# 车轮感应淬火开裂分析及改善

刘卫华
常州宝菱重工机械有限公司　江苏常州　213019

**摘要**：采用化学成分检验、宏观和微观检测对42CrMo钢车轮感应淬火开裂的原因进行分析，结果表明：内孔环槽及减重孔淬火前加工、淬火表面温度控制、淬火冷却介质浓度、淬火应力都对车轮淬火裂纹的形成产生影响。根据分析结果制定合理的改善措施，有效地解决了车轮感应淬火开裂问题。

**关键词**：车轮；感应淬火；AQ251；开裂；应力

## 1　序言

2019年，常州宝菱重工机械有限公司生产的一批42CrMo钢车轮，共152件，在成品MT检测过程中发现79件出现开裂，开裂位置主要为小外圆端面宽度55mm环槽靠近外圆侧根部圆角处、沿减重孔孔口处和大外圆台阶根部圆角处。为查找开裂原因，对开裂车轮进行理化检测及分析。

## 2　产品信息

车轮材质为42CrMo合金结构钢，图样设计$\phi$350mm外圆及踏边感应淬火处理，硬度55~61HRC，淬硬层深度2~4mm，车轮结构如图1所示。

车轮生产工艺流程：毛坯锻造→粗加工（UT检测）→调质→半精加工（MT检测）→淬火→精加工

---

图5所示。

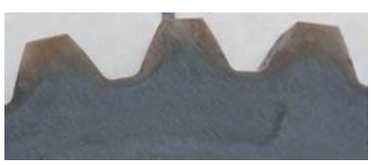


图3　方案一花键淬火后切片宏观形貌

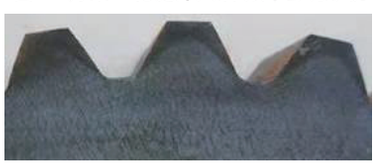


图4　方案二花键淬火后切片宏观形貌

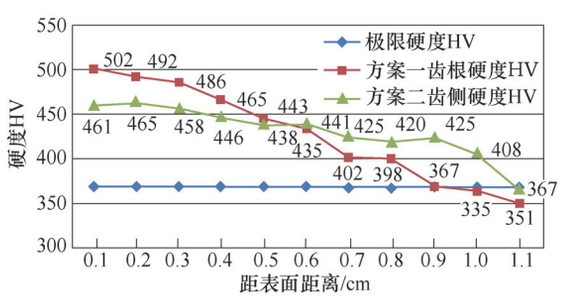



图5　外花键显微硬度趋势

从图5检测结果得出，采用方案一工艺参数进行淬火后，齿根部位淬硬层深度为0.9mm，其余部位淬硬层深度大于1mm，采用方案二工艺参数淬火后，齿侧部位淬硬层深度为1.1mm，采用方案一和方案二工艺参数淬火后，硬度均满足技术要求。

## 3　结束语

1）在频率为10kHz左右，针对直径为175mm的小模数外花键，采用扫描淬火方法，通过调整感应淬火移动速度可得到理想的淬硬层深度和淬火区域，且淬火后花键棒间距变形较小，变形趋势均为棒间距增大，可通过内控尺寸的方式保证图样技术要求。

2）通过采用目测法观察花键齿面及齿根淬火情况，有一定的参考性，但对操作者技能要求较高，为了确保感应淬火区域准确性，需采用实体切片破坏检测淬火区域及淬硬层深度。

MW 20201120

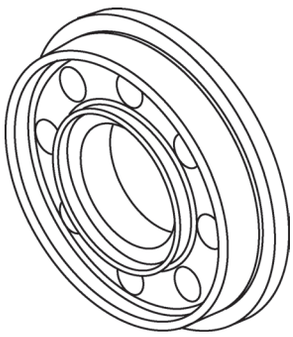


图1　车轮结构

（MT检测）。车轮淬火采用正火圈感应加热方式，待淬火表面加热至淬火温度且均匀后，整体浸入AQ251水溶性有机淬火液中，进行快速冷却，达到表面淬火目的。

## 3　理化检验

### 3.1　宏观检测

车轮感应淬火后，在三个部位出现了裂纹，宽度55mm环槽靠近外圆侧底部圆角处裂纹形貌如图2所示；沿减重孔孔口位置裂纹并向外延伸，部分裂纹已延伸至外圆表面，如图3所示；外圆台阶根部圆角处裂纹并环向延伸，如图4所示。

