

难加工材料刀具磨损检测技术研究与应用

Research and Application of Tool Wear Detection Technology

昌河飞机工业(集团)有限责任公司 蒋理科 祝益军 冯炎清
北京航空航天大学 陈志同 李 勋

[摘要] 利用刀具磨损检测技术,拍摄刀具后刀面磨损图像,以磨损图像为基础,分析刀具磨损状况、确定刀具磨损量,然后采用离散刀具磨损过程与有限元仿真相结合的方法实现长时间切削刀具磨损的仿真。对刀具磨损检测仪的原理、构成及检测过程等做了简要介绍,并对其在难加工材料切削参数优化、新刀具选用试切方面进行了初步应用。

关键词: 刀具耐用度 刀具磨损检测 切削参数优化 新刀具试切评估

[ABSTRACT] The pictures of rear face wear of cutting tool are taken by wear detection technology. The wear status is analyzed and wear amount is decided based on wear pictures. The simulation of long-time cutting tool wear is realized by the method combined with discrete cutting tool wear process and FE simulation. The principle, construction and detection process of wear detector are introduced. And the initial application of wear detector in cutting parameter optimization of difficult-to-cut material and new cutting tool selection is carried out.

Keywords: Durability degree of tool Tool-wear detection Optimization of cutting parameter Evaluation of new tool

近年来,随着飞机设计对结构和重量方面的要求不断提高,零件结构越来越复杂,壁厚越来越薄,难加工材料应用范围越来越广,导致飞机零部件加工难度越来越大。采用切削过程工艺切削参数优化技术,对企业现有切削参数进行优化升级,可以大幅度提高难加工材料加工效率和效益。刀具耐用度约束是难加工材料切削参数优化时的主要约束条件,前期在研究铝合金切削参数优化时始终没有考虑。难加工材料加工过程中,刀具容易磨损和破损,在对刀具磨钝规律进行研究时,必须对刀具磨损状况进行准确测量,找出刀具磨损规律,得到刀具耐用度曲线,再根据刀具耐用度曲线进行切削参数优化研究。

设计一套方便携带、结构简单、操作方便、测量精确的刀具磨损检测设备很有必要,并可研制相应的操作规

范和操作软件,实现多种切削条件下的刀具磨损状态的高效测试。如何快速、准确地测量出刀具磨损量已成为研究刀具耐用度的首要环节。

刀具磨损测量的传统方法是以工具显微镜为测量设备,需要反复拆装刀具和刀片,每次测量结束后都需要重新装夹刀具和对刀,致使整个测量过程费时费力。在已进行的相关难加工材料切削试验中,利用自制的便携式刀具磨损检测仪,拍摄刀具后刀面磨损图像,在软件中对刀具磨损图像进行处理,得到刀具磨损状况,确定刀具磨损量。刀具磨损检测仪的拍摄和调试非常灵活,配置了性能较好的相机(摄像头),使得拍摄的照片能够更准确地反映后刀面磨损情况。

1 刀具磨损检测

研究和建立常用切削条件下的刀具磨钝规律数学模型,参照刀具磨损量与切削速度、进给速度、切削深度之间的指数型经验公式,采用多组单因素试验建立以待定指数为变量的方程组,求解方程组以获得刀具的磨钝规律模型的基本参数,解决难加工材料的刀具磨损量预计和控制问题。通过若干组试验以保证所辨识出的模型参数具有普遍适用性。几个主要切削参数对刀具磨损都有影响,其中,最主要的影响因素为切削速度 V_c ,根据实际加工情况,忽略对刀具耐用度影响较小的切削深度因素 a_p ,固定切削深度,所用刀具耐用度模型为 $T = C_T v_c^x f_z^y a_p^z$,式中: C_T 、 x 、 y 、 z 为待定系数; v_c 为切削速度 (m/min); f_z 为每齿进给量 (mm/z); a_p 为轴向切削深度 (mm); T 为刀具耐用度 (min)。

根据国际通用标准,以后刀面磨损带平均宽度 $VB=0.3\text{mm}$ 为磨钝标准,测量在不同铣削参数下的磨损量,辨识刀具耐用度模型中的各项待定系数,得出加工过程中的刀具耐用度曲线。研究刀具磨损检测技术主要目的在于能随时准确、快捷地检测出后刀面的磨损的量化数值,通过量化数值找到与各切削参数、时间的对应关系。

