

文章编号:1673-9981(2013)04-0276-04

304 不锈钢波纹补偿器失效分析

肖晓玲, 况敏, 林凯生

广东省工业技术研究院(广州有色金属研究院)新材料研究所, 广东 广州 510650

摘要:利用金相显微镜、扫描电镜和显微硬度计等,对某 304 不锈钢波纹补偿器的断口进行了观察和测试分析.结果表明:304 不锈钢的奥氏体晶粒内有许多变形的滑移线,且在奥氏体晶界上有碳化物沉淀析出;补偿器的断口呈冰糖状花样特征,断口面处存在较深的沿晶界的二次裂纹,断裂性质为沿晶脆性断裂;此晶界弱化的不锈钢在工作时,受工作应力作用萌生微裂纹,微裂纹扩展导致波纹管断裂.

关键词:波纹补偿器;不锈钢;断裂;失效分析

中图分类号:TH142

文献标识码:A

波纹补偿器属于一种补偿元件,由主体波纹管(一种弹性元件)和端管、支架、法兰及导管等附件组成,主要用于各种管道中.其工作原理是利用自身的弹性变形,补偿管道由于热变形、机械变形和各种机械振动而产生的轴向、角向、侧向及其组合位移,补偿器具有耐压、密封、耐腐蚀、耐高温、耐冲击及减振降噪的功能,从而起到降低管道变形和提高管道使用寿命的作用.不锈钢波纹管补偿器作为敏感元件、减震元件、补偿元件、密封元件、阀门元件及管路连接件,广泛应用于自动控制 and 测量仪表、真空技术、机械工业、电力工业、交通运输及原子能工业等领域中.由于补偿器可靠性是通过设计、制造、安装、运行管理等多个环节来保证的,任何一个环节的失控都会导致其寿命的降低甚至失效^[1].因此,正确地选择波纹管的制作材料和结构、合理设计波形参数和疲劳寿命、保证安装质量等措施,能大大提高波纹管膨胀节(补偿器)的安全可靠性.

某公司生产的 304 不锈钢波纹管补偿器在被安装调试时,其不锈钢环形波纹管在第一环齐法兰处整体断裂.故障发生后,受委托对其进行了检测分析,试图找出波纹管补偿器失效的原因,为今后波纹管生产和安全运行提供技术支持.

1 外观检查

试样为两端带有法兰、中间由纵缝焊接不锈钢管胚制成的环形波纹管补偿器,其材质为 304 不锈钢,属单层结构.该补偿器安装调试时不锈钢环形波纹管在第一环齐法兰处整体断裂,断口与波纹管补偿器轴向垂直(图 1),断口表面齐整,肉眼可见金属反光颗粒(图 2).



图 1 失效的波纹补偿器

Fig. 1 Image of corrugated compensator after failure

收稿日期:2013-10-23

作者简介:肖晓玲(1966-),女,湖南祁东人,高工,博士.

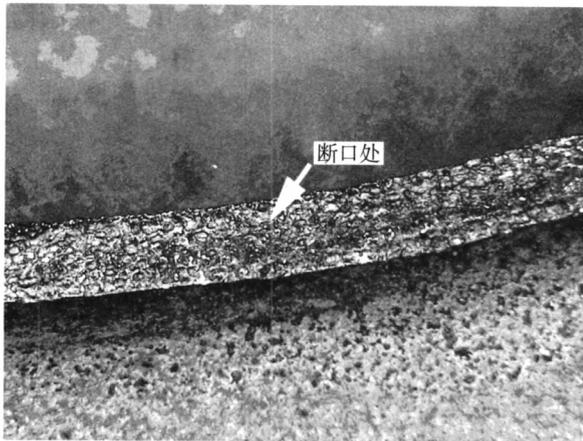


图2 断口形貌

Fig.2 Image of the fracture

2 化学成分、金相组织及硬度测试

2.1 化学成分分析

截取断裂的波纹管基体进行化学成分分析,结果列于表 1. 由表 1 可知,波纹管材质成分符合 JIS G 4304-2005 中关于 SUS304 的标准要求.

