

金属型铸造 ZL205A 铝合金组织物相分析及工艺优化

杨启欣¹ 曹岩¹ 黄亮¹ 王宁^{1,2} 赵海越¹
(1.西安工业大学机电工程学院;2.西安昆仑工业集团有限责任公司)

摘要 为获得金属型重力铸造充型好、力学性能高的 ZL205A 铝合金大型铸件,对其进行显微组织及力学性能分析。通过对不同工艺参数下的金相组织结构和力学性能进行分析,探究工艺参数对 ZL205A 铝合金大型件组织和力学性能的影响。结果表明,随着浇注温度、浇注速度、铸型预热温度的提高铸件,产生缺陷情况不断改善。

关键词 ZL205A;金属型铸造;组织;力学性能

中图分类号 TG146.21;TG249.3 **文献标志码** A

DOI:10.15980/j.tzzz.2023.04.015 **开放科学(资源服务)标识码(OSID):**



Microstructure Analysis and Process Optimization of Metal Mold Casting ZL205A Alloy

Yang Qixin¹, Cao Yan¹, Huang Liang¹, Wang Ning^{1,2}, Zhao Haiyue¹
(1.School of Mechanical and Electrical Engineering, Xi'an Technological University;
2. Xi'an Kunlun Industrial Group Co., Ltd.)

Abstract: In order to obtain ZL205A large castings with satisfied filling quality and high mechanical properties, the microstructure and phase analysis of large castings by metal mold gravity casting were carried out. By analyzing and testing the metallographic structure and tensile mechanical properties of ZL205A transmission castings by metal mold casting under different process parameters, the influence of different process parameters on the microstructure and mechanical properties of ZL205A large castings were explored. The defects are improved continuously with the increase of the pouring temperature, pouring rate and preheating temperature.

Key Words: ZL205A Alloy, Metal Mold Casting, Microstructure, Mechanical Properties

在武器装备中,有些部件常处于高温、高载荷工作状态下,其性能及品质要求非常严格,尤其对高温性能要求更加严格。随着工业技术的发展,对部件还提出了精密化、轻量化的要求^[1-3]。ZL205A 铝合金具有良好的综合力学性能以及低的密度,成为实现铸件轻量化的重要材料。但由于掺杂大量合金元素,ZL205A 合金凝固结晶温度范围高达 100 ℃,凝固过冷度小,易形成粗大的树枝晶或等轴晶,呈糊状凝固,易造成补缩不畅和部分溶质聚集,而产生裂纹、缩松及偏析等缺陷,导致铸件成品率低等。目前对这种外形尺寸大、内部品质要求高的 ZL205A 铝合金铸件的浇注工艺有待完善^[4-6]。

弹体传动结构件具有尺寸大、壁厚大的特点,工作时需要承受较大的载荷,所以其内部组织和力学性能都有严格的验收标准^[7-9]。本研究以 ZL205A 铝合金的弹体传动结构件为对象,利用金属型重力铸造成形,分析

ZL205A 铝合金件在不同工艺参数下的组织和力学性能,对浇注工艺参数进行优化,得到缺陷少、力学性能高的 ZL205A 铝合金传动结构件,以期为 ZL205A 合金大型件的铸造工艺研究和生产提供参考^[10-13]。

1 试验方法

1.1 试验对象

大型弹体传动件为回转体结构,其尺寸见图 1。可以看出:①铸件尺寸大:铸件长度为 800 mm,外径为 332 mm,内腔壁厚为 65 mm,质量约为 135 kg;②壁厚较大,内部结构复杂:内腔均匀分布 6 条加强筋,厚为 20 mm,高为 20 mm。

