DOI: 10.16410/j.issn1000-8365.2020.03.005

# AlSi7Mg 合金选区激光熔化工艺及性能研究

唐光东,冯 涛,段国庆,冯云龙,郭东海,吴朋越

(北京易加三维科技有限公司,北京102206)

摘 要:为了研究 AlSi7Mg 合金选区激光熔化成形工艺及性能,通过改变激光功率和扫描速度,得到不同工艺参数对成形试样性能的影响规律。结果表明:试样的相对密度随激光功率和扫描速度的增大均呈先上升后下降的趋势,试样的相对密度最高可达 99.95%;随激光功率的增加,试样的拉伸性能先上升后下降;激光功率为 350 W、扫描速度 1 400 mm/s 时,试样抗拉强度为 423 MPa,屈服强度为 293 MPa。

关键词:选区激光熔化;AlSi7Mg;工艺参数;性能

中图分类号: TG665

文献标识码:A

文章编号:1000-8365(2020)03-0219-04

### Process and Properties of AlSi7Mg Alloy Fabricated by Laser Selected Melting

TANG Guangdong, FENG Tao, DUAN Guoqing, FENG Yunlong, GUO Donghai, WU Pengyue (Beijing Eplus 3D Tech. Co., Ltd., Beijing 102206, China)

**Abstract:** By changing the laser power and scanning speed, the melting process and properties of AlSi7Mg alloy selective laser were studied. The influence law of different process parameters on the properties of formed samples was obtained. The results show that the relative density of the samples increases first and then decreases with the increase of laser power and scanning speed, and the relative density of the samples is up to 99.95%. With the increase of laser power, the tensile property of the sample increases first and then decreases. When the laser power is 350 W and the scanning speed is 1 400 mm/s, the tensile strength and the yield strength of the sample is 423 MPa and 293 MPa, respectively.

Key words: selective laser melting; AlSi7Mg; process parameters; properties

相对于钛合金、不锈钢、镍基高温合金等材料在 SLM 技术成形中的深入研究与广泛应用,铝合金因 其易氧化、导热率及对激光的反射率较高等问题, 在 SLM 成形中的发展应用较为缓慢[1-5]。为加快铝 合金在 SLM 成形中的发展速度,扩大铝合金的实 际应用范围,国内外学者对铝合金 SLM 成形制件 的制备工艺、成形质量以及力学性能等方面进行了 研究。Maeshima<sup>[6]</sup>等对 SLM 法制备的铝合金进行了 多尺度显微组织观察,研究了 SLM 制备过程中的 显微组织形成过程。Girelli<sup>门</sup>等研究发现,SLM 技术 成形的 AlSi10Mg 金属试样具有比铸造合金更加优 良的抗腐蚀性能。侯伟<sup>[8]</sup>等通过 SLM 技术成形 了组织和性能均优于传统铸件的 AlSi10Mg 合 金。孙靖[9]等通过不同扫描方式制备了大尺寸的 AlSi10Mg 合金,发现棋盘式扫描的试样致密度最 高,硬度最大。

目前,SLM 成形铝合金常用的材料是 Al-Si10Mg 合金,而对于 AlSi7Mg 的 SLM 成形研究鲜

收稿日期: 2019-12-17

作者简介: 唐光东(1991-),辽宁朝阳人,硕士.主要从事激光增 材制造技术方面的工作.电话:15910968923,

E-mail: tangguangdong@eplus3d.com

有报道,SLM 成形 AlSi7Mg 合金零件的实际成形质量、工艺参数以及性能的相关数据资料较少。AlSi7Mg 是 Al-Si-Mg 系亚共晶合金,其流动性好、热裂倾向小、力学性能及机械加工性能优良,是铸造铝合金中应用最广泛的合金材料之一[10],也是 SLM 成形铝合金中极具发展潜力的材料之一。为此,本文以AlSi7Mg 为对象,研究不同工艺参数条件下 SLM成形铝合金试样的致密度、力学性能的变化规律,以为实际生产中铝合金零件的应用提供理论基础和实验依据。

