

北京理工大学

课程论文

SMT 组装用焊料、助焊剂、焊膏、胶粘剂

学 院：	材料学院
专 业：	电子封装技术
学生姓名：	胡然、魏沁怡、王帅、王彦、张馨月 史雨萌、杨洋、王瑞
指导教师：	李红、石素君

2021 年 05 月 16 日

SMT 组装用焊料、助焊剂、焊膏、胶粘剂

摘要

本文主要介绍了 SMT 组装用的焊料、助焊剂、焊膏和胶粘剂的组成、种类、作用、性能特点与发展趋势和国内外研究进展，并简要介绍了焊锡膏性能测试的方法和 SMT 贴装中由于焊锡膏性能不佳造成的缺陷，最后总结了 SMT 贴装技术的发展趋势与企业现状。

关键词：焊料、助焊剂、无铅焊锡膏、胶粘剂、性能测试、焊接缺陷

Abstract

This paper mainly introduces the composition, types, functions, performance characteristics and development trend of solder, flux, solder paste and adhesive used in SMT assembly, as well as the research progress at home and abroad, and briefly introduces the test methods of solder paste performance and the defects caused by poor performance of solder paste in SMT mounting. Finally, the development trend and enterprise status of SMT mounting technology are summarized.

Key Words: Solder, flux, lead-free solder paste, adhesive, performance test, welding defects

目 录

摘要.....	2
Abstract.....	3
0 引言	6
1 焊料	6
1.1 焊料的性能要求	7
1.2 焊料的分类	7
1.2.1 锡铅焊料.....	7
1.2.2 无铅焊料	8
1.3 焊料发展趋势.....	10
2 助焊剂	10
2.1 助焊剂物理性能.....	10
2.2 助焊剂的分类.....	10
2.2.1 溶剂清洗型助焊剂.....	11
2.2.2 水清洗型助焊剂.....	11
2.2.3 免清洗型助焊剂.....	12
2.3 助焊剂的发展趋势.....	12
3 焊锡膏.....	13
3.1 焊锡膏分类及选用.....	13
3.2 焊锡膏配方及制作流程.....	13
3.2.1 助焊剂的配置	14
3.2.2 钎料合金粉末的制备	14
3.3 焊锡膏使用时的注意事项.....	14
3.4 焊锡膏性能参数.....	14
3.4.1 黏度.....	14
3.4.2 密度、合金焊料粉成分、配比及助焊剂含量.....	15
3.4.3 熔点.....	15
3.4.4 合金焊料粉的形状与粒度.....	16
3.4.5 触变指数和塌落度.....	16
3.4.6 工作寿命和存储期限.....	16

SMT 组装用焊料、助焊剂、焊膏、胶粘剂

3.5 性能测试.....	16
3.5.1 合金粉末检测	16
3.5.2 粘度检测	17
3.5.3 锡珠试验	18
3.5.4 润湿性试验	18
3.5.5 润湿角测试	19
3.5.6 扩展率测试	19
3.5.7 坍塌性能测试	20
3.6 常见不良情况分析	20
3.6.1 桥连	21
3.6.2 开路	21
3.6.3 冷焊	21
3.6.4 渗析	21
3.6.5 金属间化合物	21
3.7 国内外无铅低温焊膏研究进展.....	21
4 胶粘剂	22
4.1 胶粘剂的分类	22
4.2 合成胶粘剂的组成	22
4.2.1 主剂	22
4.2.2 助剂	23
4.3 胶粘剂的性能要求.....	23
4.4 胶粘剂发展的未来趋势.....	24
5 SMT 发展现状	24

0 引言

表面贴装技术（SMT）是一种无需在印制板上钻插装孔，直接将表面组装元器件贴、焊到印制电路板表面规定位置上的电路装联技术。SMT 有贴片胶-波峰焊工艺和焊锡膏-回流焊工艺两类基本工艺。贴片胶-波峰焊工艺使用针脚插入型元器件，制造成本低廉，但难以实现高密度组装；而焊锡膏-回流焊工艺简单快捷、元器件所受热冲击少、焊接缺陷少、更为适应当前广泛应用的表面贴装型封装元器件，在无铅制造工艺中更显示出优越性。具体过程分为焊膏印刷、贴片与再流焊三个步骤。首先在 PCB 焊盘上印刷或涂布焊锡膏，再将表面贴装元器件精确地放到涂有焊锡膏的焊盘上，通过再流加热使得焊锡膏中焊料熔化，助焊剂挥发，冷却后在元器件引脚和焊盘之间形成焊点，实现元器件与 PCB 的互连。

SMT 组装用焊料、助焊剂、焊膏、胶粘剂的性能极大影响了元器件与 PCB 连接的可靠性。

1 焊料

焊料是 SMT 工艺材料中的一个组成部分，承担着焊接的作用。焊接就是将焊料金属熔入金属工件间的缝隙，通过原子间的相互作用，将材料接合在一起，如图 1-1 所示。

焊接时焊料在被焊金属表面铺展并填满焊接空间，熔融焊料与被焊金属表层之间发生相互作用，形成合金。在此过程中，熔融焊料在焊接母材表面上形成均匀、平滑、连续并且附着牢固的合金层，如图 1-2 所示。该过程叫做浸润。正因为这样的连续合金层的生成，才保证了焊点的机械、电气性能[1]。元器件与电路基板是依靠焊料连接起来的，故焊料直接决定着接头质量，也就决定了表面贴装最终的质量和可靠性。因此，焊料的性能至关重要。

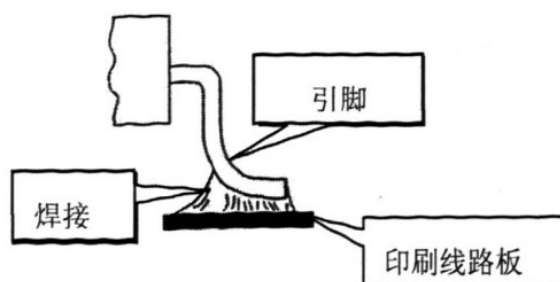


图 1-1 焊接示意图

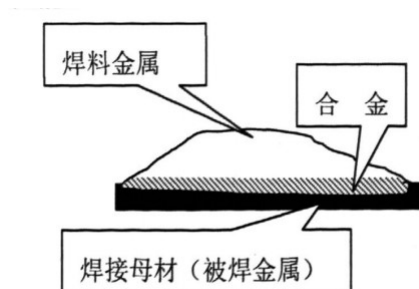


图 1-2 合金层示意图

1.1 焊料的性能要求

常用焊料是一种易熔合金，通常由 2~3 种基本金属和掺杂金属组成。基于工艺和实际情况的要求，焊料必须具有合适的熔点。应当低于基板、元器件引脚的可承受温度大约几十度，且不可过于接近，以便控制工艺过程。同时，焊料与基板之间应具有良好的润湿性，能够充分填充间隙，保证连接质量。此外，焊料应能与基板、引脚之间形成一定厚度的扩散层，实现可靠的连接。焊料的成分应均匀、稳定，能够尽量避免在焊接及后续使用过程中出现偏析，影响可靠性。焊料形成的接头的机械强度、物理化学性能、电学性能等应满足实际的技术要求。

1.2 焊料的分类

焊料按照合金成分可分为锡基、银基、铝基、铜基、镍基焊料。使用最为广泛的是锡基焊料。锡基焊料主要包括锡铅焊料和无铅锡基合金焊料。使用最早、工艺最为成熟的是锡铅焊料。近年来，为满足环境保护、绿色生产的要求，无铅焊料也已经具有较大的应用范围。

