

doi:10.3969/j.issn.1007-7545.2021.05.018

# 废旧手机线路板上芯片无损拆解过程研究

段琪昱<sup>1,2</sup>,张承龙<sup>1,2</sup>,王瑞雪<sup>1,2</sup>,马恩<sup>1,2</sup>,黄庆<sup>1,2</sup>,王景伟<sup>1,2</sup>,符永高<sup>3</sup>,邓梅玲<sup>3</sup>

- (1. 上海第二工业大学 电子废弃物研究中心,上海 201209;
- 2. 上海电子废弃物资源化协同创新中心,上海 201209;
- 3. 中国电器科学研究院股份有限公司,广州 510663)

**摘要:**为了更高效地回收手机芯片,对手机线路板拆解过程进行优化试验。拆解线路板选择空气热对流和热传导两种加热方式。通过试验分析了升温速率、保温时间和预热阶段温度对拆解过程和拆解芯片完整性的影响,确定 3 ℃/s 的升温速率、预热 170 ℃保温 90 s 的拆解效果更好。不同封装方式的芯片在拆解时的温度条件也有细微差异。

**关键词:**线路板;无损拆解;芯片

**中图分类号:**X76      **文献标志码:**A      **文章编号:**1007-7545(2021)05-0112-09

## Research on Nondestructive Disassembly Process of Chips on Printed Circuit Boards of Waste Mobile Phones

DUAN Qi-yu<sup>1,2</sup>, ZHAGN Cheng-long<sup>1,2</sup>, WANG Rui-xue<sup>1,2</sup>, MA En<sup>1,2</sup>, HUANG Qing<sup>1,2</sup>, WANG Jing-wei<sup>1,2</sup>, FU Yong-gao<sup>3</sup>, DENG Mei-ling<sup>3</sup>

- (1. WEEE Research Centre of Shanghai Polytechnic University, Shanghai 201209, China;
- 2. Shanghai Collaborative Innovation Centre for WEEE Recycling, Shanghai 201209, China;
- 3. China National Electric Apparatus Research Institute, Guangzhou 510663, China)

**Abstract:** In order to recycle mobile phone chips more efficiently, optimization experiments were carried out on disassembly process of mobile phone printed circuit boards. Two heating methods of air heat convection and heat conduction were chosen to disassemble printed circuit board. Effects of heating rate, holding time and preheating temperature on disassembly process and integrity of disassembled chip were analyzed through experiments. It is determined that heating rate of 3 ℃/s and preheating at 170 ℃ for 90 s have better dismantling effects. There are also slight differences in temperature conditions when disassembling chips with different packaging methods.

**Key words:** printed circuit board; nondestructive disassembly; chip

目前,手机更新换代的速度与日俱增,废弃手机数量也是十分庞大,印刷线路板(Printed Circuit Board,PCB)是废旧手机的核心组件之一,虽然只占

电子废弃物总重量的 3%,却是废旧手机弃中最难处理的部分,且含有 Pb、Cr<sup>6+</sup>等多种有毒有害物质,属于危险废物,处理不当将造成严重的环境污染<sup>[1]</sup>。

**收稿日期:**2020-12-09

**基金项目:**国家重点研发计划项目(2018YFC1902303);上海市高原学科一环境科学与工程(资源循环科学与工程)资助项目;上海第二工业大学研究生项目(EGD19YJ0057);上海第二工业大学校重点学科建设项目(XXXKZD1602)

**作者简介:**段琪昱(1996-),女,黑龙江伊春人,硕士研究生;**通信作者:**张承龙(1975-),男,江苏昆山人,博士,教授

目前已有的废旧 PCB 资源化技术主要为酸洗法、冶炼法、热解法、微生物法、机械法等。通过这些方法可以回收 PCB 中的铜、金、银等含量较高的金属<sup>[2]</sup>,但易造成二次污染问题。PCB 上的芯片由于量大、寿命长、重用价值高等原因,其资源化技术一直都是研究的热点<sup>[1-3]</sup>,其寿命可长达 20 a,更有一些芯片几乎没有寿命极限,规范回收的芯片合格率(98%)甚至高于生产的新芯片(95%)<sup>[4]</sup>,对 PCB 中芯片进行拆解、分类回收和再利用,可以实现经济效益最大化。回收芯片的再利用和再制造是循环经济的重要组成部分,废弃手机 PCB 上的芯片经过拆解、清理,再通过可靠检测后重新使用<sup>[5]</sup>。而拆解作为第一环节,直接影响芯片回收再利用的加工效率和旧件利用率,因此在芯片回收再利用过程中高效的无损拆解工艺是保证回收芯片合格率、降低再制造成本、提高再制造环保效益的重要环节<sup>[6-7]</sup>。

芯片按功能分类有 CPU、ROM、电源芯片等,按封装方式可分为球栅阵列封装芯片(Ball Grid Array Package, BGA)和栅格阵列封装芯片(Land Grid Array, LGA)等。智能手机中的 CPU、存储器、DSP 电路、音频电路都是 BGA 封装的集成电路<sup>[8-9]</sup>,射频芯片和基带芯片即是 LGA 封装。BGA 连接的引脚以圆形或者柱状焊点按阵列形式分布在封装体下<sup>[9]</sup>。与 BGA 不同的是,LGA 封装器件在封装体的底部只有金属端子或焊盘<sup>[10]</sup>,没有焊球,主要是金属触点式封装。

