

正火工艺对Cf53钢制凸轮轴力学性能的影响

罗长增, 白忠坤, 王志超, 翟文强, 张吉贤

潍柴动力股份有限公司内燃机可靠性国家重点试验室 山东潍坊 261061

摘要: 针对柴油机用凸轮轴在生产应用中存在的质量问题, 研究了正火工艺参数的调整对凸轮轴用Cf53材料力学性能的影响, 形成了优化后的工艺方案, 为提高凸轮轴的综合性能提供了试验依据。

关键词: 正火工艺; Cf53钢; 凸轮轴; 柴油机

1 序言

凸轮轴是内燃机配气机构中关键零件之一, 用于控制气门按一定的工作次序和配气相位及时开闭, 并保证气门有足够的升程, 对整个配气系统的性能起着决定性的作用。在四冲程发动机中凸轮轴的转速是曲轴的1/2, 因此凸轮轴的转速很高, 需要承受很大的转矩。工作时凸轮表面与摇臂或挺柱之间有很高的周期性接触应力和较快的相对滑动速度, 这就要求凸轮轴有足够的韧性和刚度, 凸轮表面有良好的耐磨性和抗冲击性能^[1]。

2 研究背景

M机型的产品属于船用大型柴油机, 该产品机型凸轮轴材料使用的是Cf53钢, 在凸轮轴前期本体拉伸性能测试过程中出现屈服强度偏低的现象, 供方调整热处理工艺后出现屈服强度合格、抗拉强度

偏低的问题(见表1)。另外, 在日常生产中Cf53钢(相当于55钢)凸轮轴一直存在硬度偏低(<200 HBW)的问题。

表1 Cf53钢凸轮轴力学性能测试

项目	R_m /MPa	$R_{p0.2}$ /MPa
标准值	710~850	≥ 400
第一次测试	717	358
第二次测试	685	408

针对以上存在的质量问题, 前期到M机型凸轮轴的供方公司生产现场进行了调研分析, 针对发现的问题提出了正火设备、正火温度、冷却速度等工艺参数调整的改进措施, 工艺调整方案见表2。本文针对生产工艺改进后的Cf53钢凸轮轴进行本体材料的理化性能分析, 研究正火工艺对凸轮轴用Cf53钢力学性能的影响, 为提高凸轮轴的综合性能提供合理的工艺方案。

砂纸将需要检查硬度处磨光(磨入表面深度0.30~0.50mm), 用经校对过的洛氏硬度计检查工作表面及燕尾的硬度, 模面平均硬度为39HRC, 尾部平均硬度为32.5HRC, 抗拉强度为1360MPa, 达到了力学性能要求。

2) 模具热处理是保证模具性能的重要工艺过程, 对模具的制造精度、强度、工作寿命及制造成本等有着直接的影响。热锻模经过加工工艺路线: 退火→成形加工→淬火、回火→精加工(修型、抛光), 能满足其硬度的要求, 也能使其具有一定的

耐热疲劳性。

参考文献:

- [1] 徐发樾.实用模具设计与制造手册[M].北京:机械工业出版社, 2000.
- [2] 高军.金属塑性成形工艺及模具设计[M].北京:国防工业出版社, 2007.
- [3] 王敏杰, 于同敏, 郭东明.模具制造[M].北京:电子工业出版社, 2007.
- [4] 金泽尘, 宋放之.现代模具制造技术[M].北京:机械工业出版社, 2000.

MW 20200318

表2 Cf53钢凸轮轴热处理工艺调整方案

项目	热处理设备	工艺路线	冷却方式
调整前	台车炉	820℃正火	风冷
调整后	推盘式正火线	840℃正火	强风冷

3 材料分析

3.1 化学成分

对凸轮轴进行化学成分检验,结果见表3,符合Q/WCG 610.22《材料规范:钢质凸轮轴》(企业标准)要求。

表3 Cf53钢凸轮轴化学成分(质量分数)(%)

项目	C	Si	Mn	Cr	Ni	P	S
标准值	0.52~0.57	0.15~0.35	0.60~0.80	≤0.35	≤0.30	≤0.025	≤0.035
检测值	0.561	0.241	0.749	0.212	0.011	0.009	0.010