1.2.1 锡铅焊料

锡铅焊料是由锡和铅组成的合金。其中 63%的锡和 37%的铅组成了熔点为 183°C的共晶锡铅焊料。锡铅二元合金相图如图 1-3 所示。

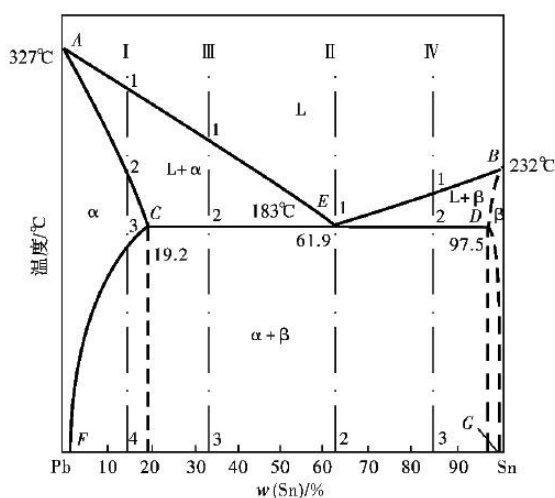


图 1-3 Sn-Pb 二元合金相图

其中，铅组元对于焊料的特性起到重要的调节作用：纯锡材料的表面张力较高，焊料在待填充间隙之间倾向于成球而不是铺展形成合金层。加入一定比例的铅，可有效降低焊料的表面张力，促进润湿和铺展。纯锡在 13℃时就会出现白锡（ β -相）到灰锡（ α -相）的转变，伴随着 26%的体积增加，会严重破坏接头的结构。加入 0.1%的铅就能有效的抑制这种同素异构转变。铅作为溶剂能促进其他金属成分在锡中的溶解。在连接元器件过程中，铅可以促进锡与引脚、基板材料之间形成金属间化合物（IMC），保证连接可靠性。铅可降低合金的熔点。锡铅共晶焊料的熔点仅为 183℃，恰好在电子设备最高工作温度之上，在大多数元器件能够承受的温度范围内。铅也可以改善焊料的力学性能。焊料的抗拉、抗剪强度以及延伸率，随着铅组分的增加都会有一定的提升。加入铅还能使焊料的成分稳定，并在焊料的表面形成一层致密的氧化物薄膜，提高焊料的表面致密度、焊点的抗氧化、耐腐蚀的能力。

虽然锡铅焊料具有以上优势，但依然具有一定局限性。

首先，锡铅焊点的自然曲率半径比较大，为 2.2mm，远超目前小尺寸表面贴装 0.5mm 间距的要求；并且锡铅焊料组分单一，无法满足多种材料引脚、基板的连接要求；同时，锡铅焊点的抗蠕变性能较差，无法满足高温条件下的使用要求；最为重要的一点，铅有毒性，人体、环境影响较大。因此，需要发展新型无铅焊料以满足日益多样的生产、使用要求。

1.2.2 无铅焊料

无铅焊料并不是焊料中绝对不含铅，ISO9453、JISZ3282 等国家标准规定铅的质量分数要小于 0.1%。

无铅焊料的熔点需接近传统 Sn-Pb 焊料的熔点；能与基板材料或金属涂层有较好的浸润能力；机械性能至少不低于 Sn-Pb 焊料，特别是抗疲劳能力要好；与现有的液体助焊剂相匹配；加工性能好，易制成丝、板、带、条、球、粉和膏的形式，以满足不同场合的需要；当以焊膏形式存在时有足够的寿命和使用性能；毒性小，不会对人体健康和环境产生不利影响[2]。

而几乎所有的无铅焊料都利用 Sn 作为基体材料，通过加入 Bi、Cd、In、Zn、Au、Ti、Ga、Hg、Cu、Sb 和 Ag 等元素中的一种或几种来得到合适的熔点和力学性能。表 1 所列为目前已开发出的部分无铅焊料及其物理性能。以下重点介绍 Sn-Cu、Sn-Ag、Sn-Ag-Cu、Sn-Zn、Sn-Bi 和 Sn-Sb 系焊料。

表 1-1 部分无铅焊料的物理性能

焊料成分	固相线/℃	液相线/℃	备注	密度/g·cm ⁻³
Sn	232	232		7.28
Sn-37Pb	183	183	共晶	8.4
Sn-52Bi	138	138	共晶	8.56
Sn-95Bi	134	251		9.64
Sn-5Sb	234	240		
Sn-9Zn	199	199	共晶	7.27
Sn-0.7Cu	227	227	共晶	
Sn-3.5Ag	221	221	共晶	7.36
Sn-5Ag	221	250		
Sn-3.8Ag-0.7Cu	217	217	共晶	
Sn-3.5Ag-1.0Zn	217	217		
Sn-32.2Cd	177	177	共晶	7.68
Sn-30In	120	175		
Sn-42In	118	145		7.3

Sn-Cu 系无铅焊料中最有潜力的是 Sn99.3—Cu0.7，共晶点温度为 227 °C，共晶组织由 Sn 与 Cu₆Sn₅ 组成，基体是 Sn，Cu 以金属间化合物形态分散在 Sn 基体中。强度和耐疲劳性比锡铅焊料要好，但是热疲劳性能和力学性能较差。为了改善这一问题，可尝试添加微量的 Bi、Ag、Ni 等元素。

Sn-Ag 系无铅焊料中最有潜力的是 Sn96.5—Ag3.5，共晶点温度为 221 °C，共晶组织由 Sn 与 Ag₃Sn 组成，基体是 Sn，Ag 以金属间化合物形态分散在 Sn 基体中形成环状的结构。热疲劳性能和力学性能都很好，而且可焊性高（在回流焊时，无需氮气保护），但是熔点和成本高。为了降低熔点，可尝试加入微量的 Sb、Cu、Bi、In 和 Zn 等元素。

Sn-Ag-Cu 系无铅焊料中最有潜力的是 Sn95.5-Ag3.8-Cu0.7，共晶点温度为 217 °C，共晶组织是微结构是由近纯 Sn 基体、Ag₃Sn 颗粒以及少量非常细小的 Cu₆Sn₅ 组成[3]。它在 Sn-Ag 系焊料基础上，与基板的润湿性得到了提高。唯一的问题是成本较高。

Sn-Zn 系无铅焊料中最有潜力的是 Sn91—Zn9，共晶点温度为 199°C（是所有无铅焊料中与锡铅焊料最接近的）。具有高抗拉强度、高剪切强度、高蠕变抗力和热疲劳性能，以及良好的接头强度，而且成本较低，储量丰富，但是润湿性和耐腐蚀性很差（Zn 的活性较强，容易形成很厚的锌氧化膜，因此必须在氮气下使用或添加能溶解锌氧化膜的强活性焊剂）。

表 1-2 主要无铅焊料与锡铅焊料的性能比较

焊料成分	熔点/°C	优点	缺点
Sn-37Pb	183	良好的综合性能，成本低	组织易粗化，易蠕变
Sn-58Bi	139	高流动性	应变速率敏感，润湿性较差
Sn-3.5Ag	221	高强度，抗蠕变	熔点偏高，成本较高
Sn-0.7Cu	227	成本低，强度较高，延伸率高	熔点高，力学性能不如含银焊料
Sn-51In	120	润湿性好	熔点太低，塑性差，成本较高
Sn-9Zn	199	强度高，资源丰富	耐蠕性和润湿性差
Sn-5Sb	245	抗蠕变，强度高	熔点高
Sn-80Au	278	抗蠕变，耐腐蚀	硬，脆，熔点高，成本高

Sn-Bi 系无铅焊料中最有潜力的是 Sn42—Bi58，共晶点温度为 138 °C（熔点过低通常只作低温焊料使用）。Sn-Sb 系无铅焊料中最有潜力的是 Sn95—Sb5，熔点为 245 °C。它是单相结构，Sb 完全溶于 Sn 中形成固溶体。抗拉强度和抗蠕变强度都优于锡铅焊料，抗疲劳强度与锡铅焊料相当，但是 Sb 具有毒性，这限制了它的发展。

表 1-3 部分无铅焊料力学性能

焊料成分	热膨胀系数(10-5/°C)	最大抗拉强度/Mpa	剪切强度/Mpa	伸长率/%
Sn-37Pb	2.5	35~50	20~45	25~140
Sn	2.6			
Sn-3.5Ag		35~55	20~40	25~140
Sn-9Zn		50~75	25~50	20~150
Sn-2.5Ag-0.8Cu-0.5Sb		39.3		42
Sn-3.5Ag-1.0Zn		79.3		35
Sn-5Sb	3.1	40.7	20~44	5~8
Sn-80Au	1.59	275.9		
Sn-96.76Au	1.23	255.1		
Sn-9Zn-5In		62		
Sn-9Zn-10In		55.2		

