

# 浇注温度对 ZL210A 铸造铝合金铸态力学性能和微观组织的影响

Effect of Casting Temperature on the Mechanical Properties and Microstructures of the ZL210A Casting Aluminum Alloy

贾洋江, 陈邦峰

(北京航空材料研究院, 北京 100095)

JIA Pan-jiang, CHEN Bang-feng

(Beijing Institute of Aeronautical Materials, Beijing 100095, China)

**摘要:** 通过研究浇注温度对砂型铸态 ZL210A 合金力学性能、金相组织和断口形貌的影响。结果表明, 浇注温度对 ZL210A 合金力学强度、硬度值和合金断口形貌影响不大, 对合金延伸率略有影响, 晶界上析出的共晶相随着浇注温度的提高而增多, 合金铸态组织主要为  $\alpha$ (Al) 和  $\theta$ (Al<sub>2</sub>Cu) 相。

**关键词:** 浇注温度; ZL210A; 铸造铝合金; 力学性能; 微观组织

中图分类号: TG292 文献标识码: A 文章编号: 1004-4381(2009-06-0043-03)

**Abstract:** The effect of different casting temperatures on the mechanical properties, microstructures and fracture surfaces of the ZL210A casting aluminum alloy was investigated. The result shows that casting temperatures have no influence on the tensile strength, hardness and fracture surfaces of the ZL210A alloy and a little influence on the elongation. The eutectic phase on grain boundary increases as casting temperature increasing. Phase constituents of as-cast alloy were composed of  $\alpha$ (Al) and  $\theta$ (Al<sub>2</sub>Cu) phase.

**Key words:** casting temperature; ZL210A; casting Al alloy; mechanical property; microstructure

随着能源的日趋减少和材料轻量化发展, 铝合金铸造获得广泛的应用, 某些方面已可部分代替铸铁件、低碳钢铸件以及铝锻件<sup>[1]</sup>。Al-Cu 系铸造铝合金, 因其具有强度高, 延展性好, 高温性能佳, 易切削加工等优点, 成为近年来高强铝合金研究方向之一, 并被广泛应用于航天、航空工业及民用工业等领域, 尤其在航空工业中占着十分重要的地位, 是航空工业主要结构材料之一<sup>[2,3]</sup>。但由于 Al-Cu 系铸造铝合金结晶温度区间大, 热裂和疏松倾向大, 铸造性能较差, 容易出现裂纹、疏松等铸造缺陷, 从而对铸造工艺提出较高的要求<sup>[4-6]</sup>。

ZL210A 合金是我国新近研制的新型 Al-Cu-Mn 系高纯高强铸造铝合金, 该合金具有优异的综合性能, 如高的强度, 很好的延性率和塑性, 易于切削加工和表面处理等优点, 目前已在飞机受力结构件上得到很好应用, 取得较好效果。但同时该合金也不可避免存在 Al-Cu 系合金所存在的缺陷。铸造工艺指铸造方法和浇注温度, 浇注温度是影响铸件内部铸造组织的重要因素。一般情况下, 当在较高并超过合理温度下浇注

铸件时, 铸件的内部铸造组织易粗大, 铸件易产生疏松、缩孔、热裂等缺陷, 铸件整体性能降低, 合金的力学性能难以发挥; 而浇注温度过低时, 合金液流动性较差, 易产生冷隔、浇不足等缺陷, 同时补缩通道受阻, 也容易产生疏松等缺陷。因此本工作将从浇注温度对 ZL210A 合金的铸造力学性能和微观组织的影响进行研究, 以期在该合金的应用上提供实验依据。

## 1 实验方法及步骤

### 1.1 合金配制及熔炼

合金采用纯度为 99.99% 高纯铝, Al-Cu, Al-Mn, Al-Ti 中间合金和金属 Cd 配制而成, 合金配料成分及标准成分范围见表 1, 采用电阻坩埚炉进行熔炼。