ZL205A 铝合金的化学成分见表 1。熔炼工艺为:预热坩埚并涂覆 ZnO 涂料,待坩埚烘干后放入熔炼炉

收稿日期:2022-07-25;修改稿收到日期:2022-08-09
基金项目:2019 年榆林市科技计划资助项目(K201901760)
第一作者简介:杨启欣,男,1997 年出生,硕士研究生,西安(710021),E-mail:928604419@qq.com
通信作者:曹岩,男,1970 年出生,教授,西安(710021),E-mail:caoyan@xatu.edu.cn
引用格式:杨启欣,曹岩,黄亮,等. 金属型铸造 ZL205A 铝合金组织物相分析及工艺优化[J]. 特种铸造及有色合金,2023,43(4):510-513.
YANG Q X,CAO Y,HUANG L, et al. Microstructure analysis and process optimization of metal mold casting ZL205A alloy[J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 2023, 43(4):510-513.

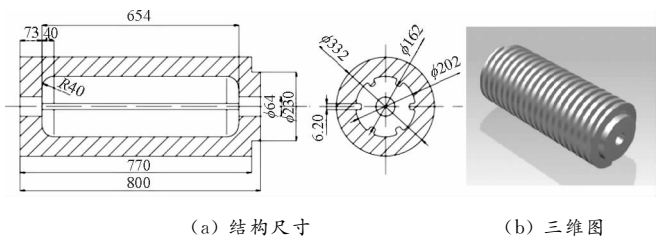


图 1 弹体传动结构件尺寸和示意图

Fig.1 Dimensions and schematic diagram of transmission parts of casting

中;然后将纯铝放入坩埚加热至熔化,依次加入配好的 Al-50Cu、Al-10Mn、Al-4V、Al-4Zr、纯 Cd,全部熔化;当熔液温度达到 740 ℃后加入 Al-5Ti-1C 细化剂搅拌 2 min,然后静置;当铝液温度为 730 ℃时,精炼10 min。用 C₂ Cl₆ 进行二次精炼,在 730~750 ℃精炼 8~15 min,然后放置 7~9 min,再升至 730 ℃,扒渣、滤渣,随后转入保温炉保温至 690~750 ℃。

表 1 ZL205A 铝合金的化学成分

Tab.1 Chemical composition of ZL205A Alloy %							
w/B							
Cu	Mn	Ti	B	Cd	Zr	V	Al
5.2	0.35	0.25	0.05	0.15	0.75	0.15	余量

在金属型及砂芯表面喷涂料,烘干后,将铸型预热到 220~280 ℃浇入铝液。采用人工浇注,浇注温度为 710 ℃,浇注速度为 1~4 kg/s。浇注时保证铝液刚好充满浇口杯。待冒口中铝液接近冒口顶部位置,即可结束浇注,静置自然冷却约 2 h 后,即可开型取件,清理铸件毛刺并机加工去除冒口和浇注系统^[13]。

1.2 试验方法

1.2.1 金相试验

试样的制备包括切样、清洗、预磨、粗磨、细磨、精磨、抛光、腐蚀、清洗等过程。打磨的过程是从 240 号砂纸进行打磨,然后依次换成更细的砂纸进行打磨,具体流程见图 2。

