安全阀弹簧开裂原因分析

李勇

国能广投北海发电有限公司　广西北海　536000

摘要：对异常开裂失效的某电厂泵用安全阀弹簧的宏观形貌、化学成分、金相组织、微观形貌等进行了详细分析。结果表明：弹簧裂纹以沿晶脆性开裂特征为主，裂纹尖端尖锐，裂纹内有明显氧化，裂纹边缘无明显脱碳，为典型的淬火裂纹特征。

关键词：安全阀；弹簧；淬火裂纹

Fracture analysis for safety valve spring

LI Yong

Guoneng Guangtou Beihai Power Generation Co., Ltd., Beihai 536000, Guangxi, China

Abstract: The reasons leading to fracture for the safety valve spring was analyzed by means of morphology analysis, mechanical properties test, hardness test, metallographic test and other detection means. The results show that the cracks of spring are mainly characterized by intergranular brittle cracking, with sharp crack tips, obvious oxidation inside the cracks, and no obvious decarburization at the crack edges, which are typical quenching crack characteristics.

Keywords: safety valve; spring; quenching crack

1　序言

某电厂泵安全阀在线运行时，超过整定压力26.4MPa后，装置还不断升压至31MPa，运行温度为常温，经手动强制停止运行后，拆阀校验结论为合格。试验后，做回装前校验时，发现10MPa就泄漏，校验人员现场解体，发现密封面受损及弹簧有裂纹现象。图1所示为泵组及弹簧。该泵采用电动机作为驱动力，通过联轴器与机座部件相连；通过机座部件中的齿轮副将转速下降，驱动曲轴旋转，并带动连杆部件做往复运动，连杆部件带动柱塞作往复运动，达到输送介质的目的。泵的进口直接与水箱连接。泵的出口管路上配置了缓冲器及安全阀，缓冲器用于减小出口管路的压力脉动，安全阀用于系统管路压力过高时启跳泄压，对泵起到保护作用。安全阀启跳压力为泵额定排出压力的1.1～1.15倍调节整定，即26.4MPa，在设备出厂试验时设定完成。安全阀弹簧材料标准为ASTM A401/A401M—2015 《Standard Specification for Steel Wire，Chromium-Silicon Alloy》，表面镀镍，设计温度为100℃，正常运行温度为20～38℃。

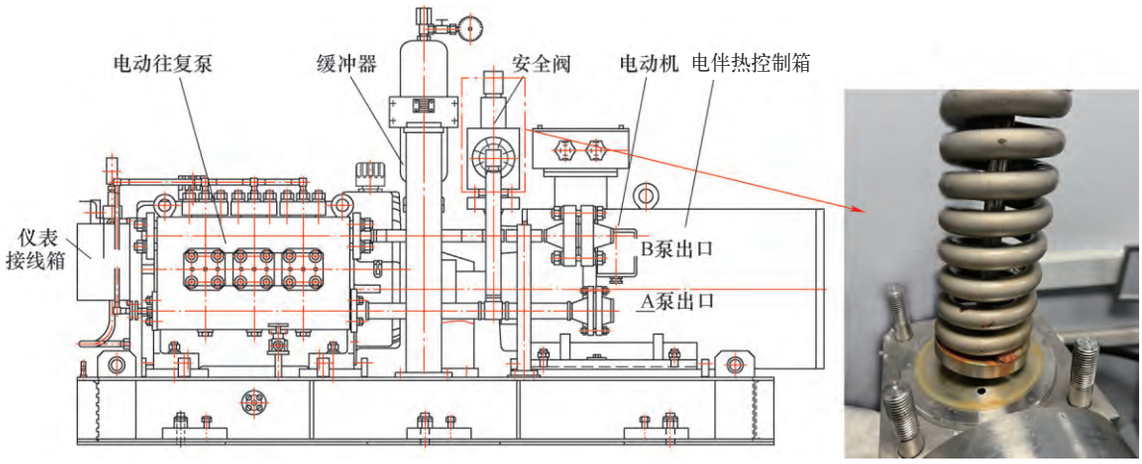
本文针对发生断裂的安全阀弹簧开展详细分析研究，通过分析找出开裂的原因，为综合治理该问题提供有效的依据。