3.2 力学性能

在理化实验室的拉伸试验机上进行室温下拉伸性能测试(见图1),并且检测凸轮轴试棒的硬度。凸轮轴试棒的力学性能检测结果见表4,检测指标均符合Q/WCG 610.22《材料规范:钢质凸轮轴》(企业标准)要求。工艺调整后的Cf53钢凸轮轴力学性能测试结果与工艺调整前的测试结果对比(见表1),力学性能尤其是抗拉强度(R_m)得到大幅度提高。

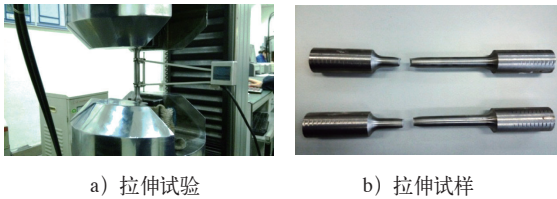


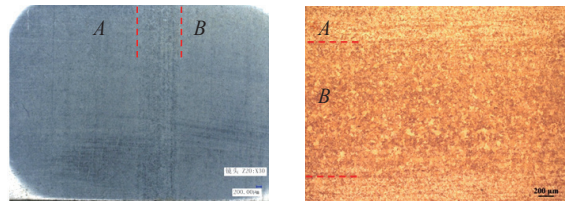
图1 拉伸性能测试

表4 凸轮轴本体的力学性能测试结果

项目	热处理	R_m /MPa	$R_{p0.2}$ /MPa	A (%)	Z (%)	硬度 HBW
标准值	正火	710~850	≥400	≥16	≥40	214~252
1 [#] 试样	正火	791	429	18	42	222
2 [#] 试样	正火	753	409	19	47	226

3.3 本体金相组织

图2a为使用4%硝酸酒精腐蚀后的M机型凸轮轴心部组织,在中心位置B存在一条显示颜色完全不同的细长区域,直径1.5 mm。金相组织形貌如图2b所示,B区域的组织特征明显不同于A区域,形成区域偏析。



a) 宏观组织 b) 金相组织(50×)

图2 凸轮轴心部腐蚀后宏观组织和金相组织

图3为M机型凸轮轴心部A区域的金相组织,按照GB/T 13320—2007《钢质模锻件 金相组织评级图及评定方法》进行金相显微组织评定。心部组织为珠光体+铁素体,晶粒均匀,组织评级2级,按照GB/T 6394—2002《金属平均晶粒度测定方法》评定奥氏体实际晶粒度8级,符合技术要求。

图4为M机型凸轮轴心部B区域的金相组织,心部组织主要为珠光体,极少量的铁素体组织分布,珠光体晶粒较均匀。

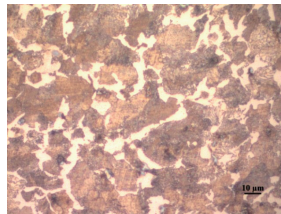


图3 凸轮轴心部A区域金相组织



图4 凸轮轴心部B区域金相组织

凸轮轴棒料心部区域为最后结晶的位置,聚集的C、S、P等元素含量较高。Cf53钢 w_C 为0.52%~0.57%,心部成分偏析区域接近共析点成分,因此主要形成珠光体组织,仅形成极少量的铁素体组织。中心偏析按照GB/T 1979—2001《结构钢低倍组织缺陷评级图》评定为1级,在技术要求许可范围内。

因此,凸轮轴心部的偏析区域需加以控制,应提高钢液的纯净度,采用合理的浇注工艺,并在棒料毛坯锻轧时采用较大的锻造比。由于严重的偏析会对钢材质量有显著的影响,因此棒料进厂检验时对偏析缺陷的检验,应当加以合理控制,保证坯料质量。

3.4 表面感应淬火层金相组织

凸轮桃尖、基圆和支撑轴颈(见图5)的表面感应淬火层深度、硬度检测结果见表5,符合标准要求。感应淬火层的金相组织如图6所示,按照QC/T

(下转第86页)