# 1 实验方法

#### 1.1 实验材料与设备

实验原料选用气雾化的 AlSi7Mg 粉末材料,粒度为 25~63 μm,其具体成分见表 1。

实验所用试样在北京易加三维科技有限公司自主研发的 EP-M250 型金属 SLM 设备上进行制备,如图 1(a)所示。图 1(b)为设备成形原理图,该设备采用光纤激光器,功率最大 500 W,光斑直径为50~100 μm,扫描速度为 100~8 000 mm/s,成型精度为±0.1 mm,成型舱室尺寸为 258 mm×258 mm×320 mm,分层厚度为 0.02~0.10 mm。

表1 AlSi7Mg粉末成分 w(%) Tab.1 Chemical composition of AlSi7Mg powder

Tubit Citation Composition of Table 1		
元素	含量	
Al	余量	
Si	7.14	
Mg	0.56	
Fe	0.16	
Cu	0.004 9	
Ni	0.002 1	
Ti	0.006 4	
Mn	0.018	

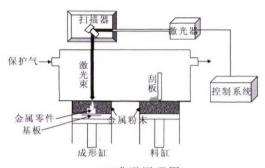
## 1.2 实验方法

实验前,先用 200 目筛网对粉末材料进行筛选,保证粉末颗粒均一性,并在真空干燥箱中对粉末进行干燥处理,温度为 100 ℃;然后打磨、清洗基板表面,并对其进行预热。将粉末均匀铺在料缸内,抽真空,使控制成形室内的氧含量在 0.01% 以下;然后冲人氩气作为保护气体,以防止铝合金发生氧化。

实验选用 stripe 方式进行扫描(见图 2),具体的工艺参数如表 2 中所示,通过激光选区熔化的方式进行试样制备。







(b)成形原理图

图 1 EP M250 金属打印机 Fig.1 Metal printer of EP M250

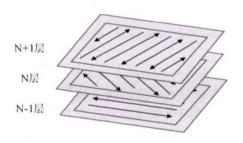


图 2 Stripe 扫描方式 Fig.2 Stripe scanning mode

表2 SLM成形工艺参数 Tab.2 Process parameters of SLM

参数	数值	
激光功率/W	250, 300, 350, 400, 450, 500	
扫描速度 /mm·s <sup>-1</sup>	800, 1 100, 1 400, 1 700, 2 000	
扫描间距 /mm	0.15	
分层厚度/mm	0.03	
层间相位角 (°)	67	

采用阿基米德排水法测量试样密度,利用金相显微镜观察研磨抛光后试样的微观形貌,实验中测试试样的尺寸为 10 mm×10 mm×10 mm,如图 3(a) 所示。拉伸试样按照 GB/T228-2010 设计用于测量常温下拉伸性能,其实际成形件如图 3(b)所示。

# 2 实验结果与分析

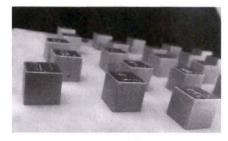
### 2.1 工艺参数对相对密度的影响

(1)激光功率对相对密度的影响 图 4 为扫

描速度一定(1 400 mm/s),激光功率的变化对试样相对密度的影响。可以看出,试样的相对密度随着激光功率的增加先上升后下降,SLM成形铝合金试样的整体相对密度超过 98%,激光功率为 350 W 时相对密度最高,为 99.62%。

图 5 为不同激光功率下 AlSi7Mg 合金试样的 显微形貌。可以看出时激光功率较小时,试样表面有 微小孔洞。随着激光功率增大,孔洞数量减少;当激 光功率继续增加时,孔洞数量明显增加,尺寸增大, 且形状不规则。在 SLM 成形过程中,激光直接照射 到金属粉末,使其在极短时间内经历高温熔化-冷 却凝固的过程。当激光功率增大时,温度上升,增加 了粉末颗粒间的熔化程度,从而使金属液可以更加 充分的流动到粉末的间隙中, 填充缝隙的同时排除 颗粒间的气体,降低孔洞、球化等缺陷的形成,从而 提高合金的致密度。当激光功率过高时,释放的能量 增大,粉末受到激光高能量照射,容易引发熔融的液 滴飞溅,黏附周围粉末颗粒。特别是当激光能量过高 时,熔池温度增加,熔深距离增大,熔池发生严重的 膨胀收缩,同时还将周围粉末熔化,使得下层粉末部 分缺失,成形尺寸发生变化,从而影响试样成形质 量,增加孔洞数量,导致其致密度下降。

