

车铣复合加工技术在曲轴试制中的应用

■ 中国第一汽车股份有限公司技术中心（吉林长春 130022） 王海龙 翟来涛

摘要：本文以V6曲轴为例，详细介绍了车铣复合加工技术在曲轴产品开发中的应用，同时结合产品，阐述了车铣复合加工技术在曲轴加工应用中典型工艺问题的解决。



总成试制室主任工程师 翟来涛

车铣复合加工技术的核心是在一台设备上一次装夹，实现对工件车削、铣削、钻削、镗削及攻螺纹等多工序的多轴联动加工。对于形状复杂、工序多和加工精度要求高的异形回转体件的加工极具优势。由于工件是在一次装夹的条件下完成多工序的一次性复合加工，避免了二次装夹、加工基准转换带来的定位误差，从而更有效地保证了加工精度。同时，以一台机床的复合加工代替多台机床的多工序加工，减少了机床的场地占用、设备投入，从而大幅降低了加工生产成本，尤其适合新产品开发过程中不同产品的快速切换，实现产品开发的柔性制造。

2010年，我公司引进一台 GAMMA2000车铣复合加工中心

（见图1），主要用于快速加工曲轴。自引进该设备后，先后成功完成了单缸机曲轴、四缸机曲轴、V6曲轴、V8曲轴及V12曲轴等多种类型曲轴的试制开发，提升了我公司曲轴产品的试制开发水平，车铣复合加工技术的应用为新产品的试制开发提供了一种有效的解决方案。

1. V6发动机曲轴的试制开发

下面以我公司V6发动机曲轴（见图2）的试制开发为例，介绍车铣复合加工机床在曲轴试制开发中的应用。该曲轴试制开发初期，直接采用圆棒料为毛坯，经过粗车，由GAMMA2000车铣复合加工中心直接加工成形。试制开发周期从原来的3个月缩短为1个月，同时避免了曲轴锻造模具的投入，大大节约了曲轴产品试制的开发费用。

该曲轴材质为42CrMo，总长461mm，曲柄为错开式结构，



图1 GAMMA2000车铣复合加工中心

相邻连杆错开角度 30° ，偏心距46mm，且精度要求较高，以M1、M4为基准，M2、M4径向跳动不超过0.025mm。采用车铣复合加工方法，可以实现精加工一次装夹完成全部加工工序，减少工序周转，保证加工精度。该曲轴试制加工工艺流程如附表所示。

该曲轴采取圆棒料作为加工原始毛坯，由卧式车床完成小轴端、法兰端以及M2、M3主轴颈的粗加工后，曲轴毛坯即转入车铣复合加工中心。如图3所示，车铣复合加工采用液压三爪自定心卡盘夹持M1主轴颈，液压定心中心架夹持M4主轴颈，采用hyperMILL数控编程软件生成加工程序，加工区域分为3个模块（见图4）：先采用随动偏心车削将相邻连杆颈加工为 $\phi 80\text{mm}$ 偏心圆柱体；然后再用随动偏心车削加工连杆颈、铣削加工平衡块及

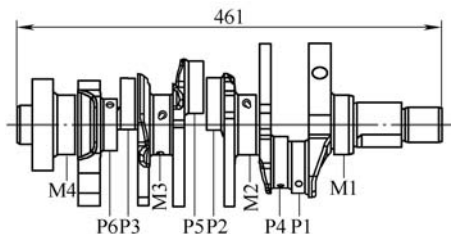


图2 V6曲轴产品

V6曲轴试制加工工艺流程表

序号	工序代号	工艺流程	设备	
			名称	型号规格
1	C	粗车小轴端、法兰端	普车	CA6140
2	CX	车铣精加工直径留余量0.4mm, 端面留余量0.2mm, 其余按工序卡加工至尺寸	车铣复合	GAMMA2000
3	检	综合尺寸检测	综合检测仪	SK—YLP
4	M	磨全部外圆轴径及端面至尺寸	曲轴磨床	JUCRANK5000
5	D	总成状态下动平衡, 去除孔口毛刺	动平衡机	UB
6	R	离子氮化, 氮化温度550℃	离子氮化炉	
7	P	抛光 $R_a=0.2\mu\text{m}$ 、 $R_a=0.4\mu\text{m}$ 处轴颈及止推面	曲轴抛光机	Supfina720
8	检	综合检测, 打标	综合检测仪	Hommel
9	Q	清洗入库	清洗机	

