

## 11 t 铸锭帽口绝热板和保护渣对 H13 钢成坯率的影响

宋书雅<sup>1</sup> 赵俊学<sup>1</sup> 杨 薇<sup>1</sup> 仇圣桃<sup>2</sup> 李小明<sup>1</sup>

(1 西安建筑科技大学冶金工程学院, 西安 710055; 2 钢铁研究总院国家连铸中心, 北京 100081)

**摘 要** 针对钢厂热作模具钢 H13 成坯率低的冶金质量问题, 对影响成坯率的相关质量进行了统计分析, 得出因帽口保温性能差所造成的疏松缺陷占不合格钢锭总量的 58% ~ 76%。通过将 SiO<sub>2</sub> 绝热板的体积密度和导热率分别由 1.65 g/cm<sup>3</sup> 和 0.317 W/(m·K) 降至 0.87 g/cm<sup>3</sup> 和 0.21 W/(m·K), 优化低碳复合保护渣的组成, 使其熔点和粘度分别由原来的 1258 °C 和 1.8 Pa·s 降至 1147 °C 和 0.9 Pa·s, 使钢锭平均成坯率由原来的 75% 提高至 80%。

**关键词** H13 热作模具钢 铸锭帽口 绝热板 保护渣 成坯率

## Influence of 11 t Ingot Hot Top Insulating Board and Shield Flux on Billet Yield of Steel H13

Song Shuya<sup>1</sup>, Zhao Junxue<sup>1</sup>, Yang Wei<sup>1</sup>, Qiu Shengtao<sup>2</sup> and Li Xiaoming<sup>1</sup>

(1 School of Metallurgical Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055; 2 National Engineering Research Center of Continuous Casting Technology, Central Iron and Steel Research Institute, Beijing 100081)

**Abstract** According to metallurgical quality issue about low billet yield of hot working die steel H13 at steel works, the statistic analysis on relative quality to influence on billet yield has been carried out to get that the porosity defects caused by poor insulation of hot top make up 58% ~ 76% of the total non-qualified ingot. With decreasing the volume density and heat conductivity of SiO<sub>2</sub> insulating board respectively from original 1.65 g/cm<sup>3</sup> and 0.317 W/(m·K) to 0.87 g/cm<sup>3</sup> and 0.21 W/(m·K), and optimizing the ingredient of low carbon shield synthetic flux to decrease its melting point and viscosity respectively from original 1258 °C and 1.8 Pa·s to 1147 °C and 0.9 Pa·s, the average billet yield of ingot increases from original 75% to 80%.

**Material Index** Hot Working Die Steel H13, Ingot Hot Top, Insulating Board, Shielding Flux, Billet Yield

H13 (4Cr5MoSiV1, 表 1) 具有较高的热强度与硬度, 是应用广泛的热作模具钢<sup>[1]</sup>。钢厂锻造后的 H13 钢锭平均成坯率仅为 75%, 明显低于国内先进中型 H13 钢锭 85.80% 的成材率水平<sup>[2]</sup>。

### 1 H13 钢生产工艺流程

钢厂模具钢 H13 的生产工艺流程为: 40 t 电弧炉冶炼 → LF 精炼 → VD 处理 → 模铸 → 锻造。经过 40 t 碱性电弧炉冶炼后偏心底出钢, 出钢过程中为了脱氧合金化, 向钢包中加入硅铝钡、硅铁等脱氧剂; 进入 40 t 的 LF 精炼炉脱硫, 喂铝线深脱氧、添加碳粉、硅铁或硅钙粉扩散脱氧; 然后进 40 t 的 VD 进行约 30 min 的真空脱气处理; VD 处理后软吹 10 ~ 15 min, 采用下注法铸锭后送入锻造车间。

统计 20 炉 H13 钢生产过程中的相关数据, LF

精炼后平均全氧含量- T[O] 为 40 × 10<sup>-6</sup>; VD 真空脱气处理后平均 T[O] 为 22 × 10<sup>-6</sup>; 浇注温度为 1545 ~ 1555 °C; 浇注完整支锭的时间约为 19 min, 并且帽口处浇注速度与锭身相比无明显减慢。

