

## 重轨钢铸坯热装影响因素分析和数值模拟

李 峰<sup>1</sup> 史凤武<sup>1</sup> 董 珍<sup>1</sup> 刘 平<sup>1</sup> 陈爱梅<sup>1</sup> 兰月光<sup>2</sup>

(包头钢铁集团公司,1 技术中心,2 炼钢厂,包头 014010)

**摘 要** 采用有限差分法建立了钢水从结晶器至二冷区和空冷区冷却过程以及 280 mm × 380 mm 连铸坯热装热送的温度模型,并分析了重轨钢 U71Mn( % : 0.66 ~ 0.76C, 0.15 ~ 0.35Si, 1.10 ~ 1.40Mn) 和 U75V( % : 0.70 ~ 0.78C, 0.50 ~ 0.70Si, 0.75 ~ 1.05Mn, 0.04 ~ 0.08V) 中的氧、氮含量、铸坯低倍组织和加热炉入口处铸坯输送辊道等对该钢热装的影响。模拟结果表明,重轨钢铸坯热装可缩短加热时间 40 min,铸坯输送辊道的工作温度为 250 °C。

**关键词** 重轨铸坯 热装 数值模拟

## Affecting Factors Analysis and Numerical Simulation for Hot Charging of Cast Bloom of Heavy Rail Steel

Li Feng<sup>1</sup>, Shi Fengwu<sup>1</sup>, Dong Zhen<sup>1</sup>, Liu Ping<sup>1</sup>, Chen Aimei<sup>1</sup> and Lan Yueguang<sup>2</sup>

(1 Technology Center, 2 Steelmaking Plant, Baotou Iron and Steel Group Corp, Baotou 014010)

**Abstract** The models for temperature of hot delivery and charging of 280 mm × 380 mm cast bloom and liquid steel cooling from mold to secondary cooling area and air cooling area have been established and the effect of oxygen and nitrogen content in heavy rail steels U71Mn( % : 0.66 ~ 0.76C, 0.15 ~ 0.35Si, 1.10 ~ 1.40Mn) and U75V( % : 0.70 ~ 0.78C, 0.50 ~ 0.70Si, 0.75 ~ 1.05Mn, 0.04 ~ 0.08V), cast bloom microstructure and bloom transport roller at inlet of reheating furnace on hot charging of bloom was analyzed by definite difference method. Simulation results show that the reheating time for cast bloom of heavy rail steel is saved by 40 min, and the service temperature of bloom transport roller is 250 °C.

**Material Index** Cast Bloom for Heavy Rail, Hot Charging, Numerical Simulation

包钢 5<sup>#</sup>连铸机于 2006 年 11 月份投产,主要生产重轨钢。由于厂地面积限制,该铸机在设计时只有 3 个垛位。因此要求铸机生产出的铸坯应及时运走,客观上使大部分铸坯热送成为必然。

### 1 重轨钢的化学成分及主要生产工艺

包钢生产的重轨钢主要有两种,一种是 U71Mn 钢,另一种是 U75V 钢,其主要的化学成分见表 1。

表 1 重轨钢 U71Mn 和 U75V 的化学成分/%  
Table 1 Chemical compositions of steel U71Mn and U75V for heavy rail / %

钢种	C	Si	Mn	P	S	V
U71Mn	0.66 ~ 0.76	0.15 ~ 0.35	1.10 ~ 1.40	≤ 0.030	≤ 0.030	-
U75V	0.70 ~ 0.78	0.50 ~ 0.70	0.75 ~ 1.05	≤ 0.030	≤ 0.030	0.04 ~ 0.08

重轨钢的主要生产工艺:连铸→铸坯汽车热送→轨梁厂步进式加热炉→轨梁厂万能轧机轧制。

5<sup>#</sup>铸机是 6 机 6 流,断面为 280 mm × 380 mm 的单一断面全弧形连续矫直连铸机,工作拉速为 0.6 ~ 1.0 m/min,其钢包净容量为 100 t,中间包容

量为 40 t。

轨梁厂步进式加热炉全长 45.9 m,铸坯进入加热炉后其加热过程依次为炉尾、预热段、加热二段、加热一段和均热段。

### 2 传热模型的建立

传热的基本方程为傅立叶导热方程,如果将铸坯从结晶器到空冷段的运动看作是一个与铸坯运动方向相垂直的薄片在沿此轨迹运动,则导热方程可用如下的形式表达:

$$\rho C_p \frac{\partial T}{\partial t} = \lambda \left( \frac{\partial^2 T}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 T}{\partial y^2} \right) + S \quad (1)$$

式中:  $T$ - 钢坯的瞬时温度/°C;  $t$ - 加热时间/s;  $\rho$ - 钢坯的密度;  $C$ - 钢坯的比热容;  $\lambda$ - 钢坯的导热系数;  $x$ - 铸坯横截面长边方向/m;  $y$ - 铸坯横截面短边方向/m;  $S$ - 源项。