2　试验结果

2.1　宏观形貌

图2所示为失效弹簧裂纹的宏观形貌。弹簧整

作者简介：李勇，本科，工程师，主要从事电厂金属监督管理和失效分析工作，E-mail：16080237@ceic.com。



a）泵组结构　　b）弹簧实物

图1　泵组结构及弹簧实物

体呈浅灰色，端面及表面局部可见锈蚀特征，一侧端面区域可见3条微裂纹，其中裂纹1、裂纹2在第一圈处，均位于内弧侧，裂纹呈圆弧形，断裂深度近$d/2$，第3条裂纹位于第二圈，与裂纹1、裂纹2在同一侧，形态也相似，裂纹边缘局部可见锈蚀特征。

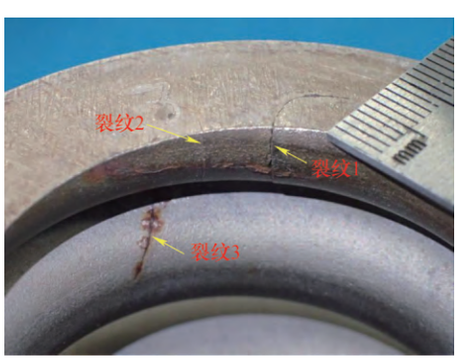


图2　失效弹簧裂纹宏观形貌

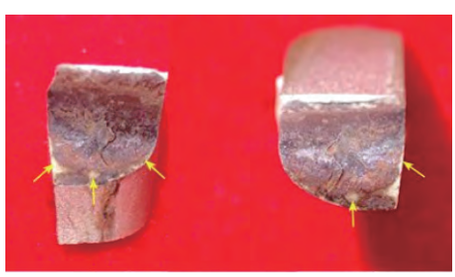
图3所示为裂纹1、裂纹2人为敲开后的断口形貌。由图3可见，断口原始裂纹区域呈蓝黑色，断口边缘局部呈银灰色（见图3中黄色箭头所指区域），靠中间区域局部可见红褐色腐蚀产物，断面较为平整，无明显塑性变形特征。人为敲断区域呈银灰色，塑性变形特征不明显。

2.2　化学成分分析

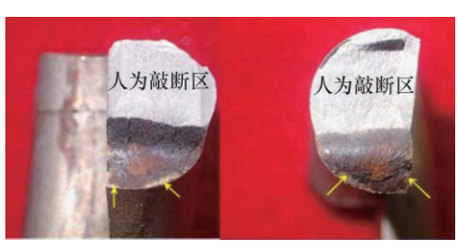
弹簧的化学成分分析结果见表1。取样位置处的各元素含量均满足ASTM A401/A401M—2015对材料成分成分的要求。

