

## 普通碳素结构钢热轧窄带钢质量提升

李连盈

河北鑫达钢铁集团有限公司, 河北 唐山 063000

[摘要] 热轧带钢质量直接影响到产品质量和客户满意度, 更会影响内部质量指标和外部质量异议, 最终影响公司经济效益和美誉度。努力提高生产效率的同时, 保证热轧带钢的高品质, 对推动我国钢铁行业做大做强的现代化进程有着举足轻重的作用。

[关键词] 热轧带钢; 成型开裂; 成分优化; 终轧温度; 用途区分

DOI: 10.33142/sca.v5i1.5556

中图分类号: TG335.5

文献标识码: A

### Quality Improvement of Hot Rolled Narrow Strip of Ordinary Carbon Structural Steel

LI Lianying

Hebei Xinda Iron & Steel Group Co., Ltd., Tangshan, Hebei, 063000, China

**Abstract:** The quality of hot rolled strip steel directly affects product quality and customer satisfaction, internal quality indicators and external quality objections, and ultimately affects the economic benefits and reputation of the company. While striving to improve production efficiency and ensure the high quality of hot rolled strip, it plays an important role in promoting the modernization process of China's iron and steel industry

**Keywords:** hot rolled strip; forming cracking; composition optimization; final rolling temperature; use differentiation

#### 引言

某公司热轧带钢 Q195、Q235 钢种在客户加工过程中经常出现开裂缺陷, 技术部也对工艺进行过修订、但部分缺陷仍没有真正得到控制。为此针对情况进行了数据对比分析, 并翻阅相关技术资料进行原因探析并出具解决措施。

#### 1 选题背景

某公司生产的薄规格 Q195、Q235 热轧窄带钢在下游用户“直接成型”使用过程存在严重的成型开裂质量缺陷, 质量异议频发, 给公司造成较大的经济损失, 下游用户抱怨不断, 严重影响我公司产品质量信誉, 如不及时改进用户将终止购货。

从用户产品用途看, 用户使用某公司薄规格热轧窄带钢产品属典型的“以热代冷”, 和使用退火后的冷轧产品相比, 大幅度降低了生产成本, 具有极强的市场竞争力。根据某公司热轧窄带钢在不同用途条件下存在的质量问题, 从窄带钢化学成分控制和轧制工艺等方面进行质量攻关, 解决薄规格窄带钢成型开裂问题, 提高产品知名度和企业盈利能力。

#### 2 质量缺陷及原因分析

##### 2.1 典型质量缺陷

下游用户采用某公司 Q195 和 Q235 薄规格热轧窄带钢主要用于直接加工成型的电动车和货架结构件, 此类普通质量热轧窄带钢相比冷轧退火后的产品成型性能差, 在加工过程存在大量的成型开裂质量缺陷。质量缺陷见图 1~图 4。



图 1 Q195 材质矩形管压扁开裂缺陷



图 2 Q195 材质圆管冷弯开裂缺陷



图 3 Q195 材质钢管振动试验断裂缺陷

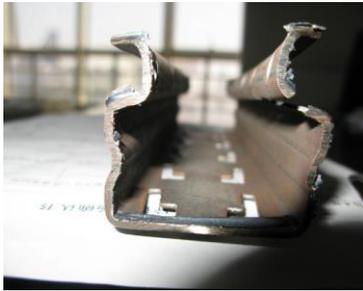


图4 Q235 材质热轧窄带钢成型开裂缺陷

## 2.2 质量缺陷原因分析

### 2.2.1 轧制工艺对成型开裂的影响

(1) 用户对存在成型开裂的钢管进行去应力退火处理, 退火后的钢管进行压扁成型过程基本无开裂缺陷。由此判断, 钢管成型开裂应与我公司热轧薄规格窄带钢残余应力高有关。

某公司热轧窄带钢残余应力高又与轧制温度有关, Q195 窄带钢平均终轧温度低于 830℃, 根据 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图, 采用插入法计算 γ 轧制温度。

