

## 300 mm × 360 mm 连铸坯生产 Φ80 mm 非调质钢 38MnVS6 工艺实践

王春梅<sup>1</sup> 黄永建<sup>2</sup> 李双江<sup>3</sup>

(1 河北科技大学电气工程学院, 石家庄 050018; 2 河钢集团石钢公司, 石家庄 050031;  
3 河钢集团钢研总院, 石家庄 050023)

**摘要** 非调质钢 38MnVS6 (/% : 0.36 ~ 0.40C, 0.50 ~ 0.65Si, 1.30 ~ 1.45Mn, ≤ 0.020P, 0.045 ~ 0.065S, 0.10 ~ 0.30Cr, 0.015 ~ 0.030Al, ≤ 0.05Mo, 0.08 ~ 0.12V, 0.013 ~ 0.019N, 0.015 ~ 0.025Ti) 棒材生产流程为 60 t LD-LF-VD-CC-Roll 工艺。通过控制 LD 终点 [C] ≥ 0.10%, [P] ≤ 0.015%; LF 精炼渣碱度 R 和 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> 含量分别控制在 3.0 ~ 4.0 和 20% ~ 25%; VD 后喂 S 线, 控制钢水 [S] = 0.055% 左右; 连铸采用低碱度 (R = 0.65) 保护渣; 控制终轧温度 900 °C, 轧后棒材缓冷等工艺生产 Φ80 mm 棒材, 产品 A 类夹杂 (粗细) 在 1.5 级, 中心疏松 1.5 级, 晶粒度 7 级, 棒材产品性能良好。

**关键词** 60 t LD-LF-VD-CC-Roll 38MnVS6 易切削钢 工艺实践 冶金质量

## Process Practice for Production of Φ80 mm Non-Quenched-Tempered Steel 38MnVS6 by 300 mm × 360 mm Continuous Casting Bloom

Wang Chunmei<sup>1</sup>, Huang Yongjian<sup>2</sup> and Li Shuangjiang<sup>3</sup>

(1 School of Electrical Engineering, Hebei University of Science & Technology, Shijiazhuang 050018; 2 HBIS Group Shisteel Company, Shijiazhuang 050031; 3 HBIS Group Technology and Research Institute, Shijiazhuang 050023)

**Abstract** The production process of non-quenched-tempered steel 38MnVS6 (/% : 0.36 ~ 0.40C, 0.50 ~ 0.65Si, 1.30 ~ 1.45Mn, ≤ 0.020P, 0.045 ~ 0.065S, 0.10 ~ 0.30Cr, 0.015 ~ 0.030Al, ≤ 0.05Mo, 0.08 ~ 0.12V, 0.013 ~ 0.019N, 0.015 ~ 0.025Ti) is 60 t LD-LF-VD-CC-Roll process. In order to produce 80 mm bars, the following methods would be used. The LD end point [C] is control above at 0.01% together with [P] below at 0.015%. The basicity of LF refining slag and Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> content are controlled at 3.0 ~ 4.0 and 20% ~ 25% respectively. The S line would be fed after VD treatment to ensure [S] controlled at 0.055% into molten steel. The low basicity mould fluxes (R = 0.65) has been used in continuous casting process. It is necessary to controlled final temperature of rolling steel at 900 °C, and the Φ80 mm bar should be slowly cooled after rolling. Through the detection and analysis of 38MnVS6 bar, it was found that class A inclusions (thickness series) is grade 1.5, and the rating of center porosity is 1.5, and the grain size is grade 7. The performance of bar product is very good.

