

发动机缸盖导管座圈孔复合铰刀 国产化开发及使用评价

文亮, 李超

上海交大智邦科技有限公司 上海 201306

摘要: 针对发动机缸盖导管座圈加工进口刀具成本高昂及缺乏国产可替代刀具的问题, 从加工工艺要求出发, 联合上海交通大学及刀具制造商对导管座圈刀具进行了国产化开发, 制定刀具加工质量与加工寿命评价方法并验证; 结果表明, 国产复合铰刀能满足自动化生产线批量加工的精度及稳定性要求, 且其制造周期及使用成品较进口刀具大幅降低, 其寿命与进口刀具相比具备优势, 具有良好的推广价值。

关键词: 缸盖; 复合铰刀; 导管座圈; 国产化; 评价

DOI:10.16173/j.cnki.ame.2024.12.007

缸盖是汽车发动机的重要组成部分之一, 作为发动机配气机构中的执行元件, 气门座圈和导管是保证发动机动力性能、经济性能、可靠性及耐久性的重要零件^[1]。气门座圈在工作中要承受很高的热负荷和机械负荷, 所以要求其具有很高的耐磨性和密封性。座圈材料通常为粉末冶金, 属于发动机加工中典型的难加工材料^[2]。导管座圈制造精度直接影响气缸盖、气门与座圈的密封性, 若加工制造误差大, 将导致发动机高速运转时, 导管座圈零件的快速磨损, 动力性能下降, 同时加大耗油量, 因此汽车制造厂家对缸盖座圈和导管孔的尺寸精度及形位精度均提出了很高的要求, 给缸盖的制造装备及刀具带来了很大的挑战。

长期以来, 国内发动机缸体、缸盖加工刀具以进口品牌为主, 如玛帕 (MAPAL)、钴领 (Gühring)、瓦尔特 (Walter) 等, 特别是对于导管座圈孔、凸轮轴孔等复杂结构的加工, 其加工刀具市场基本被玛帕所

垄断^[3], 在国内没有竞争对手。导管座圈孔由于其结构复杂, 导致加工刀具必须使用复合结构, 进口刀具售价十分昂贵, 仅单个刀具购买价格就可达数万元人民币。刀具在缸盖等零部件制造过程中为易损件, 随着汽车制造业竞争越来越激烈, 开展国产化导管座圈孔复合铰刀开发及应用研究, 对于降低发动机制造成本, 提升国产刀具制造业的竞争力, 加强中国制造实力具有重要意义且十分必要。

导管座圈孔加工工艺简介

上汽通用汽车LCV型缸盖导管座圈孔截面如图1所示, 排气侧座圈孔局部放大图如图2所示。导管座圈孔分为进气侧和排气侧, 其中座圈孔径较大的一侧为进气侧导管座圈孔。为保证气门座圈在工作中的耐磨性和密封性, 导管、座圈采用粉末冶金材料制造, 通过电缸压装到缸盖的导管座圈底孔中, 通过控制压装力

