

冷铁和冒口对 ZL702A 合金组织和力学性能的影响

毛郭灵¹, 李宇飞², 王根全¹, 蒲博闻¹, 李泽华², 周海涛¹

(1. 中国北方发动机研究所(天津), 天津 300400;

2. 中国机械总院集团沈阳铸造研究所有限公司, 辽宁沈阳 110022)

摘要: 利用金相显微镜和室温拉伸试验研究了冷铁和冒口对ZL702A合金组织和力学性能的影响。结果表明: 优选呋喃树脂砂的目数为50/100, 配方为树脂含量1.0%, 固化剂0.4%。在一定范围内, 冷铁越厚, 组织越致密, 综合力学性能越高。在实际的大型复杂结构铸件的生产过程中, 应依据所需的性能、组织和冷速布置冷铁, 在保证铸件顺序凝固的前提下尽可能增大冷铁厚度。根部尺寸大的冒口样品的二次枝晶臂间距小, 综合力学性能高。冒口位置在铸锭中间时, 合金的二次枝晶臂间距较小, 合金的综合力学性能较高。

关键词: ZL702A; 冷铁; 冒口; 组织; 力学性能

ZL702A合金具有优异的铸造性能、高的比强度、低的线膨胀系数等^[1-3], 被广泛应用于汽车制造领域, 如内燃机机体、气缸盖等。冒口和冷铁是大型铸件铸造过程中保证合金液顺序凝固和铸件组织致密, 缩松、缩孔少以及力学性能高必不可少的部件之一^[4-8]。李巨文等人的研究表明, 在铸件热节处采用明冒口、内冷铁和外冷铁相结合的方法能解决缩松、缩孔问题^[9]。于桂林等人分析了ZL205A合金铸造过程中冒口和冷铁的作用^[10]。刘小华等人的研究表明, 合理设计冒口和冷铁能提高铸件的质量和合格率^[11]。目前少有关于冒口和冷铁对ZL702A合金组织和力学性能影响的研究, 因此本文优选了砂型材料, 并在此基础上研究了冒口和冷铁在ZL702A合金铸造过程中的作用, 希望能促进ZL702A的工业化应用, 并为大型复杂结构铸件的冒口和冷铁的设计提供参考。

1 试验材料及方法

利用常用的铸造Al-Si合金熔炼方法对ZL702A合金进行熔炼。利用直读光谱法测定合金的实际成分, 如表1所示。研究冷铁厚度对合金组织和力学性能的影响时, 取样位置距离冷铁30 mm, 冷铁的形状及位置如图1所示。研究冒口对合金组织和力学性能的影响时, 冒口高度为90 mm, 取样位置为冒口根部正下方40 mm处, 研究冒口位置对合金组织和力学性能的影响时, 冒口位置如图2所示, 图中1、2、3和4表示取样位置。利用金相显微镜观察合金的组织, 并利用标准金相制样的方法制备样品。合金的拉伸试验根据GB/T 228—2010的规定执行, 每组数据试验三次后求取平均值, 拉伸试棒的尺寸如图3所示。

表1 合金的化学成分
Table 1 Chemical composition of the alloy

	Si	Cu	Mg	Fe	Ti	Mn	Al
	7.62	1.48	0.35	0.10	0.12	0.12	余量

作者简介:

毛郭灵(1994-), 男, 助理研究员, 博士, 主要从事铸造铝合金组织、力学性能及其工业化应用研究。
E-mail: maoguoling@163.com

中图分类号: TG146.21

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2023)

12-1614-05

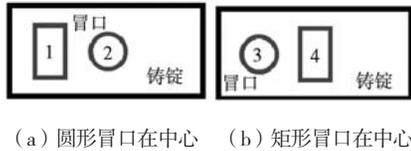
收稿日期:

2023-02-01 收到初稿,

2023-05-21 收到修订稿。



(a) 正视图 (b) 右视图
图1 冷铁的形状及位置
Fig. 1 Shape and position of the chill



(a) 圆形冒口在中心 (b) 矩形冒口在中心
图2 冒口位置和取样位置
Fig. 2 Riser position and sampling position

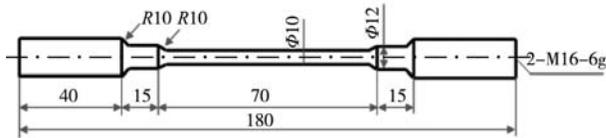


图3 拉伸试棒形状和尺寸
Fig. 3 Shape and sizes of the tensile test bar

2 结果与分析

2.1 优选砂型方案

表2是不同配方呋喃树脂砂试样的强度。根据铸造要求，砂型放置24 h后强度必须控制在1.0 MPa以上，否则当其被高温合金液包裹时容易变形甚至断裂，因此由表2可知，2[#]、3[#]、5[#]、6[#]号试样符合要求。图4是