1.3 焊料发展趋势

进入 21 世纪以来表面贴装技术正在向更小型化、更环保方向发展；元器件种类日益多元化；表面贴装零件由片状、方形扁平式封装（QFP）向更小型的球栅阵列封装（BGA）、芯片级封装（CSP）等发展；高密度封装、三维立体封装也在逐步发展。因此，焊料也必须与 SMT 技术的工艺、封装发展趋势相适应。在对各焊料进行蠕变、循环载荷、应力疲劳、跌落冲击、电迁移和孔洞发展的模型[4]分析后，可以发现 SAC（即 Sn95.5-Ag3.8-Cu0.7）焊料在使用条件下表现得比锡铅焊料更好[5]，而且在与其它无铅焊料的比较中更胜一筹[6]。预计在民用产业中将会有越来越多的人用 SAC 来取代锡铅焊料。

2 助焊剂

在焊接过程中必须使用某些化学物质去除被焊材料表面的氧化物，使焊料与被焊物之间能很好的熔融从而达到助焊的作用，这种能够净化被焊金属表面、帮助焊接的物质称为助焊剂。在焊接过程中需借助助焊剂与氧化物的反应，清除金属表面氧化膜等钝化层，快速形成无氧化膜的新鲜金属表面，确保钎焊过程的顺利实施。此外，母材和焊料在加热过程中会加速金属表面氧化，助焊剂的覆盖可防止母材和焊料的氧化[7]。熔融焊料的表面张力会影响润湿的正常进行。当助焊剂覆盖在熔融焊料的表面时，可降低液态焊料的表面张力，使润湿性能明显得到提高。

在电子制造工业中，助焊剂是焊膏的一种不可缺少的辅助材料，其作用极为重要。它不仅可以提供优良的助焊性能，而且还直接影响焊膏的印刷性能和储存寿命。因此，助焊剂的品质直接影响 SMT 的整个工艺过程和产品质量。

2.1 助焊剂物理性能

助焊剂应有适当的活性温度范围。焊剂的熔点应低于焊料的熔点，在焊料熔化前开始起作用，在施焊过程中较好地发挥其作用。助焊剂应有良好的热稳定性，助焊剂的密度应小于液态焊料的密度，利于助焊剂在被焊金属表面均匀铺展，隔绝空气，促进焊料对母材的润湿。助焊剂不应有腐蚀性残留物或残留物，须易于清洗，使用过程中不能释放有毒、有害气体等。在 SMT 焊接工艺中，对于助焊剂的作用又有新的要求，除了具备化学活性实现助焊功能外，它又是焊粉的载体，使焊膏具有一定的黏稠度。

2.2 助焊剂的分类

在目前生产中使用的助焊剂根据成分可分为有机、无机和树脂三大系列。助焊剂按功能分类有手浸焊助焊剂、波峰焊助焊剂及不锈钢助焊剂。根据焊后的清洗工艺，助焊剂主要分为溶剂清洗型、水清洗型和免清洗型 3 种，其中溶剂清洗型包括 CFC（氟氯烃）清洗型及非 CFC 溶剂清洗型[8]。助焊剂类型及其技术特点列于表 2-1。

表 2-1 助焊剂类型及其技术特点[9]

助焊剂类型	技术特点	清洁类型	环境影响
CFC 溶剂清洗型	使用有机溶剂,如氯氟烃清洗残留	HCFC 溶剂	排放 ODS 和 HCFC
非 CFC 溶剂清洗型	无需使用含氯氟烃溶剂清洗	萘烯溶剂、石油烃、混合有机溶剂	释放大量的 VOC(挥发性有机化合物)
水清洗型	残留物与皂化剂反应产生可溶解于水的脂肪酸,然后用去离子水清洗	皂化水, 去离子水	排放废水
免清洗型	焊接无需清洗	无	排放少量有机废气

2.2.1 溶剂清洗型助焊剂

溶剂清洗型助焊剂通常含有天然松香、人造松香或树脂,焊接后需要用有机溶剂清洗去除助焊剂残留物。溶剂清洗型的特点是清洗溶剂的溶解能力强,清洗效果好,并且大部分溶剂都可回收再用,技术成熟,适用性强,因此溶剂清洗型助焊剂在生产中曾经得到了广泛的应用。但是清洗剂中含有 CFC 或者 HCFC(氢氟氯烃)对环境有害的物质,应用受到了一定的限制。故需要为这些清洗剂寻找替代产品。根据清洗溶剂的不同类型,助焊剂主要分为 CFC 溶剂型和非 CFC 溶剂型,其中非 CFC 型又可分为可燃型和不可燃型两种。

CFC 溶剂的主要成分包括 CFC-113、1,1,1-三氯乙烷和四氯化碳。CFC 清洗技术极为成熟,并且 CFC 溶剂具有毒性低、不易燃、化学性能稳定、去油污能力强等特性,易挥发,省去了干燥工艺,并可进行大规模连续生产。因此 CFC 溶剂型助焊剂广泛应用于电子、军工、家电等行业。但由于在清洗过程中会排放出臭氧贫乏物质(ODS),对环境的影响非常大。

CFC 溶剂清洗型助焊剂通过清洗剂中的有机溶剂溶解除去基板表面上的胶状物。非 CFC 型溶剂的优点是溶解能力强,清洗时间短,可以通过蒸馏再生而回收再利用。非 CFC 溶剂可分为可燃型溶剂和不可燃型溶剂 2 种。可燃型溶剂包括碳氢类、醇类、乙二醇酯等,不可燃型溶剂主要指氟化烃(HCFC、HFC)和氯化烃等。可燃型溶剂的主要优点为清洗能力强、应用范围广、毒性低,缺点是易燃、投入成本高;不可燃型溶剂具有与传统的 CFC 型溶剂类似的优点,但由于通常含有氢氟氯烃,对环境影响大。

2.2.2 水清洗型助焊剂

水清洗型助焊剂中含有有机卤化物、有机酸(OA)、胺和氨类化合物,这些物质在焊后具有一定腐蚀性,需要通过清洗减少腐蚀性。这些有机物通常可溶于水,所以常用去离子水配上一定量的添加剂作为清洗剂。水清洗型助焊剂是指焊后用皂化水和去离子水清洗,主要是利用去离子水和水中溶解的活性剂、分散剂、pH 缓冲剂等通过皂化反应去除印刷电路板上的杂质。水清洗型助焊剂在焊接生产中得到了应用,但是由于生产成本较高、焊接过程工序多而受到限制。同时,焊接生产中有废水产生,既提高了生产成本又引起了环境污染,所以此类型的助焊剂未能完全替代 CFC 溶剂清洗型助焊剂。

2.2.3 免清洗型助焊剂

免清洗型助焊剂是一种不含卤化物活性剂,焊接后无需清洗的新型助焊剂。使用这类助焊剂不但能节约对清洗设备和清洗溶剂的投入,还可减少环境污染。其成分包括溶剂、活性剂和其它添加剂。其它添加剂包括表面活性剂、缓蚀剂、增稠剂和触变剂等。[10]

免清洗助焊剂应满足以下要求:润湿率或铺展面积大;焊后无残留物;有足够高的表面绝缘电阻;化学性能稳定,焊后无腐蚀;离子残留应满足免清洗要求;具有在线测试能力;不桥连;无毒,无污染,操作安全;可焊性好等。

助焊剂的不同组分从不同方面影响着助焊剂的性能。

松香是很多助焊剂的基本成分。为了改善天然松香的性能,可对松香进行改性制得歧化松香、氢化松香、聚合松香[11]。改性松香有较高的软化点,不易结晶,抗氧化性强。松香不溶于水,但溶于醇类、烃类、醚类和卤代烃类有机溶剂。改性松香结构相对稳定,配制的助焊剂性能也比较稳定。松香与助焊剂中的化合物,可形成更具活性的物质。和非松香型焊膏相比,松香型焊膏有更好的黏附性能和流变性能,确保焊膏有优良的印刷性能、抗塌陷性能,且储存寿命更长。

