

激光增材制造(Ti+B₄C)/AA7075 复合粉末工艺与组织性能研究

王俊豪¹, 赵吉宾², 贺晨², 赵宇辉², 李播博¹

(1. 沈阳航空航天大学 机电工程学院, 辽宁 沈阳 110135)

(2. 中国科学院 沈阳自动化研究所, 辽宁 沈阳 110169)

摘要: 通过高能球磨法制备了加入 5% (质量分数) 的球形纯钛粉和不同含量 B₄C 陶瓷颗粒 (3%、5%、10%, 质量分数) 的(Ti+B₄C)/AA7075 复合粉末, 采用激光熔化沉积技术 (laser melting deposition, LMD) 制备了多组增材试样, 研究了钛元素以及不同质量分数 B₄C 陶瓷粉末对复合材料显微组织和力学性能的影响规律。结果表明: 同时添加球形纯钛粉以及 B₄C 陶瓷颗粒可以有效地解决 AA7075 铝合金在 LMD 成型过程中出现的气孔与开裂问题。当 B₄C 的质量分数为 3% 时, 复合材料的平均显微硬度 (HV_{0.2}) 以及抗拉强度分别为 1388.17 MPa 和 336.93 MPa, 比沉积态 AA7075 铝合金的 980.69 和 200.05 MPa 分别提高了 41.6% 和 68.4%。之后, 随着 B₄C 质量分数由 3% 增加到 10%, 试样的抗拉强度逐渐降低, 但耐磨性能逐渐增强, 平均摩擦系数由 0.83 降到 0.78, 磨损形式由黏着磨损转变为剥层磨损。

关键词: AA7075 铝合金; 颗粒增强; 激光熔化沉积; 微观组织; 力学性能

中图分类号: TB333

文献标识码: A

文章编号: 1002-185X(2024)12-3485-08

激光熔化沉积技术 (laser melting deposition, LMD) 是一种基于计算机控制激光束按照预先设定的路径移动, 对输送的金属粉末进行同步熔化, 并通过逐层堆积的方式构建实体零部件的增材制造方法^[1]。相比于传统的铸造、轧制、焊接等方法, 采用 LMD 技术在制造大型复杂形状金属构件、提高材料利用率以及降低成本等方面都具有显著优势。因此, 近年来该技术被广泛应用于航空航天、核电工程、船舶海洋等领域大型整体航空金属构件直接制造以及受损零件的直接修复等方面^[2-5]。

AA7075 铝合金作为一种极具代表性的轻质高强度铝合金材料, 因其所具有的低密度、高强度、高比刚度、易于加工和耐腐蚀性能好等优点而被广泛应用于航空航天和汽车等领域^[6]。然而, 高强度 7075 铝合金在激光增材制造的过程中, 由于存在 Mg、Zn 等低熔点元素易被激光蒸发以及熔体内含有一定 H 元素等原因, 容易形成气孔缺陷。而当出现的气孔缺陷过多时, 最终会导致合金内部产生热裂纹^[7]。这使得 LMD 技术在制备高强度铝合金领域的应用受到较大限制。

与此同时, 由于长期服役易导致 AA7075 铝合金构件产生疲劳裂纹或擦伤, 因此 AA7075 铝合金在增材制造与增材修复领域都需要其成品拥有良好的拉伸性能和耐磨损性能。目前, 国内外针对增材成形 AA7075 铝合金的研究方向主要集中于工艺优化以及添加其它增强材料两方面来抑制成形时气孔以及裂纹产生, 并最终改善成形件的力学性能^[8]。Lei 等^[9]用 LMD 法制备了 TiB₂/AA7075 复合材料, 当 TiB₂ 含量为 4% (质量分数) 时, 试样的硬度 (HV) 提高到 1252.44 MPa, 晶粒尺寸细化到 16.8 μm, 耐磨性能得到提升。Zheng 等^[10]使用雾化制备了纳米 TiC/AA7075 复合粉末, 之后采用选择性激光熔化技术 (selective laser melting, SLM) 制备的试样抗拉强度高达 550 MPa, 添加的 TiC 纳米颗粒起到了细化晶粒和消除热裂纹的作用。欧阳盛等^[11]使用激光选区熔化成形技术制备了添加 TiH₂ 和 TiB₂ 粉末的 AA7075 铝合金, 其中的 TiB₂ 和增材制造过程中原位生成的 TiAl₃ 协同起到了细化组织晶粒以及增强铝基体的作用, 试样的抗拉强度达到了 360 MPa。Martin 等^[12]报道了通过添加 ZrH₂ 纳米颗粒添加剂, 并采用激光粉末床熔合的增材制造工艺生产无裂纹

收稿日期: 2023-12-24

基金项目: 国家重点研发计划 (2022YFB4602203); 辽宁省博士科研启动基金计划 (2022-BS-026); 内蒙古自治区重点研发和成果转化计划 (2023KJHZ0029); 国家自然科学基金 (52105386); 沈阳市中青年科技创新人才支持计划 (RC220527)

作者简介: 王俊豪, 男, 1999 年生, 硕士, 沈阳航空航天大学机电工程学院, 辽宁 沈阳 110135, E-mail: 986035483@qq.com

AA7075 零件的能力。研究结果显示：在 AA7075 铝合金增材制造的过程中，通过添加钛粉原位生成 $TiAl_3$ 以及添加陶瓷颗粒可以有效细化组织晶粒，从而达到消除裂纹、抑制气孔以及提高材料硬度和抗拉强度等目的。与此同时，陶瓷颗粒还能进一步提高材料的耐磨损性能。

