

文章编号:1673-9981(2018)03-0196-05

立式离心铸造 ZL205A 铝合金薄壁铸件的凝固组织*

徐琴¹, 王星¹, 何石磊², 张兰权¹

1. 河南工业大学机电工程学院, 河南 郑州 450001; 2. 中信重工机械股份有限公司, 河南 洛阳 710109

摘要:采用 CAFÉ 方法, 对立式离心铸造 ZL205A 铝合金薄壁铸件的凝固组织进行模拟, 获得了不同工艺下铸件的凝固组织并对其进行了研究. 结果表明: ZL205A 合金薄壁铸件的凝固组织大多数为尺寸均匀而细小的等轴晶晶粒, 只存在极少量粗大的柱状晶晶粒; 改变工艺参数, 立式离心铸造 ZL205A 铝合金铸件的凝固组织发生变化, 立式离心铸件的凝固组织随着铸型的离心转速增加而细化, 提高浇注温度时铸件的晶粒尺寸略有增大, 而提高铸型预热温度对立式离心铝合金铸件的凝固组织的影响不大.

关键词: ZL205A 合金; 立式离心铸造; 薄壁铸件; 凝固组织

中图分类号: TG249.4

文献标识码: A

ZL205A 合金是典型的 Al-Cu 系高强度铸造铝合金, 其强度高、综合性能好, 已在航空、航天、兵器、核工业、汽车等领域中大量使用, 取得了较大的经济效益和社会效益^[1-2]. 然而 Al-Cu 合金的结晶温度区间较宽, 液态下粘度较大, 所以 ZL205A 的铸造性能较差^[3-4]. 在传统的铸造生产中, 往往采用重力铸造的方法成型 ZL205A 合金铸件, 由于其结晶温度范围宽, 在铸造凝固时呈粥状凝固, 铸件内部易产生疏松、热裂、缩孔等铸造缺陷^[3,5]. 立式离心铸造技术, 浇注过程中高速旋转产生的离心力可以增强合金熔体的充型能力, 减少充填铸型的时间及金属液温度降低的程度, 从而提高液态金属的流动性能, 适合铸造那些粘度高、流动性差的合金熔体^[6-7]; 另一方面, 立式离心铸造生产工艺简单、加工余量少、生产效率高, 而且还能有效地改善铸件的补缩条件, 节省铸型浇注系统及冒口的金属液消耗^[8-9]. 所以, 立式离心铸造工艺技术被广泛应用在工业生产当中. 然而, 立式离心铸造过程中, 由于离心压力在不同半径处有梯度性, 铸件的凝固组织与重力铸造下的凝固组织也不相同^[10]. 因此, 将对立式离心铸造 ZL205A 合金铸件的凝固进行数值模拟, 从而探讨离心转速等

工艺参数对其凝固组织的影响规律.

1 模型及参数设置

1.1 模型的建立

用于数值模拟铸件的尺寸为 135 mm×25 mm×10 mm 的矩形铸件, 利用 Pro/E5.0 软件进行三维建模(图 1). 铸件及其浇注系统如图 1(a)所示; 网格剖分时把铸件分划成细小的网格, 而浇注系统则用粗大网格进行划分, 如图 1(b)所示; 用 Mesh CAST 网格处理模块选择浇口位置, 使铸件生成熔模型壳, 型壳的厚度设定为 3 mm, 如图 1(c)所示.

1.2 参数设置

对 ZL205A 合金立式离心铸件的凝固组织进行计算, 首先对铸件的充型与凝固过程进行计算. 铸型材料选用 Pro CAST 软件砂型参数中的 SAND Zircon, 铸件材料选用 ZL205A 合金. 充填及凝固过程进行模拟的主要参数设置如下: 铸型和铸件之间的界面为 COINC, 界面换热系数 $h=100 \text{ J/m}^2 \cdot \text{s} \cdot \text{K}$, 砂型外表面为空冷(Air Cooling); 在 Run Parameters

收稿日期: 2018-05-04

* 基金项目: 河南省高等学校重点科研项目(17A460009); 河南工业大学小麦和玉米深加工国家工程实验室开放基金资助项目(NL2017007)

作者简介: 徐琴(1983-), 女, 山东省沂水县人, 博士, 讲师.

