

J80C 型连接器锡环激光焊接工艺研究

崔启明 杨小健 张越辉 张琪 张一凡 沈丽

(北京计算机技术及应用研究所, 北京 100854)



摘要: 本研究通过改变传统送锡方式改善 J80C 型连接器手工焊接操作难度大、焊接效率低的问题。采用锡环顶部送锡的方式, 将焊锡丝弯折成环形, 从连接器引脚上方垂直套入, 锡环落至引脚根部后, 以激光作为热源, 通过非接触焊接方式进行焊接。研究表明, 对 J80C 型连接器进行激光锡环焊接后, 焊点浸润良好, 合金层厚度在 $1\sim 3\mu\text{m}$ 之间, 焊接效率提高 244%。

关键词: J80C 型连接器; 激光焊接; 锡环送锡; 合金层厚度

中图分类号: 101-TP391.9 A; V461 **文献标识码:** A

Research on Laser Solder Ring Welding Technology of J80C Connector

Cui Qiming Yang Xiaojian Zhang Yuehui Zhang Qi Zhang Yifan Shen Li

(Computer Technology and Application Research Institute in Beijing, Beijing 100854)

Abstract: This study improves the problem of difficult manual soldering operation and low soldering efficiency of J80C type connectors by changing the traditional tin feeding method. The study uses the tin ring top feeding method and laser as the heat source to perform welding method. The results show that after the laser tin ring welding process for J80C type connectors, the solder joints are well infiltrated, the alloy layer thickness is between $1\mu\text{m}$ and $3\mu\text{m}$, and the welding efficiency is increased by 244%.

Key words: connector type J80C; laser welding; solder ring feed tin; alloy layer thickness

1 引言

随着电子产品生产向自动化、规范化、生产参数可监控化发展, 规避人工生产不可追溯性, 越来越多的电子器件采用自动化设备焊接^[1]。J80C 型连接器具有信号传输速度快、对插方式简单并带有防误差措施保证正确性, 广泛应用在航天航空领域^[2]。由于 J80C 型连接器焊接面与接插面位于同一面, 插针不允许沾锡, 无法采用波峰焊等自动化焊接设备焊接。目前, 主要采用电烙铁手工焊接, 其引脚间距为 2mm, 四排引脚错位排列, 焊接难度极大, 常出现引脚沾锡导致连接器报废的情况, 一个 100 引脚的连接器, 需要焊接 40min, 严重制约 J80C 型连接器在产品上的批量使用。使用激光焊接设备, 采取锡环送锡的方法对 J80C 型连接器进行焊接, 具有效率高、焊接一致性好的优点。

本文通过研究锡环尺寸、设计焊接工装、验证焊接工艺参数, 为实现 J80C 型连接器自动化的焊接提供有效支撑。

2 激光焊接设备

激光焊接设备由绕锡环站、点助焊膏站、预热和激光焊接站、接驳台组成, 如图 1 所示。

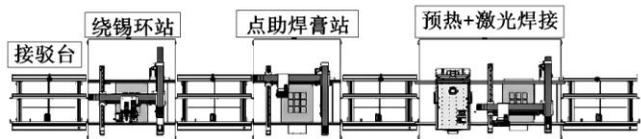


图 1 激光焊接设备

a. 绕锡环站由机械绕环系统和 CCD 视觉镜头组成, 机械绕环系统将焊锡丝弯折成锡环, 通过视觉编程定位到连接器引脚, 引脚定位后由机械绕环系统中的机械臂将锡环从引脚上方垂直推送至引脚根部。

b. 点助焊膏站由点助焊膏系统和 CCD 视觉镜头组成, 该站的作用是将助焊膏点到锡环上。

c. 预热和激光焊接站由预热模块、激光发射器、CCD 视觉镜头组成。预热模块由两个预热台组成, 通过红外线加热板卡, 可以有效解决 J80C 连接器接地引脚覆铜区域大, 导致焊接时散热快, 连接器引脚焊接质量差的问题。预热台可以将印制板组件预热到易焊温度, 激光焊接模块可以调节焊接温度、焊接时间和光斑尺寸等参数, 参数设定后由激光器发射激光对连接器引脚进行焊接。