因此，本研究采用高能球磨法制备了 3 种不同成分的 $(Ti+B_4C)/AA7075$ 复合粉末，再通过 LMD 技术制备块体试样，研究了添加球形纯钛粉以及不同含量的 B_4C 陶瓷颗粒对 AA7075 合金微观组织、显微硬度、拉伸性能和耐磨损性能的影响规律。本工作的研究方法 with 结论有望为高强度铝合金的激光熔化沉积制造与修复领域提供一定的基础数据和工艺参考。

1 实验

表 1 为 $(Ti+B_4C)/AA7075$ 复合粉末的编号和组成成分。按表 1 所示在 AA7075 合金粉末中加入 TA1 球形纯钛粉和 B_4C 颗粒，之后将粉末放入真空球磨机中进混合处理，球料比为 1:1（质量比），球磨转速为 200 r/min，球磨时间为 12 h。之后，将混合均匀的粉末置于真空烘干箱中干燥 5 h，烘干的温度为 180 °C。其中 AA7075 铝合金粉末粒径 53~150 μm ，纯钛粉末和 B_4C 粉末的粒径都为 50~100 μm 。图 1 为 AA7075 粉末以及经过球磨混合之后的 $(Ti+B_4C)/AA7075$ 复合粉末的 SEM 形貌。如图 1 所示，复合粉末分布均匀，未出现团聚现象。

本实验采用的 LMD 设备为由 KUKA 公司生产的六轴机器人 KR60-HA 以及 IPG 公司生产的 YSL-10000-KC 激光器（最大输出功率为 10 kW），光斑直径为 4 mm。在成形过程中，成形腔体保持氩气氛围，氧气含量小于 100 $\mu L/L$ 。确定实验的工艺参数：激光功率为 2500 W，激光入射偏转角为 5°，激光扫描速度为 10 mm/s，载气流量 4.7 L/min，搭接率为 50%，层间冷却时间为 300 s，沉积层厚度为 0.4~0.5 mm，送粉速率为 1 r/min，成形样品的尺寸为 100 mm×20 mm×10 mm。拉伸试样的示意图以及成形试样形貌如图 2 所示，拉伸试样的厚度为 2 mm。图 3 为激光熔化沉积系统示意图。

采用 Zeiss Vert.A1 型光学显微镜和 Zeiss-EVO 10 型扫描电子显微镜观察经切割、磨抛和腐蚀后各组试样的组织与形貌，同时使用能谱分析仪对试样中元素的种类以及分布状态进行检测。采用 FM-310 型显微硬度仪检测试样不同位置的显微硬度，载荷设置为 100 gf，保压时间设置为 15 s，由上到下测试 8 个点，

表 1 $(Ti+B_4C)/AA7075$ 复合粉末的编号和组成成分

Table 1 Numbers and composition of $(Ti+B_4C)/AA7075$ composite powders ($\omega/\%$)

Sample No.	Ti	B_4C	AA7075
1	5	3	92
2	5	5	90
3	5	10	85

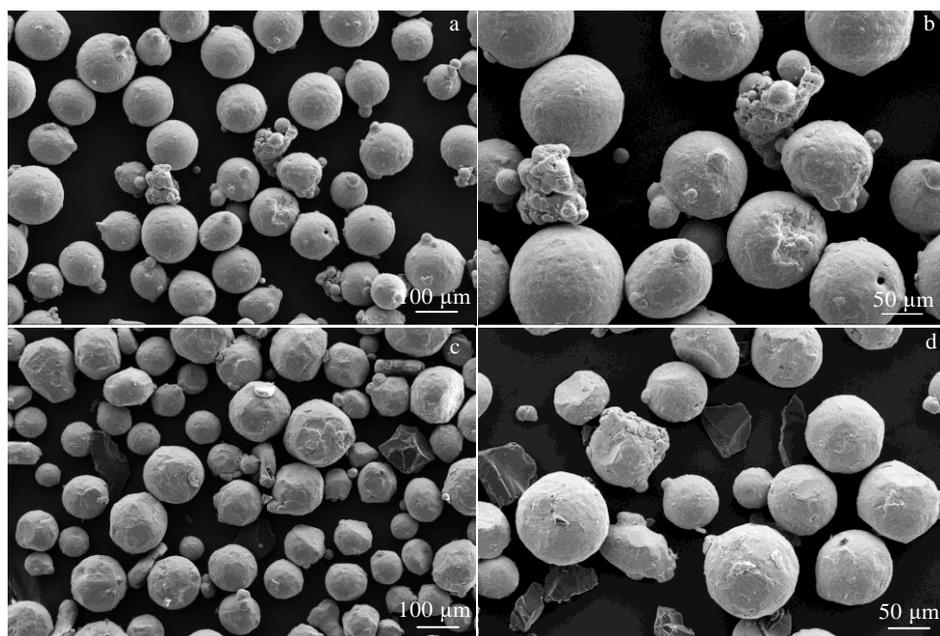


图 1 AA7075 粉末与 $(Ti+B_4C)/AA7075$ 复合粉末 SEM 形貌

Fig.1 SEM morphologies of AA7075 powders (a-b) and $(Ti+B_4C)/AA7075$ composite powders (c-d)