2.3　金相检测

图4所示为弹簧裂纹断口横截面金相检测结果。显微组织为回火屈氏体，断口近表层位置可见镀



a）裂纹1敲开后断口形貌



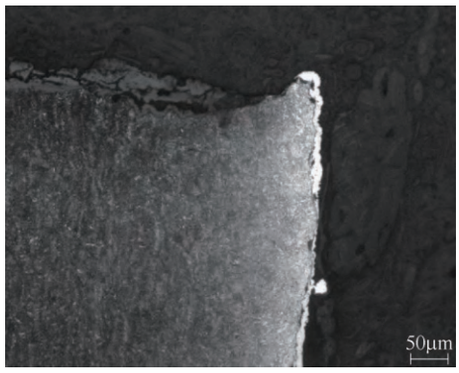
b）裂纹2敲开后断口形貌

图3　裂纹敲开后的断口宏观形貌

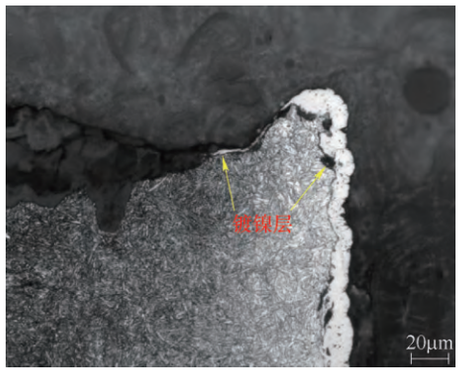
表1　弹簧化学成分分析结果（质量分数）　（%）

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr
裂纹附近	0.54	1.52	0.66	0.010	＜0.010	0.73
标准要求	0.51～0.59	1.20～1.60	0.60～0.80	≤0.035	≤0.040	0.60～0.80

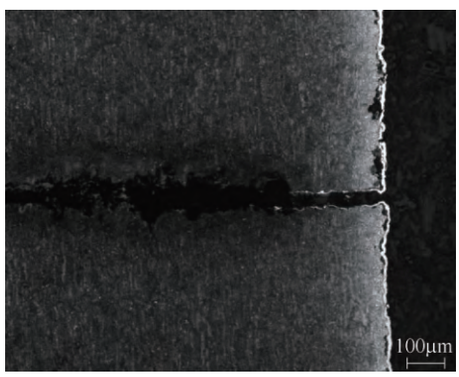
镍层，断口可见沿晶开裂特征，断面有氧化（见图4a、b）。断口附近发现一处微裂纹，微裂纹启裂处呈穿晶＋沿晶混合特征（见图4c箭头所指）。裂纹尖端为典型的沿晶开裂，裂纹内有明显氧化，裂纹边缘未见脱碳（见图4d）。裂纹尖端尖锐，近表面处裂纹内可见明显的镀镍层（见图4b）。



