DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2019.02.011

稀土元素对铝铜合金流动性的影响

王明杰,董　莹,张国伟
(中北大学 材料科学与工程学院,山西 太原 030051)

摘　要:采用同心三螺旋合金流动性测定仪和正交实验法研究了稀土 La、Ce 和温度对 ZL205A 合金流动性的影响规律,并通过断口形貌分析铝铜合金停止流动机理。研究表明,流动性随不同的浇注温度呈正相关的线性变化规律,且随着稀土元素 La 和 Ce 的加入 ZL205A 合金流动性明显提高。当熔炼温度为 720 ℃,稀土 Ce 含量为 0.1%、La 含量为 0.2%时 ZL205A 合金的流动长度为 980 mm;稀土 La 和 Ce 的添加缩短了合金凝固区间,起到了异质形核作用,晶粒细小,提高了流动性。

关键词:ZL205A; 流动性; 同心三螺旋合金流动性测定仪; 停止流动机理

中图分类号: TG292　　**文献标识码**:A　　**文章编号**:1000-8365(2019)02-0179-03

Effect of Rare Earth on the Fluidity of Al-Cu Alloy

WANG Mingjie, DONG Ying, ZHANG Guowei
(School of Material Science and Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: The influence of La, Ce and temperature on the fluidity of ZL205A alloy was studied by concentric three-helix alloy fluidity tester and orthogonal experimental method. The flow stopping mechanism of Al-Cu alloy was analyzed by fracture morphology. The results show that the fluidity of ZL205A alloy is positively correlated with casting temperature, and the fluidity of ZL205A alloy is significantly increased with the addition of rare earth elements La and Ce. When the melting temperature is 720 ℃, rare earth Ce content is 0.1%, the La content is 0.2% when ZL205A alloy flow length is 980 mm; The addition of La and Ce shortens the solidification interval of the alloy, plays the role of heterogeneous nucleation, and improves the fluidity due to the fine grain size.

Key words: ZL205A; fluidity; concentric trihelical alloy fluidity tester; stop flow mechanism

近年来铝合金由于其资源丰富,强度高、密度小、加工性能好、焊接性能好等优良特点,广泛应用于航空、航天、民用领域[1-3]。而铸铝铜合金是航空航天产品的主要材料之一[4,5]。以 ZL205A 铝铜合金为代表的高强度铸铝合金,达到了用铸代锻和铝取代钢的目的,这大大降低了部件的质量、节约了能源、降低了成本并减少了环境污染。随着铸造技术,设备和技术的不断发展,高强度铸铝合金必将在航空、航天和重要民用产品中得到更广泛的应用[6],

稀土元素在铝合金中的应用愈加广泛,随着国内外工作者的逐渐深入研究,发现稀土元素的添加可以增加铝合金的平衡液相线和平衡固相线温度,并使合金的收缩率下降,同时能降低铝合金的断裂温度,增加了材料的断裂应力[7]。并且发现稀土可以提高合金的铸造性能,是因为改变了合金的凝固结晶特性,并使合金获得了净化[18];在铝合金铸造充型凝固过程中,稀土元素优先与铜在晶界处形成多元金属间化合物,从而造成合金基体的贫铜和软化[9]。同时稀土元素的加入使得合金中出现了改变铝合金流动性的物相,使得铝合金在提高流动性的同时也由于其他物相的出现改善了偏析、收缩和热裂纹等铸造缺陷的形成[10-12]。

金属流动速度和能流动的时间,就金属液体在型腔中如何停止流动,则又与两者有密切的关系。所以探讨金属停止流动机理具有理论和实践意义。目前对于金属停止流动机理的观点并不统一[13,14]。随着稀土提炼技术的不断发展和稀土合金化理论的不断进步与完善,利用稀土提高铝合金的铸造性能,纯化和精化变质作用的方法受到了广泛关注。本文在国内外研究人员的研究基础上,通过在 ZL205A 铝铜合金中加入稀土元素 La 和 Ce,研究其对铸造流动性能的影响。