芯片与基板是通过焊料连接起来的,拆卸芯片的关键技术就是熔化焊料,消除或降低芯片与 PCB 之间的黏接力<sup>[11]</sup>。为了便于芯片的再利用,拆解过程一般应注意:1)PCB 和芯片的温度和升温速率尽量保持一致或相近,避免升温时温度差使芯片在拆

解过程中变形;2)去除 PCB 的湿气,避免在加热过程中因存在湿气导致芯片内部结构的损伤。本文考察了不同加热方式、升温速率、保温时间、预热温度等对芯片无损拆解的影响,并比较了 BGA 和 LGA 两种封装方式芯片的拆解条件,以期为进一步完善芯片的无损拆解工艺提供借鉴。

## 1 试验设备

本研究通过两种加热方法进行拆解试验。一种方法是空气热对流加热,优点是成本低廉,加热速度较快,利于均匀加热,易于实现拆解自动化,可用于单个元器件或 PCB 整体加热;另一种方法是热传导加热,其优点是加热速度快,解焊时间短,适合于 PCB 整体加热<sup>[12]</sup>。拆解过程中首先要将 PCB 上的屏蔽罩拆除,确保在拆解过程中芯片的外部不被破坏,同时保障芯片升温效率。

### 1.1 空气热对流加热设备及操作

加热所用仪器是 BGM 返修台(图 1),可以分阶段调节温度。首先将待拆解的手机 PCB 固定在仪器受热区域。并将测温探头固定在待拆的目标芯片表面,把上下出风口位置对准芯片的表面和对应反面位置,使芯片和其基板位置同时升温加热,提高焊料的升温速度,避免加热拆解过程中芯片内部产生温度差而造成破坏。

对 PCB 上下同时吹热风,可以对目标芯片进行有针对性的加热,并且设置分阶段升温以确保在加热拆解过程中芯片性能尽量不受到高温冲击的影响。

持续加热一段时间后,用小镊子轻轻平推芯片,若焊点完全熔融则可以将芯片取下;若无法推动芯片则继续加热,随时注意芯片状态。

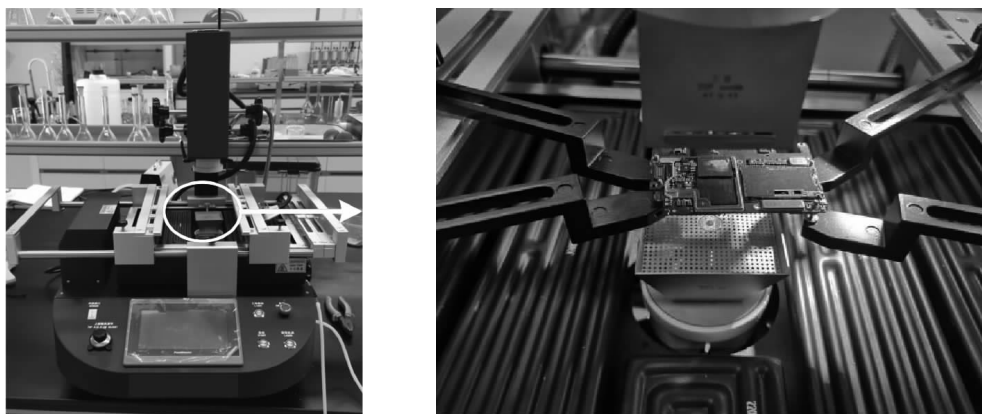


图 1 空气热对流加热设备图

Fig. 1 Air convection heating equipment diagram

### 1.2 热传导加热设备及操作

使用熔锡炉作为加热源,将焊锡融化在熔锡炉内(图2),用导热布作为PCB与熔融焊锡的阻隔,避免拆解下的芯片被焊锡污染而无法回收。通过熔锡炉隔着导热布对整块PCB进行整体加热。加热后将PCB上的屏蔽罩清除,根据实际情况,对拆除屏蔽罩的PCB进行再次加热以使焊点熔融后拆除芯片。

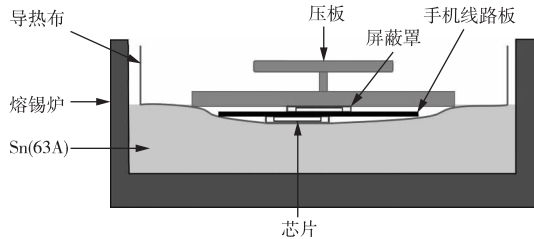


图2 无铅焊锡炉加热示意图  
Fig. 2 Heating diagram of lead-free soldering furnace

## 2 试验结果与讨论

鉴于芯片特性,对手机PCB进行分阶段升温,首先是预热阶段,使PCB整体升温预热,去除湿气避免芯片内部出现较大温差。再进行提温阶段升温,使PCB整体温度提升并拆除屏蔽罩,拆除后不仅方便后续芯片的拆解,且利于PCB上不同材料的分类回收。后续的升温阶段可以按照不同芯片的拆解温度设定初拆解阶段和针对性拆解阶段。