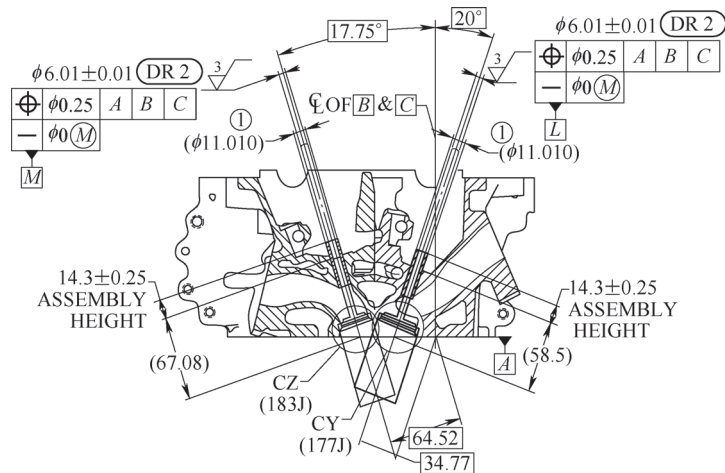


图1 导管座圈孔截面图

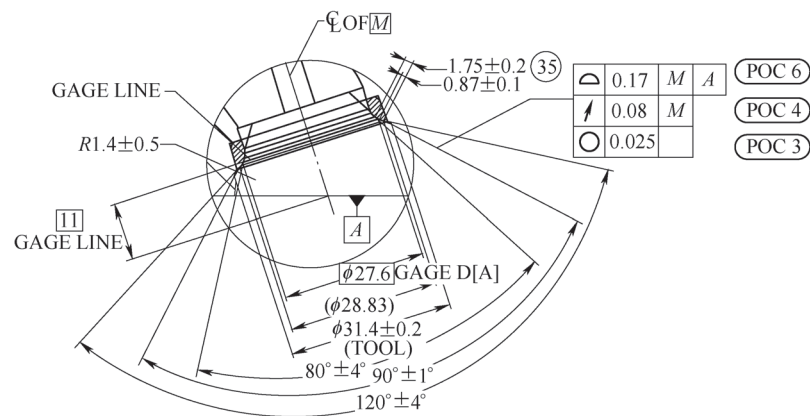


图2 座圈孔局部放大图

及位移使其与缸盖形成组件。导管座圈压装完成后及可对导管座圈孔进行加工，加工过程控制计划见表1、表2。

表1 进气侧导管座圈孔控制计划

特征编号	名称	控制规范	测量/评价方法
H1101-H1108	导管直径/mm	$\phi 6.01 \pm 0.01$	读数式手动检具
H1101-H1108	导管深度	通孔	目视检查
H1101-H1108	导管位置度/mm	$\Phi 0.25$, -A-, -B-, -C-	CMM
H1101-H1108	导管直线度/mm	$-\phi 0.04$	直线度规
H1101-H1108	导管孔粗糙度/ μm	3	粗糙度仪
H1101-H1108	阀座角度	$56^\circ \pm 4'$	CMM
H1101-H1108	阀座角度	$90^\circ \pm 1'$	读数式手动检具

(续)

特征编号	名称	控制规范	测量/评价方法
H1101-H1108	90° 锥面轮廓度/mm	$\bigcap 0.17, -L-, -A-$	CMM
H1101-H1108	90° 锥面深度/mm	$\nabla 9.2 \pm 0.12$	读数式手动检具
H1101-H1108	90° 锥面跳动/mm	$\nearrow 0.08, -L-$	读数式手动检具
H1101-H1108	90° 锥面圆度/mm	$\bigcirc 0.025$	读数式手动检具
H1101-H1108	阀座角度	$120^\circ \pm 4'$	CMM
H1101-H1108	90° 锥面和120° 锥面交线到Gage Dian27.6的宽度/mm	0.6 ± 0.1	CMM
H1101-H1108	90° 锥面宽度/mm	1.2 ± 0.2	读数式手动检具
H1101-H1108	直径/mm	$\varnothing 38.3 \pm 0.2$	刀具保证
H1101-H1108	圆角/mm	$R1 \pm 0.5$	刀具保证

表2 排气侧导管座圈孔控制计划

特征编号	名称	控制规范	测量/评价方法
H1201-H1208	导管直径/mm	$\phi 6.01 \pm 0.01$	读数式手动检具
H1201-H1208	导管深度	通孔	目视检查
H1201-H1208	导管位置度/mm	$\phi 0.25$, -A-, -B-, -C-	CMM
H1201-H1208	导管直线度/mm	$-\phi 0 \text{ M}$	直线度规
H1201-H1208	导管孔粗糙度/ μm	3	粗糙度仪
H1201-H1208	阀座角度	$60^\circ \pm 4^\circ$	CMM
H1201-H1208	阀座角度	$90^\circ \pm 1^\circ$	读数式手动检具
H1201-H1208	90° 锥面轮廓度/mm	0.17 , -M-, -A-	CMM
H1201-H1208	90° 锥面深度/mm	$\nabla 11 \pm 0.12$	读数式手动检具
H1201-H1208	90° 锥面跳动/mm	0.08 , -M-	读数式手动检具
H1201-H1208	90° 锥面圆度/mm	$\bigcirc 0.025$	读数式手动检具
H1201-H1208	阀座角度	$120^\circ \pm 4^\circ$	CMM
H1201-H1208	90° 锥面和120° 锥面交线到Gage Dian27.6的宽度/mm	0.87 ± 0.1	CMM
H1201-H1208	90° 锥面宽度/mm	1.75 ± 0.2	读数式手动检具
H1201-H1208	直径/mm	$\phi 31.4 \pm 0.2$	刀具保证
H1201-H1208	圆角	$R1.4 \pm 0.5$	刀具保证

