

钢管压扁试验开裂原因分析

王宏霞

(山东泰山钢铁集团有限公司研究所, 山东 莱芜 271100)

摘要: 针对带钢制成的钢管在压扁试验中出现断裂的现象, 采用 XL30 扫描电镜、金相显微镜等, 对断裂试样进行夹杂物、晶粒度、组织、断口等检验和氧含量分析。结果表明, 钢中夹杂物多、氧含量高是导致压扁断裂的主要原因。

关键词: 钢带 ; 氧含量; 夹杂物 ; 压扁断裂

Analysis for Causes for Bending-rupture Failure of Welded Tube

Wang Hongxia

(Research institute of ShanDong TaiShan Iron and Steel Group Co., Ltd., Laiwu 271100, China)

Abstract : The examination and analysis included microstructure , inclusions, graininess, fracture, oxygen content of unqualified cold bending strip were done by means of xl30 scanner, metallographic microscope and so on. The result shows that the unqualified cause of cold bending strip steel main is high oxygen content, high inclusion content, etc.

Key words: Strip steel ; oxygen content; inclusion; bending-rupture

1 概述

材质为 Q235B 的钢管在压扁试验中出现非焊接区域断裂。针对此现象采用多种方法进行分析和研究, 找出导致钢管断裂的主要原因。

2 试验方法与结果

2.1 试验方法

借助金相显微镜、扫描电镜、光谱等方法, 对制成钢管进行非金属夹杂物、晶粒度、显微组织、断口、化学成分及气体含量分析。

2.2 夹杂物、晶粒度和组织检验

通过对钢管的夹杂物、晶粒度和显微组织检验发现夹杂物主要分为三类: 线状复合硅酸盐、串链状的氧化铝及硫化物, 其具体结果见表 1。其中硅酸盐夹杂物级别较高在 4.5e-5e 之间, 晶粒度以 9.0-9.5 为主、基体组织是铁素体和珠光体, 没有发现魏氏组织, 带状组织多在 2.5-3.0 级之间。

表 1 金相检验结果

夹杂物 (级)			带状组织 (级)	晶粒度 (级)	显微组织
硫化物	氧化铝	硅酸盐			
1.5	1.0	5e	3	9.0	F+P
1.5	1.5	4.5e	3.5	9.0	F+P
1.5	2.0	4.5e	3.5	9.5	F+P
1.5	1.5	5e	2.5	9.0	F+P
2.0	1.5	4.5e	2.5	9.0	F+P

带状组织进一步放大后发现有许多细小弥散地分布在铁素体基体上的点状夹杂物 (见图 1), 对其进行能谱微区成分分析为硫化物。对试样中含量较多的脆性夹杂 (见图 2) 进行能谱分析, 其成分质量分数见表 2。

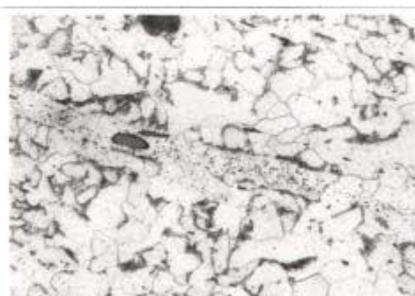


图 1 带状组织内夹杂物

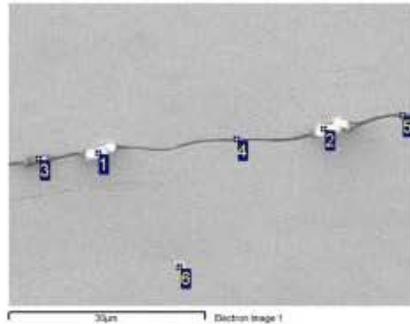


图2 脆性夹杂物

表2 脆性夹杂物能谱分析结果%

图谱	C	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Ti	Mn	Fe
1		48.59		44.99				0.39		6.02
2		49.20		44.60				0.25		5.95
3		42.75		21.58	12.03	0.25	2.26	1.47	9.04	10.63
4	6.02	17.09		2.67	4.53		1.27	0.69	5.54	62.19
5		27.83	0.19	6.25	9.94		2.58	1.40	10.17	41.63
6	0.70				0.21	3.51			6.75	88.83

2.3 断口分析

借助扫描电镜进行断口分析。断口形态见图5，整个试面的断裂形态呈木纹状。通过进一步观察，把断面大致分为A、B、C三个区，其中A区为压裂的断裂源，B区为压裂延伸区，C区为最后断裂的剪切唇。

A、B、C三个区分别进一步放大可观察到：A区，可看到由大量密集夹杂物引起的轧制裂纹，裂纹变形呈波纹状，看不出断裂形态，这些夹杂物棱角分明，主要来自包衬等耐火材料见图4a，可见A区堆积的大量夹杂物是引起轧制裂纹并成为焊管压裂的断裂源；B区是密集夹杂物引起的光滑断面和细小的剪切切窝见图4b；C区是最后断裂部位见图4c。

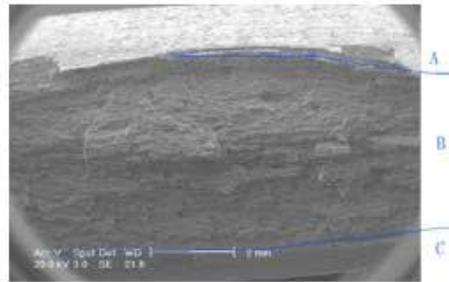
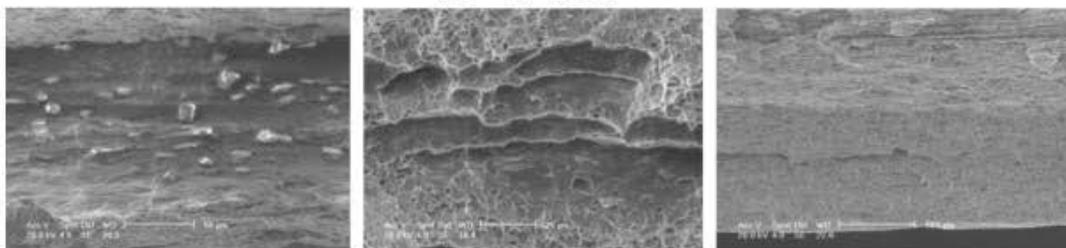


图3 断口形貌



(a) 裂纹源 A 放大

(b) 裂纹扩展区 B 放大

(c) 最后断裂区 C 放大

图4 断口进一步放大的形貌

2.4 化学成分和气体含量

对试样进行化学成分和气体含量分析。通过化学成分分析可知，钢管的化学成分在标准规定的范围内，成分合格。气体含量分析表明，钢管的平均氧含量为 141.26×10^{-6} ，氧含量

较高。

2.5 力学性能

在钢管上截取试样做拉伸试验，试验数据如下：屈服强度 365MPa，抗拉强度 455MPa，伸长率 30%，在国标要求范围内。由于试样有限没有做冷弯试验。

3 结果分析

钢管压扁断裂试样的晶粒度、组织正常，说明带钢轧制工艺正常。由表 1 可知带钢中夹杂物级别较高主要是复合硅酸盐夹杂。

从断口分析可知，位于钢材皮下堆积的大量夹杂，在轧制过程中形成的轧制裂纹是引起压扁开裂的主要因素。通过分析，这些皮下夹杂主要是炼钢浇注系统的耐火材料受钢水冲刷、浸蚀等进入钢液形成的大颗粒夹杂。

4 工艺改进措施

(1) 改进脱氧方式由 Si Ca Ba 脱氧改为钢芯铝加 Si Ca Ba 的脱氧脱氧方式，加大脱氧力度减少夹杂物含量。提高一次拉碳命中率，减少后吹，避免钢水二次氧化。

(2) 提高吹氩时间，保证每炉吹氩不小于 8min，以促进夹杂物上浮。

(3) 采用高质量的耐火材料，避免因钢水冲刷、侵蚀使夹杂物数量增加。

5 结论

导致钢管压扁试验中断裂的主要原因是：

(1) 炼钢包衬等耐火材料进入钢液形成的夹杂物在钢材皮下大量堆积，在轧制过程中产生的轧制裂纹成为裂纹源，在外力作用下首先开裂。

(2) 气体分析可知氧含量比较高，进一步说明引起断裂的带钢中夹杂物含量较多。

采取深脱氧技术，优化连铸工艺，从而控制钢中氧含量，降低钢中夹杂物含量，避免皮下夹杂的出现，使带钢的塑韧性有很大改善。

参考文献

- [1] 吴连生. 失效分析技术及应用 第六讲 韧性断裂与脆性断裂的显微形貌特征[J]. 理化检验—物理分册, 1995, 31(6): 57—61
- [2] 宋维锡. 金属学. 第 2 版[M]. 北京: 冶金工业出版社, 1989
- [3] 王勇. 电机法兰盘螺钉断裂分析[J]. 理化检验—物理分册, 2004, 40(7): 356-359

高精度冷拔钢管开裂原因分析

柳永胜

(安徽省矿业机电装备有限公司综采设备安装公司, 安徽 淮北 235000)

【摘要】高精度冷拔钢管是以热轧无缝管或直缝焊管为坯料,经预处理后在冷拔机上通过模具挤压使之塑性变形的精密管材。这种管材不但尺寸精度高(达到 H8-H11),表面粗糙度好(0.2-3.2mm),而且机械强度高(较原材质热轧管提高 20-35%)可直接、经磨削或刮削工艺制成油缸或气缸缸体。同时还解决了用传统方法无法加工细长薄壁缸体的难题。这种工艺早在 70 年代就在工业发达国家推广,德国的洪培公司在 70 年代已研制了冷拔机组,可拔制内径达到 500mm 的精密缸体,并批量生产推向市场。

我国生产精密冷拔管起步较晚,虽在 70 年代就已生产内径但缸径太小,应用面较窄,难以推广。直到 80 年代,但因拔制力太小,可拔制的长度太短,远不能适应市场的需求。自 90 年代起,高精度冷拔钢管,已被煤矿井下支护、采油、冶金、工程机械、汽车等行业普遍采用,并在不断扩展,需求量越来越大。但高精度冷拔管在生产过程中,工艺处理不当,会造成冷拔管开裂报废,给生产造成较大的经济损失。本公司在吸收国内外冷拔技术的基础上,结合实际操作中遇到的问题,对冷拔管开裂的原因,提出生产制造过程中产生开裂原因的几点看法并探讨。

1 原材料因素

由于钢管化学成份的波动,热轧管料尺寸的偏差,使得用相同退火、酸洗、润滑工艺参数,相同的拔制方法,相同模具形式,拔制同规格的、同钢种的钢管,拔制力相差很大,即使拔制同一只钢管,瞬时拔制力也是波动的,其波动值有时大的惊人,即使拔制半成品或成品管,拔制力也是波动的,波动幅度也较大。因此拔制应采用优质的原材料,尽可能采用表面质量较好,尺寸偏差较小的管坯拔制,同时对管坯的机械性能有所掌握。在如钢管本身塑性差,组织粗大,纵裂出现的机率就会增加。

2 变形的不均匀性

钢管在拔制中金属的变形是不均匀的,由于变形不均匀,在拔制时会产生较大的附加应力,拔制后钢管内部则存在较大的残余应力,因此,容易产生表面裂纹等缺陷,所以对冷拔变形是不利的。

2.1 的不均匀性

外摩擦和工具形状是导致空拔时金属流动和不均匀的重要因素,这可用坐标网格法研究圆棒拉伸时金属流动来说明。

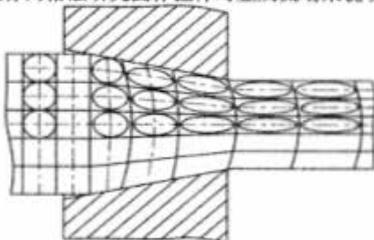


图1 拔制时坐标网的变化

把金属圆棒试样沿轴线纵向剖开,在剖面上刻上直角坐标网,再把试样合在一起进行拉拔。拉拔时,沿变形区剖面上原来的坐标网格的形状和尺寸发生了如图 1 所示的变化,即:

2.1.1 坐标网的各纵坐标线在拉伸前是直线,在拉伸过程中变成曲线,并且弯向拉伸方向,这线的曲率是在通过变形区时逐渐增大的;

2.1.2 坐标网的横坐标线拉伸后仍然是直线,但在变形过程中产生两次弯折,第一次弯折发生在变形区的入口,第二次弯折发生在变形区的出口,弯折程度愈靠外层愈大

2.1.3 靠近中心各层正方形的坐标网格变成了矩形,其内切圆变成正椭圆,在轴向被拉伸,在径向被压缩。而在靠近模子的外层,正方形的坐标网格变成了平行四边形,其内切圆变成了斜椭圆。

由于外摩擦的存在和外模形状的影响,圆棒有拉伸过程中金属

的流动和变形是不均匀的,其特点是:

纵坐标在通过变形区时弯曲的曲率逐渐增加。因为,变形内外层金属流动度的不一致,外层金属的流动受外摩擦的阻力较大,因此内层金属的流动速度比外层地大。外摩擦系数愈大内外层金属流动速度的差别愈大。

2.1.4 靠近模壁的外层金属,存在着附加切变形,摩擦系数和模壁锥度愈大,附加切变形越大。

2.1.5 靠近模壁的外层金属,拔制时还存在附加的弯曲变形,如外模入口部分是锥形的话,则外层金属的弯折角将与模子的锥角相同。锥角越大,则弯曲的程度越大。使用弧形模时,外层金属的弯折角相当于接触面的最大切线角。

在钢管空拔过程中,由于外摩擦和工具形状而引起的沿径向金属流动速度和变形的不均匀分布是同样存在的,又因钢管是中空的,因而与拔制棒相比,沿径向金属流动速度和变形的不均匀分布程度减小,其大小决定于 S/D 值。S/D 值大,从钢管的外表面到内表面金属的流动速度和变形的差别,即不均匀的程度大,反之则小。