### 1.2 试样制备

选用国标砂型单铸试样(以下称砂型试样)作为研究对象, 见图 1。

### 1.3 实验

根据生产中常采用的铝合金铸造浇注温度, 选择

表 1 ZL210A 合金的化学成分(质量分数 / %)

Table 1 Chemical compositions of ZL210A alloy (mass fraction / %)

| Element        | Cu      | Mn       | Ti        | Cd        | Al  |
|----------------|---------|----------|-----------|-----------|-----|
| Testing result | 4.8     | 0.60     | 0.25      | 0.17      | Bal |
| Specification  | 4.5-5.1 | 0.35-0.8 | 0.15-0.35 | 0.07-0.25 | Bal |

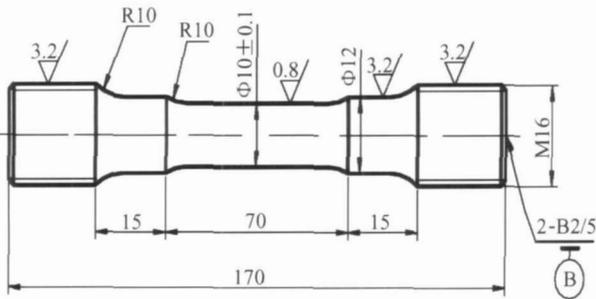


图 1 砂型加工后单铸试样

Fig. 1 Sand as-cast sample machined

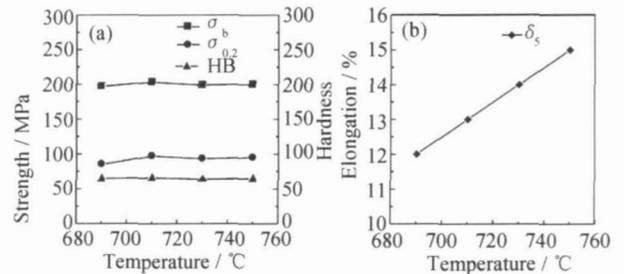


图 2 浇注温度对铸态砂型试样力学性能的影响

(a) 强度和硬度; (b) 延伸率

Fig. 2 Effect of casting temperature on mechanical properties of sand as-cast samples

(a) strength and hardness; (b) elongation

在 690, 710, 730, 750 °C 时浇注砂型单铸试样。实验选用型号为 ZDM10T 的室温静拉伸试验机测试试样铸态室温力学性能; 选用型号为 T-2 的试验机进行试样硬度测量; 用 OLYMPUS PMG3 型光学显微镜观察试样金相组织; 用 PHILIPS-XL20 型扫描电子显微镜观察试样断口微观形貌; 用 PANALYTICAL-X'PERT-PRO 型 X 射线衍射仪分析试样铸态组织, 试样组织侵蚀剂按 HF: HNO<sub>3</sub>: HCl: H<sub>2</sub>O = 1: 1.5: 2.5: 95 配比。

## 2 结果与分析

### 2.1 不同浇注温度下试样的力学性能

图 2 为不同浇注温度下铸态砂型试样力学性能。由图 2 可知, 当浇注温度从 690 °C 升至 750 °C 时, 抗拉强度和硬度值均没有较大明显变化。在 690 °C 浇注时, 抗拉强度  $\sigma_b$  和屈服强度  $\sigma_{0.2}$  为 197 MPa 和 85 MPa; 710 °C 浇注时, 抗拉强度  $\sigma_b$  和屈服强度  $\sigma_{0.2}$  为 203 MPa 和 97 MPa, 二者差幅不大; 硬度 HB 值均稳定在 65 左右。在不同浇注温度下, 砂型铸态试样延伸率  $\delta_5$  随着浇注温度的升高而成线性增大, 在 690 °C 浇注时, 砂型铸态试样延伸率  $\delta_5$  为 12%, 750 °C 浇注时, 延伸率  $\delta_5$  为 15%, 二者相差 3%。由此可见, 浇注温度对砂型铸态试样常温力学性能影响较小, 对延伸率影响相对较大, 且合金铸态试样表现出较好的延伸率。

