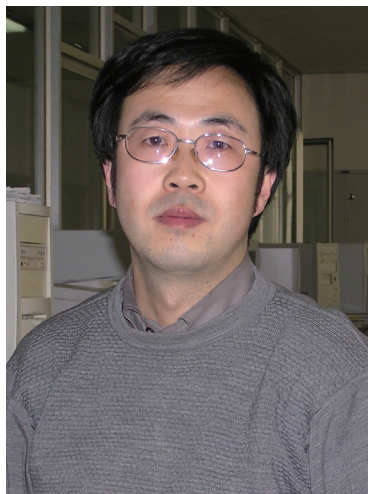


自适应加工技术在数控加工领域的分类与应用

Category and Application of Adaptive Machining Technology in NC Machining Field

中航工业北京航空制造工程研究所 王文理 袁士平



王文理

中航工业北京航空制造工程研究所数字化与柔性装配技术研究室高级工程师,长期从事航空产品数控加工工艺技术研究与集成制造、数字化制造,主持和参与了多项军品型号攻关任务和多项重大课题,数次获奖,发表论文20余篇。

自适应是指对环境的变化有自适应能力,即系统按照环境的变化,调整其自身使得其行为在新的或已经改变的环境下达到最好,或者至少是容许的特性和功能。自适应技术起源于飞机的自动驾驶仪。自适应加工可以分为工艺自适应与几何自适应,工艺自适应又可分为最佳自适应控制系统(Adaptive

Control Optimization, ACO)和约束式自适应控制系统(Adaptive Control Constraint, ACC)两大类^[1]。ACO追求一种最佳的加工过程指标,如加工时间、切除率或表面质量某项指标达到最优。ACC则是要保持某种约束的恒定,如扭矩、切削力或切削功率,以提高加工效率、保持加工过程稳定及保证加工质量。ACC目前在设备上的应用相对较广。几何自适应是随零件的形状或位置变化而进行的加工,也称为适应性加工。

自适应数控加工就是能够依据当前设备负荷的变化、零件的变形、零件余量的不均、不精确的装夹状态等及时做出调整,以适应当前设备或零件的状态,完成特定加工。自适应

加工技术可以应用在余量不均的复杂曲面加工、焊接式整体叶盘的加工、整体叶盘的修复、空心叶片的精加工、工件的不精确装夹及提高加工效率等多方面。

加工技术可以应用在余量不均的复杂曲面加工、焊接式整体叶盘的加工、整体叶盘的修复、空心叶片的精加工、工件的不精确装夹及提高加工效率等多方面。自适应加工是数控加工技术发展到现在阶段的产物,是一种先进的加工理念,是实现数字化车间及无人加工的前瞻性技术。

自适应加工技术的工作原理及应用

自适应加工在数控加工领域通常有3种工作方式。第1种是应用在设备上,是数控系统的重要延伸,通过软硬件实现对加工过程中设备的功率、负载或速度进行实时自动监测与调整,以适应当前的加工状态;

第2种是基于逆向工程,适应零件形状的微小变化,随其变化而加工;第3种是在零件的快速不精确装夹的状况下,通过测量等手段,快速适应零件的不精确装夹状态,实现精确加工。

1 应用于数控设备的自适应控制技术

普通数控加工切削过程中,数控机床按NC程序预先设好的进给率进行匀速加工,而实际的金属切削过程是一个具有高度非线性、时变、随机干扰严重、不确定性强的复杂动态过程,切削余量及刀具的磨损程度都在不断变化,NC程序中制定的进给率不能使加工目标维持最优。切削工况的变化导致设备的功率、扭矩、切削力和振颤等参数也是不断变化的,刀具断裂、刀具磨损监视手段缺乏。这种状况就迫切需要数控设备具有自适应能力。

