

CSP 流程生产 Q345B 钢带的机械性能和强化因素分析

张云祥¹ 赵嘉蓉¹ 张海鸣² 王桂兰²

(1 武汉科技大学材料与冶金学院, 武汉 430081; 2 华中科技大学材料学院, 武汉 430074)

摘要 通过定量金相和产品力学性能统计分析了 CSP 工艺(71 mm 铸坯)和常规工艺(250 mm 铸坯)生产的 Q345B 钢 2.0 ~ 12.7 mm 板卷组织和晶粒特征、屈服比(YS-UTS)和延伸率。结果表明, CSP 工艺生产的板卷的晶粒尺寸为 7.03 ~ 8.78 μm, 晶粒度级别 11.5 ~ 12.0, 平均屈服比为 0.77, 延伸率为 27.8%, 较常规工艺生产的板卷高(分别为 8.79 ~ 8.95 μm, 10.0 ~ 10.5, 0.72 和 25.0%)。计算结果表明, CSP 热轧低碳钢板卷细晶强化和沉淀强化占 59%, 常规工艺该项占 55%。

关键词 CSP 工艺 Q345B 钢带 组织 力学性能

An Analysis on Strengthening Factors and Mechanical Properties of Q345B Steel Strip Produced by CSP Process

Zhang Yunxiang¹, Zhao Jiarong¹, Zhang Hai'ou² and Wang Guilan²

(1 College of Materials Science and Metallurgy, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081; 2 School of Materials Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology, Wuhan 430074)

Abstract The characteristics of structure and grain, yield strength - ultimate tensile strength (YS-UTS) ratio, and elongation of 2.0 ~ 12.7 mm steel Q345B strip produced by CSP process (71 mm cast slab) and conventional process (250 mm cast slab) have been analyzed by quantitative metallography and statistic of product mechanical properties. The results indicated that the grain size of strip produced by CSP process was 7.03 ~ 8.78 μm, grain size rating 11.5 ~ 12.0, average YS-UTS ratio 0.77 and elongation 27.8% which were higher than that by conventional process (respectively 8.79 ~ 8.95 μm, 10.0 ~ 10.5, 0.72 and 25.0%). Calculated results show that the contributions of fine grain strengthening and precipitation strengthening of low carbon steel strip produced by CSP process make up 59% of all strengthening factors, while that by conventional process make up 55% of all factors.

Material Index CSP Process, Q345B Steel Strip, Structure, Mechanical Properties

常规钢带热连轧生产一般采用铸坯冷装工艺,即通过铸坯中间冷却、再加热的 $\gamma \rightarrow \alpha \rightarrow \gamma$ 重结晶过程,最终形成细化的奥氏体组织。而薄板坯直轧工艺(CSP)取消了 $\gamma \rightarrow \alpha$ 相变温度区的中间冷却,这种独特的工艺使得由薄板坯连铸连轧线生产的热轧板和常规热轧工艺轧制的热轧板在组织状态、晶粒度大小和力学性能方面存在较明显的差异,特别是屈服强度和屈服比都有大幅度提高^[1]。

本文对 CSP 工艺(转炉 + 7 机架连轧)和常规 3/4 热连轧工艺轧制薄带材的变形带、晶粒评级和组织等进行了对比研究。

1 实验钢种成分和工艺参数

实验分别取得 CSP(71 mm 铸坯)和常规工艺(250 mm 铸坯)生产的 Q345B 成品试样。其化学成分见表 1。

CSP 短流程与常规热轧工艺采用的工艺参数如表 2 所示。

表 1 Q345B 钢带的化学成分/%

Table 1 Chemical compositions of Q345B steel strip /%

| 工艺 | 铸坯/ mm | C | Si | Mn | P | S | Cu | Al |
|-----|-----------|------|------|------|-------|-------|------|-------|
| CSP | 71 | 0.18 | 0.27 | 1.16 | 0.018 | 0.007 | 0.04 | 0.037 |
| 常规 | 250 | 0.19 | 0.40 | 1.47 | 0.017 | 0.010 | 0.04 | 0.012 |

2 组织检验

分别对 CSP 和常规热轧试样,在 Leica 图像仪上进行检验,对铁素体晶粒尺寸、铁素体面积百分数进行定量分析。所测晶粒尺寸的平均值和组织级别见表 3。由表 3 可见, CSP 钢带的带状组织为 2.5 级,铁素体晶粒度约为 11.5 级,铁素体晶粒尺寸约为 8 μm,晶粒面积约为 27.8 μm²,铁素体面积百分比为 49.5%;由等轴晶粒和一些变形晶粒组织组成,其中铁素体、珠光体均匀交替分布。

3 机械性能统计对比

统计分析了 1585 卷 CSP 工艺和 625 卷常规工

表 2 生产 Q345B 热轧钢带的主要工艺参数
Table 2 Main parameters of production for hot rolled Q345B steel strips

| 工艺 | 铸坯规格/ mm × mm | 成品厚度/ mm | 轧制道次/ 次 | 开轧温度/ ℃ | 终轧温度/ ℃ | 卷取温度/ ℃ |
|--------|------------------|-------------|---------------|------------|------------|------------|
| CSP 流程 | 71 × 1 514 | 7.5 | 7 | 1 120 | 870 | 660 |
| 常规流程 | 250 × 1 538 | 7.5 | 8(粗轧) + 7(精轧) | 1 200 | 870 | 640 |

