Study A, the temperature at the coldest solder joint is taken to be $T_{\min} = 230\text{ °C}$, for a minimum time of 20 s, which is just 13 K above the melting temperature. Considering the peak shape (see Figure 1) this condition corresponds to 1 s at 233 °C. From a physical point of view, the risk of insufficient solder wetting during mass production is significantly higher if the solder joint temperature is lower than the above mentioned temperature of 230 °C. In addition, lead-free termination finishes (like tin layers with a post-bake process or very thin NiPdAu finishes) are known to exhibit a poorer wetting behavior than conventional SnPb pin finishes.

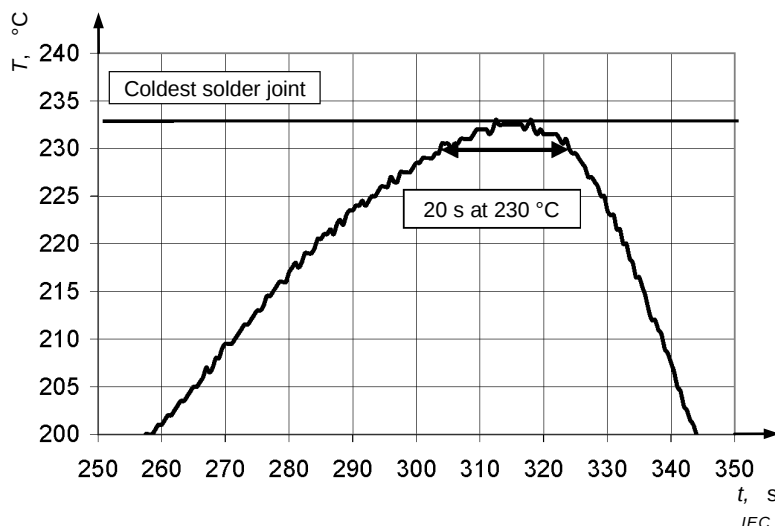


Figure 1 – Curve shape for a peak temperature of at least 20 s at 230 °C and 1 s at 233 °C

The experiments had been performed under mass production conditions (850 mm/min) using state-of-the-art reflow equipment, i.e. ovens featuring multiple heating zones, full convection and N_2 atmosphere.

3 Boards under investigation

3.1 Test board approach

For the experiment in Study A, a special test PCB was designed. Polyimide resin with a glass transition temperature of $T_g = 260\text{ °C}$ was used as base material for the PCB. Such a test board can represent the entire automotive ECU spectrum. The largest temperature difference (ΔT) between the coldest solder joint and the hottest point existing on this printed circuit assembly (PCA) spectrum is reflected on this test board (ΔT can be even larger for even more complex PCAs). The coldest solder joint was represented by a defined thermal mass, to represent large integrated circuits (ICs), coils or aluminium electrolytic capacitors. Its temperature behavior was correlated with the temperatures of the coldest solder joints on serial boards.

3.2 Production board approach

For Study B, PCB and reflow oven were taken from actual series production.

4 Temperature tolerances

4.1 Temperature tolerances in Study A

For tolerances during temperature profiling, different systematic failures shall be considered. First of all, there is an error associated with the temperature measurement itself. The measurement was performed in the centre on top of the packages with a well defined and repeatable preparation technique. Nevertheless, the failure due to preparation had to be fixed within $\pm 1,0$ K. In addition, the thermocouple (NiCrNi), together with the evaluation unit has an accuracy of $\pm 1,5$ K for pre-selected thermocouples. According to IEC 60584-2 [6] the NiCrNi thermocouples, class K, tolerance class 1 are specified with a tolerance of $\pm 1,5$ K for just the thermocouple itself without the measurement unit. Based on suppliers indication and own measurements, the furnace tolerance based on furnace load is $\pm 0,5$ K and the furnace tolerance for long term stability is $\pm 2,5$ K.

- Thermocouple with measurement unit: $\pm 1,5$ K
- Preparation of thermocouple: $\pm 1,0$ K
- Furnace load variation: $\pm 0,5$ K
- Long term stability of furnace: $\pm 2,5$ K

Because these variations are independent, the Gaussian error propagation can be applied, which results in a total tolerance of $\pm 3,0$ K, due to measurement errors and variations in mass production. The tolerance of $-3,0$ K results in the requirement to profile the coldest solder joint at 236 °C, instead of 233 °C (i.e. 233 °C + $3,0$ K). This tolerance is known as the "lower tolerance". In addition to the measurement errors and variations due to mass production, the influences of the test board have to be considered. The measured temperatures of the electronic components depend also on the position on the test board because of the longitudinal and transversal temperature spread in the furnace and along the test board (see Figure 2). These temperature differences are the result of the heat flow conditions in the furnace and around the test board. The actual temperature of a device can be up to $3,5$ K higher than the measured values at the position where the device is mounted on the test board. The temperature dependence on the device position was measured independently before measuring the device temperatures on the assembled test board.

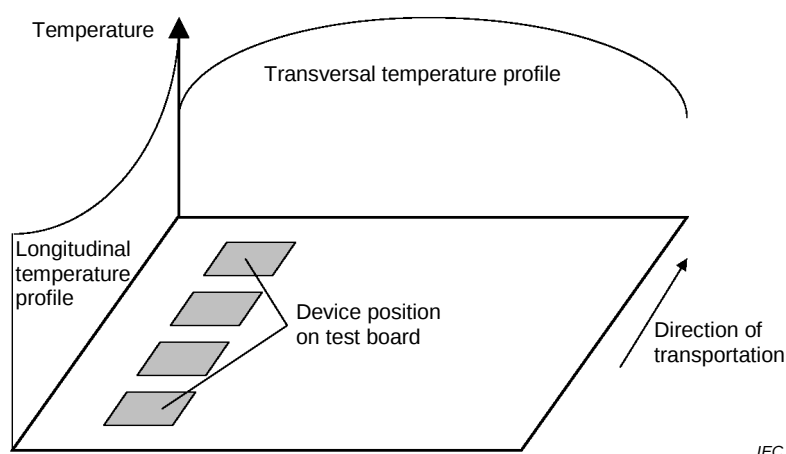
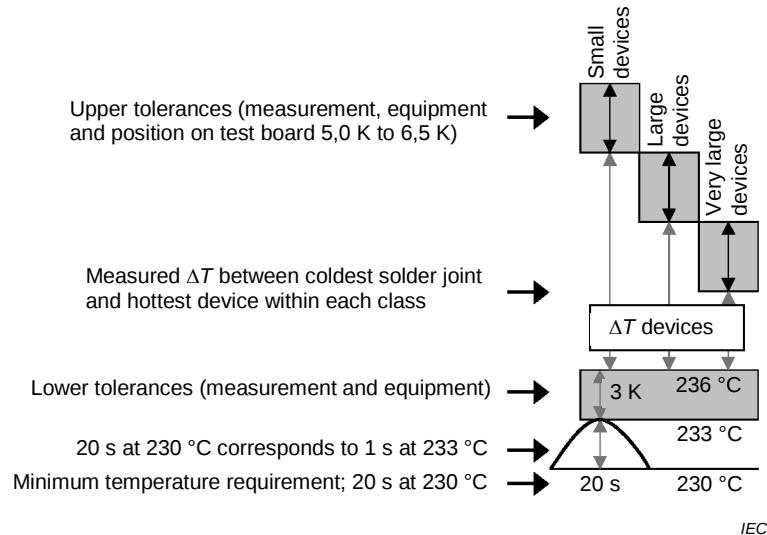


Figure 2 – Position of the assembled devices and temperature dependence on the device position

The thermal mass on the test board, which represents the coldest solder joint on the serial boards, was designed to include the relevant position-dependent tolerances. The upper temperature tolerances consist of the position-dependent temperature tolerances of 2 K to $3,5$ K and the above mentioned $+3$ K. This leads to a total upper tolerance of 5 K to $6,5$ K.

Regarding the whole temperature window of the lead-free soldering process, a total position-dependent temperature tolerance of 8 K to 9,5 K has to be added to the measured ΔT spread of the devices (see Figure 3).



NOTE Electronic devices are divided into three temperature classes.

Figure 3 – Lower and upper temperature tolerances of the reflow solder profile

4.2 Temperature tolerance and board size influence in Study B

In the consumer board study, the measured temperature includes lower temperature tolerance and upper temperature tolerance. Therefore at the coldest solder joint temperature of 230 °C, the "worst-case" temperature becomes 227 °C (i.e. 230 °C – 3 K) which is still 10 K higher than the melting point of the SnAgCu solder alloy (see Figure 4).

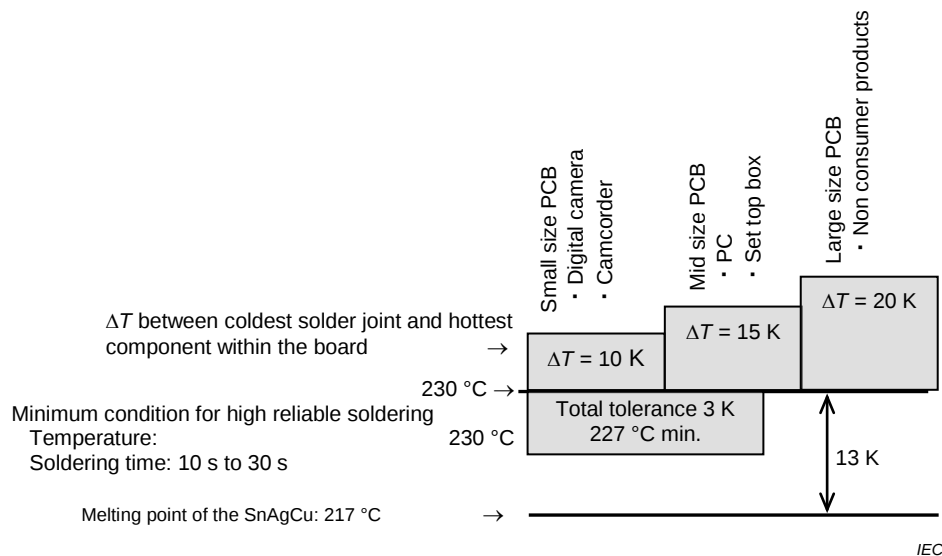
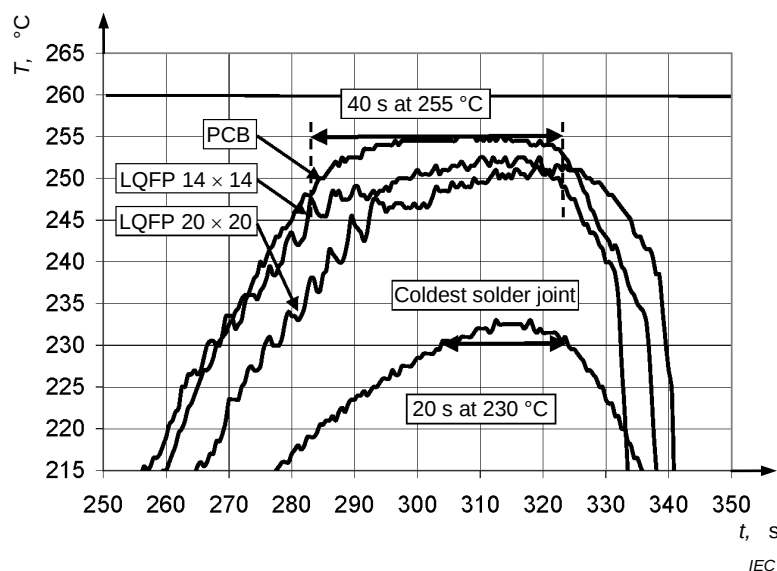


