

高速加工

数控编程技术

第2版

王卫兵 主编

✓ 高速加工知识点全面、系统。

✓ 分章重点介绍PowerMILL、Cimatron E、UG NX高速加工编程方法及实例。

✓ 赠送实例素材和结果文件。



机械工业出版社
CHINA MACHINE PRESS

高速加工数控编程技术

第 2 版

王卫兵 主编



机械工业出版社

高速加工是在高的主轴旋转速度和高的进给速度下的切削加工,是集高效、优质、低耗于一身的先进切削技术。本书全面地介绍了高速加工编程的相关知识,主要包括:高速数控加工的特点与应用,高速数控加工机床的结构与关键部件,高速数控加工使用的刀具以及刀具接口等工具系统,高速加工数控编程的切削参数选择、路径规划以及粗加工、半精加工、精加工的编程策略,并介绍了 Power-MILL、Cimatron E、UG NX 等 CAD/CAM 软件的高速加工编程策略,以及相关参数设置与高速加工编程实例。

本书可作为从事数控切削加工、CAD/CAM 编程的工程技术人员和高等学校机械类专业师生的高速加工技术学习参考书或教材。

图书在版编目 (CIP) 数据

高速加工数控编程技术/王卫兵主编. —2 版. —北京:机械工业出版社, 2013. 5

ISBN 978-7-111-42229-7

I. ①高… II. ①王… III. ①数控机床-程序设计 IV. ①TG659

中国版本图书馆 CIP 数据核字 (2013) 第 079491 号

机械工业出版社 (北京市百万庄大街 22 号 邮政编码 100037)

策划编辑:周国萍 责任编辑:周国萍 王丹凤

版式设计:霍永明 责任校对:张薇

封面设计:路恩中 责任印制:张楠

北京诚信伟业印刷有限公司印刷

2013 年 6 月第 2 版第 1 次印刷

169mm × 239mm · 16.5 印张 · 317 千字

0001—3 000 册

标准书号: ISBN 978-7-111-42229-7

定价:38.00 元

凡购本书,如有缺页、倒页、脱页,由本社发行部调换

策划编辑:(010): 88379733

电话服务

网络服务

社服务中心:(010) 88361066

教材网:<http://www.cmpedu.com>

销售一部:(010) 68326294

机工官网:<http://www.cmpbook.com>

销售二部:(010) 88379649

机工官博:<http://weibo.com/cmp1952>

读者购书热线:(010) 88379203

封面无防伪标均为盗版

第2版前言

高速加工是集高效、优质、低耗于一身的先进切削技术。它是在高的主轴旋转速度和高的进给速度下的切削加工,能极大地提高加工效率,代表了切削加工的发展方向,并逐渐成为切削加工的主流技术。在制造业的各个领域,如航空、航天、汽车、摩托车、模具、精密机械等的零件加工中有着日益广泛的应用。

高速加工对机床、刀具等都有特别的要求,而数控编程是影响高速机床发挥效益的最关键因素之一。它包含了数控加工工艺设计、CAD/CAM 软件中适合高速加工的选项设置等多方面知识与经验,特别是对刀具路径的规划比普通数控加工提出了更高的要求。

本书第1章介绍高速加工的特点和应用,并简要介绍了国内、国外高速加工技术的发展历程,同时指出了高速加工应用的相关关键技术;第2章介绍高速加工机床的结构特点与组成部分,重点介绍了高速加工机床中的关键部件,即电主轴与进给系统;第3章介绍高速加工所用的刀具系统,包括刀具的材料与涂层,刀柄与刀具的接口及刀柄与机床的接口,并简要介绍了刀具的动平衡;第4章介绍高速加工的编程策略,重点就高速加工编程与普通数控加工编程的不同点进行讲解,介绍了高速加工的切削参数选择与路径规划,以及粗加工、半精加工、精加工应该采用的加工策略;第5~第7章分别介绍了 PowerMILL、Cimatron E、UG NX 这三个典型的应用于高速加工的编程软件,重点介绍软件针对高速加工的编程策略和高速加工相关参数选项的设置,并分别给出一个模具高速加工的编程实例。

本书由王卫兵主编,袁丽青、龙剑奇、梁建军、尚信军、吴丽萍、王涛同志参与本书编写,浙江大学的单岩博士、浙江工业大学的应富强教授提供了指导。另外,本书参考了大量文献与企业技术资料,在此一并表示感谢!

