

气缸孔止口倒角的便捷测量方法

李东波, 栾玉庆, 田正玉, 刘丁丁

潍柴动力股份有限公司, 山东 潍坊 261061

摘要:为解决发动机气缸体缸孔止口倒角人工目测法测量精度低、难以满足生产需要的问题,基于缸孔止口倒角测量原理,设计缸孔止口倒角专用测量工具,进行样本测量,并用 Minitab 软件分析专用测量工具测得的样本数据的重复性波动、再现性波动、测量系统波动、部件间波动、合计波动。结果表明:该量具可实现缸孔止口倒角的便捷测量,相比传统的目测法,大大提高了产品检测精度和满足生产要求;系统波动评价因数 16.92%,公差评价因数 29.95%,均在 10%~30%的有效评价范围内,验证测量工具及测量方法有效。

关键词:气缸体;测量;止口倒角;量具

中图分类号:TK406

文献标志码:A

文章编号:1673-6397(2023)01-0081-04

引用格式:李东波, 栾玉庆, 田正玉, 等. 气缸孔止口倒角的便捷测量方法[J]. 内燃机与动力装置, 2023, 40(1):81-84.

LI Dongbo, LUAN Yuqing, TIAN Zhengyu, et al. A convenient method for measuring the chamfer of cylinder bore[J]. Internal Combustion Engine & Powerplant, 2023, 40(1):81-84.

0 引言

发动机活塞在缸套内做往复运动,装配在气缸体缸孔内的缸套,受预紧力、往复惯性力、活塞侧向力、爆发压力等作用^[1],缸孔加工质量影响缸套的装配质量及发动机性能。缸孔加工中需测量缸孔直径、止口直径、缸孔止口倒角、缸孔位置度、缸孔止口同轴度等,其中,缸孔直径、止口直径采用专用量具进行测量;缸孔位置度、缸孔止口同轴度采用三坐标方法测量;缸孔止口倒角常采用目测法,测量分辨率不足,仅能粗略评估止口倒角是否合格,无法满足产品加工精度要求^[2]。

本文中基于缸孔止口倒角测量原理,设计专用测量工具,采用 Minitab 软件分析测量数据,验证测量工具及测量方法的可行性。

1 缸孔止口倒角与缸套圆角分析

1.1 缸孔止口倒角尺寸

某发动机缸孔止口倒角与缸套圆角配合,缸孔止口倒角为 $0.6^{+0.1}_0$ mm $\times 45^\circ$,缸套圆角为 $R0.4^{+0.2}_0$ mm。该气缸体使用专用镗杆加工缸孔止口倒角,镗杆生产节拍为 4.2 min/件,镗杆刀片寿命为 150 件/刃。在生产加工过程中,随着加工数量增加,刀片产生磨损,导致加工的缸孔止口倒角出现偏差^[3]。

1.2 缸孔止口倒角与缸套圆角配合

假设缸孔止口倒角为 $a \times 45^\circ$,缸套圆角为 Rb ,缸孔止口倒角与缸套圆角之间的配合状态有 3 种,示意图如图 1 所示。由图 1 可知,若 $a=b$,圆角与倒角不存在干涉;若 $a < b$,在缸套装配时,缸孔止口倒角与圆角相互干涉,缸套受到缸孔止口倒角支撑应力作用,产生变形,发动机工作过程中导致缸套破碎,产生严重的发

