

铅浴淬火工艺对 70 钢丝组织和性能的影响

董述峰¹ 赵刚¹ 叶传龙¹ 鲍思前¹ 刘建兵² 李俊弘² 刘小平²

(1 武汉科技大学材料与冶金学院, 武汉 430081; 2 湖南湘潭钢铁公司钢丝绳厂, 湘潭 411101)

摘要 研究了 900 °C 均热 + 500 °C 铅浴 54 s 空冷处理对 70 钢 (0.67% ~ 0.75% C) Φ 5.5 mm 热轧钢丝经 38.9% 压缩率拉拔的冷拔钢丝组织和性能的影响。结果表明, 500 °C 铅浴等温处理, 该钢过冷奥氏体转变的孕育和转变时间最短, 该钢丝抗拉强度提高了 21.4%, 伸长率提高 9.5%, 为随后通过细拉工艺进一步提高钢丝的综合力学性能建立了基础。

关键词 70 钢丝 铅浴淬火 组织 性能

Effect of Patenting Process on Structure and Properties of 70 Steel Wire

Dong Shufeng¹, Zhao Gang¹, Ye Chuanlong¹, Bao Siqian¹, Liu Jianbing², Li Junhong² and Liu Xiaoping²

(1 Institute of Materials and Metallurgy, Wuhan University of Science and Technology, Wuhan 430081;
2 Wire Rope Factory, Hunan Xiangtan Iron and Steel Co, Xiangtan 411101)

Abstract Effect of 900 °C soaking + 500 °C patenting for 54 s, air cooling treatment on structure and properties of cold drawn wire of 70 steel (0.67% ~ 0.75% C) with 38.9% reduction from Φ 5.5 mm hot rolled wire has been studied. Results show that with 500 °C patenting treatment the inoculation and transformation time of under-cooling austenite of the steel is shortest, the tensile strength and elongation of steel wire increase respectively by 21.4% and by 9.5% to establish the foundation for further increasing the comprehensive mechanical properties of steel wire by finishing fine drawing process.

Material Index 70 Steel Wire, Patenting, Structure, Properties

我国钢丝绳性能^[1-3]方面存在的主要问题是强度级别低, 高强度级钢丝绳所占的比例非常小。本文通过实验数据和理论对比研究确定了 70 钢丝最佳铅浴淬火工艺。

1 实验材料和方法

实验材料采用湘潭钢铁集团股份有限公司(简称湘钢)钢丝绳厂生产的 70 钢丝, 原始状态为热轧态。生产流程为: 冶炼 → 钢锭 → (经热轧) 盘条 → 机械剥壳和酸洗 → 润滑涂层 → 中拉(因原料直径较小, 省去大拉道次) → 中间热处理(铅浴淬火) → 镀锌/铜/磷化 → 细拉 → 捻股成绳。其化学成分见表 1。

实验采用磁性示差仪测量过冷奥氏体在 300 ~ 700 °C (50 °C 为间隔) 等温转变过程, 绘出这一温度区间的 TTT 曲线。

表 1 70 钢丝化学成分/%

Table 1 Chemical composition of 70 steel wire /%

C	Si	Mn	Cr	Ni	Cu
0.67 ~ 0.75	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	< 0.25	< 0.30	< 0.25

对直径为 Φ 5.5 mm 的 70 钢丝原料(热轧态)、原料拉拔后(压缩率为 38.9%)铅浴淬火前(简称铅浴前)试样和原料拉拔后(压缩率为 38.9%)铅浴淬火后(简称铅浴后)试样进行金相组织分析, 对原料、铅浴后试样分别进行拉伸实验。铅浴淬火工艺为: 钢丝 900 °C 均热后在 500 °C 铅浴中保温 54 s, 然后空冷至室温。