本书可作为从事数控切削加工、CAD/CAM 编程的工程技术人员和高等学校机械类专业师生的高速加工技术学习参考书或教材。

由于编著者的水平所限,书中错误和遗漏之处难免,恳请广大读者不吝指正。

本书所用到的实例素材和结果文件可以从机械工业出版社网站 <http://www.cmpbook.com> 或者卫兵工作室网站 <Http://www.wbcax.com/HSM> 下载。还可以联系策划编辑邮箱 296447532@qq.com 获取。

编著者

目 录

第2版前言

第1章 高速加工概述	1
1.1 高速加工技术的特点	2
1.2 高速加工技术的发展	3
1.3 高速加工的应用	8
1.4 数控高速切削加工的关键技术	10
1.5 高速五轴加工	11
第2章 高速加工机床	15
2.1 高速加工中心的类型	15
2.1.1 高速卧式加工中心	15
2.1.2 高速立式加工中心	16
2.1.3 高速龙门加工中心	17
2.1.4 高速虚拟轴加工中心	18
2.2 电主轴	19
2.2.1 电主轴系统	19
2.2.2 电动机及其驱动	22
2.2.3 轴承	24
2.2.4 润滑	28
2.3 高速进给系统	29
2.3.1 采用滚珠丝杠传动的进给系统	29
2.3.2 直线电动机进给驱动系统	31
2.4 高性能数控系统	34
2.5 高速加工机床的床身结构设计	35
2.6 辅助装置	36
2.7 高速多轴加工中心	37
2.8 高速加工中心的选用	39
2.9 典型高速加工中心	42
第3章 高速加工的刀具系统	54
3.1 刀具	55
3.1.1 刀具结构	55
3.1.2 刀具材料	57
3.1.3 刀具涂层	64

3.1.4 加工中心高速切削刀具材料的合理选用	67
3.2 刀具—刀柄接口技术	69
3.2.1 热缩式刀具夹头	71
3.2.2 静压膨胀式刀具夹头	73
3.2.3 应力锁紧式刀具夹头	75
3.2.4 刀具夹头的比较	77
3.3 刀柄—机床接口技术	79
3.3.1 HSK 工具系统的特点	82
3.3.2 HSK 工具系统的型号规格	83
3.3.3 HSK 工具系统的结构	84
3.4 刀具的动平衡	84
第4章 高速加工编程策略	88
4.1 高速加工与普通数控加工的比较	88
4.1.1 加工模型的比较	88
4.1.2 加工参数的比较	89
4.1.3 加工路径的比较	89
4.2 高速加工的切削参数	90
4.3 高速加工刀具路径的规划	92
4.3.1 刀具路径的高速连接	92
4.3.2 Z 向刀具路径优化	94
4.4 粗加工编程	97
4.4.1 刀具的选择	97
4.4.2 切削方式的选择	97
4.4.3 平滑的过渡	100
4.4.4 刀具路径优化	101
4.5 半精加工编程	103
4.6 精加工编程	105
第5章 PowerMILL 高速加工编程	110
5.1 PowerMILL 的特色	110
5.2 PowerMILL 的粗加工高速加工策略	111
5.2.1 PowerMILL 的粗加工高速加工特色功能	111
5.2.2 三维区域清除加工策略的高速加工参数设置	113
5.3 PowerMILL 精加工的高速加工策略	119
5.3.1 精加工策略	119
5.3.2 精加工策略的高速加工参数设置	122
5.4 刀具路径的切入切出和连接	123
5.5 PowerMILL 高速加工编程实例	128

第 6 章 Cimatron E 高速加工编程	147
6.1 Cimatron E 简介	147
6.2 Cimatron E 数控编程基础	151
6.2.1 Cimatron E 的工艺类型	151
6.2.2 Cimatron E 的编程步骤	153
6.3 Cimatron E 高速铣数控编程	157
6.3.1 体积铣加工	157
6.3.2 曲面铣加工	169
6.4 加工模板的应用	179
6.5 Cimatron E 高速铣编程实例	182
6.5.1 工件分析与工艺规划	182
6.5.2 初始设置	184
6.5.3 粗加工	186
6.5.4 半精加工	189
6.5.5 分型面的精加工	192
6.5.6 型腔的精加工	196
6.5.7 清角加工	198
第 7 章 UG NX 高速加工编程	203
7.1 UG NX CAM 简介	203
7.2 型腔铣的高速加工编程策略	203
7.2.1 摆线设置	204
7.2.2 拐角	205
7.2.3 空间范围	207
7.2.4 更多	209
7.2.5 进、退刀的设置	210
7.2.6 优化进给率	213
7.3 等高轮廓铣的高速加工编程策略	214
7.4 固定轴曲面轮廓铣的高速加工编程策略	217
7.4.1 非切削移动	218
7.4.2 区域铣削驱动	221
7.4.3 清根驱动	225
7.4.4 螺旋式驱动	231
7.4.5 曲面区域驱动	231
7.4.6 流线驱动	234
7.5 UG NX 高速铣加工编程示例	237
参考文献	252

