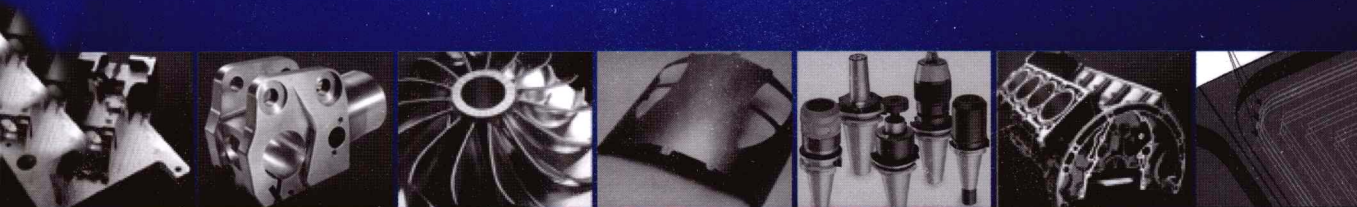


PowerMILL 10.0

数控高速加工技术与典型实例

高长银 李万全 赵 汶 编著



化学工业出版社

PowerMILL 10.0

数控高速加工技术与典型实例

高长银 李万全 赵 汶 编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

本书从工程应用的角度,通过常用技术与大量实例结合的方式,详细介绍了 PowerMILL 10.0 中文版高速数控加工的技术和具体应用。具体内容包括高速加工概述、高速加工机床、高速加工刀具以及高速加工切削参数与编程的策略;PowerMILL 10.0 用户操作界面、基础操作、三维铣削高速加工技术、多轴铣削高速加工技术;PowerMILL 10.0 在零件高速加工中的应用方法和流程。

本书语言通俗、层次清晰,实例安排典型实用,全部来自工程实践,具有很强的实用性、指导性和良好的可操作性。本书适合广大 PowerMILL 10.0 的初中级读者使用,同时也可作为大中专院校相关专业学生,以及社会相关培训班学员的教材。

图书在版编目(CIP)数据

PowerMILL 10.0 数控高速加工技术与典型实例 / 高长银,
李万全, 赵汶编著. —北京: 化学工业出版社, 2011.1
ISBN 978-7-122-09745-3

I. P… II. ①高… ②李… ③赵… III. 数控机床-
加工-计算机辅助设计-应用软件, PowerMILL 10.0 IV.
TG659-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 205383 号

责任编辑: 王 烨
责任校对: 陈 静

文字编辑: 谢蓉蓉
装帧设计: 关 飞

出版发行: 化学工业出版社 (北京市东城区青年湖南街 13 号 邮政编码 100011)
印 装: 三河市延风印装厂

787mm×1092mm 1/16 印张 18½ 字数 483 千字 2011 年 1 月北京第 1 版第 1 次印刷

购书咨询: 010-64518888 (传真: 010-64519686) 售后服务: 010-64518899

网 址: <http://www.cip.com.cn>

凡购买本书, 如有缺损质量问题, 本社销售中心负责调换。

定 价: 48.00 元

版权所有 违者必究

前 言

PowerMILL 10.0 是英国 Delcam 公司开发的一款独立运行、世界领先的专业数控高速加工编程软件，在高效粗加工、高速精加工和五轴加工领域能力出众。PowerMILL 软件的研发起源于英国剑桥大学，从 1991 年 Delcam 公司产品进入中国市场起已经有 20 年历史，现在被广泛应用于航空航天、汽车、船舶、家用电器、轻工业产品和模具等行业。而高速加工技术是近年发展起来的一项较新的数控加工技术，它提高了加工精度和表面质量，大幅度减少了加工时间，简化了生产工艺流程，降低了生产成本，是一门非常先进的技术，随着时间的推移，高速加工势必得到广泛深入的应用，因此出版数控高速五轴加工的图书具有必要性。

为了满足广大读者学习 PowerMILL 10.0 中文版数控高速加工编程的需要，我们特别编写了此书，全书共分为 3 篇 9 章，具体内容如下。

第 1 篇（第 1~4 章）为高速加工专业知识篇，介绍了高速加工的基本原理、高速加工机床、高速加工刀具以及高速加工切削参数与编程的策略。读者通过学习，将对高速加工的特点有一定的了解。

第 2 篇（第 5~7 章）为 PowerMILL 10.0 数控高速加工技术篇，详细介绍了 PowerMILL 10.0 中文版数控加工基础知识（具体包括用户操作界面、导入 CAD 模型、快进高度、切入切出和连接、边界和参考线）、三维铣削高速加工技术、多轴铣削高速加工技术等。通过此篇学习，读者可以掌握 PowerMILL 数控高速加工的基础操作和参数设置。