部分典型钢锭工装尺寸如表 2 所示。

### 2 影响钢锭成坯率的因素

钢锭的成坯率主要取决于锻后无缺陷部分的长度(或体积)。锻后缺陷主要有裂纹、中心疏松和缩孔、夹杂超标等。其中裂纹主要和钢液浇注温度、速率及钢锭锭型有关; 中心疏松和缩孔主要和帽口补缩及保温情况有关; 夹杂物超标主要和钢液纯净度、

表 2 部分典型 H13 钢锭的参数

Table 2 Parameters of partial typical ingot of steel H13

锭型/ t	帽口 重/t	锭身 重/t	锭尾 重/t	帽容 比/%	高径 比	锥度/ %
1.75	0.297	1.290	0.063	18.0	2.51	1.91
4.2	0.603	3.312	0.145	14.8	2.66	1.97
11.0	1.400	9.440	0.160	12.7	2.04	2.01
16.8	2.500	14.140	0.160	14.9	2.40	2.61
21.5	3.690	17.420	0.400	17.2	2.20	5.64

表 1 H13 钢的化学成分/%

Table 1 Chemical composition of steel H13 / %

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	V	Als
0.35 ~ 0.90	~ 0.30 ~ 1.10	~ 0.30 ~ 0.40	≤ 0.013	≤ 0.005	4.95 ~ 5.30	1.20 ~ 1.30	0.81 ~ 0.89	≤ 0.03

保护渣性能等有关<sup>[3]</sup>。

对于碳含量为 0.32% ~ 0.45% 的钢种,液态收缩约为 1%,凝固收缩为 3.0% ~ 4.3%,由于钢厂在 900 °C 左右完成脱模,不考虑固态收缩。所以 H13 钢锭总的理论体积收缩率约为 5%,加上一定的余量,帽容比取为 10% 左右较为合理。这样既可满足补缩钢锭本体的工艺要求,又提高了钢水成坯率<sup>[3]</sup>。国内企业帽口部分体积已经控制到了 8% ~ 11%,比较而言,该厂帽容比在 12.7% ~ 18.0% 帽口和锭尾缺陷的水平,尚有较大的降低余地。

减小保温帽的容积需要其它相关措施的配套优化,包括浇注工艺、绝热板和保温帽材质、保护渣性能等的保障,才能获得高比例的质量合格坯料。

### 3 影响 H13 钢锭成坯率相关质量检测统计与分析

表 3 统计表明,不合格钢锭主要缺陷是疏松,占不合格钢锭总量的 58% 以上,部分月份甚至达到 76%;其次是表面质量、帽口、锭尾及中心缺陷。

#### 3.1 帽口处检测

##### 3.1.1 帽口解剖

为了找出钢厂 H13 钢锭成坯率低的原因,在 11 t 的 H13 锻材上取样,取样方式如下:1<sup>#</sup>样为锻造前从帽口上沿至帽口线下 10 mm 处纵向锯切而成;2<sup>#</sup>样是在锻材尾部 100 mm 处截取圆盘样,然后在圆盘上取适宜大小圆形样 2 块,中心和边缘处各一块,用于酸浸试验、金相检验及能谱分析,以确定降低钢锭成坯率因素。

##### 3.1.2 酸浸试验

先将锻材试样用砂纸磨制成光面,用抛光膏和抛光布打磨成镜面;配制 4% 硝酸酒精对锻材样的镜面进行腐蚀;当镜面暗淡至不反光之后用水清洗,最后在金相显微镜下观察组织及缺陷。酸浸试验后的低倍组织如图 1 所示。

从图 1 可以看出,钢锭帽口收缩为浅盘形,无残余缩孔,但在帽口中心处形成“V”型疏松区域,严重



图 1 工艺改进前 H13 钢锭头部低部组织形貌  
Fig. 1 Morphology of macrostructure of steel H13 ingot top before process improvement

疏松区控制在帽口部位的 1/2 以上。并且从图 1 中可以明显看出,疏松底部已深入锭身,说明帽口保温性能不够好。另外,帽口两侧边缘处不光滑平整,有毛刺状突起,说明帽口处绝热板耐火度差。

#### 3.2 绝热板性能测试

从现场取浇注 H13 钢锭时所用的主要成分为 SiO<sub>2</sub> 的绝热板。切取体积为 (mm) 33 × 28 × 24 的六面体于 120 °C 左右的干燥箱中干燥 2 h 后称重,用 PBD-12-4Y 型平板导热仪测其热导率。其体积密度和热导率数值与工艺要求<sup>[4]</sup>对比如表 4 所示。