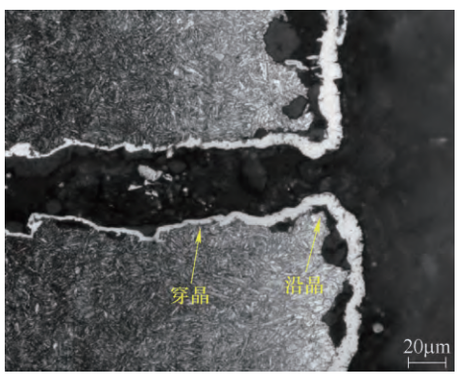
a）断口处形貌



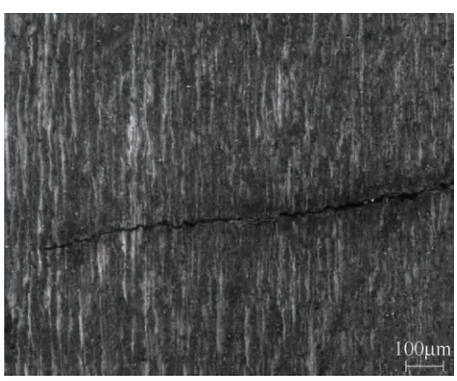
b）断口处放大形貌



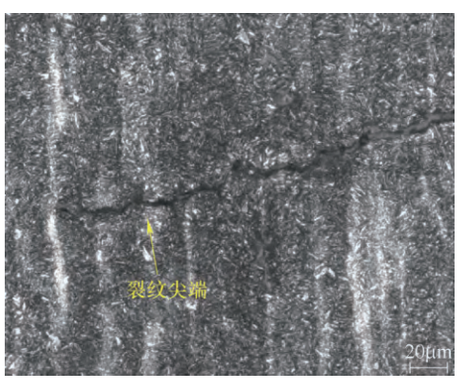
c）断口附近微裂纹形貌



d）断口附近微裂纹放大形貌



e）裂纹尖端形貌



f）裂纹尖端放大形貌

图4　弹簧裂纹2断口打开后纵截面金相检测结果

2.4　SEM微观观察和能谱分析

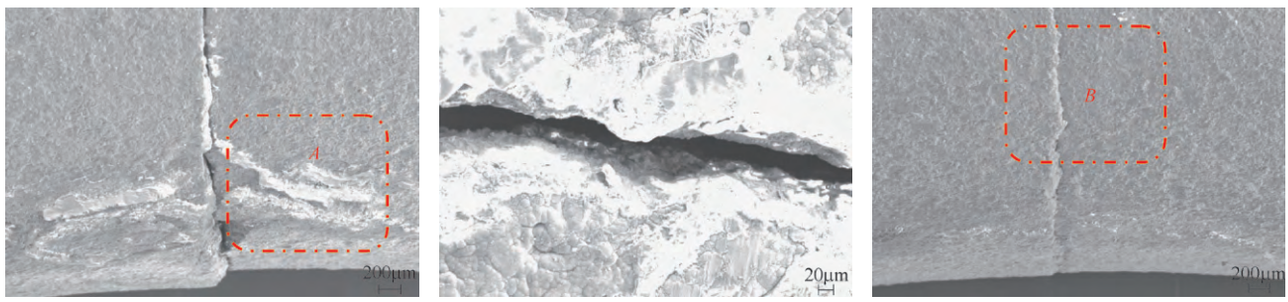
对失效弹簧裂纹打开前形貌，裂纹1和2打开后的断口D1、D2取样，以及金相检测发现的微裂纹进行扫描电镜分析和微区能谱成分分析，微观检测结果如图5～图7所示，能谱分析结果如图8～图11所示。

通过对表面、断口及裂纹形貌的电镜微观观察和能谱分析可以看出如下特征。

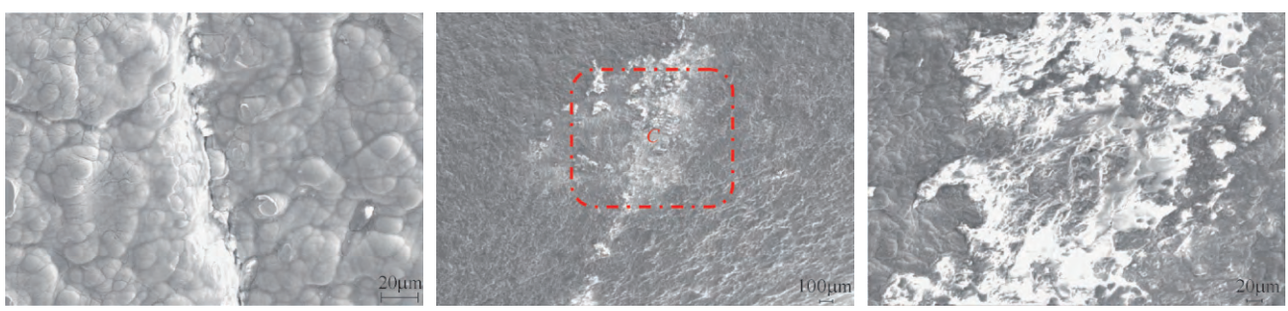
1）裂纹1和2可见明显的开口特征（见图5a、b），裂纹3未见明显开口，裂纹附近均可见铁的氧化物（见图5c）。

2）断口近表面处（对应宏观银灰色区域）形貌较为圆滑，与表面镀镍层形貌一致，且主要成分为镍元素，应为镀镍层，断口中部原始断裂形貌呈沿晶脆性开裂特征（见图6、图7）。

