DOI：10.16410/j.issn1000-8365.2021.05.021

薄板坯连铸增碳行为研究

石树东，高宠光，张虎成
（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：连铸过程增碳会对板坯质量造成影响，碳质量分数超标会造成产品降级，成材率低。分析了薄板坯连铸过程增碳相关因素及行为。结果表明，在连铸浇注过程中，中包覆盖剂和保护渣对增碳起主要的作用。生产过程中应对中包覆盖剂和保护渣的碳质量分数以及浇注过程中液面波动进行控制。

关键词：薄板坯连铸；增碳；覆盖剂；保护渣
中图分类号：TF777　　文献标识码：A　　文章编号：1000-8365（2021）05-0420-03

Study on Carburizing Behavior of Thin Slab Continuous Casting

SHI Shudong, GAO Chongguang, ZHANG Hucheng
(Department of Steel Rolling, Shougang Jingtang Iron & Steel Co., Ltd., Tangshan 063200, China)

Abstract: Carburization in continuous casting process will affect the quality of slabs. Excessive carbon content will result in product degradation and low yield of finished products. The related factors and behaviors of recarburization in the process of thin slab continuous casting were analyzed. The results show that in the process of continuous casting, the coating agent and the protective slag play a major role in the carburization. In the production process, the carbon mass fraction of the coating agent and the protective slag and the fluctuation of the molten metal level in the pouring process should be controlled.

Key words: thin slab continuous casting; carbon increase; covering agent; protecting slag

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在工艺技术和产品品种、质量控制方面有了较大的进步。

目前，首钢京唐公司 MCCR 生产线工艺流程为 KR 脱硫–转炉–LF 精炼–连铸，为传统的长流程生产方式，通过转炉–精炼工序可以把碳含量控制在一个较理想的范围。但在钢液浇铸的过程中，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存在的碳有较大概率会进入到钢液中，使钢液中的碳含量增加。如果增碳量过大，则会导致最终的产品成分超过判定范围，后果严重。如，产品改判、降低级别，影响成材率，从而对工艺稳定性和生产周期、成本带来不小的影响。因此，在生产过程中需严格控制各个环节，特别是控制连铸增碳和使用无碳耐火材料意义重大。

收稿日期：2021-02-27

作者简介：石树东（1978—），内蒙古化德人，工学硕士，工程师，主要从事炼钢生产工艺的研究方面的工作。
电话：15832555201，Email：ssdstar_2000@163.com

1　增碳现状分析

表 1 为各工序平均碳质量分数，从中看出，精炼结束到连铸中间包增碳量平均为 4×10^{-6}，中间包到铸坯之间增碳量为 2×10^{-6}。因此，连铸过程的增碳主要集中在精炼结束到中间包这个阶段。

表 1 各工序碳质量分数平均值（%）
Tab.1 Average carbon mass fraction of each process

精炼结束	中包取样	板坯
0.173	0.177	0.179

2　连铸增碳原因分析

2.1　中包覆盖剂的影响

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，杜绝二次氧化的作用。中包覆盖剂中的碳能起到骨架和控制覆盖剂融化速度的作用。在浇注过程中，中包覆盖剂与钢液接触，接触面积大且接触面活跃。因此，中包覆盖剂中的碳比较容易进入到钢液中。这种情况在连浇第一炉时情况尤为明显，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，中包覆盖剂加入量过多，也是增碳量较大的另

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

一个重要原因。

2.2　中间包耐材的影响

中间包耐火材料分为工作层、永久层和保温层。在开浇前需要对中间包进行烘烤，以防止钢液进入中间包时造成工作层坍塌，为了满足中包长寿命和洁净度的要求，中间包用耐火材料的选材颇为重要。

目前，中间包工作层材质主要为镁质干式料，干式料直接与钢液接触，工作层的碳质量分数、耐侵蚀程度以及含碳杂质量对增碳也有一定影响。

2.3　引流砂的影响

在大包开浇之前，会在大包下水口中放入引流砂，以便在开浇后钢液能顺利流入中间包内。目前，在浇注低碳和中碳钢时都采用同一种引流砂，同为Cr质引流砂。目前，每炉加入60 kg引流砂，含碳量小于1%，因此，引流砂对增碳的影响可以忽略不计。

