

汽车模具现代高速加工技术

□ 亚太菁英股份有限公司/龚宣任



中国汽车年产量从2001年的234万辆，到2014年的2 300万辆，年产量增长了近10倍。以单一国家来看，中国大陆为全球第一大汽车销量市场，第二是美国。中国大陆市场销售的汽车品牌已经是百家争鸣，各家皆有3~12种各式型号的车型，因应汽车消费者对汽车外型与性能要求日益增强，各汽车厂车型外型改款速度必须以快达约2年

便必须推出程度不一之改款车型来对应市场竞争。使得汽车模具的开发周期不断被压缩，现今每年汽车模具市场必须推出的模具数量已较10年前大幅增长，汽车模具市场产值也不断被推升增长。

因应模具开发交货周期的极度压缩，高速加工在汽车模具的应用已经是必然趋势，甚至成为能否接到客户订单的关键因素。本文将针

对模具现代加工技术与高速高精度五轴机床的应用做一深入详细的探讨。

现代模具高速加工对机床的要求

模具加工对大型高速高精度加工中心机的需求，还是以型面精加工为主要要求，但是还期望机床能弹性对应其他制程之紧急需求，确

编者按：本文来自中国台湾地区，因两岸文化的差异导致个别词语说法不一致，为尊重作者，编者特保留了原文说法。

保整体制程的柔性化。例如，机床能因应特殊需要时施作粗加工胚料移除（高切削移除率加工）、模具冷却水通道之深孔加工或整修等这些本来应该在其他专用机台上施做的工序。

除此之外，高速高精度模具加工中心机必须具备以下特性：

绝佳的结构刚性与阻尼特性和精度稳定性，以适应高速进给以及频繁的高加减速。

高速加工的必备基本条件：高速电主轴15 000r/min以上，并具备两面拘束刀柄 HSK type；主轴具备良好动平衡、刚性、热稳定性、足够的功率和力矩；切削进给达10m/min以上，并具备优异的路径精度控制能力；快速进给50m/min以上，缩短非加工时间等无效工时；高加减速特性，1m行程以下机床一般需1g，2m以上机床需0.5g以上。

利用五轴加工来减少放电加工时间，减少长刀具的使用、减少工序与工件重新装夹；减少工序与减少工件重新装夹能带来巨大效益。根据统计，78%的加工失误与误差来源是来自于增加工序与工件重新装夹定位。

针对各种不同大小尺寸与重量的工件，能维持相同加工性能表现。

汽车模具加工的需求种类

汽车产业主要的中大型模具加工，大致可分为以下几类：

1. 五金冲压件模具

外板件冲压模：要求模具型面须具备优异的精加工质量与尺寸精度，最大模具近5m，例如body side模具和对称双门模具（见图1）。



图1 汽车覆盖件模具加工

内板件冲压模：型面质量要求较内板件低。

2. 注塑件模具

如图2所示，汽车注塑件模具常见材料有45号钢、P20、2738、2344、H13、SKD61、SKD11、8402、2343及NAK80等。

外饰件模具：如保险杠、水箱罩、塑料件叶子板等，保险杠模具尺寸最大长度约3m。

内饰件模具：如仪表板、车门内饰板、中控台。内饰件注塑模具型面许多加强肋，一般需要大量放电加工工序。



图2 五轴加工汽车仪表板注塑件模具

车灯模具：如灯体、饰圈、反射镜及配光镜等，模具尺寸通常1.5m×1.5m以下（见图3）。

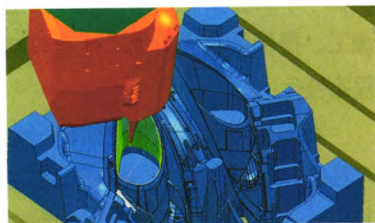


图3 车灯模具在五轴CAD/CAM上的刀具路径加工仿真

3. 橡胶模具

主要是模胎模具，常见材料有铸铁、铸钢、铸铝及合金铸钢等。

4. 成品检具

用来快速检测板金覆盖件与注塑件之量产成品，一般以铝合金与代木材料为主，对型面轮廓精度与定位孔空间精度的要求很高。

5. 整车快速成形

机床尺寸要求能加工整车原型尺寸，常见加工材料包含泡沫塑料（聚苯乙烯）、黏土、树脂材料及铝/锌合金等。图4所示为APEC专用于汽车快速成形的大型五轴高速加工机实际加工视频链接，该机床加工行程达7m×4m×2m，并能选配集尘过滤系统。



