

Microstructure and Tensile Properties of Selective Laser Melting TA15 Titanium Alloy

Shihua Liu¹, Jianbo Zhang²

¹WuHu State-Owned Factory of Machining, Wuhu Anhui

²Shanghai Aeronautical Materials & Structures Testing Co. Ltd., Shanghai

Email: 13855375100@139.com

Received: Aug. 20th, 2019; accepted: Sep. 5th, 2019; published: Sep. 12th, 2019

Abstract

The microstructure and tensile properties at room temperature and high temperature of SLM TA15 titanium alloy were studied and compared with TA15 titanium alloy plate. The results show that, the microstructure of SLM TA15 titanium alloy where there was a continuous, flat α phase boundary, and the original β grains were not sufficiently broken, is significantly different from TA15 titanium alloy plate. Compared with TA15 titanium alloy plate, SLM TA15 titanium alloy has slightly higher yield strength, tensile strength and elongation after fracture at room temperature and high temperature. The residual TA15 titanium alloy powder was found in SEM photos of tensile fracture at room temperature and most of the fracture dimples had α/β phase boundary.

Keywords

Selective Laser Melting, TA15 Titanium Alloy, Microstructure, Tensile Properties

激光选区熔化TA15钛合金显微组织及拉伸性能

刘世华¹, 张建波²

¹国营芜湖机械厂, 安徽 芜湖

²上海航空材料结构检测股份有限公司, 上海

Email: 13855375100@139.com

收稿日期: 2019年8月20日; 录用日期: 2019年9月5日; 发布日期: 2019年9月12日

摘要

对激光选区熔化(SLM)成形TA15钛合金显微组织、室温和高温拉伸性能进行了研究, 并与TA15钛合金板材进行了对比分析。结果表明, SLM成形TA15钛合金显微组织与板材明显不同, 存在连续的、平直的 α 相晶界, 原始的 β 晶粒没有充分破碎; 相比TA15钛合金板材, SLM成形TA15钛合金室温和高温环境下

屈服强度、抗拉强度和断后伸长率均有提高; 室温拉伸断口SEM照片可观察到残余的TA15钛合金粉末, 断口韧窝大部分存在 α/β 相界。

关键词

激光选区熔化, TA15钛合金, 显微组织, 拉伸性能

Copyright © 2019 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

TA15 是高 Al 当量的近 α 型钛合金, 具有比强度高、良好的热稳定性、抗蠕变性、焊接性和加工塑性等优异的力学性能, 主要用于制造 500℃ 以下长时间工作的飞机零部件、发动机零部件和焊接承力零部件[1]。然而, 传统金属制造技术生产成本低、周期长、材料浪费严重和工艺复杂等问题, 严重制约了钛合金在航空航天领域的广泛应用。近些年来, 增材制造技术以低成本、材料利用率高和制造周期短等优势, 成为先进金属制造技术的发展方向。

钛合金增材制造技术主要分为直接能量沉积和粉末床熔化两个类别[2]。直接能量沉积技术效率高, 可成形大尺寸零部件, 关于 TA15 钛合金的直接能量沉积制造技术, 国内已进行了相应的研究, 对制备工艺及其组织、拉伸性能和疲劳性能等均取得了较多的研究成果[3] [4] [5] [6] [7]。相比之下, 粉末床熔化技术成形精度高, 在薄壁、点阵及精密复杂零部件上具有广阔的应用前景。激光选区熔化(SLM)技术是粉末床熔化技术的一种, 是目前应用最广泛、最前沿的增材制造技术之一[8]。但关于激光选区熔化成形 TA15 钛合金组织及力学性能的研究较少, 难以为工程应用提供基础数据支撑。

本文采用 SLM 技术制备了 TA15 钛合金试验件, 通过测试获得了 SLM 成形 TA15 钛合金的显微组织、室温和高温拉伸性能, 并分析了 SLM 成形 TA15 钛合金和 TA15 钛合金板材组织及力学性能差异, 为 SLM 成形 TA15 钛合金在工程上的应用提供了试验数据依据。