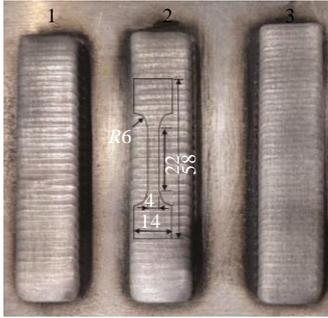


图 2 (Ti+B₄C)/AA7075 复合粉末 LMD 成形试样

Fig.2 LMD-formed specimen of (Ti+B₄C)/AA7075 composite powder

分析不同材料成形样品硬度的变化规律。使用 CMT5305 微机控制电子万能试验机测试材料的室温拉伸性能, 拉伸速率为 1 mm/min。之后采用扫描电子显微镜观察分析拉伸件断口形貌。采用 CFT-I 型材料表面性能综合测试仪进行摩擦磨损试验, 摩擦方式为往复滑动干摩擦, 摩擦副是球形 GCr15 钢, 摩擦副 1 min 往复 300 次, 负载载荷为 5 N, 运动时间为 30 min, 往复距离为 5 mm/次, 频率为 10 Hz, 摩擦过程中记录摩擦系数, 之后采用扫描电子显微镜观察磨面的组织形貌, 分析添加的 B₄C 含量对复合材料耐磨性能的影响规律。

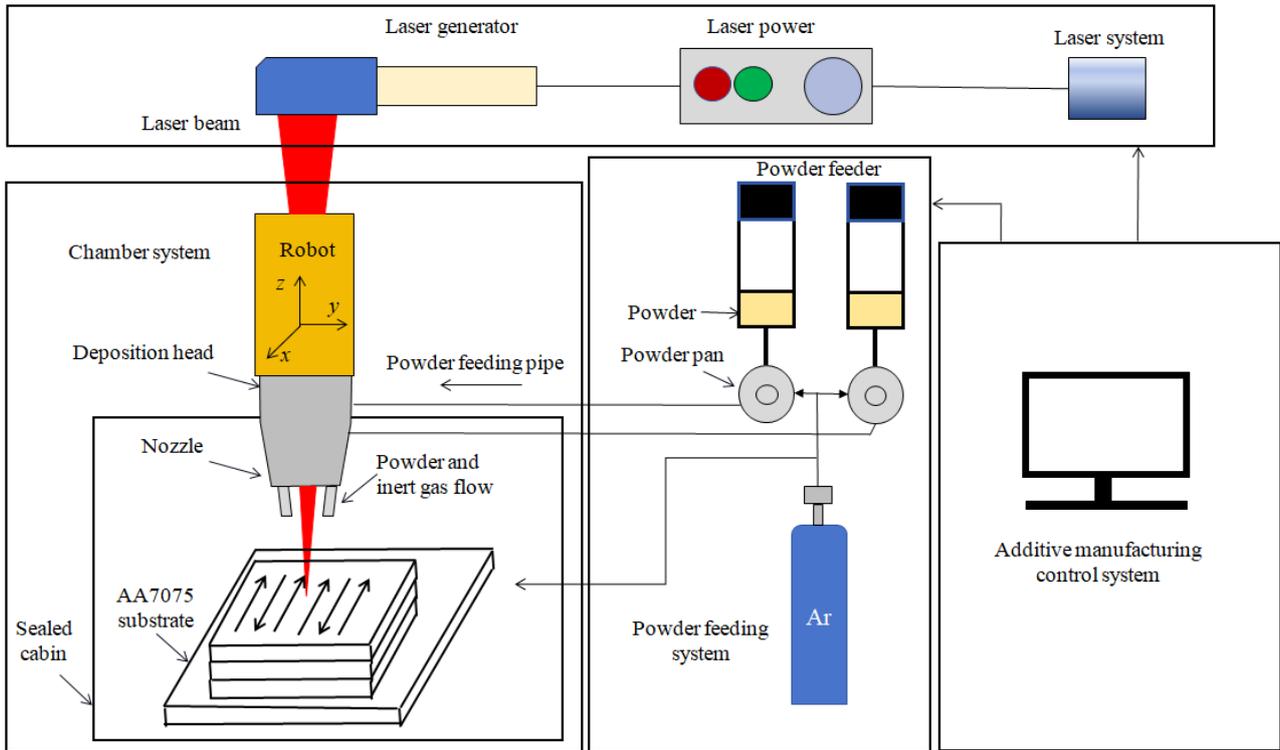


图 3 激光熔化沉积系统示意图

Fig.3 Schematic diagram of laser melting deposition system

2 结果与分析

2.1 微观组织

图 4 和图 5 分别是不同添加量 B₄C 的 LMD 成形 (Ti+B₄C)/AA7075 复合材料横截面的 OM 和 SEM 组织。由图可见, 在增材制造的过程中, B₄C 陶瓷颗粒并未全部熔化, 其颗粒均匀地分布于试样横截面上。与此同时, 随着材料内 B₄C 质量分数的增加, 复合材料横截面上的气孔尺寸逐渐减小, 数量也逐渐减少, 最后基本消失。这说明 B₄C 颗粒拥有优异的抑制 LMD 成形 7075 铝合金生成气孔的作用。

图 6 为添加 3% B₄C 时(Ti+B₄C)/AA7075 铝合金试样的 EDS 元素面扫描。由图 6 可知, 在激光熔化沉积过程中, 熔池内的 B₄C 颗粒少量被熔化, 纯钛粉中的 Ti 元素以及 7075 铝合金中的 Al、Zn、Mg 和 Cu 等元素皆均匀分布于试样内部, 未出现明显的元素偏析现象。同时相关研究表明, 纯钛粉和铝原位反应生成的最终产物 TiAl₃ 在熔体凝固的过程中可以充当异质形核点^[13-14], 这使得成形过程中材料组织由粗大的柱状晶转变为细小的等轴晶, 从而降低了合金的热裂敏感性并抑制了合金内部裂纹与气孔的形成。

