

40CrMn 枢轴断裂分析及对策

■ 冯显磊, 翟展新, 王丽媛, 宋超, 王忠, 王孟, 谢玲珍

摘要: 分析了推土机终传动枢轴在工作时突然断裂失效故障, 通过对枢轴的使用工况、宏观断口、光学显微镜金相、断口扫描电镜、力学性能检测等, 综合分析表明枢轴断裂为准解理脆性断裂, 导致脆性断裂的主要原因为倒角工艺不合理, 导致剪切应力集中, 增大了缺口敏感性, 使倒角处韧脆转变温度提升; 另一方面原材料热处理工艺不当, 导致力学性能偏低。

关键词: 枢轴解理断裂; 沿晶裂纹; 冲击韧度

枢轴 (见图1) 支承整个推土机的重量, 以某机型为例, 推土机重达15t。由于客户使用工况复杂, 在推土作业过程中又受到较大的冲击力, 在设计时要求枢轴具有足够高的抗疲劳强度、优良的冲击韧度。材质一般采用中碳合金钢, 经过调质处理达到良好的综合力学性能。枢轴断裂在工程机械部件失效案例中极为罕见, 尤其是脆性断裂。

本文通过对突然失效断裂枢轴进行了宏观断口、扫描电镜、显微金相、光谱、力学性能等理化方面的检测, 并结合制造工艺分析了造成枢轴断裂主要原因, 通过改进措施, 解决了该问题。

1. 枢轴的制造及装配

为确保枢轴良好的综合力学性能, 目前枢轴常采用中碳合金钢, 本文提到的枢轴采用40CrMn。

制造工艺流程: 锻造→正火→粗加工→调质→半精加工→局部表面感应淬火→精加工。枢轴

装配于台车总成上, 一端通过螺栓固定在推土机上, 承受整台推土机的重量, 如图2所示。

2. 枢轴的失效断裂及理化检验

某机型推土机在工作服役过程中突然断裂失效, 其工作环境为工况复杂的山石开采和水泥砂浆施工工地, 工作环境温度为10~35℃。断裂位置位于枢轴装配轴承后与台车架安装结合处 (见图3), 宏观

断口光亮而平齐, 无疲劳贝纹线等特征, 断口扩展区具有“人字纹”花样, 轴直径100mm, 为典型脆性断裂 (见图4)。

采用光谱仪对其成分进行检

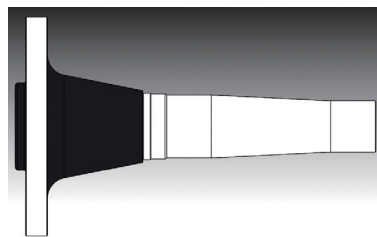


图1 推土机枢轴

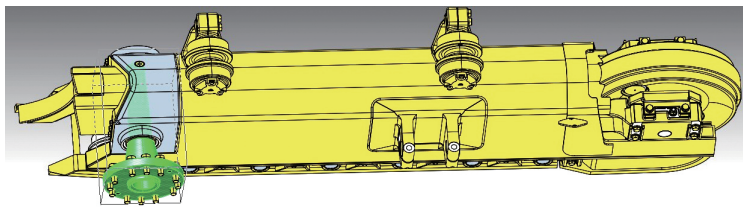


图2 枢轴装配位置



图3 断裂枢轴



图4 宏观断口

测分析，成分合格，经计算材料的DI值在110~120，处于该材质标准要求的中限范围，淬透性能适中，其材料成分如表1所示。

在距轴R/4处取直径20mm室温拉伸试样，及截面为10mm×10mm夏氏比摆锤冲击试样，分别做拉伸及冲击试验，判定标准分别执行GB/T 228—2010及GB/T 229—2007（见表2）。

取断口处试样经过碾磨、抛光后，用4%硝酸酒精溶液腐蚀，在光学显微镜下观测金相组织，图5显微金相显示基体材质有明显的轧制流线，流线带上较铁素体，主要是锻后正火不够充分，没有完全消除，这种锻造遗留不良组织在沿轧制流线方向强度高、韧性好，而垂直于流线方向强度、韧性均较差，而枢轴装机后受到台车的切应力垂直于枢轴材质的轧制方向，此为造成枢轴断裂的原因之一。

