

· 工艺技术 ·

150 t 顶底复吹转炉-150 t 钢包炉生产 60Si2Mn(A) 弹簧钢的工艺和质量

梁福斌 刘新生

(河北理工大学冶金与能源学院, 唐山 063009)

摘要 采用 150 t 顶底复吹转炉-150 t LF 精炼(加铝 1.2 kg/t、钡合金 1.0 kg/t、Ar 气搅拌、喂 SiCa 线)-165 mm×165 mm 方坯连铸机生产 60Si2Mn(A) 弹簧钢。LF 末期钢中氧含量为 $(15 \sim 25) \times 10^{-6}$, 残余铝含量 0.020%~0.030%。铸坯的低倍组织、二次枝晶间距和电解夹杂物分析结果表明, 铸坯的组织致密; 钢中大部分夹杂物为尺寸 $\leq 20 \mu\text{m}$ 的颗粒状 SiO_2 、球形 $(\text{Mn}, \text{Fe})\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ 和 MnS , 说明钡合金的使用, 有利于降低钢中氧含量和改变夹杂物的形态。

关键词 顶底复吹转炉 60Si2Mn(A) 弹簧钢 LF 精炼 Ba 合金 夹杂物

Process and Quality of Spring Steel 60Si2Mn(A) Produced by an 150 t Top and Bottom Combined Converter - 150 t Ladle Furnace

Liang Fubin and Liu Xinsheng

(School of Metallurgy and Energy Resource, Hebei Polytechnic University, Tangshan 063009)

Abstract The spring steel 60Si2Mn(A) was produced by an 150 top and bottom combined converter - 150 t ladle furnace (adding Al 1.2 kg/t, Ba alloy 1.0 kg/t, Ar stirring, feeding SiCa wire) - 165 mm×165 mm billet concaster. The oxygen content in steel at end phase of ladle furnace was $(15 \sim 25) \times 10^{-6}$ and residual aluminium was 0.020%~0.030%. The results of analysis on macrostructure of billet, distance between secondary crystal branches and electrolytic analysis of inclusion showed that the most of inclusion in steel were SiO_2 particle, spherical $(\text{Mn}, \text{Fe})\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ and MnS with size $\leq 20 \mu\text{m}$. It proves that added barium alloy is available decreasing oxygen content in steel and modifying morphology of inclusion.

Material Index Top and Bottom Combined Converter, Spring Steel 60Si2Mn(A), LF Refining, Ba Alloy, Inclusion

弹簧是各种机械和仪表中的重要零件, 它主要利用弹簧变形时所储存的能量起到缓和机械上的振动和冲击作用。由于弹簧一般是在动负荷的条件下使用, 因此要求弹簧钢必须具备高的抗拉强度, 高的屈强比, 高的疲劳强度, 并有足够的塑性和韧性及良好的表面质量, 同时还要求有良好的淬透性和低的脱碳敏感性, 在冷热状态下容易绕卷成型。弹簧钢引起疲劳破坏的主要原因是非金属夹杂物, 尤其是 Al_2O_3 和 TiN 夹杂物对弹簧疲劳寿命影响最大。以前弹簧钢都是由电弧炉配合电渣重熔生产, 生产效率较低。通过对在 150 t 氧气顶底复吹转炉和 LF 精炼炉经方坯连铸组织生产 60Si2Mn(A) 弹簧钢的实际情况进行了实验研究。表明采用转炉生产 60Si2Mn(A) 是可行的, 质量是能够得到保证的。

1 生产工艺及实验设计

60Si2Mn(A) 钢(表 1) 实验设计流程为: 150t

表 1 60Si2Mn(A) 钢的化学成分/%

Table 1 Chemical composition of spring steel 60Si2Mn(A) /%

C	Si	Mn	P	S
0.56~0.64	1.60~2.00	0.60~0.90	≤ 0.030	≤ 0.030

表 2 LF 主要技术参数

Table 2 Main technical parameters of ladle furnace

项目	参数
额定处理量/t	150
钢包直径/mm	2 950
自由空间/mm	300~500
变压器容量/MVA	25
升温速度/ $^{\circ}\text{C} \cdot \text{min}^{-1}$	3~4

氧气顶底复吹转炉→150 t LF 精炼(表 2), 脱 S, Ar 气搅拌, 喂 SiCa 线→165 mm×165 mm 方坯连铸(表 3)。

1.1 转炉和精炼

铁水温度 $\geq 1 300 \text{ }^{\circ}\text{C}$ 、 $\text{S} \leq 0.035\%$ 、 $\text{P} \leq 0.100\%$;