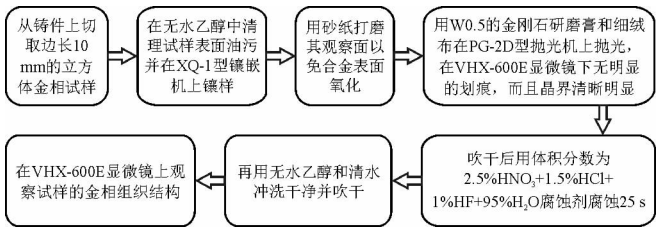


图 2 试样制备流程

Fig.2 Flow chart of specimen preparation

1.2.2 热处理工艺

ZL205A 铝合金铸件和试样的 T6 处理工艺为:375 ℃×1.5 h+465 ℃×1 h+530 ℃×1 h+538 ℃×14 h

固溶,固溶后快速放入 60 ℃的水中,停留约 5 min,再进行 175 ℃×5.5 h 时效,见图 3。

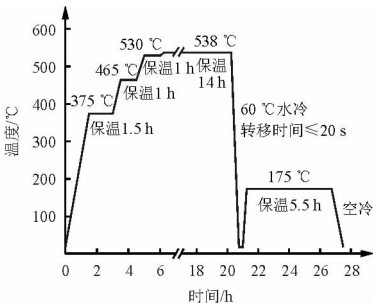


图 3 ZL205A 铝合金试样和铸件 T6 处理工艺

Fig.3 T6 treatment process of ZL205A alloy specimen and castings

1.2.3 力学性能

依据国家标准^[13],将 ZL205A 铝合金试样加工成标准拉伸试样(见图 4),在 DDL300 型电子万能试验机上进行拉伸试验,拉伸速率为 2 mm/min。

选取铸件的下端口部位,按轴向等距选取 3 个位置,分别是靠近砂芯的位置 1、中间位置 2、靠近金属铸型的位置 3,测试后取平均值。

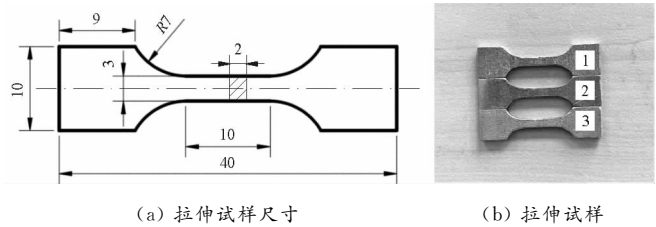


图 4 拉伸试样制备

Fig.4 Fabrication of tensile specimen

2 金属型铸造工艺优化

2.1 金相组织形貌分析

2.1.1 不同浇注温度下铸件的金相组织

固定浇注速度为 2 kg/s,铸型预热温度为 260 ℃,浇注温度为 690~750 ℃时试样的金相组织见图 5。可以看出,690 ℃下铸件组织主要是粗大的等轴晶,ZL205A 合金凝固温度区域宽,在凝固中后期枝晶发达,补缩通道长、阻力大,过低的浇注温度不利于凝固后期的有效补缩,导致晶粒粗大、晶间缝隙较宽。随着浇注温度提高,铝液携带热量变多,凝固时间延长,铝液补缩不足的问题得到改善,组织逐渐细化。当浇注温度为 710 ℃时,组织细化效果最好。随着浇注温度进一步上升,金属液热量增大,凝固时间延长,晶粒生长时间变久,晶粒尺寸变大,同时晶界之间出现缝隙,浇注温度为 750 ℃时,出现明显缩孔。

