

2219 合金热顶铸造圆铸锭羽毛晶缺陷研究

孙海波, 孔祥生, 殷云霞, 姜德俊, 洪宇

(东北轻合金有限责任公司, 黑龙江 哈尔滨 150060)

[摘要] 本文研究了 2219 合金热顶铸造 $\Phi 405$ mm 规格圆铸锭羽毛晶产生原因及解决措施。结果表明:采取控制 2219 合金 Zr 含量、增加配料时废料投入比、铸造时增加 Al-5Ti-1B 丝在线播种量、避免熔体过热及熔体停留时间过长和调整铸造工艺参数可解决 2219 合金热顶铸造 $\Phi 405$ mm 规格圆铸锭羽毛晶问题。

[关键词] 2219 合金; 热顶铸造; 羽毛晶

[中图分类号] TF125.22

[文献标志码] B

[文章编号] 1003-8884(2021)02-0028-03

DOI: 10.19611/j.cnki.cn11-2919/tg.2021.02.007

2219 合金为 Al-Cu-Mn 系硬铝合金,具有焊接性能好、断裂韧性高、优良的耐热性能、裂纹倾向性低及工作温度范围广等特点,广泛应用于航空航天领域^[1-2]和轨道交通运输领域等。与普通 DC 铸造相比,热顶铸造具有铸锭内部质量优良、铸锭表面质量优良、生产操作简便等优点^[3],在生产中被广泛的推广使用,但采用热顶铸造方式铸造的铝合金铸锭容易出现热裂纹、羽毛晶等缺陷,羽毛晶的存在,导致铸锭组织极不均匀,使横向伸长率显著下降,在压延和自由锻造时经常沿着这些晶体的弱面开裂这种缺陷具有可遗传性^[4]。本文对 2219 合金热顶铸造 $\Phi 405$ mm 规格圆铸锭羽毛晶缺陷进行了研究,从合金本身特性、熔铸工艺特点及铸造方式等方面分析了羽毛晶缺陷产生原因,并找到了解决办法,为今后生产中遇到羽毛晶问题时,消除羽毛晶,获得细小等轴晶,提高合金力学性能提供解决办法。

1 羽毛晶产生原因

羽毛晶又称之为层状晶,亦称之为双晶、孪晶、放射状晶、玄武岩状晶等,形状近似直线状花边的羽毛晶亦称为“花边状组织”,俗称花边,看起来像羽毛或花边形状。羽毛晶是在一定条件下得到的一种铸造组织,它由许多羽毛晶群组成的。每个羽毛晶呈细长而扁平状,由取向不同的两晶粒和一条笔直的双晶面组成。由于羽毛晶具有强烈的各向异性,

并且在压力加工过程中不易变形和破碎,所以对合金组织和机械性能有一定的影响。羽毛晶是柱状晶的变种,它是在再结晶前沿液体中的温度梯度十分陡峭,过冷带极为窄小的情况下生成的。当熔体的过热温度很高,铸锭的冷却速度极快,热流从结晶面向单一方向进行扩散以及熔体中的有效活性质点极少时很容易产生。由于羽毛晶最大生长速度沿着轴向进行,所以与轴向平行的羽毛晶组织具有最强的竞争力,而其他方向的枝晶很容易被抑制。因而,羽毛晶生长方向基本与轴向平行^[5-6],2219 合金羽毛晶放大 200 倍照片,如图 1 所示。

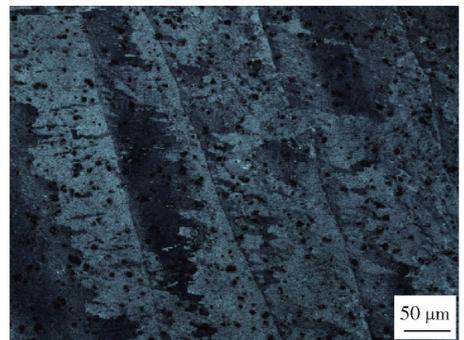


图 1 2219 合金羽毛晶

1.1 2219 合金本身特性

2219 合金化学成分如表 1 所示,由表 1 可以看出 2219 合金含有 Zr 元素,其可强烈抑制热加工过程中的再结晶过程,提高合金强度,同时加入 Zr 也是为了改善合金的焊接性能。但 Zr 元素的加入会增加铝合金铸造过程中形成羽毛晶缺陷的倾向性,这是由于 Zr 会对添加到熔体中的 Al-5Ti-1B 丝的细化效果产生一定的不良影响,其会在起细化作用

