

激光熔覆成型用 Ni- Cu- Sn 合金粉末的制备及其成形特性

Preparation and Forming Characters of Ni- Cu- Sn Alloy Powder for Laser Cladding Forming

高能束流加工技术重点实验室 张 雁 费群星 谭永生
北 京 科 技 大 学 曹文斌 赵 靖

[摘要] 研制了适合激光熔覆成型的 Ni- Cu- Sn 合金粉末,通过工艺试验,分析了激光熔覆成型件的微观组织特征及微观缺陷的形成原因,并提出了预防缺陷形成的方法。

关键词: 激光熔覆成型 Ni- Cu- Sn 合金粉末 微观组织

[ABSTRACT] The Ni- Cu- Sn alloy powder suitable for laser cladding forming is developed. By experiments, the microstructure features and the cause of faults in microstructure of laser cladding formed part are analyzed, and the methods of preventing from faults are proposed.

Keywords: Laser cladding forming Ni- Cu- Sn alloy powder Microstructure

激光熔覆成型技术是近年发展起来的一种新的快速成形制造技术,该技术将快速原型制造技术和激光熔覆表面强化技术相结合,既保留了快速原型制造技术中能够快速制造复杂零件的特点,又具有成型零件性能优良、组织结构致密的优点,是快速原型制造技术一个重要的发展方向。

在激光熔覆表面强化中,目前大多使用等离子喷涂用的自熔性合金粉末。自熔性合金粉末中含有较多的 B、Si 元素,这使得粉末本身在熔覆过程中具有造渣、除气和防氧化保护的能力。但这种自熔性合金粉末并不适合激光熔覆成型,因为激光熔覆成型进行的是多层激光熔覆,如果采用自熔性合金粉末,则前一次激光熔覆中上浮的熔渣就可能夹杂在熔覆层之间,成为裂纹源^[1]。因此,有必要寻求和研制适合激光熔覆成形的合金粉末。本文采用自行研制的 Ni- Cu- Sn 合金粉末进行激光熔覆成型试验,分析了成型件的微观组织结构及微观缺陷的形成原因,并提出了预防缺陷形成的方法。

1 试验

1.1 粉末制备

采用高功率激光(1kW 以上)直接熔覆金属粉末,由于充足的激光能量可导致熔池内粉末颗粒全部熔化,液态金属所具有的极高的表面张力使熔池固化为一个个独立的金属小球而无法形成连续的熔覆轨迹,这就是球化现象。对于特定的金属材料,降低其液相表面张力的有效途径是添加辅助材料。研究表明,在众多的材料系统中,铜是一种理想的添加相材料。在镍粉中添加适当比例的铜元素,可调整熔覆过程中液相金属和固相金属之间的浸润性,降低液相金属的表面张力,从而避免液相金属凝固过程中的球化现象^[2]。但是纯铜会使产品的硬度降低,因此,在 Ni 粉中加入 CuSn 合金,其硬度比纯铜高,而且熔点低,可作为粘结金属,在成型过程中易于熔化而生成液相,高熔点的镍粉(1455℃)具有较好的浸溶性,能保留其硬质核心,可作为结构金属,由于 Cu 和 Ni 能无限互溶,因此形成的 CuSn 液相包覆并润湿结构金属 Ni 颗粒,在液相毛细管力作用下,固相颗粒发生重排,这使得成型致密度大大提高^[3]。

图 1 是 Ni- Cu- Sn 三元相图,从图 1 可以看出,在组成点 A 上, Ni 与 Cu 形成性质均一的固熔体,该三元体系的熔点在 1427K 左右。可见该粉末熔点低于纯镍(1726K)和纯铜(1456.5K),便于激光熔覆成型。