Figure 4 – Temperature tolerance and board size influence

5 Peak form and width

5.1 Peak form and width in Study A

The requirements were to maintain a temperature of at least 230 °C for 20 s at the coldest solder joint, and to limit the peak package temperature of the smallest devices (e.g. SOT23, small LQFP, TopLEDs and passive components) to $T_{\text{peak}} \leq 260$ °C. In order to meet these requirements, a soak-type preheating, as well as a hat type soldering peak were necessary in the investigation. The soak-type preheating allowed the temperatures of the individual packages to be close to each other upon entering the peak zone (see Figure 7). The hat type form of the soldering peak was used to minimize the temperature differences between the individual packages during reflow soldering. After conducting the experiment, it was discovered that the hat type form of the soldering peak required a soak time of 40 s at $T_{\text{max}} - 5 \text{ K} = 255$ °C for the hottest devices on the PCB (see Figure 5).



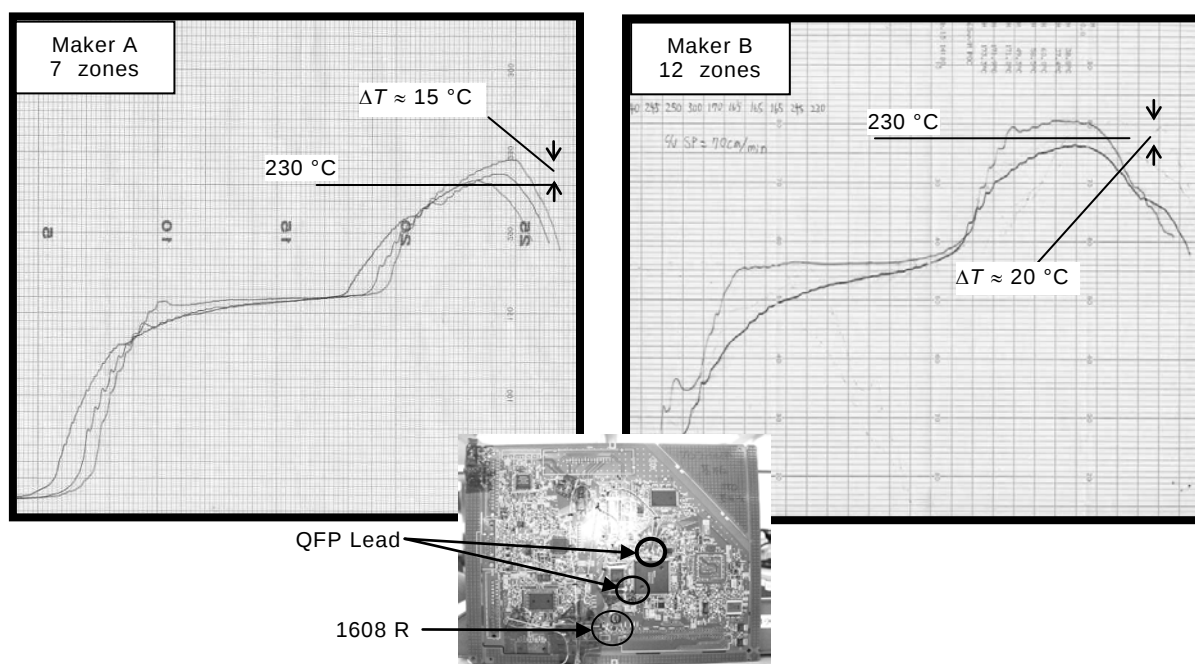
NOTE Temperature tolerances are included.

Figure 5 – Hat type peak profile with 40 s at $T_{\text{max}} - 5 \text{ K} = 255$ °C for the small devices and the PCB

5.2 Reflow oven investigation in Study B

Figure 6 shows temperature profiles on quad flat package (QFP) leads and a 1608 size surface mounting device (SMD) resistor using the same board but different reflow ovens. The reflow oven of Maker B, having more heating zones than the oven of Maker A, shows a wider temperature spread ΔT in the temperature profile than the oven of Maker A. Thus, the temperature spread ΔT does not depend primarily on the number of heating zones of the reflow oven but on the design of the reflow oven.

The peak reflow temperature for smallest components may vary according to the reflow oven being used. Also board size and board design are other factors affecting the peak reflow temperature.



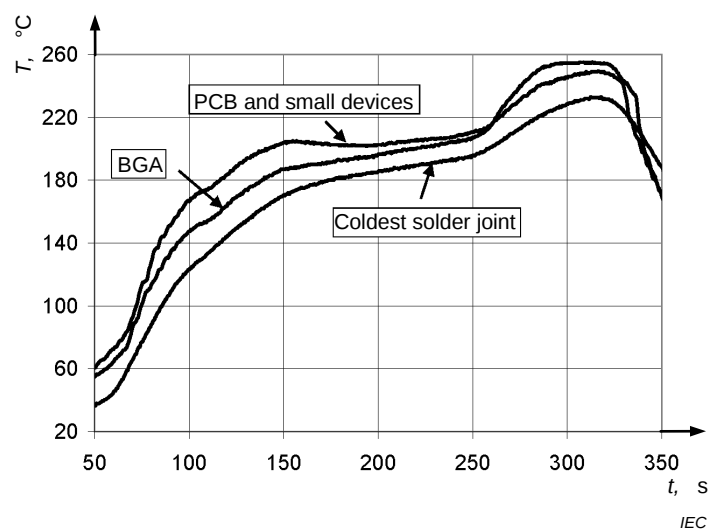
IEC

Figure 6 – ΔT by different reflow oven capabilities

6 Classification

6.1 Device classification in Study A

To classify the non-hermetic solid-state surface-mount devices into temperature groups with respect to the reflow peak, the heat capacity and heat conductivity should be taken into consideration. To simplify the study, the component similarity with respect to the composition (molded silicon) is taken into account and only the package volume and thickness are considered. In Figure 7, some typical temperature measurements of molded components using the described test board with a soak preheating and a hat-type reflow soldering peak are shown. The transportation speed was 850 mm/min and the temperature measurements were performed centrally on the top of the packages. In total, the temperature profiles for 19 characteristic molded package types and several passive and electromechanical devices were measured on a multiple heating zone reflow oven with full convection. Between the coldest solder joint and the PCB itself, a temperature difference of 13 K was measured. Small plastic components like small connectors, switches or TopLEDs showed even higher peak package temperatures with a temperature difference of 17 K from the coldest solder joint [3], [4].



NOTE Temperature tolerances are included.

Figure 7 – Representative test board measurements

Table 1 shows the measured temperatures and the temperatures achieved when the lower and upper tolerances are being added. Temperatures shown are for several characteristic molded devices with different peak temperatures.

Table 1 – Measured temperatures of devices and values including lower and upper tolerances

Device	Temperature				
	Measured value	Lower tolerance	Including lower tolerance	Upper tolerance	Including upper tolerance
	°C	°C	°C	°C	°C
Coldest solder joint	233,0	3,0	236,0	–	–
Plastic leaded chip carrier PLCC52	234,0	3,0	237,0	6,0	243,0
TO263	239,5	3,0	242,5	5,0	247,5
Ball grid array (BGA) (24 mm x 24 mm)	240,5	3,0	243,5	6,0	249,5
Low-profile quad flat package (LQFP) (14 mm x 14 mm)	243,5	3,0	246,5	6,0	252,5
Small outline transistor (SOT) devices	247,0	3,0	250,0	5,0	255,0
The upper tolerance is dependent on the position of the device on the PCB. The lower tolerance of 3,0 K represents the value that the minimum solder joint temperature has to be raised to, due to the mentioned measurement and process tolerances.					

In these examples, the maximum temperature difference between actual measured and tolerance corrected values was 9 K. These corrected temperatures represent the theoretically possible maximum package temperatures for the devices during reflow soldering. Referring to molded components (most active components) their internal structure is very similar. The specific heat capacity and the thermal conductivity do not deviate significantly (metal-based lead frame or interposer/silicon/mold compound). Therefore, it is possible to create temperature classes for the solder-heat resistance referring to volume and thickness of such molded devices. However, a similar approach is not feasible for the wide range of passive and

electromechanical components. Some of these (non-molded) components reached peak temperatures of 260 °C. In addition, many of the small molded components are commonly qualified with a 260 °C peak temperature reflow profile. Therefore, the upper temperature device group was defined as the 260 °C class. Furthermore, a class of 250 °C for large molded components and a class of 245 °C for very large molded components was defined. Table 2 shows a possible temperature classification of non-hermetic solid state surface mount devices referring to volume and thickness of the devices.