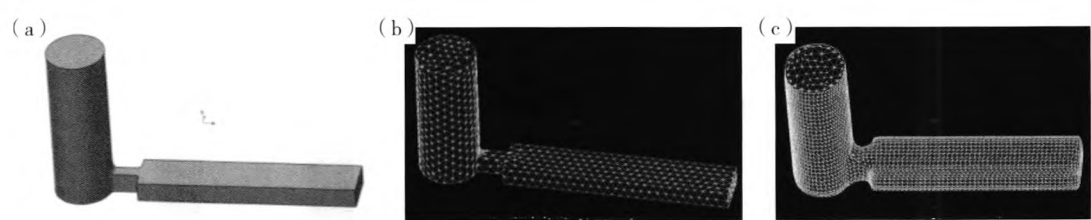


图 1 铸件及其铸型
(a)铸件模型;(b)铸件网格;(c)铸型及网格
Fig.1 The casting and its mould
(a) the casting model; (b) the grid of the casting; (c) the assembly of the casting and its grid

设置时在 Preferences 的面板中点击选择 Centrifugal(离心铸造),POROS(缩松模型)改成模型 8,把 FLOW 设置为 1. 为了研究铸型转速、熔体的浇注温度及铸型的预热温度对铸件凝固组织的影响,分别设定熔体的浇注温度为 700,730 和 750 ℃,铸型的预热温度为 25,100 和 300 ℃,铸型的离心转速为 150,300 和 450 r/min. 采用 ProCAST 软件的 CAFE 模块进行凝固组织模拟时,在铸件上设置两个区域进行凝固组织模拟(图 2). 两个区域的表面形核参数设置:第一个区域赋值为 DTm(最大过冷度)为 4 ℃,DTs(最适过冷度)为 1 ℃,Nmax(最大体积形核系数)为 $1\times 10^7\text{ m}^{-3}$;第二个区域赋值为 DTm 为 5 ℃,DTs 为 1 ℃,Nmax 为 $1\times 10^7\text{ m}^{-3}$. 两区域的体积形核参数均为 DTm 为 6 ℃,DTs 为 1 ℃,Nmax= $1\times 10^6\text{ m}^{-3}$. Physical Data(物理参数)设置要给 Liquidus Temp(液相线温度)赋值为 618 ℃,生长动力模型 Data(参数)中赋值为 $a1$ 为 $1.05\text{e-}006$, $a2=8.768\text{e-}007$,高斯分布模型中各参数保持默认设置不变.

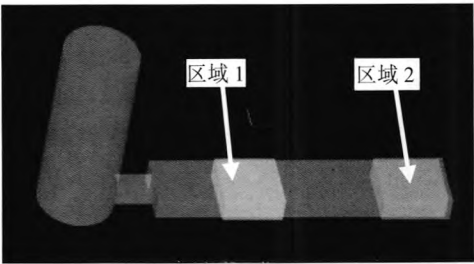


图 2 模拟区域位置选择
Fig.2 Area selection for the solidified structure simulation

2 模拟结果与分析

2.1 ZL205A 合金的立式离心凝固组织

在铸型转速 $n=300\text{ r/min}$ 、铸型温度 $t=25\text{ ℃}$ 及浇注温度为 $t=700\text{ ℃}$ 条件下,对铸件凝固组织进行模拟. 图 3 为 ZL205A 铝合金的立式离心铸造凝固组织. 图 3(a)和图 3(b)为区域 1 和区域 2 的在距离底面 4.8 mm 处截面的凝固组织,图 3(c)为当铸型转速 300 r/min 时壁厚为 10 mm 的 ZL205A 合金

