

汽车成套刀具的开发与应用

□ 株洲钻石切削刀具股份有限公司/王社权



王社权
副总经理
株洲钻石切削刀具股份有限公司

本文阐述了国内汽车切削刀具需求与技术状况，并重点介绍了株钻刀具在汽车加工领域取得的成效以及提供的汽车零件加工配套一站式服务。株钻通过构建汽车刀具市场开发、刀具设计、应用研究、零件刀具配套、现场服务专业工作组，为客户提供优质的“项目配套工程”、“技术解决方案”、“加工优化工程”等服务产品，从而助推国内汽车制造业的发展。

国内汽车刀具的需求

近年来，随着我国经济的高速发展，对汽车的需求量持续增长。2014年，全国汽车产量超过2 300万辆，汽车及其零部件制造业已成为工具行业最重要的用户，刀具消耗量约占整个刀具市场的40%，而其中大部分用于汽车发动机加工。我国的汽车生产线大部分是从国外引进的，刀具随设备一起进口。在一些大型汽车制造厂，国产刀具使用仅占10%。由此可见，国产刀具在汽车领域有很大的发展潜力，国产刀具也应根据汽车刀具技术特点和汽车用户需求在产品品质和技术水平上不断提高。

汽车刀具的技术特点

以汽车发动机刀具加工为例，汽车发动机加工包括：缸体、缸盖、曲轴、凸轮轴和连杆等，加工形式涉及面铣、多功能凸台铣、槽铣、半圆孔铣、镗缸镗孔、清根及倒角、深浅孔钻削等多种形式。

发动机刀具加工的技术特点有：

- (1) 加工节拍要求高，刀具性能一致性要求高。
- (2) 汽车发动机缸体缸盖面加工面积大，对工件的平面度、表面粗糙度等要求较高。
- (3) 壳体类零件有很多很长的孔，长径比很大；孔直径圆度、

- 位置度、同心度等精度要求高。
- (4) 非标刀具多，难形成通用的刀具结构设计标准，需针对具体客户的工况进行定制开发。
- (5) 提供整体发动机制造的解决技术方案，整体发动机工艺技术及整套高效高精度复杂刀具的开发。
- (6) 曲轴刀具开发。曲轴加工工艺系统较复杂，需综合分析机床、刀具、夹具、工件材料、切削参数对加工效率、加工精度、表面质量和刀具寿命的影响。
- (7) 长径比大于30的深孔钻开发，加工中易出现排屑不畅和刚度不够发生变形折断。

(8) 专用抗振刀杆及精密孔镗削加工刀具开发。研制具有世界先进水平的缸体曲轴座孔精镗刀、气门导管孔精密铰刀及凸轮轴孔精密铰刀。

(9) 高水平超硬刀具开发。超硬刀片的硬度非常高，研磨极为困难，解决复杂成形超硬刀具研制将解决超硬材料复杂槽形开发、高精密切削、超硬刀具的刃口处理等技术难题。

(10) 开发用于锻钢和球墨铸铁加工的涂层硬质合金丝锥系列，解决汽车发动机曲轴加工的效率瓶颈。

(11) 开发出专用牌号和槽形结构适合合金高温铸铁加工刀具。

(12) 对于缸体缸盖面铣刀，在刀片结构上采用曲线切削刃设计，有效地降低切削力。

株钻汽车加工刀具取得的成效

1. 缸体刀具

(1) 典型面铣刀具——缸体面铣。一种缸体面铣刀具具有三种齿距系列，能够满足加工中心及专机的工况要求。切削刀片类型有CR/CM/CF和CMX。刀片为五边形结构，67°大主偏角刀具，低轴向力；刀片采用变前角、变主偏角结构，搭配不同槽型应对冲击加工及轻切削；刀体与刀片均申请了专利保护（见图1）。另一种缸体面铣刀具为开槽面加工的首选，要求较好的系统刚性，适用于缸体上下面、前后端面的精加工。切削刀片采用高经济性的ON刀片，

可以使用16个刃，修光刀片采用XEEEC120904高精度刀片，可以使用4个刃；切削刀片分为ON08和ON06两个规格，允许粗精一体加工（ON08）和纯粹的精加工，修光刀片有效切削长度7.8mm，允许更高的节拍要求；模块式精加工刀夹，使用灵活，精密调节能力，满足0.002mm的调节分辨率。



