

铝基复合材料镶嵌铸造工艺^①

费铸铭 胡文彬 张国定 屈李红

(上海交通大学复合材料研究所, 上海 200030)

摘 要 研究了在铝合金铸件中镶嵌铝基复合材料的镶嵌铸造工艺, 并通过镶嵌件表面处理(喷砂、镀锌、镀镍)和控制浇注工艺参数(铸模温度、镶嵌件预热温度、铝合金浇注温度和浇注操作时间)获得了复合材料镶嵌件和铸件本体铝合金之间良好的界面结合。

关键词 铝基复合材料 镶嵌 铸件

陶瓷纤维或颗粒增强铝基复合材料性能优于铝合金, 又能用常规的工艺手段进行制备和加工。但由于工艺成本较高, 限制了它在民品工业上的推广应用。然而, 某些零件仅因局部损坏而退出服役, 或只在局部有特殊的性能要求, 如: 发动机活塞要求在燃烧室周围有良好的抗热疲劳性能, 而环槽部位有较高的耐磨性能^[1, 2], 因此, 没有必要制成全复合材料的产品, 完全可以用局部镶嵌复合材料的方法予以局部强化, 以达到提高产品的服役性能、延长服役寿命, 而又不增加较多成本的目的。复合材料镶嵌铸造为复合材料在民品工业中的推广应用拓宽了道路, 复合材料镶嵌铸造工艺的研究无论在技术上还是在经济上均具有重要意义。镶嵌铸造技术的核心问题是: 如何在复合材料镶嵌件与铸件本体金属之间形成良好的界面结合。本文将从镶嵌件表面预处理和镶嵌铸造工艺参数控制角度来探讨形成铝基复合材料镶嵌件与本体铝合金之间良好界面结合的工艺条件。

1 复合材料的局部镶嵌

将铝基复合材料按局部增强需要的形状尺寸制成镶嵌件置于模内预定位置, 向铸模内注入铝合金, 使镶嵌件铸入铸件内, 完成复合材

料局部增强铸件的制造。此方法成功的关键是镶嵌件与铸件本体金属间要有牢固的界面结合。虽然可对镶嵌件表面进行机加工, 预设一些凹槽或凸台, 使界面产生机械咬合, 增加界面结合牢度, 但镶嵌件与铸件本体金属间的良好界面结合仍然是生产优质复合材料镶嵌增强铸件必不可少的条件。

由于大部分铸件是用重力浇注法生产的, 所以将着重研究复合材料镶嵌工艺, 研究工作围绕如何获得镶嵌件与铸件本体金属间良好结合而展开。

2 试验结果和讨论

试验用材料: 镶嵌试样为 Al_2O_3/Al 复合材料, 纤维含量 $V_f = 10\%$, 尺寸为 $10\text{ mm} \times 10\text{ mm} \times 60\text{ mm}$; 浇注用铝合金与复合材料基体同, 为稀土铝硅合金。

试验方法: 镶嵌试样用三种方法作表面预处理, 每三个试样放在一个模内, 试样垂直放置, 下部固定在模底, 共八组二十四个试样; 镶嵌浇注工艺主要控制: 模温、镶嵌试样预热温度、铝液浇注温度和浇注操作时间。为简化操作, 试验时仅变化铝液浇注温度, 而其它参数则相对固定。

试验目的: 研究镶嵌试样表面预处理和镶

① 收稿日期: 1996-04-29; 修回日期: 1996-07-22 费铸铭, 男, 59岁, 副教授

嵌浇注工艺对 $\text{Al}_2\text{O}_3/\text{Al}$ 复合材料镶嵌件与铸件本体金属间镶嵌界面结合的影响。

2.1 表面预处理对镶嵌界面结合的影响

Al_2O_3 膜与铝液浸润性差, 不易形成良好的界面结合。为了排除 Al_2O_3 膜的有害影响, 寻求良好的镶嵌界面结合, 进行了下列试验。

2.1.1 镶嵌试样表面进行喷砂处理

为了对照比较, 试样表面除了进行必要的清洗外先不作任何去除氧化膜的处理。在试样预热温度 $300\text{ }^\circ\text{C}$ 、模温 $300\text{ }^\circ\text{C}$ 、铝液浇注温度 $740\text{ }^\circ\text{C}$ 的工艺条件下进行镶嵌浇注。为了减少温度变化的影响, 浇注过程控制在 30 s 内完成。铸件宏观检查发现镶嵌界面处有明显的裂纹和缝隙存在。从图 1(a) 可观察到界面上有明显的裂纹, 且有大量氧化物存在。