[收稿日期] 2020-09-15

[作者简介] 孙海波(1985-),女,内蒙古宁城人,硕士,工程师,主要从事铝合金熔铸研究工作。

表 1 2219 合金化学成分

合金	标准	合金成分, 质量分数/%											其它杂质		Al
		Si	Fe	Cu	Mn	Mg	Cr	Ni	Zn	Ti	Zr	V	单个	合计	
2219	国标	0.20	0.30	5.8 ~ 6.8	0.20 ~ 0.40	0.02	-	-	0.10	0.02 ~ 0.10	0.10 ~ 0.25	0.05 ~ 0.15	0.05	0.15	余量

的 TiB_2 表面形成 ZrB_2 或 Zr 的包覆层, 从而降低了 TiB_2 细化晶粒的效果。另外, Zr 还会置换 $TiAl_3$ 中的一些 Ti 形成三元固溶体, 改变其晶格常数和 $TiAl_3$ 的形核特征, 而且随着 Zr 含量增加而使晶粒粗化, 这是由于在形成的三元相中 Zr 的摩尔分数增加, 而降低了 $TiAl_3$ 的细化能力。因此 Zr 的加入量不合适会影响 Al-5Ti-1B 丝的细化效果。

1.2 2219 合金熔铸工艺特点

1.2.1 配料及熔炼主要工艺

2219 合金配料时允许使用 50% 一级废料, 熔炼温度为 720 ~ 800 °C, 熔体在熔化炉内的停留时间不得超过 7 h。

配料时配入一定的废料比例, 可增加熔体中非自发形核质点, 有利于防止铸锭组织粗化, 从而有利于抑制羽毛晶的生成。

熔体过热和熔体在炉内的停留时间过长都会导致形成羽毛晶缺陷的倾向增大。

1.2.2 铸造工艺

2219 合金热顶铸造 $\Phi 405$ mm 规格铸锭铸造时走在线除气装置, 30ppi + 50ppi 双级陶瓷片过滤装置, 在线播种 Al-5Ti-1B 丝, Ti 播种量为熔体总量的 0.005%。2219 合金热顶铸造 $\Phi 405$ mm 规格铸锭铸造工艺参数, 如表 2 所示。

表 2 2219 合金铸造工艺参数

合金	铸造方式	规格/ mm	铸造速度/ $mm \cdot min^{-1}$	过滤器出口 温度/°C	冷却水流量 T/h	铺底	回火	静置炉温度/ °C
2219	热顶铸造	405	30 ~ 35	740 ~ 750	20 ~ 30	+	+	750 ~ 780

由表 2 可以看出, 2219 合金热顶铸造的静置炉温度和过滤器出口温度较高, 由此可以看出铸造温度较高。铸造温度对羽毛晶的形成影响很大, 主要由于铸造温度较高时, 温度梯度较大, 枝晶在局部定向生长, 形成发达的羽毛晶。另外, 较高的铸造温度使熔体的过热热量增大, 有效形核质点数目减少且凝固时间延长, 在较大的温度梯度作用下, 易形成发达的柱状晶, 局部区域就有可能形成羽毛晶。

1.3 热顶铸造方式对 2219 合金羽毛晶形成的影响

热顶铸造结晶器由一个隔热的热顶部分和一个未隔热的冷却部分组成。热顶部分的作用使熔体保温, 并使铸锭上部始终维持一个液柱, 保持一定的铝液静压力, 同时降低熔体在结晶器中的凝固位置。热顶部分高度很小, 其作用是使铸锭成型。热顶铸造有效结晶区窄, 由于结晶前沿热交换强度加大, 温度梯度大, 也增加了羽毛晶形成的倾向性。

2 预防羽毛晶措施

预防羽毛晶主要通过增加熔体中有效形核质点

和降低结晶前沿温度梯度来实现。通过采取以下措施, 2219 合金热顶铸造 $\Phi 405$ mm 规格铸锭羽毛晶缺陷得到了有效抑制, 在后续生产时未再出现羽毛晶缺陷。

2.1 配料增加废料投入比例

生产实践表明, 合金中使用的废料少, 熔体中的非自发形核质点少, 生成羽毛晶的倾向就会增大。而当炉料中有一定比例废料时, 这种倾向就会减少。2219 合金使用一级废料比例为 50%。

2.2 控制 Zr 含量

在保证 2219 合金性能的前提下, 合理控制 Zr 元素含量, 以减少 Zr 对 Al-5Ti-1B 丝细化效果的影响。控制 2219 合金 Zr 元素含量 0.11% ~ 0.15% 为宜。

2.3 增加 Al-5Ti-1B 丝在线播种量

Al-5Ti-1B 作为重要的工艺添加剂, Ti 在 Al 中生成 $TiAl_3$, B 与 Ti 一起加入熔体中, 生成大量细小弥散 TiB_2 , $TiAl_3$ 和 TiB_2 为有效形核质点, 有利于形成细小的晶粒, 通常细化剂加入越多越好, 但细化

