

精轧与吐丝温度对72A帘线钢盘条组织、织构和性能的影响

廖舒纶¹ 卢立华² 沈奎¹ 麻晗¹

(1 江苏省(沙钢)钢铁研究院;2 江苏沙钢集团有限公司,张家港 215625)

摘要 采用扫描电子显微镜(SEM),X-射线衍射仪(XRD)、拉伸试验机等研究了Φ5.5 mm 0.73% C 72A 帘线钢盘条原精轧工艺[精轧≥930℃,吐丝(870±10)℃]和改进工艺[精轧≥950℃,吐丝(900±10)℃]对其组织、织构和力学性能的影响。结果表明,精轧和吐丝温度分别提高20℃和30℃后,该钢珠光体片层间距由144 nm降至133 nm,抗拉强度和塑性略有增加,而盘条轴向{111}织构强度下降,氧化皮剥落率由1.66 kg/t提高到2.67 kg/t,有利于提高帘线钢的拉拔性能。

关键词 72A 帘线钢 Φ5.5 mm 盘条 组织 织构 力学性能 拉拔性能

Effect of Finish Rolling and Wire Coiling Temperature on Structure, Texture and Properties of 72A Tire Cord Steel Coil

Liao Shulun¹, Lu Lihua², Shen Kui¹ and Ma Han¹

(1 Institute of Research of Iron and Steel, Jiangsusheng Shasteel; 2 Jiangsu Shagang Group Co Ltd, Zhangjiagang 215625)

Abstract The effect of original finish rolling process [finish rolling at ≥930℃ and wire coiling at (870±10)℃] and improved finish rolling process [finish rolling at ≥950℃ and wire coiling at (900±10)℃] for Φ5.5 mm 0.73% C 72A tire cord steel coil on its structure, texture and mechanical properties has been studied by using scanning electron microscope (SEM), X-ray diffractometer (XRD) and tensile testing machine. Results show that with increasing finish rolling and wire coiling temperature respectively by 20℃ and 30℃, the distance between pearlite lamellae in steel decreases from 144 nm to 133 nm, the tensile strength and plasticity of steel increase slightly, while the intensity of {111} texture along the axis of wire rod decreases and the peeling rate of oxide scale increases from 1.66 kg/t to 2.67 kg/t, that are favourable to increase the drawability of tire cord steel.

Material Index 72A Tire Cord Steel, Φ5.5 mm Wire Coil, Structure, Texture, Mechanical Properties, Drawability

帘线钢为含碳0.72%~0.82%或更高碳含量的碳素结构钢,它是生产轿车轮胎、轻型卡车轮胎、载重型卡车轮胎、工程机械车轮胎和飞机轮胎及其它橡胶制品骨架材料的原料。良好的拉拔性能对于钢帘线的生产极为关键,帘线钢盘条的偏析、夹杂物、网状渗碳体^[1-3]、表面质量、氧化皮厚度、盘条轴向织构强度^[4-5]、抗拉强度和塑性等都会影响帘线钢拉拔性能。氧化皮厚度较薄时,难以通过机械剥壳去除,容易损耗磨具、引起表面划伤、增加断丝率;盘条初始织构强度对拉拔过程也会有一定影响。

1 试验材料和方法

试验材料选择Φ5.5 mm 帘线钢72A,化学成分如表1所示。生产工艺为:铁水预脱硫→100 t 电弧炉(EAF)→100 t LF 精炼→6 机6 流连铸140 mm×140 mm小方坯→方坯抛丸、探伤、修磨→高线无扭

表1 试验钢72A的分析成分/%
Table 1 Analysis of test steel 72A /%

C	Si	Mn	P	S	Al	Ti
0.73	0.2	0.52	0.012	0.006	0.001 5	0.000 5

表2 轧制帘线钢盘条原工艺和改进工艺的精轧和吐丝温度/℃

Table 2 Finish rolling and wire coiling temperature of original and improved process for rolling tire cord steel coil /℃

项目	入精轧	吐丝
原工艺	≥930	870±10
改进工艺	≥950	900±10

轧制→Stelmor 控冷→取样检验→包装入库。试验数量:1 炉,前半炉采用原工艺,后半炉采用改进工艺。原工艺与改进工艺(表2)的主要区别为:原工艺-入精轧温度≥930℃,吐丝温度(870±10)℃;改进工艺-入精轧温度≥950℃,吐丝温度(900±10)℃,其它轧制参数及过程控制与原工艺保持一致。

2 实验结果及分析讨论

2.1 组织和力学性能比较

对工艺改进前后的盘条逐卷取样,两组工艺的组织均为索氏体和少量铁素体组成,索氏体含量均达到85%以上(图1)。原工艺下的平均片层间距为144 nm,改进工艺下的平均片层间距为133 nm。盘条珠