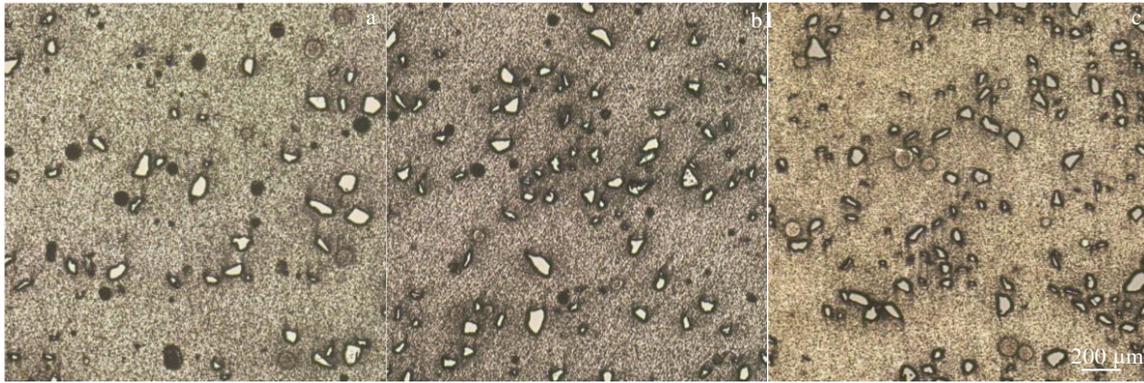


图 4 不同 B₄C 添加量的(Ti+B₄C)/AA7075 复合材料横截面金相组织

Fig.4 OM images of (Ti+B₄C)/AA7075 composites with different B₄C additions: (a) 3%, (b) 5%, and (c) 10%

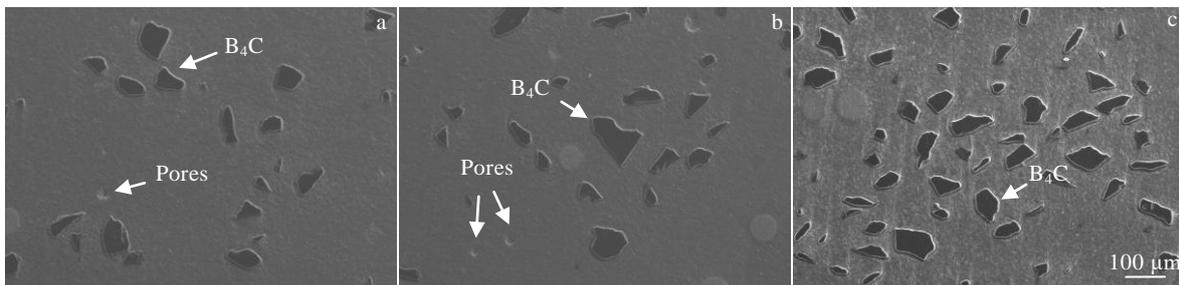


图 5 不同 B₄C 添加量的(Ti+B₄C)/AA7075 复合材料横截面 SEM 形貌

Fig.5 SEM morphologies of (Ti+B₄C)/AA7075 composites with different B₄C additions: (a) 3%, (b) 5%, and (c) 10%

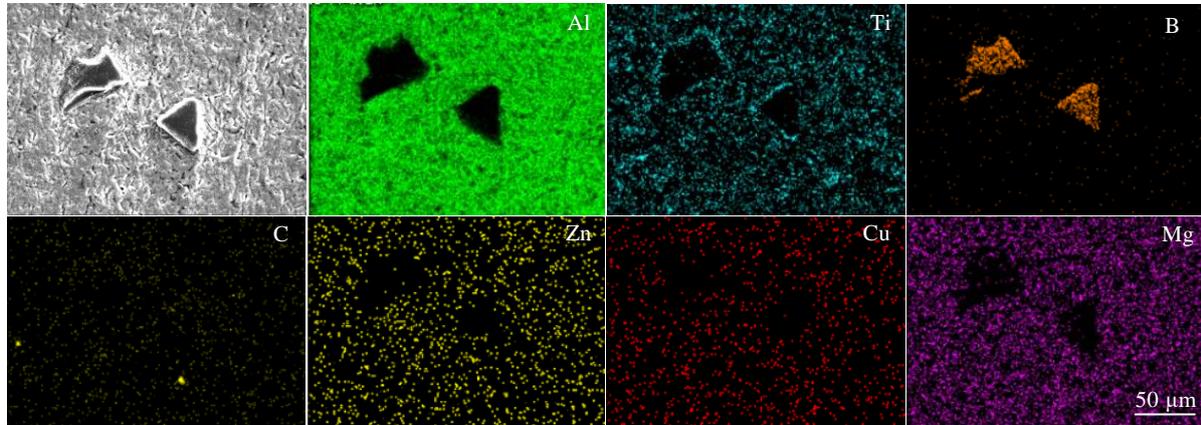


图 6 添加 3% B₄C 的(Ti+B₄C)/AA7075 复合材料的 EDS 元素面分布

Fig.6 EDS element mappings of (Ti+B₄C)/AA7075 composites with addition of 3% B₄C

2.2 显微硬度

图 7 为不同 B₄C 添加量的 LMD 成形 (Ti+B₄C)/AA7075 复合材料以及沉积态 AA7075 铝合金的显微硬度。可见, 3 种试样的平均硬度 (HV) 分别为 1371.31、1388.17 和 1360.04 MPa, 均在 1372 MPa 附近波动, 没有明显的差异。当添加 5% B₄C 时, 复合材料的平均显微硬度 (HV) 最大为 1388.17 MPa, 相比于未添加强化颗粒时的沉积态 7075 铝合金的 980.69 MPa 提