第 3 篇（第 8~9 章）为 PowerMILL 10.0 数控高速加工实例篇，通过 6 个实例讲解了 PowerMILL 10.0 在零件高速加工中的应用方法和过程，主要包括曲面类、模具类零件的高速加工。为了便于读者学习，实例安排由简单到复杂，按照入门、提高和经典实例的顺序进行，而且实例全部来自于一线实际项目，代表性、应用性和指导性强。读者即使此前毫无基础，通过学习后都可以进行举一反三，使操作水平迅速提高，领会掌握各类数控高速加工方法的技术特点与应用技巧。每个实例的素材文件可在 www.cip.com.cn 中的“资源下载”→“配书资源”中下载。

归纳起来，本书主要特点如下。

- ① 本书是国内一线高级工程师的力作，凝聚了作者多年的设计经验与心得体会。
- ② 本书由浅入深、从简到难，基础技术和应用实例紧密结合，实例从入门到提高，大大降低了学习门槛，提高了读者的学习效率。
- ③ 本书实例典型丰富，讲解方式通俗易懂，对每个实例都进行了实例描述、加工方法分析、加工流程与所用知识点、操作步骤和实例总结，以帮助读者理解巩固技术要点和精髓，

实现触类旁通、举一反三的效果。

本书面向 PowerMILL 10.0 的初、中级用户，既可作为高等院校、高职高专等院校机械类相关专业学生的培训教材，也可作为工厂企业数控加工人员的理想参考书，是学习 PowerMILL 高速加工的必备宝典。

本书由高长银、李万全、赵汶编著。另外，马龙梅、赵程、赵辉、贺红霞、史丽萍、郭小琴、孙红亮、杨学围、邓力、王乐、袁丽娟、赵普磊、刘汝芳、夏劲松、张秋冬、涂志涛、李晓磊、刘媛媛、闫延超、董延等在本书编写中也曾给予支持和帮助。该书所源自的课题研究得到了河南省科技厅项目“基于高速加工 CNC 编程技术研究”支持，在此一并向他们表示感谢！

由于时间有限，书中难免会有一些不妥之处，欢迎广大的读者及业内人士予以批评指正。

编者

2010 年 11 月

目 录

第 1 篇 高速加工专业知识

第 1 章 高速加工概述	2	3.1.1 高速切削加工对刀具材料的要求	26
1.1 高速切削加工的定义和特点	2	3.1.2 高速切削加工对刀具几何参数的要求	26
1.1.1 高速切削加工的定义	2	3.1.3 高速切削加工对刀具结构的要求	27
1.1.2 高速切削加工的特点	4	3.2 高速切削加工的刀具材料	27
1.1.3 高速切削加工的应用	5	3.2.1 常用的高速切削刀具材料	27
1.2 高速切削加工的关键技术	6	3.2.2 高速切削刀具材料的合理选择	30
1.2.1 高速切削机理	7	3.3 高速切削加工刀具的结构	32
1.2.2 高速切削机床	7	3.3.1 刀具-刀柄接口技术	33
1.2.3 高速加工刀具	8	3.3.2 刀具-机床接口技术	33
1.2.4 高速加工工艺及编程	9	3.4 小结	36
1.2.5 高速加工测试技术	9	第 4 章 高速加工的编程与策略	37
1.3 小结	9	4.1 高速加工的工艺特点	37
第 2 章 高速加工机床	10	4.1.1 高速加工路径的特点	37
2.1 高速加工机床概述	10	4.1.2 高速加工 CAM 软件的特点	38
2.1.1 高速加工机床的基本要求	10	4.2 高速加工的切削参数	39
2.1.2 国内外高速加工机床的发展	11	4.2.1 切削用量选择的原则	39
2.2 高速加工机床结构	14	4.2.2 典型材料的切削用量	42
2.2.1 高速主轴系统	14	4.3 高速加工路径的规划	44
2.2.2 高速进给系统	16	4.3.1 高速加工进退刀模式	44
2.2.3 高速数控系统	20	4.3.2 高速加工走刀模式	45
2.2.4 高速加工监测系统	21	4.3.3 高速加工移刀模式	45
2.3 典型的高速加工机床(中心)	22	4.3.4 高速加工拐角模式	46
2.3.1 卧式高速加工中心	22	4.4 高速加工的编程策略	47
2.3.2 立式高速加工中心	23	4.4.1 高速加工粗加工编程策略	47
2.3.3 龙门高速加工中心	24	4.4.2 高速加工半精加工编程策略	50
2.4 小结	25	4.4.3 高速加工精加工编程策略	51
第 3 章 高速切削加工刀具	26	4.5 小结	52
3.1 高速切削加工对刀具的要求	26		

第 2 篇 PowerMILL 10.0 数控高速加工技术

第 5 章 PowerMILL 10.0 数控加工基础	54	5.1.1 PowerMILL 10.0 数控加工特点和主要功能	54
5.1 PowerMILL 10.0 加工入门概述	54		

