

薄带连铸技术研究

欧阳炜

宁波钢铁有限公司，宁波 315807

Research on thin strip continuous casting technology

Ouyang Wei

Ningbo Iron and Steel Co., LTD., Ningbo 315807, China

1. 前言

宁钢薄带连铸是我国第一条薄带连铸工业化生产线，是宝钢集团在宁钢实施的重大科研项目，得到了国家的大力支持。与传统的工艺相比，薄带连铸具有生产工艺先进、节能、环保、投资少等等；适于生产超薄热带、生产周期短、宜于实施无头轧制；在碳钢、不锈钢领域中可替代部分热轧薄板和冷轧薄板，是未来钢铁生产的主要发展方向之一。

2. 薄带连铸工艺说明

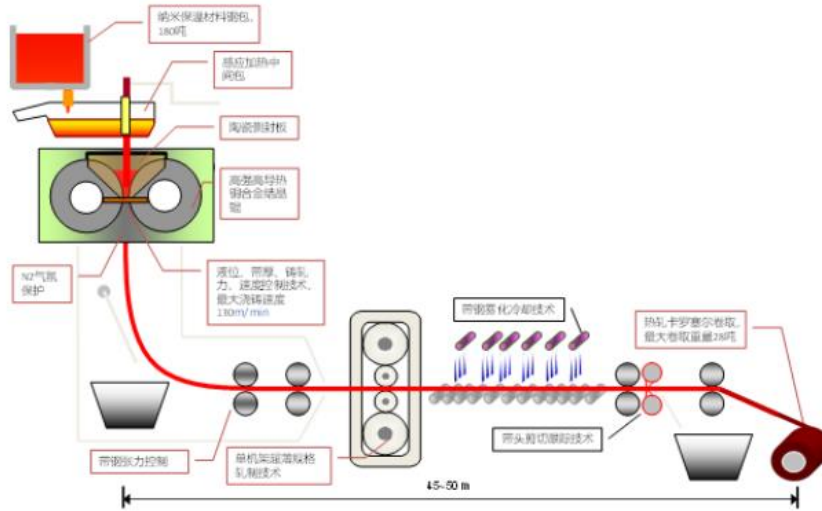
双辊式薄带连铸工艺中，采用常规钢包、中间包和浸入式水口把液态钢水浇铸到特殊的结晶器中直接生产出热带钢。结晶器由一对相对同步旋转的浇铸辊和两块陶瓷侧封板组成。浇铸辊直径 800 mm，内部强冷；陶瓷侧封板经预热后顶压在浇铸辊的两个端面上，与浇铸辊一起构成一个钢液熔池。钢液熔池的上方是一个水平的衬有耐火材料的结晶器盖，盖子与熔池液面保持一定的距离，用于防止或减少热损，同时防止钢液二次氧化。从液面开始，在镀有金属的两个辊的表面生成带钢的外壳，在两辊之间最窄位置（所谓吻合点-kissing point (K. P.)），由于浇铸辊辊壁的高速热传导，使两面钢壳迅速生长，并在吻合点区域合并。通过对浇铸辊的位置控制，使吻合点间距保持恒定。为了稳定地控制上述凝固过程，对合并过程中两个钢壳的电阻连续进行测量。

由于表面温度很高和浸润性很低，钢液不会凝固到陶瓷侧封板上。结晶器盖子下注入惰性气体保护液面。由于薄带与浇铸辊之间作相对运动，所以不需要使用保护渣。

与常规连铸工艺不同，这里没有二冷段，所以（除了过热之外）几乎全部凝固热都是通过浇铸辊散发出去。浇铸的钢带越薄，铸机的生产率越高，因为凝固过程中随着两面钢壳的生成产生热阻。2 mm 厚浇铸带钢凝固需要大约 0.4 秒的时间。从 40 m/min 到 130 m/min(最高达 150 m/min)的浇铸速度范围取决于带钢厚度、浇铸辊尺寸和熔池的深度。

