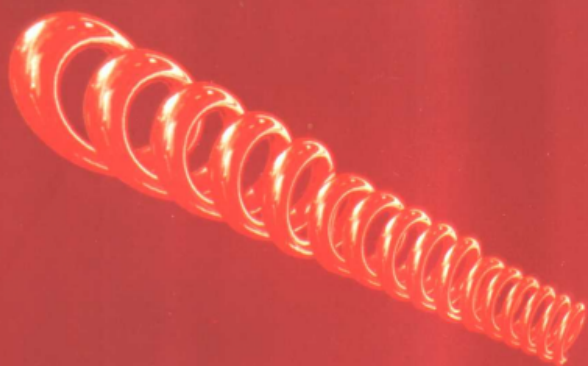


先进制造技术丛书

高速切削加工技术

High Speed Machining Technology

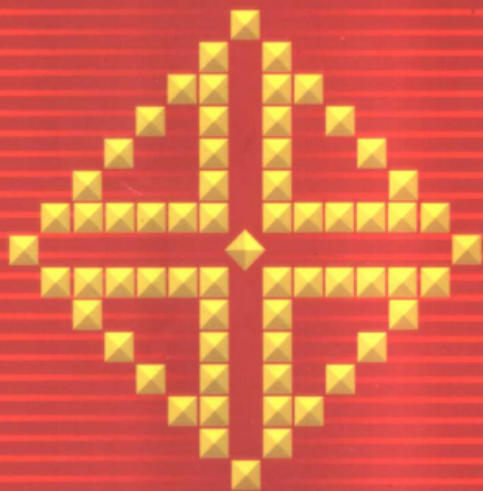
艾兴等编著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

责任编辑：崔晓莉
邢海鹰
封面设计：彭建华



ISBN 7-118-03209-3



9 787118 032093 >

ISBN 7-118-03209-3/TG·142
定价：28.00 元

先进制造技术丛书

高速切削加工技术

High Speed Machining Technology

艾 兴 等编著

国防工业出版社

·北京·

图书在版编目(CIP)数据

高速切削加工技术/艾兴等编著. —北京:国防工业出版社, 2003. 10

(先进制造技术丛书)

ISBN 7-118-03209-3

I. 高... II. 艾... III. 高速切削 IV. TG506.1

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 061503 号

国防工业出版社出版发行

(北京市海淀区紫竹院南路 23 号)

(邮政编码 100044)

国防工业出版社印刷厂印刷

新华书店经售

*

开本 850×1168 1/32 印张 10 $\frac{3}{4}$ 270 千字

2003 年 10 月第 1 版 2003 年 10 月北京第 1 次印刷

印数:1—3000 册 定价:28.00 元

(本书如有印装错误,我社负责调换)

致 读 者

本书由国防科技图书出版基金资助出版。

国防科技图书出版工作是国防科技事业的一个重要方面。优秀的国防科技图书既是国防科技成果的一部分,又是国防科技水平的重要标志。为了促进国防科技和武器装备建设事业的发展,加强社会主义物质文明和精神文明建设,培养优秀科技人才,确保国防科技优秀图书的出版,原国防科工委于1988年初决定每年拨出专款,设立国防科技图书出版基金,成立评审委员会,扶持、审定出版国防科技优秀图书。

国防科技图书出版基金资助的对象是:

1. 在国防科学技术领域中,学术水平高,内容有创见,在学科上居领先地位的基础科学理论图书;在工程技术理论方面有突破的应用科学专著。

2. 学术思想新颖,内容具体、实用,对国防科技和武器装备发展具有较大推动作用的专著;密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的高新技术内容的专著。

3. 有重要发展前景和有重大开拓使用价值,密切结合国防现代化和武器装备现代化需要的新工艺、新材料内容的专著。

4. 填补目前我国科技领域空白并具有军事应用前景的薄弱学科和边缘学科的科技图书。

国防科技图书出版基金评审委员会在总装备部的领导下开展工作,负责掌握出版基金的使用方向,评审受理的图书选题,决定资助的图书选题和资助金额,以及决定中断或取消资助等。经评审给予资助的图书,由总装备部国防工业出版社列选出版。

国防科技事业已经取得了举世瞩目的成就。国防科技图书承

担着记载和弘扬这些成就,积累和传播科技知识的使命。在改革开放的新形势下,原国防科工委率先设立出版基金,扶持出版科技图书,这是一项具有深远意义的创举。此举势必促使国防科技图书的出版随着国防科技事业的发展更加兴旺。

设立出版基金是一件新生事物,是对出版工作的一项改革。因而,评审工作需要不断地摸索、认真地总结和及时地改进,这样,才能使有限的基金发挥出巨大的效能。评审工作更需要国防科技和武器装备建设战线广大科技工作者、专家、教授,以及社会各界朋友的热情支持。

让我们携起手来,为祖国昌盛、科技腾飞、出版繁荣而共同奋斗!

