

数控立铣刀动态几何参数自动计算与模拟

Calculation and Simulation of Dynamic Geometry Parameter of NC End Milling Cutter

中航工业沈阳飞机工业(集团)有限公司 唐臣升 张滨义 杨巍 康秋

[摘要] 本文介绍了数控立铣刀动态几何参数自动计算与模拟技术,该技术主要是通过参数化数控立铣刀动态几何参数自动计算与模拟软件实现的。刀具设计人员只要通过计算机界面,从键盘输入刀具的静态几何参数、切削加工参数以及切削路径的特征参数,那么,计算机将自动设计出数控立铣刀动态几何参数,并实现切削状态模拟。因此,该系统极大提高了数控立铣刀图纸设计的质量和效率,进而也提高了数控立铣刀的切削加工效率。

关键词: 数控立铣刀 动态几何参数 静态几何参数 参数化 计算机模拟

[ABSTRACT] An introduction is given on the technology of calculation and simulation of dynamic geometry parameters of the NC end milling cutter, which comes true by means of software of the calculation and simulation of dynamic geometry parameters of the NC end milling cutter. With this software, the designers of the end milling cutters only input the main parameters of the static geometry parameter, dynamic geometry parameter and cutting path, the dynamic geometry parameters of the NC end milling cutter will be calculated, and the cutting condition simulation comes true. So it comes true to heighten the quality and efficiency of the design of the NC end milling cutter and cutting.

Keywords: NC end milling cutter Dynamic geometry parameter Static geometry parameter Parameterization Computer simulation

在飞机制造生产生产线中,金属切削加工效率低是影响飞机生产进度的主要原因,尤其是钛合金零件切削加工效率低的问题严重地影响了飞机的生产进度。因此,刀具参数优化和高效数控加工已是迫在眉睫的问题。该软件则是为刀具参数优化提供了参数量化设计的重要工具,该软件可以准确的计算出刀具的动态参数,而刀具的动态参数是刀具在切削加工中的实际作用参数。因此,准确计算刀具的动态参数对刀具切削性能的研究以及刀具的参数优化有着极其重要的意义。同

时,也为数控立铣刀的参数优化提供了重要工具,进而也可以简化试验过程、缩短试验周期。

1 刀具几何参数对刀具切削性能的影响^[1-3]

1.1 前角和后角对刀具切削性能的影响

1.1.1 前角和后角的作用

前角有正前角和负前角之分。取正前角的目的是为了减小切屑被切下时的弹塑性变形和切屑流出时与前刀面的摩擦阻力,从而可减小切削力和切削热,使切削轻快,提高刀具寿命,并提高已加工表面质量。所以,刀具应尽可能采用正前角。但前角过大时,楔角过小,会削弱切削刃部的强度并降低散热能力,反而会使刀具寿命降低。试验表明,在一定的切削条件下,用某种刀具材料加工某种工件材料时,总有一个使刀具获得最优寿命的前角值。这个前角就叫做合理前角(或在这一条件下的最佳前角。合理前角可以是正前角,也可以是负前角。

后角的作用主要是:减小后刀面与过渡表面和已加工表面之间的摩擦;影响切削刃楔角的大小,从而可配合前角调整切削刃锋利程度和强度。增大后角时能减小已加工表面弹性恢复层的厚度与后刀面的摩擦面积,从而减小后刀面摩擦。这样可使钝圆半径减小,切削刃锋利,从而减小已加工表面冷硬程度,提高表面质量和刀具寿命。但后角过大时,将使楔角过小,切削刃强度削弱,散热条件变差,反而会降低刀具寿命。所以,在一定条件下,后角也有一个对应于最优刀具寿命的合理数值。

1.1.2 合理前角和后角的选择

由上所述,选择前角和后角时首先应保证切削刃锋利,同时又要兼顾足够的切削刃强度。在保证加工质量的前提下,一般以达到最优的刀具寿命为目的。切削刃强度是否足够,是个相对的概念,它与被加工材料和刀具材料的力学物理性能以及加工条件有着密切的关系。因此,合理前角的选择原则如表1所示。