Table 2 – Possible temperature classification of surface mount devices

Thickness / Volume	<350 mm ³	350 mm ³ to 2 000 mm ³	>2 000 mm ³
<1,6 mm	260 (– 0) °C	260 (– 0) °C	260 (– 0) °C
1,6 mm to 2,5 mm	260 (– 0) °C	250 (– 0) °C	250 (– 0) °C
>2,5 mm	260 (– 0) °C	250 (– 0) °C	245 (– 0) °C
NOTE The package volume excludes external terminals and non-integral heat sinks.			

6.2 Board classification in Study B

Between the coldest solder joint and the hottest component package or PCB ΔT ranks from 1 K for small boards to 9 K for mid-size boards.

Figure 8 shows temperature profiles of the PCB surface and under the BGA on the small board. The maximum temperature under the BGA is 229 °C with 20 s above 225 °C and the maximum temperature of the PCB is 230 °C.

Figure 9 shows temperature profiles of the PCB surface and under the BGA on the mid-size board. The maximum temperature under the BGA is 228 °C with 26 s above 225 °C and the maximum temperature of the PCB is 237 °C.

From this study, ΔT between coldest solder joint and hottest component package or PCB could be assumed as follows (refer to Figure 4):

- small size board (e.g., digital camera, camcorder) 10 K;
- mid-size board (e.g., personal computer (PC), set top box) 15 K;
- large board (e.g., non-consumer product) 20 K.

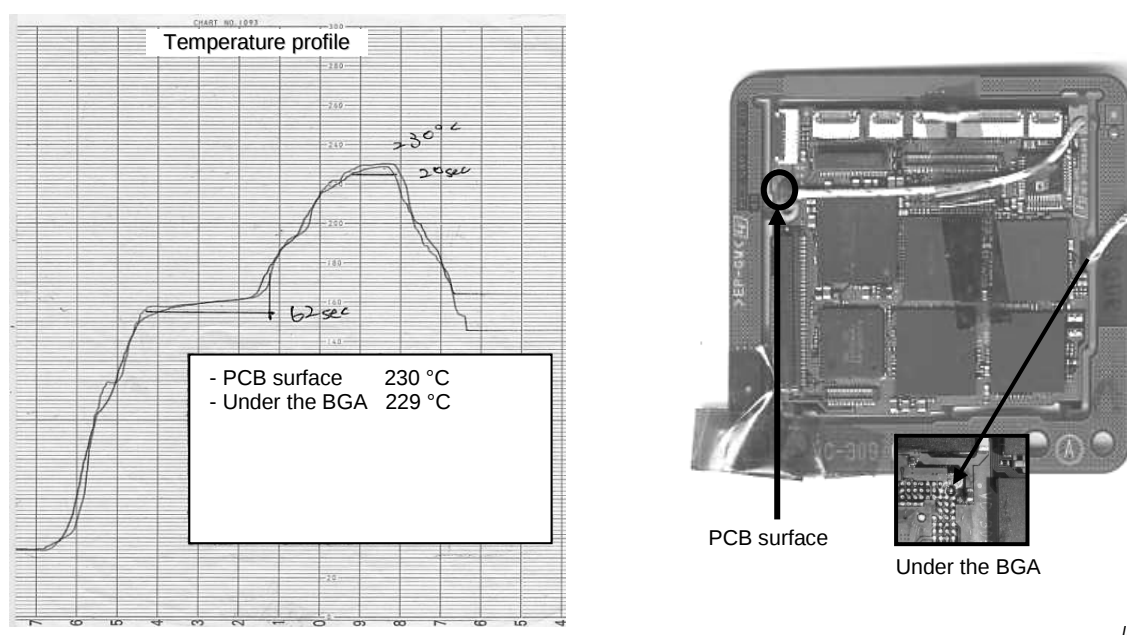


Figure 8 – Example of the small board (camcorder)

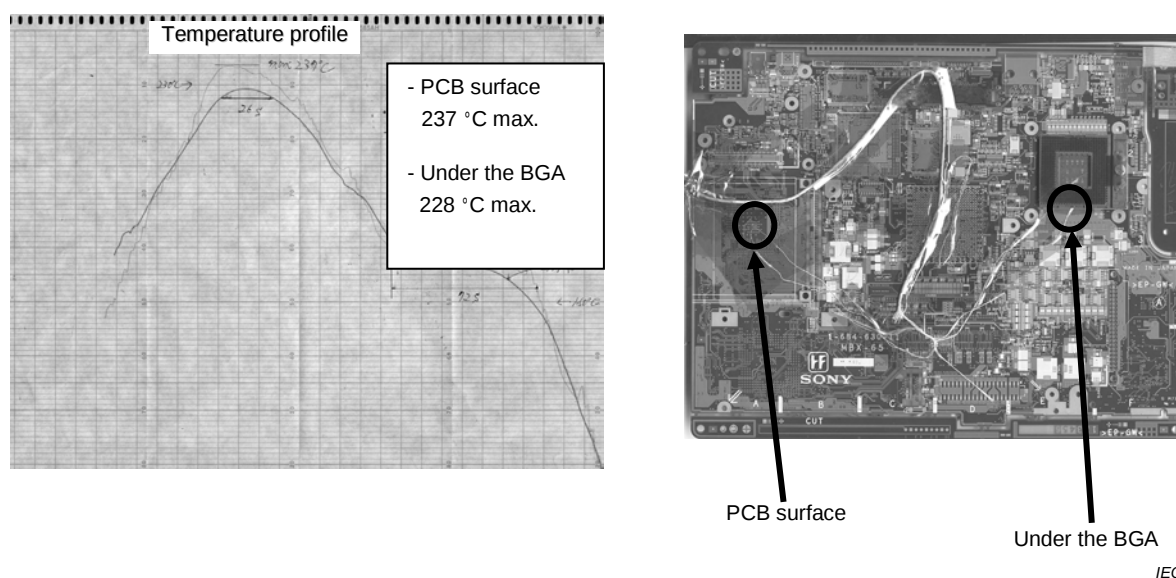


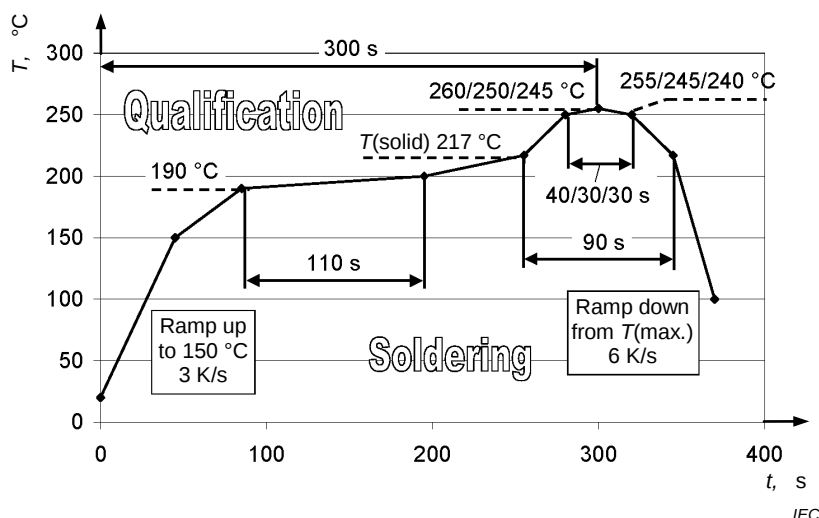
Figure 9 – Example of the mid-size board (personal computer (PC))

7 Consideration for a lead-free reflow temperature profile

7.1 Determined lead-free reflow temperature profile in Study A

The performed measurements and the given considerations lead to a possible reflow profile, which covers the described requirements of lead-free mass production (see Figure 10). Once a device is qualified, using this reflow profile, it can be used in a wide range of electronic control units. To assess the components resistance to solder heat the devices should be subjected to a soldering simulation by subjecting them to this temperature profile at least three times. This is necessary to ensure the reliability of the device after more than one reflow soldering process. Soldering in mass production shall be performed below this limiting temperature line to ensure that the device will not be stressed too much during the reflow process. Therefore, the proposed reflow profile could help define the borders between the

device suppliers and the device assemblers. Figure 10 shows a lead-free reflow temperature profile for device qualification regarding the solder heat resistance.



NOTE Temperature profile not to scale.

Figure 10 – Lead-free reflow temperature profile for device qualification

Table 3 presents proposed requirements for a lead-free device qualification reflow temperature profile given in numbers.

Table 3 – Proposed requirements for a lead-free reflow profile

Profile features	Small devices	Large	Very large
Pre-heat			
Ramp-up rate to 150 °C	3 K/s (average value over 10 s)		
Time from 190 °C to 200 °C	Min. 110 s		
Peak			
Ramp-up rate from 200 °C to T_{peak}	0,5 K/s – 3 K/s (average value over 10 s)		
Time above T_{solidus} (min. 217 °C)	Min. 90 s		
Peak temperature T_{peak}	260 (–0) °C	250 (–0) °C	245 (–0) °C
Time above $T_{\text{peak}} - 5$ K	Min. 40 s	Min. 30 s	Min. 30 s
Cooling			
Ramp-down rate from T_{solidus} (min. 217 °C)	Up to 6 K/s (average value over 10 s) device dependent		
General			
Time 25 °C to T_{peak}	Min. 300 s		

7.2 Lead-free reflow temperature profile approach in Study B

The maximum temperature of the package body during the reflow process not only depends on volume and thickness, but also depends on construction, materials used and other factors. Therefore, the resistance to soldering heat test conditions for reflow soldering using SnAgCu, as described in IEC 60068-2-58 [5], covers the majority of the consumer electronics, assuming components are mounted on a large size board ($\Delta T = 20$ K).

8 Conclusion

Based on measurements performed on state-of-the-art technology furnaces, a process for lead-free soldering using SnAgCu solder paste was developed. The determined lead-free temperature profile covers the requirements of mass production assembly with respect to the solder-heat resistance. The molded (non-hermetic solid state) devices could be divided into three maximum temperature classes of 260 °C, 250 °C and 245 °C (a classification of the passive and electromechanical components was not achieved). For automotive ECU applications as shown in Study A, all passive and electromechanical devices should be considered as elements of the 260 °C class until further measurements of single parts are performed. Using this process, most electronic control units can be soldered in compliance with the process-capability requirements. In order to reduce the peak temperature below 260 °C, further evaluation is necessary. Improvements of the furnace technology may reduce the position-dependent tolerances and mass production tolerances (especially the long term stability and the longitudinal temperature spread across the board).

