

UG NX6.0

数控高速加工技术与典型实例

高长银 马龙梅 赵 汶 编著



化学工业出版社

UG NX 6.0

数控高速加工技术与典型实例

高长银 马龙梅 赵 汶 编著



化学工业出版社

· 北 京 ·

图书在版编目 (CIP) 数据

UG NX6.0 数控高速加工技术与典型实例 / 高长银, 马龙梅, 赵汶编著. —北京: 化学工业出版社, 2011.1

ISBN 978-7-122-09440-7

I. U… II. ①高… ②马… ③赵… III. 数控机床-加工-计算机辅助设计-应用软件, UG NX 6.0 IV. TG659-39

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2010) 第 172031 号

责任编辑: 王 烨

文字编辑: 张燕文

责任校对: 周梦华

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 15 字数 442 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: 39.00 元

版权所有 违者必究

前 言

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，它突出的优点是：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。随着时间的推移，高速加工势必得到广泛深入的应用。本书通过常用技术以及典型实例的方式，讲解了 UG NX6.0 中文版高速数控加工编程的方法与应用，使初中级读者快速上手和有效提高。

全书内容共为 3 篇共 10 章，具体安排如下。

第 1 章~第 4 章为高速加工基础，重点介绍了高速加工的基本概念、高速加工机床、高速加工刀具以及数控高速加工的编程与策略。读者通过学习，可以对高速加工的特点和工艺有一大致的了解和熟悉。

第 5 章~第 8 章介绍 UG NX6.0 数控高速加工的常用技术，包括 UG 用户界面、平面铣高速加工技术、型腔铣高速加工技术、轮廓铣高速加工技术等。读者学习后将打下扎实的技术基础，为后面的实例学习做准备。

第 9 章和第 10 章为高速加工实例，从专业的层面，细分铣削、车削、模具以及线切割加工领域，循序渐进地安排了入门实例、提高实例，方便读者快速上手。读者通过学习，可领会、掌握各类高速数控加工的方法、技术特点与应用技巧，实现从入门到精通。

归纳起来，本书主要特点如下。

① 专业性、技术性和实践性强。本书通过典型工程实例，详细解析了铣削、车削、模具和线切割高速加工的流程、方法和应用。

② 由浅入深、体系合理。本书将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，可以提高读者的学习效率。

③ 讲解方式易学。本书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，帮助读者理解、巩固技术要点和精髓，可实现触类旁通、举一反三的效果。

本书面向高速加工的初、中级用户，是学习 UG 高速加工的必备宝典。它既可作为高职院校机械类相关专业教材，也是工厂和企业数控加工人员的理想参考书。

本书由高长银、马龙梅、赵汶编著。另外，赵程、李万全、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还得到了河南省科技厅项目“基于高速加工 CNC 编程技术研究”的支持，在此向他们表示感谢！

由于时间有限，书中难免会有不足之处，欢迎广大读者及业内人士批评指正。

编著者

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 高速加工对刀具材料的要求	24
1.1 高速切削加工的特点和应用	2	3.1.2 高速加工对刀具几何参数的要求	24
1.1.1 高速切削加工的定义	2	3.1.3 高速加工对刀具结构的要求	25
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	25
1.1.3 高速切削加工的应用	5	3.2.1 常用高速切削刀具材料	25
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	28
1.2.1 高速切削机理	7	3.3 高速切削加工刀具的结构	30
1.2.2 高速切削机床	7	3.3.1 刀具-刀柄接口技术	30
1.2.3 高速加工刀具	8	3.3.2 刀具-机床接口技术	30
1.2.4 高速加工工艺及编程	8	3.4 本章小结	33
1.2.5 高速加工测试技术	9		
1.3 本章小结	9	第 4 章 数控高速加工的工艺参数和规范	34
第 2 章 高速加工机床	10	4.1 数控高速加工的工艺特点	34
2.1 高速加工机床概述	10	4.1.1 高速加工的原则及其加工路径的特点	34
2.1.1 高速加工机床的基本要求	10	4.1.2 高速加工 CAM 软件的特点	35
2.1.2 国内外高速加工机床的发展	11	4.2 数控高速加工的切削参数	36
2.2 高速加工机床结构	13	4.2.1 切削用量选择的原则	36
2.2.1 高速主轴系统	13	4.2.2 典型材料的切削用量	38
2.2.2 高速进给系统	16	4.3 高速加工路径规划	41
2.2.3 高速数控系统	19	4.3.1 高速加工进退刀模式	41
2.2.4 高速加工监测系统	19	4.3.2 高速加工走刀模式	41
2.3 典型的高速加工机床(中心)	20	4.3.3 高速加工移刀模式	42
2.3.1 卧式高速加工中心	20	4.3.4 高速加工拐角模式	43
2.3.2 立式高速加工中心	21	4.4 数控高速加工的编程策略	43
2.3.3 龙门高速加工中心	22	4.4.1 高速加工粗加工编程策略	43
2.4 本章小结	23	4.4.2 高速加工半精加工编程策略	46
第 3 章 高速切削加工刀具	24	4.4.3 高速加工精加工编程策略	47
3.1 高速切削加工对刀具的要求	24	4.5 本章小结	49