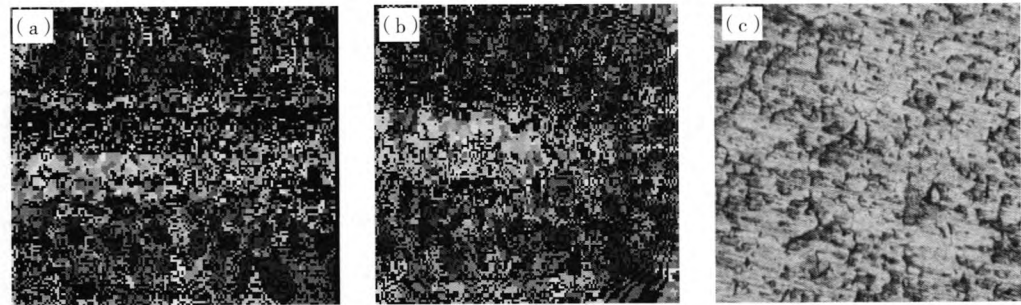


图 3 离心铸造 ZL205A 合金的凝固组织,200×
(a)区域 1 的模拟组织;(b)区域 2 的模拟组织;(c)实验件的金相组织
Fig.3 Simulated microstructure of the centrifugal casting ZL205A alloy
(a) simulated microstructure of area 1;(b) simulated microstructure of area 2;
(c) the microstructure of experimental casting

立式离心铸件的金相组织.从图3可以看出:无论是铸件的表面还是铸件的芯部,ZL205A合金立式离心铸件的凝固组织均为尺寸均匀而细小的等轴晶组织,几乎没有柱状晶存在;对比铸件凝固组织的模拟结果和实验结果可以发现,立式离心铸造ZL205A合金铸件凝固组织的模拟结果与实验结果一致.

利用ProCAST软件的CAFÉ模块中的analysis分析功能,对凝固组织演化规律进行更深一步分析,可以获得铸件晶粒尺寸大小及相应尺寸晶粒所占的百分比情况,其结果如图4所示.从图4可以看出:ZL205A铝合金的立式离心铸造凝固组织大多数是尺寸均匀而细小的晶粒,只有极少量粗大晶粒的存在;其凝固组织晶粒尺寸为400 μm左右的细小等轴晶,且该尺寸范围的铸件晶粒占铸件晶粒总量的90.955%.这也从另一方面说明,ZL205A合金的立式离心铸造组织几乎全是以细小等轴晶存在,只存在极少量的柱状晶.

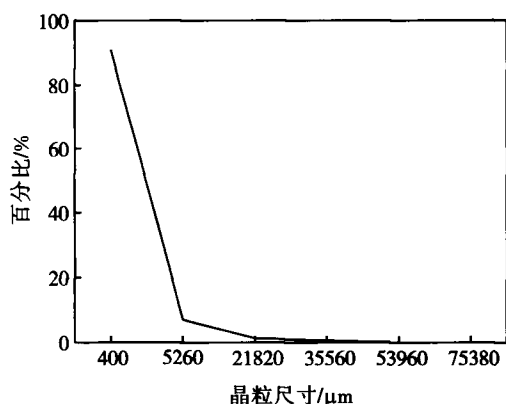


图4 铸件晶粒尺寸及所占的百分比

Fig.4 Grain size distribution and its percentages

2.2 工艺参数对凝固组织的影响

2.2.1 铸型转速对凝固组织的影响

在铸型的预热温度为 $t=25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和充填熔液的浇注温度为 $t=700\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下,当铸型转速分别为150,300和450 r/min时,对ZL205A合金的立式离心铸造组织进行数值模拟,并利用数学统计的方法获得晶粒尺寸的分布情况(图5).从图5可以看出,当铸件的浇注温度和铸型的预热温度相同时,铸件的晶粒尺寸随着铸型离心转速的增加而明显减小.

众所周知,在铝合金立式离心铸造充型凝固的过程中,合金熔液同时受到重力、离心力和科氏力的作用,受力情况比较复杂.当金属熔液受到这些惯性力

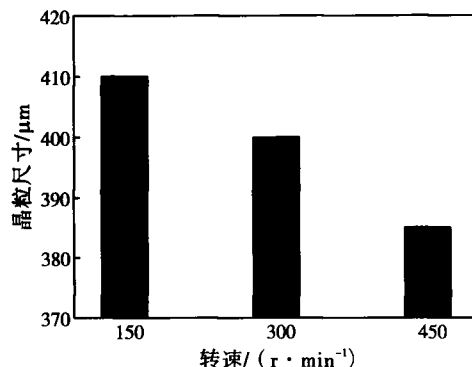


图5 不同铸型转速下铸件的晶粒尺寸分布

Fig.5 Grain size distribution of mould rotational speed

的作用时,其流动速度变大,随之的换热能力也相应的得到加强,致使冷却速度变大,这就给熔体中的晶核生成提供了一个良好的条件,促进了形核的生成,进而细化了铝合金离心铸件的凝固组织.在离心力的影响之下,由于铸件的离心转速提高,离心力的作用也相应变大,使得铝合金熔液中的晶核数量也跟着变多.另一方面,由于铝合金离心铸件转速的增大,铝合金熔液的冷却速度变得更大,这促使了铝合金熔液中晶核的大量生成.所以,随着铝合金立式离心铸型转速的提高,凝固组织晶粒大小也随之减小.

