

# 曲轴轴颈加工高效刀具的应用

Application of High-Performance Cutting Tool in Machining Crankshaft Journal

东风汽车有限公司刃量具厂 廖海明 陈发勇 张春和 朱永强 龚开银 秦鸿哲

20世纪80年代我国开始引进曲轴内铣加工技术,该项技术的应用对我国汽车工业产生了很大的作用,使得曲轴的加工质量和加工效率有了很大提高。目前,曲轴内铣工艺应用已相当普遍,特别是在中重型发动机曲轴加工方面,普遍采用内铣工艺。

车削工艺是20世纪60年代曲轴加工的主要方法,现在发动机曲轴轴颈的加工主要采用内铣、外铣和车拉工艺。从曲轴生产厂家的应用情况来看,六缸以上的中重型发动机曲轴加工普遍采用内铣工艺和外铣工艺,轻轿发动机曲轴加工主要采用车拉、车-车拉工艺,也有部分内铣和外铣工艺。从加工效率看,车拉工艺的加工效率较高,而且加工轴颈的精度较高(车拉工艺的刀具装有精切齿);内铣工艺在切削效率和加工精度方面稍差,但其加工刚性出众;最近几年出现的高速外铣的加工效率和精度相当不错,但柔性最佳的应属车-车拉工艺。

东风汽车有限公司刃量具厂(以下简称刃量具厂)迄今已成功开发出100余种曲轴轴颈加工刀具。其中,具代表性的有曲轴车拉刀、曲轴内铣刀、曲轴外铣刀、车-车拉刀具以及船用曲轴加工刀具,获得客户的一致认可。

刃量具厂的曲轴刀具开发项目已于2008年10月正式列入“十一五”国家科技支撑计划关于《高速高效切削工具的开发研究》项目中《汽车零部件高性能刀具的开发》课题(2008BAF32B03),刃量具厂负责开发“发动机缸体缸盖平面加工及孔加工刀具以及曲轴高速内铣刀、高速外铣刀、车拉刀等精密复合刀具”。课题的主要内容之一是:研发曲轴/凸轮轴高效加工用车拉、车铣复合切削刀具、高速内/外铣削、镗削刀具等高速高效复合切削刀具。具体考核指标是研究开发曲轴/凸轮轴高速内/外铣刀、车拉刀等高效精密复合刀具20~30种,形成批量生产能力,降低对进口刀具的依赖程度。

## 以曲轴内铣刀、外铣刀为代表的曲轴轴颈专用铣削刀具

### 1 曲轴内铣刀

曲轴内铣刀是汽车曲轴加工过

程中使用的一种大型刀具,它最初由奥地利GFM公司研究开发成功,在20世纪70年代得到完善和发展。20世纪80年代我国开始引进曲轴内铣加工技术,该项技术的应用对我国汽车工业产生了很大的作用,使得曲轴的加工质量和加工效率有了很大提高。目前,曲轴内铣工艺应用已相当普遍,特别是在中重型发动机曲轴加工方面,普遍采用内铣工艺。

目前,先进的曲轴内铣刀结构普遍采用刀体、刀夹模块化安装结构。这种结构的设计比较理想,切削过程中刀夹对刀体起到了很好的保护作用,有效地防止了刀片崩齿或机床发生意外而损坏刀体。曲轴内铣刀比车拉刀和外铣刀所能承受的切削力都大,因此内铣刀非常适合锻钢曲轴的加工。此类锻钢材料(如48MnV等)的硬度在HB250左右。切削条件相当恶劣:毛坯单边余量大且不均匀,通常在3~6mm之间,有些情况下可能更大;锻造表面有硬层

(HRC30左右);切削速度较高,在120m/min左右;干式切削;切削温度较高,可达700℃;每齿进给量较大,为0.2~0.3mm/齿。

曲轴内铣刀一般左右成对使用,切削效率较高,但由于其外形尺寸大、精度要求较高,设计和制造难度很大,故该类刀具基本依赖进口,使用成本很高。东风汽车有限公司刃量具厂迄今已成功开发曲轴内铣刀产品80余种,获得了用户的充分肯定。

刃量具厂设计开发的内铣刀主要有2种结构型式:单组刀片刀夹型式和多组刀片刀夹型式。

单组刀片刀夹型式的特点是每刀夹只安装一组刀片,齿数少、容屑空间大,适合于加工钢曲轴。

## 2 曲轴外铣刀

曲轴的高速外铣工艺已得到广泛应用。高速外铣工艺是今后曲轴加工的发展方向。刃量具厂设计开发的曲轴外铣刀也采用了刀体、刀夹模块式结构,而根据刀夹结构的不同又分为单组刀片刀夹型式和多组刀片刀夹型式2种。

单组刀片刀夹型式的特点是每刀夹只安装一组刀片,齿数少、结构简单,制造工艺相对简单。多组刀片刀夹型式的特点是刀夹呈长条形,每刀夹安装多组刀片,节省空间,齿数多、切削效率高,但是制造难度较大,刀夹易变形。刃量具厂已完全解决了多组刀片刀夹变形大的问题。目前,刃量具厂多组刀片刀夹外铣刀已成为高效曲轴铣刀的一个典型代表。