收稿日期:2018-09-15
作者简介:王明杰(1988-),河南驻马店人,博士生.研究方向:液态成型新工艺.电话:15513882577,
E-mail:15513882577@163.com

1 实验

1.1 实验材料与设备

本实验选用ZL205A合金为研究对象，为保证材料成分的准确性，采用中间合金配制而成，其成分如表1所示。

表1 ZL205A合金配制 w(%)
Tab.1 The chemical composition of ZL205A alloy

元素	Al	AL-Cu	Al-V	Al-Mn	Al-Zr	Al-Ti-B	Cd
含量	71.5	9.8	3.0	5.1	3.7	6.7	0.2

1.2 实验方案

本文采用正交实验法进行实验，实验方案如表2。

表 2 实验方案
Tab.2 The experimental scheme

水平	因素		
	稀土 Ce 含量(%)	稀土 Ce 含量(%)	浇注温度 /℃
1	0	0	700
2	0.1	0.1	710
3	0.2	0.2	720

1.3 实验过程

(1)造型操作　首先按以上型砂成分配比配出30kg的树脂砂，应立即放入模框中造出带有直浇道的上砂箱，等到树脂砂凝固之后，进行翻箱操作。然后再配出30 kg的树脂砂造出带有三螺旋形的下砂箱，再进行翻箱操作，依次取走上砂箱和三螺旋试样模板，如图1。

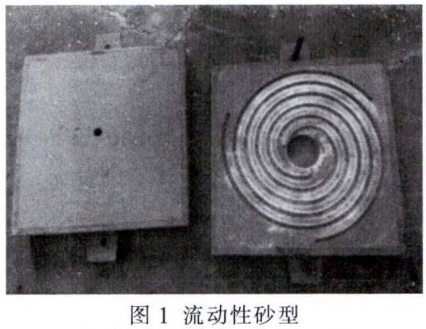


图 1 流动性砂型
Fig.1 The fluidity sand mold

(2)配料过程　本次实验中，经计算将三螺旋型、浇道、浇口杯全部充满大约需要3 kg的ZL205A合金。按照预计算的铝合金含量进行称制中间合金。

(3)熔炼过程　严格控制铝合金熔炼的温度，只有合适的温度才能获得高质量的合金液，避免过热。若温度过高，会加大合金中各种元素的氧化烧损，引起合金中化学成分的变化。温度过低，会使合金的化学成分不均匀，合金中的氧化夹杂物、气体等不易排出，合金的理化性能下降，影响铸造性能。通常情况下，炉温在760 ℃时，大约经过1 h合金可以完全熔化，温度升到740 ℃时，此时加入Cd和La，然后再升温到780 ℃。

(4)精炼操作　铝合金精炼的目的是清除熔液内的气体和氧化夹杂物。在780 ℃时出炉，将预热好的钟罩和漏勺拿出炉，待温度降到730 ℃时将称好的18 g的六氯乙烷放入钟罩中搅拌熔液开始除气操作，除气结束后，用漏勺将熔液表面的渣滓除去，然后放入炉中升到所需要的浇注温度。

(5)清除砂型得到三螺旋铝合金流动性铸件如图2。

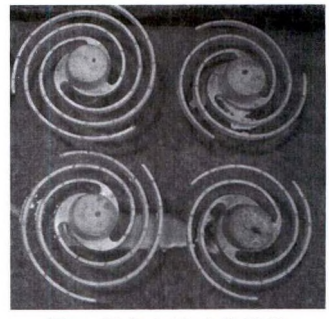


图 2 铝合金流动性铸件
Fig.2 The flow casting of aluminum alloy

2 实验结果与分析

2.1 流动性极差分析

不同含量的稀土元素和不同浇注温度对ZL205A合金流动长度影响的极差分析如表3。

表 3 铝铜合金流动性极差结果分析表
Tab.3 Range analysis table of Al–Cu alloy fluidity

编号	因素			铝合金流动长度 /mm
	稀土 Ce 含量 (%)	稀土 La 含量 (%)	浇注温度 /℃	
1	0	0	700	593
2	0	0.1	710	808
3	0	0.2	720	890
4	0.1	0	710	884
5	0.1	0.1	720	916
6	0.1	0.2	700	873
7	0.2	0	720	895
8	0.2	0.1	700	813
9	0.2	0.2	710	889
I	2 291	2 372	2 279	
II	2 673	2 537	2 581	
III	2 597	2 652	2 701	
R	382	280	422	