由表 4 对比可知,钢厂实际生产用绝热板的密度和热导率偏大,保温效果差。这样就会导致帽口内的疏松区域延伸到锭身,增大帽口切除量,减小钢锭成坯率;并且在测其热导率过程中发现该绝热板在 1 000 °C 左右时完全粉化,说明该绝热板耐火度不够,钢水浇注过程易渗入保温帽中造成帽口部分的毛刺状突起。

#### 3.3 锭尾处相关检测

##### 3.3.1 金相和能谱分析

据 GB1979-2001 判定,2<sup>#</sup>锭尾试样中无肉眼可见的明显缺陷,但有轻微的中心疏松,疏松级别为 1.5 级。

由图 2 可知,2<sup>#</sup>试样组织无明显异常,但组织内部和晶界上出现很多微小孔洞和夹杂物。锻材中主要为复合夹杂物,这些大尺寸的夹杂物会造成铸锭在超声波探伤时不合,从而增大切尾率,降低钢锭成坯率。分析夹杂物中的主要成分,发现在中心试样

表 3 2012 年 1~4 月份钢厂锻造后不合格的 5~16.8 t H13 钢锭的各缺陷所占比例 / %

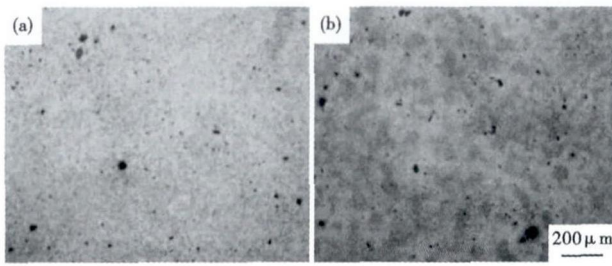
Table 3 Percentage of each macro defect of unqualified 5~16.8 t steel H13 ingot forged at steel works in Jun to Apr, 2012 / %

月份	表面过于粗糙	疏松	帽口缺陷	中心缺陷	锭尾缺陷	其他
1	9.75	76.38	5.32	1.21	4.80	2.54
2	4.37	71.28	9.61	2.83	6.27	5.64
3	11.94	58.19	6.78	6.31	5.47	11.31
4	10.75	64.67	7.93	2.44	9.78	4.43

表 4 优化前后绝热板 1 000 °C 体积密度和热导率

Table 4 Volume density and heat conductivity of insulating board at 1 000 °C before and after improvement

工艺	体积密度 / (g · cm <sup>-3</sup> )	热导率 / [W · (m · K) <sup>-1</sup> ]
优化前	1.65	0.317
要求值	≤ 0.95	< 0.23
优化后	0.87	0.21



试样	夹杂物成分 / %										
	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MnS	MgO	TiO <sub>2</sub>	CaS	SiO <sub>2</sub>	VC	CrC	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
(a) ①	57.43	25.00	10.81	3.38	3.40	-	-	-	-	-	-
②	23.83	-	46.27	-	2.98	26.87	-	-	-	-	-
(b) ①	45.35	20.97	-	5.51	-	-	15.45	-	-	4.98	7.73
②	70.28	-	-	-	-	-	20.04	-	-	7.43	2.25
③	-	21.43	-	-	-	-	28.58	14.28	35.71	-	-

图 2 H13 钢锭尾部的中心疏松形貌和夹杂物成分:(a)边缘;(b)中心

Fig.2 Morphology of center porosity of forged steel H13 steel ingot bottom and ingredient of inclusions; (a) edge; (b) center

的部分小夹杂物中含有少量的 K<sub>2</sub>O 和 Na<sub>2</sub>O, 查阅文献[5]可知, 在钢锭浇注过程中存在卷渣和耐火材料侵蚀现象。通过在生产现场的跟踪观察发现, 该厂在浇钢之前采取直接扔投的方式将保护渣加入钢锭模内, 这样会需要很长时间成渣, 使粘稠区形成过早, 阻碍夹杂物上浮分离<sup>[6]</sup>; 开浇前期钢液注速较大, 液面翻卷严重。优化前所用低碳保护渣的主要化学成分如表 5 所示。

