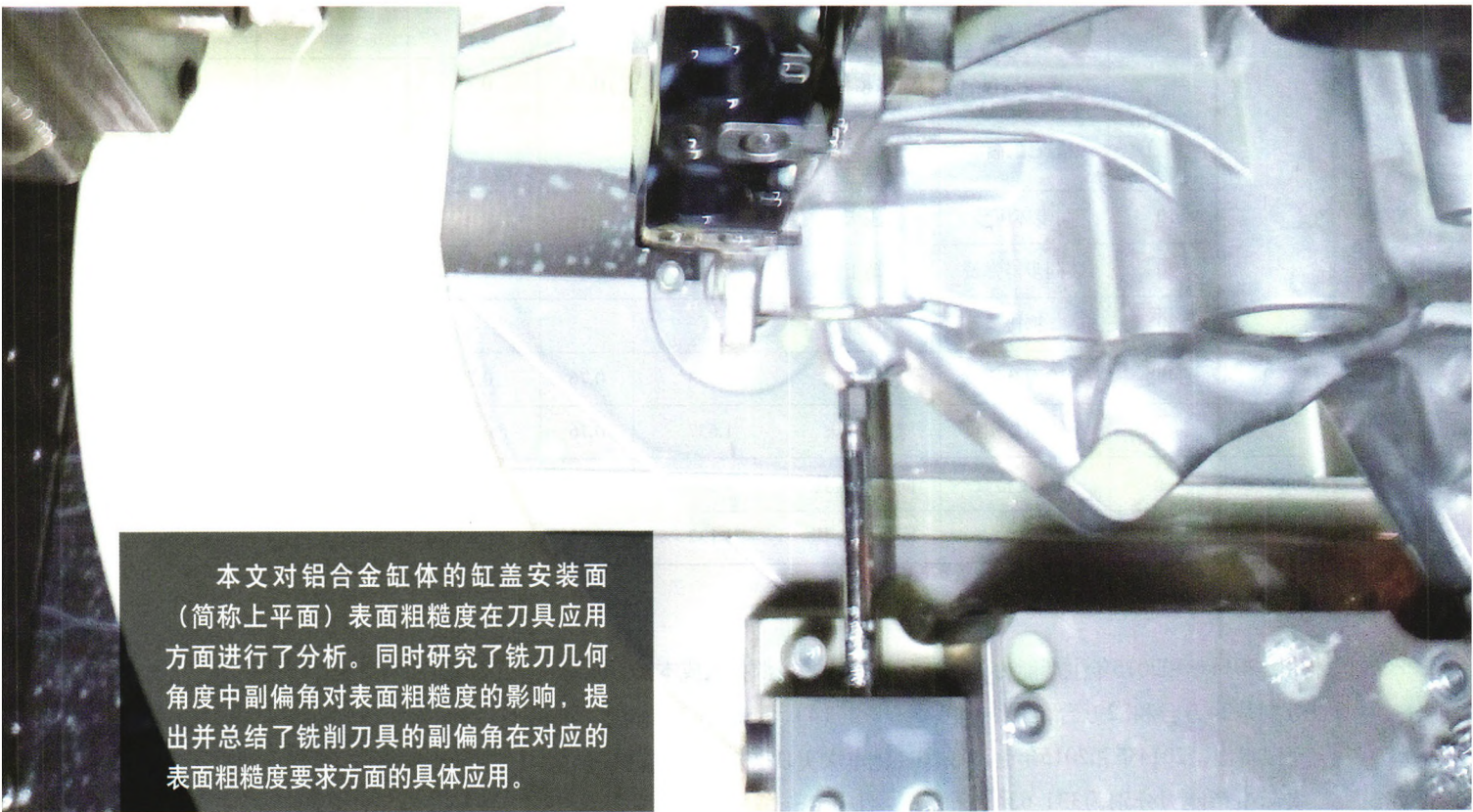


铣刀副偏角在缸体平面铣削中的应用

□ 上海大众动力总成有限公司/邢韬 卢其龙



本文对铝合金缸体的缸盖安装面（简称上平面）表面粗糙度在刀具应用方面进行了分析。同时研究了铣刀几何角度中副偏角对表面粗糙度的影响，提出并总结了铣削刀具的副偏角在对应的表面粗糙度要求方面的具体应用。