应用数控机床数据实时采集监控和自动调节切削参数的自适应控制技术,可以实时采集监控设备参数,进给速率可以随着实际切削条件的不同实时变化,在内置的专家系统与自适应控制技术的结合作用下,根据当前的主轴负载等参数,将进给速率调节到最优化的数值,从而提高加工效率,并且具有下列保护功能:铣刀断裂保护,刀具磨损监控,主轴过载保护。国外较早前就开展了自适应设备的研制工作,也研发了各类自适应加工设备,应用在测刀具磨损、车床、钻床、电加工、磨床、加工中心等设备,约束目标较单一,如能保持扭矩恒定的钻床等,目前应用尚不普遍。以色列的OMATIVE优铣控制器OMAT-PRO是自适应加工技术的主要代表,它对主轴功率进行约束,通过学习和再学习掌握主轴功率的最佳状态,然后在加工过程中,实时监测主轴功率的变化,及时调整进给率^[2]。与之配套的数控机床网络化生产管理软件OMAT-PRO,能够实现单台、多台数控机床的综合生产

管理,能够在屏幕上实时生成负载和进给率的变化曲线,监控记录生产过程中的数据。德国ARTIS刀具监控系统是对机床加工过程中刀具磨损或断刀、主轴碰撞、加工过载、刀具不平衡等机床状态进行实时监控的一套系统,并能通过监控主轴扭矩的变化来调节进给速度,实现自适应控制。OMAT和ARTIS在国外应用较多,在我所研制的大型数控机床上也得到了应用。

军工产品中有很多结构件毛坯是模锻件,余量分布极不均匀,粗加工过程波动巨大。对于大型复杂曲面零件的加工,由于毛坯采用铸造方式,余量很不均匀、波动较大,传统的切削参数是根据最大余量来决定的,一般在整个加工过程中不变,则切削参数通常偏低以保护刀具和机床,这样效率就很低下,难以发挥大型数控设备高效的特点。保持恒定功率或载荷的自适应加工方式将能够很好地应付此局面。OMAT-PRO可记录主轴功率和进给率的变化曲线,使进给率随负载变化进行调整,在负载急剧上升时,进给率下降,反之则上升,最终结果相当于得到一个最优的平均进给倍率,不但能够保护设备、刀具,还能明显提高效率。若能将恒负荷保持在最大许用值水平,将可以极大提高效率。通过我们的切削试验,安装OMAT优铣控制器的机床其加工效率能提高10%~30%,尤其适合粗加工阶段。

数控加工过程中,切削力等复杂的物理因素影响加工质量、效率和安全,而现在普遍的数控技术还只限于几何运动控制,对这些复杂的物理因素还未涉及。自适应加工技术可对这些技术进行控制,但目前存在一些未解决的问题,主要有切削载荷的在线精确测量、加工过程的控制策略及自适应加工技术的实现方法。需要深入研究电机驱动电流和切削力与切削扭矩的关系、控制的稳定性、智

能控制系统。自适应控制设备总体上还处于研发和部分推广阶段,成本较高,在线检测和实时反应速度方面还有待提高,约束的环境因素还不够全面,局限性较大。

实现对机床加工过程的实时监控,对自动化无人加工、提高机床加工效率、改善产品质量有一定的保障作用,也有助于机床的维护保养和故障诊断。应用数控设备的实时自动监测与调整的自适应加工技术将是未来高档数控机床的必然发展趋势,也将是未来网络化制造、数字化车间与无人工厂的必备技术。

2 基于逆向工程的建模与编程的适应性加工技术

某些整体叶盘采用焊接工艺将盘体与叶片焊接成一体,然后将焊接部位加工到位。由于叶片的加工和焊接工艺造成叶片的形状及位置的误差较大,无法按理论数模进行加工。焊后的清根加工应根据焊接后叶片的位置及形状采用自适应加工技术,将理论数模通过技术手段进行移动或变形,从而与零件的实际情况相吻合,得到新的工艺数模,然后在此数模上进行编程加工。整体叶盘或叶片的修复也是类似的工作原理,由于整体叶盘工作在高温高压的环境下,工作一段时间后叶片必然有所变形。由于叶盘十分昂贵且加工周期很长,所以叶盘的修复技术就显得十分必要。整体叶盘的损失通常是其上的叶片局部受损,叶片的局部损伤与修复必须适应叶片的实际形状,才能保证修复部位与原叶片光滑过渡接平,而不能单纯按理论数模进行修复。所以叶盘修复类工作也提出了自适应加工技术的需求,其基本工作原理是基于逆向工程,大致分为如下几个步骤:

- (1) 叶片检测,检测其变形情况;
- (2) 利用逆向工程造型软件的功能,将设计数模进行变形,以适应现在变形的叶片,得到新的工艺数

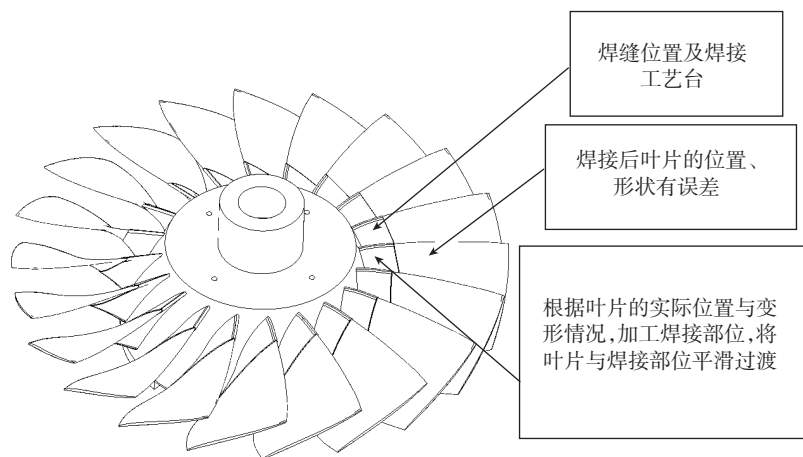


图1 焊接式整体叶盘根部的适应性加工

模,用于数控加工的编程;

(3)对于叶盘修复工作,将叶片损失部位堆焊后,按上述工艺数模编程,沿叶片本身的形状与位置将多余焊瘤进行切除。

对于焊接式整体叶盘的清根工作,按上述工艺数模编程进行清根加工(图1)。

图2中叶片有局部损伤,经过高温高压的工作后叶片也有些变形,将受伤部位堆焊后,若直接用设计数模编程加工堆焊部位将很难与周边曲面光滑接平。这时需要采用自适应工作方式,在叶片上测量一组特征点

位,输入到设计数模,与设计数模对比分析,采用逆向工程软件的变形功能,将设计数模变形使之符合测量特征点,然后在此数模上编程加工堆焊部位,将能够与周边曲面光滑接平。

目前,DELCAM的Adaptive Machining可以实现在线检测、建模、编程与加工。基于上述原理,采用通用的测量、建模、编程手段也可实现此类适应性加工,即通过测量机测量或在线检测,得到变形数据,将数据输入CAD系统,与设计模型进行分析比对,然后采用CAD的编辑功能,得到新的工艺数模,在此工艺数模上

编程加工即可。Starrag公司的PSI+软件和RCS叶片加工专用软件也具有此功能。

3 零件不精确定位装夹状况下的适应性加工技术

若没有专用的工装夹具,要实现零件的精确调整、装夹定位通常要花几个小时,并且由于每个人的操作习惯不同,同批次的零件质量也不易保证。尤其是体积巨大、重达数吨的工件,位置的微调也极为困难,或者是柔性很大的蒙皮类零件,基本上没有基准,要实现传统意义上的精确的找正与装夹几乎不可能。因此,若能够适应零件的不精确装夹,完成精确加工,此种工作方式也是一种自适应加工。如图3所示的零件重量超过10t,并且其长度超出了工作台,零件放上工作台后无法移动,且位置是随机的。由于零件超出机床的行程范围,利用机床本身已经无法测量其位置,所以首先用激光跟踪仪建立机床的加工坐标系,在机床坐标系下测量工件上的几个特征点,输入到设计数模中,然后将设计数模进行位置的移动与偏转,与测量的特征点拟合,然后在工作坐标系下建立编程坐标系,所有的加工程序要在新的加工坐标

