

# 数控加工在线测量技术 应用探讨\*

Application of On-Line Measurement Technology in NC Machining Process

成都飞机工业(集团)有限责任公司数控加工厂 隋少春 楚王伟 李卫东



隋少春

毕业于清华大学机械工程系。2009年8月至今任职于中航工业成都飞机工业(集团)有限责任公司数控加工厂,主要从事数控加工工艺技术、在线测量等研究工作。

数控加工中,零件测量贯穿整个过程,为检验零件质量、优化加工工艺以及后续生产过程提供依据,具有重要意义。随着数控加工技术的不断发展,测量技术也得到了非常迅猛的发展。在一些制造环节中,具有高测量精度的测量机已经逐渐替代了传统的量具测量,无论是在测量精度

在线测量技术是指通过在线测量系统实现零件加工后保持位置不变、直接对零件进行测量的技术。在线测量系统一般是在数控机床基础上开发集成测量系统实现的。

还是在测量效率方面都得到了极大的提高<sup>[1]</sup>。通过测量机对零件进行测量是一种典型的离线测量形式。近年来,随着测量技术的发展,在线测量成为可能,在线测量技术也得到了一定的发展。

在线测量技术是指通过在线测量系统实现零件加工后保持位置不变、直接对零件进行测量的技术。在线测量系统一般是在数控机床基础上开发集成测量系统实现的。在线测量是相对于离线测量而言的,离线测量是指零件加工后搬运到指定地点通过固定的测量设备对所加工零件进行测量。由于加工与测量不是同步进行的,离线测量往往要对零件进行搬运、重复装夹等操作。相比较

而言,在线测量适用情况更广、生产效率更高(如表1所示),是实际生产中测量技术的发展趋势之一。

根据测量方式的不同,在线测量可分为接触式在线测量和非接触式在线测量2种。随着数控机床测头技术的发展,数控加工的接触式在线测量技术的硬件系统发展已经相对较成熟。但是,由于各方面因素的制约,国内很多企业对于在线测量技术缺乏认识,在线测量技术还有很大的发展空间。特别是对于航空结构件的生产而言,复杂的结构、高精度的加工要求、不稳定的加工工艺、难度大的加工特性以及昂贵的成本都需要对零件进行全生产周期的监控,并且需要更先进的测量手段来实现对难

表1 在线测量与离线测量的对比

类型	适用情况	优点	缺点
离线测量	适用于测量加工状态稳定的零件	测量环境可控,测量误差小	零件搬运、装夹麻烦,效率低
在线测量	适用于大多数零件	操作方便,能够测量加工状态不稳定的零件	机床的加工使用率降低,测量环境复杂,影响测量误差因素较多

\* 国家 863 项目(2008AA042403)资助。

测量零件的测量,在线测量技术就成了保证零件质量、提高生产效率的一个重要手段<sup>[2]</sup>。

### 在线测量的系统组成

充分利用数控机床的控制系统及加工平台是实现在线测量技术的基础。近年来,中航工业成都飞机工业(集团)有限责任公司数控加工厂联合清华大学、南京航空航天大学及西北工业大学开发了接触式在线测量系统,并且进行了工程化应用的探索,在实际生产中发挥了重要作用。本文正是基于此系统对在线测量技术进行分析讨论的。

数控加工系统宏观上由硬件系统和软件系统组成,通过控制系统实现硬件系统与软件系统的连接。其中,典型的硬件系统是数控机床的机械系统和一些相关的附属系统;软件系统是发展相对成熟的数控编程软件模块和一些相关后置处理软件。

与数控加工系统相比,在线测量系统的软硬件系统主要依托数控加工系统,所以在线测量系统与数控加工系统有很多相似之处。如图1所示,本文涉及的接触式在线测量系统是基于数控编程软件进行再开发、利用数控机床的控制系统和测量系统实现的,其软硬件系统通过控制系统和测量系统连接。类似于数控加工系统,其硬件系统的主体是数控机床的机械系统和测头;软件系统是通过再开发,实现类似于数控编程的在线测量程编,得到机床能够识别进行测量的NC代码。

### 在线测量技术的应用流程

在线测量技术的实际应用对数控加工流程产生了一定的影响,这主要体现在测量与加工的即时反馈上。随着数控加工技术的不断发展,数控加工-离线测量的制造流程已经发展得相对成熟,这也是一种实际应用广泛的制造流程。图2所示为一种

