TC4材料钻削性能试验及优化验证

中航工业沈阳黎明航空发动机（集团）有限责任公司 （辽宁 110043） 张 军 杨金发
叶洪涛 杜凌霄

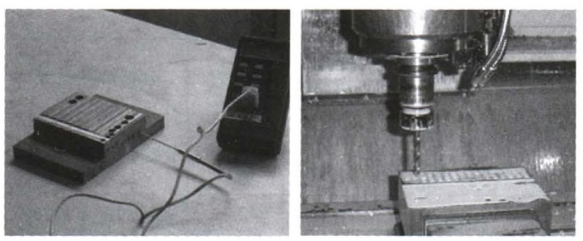
本文采用M42高速钢钻头进行TC4材料钻削性能试验，分析其切削加工性及刀具磨损机理。并通过试验建立相应的切削力、切削温度、刀具寿命公式。并通过航空发动机TC4材料机匣钻削加工过程进行工艺验证。

一、TC4材料钻削性能试验

1. 试验条件及方法

试验在DAEWOO AVC－50立式加工中心上进行，钻削过程中用Kistler－9257B 钻削测力仪对*X*、*Y*、*Z*三个切削分力进行采集，同时用TES1310数显热电偶采集切削区温度信号，温度测试装置见图1a。

工件为块料，刀具选用M42高钴直柄高速钢钻头，刀具直径*d*为6mm、8mm、10mm，顶角140°，钻削深度为直径的2倍。以钻削过程中的发出尖锐异常的声音作为刀具失效的判据。



(a) 温度测量热电偶 (b) 寿命试验

图1 钻削试验

由于钛合金导热系数低，钻削条件下切削区温度极高，因此，必须采用切削液（Blasocut ART870，浓度15%）。刀具寿命切削试验结束后采用扫描电镜（SEM）和能谱分析技术（EDS）对刀具的磨损形态及局部化学成分进行分析。

考虑到在钛合金加工中，切削温度比较高，钻削加工散热条件差，必须在切削液状态下进行试验。为了提高实验效率，采用正交试验法，主要研究切削过程中切削参数对刀具寿命、切削力、切削温度的影响。

2. 高速钢钻头磨损

刀具的磨损形态，直径较小6mm、8mm的刀具切削过程刀具的磨损形态主要为主、副切削刃交界处的磨损和塑性变形。直径较大的10mm刀具在进给量较小情况下主要磨损形态为副切削刃的羽状磨损，进给量较大的情况下磨损形态主要为塑性变形（见图2）。刀具磨损机理为粘结、氧化及由于热－力交互冲击作用下的刀具微破损及塑性变形。

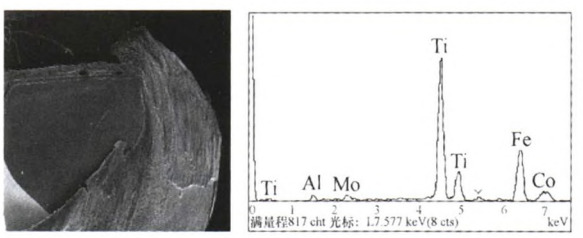


图2 刀具失效后的磨损形貌SEM图像及能谱

3. 高速钢钻头切削力、切削温度研究

钻削过程中，与*X*、*Y*向切削力与*Z*向切削力相比数值很小（见图3），在此主要对*Z*向切削力及*Z*向转矩进行分析。

根据正交试验回归及拟合度检验方法，获得如下*Z*向切削力均值及*Z*向转矩均值拟合公式如下：

$$F_x=855.07d^{0.73}f^{0.34}v_c-0.38 \quad (1)$$

$$M_z=212.37d^{-0.35}f0.54v_c-1.04 \quad (2)$$

式中，F_z为*Z*向切削力均值（N），M_z为*Z*向转矩均值（N·m），v_c为切削速度（m/min），*f*为进给量（mm/r），*d*为刀具直径（mm）。