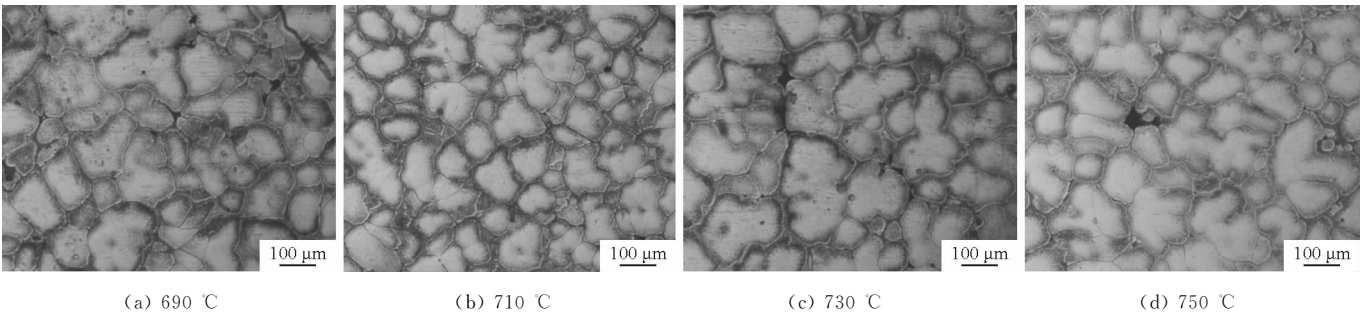


图 5 不同浇注温度下试样的显微组织

Fig.5 Microstructure of specimens under different pouring temperatures

2.1.2 不同浇注速度下铸件的金相组织

在铸型预热温度为 260 °C，浇注温度为 710 °C，浇注速度为 1~4 kg/s 时试样的金相组织见图 6。发现随

着浇注速度提高，显微组织先细化后粗化，当浇注速度为 2 kg/s 时，显微组织细化效果最好。随着浇注速度的进一步增大，铸件出现明显缺陷。

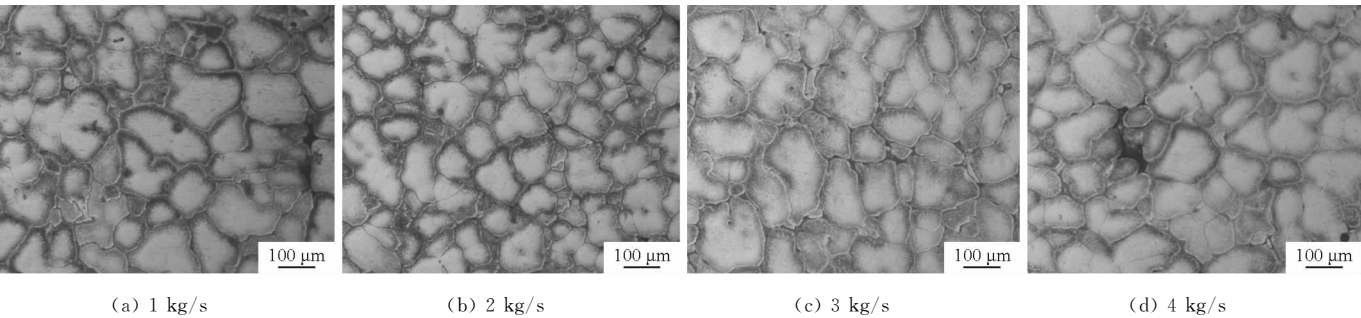


图 6 不同浇注速度下的试样显微组织

Fig.6 Microstructure of specimens under different pouring rates

浇注速度的变化直接影响金属液的流动状态，金属液的充型速度既要保证其充型能力，又要保证不发生卷气、飞溅等。在金属型铸造 ZL205A 合金过程中，当浇注速度较低时，铝液在金属型的强力散热效果下，随着不断地流动，铝液的温度下降而在较短的时间内凝固，阻碍了液体流动，产生冷隔和浇不足，从而使得铸件试样致密度不高。随着浇注速度提高，上述问题得到改善。若浇注速度过高，铝液对铸型冲击大，容易造成铝液飞溅，铝液在重力作用下回落的过程中会挟裹铸型内部气体，不利于铸型内部气体的排出，产生卷气现象。随着铝液凝固，残余气体滞留在铸件内部，产生气孔。同时在较高的浇注速度下铝液在浇道中的时间缩短，热

量损失减少，铝液到达型腔后内部热量变多，也会导致凝固时间延长，晶粒生长时间延长，晶粒尺寸变大。

2.1.3 不同铸型预热温度下的铸件金相组织

在浇注温度为 710 °C，浇注速度为 2 kg/s，铸型预热温度为 220~280 °C 时试样的金相组织见图 7。可以看出，220 °C 下浇注的试样晶粒尺寸大、晶间缝隙宽、组织分布松散；随着铸型预热温度升高，显微组织较为细化，当铸型预热温度为 260 °C 时，显微组织细化效果最好；随着铸型预热温度进一步升高，铝液凝固时间和晶粒生长时间延长，晶粒尺寸变大，晶间分布开始松散。