气缸垫装于缸盖与缸体之间，通过缸盖安装螺栓的连接，以保证气缸内部良好的密封性能，它必须严密地密封气缸在完成冲程过程中所产生的高温和高压气体以及贯穿于缸体内有一定压力及流速的冷却水和具有腐蚀性的机油。

此时除了气缸垫需具备很好的密封性能以外，对缸体与缸盖之间的安装面也提出了极高的密封性能要求，本文将针对刀具在此安装面

的粗糙度方面的应用进行分析。

发动机的主体缸体，承载了发动机主要的动力部件，而在发动机完成冲程动作过程（进气、压缩、燃烧膨胀、排气），以及冷却系统中的循环路径都一直考验着缸体的密封性能，而缸体与缸盖之间的安装面是其中重要环节之一，针对此安装面有着较高的几何公差和表面粗糙度要求。随着对发动机密封性应用要求的不断提高，缸体与缸盖

安装面的几何公差和表面粗糙度要求也有一些阶段性的变化，按不同时期的表面粗糙度要求，并以加工工艺和刀具切削为基础，结合相关的实践经验，提出针对刀具副偏角的应用及看法。

刀具副偏角对缸体表面粗糙度的影响

在加工缸体上平面时，为了针对逐步提升的表面粗糙度要求，以

确保缸体的缸盖安装面最佳的密封性能，通过刀具进行了针对性的改进以及优化。

本文将对铣刀的切削刃、“破坏刃”与修光刃之间的配合关系，以及铣刀的副切削刃对表面粗糙度影响进行分析研究。铣刀的几何角度多为组合使用，为了更为严谨地对刀具副切削刃在实际加工过程中应用，本文将限定对刀具加工参数、刀具主削角、第二副偏角等变更，以便更直观地体现在关于表面粗糙度中刀具副偏角的应用（工件示意图以及刀具加工路径见图1）。

1.切削刃与“破坏刃”的配合应用

初期缸体上平面表面粗糙度要求为 $R_z=3\sim15\mu\text{m}$ 、 $Pt15$,美国 Kennametal 刀具将切削刃（见图2）与“破坏刃”（见图3）组合使用：将3片切削刃与1片“破坏刃”组成一组，共4组，共计16片刀片。

“破坏刃”通过较大的副偏角对加工表面达到理想的表面粗糙度要求，如副偏角过大，副切削刃摩擦力变小，主切削力所需要的支撑部分变弱，所以“破坏刃”多为组合使用。比如：表面粗糙度值稳定的要求为 $R_z=10\sim25\mu\text{m}$ ，采用较大

的副偏角能达到要求，但较大的副偏角同时也降低了主切削刃的抗崩强度，此时采用以切削刃与“破坏刃”组合使用，将能有效满足表面粗糙度的要求，并保证刀具主切削在切削时所需要的有效支撑力。

“破坏刃”的使用，相对传统的使用单一切削刃，能达到更加理想的要求：较小的副切削刃能保证粗糙中的未滤波参数（ Pt 值），但表面粗糙度的微观不平度十点高度（ R_z 值）将小于 $3\mu\text{m}$ ，所以将刀具在调校过程中要求切削刃与“破坏刃”的刃高差（“破坏刃”比常规切削刃高），以保证原有 Pt 要求的同时，将通过“破坏刃”刃高差去保证 $R_z>3\mu\text{m}$ ；通过多次的验证：将“破坏刃”调高 $2\sim3\mu\text{m}$ ，能达到 $3\mu\text{m}<R_z<10\mu\text{m}$ 、 $Pt<10$ 。但多次测试后，同时也发现问题：在使用光学聚焦的投影式调刀设备过程中，难免因刀具清洁在聚焦时产生测量误差；通过光学投影调刀设备达到 μm 级的精度，对调刀人员以及刀具调整设备均有较高的要求；“破坏刃”的应用有局限性，但实际应用中灵活将两种副偏角刀应用在同一把铣刀上，即满足了表面粗糙度要求，又保证刀具必要的强度。