2 实验结果及研究讨论

2.1 过冷奥氏体各温度转变参数测定结果

图 1 中 *bc* 段表示试样从高温淬火到等温温度时过冷奥氏体的纯冷却收缩; *cd* 段为孕育期; *df* 段表示随着奥氏体的分解, 试样长度(或体积)随时间的变化; 到 *f* 点后, 曲线平稳, 长度不再变化, 表示转变结束。在某时刻 τ (*g* 点), 奥氏体的转变量 Δm 可由下式进行计算:

$$\Delta m = (\Delta L/L) / \%$$

实际测定时, 将曲线的 *cd* 段和 *df* 段放大, 分别测量两段在时间坐标轴上的投影距离, 这个距离即

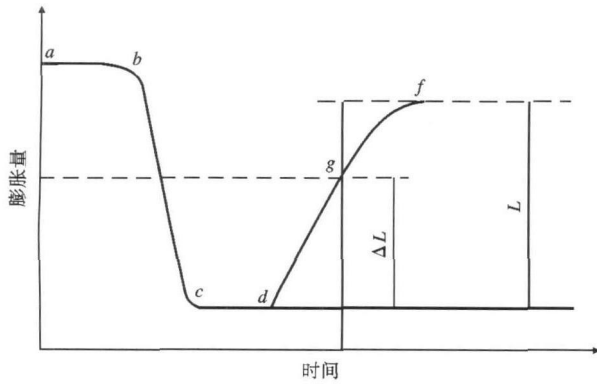


图1 奥氏体等温转变的膨胀-时间曲线示意图

Fig.1 Schematic diagram of expansion-time curve of austenite isothermal transformation

为奥氏体转变孕育时间和过冷奥氏体转变时间。

根据磁性示差仪显示的试样铁磁性变化曲线,运用上述方法可以得到各个等温温度下的转变孕育时间、转变开始时间和转变结束时间。即得到300~670℃过冷奥氏体等温转变参数。根据这些参数画出TTT曲线,如图2所示。其中,马氏体转变开始温度为282℃。

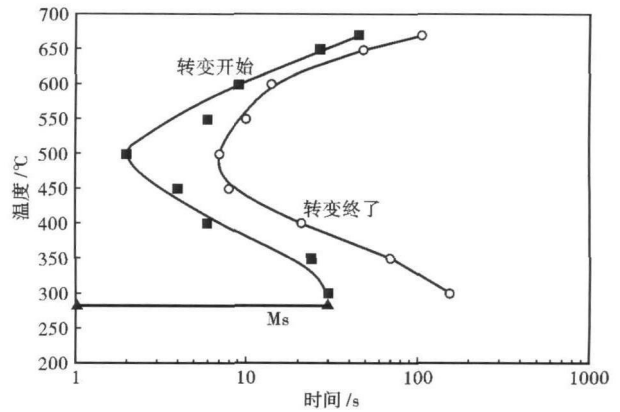


图2 膨胀法测得的70 钢丝时间-温度转变(TTT)曲线, 300~670℃

Fig.2 Time-temperature transformation curve of 70 steel measured by expansion method, 300~670℃

根据图2可以确定最短孕育时间和最短转变时间在等温温度为500℃处。钢丝的硬度HRC值随着等温温度的降低而增大。在500、550、600、650、670℃等温时,随着等温温度的降低,珠光体片层间距减小,依次为0.389、0.367、0.315、0.266、0.214μm。

