

72A 硬线钢丝拉拔裂纹的形成与扩展机制

牛亚然¹, 陈光¹, 赵金伟¹, 贾宁辰², 刘世仁², 黄一新²

(1. 南京理工大学材料科学与工程系, 江苏南京 210094; 2. 南京钢铁有限集团公司, 江苏南京 210035)

摘要: 通过光学显微镜、扫描电镜和透射电镜观察, 分析了 72A 硬线钢丝拉拔裂纹形成与扩展机制。结果表明: 钢丝在拉拔过程中于表面层状非索氏体和大尺寸非金属夹杂物处形成横向裂纹源, 钢丝内部游离态铁素体和夹杂物的交互作用形成裂纹扩展通道。净化钢液, 消除大尺寸非金属夹杂物; 优化热轧工艺, 消除游离态铁素体可避免拉拔断裂。

关键词: 硬线钢丝; 横向裂纹; 拉拔

中图分类号: TG142.45

文献标识码: A

文章编号: 1000-3738(2004)03-0049-03

Crack Nucleation and Propagation Mechanisms in Cold-drawing of 72A Hard Wire

NIU Ya-ran¹, CHEN Guang¹, ZHAO Jin-wei¹, JIA Ning-chen², LIU Shi-ren², HUANG Yi-xin²

(1. Nanjing University of Science and Technology, Nanjing 210094, China;

2. Nanjing Iron and Steel Group Co. Ltd, Nanjing 210035, China)

Abstract: Through metallography SEM and TEM observation the initiation and propagation mechanism of cracks in cold-drawing of 72A hard wire was analyzed. The results showed that non-sorbite layer of surface and large dimension inclusions were the sources of transversal cracks; the compound function of free ferrite and inclusions in the wires resulted in formation of the passage through which cracks propagated. Purifying the liquid steel, optimizing the hot-rolling technology to ensure the uniformity of structure, and eliminating large dimension inclusions and free ferrite are essential methods to prevent fracture in cold drawing.

Key words: hard wire; transversal crack; cold-drawing

1 引言

近年来,随着电力、机械等行业的发展,对线材,尤其是硬线的数量和质量需求不断增长。我国目前生产的各种规格硬线钢丝普遍存在着力学性能不稳定,拉拔断裂严重的问题,给拉拔加工带来了很大困难^[1,2]。造成硬线钢丝断裂的原因有很多,其中横向裂纹的发生是主要原因之一。作者针对拉丝生产过程中的拉拔断裂试样,研究了硬线钢丝拉拔过程中产生横向断裂的主要原因,以期对拉拔断裂原因的准确判断提供依据,为实际生产提供指导。

2 试样制备及试验方法

2.1 试样制备

收稿日期:2003-08-11;修订日期:2003-10-27

作者简介:牛亚然(1978-),女,河北安国人,硕士研究生。

导师:陈光教授

拉拔硬线钢丝牌号为 72A,化学成分(质量分数,%)为 0.69~0.76C, 0.30~0.60Mn, 0.17~0.35Si, $\leq 0.025P$, $\leq 0.025S$, $\leq 0.10Cr$, $\leq 0.15Ni$, $\leq 0.20Cu$ 。拉拔断裂发生在拉拔至直径为 3.70mm 和 3.30mm 的硬线钢丝上。沿钢丝纵、横截面切取金相试样和薄膜试样。

2.2 试验方法

在 Olympus-II 型光学显微镜上进行组织观察;用 JSM-6300 扫描电镜(SEM)观察断裂试样的断口形貌;用 JX-200 透射电镜(TEM)观察断裂钢丝变形后的显微组织。

3 试验结果与分析

3.1 金相观察与分析

在断裂钢丝表面发现横向裂纹(图 1),图中试样的一端为 $\phi 3.70mm$,另一端为 $\phi 3.30mm$ 。断口纵剖面抛光后形貌见图 2。可见在断口附近存在超过 0.01mm 的大块状非金属夹杂物,为卷渣缺陷。这种