Bibliography

- [1] MOON, BÖTTINGER, KATTNER, BIANCANIELLO, HANDWERKER: "Experimental and Thermodynamic Assessment of Sn-Ag-Cu solder alloys", J. Electr. Mat., Vol. 29, No. 10 (2000), pp. 1122-1135
 - [2] NIMMO, Kay: "Second European Lead-Free Soldering Technology Roadmap", soldertec, Feb. 2003
 - [3] KIRCHNER, KLEIN, BEINTNER, BRAUER, HOLZ, FEUFEL: "The Development of a Qualification Temperature Profile for Lead-free Reflow Soldering", Proceedings of 5th IPC JEDEC Lead-free Conference San Jose, Mar. 2004
 - [4] GÖRTLER, ZETTNER, SCHOTTENLOHER, KIRCHNER, KLEIN: "Reaction of Passive and Active Electronic Components on the Heat Impact During Lead-free Reflow Soldering", Proceedings of the 7th IPC JEDEC International Lead-free Conference, Frankfurt, Oct. 2004
 - [5] IEC 60068-2-58, *Environmental testing – Part 2-58: Tests – Test Td: Test methods for solderability, resistance to dissolution of metallization and to soldering heat of surface mounting devices (SMD)*
 - [6] IEC 60584-2, *Thermocouples – Part 2: Tolerances*
-

SOMMAIRE

AVANT-PROPOS	19
1 Domaine d'application	21
2 Notions fondamentales	21
3 Cartes étudiées	22
3.1 Approche de la carte d'essai	22
3.2 Approche de la carte de fabrication	23
4 Tolérances de température	23
4.1 Tolérances de température dans l'étude A	23
4.2 Tolérance de température et influence des dimensions de la carte dans l'étude B	25
5 Forme et largeur de pic de brasage	26
5.1 Forme et largeur de pic dans l'étude A	26
5.2 Etude du four de refusion dans l'étude B	27
6 Classification	28
6.1 Classification des dispositifs dans l'étude A	28
6.2 Classification des cartes dans l'étude B	30
7 Considérations relatives à un profil de température de refusion sans plomb	32
7.1 Profil de température de refusion sans plomb déterminé dans l'étude A	32
7.2 Approche du profil de température de refusion sans plomb dans l'étude B	34
8 Conclusion	34
Bibliographie	35
Figure 1 – Forme de courbe pour une température de crête d'au moins 20 s à 230 °C et 1 s à 233 °C	22
Figure 2 – Position des dispositifs assemblés et de la dépendance de la position du dispositif par rapport à la température	24
Figure 3 – Tolérances de température inférieure et supérieure du profil de brasage par refusion	25
Figure 4 – Tolérance de température et influence des dimensions de la carte	26
Figure 5 – Profil de crête de type chapeau avec 40 s à $T_{\max} - 5 \text{ K} = 255 \text{ °C}$ pour les petits dispositifs et le PCB	27
Figure 6 – ΔT pour différentes caractéristiques du four de refusion	28
Figure 7 – Mesures de cartes d'essai représentatives	29
Figure 8 – Exemple de petite carte (caméscope)	31
Figure 9 – Exemple de carte de taille moyenne (PC)	32
Figure 10 – Profil de température de refusion sans plomb pour la qualification des composants	33
Tableau 1 – Températures mesurées des dispositifs et valeurs incluant les tolérances inférieures et supérieures	29
Tableau 2 – Classification en température possible des dispositifs à montage en surface	30
Tableau 3 – Exigences proposées pour un profil de température de refusion	33

COMMISSION ÉLECTROTECHNIQUE INTERNATIONALE

ESSAIS D'ENVIRONNEMENT –

**Partie 3-12: Documentation d'accompagnement et guide –
Méthode d'évaluation d'un profil de température possible
de brasage sans plomb par refusion**

AVANT-PROPOS

- 1) La Commission Electrotechnique Internationale (IEC) est une organisation mondiale de normalisation composée de l'ensemble des comités électrotechniques nationaux (Comités nationaux de l'IEC). L'IEC 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, l'IEC – 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 l'IEC"). 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 l'IEC, participent également aux travaux. L'IEC 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 l'IEC concernant les questions techniques représentent, dans la mesure du possible, un accord international sur les sujets étudiés, étant donné que les Comités nationaux de l'IEC intéressés sont représentés dans chaque comité d'études.
- 3) Les Publications de l'IEC se présentent sous la forme de recommandations internationales et sont agréées comme telles par les Comités nationaux de l'IEC. Tous les efforts raisonnables sont entrepris afin que l'IEC s'assure de l'exactitude du contenu technique de ses publications; l'IEC 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 l'IEC s'engagent, dans toute la mesure possible, à appliquer de façon transparente les Publications de l'IEC dans leurs publications nationales et régionales. Toutes divergences entre toutes Publications de l'IEC et toutes publications nationales ou régionales correspondantes doivent être indiquées en termes clairs dans ces dernières.
- 5) L'IEC 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 l'IEC. L'IEC 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 l'IEC, 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 l'IEC, 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 l'IEC ou de toute autre Publication de l'IEC, 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 l'IEC peuvent faire l'objet de droits de brevet. L'IEC ne saurait être tenue pour responsable de ne pas avoir identifié de tels droits de brevets et de ne pas avoir signalé leur existence.

La tâche principale des comités d'études de l'IEC est l'élaboration des Normes internationales. Toutefois, un comité d'études peut proposer la publication d'un rapport technique lorsqu'il a réuni des données de nature différente de celles qui sont normalement publiées comme Normes internationales, cela pouvant comprendre, par exemple, des informations sur l'état de la technique.

L'IEC TR 60068-3-12, qui est un rapport technique, a été établie par le comité d'études 91 de l'IEC: Techniques d'assemblage des composants électroniques.

La seconde édition annule et remplace la première édition publiée en 2007 et constitue une révision technique.

Respectant l'édition précédente, cette édition inclut les importants changements techniques suivants:

- Le contenu a été adapté à la technologie de pointe des fours de refusion et des terminaisons étamées.
- des modifications linguistiques mineures ont été apportées

Le texte de ce rapport technique est issu des documents suivants:

Projet d'enquête	Rapport de vote
91/1158/DTR	91/1177/RVC

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

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

Une liste de toutes les parties de la série IEC 60068, publiées sous le titre général *Essais d'environnement*, est disponible sur le site web de l'IEC.

Le comité a décidé que le contenu de cette publication ne sera pas modifié avant la date de stabilité indiquée sur le site web de l'IEC 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.

ESSAIS D'ENVIRONNEMENT –

Partie 3-12: Documentation d'accompagnement et guide – Méthode d'évaluation d'un profil de température possible de brasage sans plomb par refusion

1 Domaine d'application

La présente partie de l'IEC 60068, qui est un rapport technique, présente deux approches pour établir un profil de température possible pour un processus de brasage sans plomb par refusion utilisant de la pâte à braser au SnAgCu.

Ce processus recouvre une grande diversité de produits électroniques, incluant une large gamme de dimensions de boîtier (par exemple, des composants électroniques actifs moulés, des composants passifs et des composants électromécaniques).

L'étude A traite les exigences nécessaires pour la fabrication d'unités de commande électroniques (ECU, *Electronic Control Unit*) de haute fiabilité, par exemple pour l'électronique automobile. Ces exigences contiennent les tolérances de mesure et de fabrication.

L'étude B présente les produits électroniques grand public et inclut les caractéristiques des fours de refusion, la conception des cartes et les dimensions des boîtiers.

2 Notions fondamentales

La température de traitement d'une pâte à braser au SnPb présente une marge importante en raison de la température liquide de l'alliage de brasure. Au cours d'un brasage par refusion, des différences de température existent entre les composants mais elles ne sont pas critiques. La température de processus d'une pâte à braser au SnAgCu est d'environ 20 K à 30 K plus élevée que celle d'une pâte à braser au SnPb. De plus, la différence de température entre composants (ΔT) augmente et la température de résistance à la chaleur des composants peut parfois devenir critique.

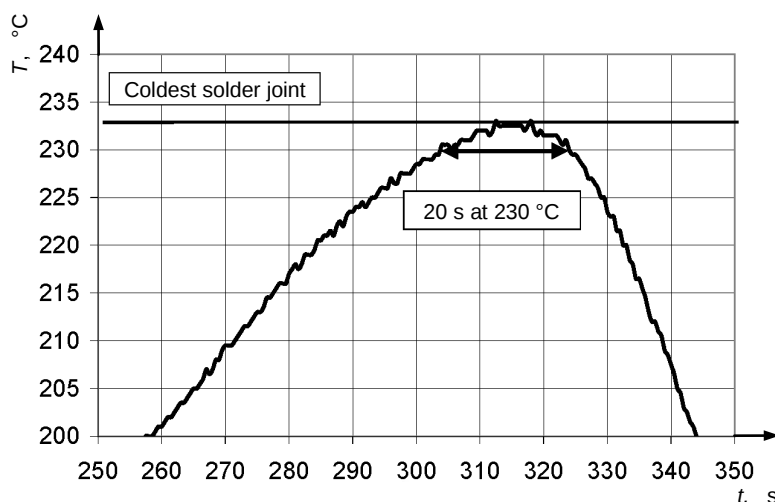
Pour éviter des défauts de brasage pouvant être très dangereux dans les applications liées à la sécurité et entraînant également des coûts de défaillance supérieurs, les caractéristiques du processus de brasage sont très importantes. Un compromis doit être recherché entre les exigences de température de joints de brasure de haute fiabilité et la résistance à la chaleur limitée de la soudure des composants électroniques. De plus, on doit tenir compte des différents aspects d'une fabrication en grande quantité. Pour réaliser un joint de brasure fiable, le processus de brasage par refusion classique avec de la pâte à braser eutectique au SnPb solder est habituellement exécuté à une température de crête minimale d'environ 203 °C au joint de brasage le plus froid (c'est-à-dire, au moins 20 K au-dessus de la température liquide du SnPb $T_{\text{liquid}} = 183$ °C).

