



■ 蒋诚

碳氮共渗零件淬火裂纹分析

生产中经常出现渗碳或碳氮共渗后淬火裂纹，导致零件报废，既影响生产进度，也造成不必要的经济损失。因此，分析产生裂纹原因，避免再现，至关重要。

1. 问题描述

某单位生产4批零件，其加工工序如下：领料→车工→磨工→超声波检测→车工→磨工→碳氮共渗→高温回火→平磨→车工（开槽）→钻工→钳工→检验→淬火→回火→磨工→磁粉检测。

前3批零件均一次性合格，第4批（29件）零件加工至回火工序，喷砂后发现大量零件表面出现裂纹，如图1所示。

2. 查热处理原始记录

核查该批零件热处理原始记录纸，碳氮共渗830℃，保温7h，冷却箱+高温回火650℃保温310min空冷。淬火、回火工艺：盐炉810℃，保温23min，油冷+冰冷处理-60℃，保温3h，空冷+回火160℃，保温140min，空冷，均符合工艺资料参数要求。

3. 裂纹零件剖切分析

取表面产生裂纹的3个零件作外观、断口、成分、硬度及金

相组织等分析，其结果为：

（1）外观检查 如图1所示，零件外圆面存在大量裂纹，各零件外圆面纵向裂纹数量不一。外圆面大部分纵向裂纹均贯穿开槽部位，槽口两侧裂纹周向位置基本一致且一一对应，应为同一条裂纹；部分纵向裂纹存在拐弯现象及扩展至端面。

（2）断口检查 将零件裂纹人工打开进行断口观察：整个断口基本分为3个区域（见图2）。最外层为原始裂纹区，裂纹深度基本一致，约为0.3mm，断面氧化严重，无断口特征（见图3），经能谱分析，该区域内含少量O及微量S、Cl、K等元素。中间层为渗层范围内人工打断断面，微观形貌为准解理+少量韧窝（见图4）；内层为基体人工打断断面，微观形貌为等轴韧窝（见图5）。

（3）化学成分检查 经化学定量分析，结果如表1所示。

（4）硬度检查 渗层部位：63.2HRC、63.3HRC；心部：38.4HRC、38.8HRC。

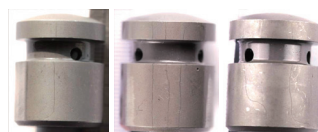


图1 零件外圆面裂纹

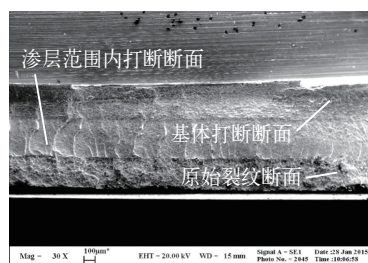


图2 裂纹打开后断口形貌

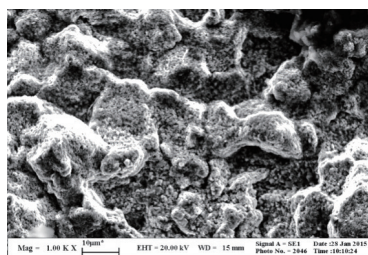


图3 断口原始裂纹区域形貌

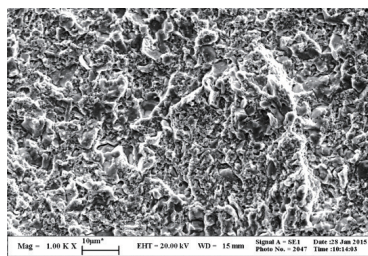


图4 渗层范围内人工打断断面准解理+韧窝形貌

表1 12Cr2Ni4A化学成分（质量分数）（%）

元素	C	S	Si	Mn	Cr	Ni	Fe
检测值	0.15	0.002	0.27	0.43	1.44	3.47	余
标准值	0.10~0.15	≤0.015	0.17~0.37	0.30~0.60	1.25~1.75	3.25~3.75	基