第 1 章 高速加工概述

高速加工也称为高速切削（High Speed Cutting, HSC 或 High Speed Machining, HSM），是近年内迅速崛起的先进制造技术，是指在高的主轴旋转速度和高的进给速度下的切削加工。合理而科学地应用高速加工技术，已经成为提高加工效率、提高加工质量、缩短加工时间的重要途径之一。目前在模具制造、航空航天制造、精密零件加工等领域中已开始应用高速加工技术，并且处于快速发展状态。

高速加工是一个相对概念，到目前为止对高速加工的速度范围尚未作出明确的定义，通常把切削速度、进给速度比常规值高 5 ~ 10 倍以上的加工称为高速加工。因而，不同的材料高速加工速度的范围也不同，铝合金为 1000 ~ 7000m/min，铜为 900 ~ 5000m/min，钢为 500 ~ 2000m/min，灰铸铁为 800 ~ 3000m/min，钛合金为 100 ~ 1000m/min，镍基合金为 50 ~ 500m/min，图 1-1 所示为不同工件材料大致的切削速度范围。

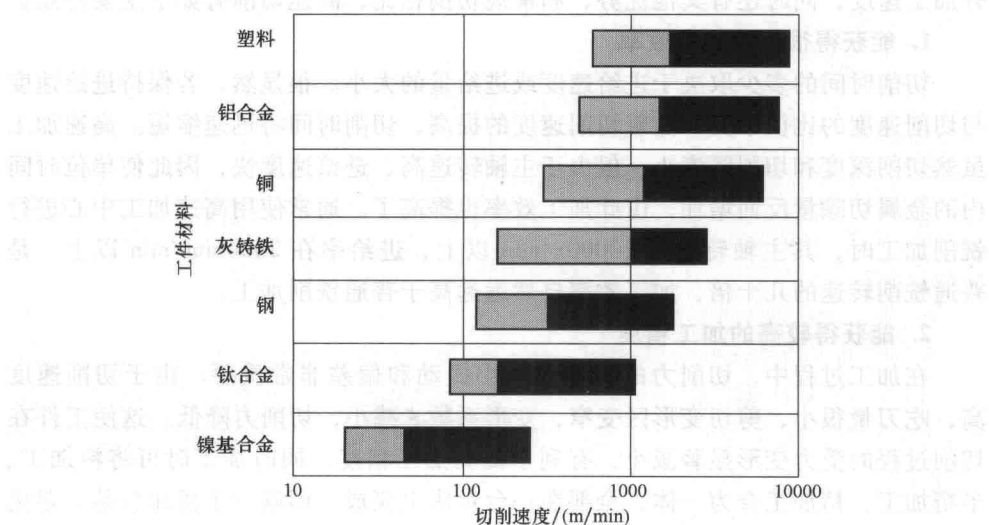


图 1-1 不同工件材料大致的切削速度范围

■ —过渡区域 ■ —高速加工区域

当前的高速加工技术还在进一步发展中，预计铣削加工铝的切削线速度可达到 10000m/min，加工铸铁的可达到 5000m/min，加工普通钢的也将达到 2500m/min；

钻削加工铝的切削速度可达到 30000m/min ，加工铸铁的可达到 20000m/min ，加工普通钢的可达到 10000m/min 。

通常所称的高速加工是指高速铣削加工。事实上也可以简单地以主轴转速来判断是否为高速切削，通常可以认为机床的主轴转速超过 20000r/min 的为高速加工机床，而机床主轴转速超过 10000r/min 的可作为准高速加工机床。

高速加工最突出的特点是高的主轴转速和进给速度；在切削加工中，通常以相对较小的背吃刀量以及切削步距来实现低负荷、高效率的加工。相对于普通切削而言，采用高速切削技术可使单位时间内的材料切除率提高 $3\sim 5$ 倍或更高，同时加工成本可降低 $20\%\sim 50\%$ ，加工精度和加工表面质量可提高 $1\sim 2$ 级，这就是世界各国竞相研究高速切削技术的重要原因。此外，应用高速切削技术还可改变对某些难加工材料的切削加工方式，如直接对淬硬材料工件进行车削或铣削加工，实现“以切代磨”等。

