

# 退火处理对冷拉珠光体钢丝组织及性能的影响

刘文刚, 许云华

(西安建筑科技大学耐磨材料研究所, 陕西 西安 710055)

**摘 要:**研究了退火处理对冷拉 70 钢丝组织及性能的影响。结果表明:低温退火时,冷拉钢丝的组织未发生大的变化,组织更加均匀化,渗碳体溶解量增多;当退火温度升高时,渗碳体以颗粒状析出并随退火温度的升高而逐渐长大,铁素体基体晶粒也随退火温度的升高而长大;冷拉 70 钢的抗拉强度及显微硬度,随退火温度的升高先提高后降低,当退火温度为 200 ℃ 时达到最大值。同时初步探讨了退火处理对冷拉钢丝组织及性能影响的机理。

**关键词:**退火处理;冷拉拔;珠光体钢;组织性能

**中图分类号:** TG142.21

**文献标识码:** A

高碳珠光体钢经冷拉拔加工强化后成为高碳钢丝,在大批量生产的钢种中,它是强度最高的材料<sup>[1]</sup>。最近有研究报道<sup>[2]</sup>,日本已经在实验室成功地制备出强度高于 5 GPa 的冷拉高碳钢丝。冷拉钢丝凭借优异的性能,在航空、汽车、冶金、矿山、机械、建筑等行业中被广泛地应用<sup>[3-6]</sup>。但是,当冷拉塑性变形真应变达到很高的水平时,材料具有极高的变形性能,导致位错密度增加、内应力增大,使得珠光体钢丝的韧性不能达到令人满意的程度,从而限制了冷拉珠光体钢丝的应用<sup>[7-8]</sup>。退火处理可以消除材料内部的内应力,减少晶体缺陷,使材料的组织均匀,并平衡材料的综合性能<sup>[9]</sup>。

本文以工业上广泛使用的 70 钢为研究对象,对其在冷拉塑性变形后的退火处理中组织及性能的变化进行了研究,为改善冷拉钢丝的综合力学性能,扩展冷拉 70 钢丝应用范围提供了依据。

## 1 试验部分

在氩气气氛下将直径 0.6 mm 的冷拉 70 钢丝,分别在 200℃、260℃、320℃、380℃、440℃、500℃及 680℃ 下进行退火,待保温 30 min 后随炉冷却,然后

分别用 1~6 号金相砂纸磨制钢丝的表面,再用氧化铝微粉进行抛光,用质量分数为 3% 的硝酸酒精进行腐蚀,最后观察钢丝横、纵截面的显微组织形貌,分别测定不同退火温度下钢丝的抗拉强度及显微硬度。

用牙托粉对不同退火温度下钢丝的横、纵截面镶嵌,在 JSM-6700F 型场发射扫描电子显微镜 (FESEM) 下观察钢丝横、纵截面的显微组织形貌,横、纵截面的切取方法如图 1 所示;用 DL500 型材料拉力试验机,按照 GB/T228 进行抗拉强度的测试;用 MX1000 型显微硬度计,在载荷 300 g、载荷时间 15 s 的条件下,测定显微硬度。

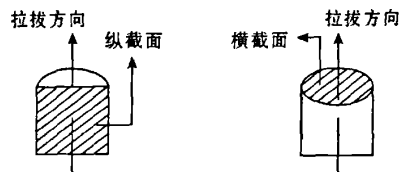


图 1 钢丝横纵截面的切取方法示意图

Fig. 1 Placement and orientation of the longitudinal and cross sections

收稿日期:2008-11-28

作者简介:刘文刚(1982-),男,满族,内蒙古包头市人,博士研究生。

## 2 试验结果

### 2.1 显微组织

图2为在不同退火温度下冷拉70钢丝横截面组织形貌的FESEM照片。从图2可见,在冷拉钢丝退火过程中,随着退火温度的升高,铁素体基体的晶粒逐渐长大,渗碳体先以片状形式析出,后以颗粒状形式析出,直到退火温度达到680℃发生再结晶时,其又重新形成片层状珠光体组织。当退火温度为200℃时(图2(b)),冷拉70钢丝的组织均匀,与冷

