ER70S－6焊丝钢拉拔脆断原因分析

高 峰，寇沙沙，王亚男，刘 莉

（内蒙古包钢钢联股份有限公司技术中心，内蒙古 包头 014010）

摘 要：ER70S－6焊丝钢自Φ5.5 mm预冷拔至Φ1.2 mm，在拔至Φ1.3 mm时出现脆断现象，其中脆断部分均为笔尖状断口。通过金相、化学成分、力学性能及扫描电镜检测分析，焊丝钢脆断的主要原因是成分偏析及轧制过程中冷速过快造成硬质块状马氏体的产生，硬质块状马氏体组织在拉拔过程中因不随基体变形在其周围产生大量裂纹，变形较大时发生脆断。

关键词：焊丝钢；脆性断裂；硬质马氏体；笔尖状断口

中图分类号：TG422.3 **文献标识码**：B **文章编号**：1009－5438(2018)01－0058－04

DOI:10.13647/j.cnki.btgkj.2018.01.019

Analysis on the Cause of Drawing Brittle Fracture for ER70S－6 Welding Wire Steel

GAO Feng, KOU Sha－sha, WANG Ya－nan, LIU Li

(*Technical Center of Inner Mongolia Steel Union Co. Ltd. of Baotou Steel (Group) Corp., Baotou* 014010, *Nei Monggol, China*)

Abstract: The cold drawing of ER70S－6 welding wire steel is from Φ5.5 mm to Φ1.2 mm, and the brittle fracture occurs when drawing to Φ1.3 mm, and all fractures are pencil－tip shaped. Through the test and analysis of metallographic, chemical composition, mechanical properties and scanning electron microscope, the main cause of brittle fracture is the hard massive martensite produced by the composition segregation and the excessive cooling rate during the rolling process. In the process of drawing, hard massive martensitic structure does not change with the deformation of the matrix and produces a large number of cracks around it, and brittle fracture occurs when the deformation is large.

Key words: welding wire steel; brittle fracture; hard martensite; pencil－tip fracture

ER70S－6是气体保护焊丝主要牌号之一，该牌号焊丝在焊接时具有较好的电弧稳定性和较高的焊接性能在国内外得到普遍使用[1]，某钢厂生产的ER70S－6焊丝钢自Φ5.5 mm预冷拔至Φ1.2 mm，在拔至Φ1.3 mm时出现脆断现象，其中脆断的断口均为笔尖状断口。客户要求对笔尖状断口的产生原因进行分析。

1 检验方法及结果

分别取拉拔断裂严重试样母材Φ5.5 mm(编号1#)、拉拔性能优良母材(编号2#)、拉拔后断裂试样Φ1.3 mm(编号1－1#)，拉拔无断裂现象试样Φ1.2 mm(编号2－1#)。对上述试样进行横向和纵向的扫描电镜检测、金相分析、力学性能检测及化学成分分析。

* **收稿日期**：2018－01－25

作者简介：高 峰(1984－)，男，内蒙古包头市人，硕士，工程师，现从事金属材料检测工作。

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

1.1　宏观断口检验

通过扫描电镜对拉拔断裂 Φ1.3 mm(1－1#) 试样断口进行宏观形貌观察(见图 1),其断口形貌为典型的笔尖状断口,且断口周围存在明显的裂纹。

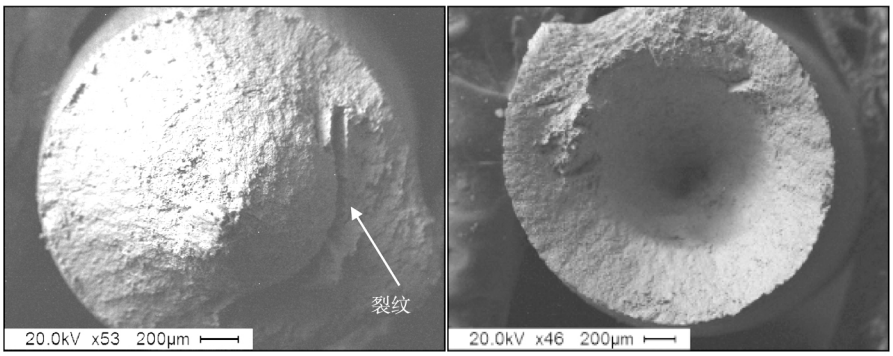


图 1　Φ1.3 mm 拉拔试样断口宏观形貌图

1.2　化学成分检验

对比母材 Φ5.5 mm 的化学成分检测结果见表 1。两组试样的化学成分均符合要求,其中 1#试样的碳含量高于 2#试样,而铬含量低于 2#试样,其它化学成分均接近。

