

方坯连铸过程中拉速波动对结晶器液面波动影响的研究

佐祥均¹ 张立峰²

(1 中冶赛迪工程技术股份公司连铸事业部,重庆 400013; 2 美国密苏里科技大学,材料科学与工程系)

摘要 通过从现场 S20C 中碳钢小方坯 24 h 连铸生产的结晶器液面波动和拉速波动数据,绘制了结晶器液面即时位置、液面波动曲线和拉速波动曲线,并用薄片测量了结晶器液渣层的厚度和形状。讨论了拉速波动对结晶器液面波动的影响。结果表明,结晶器液面波动随拉速的增加或降低而变剧烈,拉速变化在一定程度上影响了结晶器液面波动,但不是惟一的影响因素。

关键词 结晶器液面波动 连铸 拉速 波动

A Study on Effect of Casting Speed Fluctuation on Fluctuation of Liquid Level in Mold during Billet Concasting Process

Zuo Xiangjun¹ and Zhang Lifeng²

[1 MCC, CISDI, Chongqing 400013; 2 Dept of Materials Science & Engineering, Missouri University of Science & Technology (MS & T)]

Abstract Based on the data of fluctuation of liquid level in mold and casting speed fluctuation during concasting process of billet of S20C medium carbon steel for 24 h, the curves of instantaneous position and fluctuation of liquid level in mold and the curves of fluctuation of casting speed have been plotted, and the thickness and shape of slag layer in mold are measured by a thin steel sheet. The effect of casting speed fluctuation on fluctuation of liquid level in mold is discussed. Results show that with increasing and decreasing casting speed the fluctuation of liquid level in mold becomes more violent, to a certain extent the casting speed fluctuation influences the fluctuation of liquid level in mold but not only one factor.

Material Index Fluctuation of Liquid Level in Mold, Concasting, Casting Speed, Fluctuation

钢液表面波动过于剧烈,会产生卷渣等缺陷;自由表面波动过于平静,熔渣不易起到吸渣及润滑等作用,所以必须将液面波动控制在一定范围内。另外,结晶器液面波动会影响传热、铸坯表面的振痕、铸坯皮下的凝固沟的形成、漏钢等现象,对钢水清洁度有直接的影响^[1~4]。

1 结晶器液面波动

1.1 即时结晶器液面位置

目前石钢方坯断面尺寸主要为(mm):150×150、280×320、300×360、180×220、220×300 几种。本文针对 150 mm×150 mm 五流方坯连铸机第 2 流结晶器液面波动和拉速数据进行了搜集、整理和分析。生产工艺为:转炉→LF→小方坯连铸,浇铸钢种为优碳钢(S20C 中碳钢),转炉钢水容量 55 t,中间包容量为 10 t。钢包铝脱氧并 LF 喂钙线处理。浇铸过程为水口保护浇铸。以当日 0 点为起点(Cast time = 0 min),每 2 s 自动记录一个结晶器液位数据,分析了 24 h 的数据。图 1(a)提供的直接信息是:在换钢包的时刻液面位置变化较大,同时图 1(a)也说明了在不换钢包的时候也有液面位置变

化较大的情况,这和现场的操作管理有关。有时候也会因为出现了警报,必须调整液面位置。

1.2 结晶器液面波动定义

很多冶金工作者都把即时液面位置数据直接称之为液面波动,这不够准确。因为此数据只是表明检测点的液面位置在一个基础上随时间的变化(即时位置)。真正的液面波动应该定义如下:

$$\Delta l = l_t - \bar{l} \quad (1)$$

式中: Δl - 结晶器液面波动距离/mm; l_t - 结晶器液面即时位置/mm; \bar{l} - 结晶器液面平均位置/mm。

液面平均位置是对每 40 s 内的液面即时位置做了一个平均,液面即时位置在液面平均位置上下随时间而波动,然后通过公式(1)可以计算出真正的液面波动值。

1.3 结晶器液面波动分布

由图 1(b)可见,个别换钢包的时刻,液面波动较大。除个别水口关闭期间之外,液面波动一般都在±35 mm 以内。对于板坯连铸,液面波动±5 mm 以内就可能引起严重的卷渣及其他缺陷。因此,小方坯连铸过程的液面波动也应该控制在液面波动