在金属型铸造过程中，铸型预热温度比较低时，与金属液接触时之间的温差较大，起到冷铁作用，铝液能

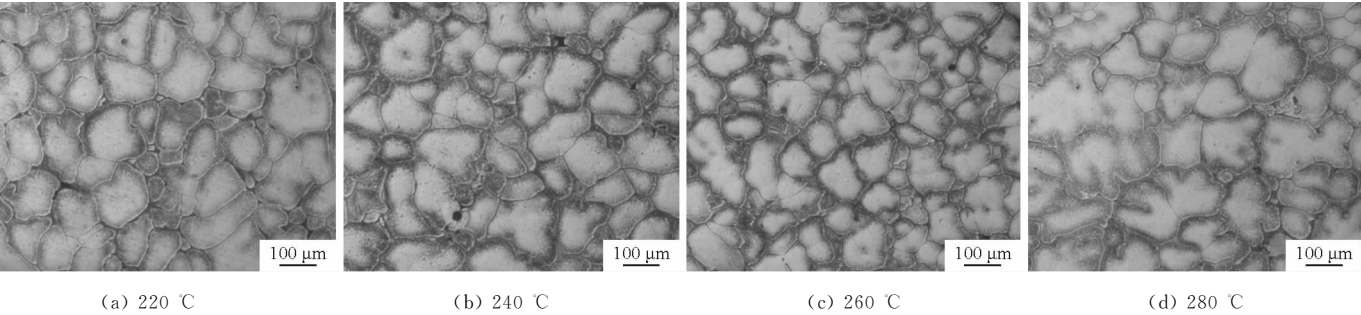


图 7 不同铸型预热温度下的试样显微组织

Fig.7 Microstructure of specimens under different preheating temperatures

在较短的时间内凝固,从而导致出现铝液补缩不足,产生缩松。随着铸型预热温度的升高,对铝液的激冷效果得到减弱,金属液凝固时间延缓,补缩不足的问题得到改善。若铸型预热温度过高,会导致铝液凝固时间延长,导致晶粒粗大,晶界之间出现缝隙^[13]。

2.2 正交试验优化

选择浇注温度、浇注速度和金属型预热温度 3 个因素做正交试验,铝合金浇注温度的范围为 690~730 ℃,浇注速度为 2~4 kg/s,金属型预热温度为 240~280 ℃,分别用 A、B、C 表示。因为每个参数对铸件品质的影响都是非线性相关的,所以对各个因素抽取 3 个不同的因子水平^[14],见表 2。运用正交试验的设计原理将试验分为 9 组,每组试验的参数组合见表 3。

表 2 因子水平表

Tab.2 Factor level table

水平	浇注温度 A/℃	浇注速度 B/(kg·s ⁻¹)	铸型预热温度 C/℃
1	690	2	240
2	710	3	260
3	730	4	280

表 3 正交试验结果

Tab.3 Orthogonal experimental results

组号	影响因素			力学性能		
	A/℃	B/(kg·s ⁻¹)	C/℃	σ _{0.2} /MPa	σ _b /MPa	δ/%
L ₁	A ₁	B ₁	C ₁	429	461	5.7
L ₂	A ₁	B ₂	C ₂	421	450	6.2
L ₃	A ₁	B ₃	C ₃	436	469	7.5
L ₄	A ₂	B ₁	C ₂	457	486	8.6
L ₅	A ₂	B ₂	C ₃	429	463	6.4
L ₆	A ₂	B ₃	C ₁	425	457	5.2
L ₇	A ₃	B ₁	C ₃	427	458	7.1
L ₈	A ₃	B ₂	C ₁	433	462	6.8
L ₉	A ₃	B ₃	C ₂	414	447	5.9