5.1.2	PowerMILL 10.0 数控加工 操作界面	56
5.1.3	PowerMILL 10.0 数控加工的 一般流程	58
5.2	PowerMILL 10.0 软件的基本操作	59
5.2.1	文件操作	59
5.2.2	图层操作	61
5.2.3	PowerMILL 10.0 鼠标操作	61
5.2.4	模型分析与测量	62
5.3	PowerMILL 10.0 数控编程的 公共操作	64
5.3.1	导入 CAD 模型	65
5.3.2	加工毛坯的定义	65
5.3.3	用户坐标系的确定	67
5.3.4	加工刀具的定义	68
5.3.5	进给率的设置	73
5.3.6	快进高度的设置	74
5.3.7	开始点和结束点参数设置	77
5.3.8	切入切出和连接参数设置	79
5.4	边界和参考线	88
5.4.1	边界的创建和编辑	88
5.4.2	参考线	95
5.5	刀具路径动态模拟和实体仿真	97
5.5.1	动态模拟	97
5.5.2	实体仿真	98
5.6	小结	98

第 3 篇 PowerMILL 10.0 数控高速加工实例

第 8 章 PowerMILL 10.0 三维曲面铣削

	加工实例	159
8.1	入门实例——碗曲面高速铣削加工	159
8.1.1	实例描述	159
8.1.2	加工方法分析	159
8.1.3	加工流程与所用知识点	160
8.1.4	具体操作步骤	160
8.1.5	实例总结	171
8.2	提高实例——饮料瓶身曲面高速 铣削加工	172
8.2.1	实例描述	172
8.2.2	加工方法分析	172

第 6 章 PowerMILL 10.0 三维加工

	技术详解	99
6.1	3D 粗加工功能	99
6.1.1	偏置区域清除模型	100
6.1.2	平行区域清除模型	112
6.1.3	轮廓区域清除模型	114
6.1.4	插铣	115
6.2	3D 精加工功能	116
6.2.1	向下投影精加工	116
6.2.2	三维偏置精加工	124
6.2.3	等高精加工	125
6.2.4	轮廓精加工	128
6.2.5	参考线精加工	131
6.2.6	投影精加工	135
6.2.7	清角精加工	141
6.3	小结	145

第 7 章 PowerMILL 10.0 多轴加工

	技术详解	146
7.1	四轴旋转精加工	146
7.2	刀轴设置	148
7.2.1	刀轴方向控制	148
7.2.2	限界	150
7.2.3	碰撞避让	151
7.3	五轴 SWARF 加工策略	151
7.3.1	SWARF 精加工	151
7.3.2	线框 SWARF 精加工	156
7.4	小结	157

8.2.3	加工流程与所用知识点	173
8.2.4	具体操作步骤	174
8.2.5	实例总结	187
8.3	经典实例——凹坑曲面高速铣削加工	187
8.3.1	实例描述	187
8.3.2	加工方法分析	187
8.3.3	加工流程与所用知识点	188
8.3.4	具体操作步骤	189
8.3.5	实例总结	205

第 9 章 PowerMILL 10.0 高速模具

	加工实例	206
9.1	入门实例——鼠标凹模高速铣削加工	206

9.1.1 实例描述	206	9.2.4 具体操作步骤	232
9.1.2 加工方法分析	206	9.2.5 实例总结	257
9.1.3 加工流程与所用知识点	207	9.3 经典实例——电话上盖凸模高速	
9.1.4 具体操作步骤	208	铣削加工	257
9.1.5 实例总结	229	9.3.1 实例描述	257
9.2 提高实例——飞机引擎罩凸模高速		9.3.2 加工方法分析	257
铣削加工	229	9.3.3 加工流程与所用知识点	258
9.2.1 实例描述	229	9.3.4 具体操作步骤	260
9.2.2 加工方法分析	229	9.3.5 实例总结	287
9.2.3 加工流程与所用知识点	230	参考文献	288

第 1 篇

高速加工专业知识

第 1 章 高速加工概述

第 2 章 高速加工机床

第 3 章 高速切削加工刀具

第 4 章 高速加工的编程与策略

第1章 高速加工概述

本章将简单介绍高速加工的定义、特点以及高速加工的关键技术等概述性内容，使读者对高速加工技术有一个入门性的了解和认识。

1.1 高速切削加工的定义和特点

1.1.1 高速切削加工的定义

高速加工也称为高速切削加工 (high speed cutting, HSC)，此概念在 1931 年由 Carl Salomon 博士提出，并获得德国的专利。Salomon 的实验结果表明，随着切削速度不断增加，切削温度上升直到一个峰值，随着切削速度进一步提高，切削温度达到峰值后反而下降，如图 1-1 所示。切削温度达到峰值的切削速度称为临界切削速度。Salomon 认为在临界切削速度两边有一个不适宜的切削加工区域（称为“死区”），因为刀具无法承受如此高的温度。当切削速度继续提高，切削温度下降到刀具许可的温度范围，这时刀具可以用比普通切削速度更高的速度进行切削，即可在切削温度下降区域进行切削加工。