± 10 mm 以内。

对图 1(b) 做了进一步的分析整理,如图 2 所示。分析表明,78% 的浇铸时间内的液面波动 < 10 mm。但大多数卷渣引起的缺陷都是由于另外的 22% 的 ≥ 10 mm 的液面波动引起的。例如,10 ~ 20 mm 和 20 ~ 30 mm 的液面波动分别占 21.66% 和 3.65%,一天 24 h 内,就分别会有大约 311.9 min 和 52.56 min 的时间里液面波动为 20 ~ 30 mm 和 30 ~ 40 mm。也就是说不只是换钢包时候出现较大的液面波动,正常浇铸条件下,液面控制不好也会出现严重的液面波动。相反,有些在换钢包期间,液面控制不比正常浇铸期间差。

2 液渣层厚度和形状

在浇铸过程中,结晶器上表面液渣层的行为直接影响着结晶器的润滑和传热现象^[5]。在本试验中用铁板测量了液渣层的厚度和形状。第 2 流第 1 包浇铸一半时,液渣层厚度基本在 5 mm 左右,形状比较平整。第 1 流第 3 包快浇完时,液渣层厚度在 6 ~ 8 mm,但形状扭曲不平整,这主要是由于 1 包浇铸快终了时,结晶器内流动状态复杂不对称引起。有的地方液渣很薄,仅仅 2 ~ 3 mm。如此剧烈的液面波动在很大程度上会影响传热,产生铸坯表面的振痕、铸坯皮下的凝固沟的形成、漏钢等现象,从而对钢水清洁度有直接的影响。

3 拉速分析

3.1 即时拉速

由图 3(a) 可见,除水口关闭期间拉速降低到 0 之外,其余时间拉速在 1.75 ~ 2.45 m/min。国际上同样的小方坯铸机的拉速为 2.5 m/min 以上。拉速过大,除造成凝固缺陷、漏钢之外,还可能使夹杂物没有充裕的时间上浮去除,以及引起卷渣等。拉速的变化有时候比较大,比如浇铸时间在 960 ~ 970 min 时,拉速突然

由 2.15 m/min 升高到 2.25 m/min。浇铸过程中突然提升拉速是很危险的,因为拉速突然变化,使得水口和结晶器内的流动状态发生急聚的变化,也可能引起液面突然升高或者降低,甚至更容易引起水口结瘤物脱落。

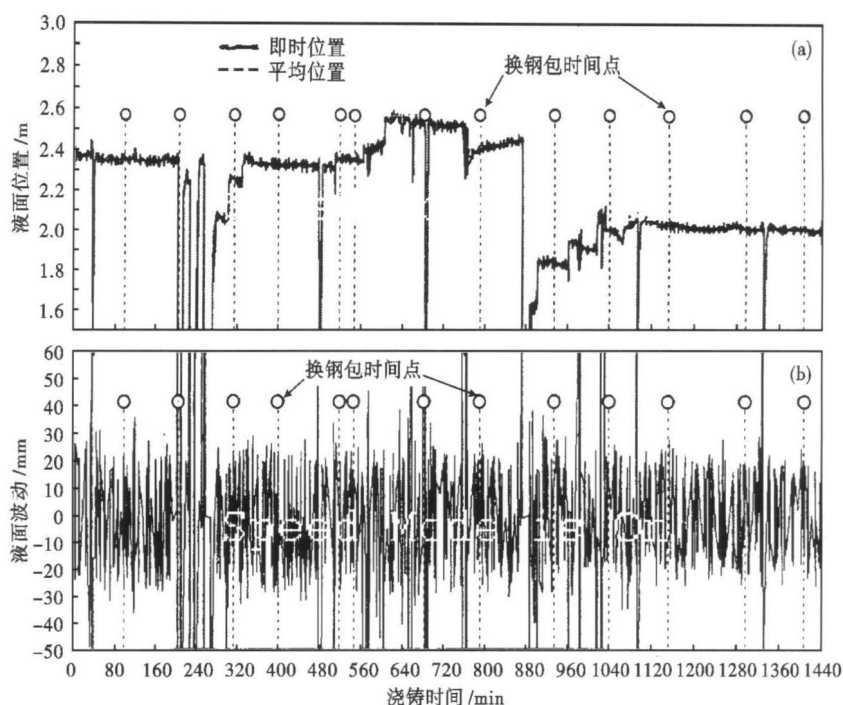


图 1 结晶器液面即时位置(a)和波动(b)曲线

Fig. 1 Curves of instantaneous position (a) and fluctuation (b) of liquid level in mold