1.1 便携式刀具磨损检测仪的原理及构成

如图 1 所示,在切削过程中,利用显微镜数码相机(摄像头)对切削刀具进行拍照,再利用软件测量出刀具

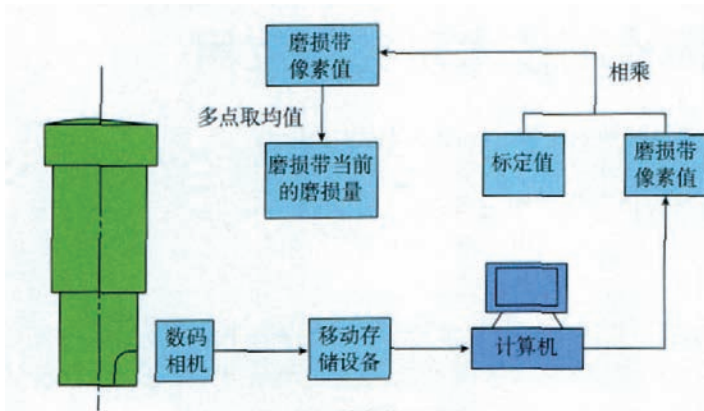


图1 刀具磨损检测原理
Fig.1 Wear detection principle

的磨损量。软件可以很方便地控制显微镜数码摄像头的转动、调节摄像头的照明亮度,以及采集显微镜数码摄像头拍到的照片。为使测量结果精确,在磨损带上要选择 10~15 个有代表性的测量点,取其平均值作为最终测量结果。

便携式刀具磨损检测仪由光源件、显微镜、数码相机(摄像头)、安装架、笔记本电脑、连接线等组成,如图 2、图 3 所示。



图2 前期使用的仪器
Fig.2 Detector for prophase use

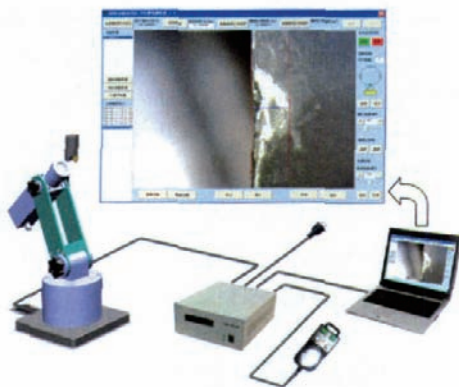


图3 目前使用的仪器及软件
Fig.3 Detector and software for current use

1.2 便携式刀具磨损检测仪的测量过程

便携式刀具磨损检测仪的测量过程流程图如图 4 所示。

1.2.1 刀具磨损检测仪的对焦和标定

将刀具磨损检测仪平放在工作台上并接通电源,移动机床 Z 轴使刀具刀尖部分紧靠在光源安装座的底平面上,转动刀柄,使刀片图像呈现在相机视野内。调整相机焦距,直到照片达到满意的清晰度为止,如图 5 所示。焦距调整后,要保持部件间的装配位置不变,否则焦距将发生变化。

将 0.5mm 厚的标准量块固定在定位转块上(可用橡皮泥粘附),确保量块被侧面与光源安装座的底平面平行。调整相机 F 值 (F 值的范围为

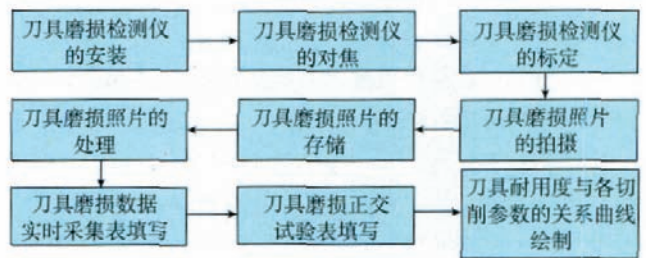


图4 刀具磨损检测仪测量过程流程图
Fig.4 Measurement flow chart of wear detector



图5 刀具磨损检测仪对焦
Fig.5 Focus adjustment of wear detector

2.6~4.0) 到 2.6,拍摄量块照片;依次增大 F 值并拍摄照片,直到对应所有 F 值的照片拍摄完毕;将 15 张标定照片导入到图像处理软件中,获取每张照片的水平方向像素值 $N(i)$;计算标定结果, $Result(i)=0.5/N(i)$,单位为 mm/像素。所有的标定结果都是在同一个焦距下进行的,如果相机的焦距发生变化,则需要重新进行标定,如图 6 所示。