2. 实验材料与方法

2.1. 实验材料

采用德国 SLM Solutions 公司的 SLM 280 设备制备了 SLM 成形 TA15 钛合金试验件, 设备分层厚度 25~75 μm , 焦点直径 80~115 μm , 最小结构尺寸 150 μm 。SLM 成形 TA15 钛合金化学成分见表 1。

Table 1. Chemical composition of SLM TA15 titanium alloy

表 1. SLM 成形 TA15 钛合金化学成分

元素	Al	Mo	Zr	V	Fe
质量分数/%	5.54	1.40	1.65	1.83	0.14

Table 2. Technology of SLM TA15 titanium alloy

表 2. TA15 钛合金 SLM 工艺

工艺名称	激光功率	扫描速率	层厚	光斑尺寸
参数	175 W	1250 mm/s	30 μm	70 μm

2.2. 试验件制备工艺

激光选区熔化工艺参数见表 2 所示。成形完成后, 进行 850℃ 保温 2 h 退火热处理, 并对 SLM 成形 TA15 钛合金进行表面质量和内部质量检验, 检验结果满足标准要求。

2.3. 实验方法

根据标准 GB/T228 进行室温和高温拉伸试验, 试验机为 Zwick Z100, 设备精度满足精度要求, 试验采用应变速率控制, 应变速率为 0.005 mm/mm/min。拉伸试验件为板状试样, 试样形式及尺寸如图 1 所示。

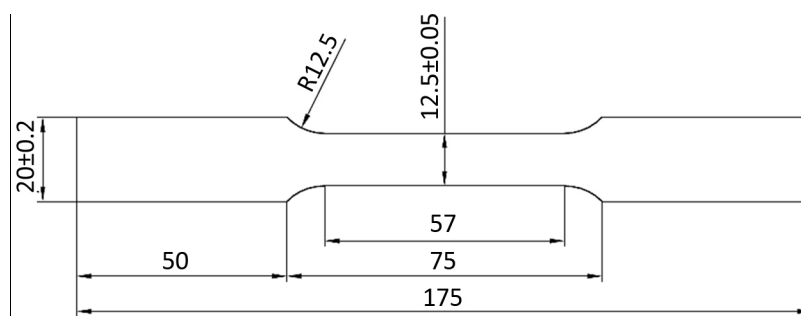


Figure 1. Shape and size of tensile sample (mm)

图 1. 拉伸试样形式及尺寸(mm)

3. 实验结果与分析

3.1. 显微组织分析

图 2(a) 为 SLM 成形 TA15 钛合金平行于堆积方向的显微组织, 图 2(b) 为 SLM 成形 TA15 钛合金垂直于堆积方向的显微组织。由图 2 可知, SLM 成形 TA15 钛合金明显存在有连续的、平直的 α 相晶界, 原始的 β 晶粒没有充分破碎。图 3 为传统 TA15 钛合金板材显微组织, 由图可得, TA15 钛合金板材不存在连续的、平直的 α 相晶界, 原始的 β 晶粒充分破碎。对比图 2 和图 3 可知, SLM 成形 TA15 钛合金与 TA15 钛合金板材显微组织相差明显, 其差异原因是 SLM 工艺下, TA15 钛合金材料快速凝固, 显微组织形态更加细小。