由表3极差R的值可知浇注温度列R最大为422，稀土La含量的R值最小只有280，稀土Ce含量的R值则为382，这说明熔炼温度含量对铝铜合金流动性的影响最大，稀土Ce含量其次，稀土La含量最小。排出因素的主次顺序是：浇注温度>稀土

Ce 含量>稀土 La 含量。根据上述影响因素的影响次序，依次选区因素水平中最大的水平值，分别对应表中Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ中最大的那个水平值，在实验中浇注温度为 720 ℃，稀土 Ce 含量为 0.1%，La 含量为 0.2%。

根据正交实验分析表的结论可知，Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ数值的大小，只与对应因素的水平有关，实际上不受其他因素水平变化的影响。因此便可得到最佳的实验方案为：浇注温度为 720 ℃，稀土 Ce 含量为 0.1%，La 含量为 0.2%。由于正交实验极差分析表中没有对应的实验数据，为了实验的可靠性，按照最佳因素表进行补充实验验证，最终得到在 ZL205A 浇注温度为 720 ℃，稀土 Ce 含量为 0.1%、La 含量为 0.2%时，ZL205A 合金流动长度达到 996 mm。

2.2　停止流动机理实验结果分析

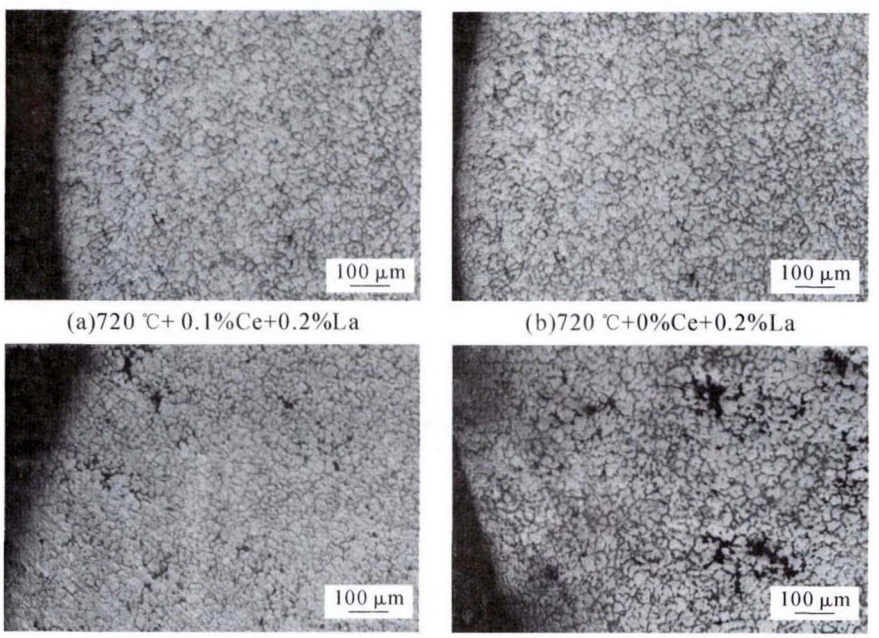
为了研究分析不同实验参数对铝合金流动性影响及停止流动机理的分析，实验选区取相同部位的铝合金流动性试样的流股头部前沿和侧部的金相图进行分析研究，不同实验参数下流股头前沿金相图如图 3。