不同配方呋喃树脂沙发气量。由图4可知，3[#]、5[#]、6[#]方案的呋喃树脂砂有明显的发气鼓包，而2[#]方案的发气鼓包不明显。因此，优选呋喃树脂砂的目数为50/100，配方为树脂含量1.0%，固化剂0.4%。

表2 不同配方呋喃树脂砂试样强度
Table 2 Strengths of the furan resin sand samples with different formulations

序号	新砂	树脂/%	固化剂/%	4 h强度/MPa	24 h强度/MPa
1 [#]		0.8	0.32	0.73	0.77
2 [#]	50/100	1.0	0.4	0.96	1.89
3 [#]		1.2	0.48	2.17	2.50
4 [#]		0.8	0.32	0.36	0.38
5 [#]	100/140	1.0	0.4	0.88	1.06
6 [#]		1.2	0.48	0.93	1.68

2.2 不同厚度冷铁对合金组织和力学性能的影响

图5是不同厚度冷铁样品的金相显微镜照片。由图5可知，10 mm冷铁样品的二次枝晶臂间距最大，为59 μm，20 mm冷铁样品的二次枝晶臂间距为44 μm，30 mm冷铁样品的二次枝晶臂间距最小，为38 μm，冷铁厚度越大，合金的二次枝晶臂间距越小，二次枝晶数量越少，组织越细密，分布越均匀；冷铁厚度越大，共晶Si也会越细小圆整。冷铁厚度越大，合金液传热越快，合金凝固速率越高，于是组织（包括晶粒和共晶Si）越细密^[12-14]。

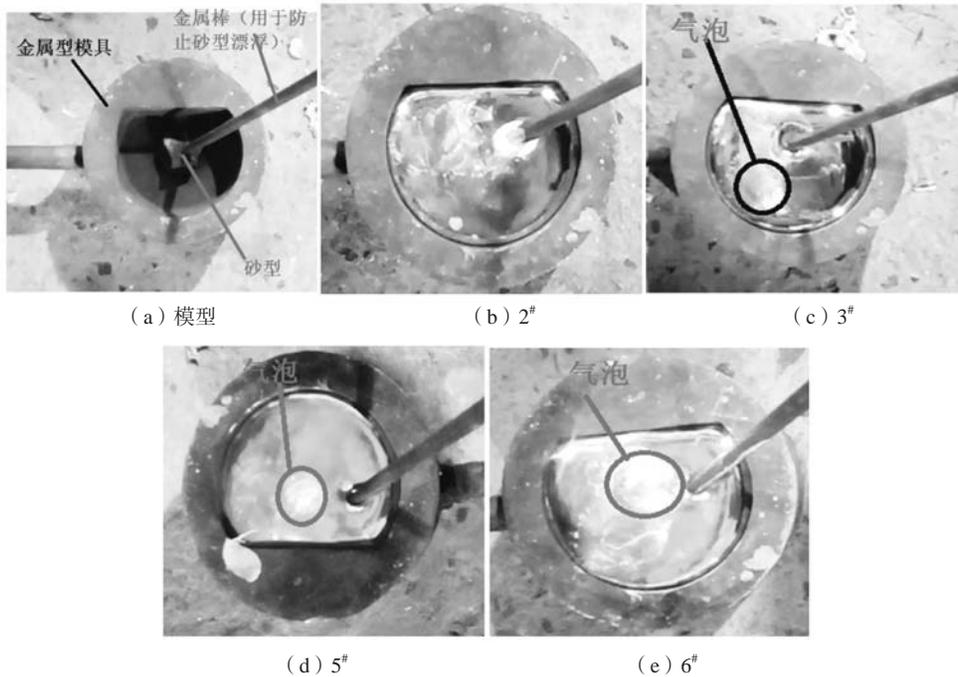


图4 不同配方呋喃树脂沙发气量
Fig. 4 Gas generation of the furan resin sand with different formulations