表 3 方坯连铸机主要技术参数
Table 3 Main technical parameters of billet concaster

项目	参数
中间包容量/t	16×2
铸坯断面/mm×mm	165×165
弧形半径/m	8
流数	8
铸坯拉速/m·min ⁻¹	1.5~3.0
铸坯定尺长度/m	11.8
冶金长度/m	10
矫直方式	4 辊式 1 点矫直
二冷方式	水冷
电磁搅拌	无
铸流保护	保护渣浸入式水口保护
平均浇铸时间/min	50

吹炼过程以脱磷为主要目标,要求全程化渣,炉温平稳上升;终点成分要求:C 0.42%~0.50%,S≤0.020%、P≤0.020%。Mn/Si 低时形成的 SiO₂ 夹杂,会增加水口堵塞的可能性;Mn/Si 高时(>2.5),生成典型的 MnO·SiO₂ 夹杂物容易上浮排出。由于 60Si2Mn(A) 钢的 Mn/Si 较低,应提高 Mn/Si,把 Mn 含量控制在中上限,Si 含量控制在中下限。使用连用、洁净的专用精炼钢包,并挡渣出钢;脱氧合金化:控制终点氧,采用硅锰铁、低铝硅铁和铝脱氧,加入量根据终点氧位调整。

LF 精炼温度 1 545~1 565℃,用铝及钡合金脱氧,用铝量为 1.2 kg/t_钢,钡合金用量为 1.0 kg/t_钢。钡合金脱氧的目的是对夹杂物进行变性处理,以减少 Al₂O₃ 夹杂物的危害,生成的 Al₂O₃ 夹杂物,经钡合金变性后形成大颗粒低熔点(1 120℃)液态复合脱氧产物,使其在精炼过程中上浮排出。精炼脱 S,Ar 气搅拌,氩气压力为 0.25~0.50 MPa,氩气流量为 60~180 L/min,吹氩时间不少于 40 min。钢包喂 SiCa 线,使钢中氧含量控制在(15~25)×10⁻⁶,钢中残余铝含量控制在 0.020%~0.030%。

1.2 连铸

严格执行中间包烘烤工艺,保证中间包烘烤时间与温度;中间包烘烤结束后,检查中间包工作层耐火材料是否脱落,以防止钢水污染,确认正常后进行浇钢;中间包加入钢水覆盖剂,防止钢水二次氧化,减少钢水温度损失;钢包到中间包采用长水口加氩气密封保护钢水,长水口处钢水不能暴露。控制中间包钢液温度 1 480~1 500℃,同时稳定控制中间包液面高度以稳定拉速,控制液芯压下以保证连铸坯内部质量。

2 60Si2Mn(A) 钢连铸坯的凝固结构及分析

2.1 连铸坯的凝固组织

随机抽取 3 个试样进行检测,在连铸坯横断面上,铸坯凝固组织由表层到中心依次由以下几个组织构成:

(1) 铸坯表层由细小等轴晶组成为激冷层,与一般铸坯相比较,试样铸坯激冷层很薄,仅 0.2~1.2 mm。

(2) 柱状晶区相当发达,直达铸坯中心形成穿晶结构。由纵断面可观察到柱状晶向上倾斜 8~10°。

(3) 无中心等轴晶区,铸坯中心有微缩孔或疏松。导致上述现象的原因是:铸坯断面小,冷却强度大,致使温度梯度大而形成这种凝固结构。

2.2 连铸坯激冷层及二次枝晶间距与坯壳距离关系的测定

通过测定后得连铸坯激冷层及二次枝晶间距与坯壳距离的关系见表 4。

表 4 60Si2Mn(A) 弹簧钢连铸坯凝固状态及二次枝晶间距与坯壳距离的关系/mm

Table 4 Relation between solidification status, secondary branch distance and distance from billet shell of spring steel 60Si2Mn(A) /mm

试样号	激冷层厚度	二次枝晶出现点与坯壳距离	不同坯壳距离的二次枝晶间距					
			30	40	50	60	70	80
1	0.24	15.30	0.17	0.24	0.25	0.22	0.15	0.17
2	1.13	23.10	0.15	0.24	0.31	0.32	0.22	0.17
3	1.02	18.13	0.19	0.21	0.26	0.49	0.23	0.16

2.3 凝固结构观测结果分析

由于铸坯断面小,冷却强度大,60Si2Mn(A) 钢铸坯凝固组织中柱状晶相当发达,形成穿晶状态,二次晶间距也较小(图 1)。

3 连铸坯中的非金属夹杂物

铸坯试样的(50~100 μm)大型电解夹杂物的含量为 0.244~0.358 mg/kg,形貌见图 2。

由于合金料为 Fe-Si、Mn-Si、SiC 和 C 粉,因此在金相试样上主要观察到以下 3 种类型夹杂物:①类颗粒状 SiO₂ 夹杂物(图 3a)、②类球形玻璃体 (Mn,Fe)O·SiO₂ 夹杂物(图 3b)和③类 MnS 夹杂物(图 3c)。3 种夹杂物在各尺寸范围内含量的分布见表 5。

