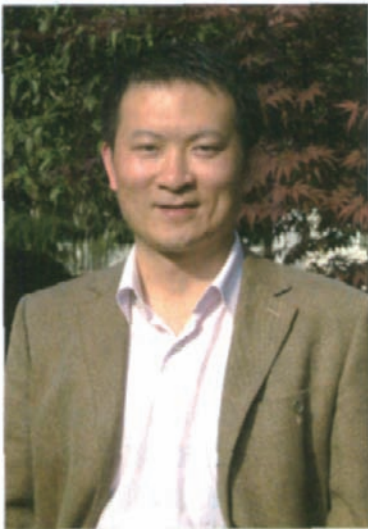


现代数控机床的智能化 发展及应用

Intelligentized Development of Modern CNC Machine Tool and Its Application

西北工业大学现代设计与集成制造技术教育部重点实验室 吴宝海 张莹 罗明 李山



吴宝海

西北工业大学机电学院副教授,主要从事航空复杂零件的多轴数控加工、智能加工等理论与技术研究,在国内外学术期刊发表论文十余篇,申请国家发明专利 2 项,获国家软件著作权登记 2 项。主持或参与多项国防基础科研、教育部博士点基金以及企业横向等项目,研究成果成功应用于相关企业的型号产品。

装备制造业是国民经济的脊梁,而数控机床是现代装备制造业的工作母机,是实现制造技术和装备现代化的基石,更是保证高技术产业发展和国防军工现代化的战略装备。国务院 2006 年发布的《关于加快振兴装备制造业的若干意见》对振兴我

在智能机床的研制与发展过程中,加工过程的智能监控以及远距离通信一直是人们关注的重点,主要涉及振动、温度、刀具等方面的监控与相应的补偿方法。

国装备制造业的 16 个关键领域作出重要部署,而每个领域的振兴都需要大批高速、精密、高效和专用的数控机床来实现,如发展大型火力发电和核电机组、制造大型化工设备、开发大型海洋运输船舶等。同时,数控机床作为国防军工的战略装备,也是实现国防军工现代化的重要保证。因此,国际上一些发达国家一直把高性能数控机床作为战略物资而严加控制,限制我国进口高性能数控机床。

数控机床自 1952 年问世至今已经有 50 多年的历史。总体来说,目前的数控机床正朝着高速化、高精度、复合化和智能化的方向发展,其目标是实现制造过程的完全自动化,从而提高加工精度和效率,降低制造成本。实现制造过程的完全自动化,不仅需要解决机床、工艺、刀具等问题,还涉及决策、过程控制、信息等要素。因此,在数控机床代替人类手工劳动之后,人们更加关注如何利用数

控机床取代或者延伸人类的脑力劳动。在这种背景下,智能加工技术以及智能化机床技术应运而生。

智能机床的特征

美国是智能加工技术及智能机床的倡导者和发起者。早在上世纪 80 年代美国就提出研究发展“自适应控制”机床,但由于许多自动化环节(如自动检测、自动调节、自动监控与补偿等)没有解决,进展较慢。随后,美国国家标准技术研究所制造工程实验室开展了智能机床、加工过程预测和智能化开放结构控制 3 项计划的研究。该项目的参与者包括美国制造技术协会(AMT)、国家国防制造与加工中心(NCDMM)、国家制造科学中心(NCMS)、国家先进制造联合会(NACFAM)、国家工具与加工联合会(NTMA)、制造工程师协会(SME)、GE 以及 TechSolve 公司等政府部门、研究机构和机床厂商,并

于2004年3月推出了智能加工平台计划(SMPI)的技术路线图,智能机床以及后来发展的智能加工系统(SMS)一直沿着SMPI规划的方向发展。

目前对智能机床尚没有规范、确切的定义。SMPI认为,智能机床至少应具备以下特征:

- (1) 知晓自身的加工能力/条件,并且能与操作人员交流、共享这些信息;
- (2) 能够自动监测和优化自身的运行状况;
- (3) 可以评定产品/输出的质量;
- (4) 具备自学习与提高的能力;
- (5) 符合通用的标准,机器之间能够无障碍地进行交流。

与普通数控机床或加工中心的主要区别在于,智能机床除了具有数控加工功能外,还具有感知、推理、决策、学习等智能功能。为了实现上述功能,需要对材料去除过程和工艺系统性能进行客观、科学的理解和表述。就机床本身来说,主要集中于机床性能描述及表征、加工过程优化与控制以及机床运行状态监测3个方面,其核心问题在于开发系统动力学以及全局优化的工具和方法。