2.2 不均匀变形的后果

金属流动和变形不均匀性,对加工过程和产品质量,都有不利的影响,严重时会造成不良的后果,主要是:产生附加应力。由于几何因素的影响,钢管在空拔过程中,外层自然延伸比内层小,由于外摩擦的作用,内层金属的流速速度比外层的大,这两个因素都使内层在轴向有更大的尺寸变化,但各层的尺寸变化不能破坏钢管的整体性,各层之间必然互相制约。因此在上述情况下变形趋势大的内层会传递给变形趋势小的外层一种力,其作用是增加后者变形,即外层将受到附加拉应力。反之,变形趋势小的外层传递给变形趋势大的内层一种力量,其作用是减小后者变形的,即内层将受到附加压应力。这些附加拉应力和压应力在钢管内部是互相平衡的,外表面有最大的附加拉应力,内表面有最大的附加压应力。

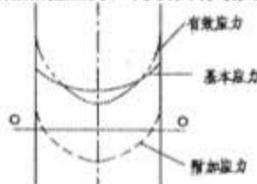


图2 拉拔时轴向的基本应力、附加应力和有效应力

拔制时轴向的基本应力是拉应力,若外表面层存在附加拉应力,则和拔丝时的应力分布类似,如图 2 所示。外表面层的有效力是两个拉应力之和。而内表面层则相反,由于其附加应力是压应力,有效应力小于基本应力。在这种情况下钢管外表面容易发生破裂,这就是生产中出现横裂的力学条件。当钢管的壁厚较厚、减径量较大时,外表面层的附加拉应力增大,根据经验, S/D>7~10%时,外表面容易出现横裂。如果钢管本身塑性较差或酸洗后的氢脆、退火没有完全消除加工硬化,以及外表面已有裂纹存在等原因而降低了钢管加工时的塑性是,外表面出现横裂的机会就增加。在外环产生切向附加拉应力,外表面层产生较大的附加切向拉应力是纵裂的力学因素。

3 残余应力

因空拔而产生的纵裂,常在拔制后经一段时间才出现,这就是切向残余应力的结果。拔制后钢管内部存在着外拉内压的切向残余应力。存在于外表面的切向残余应力过大,将导致钢管的破裂而且出现纵裂。在有残余应力出现的情况下,时间久了,会因受侵蚀物质的侵蚀而更易引起物体的破坏。为了消除空拔过程中产生的残余应力,要进行热处理,必须及时送去退火。含碳 0.14%、锰 0.5%的钢管由 $\phi 43 \times 4.2$ mm 空拔到 $\phi 40$ mm 时,存在于钢管内部的切向残余应力。

4 空拔后组织性能不均匀

(下转第 348 页)

Fenton工艺在废水处理中的应用

王 宇

(大连世达特环保科技有限公司, 辽宁 大连 116000)

【摘要】近年来,作为一种高级氧化技术,Fenton工艺被用在不同场合的工业废水处理上。大量的应用证明,该技术具有处理效率高、设施建造方便、适应性强等诸多优点,在制药废水,造纸废水,纺织品工业废水,垃圾填埋液废水等的处理上都取得了良好的效果,是一种比较有前途的高级氧化技术。

【关键词】Fenton工艺; 废水处理

1 Fenton工艺原理

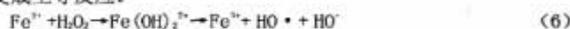
水的高级氧化技术是基于产生具有强氧化能力的羟基自由基,进而氧化水中的各种污染物质的一类技术。随着工业领域中越来越复杂的问题的出现,该技术以氧化能力强、反应速率快等优点,逐渐成为研究的热点。在众多的高级氧化技术中,Fenton工艺是研究广泛的一种。

Fenton工艺的强氧化原理有两种解释,其一为其基于在酸性条件下,过氧化氢在亚铁离子的催化作用下,生成羟基自由基的原理。羟基自由基具有较高的氧化还原电位(2.80V),可以无选择性地同绝大多数有机物和多数无机物发生反应,氧化速率比较快,氧化产物彻底。

Fenton工艺中,羟基自由基的产生如式(1),催化剂 Fe^{2+} 的再生如式(2),有机物的氧化过程如式(3)-(5)。



Fenton工艺的强氧化原理的另一种解释认为存在非自由基的氧化物质,有人提出是高价铁。在控制反应条件的情况下,式(6)会变成主导反应。



2 Fenton工艺的应用

Fenton工艺已经被成功的应用在含有不同污染物质的废水的处理中。在化学品工业废水,制药工业废水,造纸业废水,纺织业废水,垃圾处理渗滤液等的处理中都取得了良好的效果。

2.1 化学品工业废水处理

化学品工业废水对环境的污染方面所占的比重较大,其排放的污染物质在数量和毒性上都对当今环境的污染负有责任。随着越来越严格的污水排放标准的实施,包括Fenton工艺在内的先进技术被越来越多的应用到此类废水的处理上。

在以杀虫剂厂废水为原水^[1],以Fenton工艺为净水技术的研究中发现,绝大多数的杀虫剂在过氧化氢投量2.5g/L的条件下被去除;在处理有机磷光体杀虫剂时,去除率在97-100%之间。

另外,Fenton工艺与其它工艺的联用处理化学品工业废水方面也获得了较好的效果。有研究采用Fenton+活性污泥法处理鞣皮废水^[2],其中 $H_2O_2/Fe^{2+}=9.0$ (摩尔比), $H_2O_2/COD=4.0$ (摩尔比),结果表明,Fenton预处理阶段可以去除接近90%的COD,Fenton氧化后的出水进入活性污泥单元,可以进一步去除35-60%的COD。工艺

的整体COD去除率达到了95%,较单独采用活性污泥法时(COD去除率为60%)的去除率有了明显的提高。

大量的试验证明,对于难处理的化学品工业废水,Fenton工艺是备选的比较好的工艺,其强氧化能力可以处理难降解的有机物、有毒物质,提高废水的可生化性,与后续工艺联用效果好。

2.2 制药业废水处理

此类废水具有成分多样,浓度变化大,难生物降解类污染物含量大,不适于采用常规工艺处理等特点。

Fenton工艺已被成功地应用于处理污染严重的制药废水的处理过程中。试验发现,按照COD去除速度可以把反应分成两个阶段^[3],第一个阶段发生在反应开始相当小的时间内,此时COD得到快速的降低,一次报道中显示,COD去除负荷的90%在最初的10分钟内完成;第二个阶段为COD去除的缓慢阶段,此阶段需要的时间较长。

3 影响Fenton反应速度的因素

Fenton反应的速度取决于很多因素,诸如温度,pH,过氧化氢和催化剂的初始摩尔浓度比, Fe^{2+}/Fe^{3+} 转化速率等。

3.1 高 Fe^{2+}/H_2O_2 摩尔比(≥ 2)

在没有有机物存在的情况下,自由基反应会马上终止;二价铁离子与过氧化氢的摩尔消耗率为2,这是因为产生的羟基自由基会同二价铁离子而不是过氧化氢继续反应。在有有机物存在的情况下,由于有机物同二价铁离子竞争羟基自由基,所以二价铁离子与过氧化氢的摩尔消耗率小于2(大约在1.3左右)。

3.2 中 Fe^{2+}/H_2O_2 摩尔比($=1$)

不论有机物存在与否,过氧化氢均会快速将二价铁离子转化成三价铁离子,生成羟基自由基。在没有有机物存在的情况下,剩余的过氧化氢会同三价铁离子构成类Fenton体系,继续消耗过氧化氢。在有有机物存在的情况下,类Fenton体系消耗过氧化氢的现象不明显。

4 总结

Fenton氧化技术已被证明是一种可行的工业废水处理工艺。作为常规处理工艺的强化技术,被广泛的应用于难降解和有毒污染物质的处理中。它的应用具有以下几个特点。

4.1 应用场合广,对于难处理的废水处理效果尤佳。

4.2 工艺设计和建造简单,运行过程中管理技术要求不高,唯一的重点是过氧化氢的操作管理,工作条件为常温、常压。

4.3 适合于同生物处理等工艺联用,增加污水的可生化特性。

4.4 应用过程中当有机物含量高时,过氧化氢投量过高。

参考文献

- [1] Barbusinski K and Filipek K, Use of Fenton's reagent for removal of pesticides from industrial wastewater. Environ Stud 10:207-212 (2001).
- [2] Vidal G, Nieto J, Mansilla HD and Bornhardt C, Combined oxidative and biological treatment of separated streams of tannery wastewater. Water Sci Technol 49:287-292 (2004).
- [3] San Sebastián N, Figueiras J, Font X and Sánchez A, Preoxidation of an extremely polluted industrial wastewater by the Fenton's reagent. J Hazard Mater B101:315-322 (2003).

(上接第311页)

由于变形的不均性,从外表面层到内表面层,变形成度是不一样的。靠近外表面的附加弯曲变形和附加切变形比较大,所以总变形成度外层比内层大,因而,外层晶粒较细,硬度较高,内层则相反。若管壁越厚,摩擦系数越大,模具的锥角越大,内外层总变形程度的差别也越大,组织和性能的不均匀程度也增大。因为内外层变形程度不一样,变形后内外层的组织性能就不一致。

5 热处理

冷拔管的纵裂是冷拔生产中较为常见的一种缺陷,钢管冷拔后不及时退火的情况下易产生裂纹。在纵裂管中,绝大部分是无内模

拔制即空拔后产生的,为了减小纵裂管的产生,尤其是一些塑性较差的碳素钢管和合金钢管,不得不采取限制拔制道次、变形量,增加中间退火次数等措施。

6 结语

导致钢管纵裂的原因是多方面的有材料的因素,也有工艺的因素,如钢管本身塑性差或退火不良,纵裂出现的机率就会增加,但根本原因在于冷拔后的钢管存在较高的残余应力。

作者简介:

柳永胜(1963-),安徽省矿业机电装备有限公司综采设备安装公司,工程师

钢管压扁试验开裂的原因分析

尤大勇

(攀钢集团攀枝花钢铁研究院有限公司, 四川 攀枝花 617000)

摘要: 经检验, 钢管的力学性能符合标准的规定; 但检验压扁工艺性能时, 试样出现了开裂现象。通过开裂面分析, 开裂是由于钢中存在许多纵向链条状分布的氧化物夹杂引起。这些链条状分布的氧化物夹杂破坏了钢材的基体连续性, 在外力的作用下引起应力集中, 促进裂纹的形成。链条状分布的氧化物夹杂会造成钢材的横向工艺性能差, 使横向冷变形性能变坏, 是引起压扁工艺性能不合格的原因。

关键词: 无缝钢管; 压扁; 夹杂物

中图分类号: TG142.4

文献标识码: A

Crack analysis of steel tube during flattening test

YOU Da-yong

(Pangang Group Research Institute Co Ltd, Sichuan Panzhihua 617000, China)

Abstract: Mechanical tests have shown the mechanical properties of the steel tube meet the standard requirements; however, cracking phenomenon happened while flattening test is carried out. According to the test and analysis, the chain-like oxide inclusions are responsible for the cracking. The chain-like oxide inclusions damaged the continuity of matrix in steel, and resulted in stress concentration under external forces which was contributed to crack formation. Moreover, the chain-like oxide inclusions in steel tube will worsen the transverse processing property and cold-deformation performance and eventually result in disqualification of processing property in flattening test.

Key words: seamless steel tube; flatten; inclusions

碳素钢管因其优良的性能和适宜的价格, 在工业上对压力要求不高的输送流体中得到广泛的应用。某钢管采用 20# 碳素结构钢经热轧制, 规格为外径 20mm, 壁厚 3mm。在对其进行检验时发现, 试样力学性能符合 GB/T 8163-2008 标准, 但在压扁工艺性能检验时, 试样上出现肉眼可见的裂纹。本文通过对碳素钢管压扁试样的断口进行分析, 探讨了其碳素钢管试样压扁工艺性能试验出现裂纹的原因。

1 理化检验

1.1 压扁工艺性能

压扁试验是检验管材在给定条件下压扁变形而不出现裂纹缺陷的极限塑性变形能力^[1]。GB/T8163-2008 对钢管的压扁工艺性能试验要求是, 压扁后, 试样应无裂纹或裂口。压扁试验是按 GB/T246-2007 标准检验, 在检验的钢管试样上出现了肉眼可见的裂纹, 压扁试样的宏观裂纹见图 1、2。在图 1 上还可以看到几条细小的裂纹。



图 1 压扁试验的宏观裂纹
Fig. 1 Macroscopic crack of flattening test

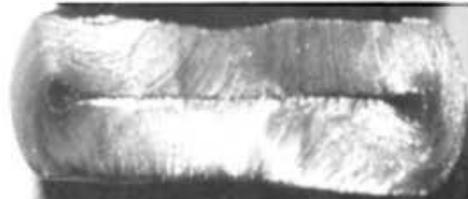


图 2 压扁试验的试样截面
Fig. 2 Section of flattening test sample

1.2 化学成分分析

从钢管压扁的试样上取样品分析化学成分, 结果列于表 1。该钢管的化学成分符合 GB/T699-2008 标准要求。

收稿日期: 2011-07-16

作者简介: 尤大勇, 高工, 研究领域: 新材料开发、热处理、力学检验、失效分析、非标准检验方法研究, 电话: 18908142122, E-mail: pan08-26@sohu.com。

表1 化学成分 (wt%)
Table 1 Chemical composition (wt%)

	C	Si	Mn	P	S
GB/T699-2008	0.17~0.24	0.17~0.37	0.35~0.65	≤0.040	≤0.040
钢管试样	0.20	0.21	0.50	0.013	0.011

