

热轧材冷拉过程 65 钢硬线断裂分析

张朝磊¹ 刘雅政¹ 周乐育¹ 唐山²

(1 北京科技大学材料科学与工程学院,北京 100083; 2 山东三山集团,阳谷 252300)

摘要 65 钢(/% :0.62 ~ 0.70C、0.18 ~ 0.28Si、0.55 ~ 0.75Mn)硬线盘条的生产流程为 120 t 转炉-LF-170 mm × 170 mm 连铸-高速线材轧制。采用光学和扫描电子显微镜分析了 65 钢 Φ6.5 mm 热轧盘条在冷拉至 Φ1.85 mm 过程中断裂的原因。实验结果表明,断口宏观特征为笔尖状,盘条横截面组织均匀性较差;裂纹起源于心部粗大的先共析铁素体和粗片状渗碳体,断裂的主要原因是索氏体化率低,存在大块先共析铁素体和中心碳偏析。

关键词 65 钢 硬线 热轧盘条 冷拉 笔尖状断裂 先共析铁素体 中心偏析

An Analysis on Fracture of Hard Wire of Steel 65C during Hot Rolled Coil Cold Drawing Process

Zhang Chaolei¹, Liu Yazheng¹, Zhou leyu¹ and Tang Shan²

(1 School of Materials Science and Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083;
2 Shandong Sanshan Group Co Ltd, Yanggu 252300)

Abstract The production process flow sheet for hard wire coil of steel 65C (/% : 0.62 ~ 0.70C, 0.18 ~ 0.28Si, 0.55 ~ 0.75Mn) is 120 t converter-LF-170 mm × 170 mm costing billet-rolling by high speed mill. The fracture cause of steel 65C during Φ6.5 mm hot rolled coil cold-drawing to Φ1.85 mm wire has been analyzed by optical microscope and scanning electron microscope. Test results show that the macro-feature of fracture is pencil-tip in shape, and the structure homogeneity at coil cross section is poor; the cracks originate at coarse proeutectoid ferrite and thick-lamellar cementite in center of section; and the main causes of fracture are low sorbite percentage, existing large block proeutectoid ferrite and central carbon segregation.

Material Index Steel 65C, Hard Wire, Hot-Rolled Coil, Cold Drawing, Pencil-Tip Shaped Fracture, Proeutectoid Ferrite, Central Segregation

硬线主要是供给金属制品行业的原料,广泛用于加工低松弛预应力钢丝、钢丝绳、钢绞线、轮胎钢丝及钢帘线、中高强度的紧固件等^[1]。硬线在拉丝过程中非常容易脆断,严重影响生产效率和产品质量。因此,研究硬线的断丝行为,准确判断其成因显得非常重要。

研究表明,原料对帘线钢线材断丝率的影响因素包括:与钢水纯净度控制相关的夹杂物组分、形态和大小的影响;与连铸坯凝固控制相关的偏析、疏松和缩孔等缺陷的影响;与控轧控冷相关的组织均匀性和索氏体化率的影响;与全流程均有关的表面缺陷的影响等方面^[2-6]。本文采用光学和扫描电子显微技术,对 65 钢硬线拉拔断裂原因进行分析。

1 实验材料及方法

钢厂采用 120 t 转炉冶炼 → LF 精炼 → 170 mm × 170 mm 方坯连铸 → 高速线材轧制生产的 65 钢 Φ6.5 mm 盘条。依据 GB/T699-1999,65 钢化学成分如表 1 所示。

在热轧材直接拉拔加工过程中,依次经过盐酸

表 1 65 钢硬线化学成分 /%

Table 1 Chemical composition of hard wire steel 65C /%

C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
0.62 ~ 0.70	0.18 ~ 0.28	0.55 ~ 0.75	≤ 0.025	≤ 0.020	≤ 0.25	≤ 0.30	≤ 0.25

酸洗 → 磷化 → 皂化处理,采用 15 模水箱拉丝机一次拉拔到 Φ1.85 mm,拉拔角 9 ~ 12°。拉拔过程中发生脆断,废品率约 20%。断口宏观形貌如图 1 所示,均为典型的笔尖状断裂。采用光学显微镜和扫描电子显微镜(SEM)观察断口形貌及其剖面显微