由表 3 可以发现,使用参数组合是浇注温度为 710 ℃、浇注速度为 2 kg/s、铸型预热温度为 260 ℃的铸件试样具有最好的力学性能,此时屈服强度为 457 MPa、抗拉强度为 486 MPa、伸长率为 8.6%。

3 结 论

(1)ZL205A 合金铸件容易产生缩松、缩孔等缺陷,组织形貌随着浇注温度、浇注速度、铸型预热温度的不断增大而呈现先增大后减小的变化趋势,在浇注温度为 710 ℃、浇注速度为 2 kg/s、铸型预热温度为 260 ℃时铸件的组织形貌最好。

(2)利用 3 因素 3 水平的正交试验对 ZL205A 合金金属型重力铸造的铸件进行力学性能拉伸测试,得到浇注温度为 710 ℃、浇注速度为 2 kg/s、铸型预热温度为 260 ℃时具有最好的力学性能,即屈服强度为 457 MPa、抗拉强度为 486 MPa、伸长率为 8.6%。

参 考 文 献

[1] 任庆华, 张利军, 薛祥义, 等. 钛合金在轻量化地面武器装备中的应用[J]. 世界有色金属, 2017(20): 1-4.

[2] 姜延亮, 刘鸿羽, 马志毅, 等. 钛合金金属型铸造工艺研究[J]. 铸造, 2016, 65(5): 454-458.

[3] 李晓琳. 重熔料对 ZL205A 合金组织和性能的影响[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2008.

[4] 曲银辉, 姚红, 车洪艳, 等. 热等静压对 ZL205A 壳体铸件缺陷及力学性能的影响[J]. 铸造, 2017, 66(9): 998-1 000.

[5] 高甜甜. 大尺寸 ZL205A 合金壳体构件铸造成形工艺及性能研究[D]. 哈尔滨: 哈尔滨工业大学, 2020.

[6] 周诗琦. 面向产品设计的铝合金发动机盖外板回弹研究[D]. 长沙: 湖南大学, 2020.

[7] 贾丽敏, 张雅晴, 谭建波, 等. 振动对 ZL205A 合金偏析组织及硬度的影响[J]. 河北科技大学学报, 2020, 41(5): 462-467.

[8] 宫涛, 伏松, 郝孟军, 等. 汽车轮毂用 ZL205A 铝合金铸造性能试验研究[J]. 轻合金加工技术, 2019, 47(1): 23-28.

[9] GUO T B, LI Q, WANG C. Effect of equal channel angular pressing on microstructure and mechanical properties of ZL205A alloy [J]. Materials Science Forum, 2018, 913: 77-82.

[10] LIU S G, LUO C B, LI G A. Effect of pressurizing speed on filling behavior of gradual expansion structure in low pressure casting of ZL205A alloy[J]. China Foundry, 2018, 15(4): 276-282.

[11] ZHANG M, ZHANG W W, ZHAO H D, et al. Effect of pressure on microstructures and mechanical properties of Al-Cu-based alloy prepared by squeeze casting[J]. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2007, 17(3): 496-501.

[12] LI G, WEI Z P, WANG J L. Effect of laser deweighting on properties of ZL205A aluminum alloy [J]. Journal of Physics, 2021, 2 137: 12-33.

[13] 李莎. U71Mn 材料拉伸状复杂型面电解加工技术研究[D]. 西安: 西安工业大学, 2021.

[14] JIANG H T, WANG X F, HE B C, et al. Orthogonal experiment of glass-alumina functionally gradient materials produced with rapid prototyping[J]. Advanced Materials Research, 2010, 915: 105-106.

(编辑: 栗万仲)

欢迎关注

“特种铸造”

微信公众号

● 微官网

● 行业动态

● 联系我们

● 微商城

● 铸造前沿

● 免费推广

● 本刊会议

● 经典案例

● 铸造职场

● 收录动态

● 铸造学堂

● 产品库

● 稿件系统

● 专利与发明

● 企业库