

齿轮钢铸坯碳偏析的改善

张广军¹ 彭继承¹ 张学诚¹ 战东平² 姜周华²

(1 兴澄特种钢铁有限公司一分厂, 江阴 214429; 2 东北大学材料与冶金学院, 沈阳 110004)

摘要 试验研究了100 t UHP EAF-LF(VD)-连铸流程生产的0.20%~0.40% C、CrMo 和 CrMnTi 系列齿轮钢300 mm×340 mm 铸坯断面的碳偏析。在正常生产条件下,将浇铸钢水过热度控制在15~25℃、二冷比水量在0.35 L/kg、结晶器和末端电磁搅拌扭矩分别在18、15 cN·cm对铸坯碳偏析改善有利。生产实践检验结果表明,连铸坯修正碳偏析极差降到了0.025%以下,齿轮钢轧材低倍偏析评级基本都达到了2.5级以下。

关键词 齿轮钢 铸坯 碳偏析

Improvement of Carbon Segregation in Casting Bloom of Gear Steel

Zhang Guangjun¹, Peng Jicheng¹, Zhang Xuecheng¹, Zhan Dongping² and Jiang Zhouhua²

(1 No.1 Plant, Xingcheng Special Steel Co Ltd, Jiangyin 214429;

2 School of Materials and Metallurgy, Northeastern University, Shenyang 110004)

Abstract The carbon segregation at cross section of 300 mm×340 mm casting bloom of CrMo and CrMnTi series gear steel containing 0.20%~0.04% C produced by 100 t UHP EAF-LF(VD)-concasting flow sheet has been tested and studied. At normal production conditions, to control the casting liquid overheating extent 15~25℃, the secondary cooling water rate 0.35 L/kg, and the torque of mode and final electromagnetic stirring respectively 18 and 15 cN·cm is favorable to improve the bloom segregation. The verifying results in production practice show that the extreme different of corrected carbon content in bloom is less than 0.025% and the rating of macro segregation of rolled products is less than 2.5.

Material Index Gear Steel, Casting Bloom, Carbon Segregation

齿轮钢轧材通常在横截面上存在着不同程度的低倍偏析缺陷,也就是化学成分的不均匀分布,这种缺陷会对齿轮的机加工、热处理以及使用安全性和各种应用性能带来许多不利的影响^[1,2]。轧材偏析缺陷级别大小主要是由连铸坯或钢锭上结晶成分不均匀的严重程度所决定,后续齿轮加工和热处理等过程只能减轻偏析缺陷、不能有效解决问题,而铸坯和钢锭低倍偏析的影响因素主要与钢液成分、浇铸温度、浇铸速度、结晶器或钢锭模冷却速度、电磁搅拌强度等有关^[3,4]。

1 试验条件和研究方法

兴澄特钢一分厂生产工艺路线为:100 t 超高功率电弧炉(UHP)-100 t 二次精炼炉(LF)-100 t 真空脱气炉(VD)-氩气软吹-R12 五机五流大断面连铸机(300 mm×340 mm)-铸坯热送或冷装轧制。其中连铸机具备下渣检测、钢液全程保护浇铸、结晶器液面自动控制、保护渣自动添加、结晶器和末端电磁搅拌、二冷汽化冷却等技术。

兴澄特钢一分厂生产的各类Φ60~120 mm 规格齿轮钢轧材的低倍偏析级别普遍较高,在1.5~3.5级。为了对比各种偏析影响因素的作用,在不

明显恶化产品质量的前提下,可以在连铸机某一流进行各种参数调整试验,对该流铸坯单独管理,切取最具代表性位置的低倍试样,对试样先进行酸洗检验铸坯偏析级别,后在铸坯横截面上不同位置进行光谱分析或钻取金属屑分析化学成分偏析情况,如图1所示。图中1~6点分别距铸坯边缘7、20、50、70、110、150 mm。