表 3 CSP 工艺和常规工艺生产的 Q345B 钢带的晶粒尺寸带状组织和力学性能对比
Table 3 Comparison of grain size, banded structure and mechanical properties of Q345B steel strips produced by CSP process and conventional process

| 工艺 | 试样号 | 厚度/ mm | 铁素体组织 | | | | 带状组织/级 | | 力学性能 | | | |
|-----|-----|-----------|-------------|------------------------|-----------|-------------|--------|------|--------------|--------------|-----------|------|
| | | | 晶粒直径/ μm | 面积/ μm ² | 晶粒度/ 级 | 面积 百分比/% | 边部 | 中心部 | 屈服强度/ MPa | 抗拉强度/ MPa | 延伸率/ % | 屈强比 |
| CSP | 1# | 5.6 | 8.78 | 31.29 | 11.5 | 49.31 | 3B | - | 440 | 570 | 28.5 | 0.77 |
| | 2# | 5.6 | 8.10 | 28.36 | 12.0 | 49.25 | - | 2.5B | 425 | 560 | 27.5 | 0.76 |
| | 3# | 7.5 | 7.03 | 22.74 | 11.5 | 47.87 | 2.5B | - | 425 | 555 | 29.0 | 0.77 |
| | 4# | 7.5 | 7.77 | 28.98 | 11.5 | 51.42 | - | 2.5B | 410 | 550 | 28.5 | 0.75 |
| 常规 | 5# | 5.5 | 8.95 | 38.62 | 10.0 | 44.30 | - | 4B | 408 | 580 | 24.0 | 0.70 |
| | 6# | 7.5 | 8.79 | 36.50 | 10.5 | 46.49 | - | 4B | 415 | 580 | 25.0 | 0.72 |

表 4 CSP 工艺与常规工艺生产的 Q345B 钢板卷的机械性能平均值对比

Table 4 Comparison of mechanical properties of Q345B steel strip produced by CSP process and conventional process

| 工艺 | 规格/ mm | 钢卷 数量 | 屈服强度/ MPa | 抗拉强度/ MPa | 延伸率/ % | 屈强比 |
|-----|-----------|----------|--------------|--------------|-----------|------|
| CSP | 2.0~10.0 | 1 585 | 434.4 | 561.4 | 27.8 | 0.77 |
| 常规 | 2.0~12.7 | 625 | 418.4 | 575.9 | 25.0 | 0.72 |

艺生产的 Q345B 成品性能, 所得的机械性能平均值见表 4。

由表 4 可见, CSP 产品的屈服强度较高, 而抗拉强度较低, 故所得到的屈强比较大。

表 5 7.5 mm 板卷强化分量计算结果

Table 5 Calculation results of strengthening component for 7.5 mm strips

| 工艺 | 晶粒直径/ μm | 强度构成组分 | | | | | | | | 实测 σ_s / MPa |
|-----|-------------|------------|------|----------|------|----------|------|----------|------|------------------------|
| | | 晶格基体强度/MPa | 比例/% | 固溶强化/MPa | 比例/% | 细晶强化/MPa | 比例/% | 沉淀强化/MPa | 比例/% | |
| CSP | 7.03 | 104.11 | 24.5 | 60.5 | 14.2 | 208.84 | 49.1 | 51.05 | 12.2 | 425 |
| | 7.77 | 104.11 | 25.4 | 60.5 | 14.7 | 198.64 | 48.5 | 46.75 | 11.4 | 410 |
| | 8.10 | 104.11 | 24.5 | 67.5 | 15.9 | 194.56 | 45.8 | 58.83 | 13.8 | 425 |
| | 8.78 | 104.11 | 23.7 | 67.5 | 15.3 | 186.87 | 42.5 | 81.52 | 18.5 | 440 |
| 常规 | 8.79 | 104.11 | 25.1 | 82.0 | 19.8 | 186.76 | 45.0 | 42.13 | 10.1 | 415 |

少于常规工艺热轧, 因而固溶强化项比重减少。

5 结论

(1) CSP 工艺生产的 Q345B 钢带与常规工艺热轧生产的钢带相比, 晶粒细小, 带状级别低, 屈服强度较高, 抗拉强度较低, 所得到的屈强比较大, 且延伸率较大。

(2) 与常规工艺生产的 Q345B 钢带相比, CSP 工艺生产的 Q345B 钢带的固溶强化占的比例较低,

4 强度构成组分的分析

对于普通 C-Mn 钢可以用皮克林 (Pickering) 公式来计算构成屈服强度的各个组分^[2]:

$$\sigma_s = \sigma_0 + \sigma_u + \sigma_p + \sigma_d + \sigma_{ss} + \sigma_l + \sigma_g$$

式中: σ_0 - 内部晶格强化; σ_u - 固溶强化; σ_d - 位错强化; σ_p - 沉淀强化; σ_l - 织构强化; σ_{ss} - 亚晶强化; σ_g - 有晶粒细化引起的强化。

当已经检测到 Q345B 钢带的屈服强度之后, 上式中各强化项计算的强度组分见表 5。

由表 5 可见, CSP 产品的细晶强化项比例大于常规工艺热轧。固溶强化由于该产品 Mn 和 Si 含量

而细晶强化和沉淀强化所占比例较高。

参考文献

- 柳得梅, 王元立, 霍向东, 等. CSP 低碳钢的晶粒细化与强韧化. 金属学报, 2002, 38(6): 647
 - 科恩. 钢的微合金化及控制轧制. 北京: 冶金工业出版社, 1998
- 张云祥(1970-), 男, 讲师, 武汉科技大学毕业, 材料成型与控制工程。

收稿日期: 2006-07-06