智能机床关键技术

智能机床的出现为未来装备制造实现全盘生产自动化创造了条件。各国机床制造厂家竞相开展该领域的研究,并在实用化方面取得了长足的进步。目前,国际上智能机床发展的典型代表主要有瑞士阿奇夏米尔集团生产的配置智能加工系统的Mikron HSM系列高速铣削加工中心、日本山崎马扎克的e系列智能机床、日本大隈的thinc智能数字控制系统等。在智能机床的研制与发展过程中,加工过程的智能监控以及远距离通信一直是人们关注的重点,主要涉及振动、温度、刀具等方面的监控与相应的补偿方法。

1 振动的自动抑制技术

加工过程中的振动现象不仅会恶化零件的加工表面质量,还会降低机床、刀具的使用寿命,严重时甚至会造成切削加工无法进行。因此,切削振动是影响机械产品加工质量和机床切削效率的关键技术问题之一,同时也是自动化生产的严重障碍。在机床振动抑制方面,除了需在机床结构设计上不断改进外,对振动的监控也备受关注。

目前,一般是通过在电主轴壳体安装加速度传感器来实现对振动的监控。Mikron HSM系列高速铣削加工中心将铣削过程中监控到的振动以加速度 g 的形式显示,振动大小在 $0 \sim 10g$ 范围内分为10级。其中, $0 \sim 3g$ 表示加工过程、刀具和夹具都处于良好状态; $3 \sim 7g$ 表示加工过程需要调整,否则将导致主轴和刀具寿命的降低; $7 \sim 10g$ 表示危险状态,如果继续工作,将造成主轴、机床、刀具及工件的损坏。在此基础上,数控系统还可预测在不同振动级别主轴部件的寿命。日本山崎马扎克也推出了一种“智能主轴”,在振动加剧或异常现象发生时可起到预防保护作用。

震撼推出P1800系列



新款P1800系列刀具预调仪秉承了其经典机型P1500系列的所有优点,将更好的人体工程学设计和卓越的内在品质完美结合,创造了极佳的刀具测量和检测解决方案,在任何条件下都可轻松完成刀具各种参数的测量,实现微米级的测量精度!外观更加简约,实用。操作更加简便,快捷!

**两年
质保**

帕莱克是全球刀具系统和刀具预调仪解决方案的领航者,一直致力于为客户提供全方位的加工解决方案,以其先进的技术,高质量的产品,本土化的服务,帮助您在生产经营中降低成本,创造更高效益!

帕莱克机械(南京)有限公司

全国办事处:上海,广州,天津,成都,武汉
电话:025-66612228 传真:025-66612278

Email: sales@parlec.com.cn

www.parlec.com.cn



用,确保安全。一旦监测到的主轴振动增大,机床会自动降低转速,改变加工条件;反之,如果在振动方面还有余地,就会加大转速,提高加工效率。

2 切削温度的监控及补偿

在加工过程中,电动机的旋转、移动部件的移动和切削等都会产生热量,且温度分布不均匀,造成数控机床产生热变形,影响零件加工精度。高速加工中主轴转速和进给速度的提高会导致机床结构和测量系统的热变形以及装置控制的跟踪误差随速度的增加而增大,因此用于高



Mikron HSM500 机床

速加工的数控系统不仅应具备高速的数据处理能力,还应具备热误差补偿功能,以减少高速主轴、立柱和床身热变形的影响,提高机床加工精度。为实现对切削温度的监控,通常在数控机床高速主轴上安装温度传感器,监控温度信号并将其转换成电信号输送给数控系统,进行相应的温度补偿。温度传感器是一种将温度高低转变成电阻值大小或其它电信号的一种装置,常见的有以铂、铜为主的热电阻传感器、以半导体材料为主的热敏电阻传感器和热电偶传感器等。

早在上世纪 80 年代,人们已经开始研究对数控机床热变形误差的自动补偿技术,其做法是:机床出厂前,在温度可控的试验室里,做空运转和试切削试验,找出室温和运转条件变化与主轴轴向位移变化的关系,列出对应的关系表或曲线。机床实际运行过程中,根据机床典型部位安装的温度传感器数值,按表或曲线上的对应值进行补偿。这种补偿虽然是自动的,但实际切削过程中工况条件与切削实验并不一致,温度变化导致的主轴轴向位移量与实验室条件下也存在较大差异,因此这种温度补