1.2.2 刀具磨损检测仪的拍摄和处理

在刀具初期磨损阶段测量时间间隔可取得短一些,根据试验参数的不同,初期磨损阶段一般在 20min 左右;正常磨损阶段测量时间间隔可取长些,接近磨钝标准



图6 刀具磨损检测仪标定
Fig.6 Demarcation of wear detector

时,再适当缩短时间间隔。拍照时要把刀片上粘附的切削液等杂物清除干净,且要注意照片与刀片号的对应关系,以免弄错。

刀具磨损照片的处理如图7所示,从尚未磨损或磨损轻微的区域边线上,选择2点(图中红色圆点所示),软件将自动计算两点之间连线与垂直方向所成的角度,并按该角度的反方向旋转图片,并出现图8所示界面。在图片上红色椭圆所示典型磨损区域内选择10~15个

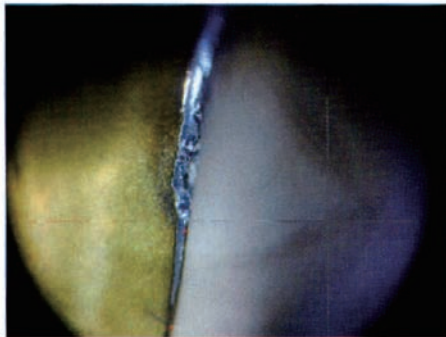


图7 待处理的刀具磨损照片
Fig.7 Photo of wear waiting for dealing with

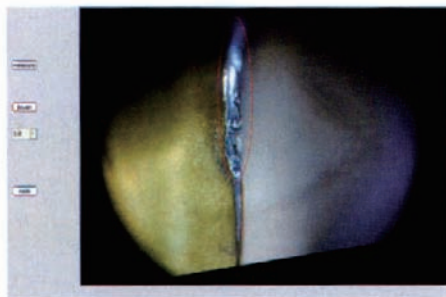


图8 刀具磨损照片旋转
Fig.8 Gyration of wear photo

有代表性的测量点,选择时以红色直线为右边界、磨损带左侧为左边界进行测量。

1.2.3 刀具耐用度与各切削参数的关系曲线绘制

根据所记录的结果,绘制刀具磨损量随切削时间的增长曲线,绘制刀具寿命与各个试验因素的关系曲线。

图9是刀具磨损随时间的变化曲线,其切削速度为50.2655m/min。从图中可以看出,当后刀面磨损量达到

0.25mm时,刀具开始发生剧烈磨损。

图10是后刀面磨损量与各试验因素之间的关系曲线。从图中可以观察到,切削速度对刀具寿命的影响最为显著,进给速度和切削宽度对刀具寿命的影响效果相差不多。

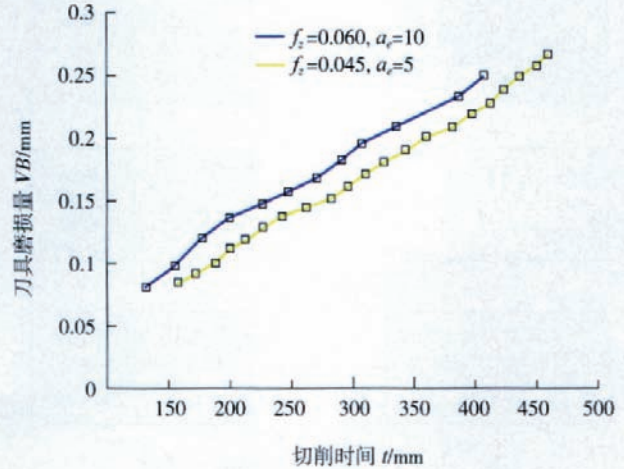