1.3 力学性能测试

按 GB/T228-2002 的方法进行力学性能检验, 其钢管试样力学性能符合 GB/T8163-2008 的要求, 检验结果见表 2。

表2 力学性能
Table 2 Mechanical properties

	R_{eL}	R_m/MPa	$A(\%)$
GB/T8163-2008	≥245	410~550	≥20
钢管试样	315	475	36

1.4 金相检验

在钢管压扁的上取样并制备金相试样, 进行金相组织和夹杂物分析。非金属夹杂物按 GB/T10561-2005 标准评级, 晶粒度按 GB/T6394-2002 标准评级, 结果见表 3。其中夹杂物中的 B 类为 2.5e 粗系, 夹杂物的厚度在 12 μm 以上, 成链条状分布, 而且有多条, 在同一试样的横向上观察到的夹杂物为点状分布。B 类夹杂物的纵向、横向形貌见图 3、4。

表3 非金属夹杂物 (级)
Table 3 Non-metallic inclusions (level)

A	B	C	D	晶粒度
0.5	2.5e	1.5	1.0	10.5

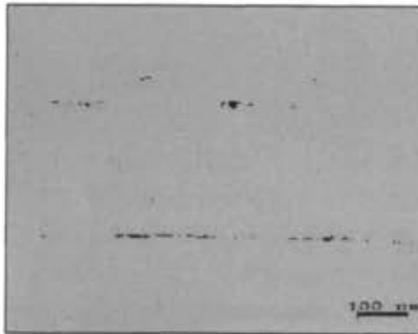


图3 B类夹杂物(纵向)形貌
Fig. 3 Morphology of type B inclusion (vertical)

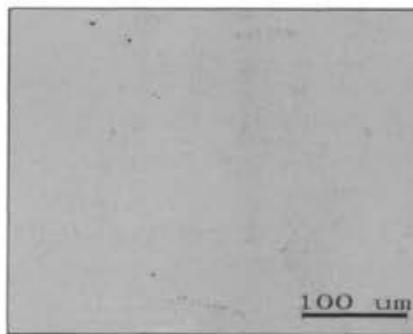


图4 B类夹杂物(横向)形貌
Fig. 4 Morphology of type B inclusion (transverse)

用扫描观察裂纹见图 5。对图 5 上的箭头部位呈现断续分布的白色条纹进行能谱分析, 结果见表 4。

表4 能谱成分 (wt%)
Table 4 Chemical composition by EDS (wt%)

能谱	O	Mg	Al	Si	S	Ca	Fe	总计
1	42.28	4.72	10.11	8.01	0.88	28.01	5.99	100.00
2	38.86	4.80	9.63	6.71	0.57	28.91	10.53	100.00

图 6 是图 5 中箭头位置的断续分布白色条纹氧化物夹杂堆集形貌, 其成分主要含氧、铝、硅、钙元素。

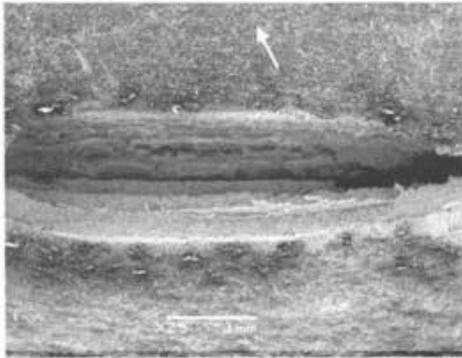


图5 裂纹形貌
Fig. 5 Morphology of crack

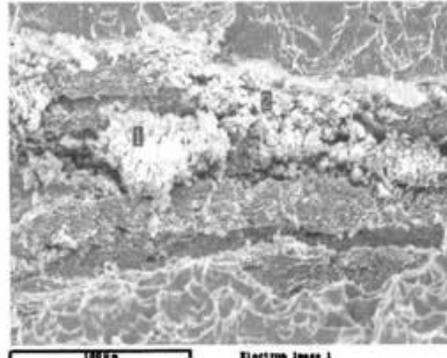


图6 白色条纹氧化物夹杂堆集分布
Fig. 6 Distribution of white-stripes oxide inclusions

2 分析与讨论

经分析钢管试样中的夹杂物主要是含铝、硅、钙的氧化物夹杂, 夹杂物的厚度在 $12\mu\text{m}$ 以上, 呈链条状分布, 而且条数较多。这种链条状分布的夹杂物的存在, 破坏了金属的连续性、降低钢的工艺性能。由于脆性夹杂物过高, 在冷变形时会产生应力集中而形成裂纹。金属材料受力断裂的过程分3个阶段: 裂纹萌生, 裂纹扩展, 断裂。钢中大量夹杂物的存在, 一方面割裂了金属基体, 减少了钢材受力的有效横截面积, 另一方面又提供了大量的裂纹源, 使钢在较小的载荷作用下, 便以某个夹杂为裂纹源产生应力集中, 当这个应力增大到某一数值时, 随即就在裂纹源处萌生裂纹。萌生的裂纹一旦出现, 应力松动效应便同时产生, 因此在继续增加载荷时, 所产生的应力不再增加, 而被裂纹的扩展所松动。推动裂纹扩展的应力大小由夹杂物的数量多少、尺寸大小、分布状态及其与应力的位相关系等因素决定^[2]。

Si、Al 等虽是金属元素, 但它们与氧结合成 SiO_2 、 Al_2O_3 化合物以后, 形成了氧化物夹杂, 在本质上已失去了金属的性质, 这些化合物是机械地镶嵌在钢中, 与钢材的机体无任何联系^[3]。B类夹杂物(氧化物)是由于脱氧时所产生的细小的、高硬度的脆性夹杂物, 这类夹杂不易变形, 在热加工变形时被破碎和拉长, 沿热加工方向形呈许多链条状延纵向分布的夹杂物。这些纵向分布的氧化物夹杂物破坏了金属基体的连续性, 在外力的作用下引起应力集中, 促进裂纹的形成, 影响钢的工艺性能, 造成横向性能差, 使横向冷变形性能变坏。如此高级别的氧化物夹杂物又是沿纵向成链条状分布, 对钢管横向的机械和工艺性能产生较大的不良影响。钢中纵向分布的氧化物夹杂物降低钢的横行塑性和韧性, 使钢的横向冷变形性能变坏。由于链条状分布的氧化物夹杂物破坏了金属的连续性, 当金属受力时, 在氧化物夹杂物聚集处形成裂纹源并开裂, 造成了钢管压扁工艺性能检验不合格的主要原因。

3 结论

由于钢中存在许多纵向链条状分布的氧化物夹杂物, 破坏了钢管基体的连续性, 在外力的作用下引起应力集中, 促进裂纹的形成, 造成钢管的横向工艺性能差, 使横向冷变形性能变坏。这些沿纵向分布的多条链条状夹杂物, 是造成钢管压扁工艺性能不合格的主要原因。

参考文献:

- [1] 桂立丰, 曹用涛. 机械工程材料测试手册力学卷[M]. 辽宁: 辽宁科学技术出版社, 2001: 635-637.
- [2] 刘新礼. 非金属夹杂物对钢的机械与工艺性能的影响[J]. 甘肃冶金, 2008, 2: 17-22.
- [3] 陈德和. 钢的缺陷[M]. 北京: 机械工业出版社, 1977: 43-77.

45 钢管冷轧开裂原因分析

丁 晔, 孙维连, 张云谦, 孙 铂

(河北农业大学 机电工程学院, 河北 保定 071001)

摘要:45 钢在冷轧过程中出现纵向局部开裂的现象。利用光学显微镜、显微硬度计、SEM 和直读光谱等设备分析 45 钢圆钢和开裂管的化学成分、显微组织、断口形貌和显微硬度。利用冷轧 45 钢加工硬化函数曲线对轧制的钢管变形参数进行计算。结果表明, 45 钢圆钢在穿孔及轧制后发生明显加工硬化降低了韧性及塑性, 冷轧钢管的变形量过大导致产生较大的内应力造成在轧制时开裂。采用再结晶退火可消除钢管加工硬化, 合理设计钢管轧制变形量提高了钢管质量, 避免了管体开裂。

关键词: 钢管; 轧制; 加工硬化; 开裂

中图分类号: TF82 **文献标志码:** A **文章编号:** 0254-6051 (2014) 04-0142-03

Analysis on cold-rolling cracking reason of 45 steel tube

Ding Ye, Sun Weilian, Zhang Yunqian, Sun Bo

(College of Mechanical and Electric Engineering, Agricultural University of Hebei, Baoding Hebei 071001, China)

Abstract: The longitudinal partial cracking of 45 steel was happened during the cold rolling process. By use of optical microscope, micro hardness tester, SEM and direct reading spectrometry equipment, chemical composition, microstructure, fracture morphology and microhardness testing of the 45 steel bar and cracking tube were analyzed. Steel tube rolling parameters were calculated by work hardening function curve. The results show that the work hardening of 45 steel bar after piercing and rolling reduces toughness and plasticity of the steel. The large deformation of the steel tube during the cold rolling process leads to large internal stress and cracking. The recrystallization annealing process is used to eliminate work hardening of the steel tube. The proper designed rolling deformation parameters improve the quality of the steel tube which avoids the cracking of 45 steel tube.

Key words: steel tube; rolling; work hardening; cracking

45 钢为优质碳素结构钢, 硬度不高易切削加工, 且调质处理后有较好的综合力学性能, 广泛用于各类重要的结构零件。45 钢制成的无缝钢管用来制造机械零件, 如汽车、拖拉机的受力零件, 需要承受拉伸、压缩、弯曲和振动冲击多种作用力, 必须保证足够的强度和刚度。某厂生产的 45 号无缝钢管, 规格为 $\phi 24.5 \text{ mm} \times 4.6 \text{ mm}$, 生产工艺为: 圆钢坯料 \rightarrow 加热穿孔 \rightarrow 酸洗 \rightarrow 润滑 \rightarrow 冷轧 \rightarrow 去油 \rightarrow 矫直 \rightarrow 切管 \rightarrow 无损探伤。在冷轧时

出现纵向局部开裂的现象, 废品率达到了 70%, 本文作者为了确定开裂原因在典型的开裂管及管坯上取样, 分析化学成分、显微组织、断口形貌和组织的显微硬度, 并对开裂原因进行了分析研究^[1]。

1 理化检验与分析

1.1 宏观检验与微观形貌观察

选取一段具有典型裂纹的开裂管观察宏观特征如



图 1 45 钢管开裂处宏观 (a, b) 与微观形貌 (c)

Fig. 1 Macro (a, b) and micro (c) morphologies in the crack of 45 steel tube

收稿日期: 2013-09-24

作者简介: 丁 晔 (1986—), 男, 硕士研究生, 主要从事金属材料失效与分析方面研究, 联系电话: 0312-7526465, E-mail: dingye617@163.com, 通讯作者: 孙维连, E-mail: hd999@eyou.com

doi: 10.13251/j.issn.0254-6051.2014.04.037

图 1 所示, 裂纹沿管体纵向局部分布, 长度为 60 ~ 70 mm, 与管件轴线成 15° 左右的夹角, 管体表面没有明显划伤的痕迹。裂纹穿透了管壁, 形成穿透型裂纹, 见图 1 (a)、(b)。在 EVO18 德国 ZEISS 扫描电子显微镜下

观察裂纹处形貌,钢管断裂形貌的多个平齐的断裂面有解理特征,具备明显的脆性断裂特征,见图1(c)。

1.2 材料成分测试

在圆钢坯料及开裂管体上切取试样,采用 BrukerQ4170 型直读光谱仪检测两个试件的化学成分,结果见表1,对比 GB/T 1591—2008《低合金高强度结构钢》可以看出,两个试件的碳含量接近国标碳含量上限,其它合金成分在国家标准要求的范围内。

表1 45 钢试样的化学成分(质量分数,%)

Table 1 Chemical composition of 45 steel samples (wt%)

项目	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Fe
圆钢	0.490	0.217	0.534	0.020	0.010	0.084	0.085	98.422
开裂管	0.485	0.253	0.546	0.026	0.011	0.092	0.063	98.280
GB/T 1591—2008	0.42~0.49	0.17~0.37	0.50~0.80	≤0.040	≤0.045	≤0.25	≤0.25	余量

1.3 显微组织检验

对圆钢及开裂管沿横、纵截面进行取样,经研磨、抛光、腐蚀后,在 Leica DM4000M 型金相显微镜下观察组织。圆钢和开裂管的组织都为铁素体和珠光体,根据圆钢及开裂管中铁素体及珠光体的数量比例可知,其碳含量在普通 45 钢碳含量的上限,这与材料化学成分检验结果一致。圆钢组织为珠光体及呈网状分布和少量针状的铁素体,表层有轻微脱碳层,见

图2(a)、(b)。开裂管组织为片状珠光体及呈白色网状、针状和块状分布的铁素体,表层有轻微脱碳层且在组织内部有裂纹,见图2(c)、(d) [2]。

1.4 硬度检验

为了检测圆钢经过加热穿孔及冷轧后管材中组织的硬度变化,采用 MH-6 型显微硬度计分别检测圆钢和开裂管件中铁素体及珠光体的显微硬度,结果如表2所示。为了比较圆钢与开裂管的整体硬度变化,采用数显布氏硬度计检测其平均硬度,结果见表3。

表2 圆钢及开裂管件的铁素体及珠光体组织的显微硬度(HV0.1)

Table 2 Microhardness of ferrite and pearlite in steel bar and cracking tube (HV0.1)

项目	1	2	3	平均值	
开裂管	珠光体	332.7	320.6	321.9	325.0
	铁素体	193.0	207.4	193.0	197.8
圆钢	珠光体	229.9	241.7	216.7	229.4
	铁素体	200.6	199.7	199.7	200.0

表3 圆钢及开裂管件的平均硬度(HBW 5/750)

Table 3 Average hardness of steel bar and cracking tube (HBW 5/750)