偿方法存在较大误差。随着测试手段和控制理论不断发展,各机床公司纷纷利用先进的手段和方法对温度变化进行监控和补偿。瑞士米克朗通过长期研究,针对切削热对加工造成的影响,开发了 ITC 智能热补偿系统。该系统采用温度传感器实现对主轴切削端温度变化的实时监控,并将这些温度变化反应至数控系统,数控系统中内置了热补偿经验值的智能热控制模块,可根据温度变化

自动调整刀尖位置,避免了 Z 方向的严重漂移。采用了 ITC 智能热补偿系统的机床大大提高了加工精度,而且还缩短了机床预热时间并消除了人工干预,所以也同时提高了零件的加工效率。

3 智能刀具监控技术

刀具失效是引起加工过程中断的首要因素。从 20 世纪 50 年代开始,人们就已经开始对金属切削过程尤其是刀具的破损进行研究和监控。实践表明,切削中实施刀具的有效监控可以减少机床故障停机 70%,提高生产率 10% ~ 60%,提高机床利用

率 50% 以上。

实现刀具磨损和破损的自动监控是完善机床智能化发展不可缺少的部分。现代数控加工技术的特点是生产率高、稳定性好、灵活性强,依靠人工监视刀具的磨损已远远不能满足智能化程度日益提高的要求。进入本世纪以来,高速处理器、数字化控制、前馈控制和现场总线技术被广泛采用,由于信息处理功能的提高和传感器技术的发展,刀具加工过程中实时监控所需的数据采集与处理已经成为可能。

从刀具技术自身的发展来看,适应特殊应用目的和满足规范要求的智能化刀具材料、自动稳定性刀具和智能化切削刃交换系统也是刀具技术的重要发展方向之一。但是,在刀具上安装传感器、电子元件和调节装置必然会占据一定的空间,从而增加刀具的尺寸或减少它们的壁厚截面,这对刀具本身的工艺特性有着许多不利的影响。因此,更为普遍的一种观点认为,刀具作用的充分发挥应更多地依赖于智能化机床,其关键在于刀具使用过程中的信息能够与机床控制系统进行相互交流。为了达到这个目的,近年来各数控系统制造商(如 SIEMENS、FANUC 等)推出的系统都具有较好的刀具监控功能。如在西门子 SINUMERIK810 / 840D 系统内就可以集成以色列 OMAT 公司的 ACM 自适应监控系统,能够实时采样机床主轴负载变化,记录主轴切削负载、进给率变化、刀具磨损量等加工参数,并输出数据、图形至 Windows 用户图形界面。

在刀具监控手段和方法方面,主要有切削力监控、声发射监控、振动监控及电机功率监控等测试手段,涉及的技术主要包括智能传感器技术、模式识别、模糊技术、专家系统及人工神经网络等。模糊模式识别在模式识别技术中是比较新颖的方法,可以根据刀具状态信号来识别刀具

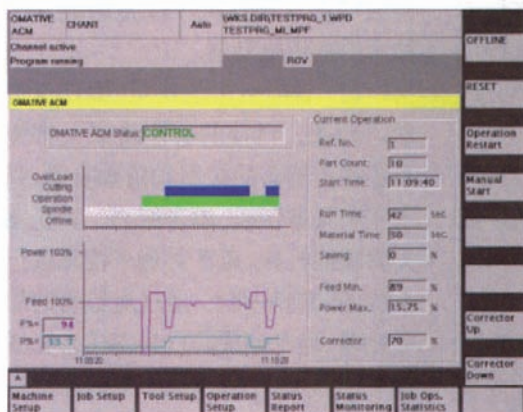
CIMES北京:W4 B-119
DMP东莞:D131**PARLEC**
Measurably Better

Your total machining solution!