3 激光锡环焊接试验

3.1 锡环尺寸和送锡方式研究

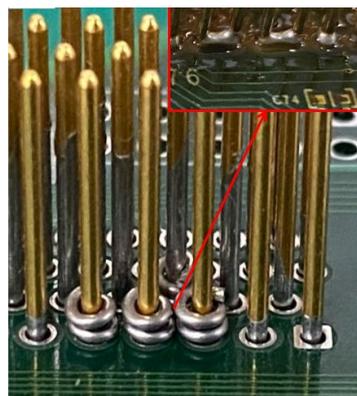
使用 0.5mm 直径的焊锡丝 ($\text{Sn}_{63}\text{Pb}_{37}$) 焊接一个 J80C 连接器引脚, 焊锡长度为 8.5mm, 将 8.5mm 的锡丝做成锡环, 需要考虑成环直径, 锡环直径过大, 导致相邻引脚搭接短路, 锡环直径过小, 在套环过程中, 锡环无法顺利到达引脚根部。因此, 需要根据焊盘大小、相邻引脚间距、引脚直径, 设计合适的锡环直径: J80C 引脚的直径为 0.762mm, 相邻引脚中心间距为 2mm, 将锡环内径设置为 0.85mm, 可以将锡环顺利套到引脚根部, 并且不会导致相邻引脚搭接, 当锡环内径为 0.85mm 时, 锡环周长为 4.23mm, 需要将 8.5mm 的锡丝弯折成 2 圈, 图 2 是成形后的锡环。



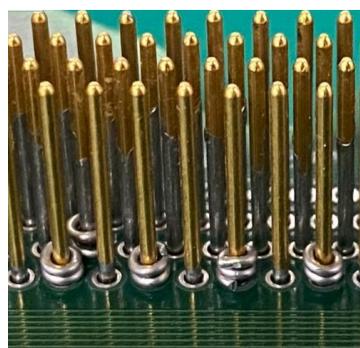
图 2 锡环外观图

图 3 是锡环套至引脚根部的外观图, 连接器相邻引脚间距 2mm, 图 3a 采用逐点套环方式, 相邻锡环间距过小, 焊接过程中, 熔融的锡膏易搭接到一起导致

引脚连锡短路, 见图 3a 右上角。为避免锡环搭接短路问题, 采用间隔套环方式, 如图 3b 所示, 采用先套奇数引脚锡环, 奇数引脚焊接完成后, 锡环融化成锥形焊锡附着在焊盘上, 焊锡环由圆形融化成锥形的焊锡, 直径减小, 然后再套偶数引脚的锡环, 此时偶数引脚的锡环和奇数引脚的焊锡间距变大, 在偶数引脚锡环焊接过程中不会导致相邻引脚焊锡搭接短路。



a 引脚逐点套锡环



b 引脚间隔套锡环

图 3 引脚套锡环外观图

3.2 助焊膏点涂方式和重量的研究

在焊接过程中, 助焊剂所起的作用为:

a. 获得无锈蚀的金属表面, 并保持该被焊表面的洁净状态;

b. 对表面张力的平衡施加影响, 减小接触角, 促进焊料漫流。

本研究使用松香助焊膏, 研究先点助焊膏再套环和先套环再点助焊膏两种点涂方式对焊点质量的影响, 如图 4 所示。先点助焊膏后套锡环, 锡环并未完全落到引脚根部, 固状助焊膏将锡环撑起。套锡环后点助焊膏, 助焊膏在锡环上方, 为获得无锈蚀的金属表面, 更倾向于先让助焊膏与焊盘接触, 焊接时助焊

膏更快速留向孔内,有利于焊锡向孔内漫流。针对助焊膏将锡环撑起问题,在后续试验时发现,器件预热时,助焊膏在预热温度下,由膏状变成液态,并流向孔内,在液态表面张力和锡环失去支撑的情况下,锡环被拉到引脚根部,因此不存在锡环未落到引脚根部导致焊点高度较高的焊接质量问题。



