

Research on the Control Technology of Inclusion in Continuous Casting Embryo Material

Zhihua Yu

Valin Arcelle Mittal Automobile Board Co., Ltd., Loudi, Hunan, 417000, China

Abstract

With the continuous development of China's social economy, the digital degree of domestic steel development is getting higher and higher. Continuous casting section is a very important link of steel production. The research on the coordinated control and analysis technology of process operation in this section can optimize the traditional process, and then effectively improve the production effect. With the continuous development of iron and steel smelting technology, the requirements for the quality of continuous casting materials are gradually improved, especially in the automotive plate and construction field is more strict. In order to improve the quality of the final steel products, the purity of the continuous casting embryo should be improved and the proportion of the inclusion should be reduced in the refining process. In order to further improve the quality of embryo casting, improve the quality of embryo casting and the segregation of composition, the control technology of inclusion in continuous casting embryo is systematically analyzed, so as to realize the purpose of the process technology and product quality upgrading.

Keywords

continuous casting embryo material; inclusion control technology; application research

连铸坯料中夹杂物控制技术研究

余志华

华菱安赛乐米塔尔汽车板有限公司, 中国·湖南 娄底 417000

摘要

随着中国社会经济的不断发展, 国内钢铁发展的数字化程度越来越高。连铸区段是钢铁生产非常重要的一个环节, 对于该区段的工序运行协调控制分析技术进行研究, 能够对传统的工序进行优化, 进而有效提升生产效果。伴随钢铁冶炼技术的不断发展, 对连铸坯料质量的要求也逐步提升, 尤其汽车板及建筑领域连铸坯料更为严格。为了提升最终钢铁产品质量, 炼钢精炼过程中应提升连铸坯料的纯净度, 降低连铸坯料中夹杂物成分比例。为进一步实现铸胚质量提升, 改善铸胚心部质量及成分偏析问题, 对连铸坯料中夹杂物控制技术进行系统分析, 从而实现工艺技术和产品质量升级的目的。

关键词

连铸坯料; 夹杂物控制技术; 应用研究

1 连铸坯料中夹杂物成分分析

连铸坯料中的非金属夹杂物是影响钢材质量和性能的重要因素。这些夹杂物可能来源于原材料中的杂质、冶炼过程中的脱氧产物、炉渣以及连铸过程中的二次氧化等。为了有效控制夹杂物的产生, 需要从原材料控制、冶炼工艺优化到连铸工艺控制等多个环节进行综合管理。原材料应选择高纯度, 冶炼过程中应精确控制脱氧和炉渣管理, 连铸过程中则需优化保护渣的应用、结晶器设计和操作、钢液流动控制以及冷却和拉速的调节。通过这些工艺控制策略, 可以显著降低连铸坯料中的非金属夹杂物含量, 提高钢材的纯净度和整体性能。

当前连铸坯料中的夹杂物主要以非金属化合物形式存在, 其中占比较多的为硫化物, 氧化物和氮化物。这些杂质的存在让连铸坯料的组织结构出现一定程度的不均匀现象, 并且对整个连铸坯料的物理性能及化学性能存在重要的影响。在转炉精炼过程中, 一定要做好对连铸坯料夹杂物成分的控制, 如果工艺控制不当对后期冷热处理也会产生相应的负面影响。具体连铸坯料夹杂物成分如表 1 所示。

表 1 连铸坯料杂质元素含量预测 (ppm)

C	S	P	O	N	H	综合
6	1	8	5	15	0.2	35.2
6	0.4	2	5	14	0.2	27.6
5	5	10	5	10	< 1	36.1

对连铸坯料最终产品而言, 包括的夹杂物主要涉及三氧化二铝以及硅酸盐夹杂物这类杂质的存在, 对最终产品影

【作者简介】余志华 (1981-), 男, 中国湖南娄底人, 硕士, 工程师, 从事企业管理、冶金技术研究。

响较大。以三氧化二铝为例,这属于最为常见的夹杂物类型,对连铸坯料的脆性不变形影响最为严重,同时这类夹杂物含量过高会使连铸坯料的疲劳强度上升,当疲劳强度上升到一定数值时会出现断裂情况。硅酸盐类夹杂物,在精炼过程中短时间内可以进行凝结,由于连铸坯料部分硅酸盐在此阶段无法进行有效结晶,最终导致这一类夹杂物的大量产生,其影响主要是产品的韧性,对于一些盘条类长材产品影响程度较大。