(5) 金相检查 剖切零件外圆面及顶部弧面裂纹, 所有剖切的裂纹深度及形貌基本一致, 深度均约0.3mm, 裂纹开口及宽度均较大, 耦合性较差, 尾端圆钝, 裂缝内可见大量氧化物, 裂纹两侧基体可见大量弥散分布的颗粒状氧化物; 腐蚀后观察渗层表面存在一层厚约25 μm的碳化物带, 裂纹开口两侧碳化物带未沿裂纹分布, 裂纹附近组织与正常部位无明显差异, 如图6~图8所示。零件渗层组织为细针马氏体+碳化物, 心部组织为板条马氏体。

(6) 渗层检查 渗层深度及硬度梯度检查结果如表2所示。

4. 分析与讨论

针对裂纹零件剖切结果, 分析如下:

(1) 零件外圆面纵向裂纹的数量、走向不一, 故零件裂纹的产生与原材料状态无关。

(2) 由裂纹的剖切金相检查可知, 裂纹部位渗层深度与无裂纹部位渗层深度及形貌均基本一致, 裂纹开口部位碳化物层与正常部位无明显差异, 且碳化物未沿裂纹分布, 裂纹附近渗层组织与同样深度正常部位组织无明显差异, 由此可以判定碳氮共渗前零件表面无裂纹。

(3) 从裂纹剖面形貌上看, 所有裂纹深度基本一致, 裂纹开口及内部宽度较大, 耦合性差, 尾端圆钝, 裂纹内部可见大量氧化物, 裂纹两侧基体可见大量弥散分布的颗粒状氧化物, 裂纹形貌不符合淬火应力裂纹形态特征, 且淬火后续回火温度仅为

160℃, 缺少产生大量氧化物的环境, 由此可以排除淬火冷却过程及后续过程开裂的可能。

(4) 从零件槽口两侧裂纹的分布情况来看, 大部分裂纹槽口两侧周向位置基本一致且一一对应, 槽口两侧的裂纹应为同一条裂纹, 由此可以判定裂纹应在开槽之前就已经存在; 零件外圆面开槽为在淬火工序之前进行, 故排除淬火过程中开裂的可能。

综上所述, 该零件表面裂纹产生应在碳氮共渗工序与车工(开槽)工序之间。

5. 调查热处理过程

根据上述结果分析和判断, 排除淬火裂纹, 继续了解有关操作者实际加工过程, 得知零件碳氮共渗后出炉, 在转至冷却箱过程中桥式起重机发生短期故障, 导致零件在空中停留时间太长, 造成零件表面氧化脱碳。

表层先形成极薄的一层屈氏体组织, 在下面保留一层未转变的奥氏体, 在随后冷却过程中使表面产生拉应力的作用, 为宏观裂纹产生创造了条件, 在后续砂轮磨削和车工开槽过程中, 残留奥氏体转变成马氏体, 造成表面的体积膨胀, 由于该零件开槽较深, 当磨削温度达到250~300℃时, 组织转变加快, 碳氮共渗层的脆性增大, 加上冷却不及时等