1.1 高速加工技术的特点

由于切削速度的大幅度提高，最明显的效益是提高了切削加工的生产率，采用高速切削技术能使整体加工效率提高几倍乃至几十倍。但是高速加工不只是提升加工速度，同时还有其他优势，和常规切削相比，高速切削有如下主要特点：

1. 能获得很高的加工效率

切削时间的多少取决于进给速度或进给量的大小。很显然，若保持进给速度与切削速度的比值不变，随着切削速度的提高，切削时间将迅速缩短。高速加工虽然切削深度和切削厚度小，但由于主轴转速高、进给速度快，因此使单位时间内的金属切除量反而增加，由此加工效率也提高了。通常使用高速加工中心进行铣削加工时，其主轴转速在 10000r/min 以上，进给率在 2000mm/min 以上，是普通铣削转速的几十倍，加工效率自然远远高于普通铣削加工。

2. 能获得较高的加工精度

在加工过程中，切削力的降低对减小振动和偏差非常重要。由于切削速度高，吃刀量很小，剪切变形区变窄，变形系数 ξ 减小，切削力降低。这使工件在切削过程的受力变形显著减小，有利于提高加工精度。同时加工时可将粗加工、半精加工、精加工合为一体，全部在一台机床上完成，即减少了机床台数，避免由于多次装夹使精度产生误差。特别是对于大型框架件、薄板件、薄壁槽形件的高精度、高效加工，高速铣削是很有效的方法。同时当前使用的高速加工机床以及高速加工刀具都具有相当高的精度。

3. 能获得较高的加工表面完整性

高速切削使传入工件的切削热比例大幅度减少，加工表面受热时间短、切削

温度低, 因此热影响区和热影响程度都较小, 有利于获得低损伤的表面结构状态和保持良好的表面物理性能及力学性能。如常用电火花加工模具型腔, 电火花加工后型腔内表面处于拉应力状态; 而使用高速铣加工后, 零件表面是压应力状态。

4. 能降低加工能耗, 节省制造资源

高速切削时, 单位功率所切削的切削层材料体积显著增大。以美国洛克希德 (Lockheed) 飞机公司的铝合金高速铣削为例, 主轴转速如从 4000r/min 提高到 20000r/min 时, 切削力下降 30%, 而材料切除率增加 3 倍。由于切除率高、能耗低, 工件在制的时间短, 提高了能源和设备的利用率, 降低了切削加工在制造系统资源总量中的比例。由于采用小的切削深度和切削厚度, 刀具每刃的切削量很小, 因而机床主轴、导轨的受力小, 机床的精度寿命长, 同时刀具寿命也延长了。因此, 高速切削符合可持续发展的要求。高速加工机床振动小、噪声低, 少用或不用切削液, 符合环境要求。

5. 能有效抑制切削振动的影响, 降低加工表面的表面质量

高速切削的力值及其变化幅度小, 与主轴转速有关的激振频率也远远高于切削工艺系统的高阶固有频率, 因此切削振动对加工质量的影响很小。另一方面, 高速切削即使采用较小的进给量, 仍能获得很高的加工效率, 表面质量却得以极大的改善。

6. 能加工一些硬度较高的材料

高速切削在刀具能满足切削条件的情况下, 在一定范围内可以对硬表面进行加工, 可以加工高硬度、难加工材料 (可达 62HRC 以上)。在同样的加工时间内, 它所达到的表面质量比电火花还要好。所以高速加工可以用来加工硬度较高的航空材料和模具型腔。

7. 能实现生产管理的简单化

使用高速切削可以将一个零件的大部分工序进行整合, 在一台高速切削机床上进行加工, 从而简化工艺过程, 简化生产管理。

1.2 高速加工技术的发展

自 20 世纪 30 年代德国 Carl Salomon 博士首次提出高速切削概念以来, 经过 50 年代的机理与可行性研究, 70 年代的工艺技术研究, 80 年代全面系统的高速切削技术研究, 到 20 世纪 90 年代初, 高速切削 (HSM 或 HSC) 已成为开始迅速走向实际应用的先进加工技术。现在, 商品化高速切削机床大量涌现, 高速切削技术在工业发达国家得到普遍应用, 正成为切削加工的主流技术。

1924 年, 德国切削物理学家 Carl Salomon 博士开始高速切削技术的试验与研

究, 1931年4月, 他发表了高速切削理论, 提出了高速切削假设: 在高速区, 当切削速度超过切削温度最高的区域, 继续提高切削速度将会使切削温度明显下降, 单位切削力也随之降低, 例如图1-2所示的高速切削基础理论的 Salomon 曲线。1949年, 美国工程师 William Coomly 发现切削功率随转速提高而下降的现象。实验表明, 不同的材料均有这种现象。