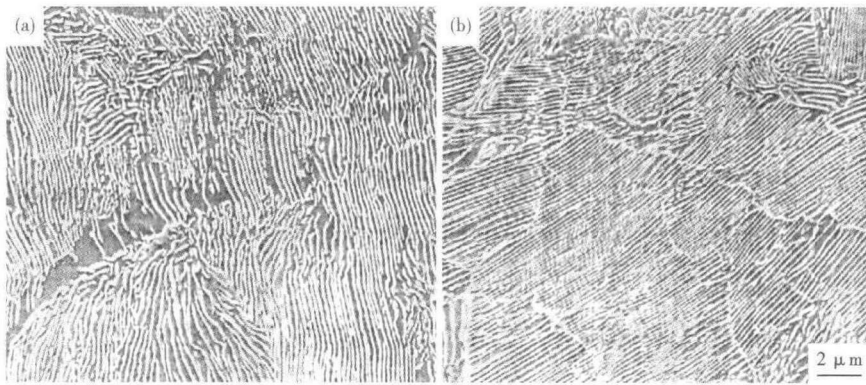


图1 原工艺(精轧 $\geq 930\text{ }^{\circ}\text{C}$,吐丝 $870\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$)(a)和改进工艺(精轧 $\geq 950\text{ }^{\circ}\text{C}$,吐丝 $900\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$)(b)轧制的72A钢盘条的组织形貌,SEM

Fig.1 Morphology of structure of 72A steel coil rolled by original (finish rolling at $\geq 930\text{ }^{\circ}\text{C}$, wire coiling at $870\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) (a) and improved (finish rolling at $\geq 950\text{ }^{\circ}\text{C}$, wire coiling at $900\pm 10\text{ }^{\circ}\text{C}$) (b) process, SEM

光体平均片层间距减少 11 nm,这是由于随着吐丝温度增加,过冷度增加,而索氏体片层间距与过冷度成反比^[6],因此,索氏体片层间距变小。

对两组工艺的盘条逐卷取 10 支试样,进行力学性能测试,统计结果如表 3 所示。可以看出,改进工艺后,抗拉强度由 1 060.9 MPa 提高到 1 087.7 MPa,提高了 26.8 MPa,断面收缩率基本不变。帘线钢盘条强度与珠光体片间距的关系为^[7]:

$$\sigma_b = \sigma_0 + K_u \lambda^{-m} \quad (1)$$

式中: σ_0 -铁素体强度; K_u 、 m -常数; λ -珠光体片层间距。从公式(1)可以看出,随着珠光体片层减少,抗拉强度增加,表 3 的试验结果也符合这一规律。

2.2 盘条组织的比较

将两组工艺盘条沿纵向中心位置切开,每个工艺取两段并加工为长 15 mm 的检测试样,沿轧向并排镶嵌,打磨到 1 000 目,采用 Rigaku 的 D/max-2500/PC XRD 仪器测试织构,分析仪采用 Cu 靶辐射,加速电压为 40 kV,电流为 150 mA,获得了 $\{110\}$ 、 $\{200\}$ 、 $\{211\}$ 极图数据并计算取向密度分布函数,得到 45° 截面取向分布函数(ODF)图。由图 2 可见,当其它条件不变时,吐丝温度 $870\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时 $\{111\}$ 织构最大强度为 3.9,吐丝温度 $900\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时 $\{111\}$ 织构最大强度为 3.3,吐丝温度提高,强度水平有了一定程度的下降。由于 $\{111\}$ 面原子密度小,较难滑移,由临界分切应力 $t_c = \sigma_c \cos\theta$ (σ_c 为主应力,

u 和 θ 分别为滑移方向和滑移面法线方向与主应力方向夹角)得知,越接近 $\{111\}$ 方向,取向因子 $\cos\theta$ 越小。 $\{111\}$ 织构强度越大,在拉拔过程中晶粒滑移所需要的切应力就会增大,会产生较强的拉拔抗力,并且当这个力大于盘条的抗拉强度时,就会引起断丝,对拉拔有较大影响^[8]。而吐丝温度提高后, $\{111\}$ 织构强度在一定程度上得到了弱化,将更有利于拉拔。

