● 实用成型技术 Practical Shaping Technology ●
DOI:10.16410/j.issn1000-8365.2021.03.015

薄板坯连铸连轧产线保护浇注工艺实践

石鑫越,李 阳
(首钢京唐钢铁联合有限责任公司 钢轧作业部,河北 唐山 063200)

摘 要:钢液浇注过程中极易出现二次氧化导致钢中氮、氧含量的增加,恶化钢液质量。通过对钢轧作业部MCCR薄板坯连铸机连铸保护浇注工艺研究,分析钢包自开率、大包套管、中包流场等因素对保护浇注的影响,提出了相应的保护浇注措施。结果表明,采用保护浇注技术,可以减轻钢液的氧化程度、吸氧量、吸氮量,提高钢液质量,铝损、铝比合格率均在98%以上。

关键词:连铸;保护浇注;质量
中图分类号:TF777 **文献标识码**:A **文章编号**:1000-8365(2021)03-0220-04

Practice of Protective Casting Process for Thin Slab Continuous Casting and Rolling Production Line

SHI Xinyue, LI Yang
(Shougang Jingtang Iron and Steel United Co., Ltd., Tangshan 063200, China)

Abstract: Secondary oxidation was easy to occur in the pouring process of molten steel, which leaded to the increase of nitrogen and oxygen content in steel and deteriorates the quality of molten steel. Based on the research on casting process of MCCR thin slab caster in steel rolling department, the influences of self-opening rate of ladle, big ladle casing, flow field of middle ladle and other factors on casting process of MCCR thin slab caster were analyzed, and corresponding protective casting measures were proposed. The results show that the application of protective pouring technology can reduce the degree of oxidation, oxygen absorption and nitrogen absorption of liquid steel, improve the quality of liquid steel, and the qualified rate of aluminum loss and aluminum ratio is above 98%.

Key words: continuous casting; protective casting; quality

薄板坯连铸连轧技术以其流程紧凑、高效、节能及具有生产薄规格、高强度等高附加值产品上的优势,一经面世即得到了快速的发展。其中,首钢京唐公司新一代多模式连铸连轧生产线(The Multi-mode Continuous Casting & Rolling Plant, MCCR)在工艺技术和产品品种、质量控制方面有了长足的进步。

目前,MCCR生产线工艺流程为KR脱硫-转炉-LF-VD-连铸,为传统的长流程生产方式,通过精炼工序可以把各元素含量控制在一个较理想的范围。然而,在钢液浇铸过程中受保护浇注效果好坏的影响,中间包耐火材料、钢包中加入的引流砂、中间包覆盖剂、结晶器保护渣等材料中的一些元素有较大概率会进入到钢液中,增大了钢液中的碳、氧、氮等含量增加的几率。

如果钢液二次氧化严重,导致钢中氮含量以及全氧含量增加,恶化钢液质量,影响产品性能。特别是在冶炼含铝钢时,钢液二次氧化会造成水口结瘤,使浇注过程中断,造成铸机断浇,给稳定生产和组织管理带来很大影响。

在连铸工艺中,对钢液进行保护浇注,可以降低钢液污染,提高铸坯质量,提高品种钢的稳定生产。保护浇注技术的优劣,主要评价钢液氧化物夹杂的多少。因而,进一步降低钢液中全氧量,是保护浇注的主要目的[1]。钢中的全氧量,除转炉工艺中脱氧合金化及精炼工艺外,另一方面应防止在连铸浇注工艺过程中钢液的二次氧化。因此,研究连铸保护浇注工艺,防止钢液的二次氧化,对铸坯质量的提高具有一定的意义[2]。本文对保护浇注工艺进行研究,以期为铸坯质量的提高提供依据。

1 保护浇注现状

表1和表2分别为铸机近期的铝损和铝比合格率情况,目前铝损控制水平要好于铝比控制水平,但离目标合格率还存在一定差距。

收稿日期:2020-11-25
作者简介:石鑫越(1986—),河北唐山人,硕士生,工程师.主要从事工艺质量、品种研发相关方面的工作.
电话:18813055902,Email:cavalier2008@126.com

