

## 提高齿轮钢 8620RH(K) 末端淬火内控符合率的工艺实践

高 菊<sup>1</sup> 丁志军<sup>2</sup> 李 辉<sup>2</sup>

(1 华北理工大学迁安学院, 迁安 064400; 2 河北钢铁集团石钢公司, 石家庄 050000)

**摘 要** 齿轮钢 8620RH(K) ( $\% : 0.18 \sim 0.22\text{C}, 0.17 \sim 0.26\text{Si}, 0.70 \sim 0.90\text{Mn}, \leq 0.025\text{P}, 0.015 \sim 0.025\text{S}, 0.4 \sim 0.6\text{Cr}, 0.4 \sim 0.7\text{Ni}, 0.15 \sim 0.25\text{Mo}, 0.015 \sim 0.045\text{Al}, \leq 0.010\text{O(N)}$ ) 的冶炼流程为 60 t BOF-LF-VD-300 mm × 360 mm 铸坯。分析了工艺改进前 BOF 终点残余元素, 出钢量, 精炼合金调整量, VD 增 N 方式和铸坯 C 偏析, 得出 BOF 出钢量不稳定、中间包钢水过热度高、内控成分合格率低, 铸坯 C 偏析指数高是导致末端淬火试验  $\Delta\text{HRC}$  值 4 ~ 5 带宽符合率偏低的主要因素。通过稳定转炉装入量和出钢量, LF 吹氮气增氮, 空置红钢包加盖, 控制中间包钢水过热度 15 ~ 25 °C, 优化连铸电磁搅拌参数等工艺措施, 使 8620RH(K) 钢末端淬火内控符合率由原 < 60% 提高至 82.93%。

**关键词** 60 t BOF-LF-VD-300 mm × 360 mm 铸坯 齿轮钢 8620RH(K) 末端淬火内控符合率 工艺实践

## Process Practice to Increase Qualified Rate of Internal-Controlled End-Quenched Hardenability of Gear Steel 8620RH(K)

Gao Ju<sup>1</sup>, Ding Zhijun<sup>2</sup> and Li Hui<sup>2</sup>

(1 School of Qian'an North China University of Science and Technology, Qian'an 064400;  
2 Shisteel Co, Hebei Iron and Steel Co, Shijiazhuang 050000)

**Abstract** The steelmaking flowsheet of gear steel 8620RH(K) ( $\% : 0.18 \sim 0.22\text{C}, 0.17 \sim 0.26\text{Si}, 0.70 \sim 0.90\text{Mn}, \leq 0.025\text{P}, 0.015 \sim 0.025\text{S}, 0.4 \sim 0.6\text{Cr}, 0.4 \sim 0.7\text{Ni}, 0.15 \sim 0.25\text{Mo}, 0.015 \sim 0.045\text{Al}, \leq 0.010\text{O(N)}$ ) is 60 t BOF-LF-VD-300 mm × 360 mm casting bloom. The BOF end residual elements and tapping amount of steel, alloying adding amount in refining process, adding N method in VD process and carbon segregation of casting bloom in original process have been analyzed, it is obtained that the main causes of hardenability band width  $\Delta\text{HRC}$  4 ~ 5 being on low side in end-quench test are BOF liquid tapping amount not stable, higher superheating temperature extent of liquid in tundish, lower qualified rate of internal controlled compound of liquid and higher casting bloom carbon segregation index. With using the process measures including stabilizing BOF charging and tapping amount, blowing nitrogen to increase nitrogen in liquid in LF, idle hot ladle adding covering plate, controlling tundish liquid superheating temperature 15 ~ 25 °C, and optimizing casting electromagnetic stirring parameters, the qualified rate of internal-controlled end-quenched hardenability of steel 8620RH(K) increases from original < 60% to 82.93%.

