

## 82A 高碳钢丝索氏体组织的识别

蔡伟 郑精武 乔梁 姜力强

(浙江工业大学化学工程与材料科学学院, 杭州 310014)

**摘要** 标准 YB/T169-2000 规定,通过光学显微镜中明暗差异测量高碳钢组织的索氏体含量。为了分析光学显微镜中各明暗区域对应的组织结构,对铅浴退火抗拉强度为 1 296 MPa 的  $\Phi 0.9$  mm 82A 高碳钢丝试样采用显微硬度计做定点标记,使用光学显微镜和扫描电子显微镜进行观察,同时通过不同浸蚀方式分析明暗区域出现的原因。结果证实白亮区域和类似珠光体片层组织均为索氏体组织。局部深腐蚀导致片层假象,而白亮区域和类似珠光体出现均与垂直于拉拔方向索氏体团相关。

**关键词** 索氏体 珠光体 光学显微镜 片层间距 取向

## Identification on Sorbite Structure in 82A High Carbon Steel Wire

Cai Wei, Zheng Jingwu, Qiao Liang and Jiang Liqiang

(College of Chemical Engineering and Materials Science, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014)

**Abstract** In standard YB/T169-2000, it is defined that the percentage of sorbite in structure of high carbon steel is measured based on the difference structure between bright and dark under optical microscope. In order to analyze the structure corresponding to each bright and dark region under optical microscope, the different region in sample of lead bath annealed  $\Phi 0.9$  mm 82A high carbon steel wire with tensile strength 1 296 MPa is marked by microhardness tester and observed by optical and scanning electron microscope, and the reason to occur the bright and dark region is analyzed by different etching method. The results confirm that the bright region and the similar pearlite lamella structure are all sorbite structure. Partial deep-etching leads to false appearance of lamella, and the occurred bright region and similar pearlite are related to the sorbite block which is perpendicular to drawing direction.

**Material Index** Sorbite, Pearlite, Optical Microscope, Interlamellar Spacing, Orientation

目前国内采用的测试索氏体含量的唯一标准 YB/T169-2000 将光学显微镜下(放大倍数为 500 倍,数值孔径  $N \cdot A \geq 0.65$ )不可分辨片层的珠光体类型组织作为索氏体,通过光学显微镜下组织的明暗程度来测量索氏体含量<sup>[1~3]</sup>。然而,对索氏体含量的测量至今仍存在争议,认为所谓的“珠光体”实际是索氏体,只是索氏体团的片层与磨面的倾斜角度较小,使得片层间距被放大所致<sup>[4,5]</sup>。也有较多学者将标准使用到实际生产研究中<sup>[6~8]</sup>,测量时把光学显微镜下黑色区域作为索氏体组织,把白亮区域与可见片层区域作为非索氏体组织。

相对国内,国外对珠光体类型组织不做珠光体、索氏体和屈氏体的区分,研究中只对片层间距加以说明<sup>[9~12]</sup>。本文通过金相显微镜结合扫描电镜对高碳钢丝组织分析,证实索氏体团取向不同引起浸蚀效果差异,最终导致光学显微镜下组织明暗差异。同时,通过浸蚀过程分析,阐述了金相显微镜中不同灰度区域的形成原因与过程。

### 1 试验材料与方法

试验材料为  $\Phi 0.9$  mm 82A 高碳钢丝,经铅浴退火并镀黄铜,抗拉强度 1 296 MPa。

金相分析参照标准 GB/T13298-1991,浸蚀试剂为:(1)3% 硝酸(含量为 65% ~ 68%)酒精溶液;(2)5 ml 盐酸(含量为 36% ~ 38%) + 1 g 苦味酸(含水量  $\geq 35\%$ ) + 100 ml 酒精溶液;(3)饱和苦味酸水溶液 + 十二烷基苯磺酸钠。用光学显微镜 CVM-600 和 SEM(HITACHI-4700)观察组织形貌。