### 2.1 空气热对流法温度设定

熔化芯片上焊球是拆解芯片的关键。试验通过对PCB加热进而使焊球熔化来拆除芯片。根据实际拆解试验和调研发现,拆解过程中升温速率、预热温度、保温时间等因素对智能手机PCB的无损拆解

存在一定影响。

此外,根据芯片对湿气敏感和与PCB热匹配性好的特征,设置拆解过程的预热阶段和提温阶段。PCB上芯片大小和材质不同,且焊点数量和大小都略有差异,所以设置初步拆解阶段和针对性拆解阶段,分别适于小尺寸和大尺寸芯片的拆解。因此,本试验设置4个升温阶段拆解PCB,不同升温阶段和各阶段的保温时间见表1。

表1 拆解温度及保温时间设定表  
Table 1 Dismantling temperature and holding time setting table

阶段	上部加热 温度/°C	上部保温 时间/s	下部加热 温度/°C	下部保温 时间/s
预热阶段	170	90	170	90
提温阶段	230	60	230	30
初步拆解阶段	240	60	240	60
针对性拆解阶段	245	60	245	60

#### 2.1.1 升温速率的影响

进行不同升温速率(1、2、3 °C/s)的升温拆解试验。不同升温速率拆解过程的芯片温度如图3所示,拆解下的芯片见图4。由图3可知,PCB上芯片升温速率随出风口升温速率增大而提升。其中,1 °C/s时芯片升温稳定但缓慢,从20 °C升温到233 °C需要405 s,此时芯片可被拆解,但是芯片上焊点大部分完整且残留铜箔(见图4),拆解的芯片完整但拆解过程较为费力。2 °C/s时芯片从25 °C升温到235 °C需要310 s,此时可被拆解,拆解下的芯片残留一半的完整焊点且芯片平整完好。3 °C/s时芯片升温快速,拆解时间大大缩短,芯片从26 °C升温到233 °C需要294 s,此时拆解下的芯片完好且仅残留焊点少。

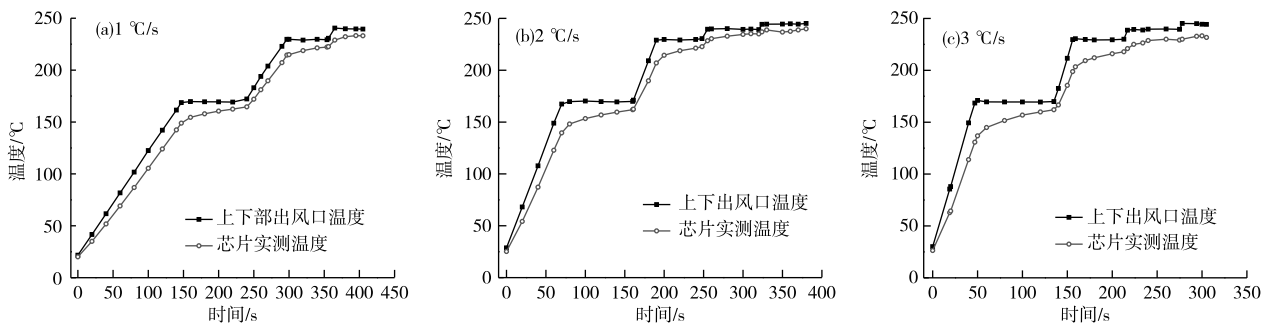


图3 不同升温速率下出风口及芯片实测的温度变化图

Fig. 3 Temperature change of air outlet and chip measured under different heating rate

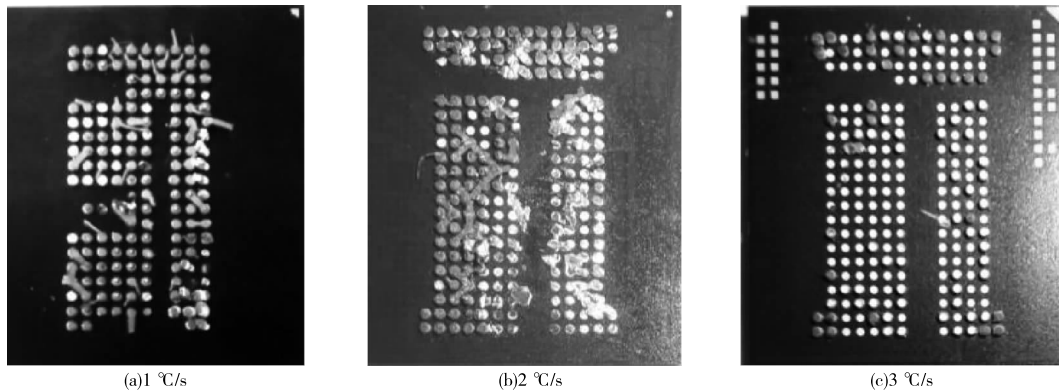


图4 不同升温速率下拆解的芯片

Fig. 4 Chips disassembled at different heating rate

综上所述,在不同升温速率条件下芯片均可完成拆解,当升温速率选用3 °C/s时,不仅缩短芯片的升温及拆解时间,而且拆解下的芯片最为完整,无损拆解效率较好。

2.1.2 预热阶段保温时间的影响

将上下出风口的升温速率均设置为3 °C/s。进行预热阶段不同保温时间(30、60、90 s)的升温拆解试验。不同保温时间温度设置如表2所示,拆解试验的升温过程和拆解下的芯片如图5~6所示。

