

激光选区熔化成形 β - γ 型 TiAl 合金裂纹形成机制及抑制机理研究

高飘^{1,*}, 王泽敏², 曹龙超¹

¹ 武汉纺织大学机械工程与自动化学院, 湖北省武汉市江夏区阳光大道1号, 430200

² 华中科技大学武汉光电国家研究中心, 湖北省武汉市洪山区珞喻路1037号, 430074

*Email: 602026233@qq.com

轻质的 β - γ 型TiAl合金是在750~950 °C应用区间取代Ni基高温合金的重要候选材料。采用激光选区熔化成形 (Selective laser melting, SLM) 技术制备 β - γ 型TiAl合金零件能够突破传统加工方法对零件形状的限制, 同时具有生产周期短、材料利用率高、成本低等优势。然而, 由于SLM技术的快速凝固和 β - γ 型TiAl合金的本征脆性, 成形零件易产生裂纹缺陷, 且显微组织偏离平衡态, 难以兼顾高的强度和塑性, 严重制约其工程应用。为此, 本文以Ti-43Al-9V-0.5Y (at.%) 合金为研究对象, 研究了SLM成形Ti-43Al-9V-0.5Y合金的冶金缺陷和组织性能, 揭示了裂纹形成机制。当激光体能量密度 $\geq 61 \text{ J/mm}^3$ 时, 可消除Ti-43Al-9V-0.5Y合金的裂纹。高冷却速率 ($10^5 \sim 10^6 \text{ K/s}$)、粗大柱状晶和高含量的硬脆相是影响裂纹形成的主导因素。基于工艺参数优化, 较低冷却速率 (10^4 K/s) 下的细小等轴晶和低含量的硬脆相有效抑制了Ti-43Al-9V-0.5Y合金的裂纹。无裂纹SLM沉积态试样的室温压缩性能 (屈服强度~1863.76 MPa、抗压强度~2116.38 MPa)、室温拉伸性能 (抗拉强度~436.94 MPa) 和高温拉伸性能 (屈服强度~387.13 MPa、抗拉强度~420.71 MPa和延伸率~11.64%) 明显优于同成分铸态试样。研究了圆形振荡扫描对SLM成形Ti-43Al-9V-0.5Y合金冶金缺陷、显微组织和力学性能的影响, 揭示了抑制裂纹机理。当振荡速度 $\leq 100 \text{ mm/s}$ 时, 激光束的充分搅拌作用促进细小等轴晶的形成以及硬脆相含量的降低, 有效抑制了裂纹。优化振荡参数下可获得无裂纹且致密度为99.98%的试样, 其室温压缩强度 (屈服强度~1222.38 MPa、抗压强度~1931.33 MPa) 和室温抗拉强度 (~282.99 MPa) 相较于无振荡 (直线) 扫描更低, 但极限压缩应变 (~13.29%) 提高了136.89%。

关键词: 激光选区熔化; β - γ 型TiAl合金; 裂纹形成机制; 裂纹抑制机理; 显微组织

参考文献

- [1] Gao P., Huang W., Yang H., Jing G., Liu Q., Wang G., Wang Z., and Zeng X., Cracking behavior and control of β -solidifying Ti-40Al-9V-0.5Y alloy produced by selective laser melting, *Journal of Materials Science & Technology*, 39, 144–154 (2020).
- [2] Gao P., Lan X., Yang S., Wang Z., Li X., and Cao L., Defect elimination and microstructure improvement of laser powder bed fusion β -solidifying γ -TiAl alloys via circular beam oscillation technology, *Materials Science and Engineering: A*, 873, 145019 (2023).
- [3] Gao P., Wang Z., Formability improvement, cracking behavior and control of Y-modified Ti-43Al-4Nb-1Mo-0.1B alloys produced by selective laser melting, *Journal of Alloys and Compounds*, 854, 157172 (2021).
- [4] Gao P., Wang Z., Tailored microstructure and enhanced comprehensive mechanical properties of selective laser melted Ti-40Al-9V-0.5Y alloy after aging treatment, *Materials Science and Engineering: A*, 780, 139183 (2020).

2022

第十五届全国激光加工学术会议

15th National Conference on Laser Processing

2022年10月 | 武汉

- [5] Gao P., Jing G., Lan X., Li S., Zhou Y., Wang Y., Yang H., Wei K., and Wang Z., Effect of heat treatment on microstructure and mechanical properties of Fe-Cr-Ni-Co-Mo maraging stainless steel produced by selective laser melting, *Materials Science and Engineering: A*, 814, 141149 (2021).
- [6] Gao P., Wang Z., and Zeng X., Effect of process parameters on morphology, sectional characteristics and crack sensitivity of Ti-40Al-9V-0.5Y alloy single tracks produced by selective laser melting, *International Journal of Lightweight Materials and Manufacture*, 2, 355-361 (2019).
- [7] 高飘, 魏恺文, 喻寒琛, 杨晶晶, 王泽敏, 曾晓雁. 分层厚度对选区激光熔化成形 Ti-5Al-2.5Sn 合金组织与性能的影响规律, *金属学报*, 54(7): 999-1009 (2018).
- [8] 高飘, 兰新强, 周亚雄, 王云, 杨欢庆, 王泽敏. 激光选区熔化成形 S-130 钢热处理工艺研究, *中国激光*, 49(2): 0202003 (2022).

*第一作者（报告人）联系方式：高飘、15671554659、602026233@qq.com