

U75V 重轨钢 280 mm × 380 mm 连铸坯加热工艺的试验研究

孙志亮 杭乃勤 李浩进
(武汉科技大学材料与冶金学院, 武汉 430081)

摘要 在钢厂利用 Thermophil STOR 测试系统(黑匣子)进行步进式加热炉内 U75V 重轨钢 280 mm × 380 mm 铸坯加热过程温度跟踪,并用 Origin 软件进行数据处理,得出铸坯加热温度、升温速度、表面与中心温差等曲线。结果表明,铸坯平均加热温度为 1 220 ℃,当在炉时间超过 180 min,应降低均热段控制温度约 20 ℃;炉内水梁对铸坯下表面温度影响较大,应控制均热段下部温度较上部温度高 20 ℃;在目前加热工艺下,重轨铸坯出炉时内外温差(厚度方向)控制在 20 ℃ 以内,铸坯温度在 1 200 ℃ 以上,能满足重轨生产要求。

关键词 U75V 重轨钢 280 mm × 380 mm 连铸坯 步进式加热炉 黑匣子 温度跟踪 数学模型系数

Test and Study on Reheating Process of 280 mm × 380 mm Cast Bloom of Steel U75V for Heavy Rail

Sun Zhiliang, Hang Naiqin and Li Haojin
(College of Materials Science and Metallurgy Engineering, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081)

Abstract The 280 mm × 380 mm cast bloom temperature of steel U75V for heavy rail in walking beam reheating furnace has been traced and measured by using Thermophil STOR measure system (black box) at steel works, and the data are treated by Origin software to get the curves of cast bloom heating temperature, temperature increasing speed and difference of temperature between bloom surface and center etc. Results show that the average heating temperature of cast bloom is 1 220 ℃, as heating time in furnace is more than 180 min, the control temperature in soaking zone should decrease by about 20 ℃; the effect of water-cooling beam in furnace on temperature of bloom bottom surface is obvious, therefore the control temperature of lower section in soaking zone is higher 20 ℃ than that of upper section; at current heating condition, it meets the requirement of heavy rail production that temperature differential between center and surface of finished heating bloom along the thickness direction is less than 20 ℃ and the cast bloom temperature is more than 1 200 ℃.

Material Index Steel U75V for Heavy Rail, 280 mm × 380 mm Cast Bloom, Walking Beam Reheating Furnace, Black Box, Temperature Tracing, Coefficient of Math Model

为提高重轨脱碳层的合格率,目前国内外对重轨钢加热脱碳进行了许多的研究^[1,2],在分析了不同钢种成分、加热时间、加热温度、炉内气氛等对重轨脱碳层的影响因素中,加热温度是较为关键的一个因素^[3],铸坯在加热过程中出现如加热时间过长、燃气热值波动较大、炉气空燃比控制不稳等问题,进而导致重轨产品表面脱碳层超标。

1 实验方案

1.1 测试方法

轧制重轨铸坯时,在实验坯一端距端头 700 mm 处挖出一个 80 mm 凹槽,放置 Thermophil STOR 测试系统(俗称“黑匣子”),其横截面如图 1 所示,同时在方坯两侧用钢板加以固定。然后在铸坯上打测温孔,在每个孔的底部安置一个热电偶,将热电偶连接到测温仪上,同时记录下测温仪接口的通道数所代表的铸坯测温孔的位置。在铸坯加热过程中测温仪随着一同进入加热炉内,按照正常加热工艺进行加

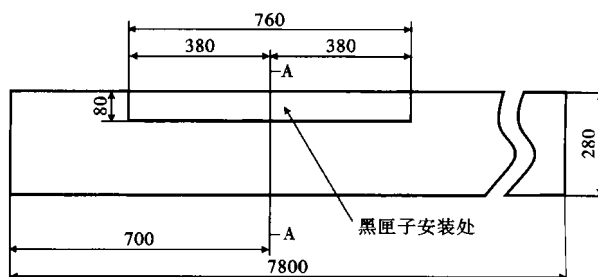


图 1 铸坯挖槽横截面
Fig. 1 Chamfering at cross section of cast bloom

热,待出炉后等箱体温度下降到一定程度,取出测温仪,通过与计算机相连,将测温仪中保存的数据传输到计算机中^[4],用 Origin 软件进行数据处理,绘制出铸坯实际加热温度曲线、铸坯升温速度、铸坯表面与中心的温差、上下炉温曲线、水冷梁处铸坯温度等。