由图5可看出,当预热阶段的保温时间越长,芯片表面温度越接近设定温度,芯片表面温度整

体提升后,达到拆解温度所需时间缩短。此外,PCB的受热温度越高则挥发的有毒有害物质种类越多、浓度越高<sup>[13]</sup>,所以为避免或者减少拆解过程中产生的有毒有害物质,拆解时应尽量选择缩短PCB在高温区域的保温时间,提高拆解过程的安全性。

由图6可以看出,预热阶段保温时间为30 s时整体拆解时间短,但是芯片已经有轻微损伤,不利于再利用,随着预热阶段保温时间延长,拆解效果更好,所以在预热阶段保温时间选择90 s,以利于实现芯片的无损拆解。

表2 不同保温时间温度设置表

Table 2 Temperature setting table for different holding time

阶段	上部加热温度/°C	上部保温时间/s	上部升温速率/(°C·s <sup>-1</sup> )	下部加热温度/°C	下部保温时间/s	下部升温速率/(°C·s <sup>-1</sup> )
预热阶段	水平1	30	3	170	30	3
	水平2	60			60	
	水平3	90			90	
提温阶段	230	60		230	60	
初步拆解阶段	240	60		240	60	
针对性拆解阶段	245	60		245	60	

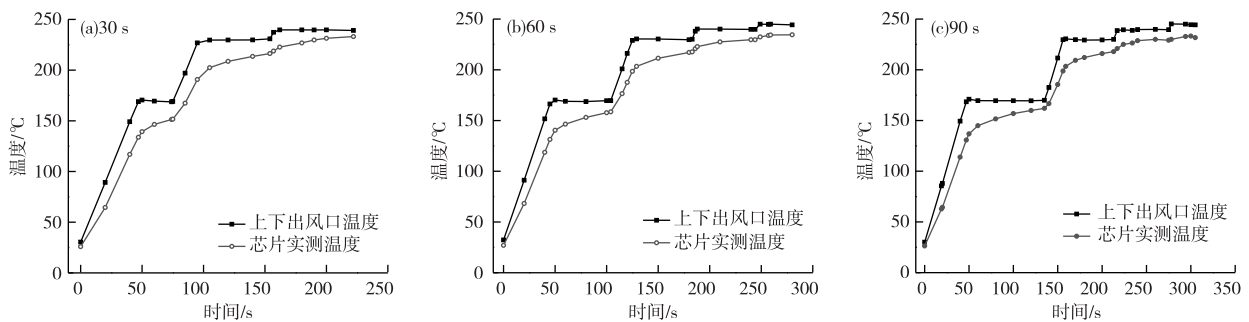


图5 不同保温时间条件下出风口及芯片表面的温度变化图

Fig. 5 Temperature change diagram of air outlet and surface of chip under different heat preservation

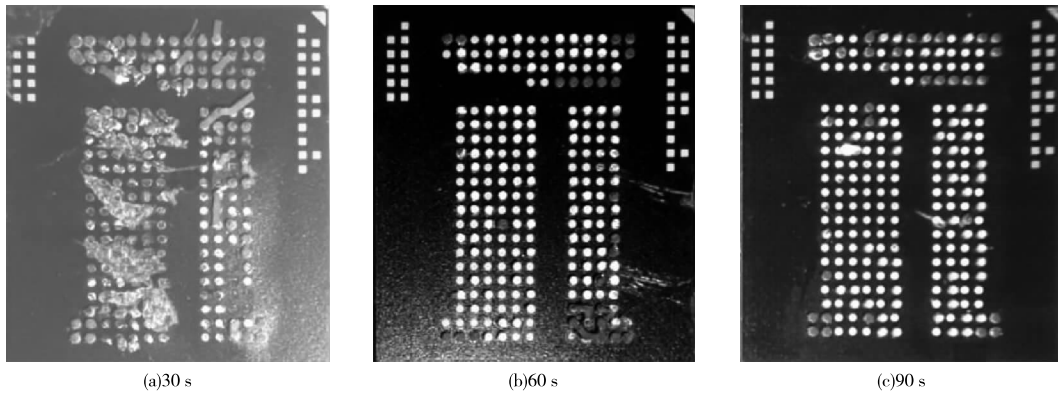


图6 不同保温时间条件下拆解的芯片

Fig. 6 Chips disassembled under different heat preservation

2.1.3 预热温度的影响

将上下出风口的升温速率均设置为 3 °C/s。进行预热阶段不同温度(150、170 和 190 °C)的升温拆解试验,预热阶段不同温度设置如表 3 所示,拆解试验的升温过程和拆解下的芯片如图 7~8 所示。可以看出,预热阶段温度为 150 °C 时,芯片达到 234.8 °C 可拆解,拆解总时间为 309 s,拆解下的芯片完好无