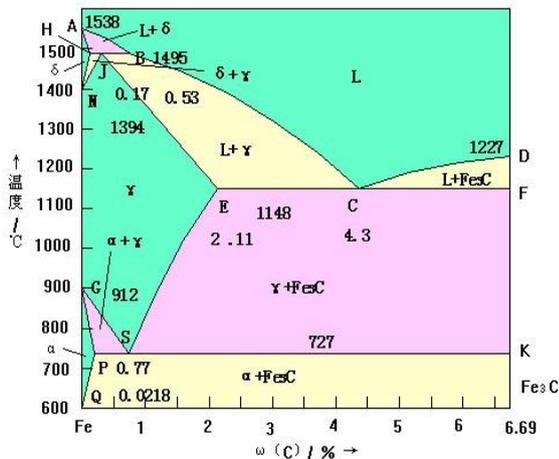


图5 Fe-Fe<sub>3</sub>C 相图

$$T = 727 + \frac{912 - 727}{0.77\%} \times (0.77\% - 0.08\%) = 893^\circ\text{C} \quad (1)$$

经计算, Q195 热轧窄带钢最低终轧温度应在 893℃ 以上, 而实际终轧温度为 830℃, 所以 Q195 钢残余应力高为终轧温度低, 在两相区轧制造成。考虑理论测算误差、测量误差及测量点滞后等因素影响, 只要在目前终轧温度基础上提高终轧温度即可降低窄带钢残余应力。

连铸坯长度、加热温度、轧制速度、轧制节奏、产品厚度规格等因素均影响窄带钢终轧温度。由于 2.0mm 以下厚度规格窄带钢轧制周期相对厚规格窄带钢较长, 必然造成薄规格窄带钢终轧温度偏低, 如进入两相区轧制, 必然造成窄带钢残余应力高, 影响产品的成型性能。

(2) 用户采用 Q195 热轧窄带钢冷轧加工变形量越大, 缺陷率越高 (在加工相同直径钢管时, 冷轧板厚度薄的开裂缺陷率明显高于厚的冷轧板); 冷轧板弯曲变形量越大,

缺陷率越高 (相同厚度冷轧板制作不同直径钢管, 管径较小的钢管开裂缺陷率明显高于管径相对较大的钢管)。

对冷轧板进行组织检验, 冷轧板存在影响成型性能的纤维组织, 见图 6。冷轧板变形量较大, 加工硬化程度高, 冷硬态直接成型是造成制管开裂的主要原因。

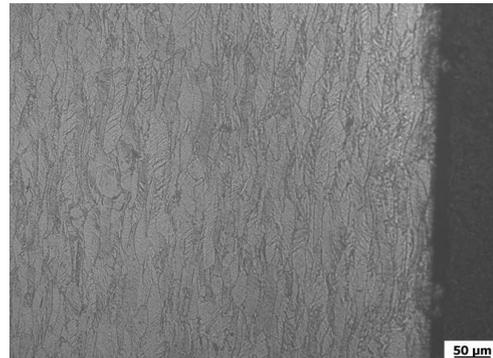


图6 冷轧板组织

### 2.2.2 成分控制对成型开裂的影响

除窄带钢冷轧变形量以外, 钢中 C、Si、Mn 元素也是影响加工硬化程度的主要因素, C、Si、Mn 成分越高, 带钢强度、硬度越高, 塑性较差。同时钢中 P、S 含量对钢板的冷弯性能优较大的危害。

对不同时期的 Q195 热轧窄带钢化学成分进行统计分析, 见表 1、表 2。从不同时期发台州的热轧窄带钢化学成分看, 钢中 C、Si、P 成分变化不大, 钢中 Mn、S 含量变化相对较大。后期冲压开裂的 Q195 钢 Mn/S 较前期冲压正常的低 4%, 后期冲压开裂的 Q195 钢 Mn/S ≥ 15 的比例较前期冲压正常的低 45%。

表 1 未出现压扁开裂缺陷的热轧窄带钢化学成分

范围值	化学成分, %					Mn/S
	C	Si	Mn	P	S	
最小	0.05	0.12	0.34	0.019	0.017	14
最大	0.07	0.16	0.42	0.028	0.026	21
平均	0.058	0.14	0.37	0.022	0.021	18

备注: 2021 年 5~8 月份发台州 Q195 钢共涉及 9 个炉号, Mn/S ≥ 15 的占 89%。

表 2 压扁开裂缺陷的热轧窄带钢化学成分

范围值	化学成分, %					Mn/S
	C	Si	Mn	P	S	
最小	0.03	0.08	0.27	0.012	0.016	10
最大	0.08	0.19	0.42	0.030	0.034	23
平均	0.063	0.15	0.34	0.022	0.025	14