3）裂纹内近表面位置可见明显的镀镍层，裂纹内有明显的氧化，氧化物较为致密，裂纹尖端可见沿晶特征（见图8～图11）。

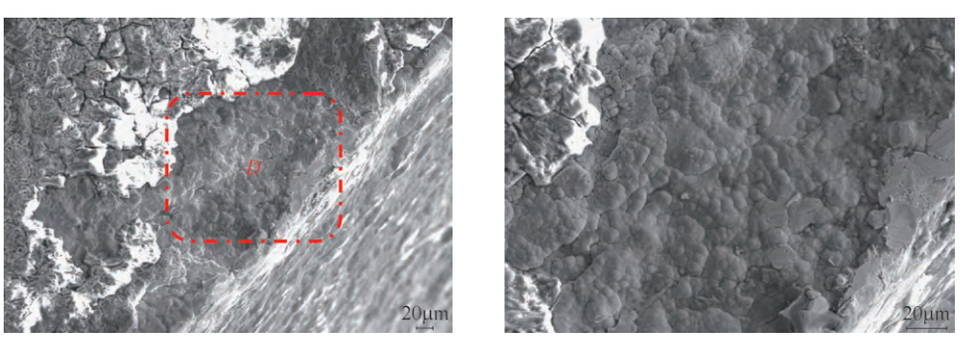


a）裂纹1表面形貌　　b）*A*部放大形貌　　c）裂纹2表面形貌

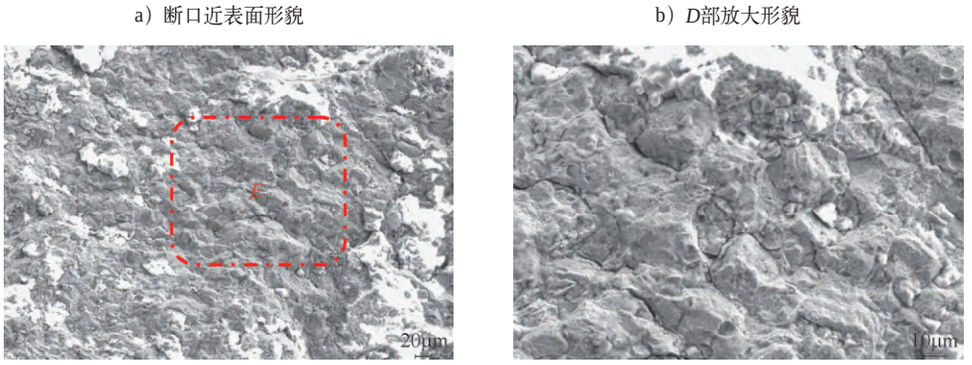


d）*B*部放大形貌　　e）裂纹3表面形貌　　f）*C*部放大形貌

图5　弹簧裂纹表面微观形貌



a）断口近表面形貌　　b）*D*部放大形貌



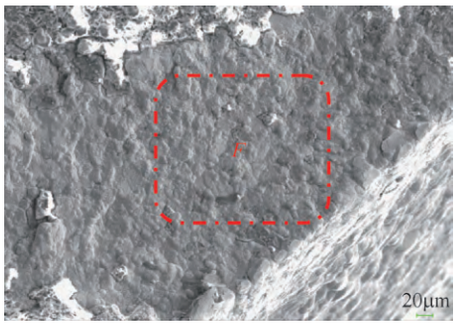
c）断口近中部形貌　　d）*E*部放大形貌

图6　弹簧裂纹1打开后的断口（D1）微观形貌

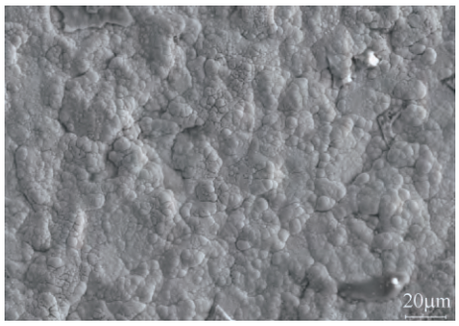
3　失效原因分析

通过上述理化检测可以看出，来样失效弹簧的化学成分满足ASTM A401—2015对材料化学成分的要求，显微组织为回火屈氏体，组织正常，弹簧表面未见明显脱碳，未发现材质错用的异常情况。