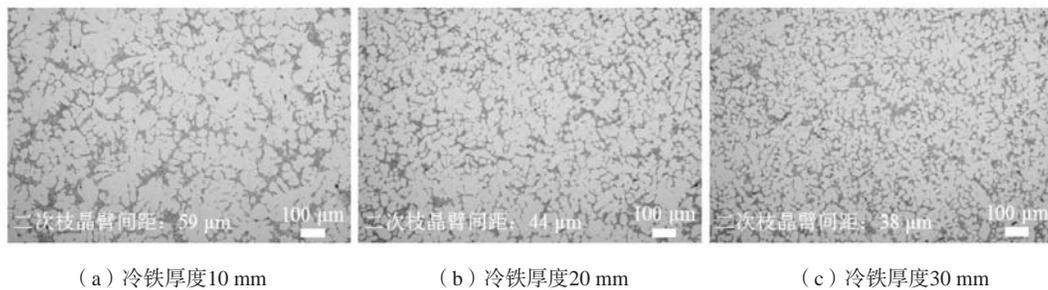


图5 不同厚度冷铁样品的金相显微镜照片

Fig. 5 Metallographic micrographs of the samples with different thicknesses chill

表3是不同厚度冷铁样品的力学性能。由表3可知, 10 mm冷铁样品的抗拉强度最高, 为320 MPa, 20 mm冷铁样品的抗拉强度为326 MPa, 30 mm冷铁样品的抗拉强度最高, 为338 MPa; 10 mm冷铁样品的伸长率最小, 为2.5%, 20 mm冷铁样品的伸长率为3.0%, 30 mm冷铁样品的伸长率最大, 为3.5%。所以10 mm冷铁样品的综合力学性能最低, 30 mm冷铁样品的综合力学性能最高。由图2和表3的结果可知, 在一定范围内, 冷铁越厚, 冷速越大, 组织越致密, 综合力学性能最高, 在实际的大型复杂结构铸件的生产过程中, 应依据所需的性能、组织和冷速布置冷铁, 在保证铸

件顺序凝固的前提下尽可能增大冷铁厚度。

2.3 冒口对合金组织和力学性能的影响

2.3.1 冒口形状及尺寸对合金组织和力学性能的影响

图6是不同根部形状和尺寸冒口样品的金相显微镜照片。对比图6a和b以及对比图6c和d可知, 不同形状和尺寸的冒口, 合金的显微组织有较大的差异, 大尺寸的冒口浇注凝固后铸件的显微组织更加均匀细小, 且二次枝晶间距也明显小于小尺寸的冒口。冒口高度相同时, 根部尺寸越大, 表明补缩通道越大, 补缩效果越好, 合金液在凝固过程中温度场变化更稳定, 分布更均匀, 能最大程度减小局部过热等问题, 因此根部尺寸大的冒口样品的二次枝晶臂间距小且更均匀。

表4是不同形状和根部尺寸冒口样品的力学性能。由表4可知, 根部尺寸大的冒口样品的综合力学性能更高。冒口高度相同时, 根部尺寸越大, 补缩效果越好, 铸锭中缩松、缩孔缺陷越少, 即拉伸试棒中缩松、缩孔缺陷越少, 于是综合力学性能越高; 此外, 使用大尺寸冒口得到样品的二次枝晶臂间距越小, 综

表3 不同厚度冷铁样品的力学性能
Table 3 Mechanical properties of the samples with different thicknesses chill

冷铁厚度/mm	抗拉强度/MPa	伸长率/%
10	320	2.5
20	326	3.0
30	338	3.5

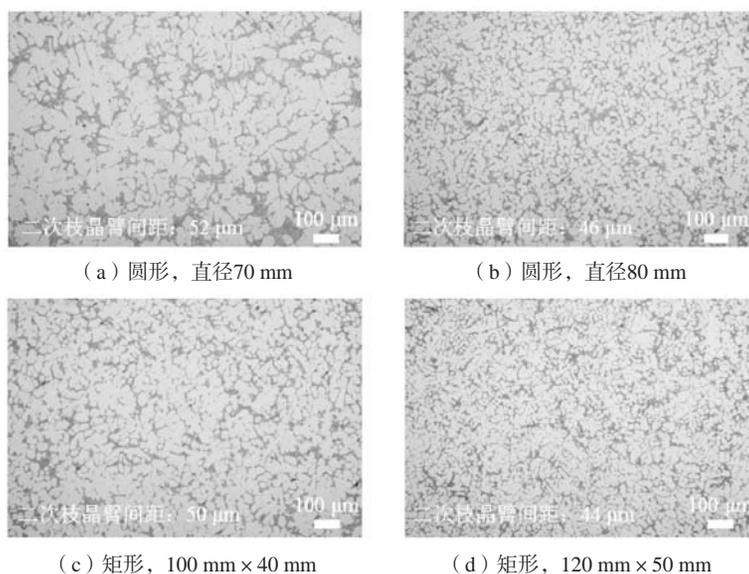


图6 不同根部形状和尺寸冒口样品的金相显微镜照片

Fig. 6 Metallographic micrographs of the samples with different root shapes and sizes riser