在缸盖生产线中，导管座圈孔的加工分为导管座圈底孔加工及导管座圈孔加工，分别在导管座圈压装前后进行，本文中LCV缸盖，导管座圈孔压装前后均需要4个工步进行加工，分别在OP50与OP110工序进行加工，所用刀具均为复合PCD铰刀，一共为8种复合刀具，加工工艺信息见表3。加工过程部分工序示意图如图3所示，图中可看出导管座圈孔精加工复合铰刀结构形式。

表3 加工工艺步骤

刀具号	工步名称	刀具尺寸	特征编号
T05007	进气侧导管座圈底孔粗加工	11.6/R6/R6/32.12/36.1	#1101-1108
T05008	进气侧导管座圈底孔精加工	11.01/37.12	#1101-1108
T05009	排气侧导管座圈底孔粗加工	11.6/R5/R10/25.31/29.1	#1201-1208
T05010	排气侧导管座圈底孔精加工	11.01/30.12	#1201-1208
T11001	粗铰排气侧导管座圈孔	5.96/ 28.83/ (60) / (120)	#1201-1208
T11002	精铰排气侧导管座圈孔	6.03/27.6/ (90)	#1201-1208
T11003	粗铰进气侧导管座圈孔	5.96/ 36.26/ (56) / (120)	#1101-1108
T11004	精铰进气侧导管座圈孔	6.03/35.42/ (90)	#1101-1108

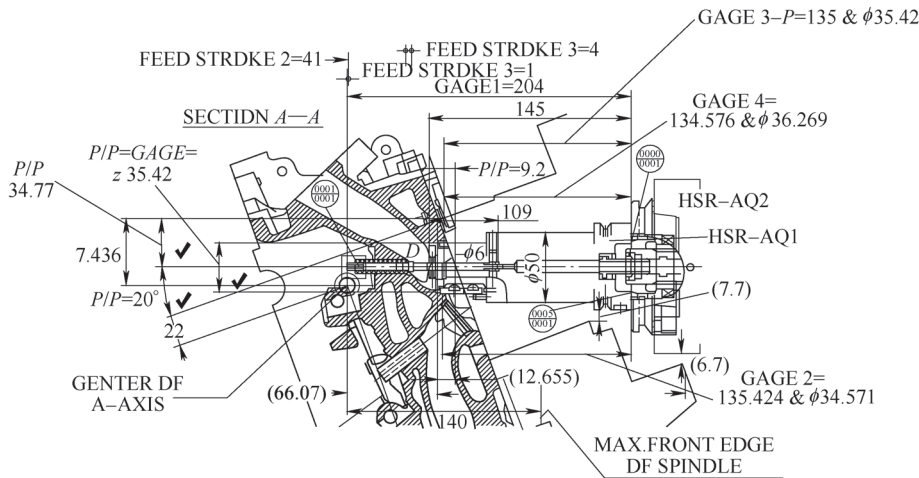


图3 加工工序图

导管座圈孔国产化复合铰刀开发

进口刀具为玛帕公司生产的刀片加刀杆的复合式刀具，其售价及更换维护成本很高。经过结构参数设计、仿真优化（见图4）及实验验证，座圈导管孔的刀具已经实现了国产化，且结构相较于进口刀具也进行了改进，取消需要进行现场调整的铰刀杆设计，而采用了短锥定位连接的形式，提高了铰刀杆的刚度及使用便利性。

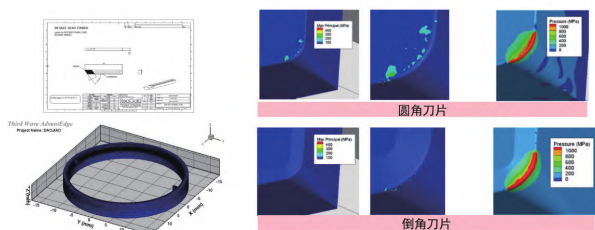


图4 导管座圈CBN倒角刀片设计和仿真分析

国产座圈导管孔系列铰刀的设计开发由交大智邦及上海交通大学先进刀具与切削技术研究中心进行，并委托国内刀具生产厂商瑞鼎机械进行生产制造。集众家之所长的刀具生产方式充分体现了协同生产的优势，提高了刀具的制造水平，缩短了刀具的生产周期，便于集中管理，提供了后续大批量供货的基础。国产刀具生产周期为两个月，较进口刀具的三个月以上的生产周期减少了1/3。所开发的导管座圈孔铰刀的实物如图5所示。