薄带钢浇铸工艺可以在铸机与卷取机之间进行在线带钢处理。可以根据各自浇铸的钢种合产品的不同要求，配置加热、冷却和轧制过程。

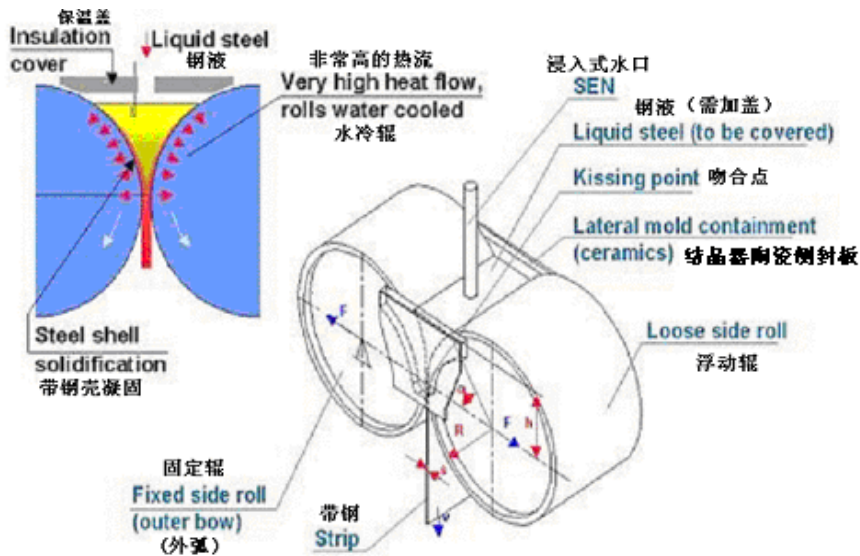
牢固粘合后的带钢从吻合点离开结晶器时，其温度依然很高。它垂直向下运动，被导引穿过一个防氧化的隧道，经转向到水平方向，然后以 950°C-1100 °C 典型的入口温度进入一个四辊轧机，连续以大变形压力热轧，其压下率大约为 20-50%。厚度减薄之后，热带钢以相应提高的速度离开轧制辊缝，经过至少一个冷却段到达卷取机系统，连续卷取成 20 - 35 t 典型重量的钢卷。用两个卷筒交替地进行卷取。用第一个卷取机夹送辊前的飞剪或旋转剪实现两卷之间的剪切。应当严格遵守规定的卷取温度。



3. 设备选型与工艺参数

带钢连铸工艺中，最关键的部件就是浇铸辊，它也是 EUROSTRIP 的保密技术。经过一系列的数字化模型试验、实验室试验以及实际操作等研究开发，才取得成功的设计。

EUROSTRIP 浇铸辊由一个钢芯和一个铜合金套筒组成，铜合金套筒内有许多冷却通道。通过铜套的高强度水冷却保证钢液凝固。用一种特殊金属镀层保护浇铸辊的外表面。



工艺参数

	设备名称	技术参数
冶炼	LD 转炉	180t, 3 座
精炼	LF 精炼炉	180t, 1 座
连铸机	铸机型式/台数/流数	双辊等径薄带连铸机/1/1
	结晶辊直径	800 mm
	浇注速度	40~150m/min
	带钢规格	0.8~3.6*1030~1370mm
	生产钢种	碳钢、硅钢、高锰钢

输送辊	辊面宽度	1580 mm
飞剪	飞剪型式/最大剪切厚度	连杆式 / 5 mm
冷却控制	冷却方式	雾化冷却
热轧机	型式 / 辊面宽/控制方式	四辊热轧机/1580 mm/带有 HAGC 控制系统
卷取机	卷取机/最大卷重	卡罗赛尔卷取机/28.6
耐材	中间包	感应加热中间包
	侧封板	陶瓷侧封板
	布流器	II、III型
	钢包	180 吨、纳米保温材料

