

# 大型铸锻件齿轮裂纹原因分析及改进

河北天择重型机械有限公司 （邯郸 056200） 赵燕燕

零部件材质、结构的不同，对热处理后的形变影响极大，严重时会出现裂纹等缺陷。现就一起热处理事故进行分析，在满足使用性能的条件下，从热处理的工艺角度出发，对大型铸造齿轮调质后，出现严重的淬火裂纹。对开裂原因进行分析，发现PAG淬火冷却介质冷却速度改变影响较大，通过调整工艺参数，综合各个生产环节进行分析，改善并提高大型铸件质量，为后续大型铸锻件的热处理提供参考。

齿轮加工工艺流程为：外委毛坯（正火态）→无损检测→粗车→化验→热处理→无损检测→精车→滚齿→插键槽→装配。

### 1. 齿轮的基本参数及加工情况

(1) 齿轮为人字齿铸造大齿轮（见图1），材质为ZG42CrMo，法向模数 $m_n=16$ ，齿数 $Z=170$ ，净重18.1664t，调质硬度为280~310HBW。

(2) 齿轮毛坯返厂后进行超声波检测，结果合格。

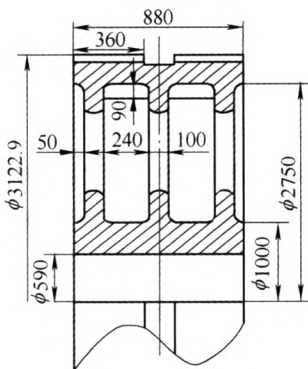


图1 齿轮基本尺寸

粗车时从齿轮上取样做材质化验，具体化学成分见附表。与标准对比，材质成分合格。

毛坯主要化学成分（质量分数） (%)

| 元素  | C                 | Mn                | Si                | S      | P      | Cr                | Mo                |
|-----|-------------------|-------------------|-------------------|--------|--------|-------------------|-------------------|
| 标准值 | 0.38<br>~<br>0.45 | 0.60<br>~<br>1.00 | 0.30<br>~<br>0.60 | ≤0.035 | ≤0.035 | 0.80<br>~<br>1.20 | 0.20<br>~<br>0.30 |
| 实测值 | 0.40              | 0.70              | 0.39              | 0.02   | 0.02   | 1.16              | 0.20              |

于255MPa、420MPa及GJB1694-1993规定的不小于68HRB的要求（见表3）。

表3 PAG淬后薄壁深腔零部件力学性能测量结果

| 介质     | 屈服强度/MPa | 抗拉强度/MPa | 硬度HRB |
|--------|----------|----------|-------|
| 15%PAG | 257.6    | 534.7    | 77    |

从尺寸变形量上看，PAG淬后，薄壁深腔零部件垂直变形量≤0.02mm（见表4）。

表4 PAG淬后薄壁深腔零部件的尺寸变形量测量结果

| 内容       | 技术要求   | 水淬后（机械加工） |
|----------|--------|-----------|
| 垂直变形量/mm | φ 0.02 | φ 0.010   |

### 4. 结语

薄壁深腔零部件采用PAG介质固溶处理后的残留应力较小，残留应力值为10~40MPa；经PAG介质固溶处理后的尺寸变形量较水介质减小；采用PAG介质固溶处理方法可以使表面与心部的降温速度一同变慢，减小了温度梯度，从而减小了残留应力值。

综上所述，针对薄壁深腔零部件选用PAG介质进行淬火，可以控制残留应力，提高尺寸加工稳定性，满足设计性能要求。**MW** （20130704）

## 2. 热处理工艺的制订以及执行结果

(1) 相对于以往处理的工件, 该齿轮尺寸大、吨位重, 为了避免过大的热应力, 要求齿轮低温装炉, 控制加热速度, 并且采用了阶梯式加热。最终制订的热处理工艺如图2所示。