表4 不同根部形状和尺寸冒口样品的力学性能
Table 4 Mechanical properties of the samples with different root shapes and sizes riser

形状, 尺寸	抗拉强度/MPa	伸长率/%
圆形, 直径70 mm	321	2.5
圆形, 直径80 mm	331	3.0
矩形, 100 mm × 40 mm	327	3.0
矩形, 120 mm × 50 mm	348	3.5

合力学性能越高; 因此根部尺寸大的冒口样品的综合力学性能更高。

2.3.2 冒口位置对合金组织和力学性能的影响

由上述优选圆形冒口的直径为80 mm, 矩形冒口的尺寸为120 mm × 50 mm。图7是不同冒口位置样品的金相显微镜照片。由图7可知, 取样位置2的二次枝晶臂间距较小, 为46 μm, 取样位置1的二次枝晶臂间距较大, 为52 μm; 取样位置4的二次枝晶臂间距较小, 为41 μm, 取样位置3的二次枝晶臂间距较大, 为50 μm。冒口位置在铸锭中间时, 合金的二次枝晶臂间距

较小。铸锭最先凝固的部位通常是靠近砂型或者冷铁的位置, 铸锭最后凝固的部位通常是冒口, 当冒口设置在铸锭中间时, 铸锭按照先靠近砂型的四周、后中心、最后冒口的顺序凝固, 凝固速度较快, 而当冒口设置在铸锭一侧时, 在靠近砂型四周的金属液开始凝固时, 有冒口的一侧便会形成局部高温区, 阻碍合金液凝固, 从而减慢了凝固速率, 使二次枝晶臂间距增大, 因此冒口位置在铸件中间时, 合金的二次枝晶臂间距较小。

表5是不同冒口位置样品的力学性能。由表5可知, 冒口位置在铸锭中间时, 合金的综合力学性能较高。当冒口设置在铸锭中间时, 铸锭按照先靠近砂型的四周、后中心、最后冒口的顺序凝固, 补缩通道距离短且通畅, 铸锭中缩松、缩孔缺陷少, 即拉伸试棒中缩松、缩孔缺陷少, 于是综合力学性能高; 而当冒口设置在铸锭一侧时, 最后凝固位置不一定是冒口处且补缩距离变长, 铸锭中缩松、缩孔缺陷增多, 即拉伸试棒中缩松、缩孔缺陷增多, 于是综合力学性能降低; 此外, 冒口位置在铸锭中间时, 合金的二次枝晶臂间距较小。因此, 冒口位置在铸锭中间时, 合金的

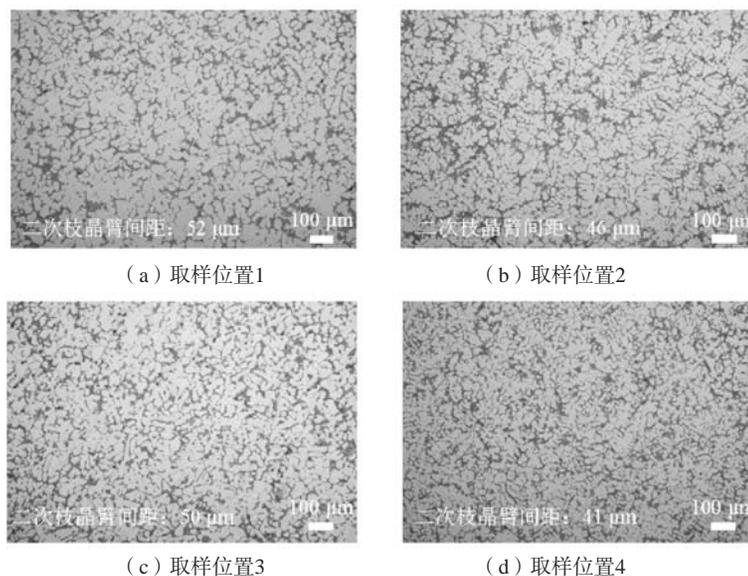


图7 不同冒口位置样品的金相显微镜照片

Fig. 7 Metallographic micrographs of the samples with different positions riser

表5 不同冒口位置样品的力学性能
Table 5 Mechanical properties of the samples with different positions riser