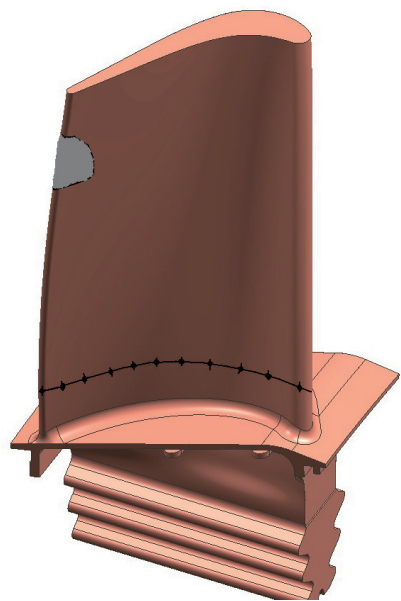


图2 叶片修复的适应性加工



图3 重量超过10t的类型工件

系中重新生成才能使用。零件一端加工完成后,重新掉转零件,将另一端安放在机床工作台上,按上述方法重新编制加工程序。

此类适应性加工通常是通过如下步骤完成的:零件在机床工作台上大致定位安装后,首先利用机床的在线检测功能,用事先编好的程序对工件的某些特征进行现场位置检测,从工件上采集一系列点,这些点可以被一系列最佳配合过程用于确定工件的精确位置,然后利用专用软件或数控系统的某些功能,计算出工件的实际位置与机床坐标系的关系,然后重新偏转数控程序或偏置加工坐标系,再调用数控程序进行加工。

DELICAM 的 POWER INSPECT 功能是快速装夹的代表。它利用事先编好的程序对工件进行现场位置检测,然后利用 NC PARTLOCATOR 能快速重新偏转数控程序,用于加工。西门子等数控系统也具有加工坐标系偏转的各种指令,通过偏转加工坐标系而不是偏置零件的方式,使数控程序的编程坐标系与工件实际位置对应,也能实现零件不精确定位状态下的精确加工。

快速不精确装夹的适应性加工技术在工作实践中是十分有用的技术,它取消了传统加工中的使工件基准与机床的坐标系重合的找正环节,在某些特殊的情况下能节省复杂的工装,缩短加工周期,并且也是未来实现数字化装夹、快速装夹、智能装夹的必备技术。

自适应加工技术的应用展望

自适应控制技术的发展已有 40 多年的历史,在理论和实践上都得到了很大发展,特别是随着逆向工程软硬件技术、传感器技术及超大规模集成电路的发展,为自适应技术创造了有利的条件,自适应控制技术不但在飞机导弹飞行控制等方面得到广泛应用,而且在数控加工领域得到发展,取得了一定的效果,解决零件按事先确定的程序加工与加工过程中工况变化不适应的矛盾。数控设备具备自适应加工能力将极大提高数控设备的加工效率,并且能够对数控设备起到极好的保护作用。基于逆向工程原理的自适应加工技术及不精确定位装夹加工技术,在整体叶盘修复、大型工件等某些特定领域发挥了巨大的作用。可以预见的是,在未来的自动化加工、无人工厂及某些特殊加工等领域,自适应数控加工技术将有巨大的发展空间。

参考文献

[1] 陈虎,韩至骏. 机床自适应控制的新进展,中国机械工程,1998,9(5),14-16,86.

[2] OMATIV E 公司. 优铣控制器使用手册,2011.(责编 深蓝)

FISCHER **precise** **Fortuna**
Führend im Präzisionsspindelbau Leading in High Precision Spindles
speed your success

**2013年CIMT-2013
展位号: W3-197**

**FISCHER PRECISE 集团
精密高速主轴的专家**

永远领先一步

活跃在世界范围的 FISCHER PRECISE 集团为航空航天, 模具制造, 精密微量切削, 印刷电路板, 医学和汽车工业领域提供研发, 生产和销售等方面的专业化及客户化的系统方案。

系列主轴特性如下:

- 同步电机, 异步电机驱动主轴;
- 陶瓷球轴承, 静压轴承, 空气轴承;
- 主轴功率范围 0.3 kW 至 100 kW;
- 主轴转速至 200 000 rpm;
- 多种夹刀方式如 HSK, 刀柄直接夹持, 筒夹, 磨杆等。

飞速主轴技术(上海)有限公司
上海市闵行区双柏路 888 号 5 栋
邮编: 201108
T: 021 6434 8150
F: 021 6434 8155
fpsh@fischerprecise.cn

www.fischerprecise.com

专业的主轴维护与维修中心
展开全方位的
对外服务

广告索引号 13-072