### 2 试验结果与讨论

#### 2.1 浸蚀过程与组织显示

随浸蚀时间增加,腐蚀加深,低倍光学显微镜下观察灰度加深,颜色变暗。图 1(1)(2)(3)(4)为浸蚀过程示意图,黑色线条代表渗碳体片层、灰色填充区域为铁素体片层,索氏体团随机分布。图 1(1)代表抛光试样;图 1(2)、(3)、(4)分别代表 3% 硝酸酒精溶液浸蚀 15 ~ 30 s、30 ~ 60 s、60 s 以上的试样。

左侧图 1(a) 和图 1(d) 金相照片分别对应示意图 1(2) 和图 1(3)。右侧图 1(b)、(c)、(e) 为试样 SEM 照片。

浸蚀初期[图 1(2), 15~30 s], 由于索氏体取向不同, 导致浸蚀效果各异。图 1(a) 为试样浸蚀 15~30 s 放大 100 倍 ( $N \cdot A = 0.25$ ) 的组织形貌, 观察可见灰白色区域、黑色区域和少量白亮区域。分

别对应示意图 1(2) 中(A)(C)、(B) 和(D) 区域。(A)(C)(D) 索氏体片层平行于浸蚀面, 由于硝酸对渗碳体的腐蚀较弱, 腐蚀区域仍较为平整, 故在光学显微镜下成灰白色区域和白亮区域, 见图 1(a)。在电镜下为平行浸蚀面片层结构, 见图 1(b)(c)。图 1(2) 中(B) 区域索氏体取向随机, 该区域铁素体被腐蚀, 形成高低不同的错层, 且片层间距不足以分

