

文章编号:1673-9981(2008)01-0011-04

喷射沉积技术在 Al-Si 电子封装材料中的应用

徐高磊, 邓江文, 林木法

(江西理工大学, 江西 赣州 341000)

摘要: 主要介绍了喷射沉积技术的原理及用该技术所制备的 Al-Si 电子封装材料的性能和应用情况, 并讨论了该技术在 Al-Si 电子封装材料领域中的发展趋势。

关键词: 喷射沉积; Al-Si 合金; 电子封装材料

中图分类号: TG146

文献标识码: A

喷射沉积技术是 20 世纪 60 年代产生并经过几十年的发展而成熟的一种快速凝固技术。在 21 世纪三大冶金前沿技术——熔融还原、近终形加工和半固态加工技术中, 喷射沉积技术作为一种半固态近终形加工技术备受国内外广大研究者的重视。

1 喷射沉积的原理及其特点

喷射沉积技术的原理^[1]: 经过流管流出的熔融金属, 被雾化喷雾出口的高速气流破碎, 雾化为细小弥散的熔滴射流, 雾化熔滴射流在高速气流的作用下加速, 并与气流进行热交换。其中小于某一临界尺寸的熔滴凝固为固体颗粒, 较大尺寸的熔滴仍为液态, 中间尺寸的熔滴则为含有一定比例液相的半凝固颗粒。这些凝固程度不同的熔滴高速撞击沉积表面后, 在表面上附着、铺展、堆积及与表面熔合而形成一个薄的半液态层, 并顺序凝固结晶, 逐步沉积生长为大块致密的金属实体——沉积坯。图 1 为喷射沉积的示意图。

喷射沉积与铸造冶金和粉末冶金工艺相比具有以下特点^[2-3]: 致密度高, 合金的氧含量低, 具有快速凝固的显微组织特征; 合金性能比常规铸锻材料有较大提高, 容易加工成形, 甚至可以获得超塑性; 工艺流程短, 成本低, 沉积效率高; 柔性制造系统灵活, 近终成形。

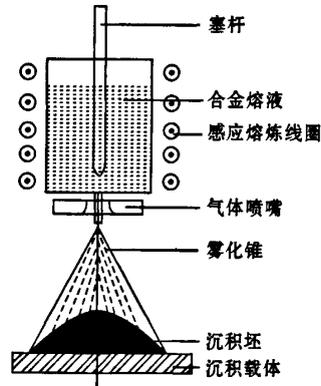


图 1 喷射沉积的示意图

Fig. 1 The principle of spray deposition process

2 喷射沉积技术在 Al-Si 电子封装材料中的应用

Al-Si 合金是一种综合性能可以满足电子封装要求的合金体系, 其热膨胀系数 (CTE) 和热导率随硅含量的变化在一定范围内连续可调。因此, 通过设计材料的成分, 可制备出新型轻质并具有热传导率高、热膨胀系数低、与半导体硅和砷化镓匹配及硅含量高 (50%~70%) 的 Al-Si 合金材料, 使之满足现

收稿日期: 2007-10-18

作者简介: 徐高磊 (1982-), 男, 河南漯河人, 硕士研究生。

代封装技术的要求。

硅含量较低的 Al-Si 合金一般可通过熔化铸造成形,但硅质量分数大于 50% 时,Al-Si 合金铸态的显微组织主要由粗大的、孤立的、多面化和高纵横比的一次硅晶体组成,这对材料的力学性能和可加工性将产生不利的影响。针状一次硅相的尺寸为毫米级,这导致材料的显微组织极度各向异性,使此合金极不适合用于电子封装。例如,用于电子封装的板材厚度为 1~5 mm,如果采用铸造材料,那么单个颗粒硅晶体将有可能穿透整个板厚,并且硅颗粒易沿择优晶体学平面发生单方向开裂,这使材料的加工极难达到表面涂装所要求的高精度。

采用喷射沉积技术制备的 Al-Si 合金,可在不改变材料成分的前提下大幅度提高材料的性能。在喷射成形过程中,经过雾化的 Al-Si 合金熔滴在飞行过程中即开始形成硅晶体。在沉积坯表面的凝固相被破碎而产生大量的硅相形核,这些核心长大并

相互碰撞限制了硅相的长大,使其无法形成铸造组织中那样孤立的、高度取向性的硅颗粒,而且所形成的硅晶体随机取向,解决了显微组织与性能各向异性的问题。这样使沉积坯在结构上实现了连贯性,具有各向同性的合金组织和性能,有利于材料表面的精细加工。

目前,关于硅质量分数高于 50% 的 Al-Si 合金电子封装材料的研究十分活跃。欧共体实施 BRITE/EURAM 计划来开发以 Al-Si 合金为基础的新型电子封装材料。由欧共体支持的英国 Osprey 公司于 2000 年用喷射沉积技术生产出硅含量最高达到 70% 的 Al-Si 合金,制备出了 Al-27Si, Al-42Si, Si-50Al, Si-40Al, Si-30Al 系列合金。该公司还可根据用户的需求设计材料的成分,大幅度拓展了 Al-Si 合金的应用,满足了电子封装业的需求。该公司生产的 Al-Si 系列合金的物理性能和机械性能^[4-5]列于表 1。