图6为枢轴断裂处的倒角形状，原设计为R1mm倒角，由于制造工艺问题，造成该处倒角呈V字形缺口，极易导致在该处应力集中，为造成枢轴断裂为主要原因，同时基体组织为珠光体+密布的块状铁素体，主要为淬火加热温度偏低，造成未完全奥氏体化。

枢轴最表层组织为回火索氏体及少量的游离铁素体组织（见图7），但该层组织较浅仅为5mm左右，逐步向珠光体+铁素体过渡，主要为淬火加热温度低加上淬火冷却缓慢造成。从图8硬度梯度曲线也体现了组织的不均匀性，最表层至心部硬度为280~256HBW，整体硬度低。

取断口处试样镶嵌后做SEM电镜分析，断口相貌无韧窝，主要以“冰糖葫芦”状沿晶断裂，局部存在河流花样的解理及准解理穿晶断裂，断口处无其他非金属化合物，判定枢轴为脆性断裂（见图9）。

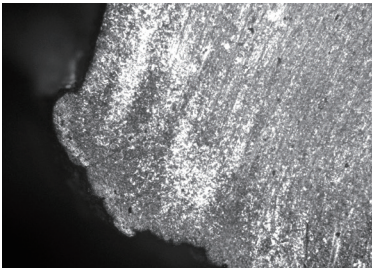


图5 显微金相（50×）

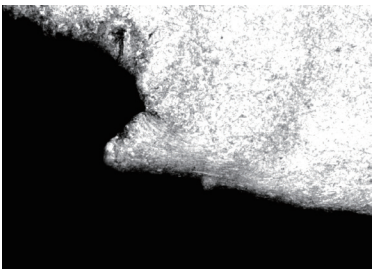
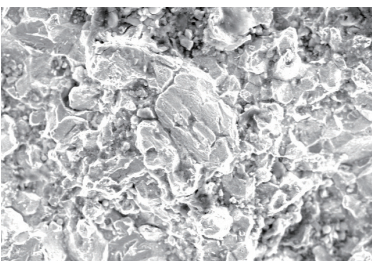


图6 轴倒角根部显微金相（200×）



(a) 50 μm

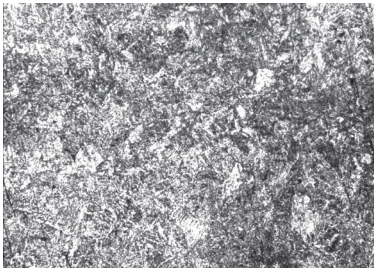


图7 轴表层显微金相（500×）

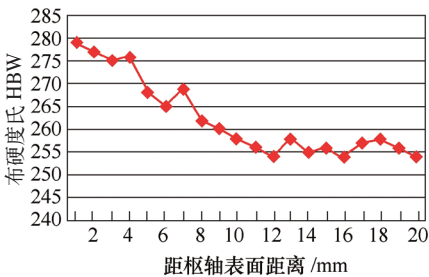
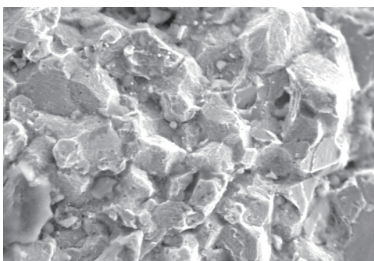


图8 硬度梯度



(b) 20 μm

图9 断口高倍SEM扫描电镜形貌

表1 枢轴材料成分（质量分数）（%）

元素	C	Si	Mn	S	P	Cr	Ni	Cu
标准值	0.37~0.45	0.17~0.37	0.9~1.2	≤0.035	≤0.035	0.9~1.2	≤0.3	≤0.3
实测值	0.38	0.25	1.04	0.004	0.027	1.06	0.09	0.06

表2 枢轴材质力学性能

项目	σ_s /MPa	σ_b /MPa	δ (%)	ϕ (%)	A_{KV} /J
标准值	>835	>980	>9	>45	>47
实测值	786	900	18.5	58	48

（下转第62页）

5. 主动锥齿轮内孔花键加撑规淬火后的变形

先将主动锥齿轮零件放在淬火专用工装上，在预热炉内，加热到550℃，保温30min预热，然后再放入盐浴炉继续加热到920℃（因为零件在保温出炉后油冷前内孔花键要放入内孔花键撑规，所以加热温度选取上限920℃），保温40min出炉，快速放入内孔花键撑规后油冷（好富顿G油）30min，淬火前油温60~70℃。