2.2.2 铸型预热温度对凝固组织的影响

在铸型的离心转速 $n=300\text{ r/min}$ 、熔体的浇注温度 $t=700\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下,当铸型预热温度 t 分别为25,100,300 $^{\circ}\text{C}$ 时,研究ZL205A合金的立式离心铸造凝固组织的晶粒尺寸分布情况,图6为不同铸型预热温度下铸件的晶粒尺寸分布.从图6可以看出,随着铸型预热温度的提高,ZL205A合金离心铸件的凝固组织有变粗的倾向,但是晶粒尺寸的变动范

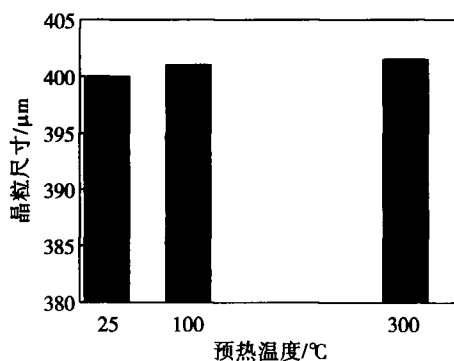


图6 不同铸型预热温度时铸件的晶粒尺寸分布

Fig.6 Grain size distribution of different mould preheat temperature

围很小,仅从 400 μm 增加至约 401.5 μm ,这说明提高铸型的预热温度对于薄壁铸件凝固组织的影响不大.

由于研究的铝合金离心铸件形状结构相对比较简单,且铸件的壁厚较薄,散热较快,即使采用较大的铸型温度,也不易形成偏大的温度梯度,造成冷却速度较低而使铝合金熔液中的晶核不易生长的情况发生.所以,即使在一定程度上给铸型预热,甚至温度调大,也不会对所研究铸件的凝固组织晶粒大小造成影响.

2.2.3 熔体浇注温度对凝固组织的影响

在铸型的离心转速 $n=300\text{ r/min}$ 、铸型的预热温度 $t=25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的条件下,当铝合金熔体的浇注温度 t 分别为 700,720 和 750 $^{\circ}\text{C}$ 时,研究 ZL205A 合金的立式离心铸造凝固组织的晶粒尺寸分布情况,图 7 为不同浇注温度下铸件的晶粒尺寸分布.从图 7 可以看出,随着铝合金熔体浇注温度的增大,铸件凝固组织的晶粒大小变化不是很明显.这说明等轴晶粒分布均匀,熔体浇注温度的改变对凝固组织的影响不是很大.

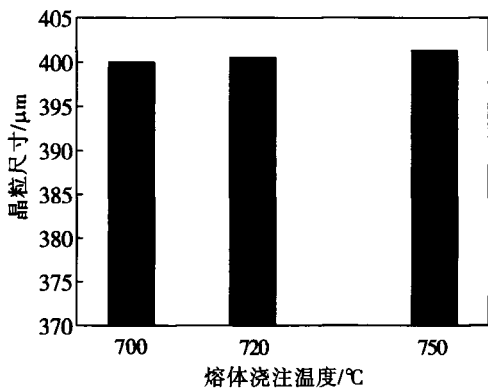


图 7 不同浇注温度下铸件的晶粒尺寸分布
Fig.7 Grain size distribution of different melt pouring temperature

3 结 论

(1)在铸型转速 $n=300\text{ r/min}$ 、铸型温度 $t=25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 及浇注温度为 $t=700\text{ }^{\circ}\text{C}$ 条件下,立式离心铸造

ZL205A 铝合金薄壁铸件的大部分凝固组织为尺寸均匀而细小的等轴晶晶粒,只存在极少量的粗大的柱状晶晶粒.

(2)铸型的离心转速越高,铝合金立式离心铸件的凝固组织越细;提高熔体浇注温度可使铸件的晶粒尺寸有些许增加,但变化不大;而提高铸型预热温度,对凝固组织晶粒尺寸的影响不大.