图2　55mm环槽靠近外圆侧底部圆角处裂纹

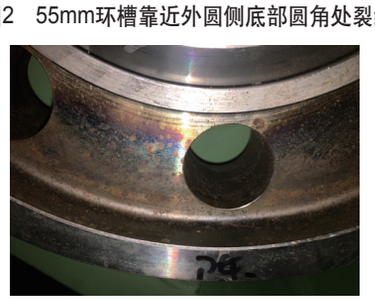


图3　沿减重孔孔口位置裂纹

图4　外圆台阶根部圆角处裂纹

### 3.2　化学成分分析

对开裂车轮取样后进行化学成分分析，结果见表1。对比GB/T 6396—2006《大型合金钢锻件　技术条件》[1]中对42CrMo钢的化学成分要求，符合标准。

表1　42CrMo钢化学成分（质量分数）　（%）

| 元素 | C | Si | Mn | Cr | Mo | S | P |
|---|---|---|---|---|---|---|---|
| 标准值 | 0.38~0.45 | 0.17~0.37 | 0.50~0.80 | 0.90~1.20 | 0.15~0.30 | 0.035 | ≤0.035 |
| 实测值 | 0.42 | 0.24 | 0.65 | 1.08 | 0.19 | 0.014 | 0.006 |

### 3.3　硬度分布检测

在车轮开裂位置截面取样进行硬度分布检测，如图5所示。从图中可以看出，车轮外圆及踏边均已被淬硬，淬硬层较深且已经到达宽度55mm环槽部位。分别沿*A*、*B*、*C*、*D* 4个位置或方向进行硬度检测，图中阴影淬硬部分硬度基本在50HRC以上，淬硬层深度9mm以上，外圆台阶根部硬度稍低，在40HRC左右。

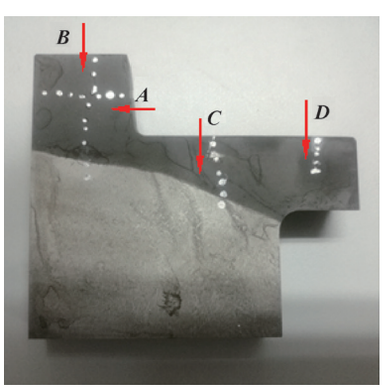
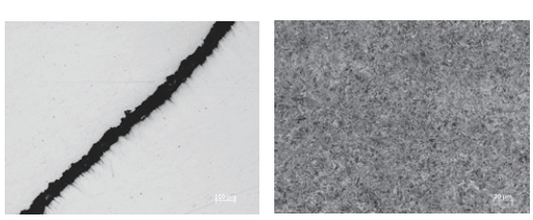



图5　截面淬硬层深度

### 3.4　金相检测

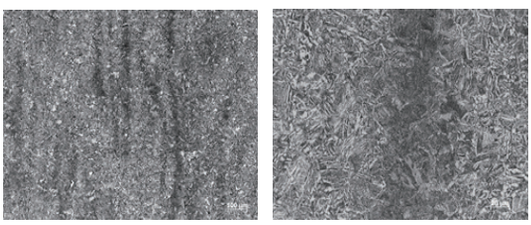
在车轮开裂位置取样进行金相检测。裂纹两侧组织与其他部位基本一致，组织为回火细针、针状马氏体+少量残留奥氏体，如图6所示。此裂纹属典型的淬火裂纹，金相为正常淬火+低温回火组织[2]。