图4 助焊膏点涂方式图

助焊膏的重量对焊点质量有很大的影响,当助焊膏量较小时,焊锡浸润较差,无法形成饱满、光亮的焊点,当助焊膏量较大时,多余的助焊膏易残留在焊点和板面,若未清洗干净,助焊剂中的离子会吸收空气中的水蒸气,当板卡长时间处在潮湿环境中,易导致连接器阻抗变低,影响板卡功能。本试验采用控制变量法,保持助焊膏吐出压力不变,通过调节助焊膏吐出时间,分别验证了 1mg、2mg、4mg 助焊膏对焊点质量的影响,助焊膏点涂参数如表 1。

表1 助焊膏点涂参数表

样件	吐出压力/MPa	吐出时间/s	吐出质量/mg
1号	2	1.2	1
2号	2	2.4	2
3号	2	4.8	4

在焊接参数一致的情况下,焊接情况见图 5,1号件的焊点光亮度较差,2号件的焊点较为光亮饱满,3

号件焊点附近助焊剂残留过多。每个焊点点涂 2mg 的助焊剂较为合适。

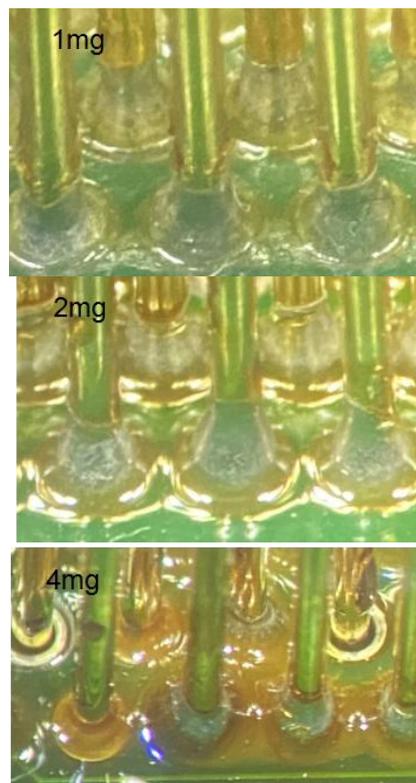


图5 不同质量助焊膏的焊接形貌

3.3 工装研究

本研究采用激光焊接设备焊接 J80C 型连接器替代传统手工焊接,由于 J80C 型连接器焊点和引脚在同一平面,激光从引脚上方垂直加热焊锡,需要工装将连接器壳体撑起,焊接程序编辑完成后,为保证程序适应所有板卡的焊接,每次板卡的放置位置应一致,工装也起到限位功能,设计工装见图 6。装夹工装从以下几个方向进行设计。

a. 支撑设计: J80C 器件焊接时,表贴器件已焊接完成,为防止工装压倒表贴器件,将工装做成镂空的。针对本研究的试验板,板卡尺寸较大,工装中间掏空后在中间加一个横梁起到支撑作用。J80C 器件引脚是顶部焊接,在横梁上做一个凹槽,连接器壳体放入凹槽中起到支撑作用。

b. 抬高设计: J80C 贴板焊接时,由于焊孔内的气密性,焊接时孔内的空气无法排除,焊接后焊点内出现大量空洞,当焊点空洞过多、面积较大时,存在可靠性风险^[4]。因此,焊接时应保证孔内空气顺利排除,参考 J80CF 型连接器壳体设计了抬高凸台,使壳体与印制板中间留有 0.5mm 的间隙。而 J80C 型连接器无

凸台,因此,J80C焊接工装的凹槽向下多留0.5mm的深度,放置后,器件自然下落与板卡之间存在0.5mm的间隙可以使孔内空气排出。

c. 材料设计:选择耐高温(500℃)、防静电的合成石作为工装制作的材料。

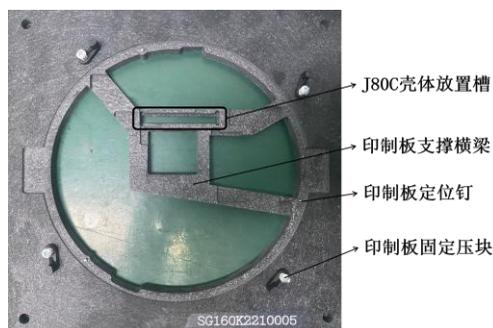


图6 焊接工装

3.4 光斑尺寸研究

激光光斑尺寸决定焊接区域的大小,光斑尺寸越大,焊接区域越大,反之焊接区域则变小^[5]。同时光斑尺寸大小与焊接能量密度有直接关系,焊接能量一定时,光斑尺寸越大,焊接能量越分散,光斑尺寸越小,焊接能量越集中,当焊接能量越集中时,能量越向材料深层次传递^[6]。