溶剂是助焊剂的载体,使助焊剂各组成溶于溶剂中,形成均匀的黏稠液体。溶剂要有合适的沸点,既有利于保护膜的形成,又不能蒸发太快,使焊膏很快干燥,溶剂干燥太快,松香保护膜变硬,不利于钎料的铺展。溶剂干燥太慢,保护膜中可能残留部分溶剂,在接触到熔化的钎料时,可能引起飞溅。溶剂要有合适的黏度,便于印刷或滴涂以及元件的黏附。丙三醇由于较高的黏度和沸点,利于做焊膏助焊剂的溶剂。也可采用不同沸点的溶剂混合使用,弥补单一醇类的不足。

活化剂是助焊剂的关键组分。在活化剂组分中,除了松香外,还有有机卤化物、有机酸和胺类。助焊剂的活性与活化剂的分子结构、沸点和热稳定性有关。为此常采用分解温度不同的多元酸混合使用,组成复合活化剂,使助焊剂在钎焊过程的不同温度均保持活性,以达到最佳的助焊性能。另外,如过量使用活化剂,虽然钎焊性能提高,但导致焊后表面绝缘电阻下降,增加焊点腐蚀倾向。

触变剂给焊膏提供恰当的流变性能。焊膏在应力作用下的流动性能,是衡量焊膏印刷性能和焊膏质量的重要性能。焊膏黏度随外力作用而变化的特性叫触变性能,通过触变指数表征,用不同转速下测试的焊膏黏度来计算。焊膏流变性能的稳定也很重要,往往要求数月保持不变。为了达到所需的流变性能,要在焊膏中加入触变剂及增稠剂。触变剂能赋予焊膏在低剪切应力作用下有较高的黏度,在较高剪切应力作用下有较低黏度[12]。

2.3 助焊剂的发展趋势

CFC 型溶剂会排放出 ODS,对臭氧层影响很大,所以各国都制定了相应的禁止使用的法律。非 CFC 型溶剂成本高,也存在 VOC 污染和安全问题。而水清洗的设备投入大,且多了一步清洗工艺导致操作成本提高,废水排放问题也较严重。相对于溶剂清洗型和水清洗型助焊剂,使用含有免清洗型助焊剂的焊料时具有无环境污染、成本低、生产周期短、工艺简单等优点。因而免清洗型助焊剂将是行业发展的新趋势。

3 焊锡膏

焊锡膏是表面贴装技术(SMT)中不可缺少的焊接材料,广泛用于回流焊中。焊锡膏是由合金焊料粉、糊状助焊剂以及其它的添加剂均匀搅拌而形成的膏状体。它是一种均相的、稳定的混合物,有一定粘性和良好触变特性。在常温下焊膏有一定的黏度,可将电子元器件初粘在既定位置,在焊接温度下,随着溶剂和部分添加剂的挥发、合金粉的熔化,焊膏再流使被焊元器件与印制电路焊盘互联在一起,冷却后形成永久连接的焊点[13]。

3.1 焊锡膏分类及选用

按照合金焊料粉的熔点分类,最常用的普通焊锡膏熔点为178~183℃,高温焊锡膏熔点在 250℃以上,低温锡膏熔点在 150℃以下。当焊接热敏元器件时,应采用含铋的低熔点焊膏。双面再流焊时,第一面采用高熔点焊膏,第二面采用低熔点焊膏,保证两者熔点相差30%~40%,以防止在焊接第二面元器件时第一面已焊的元器件脱离。对于 SMT 生产来说,一般选择 63Sn37Pb(熔点 183℃)或 62Sn36Pb2Ag(熔点 179℃),具有较低的熔点、较高的焊点强度,较好满足焊接要求。需根据工艺要求和元器件能承受的温度来选择不同熔点的焊膏。

以合金粉末的颗粒度可以分为 6 种 IPC TYPE,如下表:

表 3-1 合金粉末颗粒度分类

IPC TYPE	1 号粉	2 号粉	3 号粉	4 号粉	5 号粉	6 号粉
球径 (μm)	75-150	45-75	25-45	20-38	15-25	5-15

丝网印刷在选择焊锡膏时,合金粉的颗粒的平均尺寸应该不大于印刷丝网网孔尺寸的 1/3,常规电路通常选择 3 号粉,其使用率大概在 60%左右[14]。

按照助焊剂的活性分类,可分为无活性(R)、中等活性(RMA)、活性(RA)和强活性(RSA)四个等级。一般选用 RMA 型比较合适,如果存放时间长,表面严重氧化,则可采用 RA 型焊锡膏。焊膏的活性需根据印刷电路板和元器件的存放时间以及表面氧化程度来决定。

根据清洗方式分类,分为有机溶剂清洗型、水清洗型和免清洗型。如果焊后的印刷电路板不需要清洗,则需选择不含氯离子或其他强腐蚀性化合物、低残留的免清洗焊锡膏。

3.2 焊锡膏配方及制作流程

焊锡膏主要由合金焊料粉末和助焊剂组成。焊膏中焊料粉与助焊剂的通用配比如表 3-2[15]。

表 3-2 焊锡膏的组成成分

成分	质量分数/%	体积分数/%
焊料粉	85~90	50~60
助焊剂	10~15	40~50

根据性能要求,助焊剂的质量分数范围还可扩大至8%~20%。合金焊料粉的质量分数较高(> 90%)时,可以改善焊锡膏的塌落度,从而形成饱满的焊点。并且助焊剂量相对较少,因此减少了助焊剂残留物,但对焊膏和焊接工艺要求更严格。合金焊料粉质量分数较低(< 85%)时,焊锡膏印刷性好,不易粘刀,润湿性好,且加工容易但是易塌落,出现桥接等缺陷。

因此,对于一般的再流焊工艺,合金焊料粉末质量分数控制在88%~92%范围内;对于细间距元器件的再流焊,为避免塌落,合金焊料粉末质量分数可大于92%。

焊锡膏的配置包括助焊剂的配置和钎料合金粉末的制备。

3.2.1 助焊剂的配置

按比例计算好各成分的质量,准确称量。在烧杯中加入溶剂、成膜剂、加热活性剂,充分搅拌,直至完全溶解,根据触变剂的触变温度控制溶液温度,再加入表面活性剂、抗氧化剂、触变剂等,充分搅拌至固体物质完全溶解。再将基质加入溶液中充分搅拌,冷却即制得助焊剂。

3.2.2 钎料合金粉末的制备

钎料合金粉末是在惰性保护气氛下通过雾化熔融钎料制备而成的,当前最常用的制备方法为超声波振动雾化法、离心雾化法。

超声波振动雾化法是利用超声震动使液态钎料溶液在保护气氛中形成微细液滴的方法[16],该工艺方法所制得的钎料合金粉末球形度高,但是生产批量相对较小。离心雾化制粉是在惯性和离心抛甩的共同作用下,将钎料液平铺于钛碟圆盘上,当钎料液到达旋转圆盘边缘时被迅速雾化成液滴,钎料液滴在下降过程中,收缩冷却凝固从而形成钎料合金粉末[17]。

离心雾化制粉的粒度控制精度差于超声波振动雾化,但具有较高的生产效率和较低的设备投资,更符合大量生产的需求。

将制备好的助焊剂和锡粉按 11.5: 88.5 的比例配置成焊锡膏,充分搅拌,并震动瓶子,将锡膏里面的空气排出。

3.3 焊锡膏使用时的注意事项

(1) 焊锡膏为达到保质要求密封储存在0~10℃冰箱中。密封以防氧化,活性助焊剂在低温时活性低,冷藏利于储存。

(2) 焊锡膏回温时不能开启瓶盖,要放置于室温中自然解冻,回温时间 4h 左右。

(3) 焊锡膏使用前须按同一方向搅拌 1 分钟,让合金焊粉与焊剂充分混合,达到合理的粘度。搅拌越慢越好,避免破坏合金粉的颗粒。

3.4 焊锡膏性能参数

3.4.1 黏度

焊锡膏是触变性流体。当剪切速率恒定时,触变性流体的黏度随时间增加逐渐下降至达到平衡而稳定,是焊锡膏在印刷时的流动特性(图 3-1)。焊锡膏在印

刷时,受刮刀压力的作用开始流动,通过丝网的孔眼流到 PCB 板上。当刮刀压力消失时,焊锡膏恢复到原来的高黏度状态,在 PCB 板上留下精确的图形。再流焊时,环境温度同样影响焊锡膏的黏度。根据黏度变化将印刷过程分为搅拌、刮动、印刷和流平四个阶段(见图 3-2)。