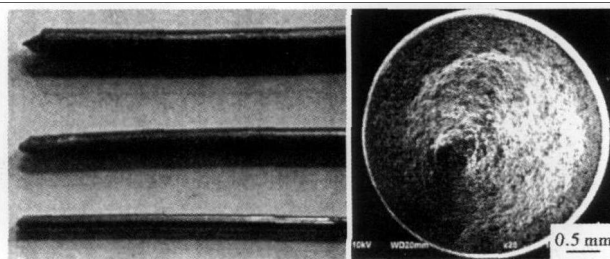


图 1 硬线断口宏观形貌

Fig. 1 Morphology of macro-fracture surface of hard wire

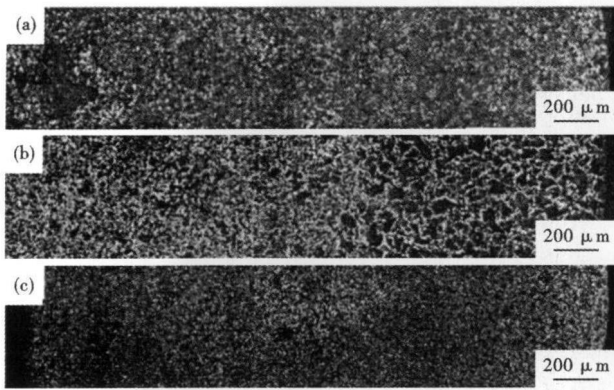


图 2 断丝横截面显微组织,光学- /mm:(a) Φ4.22;(b) Φ3.54;(c) Φ2.32

Fig.2 Structure morphology of cross section of fracture wire, optical- /mm:(a) Φ4.22;(b) Φ3.54;(c) Φ2.32

组织。

2 实验结果与分析

2.1 断丝横截面显微组织

断丝横截面显微组织光学金相和心部显微组织 SEM 金相分别如图 2 和图 3 所示。

从图 2(a)中可以看出,Φ4.22 mm 断丝边部铁素体相对较多,珠光体球团相对粗大,索氏体化率较低;距离心部1/4直径处,铁素体相对较少,珠光体球团相对细小,索氏体化率较高;心部区域铁素体非常少,片层更细,而紧邻的周围区域铁素体相对较多(图 3a),说明盘条心部存在碳偏析。可见,横截面显微组织均匀性较差。

从图 2(b)可以看出,Φ3.54 mm 断丝心部组织比边部组织细小,这主要是因为拉拔过程中不均匀变形造成的,并且心部可见裂纹(图 3b)。

从图 2(c)中可以看出,Φ2.32 mm 断丝边部到心部组织较图 2(b)均匀,心部可见较大裂纹(图 3c)。

2.2 断丝纵截面显微组织

Φ4.22 mm 断丝纵截面 SEM 金相如图 4(a₁, b₁)所示。从图 4(a₁, b₁)中可以看出,断丝心部有

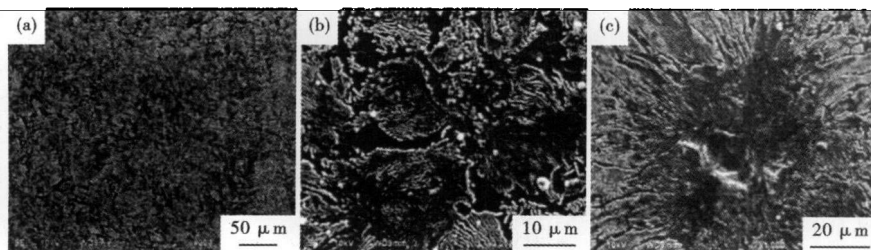


图 3 断丝横截面心部显微组织,SEM- /mm:(a) Φ4.22;(b) Φ3.54;(c) Φ2.32

Fig.3 Structure morphology of center at cross section of fracture wire, SEM- /mm:(a) Φ4.22;(b) Φ3.54;(c) Φ2.32