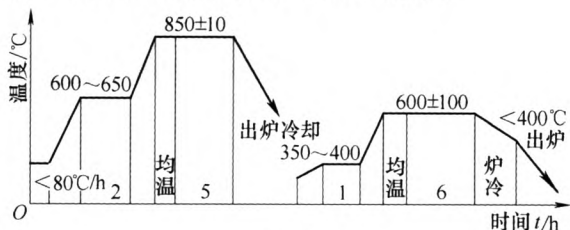


图 2

工件出炉淬火冷却介质采用浓度为10%的PAG水溶性淬火冷却介质, 冷却时间为30min。

(2) 工件回火完毕降温至约40℃时, 采用便携式硬度计进行硬度检测, 在齿轮的周围共测6个点, 硬度为288~295HBW, 符合技术要求。

但对齿轮进行外观检查时发现, 在齿轮的外圆出现了多条淬火裂纹, 经渗透法检测, 个别裂纹最长达到150mm, 粗车去掉氧化皮, 超声波无损检测到裂纹深度达10~15mm, 已经超出了齿轮的余量, 由于是关键部位, 无法进行焊接修复, 直接判报废。

## 3. 淬火裂纹原因分析

对此结果进行了整体的分析, 最后认为热处理工艺考虑不周全, 使得齿轮在处理过程中产生了较大的应力, 并且没有得到及时的消除, 从而导致开裂报废。主要的失误有以下几点:

(1) PAG水溶性淬火冷却介质冷却性能考虑不足 PAG水溶性淬火冷却介质冷却性能不但受浓度影响, 受温度影响也较大, 处理齿轮时为冬天, 且室内温度低于10℃, 冷却性能介于水油之间的PAG淬火冷却介质在温度的影响下会更加趋向于水, 冷却速度加大。考虑到该因素, 在实际操作中延长了预冷时间, 以求降低淬火应力, 但对于淬火冷却介质冷却性能变化程度来说, 改变力度还是小了些。

(2) 终冷温度过低 由于PAG淬火冷却介质冷却速度加快, 工件相对以前冷却速度加快了, 采取与以前同样的淬火冷却时间, 就会造成工件降温较多, 终冷温度降低, 马氏体的整个转变完全

在剧烈的介质中完成, 会产生较大的应力。而对于大型铸件来说终冷温度不宜过低。事实上, 根据现场齿轮的温度测试, 工件终冷温度在100℃以下, 对于这样的大工件来说确实温度过低了。

(3) 回火不及时 为了保证PAG淬火冷却介质原液的充分回溶, 因此淬火与回火之间的停留时间较长, 造成组织应力没有及时消除。

由于以上原因的综合体现, 导致齿轮淬火后的应力较大, 且没有及时回火消除应力, 从而造成淬火开裂。

## 4. 解决方案

根据分析结果, 淬火介质冷却速度增大为主要因素, 若要降低冷却速度, 则需增加原液或提高温度, 但由于冷却池容量较大, 调节浓度需要大量成本投入, 所以决定从相关联的因素进行调节, 以降低冷却速度影响。

(1) 降低工件的淬火温度 当气温较低、PAG淬火冷却介质的温度低于10℃时, 根据降温幅度, 将淬火温度降低10~20℃, 来降低PAG淬火冷却介质冷却性能提高的影响, 并在回火时适当降低温度, 保证硬度要求。

(2) 缩短冷却时间, 提高终冷温度 在PAG淬火冷却介质温度低于平常使用温度时, 冷却系数按降温幅度调整为正常的3/4~4/5, 防止工件终冷温度过低, 造成较大的应力聚集。

(3) 及时对工件进行回火处理 淬火冷却后人工采用干净的扫帚等工具迅速将工件上的原液清理, 使原液回池回溶, 对工件的外观进行检查, 无裂纹等缺陷后装炉及时回火。

## 5. 结语

通过实施以上措施, 又经过两个冬天的实践后证明上述方案切实可行, 质量与技术要求均得到保证。

实际生产中, 热处理的工艺性必须充分考虑各个方面因素的影响, 不仅要考虑淬火冷却介质本身的影响, 其他外在因素如气温造成的影响绝对不能忽略掉, 否则就会造成损失。由于各个因素之间都联系紧密, 因此通过改变相关联的因素也可以达到工艺的现实性以及经济上的合理性。

MW (20130704)