

电力机车牵引从动齿轮裂纹分析

北京南口轨道交通机械有限责任公司 (102202) 姜永升 于建英 陈更强

某电力机车在周期大修时,发现其牵引齿轮的从动齿轮端面齿底处有裂纹,此零件已正常运行30万km。为了找到裂纹原因,我们对此零件的化学成分、显微组织、硬度及裂纹宏观形貌等进行了分析。

该齿轮材质为42CrMo, 加工流程: 锻造→正火→高温回火→粗车加工→调质→精车加工→滚齿→中频感应淬火→低温回火→磨齿。

1. 宏观分析

裂纹位于端面齿底处, 该端面为感应淬火的入端。裂纹总深度约25mm, 沿齿宽方向长约50mm。

打开断口发现为韧性疲劳断口, 有明显的贝壳纹疲劳特征, 贝壳纹中心即疲劳裂纹源, 位于齿底表面, 距端面约11.5mm, 如图1所示。

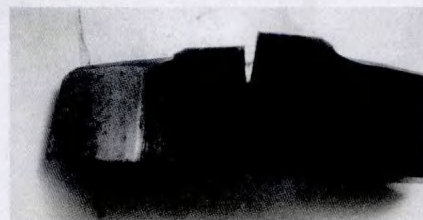


图 1

2. 化学成分分析

经直读光谱仪测定, 该齿轮材料的化学成分如表1所示, 符合相关技术标准要求。

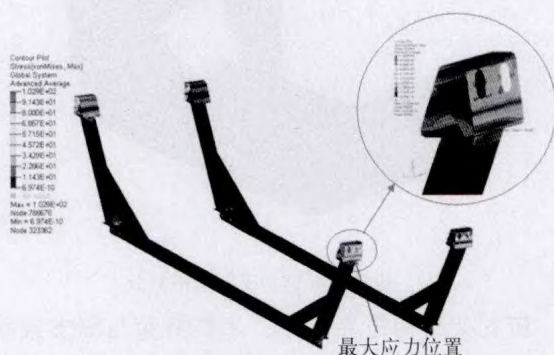


图8 新结构支架应力云

为了验证实际应用中新结构的强度问题, 对CRH3型动车组设备舱支架新结构进行了线路动应力测试, 测试里程约8141km, 测得支架最大等效应力为33.7MPa, 承载情况良好。目前设备舱支架

新结构已应用于武广线高速动车组上, 累计运行1200万km以上。

5. 结语

(1) 通过数值仿真得出的设备舱原支架结构最大应力值超过材料的屈服应力, 应力集中位置与原支架实际开裂位置基本相符, 且可以作为支架结果改进和试验的理论依据。

(2) 通过对新型支架结构的数值仿真, 可得出新支架结构最大应力比原支架结构降低了70.5%, 满足支架强度设计要求。

(3) 实际测试显示, 设备舱支架新结构在实际应用中承载情况良好。MW

(20120827)

表1 齿轮材质化学成分分析结果 (质量分数) (%)

元素	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Ni	Cu
标准值	0.38 ~ 0.45	0.17 ~ 0.37	0.50 ~ 0.80	≤ 0.035	≤ 0.035	0.80 ~ 1.10	0.15 ~ 0.25	≤ 0.25	≤ 0.25
实测值	0.40	0.28	0.59	0.009	0.005	1.02	0.16	0.04	0.02

3. 金相组织及硬度分析

(1) 非金属夹杂物 按GB/T 10561标准A法评定, 标准值依据TB/T 2989, 非金属夹杂物检测结果如表2所示, 符合技术标准要求。

表 2

夹杂物 类别	A		B		C		D	
	细系	粗系	细系	粗系	细系	粗系	细系	粗系
标准值	≤2.5	≤1.5	≤3.0	≤2.0	≤2.5	≤2.0	≤2.5	≤2.0
实测值	1.5	0.5	1.0	0.5	0	0	1.0	1.0

(2) 基体组织和硬度 齿根圆心部组织为回火索氏体+少量条块状铁素体, 如图2所示。心部硬度为262HBW, 端面未感应淬火处调质硬度为278HBW。调质组织和硬度均符合技术要求。



图2 心部调质组织

4. 感应淬火检验

对裂纹所在的感应淬火入端略作抛光浸蚀后发现, 齿面存在明显的淬火硬化层, 而齿根及齿底无淬火硬化痕迹。齿端面与齿面呈锐角的一侧硬化层明显较深, 达3.7mm, 且在齿高中部倒角处出现了表征淬火过热的“猫眼”, 如图3所示。