2.2 组织观察及硬度测试

波纹管补偿器断裂处的厚度约为 0.7 mm,从波纹管断口处轴向截取试样,先镶嵌研磨抛光,再经三氯化铁盐酸水溶液侵蚀后进行组织观察(图 3). 从图 3 可见,试样的显微组织为奥氏体,由于波纹管

表 1 波纹管补偿器的化学成分

Table 1 Chemical composition of corrugated compensator

成分		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Fe
含量 w/%	检测值	0.048	0.47	1.12	0.038	0.0052	18.19	8.10	余量
	JIS G 4304-2005	≤0.08	≤1.00	≤2.00	≤0.045	≤0.030	18.00~20.00	8.00~10.50	余量

成型加工,致使奥氏体组织沿图 3(a)的轴向呈带状分布,奥氏体晶粒上布满变形的滑移线,并且奥氏体

晶界上有碳化物析出(图 3(b)中箭头所示晶界上的黑色物)^[2].

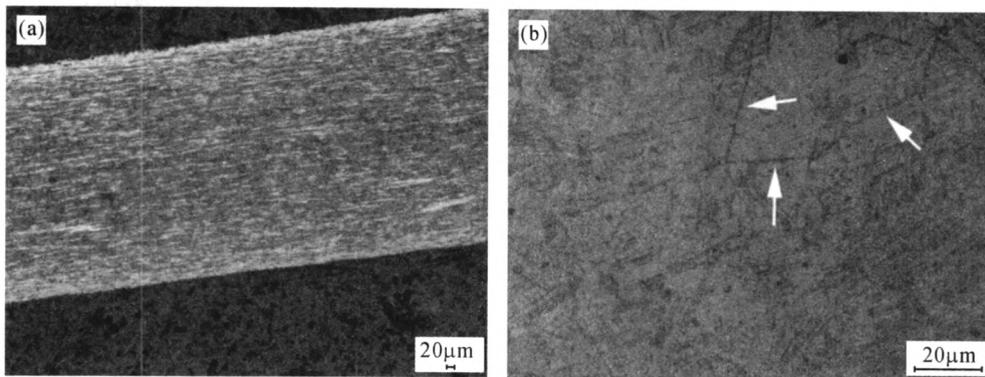


图3 断口基材金相照片

(a)低倍;(b)高倍

Fig.3 Microstructure of fracture

(a) low magnification;(b) high magnification

将金相试样置于扫描电镜下进行观察(图 4). 从图 4 可见,奥氏体中滑移线清晰可见,并且各滑移线之间或互相平行,或呈 60°和 90°夹角,经分析确定为面心立方<110>晶向,即奥氏体的滑移方向.

截取波纹管断口,经清洗后置于扫描电镜下观察,图 5 为试样断口的 SEM 图. 从图 5 可见,波纹管断裂表面似沿晶冰糖状花样,且存在较深的沿晶的

二次裂纹(如箭头所示).

对金相试样进行硬度测试,载荷为 100 g,加载时间为 15 s,结果列于表 2. 由表 2 可知,试样平均硬度测试值为 381.2 HV_{0.1},表明 304 不锈钢的显微硬度高于其固溶处理后退火态硬度,其退火态硬度一般为 330HV_{0.1}^[3].

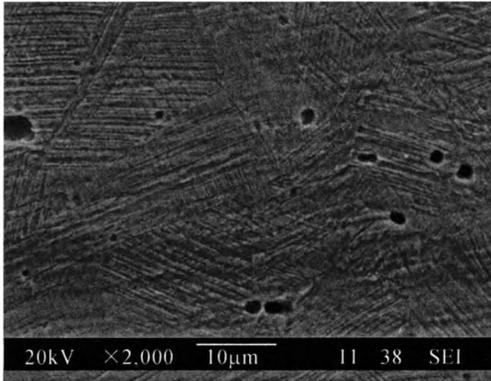


图4 奥氏体组织中滑移线的扫描电镜照片
Fig.4 SEM images showing slip lines in austenite

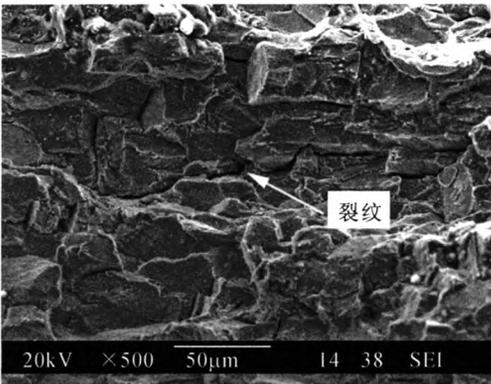


图5 试样断口的SEM照片
Fig.5 SEM images of fracture

表2 波纹管补偿器的硬度测试值

Table 2 Hardness measurement of corrugated expansion joint

检测次数	1	2	3	4	5	平均值
硬度值 HV _{0.1}	351.5	374.6	412.2	381.9	385.6	381.2

3 断口失效分析

一般来说,奥氏体不锈钢存在一个敏化温度区间.当奥氏体不锈钢进行固溶处理时,如果在敏化温度区间停留时间过长,碳化铬在奥氏体晶界会沉淀析出,从而引起奥氏体晶界附近的固溶体中铬的浓度不断降低及贫化,使晶界区域很难达到钝化所需的最低含铬量,因而造成奥氏体晶界弱化.所以,304不锈钢在固溶处理时应快速通过敏化温度区间,以避免奥氏体晶界弱化.

