

72A 帘线钢线材冷拔笔尖状断裂分析和改进工艺措施

孟宪成¹ 王 勇² 刘雅政¹

(1 北京科技大学材料科学与工程学院,北京 100083; 2 邢台钢铁有限责任公司技术中心,邢台 054027)

摘 要 72A 帘线钢线材拉丝笔尖状断裂的推动力,为拉拔时的不均匀变形。心部粗大的先共析铁素体和粗片状渗碳体易形成粗拉时的裂纹源;中心偏析产生的裂纹多出现在中拉工序。控制连铸坯中心碳偏析指数 ≤ 1.1 ,采用相变前 ≥ 15 °C/s快冷,相变区 600 ~ 620 °C 近似等温的控冷策略,获得先共析铁素体含量 $\leq 0.8\%$,索氏体率达 90% 的均匀组织,基本杜绝了 72A 线材直拉时笔尖断裂的产生。

关键词 帘线钢 72A 直拉工艺 笔尖状断裂

Analysis on Pencil-Tip Shaped Fracture of Cord Steel 72A during Cold Drawing and Improvement of Process

Meng Xiancheng¹, Wang Yong² and Liu Yazheng¹

(1 School of Material Science and Engineering, University of Science and Technology, Beijing 100083;
2 Technology Service and Development Centre, Xingtai Iron and Steel Co Ltd, Xingtai 054027)

Abstract Un-homogeneity of deformation is the driving force on pencil-tip shaped fracture of cord steel 72A during cold drawing. The coarse proeutectoid ferrite and thicker cementite lamella at center of wire are source of crack during rough drawing; and the crack produced by center segregation often occurs during middle-drawing. With controlling center carbon segregation index of cast billet ≤ 1.1 , using ≥ 15 °C/s quick cooling process before phase transformation, controlling cooling at phase transformation zone 600 ~ 620 °C similar isothermal transformation to obtain proeutectoid ferrite content $\leq 0.8\%$, uniform sorbite structure being up to 90%, the pencil-tip shaped fracture of 72A steel wire during straight-line drawing is basically avoided.

Material Index Cord Steel, 72A, Direct Drawing Process, Pencil-Tip Shaped Fracture

目前国内只有少数企业能够批量供应钢帘线专用线材,但质量的稳定性不够理想;而大多数企业则长期停留在小批量试制阶段,特别是为了降低成本而省去中间铅淬火工序的单丝直拉工艺应用后^[1],废品率更是高达 25% 以上,直观表现为断丝率很高。一般认为捻股笔尖状裂纹源产生于拉拔过程^[2],中心偏析是导致高碳钢丝笔尖状断裂的根源^[3]。

1 实验材料与方法

实验材料为 72A 帘线钢线材在钢帘线直拉过程中产生的笔尖状断丝断口,其成分见表 1。

表 1 典型试验钢的化学成分/%

Table 1 Chemical composition of typical test steel / %

C	Si	Mn	P	S	Alt	Ti	O	N
0.74	0.21	0.53	0.014	0.011	0.001 3	0.002 0	0.001 9	0.002 6

采用 LEICA S8AP0 体视显微镜、MPS30 光学显微镜和 JSM-5610LV 扫描电镜等实验设备,观察笔尖状断丝的断口形貌及其剖面组织;采用 MH-3 硬度计检测显微硬度,综合分析断裂机理。

2 笔尖状断口的特征

72A 帘线钢线材在直拉过程中,接近 70% 的断口一端呈锥形似笔尖,通常称为笔尖状断口,宏观形貌特征如图 1(a,b)所示。该类断口出现在粗拉、中拉和细拉工序的比例分别为 13.1%、65.2% 和 21.7%。

笔尖状断丝沿中心轴线的裂纹呈 V 形、近似周期分布。图 1(c)给出粗拉产生的裂纹,其尖部均指向拉丝的运行方向;而中拉和细拉产生的裂纹,尖部指向前后方向均有,这是由于中拉和细拉时,钢丝的运行方向正好与粗拉相反。