考虑到上述因素,最终确定本课题所研究的镍基合金粉末的组成为 84Ni14.4Cu1.6Sn。

在制粉工艺上采用快速凝固水雾化合金法。从图 2 可以看出,水雾化合金法制备的金属粉末球化度很好,粉末较细。

由于在制粉过程中不可避免地会发生粉末氧化,需将粉末进行脱氧处理。图 3 是-150 目粉末置于

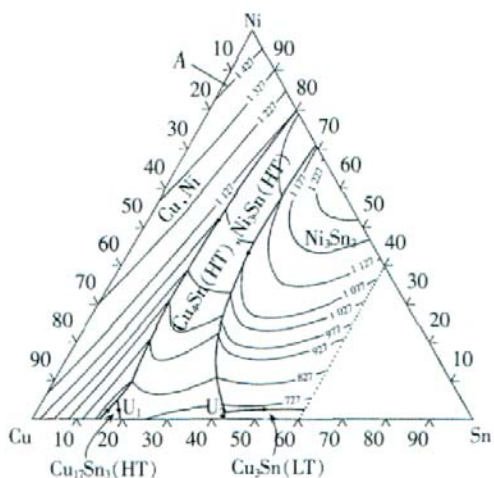


图1 Ni-Cu-Sn 三元相图

Fig.1 Ternary phase diagram of Ni-Cu-Sn

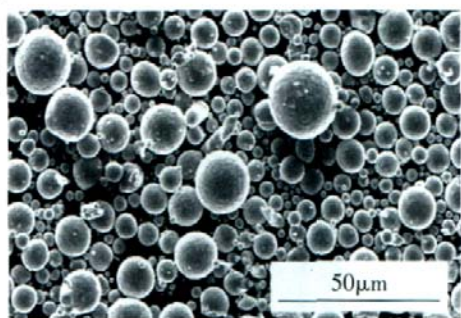


图2 Ni-Cu-Sn 粉末-150目 SEM 形貌

Fig.2 SEM morphology of Ni-Cu-Sn powder -150 mesh

550 的氢化炉中保温 2h 进行脱氧处理后的 SEM 形貌。经测试, 氢化后-150 目粉末含氧量的质量分数由氢化前的 0.68 下降到 0.38。

通过以上处理的 Ni-Cu-Sn 粉末粒度比较均匀, 颗粒呈球状, 且具有较好的流动性, 便于通过送粉器

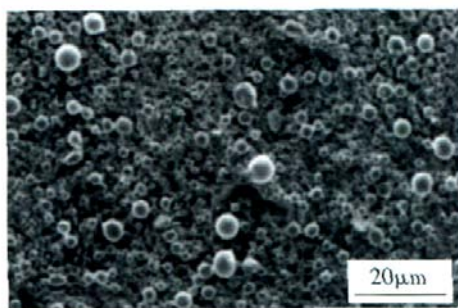


图3 -150目 Ni-Cu-Sn 粉末脱氧后形貌

Fig.3 SEM morphology of Ni-Cu-Sn powder -150 mesh after deoxidizing

同轴送粉, 进行激光熔覆成型试验。

1.2 工艺试验

(1) 基体材料。

基体为 A3 钢, 尺寸为 50mm×40mm×30mm, 激光熔覆之前, 先用砂纸打磨, 去除铁锈和氧化皮, 然后用丙酮清洗表面, 去除油污, 再喷砂, 提高基体对激光的吸收率。采用电炉预热基体, 降低温度梯度, 避免开裂。

(2) 粉末材料。

· 粉末成分(质量分数), Ni: 84%, Cu: 14.4%, Sn: 1.6%。

· 粉末粒度, 100 目~150 目。

试验采用上海光机所研制的 HJ-4 型 5kW 横流 CO₂ 激光器。工艺参数取值范围: 激光功率控制在 600~1200W, 扫描速度为 300~600mm/min 之间, 离焦量为 10~25mm, 送粉率控制在 5~15g/min。将成型样品用线切割方法加工成试样, 抛光后用 CuSO₄-浓盐酸-酒精溶液腐蚀后, 在 NEOPHOTO21 金相显微镜下观察金相组织。

2 试验结果与分析

2.1 微观组织特征

熔覆层内部典型显微组织为枝晶及柱状晶。图 4 所示为沿垂直扫描方向的纵切面截取的试样。由图 4 可见, 枝晶组织跨层生长为外延式枝晶, 生长方向一致, 层与层之间的界面不明显, 说明熔覆的层与层之间达到冶金结合, 保证了各层之间整体的结合强度和组织在生长方向上的连续性。靠近层间结合面上部的熔覆层组织枝晶明显, 其生长方向与熔覆层结合面相垂直。晶粒的生长方向与过冷度有关, 枝晶始终沿冷却方向生长。在熔覆层底部, 金属的冷却与传热作用很大, 并且沿垂直于熔覆表面的方向散热最快, 因此, 在熔覆层底部的枝晶基本上都沿垂直于结合界面的

