

· 工艺技术 ·

涟钢 CSP 连铸连轧流程的技术装备和生产实践

吴光亮^{1,2} 郑柏平¹ 焦国华¹ 周明伟¹ 罗刚¹

(1 涟源钢铁集团有限公司, 娄底 417009; 2 钢铁研究总院, 北京 100081)

摘要 涟钢 CSP 连铸连轧流程为 SMS-DEMAG 公司的第 2 代 CSP 技术。主要流程为 3 × 100 t 顶底复吹转炉-3 × 100 t 钢包炉(LF)-2 流 45 ~ 55 mm CSP 连铸-辊底式均热炉-7 架连轧机。该生产线 2004 年投产, 预计 2005 年产量超过 270 万 t。简要分析和介绍了涟钢 CSP 流程的装备、技术特性和生产实践, 并提出进一步挖掘涟钢 CSP 流程潜力的技术思路。

关键词 涟钢 CSP 技术 生产实践

Technology Equipment and Production Practice for CSP Concasting and Continuous Rolling Process at Lianyuan Steel

Wu Guangliang^{1,2}, Zheng Baiping¹, Jiao Guohua¹, Zhou Mingwei¹ and Luo Gang¹

(1 Lianyuan Iron and Steel Group Co Ltd, Loudi 417009; 2 Central Iron and Steel Research Institute, Beijing 100081)

Abstract The CSP concasting and continuous rolling flow sheet at Lianyuan Steel is second generation CSP technology of SMS-DEMAG, of which the main process is 3 × 100 t top and bottom combined blown converters - 3 × 100 t ladle furnaces (LF) - two strand 45 ~ 55 mm thin slab CSP concasting - roller-hearth pit soaking furnace - 7-stand continuous rolling mill. The production line was put into production in 2004, and predicted annual output in 2005 shall be more than 2.7×10^6 t. The equipment, technical characteristics and production practice of CSP process at Lianyuan Steel are analyzed and presented, and the technology idea for further tapping CSP process potential at Lianyuan Steel is put forward.

Material Index Lianyuan Steel, CSP Technology, Production Practice

到 2004 年底, 全球已有 50 多条薄板坯连铸连轧生产线投产, 在建 10 多条; 国内投产 7 条, 在建 4 条, 年产能已超过 3 100 万 t^[1-6]。

涟钢热轧薄板坯连铸连轧生产线从德国西马克-德马克公司引进, 为第 2 代 CSP 工艺技术, 均热炉采用布里克蒙 (Bricmont) 技术。第 1 流于 2004 年 2 月 5 日全线一次热试车投产, 第 2 流于同年 6 月 1 日正式投产, 2004 年 9 月份当月产量达 16.74 万 t, 折合年产量超过 200 万 t。2005 年 3 月产量接近 22.9 万 t, 年产量预计超过 270 万 t。并在该生产线上开发了集装箱板、汽车大梁板、冷轧用热轧板卷 (如 SPHC、08Al) 等钢种。

1 涟钢 CSP 流程装备与技术特性

1.1 CSP 整体工艺流程

涟钢 CSP 生产线的主要工艺流程如下:

$1 \times 2\ 200\ m^3 + 5 \times 380\ m^3$ 高炉 → $3 \times 100\ t$ 顶底复吹转炉 →
↓
 $1 \times 60\ t$ 转炉 2 机 8 流 $R = 8\ m$ 小方坯连铸机
 $3 \times 100\ t$ LF → 2 流 CSP 连铸 → 辊底均热炉 → 7 机架连轧 → 地下卷取 → 检验入库。

涟钢的 CSP 工艺流程具有如下特点: (1) 涟钢的 CSP 生产线不是完全独立的生产线, 6 座高炉铁水为 2 个转炉厂提供铁水, 而 $3 \times 100\ t$ 转炉厂既为 CSP 提供钢水又为小方坯提供钢水。(2) CSP 流程中没有铁水预处理和真空处理设施与工序。