La brasure sans plomb sélectionnée est en SnAgCu avec un point de fusion d'environ $T_{\text{liquid}} = 217$ °C [1]¹. Il s'agit du matériau généralement préféré pour le brasage sans plomb par refusion et à la vague dans une fabrication en grande quantité [2]. Si l'on utilise de la pâte

¹ Les références entre crochets se réfèrent à la bibliographie.

à braser au SnAgCu il n'est pas possible de braser les joints de brasure les plus froids au moins à 20 K au-dessus de la température liquide ($T_{\text{liquid}} = 217 \text{ °C}$), ce qui donnerait des températures minimales de 237 °C. Lorsque le joint de brasure le plus froid est à 237 °C, l'étendue de température entre les petits et les grands composants, les petits semiconducteurs et les composants passifs, ainsi que la carte de circuit imprimé (PCB, *Printed Circuit Board*), sera trop grande pour que les composants survivent au choc thermique. Malgré l'objectif d'obtention d'une température relativement basse au joint de brasure le plus froid, la fiabilité du joint de brasure doit être assurée.

Pour atteindre cet objectif dans l'étude A, on considère comme température du joint de brasure le plus froid $T_{\text{min}} = 230 \text{ °C}$, pendant une durée minimale de 20 s, température supérieure exactement de 13 K à la température de fusion. Compte tenu de la forme de la crête (voir Figure 1) cette condition correspond à 1 s à 233 °C. Du point de vue physique, le risque de mouillage insuffisant du joint lors d'une fabrication en grande quantité est significativement plus élevé si la température du joint de brasure est inférieure à la température de 230 °C mentionnée ci-dessus. De plus, on sait que les terminaisons sans plomb (par exemple les couches d'étain avec un processus post-cuisson ou des finis très minces en NiPdAu) ont un comportement de mouillage plus médiocre que les finis classiques de broches en SnPb.



Légende

Anglais	Français
Coldest solder joint	Joint de brasage le plus froid
20 s at 230 °C	20 s à 230 °C

Figure 1 – Forme de courbe pour une température de crête d'au moins 20 s à 230 °C et 1 s à 233 °C

Les expériences ont été réalisées dans des conditions de fabrication en grande quantité (850 mm/min) en utilisant un appareillage de refusion de l'état de l'art, c'est-à-dire des fours présentant plusieurs zones de chauffage, une convection complète et une atmosphère de N_2 .

3 Cartes étudiées

3.1 Approche de la carte d'essai

Pour effectuer l'expérience de l'étude A, une carte de circuit imprimé d'essai spéciale a été conçue. On a utilisé comme matériau de base de la carte de circuit imprimé une résine en polyimide ayant une température de transition vitreuse de $T_g = 260 \text{ °C}$. Une telle carte d'essai

peut représenter la totalité du spectre des ECU pour l'automobile. La plus grande différence de température (ΔT) entre le joint de brasure le plus froid et le point le plus chaud existant sur ce spectre d'assemblage de circuit imprimé (PCA) est répercutée sur cette carte d'essai (ΔT peut être encore plus grande pour des PCA encore plus complexes). Le joint de brasure le plus froid a été représenté par une masse thermique définie, représentant des circuits intégrés (CI), bobines ou condensateurs électrolytiques à l'aluminium de grande taille. Son comportement en température a été corrélé avec les températures des joints de brasure les plus froids sur les cartes de la série.

3.2 Approche de la carte de fabrication

Pour l'étude B, un PCB et un four de refusion ont été prélevés d'une fabrication en série réelle.

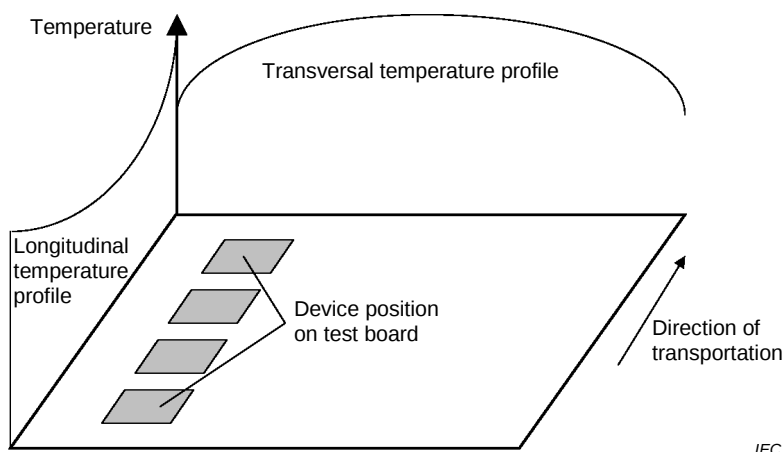
4 Tolérances de température

4.1 Tolérances de température dans l'étude A

En ce qui concerne les tolérances durant le profilage de température, différentes défaillances systématiques doivent être envisagées. Il existe avant tout une erreur associée à la mesure de température elle-même. La mesure a été effectuée au centre de la partie supérieure des boîtiers avec une technique de préparation bien définie et reproductible. Néanmoins, la défaillance due à la préparation ne doit pas s'écarter de plus de $\pm 1,0$ K. De plus, le thermocouple (NiCrNi), ainsi que l'unité d'évaluation présentent une exactitude de $\pm 1,5$ K pour des thermocouples sélectionnés à l'avance. Selon l'IEC 60584-2, les thermocouples au NiCrNi de classe K, avec classe de tolérance 1 sont spécifiés avec une tolérance de $\pm 1,5$ K uniquement pour le thermocouple lui-même, sans l'unité de mesure. En se basant sur les indications et les propres mesures des fournisseurs, la tolérance du four fondée sur la charge du four est de $\pm 0,5$ K et la tolérance du four pour une stabilité à long terme est de $\pm 2,5$ K.

- Thermocouple avec unité de mesure: $\pm 1,5$ K
- Préparation du thermocouple: $\pm 1,0$ K
- Variation de la charge du four: $\pm 0,5$ K
- Stabilité à long terme du four: $\pm 2,5$ K

Puisque ces variations sont indépendantes, la propagation d'erreur gaussienne peut être appliquée, ce qui donne une tolérance totale de $\pm 3,0$ K, due aux erreurs de mesure et aux variations dans la fabrication en grande quantité. La tolérance de $-3,0$ K résulte de l'exigence de profilage du joint de brasure le plus froid à 236 °C, au lieu de 233 °C (c'est-à-dire, 233 °C + $3,0$ K). Cette tolérance est appelée «tolérance inférieure». Outre les erreurs de mesure et les variations dues à la fabrication en grande quantité, on doit considérer l'influence de la carte d'essai. Les températures mesurées des composants électroniques dépendent également de leur position sur la carte d'essai en raison de la plage de températures longitudinale et transversale dans le four et sur la carte d'essai (voir Figure 2). Ces différences de température sont la conséquence des conditions de flux thermique dans le four et autour de la carte d'essai. La température réelle d'un dispositif peut être jusqu'à $3,5$ K plus grande que les valeurs mesurées dans la position où le dispositif est monté sur la carte d'essai. La dépendance de la position du dispositif par rapport à la température a été mesurée indépendamment, avant de mesurer les températures des composants sur la carte d'essai assemblée.

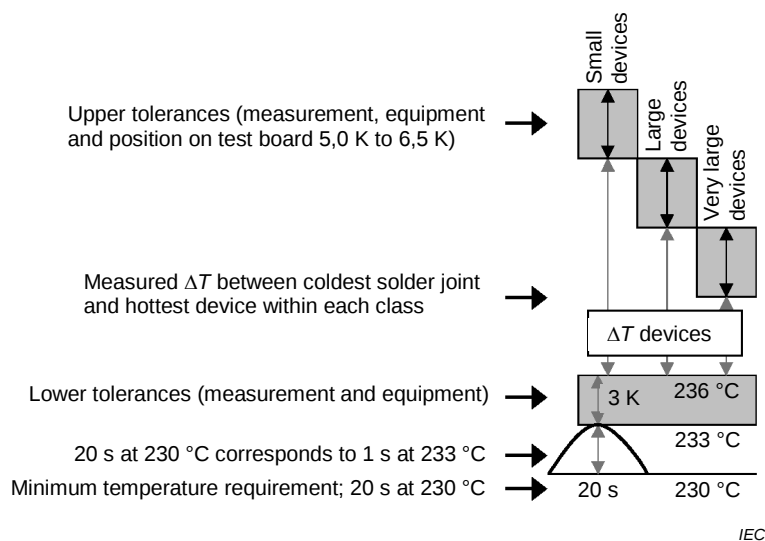


Légende

Anglais	Français
Temperature	Température
Transversal temperature profile	Profil transversal de température
Longitudinal temperature profile	Profil longitudinal de température
Device position on test board	Position des dispositifs sur la carte d'essai
Direction of transportation	Sens de transport

Figure 2 – Position des dispositifs assemblés et de la dépendance de la position du dispositif par rapport à la température

La masse thermique sur la carte d'essai, qui représente le joint de brasure le plus froid sur les cartes de la série, a été conçue pour inclure les tolérances pertinentes dépendant de la position. Les tolérances de températures supérieures sont constituées des tolérances de température dépendant de la position de 2 K à 3,5 K et des +3 K mentionnés ci-dessus. Cela conduit à une tolérance supérieure totale de 5 K à 6,5 K. En ce qui concerne la fenêtre de températures complète du processus de brasage sans plomb, une tolérance de température totale dépendant de la position de 8 K à 9,5 K doit être ajoutée à la plage ΔT mesurée des dispositifs (voir Figure 3).



NOTE Les dispositifs électroniques sont divisés en trois classes de température.