高了 41.6%, 平均显微硬度得到了较大提升。这是由于铝与纯钛粉原位生成的大量较为坚硬的 TiAl₃ 颗粒能够有效地促进铝熔体的非均匀形核, 从而使材料内部的晶粒得到细化、晶界得到增多, 因此在受力时能更有效地承受位错运动, 从而提高了材料的显微硬度^[13-15]。

2.3 拉伸性能

图 8 为不同 B₄C 添加量复合材料的抗拉强度柱状图。如图 8 所示, 未添加强化颗粒的 LMD 成形 AA7075

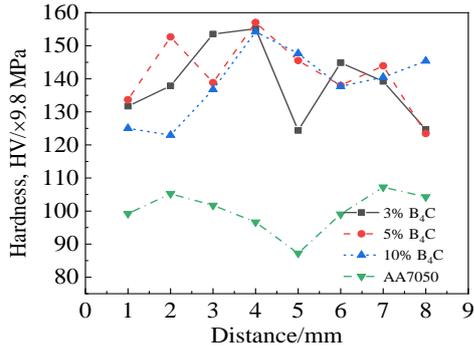


图 7 不同 B₄C 添加量的(Ti+B₄C)/AA7075 复合材料的显微硬度

Fig.7 Microhardness of (Ti+B₄C)/AA7075 composites with different B₄C additions

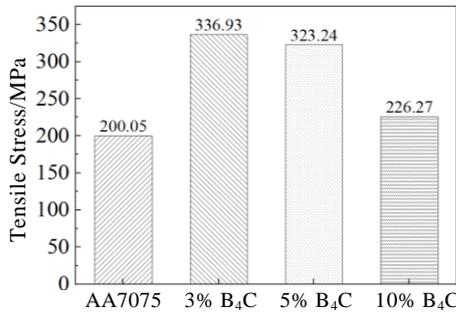


图 8 不同 B₄C 添加量的(Ti+B₄C)/AA7075 复合材料的抗拉强度

Fig.8 Tensile strength of (Ti+B₄C)/AA7075 composites with different B₄C additions

铝合金试样的抗拉强度仅为 200.05 MPa。同时，由图 8 可以看出，在添加了 5% 纯钛粉(质量分数)和 3% B₄C 后，材料的抗拉强度达到了最大值 336.93 MPa，比未添加增强相时增长了 68.4%。但是之后随着 B₄C 含量的增加，复合材料的抗拉强度呈现出下降趋势。当 B₄C 的质量分数达到 10% 时，试样的抗拉强度为 226.27 MPa，

降低了 110.65 MPa。这是由于随着添加的 B₄C 颗粒含量增加，导致试样内部单位体积内 B₄C 颗粒增多，使得铝合金基体对外力的有效承载面积减小。与此同时，由于 B₄C 与铝基体的界面数增加，所以在受到外力作用时裂纹在 B₄C 与铝基体的界面处萌生与扩展的几率增加，最终导致试样的抗拉性能下降。

图 9 为经过抗拉强度检测后的试样。图 10 为试样的拉伸断口 SEM 形貌，结合两者可以发现复合材料的断裂形式为脆性断裂。如图 10a~10c 所示，随着 B₄C 添加量的增加，拉伸断口上出现的气孔数量在不断减少。这是由于陶瓷颗粒对激光的吸收率较高，因此随着 B₄C 添加量的增加，复合粉末对激光的吸收率得到提高，进而提高了熔池温度，使得熔池内铝合金粉末熔化的更加充分，内部气体也有更充足的时间逸出，于是试样内部的气孔数量减少，这在一定程度上提升了材料的性能^[16]。但是，由于 B₄C 粒径过大且难以被激光熔化，随着复合材料内 B₄C 添加量的增加，其在试样内部变得越发难以分散，单位体积内存在大量大粒径 B₄C 颗粒。因此，试样在拉伸运动过程中更加容易出现应力集中的现象，难以抵御外界传递来的位错运动，反而导致试样抗拉强度降低^[17]。

2.4 摩擦磨损

图 11 为添加不同 B₄C 含量时的(Ti+B₄C)/AA7075 复合材料的摩擦系数和磨损体积。如图 11 所示，随着 B₄C 添加量从 3% 增加 10%，复合材料的磨损过程变得



图 9 检测后的拉伸试样

Fig.9 Tensile sample after testing

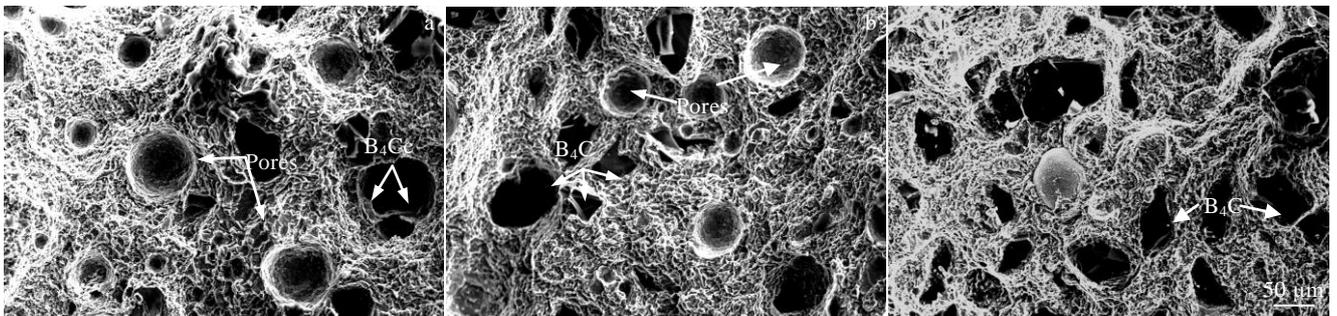


图 10 不同 B₄C 添加量试样拉伸断口形貌

Fig.10 Tensile fracture morphologies of samples with different B₄C additions: (a) 3%, (b) 5%, and (c) 10%