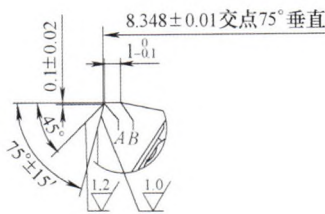


图2 切削刃 (Kennametal)

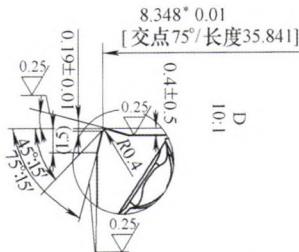


图3 破坏刃 (Kennametal)

2.铣刀片的副偏角对表面粗糙度影响

随着更高的产品质量要求，对于缸体的上平面粗糙度提出更高的要求，其粗糙度标准变更为： $R_z=0\sim10\mu\text{m}$ 、 $Pt=0\sim12$ 。在保证提升表面加工质量，同时保证生产效率的前提下，提出对刀具优化，同时避免调校时对人以及刀具调整设备的要求。针对刀具优化需求和方向，对现有的数据进行分析，将优化重点锁定“破坏刃”进行优化。优化方向需要保留现有“破坏刃”的优点，通过将取消原刀具设计的“破坏刃”，并对刀具副切削刃几何角度进行优化。

根据表面粗糙度 R_z 以及“破坏刃”的理论定义，表面粗糙度 R_z 可以对刀具的副偏角进行优化。根据刀具切削性能分析，副偏角的功能在于减小副切削刃与已加工表面的摩擦或产生二次切削，同时在加工参数不变的情况下，副偏角大小也会影响加工表面的粗糙度 R_z 和破坏值。如图4所示，通过理论计算以及分阶梯式进行测试（见附表），

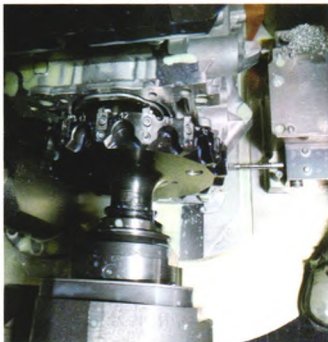
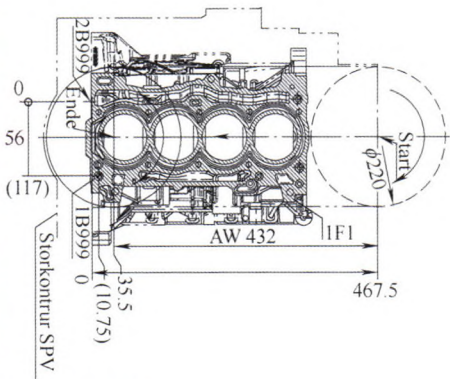


图1 工件实物及示意图

将刀具主切削刃以及在加工时所对应的加工参数不变，刀具副切削刃改至20' ~ 35' 为最合理，能满足加工工艺的需求。

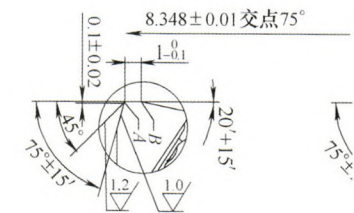


图4 优化的切削刃 (Kennametal)
测试结果

副偏角角度 (')	0 ~ 15	20 ~ 35	45 ~ 60
R _s 值	3.5	4.5	9.3
	2.5	5.3	8.8
	2.8	5.1	9.5
	3.1	4.7	9.1
Pt值	5.5	8.1	11.3
	6.1	7.3	14.5
	6.2	7.7	13.7
	5.3	6.9	12.9

