

# 异型石材制品成形加工的分析研究<sup>\*</sup>

王日君 张进生 葛培琪 王志

山东大学 山东省石材工程技术研究中心

**摘要:** 成形加工是异型石材制品的关键加工工序。在分析异型石材制品的成形面、常用加工工具和成形原理的基础上,对成形加工技术进行了深入探讨,归纳出了异型石材制品加工的运动组合形式,并分析了每种运动组合所能加工的制品种类。成形运动分析为异型石材加工设备功能和结构的开发提供了理论基础。以外圆柱面加工分析为例,得出了刀具形状与加工运动成互补关系的重要结论,这一结论对于异型石材制品的大批量加工具有重要意义,可研制相应的成型刀具,以实现加工的规模经济效益。

**关键词:** 异型石材制品, 成形加工, 成形面, 成形运动, 加工工具, 加工设备

## Study on Shape Machining of Special-shaped Stones

Wang Rijun Zhang Jinsheng Ge Peiqi et al

**Abstract:** The shape machining is the key step of special-shaped stones machining. Based on the analysis of shape, tools commonly used, and shaping principles of special-shaped stones, the shape machining technology of special-shaped stones is discussed deeply, and then all possible motion combinations of the machining of special-shaped stones as well as products that can be machined by each motion combination are obtained. The analysis of shaping motion of the products provides theoretical basis for the development of functions and structures of special-shaped machining equipments. By taking the analysis of outer cylinder machining as an example, an important conclusion that the tool shape and the shaping motion are of complementary relationship is obtained. This conclusion is important to products with high-volume because the corresponding shaping tools can be developed to machine the products with the low cost of large-scale machining.

**Keywords:** special-shaped stones, shape machining, shaping surface, shaping motion, machining tool, machining equipment

## 1 引言

在用于装饰的石材制品中,异型石材占有相当大的比重。异型石材制品以其复杂多变的表面形状和华丽的色彩实现了美轮美奂的装饰效果,随着人们生活水平的不断提高以及审美趣味的不断变化,对异型石材制品的需求日趋旺盛<sup>[1,2]</sup>。

异型石材表面形状的成形主要取决于成形加工技术及设备。近年来,为了满足石材加工企业的需求,石材行业对异型石材加工设备进行了大量研究<sup>[3~7]</sup>,开发出了各种类型的加工设备。但是,对加工设备与石材制品之间的纽带——异型石材成形加工技术的相关研究却比较滞后。异型石材成形加工技术依托加工设备来实现制品加工。由于成形加工运动的形式与数目直接决定了加工设备的功能与结构,因此对成形加工技术的分析研究也是开发加工设备的前提条件。本文在分析异型石材制品的成形面、成形运动、加工工具和加工方法的基础上,深入探讨了异型石材制品的成形加工技术,获得了常用

的运动组合形式,为异型石材加工及设备研制奠定了理论基础。

## 2 异型石材制品成形面的分类

异型石材制品是指除矩形规则板材制品之外的其他所有石材制品<sup>[2]</sup>。按其形状特点和加工方式,可分为花线制品、平面异型制品、曲面异型制品、实体回转型制品、雕刻制品和立体异型制品六大类,而每一类制品根据其几何特点和加工方式的不同又可划分为若干小类。因此,异型石材制品种类繁多,型面复杂多变。但是,无论其表面形状如何变化,都是由一个或几个成形面元素所构成。表1为对异型石材制品形状的分类描述以及归纳得到的成形面元素。

## 3 异型石材制品成形运动分析基础<sup>[8]</sup>

根据几何学的观点,与机械零件类似,异型石材制品的每个成形面元素均可看作是一条线(母线)沿着另一条线(导线)运动的轨迹。母线和导线统称为形成表面的发生线。例如,为了形成外圆柱面,应使直线母线1沿着圆导线2转动(见图1a)。同样,圆

