

100 t EAF-LF-VD-Φ500 mm 铸坯流程 4Cr5MoSiV1 模具钢的生产实践

吕安明 刘鹏 刁峰 闻小德

(山钢股份莱芜分公司特钢事业部, 莱芜 271104)

摘要 生产的 4Cr5MoSiV1 钢(/% : 0.38 ~ 0.40C, 0.88 ~ 0.92Si, 0.42 ~ 0.44Mn, 0.001 ~ 0.003S, 0.007 ~ 0.014P, 5.00 ~ 5.55Cr, 1.37 ~ 1.40Mo, 0.98 ~ 1.00V, 0.015 ~ 0.025Al) 的工艺流程为 65% 铁水 + 35% 废钢-100 t EAF-LF-VD-Φ500 mm 坯连铸-Φ120 mm 圆钢轧制。通过控制 EAF 终点 [C] 0.06% ~ 0.10%, 终点 [P] 0.006%, 出钢加 1 kg/t 铝块预脱氧, LF 精炼渣碱度 2.5 ~ 3.0, 喂钙线后软吹 ≥ 10 min, VD ≤ 67 Pa, 100 × 2 L/min 氩气搅拌 ≥ 15 min, 中间包钢水过热 20 ~ 30 °C, 连铸结晶器电磁搅拌 (310 A, 1.5 Hz), 保护浇铸, 拉速 0.34 ~ 0.35 m/min 等工艺措施, 10 炉 4Cr5MoSiV1 钢中 [O], [N] 和 [H] 分别为 10×10^{-6} ~ 12×10^{-6} , 72×10^{-6} ~ 80×10^{-6} , 1.2×10^{-6} ~ 1.4×10^{-6} , 各项指标均满足协议要求。

关键词 模具钢 4Cr5MoSiV1 100 t EAF-LF-VD-Φ500 mm 坯连铸 生产实践

Commercial Production Practice of Die Steel 4Cr5MoSiV1 by 100 t EAF-LF-VD-Φ500 mm Bloom Casting Flowsheet

Lü Anming, Liu Peng, Diao Feng and Wen Xiaode

(Special Steel Department, Laiwu Branch, Shandong Iron and Steel Corp Ltd, Laiwu 271104)

Abstract The process flowsheet of commercial-produced steel 4Cr5MoSiV1 (/% : 0.38 ~ 0.40C, 0.88 ~ 0.92Si, 0.42 ~ 0.44Mn, 0.001 ~ 0.003S, 0.007 ~ 0.014P, 5.00 ~ 5.55Cr, 1.37 ~ 1.40Mo, 0.98 ~ 1.00V, 0.015 ~ 0.025Al) is 65% hot metal + 35% scrap- 100 t EAF-LF-VD-Φ500 mm bloom casting. With the process measures including controlling EAF end [C] 0.06% ~ 0.10% and end [P] 0.006%, pre-deoxidizing by adding 1 kg/t aluminium block during tapping, controlling LF refining slag basicity 2.5 ~ 3.0, soft argon stirring for ≥ 10 min after feeding calcium wire, VD ≤ 67 Pa, argon stirring with 100 × 2 L/min for ≥ 15 min, superheat extent of liquid in tundish 20 ~ 30 °C, casting mold electromagnetic stirring with 310 A and 1.5 Hz in casting, shielding casting and casting speed 0.34 ~ 0.35 m/min, the [O], [N] and [H] in 10 heats of steel 4Cr5MoSiV1 is respectively 10×10^{-6} ~ 12×10^{-6} , 72×10^{-6} ~ 80×10^{-6} and 1.2×10^{-6} ~ 1.4×10^{-6} , and each index of steel all meet the requirement of specification.

Material Index Die Steel 4Cr5MoSiV1, 100 t EAF-LF-VD-Φ500 mm bloom Casting, Production Practice

4Cr5MoSiV1 钢是使用最广泛和最具代表性的热作模具钢种, 可用于模锻锤锻模、铝合金压铸模、热挤压模具、高速精锻模具及锻造压力机模具等^[1]。莱钢特钢事业部采用大断面连铸工艺进行了 4Cr5MoSiV1 钢的工业试制, 并实现了批量生产。

1 主要技术难点

1.1 化学成分控制

由表 1 可见, 用户要求 4Cr5MoSiV1 模具钢的 C 含量在 0.32% ~ 0.45%, 且合金含量较大, 同时对五害元素及铝含量提出了严格要求。由于 4Cr5MoSiV1 钢磷含量要求较低, 电弧炉出钢时要将