1.2 实验设备

Thermophil STOR 测试系统的技术参数如表 1 所示。加热炉炉温 1 300 ℃,采用 S 型热电偶进行测

表 1 Thermophil STOR 测试系统(黑匣子)参数

Table 1 Parameters of Thermophil STOR measuring system (black box)

项目	内容
组成部件	由高温温度记录仪(型号 SMT-14-64-1250-K)和保温箱组成。
数据输入	通道 12 个,输入类型 K 型或 S 型热电偶,记录仪测温范围 0 ~ 1 600 ℃。
测量精度	测量精度为测温范围的 ±0.5%。
数据记录	写入时间为 0.1 s,测试间隔 0.1 s ~ 24 h,数据存储量为 65 536 个,时间间隔的测试数据,写入时间为每通道 0.1 s。
环境条件	数据记录仪允许操作温度 -30 ~ 85 ℃,最大环境温度 300 ℃。

量,铸坯温度采集使用 WRKK-133 K 型热电偶,金属丝直径 1.0 mm。

1.3 测温点设计

利用黑匣子进行铸坯在炉内温度测试的实验过程中,实验铸坯上要设置 12 个测温点^[5],在每个测温点上要钻一个直径为 Φ8 mm 的小孔,另外还有一个上部炉气温度的检测点,总共 13 个测温点,测温点位置以及钻孔深度如表 2 所示。实验中铸坯上测温点的分布图如图 2 所示。

2 实验材料和过程

实验研究的内容为:(1)跟踪检测铸坯加热过程中,铸坯断面温度的变化曲线,铸坯长度方向温差及炉底水梁的影响;(2)考核加热炉功能,获取加热数学模型数据,优化加热工艺。

本实验所用铸坯为 U75V 连铸坯,其化学成分如表 3 所示。进入加热炉铸坯的断面尺寸为 280 mm × 380 mm,铸坯长 7 800 mm。

现场加热工艺为:(1)加热炉为步进式加热

表 2 铸坯测温点位置以及钻孔深度

Table 2 Location of each measuring point in cast bloom and depth of drilling hole

测温点编号	铸坯测温点位置	钻孔深度/mm
1	宽度方向一号点(轨头面)	140
2	宽度方向二号点(中部偏外)	140
3	宽度方向三号点(中部偏内)	140
4	宽度方向四号点(中心点)	140
5	厚度方向二号点(上部中心)	70
6	厚度方向一号点(上表面)	10
7	铸坯中部下表面	50
8	铸坯中部固定梁	50
9	铸坯中部固定梁 2	50
10	端面中心	10
11	端面上顶角	10
12	厚度方向四号点(下表面)	70
13	上部炉温	0

表 3 U75V 钢连铸坯化学成分 /%

Table 3 Chemical composition of cast bloom of steel U75V /%

C	Si	Mn	P	S	V	Cu
0.71 ~ 0.80	0.50 ~ 0.80	0.70 ~ 1.05	≤ 0.030	≤ 0.030	0.04 ~ 0.12	0.023

炉^[6],其结构图如图 3 所示;(2)步进式加热炉的预热段、加热段使用高炉煤气,均热段使用转炉煤气,实测的燃料成分如表 4 所示^[7];(3)步进式加热炉采用 3 段式加热方法,加热制度如表 5 所示。

3 实验结果与分析

实验铸坯加热过程数据如表 6 所示。实验期间,炉子总装铸坯量共 73 支。

加热炉炉内气体的温度如图 4(a)所示,数据表明炉内气体温度与实际炉温基本吻合。

3.1 加热温度对脱碳层深度的影响

在加热段对钢种 U75V 连铸坯进行加热时,加热温度分别取 900、1 000、1 100、1 200 ℃,保温时间分别为 20、40、60、90 min,得出脱碳层深度与温度的关系如图 4(b)所示。

由实验结果可知:在加热时间一定的情况下,加热温度越高,铸坯试样脱碳层越深;在铸坯温度不变的情况下,保温时间越长,铸坯试样脱碳层越深。并且,当铸坯温度大于 950 ℃时,脱碳层深度随加热温度的升高而显著增加。