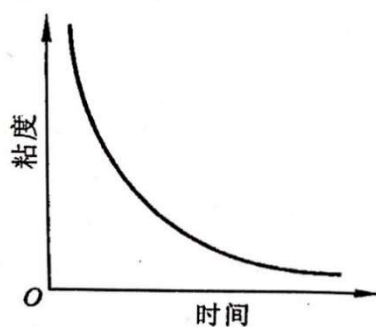


图 3-1 在恒定剪切速率下焊锡膏黏度随时间的变化

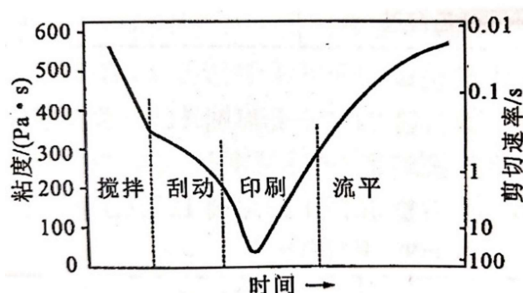


图 3-2 印刷过程中焊膏黏度的变化

黏度是影响印刷性能的最重要因素。黏度太大,焊膏不易穿过丝网的孔眼,印出的线条残缺不全,黏度太低,容易流淌和塌边,影响印刷的分辨力和线条的平整性[18]。

3.4.2 密度、合金焊料粉成分、配比及助焊剂含量

焊膏中焊料粉和助焊剂的组成以及两者的比例对焊膏的特性有很大影响[15],因此在介绍焊膏时,必须说明焊料粉的成分、配比以及助焊剂的含量。焊膏的密度直观反映了焊膏中焊料粉的组成以及助焊剂的含量,可作为影响焊膏性能的重要参数。

3.4.3 熔点

焊锡膏熔点主要取决于焊料粉的成分与比例。不同的焊膏组成和熔点,需采用不同的再流焊温度,焊接效果和性能不同。表 3-3 为不同熔点焊料的再流焊温度[19]。

表 3-3 不同熔点焊料的再流焊温度

焊料粉	熔化温度/℃	再流焊温度/℃
63Sn37Pb	183	208~223
62Sn36Pb2Ag	179	204~219
42Sn58Bi	139	164~179
60In40Pb	174~185	205~215

3.4.4 合金焊料粉的形状与粒度

合金焊料粉形状分成无定形和球形两种,大多数焊膏都采用球形焊料粉。球形焊料粉末的表面积小,氧化程度低,制成的焊锡膏具有良好的印刷性能而不会出现堵塞模板孔眼的现象。焊锡粉的粒度一般控制在 $25\mu\text{m}\sim 45\mu\text{m}$,过粗的粉末($>70\mu\text{m}$)会导致焊锡膏黏结性能变差,细粒度的焊锡膏黏度愈大,印刷性能更好,但焊粉粒度越细,表面积增大,会使其表面含氧增高,带来焊接缺陷[20]。

3.4.5 触变指数和塌落度

触变指数是影响焊锡膏印刷性能的重要因素,触变指数过低焊锡膏成形性能差,印刷后容易连锡;触变指数过高焊锡膏过硬,容易引起少锡漏印。触变指数在 $0.45\sim 0.55$ 之间较为适合[21]。触变指数由助焊剂内的触变剂决定。当触变剂加入树脂体系中,由于氢键等作用力的存在,形成三维网络结构。触变剂含量越高,三维网络结构强度越高,使树脂粘度增加数倍,甚至失去流动性。故焊锡膏黏度随触变剂含量增加而变大。塌落度用来评价焊膏印刷后保持图形原状的能力。焊膏的黏度和触变性控制着印刷后图形的保持特性和再流焊后焊膏的塌落情况。当触变指数高时,塌落度就小;当触变指数低时,塌落度就大。图 3-3 反映了焊膏触变指数与塌落度的关系。

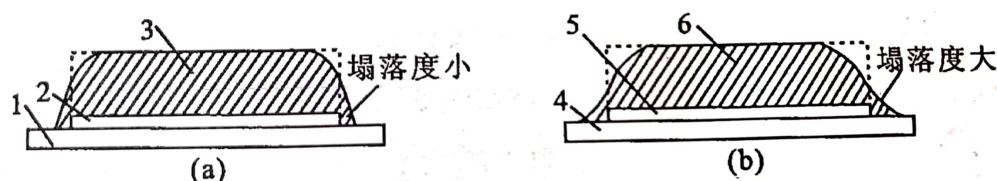


图 3-3 焊膏触变指数与塌落度的关系 (a) 触变性高 (b) 触变性低

1、4-PCB 2、5-铜箔 3、6-焊膏

3.4.6 工作寿命和存储期限

由于 SMT 焊锡膏的性能,尤其是粘度随时间和室温而变化,在一定时间后,焊锡膏将丧失原有特性而不能使用。工作寿命是指焊锡膏从印刷到 PCB 板上至贴装元器件之前的不失效时间。一般要求为 $12\sim 24$ 小时。储存期限是指焊膏能够不失效地正常使用之前的低温或室温保存时间。如果存储温度过高,锡膏内部会产生化学反应,从而影响锡膏储存稳定性[22]。目前已研制出在常温下能保存较长时间的无铅焊膏[23]。

3.5 性能测试

焊锡膏的性能对于焊接质量具有重要作用,其性能检测试验依据焊锡膏的相关标准文件要求来进行。

3.5.1 合金粉末检测

焊锡粉的粒度一般控制在 $25\mu\text{m}\sim 45\mu\text{m}$,焊锡粉的型号规格及使用范围如表 3-4 所示。通过对合金粉末进行 SEM 实验,确定合金粉末的形态、长宽比和

不同粒径粒子所占的比重是否符合要求。

表 3-4 焊锡粉的型号规格及使用范围

型号	网目代号	直径 (μm)	通用间距 (mm)
2#	-200-+300	45-75	≥0.65
2.5#	-230-+500	25-63	≥0.5
3#	-325-+500	25-45	≥0.4
4#	-400-+500	25-38	≥0.4
5#	-500-+635	15-25	≥0.3
6#	N.A.	5-15	≥0.2
7#	N.A.	2-11	≥0.1

3.5.2 粘度检测

典型的粘度测试仪器日本 MALCOM, PCU.205 型号粘度计如图 3-4。

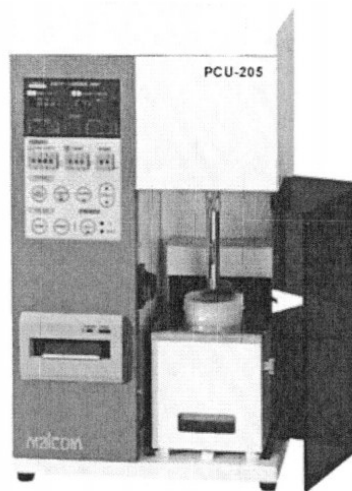


图 3-4 粘度测试仪

将锡膏放在容器的恒温槽中，自动设置回转速度 10RPM → 3RPM → 4RPM → 5RPM → 10RPM → 20RPM → 30RPM → 10RPM 变化，读取 3、10、30、10RPM 时的粘度值。根据公式 (3-1) 计算触变系数 Ti ：

$$Ti = \lg \frac{\eta_1}{\eta_2} / \lg \frac{D_2}{D_1} \quad (3-1)$$

其中： η_1 为 3 转时的粘度， η_2 为 30 转时的粘度， D_1 为 3 转时的剪切速度，数值为 18， D_2 为 30 转时的剪切速度，数值为 1.8。

3.5.3 锡珠试验

锡珠是在 SMT 生产的回流焊接加热过程中，焊锡膏在高温熔融状态下飞溅出的小焊珠。焊锡膏自身组成成分配比不合适和回流焊接温度设置不当都会导致锡珠出现。小焊珠不仅影响产品的焊接美观性，且易导通相邻较近的焊点，造成短路。锡珠现象是 SMT 生产中极力避免的一种焊接缺陷。