2.3 氧化皮剥落性能比较

氧化皮的厚度随加热温度的升高显著增加,并且温度越高,增加的越快^[9]。改进工艺后,精轧温度和吐丝温度有所提高,增加了高温停留机会。轧制后正常去头剪尾后,在盘条尾部逐根取样检验,统计得:氧化皮平均厚度由原来的 $3.8\text{ }\mu\text{m}$ 增加到 $6.9\text{ }\mu\text{m}$,增加了 82% (图 3)。氧化皮结构一般由基体向外依次是 Fe_{1-x}O (非严格化学计量)、 Fe_3O_4 和 Fe_2O_3 层,由于 Fe_2O_3 一般很薄,形貌上常表现为两层结构^[10]。氧化皮厚度的增加主要是 Fe_{1-x}O 层变厚, Fe_3O_4 厚度

表 3 原工艺和改进工艺轧制的 72A 钢盘条的力学性能
Table 3 Mechanical properties of 72A steel coil rolled by original and improved process

项目	抗拉强度/ MPa	抗拉强度 平均值/MPa	断面收缩率/ %	断面收缩率 平均值/%
原工艺	1 050.1 ~ 1 072.5	1 060.9	47.13 ~ 49.96	48.25
改进工艺	1 075.1 ~ 1 104.1	1 087.7	48.20 ~ 49.83	48.76

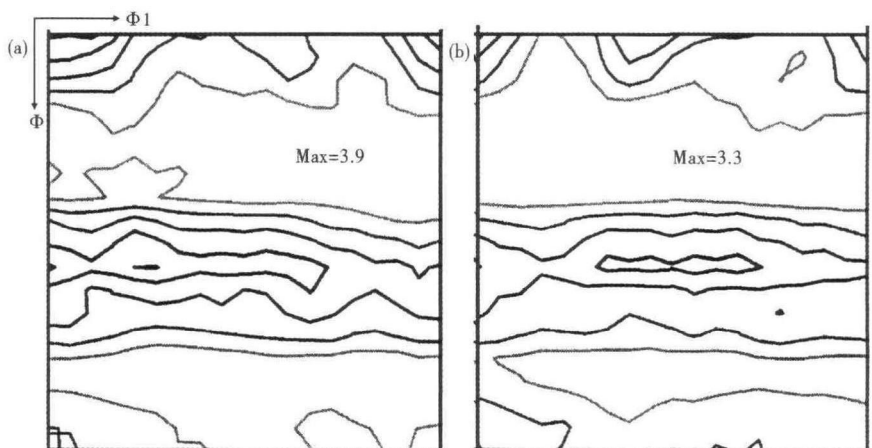


图 2 原工艺(a)和改进工艺(b)轧制的 72A 钢盘条 45° 取向分布函数(ODF)图
Fig.2 Diagram of 45° orientation distribution function of 72A steel coil rolled by original (a) and improved (b) process

基本不变,且 $Fe_{1-y}O$ 占总厚度的比例由原来的平均47%增加到69%。氧化皮厚度在27 μm 以下时,氧化皮越厚,机械剥壳性能越好^[11]。选取长度24 cm的试样,做180°角扭转试验,图4为工艺改进前后试样机械扭转试验结果。可以看出,改进工艺后氧化皮剥落性能变好,对剥落氧化皮称重显示,剥落重量由改进前的1.66 kg/t提升到了改进后的2.67 kg/t,且从形貌上看剥落的氧化皮块状变大。

氧化皮较厚时拥有较好的剥落性能是因为氧化皮厚度越大,会导致基体与氧化皮界面的剪切应力增大;同时,氧化皮厚度增大,裂纹不容易形成,所以裂纹数目越少,导致各个裂纹之间的距离越大,从而导致各条裂纹之间的薄片剪切应力较大,最终导致在较小的弯曲应力作用下氧化皮易从盘条表面剥离^[12]。此外,氧化皮剥离率提高还有利于省略酸洗工序,提高模具寿命,减少拉拔过程表面划伤几率。

3 结论

通过提高精轧温度和吐丝温度,72A盘条钢的

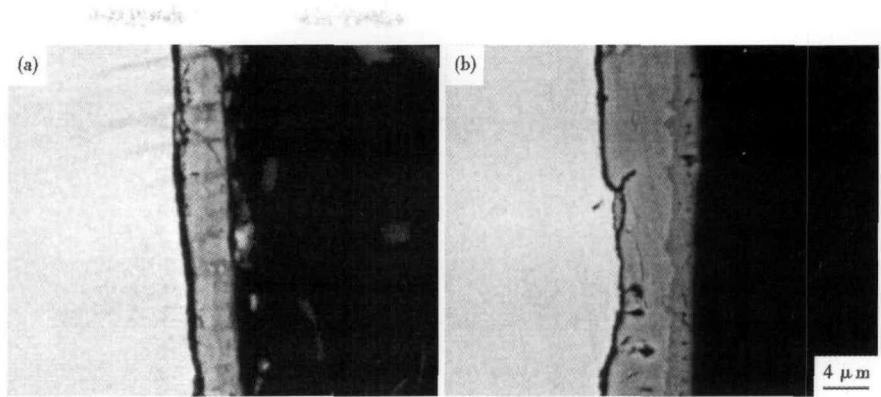


图3 原工艺(a)和改进工艺(b)轧制的72A钢盘条的氧化皮结构

Fig. 3 Structure of oxide scale of 72A steel coil rolled by original (a) and improved (b) process