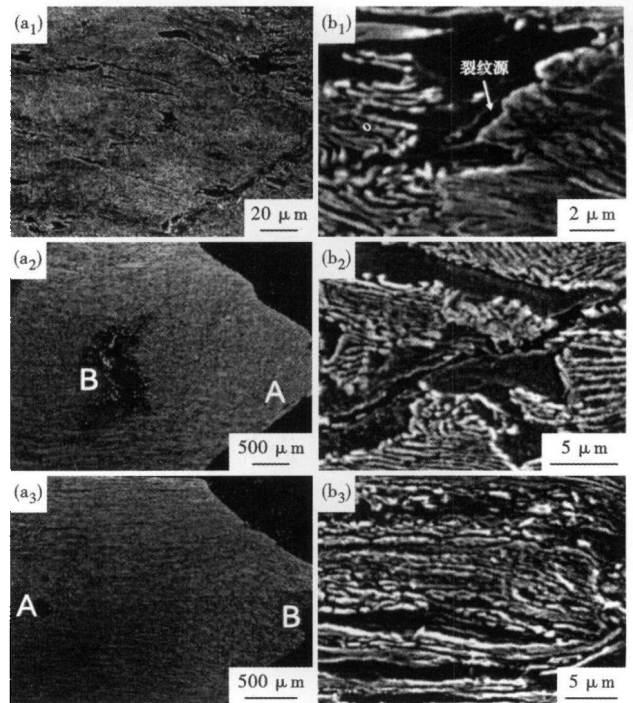


图 4 断丝纵截面组织形貌,SEM- /mm:(a₁)(b₁) Φ4.22;(a₂)(b₂) Φ3.54;(a₃)(b₃) Φ2.32;(a₁)(a₂)(a₃) V-形裂纹和断口;(b₁)(b₂)(b₃)裂纹起源于心部粗大先共析铁素体

Fig.4 Structure morphology of longitudinal section of fracture wire, SEM- /mm:(a₁)(b₁) Φ4.22;(a₂)(b₂) Φ3.43;(a₃)(b₃) Φ2.32; V-shaped crack (a₁) and fracture (a₂)(a₃);(b₁)(b₂)(b₃) crack originating at center coarse proeutectoid ferrite

V 形裂纹(图 4a₁),并观察到心部粗大先共析铁素体产生的裂纹源(图 4b₁)。

Φ3.54 mm 断丝纵截面 SEM 金相图 4(a₂, b₂)所示。从图 4(a₂, b₂)中可以看出,裂纹起源于心部粗大的先共析铁素体,并沿其扩展。

Φ2.32 mm 断丝纵截面 SEM 金相如图 4(a₃, b₃)所示。从图 4(a₃, b₃)中可以看出,在轴向拉应力和来自外层的附加应力作用下,心部粗大的渗碳体片先被拉断形成微孔,进而长大或与周围的其它微孔连接形成裂纹。从图 4(b₃)中可以看出,裂纹起源于粗大的先共析铁素体,并沿其扩展。

Φ2.32 断丝纵截面光学金相如图 5 所示。从图 5 中可以看出,断丝心部裂纹沿中心轴线呈 V 形、近似周期分布。此外,在多个 V 形裂纹扩展路径上观察到尺寸约 50 μm 的未知物(图 6a),EDS 能谱分析(图 6b)可知,其成分主要为 Si 和 C,为制备金相试样过程中填入的砂纸和电木粉等物质。

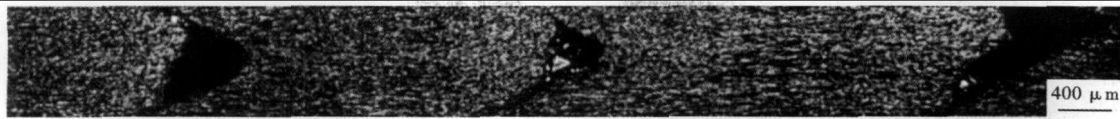


图 5 Φ2.32 mm 断丝纵截面心部组织形貌,光学

Fig. 5 Morphology of structure in center of longitudinal section of Φ2.32 mm fracture wire, optical

