

## 72A 钢钢丝断裂研究

王海涛, 郝宁, 靳庆峰, 许中波

(北京科技大学冶金与生态工程学院, 北京 100083)

**摘要:** 通过对首钢 72A 钢钢丝在拉拔过程中出现的断口进行分析, 得出了其断裂主要由夹杂物、偏析及钢丝表面质量引起, 并针对不同情况提出了断丝的解决方案。

**关键词:** 断丝; 72A; 断口; 夹杂物; 偏析

**中图分类号:** TG142.13 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-1043(2005)06-0018-05

### Study on Breaking of Steel Wire 72A

WANG Hai-tao, HAO Ning, JIN Qing-feng, XU Zhong-bo

(School of Metallurgy and Ecological Engineering, University of Science & Technology Beijing, Beijing 100083, China)

**Abstract:** By way of analysis on the fracture of steel wire 72A during drawing the wire in the Capital Steel it's concluded that the primary causes to the fracture of the steel are inclusions, segregations and surface quality of the steel. In light of different conditions solutions to the wire breaking are put forward.

**Key words:** wire breaking; 72A; fracture; inclusion; segregation

钢帘线是与汽车工业相配套的子午胎用必不可少的金属骨架材料。它能够强化轮胎使其耐磨。但不利因素是增加了轮胎的重量, 为了降低轮胎重量, 必须用高强度的细丝来满足这个要求。然而钢丝在拉拔过程中经常出现断裂, 严重影响了生产效率和产品质量, 因此必须找出其断裂原因以便采取相应的措施加以防止和根除<sup>[1]</sup>。首钢生产 72A 钢的工艺过程如图 1:



图1 首钢 72A 生产工艺

通过如图 2 的过程使盘条拉拔为钢丝。在拉拔及捻股过程中, 拉拔 100 km 钢丝, 要求断丝不能超过 1 次, 因此对拉丝用盘条提出了很高的质量要求<sup>[2]</sup>。首钢盘条在钢帘线厂拉拔成  $\phi 0.35$  mm 和  $\phi 0.22$  mm 的单丝, 拉拔过程无断丝和其他异常现象, 在捻股过程中,  $\phi 0.35$  mm 断丝率为 88 km/次,  $\phi 0.22$  mm 断丝率更高。因此取断丝

样进行了分析研究。

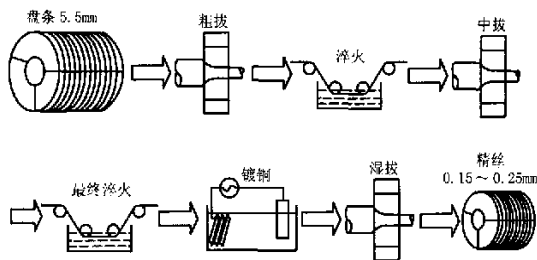


图2 钢丝拉拔过程示意图

### 1 研究方法

本试验就 72A 钢在从 5.5 mm 的盘条拉拔至 0.2~0.25 mm 的细丝出现的断裂情况作了研究。通过对断口断面进行电子探针点扫描和面扫描, 并对照其形貌找出了断裂的形式和原因。由于扫描电镜只能对 Na 原子以后的元素进行扫描, 因此不能对 C、O 元素进行扫描。

在取样过程中断口由于表面受到污染, 因此先对断面进行超声波振荡清洗。但这样容易使断

面上夹杂物脱落形成夹杂物脱落后凹槽。

2 试验结果分析

2.1 由断面形状可以把断面分为 3 类

第 1 种断面形状是杯锥状如图 3。锥状断口的锥顶常是钢丝断裂的开始部分,而且在该处经常能发现夹杂物的存在。其中 a 和 e 为断口的杯状部分;b 和 d 为锥状部分;c 为 b 中锥顶点的光谱图,f 为 e 中夹杂物的光谱图。该类断口的主要特点为:

(1) 断口外貌呈杯锥形,杯锥底垂直于主应

力,锥形面平行于最大切应力,与主应力成 45°角;

(2) 断口分为两部分,杯状和锥状部分和平台部分;

(3) 在断口上能发现夹杂物;

(4) 断口的凹陷处(杯状部分)颜色较浅;

(5) 偶尔在断口(圆锥与锥基平台之间)上能发现裂纹。

第 2 种断面断口为平面状如图 4。在这种断口上一般存在很明显的缺陷。图中 a、b、d 为断口形貌,c 为 d 中夹杂物能谱图,e、f 为 d 图中局部放大。该类断口的主要特点为:

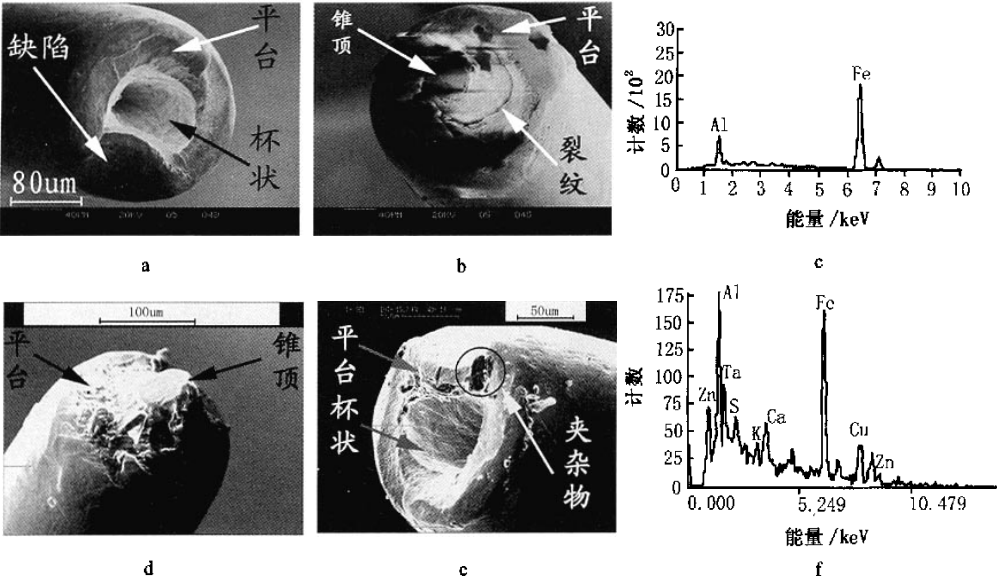


图 3 杯锥状断口

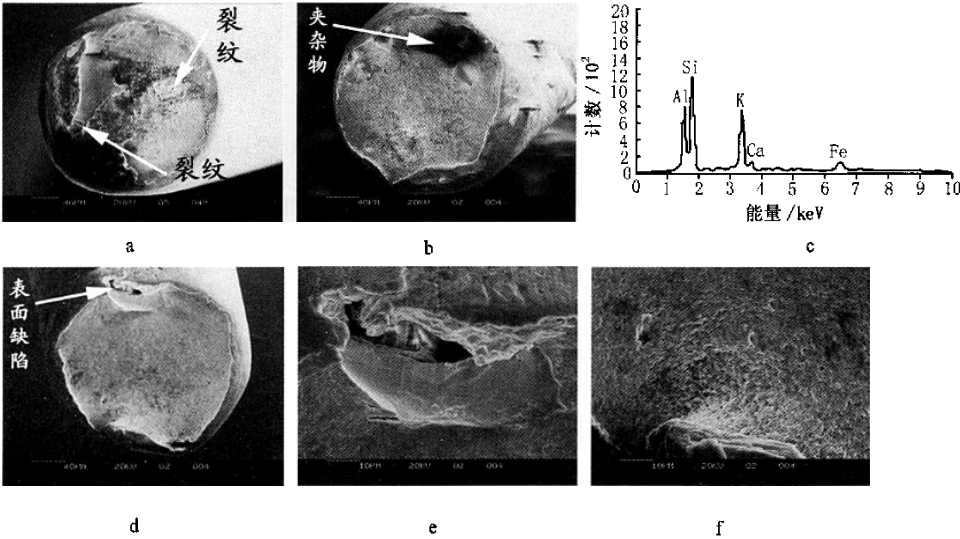


图 4 平面状断口

- (1)断口总体较平,没有大的突起;
- (2)断口没有变形;
- (3)断口上有明显缺陷(裂纹、夹杂、表面缺陷)。

第 3 种是由于扭断而造成的不规则形状如图 5。这种类型的断口表面一般都有裂纹的存在。图中 a 为断口表面, b、c 分别为 a 的放大照片。该类断口的主要特点为:

- (1)断口上有明显的大裂纹;
- (2)裂纹在钢丝扭转过程中得到延伸;
- (3)裂纹引起分层。

第 4 种韧窝状断口如图 6。a 为断口形貌, b 为局部放大的照片。该类断口的主要特点为:

- (1)断面平整;
- (2)断面上没有明显缺陷;
- (3)断面放大后出现韧窝状。

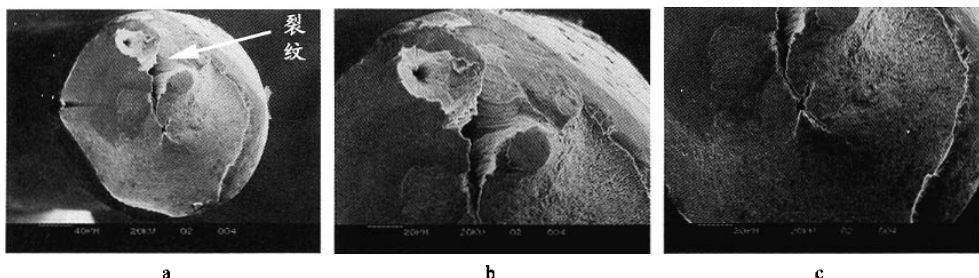


图 5 钢丝扭断的断口

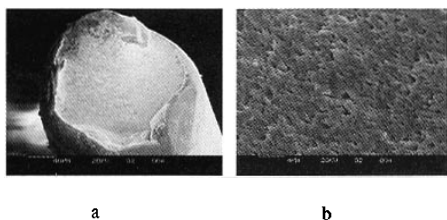


图 6 韧窝状断口

## 2.2 钢丝断裂原因的分析

钢丝拉断主要是由于以下几个原因。

### 2.2.1 钢丝中夹杂物引起断裂

钢丝中非金属夹杂物的存在,破坏了组织的连续性,起到了显微裂纹的作用。当受到外力作用时,在夹杂物的顶端首先产生附加的应力集中,从而引起断裂。在所有夹杂物中不变形夹杂物如三氧化二铝危害最大。同时引起钢丝断裂的夹杂物的临界直径随着距离钢丝中心越远变的越小。有时候夹杂物虽然很小,但距离钢丝表面很近也能够导致钢丝的断裂,如图 3e。从断丝断面的 SEM/EDS 分析发现,50 %左右的断面上都有异物。

在图 4 中平面断口上发现了大约  $40\mu\text{m}$  左右夹杂物脱落后的凹槽,其放大后照片如图 7,其成分(见表 1)及光谱图如图 7。

从放大后照片中韧窝的形状可以看出其断裂方向是从夹杂物处开始的。

万方数据

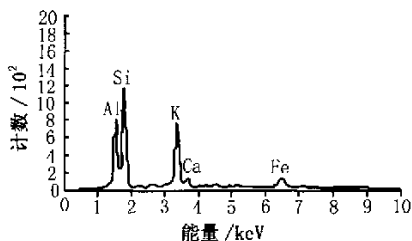


图 7 夹杂物脱落后的凹槽以及此处的成分

表 1 夹杂物脱落后凹槽处成分(质量分数) %

Al	Si	K	Ca	Fe
23.19	39.55	26.93	1.26	9.07

在对另一个断口表面进行电子探针面扫描的时候发现了 Al 的存在,如图 8 可以说明该丝的断裂是由于存在  $\text{Al}_2\text{O}_3$  夹杂物,可以看出该夹杂物在锥状断口的锥顶上。

首钢 72A 钢盘条中的夹杂物主要有  $\text{CaO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$  和  $\text{MnO-SiO}_2\text{-Al}_2\text{O}_3$  2 种,前者来自于渣中,占大多数;后者为脱氧产物<sup>[3]</sup>。而减小这 2

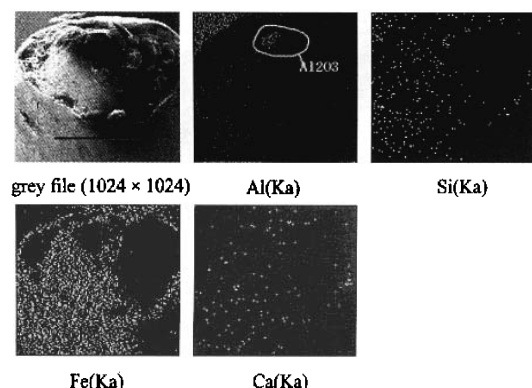


图8 断丝表面面扫描结果

类夹杂物危害通常用的办法是使其变为变形能力好的塑性夹杂物。主要是通过精炼渣实现的。在文献4中K. Iemvra通过试验对比了4种精炼渣的精炼效果(以下成分均为质量分数)。