3 笔尖状断口的断裂机理分析

3.1 拉拔的不均匀变形是周期性 V 形裂纹产生的推动力

在拉拔过程中表层金属变形大,心部金属变形小,当拉拔变形到一定程度,超过材料的强度极限时,只能以中心裂纹的形成来达到力的平衡和顺应速度场的变化^[4]。

表层金属既要沿轴向流动,又要向心部流动,而

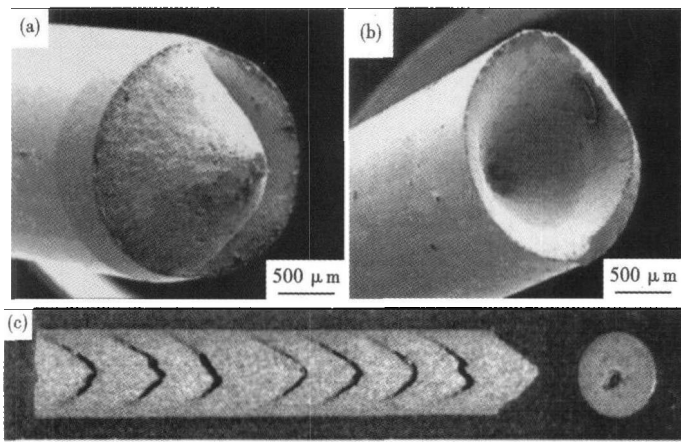


图1 (a)、(b)笔尖状断口的宏观形貌;(c)Φ3.54 mm 线材粗拉笔尖状断口剖面低倍组织形貌
 Fig.1 (a), (b) Morphology of macrostructure of pencil-tip shaped fracture; (c) Morphology of section macrostructure of pencil-tip shaped fracture of Φ3.54 mm wire during rough drawing

且还要受到模孔的摩擦阻碍,因此导致表层金属沿轴向的流动始终滞后于心部金属。这种金属的不均匀流动而引起的附加应力使得中心裂纹逐步呈 V 形扩展,断裂后呈现笔尖状的形貌特征。

3.2 线材的心部缺陷成为笔尖状断裂的潜在裂纹源

3.2.1 线材心部异常组织

(1)粗大铁素体引起的裂纹源。图 2(a, b)为 72A 帘线钢线材心部粗大先共析铁素体[图 2(a)所示]及其引起的裂纹源[图 2(b)所示],Φ5.50 mm 线材拉拔至 Φ4.50 mm 出现笔尖状断裂。该现象全部发生在粗拉的初始几个道次。粗大的先共析铁素体位于珠光体团的交界处,严重时呈网状分布,拉

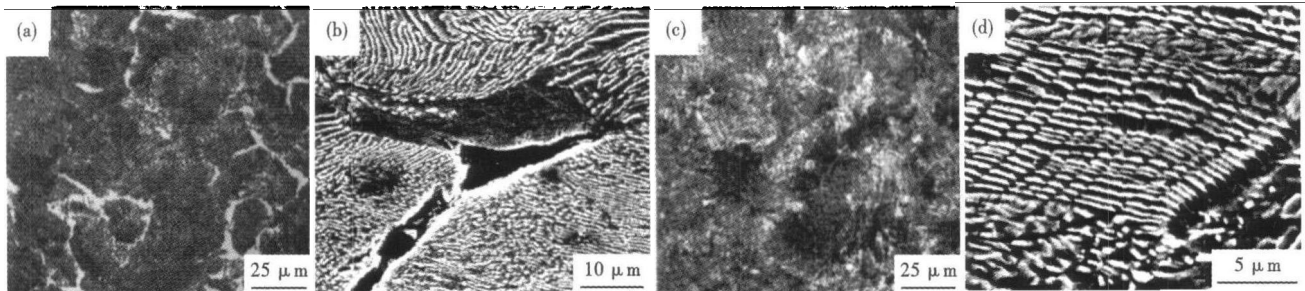


图2 心部粗大的先共析铁素体(a)及其产生的裂纹源(b);粗大渗碳体(c)断裂或微孔聚合产生的裂纹源(d)
 Fig.2 Coarse proeutectoid ferrite at center (a) and formed source of crack (b); thicker cementite lamella (c) fracture or micro-void coalescence formed source of crack (d)

丝时铁素体优先变形所产生的位错堆积在铁素体和珠光体团的界面处形成塞积头,如果塞积头处的应力集中不能为塑性变形所松弛,最大拉应力达到理论断裂强度时,即沿着相界面形成裂纹;铁素体晶粒尺寸越大,理论断裂强度就越低,越容易产生裂纹甚至断裂^[5]。因此,减少铁素体量、细化先共析铁素体尺寸有助于降低帘线钢线材的断丝率。