图9 刀具磨损曲线
Fig.9 Wear curve

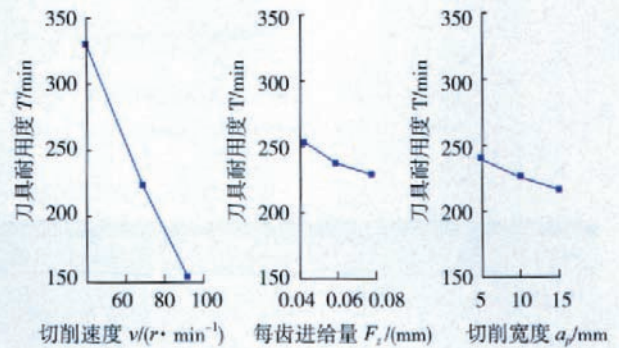


图10 刀具磨损随切削因素的变化曲线
Fig.10 Wear curve with cutting factor change

1.3 刀具磨损的仿真

刀具磨损试验工作量大、消耗材料多、试验时间长。一条耐用度曲线需要做16组数据,获得一组磨损数据需用时一天,消耗切削材料10kg。

采用离散刀具磨损过程与有限元仿真相结合的方法来实现长时间切削刀具磨损的仿真。采用该方法可以减少切削试验的数量,后续通过仿真获得。技术路线如图11所示,首先离散刀具磨损过程为n个子磨损过程,假设计算中每个子过程刀具后刀面磨损VB值不变;把后刀面磨损为VB_i的刀具几何模型代入有限元软件进行仿真分析,得到该条件下切削一定长度工件时的刀具磨损值,又因为子过程中刀具几何参数、切削用量等切削条件不变,切削力、温度等达到动态的平衡状态,根

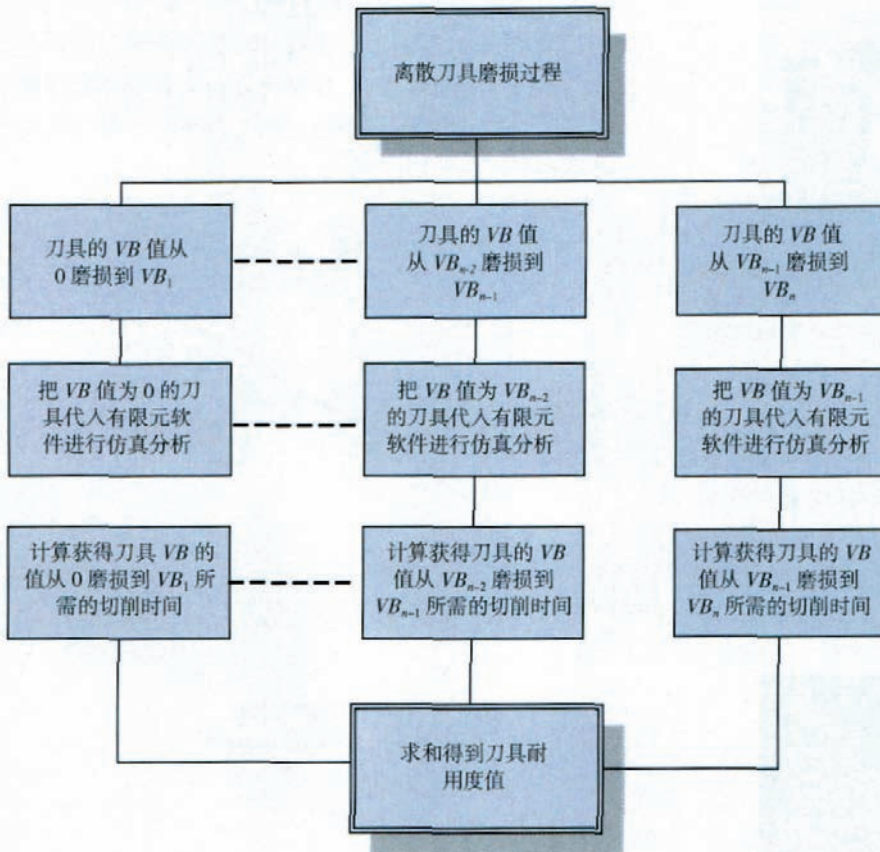


图11 刀具耐用度仿真技术路线

Fig.11 Simulation technology route of tool durability degree

表1 优化前后的切削参数

参数	$V/(m \cdot \min^{-1})$	a_p/mm	$f/(mm/z^{-1})$	T/mim	S/m	F_x/N	F_y/N	F_z/N
优化前	20	3	0.0833	480	24	680	220	300
优化后	20	7	0.12	360	25.92	1600	900	320

据白井英治磨损模型,刀具磨损率也达到动平衡状态,这样便可得到刀具后刀面磨损由 VB_i 磨损到 VB_{i+1} 所需的时间,最后叠加各子过程所需切削时间便得到刀具耐用度。