2.4　保护渣的影响

保护渣在浇注过程中主要起到控制传热和保证润滑的作用，这与保护渣中碳的种类以及碳的颗粒大小有关，保护渣中碳颗粒越细小，融化速度越快[1]，但是保护渣中的碳也会造成钢液增碳。研究发现，由于结晶器内钢液或多或少的都会存在液面波动情况，因此保护渣对钢液的增碳效果不能完全去除，只能尽可能减少钢液的增碳[2]。考虑到生产成本问题，目前还是普遍采用含碳保护渣而非无碳保护渣[3-4]。

中包钢液到达一定重量后，塞棒打开，钢液进入到结晶器中，当钢液位超过浸入式水口下沿时加入开浇渣，之后开始加保护渣。保护渣与钢液接触后迅速熔化，会形成3层结构，从上到下依次为粉渣层、烧结层和液渣层。

液渣层中含碳量很少，大约0.1%～0.2%，液渣层的形成与钢液温度和保护渣碱度有关。在液渣层的形成过程中，由于碳颗粒密度小于液态保护渣密度，保护渣中的碳上浮到液渣层表面，聚集在液渣层与烧结层中间，形成一层富碳层，富碳层中碳含量与保护渣中碳质量分数成正比，保护渣中碳质量分数越高，富碳层碳质量分数就越大，最高可达到初始含碳量的2~5倍[5]。当结晶器内钢液面波动较大时，液渣层对富碳层的阻隔作用减弱或消失，富碳层与钢液直接接触，导致钢液增碳[6-8]。

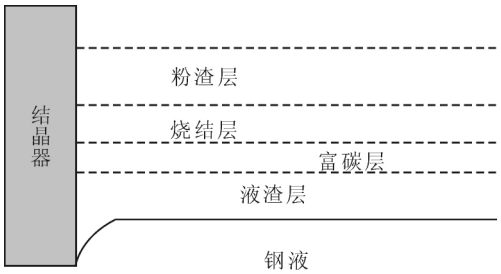


图1　保护渣分层示意图

Fig.1　Schematic stratification of protective slag

3　减少连铸增碳措施

3.1　原料辅料改进

在不影响原料性能的前提下，尽可能降低中包覆盖剂和保护渣中的碳含量。①为适应生产超低碳钢种需求，开发了无碳中间包覆盖剂，配套使用过程中能有效控制钢液增碳；②生产常规低碳类钢种和中碳类钢种时配套使用低碳覆盖剂，覆盖剂中全碳含量控制在30%以内；③为控制保护渣碳富集对低碳类钢种增碳的影响，将保护渣中全碳含量控制在5.2%以内，通过Li_2O成分优化保护渣熔化特性。

由于碳在中包耐火材料中起骨架以及黏合作用，碳质量分数过低会引起中间包工作层塌陷，因此，对于中间包用耐火材料而言，不能简单地进行降碳处理，需要对干式料的材料结果以及组成进行重新选择，以消除碳质量分数过低带来的中间包塌陷影响。

3.2　加料方式改进

对中间包覆盖剂加入方式的改进措施：

(1)对于开浇第一炉，当中间包内钢液液面超过挡渣墙后，加入100 kg左右中包覆盖剂。当中包内钢液面到达大包长水口下沿时，继续加入300 kg左右覆盖剂。开浇第一炉次中包覆盖剂总量不大于700 kg。

(2)对于连续浇注炉次而言，所加入的中包覆盖剂数量根据中包内钢液的重量实时加入，原则上保证覆盖剂能完全覆盖钢液即可，每炉不超过100 kg。

(3)要平稳均匀有序的加入中包覆盖剂，最大限度的减少投料带来的钢液液面波动。

对结晶器内加保护渣操作改进的措施：

(1)优先选择用自动加渣机进行加料，从而减少人工加入的不均匀性和对液面波动造成的影响；当必须采用人工加入保护渣时，要采用环形布料的方式均匀地加入，每次加入的渣量不宜过大，少量多批次持续加入。

(2)当铸机拉速超过3.5 m/min时，应采用EMBR结晶器电磁制动技术。实践证明，电磁制动能有效减少结晶器内钢液液位的波动，从而有效控制钢液卷渣带来的增碳效应。

4　结论

(1)连铸用原辅材料对于钢液增碳有很大影

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

响，应有效控制中间包覆盖剂所含碳元素的质量分数，并采取合理的中包覆盖剂和保护渣的加料方式。

（2）采用结晶器电磁制动制动技术能有效减少钢液液面波动，从而能有效控制结晶器内钢液增碳。

参考文献：

[1] 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.