(2)粗片状渗碳体引起的裂纹源。图 2(c, d)为粗片状渗碳体引起的中心裂纹源,Φ5.50 mm 线材拉拔至 Φ3.54 mm 时出现笔尖状断裂;这类断裂全部发生在粗拉的中后道次。在轴向拉应力和附加应力作用下,心部粗大的渗碳体片首先被拉断形成微孔,进而长大或与周围的其他微孔连接形成裂纹,最终呈 V 形扩展。因在切应力作用下位错源优先在珠光体内的铁素体中开动,位错运动到渗碳体处受阻而形成塞积,在拉应力作用下塞积头处的渗碳体片开裂;渗碳体片越厚,特别是渗碳体与铁素体片层厚度之比越大,其断裂韧性越低^[5]。因此,细化

渗碳体片层厚度有助于其断裂韧性的改善。

3.2.2 线材中心偏析

与粗大组织引起的笔尖状断裂不同,还有一类笔尖状断裂,其纵剖面中心有一条很窄的深色线条,对应横剖面中心是一个小黑点。该类断口多发生于中拉或细拉,少数也会出现在粗拉。

Φ5.50 mm 线材中心维氏硬度(HV)值为 396,明显高于1/2半径处的 306,佐证了中心碳偏析的存在;拉拔至 Φ1.56 mm 时钢丝中心的硬度变化很小,但1/2半径处的硬度则明显增加,达到了 352 HV,说明该处金属产生了明显的冷加工硬化。

中心碳偏析区存在着两种典型的裂纹源特征,一种是不均匀索氏体团之间的界面断裂,如图 3(a);另一种是絮状组织被拉断而产生的,如图 3(b),关于絮状组织产生的原因还有待深入研究。

3.2.3 夹杂物

截至目前,尚未发现由于夹杂物的存在而直接引起的笔尖状断裂,但在断丝或其过程样中确实发

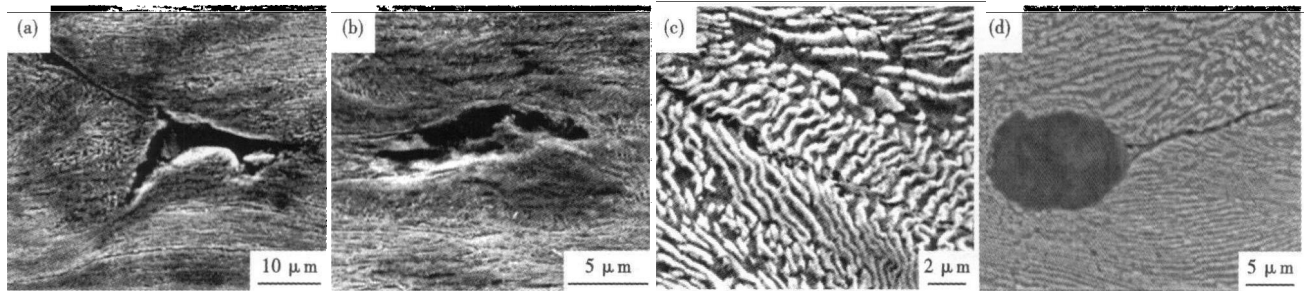


图3 (a),(b)笔尖状断裂细丝中心偏析区裂纹源;笔尖状断丝中的A类(c)和D类(d)夹杂物及其产生的裂纹

Fig.3 (a), (b) morphology of source of crack at center segregation area of fine wire with pencil-tip shaped fracture; morphology of inclusions type A (c) and type D (d) in fine wire with pencil-tip shaped fracture and formed crack

现了夹杂物产生的裂纹。首先,由于S元素与C一样也容易产生中心偏析,并以硫化物的形式存在钢中,热轧后成长条状的A类夹杂,很容易导致珠光体组织的不连续性,见图3(c)。此外,D类夹杂也是72A帘线钢线材中最常见的夹杂物,如果尺寸较大或变形性较差,则与基体的协调变形能力就差,非常容易在拉丝过程中产生裂纹,如图3(d)。当它位于线材的次表面时,容易引起表面开裂而导致脆性断裂;而位于线材中心时,则存在形成裂纹源而导致笔尖状断裂的潜在危害。