钢水中的磷脱到很低的水平, 同时还要避免钢水的过氧化, 难度较大; 另外, 莱钢 100 t 电弧炉使用的废钢全部为社会废钢, 废钢种类较多, 质量波动大, 导致钢中五害元素波动大。

1.2 钢水温度控制

4Cr5MoSiV1 钢的合金含量较高, 电弧炉出钢后需要加入的合金量超过 17 t, 另外电弧炉出钢过程中还需要向钢包内加入一定的精炼渣料, 这都不可避免的增加了钢水在出钢过程中的温降。为了保证生产节奏, 使钢水达到精炼炉后具有很好的流动性 (钢水温度在 1 510 °C 以上), 这就要求电弧炉出钢

表 1 4Cr5MoSiV1 钢标准和内控化学成分 /%

Table 1 Standard and interior control chemical composition of steel 4Cr5MoSiV1 /%

项目	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	V	Alt
判定	0.32 ~ 0.45	0.80 ~ 1.20	0.20 ~ 0.60	≤ 0.015	≤ 0.010	4.75 ~ 5.50	≤ 0.25	1.10 ~ 1.75	≤ 0.25	0.80 ~ 1.20	≤ 0.030
内控	0.37 ~ 0.40	0.87 ~ 0.95	0.40 ~ 0.50	≤ 0.012	≤ 0.005	5.00 ~ 5.10	≤ 0.15	1.35 ~ 1.40	≤ 0.15	0.95 ~ 1.00	0.015 ~ 0.030

注: 协议要求 (%): As + Sn + Pb + Sb + Bi ≤ 0.025%, O ≤ 15×10^{-6} , N ≤ 80×10^{-6} , H ≤ 1.2×10^{-6} 。

时钢水温度必须达到 1 660 ℃ 以上^[2],但较高的钢水温度会增加脱磷的困难并加剧炉衬的侵蚀,这就要求对电弧炉出钢温度进行精确控制。

1.3 钢的洁净度

A 类夹杂物随着轧制方向延伸,造成各向异性,对横向冲击影响较大;B 类夹杂物具有尖锐的棱角^[3],降低锅炉钢高温疲劳性能;此外,应尽量减少 AlN、TiN 类夹杂。用户要求 C、Ds 类非金属夹杂物评级不大于 1.5 级,同时脱碳层深度 0.20 + 2% D。

2 工艺控制要点及技术措施

生产工艺流程为:铁水 + 废钢 → 100 t 电弧炉 → 双工位 LF → 双工位 VD → 圆坯连铸(Φ500 mm 断面) → 步进式加热炉 → 950 轧机轧制 → Φ120 mm 圆钢 → 检验。

2.1 冶炼工艺

电弧炉冶炼采取炉内留钢、留渣操作,入炉原料采取废钢 + 热装铁水,铁水比 65%,总装入量(115 ± 5)t。通过合理的供电制度,冶炼前期采取流渣操作,增加氧气流量来快速脱碳、脱磷,中后期及时向炉内补加渣料,保证脱 P 效果,并适当减少氧气流量,防止钢水过氧化,从而达到温度和成分的双命中。钢水终点成分实际控制为(/%):0.06 ~ 0.10C、0.004 ~ 0.006P。出钢过程采取石灰(4 kg/t_钢)、脱氧促进剂(3 kg/t_钢)、铝块(1 kg/t_钢)预先脱氧,为了保证铝、C 及 Ds 类夹杂物满足用户标准要求,严格按试验计划要求加入铝块,实际生产中 Al 控制在 0.015% ~ 0.030%。合金化采用中碳铬、锰铁合金、高碳铬铁合金、硅铁合金以及钼铁合金。

2.2 精炼工艺

LF 到位后加入钢渣料(石灰 + 调渣剂) ≥ 11 kg/t_钢,炉渣化好后,补加合金,并根据 S 含量小批次补加石灰(2 kg/t_钢)脱硫,LF 白渣保持 20 min 后取样全分析一次样。根据一次样分析结果,按内控要求调整 C、Si、Mn、Cr、Mo、V 等成分含量。LF 出钢前,喂入钙线钙处理,软吹时间 ≥ 10 min 后出站。