将该偏微分方程进行离散,可得到相应的差分方程。在合适的边界条件下,运用追赶法对差分方程求解,可得到铸坯横断面各节点的温度值。

将铸坯的热送及加热看作是薄片的移动,则得到热送模型及加热炉内铸坯的加热模型。采用红外

测温枪对铸坯进行了温度的跟踪测量,对模型进行了验证,表明计算结果与实际情况吻合较好。

### 3 重轨钢铸坯热装的预期效果

图1和图2分别为铸坯冷装与实现热装经模型计算的铸坯表面及心部温度随炉温的变化,这里假定炉温为分段线性分布<sup>[1]</sup>。

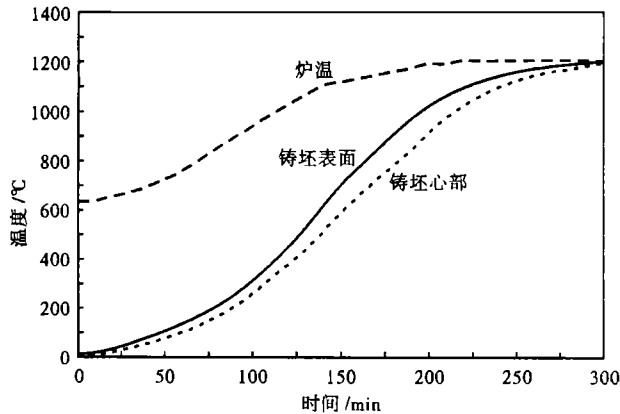


图1 冷坯加热过程中表面与中心温度变化

Fig.1 Change of temperature at surface and center of cold bloom during reheating process

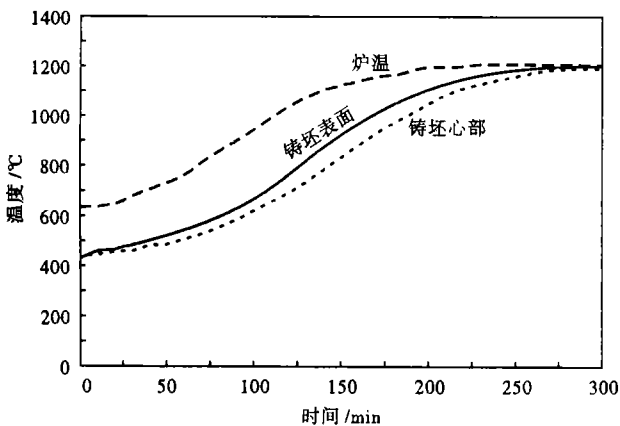


图2 热坯加热过程中表面与中心温度变化

Fig.2 Change of temperature at surface and center of hot bloom during reheating process

由图1和图2可见,要达到相同的出钢条件,热坯所需要的加热时间比冷坯短。模拟计算结果表明:如果热坯在到达轨梁厂2h内装炉,达到相同的出钢条件,则热坯比冷坯可节省时间40min。

### 4 重轨钢铸坯热装的影响因素分析

重轨钢一般要求 $T[O] \leq 30 \times 10^{-6}$ ,内部要求 $[N] \leq 70 \times 10^{-6}$ ,但由于铸坯氧氮试样在24h内得到结果有困难,而如果铸坯进行热装则肯定在24h内已经装炉,所以应对以前生产的铸坯氧氮含量进

行统计,以确定氧氮含量对热装的影响程度。本文对5#铸机2007年3月到7月生产的重轨钢进行了统计,统计结果见表2。

表2 2007年3月~7月生产的重轨钢氧氮含量和低倍组织合格率(N=174)

Table 2 Oxygen and nitrogen content and macrostructure quality rate of heavy rail steel produced from March to July in 2007, N=174

氧含量/ $10^{-6}$	氮含量/ $10^{-6}$	低倍组织/%		
		1级	2级	3级
7.8~29.3	30.5~68.9	97.23	2.48	0.29

由表2可以看出,5#铸机生产的重轨钢,其氧氮含量检测结果都满足要求,即氧氮检测结果不会影响铸坯的热装。

按一般规定,重轨钢铸坯低倍组织出现3级不得装炉。由表2可见,3级所占的比率很小,因此即使将低倍组织出现3级的重轨钢坯热装,其轧制成本也不大。

由于轨梁厂加热炉在设计时未按热装考虑,因此对其台架及支撑辊的耐热程度应进行计算。假定铸坯在到达轨梁厂2h后进行热装,则此时铸坯的表面温度约为450°C。计算表明,经1h后输送辊道的轴承处温度达到稳定状态,其温度为250°C,仍影响辊道润滑油的正常工作以及输送线路的正常工作。可见,只有对现有加热炉输送辊道装备进行耐高温改造后,才能实现铸坯的热装。

### 5 结论

(1)采用有限差分法建立了重轨钢铸坯的热送热装模型。

(2)模拟计算结果表明,实现热装可缩短铸坯加热时间40min。

(3)对影响热装的因素进行了分析,指出加热炉入口处辊道输送装置不能耐高温是实现重轨钢铸坯热装的限制性环节。

#### 参考文献

- 1 沈丙振,周进.热轧步进式加热炉内钢坯温度场数值模拟.冶金能源,2002,21(4):24

李峰(1971-),男,博士,高级工程师,从事炼钢工艺研究与管理。

收稿日期:2008-03-14