

本文通过对曲轴热套工艺中出现的齿圈脱落问题进行问题分析，通过过盈量理论计算及齿圈转矩试验找出最小过盈配合量，用来指导实际生产控制，对采用过盈配合设计的零部件实际生产中的检测控制有借鉴意义。

□ 上汽通用汽车有限公司金桥动力总成厂 李广磊

曲轴热套工艺过盈配合量研究

随着汽车行业的发展，发动机轻量化逐渐成为行业发展的趋势，而作为发动机核心部件的曲轴越来越多地采用曲轴与齿圈一体化设计，这样可以提高发动机整体的动平衡性能，降低噪声的影响，优化发动机的整体质量。因此，发动机曲轴与齿圈之间的热套工艺逐渐成为影响曲轴机加工质量的关键因素之一，有必要对曲轴热套工艺进行分析研究。

曲轴热套工艺中的问题

某型号曲轴热套齿圈的图样要求如下：①热套齿圈加热温度上限要求 280℃；②将齿圈按图样要求轴向及角度位置压装至法兰外圆上，与油封外圆不得有干涉；③压装过程中，齿圈完全冷却前需被保持在压装位置；④曲轴分总成剩磁不超过 4 G。

曲轴与齿圈热套后为过盈配合，两者配合的质量依靠曲轴齿圈安装面的外径尺寸与齿圈内径尺寸保证。热套工位的曲轴齿圈安装面直径设备 100% 测量，齿圈为外购件，图样要求齿圈内径的测量是在施加 0.8 MPa 压力的情况下进行的，该内径尺寸依靠供应商处的测量进行保证。在实际批量生产过程中发现热套后的齿圈有脱落的情况，分析原因是由于来料齿圈内径超上差，导致曲轴和齿圈间的配合变为间隙配合。为了提高产品质量，有必要对齿圈来料进行现场 100% 检测，避免失效的再次发生。

齿圈为薄壁件结构，在径向压紧的情况下加工及测量，在自由状态下的齿圈内径形状为不规则曲线图形，如图 1、图 2 所示。在生产现场对自由状态下的不规



图 1 齿圈样件

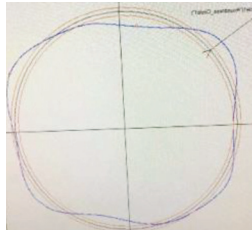


图 2 齿圈内径测量结果

则的齿圈内圆直径测量需要明确设定的公差范围。

因此，有必要对曲轴与齿圈之间的过盈配合量进行分析研究，推导出两者之间的最小过盈量尺寸，用最小过盈量尺寸推导出齿圈内径的设定范围。

曲轴与齿圈之间的最小过盈量

1. 曲轴热套齿圈转矩负荷分析

对某曲轴热套齿圈转矩载荷进行试验测试，如图 3 所示。对比发现，该曲轴与齿圈间的最大动态转矩数据为：+80 N·m/-75 N·m，对该动载荷进行加权，得到 150 N·m。曲轴与齿圈两者之间的最小过盈量能够承载 150 N·m，曲轴热套工艺后，该分总成的状态就是安全的，能够满足发动机的极

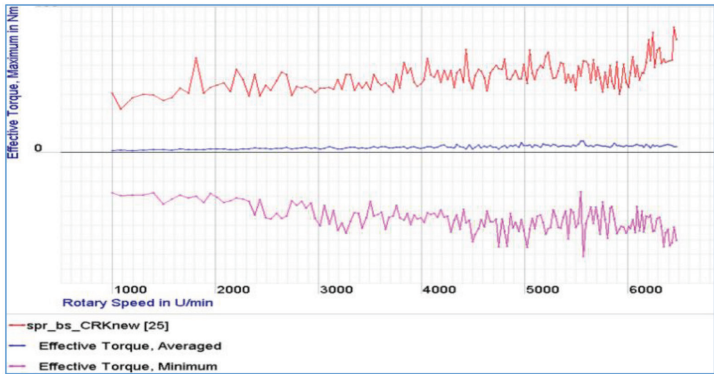


图 3 曲轴热套齿圈转矩测试曲线

限工况需求。

2. 最小过盈量计算

(1) 当联接传递转矩 T 时, 应保证在此转矩作用下不产生周向滑移, 即当径向压力为 P 时, 在转矩 T 的作用下, 配合面间所能产生的摩擦阻力矩 M_f 应大于或等于转矩 T 。

$$M_f = \pi d l \mu f \cdot d/2 \quad (1)$$

式中, d 、 d_1 、 d_2 分别为配合的公称直径、曲轴齿圈安装面的内径和齿圈的外径。

(2) 根据材料力学有关厚壁圆筒的计算理论, 过盈联接传递载荷所需要最小过盈量应为

$$\Delta_{\min} = p d \left(\frac{C_1}{E} + \frac{C_2}{E} \right) \times 10^3 \mu$$

$$C_1 = \frac{d^2 + d_1^2}{d^2 - d_1^2} - \mu_1 \quad C_2 = \frac{d_2^2 + d^2}{d_2^2 - d^2} - \mu_2 \quad (2)$$