涟钢 CSP 生产线主要产品为: SPHC、SPA-H、16MnL、Q345D、Q345B、Q235B、SS400、08Al、Q195 等钢种。

1.2 转炉炼钢与钢包精炼炉

CSP 钢水冶炼系统配备有 900 t 混铁炉, $3 \times 100\ t$ 顶底复吹转炉, 车间内配有 2 机 8 流小方坯连铸机。3 座转炉同时为 CSP 和小方坯连铸机提供钢水。转炉配备在线快速测氧装置, 冶炼周期在 30 ~ 35 min 之间, 采用溅渣护炉工艺, 出钢采用塞棒挡渣操作。

公称容量 100 t 的钢包精炼炉 3 座, 采取双工位回转台形式。变压器容量 18 000 kVA, 电极直径为 $\Phi 700\ mm$, 最大升温速率为 $4.5\ ^\circ C/min$ 。平均

精炼时间 40 min(不包括吹 Ar 时间),3 座 LF 可满足 2 台 CSP 最大生产能力的需要。

1.3 连铸机

2 台立弯式连铸机,弧形半径为 3 250 mm,流间距 26 m。铸坯导向段长度为 9 705 mm。中间包升降行程为 600 mm,钢包升降行程 1 000 mm。中间包容量为 36 t,液面高度为 1 050 mm。结晶器长度为 1 100 mm,漏斗长度为 850 mm,漏斗宽度为 190 mm、180 mm 两种,即大漏斗和小漏斗。结晶器液面采用电磁制动。出结晶器坯厚度 70 mm,经液芯压下,可将铸坯减薄到 55 mm,最大可减薄至 45 mm。最高设计拉速为 6.0 m/min,机械设备预留最高拉速达 8.0 m/min 的能力,最低质量保证拉速为 2.6 m/min。

1.4 均热炉

A 线炉子长度 291.0 m,A 线(1 区到 5 区)炉子主体长度 194.7 m,摆动段 49.2 m,出坯段 47.1 m。B 线炉子主体长度 294.30 m,包括密封室和烟道,摆动段长度 49.2 m。炉膛宽度 2.080 m,隧道内高度 1.8 m。最短坯料 6.0 m,半无头轧制时的最大长度为 200 m,B 线的坯料最长不超过 44.9 m。燃气为混合煤气。

铸坯在炉内通过速度范围为 2.0 ~ 60.0 m/min。从 2.0 m/min 加速到 60.0 m/min 需最短时间为 3 s。铸坯出坯温度为 $(1\ 150 \pm 10) ^\circ\text{C}$ 。

1.5 立辊轧机和精轧机组

F1 前的立辊轧机最大轧制力为 2 500 kN,最高轧速 1.0 m/s,总立轧量 40 mm。

精轧机组为 7 机架 4 辊不可逆轧机(F1-F7),主电机功率均为 10 000 kW。最大轧制力 F1-F2 为 44 000 kN,F3-F4 为 42 000 kN,F5-F7 为 32 000 kN。工作辊最大弯曲辊力 F1-F7 为 11 000 kN。输出辊道速度 22.0 m/s。高压水除鳞压力为 38 MPa。机架间距为 5.5 m。

1.6 层流冷却和卷取机

冷却区长度 38 400 mm,最大水总流量 5 600 m³/h,系统压力 0.07 MPa,倾斜组数 6 个,冷却区数 28 个微调区,8 个精调区。

卷取机 2 台,最大卷取重 29.6 t,最大单位卷重 18.5 kg/m,最小单位卷重 4.3 kg/m,最大卷外径 1 950 mm,最小卷外径 1 160 mm。最大卷取速度为 22 m/s。

2 连钢 CSP 生产实践

图 1 为连钢 CSP 生产线的达产曲线,示出投产后 17 个月中月产量的变化。投产前 4 个月仅有 1 流铸机生产,投产的 16 ~ 17 个月(2005 年 4 ~ 5 月份)进行年检修 15 天。