剂加入过多易使熔体中金属间化合物增多并聚集,影响熔体质量,同时要求 B 与 Ti 形成 TiB_2 后有剩余的 Ti 存在。 $TiAl_3$ 质点加入熔体 10 min 时效果最好,40 min 后细化效果衰退,因此 Al-5Ti-1B 不是加入静置炉内,而是选择在线播种。通过试验最终确定在线播种 Al-5Ti-1B 丝,且 Ti 播种量为熔体总重量的 0.01%。

2.4 避免熔体过热及熔体停留时间过长

如果熔体过热及炉内停留的时间过长,有效形核质点发生溶解,有效形核质点减少,结晶组织粗化,引起铸锭晶粒粗大,增大了羽毛晶生成倾向。因此应尽量避免熔体过热并且减少不必要的熔体停留时间。

2.5 调整铸造工艺参数

(1) 铸造速度

铸造速度直接影响铸锭结晶速度、液穴深度及过渡带宽窄,是决定铸锭质量的重要参数。热顶铸造有效结晶区窄,铸锭结晶速度提高,进而可以提高铸造速度来适应热顶铸造的窄结晶区。通过试验最终确定铸造速度为 35~40 mm/min。

(2) 冷却水流量

冷却水流量采取生产前看水、试水的方法,观察水帘的状态,确定结晶器没有堵水眼的情况,避免因局部冷却强度弱、局部温度高而产生羽毛晶。通过试验适当降低冷却水流量,并最终确定冷却水流量为 15~20 t/h。

(3) 铸造温度

在所有铸造工艺参数中,铸造温度对羽毛晶的出现几率影响最大,即温度梯度影响最大,为了降低产生羽毛晶的可能性,铸造温度不宜太高。热顶铸造转注过程中热量损失相比普通模铸造小些,温度

控制可比该合金该规格铸锭普通模铸造略低一些,但也不可为了避免产生羽毛晶将温度控制的过低,同时要考虑铸造温度对化合物和氧化膜缺陷等方面的影响,通过试验确定静置炉温度为 750~760℃,过滤器出口温度为 720~730℃。

3 结论

综上所述,抑制 2219 合金热顶铸造 $\Phi 405$ mm 规格铸锭羽毛晶缺陷的有效措施为:(1) 配料时使用 50% 一级废料,Zr 元素含量控制为 0.11%~0.15%;(2) 铸造时在线播种 Al-5Ti-1B 丝,播种量为熔体总重量的 0.01%;(3) 避免炉内熔体过热及熔体停留时间过长;(4) 铸造工艺参数为:铸造速度为 35~40 mm/min,冷却水流量为 15~20 t/h,静置炉温度为 750~760℃,过滤器出口温度为 720~730℃。

[参考文献]

- [1] LEI X, DENG Y, YIN Z, et al. Tungsten inert gas and friction stir welding characteristics of 4-mm-thick 2219-T87 plates at room temperature and -196℃ [J]. Journal of Material Engineering & Performance, 2014, 23(6): 2149-2158.
- [2] 阳代军, 徐坤和, 丁鹏飞, 等. 2219 铝合金大直径圆铸锭铸造性能分析及其改进措施 [J]. 航天制造技术, 2014 (6): 1-5.
- [3] 陈朝轶, 张鹏, 刘静, 等. 6063 铝合金阳极氧化膜腐蚀行为研究 [J]. 热加工工艺, 2013, 42(16): 50-53.
- [4] 吴欣凤. LF6 合金 $\Phi 720$ mm 铸锭羽毛晶缺陷的产生及消除 [J]. 黑龙江冶金, 2006(4): 10-11.
- [5] 程远明. 铝加工缺陷 [M]. 哈尔滨: 黑龙江科学技术出版社, 1986.
- [6] 周家荣. 铝合金熔铸问答 [M]. 北京: 科学技术出版社, 1990.

Study on Defect of Round Ingot Feather Crystal in 2219 Alloy Hot-pot Casting

SUN Hai-bo, KONG Xiang-sheng, YIN Yun-xia, JIANG De-jun, HONG Yu

Abstract: The 2219 alloy hot-top casting $\Phi 405$ mm round ingot feather crystal causes and solutions were studied. The results show control Zr content of 2219 alloy and increase scrap input ratio, increasing Al-5Ti-1B wire online seeding rate during the casting, avoiding melt overheat and it to stay a long time and adjusting the casting process parameters can solve 2219 alloy hot-top casting $\Phi 405$ mm round ingot feather crystal's problem.

Key words: 2219 alloy; hot top casting; feather crystal

