

解决曲轴圆角开档磨削烧伤及裂纹问题



扫码了解更多

■ 中车资阳机车有限公司 (四川 641301) 代金金 丑洋洋

摘要: 我公司生产的一种柴油机曲轴,在连杆颈磨削中出现烧伤及裂纹,针对该质量问题,通过对可能产生烧伤和裂纹的原因分析,提出了改进措施并加以实施,解决了该质量问题。

1. 产品介绍

我公司生产的一种柴油机曲轴(见图1),其连杆颈的主要技术特征及指标如下:①曲轴材料为AISI 4145H钢。②连杆颈轴颈、圆根及开档凸台均采用中频感应淬火处理。轴颈淬火深度 $\geq 5 \sim 8 \text{ mm}$ 、圆根及开档凸台淬火深度 $2 \sim 4 \text{ mm}$,硬化层表面硬度 $45 \sim 53 \text{ HRC}$ 、极限硬度要求为 43 HRC ;开档凸台全面积淬硬。③曲轴为焊接平衡块结构,

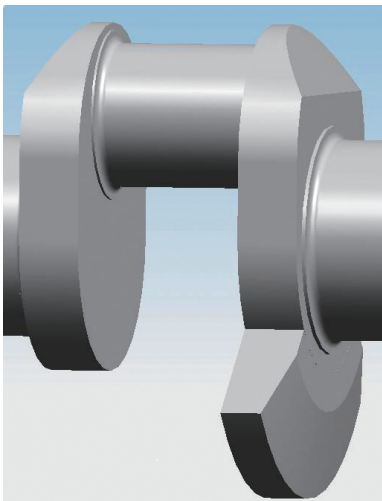


图 1

每一曲拐都带一块焊接平衡块,以连杆颈为回转中心,回转直径 $\geq 1\,000 \text{ mm}$ 。

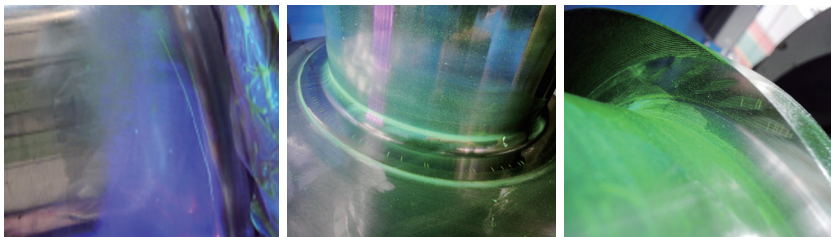
2. 问题的提出

该曲轴在成品探伤时发现连杆颈圆根处有裂纹(见图2a)。同时对在产的该曲轴进行探伤检查,发现曲轴连杆颈开档面有不同程度的裂纹(见图2b)。经过对裂纹部位进行酸蚀检验,发现裂纹部位均存在不同程度的磨削烧伤,烧伤部位呈柳叶状(见图2c)。

通过对该曲轴探伤检验、硬度检验、金相检验和裂纹深度确定等方面检验分析,得出结论为曲轴连杆颈圆根处的裂纹为严重的磨削烧伤导致的疲劳裂纹。

3. 原因分析

(1)磨削烧伤的定义:磨削烧伤是指磨削时,由于磨削区域的瞬时高温(一般为 $900 \sim 1\,500^\circ \text{C}$)到相变温度以上时,形成零件表层金相组织变化(大多表面的某些部分出现氧化变色),使表层金属强度和硬度降低,并伴有残余应力产生,甚至出现微观裂纹,这种现象称为磨削烧伤。磨削烧伤机理是当磨削表面产生高温时,如果散热措施不好,很容易在工件表面(从几十微米到几百微米)发生二次淬火及高温回火。如果磨削工件表面层的瞬间温度超过钢种的 A_{c1} 点,在冷却液的作用下产生二次淬火马氏体,而在表层下由于温



(a)

(b)
图 2

(c)

度梯度大,时间短,只能形成高温回火组织,这就使表层和次表层之间产生拉应力,而表层为一层薄而脆的二次淬火马氏体,当承受不了应力时,将产生裂纹。

(2) 磨削烧伤及磨削裂纹的原因分析:根据该曲轴磨削裂纹及烧伤状态,初步判断产生磨削烧伤及磨削裂纹的主要原因是磨削加工中,磨削区的温度过高、磨削不当造成。

为解决这一问题我们从以下几个方面进行了原因查找:①产品结构是否合理。②材料及热处理残余应力是否过大。③磨削方式是否正确。④砂轮的选择是否合理。⑤砂轮的修整是否及时、锐利。⑥机床冷却是否充分。⑦磨削参数是否合理。

