

120 t BOF-LF-RH-410 mm × 530 mm 大方坯连铸 18CrNiMo7-6 钢的 工艺实践

李博鹏^{1,2} 王占忠¹ 柳萍¹ 张光鸿¹ 郑文超¹ 饶金元¹ 王川¹

(1 大冶特殊钢股份有限公司技术中心,黄石 435001;2 高品质特殊钢湖北省重点实验室,黄石 435001)

摘要 采用铁水+废钢-120 t 转炉-LF-RH-410 mm × 530 mm 大方坯连铸-步进式加热炉-750 轧机轧制-退火的流程生产规格 Φ115 ~ 250 mm 18CrNiMo7-6 (/%: 0.15 ~ 0.19C, 0.25 ~ 0.40Si, 0.40 ~ 0.60Mn, 1.50 ~ 1.80Cr, 1.40 ~ 1.70Ni, 0.25 ~ 0.35Mo, ≤0.020P, ≤0.020S, 0.020 ~ 0.040Al, 0.010O ~ 0.020ON)。通过控制出钢预脱氧和合金化,深真空时间 ≥ 15 min,软吹氮气,控制中间包钢水过热度,拉速 0.48 m/min,全过程 Ar 气保护,连铸 M-EMS 和 F-EMS,轧制后退火等工艺措施,生产的产品宏观夹杂物检测含量 ≤ 20 mm/dm³,碳中心偏析指数 ≤ 1.10,晶粒度 ≥ 7 级,钢材各项指标满足协议要求。

关键词 410 mm × 530 mm 连铸坯 18CrNiMo7-6 钢 宏观夹杂物 晶粒度

Practice of Steel 18CrNiMo7-6 Bloom by Process of 120 t BOF-LF-RH-410 mm × 530 mm Continuous Casting

Li Bopeng^{1,2}, Wang Zhanzhong¹, Liu Ping¹, Zhang Guanghong¹,
Zheng Wenchao¹, Rao Jinyuan¹ and Wang Chuan¹

(1 Daye Special Steel Co., Ltd, Technology Center, Huangshi 435001;
2 High Quality Special Steel Key Lab of Hubei Province, Huangshi 435001)

Abstract The steel grade 18CrNiMo7-6 with diameter of Φ115 ~ 250 mm round from process route of hot metal + scrap-120 t BOF-RH-410 mm × 530 mm continuous casting-bloom heating by walking forward heating furnace-750 rolling-annealing. Its chemical composition is (/%: 0.15 ~ 0.19C, 0.25 ~ 0.40Si, 0.40 ~ 0.60Mn, 1.50 ~ 1.80Cr, 1.40 ~ 1.70Ni, 0.25 ~ 0.35Mo, ≤0.020P, ≤0.020S, 0.020 ~ 0.040Al, 0.010O ~ 0.020ON). Through deoxidization and alloy addition during tapping, deep vacuum degassing not less than 15 minutes, soft bubbling with Nitrogen, super heat control in tundish, casting speed of 0.48 m/min, full process argon protection and applications of F-EMS and M-EMS, annealing after rolling etc., the final product's macro-inclusion not more than 20 mm/dm³, carbon center segregation not more than 1.10 and grain size finer than 7, which meet the specification requirements.

Material Index 410 mm × 530 mm Casting Bloom, Steel 18CrNiMo7-6, Macro-Inclusion, Grain Size

18CrNiMo7-6 钢具有较高的淬透性,渗碳淬火后有高强度、高耐磨性和高的冲击韧性^[1],主要用于大型减速或增速变速箱,广泛应用于风电、船舶、汽车和工程机械等领域^[2]。对钢水成分均匀性、洁净度、晶粒度等技术特性要求非常严格。

1 生产工艺

符合 EN10084-2008 标准 18CrNiMo7-6 钢的工艺流程:铁水+废钢-120 t 转炉-LF-RH-连铸(四机四流,全保护浇注,采用 M-EMS 和 F-EMS,断面为 410 mm × 530 mm 大方坯)-步进式加热炉-750 轧机轧制-退火-理化检验-超声+表面探伤-包装入库。

1.1 炼钢工艺

转炉采用一键炼钢模式,采取顶底复吹技术和留钢留渣操作,总装入量(135 ± 5)t,铁水比例 ≥ 80%,出钢温度 ≥ 1 630 °C,氧的溶解度和温度的关

系为 $\log w_o = -6320/T + 2.734^{[3]}$,合适的出钢温度,在精炼过程中,脱氧后产生适当的夹杂物,有利于去除。炉后合金化,随钢流加入 Al 块(1 kg/t)、低 Cr(25 kg/t)、Ni 板(13 kg/t)、Mo 铁(2.5 kg/t)。