**Material Index** 60 t LD-LF-VD-CC-Roll, Free-Cutting Steel 38MnVS6, Process Practice, Metallurgical Quality

非调质钢广泛应用于石油用管材、建筑用螺纹钢、机械用传动轴以及汽车用棒材等, 其中最主要应用在汽车锻件上<sup>[1]</sup>。在各类型非调质钢中, 铁素体-珠光体型非调质钢的应用量最大, 使用范围最广, 最早应用于汽车发动机曲轴、连杆等零部件, 现已应用到汽车其他零部件。汽车曲轴生产中, 选用非调质钢可以节约 40% 的成本<sup>[2-3]</sup>。我国汽车用非调质钢的量很小, 较发达国家有很大差距<sup>[4-6]</sup>, 其原因在于国内外非调质钢性能和价格差距较大。

国内外学者对非调质钢亦进行了较多研究<sup>[7-8]</sup>,

国内常用于曲轴的铁素体-珠光体型非调质钢包括 38MnVS、38MnSiV、48MnV 以及国外的 C38(N2) 等。

### 1 生产工艺

采用 60 t LD-LF-VD-300 mm × 360 mm CC-HF (Heating Furnace-加热炉)-Roll (轧制) 流程生产 Φ80 mm 非调质钢 38MnVS6 棒材。38MnVS6 非调质钢的化学成分 (%) 为: 0.36 ~ 0.40C, 0.50 ~ 0.65Si, 1.30 ~ 1.45Mn, ≤ 0.020P, 0.045 ~ 0.065S, 0.10 ~ 0.30Cr, 0.015 ~ 0.030Al, ≤ 0.05Mo, 0.08 ~ 0.12V,

通讯作者: 李双江, 男, 博士, 高级工程师, 河钢集团研究总院, 石家庄 050023

E-mail: lishuangjiang@hbisco.com

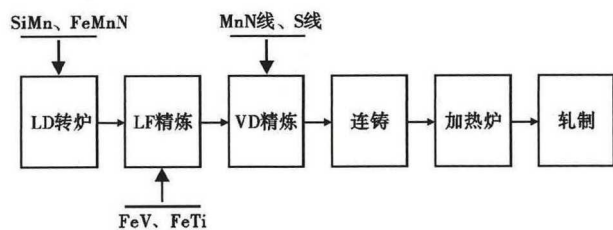


图 1 38MnVS6 非调质钢生产工艺流程

Fig. 1 Flowsheet of production of non-tempered steel 38MnVS6

0.013 ~ 0.019N, 0.015 ~ 0.025Ti。主要生产工艺流程如图 1 所示。

## 2 生产工艺过程控制

### 2.1 LD 冶炼

转炉终点  $[C] \geq 0.10\%$ ,  $[P] \leq 0.015\%$ , 出钢温度  $1610 \sim 1630\text{ }^\circ\text{C}$ ; 出钢采用钢芯铝 + Al 线复合脱氧, 硅铁和硅锰合金化; 出钢过程加入一部分 MnN 铁、高碳 FeCr 和精炼渣, 吨钢加入量分别为 3.8 kg、1 kg 和 5.25 kg。

### 2.2 LF 精炼

精炼过程喂入一定铝线, 再加入高碳 FeMn、高碳 FeCr、FeTi 和 FeV; 精炼时间 90 min, 白渣时间  $\geq 25\text{ min}$ ; 精炼终渣碱度 (R) 控制在  $3.0 \sim 4.0$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  含量在  $20\% \sim 25\%$ ; 出站温度  $1630 \sim 1670\text{ }^\circ\text{C}$ 。

### 2.3 VD 真空

VD 真空处理时间  $65 \sim 70\text{ min}$ , 其中真空保持  $6 \sim 8\text{ min}$ , 软吹  $20 \sim 40\text{ min}$ ; VD 破空后喂 S 线、MnN 线、CaSi 或 Al 线, 控制钢水 Ca/Al 在  $0.06 \sim 0.10$ ; VD 出站  $[H] \leq 1.8 \times 10^{-6}$ , S 含量达到成品钢材要求。