图 1

(2) 典型面铣刀具——缸体凸台和方肩铣（见图2）。EMP13—A型螺旋刃双面槽方肩铣刀系列适用于缸体凸台和方肩铣，90°通用方肩铣刀，采用双面槽铣刀片，独特的刀片结构实现低切削阻力和良好的抗冲击性；刀体双负角度，配合刀片结构，实现双正的刀具角度，利于降低切削力，切削刃拟合实现高质量的90°立面加工。

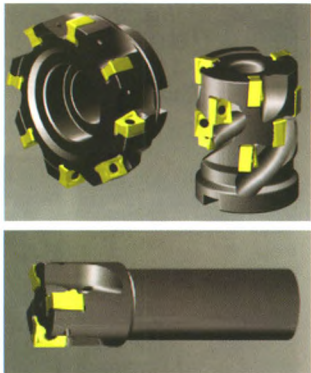


图 2

(3) 面铣刀具——高速铣削刀具。高速铣铝合金刀盘是株洲钻石近年开发用于汽车发动机铝缸体、缸盖面加工自主研发产品的刀具系列。该系列刀具突破多项技术难题，结构新颖，切削性能优异并申请多项专利保护。

铝合金刀盘（见图3）包括主偏角为90°、45°的AMP01、AMA01两个系列。刀片包括合金刀片和超硬刀片，满足不同切削参数节拍、粗精加工的应用要求，铝合金刀盘已经成为公司铝刀金加工的通用刀具系列。

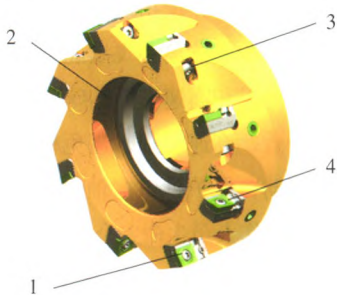


图 3

1.端跳调节螺钉 2.冷却套 3.动平衡螺钉
4.可调刀夹

1) 装夹结构。刀夹螺钉穿过刀体并和刀夹螺纹锁紧，避免铝质刀体上设有螺纹，有效延长刀体寿命。刀槽采用三面锯齿定位，刀体对刀夹同时形成弹性过盈和多重过定位夹持，弹性过盈的预紧力保证刀夹受力时尺寸一致性，多重过定位的装夹保证刀夹具有极好的定位精度和结构稳定性。刀体、刀夹间的锯齿、刀夹、刀片之间的凹凸结构使刀槽具有十分优秀的抗防飞能力，切削速度在5 000m/min时仍可稳定切削。

2) 跳动调整结构。刀夹采用弹性跳动调整、刚性接触结构，采用固定扭矩1.2N·m扳手调整跳动，

调整螺钉和刀夹前定位台弹性变形及后定位台刚性接触。弹性变形有效缩小跳动调整范围至0.05mm，并可以准确快速调整出0.001mm的跳动。刚性接触有效保证刀夹抗变形能力，不同工况切削时轴向尺寸稳定。

3) 内冷结构。铝刀盘系列采用高强度内冷结构，即使机床采用高压内冷时，冷却结构仍有较好的密封性与冷却效果。冷却套避免刀具装夹螺钉和铝质刀体摩擦接触，延长刀具寿命。

4) 动平衡结构。刀体动平衡采用过盈配合并使用螺纹胶粘合，具有极好的低抗离心飞出能力，平衡等级可以和高速刀柄的G2.5标准高度一致，高速切削时避免松动、降低振动，保护机床主轴的精加工能力和操作人员生命安全。

(4) 面铣刀具——超硬刀片。用于缸盖上、下结合粗、精加工的PCD刀片，采用铝合金刀体实现轻量化，同时刀具具有动平衡机构，高速旋转时主轴负载减轻；刀具采用防飞结构，防止因离心力导致附件及刀片飞出；刀具采用内冷结构，排屑性能优异；刀具具有弹性变形可调机构，跳动能控制在0.005mm之内，刀具精度高。

