

# 复合加工技术在石材制品加工中的应用研究

刘 阳<sup>1,2</sup> 张进生<sup>1,2</sup> 王 志<sup>1,2</sup>

(1.山东大学机械工程学院,济南 250061;2.山东省石材工程技术研究中心,济南 250061)

**摘 要:**对石材制品复合加工技术与机具进行了初步研究,论述了石材制品复合加工理论和关键技术,对石材制品复合加工技术进行了归纳分类,针对石材制品加工工艺、运动以及加工工具的复合提供了几种可行的方案,探讨了石材异型制品复合加工技术的发展趋势和研究热点,为今后石材制品复合加工技术进一步系统化、理论化的研究奠定了基础。

**关键词:**石材制品 复合加工 模块化 数控技术

## 1 概述

我国石材的生产与应用发展迅猛,已成为石材加工和出口大国,是国际石材市场中不可或缺的重要力量。在不久的将来,世界石材的生产与贸易中心必将会从欧洲转到我国。我国石材开采与加工业的持续发展也带动了石材设备制造业的兴旺。

近些年来,数控技术和数控设备的引入,给石材设备加工制造业的产业结构、产品种类和档次以及生产方式带来了根本性的变化,并直接影响到我国的石材加工能力,关系到我国石材制品在国际市场的份额。

虽然我国石材设备制造业已初具规模,但是加工水平依然处于比较初级的阶段。具体表现为:(1)我国石材加工设备的种类繁多、各具特色,但是目前大多数设备的功能比较单一,数控加工设备应用依然不够广泛,而且部分依赖造价较高、维修维护困难的进口设备。(2)我国石材加工企业很大程度上保存了简单的机械加工,使得生产效率低、生产周期长、精度较差并且不能给工人提供一个良好的工作环境。因此开发、推广适合国情的具有自主知识产权的多功能数控加工设备,并形成完善的产品系列,已成为石材加工行业提高质量、增强竞争力的关键。

## 2 复合加工理论及其研究现状

### 2.1 复合加工理论以及技术特点

复合加工的概念最早出现于金属加工领域中,为在激烈的市场竞争中领先,越来越多的企业采用复合加工技术进行加工来提高自身的竞争力。复合加工技术可以消除或显著减少辅助时间,既能显著提高加工效率,又能兼顾保证加工精度、加工表面质量及工具损耗等,具有常规加工技术无法比拟的优势。

复合加工机床具有对复杂形状工件进行数道工序、不同工艺方法的高效加工的能力,突出了“集中工序,一次装夹实现多工序、多工艺复合加工”的理念。工件一次装

夹后,根据数控程序执行指令,通过对工具的自动更换,依次进行同一工艺方法中的多个工序或不同工艺方法中的多种工序的加工,减少在不同机床转换而引起的待工以及上下料等待时间。而且一般复合机床采用结构模块化和快速可重组技术进行设计,具有很好的扩展柔性,省去了企业购置多台常规加工设备的费用和厂房占用,提高了设备利用率,同时降低了生产成本。

### 2.2 复合加工技术在石材加工领域的应用现状

当前,在石材行业,具备高效复合加工能力的设备已成为未来石材加工设备发展的一个重要方向。近些年来,通过对原有加工设备和其他领域复合加工设备的研究,逐步进行工艺和工序的优化、加工工具结构的改进,用于石材加工的复合机床已经从以前效率低、柔性差的简单专用设备,发展到现在具有多主轴、多工位加工能力的加工中心。随着对数控系统的发展和机床动力学等方向的深入研究,控制轴数更多、各个部件结构更加合理、灵活性更好、加工效率和可靠性更高的具有更强复合加工能力的机床将会不断被开发出来。

## 3 复合加工技术及其在石材数控加工设备中应用

### 3.1 石材制品的复合加工技术应用前景分析

社会对石材制品需求的量和质正在逐年升级,整个石材行业既需要多品种、异型化、小批量生产的石材异型制品,也需要规模化、批量化生产的薄板制品。在这个复杂多变的市场,如何以高速、高效、高质地进行生产,对企业来讲变得尤其重要,这就要求加工过程中缩短准备时间、提高效率、减少误差,而复合加工技术的应用能有效地做到这一点。

复合加工理论及技术发展到现在,在金属加工领域已有一定的研究与应用,能为更好更快的加工提供复合工艺和刀具的选择依据。而在石材加工领域,虽然多功能数控设备的应用日益广泛,但加工过程中仍然缺乏一个系