备注: 2020 年 11 月~2021 年 6 月份发台州 Q195 钢共涉及 59 个炉号, Mn/S ≥ 15 的仅占 44%。

通过对不同时期成型开裂与成型良好的产品化学成分对比分析, 某公司薄规格热轧窄带钢 Mn/S 控制低。由于 Mn/S 较低时, 钢中 S 与 Fe 结合后形成的 FeS 熔点很低,

表 3 Q195 和 Q235 优化后化学成分

牌号	化学成分, %						
	C	Si	Mn	P	S	Als	Mn/ S
Q195 优化后	≤0.08	0.12-0.30	≤0.50	≤0.035	≤0.030		≥17
Q235 优化后	0.12-0.20	≤0.08	≤0.50	≤0.040	≤0.025	≤0.070	≥20

表 4 优化后产品力学性能

规格	时期	范围	化学成分, %					Mn/S	抗拉强度, MPa	屈服强度, MPa	伸长率, %
			C	Mn	S	P	Si				
1.5mm	优化轧制工艺前	最小	0.04	0.29	0.016	0.014	0.11	11	354	273	35.0
		最大	0.08	0.42	0.032	0.03	0.18	22	420	363	40.0
		平均	0.062	0.35	0.024	0.022	0.14	15	382	311	36.2
	优化轧制工艺后	最小	0.05	0.35	0.026	0.012	0.12	11	354	278	35.0
		最大	0.07	0.37	0.034	0.022	0.17	14	370	308	40.0
		平均	0.062	0.36	0.030	0.017	0.15	12	363	296	36.7
	优化轧制工艺和成分控制后	最小	0.05	0.42	0.018	0.016	0.15	18	370	284	35.0
		最大	0.07	0.44	0.025	0.028	0.2	24	388	308	37.5
		平均	0.062	0.4	0.022	0.022	0.17	20	378	298	35.9
1.8mm	优化轧制工艺前	最小	0.03	0.25	0.01	0.009	0.09	8	340	265	35.0
		最大	0.08	0.45	0.035	0.03	0.2	39	422	351	45.0
		平均	0.064	0.34	0.023	0.020	0.14	16	382	303	37.5
	优化轧制工艺后	最小	0.04	0.29	0.016	0.012	0.12	10	335	269	35.0
		最大	0.08	0.47	0.034	0.028	0.2	21	383	310	42.5
		平均	0.058	0.35	0.025	0.022	0.15	14	368	288	37.4
	优化轧制工艺和成分控制后	最小	0.05	0.32	0.015	0.017	0.12	11	356	270	35.0
		最大	0.08	0.46	0.028	0.034	0.18	27	386	306	41.0
		平均	0.064	0.40	0.020	0.025	0.15	20	375	291	37.9
2.0mm	优化轧制工艺前	最小	0.04	0.12	0.013	0.011	0.09	5	340	268	34.0
		最大	0.08	0.47	0.035	0.03	0.19	28	417	338	45.0
		平均	0.063	0.34	0.024	0.021	0.14	15	381	301	37.6
	优化轧制工艺后	最小	0.03	0.28	0.014	0.01	0.1	9	341	259	35.0
		最大	0.08	0.42	0.034	0.029	0.18	30	391	314	42.5
		平均	0.057	0.34	0.025	0.021	0.14	14	368	286	37.7
	优化轧制工艺和成分控制后	最小	0.05	0.33	0.014	0.016	0.12	15	358	266	35.0
		最大	0.08	0.47	0.028	0.035	0.19	34	390	311	41.0
		平均	0.064	0.41	0.020	0.025	0.16	21	375	292	37.8

S 在浇铸过程发生很严重的中心偏析, 且多分布在晶界, 严重降低晶界的结合力, 因此钢中的硫元素对钢板冷弯性能有很大的损害<sup>[1]</sup>。

### 3 窄带钢成分及工艺优化

#### 3.1 优化成分控制及冶炼工艺

为细分市场, 根据用户用途, 在 Q195、和 Q235 牌号基础上优化成分设计, 主要用于加工直接弯曲变形相对复杂的产品。Q195 优化后 Mn/S≥17; Q235 优化后严格控制钢中 Mn/S ≥20。

#### 3.2 优化轧制工艺

考虑缩短铸坯长度和提高加热温度对生产和产品质量造成的负面影响, 采用了提高轧制速度、加快生产节奏的方法弥补轧制薄规格窄带钢过程温降。原轧制薄规格窄带钢轧制速度约 11m/s, 调整到 13m/s 后终轧温度由 825℃ (1.5mm 厚度规格) 提高到 862℃。