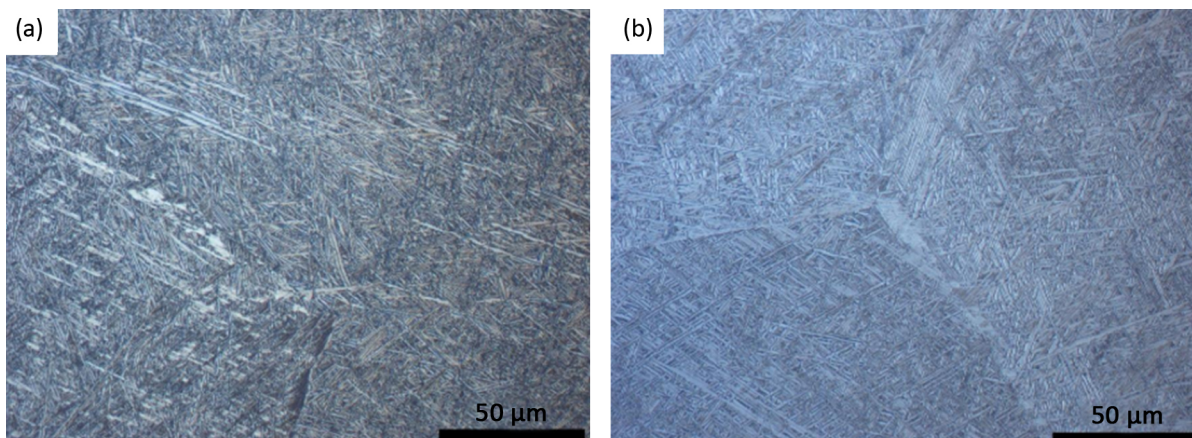


Figure 2. Microstructure of SLM TA15 titanium alloy

图 2. SLM 成形 TA15 钛合金显微组织: (a) 平行于堆积方向; (b) 垂直于堆积方向

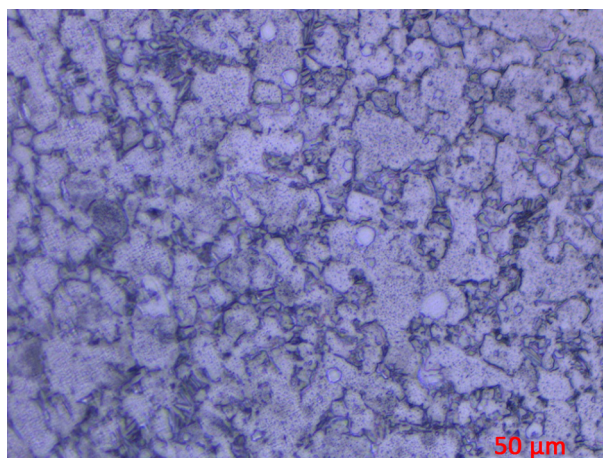


Figure 3. Microstructure of TA15 titanium alloy plate

图 3. TA15 钛合金板材显微组织

3.2. 室温拉伸性能

SLM 成形 TA15 钛合金和 TA15 钛合金板材室温拉伸性能如表 3 所示, SLM 成形 TA15 钛合金取样方向为堆积方向, TA15 钛合金板材取样方向为 L 向。由表 3 可知, 室温环境下, SLM 成形 TA15 钛合金屈服强度为 918 MPa, 抗拉强度为 1052 MPa, 断后伸长率为 12.3%。相比 TA15 钛合金板材, SLM 成形 TA15 钛合金室温力学性能略有提高。

Table 3. Test results of tensile properties at room temperature

表 3. 室温拉伸性能测试结果

材料	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	断后伸长率/%
SLM 成形 TA15 钛合金	918	1052	12.3
TA15 钛合金板材	903	966	11.6

3.3. 高温拉伸性能

SLM 成形 TA15 钛合金和 TA15 钛合金板材高温拉伸性能如表 4 所示, 试验温度为 500℃, 取样方向与室温拉伸试样相同。由表 4 可知, 高温环境下, SLM 成形 TA15 钛合金屈服强度为 549 MPa, 抗拉强度为 690 MPa, 断后伸长率为 21.5%。相比 TA15 钛合金板材, SLM 成形 TA15 钛合金高温力学性能有所提高。

Table 4. Test results of tensile properties at high temperature

表 4. 高温拉伸性能测试结果

材料	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	断后伸长率/%
SLM 成形 TA15 钛合金	549	690	21.5
TA15 钛合金板材	538	669	18.4

3.4. 断口分析

选取 SLM 成形 TA15 钛合金室温拉伸断口进行分析, SEM 照片如图 4 所示, 断口上可观察到较多的圆球状金属粉末, 这应该是 SLM 成形过程中残余的 TA15 钛合金粉末。断口韧窝大部分存在 α/β 相界,