基金项目:山东省自然科学基金资助项目(Z2007F07);

山东省科技发展计划资助项目(2007GG10004008)。

统化的理论研究体系进行指导,对于石材制品的复合加工理论及设备的系统化、体系化研究至今仍需要探索。因此,石材制品复合加工技术的发展将会成为推动石材数控加工设备结构和加工工艺发展的一个新热点。

### 3.2 石材制品复合加工技术

依据石材制品的加工方法研究,把石材行业的复合加工技术及其理论主要分为工艺复合、运动功能复合以及加工工具复合这三大类。

#### (1) 工艺复合

工艺复合是指能提供两种以上加工工艺同时或先后作用于工件,使其外形发生改变,变为合格工件的一组工艺,工艺复合中包含工序复合。进一步说具有工艺复合的设备不仅可以完成同一工艺方法的多个工序,而且可以完成多种不同的加工工艺。

由于石材异型制品品种多样,对应的加工设备所采取的加工工艺也各不相同,因此对石材异型制品常用的加工工艺进行合理复合,就可得到许多复合方案,如:

①铣—磨—抛加工工艺复合;②锯—磨—抛加工工艺复合;③铣—磨—钻加工工艺复合;④车—锯加工工艺复合;⑤锯—铣—磨—抛加工工艺复合;⑥囊括所有加工工艺的工艺复合。

这仅是一部分复合方案,根据加工需要可进行多种形式的加工工艺复合,把复合加工方案融入到复合加工设备的结构、功能规划中,使其复合方案的运用得以实现。CMS 公司的数控桥式金刚石圆盘锯机 ANTEA(图 1),利用横梁跨度大的特点,在一根横梁上安装两套进给系统和动力头,实现各动力头独立工作,同时可以通过动力头的竖直倾斜、工作台的竖直倾斜或者水平旋转实现倒角和斜面的切割。PELLEGRINI 公司的五轴数控金刚石串珠锯(图 2),搭配大幅面工作台,通过工作台的五轴联动,可以一次装夹,完成多个工件的高效加工。NC260K 型复合加工中心(图 3),通过配备具有动力转换模块的电主轴,使多种加工工艺简单复合,并且充分运用设备工作台幅面大的特点,安放多个工件,可以在一种工艺条件下,一次换刀完成多工件、多工位的加工,携带的刀库提供多种加工工具,通过自动换取不同的加工工具对多工件进行多种工艺的加工,提高了加工效率。山东大学建材与建设机械研究中心与山东华兴机械有限公司合作研发的 SMC3205 型石材加工中心(图 4),任意三轴联动,配备用于各种异型柱体加工的回转车床,带有运动转化模块的电主轴可实现大理石、花岗石台面以及浮雕的高效加工,体现复合加工技术的优势,并且保证足够的柔性、精度、效率和敏捷性。该加工中心的成功研发标志着我国从此打破了石材加工中心只能靠进口的局面。

