

曲轴热处理工艺对深滚压的影响

□上海通用汽车有限公司/翁玮



曲轴在发动机中承担着最大的负荷，承受方向不断变化的弯矩和转矩，同时承受着长时间的高速运转的磨损。传统的铸铁曲轴已不能满足越来越高的要求，钢曲轴的使用给高技术发动机带来契机的同时，也带来了新工艺。曲轴轴颈热处理就是其中最重要的工艺创新之一，但同时对后道工序的圆角深滚压工艺带来了挑战。本文对热处理工艺后引起的深滚压刀爆刀现象进行分析研究，并采取最优方案予以改善解决。

工艺流程

根据BOP，钢曲轴热处理、深滚压工艺安排如下：过程清洗→热处理→深滚压→下道工序。

钢曲轴加工在热处理工艺后进行深滚压工序，经常会发生滚压轮爆刀现象，且发生的频率较高。以某著名整车生产商为例，收集各基地钢曲轴项目实施状况数据，深滚

压工序爆刀频次频繁，由此引发的工废居高不下。深滚压的滚压刀寿命也大幅度降低，成本增加。

以某生产基地为例，2015年滚压刀爆刀统计见附表。

滚压设备的刀具损坏状况是依靠位置传感和振动传感来监控，

而爆刀截面缺口的大小是随机的，存在微小爆刀而设备未监控到的情况。

根据产品设计以及DFMEA、PFMEA的潜在失效模式分析，一旦发生失效工件流出，严重度至最高10。

滚压爆刀件数	爆刀频次	工废率占比（%）	滚压刀设置寿命/件
66	58	3.24	8 000降至2 000

滚压轮爆刃原因

1. 氧化层

(1) 刀具内部结构卡滞。观察滚压轮roller爆刃刀具，发现roller及刀体疑似泥浆物附着。将刀具拆开检查，内部各部件泥浆物附着，且磨损严重，如图1和图2所示。

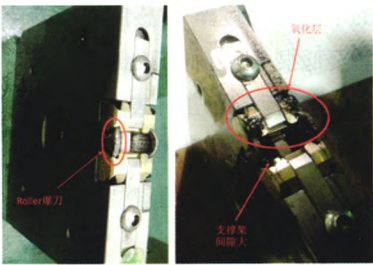


图1 roller爆刃/roller附着物/支撑架磨损

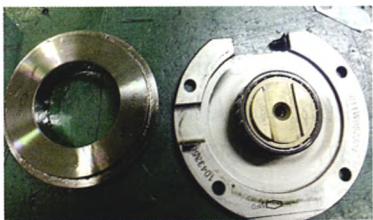


图2 导向轮/侧盖磨损严重

这个类似泥浆物从何而来？根据工艺流程图可知，滚压前道工序为热处理。经过感应淬火，感应回火后，在轴颈表面形成氧化层，由FeO、Fe₃O₄和Fe₂O₃所组成，Fe₂O₃呈红色，Fe₃O₄呈黑色，FeO呈蓝色，如图3所示。



图3 热处理后工件表面的氧化层

由于氧化层是曲轴轴颈表面组织的疏松层，在进行圆角深滚压时，滚压臂对滚压头和支撑头施加了5.8~11.5kN的滚压力（见图4），滚压头和支撑头之间的工件

在此高压下，轴颈表面的氧化层被挤压，使浮层渗入滚轮保持架中（滚压刀具内部结构详见图5），再从滚轮保持架渗入到滚压刀具整个内部结构，使导向轮、侧盖、滚压轮保持架磨损，造成卡滞，滚压轮转动受阻，在高压下产生爆刃。

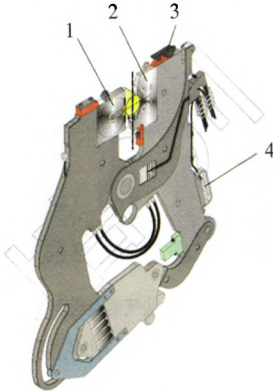


图4 滚压工件简图

1.滚压头 2.支撑头 3.快速弹簧压板 4.力传感器

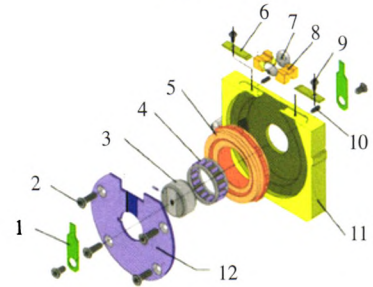


图5 滚压刀具结构

1.带六角螺栓的弹簧片 2.圆柱头螺栓/沉头螺栓 3.带定位销的轴 4.滚针保持架 5.导向轮 6.压紧片 7.滚压轮 8.轮保持架 9.内六角盘头螺栓 10.紧定螺栓 11.外壳 12.侧盖

(2) 滚压轮保持架间隙过大。氧化层对滚压刀另一影响是由于氧化层渗入滚压轮保持架，保持架是滚轮的导轨，在高压下，加上氧化层泥浆物的黏着，保持架极易磨损，使滚压轮与保持架之间的间隙扩大，滚压轮定位不稳定。在圆角深滚压工艺中，一般深滚压轮与未滚压前的圆角R相差0.1mm，如保持架与滚轮之间的间隙过大，那么滚压轮除了正常的径向加工受力外，轴向间隙的过大偏移，使滚压轮在深滚压过程中定位不稳定，极易使滚压轮产生类似于钻削类刀具的折断式爆刃。