另外,奥氏体不锈钢波纹管补偿器的失效在管线试压和运行期间均有发生,其失效主要表现为腐蚀泄漏和失稳变形两种形式,其中以腐蚀失效居多^[4].

该波纹管补偿器的材质为304不锈钢,属单层结构.由金相分析可知,其组织形态为奥氏体组织,但在其晶界上有碳化物析出,是造成该304不锈钢奥氏体晶界弱化的原因之一.

奥氏体不锈钢波纹管在加工及成型过程中,由于滚压、液压、胀压成型,均会在波纹管波峰及波谷处发生一定的塑性变形,晶粒被拉长或破碎.金相分析结果显示,奥氏体晶粒内有许多变形的滑移线,说明在加工时该304不锈钢材料已被拉伸变形.另外,波纹管的波峰、波谷和波侧处塑性变形的不一致性,使波纹管必然产生残余应力^[5],存在加工硬化现象,所以硬度测试值偏高.

在外力作用下304奥氏体不锈钢发生平缓过载断裂,其断口表面微观形貌应该是韧窝.但据观察,不锈钢波纹管补偿器的断口表面形貌似冰糖状花样,而且存在较深的二次裂纹,属脆性断裂,进一步说明该波纹管的不锈钢材料的塑性下降,抗拉强度不足.因此,该波纹管补偿器的不锈钢板材材质有两个不足:一是接近不锈钢屈服状态,使不锈钢的塑性下降;二是不锈钢基体晶界弱化.当带有以上两隐患的不锈钢波纹管补偿器在安装调试时,因工作应力,奥氏体晶界萌生裂纹,裂纹萌生后在后续使用中裂纹沿弱化的晶界扩展,造成不锈钢材料沿晶脆断.

4 结论

(1)304不锈钢波纹管补偿器的奥氏体晶粒内有许多变形的滑移线,并且在其晶界上有碳化物沉淀析出.

(2)波纹管补偿器材质存在加工硬化现象,硬度值为381.2HV_{0.1},补偿器断裂性质为沿晶脆性断裂.

(3)波纹管补偿器断裂源于不锈钢波纹管在生产过程中出现晶界弱化,晶界弱化的不锈钢在工作时,受工作应力作用萌生微裂纹,微裂纹扩展导致波纹管断裂.

参考文献:

- [1] 刘新斌,罗仕发.波纹管补偿器的配管设计与应用[J].南方金属,2002(3):21-23.
- [2] 俞宝罗,胡光立.合金钢与高温合金[M].北京:北京航空航天大学出版社,1985.
- [3] 任颂赞,张静江,陈质如,等.钢铁金相图谱[M].上海:

- 上海科学技术文献出版社,2003.
- [4] 薛红兵,成书文. 高炉煤气管道金属波纹管补偿器失效分析及处理[J]. 浙江冶金,2012,5(2):58-60.
- [5] 高志平. 高炉煤气管系用金属波纹管膨胀节失效机理分析及对策[J]. 压力容器,2006,23(4):47-50.

Failure Analysis of corrugated compensator made of 304 stainless steel

XIAO Xiaoling, KUANG Min, LIN Kaisheng

Dept. of new material, Guangzhou General Research Institute for Industrial Technology (Guangzhou Research Institute of Non-ferrous Metals), Guangzhou 510650, China

Abstract: The failure of corrugated compensator made of 304 stainless steel was investigated using the optical microscope, SEM and microhardness testor. Many deformed slip-lines were observed in Austenite grains, and the carbide precipitates appeared between the grain-boundaries of Austenite. The fracture was brittle with characteristics of sugar candy pattern. There were the second deep cracks along the grains in the fracture. When the stainless steel with grain-boundary weakness was at work, initiation and propagation of micro-cracks happened due to stress, resulting in fatigue fracture in corrugated compensator.

Key words: the corrugated compensator; stainless steel; fracture; failure analysis