1.2 精炼工艺

LF 精炼是 20 世纪 70 年代初日本大同特殊钢成功开发的炉外精炼工艺^[4],钢水进入 LF 工序,填加造渣材料,采用 Al 块+合成精炼渣的造渣方式 [%: 20 ~ 30Al₂O₃、40 ~ 50CaO、4 ~ 8MgO、5 ~ 10SiO₂; R(CaO/SiO₂) ≥ 4],精炼过程全程吹氩(200 ~ 600 L/min),增加钢水搅拌强度,可促使钢中夹杂物聚合上浮,降低钢水中的 T[O]^[5],精炼时间 ≥ 45 min,控制钢中氧含量 ≤ 10 × 10⁻⁶,依据目标成分,通过 2 ~ 5 次取样、计算及微调合金的模式,控制主要合金成分进入内部控制范围,得到理想需要的淬透性值。

LF 工序结束后,进入 RH 工序进行真空脱气,真空时间 ≥ 20 min,最小真空度 ≤ 133 Pa,最小真空时间 ≥ 15 min。真空后小流量吹氩处理 ≥ 10 min,进一步使钢中夹杂物聚合上浮,提高钢水纯净度。

1.3 连铸

410 mm × 530 mm 的连铸断面是国内最大的合金钢连铸坯断面之一,连铸机配备钢包下渣检测、过程气体测量、液面自动控制、液压振动、中间包电磁感应加热、结晶器电磁搅拌(电流 300 A,频率 2 Hz)和末端电磁搅拌(电流 150 A,频率 9 Hz)、二冷动态配水(比水量 0.24 L/kg,配比 31:35:24:10)技术,创造恒定过热度 25 ~ 30 °C,恒定拉速(0.48 m/min)的环境,连浇铸坯质量成分偏析一致。

1.4 轧制

采用连续步进式加热炉加热,炉尾温度 ≤ 700 °C,加热段温度 900 ~ 1280 °C,均热保温温度 1200 ~ 1270 °C。采用 750 连轧机组成材,开轧温度 1050 ~ 1200 °C,轧后钢材退火。

1.5 退火工艺

18CrNiMo7-6 钢满足交货 HBW 硬度值 ≤ 235,采取退火,退火工艺见图 1。

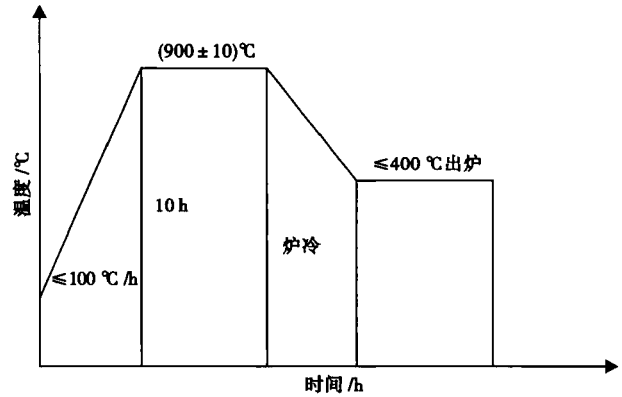


图 1 18CrNiMo7-6 钢轧材退火工艺曲线
Fig. 1 Curve of steel grade 18CrNiMo7-6 annealing process

2 18CrNiMo7-6 钢试制结果及分析

2.1 钢水熔炼成分

18CrNiMo7-6 钢的钢水熔炼成分符合技术标准要求,具体分析结果见表 1。

2.2 连铸坯低倍及成分碳偏析

连铸坯低倍合格,符合技术标准要求。规格 Φ210 mm 的碳中心偏析指数 = 半径 1/2C: 心部 C, 碳中心偏析指数结果 1.05 ~ 1.07,满足标准 ≤ 1.10