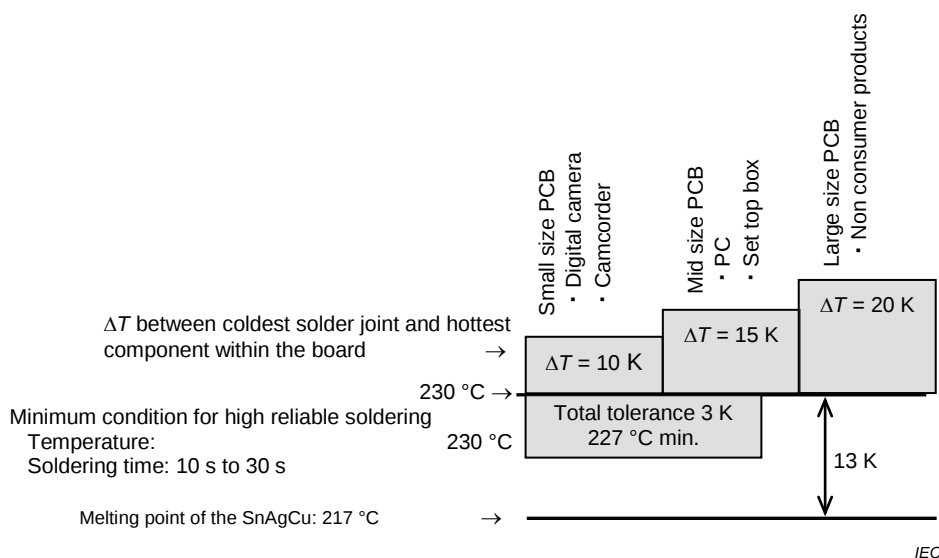
Légende

Anglais	Français
Upper tolerances (measurement, equipment and position on test board 5,0 K to 6,5 K)	Tolérances supérieures (mesure, matériel et position sur la carte d'essai 5,0 K à 6,5 K)
Measured ΔT between coldest solder joint and hottest device within each class	ΔT mesurée entre le joint de brasage le plus froid et le dispositif le plus chaud dans chaque classe
Lower tolerances (measurement and equipment)	Tolérances inférieures (mesure et matériel)
20 s at 230 °C corresponds to 1 s at 233 °C	20 s à 230 °C correspondent à 1 s à 233 °C
Minimum temperature requirement, 20 s at 230 °C	Exigences minimales de température 20 s à 230 °C
ΔT devices	ΔT dispositifs
Small devices	Petits dispositifs
Large devices	Grands dispositifs
Very large devices	Très grands dispositifs

Figure 3 – Tolérances de température inférieure et supérieure du profil de brasage par refusion

4.2 Tolérance de température et influence des dimensions de la carte dans l'étude B

Dans l'étude de la carte grand public, la température mesurée comporte la tolérance de température inférieure et la tolérance de température supérieure. A la température de 230 °C du joint de brasage le plus froid, la température dans le «cas le plus défavorable» devient donc égale à 227 °C (c'est-à-dire, 230 °C – 3 K) température qui est toujours supérieure de 10 K au point de fusion de l'alliage de brasage au SnAgCu (voir Figure 4).



Légende

Anglais	Français
ΔT between coldest solder joint and hottest component within the board	ΔT entre le joint de brasage le plus froid et le composant le plus chaud de la carte
Minimum condition for high reliable soldering Temperature: 230 °C Soldering time: 10 s to 30 s	Condition minimale pour brasage très fiable Température: 230 °C Durée de brasage: 10 s à 30 s
Melting point of the SnAgCu: 217 °C	Point de fusion du SnAgCu: 217 °C
Small size PCB - Digital camera - Camcorder	PCB de petite taille - Appareil de prise de vue numérique - Caméscope
Mid size PCB - PC - Set top box	PCB de taille moyenne - PC - Boîtier décodeur
Large size PCB - Non consumer products	PCB de grande taille - Produits non destinés au grand public
Total tolerance 3 K 227 °C min	Tolérance totale 3 K 227 °C min

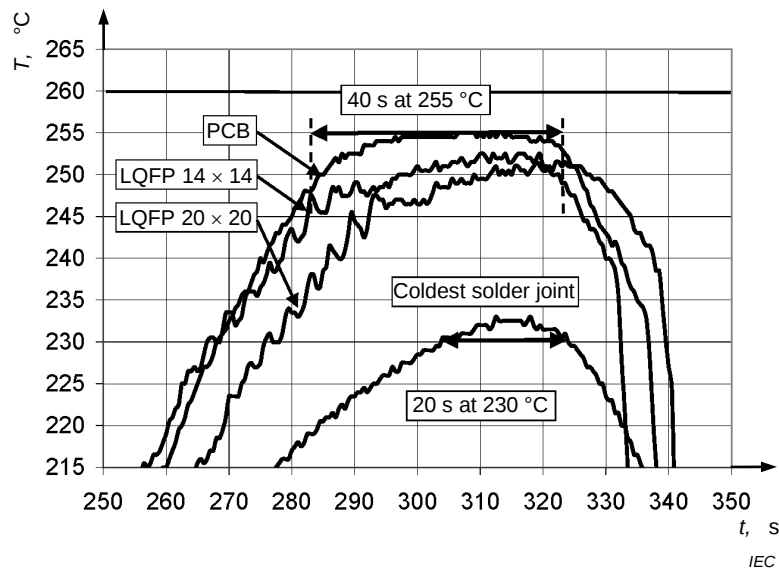
Figure 4 – Tolérance de température et influence des dimensions de la carte

5 Forme et largeur de pic de brasage

5.1 Forme et largeur de pic dans l'étude A

Les exigences étaient de maintenir une température d'au moins 230 °C pendant 20 s sur le joint de brasage le plus froid, et de limiter la température de crête de boîtier des plus petits dispositifs (par exemple, SOT23, petits LQFP, TopLED et composants passifs) à $T_{\text{peak}} \leq 260$ °C. Pour satisfaire à ces exigences, un préchauffage de type trempage ainsi qu'une crête de brasage de type chapeau ont été nécessaires au cours de l'étude. Le préchauffage de type trempage a permis aux températures de chacun des boîtiers d'être proches les uns des autres à l'entrée dans la zone de crête (voir Figure 7). La forme de type chapeau de pic de brasage a été utilisée pour réduire au minimum les différences de

température entre chacun des boîtiers au cours du brasage par refusion. Après avoir effectué l'expérience, on a découvert que la forme de type chapeau de la crête de brasage nécessitait un temps de trempage de 40 s à $T_{\text{max}} - 5 \text{ K} = 255 \text{ °C}$ pour les dispositifs les plus chauds sur le PCB (voir Figure 5).



NOTE Les tolérances de température sont incluses.

Légende

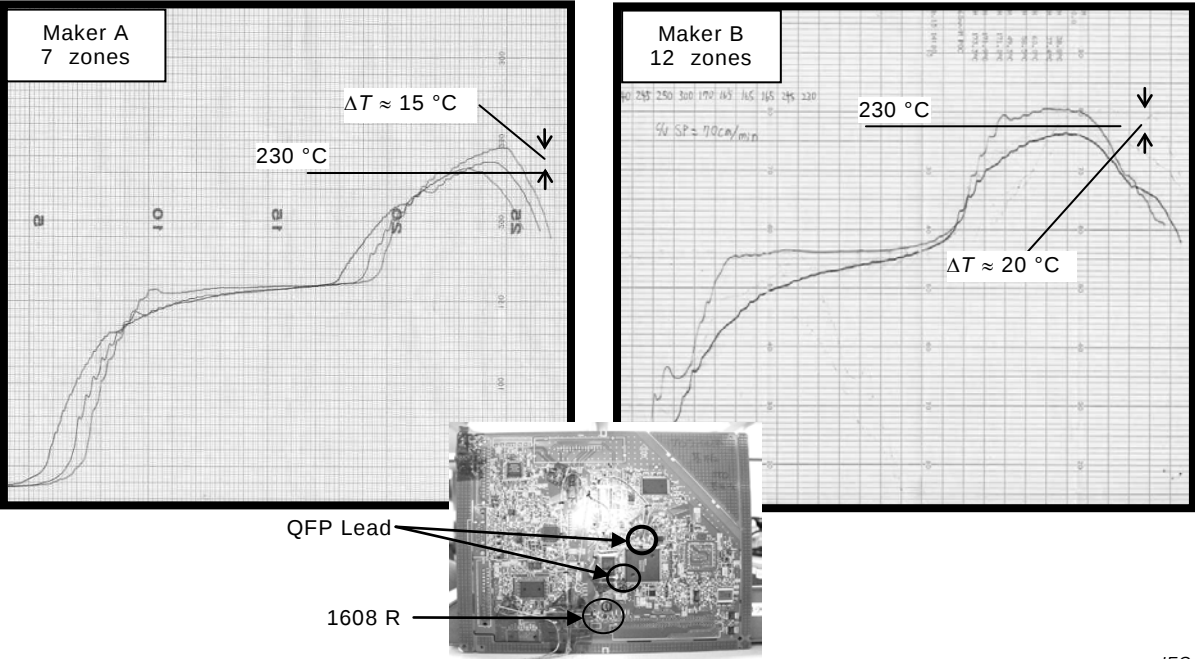
Anglais	Français
40 s at 255 °C	40 s à 255 °C
Coldest solder joint	Joint de brasage le plus froid
20 s at 230 °C	20 s à 230 °C

Figure 5 – Profil de crête de type chapeau avec 40 s à $T_{\text{max}} - 5 \text{ K} = 255 \text{ °C}$ pour les petits dispositifs et le PCB

5.2 Etude du four de refusion dans l'étude B

La Figure 6 présente les profils de température sur des conducteurs de QFP (*Quad Flat Package*) et une résistance CMS (composant monté en surface) de taille 1608 utilisant la même carte mais des fours de refusion différents. Le four de refusion du fabricant B, ayant un plus grand nombre de zones de chauffage que le four du fabricant A présente une plus large étendue de températures ΔT dans le profil de température que le four du fabricant A. Ainsi, l'étendue de températures ΔT ne dépend pas principalement du nombre de zones de chauffage du four de refusion, mais de la conception du four de refusion.

La température de refusion de crête pour les plus petits composants peut varier selon le four de refusion utilisé. D'autre part, les dimensions de la carte et la conception de la carte sont d'autres facteurs ayant une influence sur la température de refusion de crête.