本文研究涉及到的齿轮钢种主要有 CrMo 和 CrMnTi 系列,代表钢种 20CrMoH 要求的目标熔炼成分见表1,实际生产过程中熔炼成分碳偏差一般

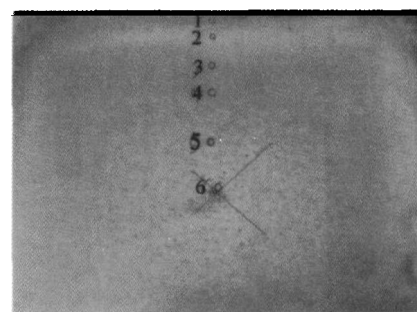


图1 300 mm×340 mm 齿轮钢铸坯横截面取样位置示意图:1-铸坯边缘;6-铸坯中心

Fig.1 Schematic of sampling location at cross section of 300 mm×340 mm bloom of gear steel; 1- bloom edge; 6- bloom center

表 1 20CrMoH 齿轮钢目标成分/%

C	Mn	Cr	Mo	P	S	Al
0.20	0.78	1.15	0.18	≤0.020	≤0.008	0.030

在 ±0.01%、锰和铬熔炼偏差一般在 ±0.02%，其它微量元素偏差在 ±0.005%。

2 试验结果与讨论

2.1 不同钢种化学成分偏析分析

为了分析齿轮钢不同钢种和化学成分在连铸凝固过程的成分偏析情况,并为了便于利用数学方法将不同钢种的偏析程度用统一转化指标进行对比,将各钢种在相近的浇铸过热度、相近的冷却强度和电磁搅拌条件下进行成分偏析程度对比,代表数据见表 2。表 2 中数据是选择有代表性的连铸坯低倍片试样由光谱分析仪测定成分后经过计算得到的。

表 2 齿轮钢连铸坯成分偏析的标准差和极差/%

Table 2 Standard deviation and extreme difference of elements in bloom of gear steel /%

C/%		Mn/%		Cr/%		S/%		Al/%	
σ	Δ	σ	Δ	σ	Δ	σ	Δ	σ	Δ
0.017	0.044	0.009	0.023	0.011	0.031	0.0008	0.0013	0.0013	0.0035

表 2 中 σ 和 Δ 分别指铸坯横截面上如图 1 中所示的 6 个取样点处光谱化学成分的标准偏差和极差数值。由表 2 可以看出,碳比锰铬成分的相对偏差要大很多,硫和铝属于微量元素,成分偏差对铸坯和轧材低倍影响不大。

试验数据表明,碳成分正偏析处、其它成分也基本呈现正偏析性;在相同条件下,碳成分分布偏差大小基本与该钢种的熔炼碳含量大小成正比,与钢种其它特性关系不大。因此,本文以碳成分为代表进行偏析影响因素的分析,并对碳偏析标准偏差和极差根据碳含量大小进行修正,修正后所有钢种的偏析都转化为相当 20CrMoH 钢的偏析进行研究,修正公式为:

修正碳偏析标准偏差 = 碳偏析标准偏差检测数据 / (钢种熔炼碳成分 / 0.20)

修正碳偏析极差 = 碳偏析极差检测数据 / (钢种熔炼碳成分 / 0.20)

2.2 过热度与拉速对铸坯碳偏析的影响

一般认为,连铸中间包浇铸钢液温度和拉坯速度对钢结晶过程的成分偏析有很大影响。钢液浇铸

过热度提高,铸坯凝固散热量增大且坯壳厚度减薄,铸坯断面温度梯度大,易偏析元素如碳、硫等有条件按照选分结晶的方式扩散凝固,从而形成明显的偏析缺陷。在相同的浇铸过热度下,拉速提高也会使凝固散热量增大、坯壳减薄,效果等同于过热度提高,导致偏析程度加大^[1,5]。生产过程中过热度高时,一般拉速会相应降低,所以在相同拉速和过热度匹配工艺下,不考虑拉速对偏析的影响。

在相同的二冷强度(比水量 0.25 L/kg)和电磁搅拌(MEMS:23 cN·cm, FEMS:60 cN·cm)条件下,进行过热度对铸坯碳偏析影响的分析见图 2。