2004年,刃量具厂为国内某曲轴制造厂商成功开发了7刀盘组合曲轴外铣刀,其单刀盘外径550mm,均采用多组刀片刀夹与刀体模块式安装结构,整串刀全长达1.4m,总重接近1.5t,能够同时完成一根6缸曲轴7个主轴颈的铣削加工,效率很高。

目前,刃量具厂已开发的外铣刀达20余种,外径最小为550mm,最大已达920mm。还与青海二机床等曲轴加工机床生产厂家合作,开发了CNC高速曲轴外铣并在国内一些厂家应用,

取得了令人满意的效果。

刃量具厂曲轴内、外铣刀制造水平已达到国内领先水平,并逐步接近进口刀盘水平,整体性价比优势明显,主要体现在以下几方面。

(1) 曲轴内、外铣刀盘设计充分

考虑国内现状,从用户机床、节拍要求、毛坯状况方面合理选择刀具的主要参数,使刃量具厂生产的曲轴内、外铣刀盘具有很好的本地适应性,克服了一些厂家采用进口刀盘加工国产毛坯时存在的效率低下、排屑不理想、切削温度高、震动大等问题,刀盘设计及制造水平在国内优势明显。

(2) 曲轴内、外铣刀盘主要精度指标与国内外其他厂商的对比,如表1所示。刃量具厂刀盘制造精度在国内已领先其他厂家,与国外厂商的差距也正逐步缩小。

(3) 刀盘使用寿命可达到进口刀盘的80%左右,其差距主要来自进口与国产刀盘的材质优劣上。

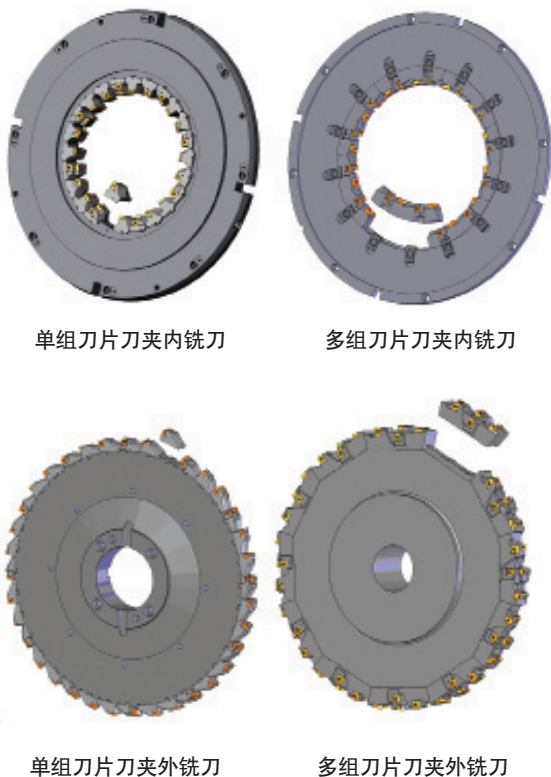
(4) 使用成本通常只有进口刀盘的1/3左右。

## 曲轴车拉刀

车拉刀的突出优点是:轴径可以分屑加工,加工质量好,刀具寿命长,效率高,调刀方便。我国汽车行业在20世纪80年代末至90年代初开始广泛采用车拉技术,90年代前后建成的轿车合资企业及一些实力雄厚的汽车制造厂都先后采用了这种先进的加工工艺。

车拉刀在生产线上发挥了不可低估的作用,而由于车拉刀技术本身的复杂性和特殊性,车拉刀多年来一直由少数几家跨国公司提供。进口车拉刀经过几年应用后进入全面更换或部分更新阶段,而由于国内尚不能提供同等产品,车拉刀用户为了维持生产必须继续进口并为此付出昂贵的工具费用。

车拉刀是用于曲轴主轴颈和连杆颈粗加工的刀具,一般车削主轴颈用一套车拉刀,车削连杆颈用另一套车拉刀。对四缸机而言,主轴颈有5个,连杆颈有4个,故分别有一套主轴颈车拉刀和连杆颈车拉刀。由于曲轴4个连杆颈中心一般呈180°分布,有的生产厂家把车削连杆颈分



多组刀片刀夹型式的特点是刀夹呈圆弧形,每刀夹安装多组刀片,节省空间,齿数多、切削效率高,适用于加工球铁曲轴。

刃量具厂已开发的内铣刀外径最小为514mm,最大已达940mm。

2个工序加工,有的通过数控机床改变旋转中心,在一个工位上加工(如神龙)。车拉刀工作时,曲轴高速旋转,车拉刀慢速旋转。由于车拉刀有齿升,切削进给由齿升完成。车拉刀旋转一圈(55~60s左右)就完成一根曲轴的加工。