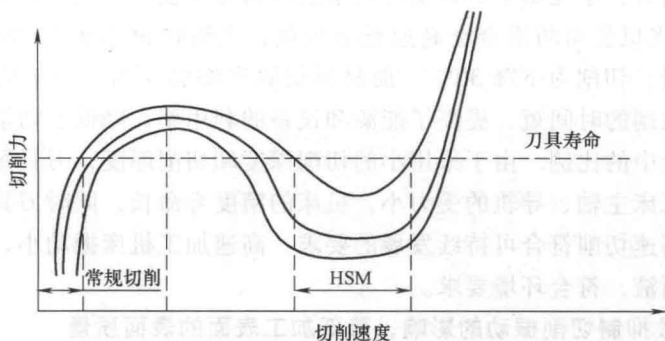


图1-2 高速切削基础理论的 Salomon 曲线

美国洛克希德飞机公司 R. L. Vanghn 研究小组, 于 1958 ~ 1960 年进行了高速切削加工的切削力、切削温度、刀具磨损、切削振动和切削形成机理试验研究。试验结果表明, 高速切削可以通过用能承受被加工工件熔点以上温度的刀具材料来实现, 切削速度的提高有助于表面加工质量的改善。

美国洛克希德导弹与空间公司 R. I. King 领导的研究小组, 对铝合金和镍铝铜合金的高速切削进行了研究, 该研究在试验和生产应用领域都取得了积极的进展, 研究小组试制出转速达 18000r/min, 功率为 25 马力 (1 马力 = 735.499W) 的卧式高速加工中心。在 1978 年的 CIRP 年度会议上, 美国 Cincinnati 金属切削研究小组公布了他们调研所得的高速切削加工生产数据, 数据一部分来自文献, 一部分来自对 CIRP 会员的问卷调查。

1979 年, 美国防卫高技术研究总署 (DARPA) 发起了一项为期 4 年的现代加工技术研究计划, 该计划对高速切削机理、高速切削用刀具和高速切削工艺进行了十分全面的研究, 为快速切除金属材料提供科学依据。经过 4 年的努力, 切削速度高达 7600m/min, 获得了丰硕的成果。研究指出: 随着切削速度的提高, 切削力下降, 加工表面质量提高。刀具磨损主要取决于刀具材料的导热性, 并确定铝合金的最佳切削速度范围是 1500 ~ 4500m/min。

在德国, Darmstadt 工业大学的 H. Schulz 教授在铝、镁、灰铸铁等金属和石墨等非金属高速切削机理及工艺方面作出了卓有成效的工作, 有力地促进了高速切削技术的应用。Darmstadt 工业大学于 1981 年成功研制由磁悬浮轴承支持的高

速主轴系统，并得到了国家研究技术部的支持，1984 年该部拨款 1160 万马克，组织了以 Darmstadt 工业大学的生产工程与机床研究所（PTW）为首的、有 41 家公司参加的两项联合研究计划，全面而系统地研究了高速切削机床、刀具、控制系统等相关的工艺技术，分别对各种工件材料（钢、铸铁、特殊合金、铝合金、铝镁铸造合金、铜合金和纤维增强塑料等）的高速切削性能进行了深入的研究与试验，取得了国际公认的高水平研究成果，并在德国工厂广泛应用，获得了良好的经济效益。

进入 20 世纪 90 年代以后，各工业发达国家陆续投入到高速切削技术的研发中来，尤其是高速切削机床和刀具技术的研发，与之相关的技术也得到迅速发展，1993 年直流电动机的出现实现了高速进给。快速换刀和装卸工件的结构日益完善，辅助加工时间逐渐缩短。新型自动电主轴高速铣削加工中心不断投放到国际市场。另外，高速切削加工设备不断投放到国际市场上，高速切削刀具的材料、结构和可靠的刀具主轴连接刀柄的出现与使用，标志着高速切削技术已从理论研究进入工业应用阶段。高速切削加工已成为现代数控加工技术的重要发展方向之一。在大型的机床展览会中，如芝加哥机床展 EMO、中国国际机床展览会 CIMA，展出的高速加工机床的比例越来越高，而且主轴转速一届比一届有较大幅度的提高。当前在工业发达国家，高速切削加工技术已成为切削加工的主流，高速机床的单元技术和整机技术水平正在逐步提高。技术基础雄厚的机床厂推出了多种高速、高精度的机床产品，并且在航空航天制造、汽车工业和模具制造、轻工产品制造等重要工业领域创造了惊人的效益。目前高速切削的主要应用领域是铝合金一般精度的切削，以及钢、钛合金和镍基合金的半精及精加工。商品化的高速加工成为各机床厂的主打产品，表 1-1 列出了部分高速加工中心。