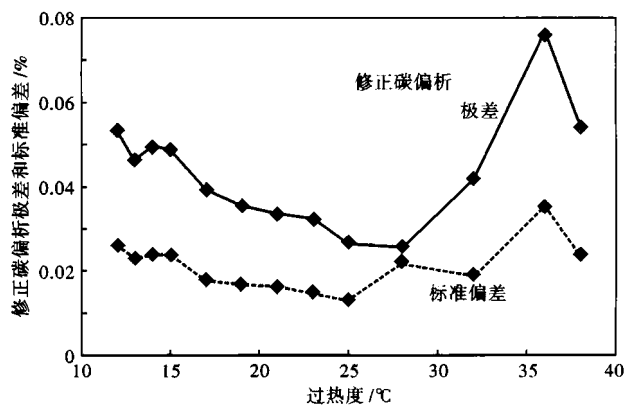


图 2 浇铸过热度对齿轮钢铸坯修正碳偏析极差和标准偏差的影响

Fig.2 Effect of casting liquid overheating extent on corrected extreme difference and standard deviation of carbon content in bloom of gear steel

从图 2 可以看出,中间包浇铸钢水过热度在 13 ~ 32 °C,修正碳偏析极差波动范围在 0.026% ~ 0.051% (修正碳偏析标准偏差波动范围在 0.013% ~ 0.024%),对碳偏析影响不太明显。考虑到正常生产要求和过热度控制水平,将过热度控制在 15 ~ 25 °C 对控制碳偏析是可行的。

2.3 连铸冷却强度对铸坯碳偏析的影响

安全条件下的结晶器冷却水量对铸坯碳偏析的影响应当不是很大。

二冷汽化冷却的作用是均匀冷却铸坯、使铸坯温度稳定降低,如果铸坯表面温度回升明显,将使组织变得粗大、成分偏析加剧。图 3 是在相近的过热度(20 ~ 25 °C)和电磁搅拌强度(MEMS:23 cN·cm, FEMS:60 cN·cm)条件下进行的二冷强度大小对铸坯碳偏析影响的分析,由图 3 可以看出,比水量在 0.35 L/kg 效果最好,低于 0.35 L/kg 碳偏析程度明显增大,高于 0.35 L/kg 碳偏析变化不明显,但对铸

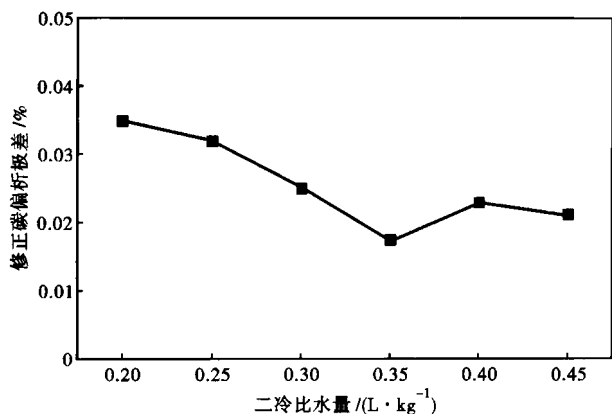


图 3 二冷比水量对齿轮钢铸坯碳偏析极差的影响

Fig. 3 Effect of secondary cooling water rate on extreme difference of carbon content in bloom of gear steel

坯表面质量产生不良影响。

2.4 电磁搅拌强度对铸坯碳偏析的影响

结晶器电磁搅拌作用距离内坯壳生长厚度有限,只在铸坯表面形成一层较薄的激冷细小等轴晶,铸坯离开搅拌作用区后,由于二冷作用以及液芯显热很高,铸坯生长仍然要生成明显的比较粗大的柱状晶和偏析区域,因此还要联合末端电磁搅拌器控制铸坯中间部位的结晶组织和偏析缺陷。如果二者搅拌强度搭配不当,铸坯横断面会出现图 1 所示碳的正负偏析区域。为了研究二者对铸坯碳偏析的影响,在过热度为 20 ~ 25 °C、二冷比水量为 0.25 L/kg 条件下,采用主效应分析方法进行,结晶器和末端电磁搅拌强度都分为 5 个水平,分别是 10、12、18、23、32 和 8、15、36、60、100 cN · cm,每个因子每个水平搭配一次共进行 25 次试验,分析后主效应数据见表 3。