A: 48 % CaO-32 %  $Al_2O_3$ -20 %  $CaF_2$ ;

B: 65 % CaO-18 %  $Al_2O_3$ -15 %  $CaF_2$ ;

C: 85 % CaO-15 %  $CaF_2$ ;

D: 46 % CaO-2 %  $Al_2O_3$ -47 %  $SiO_2$ -5 %  $CaF_2$

通过对比发现精炼渣D效果最好,使用这种精炼渣得到的钢水脆性夹杂物数量少,而且夹杂物熔点低。在CaO- $Al_2O_3$ - $SiO_2$ 相图中位置的下部,化学成分 $w(SiO_2)$ 在5 %~10 %、 $w(Al_2O_3)$ 在43 %~47 %、 $w(CaO)$ 在46 %~54 %的共晶区,熔点低于1 400 °C。

另外,尽量避免使用 $Al_2O_3$ 的耐材,降低铁合金中Al的含量从而减少钢液中铝的来源,进而减少夹杂物中 $Al_2O_3$ 的含量。

### 2.2.2 钢丝偏析引起断裂

偏析使盘条的碳、硫、磷等元素分布不均匀,降低钢的拉伸性能。合金元素的偏析,在快速冷却的条件下提高了马氏体形成的敏感度,马氏体会使盘条局部失去韧性,碳偏析使局部碳含量超过或远远超过共析点成分,连续冷却时会产生厚的网状渗碳体。由于72A属于高碳钢,因此碳偏析是主要问题。当碳偏析严重时,出现的大块状、条状、片状碳化物或硬而且脆的马氏体这些异常碳化物在材料冷变形时,严重地阻塞了位错的移动,致使该处产生应力集中,当应力集中达到一定大小时便会使碳化物开裂,或在碳化物与基体交界处产生裂纹,当裂纹达到失稳定状态尺寸,瞬时产生断裂。硫对钢的热裂纹敏感性有突出的影响,当 $w(S)$ 大于万方数据

0.025 %时,钢的延性有明显下降。磷会使钢的晶界脆性增加,裂纹敏感性增强。这样,中心偏析明显的线材在进行拉拔时,整体受外力不均匀,首先在心部形成多条裂纹,作为缺口很快导致V形断裂,使拉拔断线,严重时发生脆断。

偏析引起的断裂可能是在开始粗拉的时候产生裂纹在随后的精拉过程中断裂的。钢丝最理想的拉拔组织是均匀的片状索氏体组织。其工艺过程是将钢丝加热至完全均匀稳定的奥氏体,随后在熔融的铅或者其它介质中连续等温冷却而获得。

图9是对断口局部进行的面扫描结果,从中可以看出S、P等元素的偏析情况。

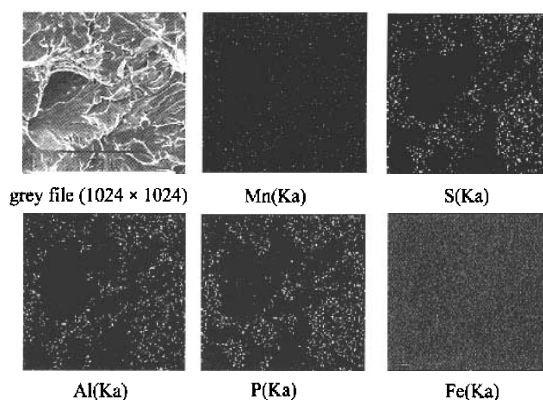


图9 断口局部的面扫描

降低中心偏析的方法主要是调整工艺参数:降低过热度,降低拉速。同时采用电磁搅拌、轻压下也可以改善中心偏析。

### 2.2.3 由于钢丝表面质量引起的断裂

当钢丝表面存在裂痕、斑点、点、坑时容易在此处引起应力集中从而导致断裂。在铸坯轧制成盘条后,盘条的运输、放置不当,引起表面微小凹坑等缺陷,在盘条的拉拔过程中容易引起断裂。如图10。

其他原因:非炼钢因素使钢丝的抗拉强度降低。

## 3 结论与建议

通过试验表明钢丝断裂主要是由于以下几个原因造成:

(1)夹杂物引起应力集中,从而使钢丝拉断。在所有原因中该原因占50 %左右;

(2)C、S、P等元素的偏析,使钢丝质量不均匀,在应力的作用下形成裂纹,最终引起断裂;

