

8620系齿轮钢300 mm × 360 mm连铸坯宏观偏析改善的工艺实践

刘勇 高鹏

(河钢集团石钢公司炼钢厂, 石家庄050031)

摘要 8620 齿轮钢(/% : 0.18 ~ 0.22C, 0.17 ~ 0.26Si, 0.70 ~ 0.90Mn, ≤0.025P, 0.15 ~ 0.23S, 0.40 ~ 0.60Cr, 0.40 ~ 0.70Ni, 0.15 ~ 0.25Mo) 300 mm × 360 mm 坯连铸的中间包钢水过热度为 20 ~ 30 °C, 拉速为 0.5 ~ 0.6 m/min, 通过钻孔分析、射钉试验、原位分析和铸坯低倍组织分析, 研究了电磁搅拌参数 [M-EMS (100 ~ 200) A, (2.0 ~ 2.2) Hz, F-EMS (150 ~ 200) A, 8 Hz] 和二冷水参数 (一段 28 L/min, 二段 38 ~ 45.6 L/min, 三段 19.2 ~ 24 L/min) 对连铸坯 C、S 偏析的影响。通过采用优化工艺参数- 二冷一段 28 L/min, 二段 45.6 L/min, 三段 19.2 L/min 和电磁搅拌 M-EMS 150 A, 2.2 Hz, F-EMS 200 A, 8 Hz, 8620 系齿轮钢连铸坯偏析指数 0.98 ~ 1.05 的比例由原 30% 提高至 92.8%。

关键词 8620 系齿轮钢 300 mm × 360 mm 铸坯 宏观偏析 电磁搅拌 二冷水

Process Practice on Improvement of 300 mm × 360 mm Casting Bloom Macro-Segregation of 8620 Series Gear Steel

Liu Yong and Gao Peng

(Steelmaking Works, Shisteel Co, HBIS Group, Shijiazhuang 050031)

Abstract The superheating extent of liquid of 8620 gear steel (/% : 0.18 ~ 0.22C, 0.17 ~ 0.26Si, 0.70 ~ 0.90Mn, ≤0.025P, 0.15 ~ 0.23S, 0.40 ~ 0.60Cr, 0.40 ~ 0.70Ni, 0.15 ~ 0.25Mo) for casting 300 mm × 360 mm bloom is 20 ~ 30 °C and the casting speed is 0.5 ~ 0.6 m/min, and by bloom drilling analysis, pin-shooting test, original position analysis and bloom macrostructure analysis the effect of electromagnetic stirring parameters [M-EMS (100 ~ 200) A, (2.0 ~ 2.2) Hz, F-EMS (150 ~ 200) A, 8 Hz] and secondary cooling water parameters (I - zone 28 L/min, II - zone 38 ~ 45.6 L/min and III - zone 19.2 ~ 24 L/min) on C and S segregation in bloom has been studied. With using optimized process parameters- secondary cooling water I - zone 28 L/min, II - zone 45.6 L/min and III - zone 19.2 L/min, and electromagnetic stirring M-EMS 150 A, 2.2 Hz, F-EMS 200 A, 8 Hz, the ratio casting bloom of 8620 series gear steel with segregation index 0.98 ~ 1.05 increases to 92.8% from original 30%.

Material Index 8620 Series Gear Steel, 300 mm × 360 mm Casting Bloom, Macro-Segregation, Electromagnetic Stirring, Secondary Water Cooling

随着我国装备制造业的迅猛发展,对高品质特殊钢的需求不断增长,因而带动了我国特殊钢产业朝高产量、高品质方向发展。高品质的特殊钢产品用钢也日益成为很多钢铁企业研究和开发的重点。由于结晶器的强制冷却,连铸坯的凝固组织从表面至中心分为激冷层、柱状晶区和等轴晶区 3 部分。一般情况下,等轴晶结构致密,加工性能好;柱状晶由于其晶体具有明显的方向性,加工性能差,容易导致中心偏析、中心疏松和中心裂纹等缺陷。所以在连铸坯凝固过程中,应通过各种技术手段尽可能抑止柱状晶发展,促进等轴晶区域扩大。

本文主要通过射钉试验、原位分析、铸坯钻孔分析及铸坯宏观偏析模型的实验,对 8620 齿轮钢的电磁搅拌和二冷水的参数进行优化调整后,铸坯 1/4 和中心处的元素偏

析均有所改善,连铸坯质量得到提升。

1 实验

本试验钢种为 8620 齿轮钢,其化学成分如表 1 所示,该钢种属于低碳含硫钢。冶金工艺流程:铁水 + 废钢 → 60 t BOF → 60 t LF → 60 t VD → CCM (300 mm × 360 mm) → 轧制,连铸工艺参数如表 2 所示。