位置	抗拉强度/MPa	伸长率/%
取样位置1	321	3.0
取样位置2	335	3.5
取样位置3	324	2.5
取样位置4	341	3.5

综合力学性能较高。

3 结论

(1) 优选呋喃树脂砂的目数为50/100, 配方为树脂含量1.0%, 固化剂0.4%。

(2) 在一定范围内, 冷铁越厚, 组织越致密, 综合力学性能最高。在实际的大型复杂结构铸件的

生产过程中, 应依据所需的性能、组织和冷速布置冷铁, 在保证铸件顺序凝固的前提下尽可能增大冷铁厚度。

(3) 根部尺寸大的冒口样品的二次枝晶臂间距

小, 综合力学性能高。

(4) 冒口位置在铸锭中间时, 合金的二次枝晶臂间距较小, 合金的综合力学性能较高。

参考文献:

- [1] SJÖLANDER E, SEIFEDDINE S. Artificial ageing of Al-Si-Cu-Mg casting alloys [J]. *Materials Science and Engineering: A*, 2011, 528 (24): 7402-7409.
- [2] 舒华记, 司乃潮, 孙少纯, 等. AlTi5B1对亚共晶铝硅合金的组织和性能的影响 [J]. *铸造*, 2011, 60 (11): 1122-1125.
- [3] AGUILERA-LUNA I, CASTRO-ROMÁN M J, ESCOBEDO-BOCARD J C, et al. Effect of cooling rate and Mg content on the Al-Si eutectic for Al-Si-Cu-Mg alloys [J]. *Materials Characterization*, 2014, 95: 211-218.
- [4] 张怀敏, 杨东明. 铸铁件冷铁冒口的研究和应用 [J]. *金属加工 (热加工)*, 2013 (3): 80-81.
- [5] 凌云飞, 胡昌军. 内冷铁在厚大铸钢件上的应用 [J]. *中国铸造装备与技术*, 2010 (2): 36-37.
- [6] 金永锡. 汽车球铁件冒口补缩设计方法及其评价 (2) [J]. *现代铸铁*, 2010 (A02): 29-44.
- [7] 李永谊. 内冷铁在熔模精密铸造中的运用 [J]. *铸造技术*, 2011, 32 (1): 130-131.
- [8] 李宏兴. 铸钢件冒口离开热节工艺设计 [J]. *铸造技术*, 2007, 28 (8): 1025-1029.
- [9] 李巨文, 袁伟波, 李德成, 等. 大型铝合金曲面铸件的铸造工艺设计 [J]. *铸造*, 1998 (12): 36-38.
- [10] 于桂林. 高强度ZL205A铝合金飞机挂架铸造工艺 [J]. *材料工程*, 2001 (1): 43-44.
- [11] 刘小华, 李凤春. 大型厚壁铝合金筒体铸件铸造工艺设计 [J]. *铸造技术*, 2012, 33 (9): 1107-1109.
- [12] 陈忠伟, 王晓颖, 张瑞杰, 等. 冷却速率对A357合金凝固组织的影响 [J]. *铸造*, 2004, 53 (3): 183-186.
- [13] AGUILERA-LUNA I, CASTRO-ROMÁN M J, ESCOBEDO-BOCARD J C, et al. Effect of cooling rate and Mg content on the Al-Si eutectic for Al-Si-Cu-Mg alloys [J]. *Materials Characterization*, 2014, 95: 211-218.
- [14] SEIFEDDINE S, JOHANSSON S, SVENSSON I L. The influence of cooling rate and manganese content on the β -Al₃FeSi phase formation and mechanical properties of Al-Si-based alloys [J]. *Materials Science and Engineering: A*, 2008, 490 (1-2): 385-390.

Effects of Chills and Riser on Microstructure and Mechanical Properties of ZL702A Alloy

MAO Guo-ling¹, LI Yu-fei², WANG Gen-quan¹, PU Bo-wen¹, LI Ze-hua², ZHOU Hai-tao¹

(1. China North Engine Research Institute (Tianjin), Tianjin 300400, China; 2. Shenyang Foundry Research Institute Co., Ltd., Shenyang 110022, Liaoning, China)

Abstract:

In this paper, the effects of chills and riser on the microstructure and mechanical properties of the ZL702A alloy were studied by metallographic microscope and tensile test at room temperature. The results showed that the mesh number of furan resin sand was 50/100, the resin content was 1.0%, and the curing agent was 0.4%. Within limits, the thicker the chill was, the denser the microstructure was, and the higher the comprehensive mechanical properties were. In the actual production process of large and complex structural castings, the chill shall be arranged according to the required properties, microstructure and cooling rates, and the chill thickness shall be increased as much as possible on the premise of ensuring the sequential solidification of castings. The riser samples with large root size had small secondary dendrite arm spacing and high comprehensive mechanical properties. When the riser was in the middle of the ingot, the secondary dendrite arm spacing of the alloy was small, and the comprehensive mechanical properties of the alloy were high.

Key words:

ZL702A; chill; riser; microstructure; mechanical properties