表 1 18CrNiMo7-6 钢的熔炼成分/%
Table 1 Melt Analysis of steel grade 18CrNiMo7-6 /%

规格/mm	项目	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Al	N
	技术标准	0.15 ~ 0.19	0.25 ~ 0.40	0.40 ~ 0.60	≤ 0.020	≤ 0.040	1.50 ~ 1.80	1.40 ~ 1.70	0.25 ~ 0.35	≤ 0.25	0.020 ~ 0.040	0.010 ~ 0.020
	熔炼成分	0.15 ~ 0.17	0.25 ~ 0.30	0.50 ~ 0.55	≤ 0.018	≤ 0.030	1.55 ~ 1.60	1.45 ~ 1.50	0.26 ~ 0.28	≤ 0.20	0.025 ~ 0.040	0.011 ~ 0.015
210	炉号 1	0.17	0.25	0.73	0.017	0.021	1.68	1.47	0.27	0.02	0.026	0.012 5
170	炉号 2	0.17	0.27	0.72	0.013	0.023	1.68	1.47	0.27	0.02	0.032	0.012 0
110	炉号 3	0.17	0.26	0.73	0.009	0.025	1.68	1.47	0.27	0.02	0.035	0.011 6
110	炉号 4	0.16	0.27	0.72	0.009	0.025	1.66	1.46	0.28	0.02	0.032	0.011 3
210	炉号 5	0.16	0.27	0.74	0.018	0.026	1.68	1.47	0.26	0.02	0.032	0.012 4

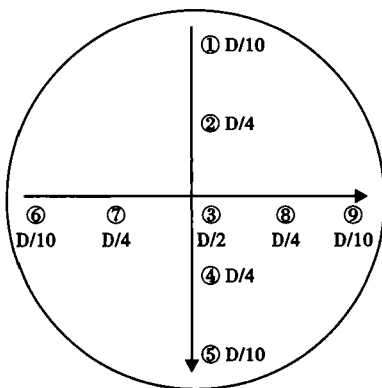


图 2 成分碳偏析取样图
Fig. 2 Carbon segregation sampling diagram

表 2 18CrNiMo7-6 钢低倍检验结果/mm

Table 2 Macro-structure test results of steel grade 18CrNiMo7-6 /mm

项目	皮下裂纹	中间裂纹	角部裂纹
技术标准	≤ 6	≤ 37	不允许
实测	0	0	0

要求,成分碳偏析取样位置如图 2 所示,成分碳偏析见图 3(a,b),低倍检验结果见表 2。

2.3 晶粒度

规格 Φ210 mm 的钢材依照 ISO643-2012 检验奥氏体晶粒度,950 °C 保温 50 h,炉冷至 860 °C 保温 2 h,油淬,再加热到 200 °C 保温 2 h 进行回火,出炉

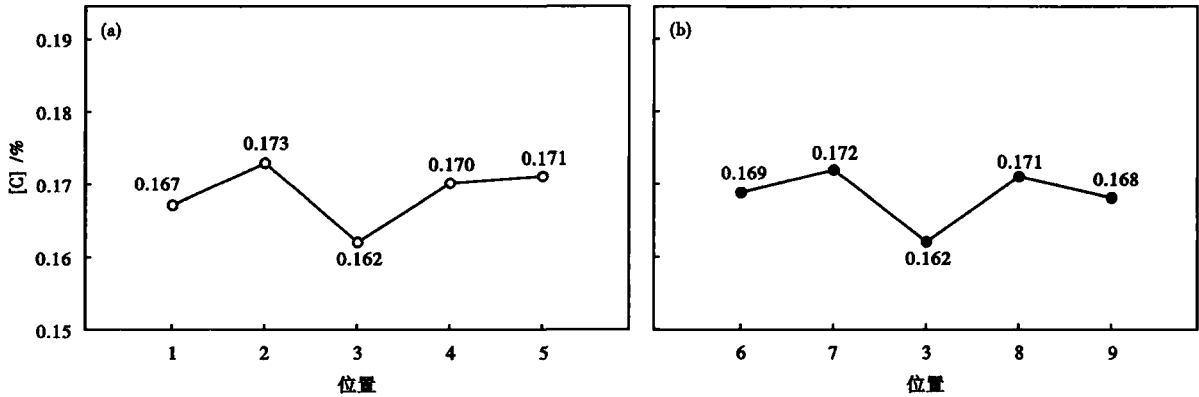


图 3 铸坯横断面 Y 方向(a)和 X 方向(b)碳分布

Fig. 3 Carbon segregation in Y direction (a) and X direction (b) of casting bloom cross section