a）100×　　b）500×

图6　裂纹两侧组织

基体组织存在明显偏析现象，组织为回火索氏体+铁素体，如图7所示。



a）100×　　b）500×

图7　基体组织

### 3.5　淬火冷却介质冷却特性检测

车轮表面淬火冷却介质采用的是AQ251水溶性有机淬火液，对其进行淬火冷却特性检测，结果见表2。

表2　AQ251水溶性有机淬火液淬火冷却特性

| 检测项目 | 参照标准 | 检测结果 |
|---|---|---|
| 折光读数 | — | 8.5 |
| 运动黏度（40℃）/$mm^2 \cdot s^{-1}$ | GB/T 265—1988 | 4.44 |
| 最大冷却速度/$℃ \cdot s^{-1}$ | GB/T 30823—2014 | 147.63 |
| 300℃冷却速度/$℃ \cdot s^{-1}$ | GB/T 30823—2014 | 55.69 |
| 结论 | 来样样品浓度在10%左右 | |

### 3.6　应力检测

对淬火后的车轮外圆及环槽近外圆表面进行应力检测，结果表明，车轮淬火+低温回火后应力高达600~1000MPa。放置两个月后重新进行应力检测，结果为100~500MPa，应力明显减小。

## 4　分析与讨论

1）车轮热处理方式为正火圈感应淬火，为使外圆及踏边达到淬火温度，加热时间约5min，加热时间较长，透热深度较深。内孔环槽及减重孔在半精加工时已加工好，致使外圆部位较薄，淬火透热深度又刚好至此环槽底部，孔口为锐角，处于应力集中位置，车轮淬火应力大，致使工件开裂。

2）车轮感应淬火过程中，外圆台阶根部由于基体吸热原因，致使此部位温度较其他地方低，淬火后硬度明显低于正常淬火硬度，硬度偏差产生较大组织及热应力，车轮在此部位产生了开裂。

3）AQ251水溶性有机淬火液实际检测浓度仅为10%，低于实际折光仪读数计算浓度23.8%，300℃冷却速度为55.69℃/s，冷却速度较快，此温度正好处于42CrMo钢淬火马氏体转变温度范围内[3]，较快的感应淬火冷却速度加快了马氏体组织转变，形成较大的淬火组织应力，引起工件开裂。AQ251水溶性有机淬火液长期使用后出现老化，不能再简单通过折光仪读数计算其实际浓度。

4）车轮感应淬火后低温回火温度仅150℃，回火温度较低，淬火后应力未能得到消除，检测结果显示应力高达600~1000MPa，部分位置已高于基体强度，从而引起工件开裂，长时间放置后应力逐渐释放，下降明显。

## 5　改善措施

1）更改车轮感应淬火前的加工方式，将内孔环槽及减重孔放于车轮感应淬火之后的精加工工序，增加淬火外圆处有效尺寸，可避免减重孔口锐角，减少淬火开裂倾向。

2）在感应淬火过程中严格控制淬火温度，遵循迅速到温，低功率保温，促使加热区温度均匀的原则，减少淬火面因淬火应力差异而导致的开裂。

3）在AQ251水溶性有机淬火液中加入新液或重新配制，定期进行淬火液冷却特性检测，浓度控制在20%左右，300℃冷却速度控制在45℃/s左右，以减少因淬火冷却速度过快而引起的开裂。

4）适当提高回火温度至200℃，延长回火保温时间，尽可能地消除淬火后的应力，避免工件开裂。

## 6　结束语

通过以上改善措施，对后续补制的车轮进行感应淬火生产，未出现淬火开裂现象，使车轮淬火开裂问题得到了有效控制，产品的质量稳定性得到了提升。

**参考文献：**

[1] 机械工业大型铸锻件标准化委员会.大型合金结构钢锻件技术条件：JB/T 6396—2006[S].北京：机械工业出版社，2007.

[2] 机械工程学会热处理分会.热处理手册：第一卷[M].4版.北京：机械工业出版社，2008.

[3] 吴承建，陈国良，强文江.金属材料学[M].3版.北京：冶金工业出版社，2016.

MW 20201015