表 1 Osprey 公司生产的 Al-Si 合金牌号和性能
Table 1 Trademark and properties of Al-Si alloy produced by Osprey company

合金 牌号	成分	热膨胀系数 ¹⁾ /K ⁻¹	热导率 ²⁾ /(W·m ⁻¹ ·K ⁻¹)	最大张力强度 /MPa	屈服强度 /MPa	抗弯强度 /MPa
CE7	70Si-30Al	7×10 ⁻⁶	120	100	—	143
CE9	60Si-40Al	9×10 ⁻⁶	129.4	—	—	140
CE11	50Si-50Al	1.1×10 ⁻⁵	149	138	125	172
CE13	42Si-58Al	1.3×10 ⁻⁵	160	176	155	213
CE17	27Si-73Al	1.7×10 ⁻⁵	177.4	160	110	210

注:1)热膨胀系数的温度为 20~500℃;

2)热导率的温度为 25℃。

目前,国内主要有北京有色金属研究院、北京科技大学、中南大学和中国科学院等单位进行了相关研究,并且取得了一定的成果。田冲等人^[6]采用喷射沉积技术制备了 Al-70Si 合金,其组织均匀,Si 相粒子细小,没有粗化和偏析的现象。该合金的 CTE 为 (7~8)×10⁻⁶K⁻¹,热导率大于 100 W/(m·K),密度为 2.46 g/cm³,机械加工性能良好,可以用普通刀具进行车、铣、刨、钻孔加工。魏衍广等人^[7]研究了沉积态合金的显微组织及其随温度变化的规律,Al-70Si 合金的热加工变形温度为 560~590℃。王晓峰等人^[8]采用喷射沉积与热等静压结合的方法制备了性能良好的 Al-70Si 合金。王磊等人^[9]用该法制备的 Al-70Si 合金,其 CTE 为 (7~9)×10⁻⁶K⁻¹,热导

率为 120 W/(m·K),抗弯强度为 180 MPa。

3 Al-Si 合金电子封装材料的性能和应用

3.1 材料的性能

与一般的电子封装材料相比,用喷射沉积方法制备的 Al-Si 合金封装材料具有更优异的综合性能。在 Al-70Si 合金的微观结构中,弥散均匀的硅颗粒形成了连续的骨架,铝围绕硅颗粒间隙呈现连续的网状分布。其主要特点^[10]是硅弥散分布于基体中,无颗粒偏析和凝固偏析的现象;硅和金属基体接触紧密,没有明显的过渡层。

由于硅的 CTE 远远低于铝的,这样硅颗粒对基体铝的热膨胀将起到有效的锁定和限制作用,所以硅颗粒的体积分数在很大程度上决定了 Al-Si 合金的热膨胀系数.张济山^[11]的研究表明:通过控制合金中的 Si 含量可以调控 Al-Si 合金的 CTE;当 Si 质量分数超过 70%时,合金的 CTE 不随 Si 含量的增加而降低;温度对 Al-Si 合金 CTE 的影响不大.

Al-Si 合金的热导率不仅与硅和铝的导热性能以及硅含量有直接的关系,而且还受 Al-Si 合金界面及硅颗粒的尺寸和分布的影响.如果 Al-Si 合金的界面越多,结合越差,则界面的热阻越大,热导率就越低.这主要是由于几何界面或晶体缺陷对声子和自由电子有散射作用.增强相的均匀分布及高热基体形成完整连通的网状结构对提高材料的导热性能十分有利^[11].

用普通刀具就可对 Al-70Si 合金进行加工,而且还可以在其表面上镀镍、铜、银和金,镀层在 450℃ 保持稳定且结合牢固^[10].张济山^[11]采用多晶金刚石涂镀的刀具,将 Al-70Si 合金加工成用于电子封装的形状复杂的部件.

3.2 材料的应用

高硅铝合金电子封装材料不仅具有 CTE 低、热导率高及可加工性强,而且还具有良好的力学性能,可满足航空航天、空间技术和便携式电子器件等高新技术领域对电子封装材料的要求.Osprey 公司^[4]用喷射沉积与热等静压结合的方法制备的内部组织均匀、性能优良的 Al-70Si 电子封装材料已经成功用于航天微波电路.国内的张济山^[11]也成功地将 Al-70Si 电子封装材料用于 10W RFS-波段(2GHz)功率放大器.新型 Al-Si 电子封装材料主要用于大功率集成电路封装、载波器、RF/微波框架和波导管、电子光学框架及热沉件^[11].

4 需解决的问题

用喷射沉积技术生产的高硅铝合金电子封装材料在实际应用中逐渐暴露出强度低、在海洋气候下使用易腐蚀等问题.主要原因是只研究了这种材料的物理性能与 Si 含量之间的对应关系,没有拓展材料微合金化的研究.因此,开展微合金成分的优化设计,对获得性能优异的 Al-Si 合金具有十分重要的意义.