图4 整车快速造型五轴加工

直线电动机实现高速加工的理想

自20世纪90年代起，DMG开始大量推出由直线电动机驱动的机床，配合刀具技术、CAD/CAM软件技术的快速发展，试图将高速切削应用普及化，取代主流传统加工。相较于传统伺服电动机透过联轴器、滚珠裸轴、螺帽的驱动方式，直线电动机驱动所带来的优势，包含了动力直接传递，没有机

械效率损耗，没有机械背隙，少了复杂的机构传递，其系统伺服带宽可大幅提高，因而大幅提升切削动态特性。

亚太菁英（APEC）于2006年将直线电动机高速加工机成功于中国台湾知名汽车五金覆盖件模具厂——协欣公司（中日合资企业）做模具加工的高速化应用，将精加工切削进给速度从原本SNK机台的4m/min提升至10m/min，在业界造成不小震撼。

早在2005年，亚太菁英（APEC）便开始和德国博世（Bosch）工业集团长期战略合作，将Bosch Rexroth的直线电动机产品（见图5）与技术搭载在APEC的大型高速天车式加工中心。整副模具加工速度平均可缩减至原本50%，优良的加工面质量和型面精度，更可大幅节省人工打磨抛光时间与合模次数。



图5 搭载了五轴高速模具加工中心的德国直线电动机驱动系统

大型五轴直线电动机高速加工机的优势

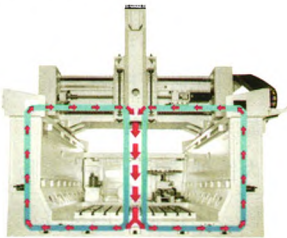
亚太菁英针对汽车产业模具、检具、快速造型的需求，提供了两大解决方案：GM机型与G机型。GM机型采用专利Box in Box重心驱动高架框架式结构，拥有最佳的结构刚性、精度稳定性以及钝化环境

温度影响。G3020/G2540机型则采用整体式U型床身结构，拥有最短力流结构刚性与最小的占地面积，为寸土寸金的厂房提供最高水平的单位面积生产效率（见图6）。



(a) GM机型专利Box in Box结构

Achieving higher cutting force
table merges to columns
U-frame structure



(b) G系列机型结构
图6 亚太菁英解决方案

以上两种机型的架构皆为工作台固定式，三轴高架重迭之天车式结构，机台性能不受模具工件大小重量变化所影响。这些机型皆为直线电动机驱动，轴向进给高达60m/min，并具备大扭矩两轴头与高速电主轴，可同时做高切削移除率之加工与高速精加工。

以亚太菁英G3020直线电动机五轴高速加工机为例，此机搭配HSK63A——24 000r/m电主轴，可以在一个机台上施做下列五种典型加工，提供最优异的加工性能与制程柔性化：

大量胚料移除：材料45号钢，刀具直径50mm，切宽35mm，切深0.8mm，feedrate=12m/min，切削移除率CRR可达336 cc/min。

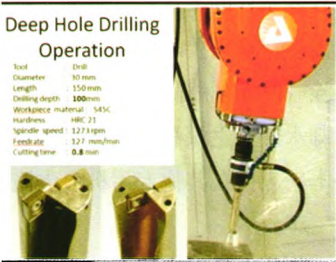


图7 大型五轴机枪钻加工

深孔枪钻加工：材料45号钢，刀具直径30mm，主轴转速1 273r/min，轴向进给 127mm/min。

型面精加工：刀径25mm，刀具路径节距 pitch=0.5mm，主轴转速 12 000r/min，进给速度 11m/min。

多刀清角：刀径2mm，主轴转速18 000r/min，切削进给速度1 760mm/min。

型面镜面超精加工：刀具直径0.8mm，主轴转速 22 000 r/min，进给速度800mm/min。

图8为轮胎模具自素材开始大量胚料移除、中加工、半精加工、精加工、沟槽加工的视频链接，可以看出大型五轴加工机床依然具有一定程度的粗加工胚料移除能力，更能一次性处理各种加工需求。