1.2 螺旋角对刀具切削性能的影响

立铣刀的螺旋角,即是其圆周刃的刃倾角,同时又是端刃的纵向前角。而更重要的是螺旋方向决定了切

屑的流向,有利于切屑沿着螺旋槽方向流出。此外,由于螺旋角越大,刀具切削的连续性就越好,而且还能保证刀具具有尽可能多的切削刃在同时加工,因此,螺旋角的大小也影响了刀具切削的平稳性。

1.3 齿形角对刀具切削性能的影响

刀具齿形角主要是对刀具切削刃强度及其散热性有影响。当刀具的前角一定时,刀具的后角越大,即齿形角越大,则刀具切削刃强度及其散热性就越好,反之,刀具切削刃强度及其散热性就越差。

1.4 齿深对刀具切削性能的影响

刀具的齿深主要是对刀具强度及其容屑性方面的影响。当刀具的齿深越大,则刀具的实心直径就越小,因而刀具结构强度和刚性就越差,反之,刀具结构强度和刚性就越好。此外,刀具的齿深越大,则刀具的螺旋槽空间就越大,刀具的容屑性就越好,反之,刀具的容屑性就越差。

2 刀具的静态几何参数与动态几何参数的数学模型^[4-5]

2.1 测量刀具角度的参考系

为了确定刀具的前刀面、后刀面及切削刃在空间的位置,首先应建立参考系,它是一组用于定义和规定刀具角度的各基准平面。用刀具的前刀面、后刀面及切削刃相对各基准坐标平面的夹角来表示它们在空间的位置,这些夹角就是刀具切削部分的几何参数。

用于确定刀具几何参数的参考系有两大类。一类称刀具静态或静止参考系,是用于定义刀具在设计、制造、刃磨和测量时刀具几何参数的参考系,在刀具静止参考系中定义的角度称刀具角度。另一类称刀具动态或工作参考系,是规定刀具进行切削加工时几何参数的参考系。该参考系考虑了切削运动和实际安装情况对刀具几何参数的影响,在这个参考系中定义和测量的刀具角度称刀具动态角度或工作角度。

2.2 刀具的静态几何参数

2.2.1 刀具静态参考系

对于数控立铣刀来说,定义其圆周刃的坐标系主要由基面和切削平面组成。

(1)基面:基面就是通过切削刃选定点,并平行或垂直于刀具,在制造、刃磨及测量时适合于安装或定位的一个平面或轴线。一般来说,其方位要垂直于假定的主运动方向。对车刀、刨刀而言,就是过切削刃选定点和刀柄安装平面平行的平面。对钻头、铣刀等旋转刀具来说,即是,过切削刃选定点并通过刀具轴线的平面。

(2)切削平面:切削平面就是通过切削刃选定点并平行或垂直于基面的平面。当切削刃为直线时,过切削刃选定点的切削平面,即是包含切削刃并垂直于基面的平面。对应于主切削刃和副切削刃的切削平面分别称为主切削平面和副切削平面。

2.2.2 刀具静态几何参数

在2.2.1节中已经介绍了刀具静态参考系的定义方法。以数控立铣刀为例,其螺旋刃径向圆周前角就是螺旋前刀面与经过刀具轴线和切削测量点的平面的夹角。如果将经过刀具轴线和切削测量点的平面定义为基面,与之垂直且经过切削测量点的平面即为切削平面,则立铣刀螺旋圆周刃的后刀面与切平面的夹角即为螺旋槽立铣刀的圆周后角。

2.3 刀具动态几何参数

2.3.1 刀具动态参考系

如图1所示,由于加工三用量影响了静态切削平面和基面的变化,从而形成了刀具动态参考系,即产生了新的切削平面和基面。因此,新的切削平面和基面使刀具的前角和后角发生了变化,产生了一个变化量。

2.3.2 刀具动态几何参数

上一节中已经阐述了由于刀具动态参考系的形成产生了刀具的动态几何参数。如图1所示,刀具的动态前角和后角(实际作用前角和后角)与刀具静态前角和后角的关系如下:

$$\text{刀具的动态前角(实际作用前角)} = \text{刀具静态前角} + \text{前角变化量, 即 } \gamma_{\text{动}} = \gamma_{\text{静}} + \Delta \gamma, \quad (1)$$

$$\text{刀具的动态后角(实际作用后角)} = \text{刀具静态后角} + \text{后角变化量, 即 } \alpha_{\text{动}} = \alpha_{\text{静}} + \Delta \alpha. \quad (2)$$