根据铸坯加热实验结果,

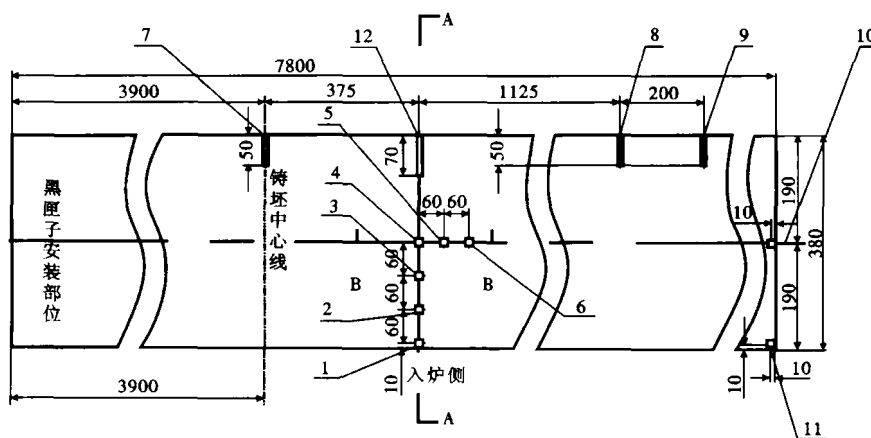


图 2 铸坯测温点分布图

Fig. 2 Distribution of temperature measuring point in cast bloom

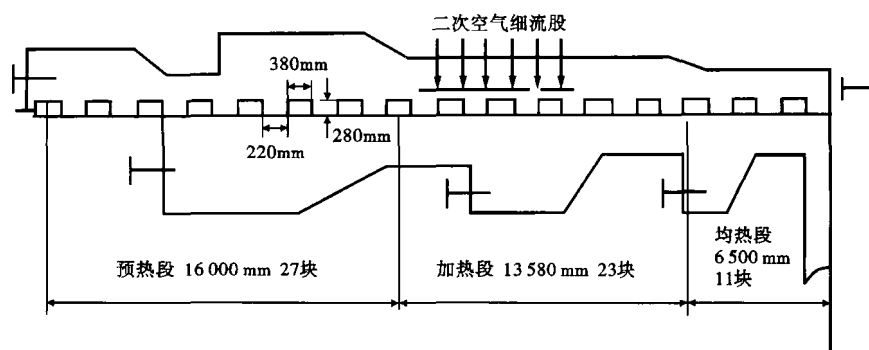


图 3 步进式加热炉结构图

Fig. 3 Construction of walking beam reheating furnace

铸坯加热过程中各部位升温过程如图 5 所示。铸坯出炉时中心温度达到 1 215 ℃,上下表面温差为 20 ℃,上表面与中心温差为 19 ℃;宽度方向内外温差为 11 ℃,其中轨头产生面温度达到 1 229 ℃;长度方向中心与端头温差为 21 ℃,整块铸坯端面温度最高。铸坯加热到 180 min 后,其表面与中心温差在 30 ℃ 以内,宽度方向上内外

表 4 燃料成分和性能

Table 4 Ingredient and performance of fuel

煤气 燃料	成分/%					热值/ (kJ·m ⁻³)	理论空气量/ (m ³ ·m ⁻³)
	CO ₂	O ₂	CO	H ₂	N ₂		
高炉	21.4	0.6	25	2.8	50.2	3 465.2	0.63
转炉	15.4	0.8	54.4	0	29.4	6 881.6	1.26

表 5 步进式加热炉的加热制度

Table 5 Heating scheme of walking beam reheating furnace

项目	预热段	加热段	均热段
上部温度/℃	1 026 ~ 1 046	1 180 ~ 1 250	1 190 ~ 1 270
下部温度/℃	1 052 ~ 1 061	1 202 ~ 1 210	1 190 ~ 1 270
加热时间/min	≥80(44%)	≥68(38%)	≥32(18%)
总时间/min	≥180		

对加热温度制度提出改进:

- ① 设定预热段温度 900 ~ 1 000 ℃,减小铸坯断面内外温差;
- ② 设定加热段温度 1 150 ~ 1 250 ℃,实行铸坯快速加热;
- ③ 设定均热段温度 1 100 ~ 1 200 ℃,适当降低铸坯出炉温度。