#### (2) 运动功能复合

运动功能复合是指为满足某种工件加工运动的需要,把所需的各种运动功能以模块的形式进行组合,使其完成工件加工的运动功能组合。

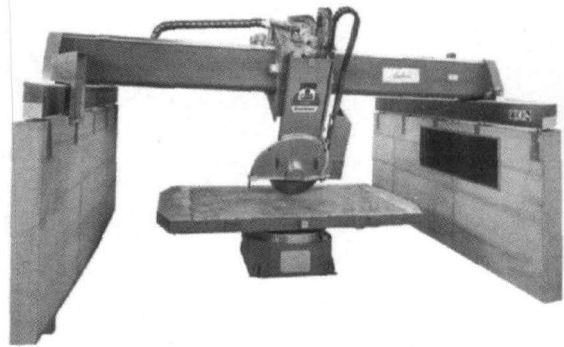


图 1 NC260K 型复合加工设备多工件加工

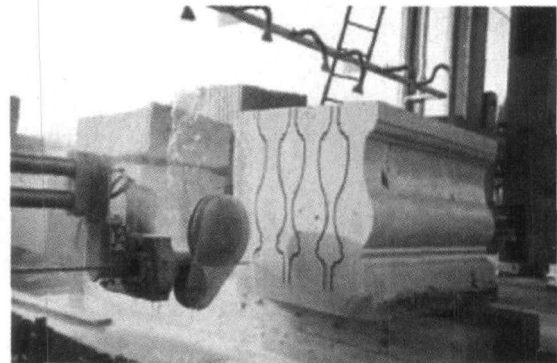


图 2 DIAMANTFIL2000/2500-plus

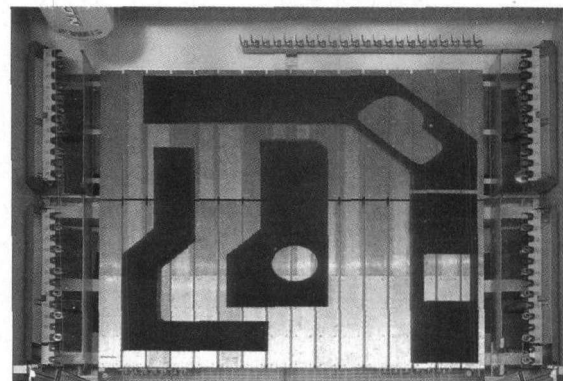


图 3 NC260K 型复合加工设备多工件加工

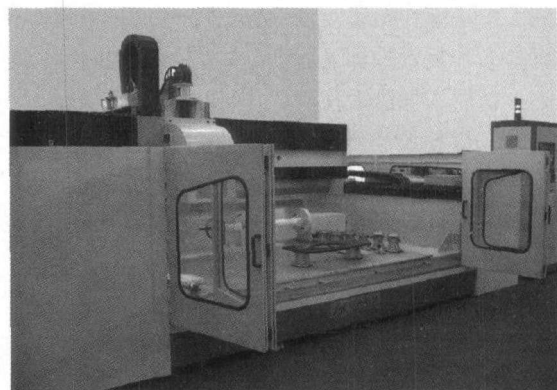


图 4 SMC3205 型石材加工中心

通过对国内外石材制品数控加工设备的运动分析,把所有石材制品加工中涉及到的运动功能进行模块划分,各个子运动功能模块根据各种加工运动需要进行合理复合,得到加工设备所需的运动功能复合系统。把运动功能系统划分为直线运动功能模块、旋转运动功能模块和主运动功能模块三大部分。

1) 直线运动模块是指能实现加工工具或工件沿各坐标轴做直线运动的功能组成体,如对工件进行线性的铣、磨、抛、锯切等所需的单运动或组合运动。

2) 旋转运动功能模块是指能实现加工工具或工件沿坐标轴做旋转运动的功能组成体,这是加工复杂的制品加工所不能缺少的运动,如实现回转体异型制品加工的工件回转运动、弧形锯切、挖孔所需的加工工具的旋转运动等,但是必须将旋转运动模块与直线运动模块复合后才能进行完整的制品加工。

3) 主运动功能模块是指形成加工速度或消耗主要动力的组合体,在加工工程中一般设备的主运动只有一个,随着时代的发展,尤其是对大批量、规模化生产的薄板制品生产,主运动的数目有所增加。

运动功能复合思路在目前的设备研发中广泛运用,通过把运动功能以模块的形式进行划分,根据功能需求再进行合理的复合,以达到设计目的,而且在现有设备上运动功能复合原理进行运动功能模块扩展,来扩大其加工能力。运用运动功能复合理论进行设计研发,大大简化了设备的设计开发难度。

(3)加工工具复合

加工工具复合是将两种或两种以上的同类或不同类的、具有公共回转轴线的加工工具组合成一体加工工具,使其能在一次加工的过程中完成多种加工内容,具有高效率、高精度、高可靠性的成形加工特点。石材异型制品加工的用得最为广泛的复合加工工具是针对花线加工,这些加工工具有采用一体式造型(图5),并且可以根据花线制品的外形制造各种复合加工工具。薄板和超薄板加工过程中,桥式金刚石圆盘锯机装配组合圆锯片(图6),多绳金刚石串珠锯机可装配多达60条串珠绳(图7),同样可以大幅度提高效率,降低加工成本。