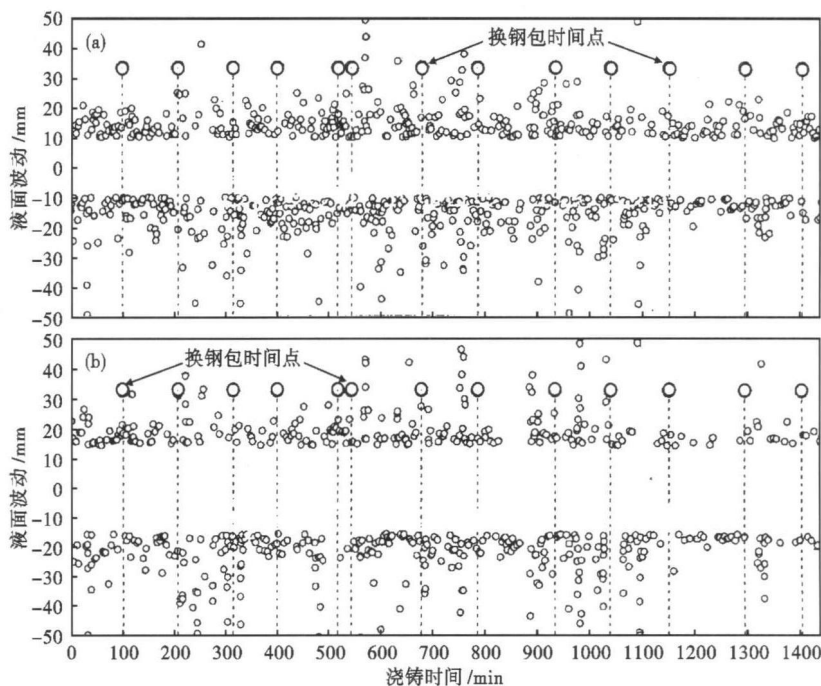


图 2 (a) ≥ 10 mm 和 (b) ≥ 15 mm 液面波动的时间点分布

Fig. 2 Distribution of time point of liquid level fluctuation with ≥ 10 mm (a) and ≥ 15 mm (b)

3.2 拉速波动

图3(a)显示了拉速和平均拉速的关系,类似地可以用式(2)计算拉速波动:

$$\Delta u = u_i - \bar{u} \quad (2)$$

式中: Δu -拉速波动/($m \cdot min^{-1}$);
 u_i -即时拉速/($m \cdot min^{-1}$); \bar{u} -平均拉速/($m \cdot min^{-1}$)。

从图3(b)可见,拉速的波动范围主要在 $\pm 40 mm/min$ 之间,且拉速波动和换钢包无明显关系,所有的浇铸期间都有拉速波动的问题。1000 min以后拉速突然增加到2.4 m/min左右,这时候拉速波动也更为剧烈。

3.3 拉速与结晶器液面波动的关系

非稳态浇铸条件除了指开浇、换钢包以及浇铸终了阶段外,也指

正常浇铸条件下的某些浇铸参数的波动。无论液面波动还是拉速波动都是该种非稳态浇铸的一部分。从拉速随时间波动的曲线可以看出,即使是在非换包的正常浇铸时期,拉速的波动也是比较大的。随着拉速的增大,液面波动的总体趋势也在增加。因为,在同一个结晶器宽度下,拉速增大,流股流出水口侧孔的速度和流量增加,流股对结晶器窄面的冲击力也就增大,流股沿窄面向上流动的速度增大,从而导致结晶器液面的表面流动加剧,加剧了结晶器内流体的扰动趋势。