锡珠试验内容依据 IPC-J-STD-005《联合工业标准焊膏要求》开展。在氧化铝基板上放置定制开孔的模版，加以固定，刮刀刮取适量锡膏，用力从模版表面从上而下划过，使锡膏通过圆形漏孔漏下，轻轻取下金属模版，观察焊锡膏在氧化铝基板上的形态是否符合要求。印刷成功后，在规定环境中放置两小时左右进行回流焊接。回流焊接最高温度为 210℃，焊接结束冷却完成后观察焊点形貌，依据标准做出评判。

依据 JISZ3284《焊锡膏检验规范》中的锡珠试验评判标准如表 3-5。

表 3-5 锡珠试验结果评定标准

级别	评判标准
1（优良）	回流焊接完成后，形成独立焊点，焊接过程中锡膏没有飞溅现象，且未在焊点周围形成的多余小焊珠
2（良好）	回流焊接完成后，形成独立焊点，焊接过程中锡膏飞溅，在焊点周围形成的多余小焊珠数量不超过 3 个
3（合格）	回流焊接完成后，形成独立焊点，焊接过程中锡膏飞溅，在焊点周围形成的多余小焊珠数量超过 3 个，但没有形成半连续的晕圈
4（不合格）	回流焊接完成后，形成独立焊点，焊接过程中锡膏飞溅，在焊点周围形成的多余小焊珠数量较多，并形成半连续的晕圈；或焊接完成后未形成独立焊点，而是许多半径不小于 22.5μm 的小焊点

3.5.4 润湿性试验

焊锡膏的润湿性能是焊锡膏印刷到 PCB 电路板表面的流动能力和粘接性。润湿不良是焊锡膏在焊盘上不能完全铺展开，造成焊接完成后的实际焊接面积较小，降低了焊接的可靠性。焊锡膏的助焊剂活性较低、焊锡膏自身润湿性能较差和回流焊接中参数设置不合理都会导致润湿不良。焊锡膏润湿不良会导致虚焊，完全不润湿会形成锡珠。

在清洗后的铜板上印刷焊锡膏，进行回流焊接，焊接结束冷却完成后观察印制图形的润湿情况，依据标准做出评判。

依据 JISZ3284《焊锡膏检验规范》中的润湿性试验评判标准如表 3-6。

表 3-6 润湿性等级评定标准

级别	试验结果
1	回流焊接的高温环境下，熔融的锡膏润湿基板，形成独立的润湿区域，而且铺展样貌成规则圆形，有效直径大于定制的圆形漏孔直径
2	回流焊接的高温环境下，熔融的锡膏润湿基板，形成独立的润湿区域，而且铺展样貌成规则圆形，有效直径等于定制的圆形漏孔直径
3	铺展样貌面积大于等于定制的圆形漏孔面积的 85%，形成独立的润湿区域，铜基板上有小部分未被润湿区域
4	铺展样貌面积小于定制的圆形漏孔面积的 85%，铜基板上有明显未被润湿区域，或未形成独立的润湿区域

3.5.5 润湿角测试

润湿性试验对焊接后的铺展样貌横向评判，润湿角测试对焊接成形后的纵向评判。润湿角是焊接样貌的切线与铜基板形成的夹角。润湿角越小，焊锡膏的可焊等级越高。本测试在润湿性试验基础上，使用接触角测试仪完成测试。

依据 JISZ3284《焊锡膏检验规范》中的润湿角试验评判标准如表 3-7:

表 3-7 润湿性评定标准

级别	NFA89 400P 的可焊性分级	公认的润湿能力分级	
1	$\theta \leq 30^\circ$	$0^\circ < \theta < 30^\circ$	润湿性优
2	$\theta \leq 40^\circ$	$30^\circ < \theta < 40^\circ$	润湿性良
3	$\theta \leq 55^\circ$	$40^\circ < \theta < 55^\circ$	润湿性尚可
4	$\theta \leq 55^\circ$	$55^\circ < \theta < 70^\circ$	润湿性较差
5	—	$\theta > 70^\circ$	润湿性差

3.5.6 扩展率测试

扩展率测试同样用来评判焊锡膏的润湿性能。

在清洗后的铜板上印刷焊锡膏，然后回流焊接，最高温度设置在 260℃~270℃范围内，焊接时间控制在 30 秒左右。回流焊接完成后，使用异丙醇清洗残留物，用游标卡尺测量相应数据，依据公式（3-2）求扩展率。

$$\text{扩展率}(\%) = \frac{D-h}{D} * 100\% \quad (3-2)$$



图 3-5 扩展率测试示意图

其中 D 为 0.2g 焊锡膏看作球形的直径。因为不容易测量，通常采用同等质量焊锡膏在氧化铝基板上焊接，取焊接完成焊球的直径作为 D 的近似值。h 为焊接完成后铺展面的高度。

表 3-8 扩展率评定标准

等级	L	M	H
扩展率	≥70	≥75	≥80

3.5.7 坍塌性能测试

焊锡膏的坍塌性能对后期的焊接起关键性作用，坍塌性能越强越好。当焊锡膏自身之间的吸附力小于焊锡膏自身的重力时发生坍塌。可改善焊锡膏成分和各成分之间的配比来提高坍塌性能。坍塌性能测试分为冷坍塌测试和热坍塌测试两种。冷坍塌性能是在高温加热之前印刷图形的保持能力，热坍塌性能是高温加热助焊剂挥发后印刷图形有无发生变形或坍塌。

冷坍塌可用 VS8 进行简单观测，热坍塌性能测试使用 X-Ray 进行检测。坍塌性能测试内容依据 IPC-J-STD-005 《联合工业标准焊膏要求》。

在 PCB 板上印刷焊锡膏，在规定环境下放置 15 分钟。通过 VS8 观察冷坍塌性能测试下的样貌，是否有桥连。然后将印刷有焊锡膏的 PCB 电路板放置于 140℃~160℃的高温箱中加热 15 分钟后取出冷却至室温。通过 X-Ray 检测热坍塌测试下的图形样貌，观察是否有桥连。

表 3-9 热塌陷测试要求标准

钢网厚度 0.2mm						钢网厚度 0.1mm					
尺寸 0.63mm×2.03mm			尺寸 0.33mm×2.03mm			尺寸 0.33mm×2.03mm			尺寸 0.2mm×2.03mm		
间距	水平	垂直	间距	水平	垂直	间距	水平	垂直	间距	水平	垂直
0.79	√	√	0.45	√	√	0.45	√	√	0.30	√	√
0.71	√	√	0.40	√	√	0.40	√	√	0.25	√	√
0.63	√	√	0.35	√	√	0.35	√	√	0.20	√	√
0.56	-	-	0.30	√	√	0.30	√	√	0.175	-	-
0.48	-	-	0.25	-	-	0.25	√	√	0.15	-	-
0.51	-	-	0.20	-	-	0.20	-	-	0.125	-	-
0.33	-	-	0.15	-	-	0.15	-	-	0.10	-	-
			0.10	-	-	0.10	-	-	0.075	-	-
			0.06	-	-	0.08	-	-			

3.6 常见不良情况分析

由于焊锡膏性能不佳引起的常见缺陷及其成因分析如下[24-27]：

3.6.1 桥连

桥连指焊接完成后两个或多个焊点通过合金相连。由于元器件的引脚间距较小、焊锡膏的抗坍塌性能不佳等原因会导致印刷后发生桥连。

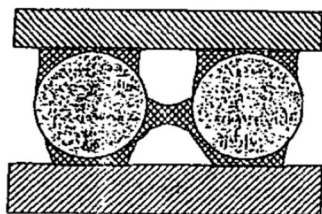


图 3-6 桥连

3.6.2 开路

开路是焊点处无法形成可靠通路。主要形式有缺焊、断裂等。焊锡膏的润湿性能不良会导致开路。

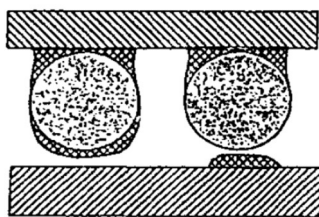


图 3-7 开路

3.6.3 冷焊

冷焊是回流焊接后的焊点外观不佳或有焊料残余。回流焊接温度设定偏低导致焊锡膏无法完全进入熔融状态、焊锡膏性能不佳等都可能造成冷焊。

3.6.4 渗析

渗析是回流焊接中焊盘金属被熔融焊锡膏溶解的现象。助焊剂活性太高、焊盘金属太薄会导致渗析。

3.6.5 金属间化合物

金属间化合物的厚度只有在一定范围内具有较高的强度，较厚或较薄时强度都会减弱。厚度的形成与焊锡膏的性能、回流焊接参数设置都有关系。

3.7 国内外无铅低温焊膏研究进展

由于环境和使用要求，无铅低温焊锡膏是发展的重要方向。国内外对于无铅焊锡粉的研究主要集中于颗粒粒度及其尺寸分布、抗氧化性、多元合金不同成分配比以及添加微量元素的作用等方面。对于助焊剂则主要集中于成分及其比例、扩展率、粘性等方面。下面简述几种焊锡膏合金成分和助焊剂的研究进展。