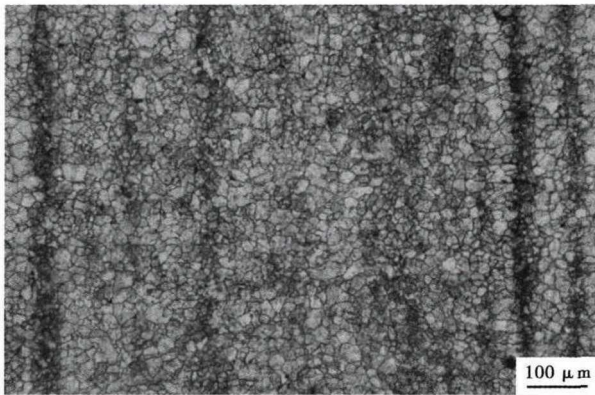


图 4 18CrNiMo7-6 钢奥氏体晶粒度

Fig. 4 Austenite grain size of steel 18CrNiMo7-6

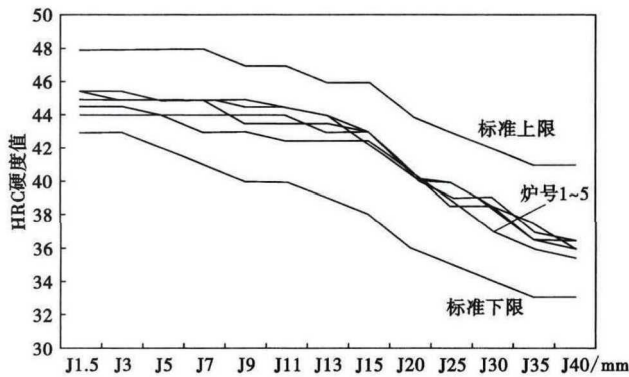


图 5 18CrNiMo7-6 钢淬透性曲线

Fig. 5 Hardenability curves of steel 18CrNiMo7-6

空冷, 检验结果为 8 级, 奥氏体晶粒度图片如图 4。

2.4 宏观纯净度

宏观纯净度检测依照 SEP1927-2010 的超声波检测方法, 敏感等级 5 级, 检测体积 $\geq 5 \text{ dm}^3$, 夹杂物含量应小于 $20 \text{ mm}^3/\text{dm}^3$, 检验结果为 0。

2.5 淬透性

规格 $\Phi 110 \sim 210 \text{ mm}$ 的淬透性检测依照

ISO642-1999 的方法检测, 正火温度 $880 \sim 890 \text{ }^\circ\text{C}$, 奥氏体温度 $(870 \pm 5) \text{ }^\circ\text{C}$, 淬透性结果符合标准要求, 淬透性曲线如图 5。

2.6 交货硬度

钢材交货 HBW 硬度值 ≤ 240 , HBW 硬度值在 $160 \sim 190$ 。

3 结论

(1) 大冶特殊钢股份有限公司采用采用铁水 + 废钢-120 t 转炉-LF-RH-410 mm \times 530 mm 大方坯连铸-步进式加热炉-750 轧机轧制-退火的流程, 可以生产 18CrNiMo7-6 钢, 规格 $\Phi 115 \sim 250 \text{ mm}$ 。

(2) 通过 LF 采用 Al 块 + 合成精炼渣的造渣方式, 降低钢中夹杂物, 提高钢水纯净度, 采用 RH 深真空脱气处理, 最小真空度达到 $\leq 133 \text{ Pa}$, 进一步去除钢中气体和夹杂物, 以及采用连铸中间包加热, 结晶器和末端电磁搅拌, 创造恒定过热度 and 恒定拉速浇铸环境, 18CrNiMo7-6 钢宏观纯净度检测为 0, 碳中心偏析指数达到 $1.05 \sim 1.07$ 的高水平。

参考文献

- [1] 刘洪波. 18CrNiMo7-6 晶粒度的研究[J]. 特钢技术, 2014, 20(2):13-18.
- [2] 朱敏. 旋转加速喷丸处理 18CrNiMo7-6 钢的微观结构与力学性能[J]. 材料导报, 2018, 32(10):1615-1649.
- [3] 王尖锐. 转炉出钢温度控制技术的研究和实践[J]. 世界钢铁, 2013, 13(4):46-49.
- [4] 殷瑞钰. 适用于转炉-薄板坯连铸钢厂的合理炉外精炼工艺的探讨[J]. 钢铁, 2005, 40(10):1-7.
- [5] 蔡开科. 转炉-精炼-连铸过程钢中氧的控制[J]. 钢铁, 2004, 39(8):49-57.

李博鹏(1981-), 男, 硕士(2012 年北京科技大学), 工程师, 2003 年太原理工大学(本科)毕业, 新产品研发。

E-mail: lbp035@163.com

收稿日期: 2018-11-23