### 4 优化效果

#### 4.1 优化后产品力学性能

从优化后窄带钢性能数据看, 优化后轧制工艺后, 窄带

钢屈服强度降低约 15MPa, 优化成分控制后强度有略有回升, 由此可见, 终轧温度控制对提高产品成型性能作用较大。

#### 4.2 优化后工艺后的窄带钢在下游用户使用情况

(1) “直接焊管后继续压扁、弯曲成型”用途, 较原 Q195 材质成型性能较稳定, 下游用户质量异议明显减少。

(2) “直接加工变形量相对较小的 C 型钢、止水板”等用途, Q195 材质均满足用户使用要求。

(3) “冷硬态焊管及继续弯曲、压扁成型”用途, 较原 Q195 材质冷轧轧制力大, 成品硬度高约 10%, 存在成型开裂缺陷。

(4) “冷轧退火态焊管及继续弯曲成型”用途, Q195 制管后继续加工尚未发现差别。

#### 4.3 细分市场后用户使用情况

根据优化工艺后的 Q195 热轧窄带钢在下游用户使用情况, 为满足不同用户质量要求, 细分市场, 对不同用途的用户采用不同材质供货。“直接焊管后继续压扁、弯曲成型”和“冷轧退火态焊管及继续弯曲成型”用途的用户按优化后的 Q195 牌号供货; “直接加工变形量相对较小的 C 型钢、止水板”和“冷硬态焊管及继续弯曲成型”用途的用户按原 Q195 牌号供货。细分市场后, 用户使用情况良好, 尤其对于“直接焊管后继续压扁、弯曲成型”用途的用户, 产品质量较稳定, 无质量异议发生。

#### 4.4 效益测算

自 2021 年 7 月份开始优化生产工艺, 2021 年 7 月份-8 月份共销售 1.5~2.0mm 厚度规格 Q195 热轧窄带钢 22281.34 吨, 平均每月生产 5570.34 吨。

表 5 优化后效益测算表

厚度规格, mm	发货数量, t	加价, 元/吨	成本增加, 元/吨	效益, 元/吨
1.5	1583.12	119.66	57.42	62.24
1.7	317.58	94.02	57.42	36.60
1.8	8474.1	59.83	42.79	17.04
2	11906.54	42.74	42.79	-0.05

项目贡献率:

台州和佛山两家下游用户主要用途为“直接焊管后继续压扁、弯曲成型”, 7~10 月份采购薄规格窄带钢 15270.16 吨, 占薄规格窄带钢销售量的 68.53%。

效益测算:

$$\frac{1583.12 \times 62.24 + 317.58 \times 36.60 + 8474.1 \times 17.04 + 11906.54 \times (-0.05)}{22281.34} \times 5570.34 \times 12 \times 68.53\% = 52.20 \text{ 万元}$$

## 5 结论

(1) 某公司薄规格窄带钢 Mn/S 低、终轧温度低是造成窄带钢成型开裂的主要原因, 终轧温度控制比成分微调对成型性能影响相对略大。

(2) 在 Q195 材质基础上调整生产工艺后解决了“直接焊管后继续压扁、弯曲成型”用途窄带钢成型开裂质量缺陷。并根据下游用户不同用途, 为细分市场, 采用了 Q195 和优化后的 Q195 两种材质分别供货, 目前下游用户使用正常, 基本无质量异议投诉。

(3) Q195 热轧窄带钢冷轧变形率和冷硬态冷轧板变形率越大成型开裂缺陷越高, 产品加工硬化程度过大是造成成型开裂的主要原因。通过降低 Q195 钢加工硬化元素, 合理控制轧钢工序温度, 解决了冷硬态成型开裂质量缺陷, 目前产品质量稳定, 可进一步扩大市场应用。

(4) 在解决了窄带钢成型开裂质量问题的同时, 提高了我公司质量效益, 占有了薄规格窄带钢市场, 年可增加经济效益 52.20 万元。

#### [参考文献]

- [1] 王嘉盛, 王耀山. 控制锰硫比改善普碳板冷弯性能的研究[J]. 甘肃冶金, 2007, 29(6): 14-15.
- [2] 靳适维, 靳松. 承钢 1780 热轧卷板厂层冷 PCS 系统功能和控制原理[J]. 科技经济市场, 2012(10): 8-9.
- 作者简介: 李连盈 (1983.8-) 男, 本科, 冶金工程, 工程师, 主要从事炼钢工艺和质量管理工作。