式中, μ_1 、 μ_2 分别为曲轴和齿圈的泊松比; C_1 、 C_2 分别为曲轴、齿圈的刚性系数; E_1 、 E_2 分别为曲轴和齿圈的弹性模量。按照最小有效过盈量公式计算: 转矩按照最大 $150 \text{ N} \cdot \text{m}$, 泊松比

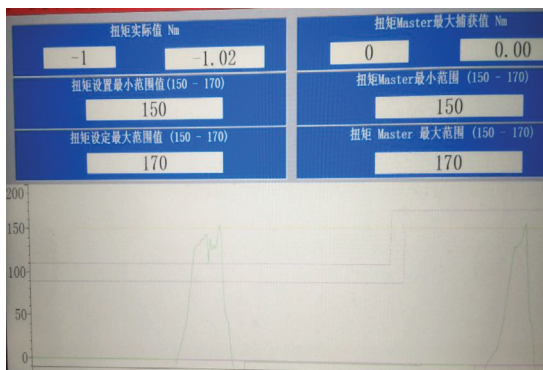


图4 转矩试验

按照钢 0.3, 摩擦系数取值 0.14, $d=87.3 \text{ mm}$, $L=13 \text{ mm}$, $d_1=0$, $d_2=97.2 \text{ mm}$, $E=206 \text{ 000 MPa}$, $C_1=0.7 \text{ mm}$, $C_2=9.045 \text{ mm}$ 。

计算得出最小过盈量 0.00284 mm , 增加安全系数 2.8。经过计算得出曲轴与齿圈最小过盈配合 0.008 mm 。

曲轴热套齿圈转矩验证

测试若干组曲轴与齿圈的最小过盈配合量转矩。试验分别选取曲轴与齿圈三组, 每组的配合过盈量分别为 0.007 mm 、 0.006 mm 、 0.007 mm , 每组均施加 $150 \text{ N} \cdot \text{m}$

的转矩 ($150 \text{ N} \cdot \text{m}$ 是考虑极限工况下的加权转矩值), 均通过验证未发生滑移, 如图 4 所示。

为了检查齿圈是否滑移, 采用了两个方式: ①在齿圈和曲轴上增加标识线, 检查未发现移动; ②每个试验件均测试 3 次, 3 次均达到 $150 \text{ N} \cdot \text{m}$ 的转矩。曲轴热套齿圈转矩试验的结果表明: 最小过盈量的计算值是可信的。

结语

本文分析了曲轴热套工艺中的问题, 找到问题的原因, 并计算出曲轴与齿圈的最小过盈量, 按照最小过盈量对来料齿圈进行内径控制, 跟踪 10 万件, 未发生质量问题。针对采用过盈配合设计的零部件, 可以通过过盈量的理论计算找出最小过盈配合量, 用来指导实际生产中的检测控制, 降低产品的质量风险。A

(上接第 16 页)

表2 改进后阀板平面度检测数据

(单位: mm)

平面度要求 0.05	0.019 3	0.023 2	0.019	0.023 1	0.019 4	0.02
0.023 3	0.022 2	0.020 9	0.023 7	0.018 9	0.017 3	0.024 3
0.022 7	0.021 6	0.023 1	0.024 5	0.022 2	0.021 5	0.024 9
						0.023 5

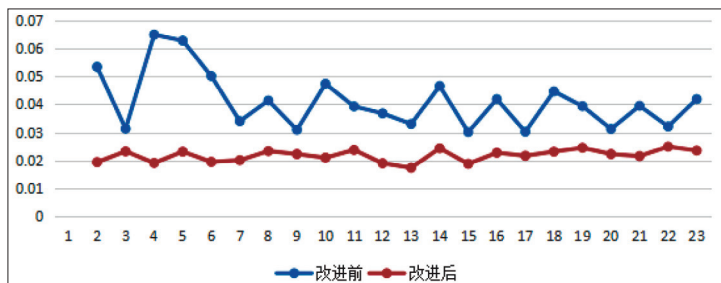


图2 阀板结合面平面度改进前后对比

其阀板结合面平面度测量结果见表 2。从检测数据表可以看出平面度数值均在 0.05 mm 要求以

内, 阀板平面度 100% 合格。对比改进前平面度提升了 $0.01 \sim 0.02 \text{ mm}$, 如图 2 所示。

结束语

变速器阀板是一种加工易变形的薄壁工件, 控制阀板加工过程中的变形以及加工后应力释放变形, 有利于保证阀板加工的尺寸精度, 从而保证产品质量。我司通过阀板加工夹具增加多点辅助支撑, 机加工过程中夹具松开后二次夹紧, 以及阀板结合面粗加工后自然时效后再进行精加工的措施, 满足了产品尺寸要求, 提升了阀板结合面的平面度。改进过程中对变形控制的探索, 为同类产品的工艺优化提供了经验。A