收稿日期:2022-07-06

第一作者简介:李东波(1981—),男,山东潍坊人,高级工程师,主要研究方向为内燃机设计与制造,E-mail:lidb@weichai.com。

动机故障;若 $a > b$, 缸孔止口倒角增大, 缸套支撑面积减小, 缸套所受压强增大, 存在缸套破碎的风险^[4]。

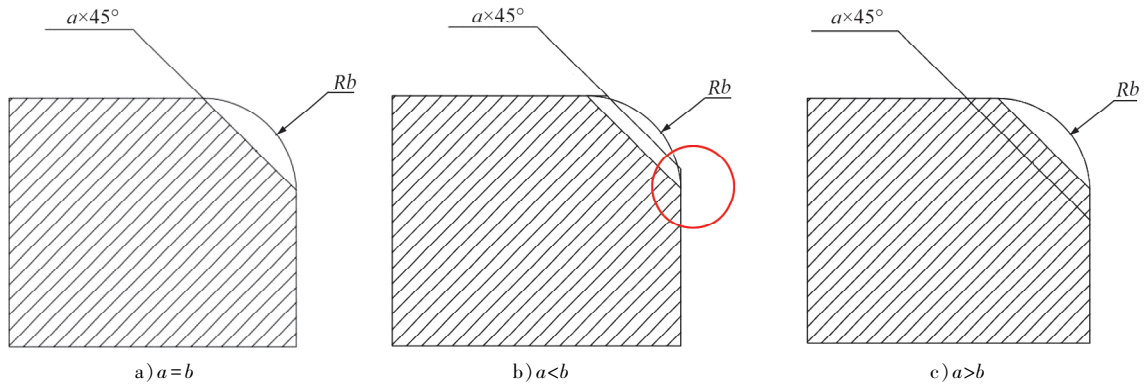


图1 缸孔止口倒角与缸套圆角之间的3种配合状态

2 测量原理

2.1 量具设计

根据缸孔直径及缸孔止口倒角尺寸,设计标准块与测量块,标准块基准面与缸孔直径相同,标准倒角与缸孔止口倒角对应,测量块基准面与标准块基准面配合,标准块与测量块结构如图2所示。已知缸孔直径为 $\Phi 131^{+0.025}_0$ mm,缸孔止口倒角为 $0.6^{+0.1}_0$ mm $\times 45^\circ$,公差带 $T=0.1$ mm,设计标准块基准面直径 $\Phi 131^{+0.025}_0$ mm,标准倒角为 $0.6^{+0.01}_{-0.01}$ mm $\times 45^\circ$,测量块基准面直径为 $\Phi 131^{+0.025}_0$ mm。

2.2 测量过程

缸孔止口倒角测量装置主要包含标准块、探针、测量块、测量表,其中测量表为测量范围 $0 \sim 3$ mm 的百分表。以某缸孔止口倒角为例,止口倒角测量原理如图3所示,假设标准块倒角的中垂线为直线 l ,标准块倒角加工面与 l 相交于点 X ,测量块止口倒角加工面与直线 l 垂直,相交于点 Y , $XY=b'$ 。测量步骤为下:1)测量标准块倒角为 $a \times 45^\circ$; 2)将探针、测量表安装在测量块上,固定方向与直线 l 重合,测量表的测量头顶在探针上;3)以标准块倒角为基准,在标准块上将测量表校零;4)移动探针,测量测量块止口倒角时,测量表指针发生变化,读取测量表数值;5)若测量表逆时针摆动,测量块倒角大于标准块倒角,测量块倒角为 $(a + b' / \sin 45^\circ) \times 45^\circ$;若测量表顺时针摆动,测量块倒角小于标准块倒角,测量块倒角为 $(a - b' / \sin 45^\circ) \times 45^\circ$;若测量表不摆动,测量块倒角等于标准块倒角,测量块倒角为 $a \times 45^\circ$ 。

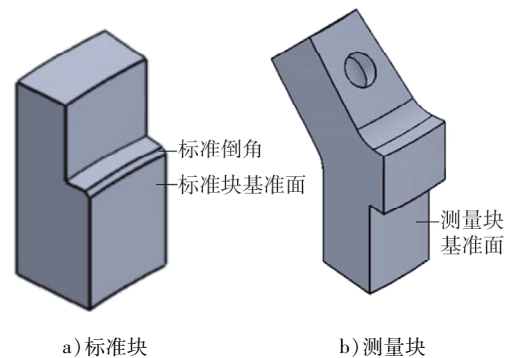


图2 标准块与测量块结构

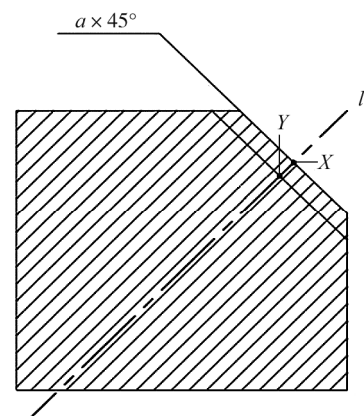


图3 止口倒角测量原理图

3 测量数据分析

3.1 结果分析

现代质量管理统计中广泛使用 Minitab 软件对测量数据进行简单快速的统计分析。Minitab 软件可分析测量数据的重复性波动、再现性波动、测量系统波动、部件间波动、合计波动等^[5]。