4. 生产质量控制

目前主要生产普通碳素钢和低合金高强度结构钢，具体钢种有 HR275 和耐候钢。总体来看成分控制稳定，性能良好，表面质量良好，缺陷主要有夹杂、裂纹等，具体如下。

4.1 碳素结构钢

碳素结构钢熔炼成分

牌号	C	Si	Mn	P	S	Als	N
碳素结构钢	≤0.10	≤0.50	≤0.80	≤0.025	≤0.015	≤0.010	≤0.012

HR275 力学性能

牌号	方向	屈服强度(Mpa)	抗拉强度 (Mpa)	伸长率 (%)
碳素结构钢	L	≥275	≥380	≥15

碳素结构钢钢水成分

序号	C	Si	Mn	P	S	Als	N
1	0.051	0.225	0.654	0.013	0.004	0.001	0.0021
2	0.052	0.253	0.715	0.016	0.005	0.001	0.0023
3	0.064	0.241	0.688	0.016	0.004	0.001	0.0026
4	0.056	0.310	0.690	0.015	0.006	0.001	0.0016
5	0.059	0.289	0.690	0.014	0.004	0.002	0.0014
6	0.064	0.248	0.607	0.020	0.006	0.001	0.0033
7	0.061	0.219	0.708	0.015	0.005	0.001	0.0018

碳素结构钢钢卷性能

序号	实测厚度(mm)	屈服强度(Mpa)	抗拉强度(Mpa)	屈强比	伸长率(%)
1	1.50	320	405	0.79	38.5
2	1.44	325	419	0.78	37.5
3	1.49	318	419	0.76	40.5
4	1.47	305	399	0.76	38.0
5	1.48	336	422	0.80	37.0
6	1.50	315	428	0.74	47.0
7	1.45	309	419	0.74	39.5

4.2 耐候钢

耐候钢熔炼成分

牌号	C	Si	Mn	P	S	Als	N
耐候钢	≤0.10	≤0.50	≤1.00	≤0.120	≤0.015	≤0.010	0.0060

耐候钢力学性能

牌号	方向	屈服强度(Mpa)	抗拉强度 (Mpa)	伸长率 (%)
耐候钢	L	≥340	≥410	≥18

耐候钢钢水成分

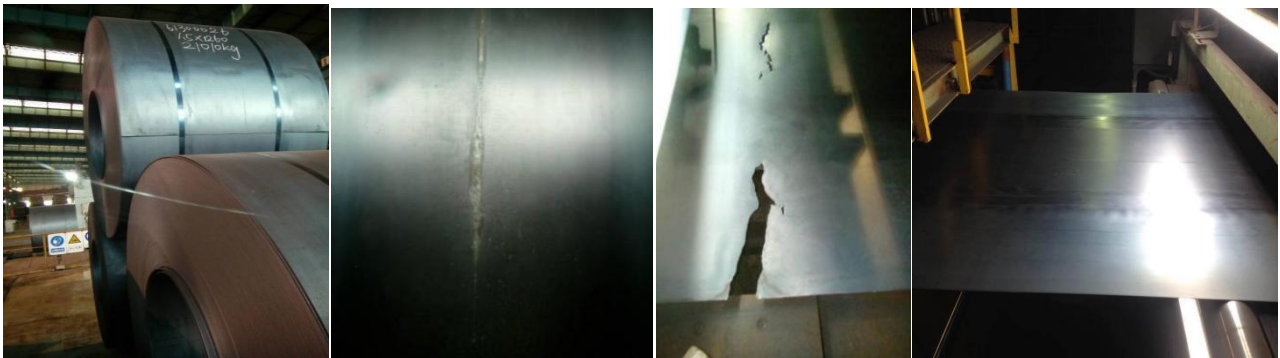
序号	C	Si	Mn	P	S	Cu	Als	Ni	Cr	N
1	0.068	0.304	0.830	0.089	0.004	0.277	0.001	0.092	0.519	0.0028
3	0.062	0.281	0.791	0.097	0.006	0.304	0.002	0.099	0.510	0.0019
3	0.057	0.284	0.818	0.098	0.005	0.305	0.001	0.100	0.524	0.0022
4	0.054	0.268	0.818	0.091	0.006	0.277	0.001	0.087	0.526	0.0028
5	0.067	0.250	0.791	0.092	0.005	0.268	0.001	0.084	0.509	0.0022
6	0.063	0.228	0.737	0.090	0.004	0.261	0.002	0.098	0.512	0.0031
7	0.072	0.260	0.740	0.090	0.005	0.263	0.001	0.096	0.522	0.0038