IEC

Légende

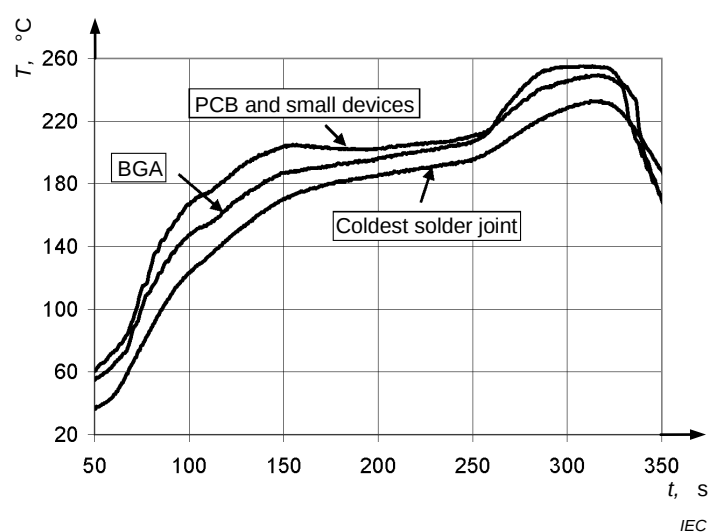
Anglais	Français
Maker A 7 zones	Fabricant A 7 zones
QFP lead	Conducteur QFP
Maker B 12 zones	Fabricant B 12 zones

Figure 6 – ΔT pour différentes caractéristiques du four de refusion

6 Classification

6.1 Classification des dispositifs dans l'étude A

Pour classer les dispositifs à montage en surface à l'état solide non hermétiques en groupes de températures par rapport à la crête de refusion, il convient de tenir compte de la capacité calorifique et de la conductivité thermique. Pour simplifier l'étude, la similitude des composants vis-à-vis de la composition (silicium moulé) est prise en compte et on ne considère que le volume et l'épaisseur du boîtier. A la Figure 7, certaines mesures de température types de composants moulés utilisant la carte d'essai décrite avec un préchauffage par trempage et une crête de brasage par refusion de type chapeau sont représentées. La vitesse de transport était de 850 mm/min et les mesures de température ont été effectuées en haut et au centre des boîtiers. Au total, les profils de température de 19 types de boîtiers moulés caractéristiques et plusieurs dispositifs passifs et électromécaniques ont été mesurés sur un four de refusion à plusieurs zones de chauffage avec convection complète. Entre le joint de brasure le plus froid et le PCB lui-même, on a mesuré une différence de température de 13 K. Les petits composants plastiques tels que les petits connecteurs, commutateurs ou TopLED ont présenté des températures de crête de boîtier encore plus grandes avec une différence de température de 17 K par rapport au joint de brasure le plus froid [3], [4].



NOTE Les tolérances de température sont incluses.

Légende

Anglais	Français
PCB and small devices	PCB et petits dispositifs
Coldest solder joint	Joint de brasage le plus froid

Figure 7 – Mesures de cartes d'essai représentatives

Le Tableau 1 représente les températures mesurées et les températures obtenues après y avoir ajouté les tolérances inférieures et supérieures. Les températures indiquées concernent plusieurs dispositifs moulés caractéristiques avec des températures de crête différentes.

**Tableau 1 – Températures mesurées des dispositifs
et valeurs incluant les tolérances inférieures et supérieures**

Dispositif	Température				
	Valeur mesurée °C	Tolérance inférieure °C	Tolérance inférieure incluse °C	Tolérance supérieure °C	Tolérance supérieure incluse °C
Joint de brasage le plus froid	233,0	3,0	236,0	–	–
Plastic leaded chip carrier PLCC52	234,0	3,0	237,0	6,0	243,0
TO263	239,5	3,0	242,5	5,0	247,5
Ball grid array (BGA) (24 mm x 24 mm)	240,5	3,0	243,5	6,0	249,5
Low-profile quad flat package (LQFP) (14 mm x 14 mm)	243,5	3,0	246,5	6,0	252,5
Small outline transistor (SOT) devices	247,0	3,0	250,0	5,0	255,0
La tolérance supérieure dépend de la position du dispositif sur le PCB. La tolérance inférieure de 3,0 K représente la valeur que doit atteindre la température minimale du joint de brasage en raison des tolérances de mesure et de processus mentionnées.					

Dans ces exemples, la différence de température maximale entre les valeurs réelles mesurées et les valeurs corrigées en tolérance était de 9 K. Ces températures corrigées représentent les températures maximales théoriques possibles du boîtier pour les dispositifs

au cours du brasage par refusion. En se référant aux composants moulés (composants les plus actifs) leur structure interne est très similaire. La capacité calorifique spécifique et la conductibilité thermique ne s'écartent pas de manière significative (grille de connexion métallique ou composé interposeur/silicium/moule). Il est donc possible de créer des classes de température pour la résistance à la chaleur de la soudure en se référant au volume et à l'épaisseur de ces dispositifs moulés. Toutefois, une approche similaire n'est pas réalisable pour la large gamme de composants passifs et électromécaniques. Certains de ces composants (non moulés) ont atteint des températures de crête de 260 °C. De plus, un grand nombre des petits composants moulés sont généralement qualifiés avec un profil de refusion de température de crête de 260 °C. Le groupe de dispositifs à températures supérieures a donc été défini en tant que classe à 260 °C. De plus, une classe à 250 °C pour les grands composants moulés et une classe à 245 °C pour les composants moulés de très grande taille ont été définies. Le Tableau 2 présente une classification en température possible des dispositifs non hermétiques à montage en surface à l'état solide se référant au volume et à l'épaisseur des dispositifs.

Tableau 2 – Classification en température possible des dispositifs à montage en surface

Epaisseur/volume	<350 mm ³	350 mm ³ à 2 000 mm ³	>2 000 mm ³
<1,6 mm	260 (– 0) °C	260 (– 0) °C	260 (– 0) °C
1,6 mm à 2,5 mm	260 (– 0) °C	250 (– 0) °C	250 (– 0) °C
>2,5 mm	260 (– 0) °C	250 (– 0) °C	245 (– 0) °C
NOTE Le volume du boîtier ne comporte pas les bornes externes et les dissipateurs thermiques non intégrés.			

6.2 Classification des cartes dans l'étude B

Entre le joint de brasure le plus froid et le boîtier de composant ou PCB le plus chaud, ΔT s'étend de 1 K pour les petites cartes jusqu'à 9 K pour les cartes de taille moyenne.

La Figure 8 présente les profils de température de la surface du PCB et sous le BGA sur la petite carte. La température maximale sous le BGA est de 229 °C avec 20 s au-dessus de 225 °C et la température maximale du PCB est de 230 °C.

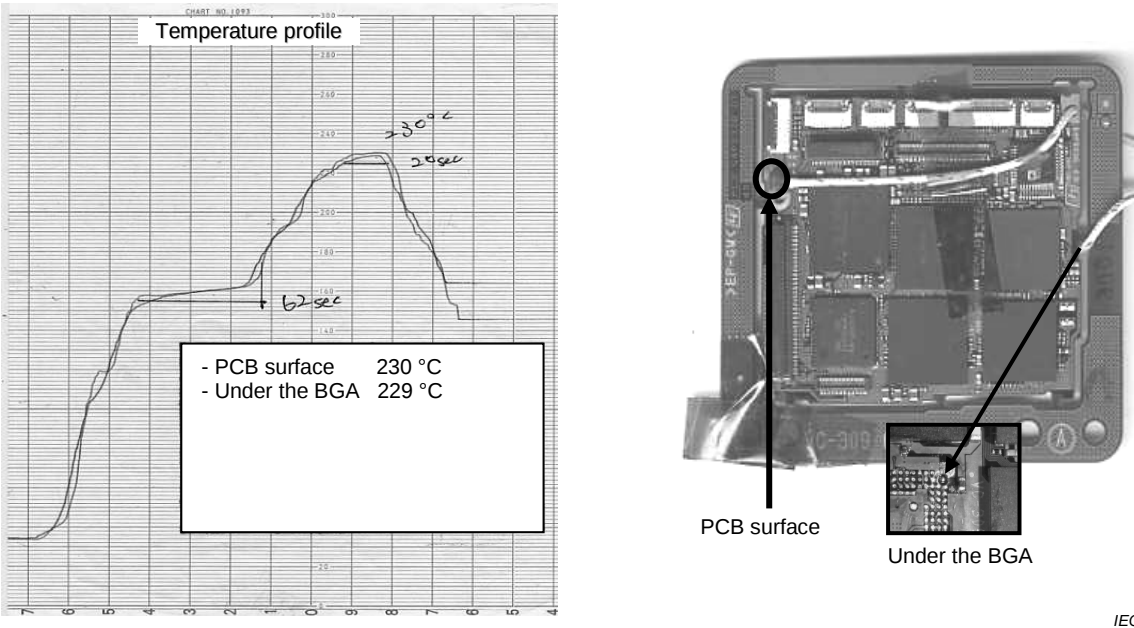
La Figure 9 présente les profils de température de la surface du PCB et sous le BGA sur la carte de taille moyenne. La température maximale sous le BGA est de 228 °C avec 26 s au-dessus de 225 °C et la température maximale du PCB est de 237 °C.