拉态(图2(a))相比,渗碳体进一步细化,渗碳体片变薄,数量进一步减少,表明在低温退火时渗碳体继续溶解,渗碳体的分布也更加均匀;当退火温度为260℃时(图2(c)),渗碳体片增多、变厚,并有长大的趋势;当退火温度为320~500℃时(图2(d)~(g)),渗碳体以颗粒状形式析出,随着退火温度的升高,铁素体组织越来越粗大,渗碳体颗粒逐渐长大;当退火温度为440~500℃时(图2(f)~(g)),铁素体晶粒已经清晰可见,随退火温度升高,渗碳体颗粒及铁素体晶粒长大;当退火温度为680℃时(图2(h)),发生再结晶,组织完全珠光体化。

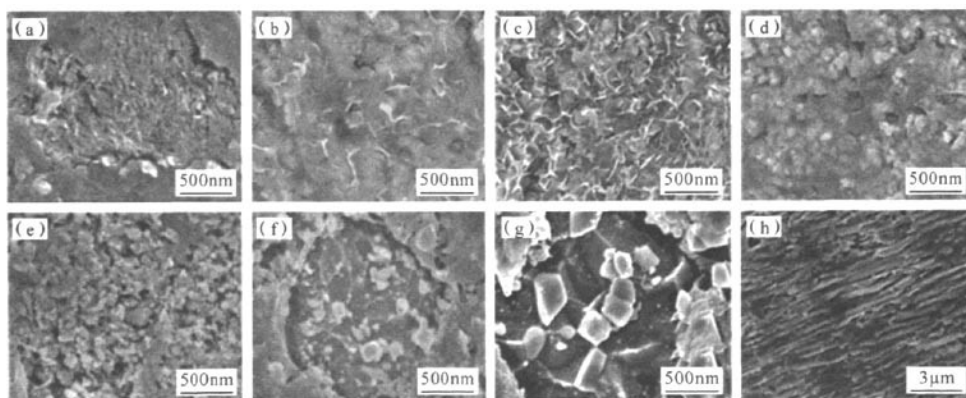


图2 不同退火温度下冷拉70钢丝的横截面显微组织照片

Fig.2 Cross section micrographs of cold drawn 0.7%C steel wire at different annealing temperature

(a)冷拉; (b)200℃; (c)260℃; (d)320℃; (e)380℃; (f)440℃; (g)500℃; (h)680℃

图3为不同退火温度下70钢丝纵截面组织形貌的FESEM照片。从图3可见,在冷拉钢丝退火过程中,随着退火温度的升高,铁素体基体晶粒逐渐长大,渗碳体以颗粒状形式析出,但纤维状组织始终存在,直到退火温度达到680℃发生再结晶时,纤维状组织才消除。当退火温度为200℃时(图3(b)),与冷拉态(图3(a))相比,渗碳体更加细小,渗碳体数量进一步减少,表明渗碳体发生了更多的溶解;当退火温度为260℃时(图3(c)),有少量细片(丝)状渗碳体析出;当退火温度为320~500℃时(图3(d)~(g)),组织中渗碳体沿铁素体晶界析出,随着退火温度的升高,渗碳体颗粒逐渐长大,析出量增加,铁素体晶粒也随退火温度升高而增大,析出的铁素体基体清晰可见;退火温度为680℃时(图3(h)),发生再结晶,重新形成珠光体组织。

### 2.2 性能测试

图4为冷拉70钢丝的抗拉强度及显微硬度随退火温度的变化关系。从图4可见,随着退火温度的升高,冷拉70钢的抗拉强度、显微硬度均是先提高后降低。当退火温度为200℃时,冷拉70钢丝的抗拉强度和显微硬度均达到最大值;冷拉70钢丝横、纵截面的显微硬度比较接近,低温退火时,横截面的显微硬度值略高于纵截面的。

## 3 分析讨论

本文在较低温度下,即低于200℃退火时,70钢的抗拉强度及显微硬度都有提高。这说明低温退火可以进一步强化冷拉珠光体钢丝,然而这种强化的机制并不是十分清楚。通过试验结果可知,不管是