**Material Index** 60 t BOF-LF-VD-300 mm × 360 mm Casting Bloom, Gear Steel 8620RH(K), Qualified Rate of Internal-Controlled End-Quenched Hardenability, Process Practice

齿轮钢主要应用于汽车、工程机械及机械制造业的传动部件。高质量的齿轮钢不但要有良好的强韧性、耐磨性,能很好地承受冲击、弯曲和接触应力、具有高疲劳性、而且要求加工变形量小<sup>[1]</sup>。近年来,随着汽车工业的迅速发展,齿轮钢的需求量得到了显著的提高,特别是汽车用齿轮钢更是逐年增加。淬透性是齿轮钢的重要特性,齿轮钢对淬透性带宽的要求非常高,通常高品质齿轮钢的基本要求是淬透性带宽  $\Delta\text{HRC} \leq 6$ , 国际先进水平达到淬透性带宽  $\Delta\text{HRC} \leq 4$ <sup>[2-4]</sup>。

因用户在使用 8620RH(K) 钢过程中,由于端淬问题,时有质量异议提出,严重影响钢材质量的稳定性和对客户的精准交货率。为此,特针对钢种端淬内控符合率(带宽  $\Delta\text{HRC}$  值 4 ~ 5),展开了系统的攻

关研究。

### 1 研究钢种及工艺流程

#### 1.1 研究钢种

研究钢种为 8620RH(K),其化学成分及端淬标准、内控要求如表 1 所示。

#### 1.2 工艺流程和参数

针对钢种 8620RH(K)的工艺难点,工艺流程确定如下:60 t 转炉→LF→VD→CC→连轧线轧制→矫直→探伤。

60 t 顶底复吹转炉,LF 钢包精炼,钢包容量 60 t;铸坯断面尺寸为 300 mm × 360 mm。

### 2 端淬内控率偏低的原因分析

对过去生产 8620RH(K) 钢的月度端淬内控符

表 1 8620RH(K) 钢化学成分及端淬标准、内控要求

Table 1 Standard and internal-controlled requirement of chemical composition and end-quenched hardenability of steel 8620RH(K)

项目	化学成分/%										末端淬火
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Al	Ni	Mo	N	
标准	0.18	0.17	0.70	<	0.015	0.40	0.015	0.40	0.15	<	J(1/16 英寸)HRC = 43 ~ 48, J(3/16 英寸)HRC = 35 ~ 41,
	0.22	0.26	0.90	0.025	0.025	0.60	0.045	0.70	0.25	0.010 0	J(5/16 英寸)HRC = 26 ~ 34, J(8/16 英寸)HRC = 21 ~ 28
内控	0.19	0.20	0.78	<	0.015	0.53	0.027	0.45	0.16	0.005 0	J(1/16 英寸)HRC = 44 ~ 47, J(3/16 英寸)HRC = 36 ~ 40,
	0.21	0.24	0.82	0.020	0.023	0.57	0.037	0.49	0.18	0.009 0	J(5/16 英寸)HRC = 28 ~ 32, J(8/16 英寸)HRC = 23 ~ 26

合率进行统计,发现符合率一直偏低,在 30% ~ 60% 波动。

对 8620RH(K) 钢的各项参数进行统计分析。发现导致钢种端淬内控符合率低的主要原因有以下几点。

- (1) 钢液中残余元素 Sn、As、B 含量高,影响淬透性的稳定性;
- (2) 8620RH(K) 钢的内控成分范围窄,成品内控合格率相对偏低;
- (3) 中间包过热度温度在 15 ~ 25 °C 的比例偏低;
- (4) 铸坯成分偏析严重。

### 3 工艺改进前的主要工艺控制点

8620RH(K) 齿轮钢淬透性和淬透性带宽的控制,主要决定于化学成分的精确控制和化学成分的均匀性<sup>[5-7]</sup>。工艺改进前,生产 8620RH(K) 钢主要工艺控制点如下。

#### 3.1 转炉终点残余元素控制

对 815 炉 8620RH(K) 钢转炉终点残余元素控制进行了统计分析,具体见表 2。

#### 3.2 转炉出钢量、合金调整量及 VD 增氮方式的影响

(1) 由于缺乏出钢称重设施,转炉出钢量不稳定,出钢量全凭炼钢工经验判断,LF 座包成分偏差较大,精炼过程合金调整量大,调整次数多,精炼周期紧张;表 3 为 8620RH(K) 钢改进前转炉生产参数统计表。

(2) 由于 8620RH(K) 钢属于保氮钢种,原工艺在 VD 喂锰氮线进行增氮,LF 必须考虑 VD 的增锰量,对锰含量内控控制难度颇大。

表 2 8620RH(K) 钢转炉终点残余元素控制数据,815 炉  
Table 2 Data of control conditions of BOF end residual elements content in liquid of steel 8620RH(K), 815 heats