### 2.4 连铸工艺

$300\text{ mm} \times 360\text{ mm}$  连铸采用低拉速浇注, 钢水过热度  $35 \sim 45\text{ }^\circ\text{C}$ , 拉速  $0.45 \sim 0.55\text{ m/min}$ ; 冷却水比水量  $0.2\text{ L/kg}$ ; 采用结晶器和末端电磁搅拌, 搅拌参数分别为  $200\text{ A}/2.2\text{ Hz}$  和  $160\text{ A}/8\text{ Hz}$ 。38MnVS6 钢采用低碱度专用保护渣, 其成分如表 1 所示。保护渣中加入一定量的  $\text{R}_2\text{O}(\text{B}_2\text{O}_3 + \text{Li}_2\text{O})$  可明显降低其熔点和粘度<sup>[9-10]</sup>。

### 2.5 加热和轧钢工艺

加热预热段温度  $\leq 950\text{ }^\circ\text{C}$ , 铸坯加热速度  $2.1 \sim 3.0\text{ min/支}$ 。38MnVS6 钢加热温度如图 2 所示:

表 1 保护渣成分/%

Table1 Ingredient of protective slag/%

| $\text{Al}_2\text{O}_3$ | C     | CaO   | $\text{Fe}_2\text{O}_3$ | $\text{H}_2\text{O}$ | MgO  | $\text{SiO}_2$ | $\text{R}_2\text{O}$ | F    |
|-------------------------|-------|-------|-------------------------|----------------------|------|----------------|----------------------|------|
| 5.97                    | 16.83 | 20.43 | 0.84                    | 0.26                 | 0.94 | 31.62          | 9.63                 | 4.97 |

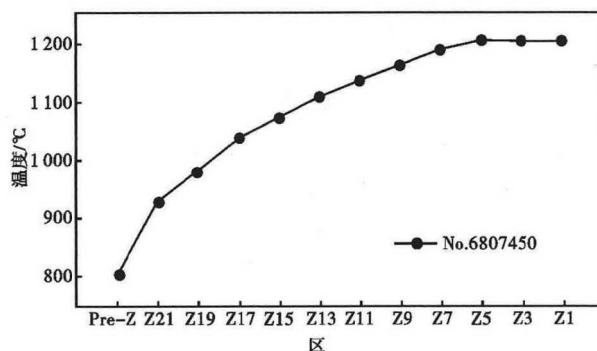


图 2 连铸坯的加热温度曲线

Fig. 2 Curve of heating temperature curve of casting bloom

铸坯开轧温度  $1070 \sim 1110\text{ }^\circ\text{C}$ , 终轧温度  $900\text{ }^\circ\text{C}$  左右; 轧后棒材缓冷, 缓冷开始温度  $300\text{ }^\circ\text{C}$  以上, 缓冷结束  $100\text{ }^\circ\text{C}$  以下, 缓冷时间  $24\text{ h}$  以上。

## 3 棒材产品实物质量

### 3.1 连铸坯低倍情况

从图 3 和表 2 可以看出, 5 炉次采用上述流程生产的  $300\text{ mm} \times 360\text{ mm}$  连铸坯, 有一定程度疏松, 中心偏析控制在 0.5 级以下, 未发现内部裂纹和夹杂。连铸坯表面和内部质量较好, 满足要求。

### 3.2 棒材物理性能

#### (1) 非金属夹杂物

选取某一炉次轧后棒材产品进行夹杂物分析, 结果如表 3 所示。

从表 3 中可以看出, 38MnVS6 非调质钢 A 类 (细系) 夹杂物达到 4.0 级, 但满足技术要求。本检验炉次钢水  $\text{Mn/S} = 25.45$ , 易形成 MnS 夹杂物。生产过程中, 通过控制钢水和炉渣的成分, 使 MnS 夹杂转变为  $\text{MO}_x\text{-MnS}$  类复合夹杂, 降低该类夹杂物的危害。