2 连铸坯料中夹杂物控制技术应用意义

连铸过程中的夹杂物形成主要涉及钢液的凝固、保护渣的应用以及结晶器内的流动行为。在钢液凝固过程中,由于温度梯度和成分偏析,夹杂物可能会在凝固前沿析出或聚集。保护渣的应用是为了防止钢液的二次氧化和吸收部分夹杂物,但如果保护渣的性能不佳或操作不当,可能会导致保护渣卷入钢液中形成夹杂物。结晶器内的钢液流动会影响夹杂物的分布和去除,不稳定的流动可能导致夹杂物无法有效上浮而被捕获在凝固坯中。此外,结晶器与钢液接触的耐火材料也可能与钢液发生反应,生成新的夹杂物。

连铸过程中的温度控制、拉速、结晶器振动参数等都会对夹杂物的形成和分布产生重要影响。当前连铸坯料中的夹杂物主要以非金属化合物形式存在,其中占比较多的为硫化物,氧化物和氮化物。这些杂质的存在让连铸坯料的组织结构出现一定程度的不均匀现象,并且对整个连铸坯料的物理性能及化学性能存在重要的影响。在转炉精炼过程中,一定要做好对连铸坯料夹杂物成分的控制,如果工艺控制不当对后期冷热加工也会产生相应的负面影响。电炉炼钢连铸生产线于2013年8月份投产,其产品断面主要有 $\Phi 500\text{mm}$ 、 $\Phi 650\text{mm}$ 、 $\Phi 700\text{mm}$ 、 $\Phi 800\text{mm}$,定尺长度4.0~9.0m。产品定位以汽车、石油化工、铁路、核电及风电等高端制造业用钢为主,其中主要包括优质碳素钢、合金结构钢、管坯钢、轴承钢等。而铸坯夹杂物超标,铸坯偏析等实际生产问题制约着生产提效,客户满意度较低。因此,炼钢事业部针对以上问题组织开展攻关,制定优化提升改进技术措施。

3 连铸坯料中夹杂物的分布及影响

结合转炉精炼过程中夹杂物的出现,主要来自以下两个方面:一方面,在冶炼阶段形成,这一类夹杂物由多方因素造成。例如在连铸坯料冶炼过程中对转炉内部添加了合金材料以及冶炼环境等方面的影响,出现了一定程度的脱氧产物。另一方面,在炼钢结束后连铸环节,由于钢水与空气进行了接触,产生了二次氧化物。这类夹杂物在钢铁产品当中主要呈现颗粒状,且相对较为细小,夹杂物外部形状呈现不规则性,分布不均匀。当前钢铁冶炼业界对于夹杂物的来源存在一定程度的分歧,很多学者认为连铸钢坯存在的夹杂物是由于外界因素介入导致,还有一些学者认为连铸坯料中的

夹杂物主要是因为二次氧化产生。

连铸坯料夹杂物控制的目的是提升钢的洁净度,在不同领域应用过程中可以结合实际用途来控制连铸坯料的洁净度。洁净钢需要有效控制钢中夹杂物的含量、大小、分布以及气体含量,从而生产出高质量的钢铁产品。为此,在控制连铸坯料中夹杂物过程应包括但不限于精准化转炉冶炼终点控制技术、高效率LF炉精炼工艺、全保护浇注连铸工艺、氧化物冶金技术、钢包夹杂物上浮去除技术、中间包冶金技术、夹杂物检测与分类、分级评价等,确保稳定生产满足客户需求的产品。