表 1-1 部分高速加工中心

制造厂家 (国家)	机床型号	主轴最高转速 /(r/min)	最大进给速度 /(m/min)	主轴驱动功率 /kW
HAAS (美国)	VM-3	12000	18	22.4
Ingersoll (美国)	HV800	20000	76	45
MIKRON (瑞士)	HSM800	36000	90	32
DMG (德国)	105V linear	18000	90	30
Ex-cell-O (德国)	XHC241	24000	120	40
MAZAK (日本)	SM-2500	50000	50	45
MAKINO (日本)	V33	40000	20	22

2007年,中国国际机床展览会(CIMT2007)上展出加工中心约210台,其中国内120台,国外90台,国外高速加工中心(主轴转速10000r/min以上)约占50%、国内高速加工中心约占30%。不少机床主轴最高转速可达30000~40000r/min,快移速度可达60~70m/min。图1-3~图1-6所示为展出的几款国外高速加工中心。



图 1-3 MIKRON 的 HSM800

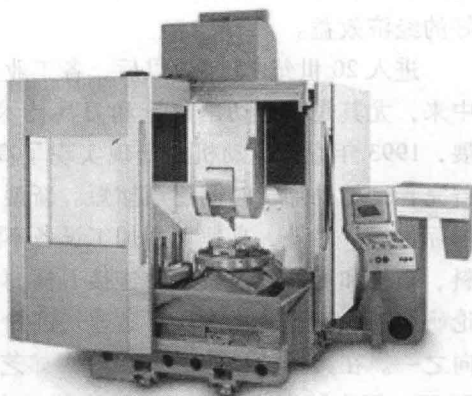


图 1-4 DMG linear500

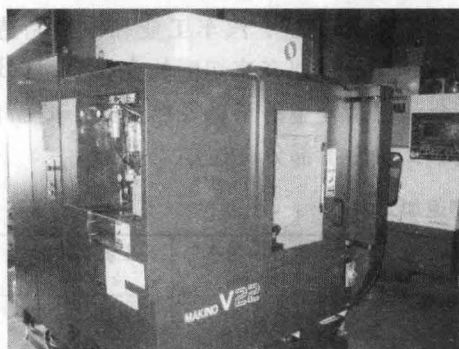


图 1-5 MAKINO V22

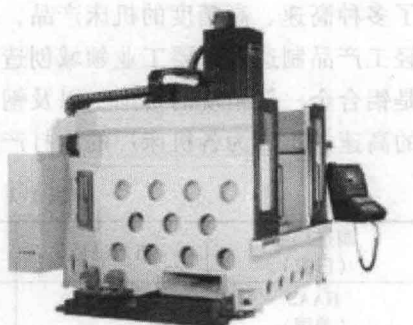


图 1-6 GTV-96 高速立式加工中心

我国的高速切削技术起步较晚,直到20世纪80年代中后期,当高速切削技术在国外工业生产中不断得到应用的时候,我国才开始注意到高速切削技术的巨大发展潜力和应用前景,并着手开始研究。同时,我国的企业通过与国外著名企业合资或者引进国外先进技术,也开始生产高速加工机床;也有通过自主研发,在普通加工中心上进行改造,使用不同的控制系统、主轴系统与改进的进给系统,如沈阳机床(集团)有限责任公司、大连机床集团有限责任公司等先后生产了多种高速加工中心,见表1-2。

表 1-2 部分国产高速加工中心

生产企业	产品	主轴最高转速/(r/min)	最大进给速度/(m/min)	主轴驱动功率/kW	刀柄接口	备注
北京机电研究院	VS1250 立式加工中心	15000	20	13.8	HSK-A63	—
北京机床所	μ1000 立式加工中心	15000	36	22	BT40	可选 HSK-A63
沈阳机床(集团)有限责任公司	D165 立式加工中心	40000	30	7	HSK-E40	与菲迪亚合作
大连机床集团有限责任公司	HDS500 卧式高速加工中心	18000	62	15	HSK-A63	—
宁江机床	NJ-5HMC40 五轴联动加工中心	40000	60	12	HSK-E40	—
台湾匠泽	H10 龙门高速加工中心	36000	32	20	HSK-E40	主轴可选其他配置
台湾快捷	GTV-96 高速立式加工中心	24000	40	29	HSK-A63	—