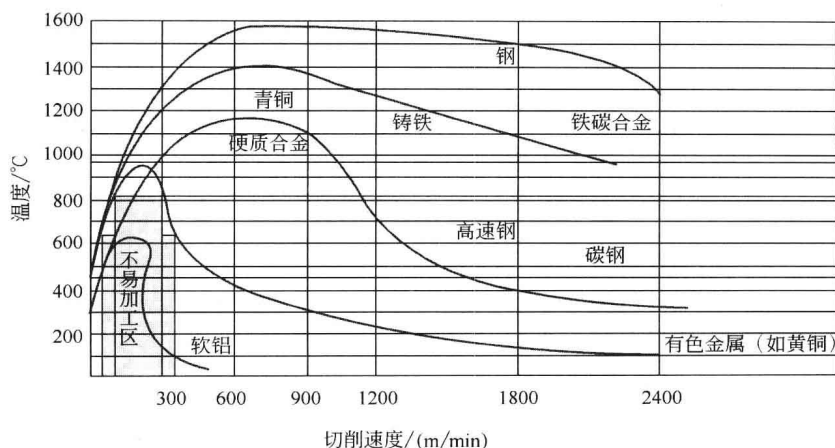


图 1-1 Salomon 高速切削加工示意图

高速切削时温度的降低是由于在高速情况下切屑由带状切屑转变为单元切屑，切屑与前刀面的摩擦将不再是切削力和切削热的主要来源之一，同样由于切削速度的提高，后刀面处工件材料的弹性变形也将由于变形速度逐渐跟不上切削速度而减少，因此后刀面的摩擦减少了，从而对降低切削力和切削热产生了有利的影响。在高速加工时切削热将由切屑导出，而

工件和刀具的温升都非常小,所以高速加工也称为冷态切削。

高速加工是一个相对的概念,是相对于常规的加工而言。国内外对高速加工有不同的描述,分别介绍如下。

① 国际生产工程科学院(CIRP)切削委员会在1978年提出,线速度在500~7000m/min的切削加工为高速切削加工。

② 德国Darmstadt工业大学生产工程与机床研究所(PTW)提出,以高于普通切削速度5~10倍的切削加工为高速加工。

③ 对铣削加工而言,以刀具夹持装置达到平衡要求时的速度来定义高速加工,ISO1940提出主轴转速超过8000r/min为高速加工。

④ 从主轴设计的角度,以沿用多年的主轴转速特征值(DN)来定义高速加工,DN在 $(5\sim15)\times10^5\text{mm}\cdot\text{r}/\text{min}$ 时为高速加工。

⑤ 从主轴和刀具的动力学角度来定义,它取决于刀具振动的主模式频率,在ANSI/ASME标准中用来进行切削性能测试时选择转速范围。

德国Darmstadt工业大学生产工程与机床研究所(PTW)在20世纪80年代对钢、铸铁、镍基合金、钛基合金、铝合金、铜合金和纤维增强塑料等材料分别进行高速切削实验,得到上述7种材料适合于高速切削的速度范围,其研究结果得到了国际上的公认,至今仍是大家认可的高速切削速度。图1-2为他们由7种材料的实验结果得出的高速切削速度示意图,浅色为传统切削速度范围,深色是高速切削速度范围。

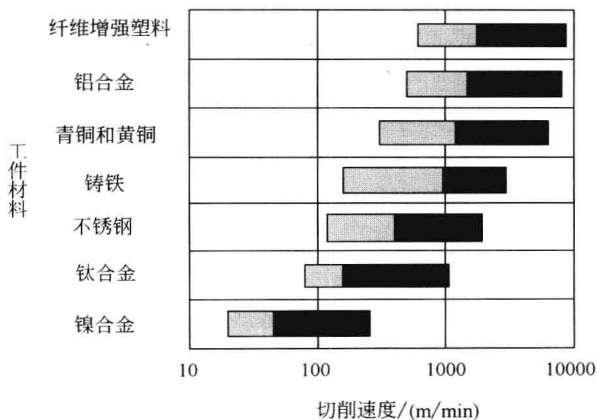


图 1-2 不同材料的高速加工范围

□ 过渡区域；■ 高速加工区域

从图1-2中可以看出,当切削速度对钢材达到380m/min以上、铸铁700m/min以上、铜材1000m/min以上、铝材1100m/min以上、塑料1150m/min以上,被定为是合适的高速加工范围。显然,这些切削速度范围比通常所使用的切削速度要高得多。这个实验结果不仅给出了不同材料的最佳高速切削速度范围,也为合理划分高速切削区提供了实验依据。

高速加工与普通加工有很大的不同,见表1-1。

一般认为高速加工是指采用比常规切削速度和进给速度高得多(一般要大于5~10倍)的速度来进行高效加工的先进制造技术。HSM一般采用高的主轴转速、高的进给速度、较小的切削深度,其切削速度伴随刀具材料的超硬耐磨性的发展而不断提高,现阶段一般把主轴转速在10000~20000r/min、进给速度在30~100m/min范围的切削归纳为高速加工。