零件加撑规淬火后（再经过清洗、冷处理、回火、喷砂等热处理工序后）检测记录见表2。

从检测记录表2数据可以看出，主动锥齿轮经过加撑规淬火后，淬火变形超差问题得到了解决。变形量符合零件最终变形要求（磨光档跳动≤0.05mm，内孔圆度≤0.05mm。花键精度： M 值=90.78 $^{+0.103}_{0}$ mm， M 值变动量≤0.04mm。）

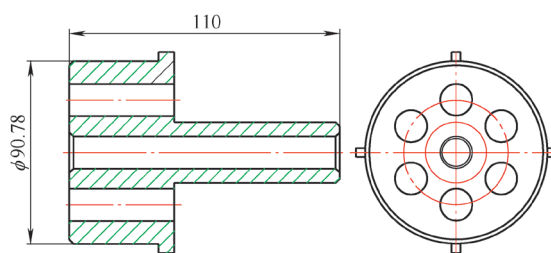


图2 内孔花键淬火撑规

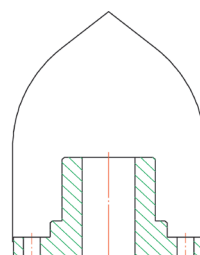


图3 盐浴炉加热工装

表2 撑规淬火后检测结果

零件编号	状态	磨光档跳动/mm	内孔圆度/mm	花键M值/mm	M值变动量/mm	硬度HRC
1	淬火前	0.03~0.04	0.03~0.04	90.84~90.86	0.02	26~27
	淬火后	0.04~0.05	0.04~0.05	90.80~90.84	0.04	62~63
	变形量	≤0.02	≤0.02	缩0.04	≤0.02	—
2	淬火前	0.02~0.03	0.02~0.04	90.83~90.85	0.02	26~27
	淬火后	0.04~0.05	0.04~0.05	90.78~90.82	0.04	62~63
	变形量	≤0.03	≤0.03	缩0.04	≤0.02	—
3	淬火前	0.03~0.04	0.02~0.04	90.83~90.86	0.03	26~27
	淬火后	0.04~0.05	0.04~0.05	90.80~90.84	0.04	63~64
	变形量	≤0.02	≤0.03	缩0.03	≤0.01	—
4	淬火前	0.03~0.04	0.03~0.04	90.85~90.87	0.02	26~27
	淬火后	0.04~0.05	0.04~0.05	90.81~90.84	0.03	62~63
	变形量	≤0.02	≤0.02	缩0.04	≤0.01	—

作者简介：李启苍、蔡伟、黄宝宏，青海聚能热处理有限责任公司。

MW 20170313

（上接第59页）

性均降低。

（2）在随后的调质过程中加热不充分，基体组织没有完全奥氏体化，残留了较多的块状铁素体组织，在淬火时又由于冷却速度慢造成淬透性差，经回火后仅在5mm以内的表层处获得了理想的回火索氏体。

（3）工艺设计问题，在枢轴断裂处存在R1mm的倒角，但倒角不规范，加工后呈“V”字形缺口，导致应力在该处集中，增加了缺口敏感程度。

（4）设备的服役条件恶劣及客户使用操作方式不当，例如在山石开采现场，连续撞击或推运

超过设备负荷难以移动的石块。

4. 预防措施

（1）确保基体组织均匀性，保证基体具有良好的综合力学性能。对于直径较大的轴类轧制毛坯，在轧制、锻造后，要求充分退火或正火处理，消除轧制偏析、带状组织等不均匀组织。

（2）调质淬火加热温度不宜太低，对于大型锻件淬火加热温度要到 $A_{c3}+30\sim 50^{\circ}\text{C}$ ，使奥氏体均匀化，淬火时冷却速度不宜太慢，对于采用油冷淬火，应开动淬火搅拌泵，并对油换热，保证油温。

（3）承受重载、冲击的大型枢轴倒角不应过小，制造工艺上应严格按照设计图样进行倒角，避免刀痕或不良倒角造成的V形缺口存在，本文案例将倒角增大至R3mm，并严格规范倒角工艺，该问题再没发生过。

（4）客户使用者，应按照使用说明，在设备可承受的负荷范围内使用设备，且勿在环境恶劣的工况下超负荷长期工作。

作者简介：冯显磊、翟展新、王丽媛、宋超、王忠、王孟、谢玲珍，山推工程机械股份有限公司。

MW 20170317