式(1)和式(2)中的刀具静态前角和刀具静态后角就是刀具图纸上的前角和后角。

$$\text{前角变化量} = -\text{后角变化量, 即 } \Delta \gamma = -\Delta \alpha. \quad (3)$$

表1 合理前角和后角的选取原则

比较项	被加工材料性能		刀具材料性能				工序特征		被加工结构刚性		工艺系统刚性	
	塑性	脆性	强度		韧性		粗加工	精加工	强	弱	好	差
			高	低	好	差						
前角	较大	较小	较大	较小	较大	较小	较小	较大	较小	较大	较小	较大
后角	较大	较小	较大	较小	较大	较小	较小	较大	较小	较大	较小	较大

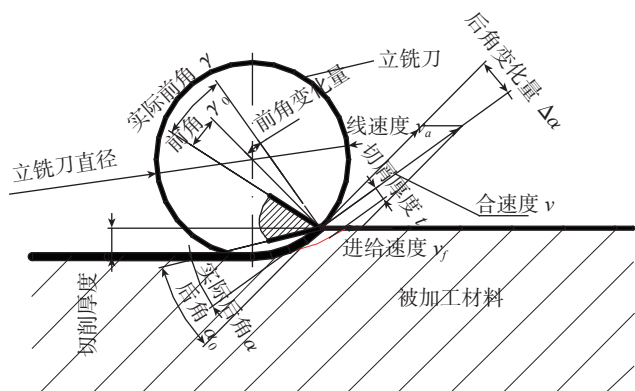


图1 平面加工模拟图

Fig.1 Diagram of plane machining simulation

切削速度与进给速度的合速度 $v_{\Sigma} = \text{SQR}((v_c)^2 + f^2 - 2v_c f \cos(\pi - \theta))$, (4)

其中, v_c 为刀具的线速度, f 为刀具切削的进给速度, θ 为刀具的线速度与进给速度的夹角。

式(4)中的 $\theta = \arccos((d/2 - a)/(d/2))$,

$v_c = 2n\pi d$, $\Delta\gamma = \arccos(((v_c)^2 + (v_{\Sigma})^2 - f^2))$,

其中, d 为刀具直径, a 为切削厚度, n 为刀具的旋转速度。

由式(1)至式(4)合成得到最终的刀具静态前角式(5)和刀具静态后角(6)即,

$$\gamma_{\text{动}} = \gamma_{\text{静}} + \arccos(v_c^2 + v_{\Sigma}^2 - f^2), \quad (5)$$

$$\alpha_{\text{动}} = \alpha_{\text{静}} - \arccos(v_c^2 + v_{\Sigma}^2 - f^2). \quad (6)$$

进给速度是影响刀具的动态前角和后角的主要因素。加工的进给速度越大,则刀具的动态前角 $\gamma_{\text{动}}$ 就越大而动态后角 $\alpha_{\text{动}}$ 就越小。

3 静态几何参数与动态几何参数的自动计算与模拟软件^[6-7]

3.1 软件介绍

该软件具有刀具动态几何参数自动计算和模拟的功能。即只要输入刀具静态几何参数、加工三用量和被加工表面的几何特征等已知参数,则运行该软件就能够计算出刀具的动态几何参数以及切屑厚度。

本着界面友好而实用的原则,我们从界面的布局结构以及颜色等方面进行合理化设计,以达到既能满足该系统的功能需要,同时又能满足操作方便的目的。对于不同的设备其界面的设计也不同。该软件的界面分为二级,即,被加工表面特征选择界面(一级)以及刀具动态几何参数计算模拟处理界面(二级)。

刀具动态几何参数计算模拟处理界面有2个,一个是用于平面加工的;而另一个则是用于曲面加工的。这2个界面是用于选择具体的被加工表面特征,从而可以

导入具体的刀具动态几何参数计算模拟处理界面;刀具动态几何参数计算模拟处理界面有2个,这些界面基本上分输入参数区、输出参数区、模拟显示区、信息显示区以及功能按钮区。