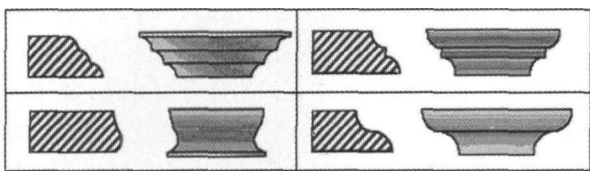


图5 部分整体式复合加工工具与其成形面

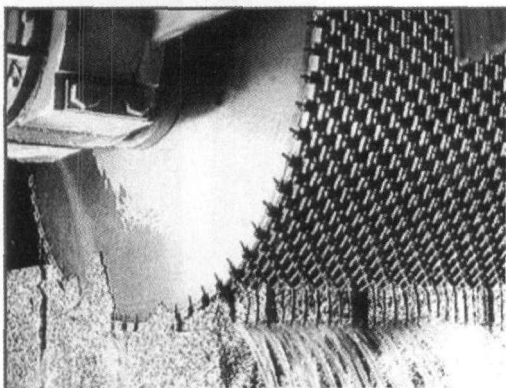


图6 组合式圆锯片

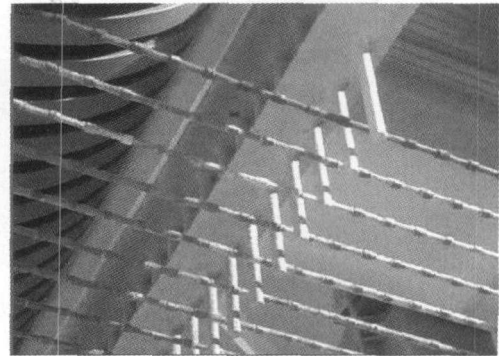


图7 并列的金刚石串珠绳

4 石材制品复合加工的关键技术

4.1 加工设备的设计

随着复合加工技术研究的深入,新型数控设备在部件更加复杂化、功能多样化的同时,还要追求轻量化以及降低振动、发热等因素对加工过程的影响,维修维护就繁杂起来,对设备的静刚度、动刚度和热刚度要求也逐步提高。因此向构件简约化、结构紧凑化、配置模块化和部件商品化方向发展是石材数控加工设备的发展趋势。同时有为适合于多品种、单件小批量生产条件的全功能性数控加工中心,也有为适合于提高生产效率、较大批量生产条件的专用型数控加工设备。好的复合加工机床绝不是、也不可能由单台不同工序或工艺的数控机床简单地拼装而成,而必须是在优化已有的传统工艺工序过程和机床结构配置型式的基础上创新开发出来的。

4.2 加工工具的开发

复合加工技术的推广应用不仅仅是对加工设备提出的要求,同时也是对复合加工工具的发展提出的要求。国内许多加工中心因刀具配置跟不上而没有达到理想效果,没有发挥出高效复合加工的优势。兼顾加工效率和使用寿命的复合加工工具的开发和选用也是石材复合加工技术应用中重要的一个环节,引领着加工工具朝着三高一专(高效率、高精度、高可靠性和专用化)方向不断发展。利用复合加工工具进行加工有以下优点:

- (1)可同时或顺序加工几个表面,减少机动和辅助时间,提高生产率;
- (2)降低了设备的加工难度,从而减低了对设备复杂性要求,并可减少设备台数,节约费用,降低制造成本;
- (3)可保证加工表面间的相互位置精度,提高加工质量;
- (4)合理的加工工具结构布置,发挥复合加工技术高效优势,减少工具损耗,降低设备负荷,延长设备寿命。

4.3 数控系统的开发

复合加工技术的发挥离不开性能优良的配套数控系统,如果没有功能完善的数控系统支持,复合加工的优势更无从谈起。随着社会对石材制品要求的复杂化,也就要求相应的数控加工设备功能也逐渐增多,因此,数控系统将向着结构紧凑、柔性好、I/O接口便捷、界面友好、工作稳定易于维护的方向发展,同时,基于通用(下转第10页)

[3] 王志平 主编《数控加工编程与操作》[M] 高等教育出版社 2005.7.

### Development and Application of Macro Program for Rounding Curved Surface

ZHANG Jiling, HUANG Weifu

(Changzhou Institute of Light Industry Technology Changzhou City Jiangsu Province, Changzhou 213164)

**Abstract:** By the way of studying the machining route of rounding

curved surface and milling the couse, the numerical control machining program applied rounding curved surface that has commonality, applicability and simpleness which have been introduced by using the macro program of FANUC Oi-MB system. If you will accomplish a part machining of rounding curved surface by using it, you only need evaluate correlative variable in the main program.