图5 国产导管座圈孔铰刀

国产刀具制造完成后在智邦公司进行组装，组装完成之后进行了严格的质量检验，包括刀具自身的尺寸精度检验及后续的切削工件尺寸精度检验。国产座圈导管孔铰刀产品的验收技术标准如下。

(1) 刀柄 刀柄需要进行动平衡矫正，残余不平衡量应小于3 g·mm，刀具在18 000r/min 工况下的动平衡

等级 $G \leq 6.3$ mm/s。

(2) 刀体 刀体需要满足设计图纸所标注的尺寸公差，通常铰刀的允差应为设计公差的2/3。

经过检测，国产刀具的生产精度均达到设计要求，且尺寸靠近上偏差，为刀具磨损留下余量，提高了刀具的使用寿命。

导管座圈孔国产化复合铰刀应用评价

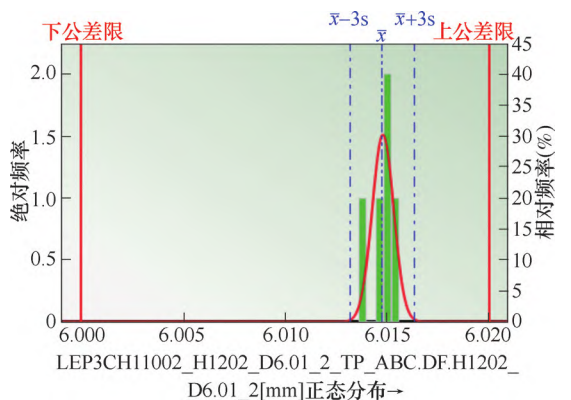
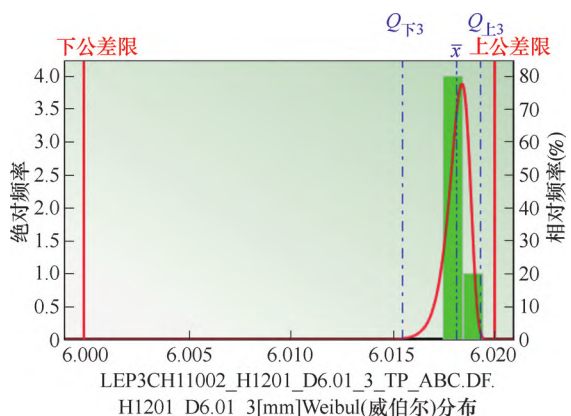
1. 切削精度评价

所制造的国产座圈导管孔铰刀均进行了为期3个月的切削验证，验证环境为公司与上海通用汽车在国家科技部04专项支持下建立的发动机缸盖和变速器阀体国产加工装备柔性加工集成验证平台，该平台面向国内加工装备企业开放，通过提供装备及工艺的组线验证平台和技术手段，为国产装备进入汽车动力总成主机厂提供核心技术的工程化验证条件，如图6所示，结果表明国产座圈导管孔铰刀可达到上汽通用N1/N5加工切削能力验收要求，可批量切削出合格的工件。为了深入研究国产座圈导管孔铰刀的稳定性及寿命表现，现将其切削工件的尺寸精度与进口刀具进行对比，同时对刀片磨损情况进行分析，得到对于国产座圈导管孔铰刀的整体性能评价。