表 1-1 高速加工与普通数控加工的区别

项 目	普通数控加工	高 速 加 工
切削速度	一般不超过 6000r/min	约 10000r/min 以上
进给速度	一般不超过 10m/min	30~100m/min
加工余量	小于刀具半径	(0.1~0.2) 刀具半径
切削力	大	小
运动传递方式	轴、齿轮	电主轴
刀具材料	普通刀具材料	超硬刀具材料
加工质量	一般	较好 ($Ra0.4$)
加工时间	长	短
机床	普通机床 (国产)	高速切削机床 (进口)
机床价格	较低	较高
工艺流程	粗、半精、精、清根加工	粗、精加工

1.1.2 高速切削加工的特点

(1) 减少机加工时间，获得高的加工效率

高速加工提高了切削速度和进给速度，使单位时间内金属材料的切除率增大，减少了加工时间。对于精加工，高速加工的材料去除速度是常规加工的 4 倍以上，粗加工的材料去除率也可达到 $45\text{cm}^3/\text{min}$ 左右。此外，高速加工一般只需要进行粗、精加工，半精加工和清根加工可以省略，简化了工艺方案，机加工设备种类也有所减少。常规铣加工不能加工淬火后的材料，淬火变形必须人工修整或通过放电加工解决。高速加工可以直接加工淬火后的材料，省去了放电加工工序，消除了放电加工所带来的表面硬化问题，减少或免除了人工光整加工。由于高速加工采用极小的切削深度和小的切削宽度，所以可使用更小的刀具加工细小的凹圆角和精细结构，从而免除了其他加工工序，减少了钳工的修整工作。在模具制造工业，高速加工为修模工作带来极大方便。以前只能由放电加工解决的修模工作现在可以由高速加工利用原有的 NC 程序来准确无误地直接完成，不需要再编程。

(2) 获得高的加工精度和表面质量

高速加工可以得到高质量的加工表面。由于高速加工采用极小的切削深度和小的切削宽度，因此可以得到高质量的加工表面，节省人工修光工序和放电加工工序。

① 高速加工时，切削深度很小，对同样的切削层，表现为切削力下降，工件变形减小。

② 由于高速加工的切削速度高，对工件切削时间短，大量的切削热来不及传导就随切屑排出，切削温度下降；工件的热变形小，仅受一次热冲击，工件表面损伤轻，使得表面粗糙度降低，可保持良好的表面力学性能，呈压应力状态。

③ 高速加工时与主轴转速相关的激振频率远远高于工艺系统的固有频率，对切削加工的不利因素如振动等被削弱。

(3) 高速加工可以加工薄壁零件

由于高速加工采用极小的切削深度和切削宽度，因此切削力较小，可以加工细弱零件和薄壁零件。此外，高速加工时随着切削速度的提高，切削剪切区温度升高，工件材料软化，材料屈服强度降低，使得单位时间切削力下降。因此高速加工在航空工业中可成功切削厚度为 0.1mm 的铝薄壁件。

(4) 加工环境友好

在一些精密加工中，如模具制造中，型面加工多采用电加工，由于电加工会产生一些有害气体和烟雾，生产效率也不高，这同目前低能耗、与环境协调的绿色加工的发展方向不一

致,用高速铣削加工来代替特种加工是模具制造业的一个发展方向。HSM 可以获得较好的表面质量(R_a 可达到 0.4),这不仅可以省去电火花加工后的磨削、抛光等工序,而且在工件表面上可形成压应力,提高模具的寿命。

1.1.3 高速切削加工的应用

高速加工是一项高新技术,它以高效率、高精度和高表面质量为基本特征,在汽车工业、航空航天、模具制造和仪器仪表等行业中获得了越来越多的应用,并取得了重大的技术经济效益,是当代先进制造技术的重要组成部分。

(1) 航空工业

航空工业是高速切削加工的主要应用行业,飞机上的一些零件为了提高可靠性和降低成本,采用整体制造法,将原来由多个铆接或焊接而成的部件改成整体实心材料制造。有的整体构件的材料去除率高达 90%,而其中许多零件为薄壁、细筋结构,厚度甚至不到 1mm,由于刚度差,不允许有很大背吃刀量,因此高速切削成为此类零件加工工艺的唯一选择。采用高速切削可大大提高生产效率,降低成本。图 1-3 为飞机框体类零件的高速加工。

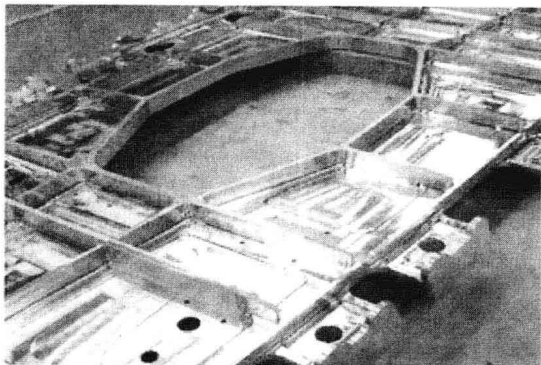


图 1-3 飞机框体类零件的高速加工

此外,对于飞机材料中的难加工材料(如钛合金、高温合金及高强度合金),它们的切削加工性能差,普通加工只能采用低速切削,制造和应用都受到限制,采用高速加工后,切削力减小,切削热大部分都被切屑带走,工件温度不高,制造难度下降。