(2)扫描速度对相对密度的影响 当激光功率(400 W 固定)时,扫描速度的变化对 AlSi7Mg 试样相对密度的影响如图 6。由图可知,试样相对



(a)试样块



(b)拉伸棒

图 3 3D 打印试样 Fig.3 3D Printing specimens

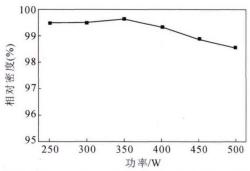


图 4 激光功率对 AlSi7Mg 试样相对密度的影响 Fig.4 Influnce of laser power on the relative density of AlSi7Mg specimens

密度随着激光扫描速度的增加先升高后降低,在1400 mm/s 时,试样的相对密度最大为99.95%。当其它工艺参数一定时,扫描速度的变化将影响激光在粉末上的作用时间。在较低扫描速度情况下,激光光斑照射同一位置时间过长,向粉末输入的能量过大,导致其出现了与激光功率过高时相同的现象,液滴飞溅,粘附粉末,形成孔隙。适当的提高激光的扫描速度,可以缩短激光在金属粉末上的停留时间;同

时也使粉末熔化、凝固的过程加快,降低了粉末熔化时发生球化、挂渣等缺陷的机率,从而提高其致密度。而当扫描速度过高时,由于其它工艺参数一定,激光作用在粉末上的时间变短,导致激光能量密度降低,热影响区面积缩小,熔池变窄且冷却速度变快,形成的液相减少,使得新打印层熔池未完全覆盖上一层未熔化区域,导致层间存在未熔化金属粉末,粉末颗粒之间的气体在凝固后无法逸出,从而在该位置产生孔隙,影响试样相对密度,使致密性下降。

### 2.2 工艺参数对力学性能的影响

表 3 为扫描速度为 1 400 mm/s 时不同激光功率下试样的拉伸性能。由表 3 可知,试样抗拉强度、屈服强度均随功率的增加而先增加后减小,抗拉强度最高为 423 MPa,较传统铸造铝合金提高约 30%(注:GB/T 1173-1995《压铸铝合金》中,ZAISi7MgA铝合金铸件抗拉强度为 295 MPa),屈服强度为293 MPa,伸长率为 9.0%,激光功率在 250 W 时抗拉强度、屈服强度最小。

SLM 过程是非平衡凝固过程,激光照射粉末颗

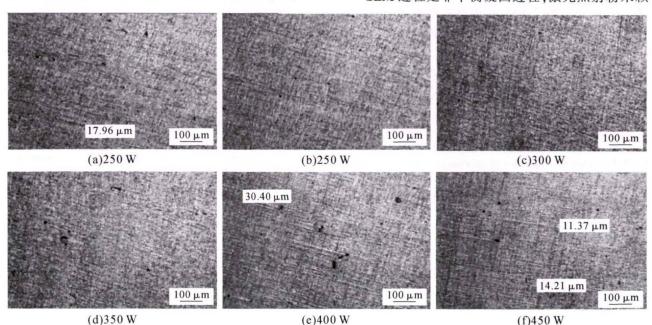


图 5 不同激光功率下 AlSi7Mg 试样显微形貌 Fig.5 Microstructure of AlSi7Mg specimens with different laser powers

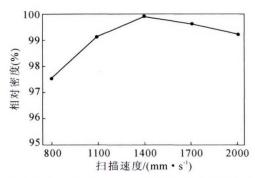


图 6 扫描速度对 AlSi7Mg 试样相对密度的影响 Fig.6 Influnce of scanning speed on the relative density of AlSi7Mg specimens

表3 不同激光功率下试样拉伸性能
Tab.3 Tensile properties of specimens with different laser powers

功率 /W	抗拉强度/MPa	屈服强度 /MPa	伸长率(%)
250	334	227	5.8
300	402	254	8.5
350	423	293	9.0
400	396	287	7.5
450	393	277	8.7
500	342	244	8.0

