齿轮腹板开裂原因分析

潘恒沛，王明建，夏申琳，杨晓

摘要：材质为20CrMnMo的齿轮腹板在渗碳结束后的空冷过程中发生开裂。通过化学成分分析、金相检验、扫描电镜及能谱分析等检测手段对裂纹产生部位进行了检验分析。结果表明：齿轮渗碳处理不当导致渗碳层中形成了粗大的网状碳化物，网状碳化物增加了齿轮脆性开裂的倾向，在热应力的作用下使齿轮腹板发生了开裂。

关键词：齿轮腹板；20CrMnMo；失效分析；渗碳

某公司生产的齿轮腹板在渗碳结束出炉空冷的过程中发现开裂，材质为20CrMnMo钢，加工工艺为：毛坯→锻造→倒角、制圆、镦粗→柔锻、冲孔→精锻→正火→无损检测→粗车→无损检测→调质→半精加工→滚齿→渗碳→精加工→成品。为了查明该裂纹产生的原因，笔者对其进行了检验和分析。

1. 理化检验

（1）宏观形貌　齿轮的腹板上分布有明显的裂纹。裂纹宏观形貌见图1，将送检齿轮试样从裂纹处切取分开，断口宏观形貌见图2，裂纹贯穿整个齿轮，断口较平整，呈脆性断口的特征。由断口宏观形貌判断裂纹由齿轮的腹板两面起裂，最后交汇在一起，使得齿轮裂透。

（2）化学成分分析　对送检齿取样进行化学成分分析，结果见表1，轴齿轮成分符合GB/T 3077—1999《合金结构钢》的要求。对送检的试样进行H含量测定，测得H元素含量平均值为1.63×10^{-4}%。

（3）金相分析　沿着断口取金相样，抛光后在显微镜下观察，断口抛光态形貌见图3，断口附近未发现异常夹杂物。在断口表面上发现有一层致密的氧化物，氧化物层厚度约为45μm。

将齿轮断口金相试样用4%硝酸酒精溶液腐蚀，有效渗碳层测量结果见表2，测量值符合技术要求（4.6 ~ 4.8mm）。将腐蚀态试样置于光学显微镜下观察，渗碳层腐蚀态形貌见图4，渗碳层组织为：珠光体+沿晶界分布的网状碳化物，且越接近表面网状碳化物越粗大，另齿轮表面发生了脱碳，脱碳层厚度约

图1　齿轮腹板裂纹宏观形貌

图2　断口宏观形貌

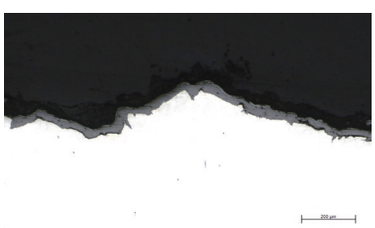

图3　断口抛光态形貌

表1　齿轮腹板化学成分（质量分数）　（%）

元素	C	Si	Mn	Cr	Mo
齿轮	0.218	0.332	1.08	1.34	0.287
GB/T 3077—1999	0.17 ~0.23	0.17 ~0.37	0.90 ~1.20	1.10 ~1.40	0.20 ~0.30

为69μm。断口腐蚀态形貌见图5，断口表面有氧化物层，断口附近金相组织为：珠光体+铁素体，组织正常，无脱碳或渗碳现象。远离断口齿轮基体的金相组织为：珠光体+铁素体，见图6。

（4）微观断口分析 取断口试样，清洗后置于扫描电镜下观察，断口形貌见图7、图8，断口表面覆盖有较厚的氧化物层，无法观察到断口的原始形貌。断口表面能谱分析结果见表3，断口表面氧化物层中主要含铁和氧元素。

2. 分析讨论

化学分析结果表明，齿轮材料成分符合GB/T 3077—1999的要求。齿轮H元素的含量不高。金相分析结果显示，齿轮断口附近没有发现异常的夹杂物，断口表面有致密的氧化物层。齿轮表面发生了脱碳，且渗碳层厚度符合要求，渗碳层中沿晶界分布有粗大的网状碳化物。齿轮断口处金相组织与基体金相组织相同，均为珠光体+铁素体组织。