[2] 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，2001，12(6): 15-18.

[3] 陈天明，杨素波，王谦，等. IF 钢用连铸保护渣研制[J]. 炼钢，2009，25(1): 66-69.

[4] 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，2006，31(5): 40-42.

[5] 林功文，吴杰，李正邦，等. 超低碳钢结晶器用保护渣富集碳层的研究[J]. 特殊钢，2001(1): 6-8.

[6] 雷志亮，张东栋，梅峰，等. 超低碳保护渣控制钢液增碳的研究[J]. 连铸，2018，43(5): 49-53.

[7] 吴杰，李正邦，林功文. 连铸钢液增碳机理的研究 [J]. 连铸，2001，26(2): 1-3.

[8] 茅洪祥，吴杰，胡汉涛. 连铸坯增碳机理及其对策[J]. 连铸，1998，23(4): 7-10.

海纳百川终破浪，厚积薄发在此时

——福建省中德顺机械集团有限公司招募令

福建省中德顺机械集团有限公司（简称 ZDS），是一家以机械、铸件制造、配件生产、机械钢结构件产品生产、进出口贸易等多种产业链经营发展的集团股份公司，年产铸件 10 万吨，拥有 30 余人的专业技术团队。公司位于福建四大名镇之一的晋江市安海镇，2000 年元月成立。占地 200 多亩，厂房 6 万 m^2，总投资约两亿人民币，员工 300 多人。

福建省中德顺机械集团有限公司目前拥有晋江市中德顺机械有限公司、福建中德顺机械铸造有限公司、晋江市中德顺钢结构件工程发展有限公司、晋江市中德顺机械销售中心有限责任公司、三明市中德顺机械有限公司 5 家全资子公司。集团公司重视企业发展和产品质量，2003 年获得 ISO9001:2008 质量体系证书和 ISO14001:2004 环境管理体系认证证书。自成立以来“中德顺”商标被认定为“福建省著名商标及泉州市知名商标”，被福建省工商管理局、泉州市人民政府、晋江市人民政府授予“守合同 重信用”单位等荣誉称号。二十余年的创新发展，使福建省中德顺机械集团有限公司取得了巨大的进步和飞跃。中德顺集团的自动化造型线系统为企业节约了生产成本，提高效率并缩短了制造周期，使国际上一些知名企业纷纷主动与我公司合作。每一份荣誉都是一种认可，每前进一步都凝聚着中德顺人的汗水和责任，收获这一份份的荣誉和进步，中德顺人唯有秉持好品质，以提高客户的满意度为己任，才能创造更辉煌的未来。

海纳百川，唯才是举，给人才更多机会，给梦想更大舞台。中德顺集团现招聘以下岗位：

一、机械设计：1 名

要求：1、大专以上学历，1 年以上相关工作经验。2、精通 CAD、solidworks 等设计软件的应用。3、具有较高的知识层次，勇于创新。4、具备扎实的机械设计及工艺知识。5、具有团队荣誉感，敬业，有责任心。6、英语四级以上，听、说、写能力强。

二、专业铸造管理人员和机加工管理人员：数名

要求：有相关工作经验优先录用。

三、铸件清理打磨：数名

要求：有相关工作经验优先录用。

四、福利待遇：

1. 员工发展：公司十分重视人才的培养，并为有潜力的员工提供广阔的晋升发展空间。

2. 订单常年稳定，没有淡季，员工收入稳定，工资日 100%准时发放，绝不拖欠。

3. 宿舍楼在厂区里，环境优美、宽敞明亮、方便。独立洗手间、阳台、热水器等。

4. 公司配有夫妻房，配备食堂，伙食水平较高。

5. 春节享受返厂交通费、工龄奖、保险等福利。

6. 各种带薪假期：法定节假日、婚假、产假、丧假、带薪休假。

7. 子女入学：与市相关部门协调解决员工子女入学难问题，解除员工后顾之忧。

中德顺集团的飞速发展，期待您的加入！有意者请致电公司咨询并预约面试时间。

联系人：杨先生

联系电话：15377981267

2021 年 4 月 1 日

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