表 1　ER70S－6 焊丝用钢化学成分(质量分数)　%

数值	C	Si	Mn	P	S	Cr
标准值	0.060～0.150	0.800～1.150	1.40～1.85	≤0.025 0	≤0.035	≤0.200
1#实测值	0.081	0.865	1.43	0.017 0	0.003	0.015
2#实测值	0.070	0.886	1.46	0.015 6	0.010	0.035

1.3　力学性能检测

对 1#、2#母材试样做力学性能比对分析可以看出 1#试样强度高于 2#试样,而韧性较 2#试样稍低(见表 2),这与 1#试样碳含量较高有关,随着碳含量的增加,材料的强度增大,塑性韧性降低。

表 2　ER70S－6 焊丝用钢力学性能

试样编号	抗拉强度 R_m /MPa	断后伸长率 A /%	断面收缩率 /%
1#	568.5	40.0	84.5
2#	528	42.5	83.5

1.4　金相组织检验

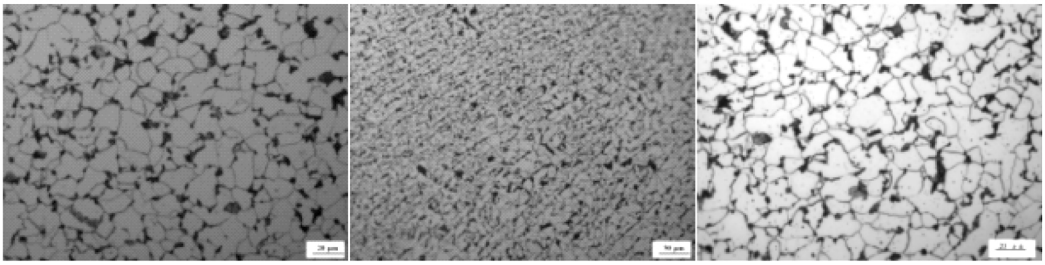
对焊丝钢 ER70S－6 母材及拉拔断裂试样分别进行横向和纵向的相关金相检验结果见表 3。母材试样的组织均为铁素体＋细珠光体＋块状马氏体(见图 2),晶粒度级分别为 10 级、9.5 级,拉拔断裂严重的母材试样有明显的混晶现象(见图 2(b))。对母材试样纵向中心线截面进行金相检验,其金相组织相同、夹杂物级别均在内控范围之内、带状级别均为 4 级。

表 3　ER70S－6 焊丝用钢横向及纵向金相检验数据

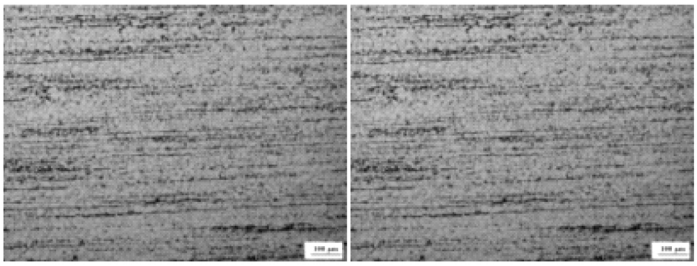
试样编号	试样横向		试样纵向						
	组织	晶粒度	夹杂物级别					纵向组织	带状级别
			A	B	C	D	D_s		
1#	F＋P(细)＋M(块)	10.0	0	0.5	0	0.5	0.5	F＋P＋M(块)	4 级
2#	F＋P(细)＋M(块)	9.5	0.5	2.0	0	1.0	0.5	F＋P＋M(块)	4 级
1－1#	F＋P(细)＋M(块)							F＋P(带状)＋M(块)	
2－1#	F＋P(细)＋M(块)							F＋P(带状)＋M(条)	

(注: 企业内控标准规定夹杂物级别为 A≤1.5; B≤1.5; C≤1.5; D≤1.5; D_s≤1)