根据缸孔直径及缸孔止口倒角制作标准块,测量标准块倒角为 $0.61 \text{ mm} \times 45^\circ$,3 位测量人员分别测量 10 个缸孔止口倒角样本,每个样本测量 3 次,记录测量结果,并进行数据分析。

重复性波动

$$\delta_{ev} = 6\sigma_e, \quad (1)$$

式中: σ_e 为测量过程中数据波动的标准差,容易受各种测量因素影响,可采用 Minitab 软件直接计算。

测量过程中数据波动的标准差估算值

$$\sigma'_e = \left(\sum_{i=1}^3 \sum_{j=1}^{10} R_{ij} \right) / (gd), \quad (2)$$

式中: d 为系数,通过查询数值表, $d=1.6926$, g 为测量人员人数与测量样本数量的乘积, $g=30$; R_{ij} 为测量人员测量零件样本对应的极差, i 为测量人数, $i=1,2,3$; j 为零件样本, $j=1,2,\dots,10$;极差为同一测量人测量同一零件 3 次时最大测量值与最小测量值之间的差。由式(2), $\sigma'_e=0.3481$,使用 Minitab 软件计算 $\sigma_e=0.4852$,由于 σ'_e 未考虑操作者与样本的交互作用,与 σ_e 一定差异。考虑各方面影响因素,数据分析时采用 σ_e ,由式(1)得: $\delta_{ev}=2.9111$ 。

再现性波动

$$\delta_{av} = 6\sigma'_o = [(6\sigma_o)^2 - (6\sigma_e)^2 / mn]^{1/2}, \quad (3)$$

$$\sigma_o = (\bar{x}_{\max} - \bar{x}_{\min}) / d, \quad (4)$$

式中: m 为一个样本重复测量次数, $m=3$; n 为测量样本数量, $n=10$; σ_o 为测量系统再现性的标准差; σ'_o 为再现性标准差校正值; \bar{x}_{\max} 、 \bar{x}_{\min} 分别为 3 位测量人员测量的止口倒角平均值的最大值、最小值。由式(3)(4)得: $\sigma'_o=0.1175$, $\delta_{av}=0.7052$ 。

测量系统波动

$$\delta_{R\&R} = 6\sigma_{ms} = \sqrt{\delta_{ev}^2 + \delta_{av}^2}, \quad (5)$$

式中, σ_{ms} 为测量系统波动的标准差。由式(5)得: $\delta_{R\&R}=2.9953$, $\sigma_{ms}=0.4992$ 。

部件间波动

$$\delta_{pv} = 6\sigma_p, \quad (6)$$

式中: σ_p 为测量部件的标准差;其中, $\sigma_p = (\bar{x}_{\max} - \bar{x}_{\min}) / d$, $\sigma_p=2.9085$; \bar{x}_{\max} 、 \bar{x}_{\min} 分别为 10 个样本中,同一样本 3 位测量人员测量 3 次后平均值的最大值、最小值。由式(6)得: $\delta_{pv}=17.4510$,

系统波动方差

$$\sigma_{ms}^2 = \sigma_e^2 + \sigma_o^2 + \sigma_{op}^2,$$

式中: σ_{op}^2 是测量人员与零件的交互作用方差,由 Minitab 软件分析得出。

合计波动方差

$$\sigma_t^2 = \sigma_e^2 + \sigma_o^2 + \sigma_p^2 + \sigma_{op}^2.$$

系统合计波动

$$\delta_{tv} = \sqrt{\delta_{av}^2 + \delta_{ev}^2 + \delta_{pv}^2} = 6\sigma_t. \quad (7)$$