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

表1　铸机铝损情况

Tab.1 Aluminum loss of continuous casting

铝损时间	炉数	≤50×10⁻⁴%炉数	合格率(%)
8月	775	744	96.00
9月	696	672	96.55
10月	591	562	95.09

表2　铸机铝比情况

Tab.2 Aluminum ratio of continuous casting

铝比时间	炉数	≥0.90炉数	合格率(%)
8月	775	699	90.19
9月	696	636	91.38
10月	591	547	92.55

2　保护浇注影响因素

2.1　钢包自开率影响

钢包的自开率主要受引流砂质量的影响。当引流砂发生结壳，导致滑板打开时钢液不能顺利进入到中间包，会导致铸机断浇，进而影响后续工序的生产节奏。当发生结壳后，需要对大包水口进行烧氧引导钢液流下。由于引流下来的钢液与控制发生接触，会导致钢液的二次氧化[3]，严重影响铸坯质量。

2.2　大包套管影响

大包套管包在钢包长水口外，对长水口进行保护，为了防止钢液下落过程中由于“吸力”导致空气进入到钢液，需要对大包套管内进行吹氩气处理，使氩气充满套管与滑板接触的“碗形”区，进而起到保护浇注的效果。此外，大包套管与滑板间接触部位的密封垫圈质量好坏，也是影响空气进入与否的重要方面。

2.3　中间包覆盖剂的影响

中间包覆盖剂能起到绝热保温钢液防止散热、吸附上浮夹杂物、提升钢液纯净度、隔绝空气、防止空气中的氧气进入钢液和杜绝二次氧化的作用。中间包覆盖剂中的碳能起到骨架和控制覆盖剂熔化速度的作用。在浇注过程中，中间包覆盖剂与钢液接触，接触面积大且接触面活跃。因此，中间包覆盖剂中的碳比较容易进入到钢液中去。这种情况在连浇第一炉时尤为明显，此时中间包内钢液还未形成稳定流场，增加了覆盖剂与钢液混合的概率，从而导致增碳量较大。此外，中间包覆盖剂加入过多，也是增碳量较大的另一个重要原因。

2.4　中间包流场的影响

中间包内腔形状、大小，以及挡墙、挡坝的位置、高低，对于中间包内的流场有重要影响。挡墙挡坝位置不合理，造成中间包内钢液流动混乱，紊流区域增多。一方面造成钢液进入结晶器液位波动大，另一方面不利于夹杂物上浮，造成结晶器内卷渣增多。

2.5　结晶器液位波动的影响

保护渣中碳颗粒大小直接决定其传热和润滑的效果，颗粒越小，传热和润滑效果越好[4-7]。由于结晶器液位波动的影响，会导致钢液在浇注过程中出现一定量的增碳，因此，在浇注过程中应确保结晶器液位的稳定性。

3　改善保护浇注措施

针对上述原因，目前采取的措施主要有以下几个方面：提高钢包自开率，控制大包套管内氩气流量；优化中间包内挡墙、挡坝结构，对中间包内进行预吹氩；采用定氧仪实时监控中间包内氧含量。

3.1　钢包自开率

稳定提高自开率的措施：①减少钢包周转数量，保红包出钢，及时翻渣，以减少钢包内钢渣残留；②继续加强流钢通道清理及加砂操作的管理；③新包的离线烘烤温度控制，烘烤器上限温度控制在1 170~1 200 ℃，确保钢包包底温度大于900 ℃。

3.2　钢包长水口保护浇注

通过采用长水口+氩封保护浇注的方式，以提升保护浇注效果，长水口为碗部内腔带透气层内吹式结构，氩气直接通过长水口碗部内腔透气层吹入，在长水口与钢包下水口接缝处形成正压的氩气幕，有效隔绝空气，防止钢液二次氧化及吸氮。此外，开发钢包长水口浸入式开浇技术，能够有效降低钢液裸露在空气中的时间，提高长水口保护浇注效果[8]。

3.3　中间包保护浇注

3.3.1　增加中间包孔挡板

为了进一步隔绝空气，提升保护浇注效果，对中间包孔增加包盖孔耐火材料护板，护板由两片半圆形耐材板组成，当大包长水口浸入到中间包液面以下后，将护板关闭，此时中间包包孔被完全密封住。