型面, 采用深孔钻加工斜油孔、主轴颈油孔及连杆轴颈油孔的钻削工序; 最后采用数控磨床完成主轴颈、连杆颈磨削工序的加工, 达到主轴颈、连杆颈的精度要求。

2. 车铣复合加工技术应用中问题的解决

在曲轴车铣粗加工及半精加工过程中, 最大的难点就是曲柄臂和连杆轴颈的加工, 加工量占到全部粗加工的75%。在曲轴加工过程中, 初次加工时采用四刃圆片立铣刀(见图5)偏心随动铣削的加工方式。由于曲拐偏心半径较大(45mm), 三轴联动的

最高转速只能达到55r/min, 而加工余量非常大, 尤其连杆轴颈根部, 最大余量达到15~20mm, 在实际加工中, 加工振动较大, 刀片磨损严重, 加工效率低, 该处工艺有待优化。

由随动铣削受力分析(见图6)可知, 采用铣削加工时, 切削刃上各点的主偏角是变化的, 加工时主要为径向受力, 由于该曲轴结构细长、刚性差, 圆片铣刀本身切削力大, 尤其又是多刃切削, 在加工过程中产生极大的振动。同理, 铣削曲柄时, 主要为轴向受力, 其长悬伸的薄壁结构也产生较大的振动。此外, 由于

铣削时, 圆弧刀刀片各点的切削厚度是变化的、不均匀, 切屑由零到厚, 产生不稳定状态, 易出现啃刀现象, 刀片磨损较快。

如图7所示, 根据实际情况, 设计了一把双片圆弧车刀, 并编写四轴联动加工程序, 将连杆轴颈及侧壁铣削加工方式优化为随动车削加工方式, 从而改善了加工过程中工件的受力情况。经过调试及实际加工验证, 解决了加工振动及刀片磨损情况。同时, 为车铣复合加工技术实际应用过程中工艺方案的选择优化积累了宝贵经验。



图7 随动车削加工

3. 结语

我公司主要从事汽车新产品的开发工作, 加工的主要特点是零件数量少、制造周期短且质量要求高。引进GAMMA2000车铣复合加工中心之后, 成功试制出单缸机曲轴、四缸机曲轴、V6发动机曲轴、V8发动机曲轴及V12发动机曲轴等多种类型曲轴, 大大提升了我公司各类曲轴产品的试制开发能力。

参考文献:

- [1] 晋其纯, 张秀珍. 车铣工艺学[M]. 北京: 北京大学出版社, 2010.
- [2] 雒远强. 车削加工操作技巧与禁忌[M]. 北京: 化学工业出版社, 2009.

MW (收稿日期: 20160429)

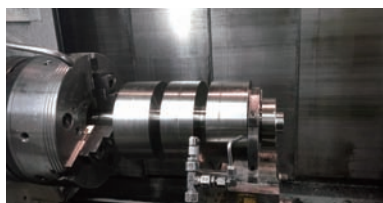


图3 车铣复合加工装夹方式



图5 随动铣削加工

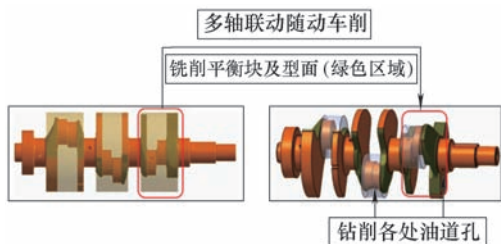


图4 车铣复合加工过程

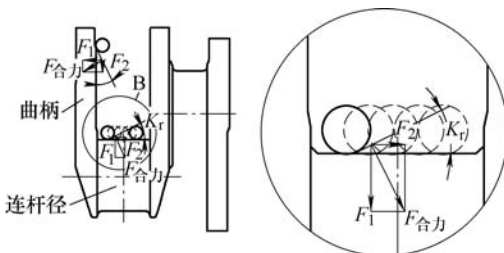


图6 随动铣削受力分析