为了防止 D 类及 Ds 类夹杂物超标,精炼渣系碱度应适当降低。精炼渣二元碱度(R)在 2.5 ~ 3.0

表 2 调节碱度用复合精炼渣成分/%

Table 2 Ingredient of compound refining slag for adjusting basicity / %

Al ₂ O ₃	SiO ₂	CaO	MgO
36 ~ 46	15 ~ 23	16 ~ 28	7 ~ 15

炉渣具有较好的脱氧、脱硫能力及较好的夹杂物吸附能力^[4]。精炼造渣工艺:出钢过程在钢包加入高碱度精炼渣,钢包达到精炼炉后,定量加入复合精炼渣(表 2)对精炼渣成分及碱度进行调整,采用少量铝粒和 SiC 配合进行扩散脱氧,同时采用大流量吹氩,促进钢渣反应^[5]。真空处理参数为:氩气流量 100 × 2 L/min,真空度 ≤ 67 Pa,处理时间 ≥ 15 min,破空后软吹时间 ≥ 15 min。

2.3 大圆坯连铸

连铸过程采用保护浇注。4Cr5MoSiV1 钢液相线温度为 1 474 ℃,中间包过热度控制在 20 ~ 30 ℃;中间包采用专用 8Cr5Mo 覆盖剂,结晶器采用中碳钢保护渣;结晶器电磁搅拌为 310 A、1.5 Hz,末端电磁搅拌为 300 A、1.2 Hz。由于钢中含有较高的 Cr、Mo,易产生裂纹,二冷制度采用结晶器水流量 4 200 L/min,足辊水流量前期 10 L/min,后期 20 L/min,活动段水流量前期 5 L/min,后期 25 L/min 弱冷控制;拉速控制在 0.34 ~ 0.35 m/min。铸坯入缓冷坑缓冷,时间 ≥ 65 h,出坑时铸坯表面温度 ≤ 200 ℃。

2.4 圆钢的轧制

采用 950 轧机线进行轧制,主要轧制规格为 Φ120 mm,铸坯的加热段温度控制在 1 180 ~ 1 280 ℃,均热段温度控制在 1 200 ~ 1 270 ℃,总加热时间应大于 11 h,开轧温度 ≥ 1 150 ℃。

3 实验结果

3.1 化学成分和气体含量

通过表 1 和表 3 的对比可知,莱钢 100 t 电弧炉生产的 4Cr5MoSiV1 钢化学成分控制稳定,残余元素均控制在协议要求之内。

4Cr5MoSiV1 钢成品氧、氮、氢含量分别为 10×10^{-6} ~ 15×10^{-6} 、 72×10^{-6} ~ 80×10^{-6} 、 1.2×10^{-6} ~ 1.4×10^{-6} (表 4),其中氧、氮从圆钢半径 1/2 处取样

表 3 4Cr5MoSiV1 钢实际分析成分/%

Table 3 Analysis of produced steel 4Cr5MoSiV1 / %

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	V	Alt
0.38 ~ 0.40	0.88 ~ 0.92	0.42 ~ 0.44	0.007 ~ 0.014	0.001 ~ 0.003	5.00 ~ 5.55	0.02 ~ 0.06	1.37 ~ 1.40	0.05 ~ 0.08	0.98 ~ 1.00	0.015 ~ 0.025

注:试验钢分析成分(%):0.008 ~ 0.01As,0.003 ~ 0.004Sn,0.001 ~ 0.002Sb,0.000 2Pb%,0.000 2 ~ 0.000 8Bi。

检测,氢为熔炼分析成分。气体含量控制较好。

3.2 铸坯低倍及轧材物理性能

Φ500 mm 铸坯和 Φ120 mm 圆钢内部质量控制良好(图 1,表 5,表 6),低倍检验结果完全满足质量计划要求。

非金属夹杂物 A 类 1.0 ~ 1.5 级, B 类 0.5 ~ 1.0 级, C 类 0.5 ~ 1.5 级, D 类 0.5 ~ 1.0 级, (A + B + C + D) 类在 3.5 ~ 4.0 级;晶粒度为 7.5 ~ 8.0 级,组织均为铁素体 + 珠光体 + 贝氏体(F + P + B);

表 4 各炉次 4Cr5MoSiV1 钢气体含量 /10⁻⁶

Table 4 Gas content in each heat of steel 4Cr5MoSiV1 /10⁻⁶

炉次	[O]	[N]
1	14	75
2	15	77
3	15	78
4	13	76
5	12	80
6	14	72
7	12	74
8	10	74
9	11	73
10	12	77