第 2 篇 UG NX6.0 高速加工技术

第 5 章 UG NX6.0 高速数控加工基础	51	5.1.3 UG NX6.0 数控加工的一般流程	55
5.1 UG NX 6.0 加工入门	51	5.2 UG NX6.0 数控加工父级组	57
5.1.1 UG NX6.0 数控加工功能	51	5.2.1 创建程序组	57
5.1.2 UG NX6.0 数控加工操作界面与预设置	53	5.2.2 创建刀具组	57
		5.2.3 创建几何组	60

5.2.4 创建方法组	61	第7章 UG NX6.0 型腔铣高速加工技术	115
5.3 创建操作	64	7.1 型腔铣高速加工概述	115
5.3.1 操作的概念	64	7.1.1 型腔铣的加工原理	115
5.3.2 操作创建方法	64	7.1.2 型腔铣加工的特点和应用	115
5.4 管理刀具路径	65	7.1.3 型腔铣与平面铣区别	115
5.4.1 刀具路径生成	65	7.2 型腔铣加工几何体	116
5.4.2 刀具路径验证	66	7.2.1 部件几何体	116
5.5 UG NX6.0 高速铣削加工的策略	67	7.2.2 毛坯几何体	117
5.6 本章小结	68	7.2.3 检查几何体	117
第6章 UG NX6.0 平面铣高速加工技术	69	7.2.4 切削区域	117
6.1 平面铣高速加工概述	69	7.2.5 修剪边界	118
6.1.1 平面铣简介	69	7.3 型腔铣高速加工操作参数	118
6.1.2 平面高速铣加工选项	69	7.3.1 切削层	118
6.2 平面铣加工几何体	69	7.3.2 切削参数	121
6.2.1 铣削边界的类型	70	7.4 等高轮廓铣高速加工	125
6.2.2 创建铣削边界	71	7.4.1 等高轮廓铣加工特点	125
6.3 平面铣高速加工操作参数	76	7.4.2 等高轮廓铣加工操作参数	126
6.3.1 切削模式	76	7.5 本章小结	130
6.3.2 步距	80	第8章 UG NX6.0 曲面轮廓铣高速加工技术	131
6.3.3 切削层	82	8.1 曲面轮廓铣加工概述	131
6.3.4 切削参数	86	8.1.1 固定轴曲面轮廓铣加工原理	131
6.3.5 非切削移动	96	8.1.2 可变轴曲面轮廓铣介绍	131
6.3.6 进给和速度	107	8.2 曲面轮廓铣驱动方法和矢量	132
6.3.7 机床控制	107	8.2.1 驱动方法	132
6.4 面铣高速加工	109	8.2.2 投影矢量	132
6.4.1 面铣加工特点	110	8.2.3 刀轴矢量	133
6.4.2 面铣加工类型	110	8.3 曲面轮廓铣操作参数	134
6.4.3 面铣加工几何体	110	8.3.1 切削参数	134
6.4.4 面铣加工操作参数	110	8.3.2 非切削移动	144
6.5 本章小结	114	8.4 本章小结	154