<sup>\*</sup>山东省自然科学基金资助项目(项目编号:Z2007F07)  
收稿日期:2008年4月

表1 异型石材制品的成形面分析

序号	制品类别	制品形状描述	序号	基于几何形状的分类	成形面元素
1	花线制品	横截面由曲线和直线任意组合成一定几何形状	1.1	直位花线制品	成形表面—直位花线
			1.2	弧位花线制品	成形表面—弧位花线
2	平面异型制品	制品形状以二维图形为主	2.1	直位花线边缘的台板面制品	成形表面—直位花线
			2.2	弧位花线边缘的台板面制品	成形表面—弧位花线
			2.3	曲面边缘的台板面制品及拼花制品	小曲面
3	曲面异型制品	具有公共母线或对称中线的曲面板	3.1	普通圆弧板	弧形面
			3.2	S形或波浪型巨型曲面板	S形曲面
4	实体回转面制品	具有回转轴线的回转体	4.1	等直径实心回转体类制品	外圆柱面
			4.2	等直径空心回转体类制品	外圆柱面
					内圆柱面
			4.3	球体等非等直径实心回转体类制品	小曲率发生线非等直径外回转面
			4.4	栏杆柱等非等直径实心回转体类制品	大曲率发生线非等直径外回转面
			4.5	花瓶等非等直径空心回转体类制品	小曲率发生线非等直径外回转面
					非等直径内回转面
4.6	罗马柱	成形表面—罗马槽			
4.7	等螺距扭纹柱	成形表面—螺旋面			
5	雕刻制品	具有复杂型面、型面曲率不规则	5	平面浮雕, 立体雕刻	空间曲面
6	立体异型制品	除上述几类制品外的所有其他异型制品	6	异型家具、脸盆、浴缸等	

导线2沿着直线母线1移动也可得到圆柱面(见图1b)。因此,不同的异型石材制品加工方法可以采用不同的加工运动组合。

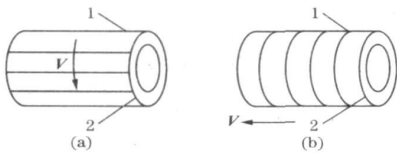
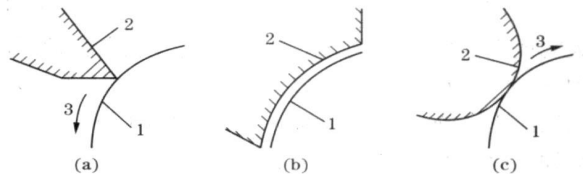


图1 外圆柱面发生线分析

(3)切削刃形状为一条切削线,但与需要成形的发生线形状不吻合(见图2c)。相应的刀具主要有金刚石圆锯片、金刚石铣磨轮、圆柱铣刀、球状铣刀等。



1. 工件 2. 刀具 3. 加工运动方向

图2 异型石材加工刀具切削刃形状分析

#### 4 异型石材制品的加工刀具和加工方法

在异型石材制品加工过程中,两条发生线是通过刀具切削刃与工件的相对运动来实现的,形成制品表面所需的成形运动形式和数目取决于采用的刀具结构与加工方法。根据切削刃的形状,可将异型石材加工刀具分为以下三类:

(1)切削刃形状为一个切削点(见图2a)。相应的刀具主要有雕刻刀和磨料水射流等。

(2)切削刃形状为一条切削线,并与需要成形的发生线形状完全吻合(见图2b)。相应的刀具主要有成型铣刀、带锯条、套筒锯、串珠绳、套料钻、圆盘形铣刀等。

根据所使用刀具的切削刃形状和采用的加工方法,异型石材加工发生线的形成方法可归纳为以下三种:

(1)轨迹法(图2a):切削刃为一个切削点,它按一定规律作轨迹运动而形成所需发生线。例如,用雕刻刀进行石材雕刻制品的加工(见图3a)。

(2)成形法(图2b):切削刃为一条切削线,它的形状和长短与需要成形的发生线一致。例如,用成型铣刀进行石材花线制品的加工(见图3b)。

(3)相切法(图2c):切削刃为一个切削点,由于加工方法的需要,该点是旋转刀具上的点。切削时,刀具的旋转中心按一定规律运动,切削点运动轨迹

的相切线就形成了发生线。例如,用圆锯片进行石材圆弧板制品的加工(见图3c)。

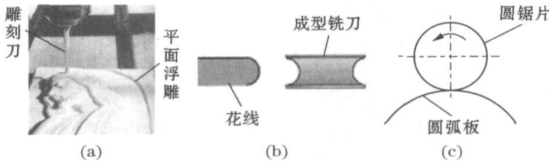


图3 异型石材制品表面成形方法

### 5 异型石材制品成形运动分析

异型石材制品加工就是将其成形面元素加工成所需形状。每种制品的表面由一种或几种成形面元素组成(表1),因此需要分别分析每一个成形面元素的加工运动,综合得到制品的成形运动。对于每一个成形面元素,母线和导线是其成形的两条发生线,因此,形成成形面元素所需要的成形运动就是形成其母线及导线所需成形运动的总和。为了加工出所需要的成形面,加工设备就必须具有完成这些成形运动的能力。但在某些情况下,在形成发生线所需的相对运动中会出现重合现象,即某一运动既是形成母线的运动,也是形成导线的运动,这时就应减去重合的运动数。以图1所示等直径空心柱体制品的加工为例,该类制品属于空心等直径回转体,由外圆柱面和内圆柱面两种成形面元素组成,对其成形运动的分析见表2。

通过对成形面元素—外圆柱面的分析可知,对于相同的成形面元素,采用不同形状的刀具加工,所需成形运动的类型和数目是不同的。切削刃形状越复杂的刀具(如套筒锯),其成形运动越简单。由此可见,切削刃形状与成形运动呈互补关系。对于成型刀具(如成型铣刀、套筒锯等),只需采用最简单的成形运动即可实现加工。因此,对于一些市场需求量较大的制品,可根据其型面特点,设计制造与之对应的成型金刚石刀具,以提高异型石材制品加工的效率 and 效益,并且用成型刀具进行加工还具有造型质量好、加工程序简单等优点。从另一方面来说,成型刀具对成形运动的要求较简单,而成形运动的形式和数目直接决定了加工设备的结构,因此,使用成型刀具亦可简化加工设备的结构和降低对控制系统的要求,减小设备开发难度和成本。例如,使用套筒锯进行柱体或圆弧板加工的套筒锯机只需实现套筒锯边回转边作直线运动即可,设备的结构和操作都非常简单。

表2 等直径空心柱体制品的成形运动分析

制品	成形面元素	发生线	形状	常用刀具	成形方法	成形运动数目		成形运动总数	
						直线	回转	直线	回转
等直径空心柱体制品	外圆柱面	母线、导线	圆、直线	圆锯片	相切法	—	2	1	2
					轨迹法	1	1		
				铣磨轮	相切法	—	2	1	2
					轨迹法	1	1		
				套筒锯	成形法	—	1	1	1
					轨迹法	1	1		
	内圆柱面(盲孔)	母线、导线	圆、直线	圆锯片	相切法	1	1	1	2
					轨迹法	1	1		
				铣磨轮	相切法	1	1	1	2
					轨迹法	1	1		
				串珠绳	成形法	1	—	3	—
					轨迹法	3	—		
内圆柱面(盲孔)	母线	圆	套筒钻	成形法	—	1	1	1	
				轨迹法	1	1			
	导线	直线	圆柱铣刀	相切法	—	2	1	2	
				轨迹法	1	1			

按上述分析方法对其他类型制品的成形运动进行分析,可以得到异型石材制品加工的所有运动组合以及每种运动组合所能加工的制品(见表3)。

表3 异型石材加工的运动组合及所能实现的加工

序号	运动组合		可加工的制品(参见表1序号)
	直线	回转	
第I类	1	1	1. 1, 2. 1, 3. 1, 4. 1, 4. 2, 4. 6
第II类	2	—	2, 3
第III类	2	1	1. 2, 2. 2, 3. 4, 4. 6
第IV类	1	2	3. 1, 4. 1, 4. 2, 4. 7
第V类	3	—	1. 1, 2. 3, 3. 1, 3. 2, 4. 1, 4. 2, 4. 6, 6
第VI类	2	2	4. 3, 4. 4, 4. 5, 4. 7
第VII类	3	1	1. 1, 1. 2, 2. 1, 2. 2, 2. 3, 3. 1, 3. 2, 4. 3, 4. 4, 4. 5, 4. 6, 4. 7, 5. 6
第VIII类	3	2	4. 7, 4. 9, 5. 6

由表3可见,每一种运动组合可实现相应的若干种类型制品的加工。当然,运动组合越复杂,其加工范围通常也越大。例如,第III类和第IV类运动组合不仅可实现本类制品的加工,还可实现第I类运动组合的加工;而第VIII类运动组合则可实现第I类至第VII类的加工。