4 连铸坯料中夹杂物控制技术应用策略

4.1 碳控制技术

对于连铸坯料来说,碳元素对连铸坯料的强度和韧性影响明显,目前碳元素去除方式主要有两种,首先是真空去除方式和控制初炼钢水方式。一般情况下,第一种方式可以迅速降低碳元素含量,使其达到较低水平,但是连铸坯料中的氧元素含量和初始碳元素含量对最终的碳含量影响较大;第二种方法通过真空脱碳控制碳元素,但是由于后续加工步骤的影响,会使其他元素材料与钢水接触产生碳元素。因此,在连铸坯料后续加工步骤过程应提升碳元素控制能力,应用低碳类添加物料来控制碳元素。

4.2 磷控制技术

在连铸坯料中的磷元素属于有害元素,通常在其他生产工序中采用不同方式降低磷元素含量,主要有铁水脱磷预处理、转炉造渣高效脱磷和炉外精炼等方式。首先,铁水预处理技术主要是在铁水进入炼钢炉之前对钢水进行脱磷处理,可应用一定的添加剂提升脱磷效率,采用活性石灰来辅助脱磷。而转炉吹炼脱磷技术主要是结合目标钢种的实际要求,应用双渣法或单渣法实施造渣。现阶段,汉钢公司转炉炼钢过程采用吹炼前期低枪位、大氧量实现快速升温,溶剂、化渣剂以多批次少批量加入,促进快速成渣,提高吹炼前期的脱磷效率,吹炼中后期采用较低的供氧强度,以确保炉渣中氧化铁的含量,避免反应剧烈出现“返干”,降低渣—钢回磷。

4.3 硫控制技术

连铸坯料中硫元素作为连铸坯料的有害元素之一,含量过高会使连铸坯料产生“热脆”,降低连铸坯料应用寿命。目前,汉钢公司炼钢工艺在没有铁水预处理条件下,转炉入炉铁水S含量波动较大,以YL82B生产期间为例,铁水S含量最高达0.070%,导致转炉钢水S含量0.030%~0.040%,要使精炼成品钢水S控制在0.010%以下,LF精炼脱硫任务较重。结合生产实际,调整精炼过程渣料加入,调整前渣料配比:预熔精炼渣200kg/炉,石灰400~600kg/炉,电石80~130kg/炉;调整后,预熔渣0~120kg/炉,石灰300~520kg/炉,电石70~110kg/炉,促进低碱度渣形成,改善精炼过程脱硫效果。统计渣料调整以来,各浇次精炼过程

平均脱硫率 63.40%~77.29%，各浇次精炼渣分析结果见表 2。

表 2 YL82B 精炼渣样分析结果

组分含量 占比	TiO ₂	SiO ₂	CaO	MgO	Al ₂ O ₃	FeO	P ₂ O ₅	MnO	Fe ₂ O ₃	Fe ₂ S
平均值	2.32	19.22	50.93	9.34	7.92	0.161	2.66	0.56	0.094	
最大值	2.7	22.76	57.63	15.76	11.19	0.21	3.22	0.8	0.544	
最小值	2.17	16.68	45.47	5.45	5.72	0.120	2.2	0.38	0.209	

4.4 氧控制技术

连铸坯料中氧元素的产生主要是在钢水冶炼的过程及氧化反应的作用，同时其他元素在去除过程也会产生一定的氧。比如，脱硅、脱碳过程以大量氧气吹入而提升处理效率，但连铸坯料中氧元素会出现过剩。汉钢在新品钢生产开发过程中，采用微铝系预渣替代硅系精炼渣，降低精炼渣碱度和熔点，提升精炼渣的流动性和泡沫化，增强渣系对夹杂物的吸附能力，从而提升钢水夹杂物脱除水平和间接脱氧能力。

4.5 氮控制技术

大多数情况下，连铸坯料中氮元素因分布在连铸坯料中产生一定的应力时效而降低其成型效果。汉钢公司目前钢水控氮采用合理的吹氩工艺、高效透气砖，稳定底吹氩气压力及分阶段流量，合适的搅拌强度减少钢水吸氮，同时，精炼结束后钢包内加入一定量的覆盖剂，避免钢水裸露，钢水浇注过程以氩封水口、浸入式水口、结晶器保护渣、中包覆盖剂等措施实施全过程保护，确保钢水精炼过程至浇注、凝固过程减少增氮和二次氧化。