**Key words:** macro program, NC milling process, rounding curved surface, cutter radius compensation

(上接第 5 页)型 PC 机的数控系统将是一个重要的发展方向。

#### 4.4 辅助系统的设计

(1) 夹具系统: 对于小批量生产的种类繁多的石材异型制品, 如为每种类型产品都设计夹具, 成本过高, 是不现实的, 因此采用灵活性高、摆放较自由的真空吸附夹具来进行加工过程中的夹持。真空加紧机构具有装夹效率高、定位准确、贴合严密、吸附力大、不易泄压、设计简单和造价低等优点, 可以实现大进给量的加工。对于大批量的板材加工, 通常原料尺寸较大, 同样也需要安装拆卸方便、夹持稳定的夹具来进行固定。

(2) 冷却系统: 现在的石材数控加工设备多数配备了电主轴或者大功率电机提供主运动, 在正常加工中电机本身和加工工具都会产生大量的热, 而且环境温度的变化也会使结构产生变形, 并对加工精度和工具寿命有非常大的影响, 为了使加工中心发挥正常性能、改善其热特性, 对主轴、轴承、加工工具以及热刚度较差容易引起变形的结构进行合理的冷却系统设计是很有必要的。

(3) 润滑系统: 为了提高进给系统的运动精度、防止爬行, 必须降低设备各进给轴的摩擦系数, 提供良好的润滑是必不可少的。

#### 5 结语

当前, 为实现建设可持续发展、环境友好的石材加工强国的目的, 高效、高质、环保以及自动化的程度高低逐渐成为综合判断石材加工技术优劣的标准, 新型的复合加工工艺理论模型和加工数据库愈加完善, 将会带动石材制品的数控加工设备向着复合加工能力更强, 性价比更高, 更加智能化、人性化的方向发展。

因此, 为了将复合加工技术的理论研究体系化、系统化, 使之更好地推广应用于生产, 开发出性价比更高的石材制品复合加工机床, 必须加强对新工艺、新方法、新工具和机床新部件结构等的研究。通过对传统工艺和工序的优化, 制定出新型的复合加工工艺理论模型, 进而开发出新型的复合加工工具, 并将模块化设计技术和可重构技术作为设备研发的关键。

#### 参考文献

[1] 袁杰, 张进生, 王志等. 基于模块化技术的新型石材加工中

心创新设计. 石材, 2007(4).

[2] Peter Zelinski. Milling on a grinding machine. Modern Machine Shop, 2005.12: 78-81.

[3] 吴卫民. 超薄组合圆锯片在生产中的应用. 应用科技, 2006(2).

[4] 艾兴. 坚持自主创新, 加速发展和应用先进加工技术, 提高加工制造水平. 世界制造技术与装备市场, 2006.1: (36-40).

[5] 谭慧. 全球机床行业的发展动向. 数控机床市场, 2005,(6): 134-136.

[6] 张进生, 张良智, 王志. 石材异型制品加工技术. 化学工业出版社, 2007.

[7] 赵民. 石材加工设备工艺. 机械工业出版社, 2004.

[8] 周春宏, 姚振强. 可重构制造: 模式、系统及关键技术. 机械设计与研究, 2006(4).

[9] 张毅, 郭钢, 徐宗俊. 气体真空吸附系统的分析. 工艺与检测, 2001(5).

[10] 盛晓敏. 先进制造技术. 第 1 版. 北京. 机械工业出版社, 2000.9.

[11] 黄国钦, 徐西鹏. 金刚石串珠绳锯技术的研究. 工具技术, 2005(8).

[12] 于丰业. 石材异型制品加工设备模块化设计的研究. 山东大学硕士学位论文, 2004.

[13] 任秀华. 基于模块化设计的是才异型制品加工设备 CAD 系统开发. 山东大学硕士学位论文, 2004.

### The Application Research of Combined Machining Technology in Stones Processing

LIU Yang<sup>1,2</sup>, ZHANG Jinsheng<sup>1,2</sup>, WANG Zhi<sup>1,2</sup>

(1. School of Mechanical Engineering, Shandong University, Jinan 250061; 2. Stone Engineering Center of Shandong Province, Jinan 250061)

**Abstract:** The combined machining technology and machine in stones processing have been researched initially. Discuss the theory and key technologies about the combined machining technology and classify the current combined machining technology. According to that classification, the combination of processing technique, movement and tools are put forward as the feasible projects. The trends and hotspots about combined machining technology in stones processing are also discussed, which will settle a substantial foundation for the following systemic research about combined machining technology in stones processing.

**Key words:** stone products, combined machining, modularization, NC