

DOI:10.3969/j.issn.1001-4551.2019.08.012

3D 打印 Sn-9Zn 合金的性能研究*

黄 伟¹, 孙晓燕², 吴士林³

(1. 青海交通职业技术学院 机械工程系, 青海 西宁 810028; 2. 烟台工程职业技术学院
机械工程系, 山东 烟台 264006; 3. 北京航空航天大学 机器人研究所, 北京 100191)

摘要:为解决 Sn-Zn 系合金易被氧化和易腐蚀等问题, 获得高质量、性能稳定、成本低廉的无铅钎料, 将喷射沉积 3D 打印技术应用到无铅焊料中, 开展了 Sn-9Zn 合金的常规感应熔炼和喷射沉积 3D 打印成形试验。对两种方法制备的 Sn-9Zn 合金试样进行了常规拉伸试验和可焊性性能试验, 对比分析了 3D 打印与感应熔炼两种方法制备的 Sn-9Zn 合金试样的力学性能和可焊性。研究结果表明: 感应熔炼 Sn-9Zn 合金与 3D 打印 Sn-9Zn 合金的抗拉强度分别为 43.3 MPa 和 42.7 MPa, 屈服强度分别为 26.3 MPa 和 25.7 MPa, 断后伸长率分别为 27.3 % 和 27.7 %, 最大润湿力分别为 3.37 mN 和 3.36 mN, 可见选择适宜的 3D 打印工艺参数能获得力学性能和可焊性优良的 Sn-9Zn 合金。

关键词: Sn-9Zn 合金; 感应熔炼; 3D 打印; 力学性能; 可焊性

中图分类号: TH164; TH142.2

文献标志码: A

文章编号: 1001-4551(2019)08-0835-04

Effect study on the properties of 3D printing Sn-9Zn alloy

HUANG Wei¹, SUN Xiao-yan², WU Shi-lin³

(1. Department of Mechanical Engineering, Qinghai Communications Technical College, Xining 810028, China;

2. Department of Mechanical Engineering, Yantai Engineering & Technology College, Yantai 264006, China;

3. Institute of Robotics, Beihang University, Beijing 100191, China)

Abstract: Aiming at the problem that Sn-Zn series alloy is easy to be oxidized and corroded, and application of spray deposition 3D printing technology in lead-free solder, in order to obtain lead-free solder with high quality, stable performance and low cost, the conventional induction melting and spray deposition 3D printing experiments were conducted on Sn-9Zn alloy. The mechanical properties and weldability of 3D printing Sn-9Zn alloy and induction melting Sn-9Zn alloy were compared and analyzed. The results indicate that the tensile strengths of Sn-9Zn alloys by induction melting and 3D printing are 43.3 MPa and 42.7 MPa, the yield strengths are 26.3 MPa and 25.7 MPa, the elongations are 27.3% and 27.7%, and the maximum wetting forces are 3.37 mN and 3.36 mN, the appropriate 3D printing process parameters can get excellent mechanical properties and weldability of Sn-9Zn alloy.

Key words: Sn-9Zn alloy; induction smelting; 3D printing; mechanical property; weldability

0 引 言

20 世纪以来, 由于锡铅钎料具有强度高、熔点低、易加工、价格低廉等优点^[1-2], 锡铅钎料在机械、电子等领域得到了极大的应用。然而锡铅钎料中含有大量有毒的铅元素, 铅随未经正确处理的废弃的电子产品等

污染土壤和地下水, 严重影响到人体的健康^[3]。社会越来越关注无铅钎料的研究进展和应用。

Sn-Zn 系合金属于无铅钎料, 具有熔点低、焊接性能佳、生产成本低等综合优势, 且强度、塑性和力学性能等都比 Sn-Pb 系钎料更佳, 因而倍受关注^[4-5]。但是由于 Zn 元素较活泼, Sn-Zn 合金容易被氧化和腐蚀^[6]。

收稿日期: 2019-01-14

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51475018)

作者简介: 黄伟(1982-), 男, 陕西洋县人, 工学硕士, 讲师, 主要从事机器人技术及 3d 打印应用技术方面的研究。E-mail: 421668723@qq.com

