真空感应炉冶炼铁铬铝合金铸锭常见缺陷成因分析及改善措施

姜彩伟,刘建民,胡显军

(江苏省(沙钢)钢铁研究院,江苏 张家港 215625)

摘 要:实验研究了 150kg 真空感应炉冶炼铁铬铝合金铸锭常见缺陷成因分析及改善措施。本文设计了 4 种不同的实验方案,研究了浇注温度、浇注时间、炉衬使用次数和中间包是否使用过滤器对钢锭表面质量及内部缩孔的影响情况。结果表明,浇注温度为 1640℃、浇注时间为 0.56 min、中间包使用过滤器、炉衬使用次数越少的条件下钢锭表面质量较好且内部无缩孔缺陷。

关 键 词:真空感应炉;铁铬铝合金;缺陷;措施

中图分类号:TF133 **文献标识码**:A **文章编号**:1002-0322(2019)02-0074-04

doi:10.13385/j.cnki.vacuum.2019.02.15

Cause analysis and improvement measures of common defects in Fe-Cr-Al alloy ingots smelted by VIM furnace

JIANG Cai-wei, LIU Jian-min, HU Xian-jun

(*Institute of Research of Iron and Steel, Shasteel, Zhangjiagang 215625, China*)

Abstract: This paper studied the cause and the improvement measures of common defects in Fe-Cr-Al alloy ingots smelted by 150kg VIM furnace. Through four experiments, the influence of pouring temperature, pouring time, the lining use times and whether the tundish used a filter are studied on the surface quality and the internal shrinkage. The results show that the surface quality of the ingot is better and there is no shrinkage cavity defect under the condition that the pouring temperature is 1640 ℃, the pouring time is 0.56 min, the lining is used less and the tundish uses the filter.

Key words: VIM; Fe-Cr-Al alloy; defect; measures

铁铬铝合金是一种重要的电热合金[1],由于成分中存在大量的 Cr、Al,在高温时,合金表面会形成致密的氧化膜, 可延长合金材料的使用寿命。Al 含量高还可以提高电阻率,高电阻率可以有效的将电能转化为热能,节省电热材料[2]。因此铁铬铝合金的这种优良的高温抗氧化性能、高电阻率及便宜的价格为其大量使用提供了条件。铁铬铝合金铸锭主要用于直接锻造成零件,因为铸锭表面质量和其内部有无缩孔缺陷直接影响产品的性能和成材率,所以如何控制铁铬铝合金铸锭的表面质量和内部缩孔缺陷已成为关键所在。

本文中,以美国 COSARC 150kg 真空感应炉做为中试生产设备,研究了出钢前浇注温度、浇注时间、炉衬冶炼炉次、中间包是否使用过滤器对铸锭表面质量以及内部缩孔缺陷的影响情况。

1 实验设备和实验方案

1.1 实验设备

实验设备为 150kg VIM, 该设备的基本参数见表 1。锭模尺寸为内径 × 外径 =90 × 140mm,高度为 700mm 的无缝钢管。

表 1 真空感应炉设备参数

Table 1 Parameters of VIM furnace

容量	最大功率	频率	极限真空度	最高工作温度	坩埚材料	坩埚成型方式
150kg	150kW	3200Hz	5Pa	1750℃	铝镁尖晶石	捣实型

1.2 方案设计

本文以浇注温度、浇注时间、炉衬冶炼炉次及中间包是否使用过滤器为关注点,研究其对铁铬铝合金铸锭表面扒皮厚度及内部缩孔缺陷的

收稿日期:2018-04-27

作者简介:姜彩伟(1988-),男,江苏省苏州市人,本科,工程师。 **通讯作者**:胡显军,研究员级高级工程师。

影响情况。为了找出上述关注点对铁铬铝合金铸锭表面扒皮厚度及内部缩孔缺陷的影响程度并确定铁铬铝合金最佳冶炼工艺，本实验设计了 A~D 共 4 种实验方案，详细见表 2。

表 2　实验方案

Table 2　Experiment schemes

实验方案	浇注温度 /℃	浇注时间 / min	冶炼炉次 / 次	是否使用过滤器
A	1580	0.56	1~4	是
	1600			
	1620			
	1640			
B	1640	0.16	1~4	是
		0.36		
		0.56		
		0.76		
C	1640	0.56	5	否
			10	
			15	
			20	
D	1640	0.56	15~16	是
				否