试样进行必要的清洗后, 表面喷砂处理, 以去除 Al_2O_3 膜, 然后放入有保护气氛的炉子内预热。在同样的工艺条件下进行镶嵌浇注。结果如图 1(b) 所示, 界面情况虽然有改善, 界面仍然结合不良。逐步提高浇注温度, 当铝液温度超过 $760\text{ }^\circ\text{C}$ 时, 得到了较好的结果。如图 1(c) 所示, 界面达到良好的结合状态。

2.1.2 镶嵌试样表面镀锌处理

在试样表面镀一层熔点比铝合金低, 在空气中相对稳定的金属, 如 Sn 、 Zn 等, 以保护试

样表面不被氧化。在镶嵌浇注过程中, Sn 或 Zn 镀层被熔入铝合金中, 暴露出无 Al_2O_3 膜的表面与铸件本体铝合金熔合。图 2(a) 是采用一次浸 Zn 工艺表面镀 Zn 的镶嵌试样与铸件本体铝合金界面结合情况。模温和镶嵌试样预热温度不变, 镶嵌试样预热不需保护气氛, 铝液温度为 $740\text{ }^\circ\text{C}$ 。由图 2(a) 可见, 界面处清楚地显示出一条裂纹, 有氧化物存在, 界面结合显然不好。采用二次浸 Zn 工艺后, 得到的界面结合情况示于图 2(b), 镀 Zn 层消失, 界面结合状态良好。 Zn 元素成分扫描分析证实镀 Zn 层已全部熔入铝合金中, 界面处无 Zn 元素的偏聚。

2.1.3 镶嵌试样表面镀镍处理

在镶嵌试样表面镀一层熔点比铝合金高、与铝液浸润性好、在空气中较稳定的金属, 如 Ni 、 Cr 等。该镀层在镶嵌浇注后不消失, 构成镶嵌界面的重要组成部分, 起连接镶嵌件与铸件本体金属的作用。表面镀 Ni 的试样在同样的工艺条件下镶嵌浇注后界面结合情况示于图 3。图 3(a) 为碱性化学镀 Ni 试样镶嵌浇注后界面结合状况, 可见, 镀 Ni 层很薄, 且不完整, 未能起到连接镶嵌件与铸件本体金属的作用。表面电镀 Ni 处理的试样镶嵌界面的情况示于图 3(b), 镀层保留完整, 但镀层与铸件本体金