现代社会对无铅钎料的质量和性能提出了愈来愈高的要求,而 3D 打印技术的发展正好能适应其生产加工。3D 打印技术基于数字模型,通过粉末金属进行分层制造,再逐层进行叠加而成形^[7-9]。其优势在于速度快,复杂的结构件也易加工,且生产出的产品质量高、性能佳,生产成本低廉^[10-11]。较为流行的金属增材成形方式有电子束选区熔化、激光选区烧结、激光近净成形和选区激光熔化技术等,但这些技术成本高、效率低。喷射沉积 3D 打印成形技术能有效克服以上技术的缺点,实现高效率、低成本制造的目的。喷射沉积 3D 打印成形技术基于离散/堆积的分层制造思想,使金属材料在惰性气体下快速熔化,在三维运动控制系统下完成熔融金属的逐层沉积成形。

为此,本文采用喷射沉积 3D 打印成形技术进行 Sn-9Zn 合金的试验,研究 3D 打印对 Sn-9Zn 合金力学性能和可焊性的影响,以提升 Sn-9Zn 合金的综合性能。

1 试验材料及方法

1.1 试验材料

本文试验材料为 Sn-9Zn 合金,具体化学成分为(质量分数):Sn91.17%、Zn8.83%。

采用 3D 打印 Sn-9Zn 合金工艺原理是根据三维运动系统控制平台的三维运动,实现对熔融 Sn-9Zn 合金的逐层叠加成形。

3D 打印工艺流程具体操作流程如下:首先按照 Sn-9Zn 合金成分在坩埚电阻炉内配料、均匀搅拌,然后接入氩气,进行加热、静置处理,待熔化后调整喷头移动速度和送气速度,并以送气速度来控制熔融 Sn-9Zn 合金的喷出速度,并调整好喷头孔直径、分层厚度、平台温度,利用 PMAC 软件完成平台的三维运动,实现熔融 Sn-9Zn 合金的逐层沉积成形。

3D 打印试样为正方体,尺寸为:120 mm×120 mm×120 mm。

三维平移台和熔炼设备如图 1 所示。

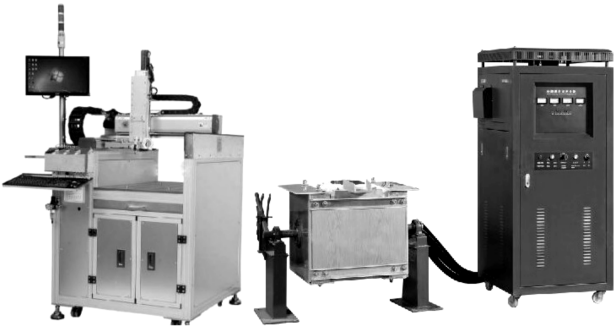


图 1 三维平移台和熔炼设备

试样的 3D 打印工艺参数如表 1 所示。

表 1 试样的 3D 打印工艺参数

工艺参数	参数取值
喷头孔直径/mm	0.6
喷头移动速度/(mm·s ⁻¹)	15
送气速度/(mL·min ⁻¹)	9
分层厚度/mm	0.8
成形平台温度/(℃)	65

1.2 试验方法

本研究在感应熔炼 Sn-9Zn 合金试样与 3D 打印 Sn-9Zn 合金试样上分别切取力学性能试块,试块形状为圆棒状,尺寸为 Φ5 mm×35 mm。力学性能测试在 DNS 电子拉伸实验机上进行,25℃测试,拉伸速度 2 mm/s,试验结束后用 EVO18 型扫描电镜观察试样表面拉伸断口形貌。

本研究在感应熔炼 Sn-9Zn 合金试样与 3D 打印 Sn-9Zn 合金试样上分别砸取 5 个质量在 80 mg~100 mg 间的可焊性试块。可焊性测试仪器为 SAT-5100 润湿天平测试仪。

试验参照国标 GB/T 2423.32-2008《电工电子产品环境试验第 2 部分:试验方法试验 Ta:润湿称量法可焊性》^[12]进行:

将可焊性试块从称上悬吊下,将试块侵入恒定温度的焊料中,直至规定的深度,浸渍速度 15 mm/s,在规定时间内测量力和时间,计算出润湿时间和最大润湿力。

为提高试验数据可靠性,感应熔炼与 3D 打印 Sn-9Zn 合金试样均连续测量 5 次,取平均值作为最终测试结果。

2 试验结果

2.1 力学性能

采用感应熔炼与 3D 打印 Sn-9Zn 合金试样的力学性能测试结果如表 2 所示。

表 2 试样力学性能测试结果

测试项目		测试样件编号			
		1	2	3	平均值
抗拉强度/MPa	感应熔炼	43	45	42	43.3
	3D 打印	41	44	43	42.7
屈服强度/MPa	感应熔炼	25	26	28	26.3
	3D 打印	26	24	27	25.7
断后伸长率/(%)	感应熔炼	27.2	26.5	28.1	27.3
	3D 打印	26.8	27.9	28.5	27.7

从表 2 可知:

感应熔炼与 3D 打印的 3 组平行测试样件的测试

结果相差不大,感应熔炼 Sn-9Zn 合金试样的抗拉强度、屈服强度和断后伸长率的平均值分别为43.3 MPa、26.3 MPa 和 27.3 %,而 3D 打印 Sn-9Zn 合金试样的抗拉强度、屈服强度和断后伸长率的平均值则分别为 42.7 MPa、25.7 MPa 和 27.7%。

从以上试验结果可知:采用 3D 打印 Sn-9Zn 合金试样的力学性能测试结果与感应熔炼 Sn-9Zn 合金试样的测试结果非常接近。

感应熔炼与 3D 打印 Sn-9Zn 合金试样的拉伸断口形貌照片如图 2 所示。

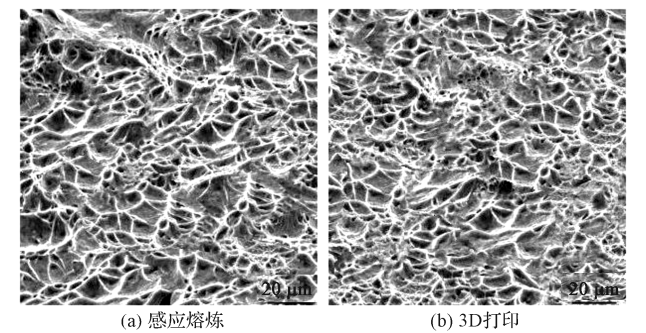


图2 试样的拉伸断口形貌照片

从图 2 可以看出:
感应熔炼 Sn-9Zn 合金试样与 3D 打印 Sn-9Zn 合金试样表面断口形貌非常相似,韧窝大小、形状接近。
由综合试样的力学性能测试结果和拉伸断口形貌照片可知,感应熔炼与 3D 打印方法获得的 Sn-9Zn 合金试样的力学性能相当。因此,在特定的 3D 打印工艺参数下,用 3D 打印技术替代传统的感应熔炼方法,同样能得到与之相当的力学性能。

2.2 可焊性

采用感应熔炼与 3D 打印 Sn-9Zn 合金试样的可焊性测试结果如表 3 所示。

表3 试样可焊性测试结果

测试试样编号	润湿(零交)时间/s		最大润湿力/mN	
	感应熔炼	3D 打印	感应熔炼	3D 打印
1	0.41	0.38	3.42	3.38
2	0.37	0.4	3.27	3.34
3	0.42	0.42	3.36	3.41
4	0.38	0.41	3.41	3.39
5	0.39	0.39	3.38	3.29
平均值	0.39	0.4	3.37	3.36

从表 3 可以看出:
感应熔炼与 3D 打印的五组平行测试样件的润湿(零交)时间在 0.37 s ~ 0.42 s 之间,最大润湿力在 3.27 mN ~ 3.42 mN 之间。感应熔炼 Sn-9Zn 合金试样的润湿(零交)时间平均值为 0.39 s,最大润湿力平均