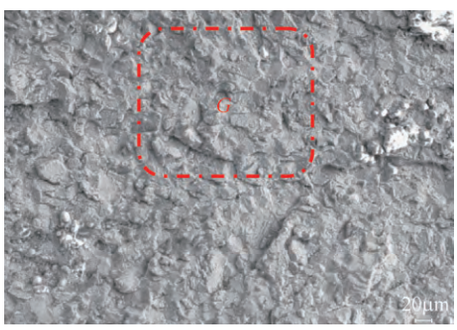
对弹簧裂纹表面形貌、主裂纹打开后的宏微观形貌、以及断面和微裂纹的截面微观形貌观察发现，弹簧断口边缘局部呈银灰色，微观形貌较为圆



a）断口近表面形貌



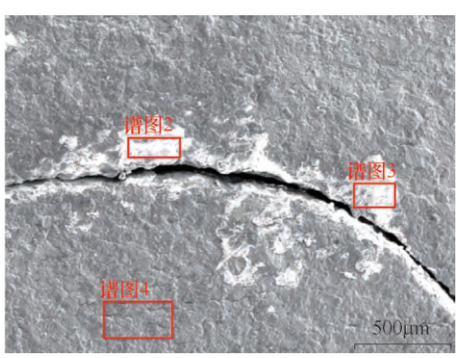
b）*F*部放大形貌



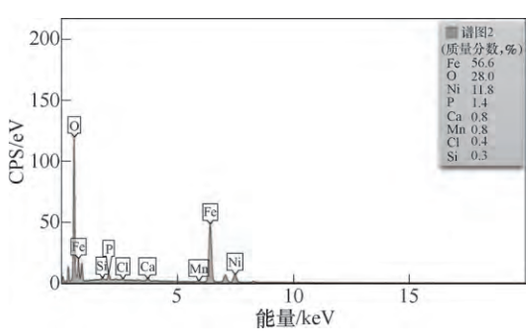
c）断口近中部形貌

d）*G*部放大形貌

图7　弹簧裂纹2打开后的断口（D2）微观形貌

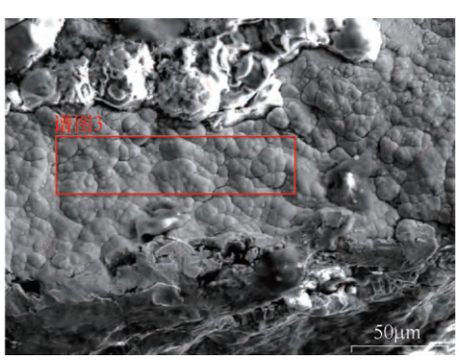


a）弹簧表面电子图像

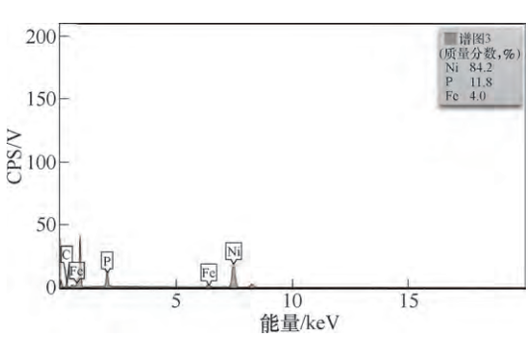


b）谱图2能谱分析

图8　弹簧表面能谱分析

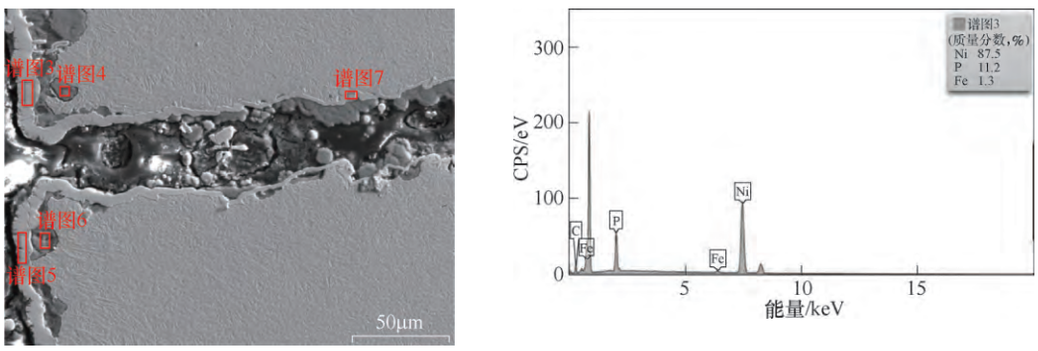


a）弹簧断口电子图像



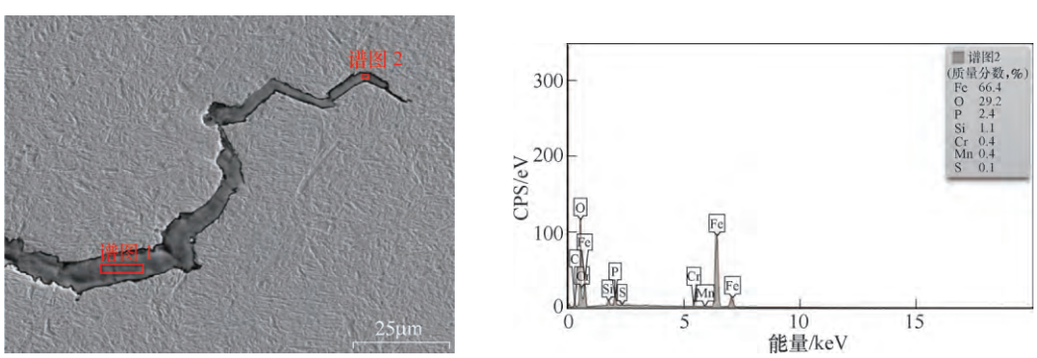
b）谱图3能谱分析

图9　弹簧断口能谱分析



a）弹簧裂纹截面1电子图像　　b）谱图3能谱分析

图10　弹簧裂纹截面1能谱分析



a）弹簧裂纹截面2电子图像　　b）谱图2能谱分析

图11　弹簧裂纹截面能谱分析