α/α 晶界中, 分布较为均匀, 都是呈现等轴状的小韧窝, 表明 SLM 成形 TA15 钛合金室温拉伸断裂为韧性断裂。

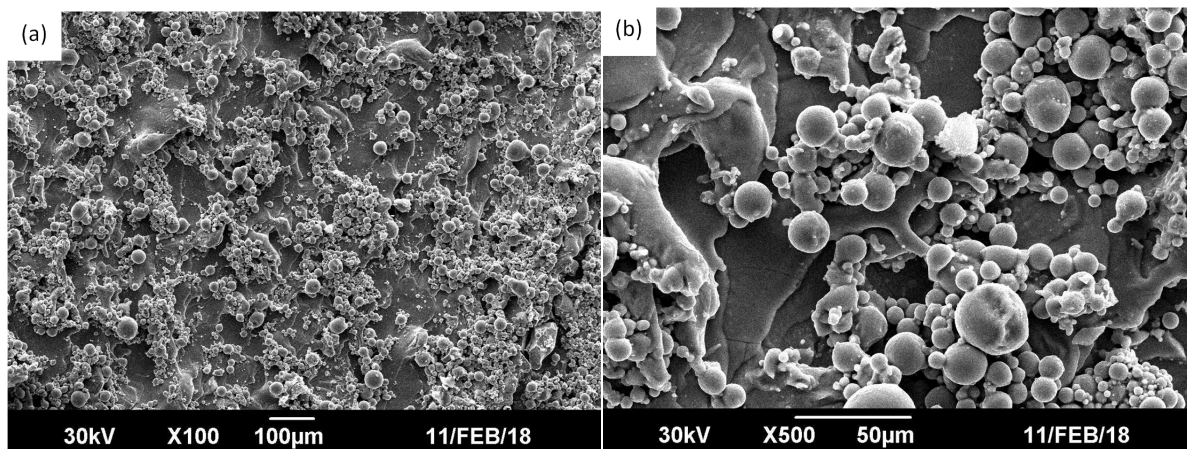


Figure 4. Fractographs of SLM TA15 titanium alloy of tensile test at room temperature

图 4. SLM 成形 TA15 钛合金室温拉伸断口形貌: (a) $\times 100$; (b) $\times 500$

4. 结论

通过对 SLM 成形 TA15 钛合金的显微组织、室温和高温拉伸性能进行研究和分析, 结论如下:

- 1) SLM 成形 TA15 钛合金显微组织明显存在有连续的、平直的 α 相晶界, 原始的 β 晶粒没有充分破碎。而 TA15 钛合金板材不存在连续的、平直的 α 相晶界, 原始的 β 晶粒充分破碎。
- 2) SLM 成形 TA15 钛合金室温和高温拉伸性能比 TA15 钛合金略好, 屈服强度、抗拉强度和断后伸长率均有所提高。
- 3) SLM 成形 TA15 钛合金室温拉伸断口上可观察出较多残余的圆球状金属粉末, 大量的韧窝表明室温拉伸为韧性断裂。

参考文献

- [1] 隋楠, 曹京霞, 黄旭, 等. 合金成分对 TA15 钛合金组织及力学性能的影响[J]. 航空材料学报, 2019(1): 48-54.
- [2] 陈玮, 李志强. 航空钛合金增材制造的机遇和挑战[J]. 航空制造技术, 2018, 61(10): 30-37.
- [3] 席明哲, 高士友. 激光快速成形 TA15 钛合金热处理组织及其力学性能[J]. 中国激光, 2012, 39(1): 98-103.
- [4] 王华明, 李安, 张凌云, 等. 激光熔化沉积快速成形 TA15 钛合金的力学性能[J]. 航空制造技术, 2008(7): 26-29.
- [5] 杨光, 刘佳蓬, 钦兰云, 等. 激光沉积 TA15 钛合金显微组织及高周疲劳性能研究[J]. 红外与激光工程, 2018, 47(11): 37-42.
- [6] 钦兰云, 徐丽丽, 杨光, 等. 退火方式对激光沉积 TA15 钛合金组织及力学性能的影响[J]. 中国激光, 2018, 45(3): 208-214.
- [7] 张小红, 林鑫, 陈静, 等. 热处理对激光立体成形 TA15 合金组织及力学性能的影响[J]. 稀有金属材料与工程, 2011, 40(1): 142-147.
- [8] 张群森, 李崇桂, 李帅, 等. 钛合金激光增材制造技术研究现状及展望[J]. 热加工工艺, 2018, 47(12): 21-24.