损残留少量焊点;170 °C 时,芯片达到 232.8 °C 可拆解,拆解总时间为 294 s,拆解芯片平整完好仅残留极少焊点;190 °C 时,芯片达到 233.7 °C 可以拆解下来,拆解总时间为 315 s,拆解芯片基本无焊点残留。在 190 °C 时,芯片状态最佳,但是在 170 °C 时,拆解时间和拆解温度最低,所以预热阶段温度选择 170 °C。

表3 预热阶段不同温度设置表

Table 3 Table of different temperature settings during warm-up stage

阶段	上部加热 温度/°C	上部保温 时间/s	上部升温速率/ (°C · s <sup>-1</sup> )	下部加热 温度/°C	下部保温 时间/s	下部升温速率/ (°C · s <sup>-1</sup> )
预热阶段	水平 1	150	3	150	60	3
	水平 2	170		170		
	水平 3	190		190		
提温阶段	230	60		230	60	
初步拆解阶段	240	60		240	60	
针对性拆解阶段	245	60		245	60	

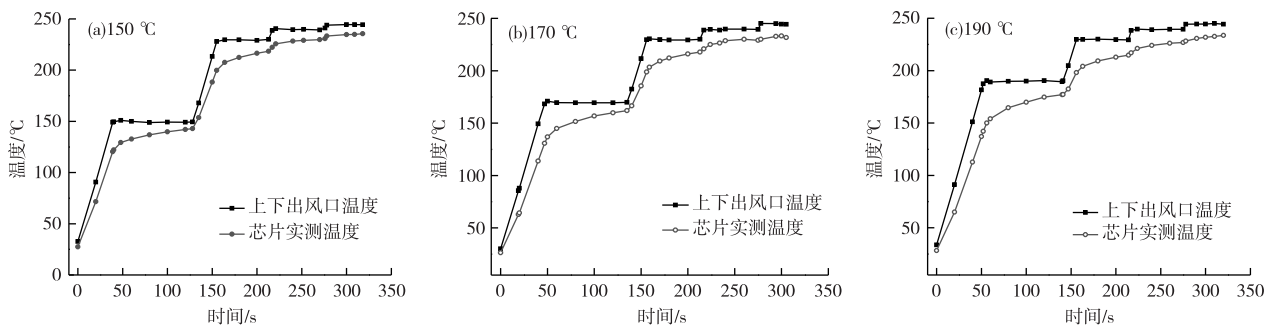


图7 不同预热温度条件下出风口及芯片表面的温度变化图

Fig. 7 Temperature change diagram of air outlet and chip surface under different preheating temperature

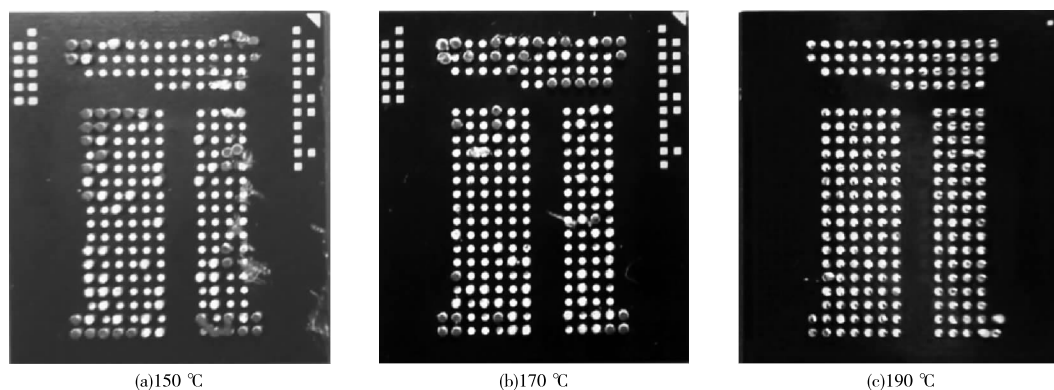


图8 不同预热温度条件下拆解的芯片

Fig. 8 Chips disassembled under different preheating temperature

#### 2.1.4 芯片的升温速率

对加热拆解时芯片的温度进行记录,可以看到,芯片不同的升温阶段其升温速率有所差异(表4)。由表4可以看出芯片实际升温趋势,在预热和提温阶段的升温过程中,芯片在升温段升温速率较高,可以较快提升芯片温度。在保温段芯片虽然升温速率慢但也在保持稳定升温。在初步拆解和针对性拆解阶段的升温过程中,芯片的升温速率明显变慢,且在保温段升温也较为缓慢。

根据试验结果,可以继续优化拆解温度曲线,增加在预热和提温阶段的升温时间和保温时间,保证芯片的高效升温,精确初步拆解和针对性拆解阶段的峰值温度,以达到芯片焊点的熔融温度,便于芯片的完整拆解。

表4 不同升温阶段芯片的实际升温速率

Table 4 Actual heating rate of chips in different heating stages

阶段	芯片实际升温速率/( $^{\circ}\text{C} \cdot \text{s}^{-1}$ )	
预热阶段	升温段	1.89~2.65
	保温段	0.12~0.84
提温阶段	升温段	1.06~2.13
	保温段	0.13~0.34
初步拆解阶段	升温段	0.21~1.06
	保温段	0.02~0.07
针对性拆解阶段	升温段	0.18~0.57
	保温段	0.05~0.21