A 方案：此方案应用于第 1~4 炉次，按照冶炼工艺取炉后样后测温，调整钢液温度，当钢液温度分别为 1580℃，1600℃，1620℃，1640℃时带电出钢，控制浇注时间为 0.56min，中间包内使用过滤器；

B 方案：此方案应用于第 1~4 炉次，按照冶炼工艺取炉后样后测温，调整钢液温度，当钢液温度为 1640℃时带电出钢，控制浇注时间分别为 0.16min，0.36min，0.56min，0.76min，中间包内使用过滤器；

C 方案：此方案应用于第 5，10，15，20 炉次，按照冶炼工艺取炉后样后测温，调整钢液温度，当钢液温度为 1640℃时带电出钢，控制浇注时间为 0.56min，中间包内不使用过滤器；

D 方案：此方案应用于第 15、16 炉次，按照冶炼工艺取炉后样后测温，调整钢液温度，当钢液温度为 1640℃时带电出钢，控制浇注时间为 0.56min，比较使用过滤器与不使用过滤器对铸锭表面质量的影响情况。

2　实验结果与分析

2.1　浇注温度对铁铬铝合金铸锭表面质量以及内部缩孔的影响

浇注温度是将熔融合金液浇入锭模时的温度，温度过高会造成缩孔、热裂、反应性气孔等缺陷，且会对易烧损的元素造成影响。温度过低会降低钢液的流动性，不易补缩，且会造成成分偏析等现象。所以浇注温度对铸锭质量有重要影响。本实验主要研究浇注温度对钢锭表面质量的影响，详见图 1。

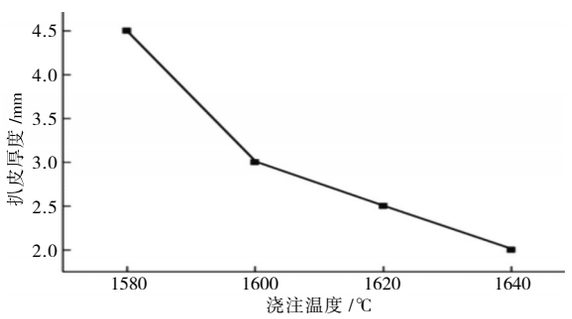

图 1　浇注温度对铸锭表面扒皮厚度的影响

Fig.1　Influence of pouring temperature on the peeling thickness of ingot surface

如图 1，当浇注温度为 1580℃时，表面扒皮厚度达 4.5mm。当浇注温度为 1600℃时，表面扒皮厚度为 3mm。当浇注温度为 1620℃时，表面扒皮厚度为 2.5mm。当浇注温度为 1640℃时，表面扒皮厚度仅为 2mm。浇注温度越高，锭模中钢液内的浮渣越容易上浮，所以浇注温度的提高有助于提高铸锭表面质量。

将铸锭纵向切开后，在以上四种温度下浇注，铸锭内部未见缩孔缺陷，本实验最终确定浇注温度为 1640℃。

2.2　浇注时间对铁铬铝合金铸锭表面质量以及内部缩孔的影响

浇注时间与浇注速度有关。对浇注过程而言，浇注时间长意味着浇注速度慢；反之，意味着浇注速度快。液态金属进入钢锭模时如果速度或流量过小，钢锭表面会产生深沟缺陷；相反，如果