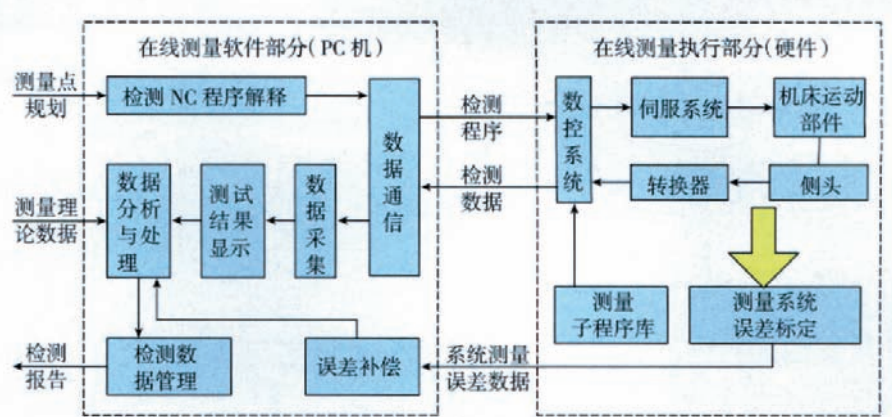


图1 在线测量系统组成

典型的数控加工-离线测量的制造流程。数控加工-离线测量的制造流程中,加工系统与测量系统是相对独立的,测量是对加工结果进行检验的一种手段。

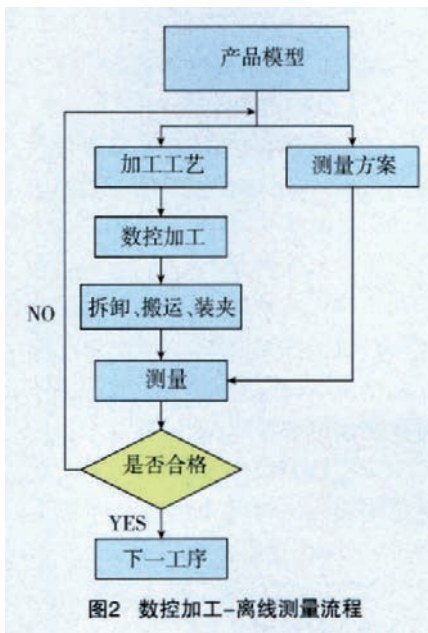


图2 数控加工-离线测量流程

对于数控加工-在线测量系统而言,加工系统与测量系统是统一的,其具体流程如图3所示。在线测量减少了工序测量中拆卸、搬运和装夹等操作,简化了制造流程,使生产流程“扁平化”,大大提高了生产效率。另外,数控加工工艺与在线测量工艺之间相互影响,产生反馈,在线测量能够直接为加工工艺的制定提供实际依据,对于产品质量的提升、加工工艺的优化具有积极意义。

图4是数控加工-接触式在线

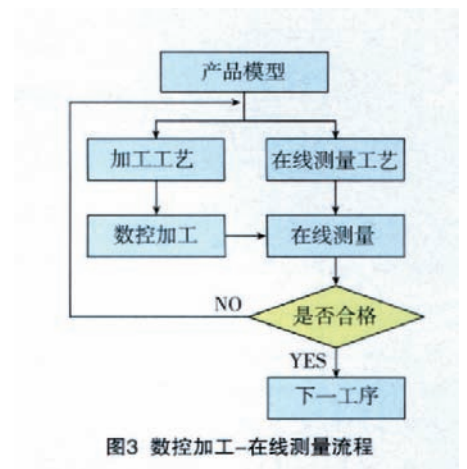


图3 数控加工-在线测量流程

测量系统的框架图,通过对现有数控机床的加工系统进行扩展,增加测量系统,数控加工后通过使用测头可实现对零件的在线测量,得到即时加工效果。其中,数控系统和数控机床是共用的平台,测量系统和测头是在线测量系统扩展出来的。

### 问题与讨论

#### 1 在线测量技术实际应用的意义

测量方案的优化能够使数控加工的制造流程得到优化,合理应用在线测量不仅能够一定程度上提高生产效率,更重要的是在线测量技术的应用能够为优化加工工艺提供依据,为难加工、难测量零件的生产提供更优化的测量解决方案。