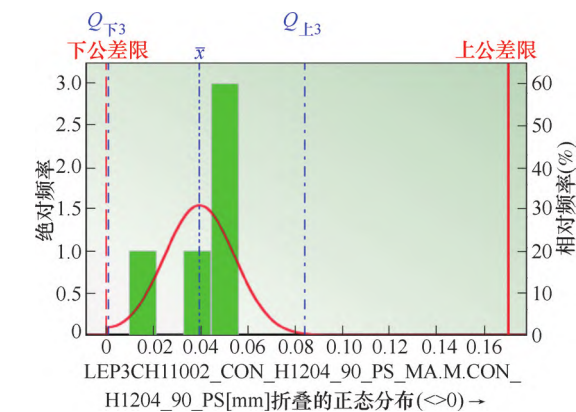
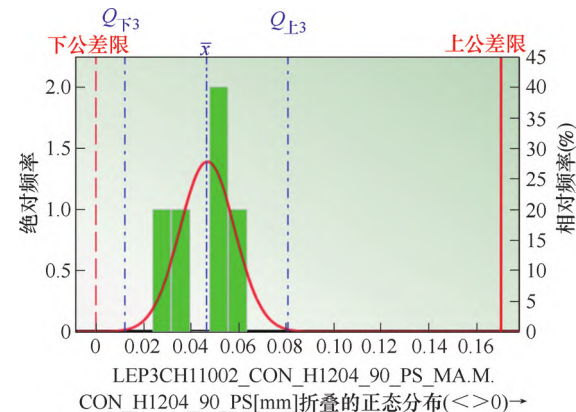


图6 发动机缸盖和变速器阀体柔性加工集成验证平台

因工艺尺寸要求众多，因此选取了可以反映刀具本身加工性能的导管孔的直径以及座圈90度密封面的加工尺寸精度进行分析，至于其他五个角度的尺寸可以通过调整刀具进行调整，因此这里不做对比分析。图7为国产与进口铰刀的导管切削结果数据，可以看出，国产刀具切削结果均位于公差范围之内，切削的导管尺寸大体位于公差范围的上差2/3处，且所加工尺寸偏差宽度小于产品公差要求的1/3，充分说明切削稳



a) 座圈导管孔直径 (上N5国产铰刀片, 下N5进口铰刀片)



b) 座圈导管孔90° 角度 (上N5国产铰刀片, 下N5进口铰刀片)
图7 导管孔及座圈密封面N5切削精度数据对比

定性好, 可以满足汽车产线加工能力指数的要求。

2. 刀具寿命评价

对于汽车动力总成加工来说, 刀具的磨损情况及使用寿命是极为重要的参数, 直接关系到产品的加工成本。如果不能准确掌握刀具的正常使用寿命, 一方面意外发生的刀具磨损或者断刀会导致停机换刀, 使得产量下降; 另一方面未达到使用寿命而提前更换刀具也会提高刀具的使用成本。为了评价国产优化设计的座圈导管孔铰刀的耐用性, 采用EDS检测磨损的方式将国产铰刀与进口铰刀进行对比。图8及图9所示分别为国产与进口座圈导管孔铰刀的EDS分析结果。