曲轴结构对磨削的影响:该曲轴采用的焊接平衡块结构,磨削时平衡块的高度影响了砂轮侧面的冷却,冷却液无法进入砂轮与开档面之间;在磨削到连杆颈R时,砂轮与工件间接触面积过大,冷却液无法将已产生的磨削热迅速从磨削区域带走,造成磨削烧伤或裂纹。

曲轴材料及热处理的影响:该曲轴采用美国材料标准AISI 4145H,与国内机车曲轴材料42CrMoA对比如附表所示。

该曲轴材料C、Mn的含量提高,Cr的含量要求值范围变大,因无法找到该材料的热处理临界点参数,也没有对该材料的

Ac1、Ac3等参数进行测试,根据计算得出AISI 4145H钢临界点Ac1为699.445~746.51℃。

通过查表可知,42CrMoA材料Ac1为730℃左右。

当磨削区域的瞬时高温超过材料的Ac1时,将会发生磨削烧伤及裂纹,Ac1值越低,磨削时越容易产生裂纹,该曲轴的Ac1值低于国产机车42CrMoA的Ac1值,因此发生磨削烧伤及磨削裂纹的几率大大高于国产机车曲轴。

磨削方式不合理:以往我公司生产的曲轴开档面未做中频强化处理,一直采用端面靠磨的方式完成端面磨削,靠磨的磨削方式优点是效率高,适用于磨削面积不大、硬度不高的产品,缺点是砂轮端面需要整体和曲轴端面接触,磨削面积大,冷却介质无法进入砂轮和曲轴端面之间,也就无法迅速带走磨削热,曲轴烧伤的几率大大增加,该曲轴连杆颈开档磨削也采用了端面靠磨方式,中频淬火表面因冷却不到位加剧了磨削裂纹的产生。

对曲轴连杆颈磨削时,为保证曲拐半径精度,需要在磨削过程中测量和重新调偏心,此时已经对一侧开档面做了磨削,当重新调偏心后,曲轴在轴向会发生轻微的位移,当砂轮大速度进给时,砂轮侧面蹭到已经完成磨削的开档面,相当于对开档面做了二次大进给量的磨削,再次形成

磨削烧伤及裂纹,该烧伤即为图2c中柳叶状烧伤。

砂轮选择不合理:因该曲轴结构所需砂轮直径较大,国内外生产这样直径砂轮的厂家不多,原有进口砂轮证书型号按照国内牌号标识为WA46KV,但颜色与传统白刚玉砂轮颜色不一致,经调查发现,该砂轮国外牌号86A46Xk,属于铬刚玉,其中有一定百分比的54#磨料,该种砂轮一般用于磨削工具钢,54#磨料可以保持良好的磨削表面粗糙度,但对表面淬火工件而言磨粒过细,容易产生磨削烧伤及裂纹。

砂轮的修整存在问题:曲轴烧伤开档面呈镜面状态,表面粗糙度值已经达到 $Ra=0.05\sim 0.10\mu m$,经过观察和试验,发现原砂轮修整器结构单薄,快速度下修整砂轮时金刚轮发颤严重,只好采用较低的修整速度,造成砂轮磨削面过细、不锋利,磨削R及开档面时表面粗糙度呈镜面,造成磨削烧伤和裂纹的因素加大。

冷却效果差:连杆颈磨削采用意大利进口曲轴数控磨床,只有一个主冷却水管,现场观察冷却水流量低,冷却效果不好,到达不到砂轮侧面,开档面无冷却水进入,磨削热无法带走,形成烧伤乃至裂纹。

4.改进措施

曲轴的结构及热处理要求等设计要求是无法改变的,因此降

AISI 4145H与国内机车曲轴常用材料及其化学成分(%)对照表

成分	C	Si	Mn	Cr	Mo	Ni	P	S
4145H	0.42~0.49	0.15~0.35	0.65~1.20	0.75~1.20	0.15~0.25		≤0.04	≤0.040
42CrMoA	0.38~0.45	0.17~0.37	0.50~0.80	0.90~1.20	0.15~0.25	≤0.35	≤0.025	≤0.025