粒使其在极短时间内经历高温熔化-冷却凝固的过程。当激光功率较低时,激光能量密度较低,导致金属粉末未得到充分熔化,未完全熔化区凝固后存在孔隙;而且熔液的流动性降低,无法及时填充粉末间的空隙,增加了试样中孔洞、残渣等缺陷的数量,影响其致密性,进而导致试样强度下降,拉伸性能减弱。适当的增加激光功率,提高激光能量,使粉末充分熔化成形,减少试样内部缺陷,从而提高试样抗拉性能。而激光功率过高时,会导致 SLM 时易发生粉末粘附、熔滴飞溅等现象,影响试样熔道间的搭接以及成形层之间的结合质量,进而导致其抗拉强度略有下降。

表 4 为激光功率为 350 W 时,不同扫描速度试 样的拉伸性能。从表 4 可以得知,抗拉强度和屈服强 度均随着激光扫描速度的增加先上升后下降;激光

表4 不同扫描速度下试样拉伸性能 Tab.4 Tensile properties of specimens with different scanning speeds

扫描速度 mm/s	抗拉强度/MPa	屈服强度 /MPa	伸长率(%)		
800	359	231	8.5		
1 100	391	275	10.5		
1 400	423	293	9.0		
1 700	367	276	8.5		
2 000	339	243	9.5		

扫描速度为 1 400 mm/s 时,抗拉性能最好。扫描速度较低时,激光停留在粉末上的时间延长,导入能量增加,粉末熔化成形过程中形成缺陷的数量增加,影响试样强度;激光扫描速度过快时,激光作用在粉末颗粒上的时间减少,输入的激光能量较低,试样致密性下降,在拉伸过程中,孔隙扩张形成裂纹,加速试样断裂,从而使力学性能降低。

### 3 结论

(1)SLM 技术成形 AlSi7Mg 合金试样时,在相同的扫描速度下,提高激光功率,能够使粉末充分熔化,改善试样致密性;激光功率相同时随着激光扫描速度提高,试样的相对密度先增加后降低;在1 400 mm/s 时,试样的相对密度最大,可达到99.95%。

(2)激光功率 350 W,扫描速度 1 400 mm/s 时, SLM 技术成形 AlSi7Mg 合金试样的力学性能最好, 抗拉强度为 423 MPa,屈服强度为 293 MPa,伸长率 为 9.0%。

### 参考文献:

- Rustam B, Pavel L, Dmitry Z, et al. Influence of powder characteristics on processability of AlSi12 alloy fabricated by selective laser melting[J]. Materials, 2018, 11(5):742-756.
- [2] Kempen K, Thijs L, Van Humbeeck J, et al. Processing AlSi10Mg by selective laser melting: parameter optimization and material characterization [J]. Materials Science and Technology, 2015, 31 (8):917-923.
- [3] 杨永强,陈杰,宋长辉,等.金属零件激光选区熔化技术的现状 及进展[J].激光与光电子学进展,2018,55(1):9-21.
- [4] 刘志权, 尹家新, 徐志峰, 等. ZL114A 铝合金激光选区熔化成形工艺[J]. 铸造, 2018, 67(11):961-967.
- [5] 张文奇,朱海红,胡志恒,等. AlSi10Mg 的激光选区熔化成形研究[J]. 金属学报,2017,53(8):24-32.
- [6] Maeshima T, Oh-Ishi K, Kadoura H, et al. Microstructure characterization of AlSi10Mg fabricated by selective laser melting process[J]. Materials Science Forum, 2018, 941:1437-1442.
- [7] Girelli L, Tocci M, Montesano L, et al. Investigation of cavitation erosion resistance of AlSi10Mg alloy for additive manufacturing [J]. Wear, 2018, 402:124-136.
- [8] 侯伟,陈静,储松林,等.选区激光熔化成形 AlSi10Mg 组织与拉伸性能的各向异性研究[J]. 中国激光,2018,45(7):67-77.
- [9] 孙靖,朱小刚,王联凤,等. 扫描方式与预热温度对激光选区熔 化制备大尺寸 AlSi10Mg 合金性能的影响 [J]. 机械工程材料, 2017,41(10):52-57.
- [10] 刘婷, 葛建彪. 激光增材制造高强 AlSi7Mg 铝合金构件工艺与组织调控研究[J]. 应用激光,2018,38(3):77-85.