项目	1	2	3	平均值
开裂管	330	327	322	326.3
圆钢	189	197	196	194.0

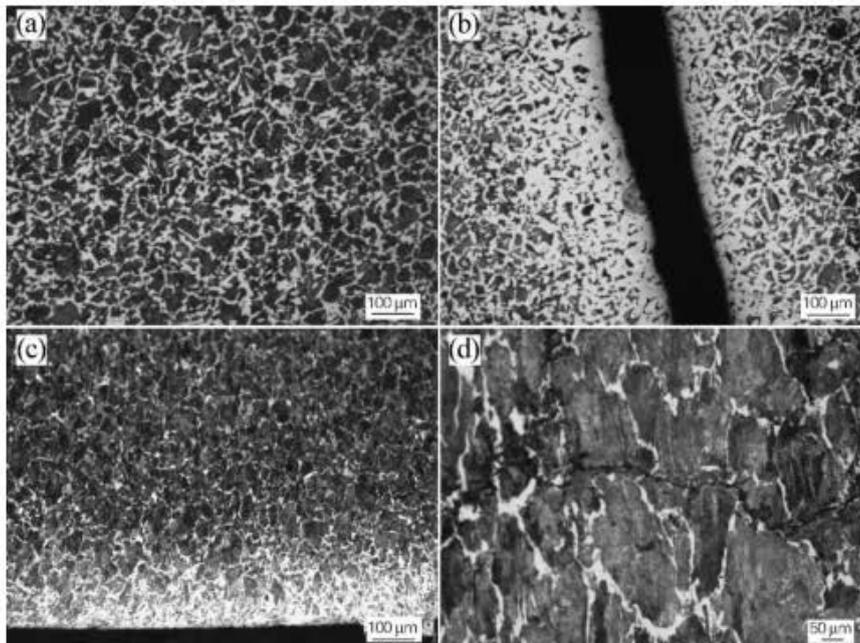


图2 圆钢与开裂管的显微组织

(a) 圆钢心部; (b) 圆钢表层; (c) 开裂管表层; (d) 开裂管裂纹处

Fig. 2 Microstructure of the steel bar and cracking tube

(a) core section of steel bar; (b) steel bar surface; (c) cracking tube surface; (d) tube cracking

2 分析与讨论

2.1 裂纹形态及原因分析

对圆钢及开裂管的化学成分进行检测可知,其碳含量在国标45钢碳含量的上限。碳含量增加组织中珠光体过多,降低了钢的脆断强度,增加了钢开裂的倾向性^[5]。由宏观观察裂纹为穿透型裂纹,是金属单元受到复杂多向应力后塑性变形超出管材强度极限被剪切断裂,在裂纹边缘和端部出现的翘曲变形是残余拉应力导致。由微观形貌观察和显微组织检验发现断口有解理特征且在组织内部有穿过珠光体组织的裂纹,为明显的穿晶断裂。钢管在穿孔后和冷轧时产生了大量的塑性变形,晶格畸变严重,晶粒内部位错急剧增加,粗糙度和驻留滑移带大量形成之后,晶粒本身强度下降,裂纹容易从晶粒内部萌生,进而成为穿晶断裂。由硬度检验可知,由表2、3的数据可知开裂管件硬度比圆钢高132.3 HBW,且开裂管件中的珠光体硬度比圆钢高95.6 HV0.1,铁素体硬度并没有明显变化。塑性变形造成的加工硬化使钢管的硬度提高同时塑性、韧性下降^[6]。

2.2 轧制工艺分析

由金属学知识可知,抗拉强度等于3.5倍的布氏硬度。文献[5]表明,冷轧45钢加工硬化的函数曲线为: $S = 660.39x^{0.7528}$,其中: S —抗拉强度, x —延伸系数, $x = 1/(1-Z)$, Z —冷轧的断面收缩率。根据上述关系,本试验中的穿孔毛管规格为 $\phi 51 \text{ mm} \times 5.5 \text{ mm}$,冷轧管的规格为 $\phi 24.5 \text{ mm} \times 4.6 \text{ mm}$,可知冷轧的断面收缩率 $Z = 63.4\%$,延伸系数为 $x = 2.732$,抗拉强度 $S = 1406.63 \text{ MPa}$,理论上轧制后钢管的硬度为401.7 HBW,而检测的开裂管硬度为326.3 HBW。说明该公司指定的变形量过大,在钢管中产生了较大的内应力,导致轧制时开裂。

3 改进措施及效果

3.1 改进措施

为了消除穿孔后加工硬化的影响采取再结晶退火工艺。由于本批钢材碳含量接近45钢国标的上限,珠光体相对较多钢材的硬度较高,又因为珠光体的硬度与其片层间距有关,其片层间距越大硬度越低,退火时的冷却速度越慢,珠光体的片层间距越大。所以在轧制前采用再结晶退火工艺提高钢材的塑性及韧性,消除加工硬化的影响,再结晶退火温度为 $730 \text{ }^\circ\text{C}$,以 $80 \sim 100 \text{ }^\circ\text{C/h}$ 速度冷却到 $160 \text{ }^\circ\text{C}$ 出炉空冷^[6,9]。

在满足钢管的强度及硬度前提下,利用冷轧45钢加工硬化函数曲线: $S = 660.39x^{0.7528}$ 设计合理的变形

量,较大的变形量会使钢管的强度、硬度过高,钢管中产生较大的内应力在轧制或矫直时开裂,同时也不利于加工与使用。

3.2 实施效果

通过上述45钢无缝钢管轧制开裂原因分析,将 $\phi 40 \text{ mm} \times 5.5 \text{ mm}$ 规格的穿孔毛管轧制成规格为 $\phi 24.5 \text{ mm} \times 4.6 \text{ mm}$ 的成品管,此时钢管的断面收缩率 $Z = 51.7\%$,比采用 $\phi 51 \text{ mm} \times 5.5 \text{ mm}$ 规格的穿孔管轧制的成品管变形量减少了12个百分点,并在冷轧前将毛管进行上述的再结晶退火工艺。经过对后续45钢无缝钢管的生产跟踪,管体材质得到改善,检测成品管的硬度约为256 HB,再未出现管体轧制开裂现象,从而证明改进措施是有效的。

4 结论

1) 钢管碳含量接近国家标准上限且珠光体过多,晶格畸变严重,裂纹从晶粒内部萌生形成穿晶断裂,断口呈脆性。钢管的整体硬度达到了326.3 HBW,组织中珠光体硬度达到325.0 HV0.1。

2) 45钢圆钢在穿孔及轧制后产生的加工硬化现象降低了钢材的韧性及塑性,同时钢管的轧制变形量过大达到了64.3%,使得在钢管内部产生较大的内应力导致在轧制时开裂。

3) 为了消除钢管的加工硬化现象采用再结晶退火工艺:温度为 $730 \text{ }^\circ\text{C}$,以 $80 \sim 100 \text{ }^\circ\text{C/h}$ 速度冷却到 $160 \text{ }^\circ\text{C}$ 出炉空冷,并采用 $\phi 40 \text{ mm} \times 5.5 \text{ mm}$ 规格的穿孔毛管进行轧制,减小了轧制变形量。跟踪生产钢管管体质量得到改善,未出现轧制开裂现象。

参考文献:

- [1] 孙维连,陈再良,王成彪.机械产品失效分析思路及失效案例分析[J].材料热处理学报,2004,25(1):69-73.
- [2] 李炯辉.金属材料金相图谱[M].北京:机械工业出版社,2006:346-347.
- [3] 吕世霞.40Cr无缝钢管裂纹分析与控制[J].天津冶金,2011(6):41-42.
- [4] 孙维连,魏凤兰,李云东,等.工程材料[M].北京:中国农业大学出版社,2006:86-90.
- [5] 姚小娟,岳磊.45钢钢管机械性能与变形量关系研究[J].科技风,2010(12):208-209.
- [6] 何建中,丰小东.液压支架用无缝钢管轧制开裂原因分析[J].北京科技大学学报,2012,34(增刊):90-92.
- [7] 刘春林.冷拔无缝钢管开裂分析[J].宁波工程学院学报,2007,19(2):29-30.
- [8] 范文静,孙维连.Q234B钢管的断裂失效分析[J].金属热处理,2010,35(7):76-77.
- [9] 《热处理手册》编委会.热处理手册[M].北京:机械工业出版社,1978:220-224.

焊接钢管压扁试验开裂原因的分析与对策

郑世伟¹, 朱立光², 曹胜利^{1,3}, 吴晓燕¹, 张庆军^{*1,3}

(1. 华北理工大学冶金与能源学院, 河北省高品质钢连铸工程技术研究中心, 河北唐山 063009; 2. 河北科技大学, 河北石家庄 050018; 3. 华北理工大学分析测试研究中心, 河北唐山 063210)

摘要:压扁试验是检验钢管质量的方法之一,通过分析压扁试验开裂原因来采取相应手段可解决焊接钢管压扁试验开裂问题。实验采用扫描电子显微镜(SEM)、能谱仪(EDS)和金相显微镜(OM)等设备对焊接钢管压扁试验开裂的原因主要进行两方面分析:金相分析和断口分析。金相分析可得出主要结论,断口分析验证金相分析得出最终结论。结果表明:焊接钢管压扁试验开裂的主要原因为焊接钢管内存在大量的硅酸盐类夹杂物,此类夹杂物属于高温塑性夹杂物,容易破坏基体的横向连续性,在压扁试验中可引起应力集中,促使裂纹的形成,导致钢管开裂。焊接钢管开裂的次要原因为试样存在带状组织且铁素体晶界处还分布着网状三次渗碳体,三次渗碳体塑性差,压扁时会进一步加剧裂纹的扩展。通过分析开裂的原因进而对焊接钢管生产工艺进行优化,经过钢包精炼炉(LF)精炼与控轧控冷技术可减少钢中夹杂物,进而改善焊接钢管压扁开裂问题,使钢管失效率下降,提高焊接钢管的质量。

关键词:焊接钢管;压扁试验;开裂;夹杂物;三次渗碳体

中图分类号: TG335.5

文献标志码: A

文章编号: 1000-7571(2020)04-0054-06

随着我国工业的快速发展,对于钢材的质量要求也越来越严格。其中一般结构管,如一般建筑物、土木工程、铁塔等钢管作为建筑行业的基本材料,主要通过压扁试验、力学拉伸试验和高温疲劳试验等测试手段来评定焊接钢管的质量。其中压扁试验是检验管材在给定条件下压扁变形而不出现裂纹缺陷的极限塑性变形能力,其优点在于可以快速得出检验结果^[1]。某钢管厂生产的 $\phi 26.8$ mm 焊接钢管,在压扁试验中开裂,导致钢管销售量急剧下降。本文通过检验压扁后钢管的开裂和形变程度,进行综合分析找出开裂原因,优化相关操作与工艺,从而提高钢管的性能指标^[2]。

1 实验材料与方法

此试验材料为国内某钢管厂产品,所使用的钢材为 Q235B 普通碳素结构钢经热轧制而成,规格为外径 26.8 mm,壁厚 2.75 mm。Q235B 使用 80 t 的氧气顶吹转炉(BOF)进行冶炼,该厂并未使用钢包

精炼炉(LF)精炼手段,连铸坯的断面尺寸为 180 mm \times 1500 mm。其化学成分如表 1 所示,钢板生产工艺及性能参数如表 2 所示。焊接钢管生产流程为炼钢 \rightarrow 连铸 \rightarrow 热轧 \rightarrow 酸洗 \rightarrow 纵剪 \rightarrow 卷曲成型 \rightarrow 测压装置 \rightarrow 焊接 \rightarrow 去内外毛刺 \rightarrow 冷却 \rightarrow 定颈 \rightarrow 切管。该钢管的化学成分符合 GB/T 699—2008《优质碳素钢》标准要求。

表 1 试样化学成分

Table 1 Specimen chemical composition w/%					
项目 Item	C	Si	Mn	P	S
含量	0.21	0.23	0.53	0.013	0.012
GB/T 699—2008	0.17~ 0.24	0.17~ 0.37	0.35~ 0.65	≤ 0.040	≤ 0.040

用该钢管制取拉伸试样,试样类型为管段试样,按 GB/T 228.1—2010《金属材料拉伸试验第 1 部分:室温试验方法》标准进行测试,结果符合标准中的要求,如表 3 所示。

收稿日期: 2019-08-19

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51574106, 51874137); 河北省自然科学基金资助项目(E2017209223, E2020209044)

作者简介: 郑世伟(1992—),男,硕士生,主要从事凝固理论与铸坯质量控制研究; E-mail: z15633905153@163.com

* 通讯联系人: 张庆军(1965—),男,博士,教授,主要从事材料结构与性能研究; E-mail: zhangqingjun@ncst.edu.cn

表 2 热轧板工艺及性能参数

Table 2 Process and performance parameters of hot-rolled sheet

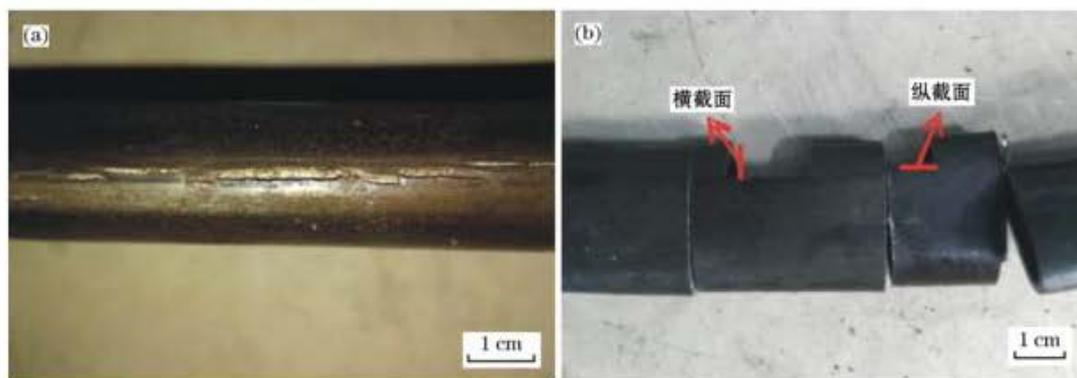
出钢温度 Tapping temperature/℃	进精轧温度 Finished rolling temperature/℃	终轧温度 Finishing temperature/℃	卷曲温度 Crimp temperature/℃	屈服强度 Yield strength/MPa	抗拉强度 Tensile strength/MPa	伸长率 Elongation/%
1230±20	1000±20	900±20	650±20	263.5	456.3	31.2

