

半连续铸造工艺参数对 ZL201 合金微观组织的影响

叶立清

(广东岭南职业技术学院, 广东广州 510663)

摘要: 采用半连续铸造工艺, 研究了工艺参数对 ZL201 合金坯料凝固微观组织的影响, 并探讨了合金组织的演变。结果表明: 熔体过热度是影响合金半连续铸造微观组织形貌的重要因素之一, 二次冷却对铸坯熔体的冷却效果是通过铸造速度的调整来进行改变, 进而达到对铸坯凝固组织的改变。ZL201 合金经 655 °C 保温 10 min 后进行铸造速度为 120 mm/min 的半连续铸造, 可获得分布均匀、细小的非树枝晶微观组织。

关键词: 工艺参数; 微观组织; ZL201; 半连续铸造

作者简介:

叶立清 (1971-), 男, 讲师, 工程师, 研究方向为压铸技术、计算机辅助模具设计与制造技术。E-mail: 653477691@qq.com

中图分类号: TG146.2

文献标识码: A

文章编号: 1001-4977(2020)11-1172-04

基金项目:

技术技能融合项目开发与教学团队建设(粤教高函(2015)24号); 培育学生工匠精神背景下高职小班制教学模式的研究与实践(JZ201902)。

收稿日期:

2020-08-02 收到初稿,
2020-09-20 收到修订稿。

铝合金作为传统的金属材料, 以其优良的力学性能和成形性, 被广泛应用到工业生产的各个领域及日常生活的各个方面^[1]。随着高铁、航运、航空航天以及交通运输工业迅速发展, 在节能减排、轻量化的驱使下, 大量采用轻质、比强度和比刚度较高、抗冲击性能好的铝合金成形构件已成为趋势。铝合金的使用量正在逐年增加, 已在经济发展中发挥越来越重要的作用^[2-3]。

在半连续铸造过程中, 铝合金的浇注是一个连续而且相对稳定的过程。采用较低的浇注温度, 可以减少熔体液流对液穴的热冲击作用, 不仅可降低熔体的氧化和含气量, 减少夹杂、缩松、缩孔等缺陷的形成, 而且可以改善合金的微观组织, 提高成材率^[4-5]。另外, 合金在凝固过程中由于受到结晶器壁和二次冷却水的强烈冷却作用, 可以有效改善合金凝固组织的形貌, 获得细小的微观组织, 从而有效地改善合金铸坯的力学性能, 为合金的后续加工成形提供良好的综合性能^[6]。

本研究以 ZL201 合金为研究对象, 采用半连续铸造技术进行合金坯料的制备, 通过对合金坯料组织的观察与分析, 研究了工艺条件对合金半连续铸造坯料凝固微观组织的影响。

1 试验过程

试验选用工业纯 Al (99.7%)、纯铜 Cu (99.5%)、Al-10Mn 及 Al-5Ti 中间合金作为合金原料, 首先将铝锭放在倾斜式电阻炉内熔化, 使铝锭全部熔化至温度 800 °C, 然后按合金配比依次加入 Cu、Al-10Mn 及 Al-5Ti 中间合金, 待全部溶解后将合金熔体转入电阻静置炉中进行除气、精炼、扒渣处理, 精炼后的合金经示差扫描量热仪 (DSC) 确定液相线温度为 649 °C, 成分分析结果如表 1 所示。静置炉由铂铑-铂热电偶与控制仪精确控制温度, 温度偏差为 ± 2 °C。熔体随炉静置至设定温度分别为 690、670、655 °C 时开始浇注进行半连续铸造其中浇注温度为 655 °C 时分别采用到温浇和保温 10 min 后进行浇注, 铸造速度 (120 mm/min) 一定, 获得直径为 100 mm、长度为 1 000 mm 的圆柱形铸坯; 温度为 655 °C 进行半连续铸造时, 铸造速度分别为 120、180、200 mm/min。分别在铸坯横截面 1/2 半径部位截取边长为 2 cm 的立方体试样, 经研磨、抛光、混合酸 (1 vol.% HF, 1.5 vol.% HCl 和 2.5 vol.% HNO₃) 进行轻蚀

后,用光学金相显微镜观察分析试样的微观组织,分析工艺条件对合金微观组织的影响。

2 分析与讨论

2.1 铸造温度对 ZL201 合金微观组织的影响

图1所示为不同浇注温度下ZL201合金半连续铸造的微观组织。从图中可以看到:当冷却强度、铸造速度(120 mm/min)一定,浇注温度的不同,使得ZL201合金铸坯横截面的微观组织明显不同。