### 2.2 不同浇注温度下试样铸态金相组织

图 3 为浇注温度在 690, 710, 730 °C 时浇注的铸态砂型试样的光学金相组织。由图可观察到, 砂型试样

铸态组织晶粒粗大, 且晶界光滑清晰, 在晶界上存在大量偏析的共晶相。同时, 在基体中存在大量细小且弥散分布的小黑点, 查阅相关资料可知这些小黑点为 T (Al<sub>2</sub>CuMn<sub>2</sub> 相质点和  $\theta$  (Al<sub>2</sub>Cu 相质点<sup>[6]</sup>)。对比各金相微观形貌可知, 晶界上的共晶相随着浇注温度的提高而增多, 且树枝晶也相应增多, 浇注温度对铸造组织的晶粒大小影响不大。这是由于当浇注温度较高时, 合金凝固时过冷度小, 从形核到晶粒长大的时间相对较长, 因而铸造组织中晶粒较为粗大, 合金的性能相对较低。同时由于是非平衡凝固, 随着浇注温度的提高, 合金有更多时间在晶界上形成粗厚的共晶相。

### 2.3 不同浇注温度下试样铸态的断口形貌

图 4 为不同浇注温度下砂型铸态试样断口形貌。由图可观察到, 在 690, 710 °C 和 730 °C 浇注的砂型铸态试样断口形貌未有明显的差别。由断口形貌可观察到为晶内断裂, 且在断面上有大量细小并较深的韧窝, 由此可知, 试样为典型的韧性断裂, 合金表现出较好的延展性, 这由上述力学性能试验结果可进一步推之。

### 2.4 铸造组织的 X 射线衍射

合金砂型铸态试样 X 射线衍射谱见图 5。可以看出, 砂型铸态试样组织中除铝基体外, 第二相化合物只有 Al<sub>2</sub>Cu 相, 并且 Al<sub>2</sub>Cu 相的分布不均匀, 在组织中不同部位存在的量有差异, 且其主要以 Al+Al<sub>2</sub>Cu 二元共晶形式在晶界中存在。而在 X 射线衍射谱中未能观察到 T 相等其他相, 这是由于 Mn 等其它元素含量相对较少而未能检测出。

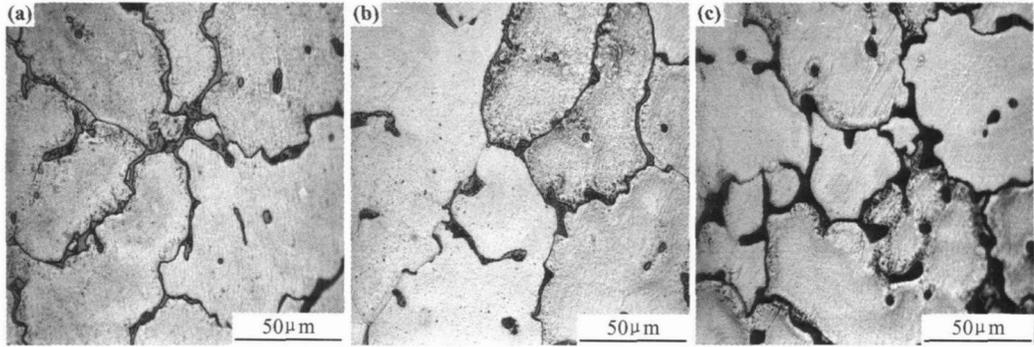


图 3 浇注温度对铸态砂型试样微观组织的影响 (a) 690°C; (b) 710°C; (c) 730°C

Fig. 3 Effect of casting temperature on microstructure of sand as-cast samples (a) 690°C; (b) 710°C; (c) 730°C