造成磨削裂纹, 其特征为裂纹沿着网状渗碳体面形成微小波纹状^[1], 零件在淬火后, 由于组织应力和热应力影响, 扩大了原有的微裂

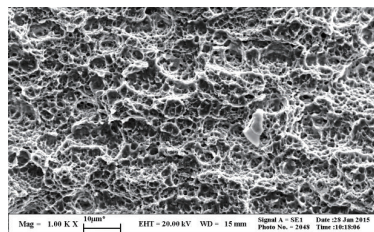


图5 基体人工打断断面等轴韧窝形貌

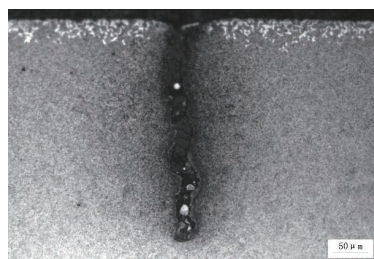


图6 裂纹腐蚀态形貌

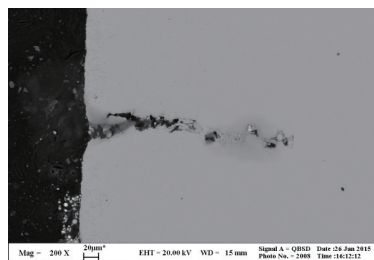


图7 裂纹背散射形貌

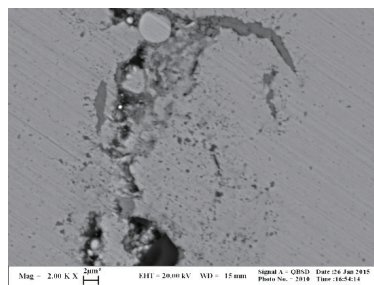


图8 裂纹内部氧化物及裂纹两侧基体颗粒状氧化物

表2 渗层深度及硬度梯度检查

位置	距表面垂直距离/mm								有效硬化层深度/mm
	0.05	0.15	0.25	0.35	0.45	0.55	0.65	0.75	
	硬度梯度HV0.5								
裂纹附近1	789	766	757	754	709	642	585	513	0.70
裂纹附近2	774	771	766	759	713	640	585	527	0.71
正常部位1	813	799	787	761	715	645	577	527	0.70
正常部位2	812	805	792	757	713	647	582	528	0.71

新产品开发中的材料与热处理

■ 牛万斌, 吴思良, 张世新

1. 新产品开发注意事项

作为热处理行业工程技术人员, 尤其是在企业工作的热处理技术人员, 惯常的本职工作就是按照客户要求, 制订合理的热处理工艺, 实现技术文件(图样)技术要求。但是, 产品的生产制造是一个系统工程, 尤其是新产品开发, 在其从无到有, 从图样设计到成品应用的过程中, 各个环节必须要相互配合, 彼此协调, 最终实现产品的使用功能, 如果各自为营, 各管一段, 往往难以达到新产品设计目标, 生产出低端产品。

热处理技术作为产品的“内科医生”, 应该放大视角, 瞻前顾后, 所谓“瞻前”, 就是关注产品选材, 关注产品的生长基因; “顾后”就是对走出热处理

工序的产品继续关注, 关注其热后工序, 甚至其装配、服役情况, 承载能力及使用寿命问题等。

2. 新产品技术要求苛刻

下面通过一件实例, 来反映材料及热处理技术在新产品开发中的作用和影响。

2016年技术部门接到客户某新产品的技术文件, 产品结构如图1所示。

图样技术要求中规定了材料, 即AISI 4140 (相当于国产42CrMo) 以及“具体”的热处理工艺, 即调质+感应淬火: 加热到845℃并保温1h→油淬后检测, 淬火态硬度58~62HRC→300℃回火时间1h→冷却至室温, 硬度40~45HRC; 一

次性感应淬火→180℃回火1h→冷却至室温检测→表面硬度58~62HRC, 心部硬度40~45HRC→有效硬化层深度0.4~0.8mm。

看到图样及其技术要求后, 我们非常为难。在机械行业里, 4140钢是典型的轴件材料, 与感应淬火强化工艺也是常用搭配, 所以上述技术要求的初衷没有问题。但问题在于该技术要求过细, 既规定了结果, 又规定了过程; 某些要求不合理, 结果难以实现。例如: 40~45HRC的调质硬度, 后面的机加工(刀具)怎么承受? 0.4~0.8mm的硬化层深度, 感应热处理怎么保证? 整个轴件一次性感应淬火, 尤其是端部内花键, 如何实现? 如此复杂的外形、结构, 对应的感应器(圈)制作也有很大难度。

对此, 我们经过谨慎考虑、权衡, 并与客户协商, 对该零件的原设计做出修改: 材料改为SAE8620H; 热处理改为渗碳淬火。

3. 技术要求修改后实施

修正后的产品生产流程为: 锻造→等温正火→粗车、精车→插内花键→铣孔、攻螺纹孔→渗碳淬火(螺纹防渗)→抛丸→研

微裂纹, 从零件表面裂纹看, 裂纹只是沿着槽口产生, 槽底并没有出现裂纹。

6. 结语

该零件由于碳氮共渗冷速较慢, 导致砂轮磨削和车工开槽工序加工过程中, 造成零件表面裂纹。

参考文献

- [1] 王忠诚, 王东. 热处理常见缺陷分析与对策[M]. 北京: 化学工业出版社, 2012.

作者简介: 蒋诚, 中国航发南方工业有限公司热表处理中心, 从事热处理技术工作。

MW 20161109