表 3 试样的力学性能

Table 3 Mechanical properties of the specimen

屈服强度 Yield strength/MPa	抗拉强度 Tensile strength/MPa	伸长率 Elongation/%
285	430	26

对钢管开裂部位进行切割取样,分别切取横截面与纵截面,如图 1 所示。用工具将裂纹处打开制备成断口试样。将制备好的试样进行磨抛、超声清洗、烘干,使用扫描电子显微镜、能谱仪、金相显微镜等仪器进行综合分析,并将试样用 4% 的硝酸酒精腐



(a) 试样宏观形貌;(b) 试样取样位置。

图 1 试样的宏观形貌与取样位置

Fig. 1 Macroscopic appearance and sampling position of the sample

蚀后利用金相显微镜观察其组织。

2 实验结果与分析

2.1 金相分析

利用 JEM-2800F 聚焦离子束-电子束双束电镜及能谱仪(美国 FEI 仪器有限公司)对横截面与纵截面进行观察与分析,发现裂纹深度可达 0.6 mm,裂

纹附近存在链条状夹杂物,裂纹长度宽窄不一,部分裂纹长度可达 1 mm;对夹杂物进行成分分析,发现其主要含有 O、Fe、Al、Si、Ca、Mn 等元素。根据 GB/T 10561—2005《钢中非金属夹杂物含量的测定标准评级图显微检验法》标准对该夹杂物进行分类与评级,评级结果如表 4 所示。试样横裂纹与纵裂纹夹杂物形貌与成分如图 2、图 3 所示。

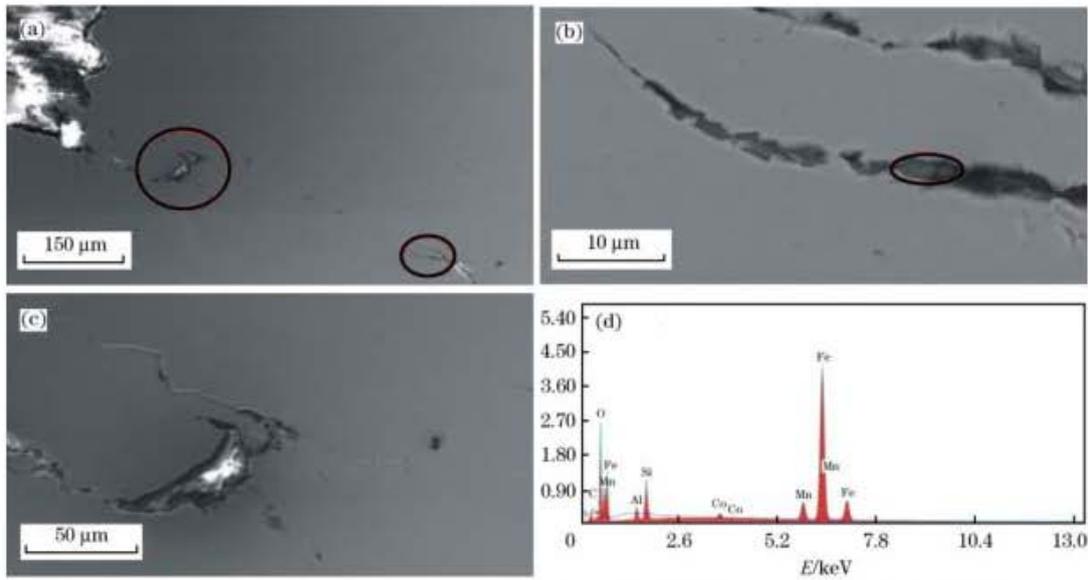
表 4 开裂试样夹杂物评级结果

Table 4 Inclusion rating results of cracked samples

项目 Item	硫化物类(A类) Sulfide class	氧化铝类(B类) Alumina class	硅酸盐类(C类) Silicate class	球状氧化物类(D类) Globular oxides class
合格	0.5	1.5	1.5	1.0
不合格	0.5	1.5	3.0	1.0

从图 2 中可以看出夹杂物的主要成分为 SiO_2 、 Al_2O_3 、 MnO 等 C 类夹杂物,同时也发现裂纹的扩展是沿着夹杂物的方向进行。对纵截面试样中大量存在的长条状夹杂物能谱分析发现此类夹杂物也是

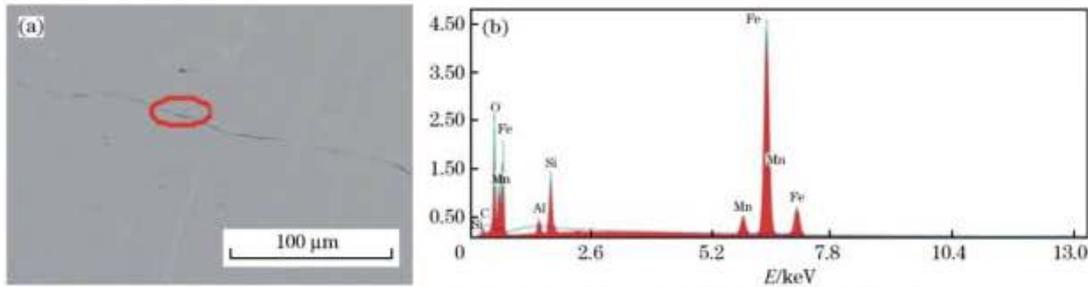
C 类夹杂物。C 类硅酸盐夹杂物属于塑性夹杂物,在轧制过程中会碾压成长条状,破坏钢的横向连续性、降低钢的加工性能。金属材料受力断裂的形成可分为 3 个阶段:裂纹萌生、裂纹扩展、断裂^[8]。当



(a) 横截面试样夹杂物; (b)、(c) 夹杂物 1 和 2 的局部放大图; (d) 图(b)中所示位置夹杂物的能谱图。

图 2 横截面裂纹的微观形貌与能谱分析

Fig. 2 Microstructure and energy spectrum analysis of cross-section crack



(a) 纵截面试样中大量存在的长条状夹杂物; (b) 图(a)中所示位置的夹杂物能谱分析结果。

图 3 纵截面裂纹的微观形貌与能谱分析

Fig. 3 Microstructure and energy spectrum analysis of longitudinal section crack

钢管中存在大量硅酸盐类夹杂物时,试样在进行压扁试验中会在夹杂物处产生微裂纹,当形变达到一定值时会出现开裂缺陷。大量的硅酸盐条状夹杂,一方面破坏金属基体,使金属基体不连续,另一方面,夹杂物与基体界面处是应力集中区,容易在载荷作用下萌生裂纹,当载荷增加到一定值时,微裂纹将不断进行扩展,最终造成试样断裂。

硅酸盐类夹杂物的主要成分为 SiO_2 、 Al_2O_3 与 MnO ; SiO_2 、 Al_2O_3 与 MnO 夹杂物产生的主要原因是钢利用铝脱氧和使用硅铁、锰铁合金作为添加剂时形成高温塑性夹杂物,此类夹杂物的大量存在将严重影响钢管的横向力学性能。大量硅酸盐类夹杂物的存在也是造成钢管压扁试验开裂的主要原因^[4]。

用 4% 的硝酸酒精腐蚀后利用蔡司金相显微镜观察试样的组织大小及成分,根据 GB/T 6394—2017《金属平均晶粒度测定方法》标准中比较法对试

样进行评级,结果显示为 8.0 级。组织成分主要为铁素体+珠光体,存在带状组织,没有发现魏氏组织。根据晶粒大小与成分可以判定试样没有过热、过烧等情况。对金相试样进行观察时发现在铁素体晶界处分布着明显的三次渗碳体组织,相互连接包围着铁素体晶粒,形成近似于网状的组织,如图 4 所示。根据铁碳相图可知,试验钢属于亚共析钢,在共析转变时珠光体中的铁素体依附在先共析铁素体上生长,当继续冷却时,使得铁素体中析出的三次渗碳体在晶界上分布。

文献表明,造成压扁试验试样不合格的金相组织有带状组织、魏氏组织和三次渗碳体组织等^[6]。带状组织形成的主要原因为成分偏析与热加工温度不当,当钢中夹杂物含量较多时,夹杂物可作为先共析铁素体形核的核心,先共析铁素体在夹杂物周围形成,而奥氏体则转变为珠光体形成带状组织,夹杂

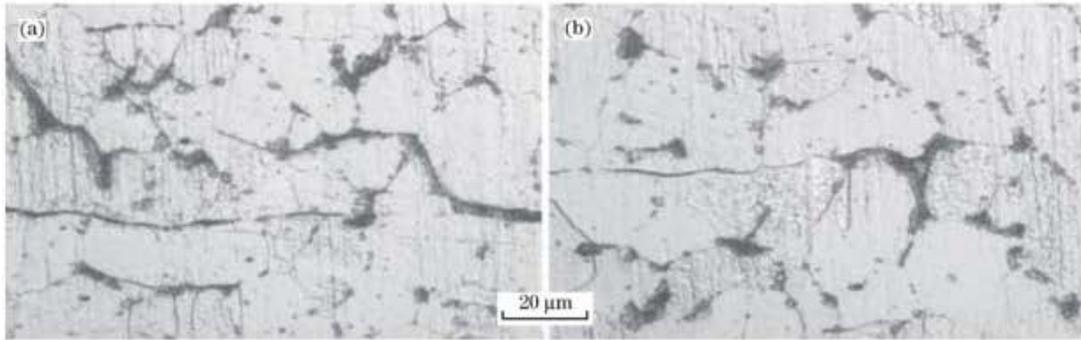


图4 金相组织中的三次渗碳体
Fig. 4 Triple cementite in metallographic structure

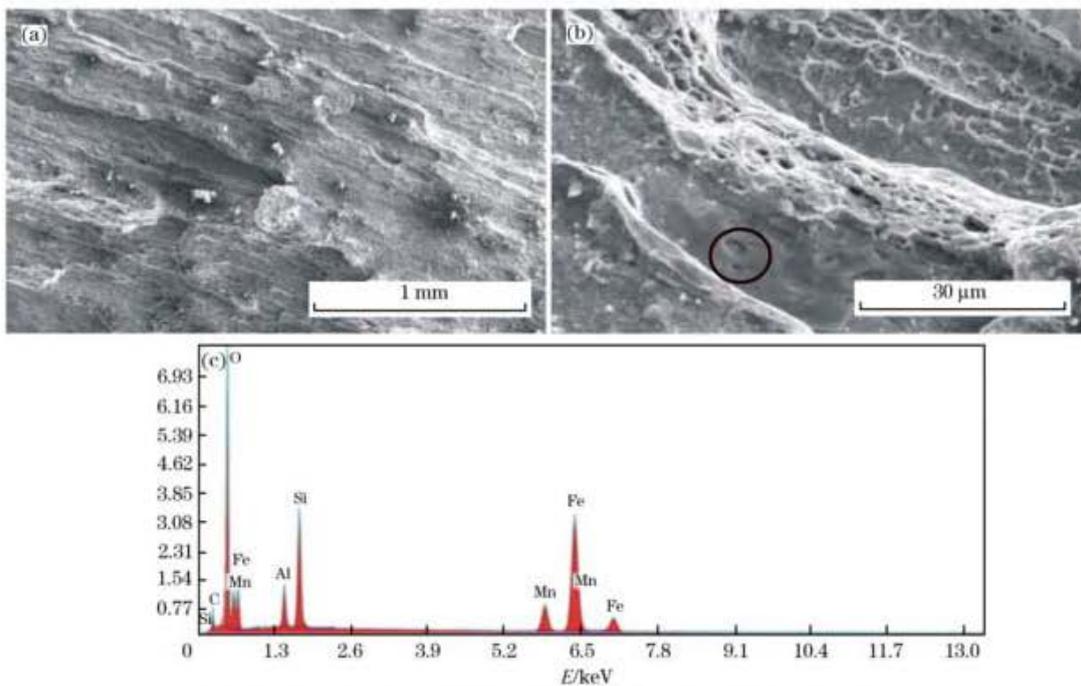
物引起的带状组织会破坏钢基体的连续性,造成钢管压扁试验工艺的不合格。魏氏组织是在轧制过程中冷却速度过快或加热温度过高而造成的,魏氏体的组织特征为粗大的奥氏体晶粒内存在大量平行的铁素体,魏氏体组织不仅晶粒粗大,而且大量的片状铁素体使钢材的力学性能急速下降^[6]。对试样的显微组织观察中没有发现魏氏组织,但存在带状组织与三次渗碳体组织。

由于渗碳体的硬度值很高,脆性较大,强度和塑形较低,伸长率几乎为0,因此低碳钢的塑性变形主要发生在铁素体中,在钢受到载荷作用时渗碳体阻碍了基体的变形能力^[7]。当铁素体变形受到三次渗碳体的阻碍时,位错就在滑移面阻碍前堆积起来,使

得应力集中,当应力达到基体的强度极限时,发生开裂。三次渗碳体的产生与冷却温度有关,在终轧到卷曲温度之间发生共析反应,如果此时冷却速度过慢出现缓冷现象,则加剧三次渗碳体的析出。

2.2 断口分析

用工具将裂纹处打开制成断口试样,通过扫描电镜与金相显微镜对试样进行观察与分析发现,裂纹为木纹层状断口形貌,表面有很多纵向分布的裂纹,属于典型的层状断裂形貌,说明存在带状组织。对纵向分布的裂纹进行放大观察,发现断口内是纵向分布的夹杂物,对夹杂物进行能谱分析,发现其主要成分为 SiO_2 、 Al_2O_3 与 MnO ,与金相样品中存在的长条状夹杂物成分一致,如图5所示。经分析可