2. 深滚压压力过大

曲轴深滚压工艺的滚压力设置是根据产品图样要求而制定的。

曲轴产品图样对滚压力的要求主要分为两类：第一类只对滚压力下公差给出了要求，如xxxxkNmin。第二类产品图样则有明显的区别，是给出了上下公差，如xxxx~YYYYkN。工艺所设置的滚压力是否满足产品要求是将滚压力设置在产品图样要求的范围内，然后通过GED来验证的。

如工艺所设置的滚压力过大，满足了GED，但是在曲轴正常生产

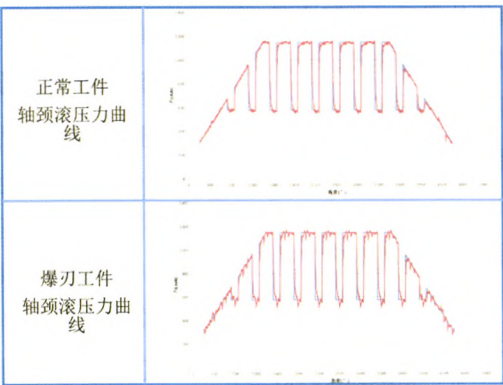


图6 PMS监控

过程中, 滚压轮由于过高压力, 疲劳程度会加剧, 随之刀具使用寿命缩减, 在加工过程中滚压轮受损机率增加。从滚压过程监控PMS可知(见图6)。

3. 工件表面温度

热处理工序结束后, 曲轴表面温度一般要求 $<45^{\circ}\text{C}$, 依据是除了感应热处理的工艺外, 还有人机工程的要求。我们实测热处理后的工件轴颈表面温度, 刚加工完毕的工件为 $42\sim 43^{\circ}\text{C}$; 放入buffer中工件的轴颈表面温度为 $39\sim 40^{\circ}\text{C}$ 。

滚压设备通常的深滚压工艺为在深滚压过程中没有滚压油润滑降温, 深滚压工步结束后, 进行滚压油喷洒。这是为了防止设备内的滚压油被工件带入下道工序, 对下道工序的加工产生影响(下道工序一般为CNC, 滚压油带入CNC, 会污染乳化液, 改变乳化液的PH值、浓度, 影响加工过程), 以及防止由于滚压油的大量带出而产生的高成本。

通过分析得知, 在深滚压过程中, 工件轴颈表面温度高, 在施加了高压后, 无切削液降温, 热导性能大大降低, 加速了滚压轮的磨损, 导致爆刀。

解决方案

针对曲轴热处理后三类深滚压工序滚压轮爆刀的失效模式, 可针对性的采用前馈进行预防。

1. 关于氧化层深入滚压刀具内部结构

(1) 滚压刀具内部结构卡滞的解决方案。氧化层在深滚压过程中渗入, 造成导轮、侧盖等内部结构磨损的情况, 可采用Permanent lubrication的方案, 恒定润滑, 即

在深滚压过程中同时喷油气混合物进行润滑。油气混合物是从滚压刀具内部喷射出来的, 内部产生一个高于刀具外部的气压, 阻止氧化层在深滚压过程中渗入刀具内部结构(见图7)。

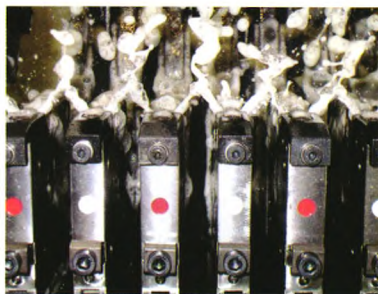


图7 油气混合喷射

当然也可以采用在深滚压的同时喷气的方案, 可大大降低工件将滚压油带出滚压设备。但防止滚压轮崩刃效果比油气混合物略差, 在实际过程中可根据具体情况进行酌情选择方案。

(2) 保持架间隙过大的解决方案。采取设置一定加工件数, 将滚压刀具整体拆卸进行刀具内部结构清洗, 对保持架采用间隙控制。一般新保持架间隙控制在 $<0.5\text{mm}$; 使用过的保持架间隙控制在 $<0.7\text{mm}$ 。由于滚压刀设置寿命一般为8 000件左右, 刀具拆卸保养必须做好相应的记录, 防止各部件不同使用寿命的混淆, 产生人为的失效发生。

2. 深滚压压力设置方案

为防止深滚压过程中滚压压力过大, 而致使滚压轮爆刃的情况, 可根据产品图样滚压力要求的公差范围, 在满足GED要求的情况下, 适当设置相对较低滚压力。

3. 工件表面温度高的解决方案

前道热处理工序加工完毕后,

工件表面温度较高。在曲轴加工工艺中, 切削一般有切削液进行降温, 并且可以降温至控制常温室温, 通常为 25°C 左右。热处理工序由于最高温度可达 900°C , 淬火液冷却后达到的温度也较其他工序要高得多。在评估节拍后, 可以在打标工位安装降温喷淋帘。打标工位的节拍比感应淬火/感应回火的节拍要低很多, 在此工位进行降温, 可以在达到降低工件表面高温的同时, 不影响工序的整体节拍, 且工件表面温度可降低至室温。

结语

钢曲轴的应用是当前及未来燃油发动机的主流, 而满足钢曲轴在发动机越来越高的转速要求下, 曲轴热处理工艺是主体策略, 由此产生的, 非热处理曲轴所未发生的, 对后道工序影响的失效也在逐步体现出来。本文针对热处理后深滚压爆刀的三类失效模式所采取的三种方案, 是笔者在实际工作中解决疑难问题的经验总结。AUTO1950



翁玮

上海通用汽车有限公司

动力总成工艺主任工程师

主管参与了V6发动机、FamI发动机、FamII发动机、Fam BC发动机曲轴工艺。现主管L850发动机、LGE发动机曲轴工艺。