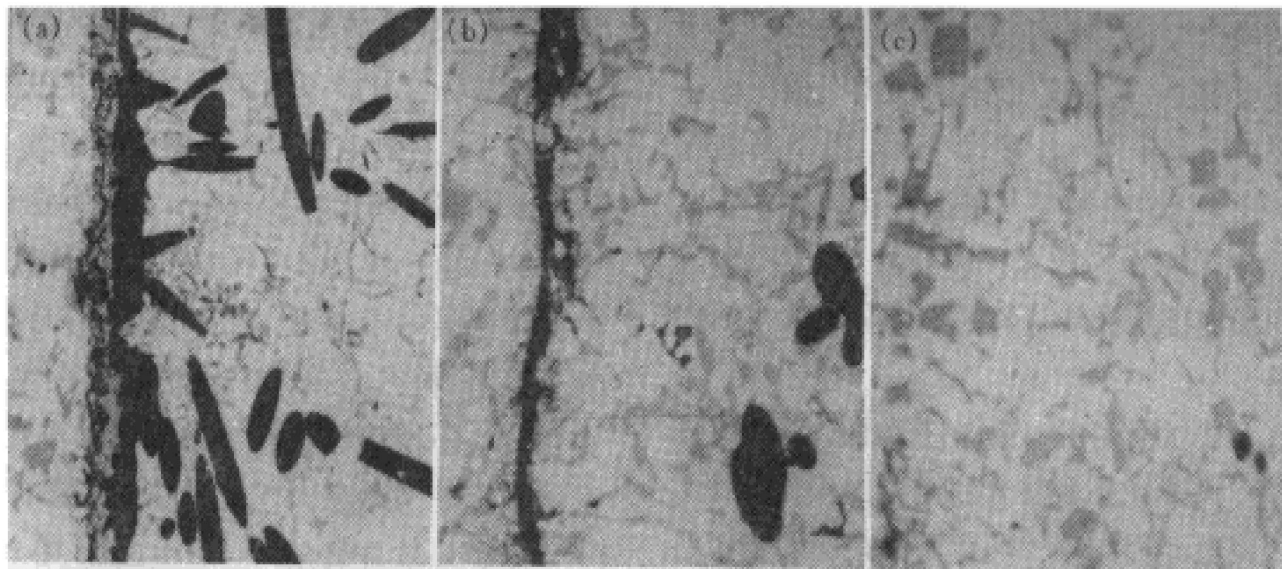


图1 表面喷砂处理试样与铸件本体金属界面结合情况

(a) 一表面未去除 Al_2O_3 膜; (b) 一表面喷砂处理;