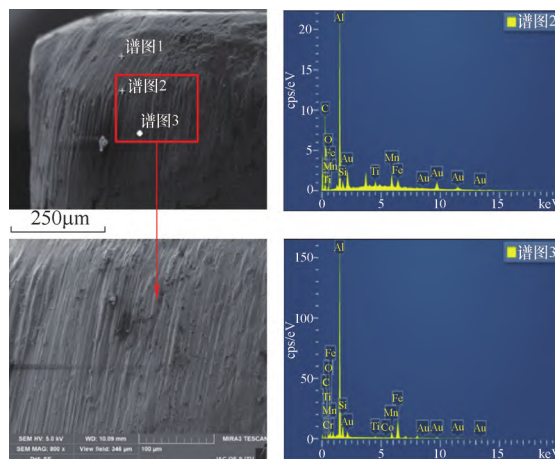


图8 国产导管座圈孔铰刀EDS分析结果

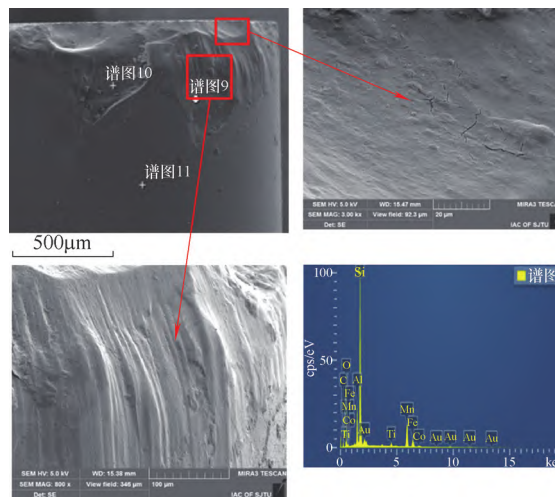


图9 进口导管座圈孔铰刀EDS分析结果

根据EDS分析可知, 国产优化设计的CBN刀片的主要的磨损形式为粘结磨损和磨粒磨损, 但未出现微崩刃现象, 因此其不易产生过快的刀具破损。而进口的

CBN刀片主要磨损形式为微崩刃、粘结磨损和磨粒磨损，易于发生刀片破损，进而影响刀具使用寿命。

结语

针对LCV型缸盖导管座圈孔加工工艺要求，通过与上海交通大学先进刀具与切削技术研究中心联合设计，结合结构参数设计及加工有限元仿真等技术手段，并委托国内刀具生产厂商进行生产制造，成功开发了国产化导管座圈孔加工复合铰刀。通过协作开发的方式，国产刀具生产周期降低为两个月，较进口刀具的3个月以上的生产周期减少了1/3，批量化刀具使用成本可实现下降50%以上。所开发的国产化复合铰刀在公司建立验证线上经过切削加工验证，结果表明国

产化刀具在加工效率和精度指标上与进口刀具相比到达同等水平，且国产刀具寿命优于进口刀具，满足缸盖批量化生产需求。综上所述，国产化复合铰刀在刀具准备周期，刀具使用成品，刀具寿命，及加工精度上，与进口刀具相比具有一定的优势，具有良好的推广价值。

参考文献：

- [1] 刘立波.缸盖座圈导管加工技术研究与实践[D].长沙：湖南大学，2011.
- [2] 苏娜.缸盖座圈导管孔的加工工艺研究[J].机械研究与应用，2016（6）：166-168.
- [3] 吉祺炜. MAPAL刀具在缸盖座圈和导管加工中的改进[J].机械制造，2006（6）：52-54. **AUTO1950**

（上接第37页）

2.电气防错

1) 传感器识别车型，防止车型状态错误。当产线涉及多个车型配置共线生产时，一般是增加电气检测单元识别不同车型零件的特征点进行防错（见图16）。

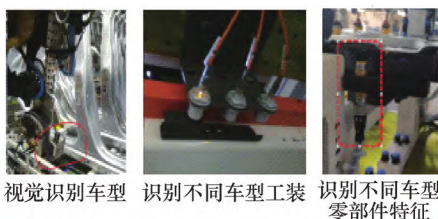


图16 电气防错

2) 传感器识别零部件位置，零件不到位，设备报错提示。通过零件位置不同而引起检测设备产生不同的信号（传感器检测距离设置后，零件仅装配到位后才被检测到）而实现防错检测功能（见图17）。

3) 传感器识别零部件数量，防止零部件数量出

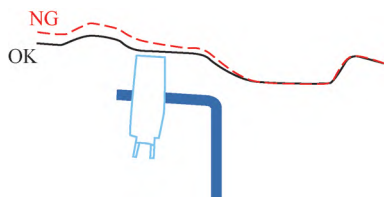


图17 电气防错

错。该方案用于防止零件漏装。

4) 传感器识别零部件类别。通过零件特征点不同而引起检测设备产生不同的信号而实现防错检测功能。

结语

开展车身防呆防错工作，能有效降低现代汽车制造成本、提升工作效率，在实际项目开发过程中，应不断总结防错方法，形成经验库，为后续项目开发提供宝贵经验。

参考文献：

- [1] 王浩名，耿滢，刘美娜.浅谈白车身防错设计方法[J].汽车零部件，2020（11）：95-98.
- [2] 谢斌，杜明明.车身设计与制造过程中的防错技术应用[J].焊接质量控制与管理，2019，48（11）：93-96.
- [3] 袁会利，魏庆丰，杜坤.防错技术在汽车车身设计中的应用[J].现代零部件，2014（1）：83-86.
- [4] 薛清君，杨德福，赵红建，等.汽车车身装配防错在同步工程中的应用[J].时代汽车，2021（20）：127-130.
- [5] 张伟.焊装防错技术在白车身制造中的应用[J].汽车工艺师，2020（5）：41-45. **AUTO1950**