速度过快不利于气体的排出且不利于浮渣的上浮[3-6]。因此浇注速度对铁铬铝合金铸锭表面质量、内部缩孔缺陷有重要影响，具体影响情况见图 2、图 3。

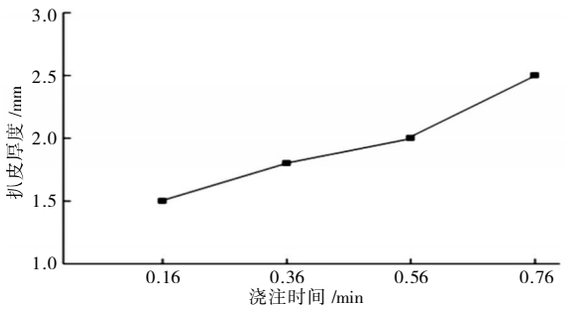

图 2 浇注时间对铸锭表面扒皮厚度的影响

Fig.2 Influence of pouring time on the peeling thickness of ingot surface

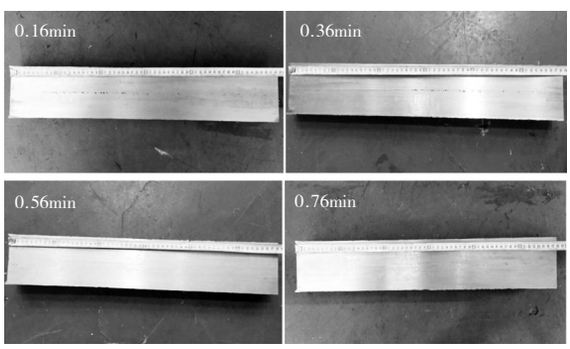

图 3 浇注时间对铸锭内部缩孔的影响

Fig.3 Influence of pouring time on ingot internal shrinkage

如图 2、图 3，当浇注时间为 0.16min 时，钢液很快进入锭模，铸锭表面质量很好，扒皮厚度为 1.5mm，但因浇注速度过快，造成钢液各部温差太小，来不及补缩，铸锭内部缩孔缺陷较明显，且平均孔径为 1.2mm，平均孔数为 24 个。

当浇注时间为 0.36min 时，钢液进入锭模速度较快，虽然浇注速度有所减慢，铸锭表面质量较好，扒皮厚度为 1.8mm，但铸锭内部仍存在缩孔缺陷，且平均孔径为 1mm，平均孔数为 15 个。

当浇注时间为 0.56min 时，表面质量较好，扒皮厚度为 2mm，且铸锭内部未出现缩孔缺陷。

当浇注时间为 0.76min 时，过慢的浇注速度虽能增大铸锭各部的温差使缩孔集中利于补缩，铸锭内部未见缩孔缺陷，但是铸锭的表面质量较差，扒皮厚度达 2.5mm。

综上所述，为了既保证铸锭表面质量，内部又无缩孔缺陷，浇注时间确定为 0.56min。

2.3 冶炼炉次对铁铬铝合金铸锭表面质量以及内部缩孔的影响

为了突出本方案的实验效果，本实验中间包内选择不加过滤器。

感应炉炉渣通常积聚在炉壁上部感应线圈工作位置，此处的炉渣不能清理，否则不仅会破坏炉衬，影响炉衬寿命，而且如果清理不当还会带来安全隐患。炉渣的主要成分是氧化物和非金属杂质，因其难溶于金属熔液中，故通常是以乳浊液的形态悬浮其中[7]。感应炉工作时，感应电流会对金属熔液形成较大的搅拌力，悬浮于其中的渣颗粒在这样大搅拌力作用下会逐渐变大，其受到的浮力也会逐渐增大。当浮力大于搅拌力作用时，变大的渣粒就会上浮进入熔液表面渣层。当长大的渣粒在上浮过程中，因强力搅拌的作用，这些渣粒在离心力的作用下会逐渐向炉壁靠近，当灼热的渣与炉壁炉衬接触时，由于炉衬的温度相对较低，而渣的熔点相对较高。当炉衬温度低于渣的凝固温度时，渣就会附着在炉衬上冷凝成固态。随着炉次的增加钢液表面浮渣越来越多，对铸锭的质量造成影响，具体影响情况见表 3。

表 3 冶炼炉次对铸锭表面质量及内部缩孔的影响

Table 3 Influence of smelting heat amount on ingot surface quality and internal shrinkage

冶炼炉次 / 次	铸锭表面质量	扒皮厚度 /mm	铸锭有无芯部缩孔
5	光滑	2	无
10	较光滑	2.5	无
15	较粗糙	3	无
20	粗糙	4	无

如表 2，冶炼炉次为 5 时钢液表面基本无渣层，铸锭表面光滑，扒皮厚度为 2mm，且内部无缩孔；冶炼炉次为 10 时钢液表面有少许浮渣，铸锭表面较光滑，扒皮厚度为 2.5mm，且内部无缩孔；冶炼炉次为 15 时钢液表面浮渣较多，铸锭表面较粗糙，扒皮厚度为 3mm，内部无缩孔；冶炼炉次为 20 时钢液表面浮渣很多，铸锭表面粗糙，扒皮厚度为 4mm。本实验结果说明炉衬使用次数越少，铸锭表面质量越好。