本研究选取体积小、重量轻、寿命长,不需要冷却系统的Nd:YGA半导体激光发射器作为热源,通过调节激光焊接设备中的光斑参数,可以控制激光发射器的光斑大小。J80C型连接器引脚间距为2mm,锡环直径为0.85mm,当光斑直径大于3.15mm时,相邻引脚上的焊锡会重熔,造成相邻引脚多次焊接。考虑光斑尺寸过小烧伤板面,将激光器的光斑尺寸设置为3mm,焊接图7区域,从VS-8光学检测仪下观察焊接区域,板面被烧伤。因此3mm光斑不适合焊接印制板组件会烧伤板卡。将光斑尺寸设置为4mm,焊接温度为350℃,焊接图示区域,板面完好未被烧伤。经过多次验证3mm以下的光斑会烧伤板卡。本试验选取

4mm,5mm,6mm大小的光斑,探究最适合焊接J80C型连接器尺寸的光斑。



图7 激光烧伤板卡形貌图

3.5 预热方式研究

预热印制板组件的作用有以下几种:

- 提高助焊剂的活性,使助焊剂中的溶剂挥发,避免焊接时气化炸锡;
- 增加焊盘的润湿性能,防止覆铜多的区域透锡率低;
- 去除焊盘有害杂质;
- 减少焊料内聚力^[3]。

本试验选取的试验板覆铜区域大,为避免焊接过程中覆铜区域散热快,导致焊点浸润性差、不透锡的问题,采用红外预热台对J80C器件上下区域进行预热,见图8,选取三种预热参数进行验证:80℃/80s、100℃/80s、120℃/80s。

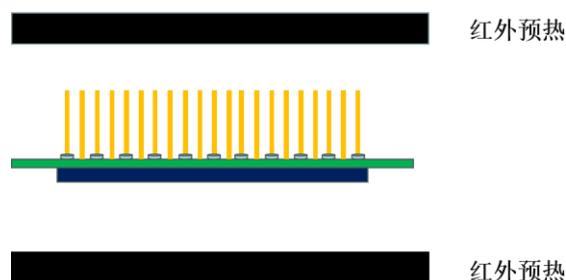


图8 板卡预热示意图

3.6 焊接工艺流程

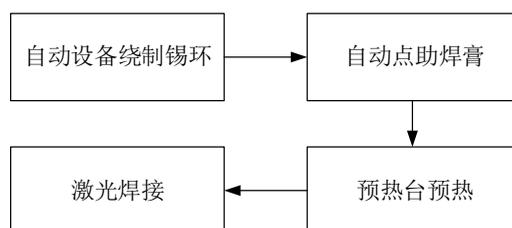


图9 激光焊接流程图

激光锡环焊接工艺步骤如图9所示。

a. 印制板组件放在工装上由接驳台送到绕锡环站进行套锡环作业。

b. 锡环套完后, 印制板组件流至点助焊膏站进行点助焊膏作业。

c. 焊膏点完后进行预热。

d. 印制板组件预热完成后, 在激光焊接站进行奇数引脚激光焊接, 焊接过程为激光从引脚上方垂直照射锡环, 由于设置的光斑尺寸大于锡环尺寸, 因此整个锡环同时融化和凝固, 单个引脚焊接完成后, 激光光源再移动到间隔引脚处完成焊接, 如图10所示。