第3篇 UG NX6.0 高速加工实例

第9章 UG NX6.0 平面薄壁零件铣削加工

实例

9.1 入门实例——平面凸轮高速铣削加工	156
9.1.1 实例描述	156
9.1.2 加工方法分析	156
9.1.3 加工流程与所用知识点	156
9.1.4 具体操作步骤	158
9.1.5 实例小结	172

9.2 提高实例——槽腔高速铣削加工	173
9.2.1 实例描述	173
9.2.2 加工方法分析	173
9.2.3 加工流程与所用知识点	173
9.2.4 具体操作步骤	174
9.2.5 实例小结	190

第10章 UG NX6.0 曲面高速铣削加工实例

10.1 入门实例——玩具滑梯曲面高速铣削加工	191
-------------------------	-----

10.1.1	实例描述·····	191	10.2.1	实例描述·····	209
10.1.2	加工方法分析·····	191	10.2.2	加工方法分析·····	209
10.1.3	加工流程与所用知识点·····	191	10.2.3	加工流程与所用知识点·····	210
10.1.4	具体操作步骤·····	193	10.2.4	具体操作步骤·····	211
10.1.5	实例小结·····	209	10.2.5	实例小结·····	233
10.2	提高实例——灯罩曲面高速铣削加工·····	209	参考文献·····		234

高速加工概述 第1章

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 数控高速加工的工艺参数与规范

第1章 高速加工概述

本章将简要介绍高速加工的定义、特点以及高速加工的关键技术等内容，以使读者对高速加工技术有一基本的了解。

1.1 高速切削加工的特点和应用

1.1.1 高速切削加工的定义

高速切削加工（High Speed Cutting, HSC）也称为高速加工（High Speed Machining, HSM），其概念早在 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；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。

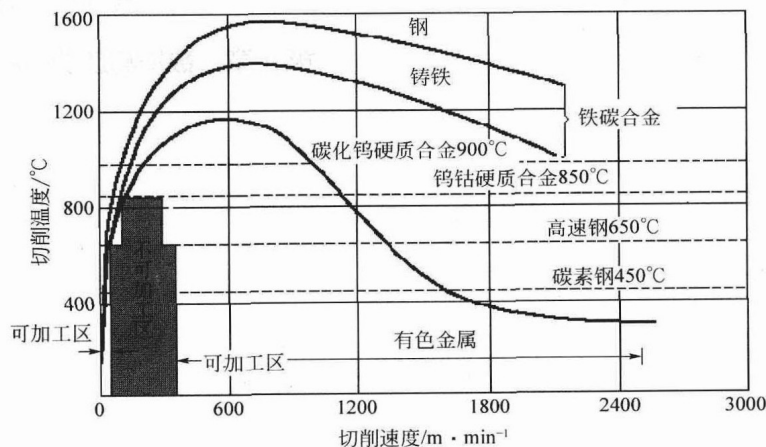


图 1-1 Salomon 高速切削加工示意

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，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概念，是相对于常规加工而言的。国内外对高速加工有不同的描述，分别介绍如下。

① 国际生产工程学院（CIRP）切削委员会在 1978 年提出，线速度在 $500\sim 7000\text{m/min}$ 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 $5\sim 10$ 倍的切削加工为高速加工。

③ 对铣削加工而言，从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 值来定义高速加工， dn 值在 $(5\sim 15)\times 10^5\text{mm}\cdot\text{r/min}$ 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。

德国的 Darmstadt 工业大学生产工程与机床研究所（PTW）在 20 世纪 80 年代对不锈钢、铸铁、镍合金、钛合金、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，得到上述七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，至今仍是被广泛认可的高速切削速度。图 1-2 所示为他们以七种材料实验结果表示的高速切削速度示意。