(2) 汽车工业

当前汽车产品的样式多样化,汽车产品的换型越来越快,产品纷繁多样化,由原来单一工件的大批量生产变成了多种工件的较小批量叠加成的大批量生产。因此,汽车制造业占统治地位的组合机床自动线虽然效率高,但却无法满足汽车行业快速更新的现实。而以高速加工技术为基础的敏捷柔性自动生产线被越来越多的国内外汽车生产厂家所采用,国外如美国 GM 发动机总成工厂的高度柔性自动生产线、福特汽车公司和 Ingersoll 机床公司合作研制以 HVM800 卧式加工中心为主的汽车生产线。大批量生产的汽车行业面临产品快速更新换代而形成的多品种生产线来代替组合机床生产线,高速加工中心则将柔性生产的生产速度提升到组合机床生产线水平。图 1-4 为发动机零件的高速加工。

(3) 模具工业

在模具行业,高速切削采用的是典型的高转速、高进给、低切削量,可以取代传统的磨削加工、电火花加工以及光整加工,减少了加工时间,缩短了工艺流程,对提高生产率具有极大的优势,可使模具的制造周期缩短 30%~80%,如图 1-5 所示。

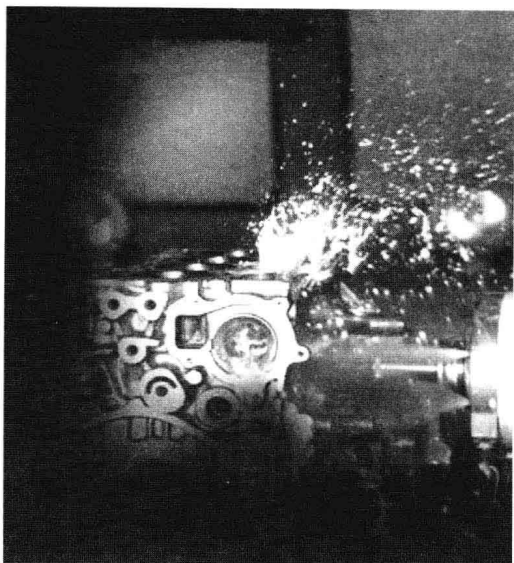


图 1-4 高速加工中心在加工发动机零件

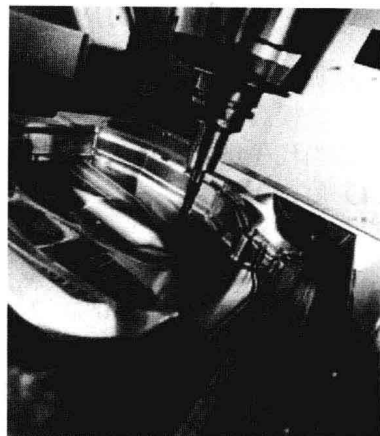
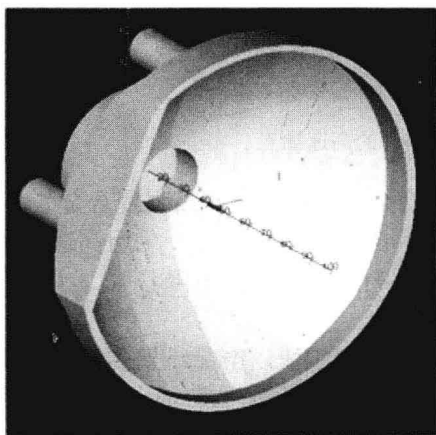


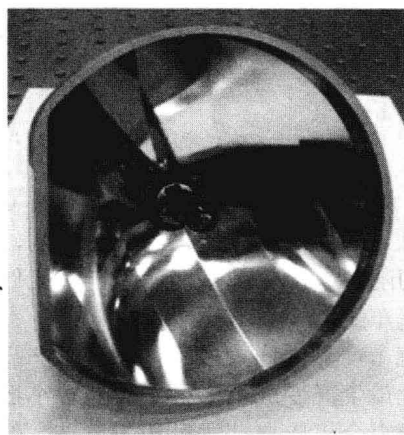
图 1-5 模具的高速加工

(4) 精密制造业

在精密机械或光学仪器的制造中，尺寸精度、加工稳定性等往往要求较高。采用高速加工时激振频率很高，工作平稳，容易获得较高的尺寸精度。图 1-6 为汽车远光灯反光杯手板的数控高速加工。



(a)



(b)

图 1-6 汽车远光灯反光杯手板的数控高速加工

1.2 高速切削加工的关键技术

高速加工所涉及的技术领域较广，它是在机床结构及材料、高速主轴系统、快速进给系统、高性能 CNC 控制系统、机床设计制造技术、高性能刀夹系统、高性能刀具材料及刀具设计制造技术、高效高精度测试技术、高速切削加工理论、高速切削加工工艺等诸多相关硬件