逐渐稳定，摩擦系数由 0.83 逐渐降低到 0.78。同时，材料的磨损速率也随之降低，磨损的体积由 2.5 mm³ 降低到 0.7 mm³。由此可见，随着 B₄C 含量的增加 AA7075 铝合金的耐磨性能不断提高。

图 12 为试样磨损表面的 SEM 形貌。从图 12a 中可以看到，当 B₄C 含量为 3% 时，试样表面磨损严重，出现许多的凹坑，这些特征说明该试样的磨损机制是黏着磨损。而当 B₄C 含量达到 5% 时，从图 12b 中可以观察到试样磨损表面的凹坑基本消

失，但存在较为明显的浅坑以及沟槽，这是剥层磨损的特征。最后如图 12c 所示，当 B₄C 含量达到 10% 时，试样磨面上存在轻微的擦痕和沟槽以及 B₄C 颗粒被磨碎之后留下的少量磨屑和凹坑，片状剥落现象几乎消失，表面质量得到进一步提升，变得更为光滑，这是剥层磨损的特征。因此，对比图 12a~12c 可以发现，复合材料耐磨性能随着 B₄C 含量的提高而逐渐提高，磨损形式由黏着磨损转变为剥层磨损^[18]。

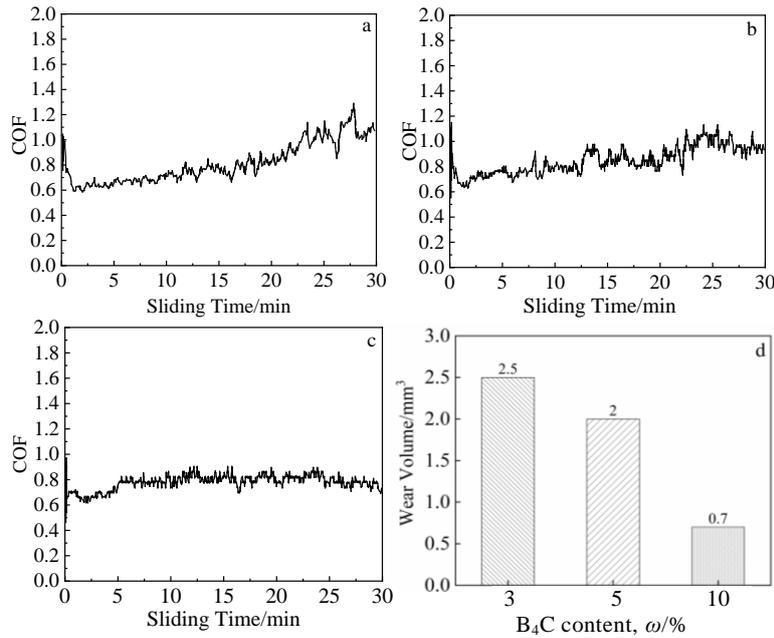


图 11 不同 B₄C 含量试样的摩擦系数和磨损体积

Fig.11 COF (a-c) and wear volume (d) of specimens with different B₄C contents: (a) 3%, (b) 5%, and (c) 10%