图8 轮胎模具加工视频及视频链接

乔丰集团为两岸知名汽车覆盖件模具制造商，自2012年开始大量引进亚太菁英GM大型五轴高速加工机，三轴全直线电动机驱动，

Box in Box天车式结构,加工行程 $3\text{m} \times 5\text{m} \times 1\text{m}$ 。在刀具磨损的权衡考虑下,目前实际加工进给速度可达 $12 \sim 15\text{m/min}$,五轴/3+2轴/三轴等不同工法间的相接面阶差,也能获得相当优异的控制。配合自动换刀、雷射刀长刀径监控补正、工件自动机上量测分析补正,能达到每天24h高效率三班连续生产模式。在整厂制程改善方面,受惠于优良的加工质量,其模具重要加工面质量不再倚赖资深钳工打磨抛光人员,故能进一步引入工厂制程管理系统来做制程升级与无人化/少人化作业。

计算其机台工时成本、模具产量提升率、人工钳工时间成本,精算后每机每年可节省26万美元(约161万人民币)制造成本,模具质量也获得美国、德国汽车大厂客户的肯定,汽车大厂客户甚至要求该用户全面将此制程优化成果提升推广至集团世界各地工厂。

CAD/CAM技术与机上量测的发展

近年来,CAM/CAM软件的发展也是着重在高速切削与五轴加工应用上,以英国DELCAM Powermill为例,针对模具高速切削也提出需多创新的工法概念,在高精度点分布加工的运用上,藉由工法运算公差、公差系数、网格系数的搭配,提升加工速度与效率,获得最好的表面加工质量。

利用多核心平行运算能力可以加速产生刀具路径,同时可一次完成大型复杂模具如整体bodyside之计算。另外多样化工法也能提升表面质量,如“Flowline 流线加工”功

能,透过边缘UV线与中间UV曲线控制,可达到等距平顺加工、整体表面加工质量提高;同时“路径转角圆弧化”与“路径平顺化”的功能,工件表面精度更加精细,减少手工打模时间。“多层多刀清角”及“残料模型”可以达到等量切削的功效,以实现现场加工自动化。

而机上自动量测分析补偿技术,也逐渐在模具加工产业上使用。传统在机台上先校准、加工完成后,再经人力拆卸工件,移动到恒温室的三次元量床检测;或须等待委外厂商安排、往返搬运上车的过程,产生报表或回厂重加工,既耗时也不易精准。现在通过工件比对软件搭配各家测头,就能在机上测得从加工面轮廓精度之数据,并与直接输入的多重CAD原始图文件比对、产生报表,确认成品符合客户要求。如以须测200点的2t重模具为例,可将检测时间从2天缩短为30min。一般工件比对软件还能提供各式3~5轴机台模拟,藉其曲面检测能力,以法线方向(Normal)曲面路径进退量测,而非仅止于Z轴方向接近,可模拟整机实体,大幅降低测头检测误差;并利用点群输入、外部输入曲线、自动产生平行点群路径、手动任意点等模式,在曲面平均布点量测,简单又快速产生检测路径,只要通过后处理,就能直接在CNC控制器操作。并透过完整的几何特征比对功能,输出GD&T报表,得知加工质量,并进一步做分析与补偿、修补作业。

结语

高速加工从19世纪三四十年代便开始有理论提出,在大型汽车模

具上的应用,却是因为五轴观念的普及、刀具与CAD/CAM技术的推陈出新、高速电主轴与两轴头的发展、直线电动机驱动技术的发展,才使得高速加工概念在近5~10年于大型模具产业间发酵。

链接:关于亚太菁英

亚太菁英隶属于台湾机床大厂东台集团,也是东台集团在中部地区专门制造生产大型五轴龙门加工机的新产品研发中心。其高精度的五轴产品可广泛地应用到大部分的产业,从航天、汽车、火车电车到太阳能、船舶、半导体、电子设备等,产品广销于世界各大汽车模具厂。

亚太菁英也是台湾最早成功销售大型高速五轴五连动机器给客户的专业制造商,受益于长期累积的五轴机销售数量,亚太菁英的独特优势在于拥有丰富的实战和成功经验,并深入了解客户实际需求,其丰富的加工经验与完整解决方案,能针对不同加工属性,持续为客户创造实质效益,并提升产品附加价值。

在技术与研发能力方面,亚太菁英从欧洲引进五轴头的组装及维修技术,成立维修、组装精密两轴头的专业团队并与工研院技术合作,和德国、意大利等研发单位联盟,研发大型线性马达五轴高速机床,并成功辅导过多家客户顺利导入五轴加工技术。此外,亚太菁英亦能提供专业的五轴教育培训,因此亚太菁英成为台湾唯一一家也是第一家机床制造商成功通过国家大型计划的机床厂商,公司的技术能力、研发能量、产品等级已获得政府及学界专家的肯定。AME



龚宣任
协理

亚太菁英股份有限公司