从图4可见,结晶器液面波动在拉速不变时其

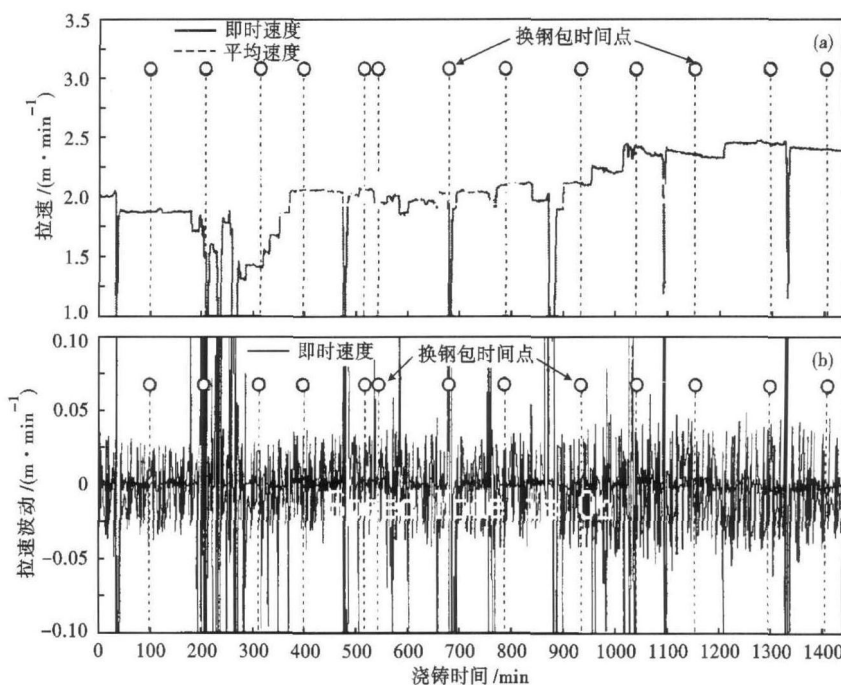


图3 浇铸过程中拉速(a)和拉速波动(b)曲线

Fig.3 Curves of casting speed (a) and fluctuation of casting speed (b) in casting process

波动振幅基本上是一致的;但当拉速突然增大或降低时,结晶器液面波动的振幅也会突然增大。除了拉速波动对结晶器液面波动存在影响以外,如连铸操作、水口结瘤等也是引起结晶器液面波动主要原因。

4 结论

(1)液渣层厚度和形状的测量显示结晶器液面波动极为剧烈,结晶器内流动状态复杂不对称。

(2)拉速波动是引起结晶器液面波动原因之一,其随拉速的增加或降低而变剧烈。

(3)拉速对结晶器液面波动产生一定程度的影响,诸如连铸操作、水口结瘤等也是引起结晶器液面波动的主要原因。

参考文献

- 1 谭利坚,沈厚发,柳百成,等.连铸结晶器液面波动的数值模拟.金属学报,2003,39(4):435
- 2 Iguchi M, Yoshida J, Shimzu T, et al. Model Study on the Entrapment of Mold Powder into Molten Steel. ISIJ International, 2000, 40(7):685
- 3 Yoon U S, Bang I W. Analysis of Mold Level Hunching by Unsteady Bulging during Thin Slab Casting. ISIJ International, 2002, 42(10):1103
- 4 陆巧彤,杨荣光,王新华,等.板坯连铸结晶器内液面波动的水模型研究.包头钢铁学院学报,2006,25(1):13
- 5 Barron M A, Aguilar R, Gonzalez J, et al. Mold-based Control of Mold Level in a Continuous Steel Caster under Model Uncertainties. Control Engineering Practice, 1998(6):6191

佐祥均(1980-),男,硕士,工程师,冶炼、连铸、冶金环保研究。该文为硕士研究生期间在张立峰教授指导下完成。

收稿日期:2010-12-06

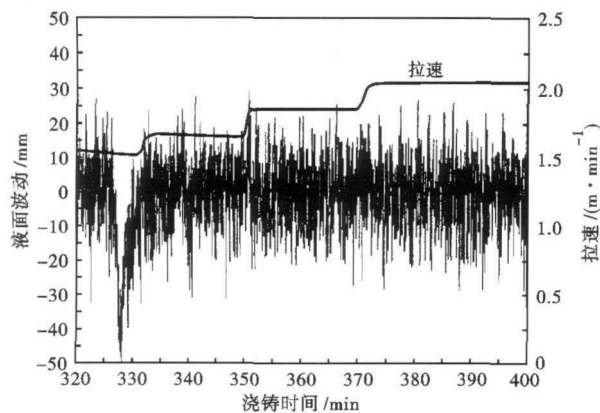


图4 结晶器液面波动和拉速之间的关系

Fig.4 Relation between fluctuation of liquid level in mold and casting speed