E.H.Amalu[28]等人通过线性变化的模板孔尺寸来研究焊锡膏的转移效率，结果表明无铅焊膏的转移效率取决于焊膏的流变性能。Min-Jung Son[29]等人通

过控制锡银铜焊锡膏的粒度分布来控制锡膏的流变性能。他们以不同的比例混合两种不同尺寸(2 μm , 100nm)的焊料粒子来控制焊膏的 PSD, 成功研制了厚度为

38 μm 、间距为 100 μm 的焊料凸块阵列用于倒装芯片封装。

葛晓敏[30]等人研究了聚酰胺改性氢化蓖麻油触变剂的添加量对免洗松香型无铅锡膏粘着力、抗热塌性的影响, 当用量为 5g 时印刷图形直径变化量最小且为 0.15 mm, 抗热塌性最好。王君[31]等人针对 Sn42Bi57Ag1 无铅焊料开发出一种低温无铅焊锡膏, 通过助焊剂中活性剂有机酸的复配显著改善焊点铺展情况。杨楠[32]等人研究助焊剂中溶剂的复配对焊锡膏抗热塌性的影响, 得到焊点铺展率高达 86.55%, 具有优异的抗热塌性(150 $^{\circ}\text{C}$), 最小不桥连间距为 0.06mm 的焊锡膏。沈春晖[33]等人研究了一种用于 SAC 无铅焊膏的助焊剂。以白凡士林为助焊剂载体部分, 提高锡膏抗冷塌性; 以高分子树脂为辅助载体, 提高抗热塌性。该助焊剂可对印刷线路板间距低于 0.3mm 的器件实现完美焊接。

4 胶粘剂

胶粘剂(又名贴片胶), 其作用是在组装过程中及波峰焊时将表面安装元器件固定在印制板上, 以免元器件因加速度、振动、冲击等原因而发生偏移或脱落, 在焊接之后胶粘剂虽仍残留在基板上, 但已不再起任何作用。此时由焊料代替起元件的固定作用, 并提供可靠的电子连接。

胶粘剂在电子工业上的应用, 除了作机械固定之外, 还要求导热, 导电或电绝缘, 并适应抗冲击装配、密封等需要。使用温度从-27 $^{\circ}\text{C}$ 至 50 $^{\circ}\text{C}$, 不同应用所要求的性能维持的寿命极不相同, 从几秒钟到若干年, 用量有的比一微克还少, 有的则达一吨以上。因而, 胶粘剂的选择由上述条件以及机械强度、导热性、应用方法、固化温度和使用环境等决定[34-35]。

4.1 胶粘剂的分类

胶粘剂按应用方法可分为热固型、热熔型、室温固化型等; 按应用对象分为结构型、非构型或特种胶, 结构胶粘剂有热固性胶粘剂环氧树脂类、热塑性胶粘剂聚丙烯酸酯类、酚醛-环氧型等改性的多组分胶粘剂; 按固化形式可分为溶剂挥发型、乳液型、反应和热熔型四种; 按外观分类, 可分为液态、膏状和固态三类; 按组分分为: 单组分, 双组分, 反应型。

4.2 合成胶粘剂的组成

合成胶粘剂由主剂和助剂组成, 主剂又称为粘料; 助剂有固化剂、稀释剂、增塑剂等, 根据要求与用途还可以包括阻燃剂、发泡剂、消泡剂等成分。

4.2.1 主剂

主剂是胶粘剂的主要成分, 主导胶粘剂粘接性能, 也是区别胶粘剂类别的重要标志。主剂一般由一种或两种, 甚至三种高聚物构成, 要求具有良好的粘附性和润湿性等。可作为粘料的物质有:

(1) 天然高分子, 如淀粉、海藻酸钠等植物类粘料, 以及骨胶、鱼胶等动物

类粘料。

(2) 合成树脂，分为热固性树脂和热塑性树脂两大类。热固性如环氧、酚醛、不饱和聚酯等；热塑性树脂如聚乙烯、聚丙烯等，以及其改性树脂或聚合物合金

等。合成树脂是用量最大的一类粘料。

(3) 橡胶与弹性体。橡胶主要有氯丁橡胶、天然橡胶等；弹性体主要是热塑件弹性体和聚氨酯弹性体等。

(4) 此外，还有无机粘料，如硅酸盐、磷酸盐和磷酸-氧化铜等。

表 4-1 不同基本树脂胶粘剂的优缺点比较[36]

	优点	缺点
环氧 树脂	粘接强度高	需低温保存
	电器性能优良	高速点胶性能不佳
		固化温度较低，固化速度慢，时间较长
丙烯 酸酯	性能稳定，可在室温下保存	粘接强度高
	点胶性能优良	电器性能较差
	固化温度较高，固化速度快，时间较短	需增加紫外线投资设备

4.2.2 助剂

为了满足特定的物理化学特性，加入的各种辅助组分称为助剂。例如：为了使主体粘料形成网型或体型结构，增加胶层内聚强度而加入固化剂；为了加速固化、降低反应温度而加入固化促进剂；为了提高耐大气老化、热老化等性能而加入防老剂；为了赋予胶粘剂某些特定性质、降低成本而加入填料；为降低胶层刚性、增加韧性而加入增韧剂。包括：固化剂、溶剂、偶联剂和其他助剂：引发剂、促进剂、乳化剂等。

4.3 胶粘剂的性能要求

在实际生产使用过程中，对胶粘剂的工艺要求主要是：

(1) 未固化的胶粘剂必须具有足够的湿强度，可将安放好的组件固定在原位上而不会产生位移。

(2) 固化后的胶粘剂必须具有足够的粘接强度，在储存、搬运及波峰焊过程中可将组件固定在电路板上而不脱落(固化后在 260℃以上 5s 内，粘接强度要求至少仍保持 2N)。

(3) 焊接后，残余的胶粘剂不可以影响电路、不腐蚀基板及元器件。

为了满足这些工艺要求，胶粘剂必须具有以下主要性能特点：稳定的单组份体系；保存期长，储存稳定；合适的粘度，能快速稳定地涂覆；良好的触变特性；胶点形状与大小一致并且稳定，形状高而无拖尾现象；粘接强度适当，能接受 PCB 移动、翘曲、清洗及焊接波的冲击，同时又便于返修；快速固化，且固化加热过程中不坍塌、无释放气体现象；高强度与挠性相结合，可耐热冲击和焊波；固化后具有良好的电气特性，高的表面绝缘电阻；无毒、阻燃和不挥发性[37-38]。

选用耐高温、粘接性能更好、颗粒较细且适合 SMT 封装的导电胶，是提升 SMT 可靠性的最有效的方法。这需要通过大量试验去论证、选择，以确保胶粘

剂在高温受热膨胀时仍具有良好的粘接性、稳定性以及方便的封装作业操作性,同时还要兼顾导电胶的采购成本[39]。导电胶在 SMT 封装中的作用是非常重要的,也是目前工艺条件下直接导致 SMT 可靠性下降的一个关键因素。改善导电胶材质和操作使用是一个综合性的问题,必须从每个相关工艺环节的严格管控入手,才能达到提升 SMT 可靠性的目的[40]。

4.4 胶粘剂发展的未来趋势

据 CAITA 网信息:行业权威统计,2019 年全球胶粘剂和密封剂市场规模约为 472.8 亿美元,预计到 2027 年将达到 664.4 亿美元。中国在全球胶粘剂行业中具有举足轻重的地位,市场规模约占全球的三分之一。