从腐蚀的金相图可以看出，添加稀土元素的合金金相图平面光洁连续，晶界明显将各个晶粒分开，同时起到了异质形核作用，晶粒较为细小。胞状晶布满整个区域且均匀分布，由于三螺旋流动性测定仪的流道截面积相对较小，铸件截面温度梯度较小，铸件凝固的某段时间内，其液固共存的凝固区域很宽，甚至贯穿整个铸件截面，一般在砂型铸造的情况下出现，稀土元素缩短了合金的凝固区间，发生了体积凝固，或称为糊状凝固。对比图 3(a)和图 3(b)可以看出随着稀土 Ce 含量的增加使得铝合金晶粒变得细小，同时对比图 3(a)、(c)、(d)可以看出在不加稀土元素或者熔炼温度较低时组织中分布离散的孔洞多而小，似海绵状，常出现在铸件最后凝固的部位，如在缩孔的下方或铸件截面的中央(轴线缩松)。当铸件呈同时凝固时，特别是糊状凝固的金属(如球墨铸铁等)，容易生成分散的孔洞。黑色缩松缺陷较少；对比以上四图可以得出在稀土 Ce 含量为 0.1%和 La 含量为 0.2%时，合金组织晶粒较为细小，分布均匀，缩松缺陷较少。

如图 4 所示为不同实验参数时铝合金流动性试样流股侧部腐蚀金相图，可以看出，不同温度下铝合金流动性试样流股侧部的晶粒分布相似。随着稀土 Ce 和稀土 La 含量逐渐增加时，铝合金的形核数量增加，晶粒得到细化；在不添加稀土元素时，铝合金晶粒较为粗大，胞状晶均匀分布，缩松缺陷较多，随着温度的增加使得稀土元素与铝合金形核更加充分，起到细化晶粒的作用，且合金表面光洁连续，晶界明显将各个晶粒分开，晶粒较为细小，胞状晶布满整个区域且均匀分布。