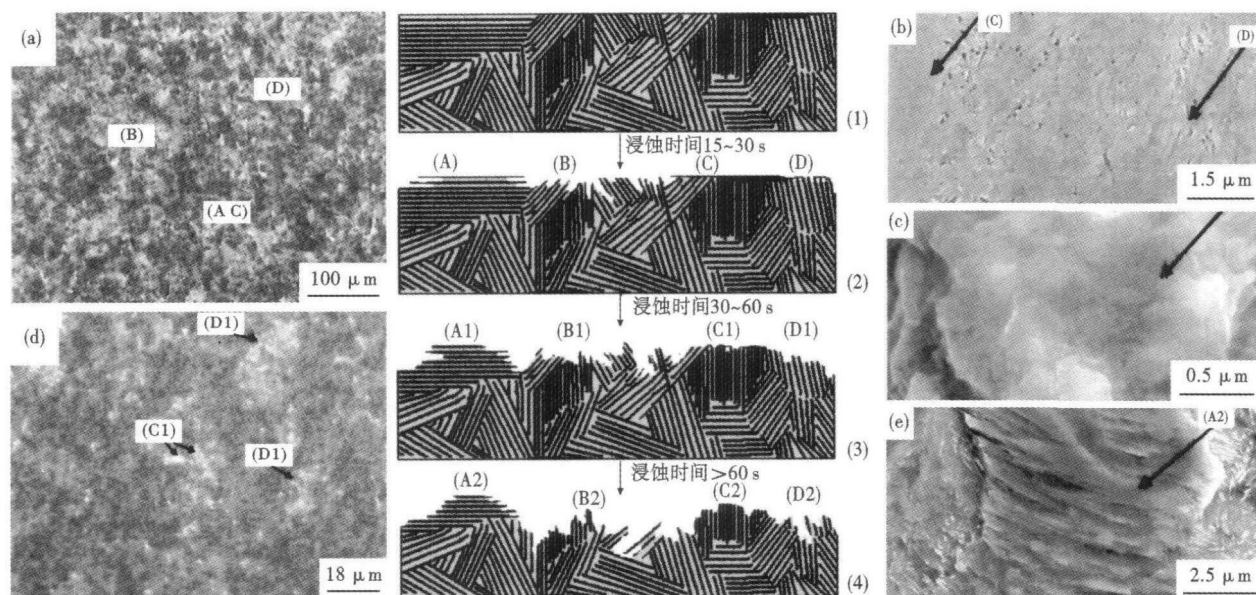


图 1 试样浸蚀过程和对应组织形貌

Fig. 1 Sample etching process and corresponding structure morphology

辨, 故为黑色区域。

图 1(3) 为试样浸蚀 30~60 s, 酒精擦洗。由于浸蚀时间较长, 表层片层结构被擦去 (C1) (D1), 垂直于浸蚀面索氏体团片层显露, 由于该区域未被深腐蚀, 相对平坦, 形成特别亮的局部区域 (C1)。浸蚀区域若出现局部腐蚀较深, 在光学显微镜下易出现“片层”, 即区域 (D1), 实际组织见图 1(d) (400 倍 ( $N \cdot A = 0.60$ ))。

进一步浸蚀, 白亮区域会因腐蚀而变成片层结构或黑色区域 (C2)、(D2)。区域 (A2) 成梯状腐蚀, 片层形成的阶梯使得其在光学显微镜下变成灰白色或黑色区域, 电镜下组织见图 1(e)。若腐蚀形成的阶梯较为规整, 则有可能出现片层结构, 类似片层被放大。

若采用盐酸苦味酸酒精溶液浸蚀, 浸蚀过程的阶段性与硝酸酒精溶液类似, 但腐蚀速率较硝酸酒精溶液快, 且盐酸对渗碳

体具有一定的腐蚀作用。10 s 浅腐蚀, 出现灰白色区域, 但不呈薄膜状; 浸蚀 20 s 出现白亮区域, 400 倍下有可见片层与不可见片层的 (图 2a); 浸蚀 30~60 s 组织较为均匀, 白亮区域减少, 大多为黑色区域, 可见片层组织 (图 2b)。浸蚀时间大于 60 s, 白亮区域增多 (图 2c)。

SEM 观察组织特征: (1) 以索氏体团存在, 相邻取向不同, 存在一定角度。图 3(a) 为与观察面存在不同倾斜角的索氏体团; (2) 明显可见索氏体团的片层取向既有垂直于观察面也有平行于观察面

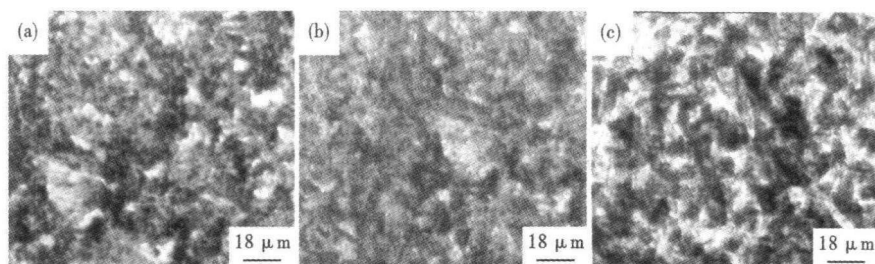


图 2 82A 高碳钢盐酸苦味酸酒精溶液浸蚀后光学组织形貌,  $\times 400$ : 浸蚀 (a) 20 s; (b) 30~60 s; (c) >60 s

Fig. 2 Morphology of optical structure of 82A high carbon steel wire sample etched by hydrochloric acid and picric acid,  $\times 400$ : etching for 20 s (a); 30~60 s (b); >60 s (c)

(图3b);(3)组织片层间距为80~120 nm(图3c)。

### 2.2 组织在光学显微镜与SEM中对应观察

比较图4(a)(b)可发现,图4(a)(b)图片中区域(A)为同一区域。将A区域局部放大,即图4(c);图4(d)为图4(b)中A区域内部方框区域局部放大。图4(d)中(1)(2)(3)区域即对应图4(a)中箭头所指区域。将其进一步