## 2.2 对比 BGA 和 LGA 芯片的拆解温度和保温时间

根据选取的升温条件对手机 PCB 进行拆解试验,并记录拆解时的拆解温度、保温时间以及芯片的大小和型号,总结出手机主要芯片的拆解温度和保温时间范围。表5列出了不同尺寸范围手机

芯片的拆解温度。图9展示了部分拆解下的手机芯片。

表5 不同芯片的拆解温度及停留时间

Table 5 Disassembly temperature and residence timetable of different chips

芯片种类	连接方式	芯片尺寸范围/ mm	拆解时芯片	
			实测温度范围/ $^{\circ}\text{C}$	停留时间/s
CPU	BGA	13×13~15×15	223~235	20~90
ROM	BGA	11×13	215~222	50~60
基带芯片 射频芯片	LGA	4×6~5.5×5.5	200~215	30~50

根据表5可知,智能手机 PCB 上 BGA 芯片的面积和拆解温度一般大于 LGA 芯片。根据图9得知 BGA 芯片的厚度和焊点数量明显大于 LGA 芯片。

芯片厚度越大,热量传导到焊点的过程越慢。且芯片面积越大,焊点越多,加热至焊点熔融状态所需热量也越高。则在拆解 BGA 封装芯片时,需要加热比 LGA 芯片更高的温度才能使焊点达到熔融状态,进而拆下芯片。根据焊点熔融状态时的流体力学分析<sup>[14]</sup>,可知,拆解时水平力与芯片的焊点数量、高度、面积等呈正相关,即拆解 BGA 芯片的拆解力和需要的能量均大于 LGA 芯片。

表5中所有拆解芯片均是安卓手机 PCB 上仅以焊料连接的芯片,不含黏结胶。在拆解流程中可以优先拆解小型基带芯片和射频芯片,再对 ROM 进行拆解,最后拆解 CPU。

当选定好目标芯片时,也可以对照不同芯片的拆解温度及停留时间要求进行温度曲线的设定,对目标芯片进行针对性拆解回收。

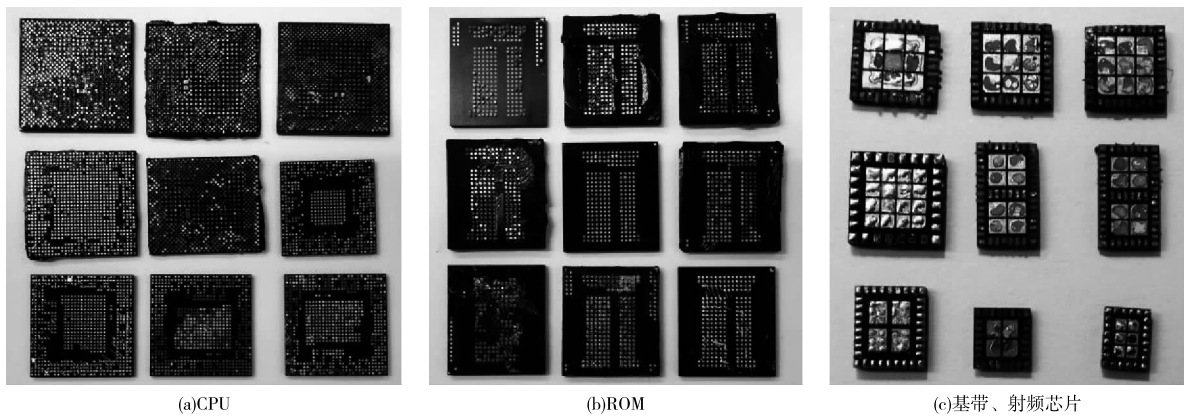


图9 部分拆解的手机芯片

Fig.9 Partially disassembled mobile phone chip

2.3 无铅焊锡炉温度设定及试验结果

设置两组无铅焊锡炉拆解试验,一组将手机PCB 直接无铅焊锡炉的导热布上进行加热,另一组是增加压板进行保温加热。对 PCB 持续加热后,再对手机芯片进行同步拆解。

第一组试验设置了 250 和 260 °C 两个温度,将 PCB 放置炉内,在峰值温度的不同停留时间对照 PCB 的拆解情况,结果如表 6 所示。对照结果显示,将 PCB 放置无铅焊锡炉内加热时,PCB 升温情况不佳,很难升温到设定温度,且 PCB 无法保温,不能达到将焊点加热融化的目的,芯片和屏蔽罩均难以拆解。

第二组试验设置了 245、250 和 260 °C 三个温度,对照不同停留时间 PCB 拆解情况,结果如表 7 所示,焊锡炉加热拆解的 PCB 如图 10 所示。

根据表 7 可知,加了压板后的加热过程有明显的保温效果,可以使 PCB 保持稳定的升温速度,并使焊点熔融进而拆解芯片。在温度设置在 245 °C

时,PCB 升温到稳定温度后很难继续升温,进而难以达到可拆解的温度范围,拆解难度较大,不利于实现高效拆解。设定温度在 250~260 °C 时,持续加热几分钟,就可以将 PCB 上的屏蔽罩、小芯片、元件和大芯片逐步拆解下来。使用焊锡炉对 PCB 进行拆解的拆解温度较高,PCB 超过 250 °C 持续加热 2~10 min 后会产生苯、甲苯、乙苯、对、间二甲苯、苯乙烯、邻二甲苯、萘等有害物质<sup>[13]</sup>,因此焊锡炉加热方法不利于实现高效绿色的芯片无损拆解工艺。