3.3.2　中间包液面吹氩气保护浇注

在中间包加包盖的基础上，焊接氩气管路，在浇注过程中，开通氩气，使中间包钢液熔池区液面上形成氩气保护氛围，从而降低钢液在中间包内的二次氧化。其对中间包内钢液质量起到了一定的保护作用。

3.3.3　定氧仪实时监测

铸机在浇铸过程中会不断测温取样，以实时监测钢液质量和温度情况，以此来判断钢液的流动性。当进行此类操作时，采用Gasboard-3100P便携红外煤气分析仪对中间包内进行氧含量的测定，测量得中间包内氧含量为0.06%，说明保护浇注效果较好。

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

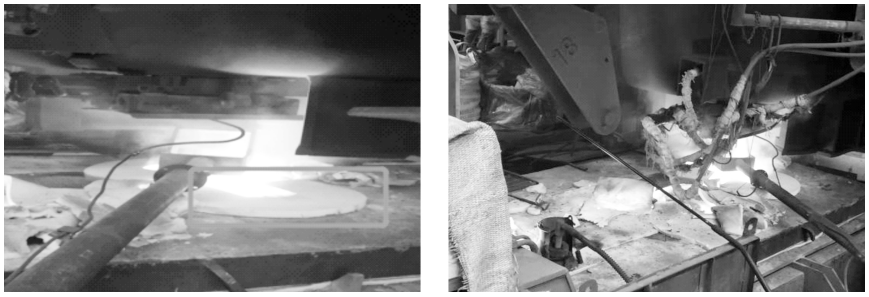

图 1 中间包孔挡板
Fig.1 Tundish orifice baffle

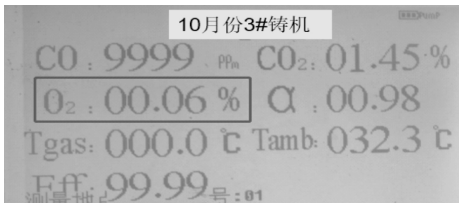

图 2 中间包内氧含量
Fig.2 Oxygen content in Tundish

3.3.4 挡墙、挡坝优化

为了进一步提升中间包内钢液的流场，对中间包内挡墙、挡坝进行优化。提供了两种优化方案：

表 3 优化方案
Tab.3 Optimization scheme

项目	水口	Tmin,s	Tpeak,s	Tav,s	Vdead	Vplug	Vmix
方案一	水口	113	295	500	0.17	0.38	0.45
方案二	水口	131	314	501	0.14	0.41	0.45

Tmin：示踪剂响应时间；Tpeak：停留时间的峰值；Tav：平均停留时间；Vdead：死区体积分数；Vplug：活塞区比例；Vmix：混合区比例。优化后，流场内的紊流区减少，中间包内钢液下渣情况有明显好转。

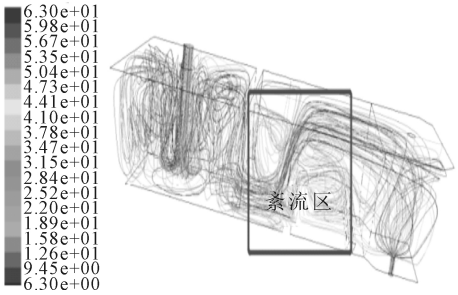

图 3 优化前紊流区域
Fig.3 Turbulence area before optimization

3.4 操作方法改进

改进后的操作方法：①浇次开浇前检查好各路氩气压力及连接处是否有漏气未拧严情况，长水口一次套正，避免石棉垫圈破损，一旦破损要及时更换；②连浇时长水口要插入钢液面内，根据中间包吨位合理控制，不要在液面以上开浇；③取样时插入要果断，避免刚插入时取样器头部融化后吸入空气；插入后手要稳，可以借助包盖边缘支撑住取样器，避免左右摇摆；④取样后覆盖剂补加要及时，取样间隔稍微长一点；遇冲击区翻钢花时，氩气可以减小，但不要完全关闭，反复多加覆盖剂，并适当提升中间包液位；⑤覆盖剂结壳一定要用保护渣泡开，连浇时可以用长水口压开，取样区结壳要先解决结壳再取样；⑥浇注过程渣棉要覆盖好，有破损及时更换；⑦取样器使用前要检查好，不要把头部冲地面存放；⑧及时关注下渣情况，渣子太多应及时排除在取样。