耐候钢力学性能

序号	实测厚度(mm)	屈服强度(Mpa)	抗拉强度(Mpa)	屈强比	伸长率(%)
1	1.46	451	567	0.80	25
2	1.41	434	557	0.78	27.5
3	1.45	451	573	0.79	25
4	1.47	388	540	0.72	29
5	1.79	386	521	0.74	29
6	1.47	413	529	0.78	26.5
7	1.44	443	568	0.78	25.5

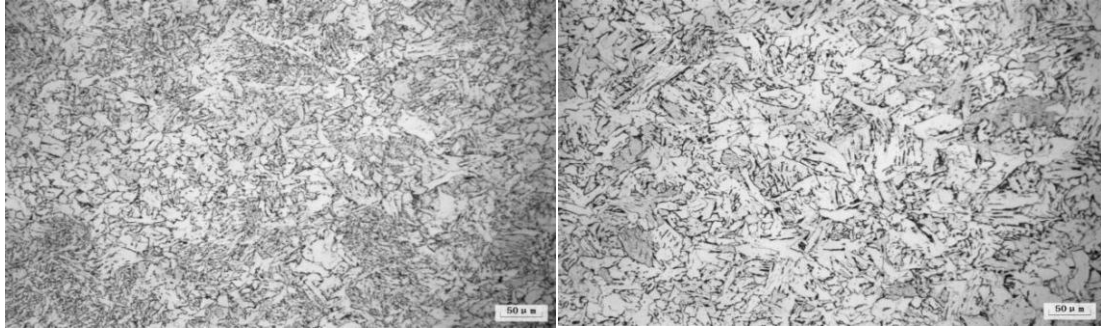
4.3 表面质量

表面质量总体良好，主要缺陷夹杂、浪形、横裂等等，具体如下：



4.4 金相组织

组织：铁素体+珠光体，带状组织：无，夹杂：C0.5。



5. 结论

薄带连铸技术已受到钢铁行业重视，被列为一些领先企业的前沿科技研发项目，再往前取得一些突破必将改变钢铁行业现状，带来巨大的经济效益和社会效益。目前还存在一些问题，如薄带表面质量、薄带厚度的均匀性、铸速的稳定性、薄带的宽度、侧封材料、铸辊材质和冷却、钢水保护及各项控制系统等，还有一个在目前生产条件下成本偏高，难以取得预期的效益，这大大限制了薄带连铸的快速推广。下一步的研究重点是亚快速凝固规律及控制模型、铸轧模型及其板形控制、熔池布流及液面波动控制、结晶辊、侧封板、布流器、中间包的优化等等。降低薄带连铸的生产成本，当薄带连铸生产成本降到传统热轧成本时，薄带连铸将迎来大的发展。

参考文献

- [1] Richard L. Wechsler: "A Bold Step Forward for the Steel Industry", ForeCast, June, 2001.
- [2] W Blejde and R Mahapatra BHP Steel, Port Kembla, Australia, H Fukase IHI, Yokohama, Japan." RECENT DEVELOPMENTS IN PROJECT M THE JOINT DEVELOPMENT OF LOW CARBON STEEL STRIP CASTING BY BHP AND IHI", METEC Congress 99, Düsseldorf, Germany, 13-15 June, 1999.
- [3] "Intellectual Property and Castrip Technology", ForeCast, September, 2001.
- [4] 薄带连铸技术.
- [5] 薄带连铸.