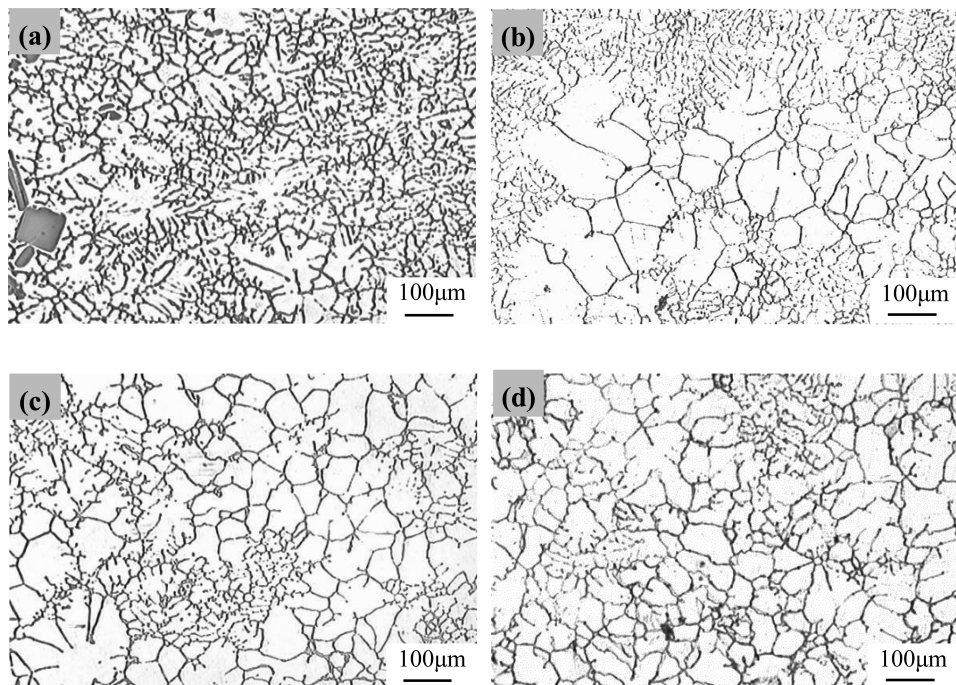
浇注温度为690 °C时,铸坯微观组织中 α -Al呈典型的粗大树枝晶形貌,枝晶臂较为粗大,且尺寸偏差比较明显,枝晶臂间隙较大,在枝晶臂间富集有明显的深色低熔点相,如图1a所示;浇注温度为670 °C时,铸坯的微观组织中 α -Al不仅有粗大的树枝晶形貌存在,而且有粗大的等轴晶粒形成,晶粒形貌存在明显的偏差,且等轴晶粒的尺寸也存在明显的偏差,如图1b所示;当浇注温度接近液相线温度为655 °C,不保温直接进行浇注时,铸坯微观组织中的 α -Al树枝晶数量明显减少,呈现出等轴晶或蔷薇状形貌,且晶粒尺寸较小,枝晶间隙变得细小,如图1c所示;浇注温度为655 °C,经10 min保温后进行浇注时, α -Al树枝晶形貌已不明显,多以分布均匀、较为细小的等轴晶为主,

表1 试验用ZL201铝合金成分
Table 1 Chemical composition of experimental ZL201Al alloy

				$w_B / \%$
Cu	Mn	Ti	Al	
4.8	0.7	0.23	余量	

仅有少量的 α -Al以蔷薇状形貌分布,晶粒间隙明显变细,如图1d所示。由此可见,熔体的过热度是影响合金半连续铸造微观组织形貌的重要因素之一,在低过热度下进行浇注,有利于获得分布均匀、细小的非树枝晶微观组织。

合金在较高过热度下(690 °C)浇注时,合金熔体进入结晶器后过冷,在凝固初期,由于凝固界面前沿的温度梯度及溶质分布的影响,以及异质形核与成分过冷的作用,使铸坯内的晶粒呈明显的树枝晶形貌长大。合金熔体在凝固的过程中,其中部区域的温度梯度相对减小,形核数量开始增多,但此时从凝固界面前沿漂浮过来的晶粒比内生形核的晶核更容易长大并发生粗化,使铸坯最终的凝固组织呈不均匀分布^[7]。降低熔体过热度(670 °C)浇注,凝固界面前沿的温度梯度较小,有利于凝固界面前端的形核长大,从而抑制晶粒的继续长大,使得部分晶粒在残留液相中开始熟化,逐步呈等轴形貌,由于晶粒形成的先后不同,在