因此判定这少量的 K<sub>2</sub>O 和 Na<sub>2</sub>O 部分是由于开浇初期卷入保护渣造成的。

### 3.3.2 保护渣性能测试

由表 6 对比可知, 该保护渣的熔点偏高, 不利于浇注初期快速成渣, 增大钢液卷渣和二次氧化的可能性, 影响钢锭质量; 粘度偏高, 保护渣不能及时有效流入凝固壳与钢锭模之间的缝隙, 不能良好控制传热, 从而增大钢锭表面裂纹的产生, 钢锭内部产生

表 5 优化前后低碳复合渣的化学成分 / %

Table 5 Ingredient of low carbon synthetic flux before and after improvement / %

工艺	C	SiO <sub>2</sub>	CaO	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	MgO	K <sub>2</sub> O	Na <sub>2</sub> O
优化前	13.70	33.92	11.16	19.49	1.05	3.09	10.02	7.57
优化后	10.67	38.38	14.22	18.99	2.66	1.46	5.43	8.19

表 6 H13 钢浇注用保护渣优化前后主要性能与适宜值

Table 6 Main index of shield flux for steel H13 ingot casting before and after improvement, and suitable value

项目	熔点 / °C	熔速 / 1 300 °C/s	粘度 / Pa · s	水分 / %
现场用保护渣	1 258	48	1.8	0.8
适宜值 <sup>[7]</sup>	1 100 ~ 1 250	30 ~ 90	0.5 ~ 1.0	≤ 0.5
优化后所用保护渣	1 147	53	0.9	0.7

夹渣, 增大锭尾切除量, 降低钢锭成坯率。

### 4 优化措施的生产效果

由以上分析, 特提出以下优化措施:

(1) 改善保温帽口绝热板材质, 优化后绝热板相关参数见表 4;

(2) 钢锭帽容比降低至 10% ~ 12%。对于 11 t 锭型来说将帽口绝热板上下部厚度分别由 90, 75 mm 增加至 142, 127 mm;

(3) 优化保护渣配方及性能, 优化后所用保护渣的化学成分及主要性能参数见表 5、表 6;

(4) 降低浇注温度, 控制过热度 34 ~ 45 °C, 对 H13 钢浇注温度在 1 540 °C;

(5) 严格控制浇注过程帽口补缩时间, 对 11 t 锭型浇注速度遵循: 锭身 9'30" ~ 12'30", 帽口约 7'30"。

采取优化措施后近两个月生产 H13 钢锭 800 t 的相关统计数据表明, 钢锭的平均成坯率达到 80%, 比优化前的 75% 高出 5%。

### 5 结论

(1) 钢厂不合格钢锭主要缺陷是中心疏松, 其次是表面质量、帽口、锭尾及中心缺陷。因此改进帽口材质、使用质量良好的发热剂, 与浇注工艺配合可取得明显效果。

(2) 传统工艺中, 帽容比一般较大, 在采用保温帽、发热剂等优化措施后, 钢锭帽容比可降低至 10% ~ 12%。

(3) 采取优化措施后, 钢厂 H13 钢锭的平均成坯率由 75% 升高至 80%。

### 参考文献

- [1] 楼培炯, 王逸民, 华勤, 等. H-13 钢铸造性能的研究[J]. 特种铸造及有色合金, 1997, 27(5): 18-22.
- [2] 宝钢集团上海五钢有限公司. 中型特殊钢锭模: 中国, 200320109270. 3[P]. 中国专利: 2003-10-28.
- [3] 孟凡钦. 钢锭浇注与钢锭质量[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1994: 155, 373-395.
- [4] 李愿. 高性能绝热材料生产中的微孔原理[J]. 耐火与石灰, 2008, 33(5): 33-35.
- [5] 刘新华, 董履仁, 杨卓钧, 等. 大型氧化物夹杂的类型和来源[J]. 钢铁钒钛, 1985(3): 23-29.
- [6] 蔡开科. 浇注与凝固[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1987: 35.
- [7] 蔡雯莹, 缪新德, 吴小林. 特钢厂模铸用保护渣[J]. 特殊钢, 1999, 20(4): 54-56.

宋书雅(1989-), 女, 硕士研究生(西安建筑科技大学), 炼钢工艺及钢材质量控制研究. E-mail: 904968336@99.com