放大得到图4(e)(f)(g)。

可以明显看到,在光学显微镜下明暗不同的区域,都是索氏体片层结构。只是索氏体团取向不一致,导致浸蚀效果不一样而引起的不同灰度。区域(3),光学显微镜下观察为黑色区域(图4a,c),其为一般取向的索氏体团铁素体大量被腐蚀,片层结构导致凹凸不平,但因片层间距过小(80~120 nm)(图4g),光学显微镜下难以分辨,故为黑色区域。这与一般理解光学显微镜下观察索氏体组织为黑色

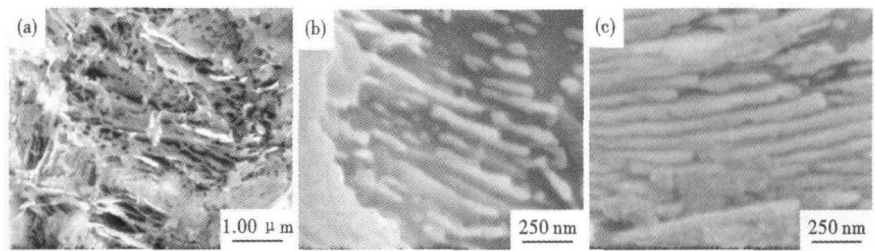


图3 82A高碳钢丝的索氏体组织形貌,SEM  
Fig.3 Morphology of sorbite structure of 82A high carbon steel wire, SEM

区域是相符的。区域(1),光学显微镜下观察为白亮区域,局部隐约可见片层(图4a,c箭头(1))。若按标准YB/T169-2000判定,该白亮区域组织不是索氏体。但在电镜照片中(图4e)可清晰的看到片层结构,片层间距也在100 nm左右,组织为索氏体,与光学显微镜下黑色区域(3)是同一组织。区域(1)相对较为平坦,局部区域片层平行于浸蚀面且片层未破坏(图4e矩形区域),所以在光学显微镜下观察为白亮区域。但是,在浸蚀过程中,大区域的均匀腐蚀仅仅是一种理想状态,实际浸蚀过程中常