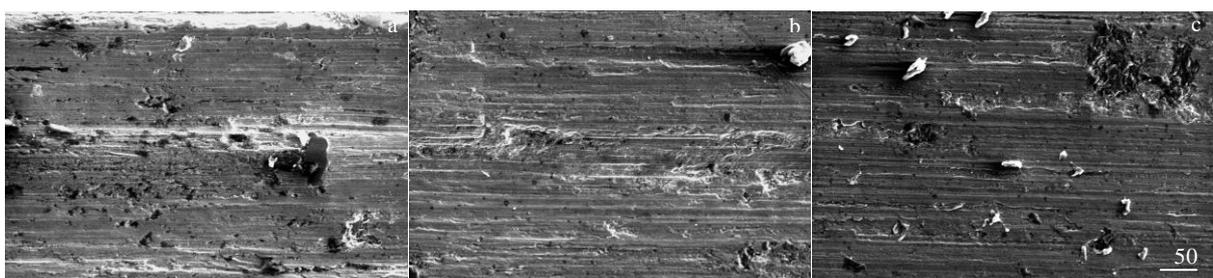


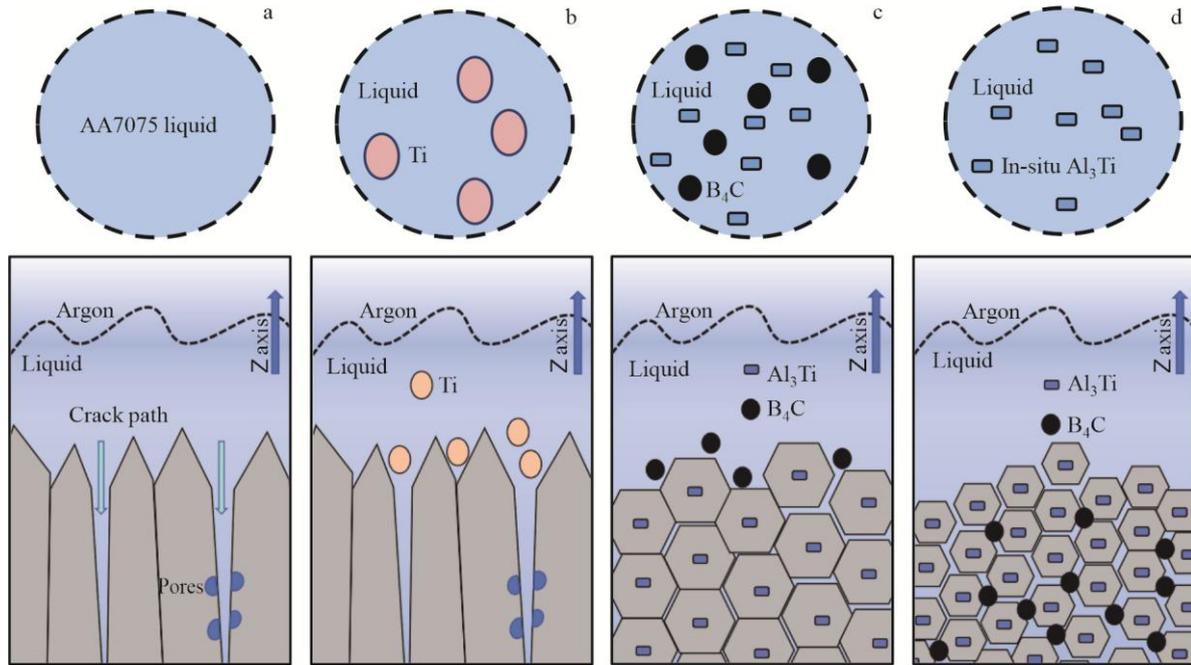
图 12 不同 B₄C 含量试样的磨损微观组织形貌

Fig.12 Wear morphologies of specimens with different B₄C contents: (a) 3%, (b) 5%, and (c) 10%

2.5 讨论

通过激光熔化沉积技术制备的 AA7075 铝合金试样的综合力学性能与材料内部形成的晶粒大小和添加的增强相质量分数、分布状态等密切相关，(Ti+B₄C)/AA7075 复合材料晶粒的成形机制如 13 所示。

在没有添加粉末添加剂时，LMD 制备的 AA7075 铝合金试样极易出现气孔与裂纹缺陷^[19]，这是由于其在熔池冷却凝固过程中容易沿着温度梯度生成大量粗大的柱状晶。同时，由于铝合金的传热系数较大，因此在激光熔化沉积的过程中熔池会快速冷却使得内部气体未能及时逸出导致凝固过程中生成大量气孔，进

图 13 (Ti+B₄C)/AA7075 复合材料晶粒的成形机制Fig.13 Forming mechanisms of (Ti+B₄C)/AA7075 composite grain

而使得试样容易沿着柱状晶界或聚集的气孔缺陷被快速凝固过程中产生的较大残余热应力所撕裂并产生裂纹，如图 13a 所示。

而在加入球形纯钛粉之后，钛元素与铝元素会在熔池中原位反应生成细小的 TiAl₃ 结晶核心，该晶粒能够在铝熔体凝固过程中起到非均质形核质点的作用，促使试样内部的晶粒组织由粗大的柱状晶向细小的等轴晶转变^[20]。而对于相同体积的试样来说，内部晶粒尺寸越小就意味着单位体积内存在更多的晶界，因此在变形过程中能够更有效地阻挡位错运动，使得试样拥有更好的强韧性能以及较高的硬度，如图 13b、13c 所示。

最后如图 13d 所示，由于添加陶瓷颗粒可以提高复合材料对激光的吸收率，因此加入 B₄C 颗粒之后的 7075 铝合金粉末能够被激光熔化得更加充分，从而进一步减少了试样内部的气孔。同时，部分 B₄C 颗粒被熔化后填充进铝合金的晶界之间，使得晶粒之间的结合变得更为紧密，从而进一步的细化晶粒^[21-23]。最后，由于 B₄C 颗粒本身具有高硬度高耐磨等特性，因此在填充入晶界的大尺寸 B₄C 颗粒以及众多等轴晶的共同作用下，单位面积内试样在产生塑性变形时的表面阻力变得更大，因此在受到应力时产生的塑性变形减小，复合材料的硬度和耐磨性能都得到提高。

3 结 论

1) 同时添加球形纯钛粉以及 B₄C 陶瓷颗粒可以有效地抑制 AA7075 铝合金在 LMD 成型过程中出现的气孔与开裂问题。

2) 随着 B₄C 含量的增加，试样的抗拉强度不断减小，显微硬度变化不大。当 B₄C 的质量分数为 3% 时，复合材料的平均显微硬度 (HV_{0.2}) 以及抗拉强度分别为 1388.17 MPa 和 336.93 MPa，比沉积态 7075 铝合金的 980.69 MPa 和 200.05 MPa 分别提高了 41.6% 和 68.4%，拉伸试样的断裂形式为脆性断裂。

3) 随着 B₄C 含量的提高，复合材料的耐磨性能得到逐步提高，同时磨损过程变得更加稳定，摩擦系数由 0.83 降到 0.78，磨损体积由 2.5 mm³ 降低至 0.7 mm³。磨损形式由黏着磨损转变为剥层磨损。

参考文献 References

- [1] Ngo D T, Kashani A, Imbalzano G *et al.* *Composites Part B*[J], 2018, 143: 172
- [2] Ni Jiangtao(倪江涛), Zhou Qingjun(周庆军), Yi Feng(衣凤) *et al.* *Chinese Journal of Rare Metals*(稀有金属)[J], 2022, 46(10): 1365
- [3] Zhang Chunjie(张春杰), Qi Chaoqi(齐超琪), Zhao Kai(赵凯) *et al.* *Electric Welding Machine*(电焊机)[J], 2021, 51(8): 39
- [4] Zhang Anfeng(张安峰), Li Dichen(李涤尘), Liang Shaoduan(梁少端) *et al.* *Aviation Manufacturing Technology*(航空制造技术)[J], 2016(22): 16

