

## 氮含量对 U71Mn 高速钢轨力学性能的影响

李 峰

(包钢技术中心, 包头 014010)

**摘 要** 重轨 U71Mn 钢(% : 0.66 ~ 0.76C, 0.15 ~ 0.35Si, 1.10 ~ 1.40Mn,  $\leq 0.030P$ ,  $\leq 0.030S$ ) 的冶金工艺流程为 100 t 转炉-LF(VD)-280 mm × 380 mm 连铸。研究了转炉至中间包各工序[N]及影响因素,氮含量对钢轨力学性能的影响。结果表明,随钢中氮含量由  $54 \times 10^{-6}$  增加至  $94 \times 10^{-6}$ ,钢轨的断裂韧性由 34.7 ~ 38.1 MPa m<sup>1/2</sup> 降至 28.1 ~ 31.5 MPa m<sup>1/2</sup>。LF 精炼时将增碳剂由沥青焦改为无烟煤时,钢中氮含量可控制  $\leq 64 \times 10^{-6}$ ,平均氮含量为  $50.9 \times 10^{-6}$ 。

**关键词** U71Mn 高速钢轨 氮含量 断裂韧性

## Effect of Nitrogen Content on Mechanical Properties of U71Mn High Speed Heavy Rail Steel

Li Feng

(1 Technological Center, Baotou Iron and Steel Corp, Baotou 014010)

**Abstract** The metallurgical process flow sheet for U71Mn heavy rail steel (% : 0.66 ~ 0.76C, 0.15 ~ 0.35Si, 1.10 ~ 1.40Mn,  $\leq 0.030P$ ,  $\leq 0.030S$ ) is 100 t converter-LF (VD)-280 mm × 380 mm bloom continuous casting. The [N] of each procedure from converter to tundish and effect factors, and the effect nitrogen content on mechanical properties of rail steel have been studied. Results show that with increasing nitrogen content in steel from  $54 \times 10^{-6}$  to  $94 \times 10^{-6}$ , the fracture toughness of rail decreases from 34.7 ~ 38.1 MPa m<sup>1/2</sup> to 28.1 ~ 31.5 MPa m<sup>1/2</sup>. During LF refining, as recarburizing agent anthracite is used to replace original asphalt coke, it is available to control nitrogen content in steel  $\leq 64 \times 10^{-6}$ , the average nitrogen content is  $50.9 \times 10^{-6}$ .

**Material Index** U71Mn High Speed Heavy Rail Steel, Nitrogen Content, Fracture Toughness

包头钢铁公司(以下简称包钢)生产的 350 km/h 高速 U71Mn 钢轨的炼成率在生产初期(2008 年底)受到钢中氮含量超标(内部控制钢水中氮含量的上限为  $65 \times 10^{-6}$ )的影响,如果钢中氮含量超标则改为普通钢轨,最严重时因氮含量超标导致的改钢占 19%,因此需要研究氮含量对钢质量的影响以及降低钢水中氮含量的措施。

### 1 氮含量对 U71Mn 高速钢轨质量的影响

重轨 U71Mn 钢成分(% )为: 0.66 ~ 0.76C、0.15 ~ 0.35Si、1.10 ~ 1.40Mn、 $\leq 0.030P$ 、 $\leq 0.030S$ 。其生产工艺流程为:100 t 转炉→100 t LF 精炼→100 t VD 精炼→R12 m 大方坯铸机(280 mm × 380 mm 断面)。

#### 1.1 氮含量对钢轨性能影响指标的确定

在不含有钒、钛等固氮作用的钢中,氮对钢的危害主要是因为氮容易偏聚在晶界处(类似于 P、As、Sn 等元素)<sup>[1]</sup>,并且由于氮属于非金属元素,容易吸引周围的金属电子,使钢质变脆。

钢中氮虽然对钢质有害,但对一般的力学性能-

断面收缩率、伸长率影响不明显。

断裂是钢材失效最可怕的形式,断裂韧性是描述高强度钢韧性的重要指标<sup>[2]</sup>。铁道部明确对高速钢轨需要进行断裂韧性的检验,要求在钢轨上取样并且每个号做 6 个样。铁道部颁发的钢轨标准要求高速钢轨断裂韧性的最小值为 26 MPa m<sup>1/2</sup>,平均值要高于 29 MPa m<sup>1/2</sup>。

#### 1.2 氮含量对钢轨断裂韧性及落锤的影响

由图 1 可见,铸坯氮含量与断裂韧性回归结果表明,随着氮含量的增加,钢轨的断裂韧性呈明显下降,由氮含量  $54 \times 10^{-6}$  的 34.7 ~ 38.1 MPa m<sup>1/2</sup> 降至氮含量  $94 \times 10^{-6}$  的 28.1 ~ 31.9 MPa m<sup>1/2</sup>,由于其相关系数达到 0.92。将图 1 中 10 个钢号的钢轨按照铁道部颁发的标准进行落锤实验,结果这些钢轨都未被打断,因此落锤检验是合格的。

#### 1.3 常规性能

将 U71Mn 高速钢轨分为  $N \leq 65 \times 10^{-6}$  和  $N$  在  $(65 \sim 80) \times 10^{-6}$  区间内两个部分,对 2008 年 11 月份生产的 U71Mn 材质 350 km/h 部分高速钢轨的力