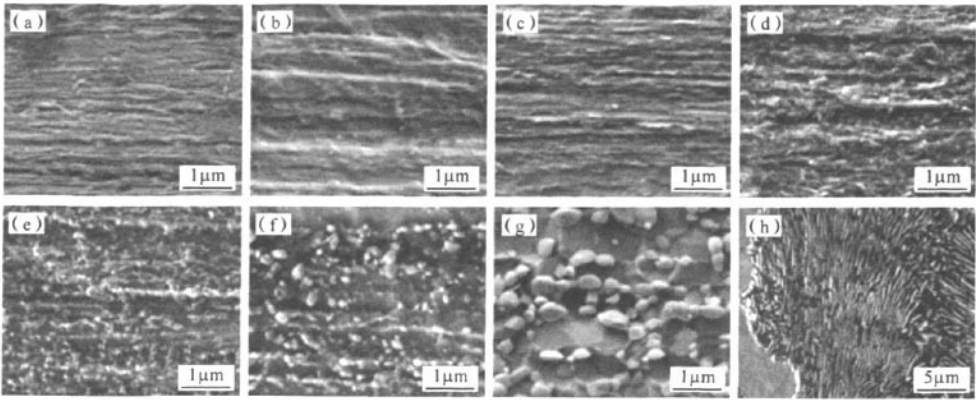


图3 不同退火温度冷拉 70 钢丝的纵截面显微组织照片

Fig. 3 Longitudinal section micrographs of cold drawn 0.7%C steel wire at different annealing temperature  
(a)冷拉; (b)200 °C; (c)260 °C; (d)320 °C; (e)380 °C; (f)440 °C; (g)500 °C; (h)680 °C

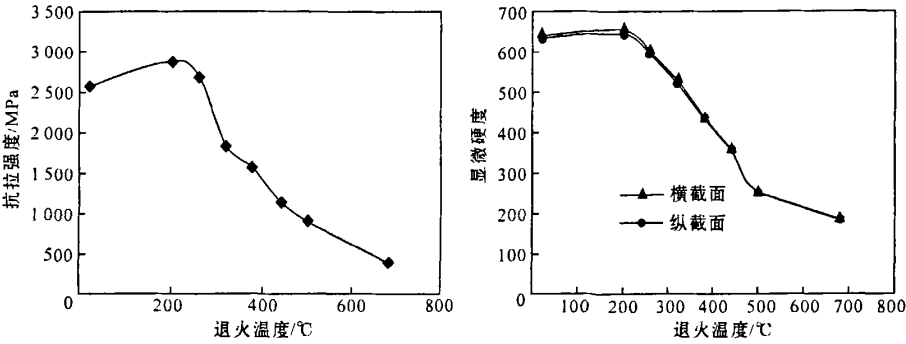


图4 冷拉 70 钢丝机械性能与退火温度的关系

(a)抗拉强度与退火温度的关系; (b)显微硬度与退火温度的关系

Fig. 4 Function of mechanical properties and annealing temperature in 0.7%C steel wire

(a) function of tensile strength and annealing temperature; (b) function of micro-hardness and annealing temperature

横截面还是纵截面,在 200 °C 退火后冷拉 70 钢丝显微组织的渗碳体片的数量均减少,渗碳体发生了进一步的溶解,这与文献[10-11]的研究结果是一致的。这是由于温度升高导致渗碳体的热力学不稳定,从而使渗碳体向化学位较低的状态转化,即发生溶解。溶解的碳原子固溶于  $\alpha$ -Fe 晶格的八面体间隙中,造成不对称畸变,由此而造成的点阵失配畸变场具有正应力分量和切应力分量,故可与刃型位错和螺型位错产生交互作用。平衡状态要求相互作用能为最小,固溶质碳原子将被刃位错的膨胀区吸引,吸引的结果形成 Cottrell 气团。在无外加切应力时,碳原子均匀分布于  $\alpha$ -Fe 点阵的  $(1/2, 0, 0)$ ,  $(0, 1/2, 0)$

和  $(0, 0, 1/2)$  间隙内。具有切应力分量的间隙固溶原子应力场可与唯有切应力分量的螺位错产生弹性交互作用,当居于  $\alpha$ -Fe 间隙位置的碳原子受到附加切应力,即螺位错应力场作用时,碳原子将跳到应变能较低的间隙位置上,碳原子的换位使螺位错应力场切应力分量松弛,这切应力的松弛就是碳原子与螺位错间交互作用的反映。间隙碳原子的换位就造成间隙原子的局部有序分布,形成 Snoek 气团。Cottrell 气团及 Snoek 气团的形成对位错有钉扎作用,从而使材料的屈服强度提高。另外,在低温退火时,冷拉钢丝中的残余应力将部分消除,位错等晶体缺陷有可能重新分布,使珠光体钢的结构发生变化。所