项目	标准要求	超标炉数	占比/%
Sn/%	≤0.012	41	5.03
As/%	≤0.012	29	3.56
B/%	≤0.000 5	59	7.24

表 3 8620RH(K) 钢工艺改进前转炉生产参数

Table 3 BOF steelmaking parameters for steel 8620RH(K) before process improvement

项目	铁水 装入量/t	废钢 装入量/t	总 装入量/t	钢铁料 消耗/kg	出钢量/ t
最小值	51.50	3.1	58.70	980.8	55.00
最大值	58.00	7.8	65.40	1 142.3	65.15
平均值	56.18	7.1	63.24	1 044.4	61.25

表 4 8620RH(K) 钢工艺改进前中间包钢水过热度统计表  
Table 4 Statistics superheating temperature extent of liquid in tundish of steel 8620RH(K) before process improvement

钢种	中间包钢水过热度的炉数占比例/%		
	<15 °C	15 ~ 25 °C	>25 °C
8620RH(K)	7.5	44.7	47.6

#### 3.3 中间包过热度及包衬温度的影响

钢包受钢前,包衬温度控制在 700 ~ 850 °C,中间包钢水过热度在 15 ~ 25 °C 的比例较低。具体如表 4 所示。

#### 3.4 铸坯成分偏析

工艺改进前,对所选 8620RH(K) 钢铸坯试样的碳偏析指数如图 1 所示。

### 4 改进措施

针对分析中发现的问题,对 8620RH(K) 钢生产

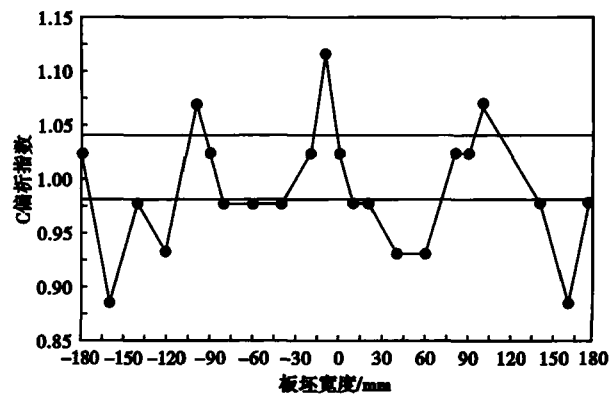


图 1 工艺改进前 8620RH(K) 钢 300 mm × 360 mm 铸坯水平中心线方向碳偏析指数分布

Fig. 1 Distribution of carbon segregation index along horizontal center line of cross section of 300 mm × 360 mm casting bloom of steel 8620RH(K) before process improvement

工艺进行相应调整,具体措施如下。

4.1 细化原辅料管理标准

建立原辅料及钢铁料管理档案,冶炼钢种 8620RH(K)时,不使用[B] > 0.020% 的合金和渣剂,不使用含 Sn、As、B 高的铁块及废钢,有效控制钢中残余元素的含量,Sn、As、B 等影响淬透性元素 100% 受控。

4.2 成品成分内控合格率 100% 受控

(1)通过稳定铁水和废钢装入制度,稳定过程吹炼操作等措施,进而准确判断出钢量和终点残余成分,提高精炼炉座包成分符合率。表 5 为 8620RH(K) 钢改进后转炉生产参数统计表。工艺改进后 LF 精炼前成分符合率由工艺改进前的 43.5% 提高到 87.3%。

(2)改传统的喂氮化锰线增氮为采用钢包底吹氮气方式增氮,并通过技术创新形成氮气增氮数学控制模型,见表 6 所示。采用工艺优化技术后,钢种成品内控氮含量  $50 \times 10^{-6} \sim 90 \times 10^{-6}$  的合格率达

表 5 8620RH(K) 钢工艺改进后转炉生产参数

Table 5 BOF steelmaking parameters for steel 8620RH(K) after process improvement

项目	铁水 装入量/t	废钢 装入量/t	总 装入量/t	钢铁料 消耗/kg	出钢量/ t
最小值	55.30	7.00	61.56	1 025.6	60.02
最大值	57.10	7.50	63.78	1 045.8	60.98
平均值	56.34	7.35	63.69	1 038.6	60.59