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

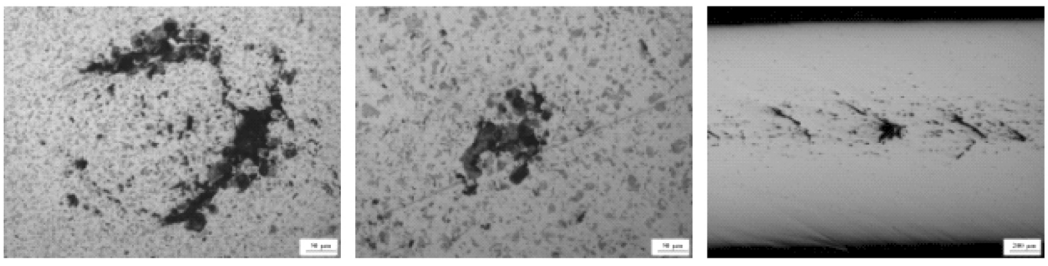


（a）1#横向500倍 （b）1#横向200倍 （c）2#横向500倍

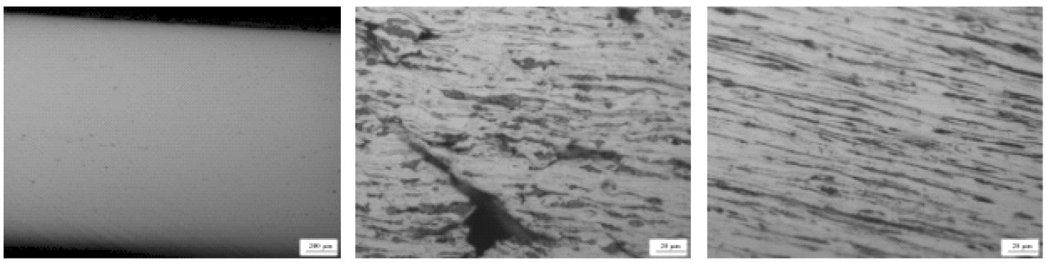


（d）1#纵向100倍 （e）2#纵向100倍

图2 焊丝用钢ER70S－6母材试样横向及纵向组织



（a）1–1#横向组织 （b）2–1#横向组织 （c）1–1#纵向抛光截面形貌



（d）2–1#纵向抛光截面形貌 （e）1–1#纵向组织 （f）2–1#纵向组织

图3 焊丝用钢ER70S－6拉拔试样横向及纵向金相检验

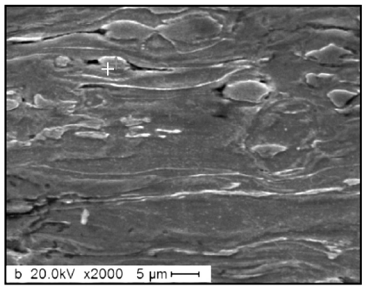
对拉拔后试样(1－1#;2－1#)分别进行横向及纵向的宏观形貌及金相组织检验。其横向组织均为铁素体＋细珠光体＋马氏体(见图3(a)、图3(b))。1－1#试样中心裂纹数量较多且试样中块状马氏体更多。从其纵向中心线抛光截面宏观照片对比可以看出,经拉拔断裂后的1－1#试样中心有大量明显的裂纹及孔洞,而2－1#试样截面光滑(见图3(c)、图3(d))。将两组试样用4%硝酸酒精腐蚀后,镜下对比观察,拉拔断裂的1－1#试样金相组织为铁素体＋珠光体＋块状马氏体。其中块状马氏体相未随着拉拔基体变形,因而在块状马氏体相附近产生大量的裂纹(见图3(e))。对此硬质马氏体相进行

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved. http://www.cnki.net

显微硬度测试，其 HV 硬度值为 413～491，而基体铁素体相的 HV 硬度为 286～291，细珠光体相的 HV 硬度为352～372。2－1#试样组织为铁素体＋珠光体＋条状马氏体，与 1－1#试样不同的是组织中有很少的硬质块状相，大部分的马氏体相随拉拔基体变形为条状，该部分马氏体的显微硬度 HV 值为 304～336，且马氏体条状相周围并未出现裂纹（见图 3(f)）。

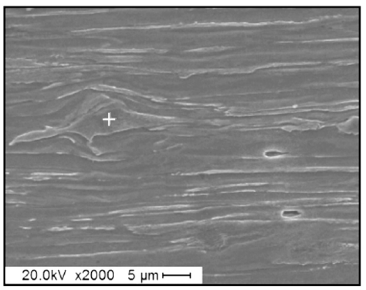
1.5　扫描电镜检验

对拉拔试样的中心线纵向截面经抛光、4%硝酸酒精腐蚀后在扫描电镜下观察，可见 1－1#试样中有大量未随基体变形的突起块状硬质马氏体且伴有大量的裂纹存在（见图 4(a)），2－1#试样中的马氏体相随基体变形而发生了变形（见图 4(b)）。对两组试样的马氏体相做 EDX 能谱成分检测。1－1#试样中的 Si、Mn 含量明显高于 2－1#试样。