在拆解过程中,PCB 与导热布和压板的接触面存在差异也会对拆解情况有所影响。在拆解过程中,把压板拿开对 PCB 进行拆解时,PCB 的温度迅速下降,也会对拆解产生影响。使用此方法进行升温拆解的优点是拆下的芯片较为完整且数量较多,缺点是无法稳定控制温度、拆解芯片没有针对性不便回收、拆解过程中混入其他元器件等。

表 6 无压板无铅焊锡炉加热拆解线路板拆解情况对照表  
Table 6 Comparison table of circuit board dismantling by heating and dismantling of lead-free soldering furnace

试验序号	设定温度/°C	停留时间/min	线路板实际温度/°C	拆解情况
1	250	2	212	无法拆除芯片
2		4	218	无法拆除芯片
3		6	218	无法拆除芯片
4	260	2	216	无法拆除芯片
5		3	220	无法拆除芯片
6		4	223	无法拆除芯片
7		5	225	仅可拆除屏蔽罩,且拆解效果不佳
8		6	225	仅可拆除屏蔽罩

表7 有压板无铅焊锡炉加热拆解线路板拆解情况对照表

Table 7 Comparison table of dismantling situation of circuit board dismantling by heating and dismantling of lead-free soldering furnace with pressure plate

试验序号	设定温度/℃	停留时间/min	线路板实际温度/℃	拆解情况
1	245	4	218	不易拆除屏蔽罩
2		6	220	可快速拆除屏蔽罩
3		8	226	可快速拆除屏蔽罩
4		10	229	可快速拆除屏蔽罩
5	250	4	220	可以取下取下屏蔽罩
6		6	232	可快速拆除屏蔽罩,同时拆除部分小芯片
7		8	243	可以完整拆下大部分芯片
8		10	245	全部芯片均可快速拆除
9	260	4	225	可快速拆除屏蔽罩,同时拆除部分小芯片
10		5	235	可以拆除大部分芯片
11		6	245	可以完整拆除大部分芯片
12		7	250	全部芯片均可快速拆除

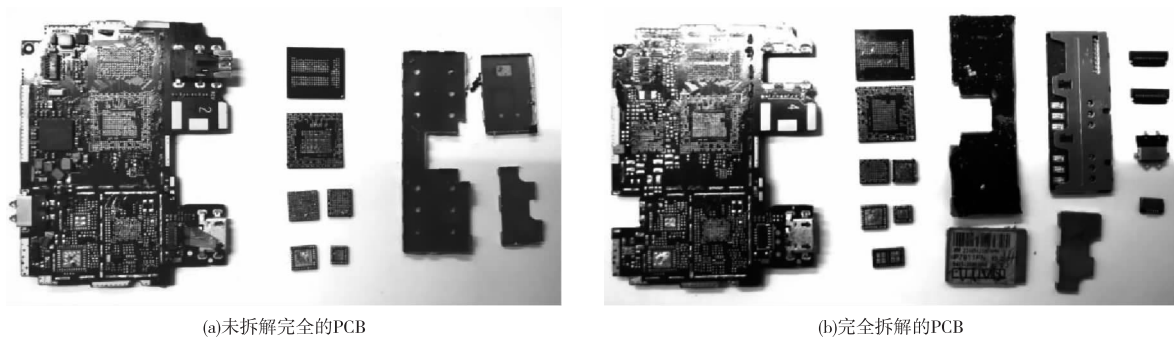


图10 焊锡炉加热拆解的PCB

Fig. 10 PCB disassembled by soldering furnace under heating

#### 2.4 不同加热方式拆解过程

对照拆解 PCB 时的两种加热方式,可以清楚地得出其不同及优缺点。空气热对流法加热过程稳定可控,加热速度快,PCB 升温速率稳定且几乎不受其他条件影响,设定温度与 PCB 实际温度的温差不大,且能保证在整个拆解过程中 PCB 温度稳定。

热传导加热法可以保证拆解芯片和元器件的完整性,但是保温条件受限,拆解过程可能会造成 PCB 和芯片产生较大温度浮动,此方法适用于拆解对温度浮动没有严格要求的元器件或芯片。大量元器件同时拆解也可以应用此加热方法。

### 3 结论

1)在采用空气热对流的加热方式对 PCB 进行加热拆解时,设置 4 个升温阶段,有利于去除芯片中的湿气,同时还可以保证 PCB 整体升温,避免了后续加热对芯片内部造成损伤。并且针对不同芯片设置的升温阶段也有利于芯片的针对性拆解和无损拆解,提高回收芯片的可再利用性能。

2)空气热对流加热拆解过程中升温速率、预热阶段温度和保温时间都会影响芯片的实际温度和升温速率,芯片在预热阶段和提温阶段升温效率更高,预热阶段温度对拆解效率影响不大但是拆解下的芯片完整性略有差异。预热阶段保温时间越长拆解芯片越完整。