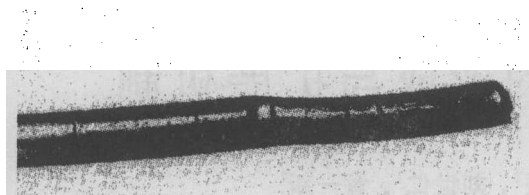


图1 横向裂纹

Fig. 1 Transversal cracks on surface

图2 $\Phi 3.70\text{mm}$ 钢丝断口处的大块状夹杂物

Fig. 2 Large dimension inclusions

非金属夹杂物很脆,在拉拔的过程中将会破裂,在其边界产生应力集中,进而产生裂纹,使钢丝断裂。此外,还观察到块状、颗粒状、细长条状的非金属夹杂物;夹杂物类型以脆性氧化物为主,另有少量的塑性硫化物,其最大尺寸超过 $50\mu\text{m}$ 。根据 GB10561—1989 判别,非金属夹杂物级别在 3 级以上。

图 3 中层状非索氏体组织的显微硬度为 $356\text{Hm}_{0.2}$,心部及内表层索氏体硬度为 $302\text{Hm}_{0.2}$,有较大差异。表层非索氏体组织硬度高,塑性差,而心部正常索氏体组织的塑性好,即钢丝心部的变形能力比表层大。当钢丝在拉拔过程中的变形量超过表层最大允许变形量时,钢丝表层就出现了与变形方向相垂直的横向裂纹。

图3 $\Phi 3.30\text{mm}$ 钢丝表层非索氏体组织

Fig. 3 Non-sorbite at the surface layer

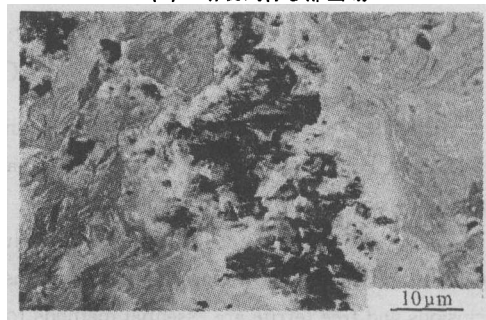
上述观察与分析表明,拉拔钢丝发生断裂的原因主要是硬线钢丝中存在大尺寸非金属夹杂物和钢丝表层有非索氏体组织。

3.2 扫描电镜观察与分析

从图 4 可见,在靠近钢丝表层边缘区域的形貌特征以小台阶面、二次裂纹和河流花样为主,为典型的脆性断裂特征。在钢丝断口的中心区域,可观察到较多撕裂棱和韧窝,以韧性断裂特征为主。这和前面的分析相一致,说明钢丝表层组织与心部组织存在差异,这将导致钢丝先从表面形成裂纹后再扩展而断裂。



(a) 断裂试样心部区域



(b) 断裂试样边缘区域

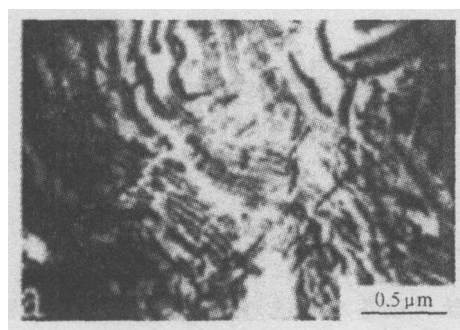
图4 $\Phi 3.70\text{mm}$ 钢丝断口的 SEM 形貌

Fig. 4 SEM micrographs of 72A wires

3.3 透射电镜观察与分析

由图 5 可见,拉拔钢丝中的组织除索氏体外,还存在粗片状珠光体、块状铁素体和索氏体晶粒之间的铁素体及颗粒状夹杂物;块状铁素体周围的索氏体都发生了严重的扭曲变形,索氏体中的渗碳体片有的已发生断裂;随拉拔变形量的增大,位于索氏体晶粒之间的层片状铁素体中位错增加,有的形成了胞状结构^[4],甚至形成了裂纹,这些裂纹将沿着铁素体扩展。因此,钢丝中的游离态铁素体是导致钢丝中索氏体变形断裂形成裂纹的直接原因。