3.2 铸坯断面温度变化

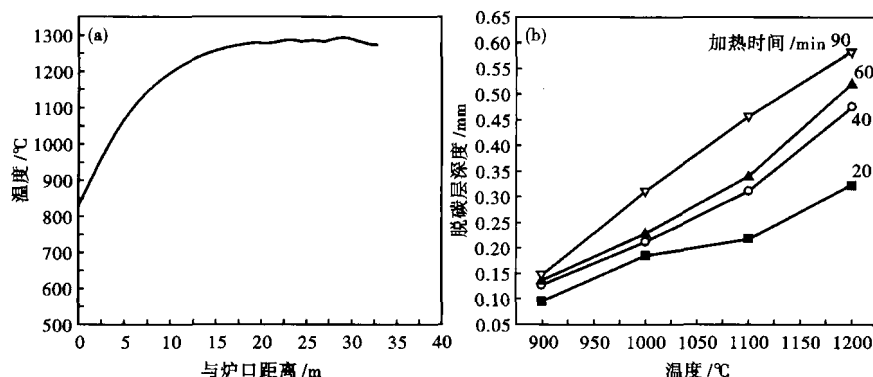


图 4 (a) 加热炉内炉气的温度分布; (b) 铸坯温度和加热时间对脱碳层深度的影响
Fig. 4 (a) Distribution of temperature of gas in reheating furnace; (b) Effect of temperature of cast bloom and reheating time on depth of decarburized layer

表 6 铸坯加热过程数据

Table 6 Data of heating process of test cast bloom

加热段	炉温(±20)/℃	空燃比	时间/min	
一加热段	上	1 010	0.8	63
	下	1 010	0.8	63
二加热段	上	1 255	0.8	51
	下	1 265	0.8	51
均热段	上	1 265	1.5	53
	下	1 275	1.5	53

注:在炉加热时间 195 min。

温差为 16 ℃。

3.3 炉内水梁对铸坯加热温度的影响

水梁对铸坯的影响如图 6 所示。铸坯出炉时下表面水梁形成的温差为 32 ℃,铸坯平均温度达 1 220 ℃,出炉时各个测温点的最大温差为 51 ℃。

4 结论

(1) 目前铸坯加热整体温度水平高,平均温度达 1 220 ℃,当在炉内时间超过 180 min 时,应降低均热段控制温度 20 ℃ 左右为宜。

(2) 炉内水梁对铸坯下表面温度影响较大,是造成铸坯内外温差大的主要因素,下表面有无水梁形成的温差达 32 ℃,加热控制上均热段下部温度应高出上部温度 20 ℃ 以上为宜。

(3) 提高加热炉一段和二段加热的控制温度,可进一步缩短铸坯在炉内时间,可以确保加热后铸坯温度的均匀性,但需要对铸坯断面热应力进行进一步研究。

(4) 在目前加热工艺下,铸坯出炉时内外温差(厚度

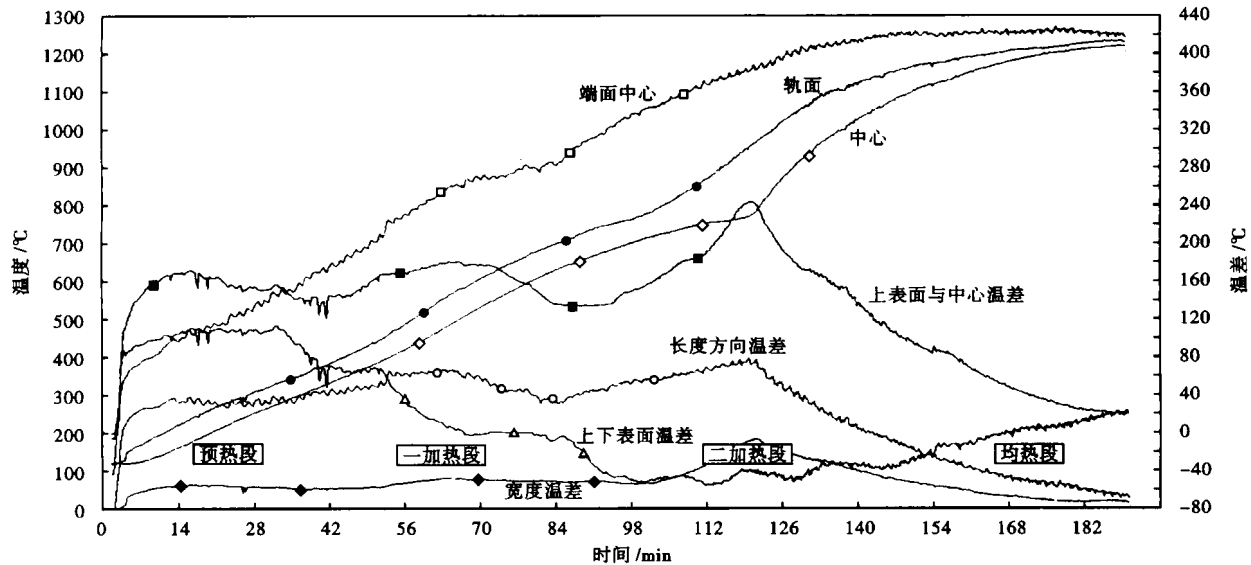


图5 铸坯厚度方向温度和温度差随加热时间变化曲线

Fig. 5 Curves of change of temperature along cast bloom thickness direction and temperature differential with reheating time