将图1中的左侧断口断面进行抛光浸蚀后发现, 沿齿宽方向距端面17mm内, 齿底均无明显硬化现象。

图4为距感应淬火入端17mm处的横截面经抛光浸蚀后的宏观形貌。从图中可见, 此处裂纹齿底硬化层极薄, 齿根和齿面均有明显的淬火硬化层。而

相邻齿齿面、齿根和齿底均有明显淬火硬化层。



图 3

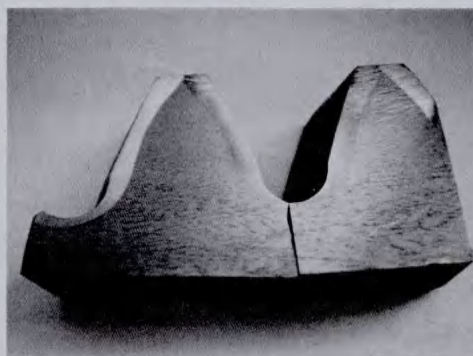


图 4

在距裂齿端面11.5mm处(裂纹源)进行金相组织检验, 未发现异常缺陷。组织为回火索氏体+少量条块状铁素体, 如图5所示。

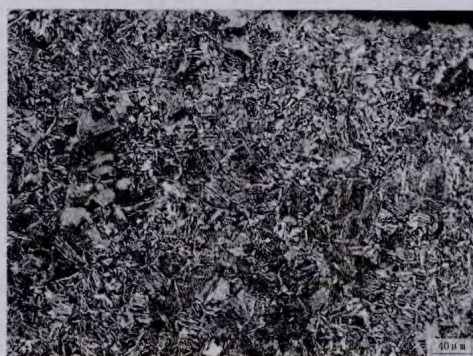


图 5

裂纹源往里(齿底表面)的金相组织为少量马氏体+回火索氏体+少量条块状铁素体, 距端面约20mm齿底表面淬火组织为隐晶马氏体。

对图1断裂面中左侧试样沿齿宽方向测量齿底、齿根表面硬度和感应淬火硬化层深度, 结果分别如表3、表4所示。对其邻齿试样沿齿宽方向测量齿底表面硬度和齿底感应淬火硬化层深度, 结果如表5所示。

断裂齿齿面硬度和有效硬化层检测结果为:

端面625HV, $D_c=3.7\text{mm}$; 17mm截面670HV, $D_c=3.0\text{mm}$, 沿齿宽方向均符合技术要求。

表3 断齿齿底表面硬度和感应淬火硬化层深度

距端面距离/mm	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0
硬度HV	262	260	259	258	258	258	259	255	255	241	232	233	280	292	306
硬化层深/mm	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

距端面距离/mm	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0	26.0	27.0	28.0	29.0	30.0
硬度HV	403	493	570	607	596	607	601	598	610	604	602	598	601	607	604
硬化层深/mm	0	0.15	0.35	0.45	0.50	0.55	0.60	0.63	0.65	0.70	0.73	0.75	0.80	0.85	0.90

表4 断齿齿根表面硬度和感应淬火硬化层深度

距端面距离/mm	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0
硬度HV	280	280	342	604	616	610	613	607	613	616
硬化层深/mm	0	0	0	1.65	1.90	2.10	2.30	2.40	2.50	2.55

距端面距离/mm	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0
硬度HV	641	638	638	635	638	640	638	641	638	638
硬化层深/mm	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65	2.65

表5 邻齿齿底表面硬度和感应淬火硬化层深度

距端面距离/mm	1.0	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0	13.0	14.0	15.0
硬度HV	260	256	240	246	253	339	497	579	590	601	607	598	610	598	595
硬化层深/mm	0	0	0	0	0	0	0.30	0.52	0.65	0.72	0.85	0.95	1.00	1.05	1.15

距端面距离/mm	16.0	17.0	18.0	19.0	20.0	21.0	22.0	23.0	24.0	25.0	26.0	27.0	28.0	29.0	30.0
硬度HV	615	610	596	607	601	596	610	598	601	607	604	607	610	610	610
硬化层深/mm	1.20	1.25	1.30	1.30	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.35	1.40	1.40	1.40

5. 试验结果分析

(1) 该齿轮化学成分、非金属夹杂物均符合技术条件要求。齿轮的调质热处理组织和硬度均符合技术条件要求。

(2) 从感应淬火质量检验结果来看, 该齿轮感应淬火入端存在明显淬火欠热现象, 尤以裂纹齿处为甚。裂纹齿齿底在齿宽方向距端面16mm范围内无淬火有效硬化层(见表3)。不仅如此, 在齿宽方向距端面10.0~12.0mm, 齿底还产生了明显的高温回火软化现象, 而在此范围, 齿面和齿根均得到了符合技术条件的淬火硬化。这种情况的出现, 将造成: ①齿底软化使该处疲劳强度下降。②齿底两侧齿根和齿面的有效淬火硬化将在软化的齿底产生较大的淬火附加应力。从而使运行时叠加交变应力后该软化区域萌生疲劳裂纹, 并逐步扩展。

(3) 邻齿的淬火硬化情况要明显优于裂纹齿, 齿底也未出现明显软化现象, 并在齿宽方向距端面7.0mm即产生了明显的淬火硬化。

(4) 对比裂纹齿和相邻齿的齿宽方向齿底表面硬度梯度和有效硬化层深度检验结果, 裂纹齿沿齿宽方向未硬化范围更大, 齿底高温回火软化更严重, 又因为越往里齿根感应淬火越趋于正常, 所以齿底软部位处淬火附加应力也越大。可以断定, 感应淬火时感应器与齿底的间隙, 裂纹齿与相邻齿存在明显差异, 且裂纹齿较大。

综上检验分析结果, 该电力机车从动齿轮裂纹产生的原因是, 裂纹所在齿的感应淬火入端产生了严重的欠热现象, 导致齿底局部产生了回火软化和附加应力, 严重降低了齿底局部疲劳极限, 从而在运行中萌生疲劳裂纹源, 并产生了疲劳扩展。

6. 改进措施及效果

(1) 注意调整感应器与齿底间隙, 避免出现感应加热过程中的间隙差异。

(2) 适当增加感应器在入端停留时间。

(3) 考虑到在严重欠热的裂纹齿端面与齿面呈锐角一侧的半齿高倒角处也出现了由于尖角效应产生的过热。为了保证齿根和齿底有适当的淬火强化, 而又不至于使半齿高倒角处出现过热甚至过烧, 必须消除尖角效应, 将齿端面与齿面过渡处倒成一个大的钝角。

经过改进后加工的该产品和其他感应淬火牵引齿轮产品避免了此类问题的发生, 达到了理想的效果。MW (20121011)