为了改善 Al-Si 合金的组织和性能,常常加入合金元素 Cu, Mg, Fe, Ni 和 Mn 等.加入 Cu 和 Mg 的目的主要是通过析出强化提高合金的室温强度,所加 Cu 质量分数一般约为 2.0%, Mg 一般为 1%~3%;加入 Fe, Ni, Mn 是为了改善合金的热稳定性,提高其高温强度^[12].加入 Cu 或 Mg 的快速凝固 Al-Si 合金粉末,经挤压和时效,可形成具有沉淀强化作用的 Al_2Cu 相和 Mg_2Si 相,使合金强度显著提高.王锋^[13]的研究表明:当合金中加入质量分数 3% 的 Mn 时,组织中针状的 Al-Si-Fe 金属间化合物被颗粒状的 $Al_{15}(FeMn)_3Si_2$ 所代替.袁晓光^[14]的研究表明:Al-Si 合金中 Fe 形成耐热的金属间化合物,可抑制 Si 相的粗化,阻止位错的滑移和亚结构的消失以及晶界迁移,从而提高合金的室温和高温性能.王锋等人^[15]在 Al-Si 合金中加入一定量的 Cu 和 Mg 后,合金经过喷射沉积快速凝固和后续的时效处理,在合金基体中析出了时效强化相,合金在常温和高温下的屈服强度和抗拉强度大幅度地提高.

5 结 语

喷射沉积技术把液态金属的雾化和雾化熔滴的沉积自然地结合起来,以较少的工序将合金直接从液态制备成致密、组织细化、成分均匀、结构完整并接近零件实际形状的材料和坯件.用喷射沉积技术生产的 Al-Si 系列电子封装材料可与大多数半导体材料匹配,在国外这种材料已进入实用化和商品化阶段,但是国内在高硅铝合金电子封装材料的研制及这类材料的产品化方面还有些差距,进行这方面研究和开发是十分必要的.

参考文献:

- [1] 严彪,唐人剑,王军.金属材料先进制备技术[M].北京:化工工业出版社,2006.
- [2] 马鸣图,石力开,熊柏青,等.喷射沉积成形合金在汽车发动机缸套上的应用[J].汽车工艺与材料,2001(2):16-19.
- [3] 李念辛,李森蓉,金一粟.新型粉末金属高合金钢制造技术[J].中国机械工程,1996,7(5):95-96.
- [4] JACOBSON D M. Spray-formed silicon-aluminum[J]. Adv Mater Proces,2000(3):36.
- [5] CARL Z. Metal-matrix composites for electronic packaging[J]. JOM,1992,44(7):15.
- [6] 田冲,陈桂云,杨林,等.喷射沉积硅铝电子封装材料的

- 组织与性能[J]. 功能材料与器件学报, 2006, 12(1): 57.
- [7] 魏衍广, 熊柏青, 张永安, 等. 喷射成形 70Si30Al 合金在加热保温过程中显微组织的演变规律[J]. 中国有色金属学报, 2006, 16(4): 681.
- [8] 王磊, 张永安, 刘红伟, 等. 喷射成形 70Si30Al 合金封装材料的组织性能研究[J]. 稀有金属, 2007, 31(1): 4.
- [9] 王晓峰, 赵九洲, 田冲. 喷射沉积制备新型电子封装材料 70% Si-Al 的研究[J]. 金属学报, 2005, 41(12): 1277-1279.
- [10] 王敬欣, 张永安. 应用于电子封装的新型硅铝合金的研究与开发[J]. 材料导报, 2001, 15(6): 19.
- [11] 张济山. 新型喷射成形轻质、高导热、低膨胀 Si-Al 电子封装材料[J]. 材料导报, 2002, 16(9): 1-4.
- [12] ANAND S, SRIVATSAN T S, YUE W. Microstructure and fracture behavior of spray atomized and deposited aluminum-silicon alloy [J]. J Mater Sci, 1997, 32: 2835.
- [13] 王锋, 杨滨, 崔华, 等. 喷射沉积 Al-Si-Fe-Mn-Cu-Mg 合金的析出强化行为[J]. 北京科技大学学报, 2001, 23(3): 216-220.
- [14] 袁晓光, 徐达鸣, 张淑英, 等. 喷射沉积 Al-Si-Fe-Cu-Mg 合金的微观组织和力学行为[J]. 金属学报, 1997, 3(3): 248-251.
- [15] 王锋, 何建平, 杨滨, 等. 喷射沉积 Al-Si-Fe-Mn-Cu-Mg 合金的微观组织与力学性能[J]. 航空材料学报, 2001, 21(1): 23-27.

Application of spray deposition technology in aluminum-silicon electronic

XU Gao-lei, DENG Jiang-wen, LIN Mu-fa

(Jiangxi University of Science and Technology, Ganzhou 341000, China)

Abstract: Spray forming is a new shape technology which developed rapidly in recent years. The mechanism, characteristic and application in high silicon aluminum alloys materials are introduced in this paper. The trend of this packaging material in high silicon aluminum alloy is predicated.

Key words: spray deposition; Al-Si alloy; electronic packaging