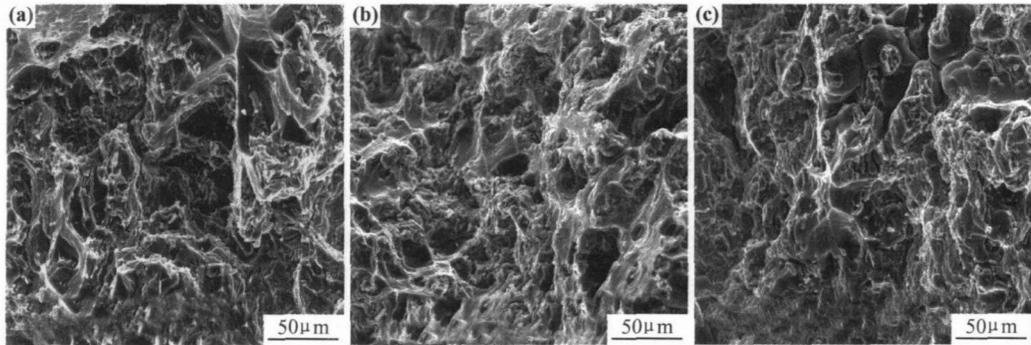


图 4 浇注温度对铸态砂型试样断口形貌的影响 (a) 690°C; (b) 710°C; (c) 730°C

Fig. 4 Effect of casting temperature on fracture surfaces of sand as-cast samples (a) 690°C; (b) 710°C; (c) 730°C

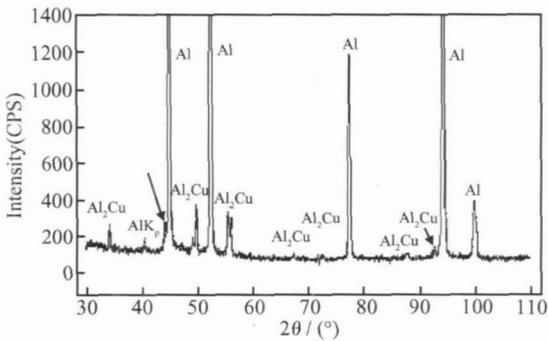


图 5 铸态砂型试样 XRD 谱

Fig 5 XRD patterns of sand as-cast sample

### 3 结论

(1) 浇注温度对 ZL210A 合金砂型铸态试样常温力学强度和硬度值影响不大, 对延伸率略有影响, 且铸态试样表现出较好的延伸率。

(2) 浇注温度对 ZL210A 合金砂型铸态试样断口形貌没有明显影响, 该断裂表现为穿晶韧性断裂。

(3) 随着浇注温度的提高, ZL210A 合金砂型铸态

试样晶界上析出的共晶相也增多, 合金组织主要为  $\alpha$  ( $Al$  和  $\theta(Al_2Cu)$  相存在)。

#### 参考文献

- [1] 熊艳才, 刘伯操. 铸造铝合金现状及未来发展[J]. 特种铸造及有色合金, 1998, (4): 1-5.
- [2] 李元元. 高强高韧铸造铝合金材料研究进展[J]. 特种铸造及有色合金, 2000, (6): 45-47.
- [3] 刘昌斌, 夏长清, 戴晓元. 高强高韧铝合金的研究现状及发展趋势[J]. 矿冶工程, 2003, 23(5): 74-78.
- [4] 黄良余. 铝及其合金的晶粒细化处理简述[J]. 特种铸造及有色合金, 1997, (3): 41-43.
- [5] 张立斌, 陆辛, 海锦涛. 高强度 ZL205A 合金大型优质铸件铸造工艺[A]. 中国机械工程学会第三届全国青年学术会议论文集[C]. 北京: 机械工程出版社, 1998. 711-713.
- [6] 舒群, 陈玉勇, 徐丽娟. 砂型铸造 ZL205A 合金组织与力学性能的研究[J]. 特种铸造及有色合金, 2005, 25(2): 75-78.

收稿日期: 2008-05-09; 修订日期: 2008-10-30

作者简介: 贾泮江(1970—), 男, 高级工程师, 主要从事各种高强度优质铸造铝合金材料及其铸件产品研制和市场开发, 联系地址: 北京市 81 信箱 71 分箱(100095), E-mail: panjiang.jia@biam.ac.cn