2.曲轴加工

曲轴加工用套车刀复合中心钻加工端面、外圆、倒角及中心孔，实现加工工序的整合小刀夹结构，可微调尺寸，可实现模块化设计、制造，可根据客户需求非标定制。

(1) 主轴颈加工。方案1：车→车→拉。此方案具有通用性：刀具转数、径向和轴向进给量可以实现数控，可车削到轴根部位，可

通过程序中刀补来校正加工直径；通过相对运动来完成每齿的进给；一个刀体上有多种切削单元，刀片可以承受较高的负载，加工精度高，不需粗磨和精车。方案2：内铣。内铣刀具为刀体、刀夹和刀片的装配式结构；刀体和刀夹为圆弧面配合，结合止口和键定位，刀夹由双螺钉拉紧，确保即使在重负载下定位也极其可靠；制造容易，装配精度高，配合质量好，联结刚性好；刀夹相对较大，易得到最佳刀片布置；刀片安装精度可达到±0.03mm。

(2) 连杆颈加工。对连杆颈采用高速外铣方式进行加工，采用超密刀盘，生产效率高；采用模块式设计，一个刀盘可匹配几种规格型号尺寸的零件；刀片安装精度可达±0.03mm。

3.深孔加工刀具

株钻刀具的深孔加工刀具种类很多，以下是几种典型深孔刀具的介绍。

(1) 内冷铰刀。采用内冷铰刀对缸盖气门孔系进行加工。该刀特点：K10硬质合金基体，刀具耐磨性超强，刀具寿命长；刀具挤光

效果好，加工孔表面质量优良；刃与切削刃分别设计槽内出油孔，冷却效果优良；刀具的精密刃径公差可控制在0.003mm以内，径向圆跳动在0.005mm以下。

(2) 深孔钻。深孔钻的结构特点为：独特的切削刃及钻尖设计，刀具切削更稳定，断屑性能优越；双导向刃带，导向更可靠，刚性更高；140°顶角降低了钻孔初始阶段的进给力，定心性好，孔加工表面质量高，加工精度高；较大的内冷孔，可有效促进切屑的流出；优化的槽型结构以及后处理工艺，兼顾了刀具的刚性及容屑性能，排屑性能更加优异。

(3) 曲轴孔粗镗刀具。曲轴孔粗镗刀具优化的切削层次设计以及每层切削采用的不等齿距设计，实现了刀具的低切削抗力和低切削振动以及高效切削，保证了工件的尺寸精度以及表面质量（见图4）。该类型刀具在奇瑞、神龙、玉柴发动机上均获得了成功应用。此外，株钻还成功为东风康明斯开发了曲轴孔粗镗刀具，刀具长1.2m，质量为75kg，包括附件以及刀片97个，刀具长径比为12倍，通过刀具自带的高精度滚动轴承进行

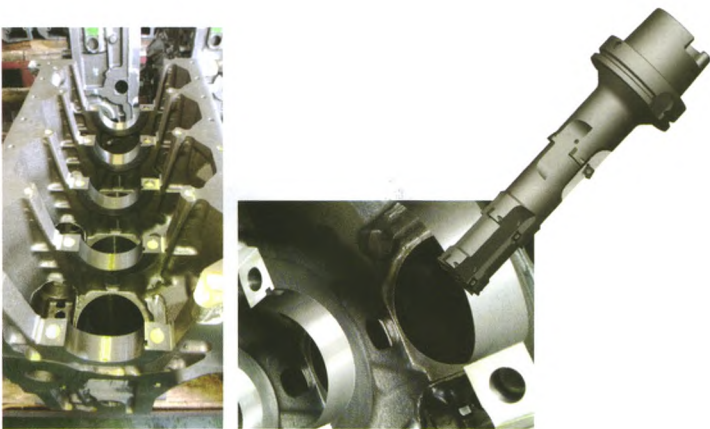


图 4

支撑，从而抑制振动。通过刀具以及刀片的优化布置，成功达到稳定高效切削的效果，其单刃寿命相对于原来客户采用的国外一线刀具公司刀片提高了4倍。

(4) 挺柱孔系列刀具。挺柱孔系列刀具为长悬深刀具，为考虑经济性，一律采用可换头结构，包括最后铰削刀具，可换精度在0.005mm以内。

(5) 缸孔、水泵孔、复杂阶梯孔加工刀具。缸孔粗镗采用非标定制镗刀，应用于缸径60~150mm的缸孔粗加工，多刃结构可满足发动机缸孔高效加工要求。刀具匹配SDEX系列卧装刀片，刀片整体强度高，左右刀通用时可用到8个刃，经济性好。刀片采用大前角锋利槽形结构设计，有效降低切削负载。特殊刃形结构设计，有利于提高加工尺寸的稳定性，减小退刀痕。