表 1 8620 齿轮钢的化学成分 / %

Table 1 Chemical composition of 8620 gear steel / %

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
0.18 ~ 0.22	0.17 ~ 0.26	0.70 ~ 0.90	≤ 0.025	0.15 ~ 0.23	0.40 ~ 0.60	0.40 ~ 0.70	0.15 ~ 0.25

表 2 8620 钢连铸的工艺参数

Table 2 Casting process parameters of 8620 steel

结晶器半径/m	中间包容量/t	铸坯尺寸/(mm × mm)	MEMS 搅拌	FEMS 搅拌	二冷一段/(L · min ⁻¹)	二冷二段/(L · min ⁻¹)	二冷三段/(L · min ⁻¹)
12	18	300 × 360	200A/2.2Hz	150A/8Hz	28	38	24

1.1 铸坯钻孔分析

为了评估在现有工艺条件下该铸坯的元素偏析情况,采用 5mm 的钻头对铸坯进行钻孔取样。沿铸坯宽面水平中心线方向,每隔一定距离进行钻孔取屑,共计 23 个位置;沿铸坯右上角对角线,每隔一定距离进行钻孔取屑,共计 13 个位置;沿各对角线 1/4 处,进行钻孔取屑,共计 12 个位置;铸坯钻孔如图 1 所示。采用碳硫分析仪测定 C、S 元素含量,然后计算各元素平均含量和偏析指数。偏析指数的计算方法为 $R_i = C_i / C_0$

式中: C_i - 该位置的碳元素含量/%; C_0 - 所有位置的元素平均含量/%。选取 300 mm × 360 mm 矩坯横断面进行钻孔分析。

1.2 原位分析

原位分析技术可对各元素在材料中不同含量所占的原位权重比率,是材料及工艺研究中一种反映材料内在质量的新判据方法。通过原位分析仪结合扫描电镜的线扫描和面扫描可以观察 C、P、S 等元

素的分布情况。选取 1/4 铸坯横断面 150 mm × 180 mm,分成 4 块并标号进行原位分析。图 2(b)中原位分析 1、2、3、4 四部分对应图 2(a)中 1、2、3、4 四部分铸坯,不同颜色对应不同的碳含量。

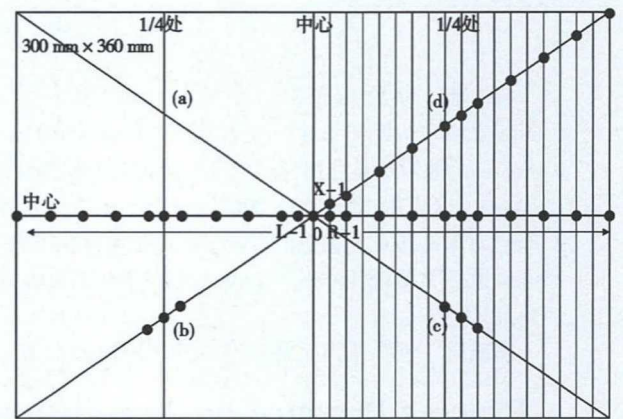


图 1 8620 钢 300 mm × 360 mm 连铸坯钻孔取样位置示意图
Fig.1 Schematics of drilling for sampling at cross section of 300 mm × 360 mm casting bloom of 8620 steel

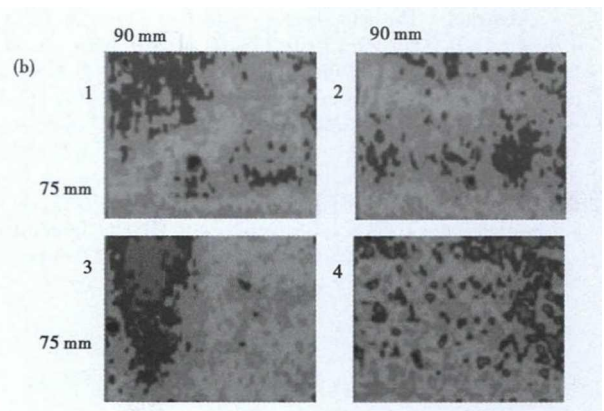
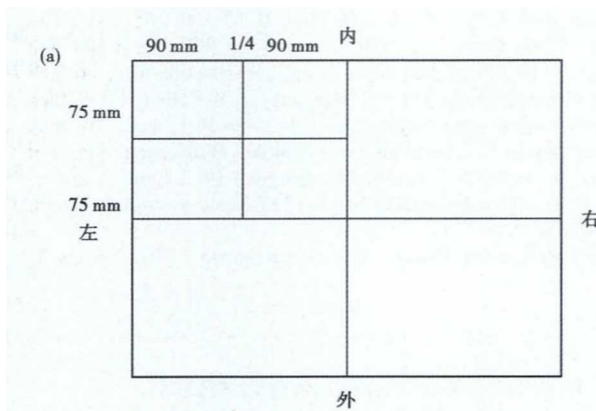