(3)钢丝表面质量不好,由缺陷处开始产生裂

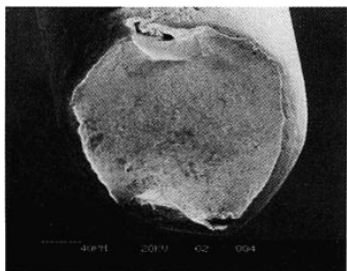


图 10 钢丝表面质量引起的断口

纹,引起断裂。

建议通过以下途径来减少钢丝断裂:

- (1) 调节精炼渣成分,控制渣钢反应使生成的夹杂物大多为可变形夹杂,在轧制的过程中能够变形;
- (2) 控制拉速为 2.20 m/min,降低过热度以降低钢坯的偏析,使碳偏析小于 1.1;
- (3) 规范操作制度,对盘条的运输、放置提出

高要求,以保证盘条的表面质量。

钢丝断裂在很多情况下并不是由于 1 种原因造成的,而是由于几个方面的原因联合造成的,因此应该通过全面的改进,才能最终减少拉拔及捻股过程中的钢丝断裂。

#### [参考文献]

- [1] 殷 森,张雅菊. 钢丝拉拔自断原因分析[J]. 金属制品, 1999, 25.
- [2] Y. Yamada, S. Shimazu. Wire Rod for Higher Breaking Strength Steel Cord[J]. Wire Journal International, 1986, (4): 53-65.
- [3] 王海涛,靳庆峰,许中波,等. 帘线钢中夹杂物的对比[A]. 冶金研究[C]. 北京:冶金工业出版社,2003.
- [4] K. Iemvra, H. Ichihashi. Steelmaking Process for High-Carbon Type Cord Steel[J]. Clean Steel, 1986, (3): 160-165.

(收稿日期: 2004-11-04)

(上接第 17 页)

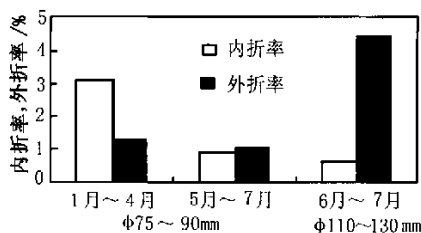


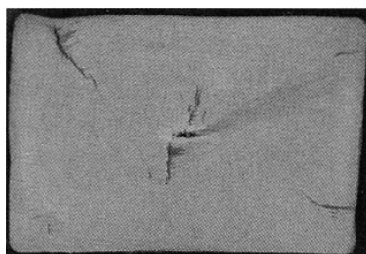
图 4 不同规格、不同时间生产的无缝管指标

管坯穿轧的无缝管内、外折率均明显低于 2003 年 1~4 月的相应指标。图中所示  $\phi 110 \sim 130$  mm 大规格无缝管属于试生产开发阶段,其外折率过高的原因有待于进一步研究。

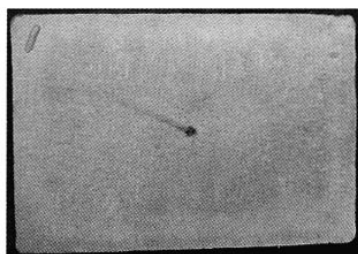
#### 2.3 工艺优化前、后的铸坯低倍

优化前、后的铸坯低倍如图 5 所示。

由图 5 可知,工艺优化后的铸坯低倍明显好于优化前的铸坯低倍。



a. 优化前



b. 优化后

图 5 铸坯低倍照片

### 3 结 论

在安钢矩形坯连铸目前生产工艺条件下:

- (1) 比水量 0.8 L/kg 的水表在目前工艺条件下可将矩形坯内裂纹控制在较低水平。
- (2) 拉速对铸坯内部裂纹影响很大,随拉速降低矩形坯内部裂纹指数降低,拉速 0.7 ~ 0.8 m/min 是目前工艺条件下的合理拉速。

(3) 20 号钢水成分中的碳、锰含量按中上限控制,硫按下限控制,利于减少铸坯内裂纹。

#### [参考文献]

- [1] 蔡开科,程士富. 连续铸钢原理与工艺[M]. 北京:冶金工业出版社,1999.
- [2] 卢盛意. 连铸坯质量[M]. 北京:冶金工业出版社,2000.
- [3] 陈 雷. 连续铸钢[M]. 北京:冶金工业出版社,1993.

(收稿日期: 2004-10-28)