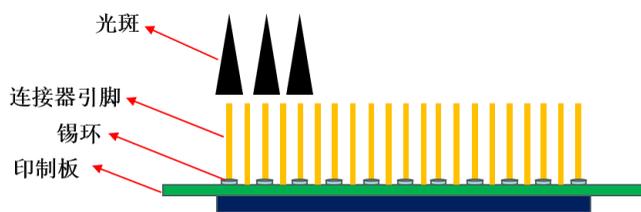


图10 激光焊接示意图

e. 奇数引脚焊接完成后, 按照工序a~d进行偶数引脚焊接。

3.7 焊接参数验证

选取6块样品进行焊接, 激光焊接参数如表2所示, 激光焊接参数的设定是参考J80C连接器手工焊接的温度和时间, 使用温控烙铁焊接J80C连接器时, 非接地引脚焊接温度为 $(310 \pm 10)^{\circ}\text{C}$, 接地点引脚温度为 $(340 \pm 10)^{\circ}\text{C}$, 手工焊接时间为3s, 表2中焊接时间设置为3.5s, 其中3s为锡环融化和凝固时间, 0.5s为激光移动到下一个焊点的时间, 总计为3.5s。

表2 焊接参数表

样件	光斑尺寸/mm	焊接温度			
		预热		焊接	
		温度 $T/^{\circ}\text{C}$	时间 t/s	温度 $T/^{\circ}\text{C}$	时间 t/s
1	4	120	80	350	3.5
2	5	100	80	350	3.5
3	6	120	80	350	3.5
4	5	80	80	350	3.5
5	5	100	80	320	3.5
6	5	120	80	300	3.5