低磨削区温度的途径主要是减少磨削热的产生及加速磨削热的传出,因此我们围绕这两点经过大量的工艺试验,确定了以下改进措施并实行。

(1) 对工艺进行调整和优化:曲轴中频淬火后采用曲轴数控车床再精车连杆颈开档工序,控制曲轴尺寸链,使磨削余量均匀分布,减少磨削余量。在该工序后增加了热处理时效工序,减少热处理及加工应力。

(2) 磨削方式的改变:采用切入磨削代替传统的端面靠磨,同时将砂轮修整为倒锥形,使得砂轮端面与曲轴端面在磨削时形成的是线接触,磨削热量较靠磨小,冷却介质可以有效地进入磨削表面。

根据磨削工艺试验结果确定采用数控曲轴磨床,在精磨 R 和连杆颈时,砂轮从已经磨好的开档面起轴向移动规定的距离作为让刀,避免磨削 R 及轴颈时砂轮大速度走刀对端面产生二次磨削造成烧伤,并通过数控程序控制砂轮端面对开档面的让刀尺寸,该尺寸根据设备情况精确到 0.01mm 。

(3) 砂轮的选择:根据公司其他中频曲轴的磨削情况及该曲轴所需砂轮直径要求,调研了美国、德国、日本和中国上海、郑州等国内外砂轮制作厂家,因造价、供货期等因素,仍选择原供货商供货,但要求按照美国标准牌号供应一片相当于WA46KV的砂轮。经调研后再申请购买了1片NQ砂轮,NQ砂轮是美国磨具中心与磨削技术中心研发的最新科研成果,主要用于汽车曲轴及内

螺纹磨削,砂轮脱粒好,磨削刀面可保持锋利,磨削效率高。

(4) 砂轮侧面修整器改进、砂轮修整周期及次数的调整:对修整器进行了加固强化改进,重新设计制作了锁紧螺母等配件,加强了修整器的承力能力,提高了砂轮修整速度,砂轮端面的修整速度由 220mm/min 提高到 280mm/min 。

砂轮端面的修整由普通曲轴每4支曲轴修整1次,调整为每1支曲轴修整1次。

砂轮外圆及圆弧 R 的修整由每支曲轴精磨时修整1次,调整为每对连杆颈精磨时修整1次。

(5) 冷却系统改造。主冷却管改造:将正面喷嘴进水管由管螺纹固定联接改为球面联接,使得冷却液喷淋位置可调,当砂轮尺寸发生变化时,可使冷却主管靠近砂轮磨削区域,及时带走磨削热。

增加砂轮侧面冷却水系统:因曲轴带有平衡块,在磨削端面时冷却介质无法到达端面,机床原来带有的侧喷嘴在主喷嘴的后方(见图3),机床设计的作用是修正砂轮时冲刷砂轮端面,它远离曲轴开档,无法参与磨削冷却,因此我们对冷却系统进行了改造(见图4)。

改造后的砂轮冷却系统保证端面磨削时冷却充分,减少了磨削过程中产生的磨削热,避免烧伤。

(6) 对磨削参数进行试验和调整:磨削参数的选择合理与否对曲轴的磨削质量起至关重要的作用,经过试验确定曲轴磨削加工在数控曲轴磨床上进行,



图3 冷却系统改造前



图4 冷却系统改造后

采用进口砂轮38A46,通过程序控制曲轴磨削端面的进给量在 0.12mm/r 范围内,磨 R 时进给量转变为 $0.015\sim 0.020\text{mm/r}$ 之内,该工艺参数磨削的曲轴未发生磨削烧伤或磨削裂纹,生产效率也得到提高。

5. 结语

经过对该曲轴工艺优化:冷却系统改造及对磨削参数的调整,解决了该曲轴连杆颈圆根开档磨削烧伤及磨削裂纹的问题。在后续生产中未发现磨削裂纹。

参考文献:

- [1] 池震宇.磨削加工与磨具选择[M].北京:兵器工业出版社,1990.
- [2] 于骏一,邹青.机械制造技术基础[M].北京:机械工业出版社,2009.
- [3] 任敬心,华定安.磨削原理[M].北京:电子工业出版社,2011.

MW (收稿日期:20180429)