图 2 300 mm × 360 mm 连铸坯横断面分割示意图(a);8620 钢连铸坯横断面区域的原位分析 C 元素的分布(b)

Fig.2 Schematics of cutting region at cross section of 300 mm × 360 mm casting bloom (a); and distribution of carbon of original position analysis at corresponding cutting region of bloom of 8620 steel (b)

1.3 射钉试验验证

在铸机上针对该钢种在距弯月面 12.7 m 的位置进行射钉试验,其结果如图 3 所示。试验过程采用钢钉的成分为 60Si₂Mn,钉长为 200 mm,试验过程钉子偏离中心向上 28 mm,在该位置处的坯壳厚度为 104 mm。

数,制订了 3 组试验方案,如表 3 所示,电磁搅拌参数采用原参数不变(MEMS 200 A,2.2 Hz,FEMS 150

2 结果与讨论

2.1 二冷水优化

为了确定合适的二冷水参

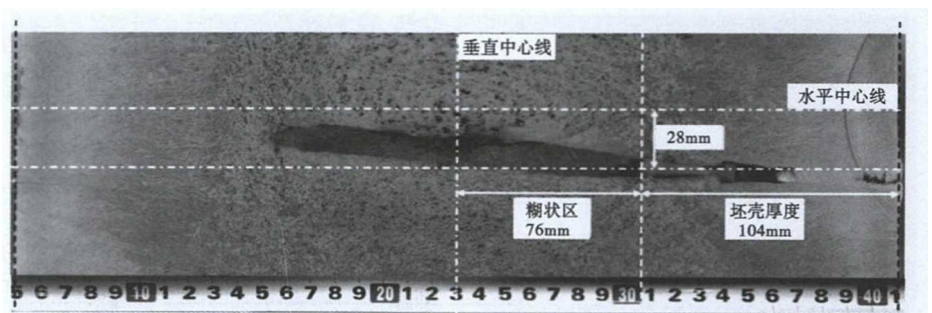


图 3 8620 钢 300 mm × 360 mm 连铸坯射钉试验结果

Fig.3 Result of pin-shooting test at 300 mm × 360 mm casting bloom of 8620 steel

表 3 8620 钢连铸坯的二冷水优化方案和低倍组织

Table 3 Optimizing schemes of secondary cooling water for 8620 steel casting bloom and macrostructure

工艺	过热度/ ℃	拉速/ (m · min ⁻¹)	二冷一段/ (L · min ⁻¹)	二冷二段/ (L · min ⁻¹)	二冷三段/ (L · min ⁻¹)	铸坯低倍组织/%				
						激冷层	柱状晶区	混晶区	中心等轴晶区	总和
1	20~30	0.5~0.6	28	38	24	8.31	43.22	28.02	20.45	100
2	20~30	0.5~0.6	28	41.8(增加 10%)	21.6(减小 10%)	8.01	39.97	31.87	20.15	100
3	20~30	0.5~0.6	28	45.6(增加 20%)	19.2(减小 20%)	8.31	38.66	29.75	23.28	100

A, 8 Hz)。试验完成后,对铸坯进行低倍检测和钻孔偏析检测。铸坯经热酸腐蚀后,在横断面上能够清晰的显示出宏观凝固组织。其宏观组织分为激冷层、柱状晶区、混晶区和中心等轴晶区,然后对各区进行统计,结果如表 3 所示。为了更直观的评估碳元素的偏析行为,同样按照示意图 4 进行钻孔,然后进行化学分析获得其 C、S 含量,最后进行对比,获得较佳的生产参数。3 组实验方案 C、S 元素偏析情况如图 5(a, b, c)。

