

42CrMo船用柴油机传动齿轮中频感应淬火失效分析

曹昌怀, 刘修艳, 陈文伟, 卢建

【摘要】某船用柴油机传动齿轮, 经常发现轮齿断裂失效。采用宏观检验、化学成分分析、金相检验和基体硬度测定等方法对断裂的传动齿轮进行了分析。结果表明, 因机加工不到位、齿根部位未淬火等原因造成齿根过渡区疲劳强度降低, 最终导致传动齿轮的断裂。

我公司为某企业配套中频感应淬火处理的船用柴油机传动齿轮, 在使用中经常发现轮齿断裂失效的现象, 严重影响柴油机的安全。为寻求断裂产生的原因及解决的方法, 对其进行分析。

传动齿轮的材料为42CrMo钢, 生产工艺流程为: 锻造成形→粗车→调质→精车→滚齿→中频感应淬火→磨齿→无损检测→成品。

1. 检验与结果

(1) 宏观形貌分析 断裂发生在传动齿轮的轮齿部位, 轮齿断口形貌如图1所示, 断口可见明显的疲劳贝纹线痕迹, 是疲劳断裂的特征。疲劳源起始于轮齿两侧的根部过渡区, 且有明显的“台阶”痕迹, 说明该处有应力集中现象; 齿轮运转过程中承受载荷作用, 由轮齿两侧根部过渡区的疲劳源向内沿不同平面扩

展, 相遇后贯通, 形成台阶状的最后瞬断区, 轮齿断裂。整个断口的贝纹线较细密, 疲劳扩展区占大部分区域, 应是应力集中条件下的低应力高周疲劳断裂。

同时观察发现, 齿根区域较其他区域颜色深, 表面也较粗糙(见图2), 说明存在机加工不到位的现象。

(2) 化学成分分析 在断口附近取样进行化学成分分析, 结果列于表1。该传动齿轮的化学成分符合GB/T3077—1999《合金结构钢》的标准要求。

(3) 非金属夹杂物的检验 对轮齿进行线切割取样, 试样经磨抛后观察并根据GB/T 10561—2005进行评级, 结果为A1.0、B0、C0、D1.0, 如图3所示。非金属夹杂物符合A+C≤3.0级和B+D≤3.0级的技术协议要求。

(4) 金相检验 试样经磨抛

后观察, 齿根深色区域表面起伏, 疲劳源区存在一条疲劳裂纹, 如图4所示。试样再经4%硝酸酒精溶液浸蚀后发现, 该齿轮齿根部位未经中频感应淬火



图1 传动齿轮断口形貌



图2 断裂后轮齿形貌



图3 非金属夹杂物 100×

表1 传动齿轮的化学成分 (质量分数) (%)

项目	C	Si	Mn	S	P	Cr	Mo	Cu
实测值	0.43	0.25	0.71	0.017	0.012	1.04	0.21	0.086
标准值	0.38~0.45	0.20~0.40	0.50~0.80	≤0.040	≤0.040	0.90~1.20	0.15~0.25	≤0.20

处理，如图5所示，轮齿黑色区域为感应淬火区，感应淬火区组织为细针状马氏体，如图6所示。齿根疲劳源区表面未经感应淬火处理，金相组织与基体组织一致，为回火索氏体+少量铁素体，如图7、图8所示。

(5) 基体硬度检验 经检测，齿轮基体硬度为255HBW10/3000，满足技术要求。

2. 分析与讨论

钢中非金属夹杂物检测及化学成分的分析结果表明，该齿轮材质正常。金相分析表明，其基体组织正常，说明该齿轮基体调质状态正常。断口分析表明，该齿轮应是应力集中条件下的低应力高周疲劳断裂。疲劳源起始于轮齿两侧的根部，该处是淬火区和非淬火区的过渡区域，该区域由于受到淬火时高温影响，形成回火软区，组织软化，相较于基体组织，其硬度和疲劳强度较低；同时观察发现该处具有明显的“台阶”痕迹，说明该处有应力集中现象，齿轮齿根部位本身易形成应力集中现象，加之齿根区域加工较粗糙，加剧了该处的应力集中现象；同时齿根部位未进行中频感应淬火处理，金相检测其为回火索氏体+少量铁素体组织，疲劳强度较回火马氏体要低得多。传动齿轮在运转传递载荷时，齿根承受交变弯曲应力，由于该处应力集中及疲劳强度低，因此在齿根承受的弯曲应力大于该处的疲劳强度时，在该处萌生微裂纹，形成疲劳源，随着齿轮的不断运转，疲劳源逐步扩展，直至出现裂纹、断裂等现象。

3. 结论与建议

通过分析，得出该传动齿轮的断裂原因，故此后的生产做了以下改进：

(1) 强化机加工工序质量，切实改善齿根部位的粗糙度，减少应力集中的现象。

(2) 改进中频感应淬火工艺，原采用的中频感应淬火，当时考虑的是齿根部位易发生加热温度过高和冷却过激的现象造成淬火应力集中而开裂，因此特意对齿根部位没有淬火，造成同基体一样的回火索氏体组织。故对中频感应淬火的工艺方式进行改进，在加热电参数、淬火移动速

度、淬火感应器的设计等方面进行改进，对传动齿轮的齿根部位也进行淬火，以形成回火马氏体组织，提高该处的疲劳强度。在实际生产中，采用仿形感应器，将感应器的前端喷水孔堵死，并将感应器顶端与齿槽间隙加大，控制在11~16mm之间。在加热过程中，控制齿根处于亚温状态，既没有过激的冷却，又完美地解决了淬火裂纹的问题，同时使齿根部位的疲劳强度变大，效果良好。

根据改进后的工艺，此后中频感应处理的多批次传动齿轮，再未发生轮齿断裂失效的现象，证明是有效、可行的。

齿根深色区域 疲劳源区



图4 疲劳源区抛光态形貌 (50×)

疲劳源区

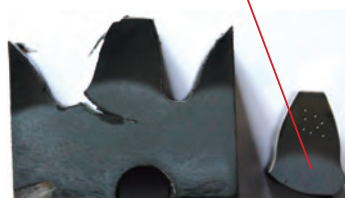


图5 试样腐蚀后宏观形貌



图6 轮齿感应淬火区组织 (500×)

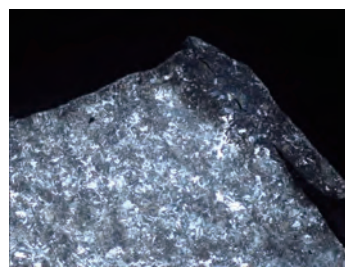


图7 疲劳源区组织 (100×)

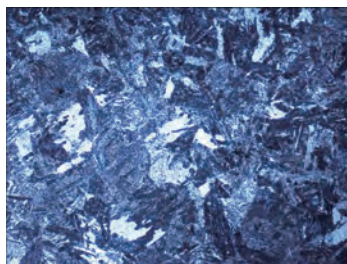


图8 试样基体组织 (500×)

作者简介：曹昌怀、刘修艳、陈文伟、卢建，南车戚墅堰机车有限公司热处理公司。

MW 20141109