沈阳机床（集团）有限责任公司同意大利菲迪亚合作生产的 DIGT165 高速铣削加工中心，其外形如图 1-7 所示，工作台台面为 900mm × 1400mm，主轴最高转速达 40000r/min，各轴最大移动速度为 30m/min，定位精度为 8μm，重复定位精度为 5μm。

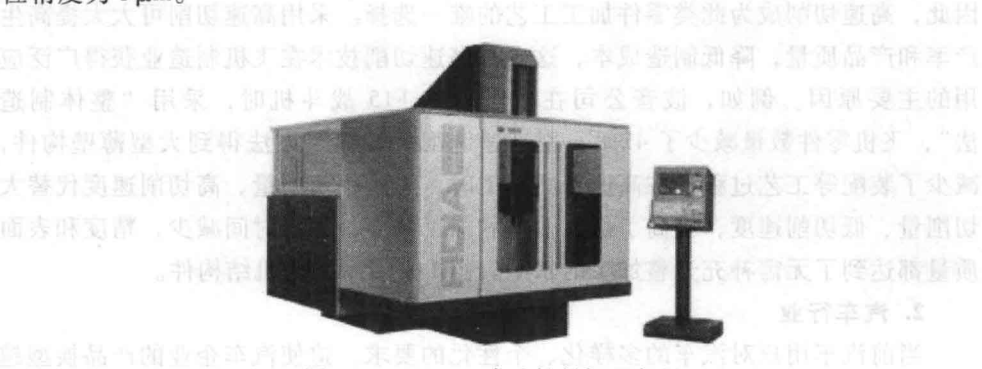


图 1-7 DIGT165 高速铣削加工中心

大连机床集团有限责任公司开发的 HDS500 卧式加工中心，其外形如图 1-8 所示。工作台台面为 630mm × 630mm，主轴最高转速达 18000r/min，功率为 15kW，快速移动速度达 62m/min，定位精度为 8μm，重复定位精度为 5μm。



图 1-8 HDS500 卧式加工中心

1.3 高速加工的应用

1. 航空行业

航空行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,改用整体实心材料制造,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,不允许有较大的背吃刀量,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率和产品质量,降低制造成本,这也是高速切削技术在飞机制造业获得广泛应用的主要原因。例如,波音公司在生产波音 F15 战斗机时,采用“整体制造法”,飞机零件数量减少了 42%,用高速铣削代替组装方法得到大型薄壁构件,减少了装配等工艺过程。在高速切削加工时,采用小切削量、高切削速度代替大切量、低切削速度,提高了加工效率和加工精度,加工时间减少,精度和表面质量都达到了无需补充光整加工的水平。图 1-9 所示为飞机结构件。

2. 汽车行业

当前汽车用户对汽车的多样化、个性化的要求,迫使汽车企业的产品换型越来越快,产品品种纷繁多样,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,多年来在汽车制造行业占统治地位的组合机床(专机)生产线已无法满足汽车行业快速更新的现实需要,专机或专机自动线虽然效率高,却限制了加工的柔性,使得机床对加工零件品种变化的适应性非常差。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

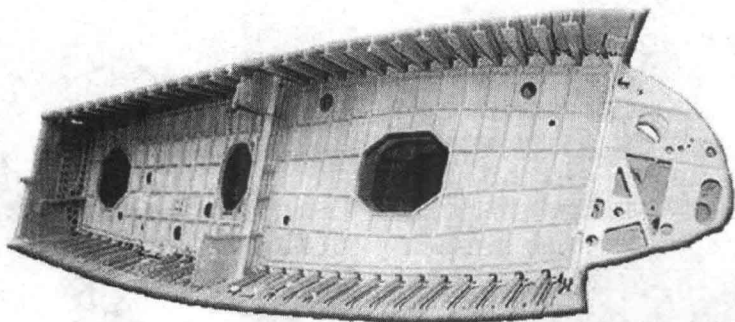


图 1-9 飞机结构件

厂家使用。国内如一汽大众捷达轿车自动生产线，由冲压、焊接、涂装、总装、发动机及传动器等高速生产线组成，年产轿车能力 15 万辆，制造节拍 1150 辆/min；上海大众桑塔纳轿车自动生产线等。国外如美国 GM 发动机总成工厂的高速柔性自动生产线、福特汽车公司和 Ingersoll 机床公司合作研制的以 HVM800 卧式加工中心为主的汽车生产线等。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（FTL）代替了组合机床生产线，高速加工中心则将柔性生产线的生产率提升到组合机床生产线水平，广泛应用于气缸体、气缸盖、差速器壳、连杆、变速箱壳、万向节及其他多种零件的生产流水线，实现多品种、中小批量的高效生产，实现平面铣削、轮廓铣削与孔系、螺孔的高速加工。图 1-10 所示为高速加工示例。