(c) 一表面喷砂处理和提高浇注温度

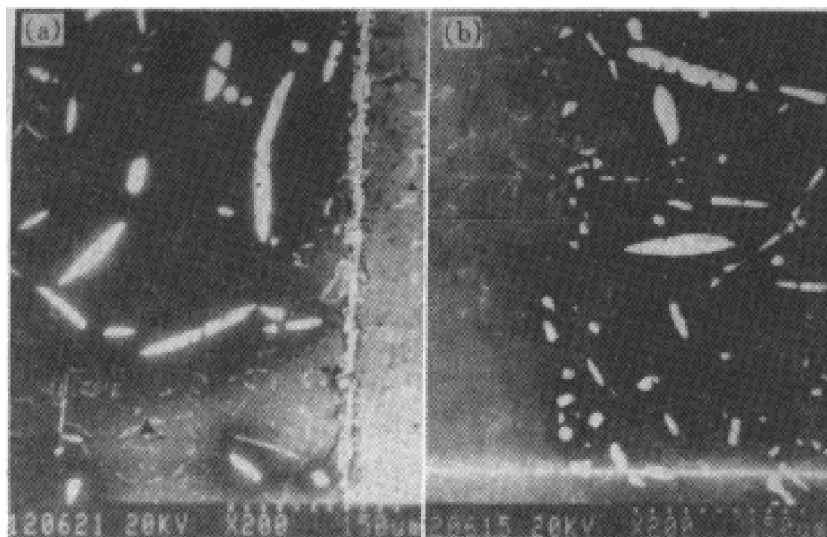


图2 表面镀锌处理试样与铸件本体金属界面结合情况

(a) 一表面一次浸锌; (b) 一表面二次浸锌

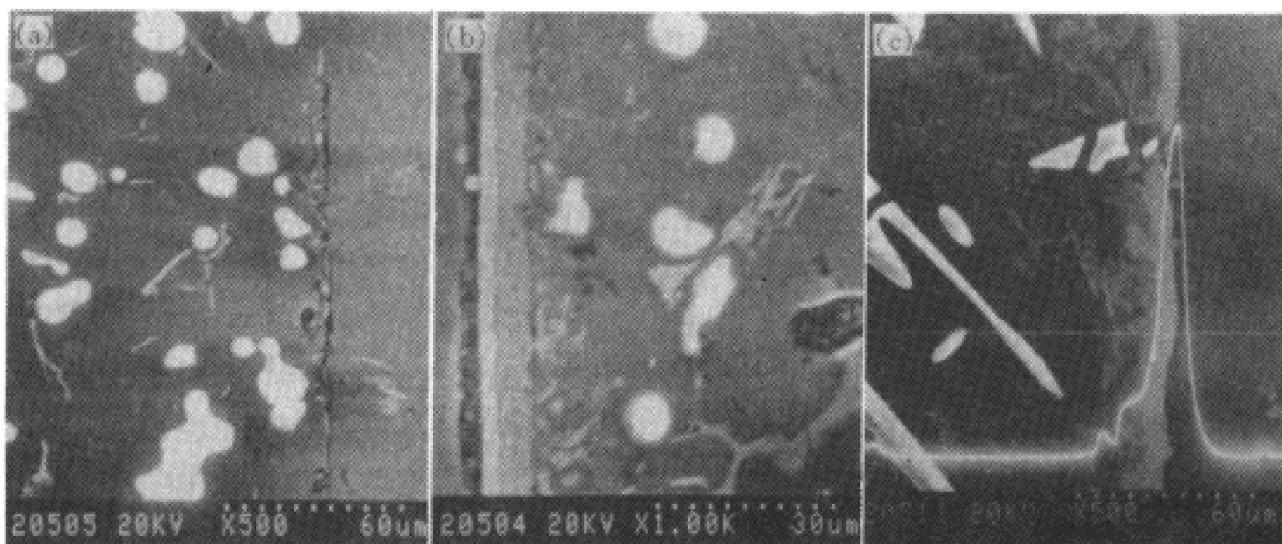


图3 表面镀镍处理镶嵌试样与铸件本体金属界面结合情况

(a) 一表面碱性化学镀 Ni; (b) 一表面电镀 Ni; (c) 一表面酸性化学镀 Ni

属一侧结合欠佳,有明显缝隙和残留物。采用酸性化学镀 Ni 工艺处理镶嵌试样表面,得到的镶嵌界面示于图 3(c),镀 Ni 层虽个别处有裂纹,但整体来讲镀层与镶嵌件和铸件本体金属二侧均有较好的结合,表明酸性化学镀 Ni 层起到了连接镶嵌件与铸件本体金属的中间媒体作用。

由上述试验可知,镶嵌件表面 Al_2O_3 膜的存在是影响镶嵌界面结合的主要因素,要得到良好的镶嵌界面结合,研究工作必须围绕如何排除 Al_2O_3 膜的影响展开。如果不预先清除镶嵌件表面的 Al_2O_3 膜,则 Al_2O_3 膜必须在镶嵌浇注过程中去除。这就必须使镶嵌件表层适度

熔化,使 Al_2O_3 膜顺利剥离,并被铝液冲走。

如果 Al_2O_3 膜厚而致密,则它的去除就很困难,并直接影响镶嵌界面结合,如图 1(a) 所示。采用机械或化学的方法,预先除去镶嵌件表面的 Al_2O_3 膜,并在保护气氛中预热,取得的效果明显好于前者,比较图 1(b) 与图 1(a) 就很容易得出这一结论。虽然即使在保护气氛中预热也不能确保镶嵌件表面绝对不氧化,何况镶嵌浇注又是在大气中操作的,镶嵌件表面不可避免地被再氧化,但所生成的 Al_2O_3 膜比前者要薄得多。可见:薄的 Al_2O_3 膜较易在镶嵌浇注时去除。提高浇注温度能创造更有利的 Al_2O_3 膜剥离的条件,形成更好的结合界面,

见图 1(c)。

在镶嵌试样表面镀以低熔点金属 Zn, 由于其熔点比铝合金低得多, 在同样工艺条件下镶嵌浇注时, Zn 首先熔化并溶入铝合金中, 并暴露出无 Al_2O_3 膜的镶嵌件表面与铸件本体铝合金熔合。要求镀 Zn 层薄而致密, 均匀镀覆在镶嵌件表面, 能有效地保护镶嵌件表面在贮存、预热、浇注过程中不被氧化, 这就需要选择合适的镀 Zn 工艺。采用一次浸 Zn 工艺, 由于镀 Zn 层不致密, 未能有效地保护镶嵌件表面不被氧化, 镶嵌界面结合没有达到预期效果(见图 2(a))。改用二次浸 Zn 工艺, 镀 Zn 层均匀致密, 能有效地保护镶嵌件表面不被氧化, 镶嵌界面结合达到了理想的效果(见图 2(b))。