元素	质量分数/%	原子数分数/%
CK	06.34	23.66
SiK	01.49	02.38
MnK	02.14	01.74
FeK	90.03	72.22
Matrix	Correction	ZAF

（a）1-1#纵向



元素	质量分数/%	原子数分数/%
CK	07.52	27.15
SiK	01.37	02.11
MnK	02.07	01.63
FeK	89.04	69.10
Matrix	Correction	ZAF

（b）2-1#纵向

图 4　焊丝用钢 ER70S－6 拉拔试样纵向 SEM 形貌及 EDX 成分数据

2　结果讨论

通过以上试验结果得出该批次 ER70S－6 焊丝钢出现拉拔断裂主要原因为：

（1）异常硬质马氏体组织是拉拔脆断的主要原因。母材中心处的化学成分存在偏析情况，偏析区域 C、Si、Mn 元素含量较高。Si、Mn 元素含量较高使焊丝钢的“CCT”转变曲线向右下方移动，推迟并延长转变时间[2]，在后续轧制工艺中冷速偏大，未来得及向铁素体转变的奥氏体转变成了硬质块状马氏体。在后续的冷拔过程中硬而脆马氏体相不随拉拔基体变形而变形，因而在其与基体接触面上产生大量的裂纹，裂纹在后续拉拔作用下不断的扩展形成孔洞，最终导致脆断。

（2）混晶及带状组织的存在增加了变形的不均匀性，对拉拔断裂有一定的影响；

这与焊丝钢的加热或冷却工艺有关。可能原因为：①圆坯加热温度过高使部分奥氏体晶粒粗化，在后续轧制过程中产生混晶。②在奥氏体部分再结晶区轧制，冷速不均产生混晶。混晶组织的存在使得母材在冷拔过程中内部组织变形不一致，造成局部应力集中，导致拉拔开裂。

3　改进措施

（1）优化炼钢工艺，在冶炼、连铸过程中减少成分偏析。

（2）降低吐丝温度，延长在保温罩停留时间，使奥氏体有充足的转化时间。

（3）优化生产中的加热及冷却工艺，消除混晶现象。

（下转第 95 页）

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net

3.1.4　数据安全

数据安全的重要性不言而喻，数据库如果被入侵，隐私数据就被人窃取，对于我们企业号来说无疑是灾难。虽然数据库都是在内网环境，但也无法保证不会被病毒入侵，无法保证不会被内部人员误操作，针对这样的情况，我们通过端口阻断了数据库与外界的联系。我们的数据库服务器只与应用服务器和 ETL 服务器交互。这样数据库的安全性问题也得以解决[3]。

3.2　企业号程序开发

系统选用的开发语言是 JAVA，选用的框架是主流的 SSH(Spring mvc，Spring，Hibernate) ，数据库采用 mysql 和 MongoDB 的组合。项目开发过程中引入了版本控制机制，采用 SVN，会保留一部分历史版本，当发现灾难的时候可以把某程序替换成历史好用的版本。

4　结束语

包钢之家企业号实施以来，关注度、活跃度很高，关注职工已经达到 3 万多人，每日在线活跃度已经达到 3 000 余人。职工能够方便的查询自己的公积金、出勤情况；企业号每日为公司与厂矿主要领导推送生产信息、钢材市场信息；公司新闻栏目图文并茂的向职工传达公司重大新闻资讯。已经初步形成了企业移动信息化生态环境。

参　考　文　献

[1]　涂子沛. 大数据[M]. 桂林：广西师范大学出版社，2012

[2]　何全庆. 钢铁企业 ERP 系统的研究与开发[D]. 成都：电子科技大学，2007.

[3]　陈工孟. 须成忠. 大数据分析：R 基础及应用[M]. 北京：清华大学出版社，2016.

(上接第 61 页)

4　结束语

焊丝钢脆断的主要原因是母材中心 Si、Mn 元素成分偏析加上后续轧制过程中冷速过快使焊丝钢基体中产生硬质块状马氏体相，在拉拔中变形能力差的马氏体周围产生大量裂纹空洞，变形较大时发生脆断。另外基体晶粒的不均匀性增加了断裂的可能性。

参　考　文　献

[1]　张磊，孙建林，任文智，等. ER70S－6 盘条拉拔断裂的原因分析及控制[J]. 河北冶金，2009，(6) :41－43.

[2]　崔忠析. 金属学与热处理[M]. 北京：机械工业出版，1993.

(C)1994-2023 China Academic Journal Electronic Publishing House. All rights reserved.　http://www.cnki.net