使用VS-8光学检测仪观察样品焊点质量, 样品1(图11)焊接质量差, 焊点未完全浸润。

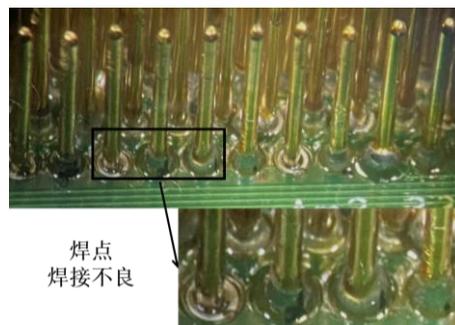


图11 样品1焊点形貌

样品2(图12)焊点饱满光亮, 焊接一致性好, 透锡率为100%。

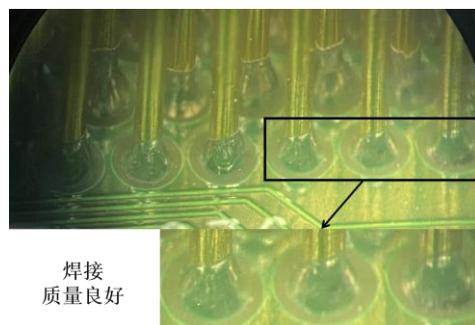


图12 样品2焊点形貌

样品3(图13)焊点饱满光亮, 焊接一致性好, 透锡率为100%。

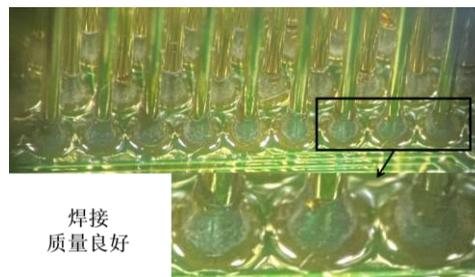


图13 样品3焊点形貌

样品4(图14)焊接质量差, 焊点未完全浸润, 部分焊点不透锡。

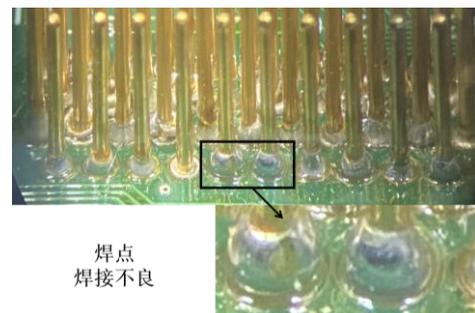


图14 样品4焊点形貌

样件 5 (图 15) 非接地焊点饱满光亮, 焊接一致性好, 接地点不透锡。

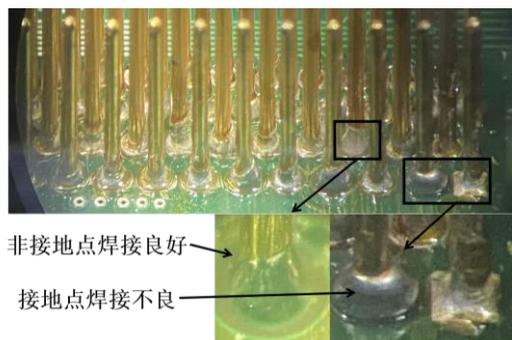


图 15 样件 5 焊点形貌

样件 6 (图 16) 非接地焊点饱满光亮, 焊接一致性好, 接地点不透锡。

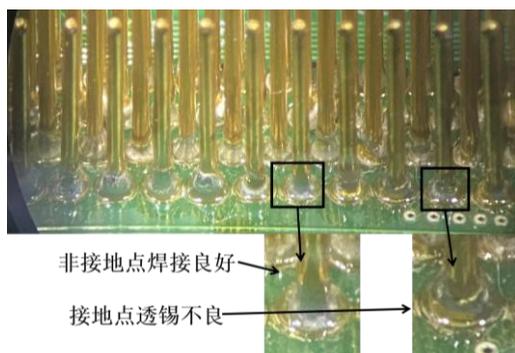


图 16 样件 6 焊点形貌

a. 样件 1 与样件 3 相比只有光斑尺寸参数不同, 因此推断样件焊点质量差是由于光斑尺寸 (4mm) 较小导致的, 从焊点质量较好的样件 2 和样件 3 分析可知, 5mm、6mm 的光斑尺寸参数较优。

b. 样件 4 与样件 2 相比预热温度较低 (80℃), 说明样件 4 焊接不良是板卡预热温度不足导致的, 100℃和 120℃的预热温度较优。

c. 样件 5 和样件 6 非接地点焊接良好, 接地点不透锡, 样件 5 和样件 6 与样件 2 相比, 焊接温度较低, 说明 300℃、320℃的焊接温度可以满足非接地点的透锡要求, 对于接地点, 焊接温度不足。

综上所述, 光斑尺寸为 5mm 和 6mm, 预热温度/预热时间为 100℃/80s、120℃/80s, 接地点焊接温度为 350℃, 非接地点焊接温度 320℃可以形成良好的焊点。J80C 型连接器引脚间距为 2mm, 使用 6mm 光斑会导致临排和隔排引脚焊点重熔, 为减少引脚多次重熔导致焊点可靠性变差, 选用 5mm 的光斑尺寸进行焊接。J80C 基材的耐热温度为 150℃, 在 100℃和 120℃都可

以达到预热温度的情况下, 优先选用 100℃的预热温度。最终焊接参数定为: 光斑尺寸: 5mm, 预热温度/预热时间为 100℃/80s, 接地点焊接温度/时间: 350℃/3.5s, 非接地点焊接温度/时间: 320℃/3.5s。

4 试验结果分析

4.1 焊点形貌分析

使用选定的参数焊接样件, 如图 17 所示。焊点光亮饱满, 焊接高度一致, 无焊点爬锡过高的缺陷, 所有焊点高度不超过 2mm, 从反面可观察到明显透锡, 俯视观察所有焊点, 无桥连短路缺陷, 所有焊点焊接质量一致。



图 17 焊接形貌

使用 X 光设备检测引脚透锡率, 从图 18 中可以看出焊点透锡良好, 焊锡填满焊孔, 透锡率达到 100%。

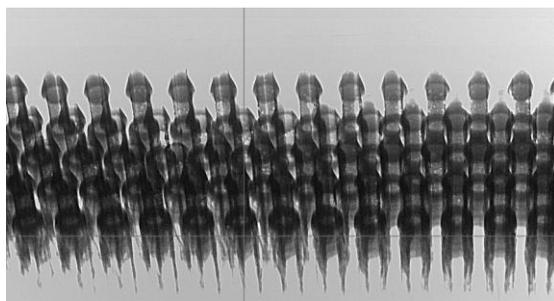


图 18 焊点 X 光照片

4.2 焊点合金层分析

焊点的合金层 (IMC) 厚度直接影响焊点的可靠性, 一般 IMC 厚度在 1~3μm 之间有比较理想的机械强度。通过扫描电镜观察激光焊接焊点 IMC 厚度 (见图 19), 引脚与焊点合金层平均厚度 1.651μm, 焊盘与焊点合金层平均厚度 2.308μm, 焊点强度满足要求。