在镶嵌试样表面镀以高熔点金属 Ni, 由于 Ni 与铝液有良好的浸润性, 有利于形成良好的镶嵌界面结合。镶嵌件表面进行碱性化学镀 Ni 处理, 由于 Ni 层很薄且不均匀, 在镶嵌浇注时预浸 Zn 层熔化, 从而使 Ni 层与镶嵌件界面处于粘滞状态, 部分 Ni 层脱落, 浇注时铝液表面氧化层和气体不容易顺利排出, 使镶嵌界面出现缝隙和残留物(如图 3(a))。采用电镀和酸性化学镀工艺得到的镀 Ni 层厚而完整, 预浸 Zn 层熔化与否破坏不了 Ni 层的完整性。由于 Ni 层和铝液之间良好的浸润性, 使镶嵌界面结合较好(如图 3(c))。图(3(b))中出现电镀 Ni 层与铸件本体金属之间结合不好的情况很可能是由于镀 Ni 层表面在浇注前遭污染所引

起的。由此可见, 镶嵌件表面镀 Ni 处理能在镶嵌浇注时获得良好的镶嵌界面。所选择的镀 Ni 工艺必须保证提供完整而又有一定厚度的 Ni 层。

在镶嵌件表面镀 Zn 或 Ni 可免除在镶嵌浇注时去除 Al_2O_3 膜的工艺, 镶嵌铸造工艺条件也相应放宽, 有利于提高镶嵌铸造的成功率。另外, 镶嵌件不需在保护气氛中预热, 简化了现场操作。

2.2 镶嵌铸造工艺对镶嵌界面结合的影响

镶嵌浇注工艺主要控制三个参数: 镶嵌件预热温度、铸模温度和铝合金浇注温度。镶嵌件、铸模、铝合金的温度、热容量和它们之间的传热条件所决定的镶嵌铸造体系内温度场的变化, 特别是镶嵌件表层温度场的变化对镶嵌界面结合具有很大影响。就具体的镶嵌铸件而言, 镶嵌铸造体系各组分的热容量是定值, 如果简化操作而固定镶嵌件预热温度和铸模温度, 则铝液的浇注温度将是影响镶嵌件表层温度场变化的控制因素。因此可通过控制铝液的浇注温度来调整镶嵌界面的结合情况。

根据浇注温度的不同, 镶嵌件表层温度场的变化可设想为如图 4 所示的三种情况。当浇注温度 t_1 较低时, 浇注后镶嵌件表层最高温度 t'_0 低于铝合金熔化温度 t^* (见图 4(a)), 此时在镶嵌件表层不能产生适度熔化, 不能去除 Al_2O_3 膜, 会形成所谓的冷隔。将浇注温度提高到 t_2 (如图 4(b)), 镶嵌件表层温度可升至最