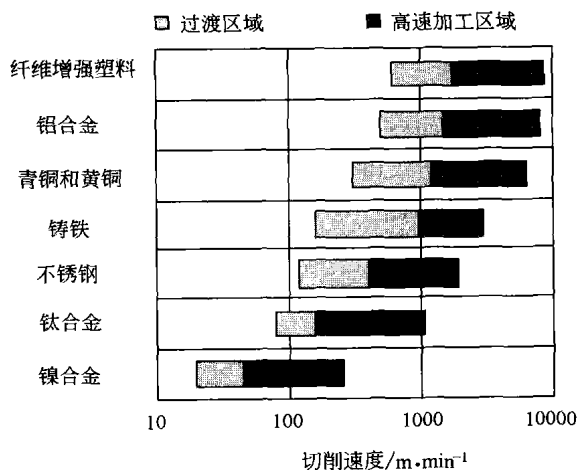


图 1-2 不同材料的高速加工范围

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。

高速加工与普通数控加工有很大的不同，见表 1-1。

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	$30\sim 100\text{m/min}$
加工余量	小于刀具半径	$(0.1\sim 0.2)$ 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

续表

项 目	普通数控加工	高 速 加 工
加工质量	一般	较好 ($Ra0.4\mu m$)
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

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30~100r/min范围的切削归为高速加工。

1.1.2 高速切削加工的特点

(1) 减少机加工时间,加工效率高

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。常规铣削加工不能加工淬火后的材料,淬火变形必须经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) 加工精度和表面质量高

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,就随切屑导出,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) 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(可达到 $Ra0.4\mu m$),这不仅可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,为了提高可靠性和降低成本,飞机上的一些零件采用整体制造法,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,因此高速加工成为此类零件加工工艺的唯一选择。采用高速加工可大大提高生产效率,降低成本。图1-3所示为飞机框体类零件的高速加工。

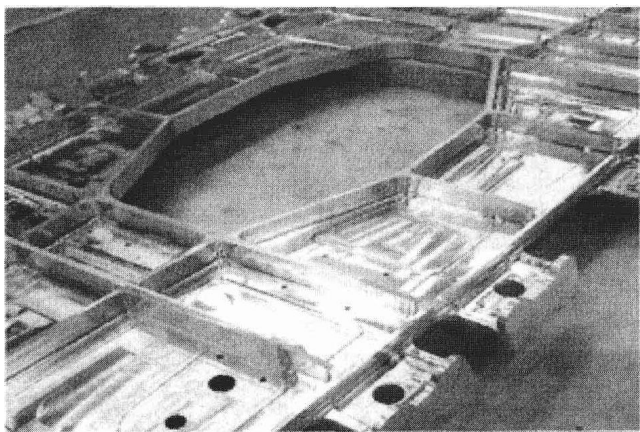


图 1-3 飞机框体类零件的高速加工

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,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的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生产线虽然效率高,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制造厂家所采用,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所示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,减少加工时间,缩短工艺流程,在提高生产率方面具有极大的优势,可使模具的制造周期缩短30%~80%,如图1-5所示。

(4) 精密制造业

在精密机械或光学仪器的制造中,对尺寸精度、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所示为汽车远光灯反光杯手板的