在线测量技术实现了“所测即所加工”,加工与测量可即时交互,也就是加工状态的“即时反馈”,避免了完全加工完后再测量或加工过程中“想

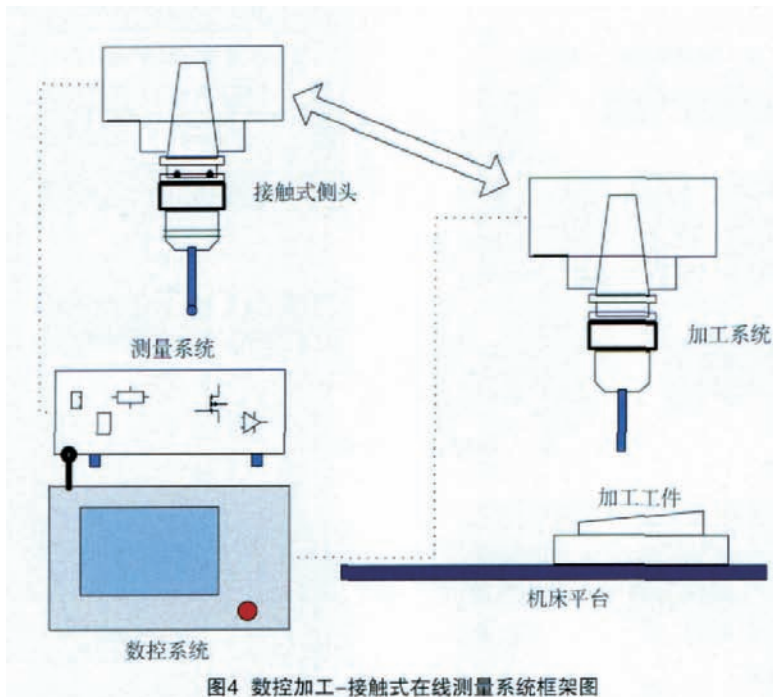


图4 数控加工-接触式在线测量系统框架图

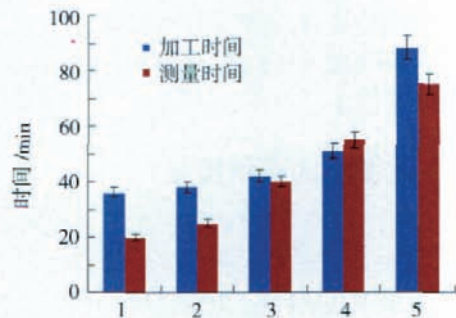


图5 某典型航空结构件特征数控加工-在线测量效率分析

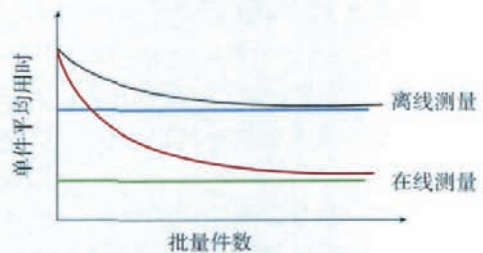


图6 批量产品数控加工-测量效率分析

测而不能测”带来的加工质量问题。对于一些高价值零件,在线测量技术能够即时掌握零件状态、保证零件的加工质量,减少甚至避免因加工中工艺尺寸设置不合理导致的质量问题。另外,对于一些加工过程中变形较大、状态不稳定的零件,特别是采用真空吸附装夹方案不能保持装夹状态离线测量的零件,在线测量技术解决了这些零件的测量问题,能够真实检验数控加工的效果。

## 2 数控加工-在线测量效率分析

中航工业成都飞机工业(集团)有限责任公司数控加工厂把接触式在线测量技术应用于实际生产过程中,取得了良好效果。本课题选择跟踪某一典型特征(钣金件数控加工轮廓,采用真空吸附装夹)的加工-在线测量过程,通过实时跟踪,分析生产效率。如图5所示,在满足零件检验要求、测量稳定的情况下,首件零件加工的在线测量时间一般略低于加工时间;零件成批加工时,在线测量速度可大幅度提高,测量效率也相应提高。

如图6所示,对于批量产品而言,在加工条件、装夹条件、测量要求一

致的情况下,采用离线测量时的平均每件产品用时明显上升。

当然,利用数控机床本身进行在线测量时,不可避免地降低了数控机床的加工效率,这种“一机两用”的方式分散了机床的生产能力。但是,在一些生产流程复杂,特别是一些高价值零件涉及到中间生产过程多次测量的情况下,在线测量有离线测量不可比拟的优势,不仅能够提高生产效率而且能够提高产品质量。所以,优化生产流程的管理、加强生产的配套管理、把在线测量合理应用于生产过程中,能够有效地优化制造流程。

## 3 在线测量技术的发展趋势

在线测量技术的优点体现在:加工与测量的相辅相成,避免重复定位、装夹,加工-测量一体,优化流程,为特殊零件的测量提供了合理的工艺方案。

在线测量技术在发展过程中也存在一定的问题,其集中体现在:数控机床的加工使用效率降低,管理要求提高,对操作者要求提高,测量误差影响因素多、测量不稳定等。正是这些问题的存在很大程度上制约了在线测量技术的实际应用。随着在

线测量技术的发展应用,解决这些问题、提高在线测量的精度和效率是在线测量技术发展的重要趋势之一。

随着测量技术的发展,高精度非接触式测量是未来的发展方向,结合在线测量技术,发展非接触式在线测量能够大大提高测量效率。同时,在线测量技术能够充分发挥真空夹、柔性工装等先进装夹方式的优势,大幅度降低生产成本,提高生产效率。

## 结束语

本文结合中航工业成都飞机工业(集团)有限责任公司数控加工厂对数控加工中接触式在线测量技术的研究与应用,探讨了在线测量技术在数控加工中实际应用的意义、存在的问题以及发展方向等。研究表明:在线测量技术提供了一种有效的测量解决方案,对于提高生产效率、提升产品质量具有重要意义。

## 参考文献

- [1] 张国忠. 检测技术. 北京:中国计量出版社,1998.
- [2] 靳宣强,姜秀丽. 浅析数控机床在线检测技术. 现代制造技术与装备,2009(3):40-41. (责编 小颖)