由齿轮断口宏观形貌判断，齿轮裂纹由腹板两面起裂，并最终交汇在一起，使得齿轮裂透。断口能谱分析结果显示表面氧化物层中主要是铁与氧的化合物。

由金相分析结果显示，断口附近金相组织未发现渗碳现象，验证了齿轮是在渗碳后的冷却过程中发生开裂的。齿轮渗碳层中沿晶界分布有粗大的网状碳化物，该碳化物是由渗碳工艺处理不当引起的，而渗碳层中粗大的碳化物容易导致齿轮在渗碳空冷时发生开裂。齿轮在渗碳空冷时存在较大的热应力，表层由于形成了粗大的网状碳化物，阻碍了基体的连续性，导致在网状碳化物处形成应力集中而发生开裂。

表2 有效渗碳层厚度

测量点	1	2	3	4	5	平均值
厚度/mm	4.72	4.76	4.85	4.65	4.67	4.73

表3 能谱分析结果 （%）

元素	质量分数	原子分数
CK	2.96	8.47
OK	20.35	43.70
SiK	0.96	1.17
CrK	1.64	1.08
FeK	74.09	45.58

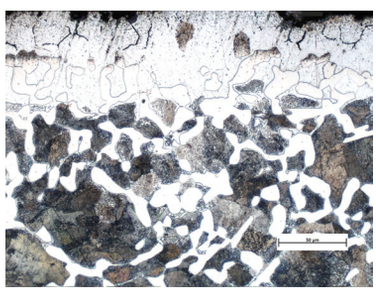

图4 渗碳层金相组织（500×）

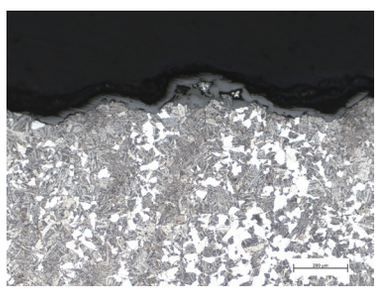

图5 断口附近金相组织（100×）

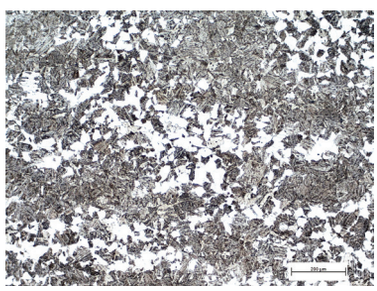

图6 齿轮基体金相组织（100×）

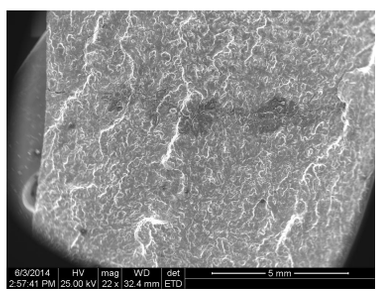

图7 断口形貌（22×）

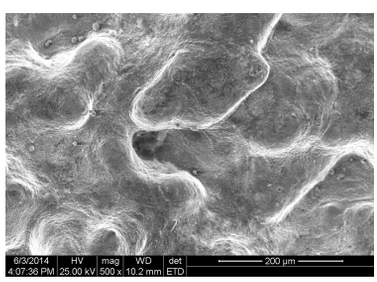

图8 断口形貌（500×）

3. 结语

齿轮腹板的裂纹是在渗碳后出炉冷却过程中发生的，齿轮渗碳处理不当导致渗碳层中形成了粗大的网状碳化物，增加了齿轮脆性开裂的倾向，在热应力的作用下使齿轮腹板发生开裂。

作者简介：潘恒沛、王明建、夏申琳、杨晓，中国船舶重工集团公司第七二五研究所。

MW 20160927