(a) 断口形貌;(b) 局部断口放大形貌;(c) 图(b)中所示位置的断口成分分析。

图5 断口形貌与成分分析
Fig. 5 Fracture morphology and composition analysis

知, 裂纹萌生处有大量纵向分布的长条状夹杂物, 裂纹从此处产生, 在随后的过程中裂纹扩展, 最终开裂, 缺陷的断口形貌分析结果验证了金相试验分析的结果。

3 小结

通过以上分析发现, 造成试验钢不合格的主要原因为基体中存在着大量硅酸盐类夹杂物, 次要原因为存在带状组织且晶界处有较多的三次渗碳体, 使得基体的塑性变差, 加剧了压扁试验开裂的产生。针对以上试样不合格原因, 提出以下改进措施。

(1) 使用 LF 精炼设备减少钢液的夹杂物, 进一步提高钢水质量, 提高钢液的纯净度。

(2) 优化炼钢工艺, 保护浇注, 防止二次氧化, 减少 Al_2O_3 、 SiO_2 夹杂物的生成。

(3) 严格控制轧制过程中的冷却速度, 避免缓冷现象, 定期检查风机是否故障, 减少网状三次渗碳体的析出量。

4 改进后的效果

通过 LF 精炼炉处理后的产品, 其性能得到有效改善, 对产品的抽查过程中没有发现压扁试验开裂现象, 通过金相分析发现试样内的硅酸盐类夹杂物明显减少, C 类夹杂物等级在 1.5 级以下。带状组织与网状三次渗碳体的析出量也有所下降, 网状三次渗碳体等级在 0.5 级左右。改善后的试样金相组织如图 6 所示。

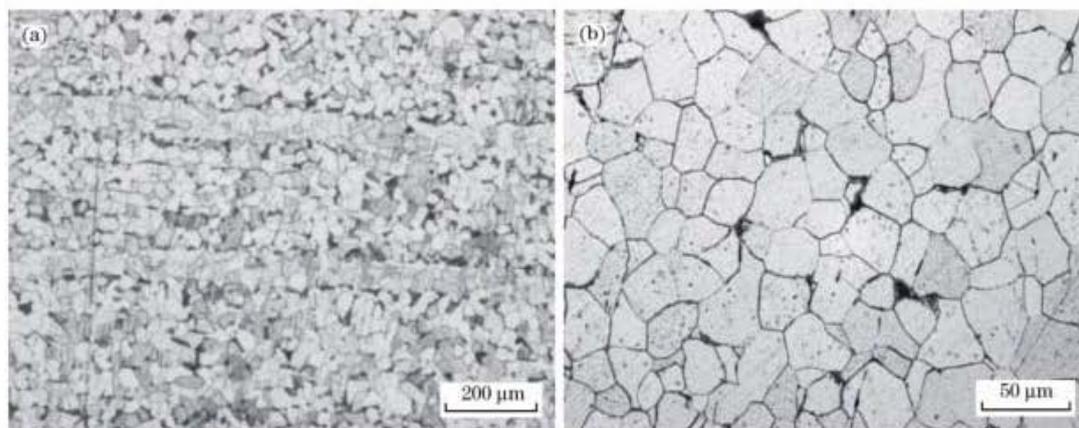


图 6 改善后试样不同放大倍数的金相组织

Fig. 6 Improved microstructure at different magnification

参考文献:

[1] 刘星娟, 焊接钢管压扁试验开裂原因分析[J]. 山东工业技术, 2016(9): 42.
LIU Xing-juan, Crack analysis on welded steel tube during flattening test[J]. Shandong Industrial Technology, 2016(9): 42.

[2] 王伟旬, 关桂芬, 焊接钢管压扁试验开裂原因分析[J]. 南方金属, 2015(6): 24-26, 52.
WANG Wei-xun, GUAN Gui-fen, Crack analysis on welded steel tube during flattening test[J]. Southern Metals, 2015(6): 24-26, 52.

[3] 刘新礼, 非金属夹杂物对钢的机械与工艺性能的影响[J]. 甘肃冶金, 1999(2): 17-22.
LIU Xin-li, Effects of nonmetallic inclusions on mechanical and technological properties of steel[J]. Gansu Metallurgy, 1999(2): 17-22.

[4] 尤大勇, 钢管压扁试验开裂的原因分析[J]. 金属热处理, 2011, 36(S1): 405-407.

2011, 36(S1): 405-407.

YOU Da-yong, Crack analysis of steel tube during flattening test[J]. Heat Treatment of Metals, 2011, 36(S1): 405-407.

[5] 聂向晖, 冯翔宇, 谭依, Q235 中板冷弯开裂原因探讨[J]. 理化检验: 物理分册, 2004, 40(6): 308-310, 323.

NIE Xiang-hui, FENG Xiang-yu, TAN Yi, Cracking analysis of Q235 plate cold bending[J]. Physical Testing and Chemical Analysis Part A: Physical Testing, 2004, 40(6): 308-310, 323.

[6] 魏玉芝, 魏鹏, 张玉强, 低碳热轧钢管中魏氏组织的形成及影响[J]. 钢管, 2001, 30(6): 31-33.

WEI Yu-zhi, WEI Peng, ZHANG Yu-qiang, Development and effect by widmannstatten structure in hot-rolled low carbon steel tube[J]. Steel Pipe, 2001, 30(6): 31-33.

[7] 魏秋华, 刘福旺, 武雪峰, 渗碳体对低碳钢板冲压性能的影响[J]. 金属热处理, 2010, 35(12): 134-135.

WEI Qiu-hua, LIU Fu-wang, WU Xue-feng, Effect of ce-

Cause analysis and countermeasures for cracking of welded steel pipe in flattening test

ZHENG Shi-wei¹, ZHU Li-guang², CAO Sheng-li^{1,3}

WU Xiao-yan¹, ZHANG Qing-jun^{*1,3}

(1. Hebei High Quality Steel Continuous Casting Engineering Technology Research Center, College of Metallurgy and Energy, North China University of Science and Technology, Tangshan 063009, China; 2. Hebei University of Science and Technology, Shijiazhuang 050018, China; 3. Analysis and Testing Research Center, North China University of Science and Technology, Tangshan 063210, China)

Abstract: The flattening test is one of the methods to check the quality of steel tubes. The reasons for cracking in flattening test were analyzed to find out corresponding countermeasures and solve the cracking problems of welded steel pipe in flattening test. Scanning electron microscope (SEM), energy disperse spectroscopy (EDS) and metallographic microscope (OM) were employed to analyze the reasons for cracking of welded steel pipe in flattening test in two aspects, i. e., metallographic examination and fracture analysis. The main conclusions could be obtained by metallographic analysis, and the final conclusions could be obtained by verifying the metallographic examination by fracture analysis. The results showed that the main reason for cracking of welded steel tube was the presence of a large number of silicate inclusions in the welded steel tube, which belonged to high temperature plastic inclusions and easily destroyed the transverse continuity of the matrix. It could cause stress concentration in flattening test, thus leading to the formation of cracks and the cracking of steel tubes. The secondary reason for the cracking of welded steel tube was the banded structure in sample and the distribution of meshy tertiary cementite at the grain boundary of ferrite. The plasticity of tertiary cementite was poor and the extension of cracks would be accelerated during flattening. By analyzing the reason for cracking, the production process of welded steel tube was optimized. The refining in ladle furnace (LF) as well as the rolling control and cooling control technology could reduce the inclusions in the steel tubes, thus improving the cracking of the welded steel tube in flattening. Therefore, the failure rate of steel tube was decreased and the quality of welded steel tube was improved.

Key words: welded steel tube; flattening test; cracking; inclusion; tertiary cementite

文章编号: 1009-9700(2015)06-0024-04

焊接钢管压扁试验开裂原因分析

王伟旬, 关桂芬

(广东省冶金产品质量监督检测中心, 广东 广州 510000)

摘要: 焊接钢管检验压扁工艺性能时, 试样出现了开裂现象, 经检验, 钢管的化学成分和力学性能符合标准要求, 断口扫描电镜分析和金相分析发现有大量纵向分布的长条状硫化物夹杂, 钢管焊接时发生热胀冷缩, 由于硫化物的热膨胀系数与基体不同, 长条状的硫化物夹杂与基体界面产生了显微裂纹, 在外力作用下引起应力集中, 使钢管压扁试验时开裂。大量纵向分布的长条状硫化物夹杂是引起钢管压扁试验开裂的原因。

关键词: 焊接钢管; 压扁; 硫化物夹杂

中图分类号: TG 142.4 **文献标识码:** A

Crack Analysis on Welded Steel Tube During Flattening Test

WANG Wei-xun, GUAN Gui-fen

(Guangdong Metallurgical Product's Quality Surveillance And Inspection Center, Guangzhou, Guangdong, 510000, P. R. China)

Abstract: Cracking phenomenon of welded steel tube happened while flattening tests were carried out. Chemical and mechanical tests have shown the chemical and mechanical properties of the welded steel tube meet the standard requirements. A lot of longitudinal strip shaped sulfide inclusions were found by scanning electron microscope analysis and metallographic analysis of fracture. The welded steel tube expanded with heat and contracted with cold when it was welded. This made the microfissure between the strip shaped sulfide inclusions and the matrix because of the coefficient of thermal expansion of sulfide inclusion is different from the steel. And it resulted in stress concentration under external forces which was contributed to crack while flattening test was carried out. A lot of longitudinal strip shaped sulfide inclusions cause the crack while flattening test is carried out.

Key words: welded steel tube; flattening; sulfide inclusion

低压流体输送用焊接钢管也称焊管, 是用于输送水、煤气、油和取暖蒸汽等一般较低压力流体的焊接钢管, 钢管必须符合 GB/T 3091-2008 的要求。按照 GB/T 3091-2008 规定, 外径大于 60.3 的电阻焊钢管应进行压扁试验, 压扁试样的长度应不小于 64 mm, 两个试样的焊缝应分别位于与施力方向成 90° 和 0° 位置, 试验时, 当两平板间距离为钢管外径的 $2/3$ 时, 焊缝处不允许出现裂缝或裂口^[1]。某工厂生产的直径为 88.9 mm 的焊接钢管, 进行压扁试验, 当压至两平板间距离为钢管外径的 $2/3$ 时, 焊缝位置发生开裂, 如图 1 所示。本文通过对钢管的材质和力学检验, 以及显微组织、夹杂物和断口分析, 探讨了该焊接钢管压扁试验发生开裂的原因。

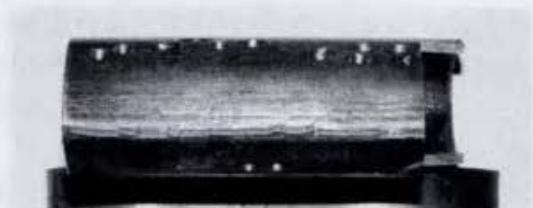


图 1 钢管压扁开裂

1 理化检验与结果

1.1 钢管的材质分析

对开裂钢管制取样品, 用真空型直读发射光谱仪 GS1000 进行化学成分分析, 分析结果如表 1 所示, 由表 1 的检测结果可得出钢管的材质符合 GB/T 700-2006《碳素结构钢》中 Q235B 牌号的要求。

收稿日期: 2015-09-10

作者简介: 王伟旬(1980-), 男, 2003 年毕业于广东工业大学金属材料工程专业, 工程师。

表 1 材料化学成分分析结果

	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
钢管试样	0.11	0.093	0.38	0.032	0.021	0.046	0.014	0.010
GB/T 700-2006	≤0.20	≤0.35	≤1.40	≤0.045	≤0.045	≤0.30	≤0.30	≤0.30

1.2 钢管的力学性能测试

用该钢管制取力学试样,按 GB/T 228.1-2010 的方法进行力学测试,测试结果见表 2,可见其力学性能符合 GB/T 3091-2008 中 Q235B 牌号力学性能的要求。