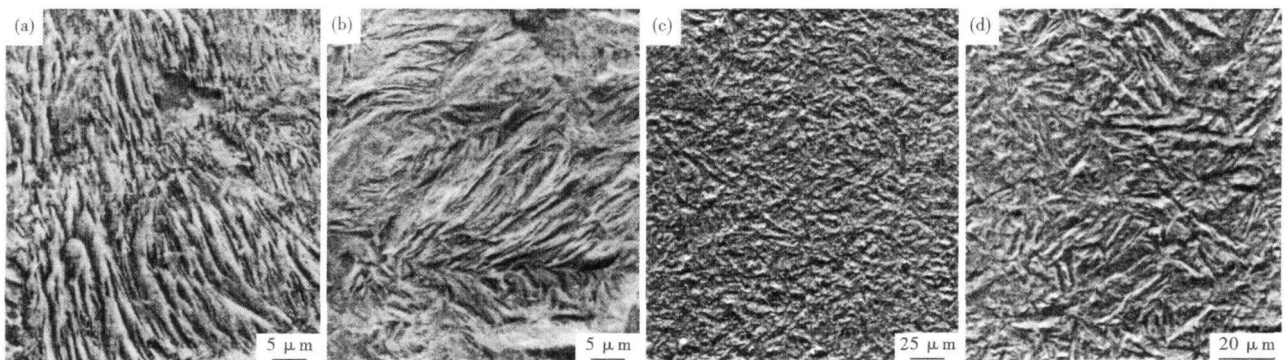


图3 Φ4 mm 70 钢丝900℃ 2~2.5 min 快冷至670℃(a-珠光体+铁素体),500℃(b-珠光体+铁素体+少量贝氏体),400℃(c-残余奥氏体+下贝氏体)和300℃(d-马氏体+残余奥氏体+下贝氏体)等温淬火的组织形貌,SEM

Fig.3 Structure morphology of Φ4 mm 70 steel wire at 900℃ for 2~2.5 min, quick cooling to 670℃ (a-pearlite + ferrite), 500℃ (b-pearlite + ferrite + minor bainite), 400℃ (c-residual austenite + lower bainite) and 300℃ (d-martensite + residual austenite + lower bainite) isothermal quenching treatment, SEM

由图3可见,在等温温度500℃时,珠光体细化,片间距减小,开始形成少量贝氏体,此时组织已经索氏体化。因此,500℃即为70钢丝进行铅浴等温淬火时的最佳等温温度。后续细拔工艺中其强化程度随变形量的增加而增大^[4]。

2.2 拉伸实验组织观察和力学性能参数测定结果

2.2.1 力学性能参数

从图4可以看出,通过铅淬后,70钢丝的强度得到了很大的提升,屈服强度提高了近21.4%。原

料的伸长率为11.5%,铅淬后试样的伸长率为21%,伸长率提高了9.5%。铅浴淬火可以消除这种拉拔过程中产生的冷加工硬化,因为铅浴淬火后钢丝的硬度(70钢丝原料硬度HRC值为38.5)有明显下降,屈服强度和伸长率都有明显上升。经过后续细拉,进而提高了钢丝的综合力学性能^[5,6]。

2.2.2 拉伸实验金相组织观察结果

图5(a)为原料纵截面放大200倍的组织,基体是细晶粒铁素体,其上分布有少量块状和带状的珠

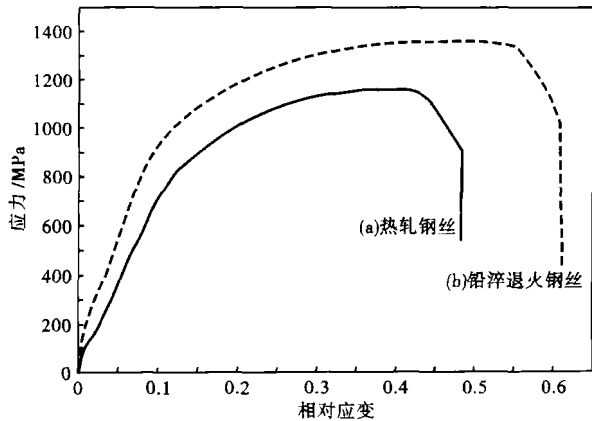


图 4 热轧 70 钢丝(a)和铅淬后 70 钢丝(b)拉伸应变-应力曲线

Fig. 4 Tensile strain-stress curves of hot rolled 70 steel wire (a) and patenting 70 steel wire (b)

光体。图 5(b)为铅淬前试样纵截面放大 500 倍的组织,铁素体晶粒沿着拉拔方向而变形,呈长条状分布,分布于铁素体晶界处的珠光体也被拉成长条状,铁素体上出现黑色条状滑移线。图 5(c)为铅淬后的纵截面放大 500 倍的组织,可以看出明显的滑移带,这时已经没有长条状铁素体分布,晶粒分布较均匀,说明经过铅浴淬火后,消除了组织的内应力,细化了晶粒,从而改善了原材料的塑性变形性能。