和软件技术均得到充分发展的基础上综合而成的。

德国 Darmstadt 工业大学生产工程与机床研究所的 H. Schulz 教授对高速切削技术进行了多年的深入研究,他对高速切削所包含的技术给出如图 1-7 所示的框图。下面仅介绍高速加工中的关键技术。

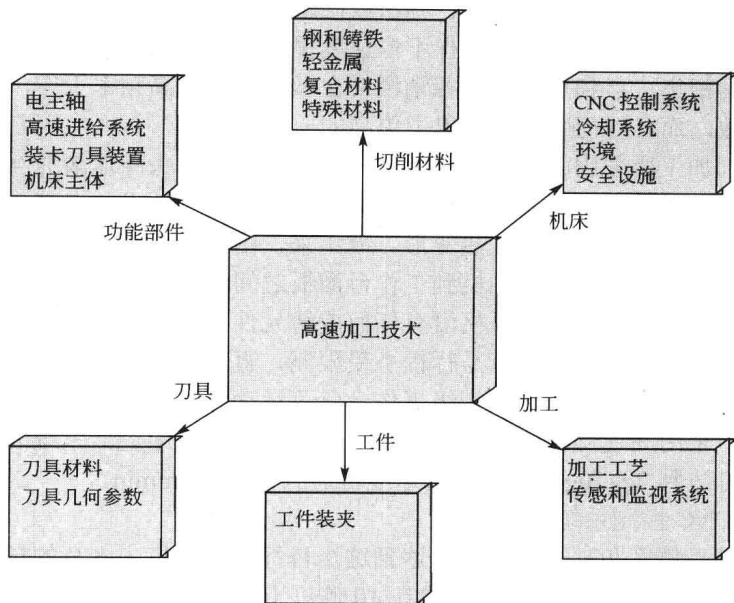


图 1-7 高速加工技术框图

1.2.1 高速切削机理

切削机理主要研究切削过程中的物理现象,如切屑的形成过程、切削力、切削温度产生和分布规律以及刀具磨损等。对高速加工中的各种物理现象以及被加工材料的切削加工原理依然是当今高速切削的研究重点。

1.2.2 高速切削机床

(1) 高速主轴系统

高速主轴系统是高速切削技术最关键的技术之一。高速主轴系统不仅要提供高的转速,而且要有高的同轴度、高的传递力矩和传动功率、良好的散热或冷却装置,并具有动平衡精度。主轴部件的设计要保证具有良好的动态特性和热态特性,具有极高的角加减速速度来保证在极短的时间内实现升降速和在指定位置上准停。

高速主轴为了满足上述要求,结构上几乎全部是交流伺服电机直接驱动的内装电机集成结构,采用集成化主轴结构由于减少了传动部件,具有更高的可靠性。高速主轴要求在极短时间内实现升降速,在指定位置快速停靠,这要求主轴具有很高的角加减速,为此,将主轴电机和主轴合二为一,制成电主轴,实现无中间环节的直接传动。

对主轴结构、材料、支撑轴承的开发和研究;主轴系统动态特性和热态性能的研究;主轴端部与刀具连接技术的研究,以及系统润滑与冷却技术的研究等是当前高速切削研究的焦点之一。

(2) 高速进给系统

高速切削是高切削速度、高进给率和小切削量的结合,进给速度为传统的10倍以上,这首先要要求机床的驱动系统和控制系统之间数据传输要快,因为只凭控制系统处理数据的能力是不够的,机床要具有普通机床10倍以上的进给速度,需要驱动系统处理数据能力快百倍以上。普通机床的数据传输均使用串口、并口或同轴电缆,它们的传输速率远远达不到这个要求,所以有些机床采用光纤传输,这样不但速度提高,稳定性也大幅度提高。此外,高速加工程序由于数据密集,点到点之间,各轴经常在微距状态下高频率工作,这不仅要求伺服系统反应极其灵敏,而且对伺服电机提出了更高的要求。

目前高速切削加工所采用的进给系统通常采用大导程、多头高速滚珠丝杠,滚珠采用小直径氮化硅陶瓷球,以减少离心力和陀螺力矩;采用空心强冷技术,来减少高速滚珠丝杠运转时由于摩擦产生温升而造成的丝杠热变形。近年来,由于用直线电机驱动的高速进给系统的出现,这种进给方式取消了从电动机到工作台溜板之间的一切中间机械传动环节,实现了机床进给系统的零传动。由于直线电机没有任何旋转元件,不受离心力的作用,可大大提高进给速度。直线电机的另一个大优点是行程不受限制,直线电机的次级是一段一段连续铺设在机床的床身上的,次级铺到哪里,初级工作台就可运动到哪里,而且对整个进给系统的刚度没有任何影响。采用高速丝杠或直线电机,能够大大提高机床进给系统的快速响应,直线电机最高加速度可达到 $2g\sim 10g$,最大进给速度可达到 $60\sim 200\text{m/min}$ 。