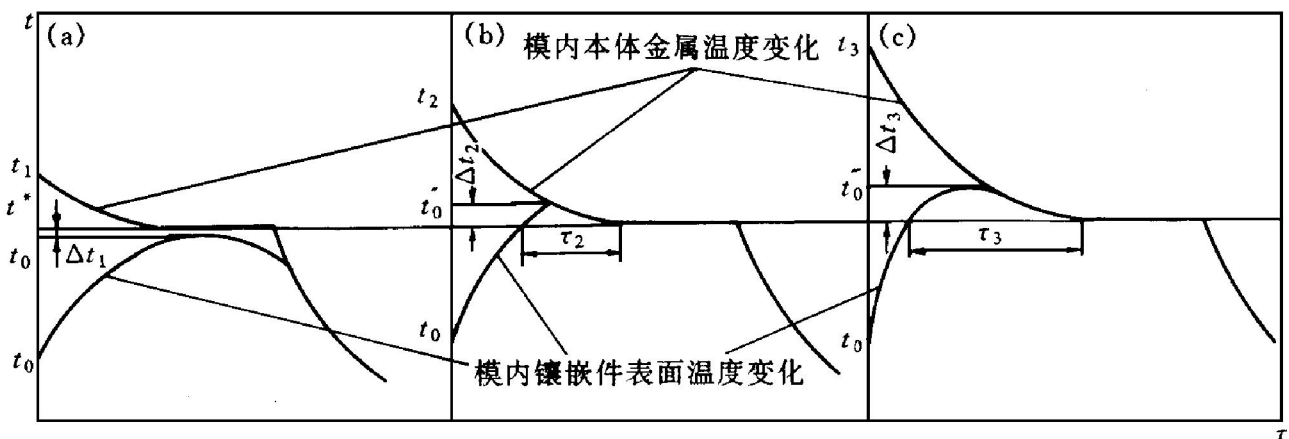


图 4 镶嵌铸造时本体金属和镶嵌件表层温度变化示意图

高温 t_0 ，超过铝合金的熔化温度，温差为 Δt_2 ，保持熔融状态的持续时间为 τ_2 ，这就为镶嵌件表面 Al_2O_3 膜的剥离和冲走提供了条件。如果浇注温度太高，如图4(c)，此时温差将扩大至 Δt_3 ，镶嵌件表层保持熔融状态的时间将延长至 τ_3 。温差的提高以及镶嵌件表层熔融持续的时间的延长会扩大镶嵌件熔融区域，使镶嵌件软化变形甚至熔化，导致镶嵌铸造失败。镶嵌铸造工艺就是要控制 Δt 和 τ 在适当的范围，既能去除 Al_2O_3 膜又不使镶嵌件因过度熔化变形。试验实践表明， Δt 和 τ 的可控范围并不宽，尤其是镶嵌件表层温度场是不均匀的，如离浇冒口近的部位温度较高，离浇冒口远的部位温度较低。在此情况下要保证良好的镶嵌界面是不容易的。这就是采用该镶嵌铸造工艺时成品率低的主要原因。

对于表面镀Zn的镶嵌件，随着铝液注入模内，镶嵌件表层温度迅速升高至Zn的熔点，使Zn熔入铝液中，暴露出无 Al_2O_3 膜的新鲜表面被铝液充分润湿，使镶嵌件基体和浇注的铝合金熔为一体，保证了较高的成品率和理想的镶嵌界面。如果能使镶嵌件表面基体适量熔化，则镶嵌质量更高。对于表面镀Ni的镶嵌件，由于Ni层改善了和铝液的浸润条件，有利于取得好的镶嵌界面结合，提高镶嵌浇注的

成功率。

根据试验结果，在铝合金中镶嵌浇注铝基复合材料，其镶嵌浇注工艺通常可控制为：镶嵌件预热温度200~300℃，模温200~400℃，铝液温度710~800℃。操作时间愈短，实际的镶嵌浇注工艺条件愈接近预设的工艺参数，成品率越高。

3 结论

(1) Al_2O_3 膜是影响镶嵌界面结合的主要因素，在镶嵌浇注过程中去除 Al_2O_3 膜，工艺要求较严，不易掌握，是造成镶嵌铸件成品率低的主要原因。

(2) 在镶嵌件表面进行喷砂、镀Zn或镀Ni处理能不同程度排除 Al_2O_3 膜的影响，改善镶嵌铸造工艺条件，有利于提高镶嵌铸造的成品率。

(3) 镀Zn工艺操作简单，费用低廉，是较有希望的镶嵌件表面处理工艺。

参考文献

- 1 李贤淦. 汽车工艺与材料, 1992, 9: 21.
- 2 柴苍修. 汽车工艺与材料, 1995, 9: 5.

CASTING TECHNOLOGY INSERTING ALUMINIUM MATRIX COMPOSITE INTO CAST ALUMINIUM ALLOY

Fei Zhuming, Hu Wenbin, Zhang Guoding, Qu Lihong

Institute of Composite Materials,

Shanghai Jiao Tong University, Shanghai 200030

ABSTRACT The cast technology inserting aluminium matrix composite into cast aluminium alloy was investigated. The surface treatment of composite inserts (grit blasting, zinc plating and nickel plating) and the casting technological parameters (mould temperature, preheating temperature of inserts, cast temperature of aluminium alloy and the time of casting operation) were employed to obtain excellent interface bond between composite inserts and cast aluminium alloy.

Key words aluminium matrix composite inserting casting process

(编辑 彭超群)