数控高速加工。

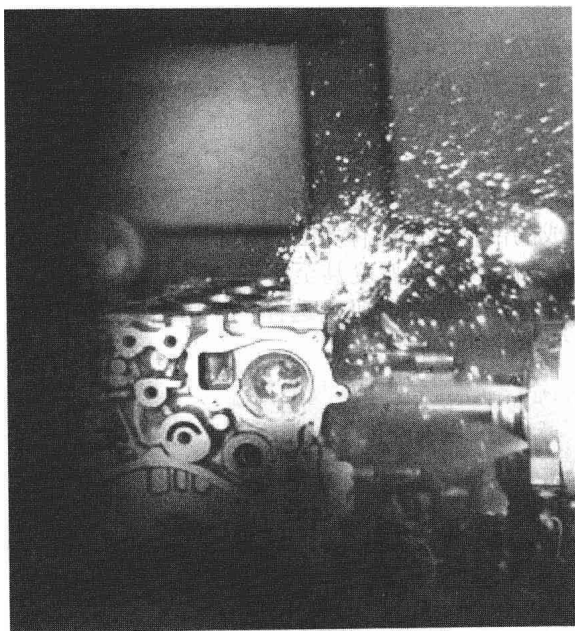


图 1-4 高速加工中心在加工发动机零件

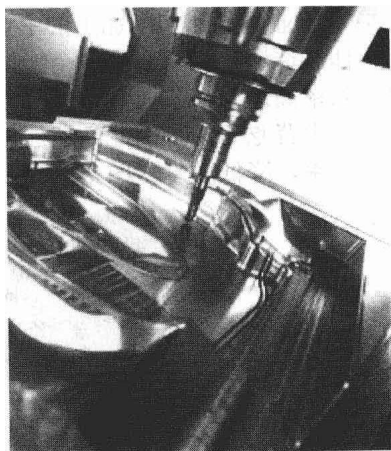


图 1-5 模具的高速加工

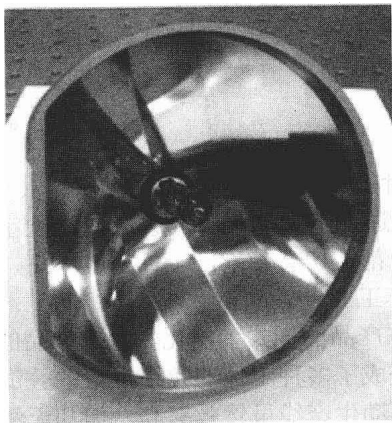
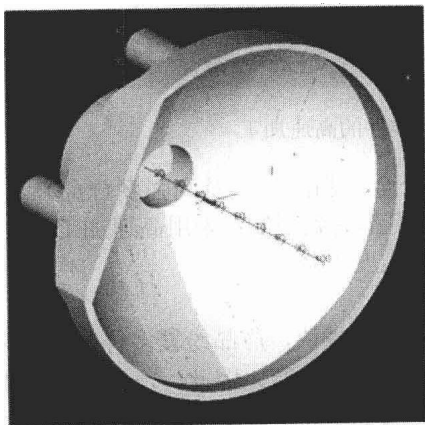


图 1-6 汽车远光灯反光杯手板的数控高速加工

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、高速进给系统、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（PTW）的舒尔兹教授（H. Schulz）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了如图 1-7 所示的框图。下面仅介绍高速加工中的关键技术。

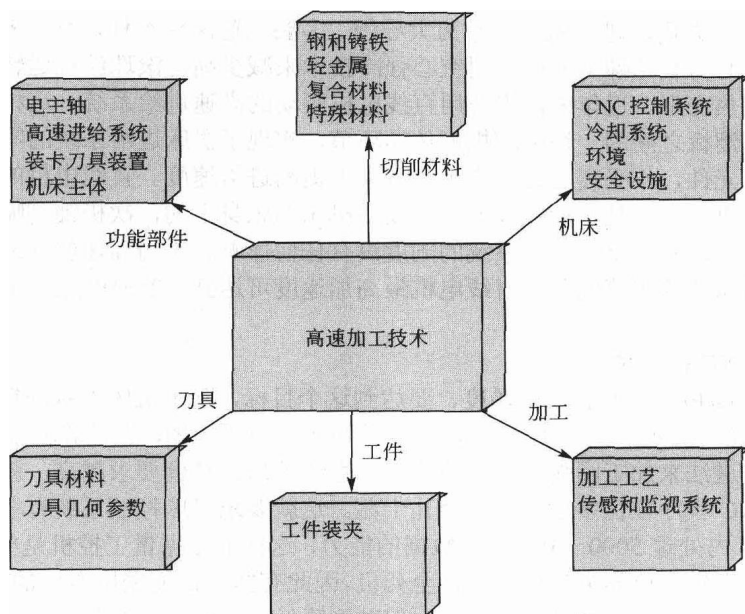


图 1-7 高速加工技术框图

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。高速加工中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和热态特性，具有极高的角加、减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、减速度，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研究，主轴端部与刀具连接技术研究、系统润滑与冷却技术的研究等是当前高速加工研究的焦点。

(2) 高速进给系统

高速加工是高切削速度、高进给率和小切削量的结合，进给速度为传统的 10 倍以上。这首先要求机床的驱动系统和控制系统之间数据传输要快，因为只有控制系统处理数据的能力强是不够的，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，也对伺服电机提出了更高的要求。