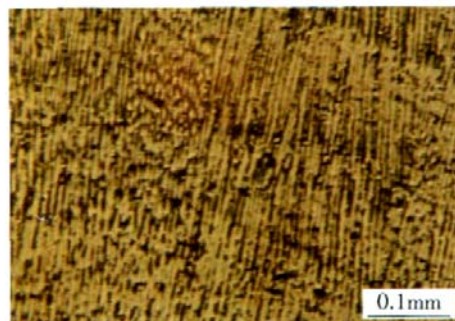


图4 熔覆层内部显微组织

Fig.4 Microstructure of cladding layer

方向向外生长。而在熔覆层中上部,其下部金属已经被加热,冷却和传热作用减弱,冷却速度相对较慢,且由于熔池中存在强烈的对流作用,因而枝晶的生长相对杂乱、细小。

2.2 微观缺陷及预防

在熔覆层中可以观察到 2 种缺陷,有直径约为 30 μm 的球形气孔(图 5),还有尺寸超过 200 μm 的不规则形状的空洞(图 6)。

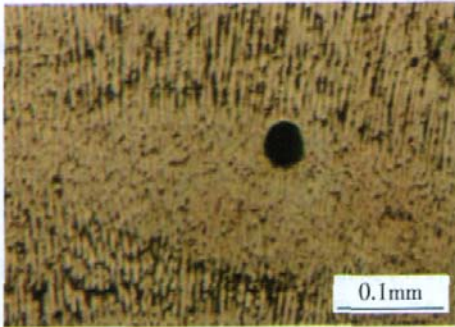


图 5 熔覆层中的球形气孔

Fig.5 Spherical porosity in the cladding layer

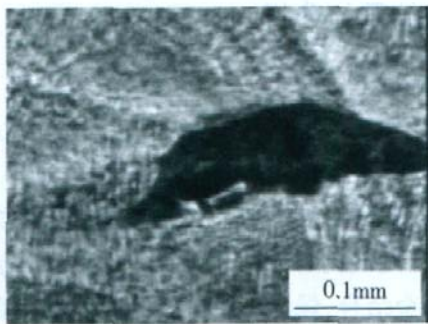


图 6 熔覆层中的不规则空洞

Fig.6 Irregular shaped cavity in the cladding layer

球形气孔可能是在熔池凝固之前或凝固的过程中形成的,这是由于在快速凝固的条件下,熔池中的球形气泡来不及逸出而造成的。因为试验在充满氩气的保护箱中进行,形成气泡的气体应该主要来源于填充粉末。因此,先将填充粉末在 100 的真空干燥箱中经 2h 烘干处理,以去除粉末中的水气,然后再熔覆成型,球形气孔明显减少。另一种方法是增加激光沉积的热输入,降低凝固速率,也就是通过适当增加功率密度、减慢扫描速度的方法,进而延长熔池寿命,使熔池中的气体尽量逸出,也可以减少气孔。

图 6 所示的不规则形状的空洞是由于填充粉末

间的欠熔造成的。通过调整送粉率和激光功率,还有减小扫描间距,使填充粉末颗粒达到完全熔化,可以避免这种缺陷发生。

2.3 成型样件

采用 Ni-Cu-Sn 合金粉末在表 1 所列的工艺参数下进行熔覆成型,获得的金属样件如图 7 所示,尺寸为 φ30mm×28mm,经检测,样件的尺寸精度很高,并且没有发现微裂纹。说明研制的 Ni-Cu-Sn 合金粉末适于激光熔覆成型。

表 1 激光熔覆成型工艺参数

工艺参数	激光功率/W	扫描速度/(mm·min ⁻¹)	离焦量/mm	送粉率/(g·min ⁻¹)	送粉气流量/(L·h ⁻¹)
数值	1 000	400	20	7.5	200

注:粉末在 100 的真空干燥箱中经 2h 烘干处理;氩气保护。

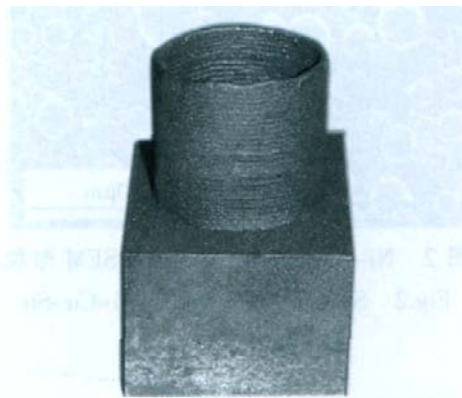


图 7 Ni-Cu-Sn 激光熔覆成型样件

Fig.7 Ni-Cu-Sn sample of laser cladding forming

3 结论

(1) 采用水雾化合金法制备的 Ni-Cu-Sn 合金粉末,球化度很好,经脱氧处理后氧含量比较低,并且具有良好的流动性,适于激光熔覆同轴送粉。

(2) 激光熔覆层的微观组织呈跨层生长外延式枝晶,层与层之间达到冶金结合。

(3) 氩气气氛保护及填充粉末的预先烘干处理,结合适当增加功率密度、减慢扫描速度的方法,可以减少球形气孔缺陷的产生。通过调整送粉率和激光功率,减小扫描间距,可以避免不规则形状空洞的产生。

(4) 在合适的工艺参数条件下,Ni-Cu-Sn 合金粉末经激光熔覆逐层沉积可制备具有一定形状的无裂纹的三维零件。

(下转第 78 页)