5 连铸坯料中夹杂物控制策略

5.1 严格控制对钢水的要求

一是应当围绕钢水温度展开严格把控，在合适温度条件下，使钢水内的硫、磷等含量得到有效减少。二是应当围绕钢水展开合金微调，换言之，便是要围绕钢水成分展开合理处理，应重点围绕钢水内的部分合金成分展开调节，比如镁、硅等。三是应当围绕钢水展开脱氢脱氧脱氮处理。在这个过程中，需要应用真空冶炼这一项技术方法。要想使钢水的温度能够达到均衡状态，且让当中的杂质成分漂浮上来，还必须围绕钢水展开吹氩处理。唯有牢牢根据规定围绕钢水展开合理、规范的处理，才可以得到满意的钢水。

5.2 科学应用热送热装技术

在炼钢、精炼以及连铸机水平的不断提升下，连铸坯质量也有了比较明显的强化。加强了钢水的温度、成分、清洁性等。连铸机应用的是结晶器电磁搅拌、结晶器液位自动控制系统、动态轻电压技术等先进的技术方法。同时也用到了特质粉末、高超的质量专家评估系统等，这让连铸坯的热装工艺水平得到了大幅度的优化。

5.3 合理控制浇铸温度

浇铸钢水时适当降低温度，则有利于缓解钢坯内部开

裂情况与中心偏折情况，并且也有利于降低连铸钢坯的晶粒，让其组织结构变得更加均衡。不过钢水连铸温度较低的话也可能会带来不好的影响，如因为温度较低而导致钢坯内的杂物难以漂浮上来，或者是会导致其中的包水口出现堵塞情况。同时，在实际铸造期间，结晶器可以说是处理钢水时最关键、最主要的一种机器，在钢水从中间包途径而过进到结晶器里之后，结晶器内的冷却水会与钢水相互作用从而构筑出一定厚度的胚壳，在该环节中，结晶器里的钢水静压力会给其中的钢板表面带来一定的抑制作用，并且部分热量传输与摩擦力也同样会给钢板带来一定程度的影响。此外，结晶器需要能够在较为不好的环境条件下保持不间断的运行状态，因而结晶器中的关键铜板既拥有非常不错导热能力，又体现出较为优异的冷却能力，不仅如此，还具有较好的耐磨性等。

5.4 运用电磁搅拌

要想让柱状晶粒数量有效降低，且防止中心偏折情况出现，让铸坯的质量有效提升起来，则需要在连铸板坯的铸造期间合理应用电磁搅拌技术，特别是在围绕部分特殊钢材与厚度较大的钢材展开处理的过程中，必须将该技术合理应用进来。电磁搅拌的线圈是根据有关规律展开排序的，运用过程中要把线圈放于铸坯表面大概 20mm 的位置，依靠线圈的电流便会生成一定的磁力作用，在这种作用下，让未凝结的钢液顺着某一方向不断往返流动，如此在搅拌期间便可以保证钢液内每一成分的均匀分布。

坯料铸造过程中，由于其连铸面积并不大，所以在浇铸、冷却环节中极易出现表面断开等情况，要想使该情况得到处理，则应当通过编制结晶器冷却制度、正确运用保护渣、切实增加铸造机拉速等措施，让坯表面的质量得到有效提升。

6 结语

连铸坯夹杂物的控制是一个复杂而细致的工艺过程，涉及原材料的选择、冶炼工艺的优化以及连铸工艺的精确控制。通过实施上述工艺控制策略，不仅可以减少夹杂物的产生，还能提升钢材的内在质量，满足日益严格的市场需求。未来的研究和 技术发展应继续关注夹杂物控制的新方法和新技术，以进一步提高钢材的纯净度和性能，推动钢铁行业的可持续发展。

参考文献

[1] 马桂芬,冯克亮.连铸坯料非金属夹杂物产生及工艺控制[J].山东冶金,2023,45(1):18-20.
 [2] 王强,郝鑫,安海玉,等.中厚板典型钢种非金属夹杂物来源分析与研究[J].宽厚板,2018,24(4):19-21+48.
 [3] 万万.IF钢冶炼过程中非金属夹杂物的演变规律研究[D].沈阳:东北大学,2018.