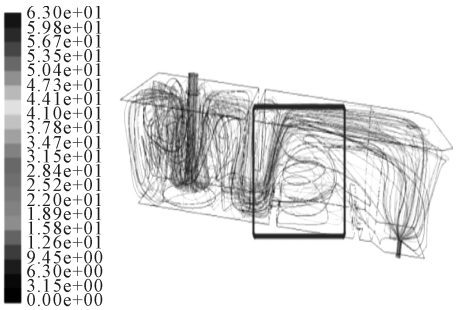

图 4 优化后紊流区域
Fig.4 Turbulence area after optimization

4 结论

采用保护浇注技术，大大减轻了钢液的氧化程度，提高了钢液质量。

(1)提高钢包自开率，使其对钢液的影响降为最低。

(2)合理的钢包长水口保护浇注方式可有效降低钢液吸氧量、吸氮量。

(3)对中间包采取加盖、预吹氩气、采用定氧仪检测、优化挡墙挡坝等措施，保护浇注效果不断提升，目前铸机铝损、铝比合格率均在98%以上。

参考文献：

[1] 蔡开科. 连铸技术发展[J]. 山东冶金，2004，26(1)：1-5.
[2] 李全，王欢，朱荣，等. 二氧化碳作为连铸保护气体的试验研究[J]. 连铸，2015，40(2)：5-9.

（下转第 230 页）

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

[J]. Scripta Materialia 2012, 66: 1034-1039.

[27] SONG S W, LEE J H, LEE H J, et al. Enhancing high-cycle fatigue properties of cold-drawn Fe-Mn-C TWIP steels [J]. International Journal of Fatigue 2016, 85: 57-64.

[28] WANG B, ZHANG P, DUAN Q Q, et al. High-cycle fatigue properties and damage mechanisms of pre-strained Fe-30Mn-0.9C twinning-induced plasticity steel [J]. Materials Science and Engineering A 2017, 679: 258-271.

[29] WANG B, ZHANG Z J, SHAO C W, et al. Improving the High-Cycle Fatigue Lives of Fe-30Mn-0.9C Twinning Induced Plasticity Steel Through Pre-straining[J]. Metallurgical and Materials Transactions A, 2015, 46: 2015-3317.

[30] SHAO C W, WANG Q, ZHANG P, et al. Improving the high-cycle fatigue properties of twinning-induced plasticity steel by a novel surface treatment process [J]. Materials Science and Engineering A, 2019, 740: 28-33.

[31] SHAO C W, ZHANG P, WANG X G, et al. High-cycle fatigue behavior of TWIP steel with graded grains: breaking the rule of mixture [J]. Materials Research Letters, 2019, 7: 26.

[32] CORNETTE D, CUGY P, HIDENBRAND A, et al. Ultra high strength FeMn TWIP steels for automotive safety parts [J]. Rev. Met. Paris, 2005, 102: 905.

[33] GUO P, QIQN L, MENG J, et al. Low-cycle fatigue behavior of a high manganese austenitic twin-induced plasticity steel[J]. Materials Science and Engineering A, 2013, 584: 133-142.

[34] 郭鹏程,钱立和,孟江英,等. 高锰奥氏体 TWIP 钢的单向拉伸与拉压循环变形行为[J]. 金属学报, 2014, 50(4): 415-422.

[35] NIENDORF T, LOTZE C, CANADINC D, et al. The role of monotonic pre-deformation on the fatigue performance of a high-manganese austenitic TWIP steel [J]. Materials Science and Engineering A, 2009, 499: 518-524.

