

减速机齿轮开裂原因分析

吴雪敏¹, 张辰²

1. 大连大重检测技术服务有限公司 辽宁大连 116000

2. 大连华锐重工集团股份有限公司通用减速机厂 辽宁大连 116000

摘要: 某厂走行减速机用齿轮磨齿后发现裂纹。通过宏观检查、化学成分分析、金相组织全面检验、硬度检测, 查找裂纹产生原因。结果表明: 齿轮键槽根部加工粗糙、过渡圆角形状不规则, 渗碳层中存在粗大的针状马氏体及较多的残留奥氏体, 齿轮残余内应力较大, 导致齿轮开裂。

关键词: 齿轮; 开裂; 加工; 内应力

某厂走行减速机用齿轮磨齿后, 多件在齿轮内孔键槽孔壁圆周方向及齿轮端面发现裂纹, 齿轮材质为18CrNiMo7-6, 生产流程: 粗加工→渗碳淬火+回火→精加工(开键槽等)。为确定齿轮裂纹产生原因, 进行了一系列检验与分析。

1 试验过程与结果

1.1 宏观检查

齿轮外圆周、内孔键槽孔壁圆周方向及端面均发现较长裂纹, 部分端面裂纹两侧呈翘起状, 如图1所示。沿裂纹打开后, 观察断口形貌, 大部分呈细瓷状银色金属光泽, 未见陈旧性断口, 裂纹源在键槽根部拐角处。从裂纹源向四周可见明显放射状花纹及撕裂棱, 为高应力脆性开裂断口形貌, 如图2、

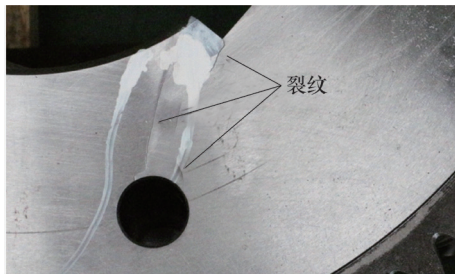


图1 齿轮裂纹部位及形貌

图3所示。键槽加工粗糙, 线切割加工痕迹清晰。



图2 齿轮断口宏观形貌



图3 齿轮裂纹源位置

1.2 化学成分检验

用ICP电感耦合等离子体发射光谱仪对齿轮化学成分进行检验, 结果符合EN 10084—2008《渗碳钢交货技术条件》要求。检测结果见表1。

表1 齿轮化学成分(质量分数) (%)

成分	C	S	P	Mn	Si	Cr	Ni	Mo
标准要求	0.15~0.21	≤0.035	≤0.025	0.50~0.90	≤0.40	1.50~1.80	1.40~1.70	0.25~0.35
开裂齿轮	0.18	0.002	0.016	0.76	0.23	1.68	1.62	0.27

1.3 硬度及金相检验

齿轮渗碳层深度约为1.58mm，齿面平均硬度为725HV1，心部硬度为43.0HRC，均符合图样技术要求。

按照GB/T 10561—2005《钢中非金属夹杂物含量的测定标准评级图显微检验法》中B法检验评定，各类非金属夹杂物均优于0.5级；按GB/T 6394—2017《金属平均晶粒度测定方法》检验评定，晶粒度为6.5级。

齿轮渗碳层组织为极少量细颗粒状碳化物+粗针状马氏体+较多的残留奥氏体，按GB/T 25744—2010《钢中渗碳淬火回火金相检验》评定为碳化物1级、马氏体5级、残留奥氏体6级，不满足GB/T 3480.5—2008《直齿轮和斜齿轮承载能力计算第5部分：材料的强度和质量》中对渗碳钢表层组织及残留奥氏体含量的要求，如图4所示。

在裂纹源处切取试样，打磨抛光后经4%硝酸酒精腐蚀液腐蚀，用显微镜观察，键槽表面存在一层白亮层，键槽表面加工粗糙，根部呈不规则形态，并有显微裂纹存在，显微裂纹两侧无增碳、脱碳现象，如图5所示。

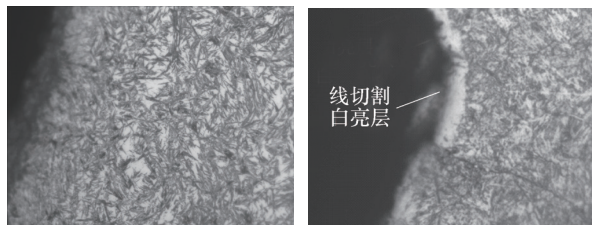


图4 渗碳层组织 (500×) 图5 线切割白亮层 (500×)

2 分析与讨论

对减速机齿轮进行检测，结果表明其材料成分、夹杂物、晶粒度、硬度、渗层深度均符合要求。导致齿轮开裂的主要原因如下。

1) 由于线切割走丝速度过快，使齿轮键槽部位加工粗糙、加工痕迹清晰、过渡圆角形状不规则，加剧了键槽部位的应力集中情况，故在此处形成了裂纹源，裂纹在磨削应力等作用下逐渐扩展至齿轮开裂。另外，过快的走丝速度使键槽表面产生白亮层，且白亮层中存在较多的显微裂纹，致使在后续工序中扩展开裂。存在尖锐凹角、凸边或缺口的零件在制造和使用过程中，将在尖锐的凹角、缺

口或凸边过渡处产生很大的应力集中并可能形成裂纹^[1]。另外，零件在加工过程中，因操作、刀具刃口形态、机床精度等导致加工表面粗糙的刀痕等，均会引起应力集中，恶化性能^[2]。该齿轮经检查发现键槽表面加工较粗糙，表面清晰可见加工刀痕，键槽根部过渡圆角部位形状不规则，应力集中较大。键槽表面存在一层线切割加工产生的白亮层，其为含有大量残留奥氏体的淬火层。残留奥氏体为不稳定组织，可继续转变成马氏体，产生较大的应力，当应力集中在过渡圆角时，会加剧过渡圆角的应力集中现象，从而产生显微裂纹^[3]。

2) 渗碳层中马氏体针较粗大，残留奥氏体含量过多，使齿轮强度降低、脆性增大^[4]。另外，大量残留奥氏体在常温下继续转变成淬火马氏体，会产生较大的残余内应力，加速了裂纹的扩展。

3 结论及建议

由于齿轮线切割加工走速过快，导致键槽表面加工粗糙，过渡圆角形状不规则，以及加工表面产生了线切割白亮层，因此加剧了键槽部位的应力集中情况，在键槽部位形成裂纹源。裂纹在磨削应力及工件残余应力的作用下，逐渐扩展至开裂。

建议在渗碳前铣键槽，若渗碳后使用线切割加工方式开键槽，应控制好线切割加工走丝速度，保证键槽根部过渡圆角形状，提高键槽加工质量；若无法避免线切割产生的白亮层，应在线切割后人工将其打磨去除。

参考文献：

- [1] 张栋，钟培道，陶春虎，等.失效分析[M].北京：国防工业出版社，2004：154-155.
- [2] 丁惠麟，金荣芳.机械零件缺陷、失效分析与实例[M].北京：化学工业出版社，2003：266-277，323.
- [3] 李茅坪.高速钢电火花线切割加工白亮层的研究[J].电加工与模具，2004（3）：36-38.
- [4] 金林奎，王春亮，赵建国.齿轮渗碳淬火组织粗大原因分析及工艺改进[J].理化检验-物理分册，2015，51（4）：259.

MW 20201113