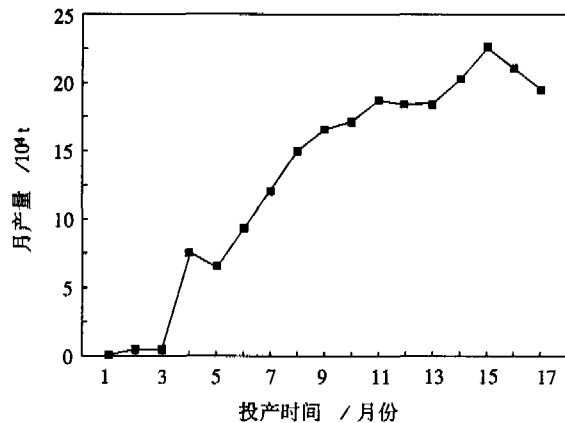


图 1 连钢 CSP 生产线月产量变化

Fig. 1 Change of month output of CSP production line at Lianyuan Steel

由图 1 可以看出:投产的前 3 个月为调试期,在调试后第 2 流投产,产量逐月上升,并于第 15 个月达到最高点接近 22.9 万 t,年产量可达 274 万 t。在投产后的第 16 和 17 个月进行了年度检修,其产量呈下降趋势。

2.1 主要技术经济指标

连钢 CSP 自 2004 年 2 月投产以来,生产的热轧薄板卷产量与品种情况如表 1。由表 1 看出:Q235 占主导地位,超过总产量的 55%,其次为 SPHC、SS400、Q345 以及 SPA-H 和 16MnL。投产至 2005 年 5 月以来热轧板的主要技术经济指标如表 2。

2.2 技术创新与产品开发

投产以来,在不断消化吸收引进先进装备与技术基础上,进行了一系列技术创新和新产品开发。具体如下:

(1) 进行了半无头轧制工艺和动态规格控制技术研究与实践,成功生产了厚度为 0.78 mm 的热轧板卷(1 250 mm 宽,SPHC),创造了 CSP 薄板坯连铸连轧线生产超薄板新的世界纪录。并可批量生产 1.2 mm 以下厚度板卷。半无头轧制板坯最长,达到 269 m,实现 1 切 7 轧制。

(2) 进行了 CSP 连铸工艺优化。开发了结晶

表 1 涟钢 2004 年度及 2005 年薄板品种及月产量/t

Table 1 Month output and steel grade of thin sheet produced at Lianyuan Steel in 2004 and 2005 /t

年度	月份	连铸坯	非合金钢	Q195	Q235	SPHC	SS400	08Al	低合金钢	Q345	16MnL	SPA-H
2004	2~9	729 348	665 004	7 881	596 096	29 798	30 922	307	64 343	56 018	520	7 805
	10	169 947	152 206	0	108 742	17 791	25 665	8	17 741	9 572	820	7 349
	11	186 228	169 031	0	97 390	40 347	31 294	0	17 197	9 787	1 646	5 764
	12	184 079	163 523	0	104 678	38 271	19 614	0	21 517	12 683	324	8 510
2005	1	186 324	163 523	0	94 350	39 805	29 368	0	22 800	13 156	1 981	7 663
	2	203 701	190 096	198	106 022	53 411	30 466	0	13 605	12 521	605	479
	3	228 533	200 607	113	116 666	42 121	41 707	0	27 926	15 329	4 427	8 170
	4	212 276	182 862	103	116 379	40 790	24 668	922	29 414	19 547	1 016	8 851
	5	191 281	176 843	0	142 363	23 605	10 875	0	14 438	13 507	332	599

表 2 涟钢 2004 年度及 2005 年热轧板主要技术指标

Table 2 Main technical index of hot rolled plate produced at Lianyuan Steel in 2004 and 2005