3)智能手机 PCB 上两种封装方式(BGA 和 LGA)的芯片拆解温度和时间有所不同。BGA 芯片的面积一般大于 LGA 芯片面积,且拆解 BGA 芯片时的实测温度(215~235 ℃)比 LGA 芯片的实测温度(200~215 ℃)略高。

4)热传导法更适用于 PCB 整体拆解或者元器件的同步拆解,但是拆解过程的保温效果不稳定,易造成芯片温度的大幅下降,容易在升温过程中造成芯片内部损伤。不利于保障回收芯片的合格率及再利用。

#### 参考文献

[1] 向东,张永凯,李冬,等.面向元器件重用的废弃线路板

- 拆解关键技术[J]. 机械工程学报, 2013, 49(13): 164-173.
- XIANG D, ZHANG Y K, LI D, et al. Key technology of disassembling waste printed circuit board assembly for components reuse [J]. Journal of Mechanical Engineering, 2013, 49(13): 164-173.
- [2] LEE J Y, KIM Y J, LEE J C. Disassembly and physical separation of electric/electronic components layered in printed circuit boards(PCB)[J]. Journal of Hazardous Materials, 2012, 241-242: 387-394.
- [3] 王顺顺. 利用机械处理技术回收废旧印刷电路板的研究[J]. 内燃机与配件, 2017(16): 125-126.
- WANG S S. Study on recycling waste printed circuit boards with mechanical processing technology [J]. Internal Combustion Engine & Parts, 2017(16): 125-126.
- [4] 郭秀盈, 向东, 段广洪, 等. 拆解芯片的可重用性研究[J]. 微电子学, 2009, 39(5): 714-717.
- GUO X Y, XIANG D, DUAN G H, et al. Investigation into reusability of disassembled chip[J]. Microelectronics, 2009, 39(5): 714-717.
- [5] 吴国清, 张宗科, 吴超章, 等. 废弃线路板无损拆解技术研究[J]. 家电科技, 2009(16): 54-55.
- WU G Q, ZHANG Z K, WU C Z, et al. Research on non-destructive dismantling technology of waste circuit board[J]. Journal of Appliance Science & Technology, 2009(16): 54-55.
- [6] 陈真, 田绪静, 宋均, 等. 热风枪快速拆焊印制板元件技术研究[J]. 电子与封装, 2020, 20(1): 7-10.
- CHEN Z, TIAN X J, SONG J, et al. Research and realization of rapid de-soldering PCB components by hot air gun[J]. Electronics & Packaging, 2020, 20(1): 7-10.
- [7] 陈宝庆, 张国胜, 吴鸿雁, 等. 基于循环经济的废旧工程机械产品无损拆解工艺[J]. 起重运输机械, 2013(10): 7-10.
- CHEN B G, ZHANG G S, WU H Y, et al. Non-destructive disassembly process for scrap engineering mechanical products [J]. Hoisting and Conveying Machinery, 2013(10): 7-10.
- [8] 侯海亭, 康存勇, 李南极. 智能手机维修从入门到精通[M]. 北京: 清华大学出版社, 2017: 49-57.
- HOU H T, KANG C Y, LI N J. Smartphone Repair from Entry to Proficient [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2017: 49-57.
- [9] 李荣茂. 微电子封装技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2016: 94-104.
- LI R M. Microelectronics Packaging Technology[M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 2016: 94-104.
- [10] 徐婷婷. LGA 封装器件焊接工艺技术研究[D]. 河北廊坊: 北华航天工业学院, 2018.
- XU T T. Research on welding technology of LGA packaged devices[D]. Langfang: North China Institute of Aerospace Engineering, 2018.
- [11] 潘海燕, 蒋友明. 元器件再利用的废旧印制电路板拆解技术研究[J]. 机械与电子, 2014(11): 34-38.
- PAN H Y, JIANG Y M. Research on disassembly technology of waste printed circuit board for components reuse[J]. Machinery & Electronics, 2014(11): 34-38.
- [12] 杨继平, 潘晓勇, 向东, 等. 废旧电路板物理拆解方法及其试验验证 [J]. 机械工程学报, 2010, 46(23): 192-198.
- YANG J P, PANG X Y, XIANG D, et al. Waste printed circuit boards disassembly based on physical methods and its experimental verification[J]. Journal of Mechanical Engineering, 2010, 46(23): 192-198.
- [13] 白建峰, 冀豪栋, 张承龙, 等. 熔锡炉加热法分离废弃电路板元器件过程的有害挥发物组成[J]. 安全与环境学报, 2013, 13(3): 66-70.
- BAI J F, JI H D, ZHANG C L, et al. On the constituent components of the detrimental volatiles in separating the waste printed-circuits with the tin fusion-dettin method[J]. Journal of Safety and Environment, 2013, 13(3): 66-70.
- [14] 钟海兵. 废弃电路板电子元件拆除技术研究及设备研制[D]. 合肥: 合肥工业大学, 2008.
- ZHONG H B. Research on the removal technology and equipment development of the electronic components of waste circuit boards [D]. Hefei: Hefei University of Technology, 2008.