成形运动分析可为异型石材制品的加工提供理论指导,同时也为加工设备的开发奠定了基础。石材加工设备的基本功能是通过刀具与工件之间的相对运动完成制品的成形加工,因此,加工运动直接决

# 专用自滚切车刀<sup>\*</sup>

张素华 黄晓斌 庞学慧

中北大学

**摘要:** 简述了滚切刀具的基本原理以及与普通刀具加工的本质区别, 设计了两种专用自滚切车刀, 并说明了其结构特点和设计参数。最后, 介绍了专用自滚切车刀的先进性、实用性及加工要点。

**关键词:** 自滚切车刀, 刃倾角, 切削速度, 刀具耐用度

## Special Self-propelled Rotary Turning Tool

Zhang Suhua Huang Xiaobing Pang Xuehui

**Abstract:** The basic principle of rotary cutting tool and the differences in machining process between rotary cutting tool and universal tool are described briefly. Two kinds of special self-propelled rotary turning tools are designed, and its structural features and parameters are illuminated. Finally, the advantages and practicability of the tools as well as machining gist are introduced.

**Keywords:** self-propelled rotary turning tool, inclination angel, cutting speed, tool life

### 1 自滚切刀具的基本原理

滚切刀具的应用是金属切削的创新技术之一。滚切刀具采用圆形刀片, 在切削过程中, 刀片绕其轴线连续旋转, 其切削理论与普通刀具存在着本质区

别。

首先, 自滚切车刀的理论基础是斜角切削和切削运动单元组合。可将圆刀片和工件视为两个交错轴对滚的轮子(见图1)。与普通刀具相比, 由于增加了一个刀片自动旋转的切削运动单元 $n_t$ , 因此其表面形成理论与采用普通刀具的加工有所不同。虽然工件的母线(圆)仍由工件的旋转运动产生(轨迹

<sup>\*</sup>山西省自然科学基金资助项目(项目编号: 20041068)  
收稿日期: 2008年3月

定了设备的结构。对于每种运动组合, 通常可由多种形式的设备结构来实现, 即运动组合与设备结构存在“一对多”的映射关系, 这为各种类型异型石材制品加工设备的结构设计奠定了基础。

### 6 结论

成形加工是异型石材制品加工最关键的工序。本文围绕异型石材制品的成形加工技术, 完成了如下工作:

(1)分析了异型石材制品的型面构成、常用加工刀具及其成形加工原理, 对制品型面元素进行了定义与分类;

(2)基于各类异型石材制品的成形加工分析, 归纳出了异型石材制品的所有加工运动组合形式, 并分析了每种运动组合所能完成的制品种类, 为异型石材制品的加工及加工设备的研发奠定了基础;

(3)以外圆柱面为例, 分析了使用不同刀具情况下的运动组合, 得出了刀具形状与加工运动之间成互补关系的结论。这一结论对于异型石材制品的大批量加工具有重要指导意义, 可针对制品形状研制开发相应的成型刀具, 以实现高效率、低成本加工。

### 参考文献

- 张进生, 张良智, 王志. 石材异型制品加工技术. 北京: 化学工业出版社, 2006
- 廖原时, 谭金华, 高峰. 异型石材. 北京: 中国建材工业出版社, 1999
- Sass Lawrence. Synthesis of design production with integrated digital fabrication. *Automation in Construction*, 2007, 16(5): 298 ~ 310
- Turchetta S. An energy based model for laser cutting natural stone. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 2005, 45(6): 761 ~ 767
- Wang C Y, Clausen R. Computer simulation of stone frame sawing process using diamond blades. *International Journal of Machine Tools & Manufacture*, 2003, 43(5): 559
- 张进生, 王志, 朱志远. 石材曲面制品集成制造技术研究及开发. *机电一体化*, 2002(5)
- 单绍福, 王日君等. 模块化石材异型制品加工设备研究开发. *现代制造技术与装备*, 2006(4)
- 贾亚洲. 金属切削机床概论. 北京: 机械工业出版社, 1994  
第一作者: 王日君, 博士研究生, 山东大学机械工程学院、山东省石材工程技术研究中心, 250061 济南市  
Author: Wang Rijun School of Mechanical Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China