(3) 高性能 CNC 控制系统

高速加工追求高精度和高光洁度,要达到这个目标,除了机床本身的精度之外,还要求NC程序的精度要比普通加工高很多,一般在10倍以上。大家都知道,在计算机辅助制造中,CAM软件一般采用点逼近法来加工圆弧、样条曲线等非直线外形,精度要求越高,就要求越多的点来逼近,这样产生的NC程序往往多达十几兆至几十兆。这就要求机床控制系统有非常高的数据处理能力,要在1s内处理5000~10000条数据,这样的数据量工控机是望尘莫及的,所以有的机床在转弯位和尖角位经常停顿甚至死机。因此有些厂商便采用专用的软件来优化数据,但数据经过优化之后,加工的速度提高了,但精度降低了,同时,产品上该是尖角的地方也变成了圆角,因为尖角的数据往往最容易被优化掉。

此外,要保证具有高的插补精度,系统要有前馈和大数目超前程序段预处理功能,具有Nurbs插补、回冲加速、平滑插补等轮廓控制技术。

1.2.3 高速加工刀具

刀具技术和机床制造,从一开始就相辅相成共同发展,可以毫不夸张地说,只有刀具技术和机床技术的不断发展,才推进了高速切削技术。高速加工必须使用硬质合金刀具,虽然其成本较高,但相对加工效率这些生产成本是九牛一毛,并且能节省电火花加工时间、电费、人工费,以及铜料、火花机的用量。此外,硬质合金刀具在加工时如果发生意外只会使刀具断掉,而使用白钢刀,刀具不会断,力直接冲上主轴,对主轴轴承造成严重损坏,因此高速机床规定要使用硬质合金刀具。

高速切削刀具应具有良好的力学性能和热稳定性,即具有良好的抗冲击、耐磨损和抗热疲劳的特性。除使用硬质合金材质外,还普遍采用刀具涂层技术,涂层材料为氮化钛(TiN)、氮化铝钛(TiAlN)等。涂层技术由单一涂层发展为多层、多种涂层材料的涂层。这一技术已成为提高高速切削能力的关键技术之一。

选择切削参数时,针对圆刀片和球头铣刀,应注意有效直径的概念;高速铣削刀具应按动平衡设计制造,刀具的前角比常规刀具的前角要小,后角略大;主副切削刃连接处应修圆

或导角,以增大刀尖角,防止刀尖处热磨损;应加大刀尖附近的切削刃长度和刀具材料体积,以提高刀具刚性;刀具材料与切削材料应具有较小的化学亲和力;高速铣削大多采用硬质合金刀具;在保证安全和满足加工要求的条件下,刀具悬伸尽可能短,刀体中央韧性要好;刀柄要比刀具直径粗壮,连接柄呈倒锥状,以增加其刚性;球头立铣刀要考虑有效切削长度,刃口要尽量短。

1.2.4 高速加工工艺及编程

(1) 高速加工工艺

高速加工工艺也是成功进行高速加工的关键技术之一,它主要研究加工轨迹的优化;切削方法和切削参数的选择;高速加工知识库及工艺数据库;CAM/CAD。

① 切削方法和切削参数的选择和优化。在高速切削中,必须对切削方法和切削参数进行优化选择。其中包括优化切削刀具的控制,如刀具接近工件的方向、接近的角度、移动的方向和切削方式等。

② 对各种不同材料的切削方法。切削铝、铜等轻金属,与切削钢和铸铁以及切削难加工的合金钢,由于切削机理不同,除了刀具材料和刀具几何参数的选择外,在切削过程中还要采取不同的切削策略才能得到较好的切削效果。根据不同材料来研究高速切削工艺方法,也是高速切削工艺技术研究的重要内容之一。

③ 刀具材料和刀具几何参数的选择。在研究高速切削工艺中,切削方法和技术必须紧密结合刀具材料和刀具的几何参数的选择综合进行。只有高速机床和刀具而没有良好的工艺技术作指导,不能充分发挥高速加工的优势。

(2) 高速加工编程

除刀具和加工参数根据具体情况选择外,加工方法的选择和采用的编程策略就成为关键。一名合格的CAD/CAM编程员应对零件的几何结构有一个正确的理解,并对各种刀具的使用有深入了解,具备理想工序安排以及合理刀具轨迹设计的知识和概念。首先要注意加工方法的安全性和有效性;其次要尽一切可能保证刀具轨迹光滑平稳,这会直接影响加工质量和机床主轴等零件的寿命;最后要尽量使刀具载荷均匀(即等余量加工),这会直接影响刀具的寿命和生产成本。

1.2.5 高速加工测试技术

高速加工是在密封的机床工作区间里进行的,在零件加工过程中,操作人员很难直接进行观察、操作和控制,因此机床本身有必要对加工情况、刀具的磨损状态等进行监控,实时地对加工过程在线检测,这样才能保证产品质量,提高加工效率,延长刀具使用寿命,确保人员和设备的安全。高速加工的测试技术包括传感技术、信号分析和处理等技术。

1.3 小 结

本章介绍了高速加工的基本概念,技术特点、主要应用以及关键技术。读者学习后,将对高速加工有一入门性的认识,为后面的高速加工技术和加工应用打下基础。