以,低温退火对钢的机械性能有积极的影响。

当退火温度高于 260 ℃时,组织中的渗碳体析出量随着退火温度的升高而逐渐增多并不断长大,回复现象开始发生,组织中的位错开始重组或消失,这使得珠光体钢的机械性能逐步降低,直到退火温度为 680 ℃时,组织发生再结晶,这时冷拉 70 钢丝的机械性能最差。

## 4 结 论

(1) 冷拉 70 钢丝的抗拉强度、显微硬度随退火温度的升高先提高后降低,在 200℃低温退火时,其强度、硬度都达到最大值。

(2) 低温退火时,冷拉钢丝的组织未发生大的变化,渗碳体进一步溶解,组织细化、均匀化。随退火温度的升高,材料发生回复现象,渗碳体以颗粒状析出,颗粒尺度随退火温度升高而增大,铁素体晶粒也随退火温度的升高而增大。

(3) 低温退火时,强度提高的主要原因是渗碳体溶解导致的固溶强化及内应力的消除;退火温度升高时,回复现象使钢丝的强度、硬度不断下降。

### 参考文献:

[1] 董剑,王冰,宋新香. 高碳高强度钢丝的最近进展[J]. 国外金属热处理,2000,21(3):3-5.

- [2] HONOL K, OHNUMAL M, MURAYAMA M, et al. Cementite decomposition in heavily drawn pearlite steel wire[J]. Scripta Mater, 2001, 44: 977-983.
- [3] 蔺秀艳,翟巧玲,周兴建.  $\Phi 0.5\text{mm}$  1740MPa 级压力管道用冷拉钢丝的试制[J]. 金属制品, 2005, 31(3): 11-12.
- [4] 殷森. 高强度矿用钢丝绳的研制[J]. 金属制品, 2002, 28(4): 9-12.
- [5] 冯春玲,张庆华,贾宝楠. 面接触多阶变径组合航空拖缆的研制[J]. 江西冶金, 2005, 25(5): 1-3.
- [6] 胡自明,蒋日勤. 高强度钢丝帘线的研制开发[J]. 轮胎工业, 2002, 22(11): 655-657.
- [7] 许云华,彭建洪,岑启宏. 高强度珠光体钢丝增强聚氨酯复合材料的三体磨料磨损研究[J]. 热加工工艺, 2005(8): 56-58.
- [8] TORIBIO J. Relationship between microstructure and strength in eutectoid steels[J]. Materials Science and Engineering A, 2004, 387-389: 227-230.
- [9] LANGUILLAUME, KAPELSKI G, BAUDELECT B. Evolution of the tensile strength in heavily cold drawn and annealed pearlitic steel wires[J]. Materials Letters, 1997, 33: 241-245.
- [10] WATTE P, HUMBEECK J V, AERMOUDT E, et al. Strain ageing in heavily drawn eutectoid steel wires[J]. Scripta Mater, 1996, 39: 89.
- [11] YAMADA. Static strain ageing of eutectoid carbon steel wires[J]. Trans ISIJ, 1976, 16: 417.

## Effect of anneal treatment on the microstructure and mechanical properties of cold drawn pearlitic steel wires

LIU Wen-gang, XU Yun-hua

(Institute of Wear Resistance Material, Xian University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

**Abstract:** Effect of anneal treatment on the microstructure and mechanical properties of cold drawn 0.7%C steel wires was studied in this paper. The result shows that the microstructure of cold drawing steel wire changes little after being annealed at low temperature and becomes more homogeneous, the dissolution amount of cementite increases as well. When the annealing temperature rises, cementite precipitate as particles, and the grain size grows up with the rise of the annealing temperature, as well as the grain size of ferrite. With the rise of annealing temperature, the tensile strength and the micro-hardness of 0.7%C steel increase at first, and then reduce gradually. The maximum occurred at the annealing temperature of 200℃. The effect mechanism of anneal treatment on microstructure and properties of cold drawing 0.7%C steel was briefly discussed.

**Key words:** annealing treatment; cold drawing; pearlitic steel; microstructure and properties