的磨损情况,利用模糊关系矩阵来描述刀具状态与信号特征之间的关系,国内外都已进行了这些方面的研究,且都取得了一定成功。

4 智能操作与远距通信技术

机床的故障及误操作时常会导致工件的报废和机床的损坏,从而给用户造成不必要的经济损失。同时,现场操作参数的设定也对零件的加工结果和加工效率有着重要的影响。为此,瑞士米克朗研制了操作人员支持系统(OSS),操作人员能够根据工件的结构和加工要求,通过简单的参数设置实现加工过程的优化。比如,在三维轮廓零件的加工中,人们通常关注3个方面的因素:速度、精度和表面

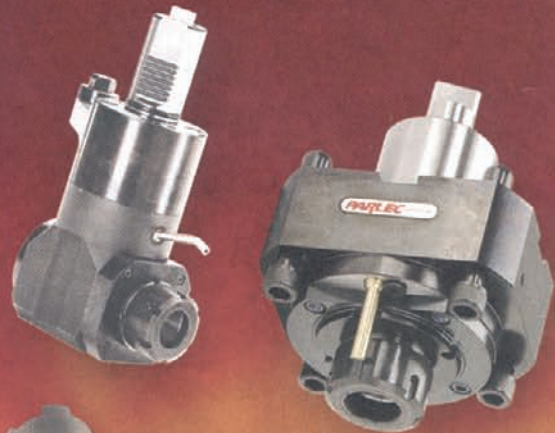


集成 ACM 自适应监控系统的西门子 840D

质量。在进行粗加工时,优先保证加工速度;在高精度零件的精加工中,则应优先保证加工精度;而在一些模具的制造中,最终的表面质量可能是人们最为关注的。

利用智能操作支持系统,操作者可以根据实际加工对象的不同来优化机床性能参数的设置。该功能的实现是通过在由速度、精度和表面质量构成的三角形范围内选定任一点作为这三项指标的综合优化目标,同时将零件的复杂程度、重量以及精度设定值输入系统,系统就会自动根据操作者的设定实现机床性能参数的自动优化。碰撞问题是机床运行过程中导致突发事件产生的主要原因。为提高机床工作的安全性和可靠性,奥地利WFL推出了Crash Guard防撞卫士系统。其实现是利用目前CNC系统的高速处理能力,实时监控机床的运动,以确保在机床手动、自动等各种运动模式下均正常工作。该系统的应用大大降低了运行过程机床突发事件的产生。

市场竞争的不断加剧要求机床在周末等非工作时间仍然需要保持运行。机床自动化程度的不断提高和信息技术的发展使机床与操作人员之间通讯关系的建立成为可能,在人机分离的情况下操作人员仍然可以实现对机床的控制和加工信息的掌握。在远程通信方面,目前有代表性的应用主要有米克朗的远距离通知系统和Mazak的信息塔技术。米克朗的远距离通知系统可以实现空间上完全分离的操作者与机床能够保持实时联系,机床可以以短消息的形式将加工状态发送到相关人员的手机上,缺少刀具时也可以通知工具室和供应商,发生故障时则通知维修部门等。日本Mazak公司生产的e410H型车铣复合加工机床,配备了计算机、手机、数码相机,能够实现语音、图形、视像和文本的通信功能,它不仅能与MES、SCM和CRM联网,及时反映工作地



帕莱克动力刀座

——世界知名机床厂商的OEM供应商!

日本MAZAK (马扎克) SQT, MP系列
美国HAAS (哈斯) SL 20, SL 30, SL 40系列
日本MORI SEIKI (森精机) CS, NL系列
韩国DAEWOO (大宇) PUMA系列
日本CITIZEN (西铁城) M, L, C, K系列

★ North America

★ Asia

★ Europe

- NSK 高精度轴承: 对称的双轴承设计, 安装更加贴近齿轮, 刚性更佳!
- 高速密封: 独有的专利技术, 可实现密封圈更换, 大大提高了刀座的使用寿命。
- 美国格里森高精度螺旋伞齿轮: 高精度, 低噪音, 超长寿命!

新年送福, 贴心服务

为了让更多客户享受帕莱克提供的优质服务, 值此动力刀座维修中心新装开幕之际, 特别推出MAZAK (马扎克) SQT, MP系列动力刀座免费维修服务活动, 期待您的参与!

帕莱克是全球刀具系统和刀具预调仪解决方案的领航者, 一直致力于为客户提供全方位的加工解决方案, 以其先进的技术, 高质量的产品, 本土化的服务, 帮助您在生产经营中降低成本, 创造更高效益!