3.修光刃的应用

缸体密封性要求进一步提高，对相关上平面表面粗糙度也提出了新的标准：将原表面粗糙度要求变更为Pt11、Pmr (2) > 30%、Pmr (4) > 70%。

结合对于前期的切削刃副偏角优化，按表面粗糙度定义标准，分析了Pmr (C) 要求的被加工表面特点，减小副偏角的角度则可以达到所需Pt、Pmr (C) 标准，但过度减小副偏角的角度则加大了刀具副切削刃与已加工表面摩擦，导致已加工表面被破坏，增加了主切削力和切削应力，会引起刀具振动；发生刀具或是主轴的振颤影响工件的表面质量以及加工设备的精度。如果通过现有刀具降低刀具的每齿进给

量也能达到预期的粗糙度效果，但降低每齿进给量，将降低刀具寿命和增加加工节拍不良影响。

针对提升后的被加工表面粗糙度标准，结合铣刀类修光刃技术的应用，将改进方向锁定为在原有刀具上增加修光刃。修光刃主要是切削刃到副切削刃之间的过渡，实际上也是副切削刃的极端模式。通常修光刃在铝合金加工的应用中采用圆弧修光刃，且在加工过程中工件与主轴采用一定的夹角 (89.990° ~ 89.992°)，以避免主切削刃再次切削已加工表面，或与已加工表面产生摩擦，带来不光泽的加工表面。

本文将以德国Mapal刀具为例：采用将面铣刀切削刃 (见图5) 中添加2~4片修光刃 (见图6)。

为使修光刃能有效地确保被加工面的表面粗糙度标准，对于修光刃的副切削刃宽度要求，必须大于修光刃之间切削刃每刃进给量和的1.5倍以上。在应用中采用φ 220mm、16刃、刀具每转进给

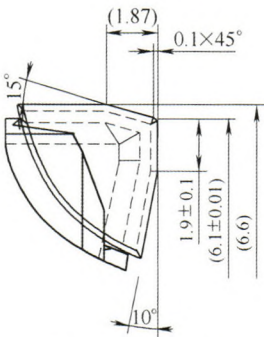


图5 切削刃 (Mapal)

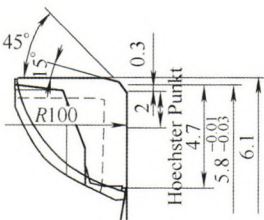


图6 修光刃 (Mapal)

为1.12mm、刀具悬长100mm，主轴夹紧方式为HSK63。通过Mapal推荐，采用对应修光刃角度 (见图5)，副切削刃最高点至主切削刃链接处长1.5~2.0mm；通过计算对现有刀具增加两片修光刃，装夹在刀盘0° 和180° 位置，其余则为14片切削刃，对刀具进行切削测试。结果验证使用修光刃，充分利用修光刃副切削刃的特性，副切削刃在有效清除已加工表面主切削刃残留轮廓峰高的部分，确保不改变加工节拍以及刀具有效寿命的情况下，使表面粗糙度要求达到了标准。

结语

综上所述，合理的副偏角避免因刀具切削时产生振动，以及减小与已加工表面的摩擦，同时合理的角度能保证理想状态的表面粗糙度要求。在精加工，选取较小的副偏角可以提高表面粗糙度，同时增加刀具主切削刃强度。但副切削刃过小，必定增加切削阻力和刀具摩擦系数，所以在实践过程中必须合理使用副偏角，才能满足表面粗糙度要求。 **AUTO1950**



邢韬
毕业于上海交通大学工商管理专业，研究生学历
上海大众动力总成有限公司
质量保证部 生产质保高级经理
工程师