4 结束语

通过以上失效原因分析,本次副箱输出轴断裂改善措施主要有三个方面:一是优化过渡圆角结构,改进过渡圆角结构为外圆角 $R1.5\text{mm}$,要求圆角处感应淬火层深技术要求为 $\geq 3\text{mm}$;二是优化花键处油孔的倒角尺寸,改进油孔倒角结构为 $(1\sim 1.5)\text{mm}\times 45^\circ$;三是优化感应器有效圈的结构,采用扫描感应淬火方法,使圆角及花键的淬硬层连续均匀。

以上改善措施实施后,对副箱输出轴进行检测和跟踪,取得了明显的效果。

1) 副箱输出轴的 R 角强度得到显著提升,油孔倒角和 R 角区域也再未出现感应淬火裂纹。

2) 副箱输出轴圆角及淬硬层连续均匀, R 角

淬硬层深 $4\sim 6\text{mm}$,花键部位淬硬层深 $5\sim 8\text{mm}$,淬硬层金相组织为4~6级针状马氏体,表层硬度 $56\sim 59\text{HRC}$,均能满足技术要求。

3) 发交装车后的副箱输出轴再未发生开裂,大大减低了市场索赔风险,提升了产品的质量及客户的满意度。

参考文献:

- [1] 沈庆通,梁文林.现代感应热处理技术[M].2版.北京:机械工业出版社,2015.
- [2] 林信智,杨连第.汽车零部件感应热处理工艺与设备[M].北京:北京理工大学出版社,1998.

MW 20201208

(上接第82页)

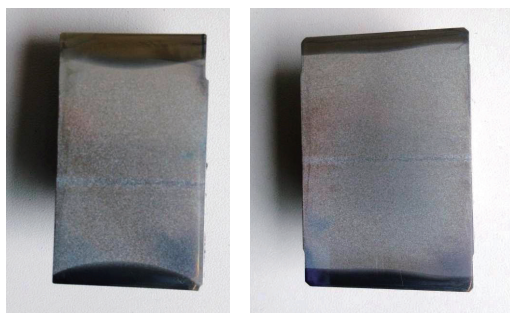


图5 凸轮和轴颈感应淬火测试块

表5 凸轮轴感应淬火层检测结果

项目	桃尖		基圆		支撑轴颈	
	淬硬层/mm	硬度HRC	淬硬层/mm	硬度HRC	淬硬层/mm	硬度HRC
标准	1.5~5.5	59~63	1.5~3.5	≥ 55	1.5~3.5	≥ 55
检测	5.0	61.2	3.5	63.4	3.5	63.2

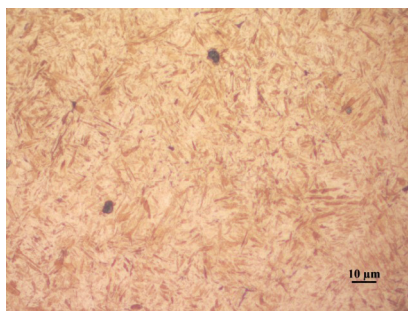


图6 感应淬火层金相组织

502—1999《汽车感应淬火零件金相检验》进行组织评定,组织为较细针状马氏体,评级为4级,符合标

准要求。

3.5 结论

经过对工艺调整后的Cf53钢M机型凸轮轴进行理化分析,得出如下结论。

- 1) M机型凸轮轴化学成分符合要求。
- 2) 提高正火冷却速度,可以改善凸轮轴力学性能(抗拉强度、屈服强度、伸长率、断面收缩率及硬度)。
- 3) M机型凸轮轴本体的金相组织符合要求,凸轮轴本体心部位置存在1级中心偏析区域,直径 1.5mm 沿凸轮轴中心线分布。
- 4) M机型凸轮轴感应淬火层的金相组织符合要求。

4 改善建议

1) 供方将Cf53钢M机型凸轮轴的正火工艺按照此次调整试制的工艺进行固化,完善相关工艺文件。

2) 棒料进厂时对偏析缺陷的检验,应当加以合理控制,保证坯料质量。

参考文献:

- [1] 郝军清,李春胜,王延松.新材料新工艺在凸轮轴生产中的应用[J].内燃机动力装置,2006(6):38-40.

MW 20200718