另外,还观察到钢丝中存在非金属夹杂物(图 6),大多呈颗粒状,基本没发生变形。夹杂物周围的铁素体中观察到大量位错,有的还形成了位错胞;夹杂物边界则因大量位错塞积而出现了裂纹。在钢丝进行较大的拉拔变形时,这些裂纹将扩展而导致钢丝发生断裂。



(a) Φ3.70mm



(b) Φ3.30mm

图5 钢丝的TEM形貌

Fig. 5 Micrographs of hard wires

4 拉拔裂纹形成与扩展机制

试验结果及分析表明,72A 硬线钢丝在拉拔过程中裂纹主要形成于钢丝表层的大尺寸非金属夹杂物和高硬度的层状非索氏体组织。当钢丝表层形成裂纹以后,随着拉拔(即塑性变形)的继续,裂纹沿着钢丝内部非金属夹杂物界面和游离态铁素体扩展,直至断裂。

因此,预防 72A 硬线钢丝拉拔断裂的具体措施应当是:净化钢液,消除大尺寸非金属夹杂物;优化热轧工艺,确保表层与内部组织的均匀性,消除游离态铁素体。

5 结论

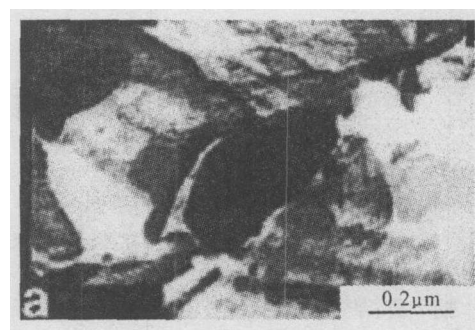
(1) 72A 硬线钢丝在拉拔过程中于表面层状非

(上接第 37 页)

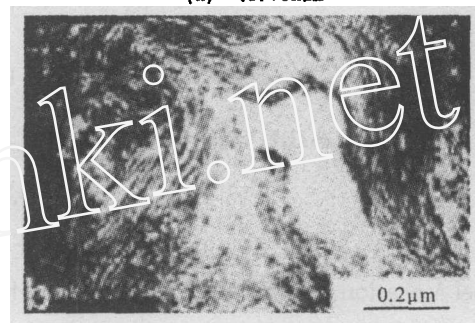
6 结论

(1) 15MnNbR 钢板作为我国近年来研制开发的压力容器用钢,其力学性能、抗硫化氢应力腐蚀性能和焊接性能优良。

(2) 15MnNbR 钢的实际应用表明,该钢使用性能可靠,作为液化石油气球罐用钢是完全可行的,在大型球罐及大厚度压力容器方面是传统 16MnR 钢



(a) Φ3.70mm



(b) Φ3.30mm

图6 钢丝中夹杂物的TEM形貌

Fig. 6 Morphology of inclusions

索氏体和大尺寸非金属夹杂物形成横向裂纹源,钢丝内部游离态铁素体和夹杂物的交互作用形成裂纹扩展通道。

(2) 净化钢液,消除非金属夹杂物;优化热轧工艺,确保表层与内部组织的均匀性,消除游离态铁素体可避免拉拔断裂。

参考文献:

- [1] 林秀山,蒋永康. 加速预应力钢丝钢绞线用盘条的国产化进程[J]. 上海金属,2000,22(1):53-58.
- [2] 魏军,刘会圈. 炼钢-精炼-连铸工艺生产高碳钢的质量控制[J]. 炼钢,2000,16(3):46-51.
- [3] 上海交通大学. 金属断口分析[M]. 北京:国防工业出版社,1979.
- [4] 陈世朴,王永瑞. 金属电子显微分析[M]. 北京:机械工业出版社,1982.

理想的替代钢种。

参考文献:

- [1] GB 6654-1996. 压力容器用钢板[S].
- [2] JIS G 3115-1990. Steel Plates for Pressure Vessels for Intermediate Temperature Service[S].
- [3] EN 10028-3(1992). Flat Products Made of Steels for Pressure Purposes; Part 3: Weldable Fine Grain Steels, Normalized[S].