表 6 8620RH(K) 钢吹氮气增氮模型

Table 6 Adding nitrogen model of steel 8620RH(K) by blowing nitrogen

LF 吹氮时间/ min	LF 吹氮压力/ MPa	LF 吹氮流量/ (L · min <sup>-1</sup> )	VD 保真空时间/ min
6 ~ 10	0.7 ~ 1.4	150 ~ 500	6 ~ 12

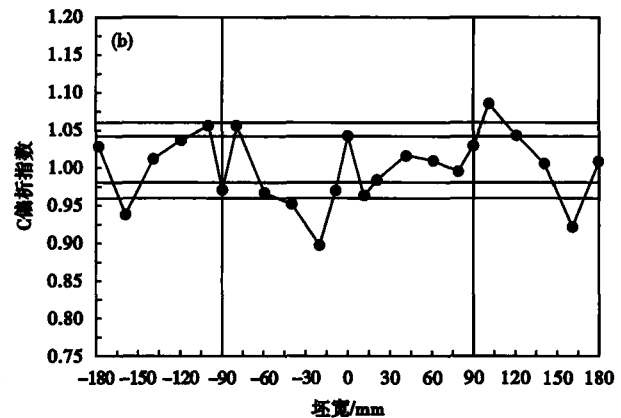
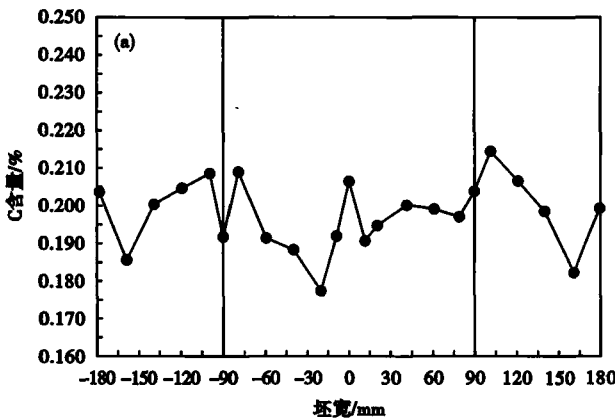


图 2 连铸参数优化后 8620RH(K) 钢 300 mm × 360 mm 铸坯水平中心线上 C 分布(a)及 C 偏析指数(b)分布

Fig. 2 Distribution of C (a) and C segregation index (b) along horizontal center line of 300 mm × 360 mm casting bloom of steel 8620RH(K) after casting process improvement

表 7 8620RH(K) 钢吹氮参数及中间包[N]

Table 7 [N] in tundish for steel 8620RH(K) after blowing nitrogen

LF 吹氮时间/ min	LF 吹氮压力/ MPa	中间包[N]/ 10 <sup>-6</sup>	内控[N]/ 10 <sup>-6</sup>
6 ~ 10	0.7 ~ 1.4	55 ~ 90	50 ~ 90

到了 100%, 见表 7 所示。极大程度的降低合金成本,解决了 VD 喂锰氮线导致的钢水二次污染问题。且不必再考虑 VD 喂锰氮线增[Mn]的影响,精炼炉可一次将[Mn]调入内控,从而大幅度的提高钢种成品成分内控符合率。

通过提高精炼座包成分符合率和 LF 吹氮增氮措施的实施,改进后钢种 8620RH(K) 成品成分内控符合率由改进前低于 60% 提高到 99.56%。

4.3 精细化钢包管理,提高钢包衬温度

通过对空置红钢包加盖保温措施的落实。钢包受钢前,钢包衬温度从原来的 700 ~ 850 °C,提高到现在 1 200 °C 以上。中间包钢水过热度在 15 ~ 25 °C 的比例从以前的 44.7%,提高到了 90.5%。

4.4 连铸机生产参数进行优化

通过建立铸坯宏观偏析模型、电磁搅拌模型以及现场实际验证后,8620RH(K) 钢种连铸机最优参数为: EMS (160 A/2.2 Hz), F-EMS (200 A/8.0 Hz), 比水量 (0.2 L/kg), 二冷水分分配比 (32:43:25)。表 8 为 8620RH(K) 钢种原参数与最优参数对比。

通过对 8620RH(K) 钢连铸机生产参数的优化,铸坯成分均匀度得到了极大的提高,除了其中一块试样误差较大,可以排除外,其他试样的碳偏析指数均在 0.98 ~ 1.05。