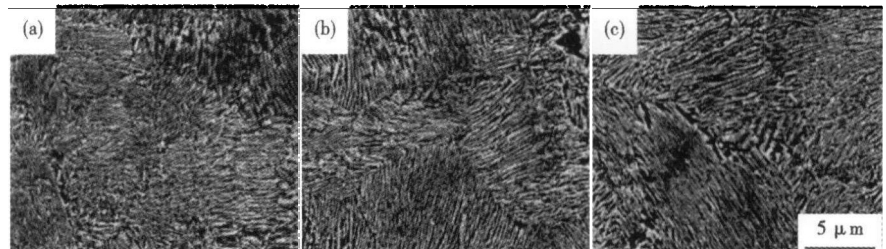


图4 600~620 °C等温转变线材的断面组织形貌:(a)边缘;(b)1/2半径;(c)中心

Fig.4 Structure morphology of cross section of wire with isothermal transformation at 600~620 °C: (a) edge; (b) 1/2 radius; (c) center

4 改进措施及应用效果

从线材的组织结构、连铸坯的中心偏析和钢中的夹杂物控制3个方面采取措施:

(1)线材具有尽可能少的先共析组织和细片状的索氏体组织时,拉拔性能最好^[4]。通常要求72A线材的先共析铁素体 $\leq 1\%$,索氏体率 $\geq 85\%$ 。通过测定72A帘线钢的TTT和CCT曲线,制定了相变前 $\geq 15\text{ }^\circ\text{C/s}$ 快速冷却,相变区600~620 °C近似等温转变的控制冷却策略。实际生产中,72A线材获得了较均匀的索氏体组织(图4),索氏体率接近90%,先共析铁素体 $\leq 0.8\%$;抗拉强度1 044 MPa,断面收缩率59.1%。

(2)控制过热度 $\leq 25\text{ }^\circ\text{C}$,小方坯采用二冷区强水冷,合理设定末端电磁搅拌参数;大方坯采用轻压下技术,铸坯中心碳偏析指数 ≤ 1.1 。

(3)帘线钢中杜绝B、C类夹杂存在,通过铁水脱硫预处理等措施将钢中的硫含量控制在0.01%以下,保证A类夹杂 ≤ 1 级;采用无铝脱氧技术,通过低碱度二次精炼实现D类夹杂的塑性化,定量分析级别 ≤ 0.5 级,尺度 $\leq 5\text{ }\mu\text{m}$ 的达到95%以上。

采用上述措施后,几千吨72A线材的实际应用表明: $\Phi 5.50\text{ mm}$ 直拉到 $\Phi 1.50\text{ mm}$ 左右的单丝,基本杜绝了笔尖状断裂现象的发生。

5 结论

粗大先共析铁素体和粗片状渗碳体容易导致粗拉的笔尖状断裂;中心碳偏析易造成中拉笔尖状断裂。采用相变前 $\geq 15\text{ }^\circ\text{C/s}$ 快冷,相变区600~620 °C近似等温转变的控冷策略,获得了先共析铁素体含量 $\leq 0.8\%$ 、索氏体率接近90%的均匀索氏体组织;控制连铸过热度 $\leq 25\text{ }^\circ\text{C}$,小方坯采用二冷区强冷和末端电磁搅拌装置,大方坯采用轻压下技术,连铸坯中心碳偏析指数实际控制在1.1以内,基本杜绝了72A线材直拉时笔尖状断裂现象发生。

参考文献

- 1 南田高明,平贺范明,柴田隆雄.スーチルコード用线材の歩み. R. D 神户制钢技报,2000,53(3):31
- 2 齐保定,韩观昌.钢帘线双捻断丝时杯锥状断口的形成机理.金属制品,1991,17(6):11
- 3 龚桂仙,韩荣东,许竹桃.硬线盘条笔尖状断口断裂分析.武钢技术,2005,43(3):1
- 4 徐效谦,阴绍芬.特殊钢丝生产.北京:冶金工业出版社,2001
- 5 束德林.金属力学性能.北京:机械工业出版社,1987

孟宪成(1966-),男,博士研究生,高级工程师,1988年北京科技大学毕业,钢铁材料组织性能控制研究。

收稿日期:2009-04-20