滑，与表面镀镍层形貌一致，且主要成分为镍元素，应为镀镍层。对裂纹观察也发现，近表面区域裂纹内可见明显的由表面向裂纹内延伸的白亮层，主要成分为镍元素，为镀镍层。由此表明，裂纹在弹簧镀镍之前已经形成，而在镀镍过程中，近表面区域的裂纹内也发生了镀镍，裂纹内镀镍后，裂纹趋于闭合。

另外，裂纹和断口特征均表明，裂纹以沿晶脆性开裂特征为主，裂纹尖端尖锐，裂纹内有明显氧化，裂纹边缘无明显脱碳，表明裂纹可能形成于某一高温过程，裂纹形成后发生了高温氧化。而安全阀设计温度为100℃，正常运行温度为20～38℃，运行过程中无高温环境，结合裂纹形成于镀镍之前，推断裂纹可能形成于某一热处理过程。裂纹形貌特征则与淬火裂纹特征较为符合，因此，分析裂纹性质为淬火裂纹[1，2]。弹簧材料为A401，碳含量较高，若热处理工艺控制不佳，如淬火冷速过快时易出现淬火裂纹[3，4]。

4　结束语

来样失效弹簧的化学成分满足标准对A401材料的要求，显微组织为回火屈氏体，组织正常，且弹簧表面未见明显脱碳。来样弹簧裂纹形成于镀镍之前，裂纹性质为淬火裂纹。建议从制造工艺、产品检测等方面进行改进，避免发生同类问题。

参考文献：

[1] 中国机械工程学会热处理学会. 热处理手册[M]. 北京：机械工业出版社，2008.

[2] 王忠诚. 热处理常见缺陷分析与对策[M]. 北京：化学工业出版社，2008.

[3] 杨刚，梁益龙，邹志勇，等. 列车缓冲器弹簧淬火开裂原因分析[J]. 机械工程材料，2009，33（8）：96-99.

[4] 张丽伟，刘素芬，王凡，等. 50CrVA钢板簧淬火开裂原因分析[J]. 金属热处理，2015，40（12）：201-203.

MW 20240105