表 2 样品的力学性能

	ReL/MPa	Rm/MPa	A/%
钢管试样	320	460	23
GB/T 3091-2008	≥235	≥370	≥15

1.3 断口分析

在钢管开裂处制取样品,用扫描电子显微镜 EVO18 进行断口分析,如图 2 所示,结果发现,断口形貌为木纹状层状断口,表面有很多纵向排列的裂纹。

对纵向排列的裂纹进一步放大观察,发现裂纹里面是纵向分布的夹杂物,对夹杂物进行能谱分析,可得该夹杂物为硫化物夹杂,能谱分析如图 3 和表 3 所表示。

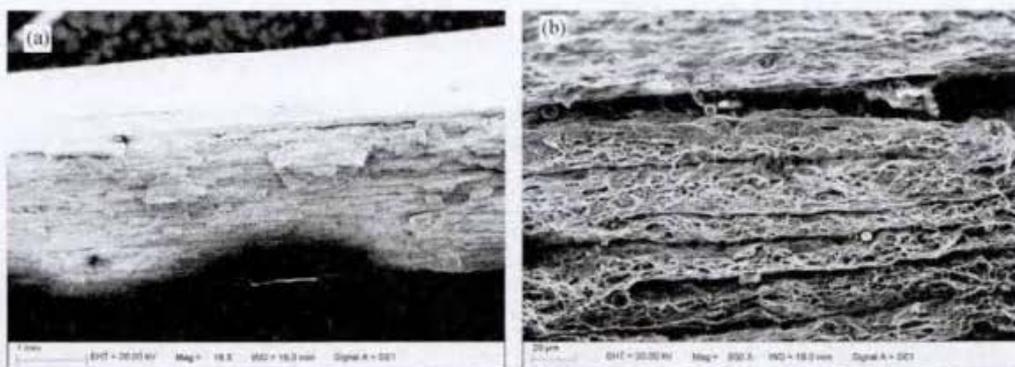


图 2 断口形貌

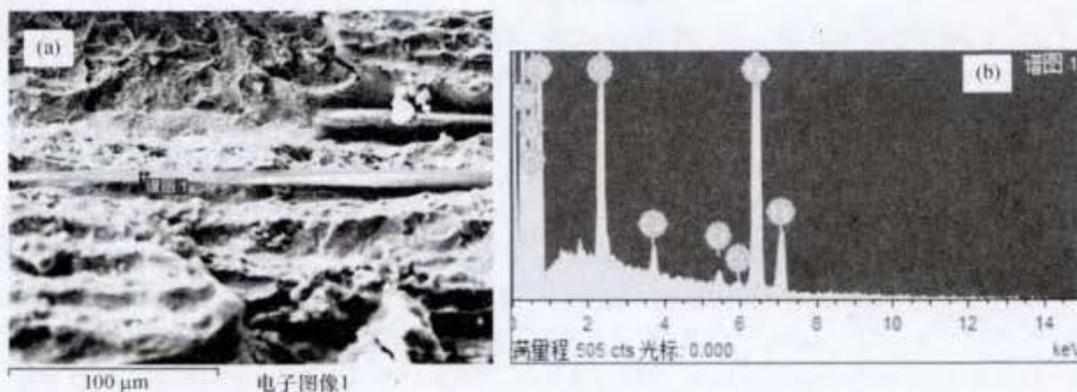


图 3 能谱分析

表 3 能谱分析结果

元素	S	Fe	O	Ca	Cr
重量百分比	20.21	46.17	31.73	0.92	0.97

1.4 金相检验

由以上的断口样品,磨制断口表面的金相试样,

用莱卡金相显微镜进行夹杂物分析.非金属夹杂物按标准 GB/T 10561-2005《钢中非金属夹杂物含量的测定标准评级图显微检验法》进行评级,评级为:A>3.0,B0.5,C0.5,D1.5,DS0.(备注:A类:硫化物类;B类:氧化铝类;C类:硅酸盐类;D类:球状

氧化物类;DS类;单颗粒球状类)如图4所示.其中,硫化物夹杂成条状分布,纵向排列,而且有多条,该

硫化物夹杂非常严重,评级结果大于3级,断口表面的纵向裂纹是该硫化物夹杂造成的.

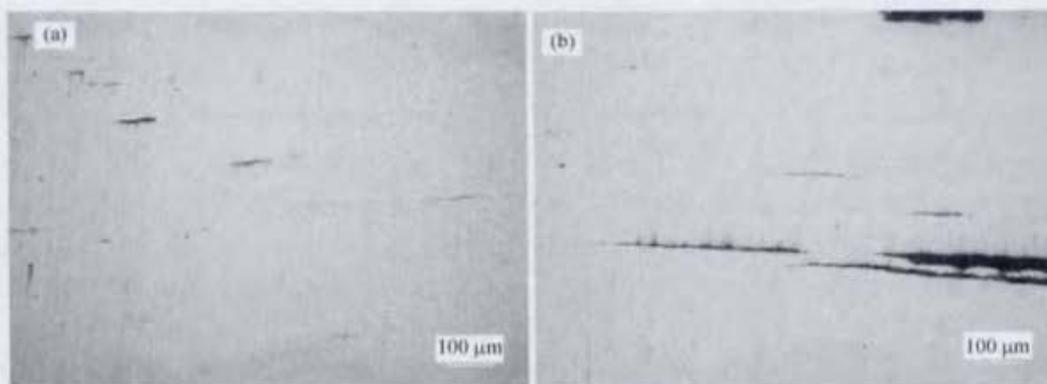


图4 断口表面的夹杂物

由以上的样品,再制备垂直于断口表面的截面的金相样品,用金相显微镜进行显微组织分析.如图5所示,图5(a)中1区为焊缝,2区为热影响区,3区为靠近热影响区的母材,断裂发生于该处.图5(b)

为图5(a)中3区的局部放大图,可见断裂边缘的显微组织为铁素体+珠光体,显微组织正常,断裂不是过热或过烧所引起.

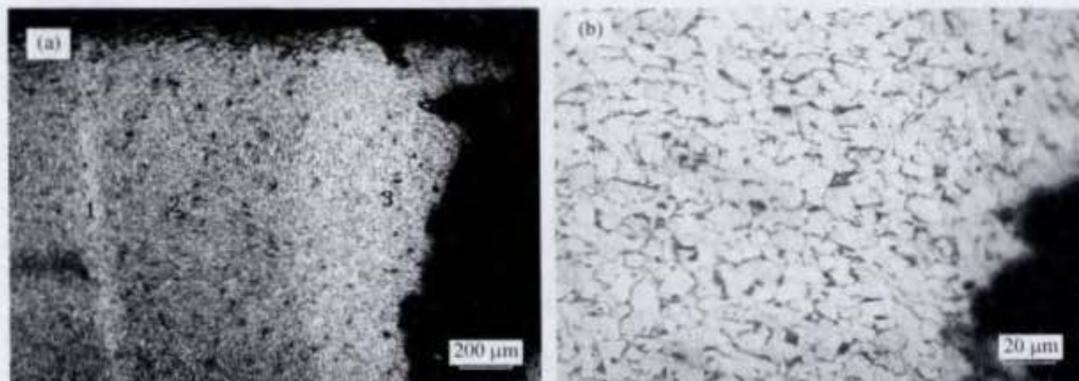


图5 垂直断口表面的金相组织

2 分析与讨论

样品的材质和力学性能均符合标准的要求.样品的断口为木纹状层状断口,断口表面有很多纵向排列的裂纹,经分析,该处有大量纵向分布的条状硫化物夹杂,硫化物夹杂非常严重.硫化物夹杂属内生夹杂,是钢在液态及凝固过程中由钢中Fe及其它元素与S化学反应所形成的,当钢液凝固时来不及上浮而嵌入钢中各种硫化物,主要为FeS、MnS及两者的固熔体.硫化物夹杂具有良好的塑性,属塑性夹杂,轧制时它的变形指数接近于1,经轧制后沿轧制方向与金属基体一起变形,延伸而变成条带状、纺锤状或线段状,是造成钢板性能各向异性的重要原

因^[2].

钢管焊接后,在靠近焊缝和热影响区的位置发生了热胀冷缩,由于硫化物的热膨胀系数与基体不同,在热胀冷缩的作用下,长条状的硫化物夹杂与基体界面产生了显微裂纹,每一个细长的硫化物夹杂都是一个微裂纹源,使钢管在较小载荷作用下,便以夹杂物为裂纹源产生应力集中,当这个应力增大到一定数值时,随即在裂纹源处萌生裂纹,这使钢管的横向性能严重降低.钢管进行压扁试验时,钢管主要受横向应力的作用,发生横向变形,硫化物夹杂产生的微裂纹逐渐长大,直至发展成沿钢管纵向的宏观小裂口,随着变形的增大,最后钢管开裂.

(下转第52页)

者岩石的状态都会导致应变能损耗的不同,进而分析了岩石微裂缝间摩擦和应变能耗散的关系。

通过这一实验初步看到岩石中微裂纹对外力响应的程度,大型工程多建造在岩体上,岩体内部细观损伤在荷载的长期作用下将对工程造成安全隐患,而该实验的原理模拟了岩石对地震(正弦波作用)的动态响应,对强震在工程结构中产生破坏的研究有一定贡献。

参考文献

- [1] Guyer R A, Johnson P A. Nonlinear mesoscopic elasticity: evidence for a new class of materials [J]. *Physics Today*, 1999, 52: 30 - 36.
- [2] P. P. Delsanto, Modeling nonclassical nonlinearity, conditioning, and slow dynamics effects in mesoscopic elastic materials, *PHYSICAL REVIEW B* 68, 064107 - 2003.
- [3] CARMELIET J, VAN DEN ABEELE K E A. Application of the Preisach-Mayergoyz space model to analyze moisture effects on the nonlinear elastic response of rock [J]. *Geophys. Res. Lett.*, 2002, 29(7): 1144 - 1147.
- [4] VAN DEN ABEELE K E A, CARMELIET K J, JOHNSON P A, et al. The influence of water saturation on the nonlinear mesoscopic response of earth materials, and the implications to the mechanism of nonlinearity [J]. *J. Geophys. Res.*, 2002, 107(B6): 2 121.
- [5] XI D Y, LIU B, TIAN X Y. Anisotropy and nonlinear viscoelastic behavior of saturated rocks [J]. *Chinese Journal of Geophysics*, 2002, 45(1): 101 - 111.
- [6] 尤明庆, 围压对杨氏模量的影响分析 [J]. *重庆交通大学学报*, 2003, 22(1): 1 - 2.
- [7] 席道瑛, 岩石非线性细观响应中温度对岩石力学性能的影响 [J]. *岩石力学与工程学报*, 2007, 26(S1): 3 - 5.
- [8] 陈运平, 刘干斌, 姚海林, 等, 岩石滞后非线性弹性模拟 [J]. *岩土力学*, 2006, 27(3): 341 - 347.
- [9] 陈 颢, 黄庭芳, 岩石物理学 [M]. 北京: 北京大学出版社, 2001.

(上接第 26 页)

3 结论与改进措施

由于钢中存在大量纵向长条状分布的硫化物夹杂, 钢管焊接后, 在热胀冷缩的作用下, 长条状的硫化物夹杂与基体界面产生了显微裂纹, 破坏了钢管基体的连续性, 在外力作用下引起应力集中, 使裂纹萌生, 随着变形的增大, 最后钢管开裂。这些纵向分布的长条状硫化物夹杂, 是造成钢管压扁试验不合格的主要原因。

控制钢中硫化物夹杂是改进钢管压扁工艺性能的有效措施。硫化物夹杂的控制主要指控制钢中硫含量和确保轧制后硫化物成球状。钢水炉外精炼脱硫的方法比较多, 最常用的是合成渣法吹氩搅拌。改

变硫化物夹杂物形态最主要的方法是在出钢过程中, 在钢包内加入某些元素, 如 Ca 和 Re, 使所形成的新硫化物比原来的 MnS 熔点更高, 热力学性质更稳定, 加工过程不变形, 这是一种提高钢材力学性能和减轻各向异性的有效方法^[3]。

参考文献

- [1] GB/T 3091 - 2008, 低压流体输送用焊接钢管 [S].
- [2] 申少华, 刘国林, 韦 弦, 等. 中厚钢板中的硫化物夹杂及其对冷弯性能的影响 [J]. *宽厚板*, 2005, 11(2): 26 - 30.
- [3] 刘克俭, 王祖宽, 杨桂荣. 钢中硫化物夹杂的产生及其形态控制 [J]. *河北理工学院学报*, 2001(1): 21 - 23.

ERW 石油套管压扁试验开裂原因分析

周平 霍孝新 元伟伟
(技术研发中心)

摘要:通过对 ERW 石油套管化学成分、钢质纯净度、组织、焊接工艺等的研究,分析了焊管压扁试验开裂的原因,认为材料中夹杂物含量偏高是导致焊管压扁试验开裂的主要原因。

关键词:ERW 石油套管 压扁试验 开裂 夹杂物

0 前言

某焊管公司采购热轧宽钢带利用 ERW 工艺焊接成型石油套管,在套管压扁试验中沿焊缝处开裂,从整支钢管不同部位取样做压扁试验,开裂程度不同。压扁试验中,进行 90°压下,压下 10 mm 时开始出现裂纹,开裂深度约 1 mm,继续压下至管壁贴合时开裂深度仍为 1 mm 左右,开裂不沿厚度方向延伸,但是有沿母材宽度方向延伸的趋势,个别试样存在开裂处表层脱落现象,压扁试验开裂照片见图 1。本文针对 ERW 石油套管压扁试验焊缝开裂的现象,从材料、焊接工艺等方面进行了分析。



图1 压扁试验开裂照片

1 材料性能及套管制造工艺

1.1 母材化学成分及性能

石油套管用钢带的成品化学成分如表 1 所示,力学性能及工艺性能检验结果如表 2 所示。

1.2 套管制造工艺流程

钢带→对焊→充活套→成型→焊接→清内外毛刺→中频正火→空冷→水冷→定径→切断→目视检验→平头→水压→涡流探伤→剩磁检验→超声波探伤→通径检验→涂黑漆→喷标识→上塑料套→包装

作者简介:周平(1973-),女,1995年7月毕业于东北大学金属压力加工专业。现为板带研究所副所长,高级工程师,主要从事板带新产品和新工艺研发工作。

→计量→入库

表1 石油套管用钢带的化学成分 wt%

C	Si	Mn	P	S	Ti	Al	Nb	Mn/Si
0.16	0.24	1.2	0.011	0.006	0.03	0.028	0.022	5

表2 石油套管用钢带的力学性能及工艺性能

试样厚度 /mm	纵向拉伸试验 $L_0=50\text{ mm}, b=38\text{ mm}$			180°横向冷弯 D=2a
	屈服强度/MPa	抗拉强度/MPa	延伸率/%	
5.5	505	615	30.0	合格

2 压扁开裂原因分析

制造经验表明焊管的焊接质量直接影响着压扁试验的合格率,因此从石油套管的化学成分、焊接工艺等方面分析了焊接质量及压扁开裂的影响因素。

2.1 材料影响因素分析

2.1.1 化学成分

2.1.1.1 碳当量

钢的碳当量就是把钢中包括碳在内的对淬硬、冷裂纹及脆化等有影响的合金元素含量换算成碳的相当含量。使用钢的碳当量可以初步衡量低合金钢冷裂敏感性的大小,碳当量越高,冷裂敏感性越大。根据国际焊接学会推荐的碳当量公式 CE (IIW)^[1]:

$$CE(IIW) = C + Mn/6 + (Cr + Mo + V)/5 + (Ni + Cu)/15(\%) \dots\dots\dots (1)$$

计算该石油套管用钢 CE 值为 0.36%。当板厚小于 20 mm 时,CE (IIW) < 0.40% 时,钢材的淬硬倾向不大,焊接性能良好^[2]。

2.1.1.2 S、P 含量

S、P 通常作为杂质元素存在于钢中。硫在钢中

常以硫化铁的形式存在,并呈网状分布在晶粒边界,因而会显著地降低钢的韧性。铁加硫化铁的共晶温度较低(985℃),在进行热加工时,由于加工开始温度一般为1150~1200℃,而铁和硫化铁共晶已经熔化,从而导致加工时开裂,硫的这种热脆性使钢在焊接时容易产生热裂纹。同样,磷含量越高,钢出现冷脆的倾向性越大,也会增加钢的裂纹敏感性。因此,为了提高焊接质量,要提高钢的纯净度,降低S、P含量。从表1看出,材料的S、P含量均比较低,对焊接性能影响不大。