图12 TC4支座
Fig.12 TC4 Holder



图13 30CrNi4MoA轴套
Fig.13 30CrNi4MoA shaft sleeve

切削的具体情况;在2种刀具切削大致相同时间后,对刀具磨损情况进行对比。

2.2.3 试验结果分析

在 Fraisa 刀具切削 63.8min 后,刀具磨损情况见图

2 刀具磨损检测技术的应用

2.1 刀具磨损检测技术在难加工材料切削参数优化中的应用

优化前后的切削参数如表1所示。

与原参数相比,优化后的参数切削深度提高了2.33倍,每齿进给量提高了1.44倍,刀具寿命亦可达6h以上。图12和图13所示为应用优化后的切削参数的零件加工效果。

2.2 刀具磨损检测技术在新刀具选用试切评估中的应用

利用刀具磨损检测系统,对加工钛合金的2种刀具(如图14、15所示)进行切削加工对比试验,获得这2种刀具的切削性能情况,为选用加工钛合金的刀具提供决策帮助。

2.2.1 刀具信息

2种刀具信息如表2所示。

2.2.2 刀具加工信息记录

切削一段时间后,利用刀具磨损检测仪进行刀具磨损测量,记录磨损图像,并进行数据处理,表3为这2种刀具



图14 Fraisa刀具
Fig.14 Fraisa tool



图15 MiniCut刀具
Fig.15 MiniCut tool

表2 TC4材料刀具磨损对比刀具信息

刀具厂商	刀具直径/mm	齿数	材料	有无涂层	螺旋角/(°)	总长/mm	刃长/mm
Fraisa	20	4	高速钢	有	30	104	38
MiniCut	20	4	高速钢	无	30	105	38

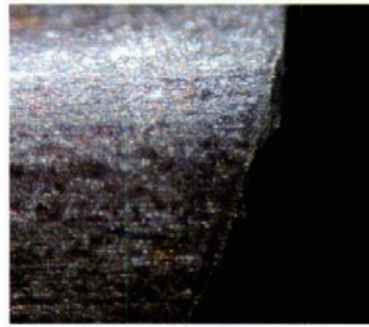


图16 Fraisa刀具磨损情况
Fig.16 Wear status of Fraisa

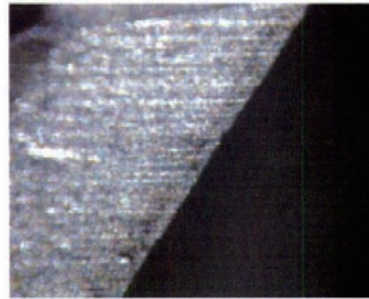


图17 MiniCut刀具磨损情况
Fig.17 Wear status of MiniCut

16。MiniCut 刀具切削 66.3min 后,刀具磨损情况见图 17。

由磨损图可以看出,MiniCut 刀具的磨损明显小于 Fraisa 刀具的磨损,其切削性能优于 Fraisa 刀具。因此就这 2 种刀具而言,加工钛合金时应选用 MiniCut 刀具。

表3 2种刀具切削加工情况

刀具类型	试验序号	$n/(r \cdot \text{min}^{-1})$	$v_f/(\text{mm} \cdot \text{min}^{-1})$	a_p/mm	a_e/mm	本次时间 t/min	累计时间 t_m/min
Fraisa 刀具	1	400	100	2	10	1.3	1.3
	2	400	50	2	10	2.6	3.9
	3	400	80	5	10	3.25	7.15
	4	400	40	5	18	3.25	10.4
	5	400	50	3	20	2.6	13
	6	400	60	10	2	2.2	15.2
	7	400	60	15	2	2.2	17.4
	8	400	60	20	2	2.2	19.6
	9	400	50	20	2	20.8	40.4
	10	400	50	20	2	10.4	50.8
	11	400	50	20	2	13	63.8
MiniCut 刀具	1	400	100	3	20	1.3	1.3
	2	400	50	17	3	2.6	3.9
	3	400	50	20	2	20.8	24.7
	4	400	50	20	2	20.8	45.4
	5	400	50	20	2	20.8	66.3

3 结束语

通过对刀具磨损检测技术的研究,设计并制作了一套便携式刀具磨损检测仪,开发了一种操作简单的刀具磨损图像处理软件,刀具磨损量的检测时间比常用的工具显微镜方法缩短 50% 以上。

由于采用的切削系统大部分工作需要人工参与,自动化程度低,其数据采集过程和加工过程需要人工独立控制,试验工作量大、消耗材料多,试验时间长。要建立全面先进的国防工业切削参数数据库,就必须建立一套自动化程度较高的和高效的柔性切削仿真模型参数测试系统,规范和简化切削试验过程,减少切削试验数量,降低人工参与程度,形成一套操作简单、高效的仿真环境,既可以为各种仿真模型提供必要的参数,也可以对其他各种渠道获得的切削参数进行验证和测试。利用这种方法可以显著降低试验成本、提高试验效率,缩短切削过程仿真模型参数的辨识时间。

参考文献

[1] 张保国. 涂层刀具铣削加工 300M 钢的刀具磨损试验研究. 航空精密制造技术. 2008 (2): 41-44. (责编 小颖)