#### (2) 低倍组织

选取两炉次轧后棒材产品进行低倍检验, 结果如表 4 所示。

从表 4 可以看出,  $300\text{ mm} \times 360\text{ mm}$  连铸坯轧制  $\Phi 80\text{ mm}$  棒材, 低倍组织未发现肉眼可见的缩孔、气泡、裂纹、夹杂、白点等缺陷, 低倍满足技术要求。

#### (3) 力学性能

对 5 炉次不同批次的轧后棒材样进行力学性能检测。结果显示, 钢材抗拉强度 ( $R_m$ ) 在  $800\text{ MPa}$  以上, 屈服强度 ( $R_{eL}$ ) 在  $550\text{ MPa}$  以上, 断面延伸率 (A) 大于  $14\%$ , 断面收缩率 (Z)  $30\%$  以上, 满足成品钢材性能要求。

#### (4) 晶粒度和脱碳层

选取两炉次轧后棒材样进行晶粒度和脱碳层分

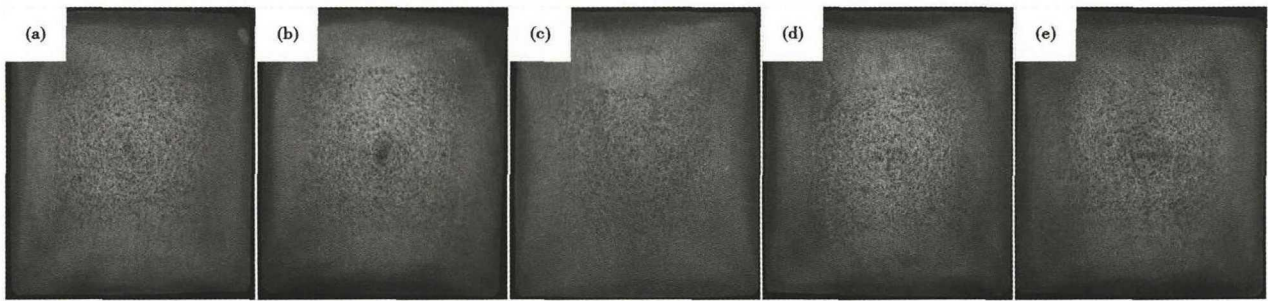


图3 5炉次 38MnVS6 钢连铸坯低倍组织

Fig.3 Macro structure of continuous casting bloom of 5 heats of steel 38MnVS6

表2 连铸坯低倍评价

Table2 Evaluation of low-magnification about continuous casting bloom

| 编号  | 缩孔  |       | 中心疏松/级 | 中心偏析/级 |
|-----|-----|-------|--------|--------|
|     | 等级  | 尺寸/mm |        |        |
| (1) |     |       | 2      |        |
| (2) | 0.5 | 2×1.5 | 2      |        |
| (3) |     |       | 1.5    | 0.5    |
| (4) |     |       | 2      | 0.5    |
| (5) |     |       | 2      | 0.5    |

表3 Φ80 mm 棒材非金属夹杂物检验结果/级

Table3 Examination results of non-metallic inclusion of Φ80 mm bar/rating

| 编号   | A       |         | B       |      | C    |      | D    |         | Ds    |
|------|---------|---------|---------|------|------|------|------|---------|-------|
|      | 细系      | 粗系      | 细系      | 粗系   | 细系   | 粗系   | 细系   | 粗系      |       |
| (1)  | 3.5/4.0 | 1.5/1.5 | 0.5/0.5 | 0/0  | 0/0  | 0/0  | 1/1  | 0.5/0.5 | 1.0/0 |
| 技术要求 | ≤4.0    | ≤3.0    | ≤2.0    | ≤2.0 | ≤1.0 | ≤1.0 | ≤1.0 | ≤1.0    |       |

表4 Φ80 mm 材的低倍组织/级

Table4 Macro structure of Φ80 mm bar/rating

| 编号   | 一般疏松    | 中心疏松    | 中心偏析    |
|------|---------|---------|---------|
| (2)  | 0.5/0.5 | 1.5/1.5 | 0.5/0.5 |
| (5)  | 0.5/0.5 | 1.5/1.5 | 0.5/0.5 |
| 技术要求 | ≤2.0    | ≤2.0    | ≤2.0    |

