

0Cr12Mn5Ni4Mo3Al不锈钢波形弹性垫圈断裂分析

郭先闯, 李晓峰, 陈小平

河南航天精工制造有限公司 河南信阳 464000

摘要: 某批0Cr12Mn5Ni4Mo3Al不锈钢波形弹性垫圈, 在装配后发现多件垫圈存在断裂现象。通过对断裂垫圈进行断口观察、显微组织分析及力学性能验证, 并观察了同批次未用垫圈外观, 分析发现该批次垫圈在冲裁成形时, 在最大变形处(波峰或波谷)产生了微裂纹, 导致在垫圈安装过程中表面受到较大张应力, 造成垫圈过载断裂。

关键词: 波形垫圈; 冷轧; 韧窝; 过载; 微裂纹

1 序言

0Cr12Mn5Ni4Mo3Al是我国开发的一种新型半奥氏体型和节镍控制相变沉淀硬化不锈钢, 该牌号在固溶状态下组织为奥氏体, 具有良好的韧性及加工成形性能, 经过适当冷变形、冷处理以及时效后, 组织转变为马氏体+沉淀强化相, 可获得很高的强度。该牌号由于其具有高强度、优良的耐蚀性, 在航空、航天等行业得到了广泛应用, 被用于生产各类紧固件^[1]。

本文针对某批材料为0Cr12Mn5Ni4Mo3Al不锈钢、内孔直径为3mm的波形弹性垫圈, 在装配后发现多件存在断裂现象, 因此对断裂件进行断口、力学性能和显微组织分析, 并与完好件人工断口比对分析等, 查找断裂原因。

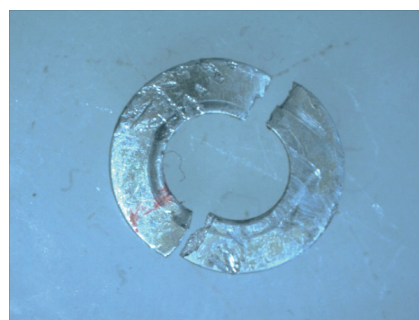
2 分析过程及结果

2.1 断口分析

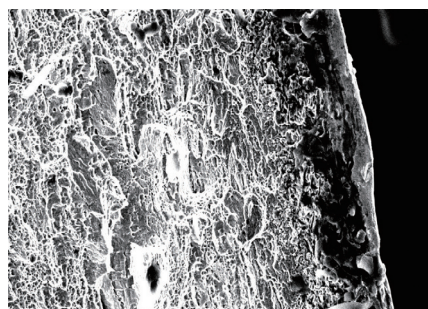
对断裂件进行宏观和微观断口分析, 断口形貌如图1所示。

图1显示了波形垫圈的断裂特征。断裂部位在垫圈中部, 呈对半断裂特征, 断口边缘擦伤较为严重。裂纹源区位于垫圈表层, 断面较为粗糙, 呈纤维状特征。裂纹源区呈黑色疏松状, 能谱分析氧元素含量较高, 扩展区与瞬断区主要以韧窝为主。

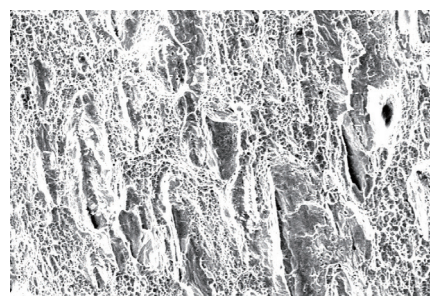
对该批未断裂件垫圈进行人工打断, 观察其断口形貌, 如图2所示。断口均为韧窝特征, 韧窝呈拉



a) 断裂形貌



b) 裂纹源区



c) 瞬断区

图1 断口形貌

长形貌，表层无黑色疏松层。

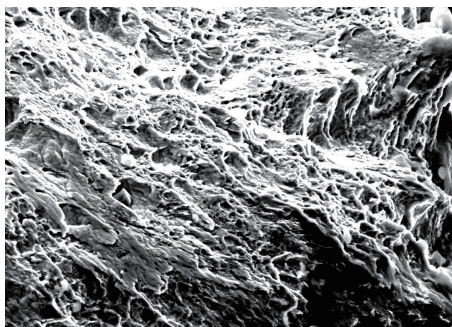


图2 人工打断断口形貌

2.2 力学性能验证

对断裂件及完好件进行硬度检测，结果见表1。断裂件与完好件硬度值较为接近，仅相差9HV。

表1 维氏硬度试验结果 (HV)

编号	1	2	3	平均值
断裂件	506	498	510	505
完好件	492	501	496	496

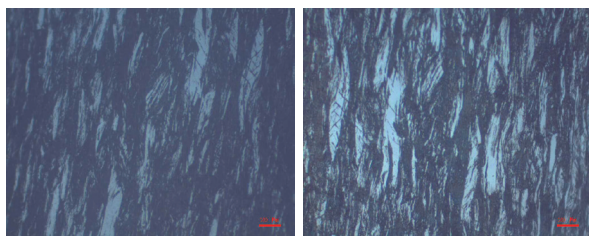
对同批次完好件，依据垫圈技术条件要求进行弹性试验，结果见表2。由表2可见，试验结果均符合技术条件要求。

表2 弹性试验结果

编号	标准值	实测/mm	合格判定
1	垫圈施加2900N的压力，并在此压力下保持5min。卸除压力后，高度(H)不应低于1mm的标准值，且表面应无裂纹	1.22	合格
2		1.30	合格
3		1.24	合格
4		1.28	合格
5		1.24	合格
6		1.22	合格
7		1.24	合格
8		1.22	合格

2.3 金相检查

对断裂件及完好件进行金相检验，具体结果如图3所示。



a) 断裂件 (500×) b) 完好件 (500×)

图3 显微组织对比

由图3可知，断裂件与完好件组织相同，均为马氏体+残留奥氏体+沉淀相，未发现过热、过烧等冶金缺陷。

2.4 完好件外观观察

对同批次剩余完好件进行外观观察，24件中发现1件在变形波峰处存在微观裂纹，说明该批垫圈表面存在原始裂纹，具体裂纹形貌如图4所示。



图4 完好垫圈裂纹形貌 (45×)

3 分析与讨论

通过对断裂件断口分析，断口主要呈韧窝形貌，裂纹源位于表层，裂纹向内部延伸；显微组织为马氏体+残留奥氏体+沉淀相，未发现过热、过烧现象；通过观察同批完好件外观形貌，发现24件中有1件存在裂纹，且裂纹延伸方向垂直于垫圈内外圆。

波形弹性垫圈加工工艺流程为备料（冷轧态）→冲裁成形→热处理→碱煮→滚光→表面处理→包装，由于该垫圈原材料为冷轧态，0Cr12Mn5Ni4Mo3Al不锈钢冷作硬化倾向大，在冲裁成形过程中，个别件在最大变形处（波峰或波谷）产生表面微裂纹，在热处理过程中微裂纹表面被氧化。在装配过程中裂纹受拉伸作用力而扩展，装配后受持久作用力，裂纹进一步扩展直至断裂。

4 结论及建议

该批波形弹性垫圈，在安装后检查中发现断裂：

- 1) 断裂形式为韧性过载断裂。
- 2) 由于原材料为冷轧态，强度较高，垫圈在冲裁成形时，在变形最大处（波峰或波谷）形成裂纹。
- 3) 建议适当降低原材料强度，并优化垫圈冲裁工艺，合理设置弯折参数。

参考文献：

- [1] 胡隆伟，等. 紧固件材料手册[M]. 北京：中国宇航出版社，2014：183-190.