表 3 结晶器电磁搅拌强度和末端电磁搅拌强度对齿轮钢铸坯碳偏析极差的影响

Table 3 Effect of mold electromagnetic stirring strength and final electromagnetic stirring strength on extreme difference of carbon content in bloom of gear steel

结晶器电磁搅拌		末端电磁搅拌	
搅拌强度/ (cN · cm)	修正碳偏析 极差/%	搅拌强度/ (cN · cm)	修正碳偏析 极差/%
10	0.034	8	0.026
12	0.024	15	0.018
18	0.018	36	0.028
23	0.037	60	0.034
32	0.052	100	0.036

从表 3 可以看出,电磁搅拌强度对碳偏析影响明显,结晶器和末端电磁搅拌强度分别在 18、15 cN · cm 对偏析改善有利,其中结晶器电磁搅拌的作用明显强于末端电磁搅拌,从 10 cN · cm 增加到 32

cN · cm,修正碳偏析极差波动范围为 0.018% ~ 0.052%。

2.5 优选连铸参数实践结果

选取过热度 15 ~ 25 °C、二冷比水量 0.35 L/kg、结晶器和末端电磁搅拌扭矩分别是 18、15 cN · cm 的组合参数进行生产实践检验,连铸坯和轧材的偏析缺陷得到了明显改善,连铸坯修正碳偏析标准偏差和修正碳偏析极差降到了 0.015% 和 0.025% 以下,铸坯低倍的正负偏析色度对比明显下降,各类齿轮钢轧材低倍偏析评级基本都在 2.5 级以下,1.0 级以下的评级比例达到了 65% 以上。

3 结论

(1) 齿轮钢铸坯或轧材中碳分布相对偏差要比锰、铬、硫和铝大,碳成分偏差对轧材低倍偏析评级影响最大;碳成分分布偏差大小基本与该钢种的熔炼碳含量大小成正比。

(2) 在相同的冷却强度和电磁搅拌条件下,中间包浇铸钢水过热度在 13 ~ 32 °C 碳偏析变化程度不太明显,将过热度控制在 15 ~ 25 °C 对控制碳偏析是可行的。

(3) 结晶器冷却水量对偏析的影响不大,二冷比水量在 0.35 L/kg 对减轻碳偏析有利;电磁搅拌对碳偏析影响明显,结晶器和末端电磁搅拌强度分别在 18、15 cN · cm 对碳偏析改善有利,其中结晶器电磁搅拌的作用明显强于末端电磁搅拌。

(4) 采用组合参数进行生产实践检验,连铸坯修正碳偏析标准偏差和修正碳偏析极差降到了 0.015% 和 0.025% 以下,各类齿轮钢轧材低倍偏析评级基本都在 2.5 级以下,1.0 级以下的评级比例达到了 65% 以上。

参考文献

- 刘永铨. 钢的热处理. 北京:冶金工业出版社,1981
- 陈得和. 钢的缺陷. 北京:机械工业出版社,1977
- 韩 静. 连铸工艺参数对高碳钢小方坯中心碳偏析和凝固组织的影响:[硕士学位论文]. 北京:北京科技大学,2005
- 陈 峰. 结晶器电磁搅拌对中碳钢连铸大方坯中间碳偏析的影响:[硕士学位论文]. 北京:北京科技大学,2006
- 冯 军,陈伟庆. 连铸工艺参数对高碳钢小方坯中心碳偏析的影响. 特殊钢,2005,26(4):33

张广军(1969-),男,高级工程师,2005 年东北大学毕业,特殊钢冶炼和连铸的生产工艺、质量研究工作。

收稿日期:2009-11-09