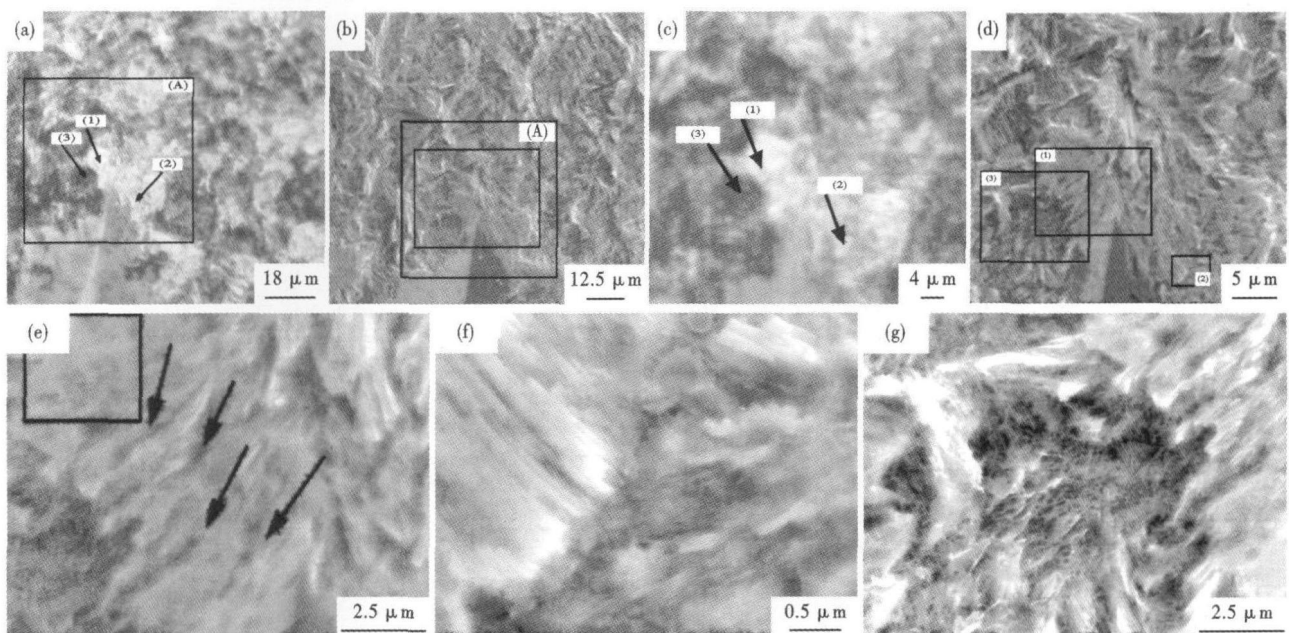


图4 相同区域在光学显微镜(a)×400;(c)×800与扫描电镜(b,d,e,f,g)中的对比  
Fig.4 Comparison of same region structure observed by optical (a-×400), (c-×800) and SEM (b, d, e, f, g)

常会出现局部深腐蚀区(间距为1 μm左右),如图4(e)中箭头所示。被腐蚀较深的区域形成凹槽,所以在光学显微镜下,隐约可见片层结构。当局部较小区域腐蚀较为均匀且腐蚀很浅(图4f),则出现白亮区域(图4a,c箭头(2))。

### 2.3 对片层假象的讨论

试验结果表明,光学显微镜下观察类似珠光体片层组织的区域,实际是索氏体组织。不可见片层的白亮区域也可能为索氏体组织,而非渗碳体或铁素体等其它组织。导致视觉上的假象也并非简单的理解为片层间距与观察角度放大所致。索氏体片层一般为80~150 nm,而光学显微镜下观察片层间距

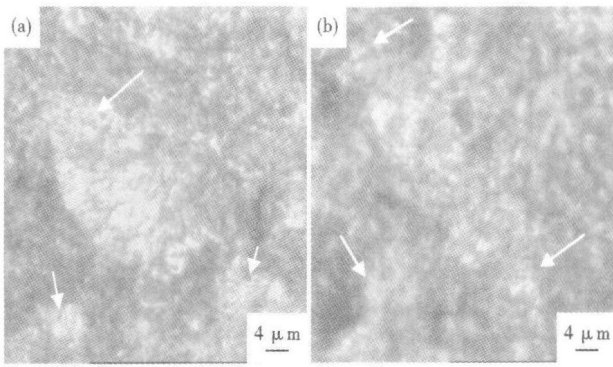


图 5 类似珠光体片层光学组织

Fig. 5 Morphology of optical structure of similar pearlite lamella

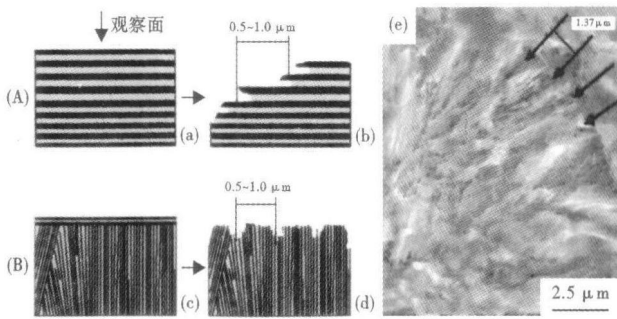


图 6 片层结构示意图和对应组织形貌

Fig. 6 Schematics of lamellar structure and corresponding structure morphology

在  $0.5 \sim 1.0 \mu\text{m}$  或者更大(图 4a、图 5)。图 5 为 800 倍光学显微镜 ( $N \cdot A = 0.80$ ) 照片,箭头所指区域可以明显看到片层结构。

珠光体是铁素体和渗碳体的有机结合体,两者的反光能力虽有差别但不足以区分。所以,只有浸蚀造成形貌差异才能分辨。索氏体的取向是随机的,一般取向的索氏体经浸蚀后铁素体被大量腐蚀,出现片层结构,但因片层结构很小,光学显微镜无法分辨。但如果片层取向平行于浸蚀面的索氏体,因其渗碳体层在浸蚀面表层,对其内部组织形成