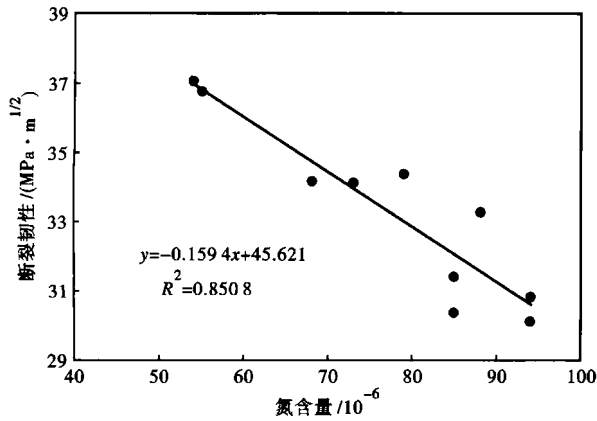


图 1 钢中氮含量与钢轨断裂韧性的关系

Fig. 1 Relationship between nitrogen content and fracture toughness of rail steel

表 1 U71Mn 高速钢轨力学性能, 33 炉

Table 1 Mechanical properties of U71Mn high speed heavy rail steel, 33 heats

项目	$N \leq 65 \times 10^{-6}$		$65 \times 10^{-6} < N \leq 80 \times 10^{-6}$	
	抗拉强度/MPa	伸长率/%	抗拉强度/MPa	伸长率/%
平均值	956	13.3	954	13.1
最小值	930	11.0	925	11.0
最大值	975	15.0	975	15.0

学性能进行了统计,其中  $N \leq 65 \times 10^{-6}$  的高速钢轨有 203 炉,  $N$  在  $(65 \sim 80) \times 10^{-6}$  区间内共有 33 炉,但其抗拉强度和伸长率无明显的差异(表 1)。

## 2 钢中氮含量在各工位的分布及钢中氮含量偏高原因分析

由表 2 可见,同一炉次在转炉出钢工位,钢水中氮含量较低,且相对波动较小,其平均值只有  $21 \times 10^{-6}$ 。从 1- 转炉到 2- LF 氮含量大幅度增加,平均增氮量为  $62.3 \times 10^{-6}$ 。

表 2 工艺改进前和改进后钢水中氮含量在各工位的分布比较/ $10^{-6}$ , 24 炉

Table 2 Comparison of distribution of nitrogen content in liquid steel with original process and improved process /  $10^{-6}$ , 24 heats

工艺	工位					
	1- 转炉	2- LF	3- VD 前	4- VD 后	5- 中间包	
改进前	平均值	21.0	83.3	86.2	54.7	62.6
	最小值	9	40	41	36	44
	最大值	41	99	102	78	89
改进后	平均值	19.8	49.8	53.6	39.6	50.9
	最小值	12	45	47	31	38
	最大值	39	56	63	52	64

在 3- VD 前取样,钢中平均氮含量增加  $2.9 \times 10^{-6}$ ,因为在 LF 就位 10 min 后继续冶炼过程中,电

弧将空气电离,钢水不同程度地吸收了氮气,导致钢水小幅度增氮。在 VD 后取样,钢水中的氮含量平均降低了  $31.5 \times 10^{-6}$ ,这说明包钢 VD 的脱气功能较强。在中间包取样,钢水中的氮含量平均上升了  $7.9 \times 10^{-6}$ ,因钢水吸收氮所致。

由表 2 可见,钢水主要是在从转炉到 LF 精炼 10 min 这一阶段增氮严重,因此很可能与增碳剂或合金带入有关,而一般合金不可能带入大量的氮,因此重点对增碳剂沥青焦进行了化学分析(表 3)。

表 3 沥青焦和无烟煤的成分 / %

Table 3 Ingredient of asphalt coke and anthracite / %

增碳剂	C(固)	灰份	挥发份	S	H <sub>2</sub> O	N
沥青焦	97.89	0.51	1.6	0.472	0.4	1.04
无烟煤	92.2	6.21	1.59	0.311	0.4	0.13

可见,沥青焦的优点是碳含量较高、灰份少,其缺点是氮含量较高。

## 3 采取的相应措施及效果

由图 1 可见,随着钢中氮含量的上升,钢轨的断裂韧性有下降趋势,即钢轨的韧性变差;虽然氮含量为  $80 \times 10^{-6}$ ,钢轨的断裂韧性仍然满足标准要求,但如果片面放宽钢轨的氮含量上限,尤其对高速行驶的列车来说,会存在潜在的质量隐患。

最可行的办法是采用氮含量较低的增碳剂,决定从 2009 年 3 月份起采用无烟煤作为增碳剂。

由表 3 可见,无烟煤的优点是氮含量较低,其缺点是碳含量较低且灰份较高。

转炉使用的增碳剂由沥青焦改为无烟煤后,U71Mn 高速钢轨基本上未出现因氮含量超标而改钢的现象。对同一熔炼号的高速钢轨在各工位进行取样,氮含量分布如表 2(工位代号同前)所示。

由表 2 可见,工艺改进后与改进前相比,钢中氮含量除在转炉工位变化不大外,在其它工位都有一定幅度的降低。

## 参考文献

- 1 袁泽喜,宋中华. 锰结构钢中的脆化元素和铈. 武汉钢铁学院学报,1991,14(3):263
- 2 宋维锡. 金属学. 北京:冶金工业出版社,1992

李 峰(1971-),男,博士,高级工程师,1995 年鞍山钢铁学院毕业,炼钢工艺和新产品开发。

收稿日期:2010-11-13