综合比较以上 3 种工艺不同的二冷配水下元素偏析情况,方案 3 为 8620 钢的较佳二冷水方案。

2.2 电磁搅拌参数优化

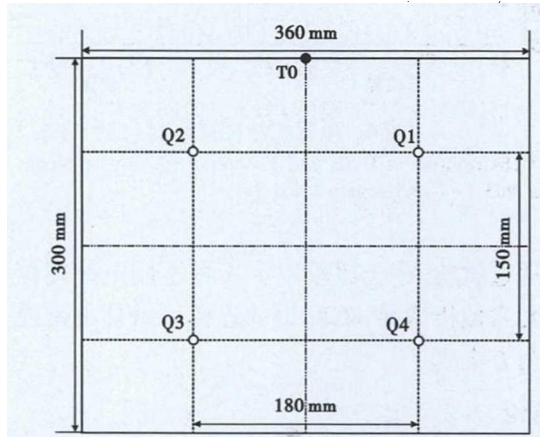


图 4 二冷水参数试验 8620 钢铸坯钻孔取样位置示意图
Fig. 4 Schematics of drilling sample position at casting bloom of 8620 steel of secondary water cooling test

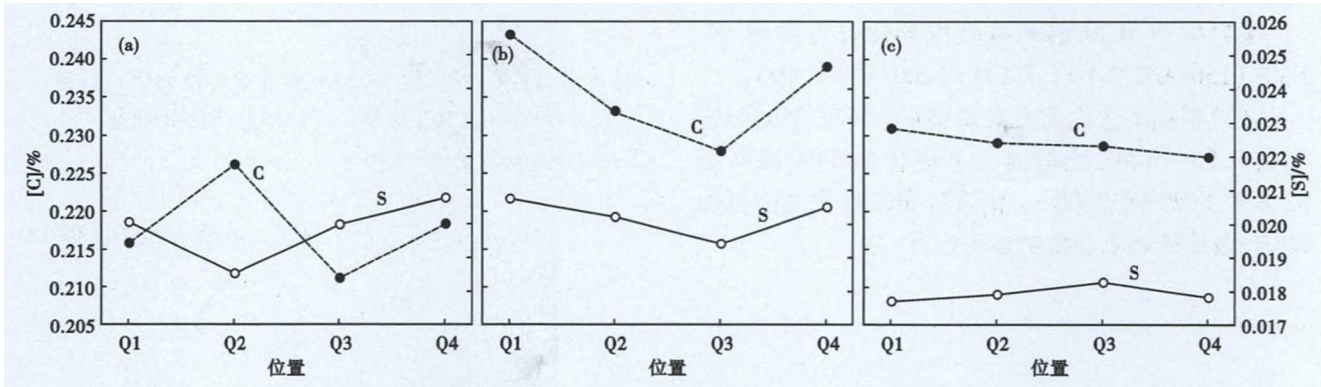


图 5 二冷水试验方案 1(a), 方案 2(b) 和方案 3(c) 铸坯 C、S 含量分布

Fig. 5 Distribution of C and S content in casting bloom with secondary water cooling test scheme No1 (a), scheme No2 (b) and scheme No3 (c)

为了确定合适的结晶器电磁搅拌参数,制订了 4 组试验方案,如表 4 所示,二冷水参数采用原参数不变(二冷一段 28 L/min,二段 38 L/min,三段 24 L/min)。试验完成后,对铸坯进行低倍检测和钻孔偏析检测。铸坯经热酸腐蚀后,然后对各区进行统

计,结果如表 4 所示。结晶器电磁搅拌频率保持在 2.2 Hz 时,从铸坯酸洗可得出等轴晶率随着搅拌电流增加而增大,当搅拌电流大于 160 A 时,中心等轴晶区的面积百分比变化不大,保持在 23% 左右。4 组试验方案 C、P、S 元素偏析情况如图 6。

表 4 8620 钢连铸坯电磁搅拌试验方案和低倍组织

Table 4 Test schemes of electromagnetic stirring for 8620 steel casting bloom and macrostructure

试验方案	过热度/ ℃	拉速/ (m · min ⁻¹)	电磁搅拌/ (A/Hz)	末端电磁搅拌/ (A/Hz)	铸坯低倍组织/%				
					激冷层	柱状晶区	混晶区	中心等轴晶区	总和
1	20~30	0.5~0.6	200/2.2	150/8	7.81	40.25	27.73	24.21	100
2	20~30	0.5~0.6	200/2.0	150/8	6.5	42.99	27.61	22.9	100
3	20~30	0.5~0.6	150/2.2	200/8	8.43	38.73	29.43	23.42	100
4	20~30	0.5~0.6	100/2.2	150/8	7.51	45.32	29.04	18.12	100