3.2 计算软件设计

刀具动态几何参数的数学模型如2.3.2节中的式(5)和式(6)。单齿切削厚度(亦即切屑厚度)为

$$t \approx f \sin \theta / (nz), \quad (7)$$

其中, z 为刀具齿数, θ 、 f 、 n 如2.3.2节中所述。

而曲面加工和平面加工的计算数学模型是相同的。

根据已建立的数学模型,再应用VB 6.0软件设计出刀具动态参数计算的程序。操作者只要按下“计算和模拟”按钮,则软件将自动根据已输入的参数计算出刀具的动态参数。然后,再将计算出的数据再传送到指定的输出位置。

3.3 模拟程序设计

刀具动态参数模拟的主要功能是用模拟图显示出刀具动态参数与静态参数随加工三用量的变化关系。为了既能体现出刀具动态参数与静态参数随加工三用量的变化关系,又能简化模拟图绘制的工作量,则将模拟图按切削深度与刀具直径的关系以及刀具表面的特征分为有限种典型的特征模拟图,再根据切削深度与刀具直径的关系以及被加工表面的特征,在界面的模拟显示区调用相应的特征模拟图。

特征模拟图则是根据切削深度与刀具直径的关系以及被加工表面的特征,设计系列更形象逼真的模拟图片,图片中不仅有几何图形,而且,还有各主要参数的标注等。

简言之,模拟程序的数学模型主要是根据输入条件调用相应的特征模拟图的逻辑数学关系。

如图1和图2是平面加工和曲面加工两种模拟图的典型示例。

前面已阐述了,模拟程序的数学模型主要是根据输入条件调用相应的模拟图的逻辑数学关系。因此,该软件应用VB 6.0软件设计出输入输出的人机界面,包括功能按钮空间、参数输入输出的文本控件、模拟显示区等控件。操作者只要按下“计算和模拟”按钮,则软件将自动根据已输入调用相应的特征模拟图,最终,实现刀具动态几何参数自动计算和模拟的功能。

4 结论

数控立铣刀动态几何参数自动计算与模拟的核心技术是通过建立数控立铣刀动态几何参数自动计算与模拟的数学模型,从而准确地计算出数控立铣刀动态几

(下转第122页)

有3局部质量、35参数变化这2条发明原理可供参考, 尝试后发现3局部质量对此问题最为有效。例如经测试在叶片和涡轮主体交汇处是叶片应力峰值地带, 可能会出现应力集中现象导致叶片损坏或者断裂。因此, 设计时, 在合理叶形的基础上对交汇处采取局部质量原理, 加强其材料的硬度和强度, 并对应力易集中部位采取表面细加工处理, 提高叶片的疲劳寿命。

通过实例可看出, 在新品设计之初综合考虑产品的主动再制造问题, 有效改善了因材料障碍或设计缺陷等造成的产品再制造难等局面, 为实现产品的生命周期延拓起到了重要作用。

5 结论

延长产品寿命周期, 提高产品再制造质量是再制造工程研究的重要方面。因此, 本文以产品多寿命周期理论为指导, 系统探讨了多寿命周期产品再制造过程的需求要素, 并对各个要素的权重采用基于熵权法和 AHP 相结合的综合权重, 针对技术特性间的冲突提出基于 TRIZ 的冲突解决过程, 最终建立了以 QFD 和 RTIZ 为方法的面向主动再制造的产品需求分析模型。通过对某型航空发动机需求分析的展开为例, 验证了从设计阶段就注重产品的可持续设计, 既延拓了产品生命周期, 又满足了顾客的质量期望, 增强了市场竞争力。

参考文献

[1] 徐滨士, 张伟, 马世宁, 等. 面向 21 世纪的绿色再制造. 中国表面工程, 1999, 12(4): 1-4.

[2] 田欣利. 再制造与先进制造的融合及其相关技术. 北京: 国防工业出版社, 2010: 19-22.

[3] Steinhilper R. Remanufacturing: the Ultimate Form of Recycling. Fraunhofer IRB Verlag, 1998: 12-20.