保护。

当平行取向索氏体片层结构在浸蚀表面较多,如图 6(A)所示,若浸蚀较浅,则光学显微镜下成白色或灰白色,如图 1(b)(c);若浸蚀出现阶梯较为规则,类似放大片层,成珠光体结构,但这种情况出现较少,见图 6(A(b));若浸蚀较为严重,片层结构被破坏或阶梯状结构在光学显微镜下不足以分辨,则成黑色区域,如图 1(e)。

当浸蚀面只有少量平行片层,如图 6(B),浸蚀过程会依次出现白亮区域与片层区域。看到的所谓片层,是因腐蚀局部较深,许多片层的组合而非片层本身,见图 4(e)、图 6(d)(e)。

可见,出现白亮区域或可见片层组织与索氏体团中片层结构平行浸蚀面相关:(1)直接由平行于浸蚀面的片层形成;(2)平行于浸蚀面的渗碳体层起保护作用,使得其下组织未被腐蚀。

此外,光学显微镜白亮区域或可见片层区域会在不同区域呈现,这与索氏体团取向随机性相符。

### 3 结论

(1)索氏体团的取向不同使得不同区域浸蚀效果各异,导致在光学显微镜下出现明暗不同的区域,从 SEM 中观察可知各区域均可能是索氏体组织。因此,依靠明暗不同测定索氏体含量是值得商榷的。

(2)光学显微镜下,白亮区域可能是索氏体组织,是因浸蚀过程中形成局部平坦区域所致。类似“珠光体”片层区域的形成是由于浸蚀过程中形成局部深腐蚀区域,局部的凹陷导致形成“放大片层结构”。故在辨别判定索氏体组织时应结合硬度、电子显微镜等方法综合评定。

(3)光学显微镜下,白亮区域和“珠光体”出现均与垂直拉拔方向索氏体团相关。

### 参考文献

- 1 YB/T169-2000,高碳钢盘条索氏体含量金相检测方法(S)
- 2 袁危平,王克杰,班茄梅.无扭控冷热轧高碳钢盘条索氏体含量金相检测方法的研究.天津冶金,1999(4):41
- 3 陈 斌,石振华.高碳钢盘条中索氏体含量的定量测定.金属制品,1999,25(1):44
- 4 李和平.对于 YB/T169-2000 高碳钢盘条索氏体含量金相检测方法评级依据的探讨.冶金标准化与质量,2004,42(4):17
- 5 王国红,宗 斌,魏建忠.碳钢盘条中珠光体类型组织的区分和判定.冶金标准化与质量,2005,43(4):13
- 6 赵贤平,李静宇,曹树卫.测量金相中某相含量及测量高碳钢索氏体含量的方法.中国,发明专利,200810231411.6,2008-12-17
- 7 孟宪成,王 勇,刘雅政.先进帘线钢材质量剖析.钢铁,2009,44(4):72
- 8 赵贤平,李静宇,苏白兰,等.索氏体含量及非金属夹杂物对 SWRH82B 盘条抗拉强度的影响.河南冶金,2007,15(增刊):50
- 9 Toribio J. Relationship Between Microstructure and Strength in Eutectoid Steels. Materials Science and Engineering, 2004, 387-389A:227
- 10 Goto S, Kirchheim R, Al-Kassab T. Application of Cold Drawn Lamellar Microstructure for Developing Ultra-high Strength Wires. Transactions of Nonferrous Metals Society of China, 2007, 17:1129
- 11 Michael Zelin. Microstructure Evolution in Pearlitic Steels during Wire Drawing. Acta Materialia, 2002, 50:4431
- 12 Borchers C, Al-Kassab T, Goto S. Partially Amorphous Nanocomposite Obtained from Heavily Deformed Pearlitic Steel. Materials Science and Engineering A, 2009, 502:131

蔡 伟(1986-),男,硕士研究生,2008 年浙江工业大学毕业,金属材料研究。

收稿日期:2010-07-02