3 结论

(1) 70 钢丝的最佳铅浴等温淬火工艺为等温温度为 500 °C 时,过冷奥氏体转变的孕育和转变时间均最短,此温度应为 70 钢丝进行铅浴等温淬火时的最佳等温温度。

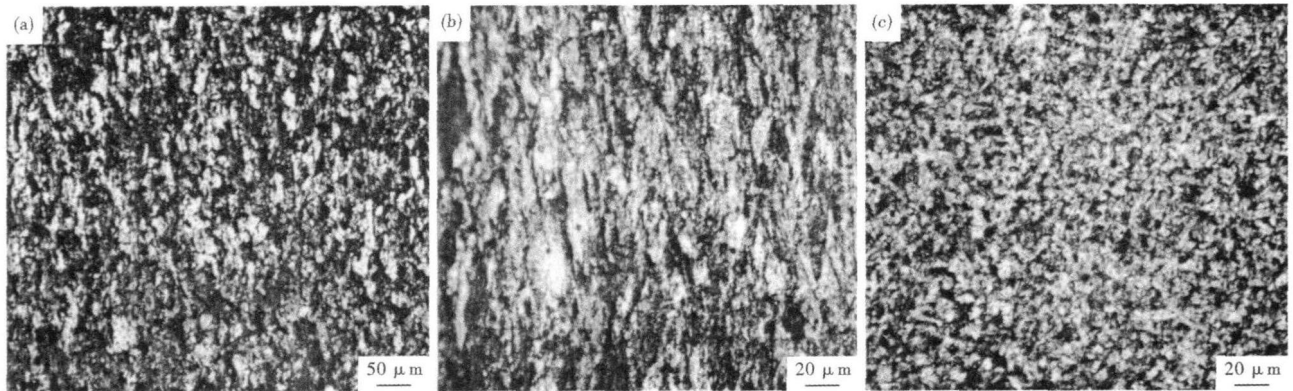


图 5 拉伸实验 70 钢丝组织形貌(纵截面):(a)原料,×200;(b)铅淬前试样,×500;(c)铅淬后试样,×500

Fig. 5 Morphology of structure of 70 steel wire after tensile test; (a) hot-rolled wire, ×200; (b) before patenting, ×500; (c) after patenting, ×500, longitudinal section

(2) 70 钢丝在 300 ~ 700 °C 进行过冷奥氏体铅浴等温淬火时,随着等温温度的下降,过冷奥氏体的等温转变孕育和转变时间总体上都呈现出先减小后增加的趋势。经铅淬退火后,该钢丝抗拉强度提高了 21.4%,伸长率提高了 9.5%。在 500 ~ 670 °C 等温时,随着等温温度的降低,过冷度不断增大,珠光体片间距减小,随后的细拉工艺可使铁素体内位错密度提高,强度上升,渗碳体抗脆断能力上升,提高了钢丝的综合力学性能。

(3) 70 钢丝经过铅淬后,出现很明显的滑移带,纵、横截面上都分布着非常均匀的铁素体,没有长条状铁素体分布,晶粒分布均匀而且细小,说明经过铅浴淬火后,消除了组织的内应力,细化了晶粒,从而改善了原材料的塑性变形性能。

参考文献

- 1 赵毅,向卫国,方国胜. 提高制绳用钢丝力学性能均匀性的措施. 金属制品, 2008, 34(2): 16
- 2 Shioata(德国). 高碳钢线材控制轧制和铅浴处理的组织特征. 冯勇译. 湘钢译丛, 1996(3): 34
- 3 丁立. 大应变冷拉拔珠光体钢丝的力学性能与微观组织. [硕士学位论文]. 南京: 南京理工大学, 2010
- 4 赵乃勤. 合金固态相变. 长沙: 中南大学出版社, 2008
- 5 那顺桑, 姚青芳. 金属强韧化原理与应用. 北京: 化学工业出版社, 2006
- 6 王有铭, 李曼云, 韦光. 钢材的控制轧制和控制冷却. 北京: 冶金工业出版社, 1995

董述峰(1983-), 男, 硕士研究生, 材料成型过程计算机控制。

收稿日期: 2010-11-03