[4] 张安峰. 绿色再制造工程基础及其应用. 北京: 中国环境科学出版社, 2005: 13-30.

[5] 姚巨坤, 朱胜, 崔培枝. 再制造管理——产品多寿命周期管理的重要环节. 科学技术与工程, 2003, 3(4): 374-378.

[6] 包光平, 王瑛, 顾明星. 某型航空发动机再制造技术应用探讨. 航空维修与工程, 2009(6), 48-50.

[7] 刘涛, 刘光复, 宋许守, 等. 面向主动再制造的产品可持续设计框架. 计算机集成制造系统, 2011, 17(11): 2317-2323.

[8] Akao Y J. Quality function deployment: integrating customer requirements into product design. Cambridge: Massachusetts Productivity Press, 1990: 8-20.

[9] 檀润华. TRIZ 及应用 - 技术创新过程与方法. 北京: 高等教育出版社, 2010: 145-171.

[10] 凌劲如, 邓家提. 支持顾客细分策略的用户需求分析方法研究. 工程设计, 2000(2): 10-13.

[11] 李聪波, 刘飞, 曹华军, 等. 绿色制造模式及其实施方法. 北京: 科学出版社, 2011: 90-101.

[12] 邱冠华. 管理决策熵学及其应用. 北京: 中国电力出版社,

2011: 168-172.

[13] 罗绍伟. 基于熵权法和层次分析法的学科馆员服务质量模糊综合评价. 现代情报, 2009, 29(8): 43-47.

(责编 亿霖)

(上接第 117 页)

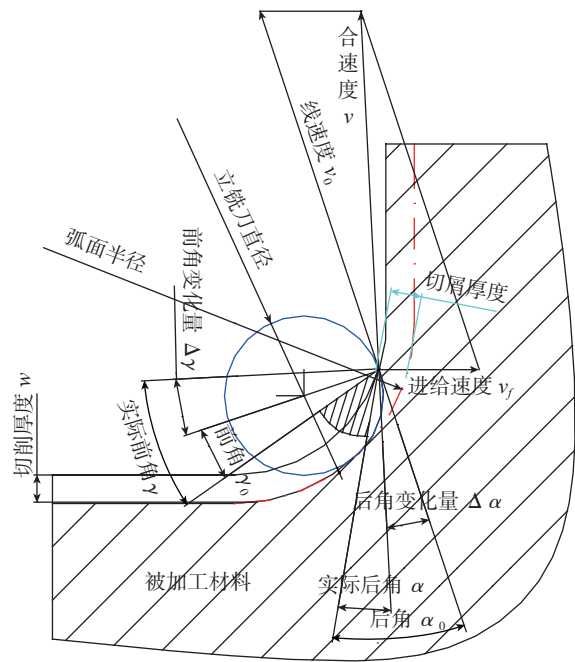


图2 曲面加工模拟图

Fig.2 Diagram of curve machining simulation

何参数, 该软件为数控立铣刀设计及应用提供了重要的参数计算工具。

实践证明, 该软件具有数控立铣刀动态几何参数计算的效率高、速度快以及运行稳定等优点, 已经在飞机制造生产线得以应用与验证。因此, 极大地提高了数控立铣刀图纸设计与切削加工的准确性与效率性。

参考文献

[1] 太原市金属刀具切削协会编. 金属切削实用刀具技术(第二版). 北京: 机械工业出版社, 2002.

[2] 袁哲俊, 刘华明. 刀具设计手册. 北京: 机械工业出版社, 1999.

[3] 李儒荀. 刀具设计原理与计算. 江苏: 江苏科学技术出版社, 1989.

[4] PO II И Н Л Р. 金属切削刀具. 喻怀仁, 陈世忠, 译. 北京: 机械工业出版社, 1986.

[5] 姚南洵, 王焯鸿, 陈志杰. 数学在刀具设计中的应用. 北京: 机械工业出版社, 1987.

[6] 晶辰工作室. Visual Basic 6.0 参考手册. 北京: 电子工业出版社, 1999.

[7] 林永, 张乐强. Visual Basic 6.0 用户编程手册(第二版). 北京: 人民邮电出版社, 2002.

(责编 日午)