2.4 中间包是否使用过滤器对铁铬铝合金铸锭表面质量以及内部缩孔的影响

中间包过滤器是用耐火材料制成的多孔过滤网。当钢液流过时，夹杂被孔壁吸附过滤。本次实验选用的过滤器材质为氧化锆，孔隙率为 10PPI。

为了突出本方案的实验效果，本实验选择浮渣较多的 15、16 炉次。浇注温度为 1640℃，浇注时间为 0.56min。具体影响情况见表 4。

如表 4，中间包使用过滤器时，铸锭表面较光滑，扒皮厚度为 2.5mm，且未出现缩孔缺陷；中间包不使用过滤器时钢液未经过滤，浮渣直接进入

表 4　中间包是否使用过滤器对铸锭表面质量的影响

Table 4　Influence of whether the tundish uses a filter on ingot surface quality

中间包是否使用过滤器	铸锭表面质量	扒皮厚度 /mm
是	较光滑	2.5
否	粗糙	4

钢锭，铸锭表面粗糙，扒皮厚度为 4mm，且锭模内部未出现缩孔缺陷。故中间包使用过滤器对铸锭表面质量有重要影响，利用过滤器去除夹杂物效果明显，中间包内必须使用过滤器。

3　结语

使用真空感应炉冶炼铁铬铝合金铸锭，浇注温度、浇注时间、炉衬使用次数及中间包是否使用过滤器对钢锭表面质量及内部缩孔有重要影响。具体影响情况如下：

（1）浇注温度较高利于夹渣的上浮，得到洁净度较高的铸锭，且表面光滑；浇注温度过低，钢液的粘度高，流动性差，导致补缩通道受阻，难以补缩，且不利于夹渣的上浮，降低铸锭的表面质量。因此，选择合适的浇注温度具有重要的实际意义。本实验最终确定浇注温度为 1640℃。

（2）对浇注过程而言，浇注时间长，液态金属进入钢锭时被氧化的时间也越长，影响铸锭质量；相反，浇注速度过快钢液内气体来不及排出，钢锭内部有缩孔缺陷。所以较低的浇注速度对铁铬铝合金铸锭表面、内部缩孔有重要影响。本实验最终确定浇注时间为 0.56min。

（3）随着炉衬使用次数增加钢液表面浮渣变多，对铸锭表面质量造成影响，使用次数越少铸锭表面质量越好。

（4）利用过滤器去除夹杂物效果明显，特别在炉衬使用次数增加后，钢液表面浮渣增多，使用过滤器的效果尤为明显，因此浇注时，中间包内必须使用过滤器。

参考文献

[1] 王振东，宫元生，何纪龙. 电热合金[M]. 北京：化学工业出版社，2006：1.

[2] 王振东，宫元生，何纪龙. 电热合金[M]. 北京：化学工业出版社，2006：32.

[3] 王振东，草孔键，何纪龙. 感应炉冶炼 [M]. 北京：化学工业出版社，2007：299-645.

[4] Xue Z L，Qi J H，Gao J B. The interaction between crucible and molten steel during the melting process of ultra low oxygen steel[J]. Journal of Wuhan University of Science and Technology:Natural Sciences，2005,28 (2)：119-121.

[5] Chen B，Ma Y C，Gao M，et al. Changes of oxygen content in molten TiAl as a function of superheat during vacuum induction melting [J]. Materials Science & Technology，2010,26 (10)：900-903.

[6] Xue Z L，Li Z B，Zhang J W，et al. Research of carbon deoxidation by smelting of vacuum induction furnace [J]. Iron and Steel，2003,38 (6)：12-14.

[7] 李为镪. 钢中非金属夹杂物[M]. 北京：冶金工业出版社，1988：28-100.

便携式动态相对法真空标准装置简介

便携式动态相对法真空标准装置（如图所示）为沈阳真空技术研究所、国家真空设备质量监督检验中心研制的现场校准设备，良好的解决了真空设备连续生产无法送检校准、真空计送检过程易损等问题。为用户带来更大效益与便利。

主要用途：用于对现场的各类真空计的校准。装置结构紧凑便于携带，是理想的现场校准装置。

校准范围：5×10^{-4} Pa ~ 1×10^{5} Pa。

国家真空设备质量监督检验中心地址：沈阳市沈河区万柳塘路 2 号

邮政编码：110042

电话 / 传真：024-24807944，24819625　　电子邮箱：zhenkong520@sohu.com

（国家真空设备质量监督检验中心　供稿）