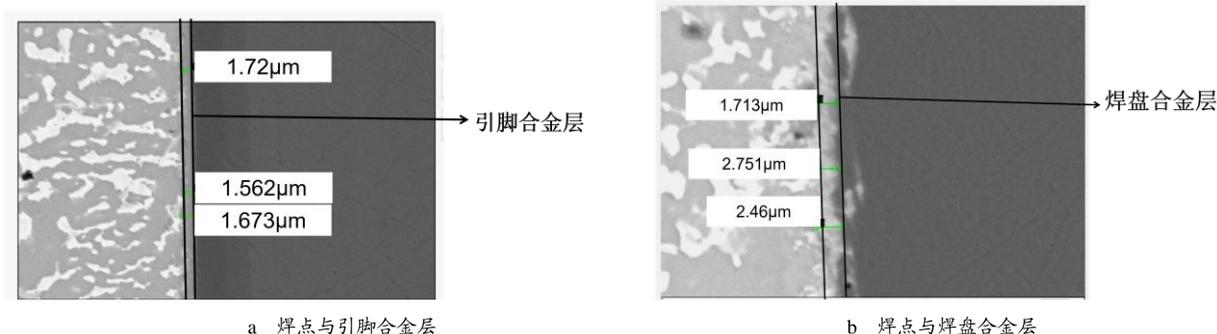


图 19 焊点 SEM 照片

4.3 焊接效率分析

激光焊接 100 引脚的 J80C 连接器需要 11.6min,

各工序时间如表 3 所示, 手工焊接需要 40min, 焊接效率提高了 244%。

表 3 焊接工序时间表

动作	单点时间/s 点 ⁻¹	总时间/s	引脚数	时间/s						
				1	...	4	...	350	696	
产品流入绕环工位		4	100	1	...	4	...			
CCD 视觉引到+套环	1	100		1	...	4	100			
产品流入点助焊膏工位		4		1	...	4				
CCD 视觉引到+点助焊膏	1.5	150					150			
产品流入预热工位		4		1	...	4				
进行预热		80					80			
产品流入焊接工位		4		1	...	4				
激光焊接	3.5	350					350			
总计时间					696					

5 结束语

通过对锡环激光焊接工艺研究, 锡环激光焊接工艺可以保证焊点可靠性, 实现了 J80C 连接器自动化焊接, 解决制约手工焊接效率低, 焊接过程不可控、引脚易沾锡报废的技术瓶颈, 可以作为新的焊接工艺方法在电子行业内推广应用。

参考文献

- 张咪藏, 赵亚娜, 杨瑞栋, 等. 宇航电子产品工艺设计自动化方案浅谈[J]. 航天制造技术, 2020(3): 20~23+32
- 郭鹏飞, 甄榕, 李榜华. J80C板间连接器搪锡及焊接工艺研究[J]. 电子工

艺技术, 2018, 39(6): 325~327+335

- 谭小鹏. 大面积接地多层印制板焊接工艺研究[J]. 电子工艺技术, 2015, 36(1): 32~33+50
- 张晟, 张晨晖, 金星, 等. 球栅阵列 (BGA) 器件底填胶空洞测试方法及评估要求[J]. 中国胶粘剂, 2023, 32(6): 38~46
- Ma Bo, Gao Xiangdong, Huang Yijie, et al. A review of laser welding for aluminium and copper dissimilar metals[J]. Optics and Laser Technology, 2023(167): 277~281
- Stefan R, Riccardo R, Josephin E, et al. Mechanical Properties of Fibre Laser Welded AZ31B Sheets and their Dependence on the Spot-Size[J]. Materials. 2015(828): 298~304