值为 3.37 mN;3D 打印 Sn-9Zn 合金的润湿(零交)时间平均值为 0.39 s,最大润湿力平均值为 3.36 mN。

根据以上试验结果可知:采用 3D 打印 Sn-9Zn 合金试样的最大润湿力平均值仅与感应熔炼 Sn-9Zn 合金相差 0.01 mN,两者的可焊性测试结果非常接近。

由此可知,在特定的 3D 打印工艺参数下,用 3D 打印技术替代传统的感应熔炼方法,同样能得到与之相当的可焊性性能。

3 分析与讨论

3D 打印工艺过程按照单道、单层和实体分层次进行,本文搭建了喷射沉积成形试验平台,先设计好单道沉积的路径,通过一层一层地沉积叠加最终实现 Sn-9Zn 合金的成形。Sn-9Zn 合金的力学性能与可焊性和 3D 打印工艺参数相关,单道的成形性能直接影响 Sn-9Zn 合金的综合性能。喷头孔直径、喷头移动速度、熔融金属喷出速度、分层厚度与成形平台温度都影响着单道沉积的轨迹宽度和均匀性,对单道成形性能起着至关重要的作用。

喷头孔直径决定单道沉积的轨迹宽度。喷头孔直径如果过小,容易堵塞喷头,不利于成形;虽然轨迹宽度随喷头孔直径变大而变大,但喷头孔并不是越大越好,过大会降低金属件的精度,并进一步影响 Sn-9Zn 合金的力学性能和可焊性,所以本文将喷头孔直径定为 0.6 mm。

单道沉积轨迹还受喷头移动速度和熔融金属喷出速度影响,由于本文通过送气速度来控制熔融 Sn-9Zn 合金的喷出速度,此处仅研究喷头移动速度和送气速度的影响。当喷头孔直径和喷头移动速度不变,增加送气速度时,喷头喷出的熔化状的 Sn-9Zn 合金量变多,单道沉积轨迹宽度因受到挤压限制而逐步变宽。当喷头孔直径与送气速度保持不变,增加喷头移动速度时,熔融的 Sn-9Zn 合金会随之迅速被拉长,单道沉积的轨迹宽度变小。如果喷头移动速度较大、送气速度较小,喷头喷出的金属量则会比实际需要量少,进而出现不均匀、不连续的沉积轨迹;如果喷头移动速度较小、送气速度较大,喷头喷出的金属量比实际需要量偏大,进而造成 Sn-9Zn 合金堆积过度,不利于金属件成形精度的提高。

所以,在选择 3D 打印参数时,并不是喷头移动速度越小、送气速度越大越好,送气速度应随喷头移动速度变化而相应变化,合理地设计喷头移动速度和送气速度对 Sn-9Zn 合金的单道成形性能非常重要,很大程度上决定了合金的力学性能、可焊性和使用寿命。本

文的喷头移动速度定为 15 mm/s,送气速度相应调整为 9 mL/min。

分层厚度对熔融金属的堆积结构影响颇大。如果分层厚度过小,喷嘴容易刚蹭 Sn-9Zn 合金的堆积结构,产生缺陷的熔丝,并且会过度加热熔融 Sn-9Zn 合金的堆积结构,造成熔丝过烧,促使 Sn-9Zn 合金成形件表面发黄,从而大大降低金属件的力学性能和可焊性,降低使用寿命;如果分层厚度过大,虽然不会产生堆积结构刚蹭、过度加热的问题,但是合金的致密性变差,力学性能和可焊性反而会有所下降。因此,分层厚度不宜过低也不宜过高,本文试验设计分层厚度为 0.8 mm。

成形平台温度影响 Sn-9Zn 合金的层间结合力。Sn-9Zn 合金的层间结合随成形平台温度升高而不断变好,但成形平台温度并不是越高越好,温度过高易引起 Sn-9Zn 合金成形失败,出现部分或整体塌陷的可能。为提高 Sn-9Zn 合金的层间结合力,本研究的成形平台温度设计为 65 ℃。