D'après cette étude, on peut faire l'hypothèse suivante sur ΔT entre le joint de brasure le plus froid et le boîtier de composant ou PCB le plus chaud (se référer à la Figure 4);

carte de petite taille (par exemple, appareil de prise de vue numérique, caméscope): 10 K

carte de taille moyenne (par exemple, PC, boîtier décodeur): 15 K

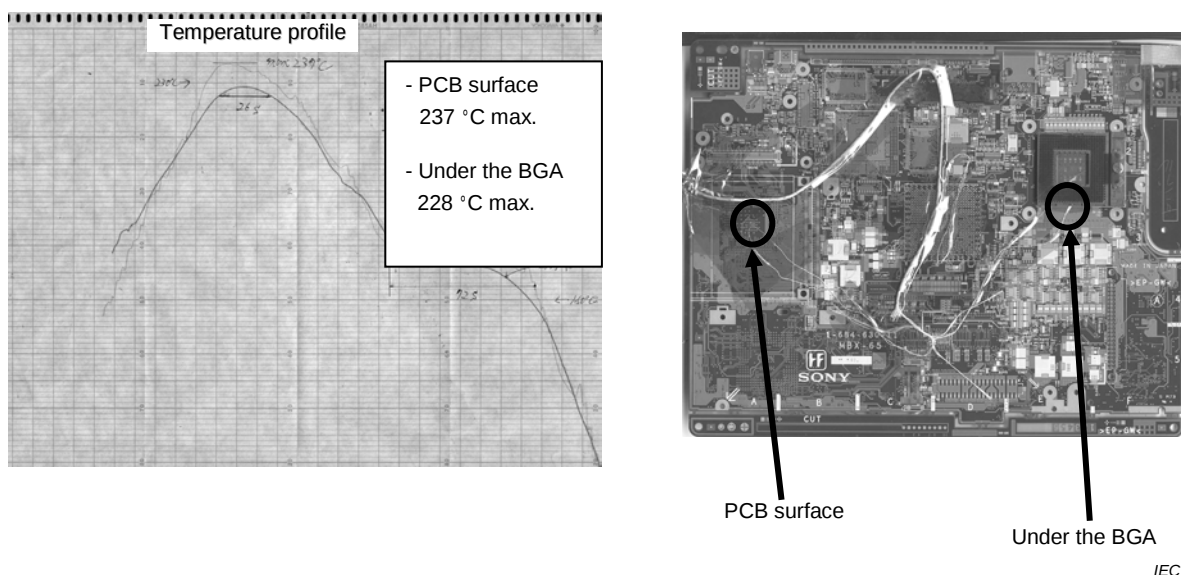
carte de grande taille (par exemple, produit non grand public): 20 K



Légende

Anglais	Français
Temperature profile	Profil de température
– PCB surface 230 °C	– Surface PCB 230 °C
– Under the BGA 229 °C	– Sous le BGA 229 °C
PCB surface	Surface PCB
Under the BGA	Sous le BGA

Figure 8 – Exemple de petite carte (caméscope)



Légende

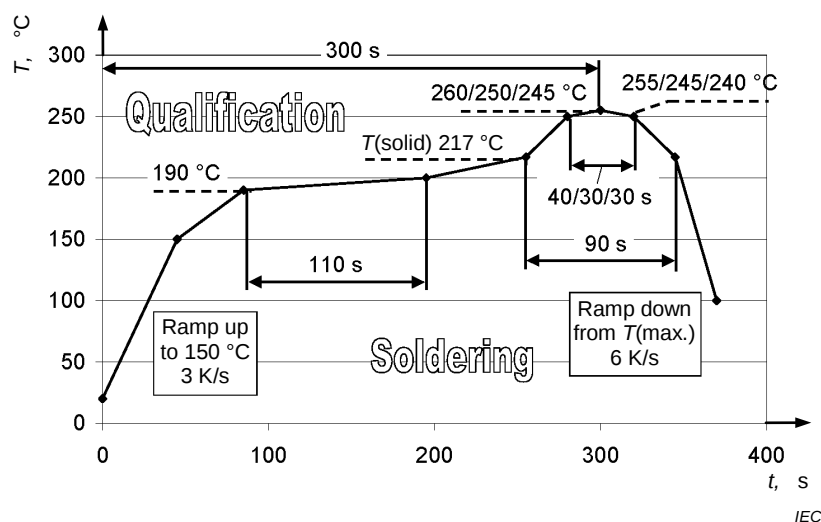
Anglais	Français
Temperature profile	Profil de température
– PCB surface 237 °C max. – Under the BGA 228 °C max.	– Surface PCB 237 °C max. – Sous le BGA 228 °C max.
PCB surface	Surface PCB
Under the BGA	Sous le BGA

Figure 9 – Exemple de carte de taille moyenne (PC)

7 Considérations relatives à un profil de température de refusion sans plomb

7.1 Profil de température de refusion sans plomb déterminé dans l'étude A

Les performances mesurées et les considérations indiquées conduisent à un profil de refusion possible, qui recouvre les exigences décrites de fabrication sans plomb en grande quantité (voir Figure 10). Lorsqu'un composant est qualifié, en utilisant ce profil de refusion, il peut être utilisé dans une large gamme d'unités de commande électronique. Pour évaluer la résistance des composants à la chaleur de la soudure, il convient de soumettre les dispositifs à une simulation de brasage en les soumettant au moins trois fois à ce profil de température. Cela est nécessaire pour garantir la fiabilité du dispositif après plusieurs processus de brasage par refusion. Dans une fabrication en grande quantité, le brasage doit être effectué au-dessous de cette ligne de température limite pour garantir que le dispositif ne subira pas trop de contraintes au cours du processus de refusion. Le profil de refusion proposé peut donc faciliter la définition des limites entre les fournisseurs de dispositifs et les assembleurs de dispositifs. La Figure 10 présente un profil de température de refusion sans plomb pour la qualification des composants en ce qui concerne la résistance à la chaleur de la soudure.



NOTE Le profil de température n'est pas à l'échelle

Légende

Anglais	Français
Qualification	Qualification
T (solid) 217 °C	T (solide) 217 °C
Ramp up to 150 °C 3 K/s	Montée jusqu'à 150 °C à 3 K/s
Soldering	Brasage
Ramp down from T (max.) 6 K/s	Descente depuis T max. à 6 K/s

Figure 10 – Profil de température de refusion sans plomb pour la qualification des composants

Le Tableau 3 présente les exigences proposées pour un profil de température de refusion de qualification d'un dispositif sans plomb, en chiffres.

Tableau 3 – Exigences proposées pour un profil de température de refusion

Caractéristiques du profil	Petits dispositifs	Grands	Très grands
Préchauffage			
Vitesse de montée jusqu'à 150 °C	3 K/s (valeur moyenne pendant 10 s)		
Temps de 190 °C à 200 °C	Min. 110 s		
Crête			
Vitesse de montée de 200 °C à T_{peak}	0,5 K/s à 3 K/s (valeur moyenne pendant 10 s)		
Temps au-dessus de $T_{solidus}$ (min. 217 °C)	Min. 90 s		
Température de crête T_{peak}	260 (-0) °C	250 (-0) °C	245 (-0) °C
Temps au-dessus de $T_{peak} - 5$ K	Min. 40 s	Min. 30 s	Min. 30 s
Refroidissement			
Vitesse de descente depuis $T_{solidus}$ (min. 217 °C)	Jusqu'à 6 K/s (valeur moyenne pendant 10 s), dépend du dispositif		
Généralités			
Temps 25 °C à T_{peak}	Min. 300 s		

7.2 Approche du profil de température de refusion sans plomb dans l'étude B

La température maximale du corps du boîtier pendant le processus de refusion dépend non seulement du volume et de l'épaisseur mais elle dépend également de la construction, des matériaux utilisés et d'autres facteurs. Les conditions de l'essai de résistance à la chaleur de la soudure pour un brasage par refusion utilisant du SnAgCu, comme décrit dans l'IEC 60068-2-58 [5], couvrent la majorité des dispositifs électroniques grand public, en supposant que les composants sont montés sur une carte de grande taille ($\Delta T = 20$ K).

8 Conclusion

Un processus de brasage sans plomb utilisant de la pâte à braser au SnAgCu a été élaboré en se fondant sur les mesures effectuées sur des fours de technologie actuelle. Le profil de température sans plomb déterminé couvre les exigences d'un ensemble de fabrication en grande quantité vis-à-vis de la résistance à la chaleur de la soudure. Les dispositifs moulés (à l'état solide, non hermétiques) peuvent être divisés en trois classes de température maximale de 260 °C, 250 °C et 245 °C (la classification des composants passifs et électromécaniques n'est pas encore été atteinte). Pour les applications d'ECU dans le domaine de l'automobile comme indiqué dans l'étude A, il convient de considérer tous les dispositifs passifs et électromécaniques comme des éléments de la classe à 260 °C tant que des mesures complémentaires des éléments individuels n'ont pas été effectuées. En utilisant ce processus, la plupart des unités de commande électronique peuvent être brasées en conformité avec les exigences de capacité du processus. Pour diminuer la température de pic en dessous de 260 °C, une évaluation complémentaire est nécessaire. Des améliorations de la technologie des fours peuvent diminuer les tolérances dépendant de la position et les tolérances de fabrication en grande quantité (en particulier, la stabilité à long terme et l'étendue longitudinale des températures sur la carte).

Bibliographie

- [1] MOON, BÖTTINGER, KATTNER, BIANCANIELLO, HANDWERKER: "Experimental and Thermodynamic Assessment of Sn-Ag-Cu solder alloys", J. Electr. Mat., Vol. 29, No. 10 (2000), pp. 1122-1135
 - [2] NIMMO, Kay: "Second European Lead-Free Soldering Technology Roadmap", soldertec, Feb. 2003
 - [3] KIRCHNER, KLEIN, BEINTNER, BRAUER, HOLZ, FEUFEL: "The Development of a Qualification Temperature Profile for Lead-free Reflow Soldering", Proceedings of 5th IPC JEDEC Lead-free Conference San Jose, Mar. 2004
 - [4] GÖRTLER, ZETTNER, SCHOTTENLOHER, KIRCHNER, KLEIN: "Reaction of Passive and Active Electronic Components on the Heat Impact During Lead-free Reflow Soldering", Proceedings of the 7th IPC JEDEC International Lead-free Conference, Frankfurt, Oct. 2004
 - [5] IEC 60068-2-58, *Essais d'environnement – Partie 2-58: Essais – Essais Td: Méthodes d'essai de la soudabilité, résistance de la métallisation à la dissolution et résistance à la chaleur de brasage des composants pour montage en surface (CMS)*
 - [6] IEC 60584-2, *Couples thermoélectriques – Partie 2: Tolérances*
-

INTERNATIONAL
ELECTROTECHNICAL
COMMISSION

3, rue de Varembé
PO Box 131
CH-1211 Geneva 20
Switzerland

Tel: + 41 22 919 02 11
Fax: + 41 22 919 03 00
info@iec.ch
www.iec.ch