注:[H]为 1.2 × 10⁻⁶ ~ 1.4 × 10⁻⁶。

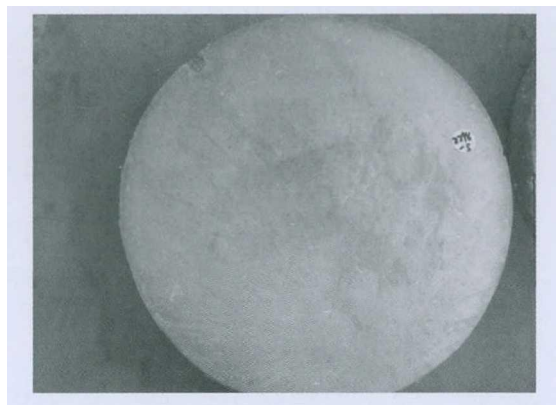


图 1 4Cr5MoSiV1 钢 Φ500 mm 铸坯低倍组织形貌

Fig. 1 Morphology of macrostructure of steel 4Cr5MoSiV1 Φ500 mm round casting bloom

表 5 4Cr5MoSiV1 钢 Φ500mm 铸坯低倍检验结果/级

Table 5 Examination results of macrostructure of steel 4Cr5MoSiV1 Φ500 mm round casting bloom /rating

项目	中心疏松	缩孔	中心裂纹	中间裂纹	皮下气泡、皮下裂纹
标准	≤2.5	≤2.0	≤1.5	≤1.5	≤1.0
检测值	0~1.5	1.0~1.5	0	0	0

表 6 4Cr5MoSiV1 钢 Φ120 mm 圆钢低倍检验结果/级
Table 6 Examination results of macrostructure of steel 4Cr5MoSiV1 Φ120 mm hot-rolled round bar /rating

项目	一般疏松	中心疏松	偏析	一般点状偏析	边缘点状偏析
标准	≤2.0	≤2.0	≤2.0	不允许有	不允许有
检测值	1.0	0.5	0.5	0	0

低倍一般疏松均为 0.5 级,中心疏松为 1.0 ~ 1.5 级;Φ120 mm 圆钢轧材采取以 ≤50 °C/h 由室温加热到(830 ± 50) °C 保温 6 h,炉冷至温度小于 400 °C 时出炉^[6],获得 HB 硬度值 207 ~ 218,符合标准要求。

4 结论

(1)采用铁水 + 废钢 → 100 电弧炉 → 双工位 LF → 双工位 VD → Φ500 mm 圆坯连铸 → 步进式加热炉 → 950 轧机轧制流程生产的 4Cr5MoSiV1 钢,化学成分、低倍以及非金属夹杂物评级等各项指标均满足用户协议要求,工艺设计合理可行。

(2)用低铝脱氧工艺与 LF 的中碱度渣系配合的技术生产的 4Cr5MoSiV1 钢,全铝含量及 C 类和 Ds 类非金属夹杂物评级能够满足用户协议要求。

(3)用低铝脱氧工艺及 LF 扩散脱氧的方式生产的 4Cr5MoSiV1 钢的 [O] 为 10 × 10⁻⁶ ~ 12 × 10⁻⁶, [N] 为 72 × 10⁻⁶ ~ 80 × 10⁻⁶, [H] 为 1.2 × 10⁻⁶ ~ 1.4 × 10⁻⁶。

参考文献

[1] 李彩明. H13 模具钢应用与发展[J]. 中国材料科技与设备, 2009 (4): 3-4.
 [2] 刘兵. 锅炉管用钢 12Cr1MoV 生产实践[J]. 中国冶金, 2015, 25(4): 49-51.
 [3] 蒲学坤. 时速 200 km 钢轨中 B 类夹杂物控制技术[J]. 炼钢, 2005, 21(3): 26.
 [4] 唐海燕, 李京社, 刘亮, 等. 高压锅炉钢非金属夹杂物研究[J]. 炼钢, 2008, 24(4): 26-29.
 [5] 官常忠. 电站模具钢 T91 脱磷、去硫研究[J]. 特钢技术, 2002 (2): 35-39.
 [6] 王贞, 刘静, 鲁修宇, 等. 热处理工艺对 4Cr5MoSiV1 钢组织性能的影响[J]. 热处理技术与装备, 2012, 33(2): 10-14.

吕安明(1986-),男,工程师,2009 年内蒙古科技大学(本科)毕业,炼钢、连铸工艺研究。

E-mail: lam19860101@126.com

收稿日期:2017-09-05