析,结果如表5所示。从表5中可以看出,样品中均含有一定深度的脱碳层,基本在0.4 mm以下,晶粒度达到7级,完全满足钢材的技术要求。

参考文献

[1] 邢 萍.氮含量对非调质钢 38CrMoVS6 组织和性能的影响[D]. 沈阳:东北大学,2014.  
 [2] Zhang X Z, Zhou G F, Chen Q F, et al. Effect of Cooling Rates After Finish Rolling on Microstructure and Properties of Microalloyed Steels Used for Splitting Con-Rods[J]. Advanced Materials Research, 2011, 284-286: 1053-1059.  
 [3] Young Sang Ko, Jin Woo Park, Hyounsoo Park, et al, Application of High Microalloyed Steel in a New Automotive Crankshaft[C]. 2006 New Developments in Long and Forged Products Proceedings, 2006, 3-10.  
 [4] 陈蕴博,马鸣图,王国栋.汽车用非调质钢的研究进展[J]. 中国工程科学, 2014, 16(2): 4-17.  
 [5] 吴 玮.汽车零部件用非调质钢的应用和发展[J]. 世界钢铁, 2009, (4): 62-68.  
 [6] 丁 洁.汽车用微合金非调质钢的应用现状及发展[J]. 金属热处

表5 Φ80 mm 棒材的脱碳层和晶粒度

Table5 Decarburization layer and grain size of Φ80 mm bar

| 炉号   | 晶粒度/级 | 脱碳层/mm |
|------|-------|--------|
| (3)  | 7     | 0.40   |
| (4)  | 7     | 0.39   |
| 技术要求 | ≥5    | ≤0.5   |

4 结论

- (1)采用 60 t LD-LF-VD-CC (300 mm × 360 mm)-HF (加热炉)-Roll 工艺流程生产 Φ80 mm 规格 38MnVS6 非调质钢棒材,产品实物质量好。
- (2)LF 精炼渣碱度(R)控制在 3.0 ~ 4.0; VD 破空后喂入 MnN 线、S 线和 CaSi 线,控制钢水 Mn/S > 25, Ca/Al 在 0.06 ~ 0.10; 连铸低拉速浇注,采用低碱度(R = 0.65)专用保护渣。铸坯的表面无裂纹,中心偏析在 0.5 级,满足铸坯质量要求。
- (3)控制终轧温度 900 °C, 轧后棒材缓冷等工艺轧制 Φ80 mm 规格 38MnVS6 非调质钢棒材,产品 A 类夹杂(粗细)1.5 级,中心疏松 1.5 级,晶粒度 7 级,棒材产品力学和探伤性能良好。

理, 2006, 31(9): 46-48.  
 [7] 熊玉璋,张贤忠. LF 精炼工艺对 36MnVNS4 含硫非调质钢硫含量和夹杂物形貌的影响[J]. 特殊钢, 2018, 39(4): 48-50.  
 [8] 代 刚,朱志红. 100 t EAF-LF-VD-CC 流程冶炼非调质钢 49MnVS3 的工艺实践[J]. 特殊钢, 2015, 34(4): 31-33.  
 [9] 孙 维,汪开忠,文光华,等. 耐候钢异型连铸结晶器保护渣性能优化研究[J]. 钢铁, 2009, 44(9): 28-32.  
 [10] Kenneth C M, Alistair B F. The Role of Mould Fluxes in Continuous Casting-so Simple Yet so Complex[J]. ISIJ International, 2003, 43(10): 1479-1486.

王春梅(1972-),女,硕士(2005 年华中科技大学),高级工程师,测控和仪器技术开发。E-mail: wcm0311@163.com

收稿日期: 2019-03-15