由式(7)可得, $\delta_{tv}=17.7060$, $\sigma_t=2.9510$ 。

数据组数可评价测量系统的分辨力

$$N = \lfloor \sqrt{2} \frac{\sigma_p}{\sigma_{ms}} \rfloor, \quad (8)$$

式中 $\lfloor \cdot \rfloor$ 为向下取整数^[6]。

由式(8)可得, $N=8$,满足行业中数据组数应大于等于 5 的规定^[7],说明样本数据能较好的用于数据分析和生产控制^[8],该测量系统具有较好的分辨力。

3.2 评价方法

采用波动评价因数 λ 或公差评价因数 λ' 评价测量系统能力,主要对测量数据及测量方法进行评价,

计算方法为:

$$\lambda = \delta_{R\&R} / \delta_{iv} \times 100\%, \quad (9)$$

$$\lambda' = \delta_{R\&R} / T \times 100\%。 \quad (10)$$

若 $\lambda \leq 10\%$ 或 $\lambda' \leq 10\%$, 表明测量系统能力很好; 若 $10\% < \lambda \leq 30\%$ 或 $10\% < \lambda' \leq 30\%$, 表明测量系统能力可以接受; 若 $\lambda > 30\%$ 或 $\lambda' > 30\%$, 表明测量系统能力不足, 必须进行改进^[9]。由式(9)(10)可得: $\lambda = 16.92\%$, $\lambda' = 29.95\%$, 表明设计的量具测量样本数据有效, 测量方法适用于缸孔止口倒角的测量。

4 结语

1) 本量具将止口倒角转化为距离之间的测量, 测量方法简单迅速, 测量成本低, 满足生产现场测量频次和精度要求。

2) 依照量具设计原理, 可推广至其他倒角测量。

3) 测量系统的数据组数必须满足行业内要求, 才能实现对数据的有效分析。

参考文献:

- [1] 文怀军. 缸盖螺栓连接螺旋副深度对缸孔变形的研究[J]. 小型内燃机与车辆技术, 2020, 49(3): 59-62.
- [2] 欧映鸿, 周良明, 唐林, 等. 一种加工悬空零件的积木式柔性工装研究[J]. 新技术新工艺, 2016(8): 4-7.
- [3] 魏明. 离散制造业质量工具集成方法与应用研究[D]. 天津: 天津大学, 2005.
- [4] 张渝, 李琳, 陈津, 等. 航空发动机重要装配工艺分析及研发展望[J]. 航空制造技术, 2019, 62(15): 14-21.
- [5] 祁东生. 基于六西格玛方法的汽车安全带卷收器设计[D]. 重庆: 重庆大学, 2019.
- [6] 何桢. 六西格玛管理[M]. 3版. 北京: 中国人民大学出版社, 2014.
- [7] 戚鹏. 属性值测量一致性分析及其对质量判定的影响分析[D]. 天津: 天津大学, 2009.
- [8] 张博, 张云莲, 朱强, 等. 测量系统分析(MSA)在卷烟工艺质量管理中的应用[J]. 烟草科技, 2010(8): 29-33.
- [9] 王晓刚. 基于DMAIC的3M结构胶产品质量改进研究[D]. 上海: 上海交通大学, 2016.

A convenient method for measuring the chamfer of cylinder bore

LI Dongbo, LUAN Yuqing, TIAN Zhengyu, LIU Dingding

Weichai Power Co., Ltd., Weifang 261061, China

Abstract: In order to improve the accuracy and efficiency of manual visual inspection method for the cylinder hole chamfer of engine cylinder block, based on the cylinder hole chamfer measurement principle, a special measuring tool for the cylinder hole chamfer is designed, and the Minitab software is used to analyze repetitive fluctuation, reproducibility fluctuation, measurement system fluctuation, inter-part fluctuation and total fluctuation of sample data measured by special measuring tool. The results show that the measuring tool can realize the convenient measurement of the chamfer of the cylinder hole, and can improve the product detection accuracy and meet the production requirements compared with the traditional visual inspection method. The system evaluation factor is 16.92%, tolerance evaluation factor is 29.95%, both within the effective evaluation range of 10%~30%, which verifies the effectiveness of measuring tools and methods.

Keywords: cylinder block; measurement; chamfer; measuring tools

(责任编辑: 臧发业)