帕莱克机械(南京)有限公司

全国办事处: 上海, 广州, 天津, 成都, 武汉
电话: 025-66612228 传真: 025-66612278

Email: sales@parlec.com.cn

www.parlec.com.cn



的状态、加工进度、物料和刀具需求,还可以通过手机查询定单完成情况,发生故障时及时报警。

智能机床的发展与应用

智能机床通过对振动、温度、刀具磨损的自动监控与补偿,可以提高机床的加工精度、效率和加工的稳定性、安全性。同时,随着机床智能化程度的不断提高,可以大大减少人在管理机床方面的工作量,使人们能够把更多的精力和时间用来解决机床以外的复杂问题。值得一提的是,机床智能化的发展与应用离不开数控系统的开发创新,目前开放式的数控系统不仅能够存储大量信息,还能够对各种信息进行分析、处理、优化和控制,同时还支持对话型编程、刀具路径检验、工序加工时间分析、开工时间状况解析等功能。目前,国内外



日本山崎马扎克 e 系列智能机床

学者和机床厂家对智能机床进行了大量的基础研究与产品开发,具有代表性的产品主要有日本的 Mazak、Okuma 和瑞士的 Mikron 机床。其典型产品及特点如下:

(1) Mazak 的 e 系列智能机床。

Mazak 认为,智能机床应能够对自己进行监控,可自行分析众多与机床、加工状态、环境有关的信息及其他因素,能够自行采取应对措施来保证最优化的加工。当前 Mazak 的智能机床能实现以下四大智能:主动振动控制功能,可将机床加工过程

中的振动减至最小;智能热屏障技术,实现加工中机床的热位移控制;智能安全屏障,用于防止机床与刀具之间的碰撞;语音提示功能,便于用户操作和使用。

(2) Okuma 的 thinc 智能化数控系统。

Okuma 的智能化数控系统 thinc 不仅可以在不受人干预的情况下,对变化了的情况作出决策,还可使机床到了用户厂后,以增量的方式使其功能在应用中不断自行增长,并会更加适应新的情况和需求,易于编程和使用。thinc 是基于 PC 的平台,并且采用国际标准硬件、Windows2000 专业操作系统。随着计算机技术的不断发展,用户可以自行对其进行升级换代。

(3) Mikron 的智能机床模块。

目前, Mikron 智能机床共推出了四个功能模块:高级工艺控制系统(APS)、智能热控制系统(ITC)、智能操作者支持系统(OSS)和无线通知系统(RNS)。这些模块的功能前面已有叙述,其目标是将切削加工过程变得更透明、控制更为方便。

结束语

智能机床的出现,为未来装备制造制造业实现全盘生产自动化创造了条件。目前智能机床的相关技术已有商品化的产品出现,如在 STEP NC、智能传感器等方面。但同时也存在大量尚未解决的技术难点,尤其是在机床的决策、推理、控制等智能化技术的发展方面。为了充分推动智能机床以及智能加工技术的进一步发展,更加需要加强以下几个方面

(1) 智能机床技术的基础研究工作。智能机床的研究与应用离不开基础性的研究工作,如多轴机床动态能力的获取、机床行为与工艺参数之间的关系、不同环境与任务下切削参数的智能选取等问题。值得一提的是,应加强工艺知识的积累工作,针对不同零件、不同材料和不同的加工工艺,建立相应的工艺数据库,丰富和完善智能加工的专家系统,才能有效地推动智能机床以及智能加工技术的实用化发展。

(2) 智能机床的决策、推理与自学习功能。目前的智能机床大都处于各种传感器的应用和感知阶段,尚不完全具备学习、思考能力。真正意义的智能机床,应在对加工信息进行系统感知的基础上,通过对信息的综合处理,确定自身的行为方式来完成加工任务,并在该过程中学习和积累相关知识,进一步改进和优化决策及控制策略。

(3) 加工-测量-控制一体化技术。该技术是实现复杂、薄壁零件加工过程及加工结果质量控制的关键技术。其技术内涵是通过加工过程中过程模型的智能检测和数据统计分析,自动实现加工程序的修正,并根据零件的变形情况自动优化下一步工序的余量分布。涉及的关键技术包括工件的原位测量技术、自适应工艺模型建模技术、加工变形补偿技术和余量优化分布技术等。

(4) 智能机床的标准化技术。智能机床功能的实现需要其内部各个部件间进行大量的信息交换和共享,目前这些信息尚没有统一的标准和规范,使信息难以实现有效的集成。另外,不同的机床制造商及功能部件制造厂家由于关注的重点不同,其产品及智能化程度也存在很大差异。为实现智能机床的通用性和信息的无缝集成,智能机床的标准化工作应成为当前研究的重点之一。

(责编 金卯)