- [5] Yang Jiaoxi(杨胶溪), Ke Hua(柯 华), Cui Zhe(崔 哲) *et al.* *Aviation Manufacturing Technology*(航空制造技术)[J], 2020, 63(10): 14
- [6] Gu Dongdong(顾冬冬), Zhang Hongmei(张红梅), Chen Hongyu(陈洪宇) *et al.* *Chinese Journal of Laser*(中国激光)[J], 2020, 47(5): 32
- [7] Gao Zhongtang(高中堂), Yu Defeng(余德锋), Gao Zhiming(高志明) *et al.* *Rare Metal Materials and Engineering*(稀有金属材料与工程)[J], 2023, 52(6): 2039
- [8] Lv Xinrui(吕新蕊), Liu Tingting(刘婷婷), Liao Wenhe(廖文和) *et al.* *Chinese Journal of Laser*(中国激光)[J], 2022, 49(14): 185
- [9] Lei Zhenglong, Bi Jiang, Chen Yanbin *et al.* *Journal of Manufacturing Processes*[J], 2020, 53: 283
- [10] Zheng T Q, Pan S H, Murali N *et al.* *Materials Letters*[J], 2022, 319: 132268
- [11] Ouyang Sheng(欧阳盛), Liu Yunzhong(刘允中), Shen Junjian(沈君剑) *et al.* *Materials Science and Engineering of Powder Metallurgy*(粉末冶金材料科学与工程)[J], 2020, 25(3): 197
- [12] Martin J H, Yahata B D, Hundley J M *et al.* *Nature*[J], 2017, 549(7672): 365
- [13] Liu Z W, Rakit M, Wang X M *et al.* *Journal of Materials Research*[J], 2014, 29(12): 1354
- [14] Bi J, Lei Z L, Chen X *et al.* *Ceramics International*[J], 2019, 45(5): 5680
- [15] Zhang Kun(张 堃), Liu Xiaofei(刘晓飞), Liu Yong(刘 勇) *et al.* *Nonferrous Metals*(有色金属工程)[J], 2020, 10(7): 14
- [16] Yuan Pengpeng(袁鹏鹏). *Numerical Simulation and Experimental Study on Selective Laser Melting of Nano-TiC Nanjing: Reinforced Al-based Composite Materials*(选区激光熔化纳米 TiC 增强 Al 基复合材料数值模拟及实验研究)[D]. Nanjing: Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, 2016
- [17] Zuo Chengming(左城铭), Du Xiaoming(杜晓明), Luan Daocheng(栾道成) *et al.* *Hot Working Technology*(热加工工艺)[J], 2019, 48(16): 84
- [18] Li Yan(李 岩), Yan Hong(闫 洪), Hu Zhi(胡 志) *et al.* *Forging & Stamping Technology*(锻压技术)[J], 2011, 36(5): 124
- [19] Hu Zhongwen(胡中文). *Study on the Microstructure and Properties of Additive Manufacturing of High-Strength Aluminum Alloy Al7075* (高强度铝合金 Al7075 增材制造组织与性能研究)[D]. Guiyang: Guizhou University, 2021
- [20] Yan Hong, Ai Fanrong, Chen Xiaohui. *Journal of Wuhan University of Technology*[J], 2013, 28(3): 598
- [21] Rajeev K, Jujhar S, Shubham S *et al.* *Journal of Materials Research and Technology*[J], 2022, 20: 720
- [22] Yi J C, Zhang X W, Liu G Z *et al.* *Journal of Alloys and Compounds*[J], 2023, 939: 718
- [23] Xu P, Liu H M, Wang X D *et al.* *Advanced Materials Research*[J], 2011, 383: 3325

Microstructure and Properties of (Ti+B₄C)/AA7075 Composite Powder by Laser Melting Deposition

Wang Junhao¹, Zhao Jibin², He Chen², Zhao Yuhui², Li Bobo¹

(1. School of Mechanical and Electrical Engineering, Shenyang Aerospace University, Shenyang 110135, China)

(2. Shenyang Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Shenyang 110169, China)

Abstract: The (Ti+B₄C)/AA7075 composite powder with 5wt% spherical pure titanium powder and B₄C ceramic particles (3wt%, 5wt%, 10wt%) was prepared by high-energy ball grinding, and several groups of additive samples were prepared by laser melting deposition (LMD) technology. The influence of titanium element and ceramic powder with different B₄C contents on the mechanical properties of the composites was studied. The results show that the addition of spherical pure titanium powder and B₄C ceramic particles can effectively overcome the pores and cracking of AA7075 aluminum alloy during LMD molding process. When the mass fraction of B₄C is 3wt%, the average microhardness (HV_{0.2}) and tensile strength of the composites are 1388.17 MPa and 336.93 MPa, respectively, which are 41.6% and 68.4% higher than 980.69 MPa and 200.05 MPa of the deposited AA7075 aluminum alloy. Later, with the increase in B₄C mass fraction from 3wt% to 10wt%, the tensile strength of the sample gradually decreases, but the wear resistance gradually increases, the average friction coefficient decreases from 0.83 to 0.78, and the wear form changes from adhesive wear to peeling wear.

Key words: AA7075 aluminum alloy; particle enhancement; laser melting deposition; microstructure; mechanical property