参考文献:

[1] 贾洋江,陈邦峰. ZL205A 高强铸造铝合金的性能及应用[J]. 轻合金加工技术, 2009, 37(11):10-12.
[2] 吴士平,王晔,吴光然,等. ZL205A 合金壳体铸件低压铸造工艺研究[J]. 特种铸造及有色合金, 2012, 32(9): 811-813.
[3] LI M, WANG H W, ZHU Z J, et al. Microstructure and mechanical properties of ZL205A alloy with returns [J]. Chinese Journal of Nonferrous Metals, 2008, 18 (10):1807-1812.
[4] 陈加运. 充型速度对 ZL205A 合金铸件不同位置组织及力学性能影响[D]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学, 2016.
[5] 吴士平,王汝佳,陈伟,等. 机械振动对 ZL205A 合金低压铸造凝固补缩的影响[J]. 特种铸造及有色合金, 2016, 36(6):609-611.
[6] LIU K, MA Y C, GAO M, et al. Single step centrifugal casting TiAl automotive valves [J]. Intermetallics, 2005, 13(9):925-928.
[7] 邵煜波,马幼平,杨蕾,等. 冷却速度对离心铸造 AZ91 镁合金组织和性能的影响[J]. 铸造技术, 2017, 38(7): 1674-1677.
[8] CHIRITA G, SOARES D, SILVA F S. Advantages of the centrifugal casting technique for the production of structural components with Al-Si alloys[J]. Materials & Design, 2008, 29(1):20-27.
[9] 王欢,王红红,周建新,等. 复杂钛合金铸件立式离心铸造过程的数值模拟[J]. 特种铸造及有色合金, 2015, 35(2):178-181.
[10] JIA L, LIANG Z, XU D, et al. Effects of centrifugal forces and casting modulus on structures and mechanical properties of Ti-6Al-4V alloy [J]. Rare Metal Materials & Engineering, 2016, 45 (3): 581-587.

(下转第 209 页)

Study and application of high temperature oxidation and wear resistant coatings prepared by supersonic flame spraying

GAO Haiqing^{1,2}, YUE Youshu³, LI Yunchu^{1,2}

1. *Guangdong Institute of New Materials, Guangzhou 510650, China*; 2. *Guangzhou Tianhe Jintang Surface Engineering Technology Company, Guangzhou 510650, China*; 3. *The Open University of Guangdong, Guangzhou 510091, China*

Abstract: In this study, the pre-mixed NiCr-Cr₃C₂ powders were thermally sprayed onto 2Cr12NiMoWV stainless steel by the supersonic flame spraying technology. The coating microstructure, properties including mechanical, friction and wear properties were systematically investigated. The results shows that the coating structure is quite dense, low porosity, bonding strength is larger than 79 MPa, micro-hardness is higher than 860 Hv, high temperature toughness, high temperature wear resistance. The friction and wear properties are significantly improved compared with the substrate at high temperature. The coating can be used in environments that require high temperature oxidation resistance and high temperature wear resistance. It is proved by practice that the coating can solve the sticking problem of high pressure main valve.

Key words: supersonic flame spraying; high pressure main valve; heat-engine plant; sticking

(上接第 199 页)

Solidified structure of ZL205A aluminum alloy thin-walled castings under vertical centrifugal casting process

XU Qin¹, WANG Xing¹, HE Shilei², ZHANG Lanquan¹

1. *School of Mechanic and Electrical Engineering, Henan University of Technology, Zhengzhou 450001, China*;
2. *CITIC Heavy Industries, Luoyang 471003, China*

Abstract: The solidified structure of the ZL205A aluminum alloy thin-walled castings under vertical centrifugal casting process were simulated by the CAFÉ method, and the solidified structure with different technological parameters are obtained. The results reveal that the solidified structures of thin-walled ZL205A aluminum alloy castings are mostly fine equiaxed grains with homogeneous crystal size and few coarse column grains. The solidified structures change with the variation of the technological parameters. The grain sizes of the solidified structures increase with the increment of mould rotational speed, and there is a slight increase when increasing the melt pouring temperature. Furthermore, the increase of the mould preheats temperature affect the grains not apparently.

Key words: ZL205A alloy; vertical centrifugal casting; thin-walled castings; solidified structure