2.1.1.3 Mn/Si比

材料研究表明,母材化学成分中Mn/Si比影响焊缝裂纹指数^[1],Mn/Si比不同,在焊接过程会形成不同比例的反应物。

高频加热时,钢带边缘的Fe氧化成FeO,熔融金属中Mn、Si与FeO发生反应,生成MnO与SiO₂。MnO和SiO₂发生如下反应:

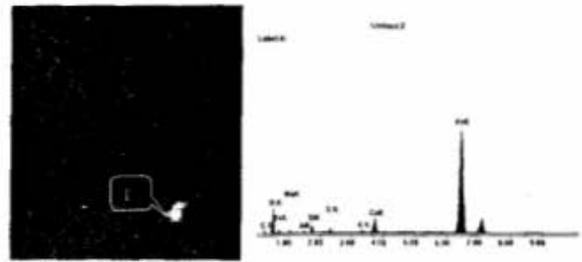


MnO·SiO₂熔点为1270℃,如果Mn/Si比较低,仅有部分SiO₂与MnO发生反应,还有一定量的SiO₂单独存在,而SiO₂熔点1713℃,不容易从焊缝排出,从而造成焊缝金属夹渣;Mn/Si比较高时,SiO₂全部与MnO发生反应后,仍有部分MnO单独存在,MnO熔点1580℃,和熔融金属温度基本相当或略高于熔融金属温度,这种低熔点的物质更容易从钢带焊缝边缘挤出。研究结果显示,Mn/Si比为3~4时,夹杂物焊缝裂纹指数明显下降,当Mn/Si比大于5时,焊接裂纹指数稳定地处于低水平。因此,对于ERW焊管用母材要尽可能使Mn/Si比大于5。由表1看出,材料的Mn/Si比为5,焊接裂纹指数比较低,焊接过程产生的夹渣对焊接裂纹的影响不大。

2.1.2 钢质纯净度

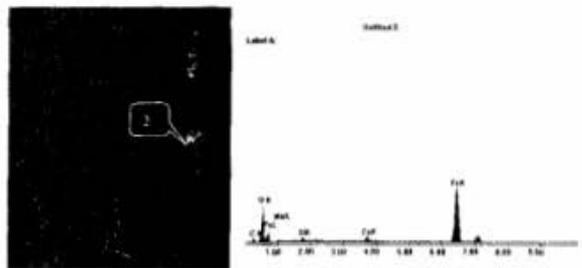
对焊缝外侧开裂的部位在SEM电镜下观察,发现夹杂物数量较多,且沿表面呈连续状,最大的夹杂物尺寸约为100μm,如图2(a)、图3(a)所示,图2(a)中标示“1”处、图3(a)中标示“2”处能谱分析结果分别如图2(b)、图3(b)所示。图4(a)、5(a)为开裂处放大后观察到的形貌,夹杂物集中在距材料表面250μm以内,标示“3”、“4”处能谱分析结果分别如图4(b)、图5(b)所示。由能谱分析结果可以看出,焊缝开裂处存在MnS夹杂和硅、铝、钙、硫等多种元素的复合夹杂。这些数量较多、尺寸较大的非金属夹杂物会导致焊接性能不良,也是造成压扁

试验焊开裂的主要原因。



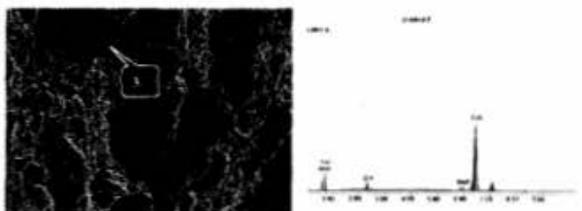
(a)扫描电镜照片 (b)能谱分析

图2 开裂处形貌及夹杂物分析



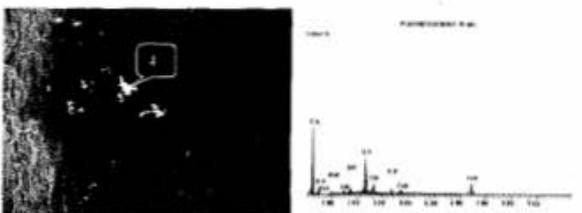
(a)扫描电镜照片 (b)能谱分析

图3 开裂处形貌及夹杂物分析



(a)扫描电镜照片 (b)能谱分析

图4 开裂处形貌及夹杂物分析



(a)扫描电镜照片 (b)能谱分析

图5 开裂处形貌及夹杂物分析

2.1.3 带状组织

当材料中存在带状组织时,就意味着成分偏析和组织不均匀,常表现为铁素体为主的带与珠光体为主的带彼此交替。富碳和贫碳成分偏析越严重,形成的带状组织也越严重。富碳的组织带内常伴有硫化物、氧化物等,使该处硬度高、脆性大。当硫含量较高时,容易形成低熔点共晶物质。低熔点共晶物质或脆硬相在焊接加热和挤压时受到剪切

力的作用,沿金属流线上角开裂,形成钩状裂纹,焊缝受到压扁时,热影响区便会沿钩状裂纹开裂。

该石油套管用钢母材带状组织 2.0 级以下,晶粒比较细小,晶粒度 10.5 级,OEM 照片如图 6 所示,可以看出钢的生产过程带状组织控制比较理想,钢管压扁裂纹产生的原因可排除带状组织的影响。

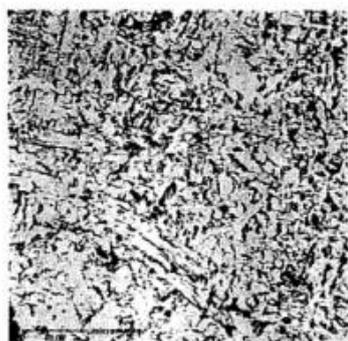


图6 J55 金相组织照片

2.2 板边状况

通常,材料的边缘状况影响焊缝熔融氧化物的排出。如果钢带边缘比较平直,则熔融金属排出流畅,焊缝处韧性较好。在钢带的纵剪过程中,由于剪切力的作用容易使钢带边缘一侧角部形成小圆弧,另一侧角部产生毛刺。焊接时容易在圆弧处产生双峰,不利于熔融金属及氧化物的排出;产生的毛刺会使内部电流较大,从而使内外侧加热不均匀,从而导致焊缝处韧性较差。若钢带边缘碰伤或划伤,沾有铁锈、污物时也不利于熔融金属的排出,造成焊缝处夹杂物较多,韧性较差。另外,钢带边部厚度不均匀、存在毛刺和鼓包时,容易造成焊接电流的波动,也影响焊接质量。

观察和测量焊管现场纵剪的材料,钢带厚度均匀,边部状况良好,未发现毛刺、鼓包等缺陷,钢管压扁裂纹产生的原因可排除原料板边状况影响。

2.3 焊接工艺

2.3.1 焊接速度

在焊接过程中,要得到最佳的焊接质量,必须使带钢边缘有足够的金属变为液态。如果焊接速度过快,会使母材熔化不完全,焊缝形成不好,影响焊接质量,致使焊管压扁不合格。如果输入热量不足,造成焊速太低,焊管待焊边金属的加热温度过低,侧边的金属没有熔化,而热影响区的宽度反而加大,造成待焊边被氧化了的金属没有被全部排出焊缝,使

待焊边金属的结合力降低,焊缝质量变差。

2.3.2 温度

焊接时若温度过高,奥氏体晶粒粗大,在连续冷却过程中形成粗晶组织,这种粗晶组织可使热影响区韧性降低,影响焊缝质量。

2.3.3 挤压力

在焊接过程中,带钢边缘的熔合是通过挤压力来实现的,挤压力的大小影响焊缝的强度和韧性。挤压力过大时,被加热成固溶或熔融状态的金属全部或大部分被挤出,导致焊缝强度降低,同时使熔化状态的金属形成的共同金属晶粒再结晶遭到破坏,导致焊缝受力时开裂。挤压力过小则使待焊边氧化了的金属不能全部排出焊缝,同样降低了熔合线上金属的结合力。

通过对焊接过程的跟踪、考察,未发现原始焊缝表面存在裂纹、针孔等缺陷,对焊管焊缝及其附近位置进行金相检验,未发现异常组织,但压扁试验仅在焊缝处开裂,从扫描电镜检验结果来看,开裂处夹杂物数量较多,且存在 Si、Fe 等元素的氧化物,因此,部分夹杂物可能是在焊接过程中产生的,不排除焊接工艺参数波动导致焊接不良的可能。

3 结论

通过分析看出,该石油套管材料中碳当量、S、P 含量比较低,Mn/Si 比在 5 以上,钢带的带状组织在 2.0 级以下,材料的焊接性能比较好,因此材料的化学成分、金相组织不是导致石油套管压扁开裂的主要原因。从扫描电镜试验结果来看,焊缝开裂位置存在较多 S、Si、Mn、O、Ca 等元素形成的夹杂,夹杂物含量高是导致钢管压扁开裂的主要原因。因此要提高该石油套管压扁试验合格率,需要提高材料的钢质纯净度,减少钢中夹杂物数量,并根据焊管现场实际情况及时调整焊接工艺参数,提高焊接质量。

参考文献

- [1] 斯重通等. 焊接手册(第二卷)[M]. 北京:机械工业出版社,1992.
- [2] 曹良裕,魏战江. 材料开发与应用[J]. 1999年,14(1).
- [3] 周振丰,张文敏. 焊接冶金与金属焊接性[M]. 北京:机械工业出版社,1988.

特邀编辑:汤化胜

(下转第 46 页)

热性质最好。

2) 减少焦煤配量的配2、配3,焦炭质量下降,特别是焦煤降到30%,增加4%气煤、8%1/3焦煤,减少2%瘦煤的方案,下降尤为显著,在所有方案中是最差的,与基础方案相比,CRI增加5%左右,CSR下降8%左右。

3) 焦煤降到35%,增加2%气煤、3%1/3焦煤的方案,与基础方案相比也有所下降,CRI增加1%左右,CSR下降3%左右。

表4 试验焦质量指标 %

序号	工业分析/%			机械强度/%		热性质	
	A _d	V _d	S _{t,d}	M ₂₅	M ₁₀	CRI	CSR
配1	13.41	1.20	0.72	91.25	7.07	32.4	55.1
配2	13.41	1.14	0.72	88.19	8.18	37.4	46.8
配3	13.17	0.65	0.74	89.94	7.42	33.5	51.8
配4	12.94	1.22	0.70	90.06	7.53	35.0	49.0
配5	13.85	0.60	0.66	88.47	7.97	36.3	49.5

注:小焦炉焦炭性质与生产焦炉有差异,特别是热性能指标较生产焦炉差。

4) 任楼作为肥煤的配4,与基础方案相比,焦

炭质量下降明显,特别是CSR下降6%左右,甚至比焦煤降到35%的配3还要差,说明任楼不宜作为肥煤使用。

5) 南关作为焦煤的配5,与基础方案相比,焦炭质量也下降明显,CSR下降5%~6%,说明南关不适合作为焦煤使用。

5 结论

1) 根据试验结果,焦煤降到35%的配3方案,在保证进煤质量情况下,预测焦炭的热性能强度指标能够达到 60 ± 2 ,从降低配煤成本来考虑,建议可以在1[#]~4[#]焦炉生产中使用。

2) 结合目前5[#]~8[#]焦炉配比(焦煤+肥煤=65%)和焦炭质量情况,可以考虑适当降低5[#]~8[#]焦炉焦煤配量。

3) 皖北任楼结合其煤质指标来看,为典型的1/3焦煤,不宜作为肥煤使用。

4) 南关煤煤质指标波动较大,从变质程度来看,为焦煤向1/3焦煤过渡的煤种,作为焦煤对焦炭质量影响很大,宜作为1/3焦煤使用。

特邀编辑:于世友

Experiments and Research on Optimized Mixing Coal Coking

Li Mingfu Zhu Wei Meng Xiaopeng

(The Coke Plant)

Abstract: Mixing coal coking experiments done on the 40-kg experimental coke oven, provide basis for adjusting optimized mixing coal ratio in actual production and broadening coking coal resources under the prerequisite for guaranteeing the quality of coke.

Key words: experiment
al coke oven; burden constituents; coking; coke quality

(上接第44页)

Analysis of Cracking Causes of ERW Petroleum Casing Pipes in Flattening Test

Zhou Ping Huo Xiaoxin Qi Weiwei

(The Technical R&D Center)

Abstract: On the base of studies of chemical compositions, degree of purity of steel, tissues, and joint welding procedure of ERW petroleum casing pipes, the causes of cracking in welded pipes in flattening test were analyzed. It was deemed that the content of inclusions being on the higher side is the main cause of cracking in welded pipes in flattening test.

Key words: ERW; petroleum casing pipe; flattening test; cracking; inclusion

加入“常州精密钢管博客官方知识星球”即可免费下载所有的专业技术文档!

常州精密钢管博客 知识星球

专业的 钢铁知识 钢管知识 热处理知识 钢铁行业资讯 分享网站

官方网站: <http://www.josen.net>

微信扫码加入星球

知识星球