(a) 690 °C; (b) 670 °C; (c) 655 °C; (d) 655 °C (保温10 min)

图1 不同浇注温度下的ZL201合金显微组织

Fig. 1 Microstructure of ZL201 alloy cast at different temperatures

成分过冷的影响下,晶粒尺寸也会存在明显的偏差。在低过热度(655℃)浇注时,有利于熔体内原子团簇的大量形成,当熔体进入结晶器后快速过冷,为熔体内的原子团簇快速形核长大提供了条件,由于此时熔体处于过冷状态,且熔体内的溶质分布相对均匀,为晶核的各向生长、枝晶臂粗化提供了条件,促使 α -Al枝晶趋向于呈蔷薇状或等轴状形貌生长。当熔体在低过热度下保温,有利于熔体内获得分布较为均衡的温度场和溶质场,当熔体浇入结晶器内时会快速进入过冷状态,根据瞬态形核理论^[8],熔体内会快速形成大量晶核,因形核数目较多,晶粒在以树枝晶形貌长大前发生互相抵触,晶粒的生长受到抑制,此时晶粒生长前沿的成分过冷动力不足以克服固-液界面的“晶芽”表面张力的阻力,晶粒只能呈等轴晶形貌长大。因此,在适宜的浇注温度下,合金熔体内的晶核将趋向于等轴晶形貌长大^[9]。

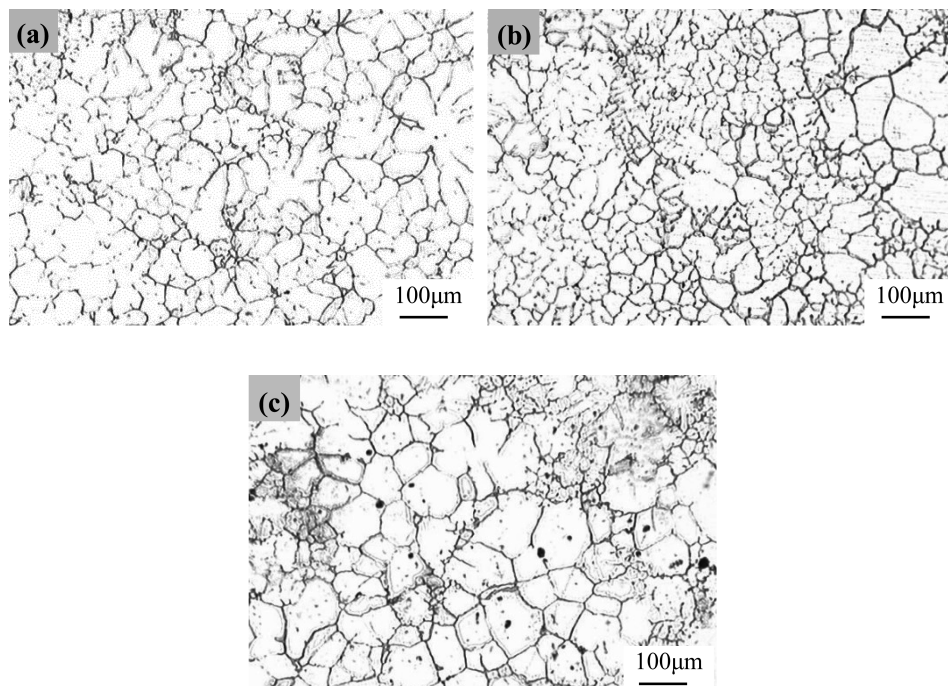
2.2 铸造速度对 ZL201 合金微观组织的影响

图2为ZL201合金在冷却条件一定,浇注温度为655℃,保温10 min时,分别以120、180、200 mm/min的铸造速度进行半连续铸造所得的微观组织。

由图2可以看出,合金的铸造速度为120 mm/min所

得到的微观组织中的晶粒呈明显的等轴晶形貌分布,且尺寸均匀程度较好,如图2a所示;当铸造速度提高到180 mm/min时,坯料组织中的晶粒尺寸减小,但尺寸偏差明显增大,且有蔷薇状形貌的晶粒存在,组织分布不均匀程度增加,如图2b所示;铸造速度提高到200 mm/min时,等轴晶晶粒尺寸增大,不均匀程度增大,同时蔷薇状形貌的晶粒数量增加,如图2c所示。