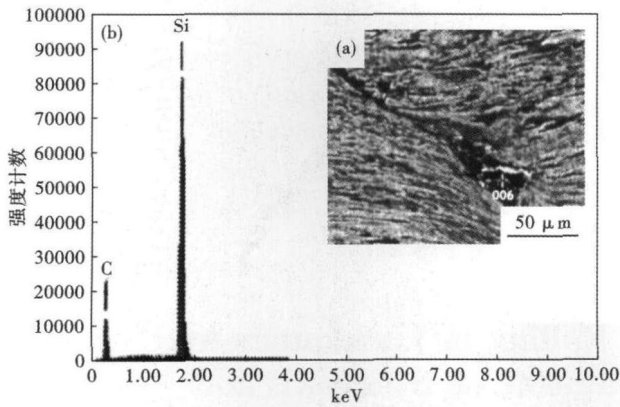


图 6 Φ2.32 mm 断丝纵截面裂纹,SEM(a)和 X-射线能谱分析(b)

Fig. 6 Crack at longitudinal section of Φ2.32 mm fracture wire, SEM (a), and energy dispersive X-ray spectrum (EDS) analysis (b)

2.3 断裂原因分析与讨论

通过以上断丝显微组织分析可知,断裂的主要原因是索氏体化率低、存在大块状的先共析铁素体和中心碳偏析。特别是在轧后冷却过程中,中心碳偏析导致在盘条心部形成大块的先共析铁素体组织,是拉拔过程中发生脆断的主要原因。因此需要优化连铸工艺,抑制碳偏析。可以通过控制中间包钢水的过热度,在连铸结晶器、二冷段和凝固终端区安装电磁搅拌装置,二冷段采用强化冷却技术等减弱碳偏析。

此外,影响线材最终组织的主要因素是钢的成分和冷却速度。轧后采用控制冷却技术是保证成品线材内部组织和力学性能的重要手段。可以通过优化吐丝温度,适当提高吐丝后至索氏体相变前冷却

速度,延长盘条在索氏体转变区的时间等措施,有效抑制 65 钢盘条先共析铁素体析出和提高索氏体化率。

3 结论

- (1) 65 钢硬线拉丝断裂为典型的笔尖状断裂。
- (2) 盘条横截面显微组织均匀性较差,存在明显中心偏析。
- (3) Φ4.22 mm 和 Φ3.54 mm 断丝的裂纹起源于心部粗大的先共析铁素体;而 Φ2.32 mm 断丝,裂纹除了起源于心部粗大的先共析铁素体,还起源于心部粗片状渗碳体。
- (4) 断裂的主要原因是索氏体化率低、存在大块状的先共析铁素体和中心碳偏析。

参考文献

- 1 强十涌,乔德庸,李曼云. 高速轧机线材生产(第 2 版). 北京:冶金工业出版社,2009
- 2 孟宪成,王 勇,刘雅政. 72A 帘线钢线材冷拔笔尖状断裂分析和改进工艺措施. 特殊钢,2009,30(5):55
- 3 李祥才. 60 钢线材拉拔断裂原因分析. 金属制品,2004,30(2):29
- 4 龚桂仙,韩荣东,许竹桃. 60 钢线材拉拔断裂原因分析. 武钢技术,2005,43(3):1
- 5 周南龙. 70 钢盘条拉拔断裂的原因分析. 江西冶金,2008,28(5):19
- 6 王海涛,郝 宁,靳庆峰,等. 72A 钢钢丝断裂研究. 炼钢,2005,21(16):18

张朝磊(1984-),男,博士研究生,2008 年北京科技大学毕业,特殊钢微合金化、组织性能控制及轧制工艺研究。

收稿日期:2011-07-11

下 期 要 目

- | | |
|---|------|
| 4 流大方坯 45 t 中间包流场的物理模拟和冶金效果 | 安航航等 |
| 气体旋流喂丝枪喂钙丝的水模拟试验 | 严清华等 |
| 380 mm × 280 mm 大方坯连铸结晶器电磁搅拌的数值模拟 | 李 熠等 |
| 板坯连铸中间包挡坝结构优化的数学与物理模拟 | 苑 品等 |
| 转炉出钢及涡流形成的数值模拟和水模型研究 | 王建强等 |
| 82B 钢 4 道次预精轧过程的计算机模拟和分析 | 林希峰等 |