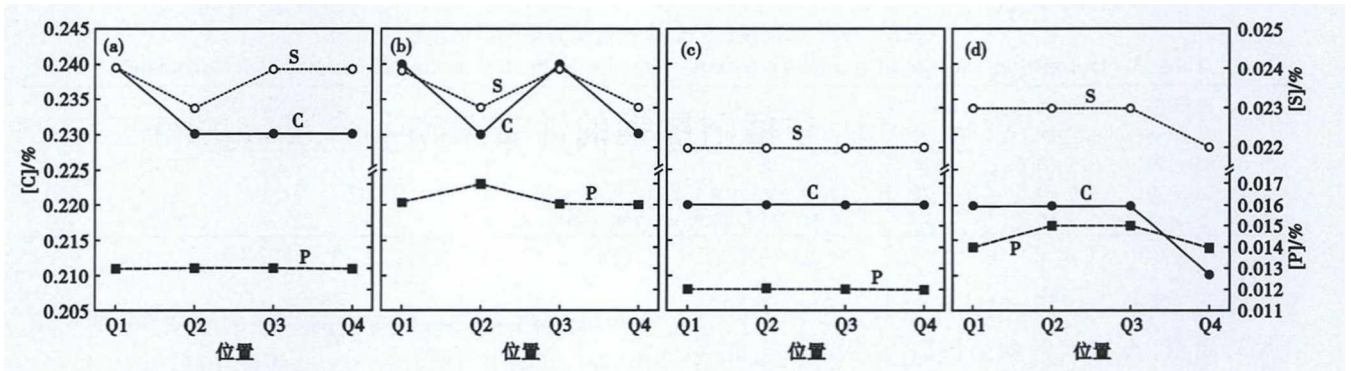


图 6 电磁搅拌试验方案 1(a), 方案 2(b), 方案 3(c) 和方案 4(d) 铸坯 C、P、S 含量分布

Fig. 6 Distribution of C, S and P content in casting bloom with electromagnetic stirring test scheme No1 (a), scheme No2 (b), scheme No3 (c) and scheme No4 (d)

通过试验, 综合比较以上 4 种不同电磁搅拌参数下元素偏析情况, 8620 钢的连铸坯最佳电磁搅拌参数为方案 3。

3 结论

(1) 生产 8620 钢的二冷水优化方案为: 二冷水 1 区水量 28 L/min, 二冷水 2 区水量 45.6 L/min, 二冷水 3 区水量 19.2 L/min。

(2) 生产 8620 钢的电磁搅拌优化方案为: M-EMS (150 A/2.2 Hz), F-EMS (200 A/8.0 Hz)。

(3) 根据工艺优化方案调整后, 8620 钢的偏析指数 0.98 ~ 1.05 比例由工艺优化前 30% 提高至 92.8%, 8620 钢连铸坯碳元素分布较优化之前更加均匀, 该连铸坯质量得到显著提升。

参考文献

- [1] 王青春, 陈天明, 陈亮, 等. 20CrMnTiH 齿轮钢铸坯内部质量控制研究[J]. 钢铁钒钛, 2014, 35(2): 103-107.
- [2] 刘洋, 王新华. 二冷区电磁搅拌对连铸板坯中心偏析的影响[J]. 北京科技大学学报, 2007, 29(6): 581-585.
- [3] 吴树深, 刘占江, 武云峰, 等. 我国齿轮钢的生产与应用[J]. 特殊钢, 2003, 24(5): 30-33.
- [4] 许伟阳, 曹志刚, 颜慧成, 等. 齿轮钢大方坯宏观碳偏析及形成机制[J]. 炼钢, 2011, 27(5): 63-67.
- [5] 任嵬, 张炯明, 张开钧, 等. 连铸过程溶质元素宏观偏析的数值模拟[J]. 连铸, 2009(2): 31-34.

刘勇 (1974-), 男, 硕士 (2006 年北京科技大学), 炼钢厂厂长, 1998 年河北理工大学 (本科) 毕业, 钢铁冶金研究。
E-mail: liuyong@hbisco.com

收稿日期: 2018-07-19

下期要目

新型 V-Ti-B 微合金化调质 Q690E 钢板的开发	陈振业等
CL70 车轮钢热压缩流变应力行为	成生伟
三流方坯连铸中间包结构优化的数值模拟和应用	陈洋等
屈服强度 750 MPa 低合金钢高强度集装箱用钢的开发	殷胜等
20 t 电渣重熔炉干燥空气保护法的应用和实践	黄兴涛等
12Cr1MoV 钢轧材表面裂纹控制技术的研究与应用	刘旭隆
酸性渣重熔含硫高速钢 M35 的质量研究	谢志彬等
热处理工艺对 316H 不锈钢中厚板力学性能影响研究	尹嵬等
工程机械用 960QT 钢焊接粗晶区组织及性能研究	刘旭辉等