目前高速加工所采用的进给系统通常为大导程、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,出现用直线电机驱动的高速进给系统,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。直线电机的另一优点是行程不受限制,直线电机的次极是一段一段连续铺设在机床的床身上的,次极铺到哪里,初极工作台就可以运动到哪里,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 $(2\sim 10)g$,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低表面粗糙度,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。众所周知,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 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,要具有在 1s 内处理 5000~10000 条数据的能力,这样的数据量工控机是望尘莫及的,所以经常看到有的机床在转弯位和尖角位停顿甚至死机。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,加工的速度是上去了,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,才推进了高速加工技术。高速加工必须使用硬质合金刀具,很多客户即时反应是成本贵,但相对加工效率这些生产成本是微乎其微的。此外,硬质合金刀具在加工时万一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伤害。刀具价值与主轴价值比较,自然不难理解为何高速机床规定使用硬质合金刀具。

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,来增大刀尖角,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,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,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

在高速加工中,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合金钢相比,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加工工艺方法,也是高速加工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技术中,切削方法和技术必须紧密结合刀具材料和刀具几何参数的选择综合进行。只有高速机床和刀具而沒有良好的工艺技术作指导,就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了关键。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,及对各种刀具使用有深入了解,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,因此有必要对机床本身加工情况、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 本章小结

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。读者通过学习,可以对高速加工有一个入门性的认识,为读者理解后面高速加工技术和加工应用打下基础。

第2章 高速加工机床

高速加工机床是高速加工载体,没有高速加工机床无法实现高速加工。本章将详细介绍高速加工机床的相关知识,包括高速电主轴、高速进给系统、高速数控系统以及各种高速加工机床。

2.1 高速加工机床概述

为了实现高速加工必须采用高柔性的高速数控机床、加工中心,因此高速加工机床是高速数控加工的关键硬件之一。

2.1.1 高速加工机床的基本要求

高速加工机床必须能提供高的切削速度和满足高速切削加工下的一系列功能要求,具体如下。

(1) 高速主轴单元及驱动系统

高速加工机床与普通机床主轴单元的不同之处表现在:主轴转速一般为普通机床主轴转速的5~10倍,机床的最高转速一般都大于10000r/min,有的高达60000~100000r/min;主轴的加、减速度比普通机床高得多,一般比常规数控机床高出一个数量级,达到(1~8)g的加速度,通常只需1~2s即可完成从启动到选定的最高转速(或从最高转速到停止);主轴单元电机功率一般高达20~80kW,以满足高速、高效和重载荷切削的要求。

(2) 高速进给系统和数控伺服驱动系统

在高速加工中,高速机床进给速度及其加、减速度也必须大幅度提高。同时机床空行程运动速度也大大提高。现代高速加工机床进给系统执行机构的运动速度要求达到40~120m/min,进给加速度同样要求达到(1~8)g,为此机床进给驱动系统的设计必须突破一般数控机床中的旋转伺服电机+普通滚珠丝杠的进给传动模式。结构上采用主要措施有如下几项。

① 大幅度减轻进给移动部件的重量,在结构上实现零传动,即直接采用直线电机驱动。

② 采用多头螺纹行星滚珠丝杠代替常规钢球式滚珠丝杠以及采用无间隙直线滚动导轨,实现进给部件的高速移动和快速准确定位。

③ 采用快速反应的伺服驱动CNC控制系统。

(3) 高刚体的床体结构

高速加工机床在高速切削状态下,一方面产生切削力一般作用在床体上,另一方面因速度很高,还会产生较大的附加惯性力作用在床体上,因而机床床身受力较大。设计时要求其具有足够的强度、刚度和高的阻尼特性。此外,高刚性和高阻尼特性也是高速加工中保证质量和提高刀具寿命的必备条件。

(4) 优良的热态特性和动态特性

在高速切削加工条件下,单位时间内其移动部件间因摩擦产生的热量较多,热变性较大,机床结构设计必须保证其在内部热源和外部热源作用下,不能产生较大的热变形。为此,高速切削