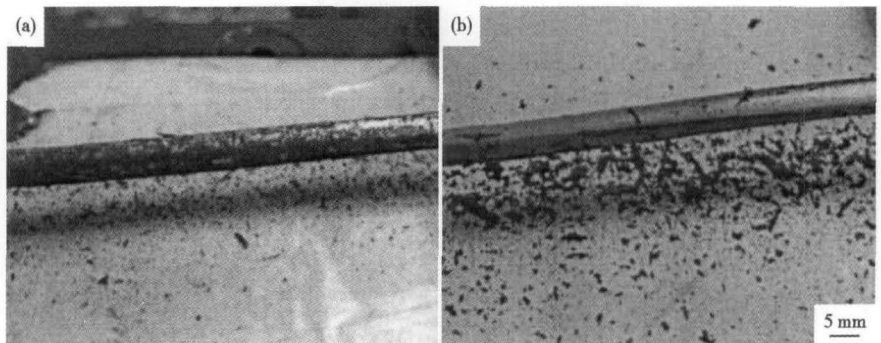


图4 原工艺(a)和改进工艺(b)轧制的72A钢盘条扭转试验后氧化皮的剥落情况

Fig. 4 Oxide scale peeling condition of 72A steel coil rolled by original (a) and improved (b) process, after torsion test

索氏体片层平均间距变小,抗拉强度平均值提高了26.8 MPa,同时,盘条轴向的{111}织构强度有所下降,氧化皮剥落重量由1.66 kg/t增加到2.67 kg/t。工艺改进提高了72A钢的综合性能,更有利于帘线钢的拉拔。

参考文献

- [1] 彭冰. 帘线钢连铸坯中心偏析的控制技术[J]. 武钢技术, 2010, 48(5): 45-47.
- [2] 王世芳, 麻晗. $CaO-MgO-SiO_2-Al_2O_3$ 类夹杂物塑性化对帘线钢加工断丝率的影响[J]. 特殊钢, 2012, 33(3): 32-35.
- [3] 李祥才, 闫立新, 周祥, 等. 降低胎圈钢丝用C82DA盘条网状渗碳体级别研究[J]. 金属制品, 2011, 37(5): 64-66.
- [4] Montesin T, Heizmann J J. Evolution of Crystallographic Texture in Thin Wires[J]. Journal of Applied Crystallography, 1992, 25(6): 665-673.
- [5] Montesin T, Heizmann J J, Abdellaoui A, et al. Relation Between Texture and Drawability of Steel Cord[J]. Wire Journal International, 1993, 26: 86-89.
- [6] 王伯文, 杭乃勤. 82A钢高速线材控制冷却工艺的优化[J]. 特殊钢, 2009, 30(6): 14-16.
- [7] Han K, Edmonds D V, Smith G D W. Optimization of Mechanical Properties of High-carbon Pearlite Steels with Si and V Additions[J]. Metallurgical and Materials Transactions A, 2001, 32A: 1313-1324.
- [8] 崔怀周, 陈伟庆, 毛卫民, 等. 轧制工艺对帘线钢盘条组织的影响[J]. 北京科技大学学报, 2011, 33(8): 947-951.
- [9] 巩党国. 高碳钢盘条表面氧化皮的形成规律及机械剥壳性能研究[D]. 南京: 东南大学材料科学与工程学院, 2008.
- [10] 巩党国, 方峰, 蒋建清, 等. 高碳钢氧化皮的形成及其机械剥壳性能[J]. 材料热处理学报, 2009, 30(5): 167-171.
- [11] 戚正儒. 高碳钢盘条氧化皮的组织与机械剥壳性能研究[D]. 南京: 东南大学材料科学与工程学院, 2007.
- [12] Tominaga J, Wakimoto K, Mori T, et al. Manufacture of Wire Rods with Good Descaling Property[J]. Transactions ISIJ, 1982, 22: 646-656.

廖舒纶(1980-), 男, 博士(大连理工大学), 研究员, 2002年安徽工业大学毕业, 棒线材产品开发。

E-mail: liaoshulun@163.com

收稿日期: 2014-03-12