连铸参数优化后,铸坯中心及对角线 1/4 处的

表8 8620RH(K)钢原参数与最优连铸参数对比  
 Table 8 Comparison between original and optimal casting parameters of steel 8620RH(K)

项目	3流 M-EMS (A/Hz)	3流 F-EMS (A/Hz)	拉速/ (m·min <sup>-1</sup> )	比水量/ (L·kg <sup>-1</sup> )	分配比
原参数	220/2.2	150/8	0.55	0.23	31:47:22
最优参数	160/2.2	200/8	0.55	0.20	32:43:25

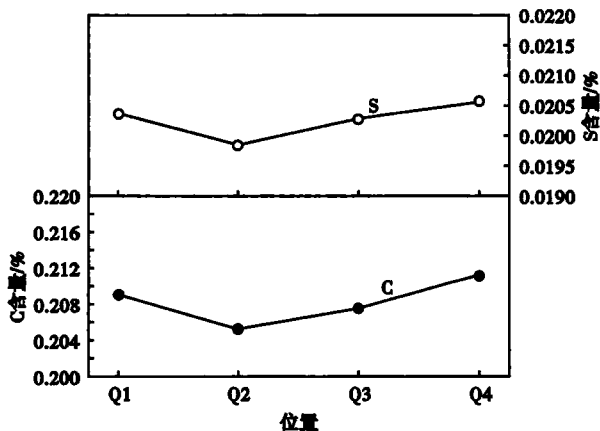


图3 连铸参数优化后铸坯对角线1/4处C和S含量的分布  
 Fig.3 Distribution of C and S content in casting bloom at 1/4 of diagonal line after casting parameters improvement

C和S的成分分布及偏析等级如图2、图3所示。

### 5 实施效果

通过细化原辅料管理标准、提高精炼炉座包成分符合率和精炼过程吹氮气增氮技术、精细化钢包管理及连铸机生产参数优化等措施的实施,最终实现了8620RH(K)钢种端淬内控平均符合率达到了82.93%。

### 6 结论

(1)影响8620RH(K)钢端淬内控符合率的主要因素为:残余元素超标、成分内控率偏低、中间包

过热度符合率较低及铸坯成分偏析严重。

(2)细化原辅料管理档案可以有效控制钢中残余元素Sn、As、B等影响淬透性元素100%受控。

(3)提高LF座包成分合格率及LF吹氮气增氮等措施,显著提高了8620RH(K)钢成品成分内控符合率。

(4)优化钢包管理,红包加盖等措施提高了红包受钢温度,进而提高了中间包钢水过热度15~25℃的比例。

(5)通过连铸机参数的优化,控制成分偏析效果明显,铸坯成分均匀度得到了极大的提高。

(6)通过优化措施,使8620RH(K)钢端淬内控平均符合率由原低于60%稳定提高到82.93%。

### 参考文献

- [1] 张悦,霍松波,黄一新. 齿轮钢的开发与生产[J]. 冶金标准化与质量,2003,41(1):17-19.
- [2] 周新红. 汽车后桥齿轮用钢的发展概况[J]. 现代零部件,2005(10):102-104.
- [3] 郝佰泰. 钢的淬透性原理、冶金因素的影响和工业应用[M]. 上海:上海出版社,1997.
- [4] 张建. 化学成分20CrMnTi钢淬透性影响的研究[J]. 特钢技术,1998(1,2):36-37.
- [5] 任清学,蔡燮鳌. 窄淬透性高级齿轮钢研发[J]. 现代冶金,2013,41(5):3-5.
- [6] 李茂林,张峰. 我国汽车用齿轮钢性能及热处理技术的现状[J]. 装备制造技术,2013(6):164-167.
- [7] 殷瑞钰. 钢的质量现代进展[M]. 北京:冶金工业出版社,1995.

高菊(1980-),女,硕士(2009年河北理工大学),讲师,2003年河北理工大学(本科)毕业,凝固理论与钢质量控制研究. E-mail:robbg\_1018@163.com

收稿日期:2018-04-23

欢迎订阅 2019 年《特殊钢》杂志

全国各地邮局均可订阅(可破订)

邮发代号:38-183

定价:16.00元/期 96.00元/年

邮编:435001

地址:湖北省黄石市黄石大道316号新冶钢-大冶特殊钢股份有限公司《特殊钢》杂志社