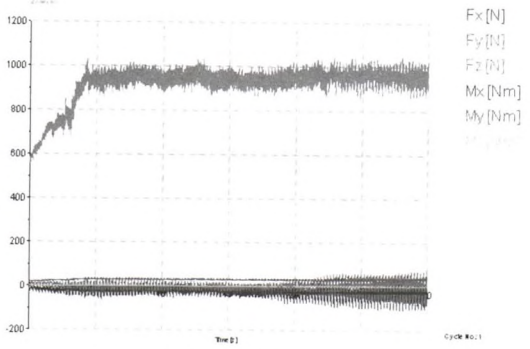


图3 钻削过程的三向切削力图像

由切削力公式可以看出，刀具直径和进给量增大使切削力增大，而切削速度增加使切削力下降。

切削温度试验拟合公式

$$\theta=1.57d^{1.17}f^{0.14}v_c^{0.56} \quad (3)$$

式中，θ为切削温度，其他参数同上。

4. 高速钢钻头寿命

根据刀具寿命预测的理论及实验结果，可以获得如下刀具寿命经验公式

$$T=6.65\times10^{-14}d^{7.03}f^{-7.48}v_c^{-0.32} \quad (4)$$

式中，T表示刀具寿命，其他参数同上。

试验表明，直径较大的刀具在相同的速度及进给量条件下寿命明显高于直径较小的刀具。主要是由于直径较大的刀具在相同的切削速度下转速较低，切削液能进入切削区对刀具有效冷却。而直径较小的刀具在同样的切削速度下转速高，切削液很难进入切削区，刀具得不到充分冷却，导致主、副切削刃交界处温度较高，使得刀具磨损剧烈或产生塑性变形、因而寿命较低。进给量对刀具寿命影响较明显，随进给量的增大，刀具寿命明显降低。切削速度在8～12m/min的范围内对刀具寿命的影响较小。

根据上述分析，刀具直径相同的情况下，在6～12m/min的切削速度范围内，进给量对刀具寿命的影响大于速度的影响。因此，建议在适当切削速度下，采用较小进给量，以提高刀具寿命。

二、机匣加工工艺验证试验

零件试验部位直径尺寸为ϕ900mm，外廓尺寸较大，壁厚较小，尺寸精度要求均较高，属于易变形的薄壁零件。由于零件部分外型面较复杂，不能沿圆周连续切削，以普通的铣削加工满足不了设计图样的要求，因此在加工中要根据具体情况选择精度合适的加工中心，并避免同一零件同一工序多次更换设备加工。钻孔加工示意图如图4所示。

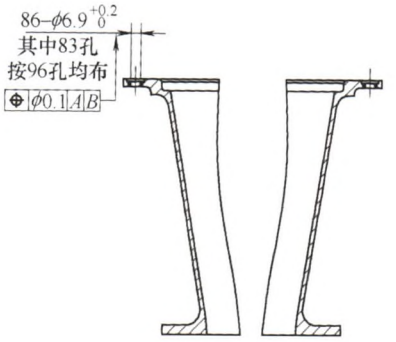


图4 钻安装孔

从式4知道，进给量f对刀具寿命影响最大，因此选定进给速度作为优化变量。结合加工成本构成要素，并在考虑了刀具重磨后，分摊经过优化计算，得出在转速n=360m/min时的优化进给速度为f=0.05mm/r。此时，金属切除率为0.74cm^3/min，加工效益为2.0元/min。切削速度与加工效益关系如图5所示。

M42钻削优化前后对比效果分析见附表。

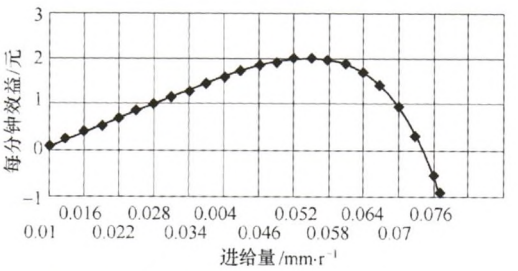


图5 M42钻头进给速度与加工效益关系（转速n=360r/min）

对比分析表

切削参数优化前后对比分析			分析计算结果
	优化前	优化后	
进给速度f/ mm·r^{-1}	0.04	0.05	提高加工效率20%
切除率/ cm^3·min^{-1}	0.54	0.74	
每分钟效益/元	1.58	2.0	降低加工成本26%
精度和表面质量	达到图样要求		
表面粗糙度R_a/ μm	3.2		

M42钻削优化前后对比效果（转速n=360r/min）

从切削速度与加工效益关系图上看，TC4钛合金钻削加工进给速度可选择范围较窄，M42刀具还是比较适合钛合金钻削加工的。刀具经过切削参数优化，在提高加工效率和降低成本上都有很明显改善。**MW**

（收稿日期：20130906）