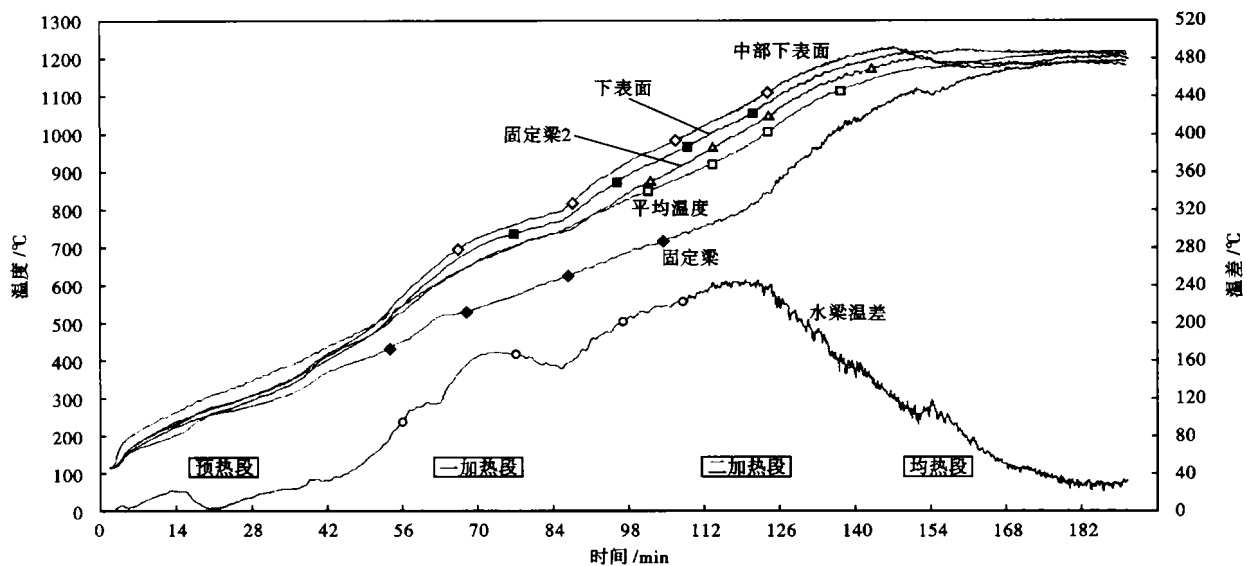


图6 水梁对铸坯各测量点温度和温度差的影响

Fig. 6 Effect of water cooling beam on temperature of cast bloom each measured point and temperature differential

方向)控制在 20 ℃ 以内,铸坯温度在 1 200 ℃ 以上,能满足重轨生产要求。

参考文献

- 1 沈茂盛,李曼云. 型钢生产知识问答. 北京:冶金工业出版社,2003
- 2 刘越表,武忠荣. 国外高质量重轨生产现状及发展. 现代冶金, 2003, 29(4):70
- 3 陈永,孙浩,王玉利,等. 降低钢轨脱碳层深度的研究. 钢铁钒钛, 2002, 9(2):27
- 4 汤华,刘庆明,刘长林,等. 存储测试数据处理软件的设计及应用. 华北工学院测试技术学报, 2001, 15(1):35
- 5 陈鼎勋. 重轨钢 U75V 钢坯脱碳的研究:[硕士学位论文]. 武汉:

武汉科技大学,2010

- 6 Pike H E, Citron S J. Optimization Study of a Reheating Furnace. Automatica, 2000, 6(1):41
- 7 张琦,蔡九菊. 高炉煤气在冶金工业的应用研究. 工业炉, 2007, 29(1):9

孙志亮(1986-),男,硕士研究生,2009年武汉科技大学毕业,轧制过程计算机模拟和工艺优化。

收稿日期:2011-05-27