表1 国内外一些厂商研制的曲轴内、外铣刀盘的主要精度指标

厂商	径向跳动/mm	外圆跳动/mm
刃量具厂	< 0.035	< 0.035
国内其他厂商	约< 0.08	约< 0.08
国外刀具厂商	< 0.025	< 0.025

车拉扇形块和轮毂通过螺钉和轴、径向键连接。目前,刃量具厂开发的车拉刀的最大外径达870mm,根据曲轴的不同材质采用不同的切削速度,为防止同时切入和切出而产生较大冲击,不同轴颈的车拉刀在设计时相互之间有一定错角。在车拉扇形块上依次安装粗切齿、精切齿,最后一组精切齿刀片加工余量为0.15mm左右,因此车拉刀的加工精度要比内铣和外铣高。从刀齿布置图(即拉削图形)中可以明显看出各刀齿的位置、切削余量及每组(层)刀具重合情况等信息。拉削图形中各刀片坐标参数应该与车拉刀的调整检测数据吻合。根据拉削图形再结合车拉刀的切削运动参数就可以知道每个刀齿的切削运动情况。

1998年,东风汽车有限公司刃量具厂和江铃汽车股份有限公司发动机厂为打破国外对车拉加工技术的垄断,促进国内工具技术水平的提高,合作开展车拉刀的研制开发工作,并对国外已有车拉刀技术进行了大量改进,开发出全套车拉扇形块,经生产线验证,完全可以替代进口产品。

刃量具厂自主开发的扇形车拉

刀块也可采用可换式模块结构。车拉刀最前端刀片承受的切削力和冲击载荷最大,因此该处的刀片及刀体最易发生磨钝、崩刃和破损。在车拉刀前端采用可换式模块结构,可在刀片或刀体发生破损时实现快速更换,从而缩短换刀周期,并有效保护其他

刀片及刀体免受大载荷冲击。采用该结构可延长刀具使用寿命,节约生产成本,并能保证良好的加工精度。刀片按齿升量排列,实现对曲轴的分层切削,从而有效降低切削抗力,减轻曲轴加工时的弯曲现象,提高了加工质量和切削效率。圆周方向的刀片采用不等齿距排列,且将同一尺寸的一组刀片错开一个相位角,从而减小切削振动,增加了切削平稳性。采用了合理的几何角度和较高的尺寸精度。

经过近10年的发展,目前,刃量具厂在曲轴车拉刀设计、制造等技术方面已处于国内领先水平。

经过近10年的发展,目前,刃量具厂在曲轴车拉刀设计、制造等技术方面已处于国内领先水平。

### 曲轴车-车拉

曲轴车-车拉加工适用于大多数类型的曲轴。车削工序主要是粗加工,此时刀盘不旋转且切削刃处于工件的中心线;而车拉刀具用于精加工切削,此时刀盘缓慢旋转并作切向移动,对旋转曲轴的主轴颈或连杆颈表面进行加工。该方法的优点是可以在刀盘上大量安装成组刀夹,每个刀夹相当于数控车床刀库的一把刀,以分别实现不同功能及合理分配

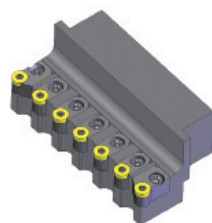
切削余量,进而平衡刀具寿命和降低换刀频次。

目前,刃量具厂在车-车拉刀盘及刀夹制造上已处于国内领先水平。

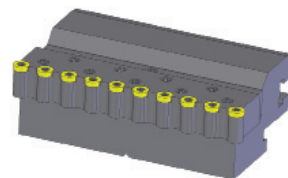
### 船用曲轴刀具

从2007年7月起,刃量具厂与船用曲轴制造厂商接触,试制船用曲轴加工刀具。客户的严格检测和试用表明,产品性能达到了进口刀具标准,该产品也得到了客户的认可和好评。船用曲轴加工刀具精度要求高、制造难度大,此前国内的船用曲轴加工刀具只能从国外进口。

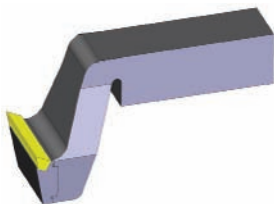
刃量具厂生产的船用曲轴刀具主要有:主轴颈的半精加工和精加工刀具、连杆颈的粗加工、半精加工



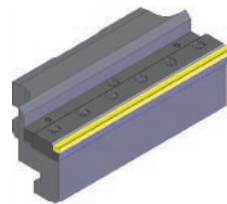
小刀座与刀体组合式排刀



直压刀片一体式组合排刀



焊接式切削弯刀



焊接一体式车刀

和精加工刀具,以及R成型刀具。刃量具厂制造的合金宽刀最长已达到410mm。

### 结束语

东风汽车有限公司刃量具厂开发的曲轴内铣刀、外铣刀、车拉刀以及船用曲轴刀具等产品已达到了国际同类产品先进水平,能够在实际应用中很好地替代进口刀具。此类刀具开发、应用的成功填补了我国工具行业的空白。(责编 良辰)