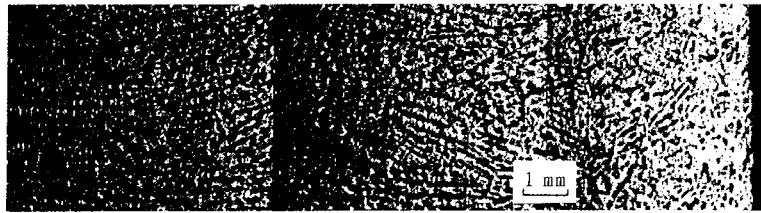


图1 60Si2Mn(A)弹簧钢铸坯内侧的低倍组织

Fig.1 Macro-structure of incurved side of spring steel 60Si2Mn(A) casting billet

①类颗粒状 SiO_2 夹杂物,多以粒径在 $3 \sim 10 \mu\text{m}$ 无规律分布,主要应为二次氧化产物,在铸坯表层分布较多。②类球形玻璃体 $(\text{Mn}, \text{Fe})\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ 夹杂物主要是脱氧产物,是随机分布的。③类 MnS 夹杂物由外向铸坯内部逐渐增加。距内弧侧表面 30 mm 处夹杂物体积率最高。

4 结论

(1) 采用氧气顶底复吹转炉冶炼和 LF 钢包精炼炉精炼后,经 $165 \text{ mm} \times 165 \text{ mm}$ 方坯连铸组织生产 60Si2Mn(A) 弹簧钢,其工艺是可行的,连铸

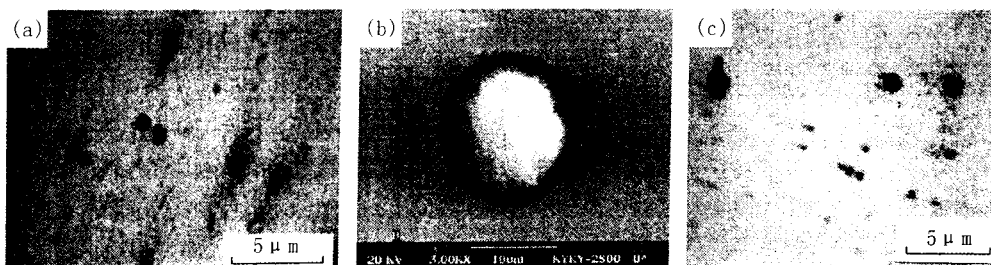
图2 电解夹杂物体视显微镜形貌, $\times 60$ Fig.2 Morphology of electrolytic inclusion, photomicroscope, $\times 60$ 图3 60Si2Mn(A)弹簧钢3种夹杂物形貌:(a) 颗粒状 SiO_2 ; (b) 球形玻璃体 $(\text{Mn}, \text{Fe})\text{O} \cdot \text{SiO}_2$; (c) MnS Fig.3 Morphology of 3 kinds of inclusion in spring steel 60Si2Mn(A): (a) SiO_2 particle; (b) spherical $(\text{Mn}, \text{Fe})\text{O} \cdot \text{SiO}_2$; (c) MnS

表5 60Si2Mn(A)弹簧钢3种夹杂物在各尺寸范围的含量分布

Table 5 Distribution of content in different size range of 3 kinds of inclusion in spring steel 60Si2Mn(A)

种类	不同夹杂物尺寸(μm)的分布/%			合计/%
	<10	10~20	>20	
①	0.029	0.018	0.006	0.053
②	0.016	0.012	0.001	0.029
③	0.093	0.006	0	0.099

坯质量也能得到保证。

(2) 钡合金的使用有利于降低钢中氧含量和夹杂物变性处理。本实验铸坯夹杂物主要有3种类型,分别为①类颗粒状 SiO_2 夹杂物、②类球形

玻璃体 $(\text{Mn}, \text{Fe})\text{O} \cdot \text{SiO}_2$ 夹杂物和③类 MnS 夹杂物;铸坯中较大型的夹杂物很少。

参考文献

- 1 蔡开科. 转炉-精炼-连铸过程中氧的控制. 钢铁, 2004, 39(8): 49
- 2 王忠英, 于桂玲. 60Si2Mn(A) 弹簧钢的脱氧工艺. 钢铁研究学报, 2003, 15(4): 1

梁福斌(1950-), 男, 教授, 1976年河北矿冶学院毕业, 炼钢新技术开发和应用。

收稿日期: 2006-02-24