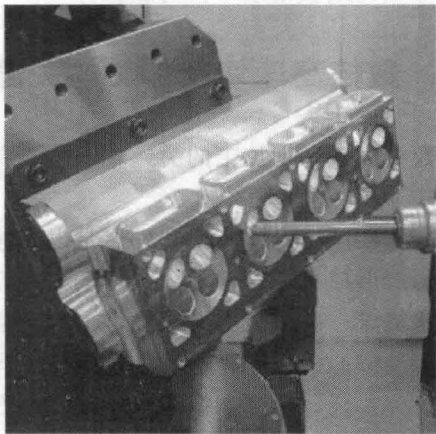


图 1-10 高速加工示例

3. 模具行业

在模具行业，高速切削采用的是典型的高转速、多速进给、低切法，在淬硬钢模具加工方面有惊人效果，可以获得很好的加工精度和

表面质量，可以取代传统的磨削、电火花加工及光整加工。在减少加工准备时间、缩短工艺流程、缩短切削时间、提高生产率方面具有极大的优势。在模具生产中的主要零件，如型腔、型芯、镶块以及电极均可以使用高速加工。在模具行业采用高速切削可以将模具制造周期缩短 30% ~ 80%，加工成本降低 1/3。图 1-11 所示为模具高速加工应用示例。

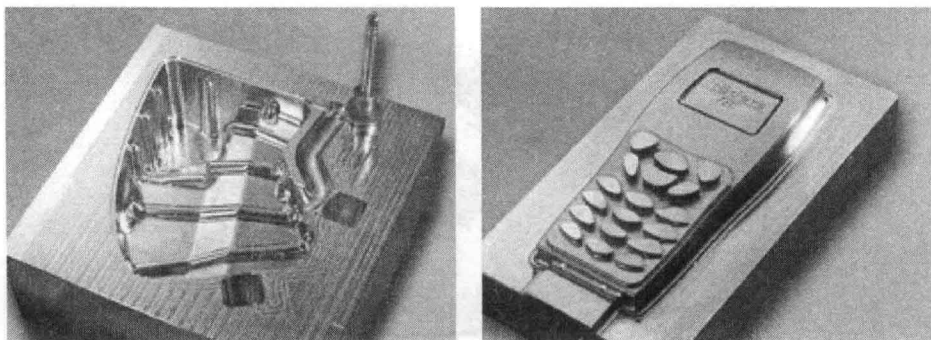


图 1-11 模具高速加工应用示例

4. 其他行业

军事电子行业也将成为高速切削加工的重点应用行业。据介绍雷达产品微波零件的加工中,如采用小尺寸刀具($\phi 0.3 \sim \phi 0.98\text{mm}$),主轴转速为 $7500 \sim 10000\text{r/min}$,进给速度为 $5 \sim 10\text{m/min}$,不仅防止了这类薄壁零件在数控设备上加工易产生弯曲和膨胀,而且工效提高了 20 倍以上。

另外,在医疗器械产业以及信息产业等涉及精密加工的行业中,应用高速加工将可以完成极精细结构的加工。

1.4 数控高速切削加工的关键技术

数控高速切削加工的关键技术主要有以下几个方面:

1. 高速切削机理

高速切削技术的应用和发展是以高速切削机理为理论基础的。通过对高速加工中切屑形成机理、切削力、切削热、刀具磨损、表面质量等技术的研究,为开发高速机床、高速加工刀具提供了理论指导。高速切削机理的研究主要有高速加工基本规律的研究;高速切削过程和切屑成形机理的研究;各种材料的高速切削机理研究;高速切削虚拟技术研究几个方面。

2. 高速切削机床

高速切削机床是实现高速加工的前提和基本条件。一个国家高速加工技术水平的高低,很大程度反映在高速机床的设计制造技术上。在现代机床制造中,机床的高速化是一个必然的发展趋势。在要求机床高速的同时,还要求机床具有高精度和高静、动刚度。高速机床技术主要包括高速主轴单元;CNC 控制系统;高速进给系统;床身、立柱和工作台;切屑处理和冷却系统几个单元。

3. 高速切削刀具

高速切削刀具技术是实现高速加工的关键技术之一。切削刀具的性能在很大