[36] LAMBERS H, RÜSING C J, NIENDORF T, et al. On the low-cycle fatigue response of pre-strained austenitic Fe61Mn24Ni6.5Cr8.5 alloy showing TWIP effect [J]. International Journal of Fatigue 2012, 40: 51-60.

[37] ALLAIN S, CHATEAU J P, BOUAZIZ O, et al. Correlations between the calculated stacking fault energy and the plasticity mechanisms in Fe-Mn-C alloys [J]. Materials Science and Engineering A, 2004, 387-389: 158-162.

[38] DUMAY A, CHATEAU J P, ALLAIN S, et al. Influence of addition elements on the stacking-fault energy and mechanical properties of an austenitic Fe-Mn-C steel[J]. Materials Science and Engineering A, 2008, 483-484: 184-187.

[39] LIU S, QIAN L, MENG J, et al. On the more persistently-enhanced strain hardening in carbon-increased Fe-Mn-C twinning-induced plasticity steel [J]. Materials Science and Engineering A, 2015, 639: 425-430.

[40] LIU S, QIAN L, MENG J, et al. Simultaneously increasing both strength and ductility of Fe-Mn-C twinning-induced plasticity steel via Cr/Mo alloying[J]. Scripta Materialia, 2017, 127: 10-14.

[41] SHAO C W, ZHANG P, LIU R, et al. Low-cycle and extremely-low-cycle fatigue behaviors of high-Mn austenitic TRIP/TWIP alloys: Property evaluation, damage mechanisms and life prediction[J]. Acta Materialia 2016, 103: 781-795.

[42] SHAO C W, ZHANG P, LIU R, et al. A remarkable improvement of low-cycle fatigue resistance of high-Mn austenitic TWIP alloys with similar tensile properties: Importance of slip mode [J]. Acta Materialia 2016, 118: 196-212.

[43] NIKULIN I, SAWAGUCHI T, TSUZAKI K. Effect of alloying composition on low-cycle fatigue properties and microstructure of Fe-30Mn-(6-x)Si-xAl TRIP/TWIP alloys[J]. Materials Science and Engineering A 2013, 587: 192-200.

[44] NIENDORF T, RUBITSCHEK F, MAIER H J, et al. Fatigue crack growth-Microstructure relationships in a high-manganese austenitic TWIP steel [J]. Materials Science and Engineering A, 2010, 527: 2412-2417.

[45] MA P, QIQN L, MENG J, et al. Fatigue crack growth behavior of a coarse- and a fine-grained high manganese austenitic twin-induced plasticity steel[J]. Materials Science and Engineering A 2014, 605: 160-166.

[46] 沈洁, 马鹏辉. 孪晶诱发塑性钢的疲劳裂纹扩展行为研究[J]. 甘肃科技纵横, 2018, 47(12): 24-26.

[47] MA P, QIAN L, MENG J, et al. Influence of Al on the fatigue crack growth behavior of Fe-22Mn- (3Al)-0.6C TWIP steels[J]. Materials Science and Engineering A 2015: 645: 136-141.

[48] WANG B, ZHANG P, DUAN Q Q, et al. Synchronously improved fatigue strength and fatigue crack growth resistance in twinning induced plasticity steels [J]. Materials Science and Engineering A, 2018, 711: 533-542.

(上接第 222 页)

[3] 陆军. 加强连铸保护浇注的生产实践[J]. 连铸,2005(6):15-16.

[4] 王欢,唐萍,文光华,等. 碳质材料对结晶器保护渣熔融特性的影响[J]. 钢铁研究学报,2010,22(8):17-21.

[5] 林功文, 郭培民. 保护渣向超低碳钢液增碳的原因及数学分析[J]. 钢铁研究学报,2001(6):15-18.

[6] 陈天明,杨素波,王谦,等. IF 钢用连铸保护渣研制[J]. 炼钢,2009,25(01):66-69.

[7] 姜茂发,任子平,刘承军. BN 对 IF 钢连铸结晶器保护渣理化性能的影响[J]. 连铸,2006(5):40-42.

[8] 刘耀辉,牛永青,张志克,等. CSP 连铸机钢液净化及保护浇注工艺的优化[J]. 连铸,2010(5): 25-28.

(C)1994-2022 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net