4 结束语

本文对 3D 打印 Sn-9Zn 合金与感应熔炼 Sn-9Zn 合金试样进行了拉伸试验和润湿称量法可焊性试验,将 3D 打印 Sn-9Zn 合金与感应熔炼 Sn-9Zn 合金进行对比,并分析与探讨了 3D 打印工艺参数对 Sn-9Zn 合金性能的影响,结论如下:

(1)感应熔炼 Sn-9Zn 合金与 3D 打印 Sn-9Zn 合金试样的抗拉强度平均值分别为 43.3 MPa 和 42.7 MPa、屈服强度平均值分别为 26.3 MPa 和 25.7 MPa、断后伸长率的平均值分别为 27.3 % 和 27.7 %,因此,在特定的 3D 打印工艺参数下,用 3D 打印技术替代传统的感应熔炼方法,同样能得到与之相当的力学性能;

(2)感应熔炼 Sn-9Zn 合金与 3D 打印 Sn-9Zn 合金试样的最大润湿力平均值分别为 3.37 mN 和 3.36 mN,在特定的 3D 打印工艺参数下,用 3D 打印技术替代传

统的感应熔炼方法,同样能得到与之相当的可焊性性能;

(3)3D 打印工艺参数是影响金属成形件单道成形性能的重要指标,选择适宜的 3D 打印工艺参数能获得力学性能和可焊性优良的 Sn-9Zn 合金。

参考文献 (References):

- [1] 赵柏森,赵国际. Sn-9Zn/Cu 界面金属间化合物高温时效过程中生长与演变[J]. 有色金属工程,2014,4(6):8-10.
- [2] 王 慧,薛松柏,韩宗杰,等. Sn-Zn 系无铅钎料的研究现状及发展趋势[J]. 焊接,2007(2):31-35.
- [3] 赵柏森,赵国际. Sn-9Zn/Cu 界面金属间化合物高温时效过程中生长与演变[J]. 有色金属工程,2014,4(6):8-10.
- [4] 崔反东. 合金元素对 Sn-9Zn 钎料钎焊 6061 铝合金的影响[D]. 内蒙古:内蒙古工业大学材料科学与工程学院,2015.
- [5] 魏秀琴,周 浪,黄惠珍等. 氧化对 Sn-Zn 系无铅焊料润湿性的影响[J]. 中国有色金属学报,2009,19(1):174-178.
- [6] 赵柏森,傅 田,马 睿,等. 微量银对 Sn-9Zn 合金电化学腐蚀行为的影响[J]. 机械工程材料,2015,39(4):68-70,80.
- [7] 包国光,赵默典. 3D 打印技术的本质特征及产业化对策探析[J]. 东北大学学报:社会科学版,2016,18(2):111-117.
- [8] 张钰粮,高蕾娜,董 浩. 小议 3D 打印在论型设计中的作用[J]. 机械,2018,45(4):67-72.
- [9] 张学军,唐思熠,肇恒跃,等. 3D 打印技术研究现状和关键技术[J]. 材料工程,2016,44(2):122-128.
- [10] 张媛媛,李 军,石 凯. 3D 打印柔性材料特性及有限元分析方法研究[J]. 机电工程,2018,35(2):138-142.
- [11] 吴芬芬,刘利刚. 3D 打印物体的稳定平衡优化[J]. 计算机研究与发展,2017,54(3):549-556.
- [12] GB/T 2423. 32 - 2008. 电工电子产品环境试验第 2 部分:试验方法试验 Ta:润湿称量法可焊性[S]. 北京:中国标准出版社,2008.

[编辑:方越婷]

本文引用格式:

黄 伟,孙晓燕,吴士林. 3D 打印 Sn-9Zn 合金的性能研究[J]. 机电工程,2019,36(8):835-838.

HUANG Wei, SUN Xiao-yan, WU Shi-lin. Effect study on the properties of 3D printing Sn-9Zn alloy[J]. Journal of Mechanical & Electrical Engineering, 2019,36(8):835-838.

《机电工程》杂志: <http://www.meem.com.cn>