缸孔半精镗刀也为非标定制刀具，采用多刃结构设计，以满足高效加工要求。采用S形平装刀片，4刃可用，经济性好。提供合金刀片及CBN刀片选项，满足不同加工节拍要求。特殊微调刀夹结构设计，实现更高尺寸及跳动精度控制，提高单刃寿命。

用于复合缸孔清根及倒角加工的非标定制刀具，实现更高加工效率。刀具匹配CNE系列卧装刀片，刀片安全性好，且利于刀具切削刃的合理设置。多刃锯齿结构，实现高效稳定切削。提供铝合金缸体缸孔清根刀具选项，匹配不同加工要求。

(6) 孔加超硬刀片及工具。凸轮轴半圆孔选用球头铣刀进行加工。PCD球头铣刀优点有：刀具可使用高的切削参数，提高加工效率；

刀具可修磨，具有较长的寿命；球头铣刀带有内冷结构，确保优秀的性能和刀具寿命。

阀挺杆孔加工方案如下：粗加工使用HSK一体式阶梯镗刀，部分尺寸可调，能保证粗加工尺寸加工到位；半精加工使用HSK复合一体式镗刀，使用PCD刀片，能保证良好的加工效率；精加工也可使用PCD铰刀，能保证良好的孔尺寸精度。

底孔加工使用PCD直槽钻进行粗加工，寿命可达硬质合金10倍以上；出色的自定心能力，可高效加工并获得高精度孔，能满足位置度、直线度以及表面粗糙度要求。

销孔加工使用PCD铰刀，采用硬质合金做基体，PCD做刃口，在确保刀具刚性的同时保证刃口的锋利度，避免了铰孔过程中的高频振动，确保孔的高精度及表面质量的同时，延长刀具寿命。

汽车零件加工配套一站式服务

从消化吸收到自主创新，公司产品已经覆盖了车削、铣削、孔加工、工具系统等切削刀具的各个门类，从产品上具备了发展刀具配套的能力。通过构建汽车刀具市场开发、刀具设计、应用研究、零件

刀具配套、现场服务专业工作组，为客户提供优质的“项目配套工程”、“技术解决方案”、“加工优化工程”等服务产品，从而助推汽车制造业发展。

株钻在汽车生产线配套交钥匙工程上取得了很多成果。为奇瑞发动机柔性生产线配套工程中，奇瑞484发动机柔性生产线刀具国产化率从原来的46.21%提升到91.22%，2014年，484型发动机实现降本幅度约25.3%；奇瑞E3G10发动机柔性生产线刀具国产化率从0提升到91.75%，2014年，E3G10型发动机实现降本幅度约60.7%；针对玉柴公司的主力机型YC6C925C，动力400~700kW，年生产2 000余台，株钻完成刀具整体配套方案设计，该机体加工共涉及216个刀具品种，株洲钻石开发并替换159个刀具品种，替换率73.6%。YC6C925C机型与8C、12VC、16VC、12VT机型共线生产，其配套推广效益将成倍扩大。

株钻针对神龙汽车缸体L3线、曲轴L2线产品配套的成果见附表，通过刀具优化，大大降低了生产成本，同时满足生产线节拍和产品质量要求。实现刀具国产化，神龙汽车获得了很好的经济效益。

神龙汽车缸体L3线、曲轴L2线铣刀优化

工序/加工内容	刀具名称	机床	问题	优化前	优化成果
OP180T51 铣400面凸台	铣刀片	加工中心	刀具费用高，刀片寿命短	原刀寿命60件/刃，成本为0.868元/辆	优化刀片302涂层，寿命提升为100件/刃，成本降至0.521元/辆；工艺方法由湿切优化为干切，寿命提升为150件/刃，成本降至0.35元/辆
OP20、30、40铣曲轴轴颈	铣刀片	加工中心	刀具费用高	原刀成本15.76元/辆	优化后成本为9.53元/辆，刀片国产化后满足生产线节拍要求，同时满足产品质量要求

AME