结合试验结果分析可知,合金在一定的冷却强度和低过热度温度下浇注,铸造速度适宜时,有利于过冷的熔体内大量形核,并趋向于等轴晶形貌生长、粗化。提高铸造速度,相对缩短熔体在结晶器内的停留时间,提早进入二冷阶段进行水冷,提高了对熔体的冷却强度,加快了熔体的冷却凝固速度,使得晶粒粗化过程缩短甚至来不及进行即凝固结束,导致晶粒尺寸偏差比较大。继续提高铸造速度,由于半连续铸造的冷却强度一定,单位时间作用的熔体量增加,相对削弱了水冷对熔体的二次冷却效果,使晶粒生长趋于粗大。因此,在半连续铸造过程中,二次冷却对铸坯熔体的冷却效果是通过铸造速度的调整来进行改变的,进而达到对铸坯凝固组织的改变。通过改变铸造速度可有效改善合金微观组织的尺寸、分布及形貌。



(a) 120 mm/min; (b) 180 mm/min; (c) 200 mm/min

图2 不同铸造速度下的ZL201铝合金微观组织

Fig. 2 Microstructure of ZL201 Al alloy cast at different casting rates

3 结论

(1) 熔体过热度是影响合金半连续铸造微观组织形貌的重要因素之一, ZL201合金采用浇注温度655 ℃, 经10 min保温后进行低过热度半连续铸造, 可获得分布均匀、细小的非树枝晶微观组织。

(2) 二次冷却对铸坯熔体的冷却效果是通过铸造速度的调整来进行改变的, 进而达到对铸坯凝固组织的改变。ZL201合金低过热度半连续铸造的铸造速度为120 mm/min时, 可获得尺寸较均匀的等轴晶微观组织。

参考文献:

- [1] 白志玲. 铝合金的研究现状及应用 [J]. 科技广场, 2015 (12): 18-20.
- [2] 铸造铝合金应用现状及未来前景分析 [J]. 资源再生, 2018 (9): 28-29.
- [3] 武万斌, 年雪山. 汽车轻量化技术发展趋势 [J]. 汽车工程师, 2017 (1): 15-17.
- [4] 王宝让. 铝镁合金熔炼与铸造 [M]. 北京: 中国有色金属工业总公司职工教育教材编审办公室, 1986: 78-95.
- [5] WECKMAN D C, NIESSEN P. A numerical simulation of the D.C. continuous casting process including nucleate boiling heat transfer [J]. Metall Mater. Trans., 1982. 13B: 593-602.
- [6] WISKEL J B, COCKCROFL SL. Heat-flow-based analysis of surface crack formation during the start up of the direct chill casting process: part I. Development of the inverse heat transfer model [J]. Metall Mater. Trans., 1996, 27B: 119-127.
- [7] 王家焯, 黄积荣, 林建生. 金属的凝固及其控制 [M]. 北京: 机械工业出版社, 1983: 18-29.
- [8] 大野笃美. 金属凝固学 [M]. 唐彦斌译. 北京: 机械工业出版社, 1983: 63-99.
- [9] 董杰, 路贵民, 任栖锋, 等. 液相线铸造法非枝晶半固态组织形成机理探讨 [J]. 金属学报, 2002, 38 (2): 203-207.

Effect of Process Parameters of Semi-Continuous Casting on Microstructures of ZL201 Alloy

YE Li-qing

(Lingnan Institute of Technology, Guangzhou 510663, Guangdong, China)

Abstract:

The billets of ZL201 alloy were cast by semi-continuous casting. The effect of process parameters on the microstructure of the ZL201 alloy billets was studied. The microstructure evolution of the alloy was analyzed. The results show that the superheat of the melt is one of the key factors affecting the microstructure morphology of the alloy cast by semi-continuous casting. The effect of casting rate on the solidification microstructure of the alloy is through changing the secondary cooling intensity onto the casting billet. The microstructure of ZL201 alloy billet was distributed uniformly with fine non-dendrite structure when the alloy was held at 655 ℃ for 10 min and then was cast by semi-continuous casting at the casting rate of 120 mm/min.

Key words:

process parameters; microstructure; ZL201 alloy; semi-continuous casting