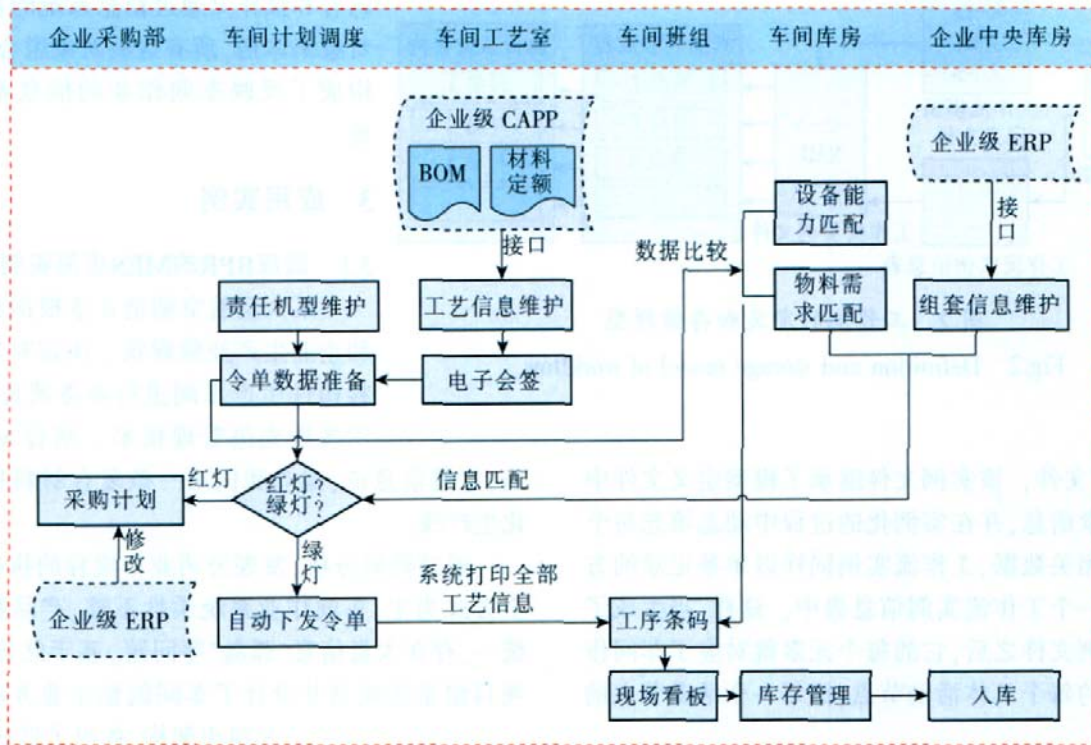


图 4 航空制造企业复合材料生产车间重组后的业务流程

Fig.4 Business process of the composite material workshop in aeronautical manufacturing enterprise after reengineering

状况进行对照，重组后的生产准备周期缩短了 15 个工作日，效率提高了 50%左右，数据输入时间减少了 75%以上，纸面工作和设计蓝图所带来的损失减少了 56%，实现了流程重组目标。

4 结束语

生产制造管理的落后，是航空企业现阶段迫切需要解决的问题。项目组根据航空生产管理的实际情况，对现有的企业业务流程进行了设计和重组，建立了具有先进管理理念、结合生产实际的航空 MES 系统。系统的应用实施缩短了企业的制造周期，降低了生产成本，对提高企业的制造质量、实现生产作业的优化调度和制造资源的合理配置具有重要意义。

参 考 文 献

[1] 周荣辅, 张丹. 关于企业如何成功实施 BPR 的探讨. 哈尔滨学院学报, 2006, 27(2): 57-59.
 [2] 张明宝, 潘宪生. 企业业务流程重组. 北京: 科学出版社, 2004.
 [3] 梅绍祖, 冯建中. BPR 与信息技术. 系统工程理论与实践, 2003, 23(2): 45-50.

[4] 董立敏. 基于 MES 的生产管控系统的研究[D]. 河北: 河北工业大学出版社, 2005.
 [5] 范玉顺. 工作流管理技术基础. 清华大学出版社 & 施普林格出版社, 2000.
 [6] 杨慧松. 以数据为中心的柔性信息系统的建模方法. 计算机集成制造系统, 2005, 11(1): 68-72.
 [7] 盛革. 拓展企业再造的逻辑框架与流程网络描述. 科研管理, 2004, 25(1): 1-5.

(责编 微凉)

.....
 (上接第 74 页)

参 考 文 献

[1] 邓琦林, 许黎明, 胡德金, 等. 激光熔覆成型金属零件中微裂纹的减少和消除. 机械工程学报, 2002, 38(增刊): 117-121.
 [2] 赵剑峰, 张建华, 张剑峰, 等. 镍合金激光直接烧结成型件显微结构及微观缺陷. 中国机械工程, 2005, 16(3): 264-267.
 [3] 沈以赴, 吴鹏, 顾冬冬, 等. Ni-CuSn 混合粉末选区激光烧结试验. 焊接学报, 2005, 26(2): 73-76.

(责编 依然)