“十四五”期间,我国胶粘剂的发展目标是产量年均增长率为 4.2%,销售额年均增长率为 4.3%,力争到 2025 年末,改变国产产品高端不足、低端过剩的局面,使行业高附加值产品产值的比例达到 40%以上。在未来五年期间,消费电子是胶粘剂行业战略性的新兴市场[41]。

5 SMT 发展现状

电子产品的轻、薄、短、小、高质量、高可靠、多功能、智能化和降低成本的发展趋势促进了 SMT 技术的快速发展。随着 5G、人工智能、VR/AR、超高清视频等大批新技术应用日趋广泛和成熟,可穿戴设备等移动终端、行业电子等领域致力于研发颠覆式、前沿型、集成化的新型电子产品,对 SMT 技术提出了更高的要求。SMT 技术克服了通孔组装技术(THT)互连密度低的局限性,具有高组装密度、高频特性好、高可靠性且成本低的优点,并朝着生产线绿色环保高效、设备自动化、工艺辅料无铅化、元器件微型化、SMD 复合多层化方向发展。SMT 技术在计算机、网络通信、消费电子以及汽车电子产品中有着广泛应用,中国的 SMT 产业正处于历史上的黄金时期。

参考文献

- [1]徐向荣.电子元器件表面组装工艺质量改进研究[D].苏州大学,2010.
- [2]肖克来提.无铅焊料表面贴装焊点的高温可靠性研究[D].中国科学院上海冶金研究所,2001.
- [3]Tommi Laine-Ylijoki, Hetor Steen, and Asto Forsten, Development and Validation of a Lead-free Alloy for Solder Paste Applications, IEEE Trans. Components, Hybrids and Manufacturing Technol., Vol. 20, July, 1997: p194
- [4] Yao, Y., Long, X., and Keer, L. M. "A Review of Recent Research on the Mechanical Behavior of Lead-Free Solders." ASME. Appl. Mech. Rev. July 2017; 69(4): 040802.
- [5] Vasudevan, Vasu; Schulz, Tanner; Pei, Min; Toth, F.; Lucero, A.E.; Zhou, Bite; Mukherjee, Sibasish." The State of Pb-free Solder – A Joint Reliability Overview." IEEE International Reliability Physics Symposium Proceedings, September 22, 2016.
- [6] Qin, Fei; An, Tong; Chen, Na." Strain rate effects and rate-dependent constitutive models of lead-based and lead-free solders." Journal of Applied Mechanics, Transactions ASME, ,2010.1.
- [7] Schmitt-Thomas K G , Schmidt C . The Influence of Flux Residues on the Quality of Electronic Assemblies[J]. Soldering and Surface Mount Technology, 1994, 6(3):4-7.
- [8] 刘文胜, 黄国基, 马运柱,等. 助焊剂的研究及发展趋势[J]. 粉末冶金材料科学与工程, 2010, 15(002):89-95.
- [9] 郭先武. 电子工业的清洁生产——免清洗技术[J]. 福建环境, 2002(06):11-13.
- [10] Fischer G , Renner V . Numerical and Analytical Studies on the Energy Conversions in a Baroclinic Model[J]. Journal of the Atmospheric Sciences, 2010, 28(4):512-522.
- [11]齐帆, 商士斌, 高宏,等. 松香及其改性产品在助焊剂中的应用现状[J]. 生物质化学工程, 2014, 48(1):56-61.
- [12]史耀武,雷永平,夏志东,郭福,李晓延.无铅焊膏的设计与展望[J].电子元件与材料,2008(09):31-34+39.
- [13]罗道军.电子组装工艺可靠性技术与案例研究[M].北京:电子工业出版社, 2015:185-193.
- [14]金献忠.焊锡膏在 SMT 中的使用研究[J].安徽电子信息职业技术学院学报,2017,16(03):47-50.
- [15]刘丹.SMT 无铅焊锡膏性能的改进及其组份对性能的影响[D].哈尔滨工业大学,2006.
- [16] 杨福宝,张富文,徐骏,胡强,朱学新,石力开.微细金属粉末超声波振动雾化技术的发展现状[J].材料导报,2005(08):87-91.
- [17] 伍美珍,武信,朱华明.离心雾化法制备焊锡粉工艺参数的优化[J].粉末冶金工业,2013,23(01):6-9.
- [18]杨根林.焊锡膏特性和模板工艺对稳定印刷品质的要因解析[A]. 四川省电子学会 SMT 专委会等[C].四川省电子学会 SMT 专委会等:四川省电子学会 SMT 专业委员会,2014:22.
- [19]吴懿平.电子组装技术[M].武汉: 华中科技大学出版社, 2006: 66-67.
- [20]叶明娟. 无铅无卤低银焊锡膏的制备及性能研究[D].广东工业大学,2015.
- [21]武信,卢梦迪,秦俊虎,何欢,王艳南,熊晓娇.触变剂加入温度及含量对焊锡膏印刷性能的影响[J].焊接,2020(11):46-49+64.
- [22]陈龙春,赵朝辉,王瑞杰,胡强.焊粉对锡膏稳定性的影响[J].稀有金属,2010,34(06):865-869.
- [23]黄鲁江, 常温保存无铅焊锡膏.浙江省,浙江强力控股有限公司,2018-12-29.
- [24] 王文龙.回流焊焊接关键工艺的研究[J].科技视界,2015,(22) :99-99.

- [25] P Y Chevalier. A thermodynamic evaluation of the Au-Sn system[J]. *Thermochim Acta*, 1988, 136(130) : 1-13.
- [26] 陈良良. 航天产品中的 CCGA 装联技术研究[D]. 廊坊: 北华航天工业学院, 2017.
- [27] 赵帅. 混装工艺中波峰焊对 BGA 焊点影响研究[D]. 廊坊: 北华航天工业学院, 2017.
- [28] E.H. Amalu and N.N. Ekere and S. Mallik. Evaluation of rheological properties of lead-free solder pastes and their relationship with transfer efficiency during stencil printing process[J]. *Materials & Design*, 2011, 32(6) : 3189-3197.
- [29] Min-Jung Son et al. Employment of roll-offset printing for fabrication of solder bump arrays: Harnessing the rheological properties of lead-free solder pastes using particle size distribution[J]. *Microelectronic Engineering*, 2016, 164 : 128-134.
- [30] 葛晓敏, 熊国宣, 马鑫. 聚酰胺改性氢化蓖麻油在无铅锡膏中的应用研究[J]. *广州化工*, 2013, 41(24): 76-78.
- [31] 王君, 赵麦群, 李鹏宇, 袁昕. Sn42Bi57Ag1 无铅焊膏用活性剂的优化设计[J]. *电子元件与材料*, 2020, 39(02): 89-94.
- [32] 杨楠, 赵麦群, 明小龙, 孙杰. 溶剂对细间距用无铅焊锡膏抗热塌性的影响[J]. *电子元件与材料*, 2017, 36(11): 73-77.
- [33] 沈春晖, 郭芷含, 高山俊. 一种表面贴装技术焊锡膏用助焊剂的制备方法[P]. 湖北: CN102463423A, 2012-05-23.
- [34] 蔡武峰. 胶粘剂在电子工业上的应用[J]. *电子工艺技术*, 1980(01): 34-37+40.
- [35] 徐雅琴, 付平. 胶粘剂在电子工业中的应用[J]. *化学工程师*, 1993(03): 40-42.
- [36] 陈海. 浅谈 SMT 焊接应用中贴片胶的选择与评估[J]. *日用电器*, 2015(08): 194-196.
- [37] 王君. 胶粘剂在 SMT 组装技术中的应用(待续)[J]. *电子工艺技术*, 2001(06): 242-247.
- [38] 王君. 胶粘剂在 SMT 组装技术中的应用(续完)[J]. *电子工艺技术*, 2002(01): 10-15.
- [39] 陈建伟, 王海龙. SMT LED 封装用固晶胶的失效分析[J]. *中国胶粘剂*, 2009, 18(07): 59-63.
- [40] M.G. Périchaud et al. Reliability evaluation of adhesive bonded SMT components in industrial applications[J]. *Microelectronics Reliability*, 2000, 40(7) : 1227-1234.
- [41] 沈文斌, 王珊珊. 行业动态资讯[J]. *粘接*, 2020, 44(12): 3-4.