3　结论

(1)流动性随浇注温度呈正相关的线性变化规律，且随着稀土元素 La 和 Ce 的加入 ZL205A 合金流动性明显提高，当浇注温度为 720 ℃，稀土 Ce

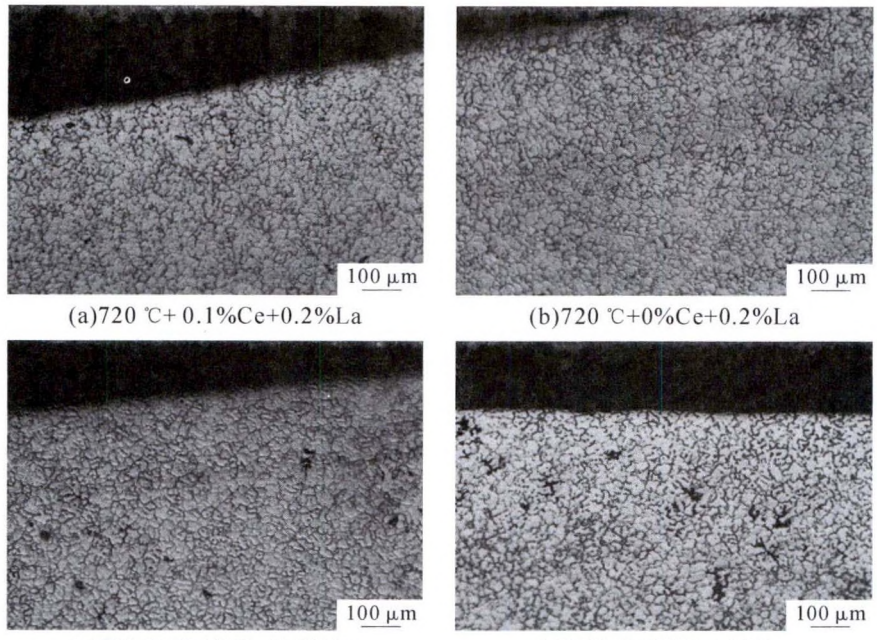


(a)720 ℃+ 0.1%Ce+0.2%La　(b)720 ℃+0%Ce+0.2%La

(c)700 ℃+0.1%Ce+0.2%La　(d)700 ℃+0%Ce+0%La

图 3　不同参数下流股头前沿金相图

Fig.3　The leading-edge stream Metallographic of different parameters



(a)720 ℃+ 0.1%Ce+0.2%La (b)720 ℃+0%Ce+0.2%La

(c)700 ℃+0.1%Ce+0.2%La (d)700 ℃+0%Ce+0%La

图 4 不同参数下流股头侧部金相图

Fig.4 The sidepiece stream Metallographic of different parameters

含量为 0.1%、La 含量为 0.2%时 ZL205A 合金的流动长度为 980 mm。

(2)在研究停止流动机理中,不添加稀土元素的情况下,合金呈糊状凝固,树枝状晶粒交织生长,晶粒比较粗大,对流动起阻碍作用。在添加稀土元素后,稀土元素缩短了合金的凝固区间,同时起到了异质形核作用,晶粒得到了细化,提高了流动性。

参考文献:

[1] 贾泮江,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] 魏晓伟, 曾明. 稀土对铸造铝铜合金流动性和热裂倾向性的影响[J]. 铸造技术,1997,18(3):46-48.

[3] 谢世坤,易荣喜,黄强,等. Ce 对 Al4.5Cu 合金流动性和热裂倾向的影响[J]. 有色金属(冶炼部分),2011(6):33-36.

[4] 银健民,张莲英. 稀土对 ZL108 合金铸造性能的影响[J]. 热加工工艺,1993,22(1):19-20.

[5] 王会阳,安云岐,李承宇,等. 稀土在铝和铝合金中应用的研究及进展[J]. 稀土,2012,33(1):74-80.

[6] 王欣欣,毛勇亮. 稀土在铝合金中的作用[J]. 铸造技术,2010,31(12):1617-1620.

[7] 米国发,LIU Yanlei, 龚海军. 稀土 La 和 Ce 对 ZL201 合金铸造性能的影响[J]. 热加工工艺,2008,37(15):34-37.

[8] 崔天真, 王德福. 混合稀土对改善铝铜合金铸造性能的影响[J]. 中国有色金属学报,1995(4):124-127.

[9] 程家宁, 于桂复. 稀土元素对铝铜铸造合金组织和性能的影响[J]. 航空材料学报,1983,3(1):13-16.

[10] Yang Z, Jian-Ping L I, Chang J H, et al. Effect of Antimony and Rare Earth on the Casting Properties of AZ91 Alloy[J]. Hot Working Technology, 2004(5):18-20.

[11] Luo Z, Chen H, Chen C, et al. The Effect of Rare Earth Metals on a Zinc-Aluminium Alloy[J]. Foundry Technology, 1989.

[12] Zhou Y, Liu X, Zhan L I, et al. Effects of Rare Earths on Microstructure and Properties of Al-Si-Cu Alloys [J]. Special Casting & Nonferrous Alloys, 1989.

[13] 叶荣茂,蒋烈光,蒋祖龄,等. 液态金属停止流动机理的探讨[J]. 材料科学与工艺,1983(4):44-53.

[14] 胡景辉. 混合稀土(Ce-La-Nd-Pr)对 Mg-4AI 合金铸造流动性及组织性能的影响[D]. 长春:长春工业大学,2015.

《铸件均衡凝固技术及应用实例》

《铸件均衡凝固技术及应用实例》由西安理工大学魏兵教授编著。共 8 章:1、铸铁件均衡凝固与有限补缩;2、铸铁件冒口补缩设计及应用;3、压边浇冒口系统;4、浇注系统大孔出流理论与设计;5、铸件均衡凝固工艺;6、铸钢、白口铸铁、铝、铜合金铸件的均衡凝固工艺;7、浇注系统当冒口补缩设计方法;8、铸件填充与补缩工艺定量设计实例。全书 320 页,特快专递邮购价 226 元。

邮购咨询:李巧凤 029-83222071,技术咨询:13609155628