年度	月份	精炼电耗/ kWh·t ⁻¹	氩气/ m ³ ·t ⁻¹	精炼处理 时间/h·炉 ⁻¹	铸坯收得 率/%	铸机日历 作业率/%	台时产量/ t·h ⁻¹	连浇炉数 炉/次	漏钢率/ %	轧机产量/ t·h ⁻¹
2004	2~9	43.25	1.33	0.35	95.47	68.13	170.85	12.43	0.11	267.38
	10	45.05	1.52	0.29	98.37	65.88	173.37	11.80	0.53	339.86
	11	42.06	1.38	0.34	97.64	75.53	171.21	13.21	0.32	283.91
	12	43.09	1.68	0.34	99.58	69.42	178.19	11.84	0.22	284.62
2005	1	38.95	1.75	0.32	94.74	71.57	174.95	13.08	0.31	288.09
	2	37.21	2.93	0.31	97.47	82.30	184.16	13.42	0.39	309.41
	3	37.22	1.38	0.30	96.43	81.24	189.05	14.35	0.55	320.85
	4	39.44	1.48	0.87	98.36	81.07	181.83	14.38	0.61	335.94
	5	38.22	1.43	0.87	97.24	78.06	164.67	15.75	0.10	334.64

器电磁制动、保护渣国产化、二冷弱冷控制等一系列相关技术。

(3) 建立了 CSP 钢水保障体系。开发了 LF 高效精炼技术(包括深脱硫: $[S] \leq 0.005\%$, 低夹杂: 氧化物夹杂物 $\leq 30 \times 10^{-6}$, 低氮含量: $[N] \leq 30 \times 10^{-6}$)。

(4) 开发如下钢种: SPHC、SPA-H、16MnL、Q345D、Q345B、Q235B、SS400、08Al、Q195 等。

3 涟钢 CSP 流程效益最大化的基本思路

根据涟钢 CSP 流程的装备与工艺技术特性, 以及一年多来的生产实践, 进一步挖掘涟钢 CSP 流程效益应从如下几个方面进行系统研究: (1) 前工序装备配套完善与工艺优化; (2) 消化吸收与技术创新, 其中包括: 实现产能最大化、实现产品多样化和加快国产化进程; (3) 高附加值产品的开发, 开发的品种应包括: 软钢-供深加工用钢、高强钢和特殊钢-电工钢与不锈钢。

4 结论

(1) 涟钢 CSP 工艺流程装备先进, 是 CSP 第 2 代产品的典型代表。该生产线达产达效速率快, 规格与品种开发适应性强, 如主要技术经济指标(连铸漏钢率、连浇炉数等)以及薄规格轧制等方面均处于领先地位。

(2) CSP 潜力的进一步挖掘是涟钢今后的工作重点。经营模式的选择是基础, 前工序装备的配套与工艺优化是保证, 技术创新与新产品是关键。

参考文献

- 刘 苏, 章洪涛, 王瑞珍, 等. 薄板坯连铸连轧工艺及微合金高强度钢的开发. 钢铁研究学报, 2002, 14(2): 25
- Flemming G. 连铸薄板坯的轧制和 CSP 紧凑型热轧带钢生产设备. 冶金部情报研究所编. 国外连铸新技术之六. 北京: 冶金部情报研究所, 1991: 273
- Siwecki T, Engberg G, Guibe A. Thermo-mechanical Controlled Processes for High Strength and Toughness in Heavy Plates and Strips of HSLA-Steels. Chandra T. Sakai T. Thermec' 97: International Conference on Thermo-mechanical Processing of Steels and Other Materials. Pennsylvania: Minerals, Metals & Materials Society. 1997: 757
- Easadiqi E, Baragar D, Ruddle G E. Direct Hot Rolling of Thin Slabs of Ti-Nb Microalloyed Steel. Chandra T. Sakai T. Thermec' 97: International Conference on Thermo-mechanical Processing of Steels and Other Materials. Pennsylvania: Minerals, Metals & Materials Society. 1997: 579
- 何建中, 司永涛. 建设中的包钢 CSP 生产线. 钢铁, 2001, 36(9): 34
- 马忠仁. 薄板坯连铸连轧技术国外考察纪实与分析. 武钢技术, 2001(2): 21

吴光亮(1966-), 男, 教授级高级工程师, 博士后, 从事冶金材料和工艺的研究。