**国防科技图书出版基金
评审委员会**

国防科技图书出版基金

第四届评审委员会组成人员

名誉主任委员	陈达植			
顾问	黄宁			
主任委员	殷鹤龄			
副主任委员	王峰	张涵信	张又栋	
秘书长	张又栋			
副秘书长	崔士义	蔡镭		
委员	于景元	王小谟	甘茂治	冯允成
(按姓名笔画排序)	刘世参	杨星豪	李德毅	吴有生
	何新贵	佟玉民	宋家树	张立同
	张鸿元	陈火旺	侯正明	常显奇
	崔尔杰	彭华良	韩祖南	舒长胜

《先进制造技术丛书》

编委会名单

顾问	师昌绪	中国工程院院士,中国科学院院士、主席团顾问
主任	胡壮麒	中国科学院金属研究所学术委员会主任,工程院院士
副主任	张立同	西北工业大学教授,工程院院士
	徐滨士	装甲兵工程学院教授,工程院院士
	雷廷权	哈尔滨工业大学教授,工程院院士
	艾兴	山东大学教授,工程院院士
	周济	华中科技大学教授,工程院院士
委员	赵连城	哈尔滨工业大学教授,博士生导师
	曾松岩	哈尔滨工业大学教授,博士生导师
	黄树槐	华中科技大学教授,博士生导师
	李庆春	哈尔滨工业大学教授,博士生导师
	田锡唐	哈尔滨工业大学教授,博士生导师
	王仲仁	哈尔滨工业大学教授,博士生导师
	董申	哈尔滨工业大学教授,博士生导师
	吴复兴	北京 625 所科学技术委员会主任,研究员
	方洪渊	哈尔滨工业大学材料学院副院长,博士生导师
秘书	王桂伟	哈尔滨工业大学材料学院教学秘书

序

制造业是我国国民经济的支柱产业,其增加值约占我国国内生产总值(GDP)的40%以上,振兴制造业是启动我国经济新高潮的杠杆,日本和美国的经验均可资借鉴,而先进制造技术是振兴制造业的系统工程中的重要组成部分之一。

先进制造技术(AMT—Advanced Manufacturing Technology)作为一个专有名词提出始于20世纪80年代末期,当时美国根据本国制造业面临的挑战与机遇,以及存在的问题进行了深刻反省,同时为了加强制造业的竞争能力和促进国民经济增长而提出先进制造技术新概念。从技术进步角度看,以计算机为中心的新一代信息技术的发展,全面推进了制造技术的飞跃发展,在不断汲取其它相关领域新技术的基础上,使创新贯穿于制造全过程,并使技术与管理相结合,不断推出新的制造模式,推动人类生产活动不断进步。

先进制造技术这一名词一经提出,立即获得世界各国的积极响应,将制造技术的发展推向新的高潮,经过20多年的努力,先进制造技术由于专业和学科间不断渗透、交叉、融合,技术日趋系统化、集成化,已发展成为集机械、电子、信息、材料和管理技术为一体的新兴交叉学科,可以称之为“制造工程”。

先进制造技术的核心和基础是优质、高效、低耗、清洁、无污染工艺,它是由传统的制造工艺发展起来的,并与计算机、信息、自动化、新材料及现代管理技术实现了局部或系统集成,以实现优质、高效、低耗、无污染和灵活生产,实现可持续发展。

未来先进制造技术的发展趋势是精密化、柔性化、智能化与

集成化。首先设计技术不断现代化,突出反映在数值模拟与仿真以及虚拟现实技术和产品建模理论等方面。成形制造技术向精密成形或近净成形方向发展,包括精密铸造、精密塑性成形和精密连接技术等。加工制造技术向超精密、超高速及发展新一代制造装备的方向发展。随着激光、电子束、离子束、分子束等新能源或其载体的引入,新型的高密度特种加工方法以及复合工艺不断发展,以至设计、材料应用、加工制造等专业学科界限日渐淡化,逐步趋向一体化。由于工艺模拟技术的迅速发展,也使工艺逐渐发展为工程科学。虚拟现实技术在制造业中获得日益广泛的应用。

为了适应世界知识经济时代的来临,促进先进制造技术在我国的发展,并为这一领域的科技人员提供必要的参考书,我们特地组织编写了本套《先进制造技术丛书》,希望它的出版有助于推动先进制造技术的快速进步,为我国的经济发展和国防现代化服务。

《先进制造技术丛书》编委会

2000年2月23日

前 言

高速切削加工技术是先进实用的制造技术,正成为切削加工的主流,具有强大的生命力和广阔的应用前景。高速切削加工(High Speed Machining, HSM)的理念从 20 世纪 30 年代初提出以来,引起人们很大兴趣而成为切削加工研究的热点。经过半个多世纪艰难的理论探索和研究,并随着高速切削机床技术和高速切削刀具技术的发展和进步,直至 20 世纪 80 年代后期进入工业化应用。目前在工业发达国家的航空航天、汽车、模具等制造业中应用广泛,取得了巨大经济效益。

高速切削加工技术最早在飞机制造业受到重视,飞机上大部分重要零件多是整块铝合金铣削而成,既可以减少接缝,又可以提高零件的强度和抗振性,但普通铣削加工效率低、成本高、交货期长,高速切削是解决这方面问题的最有效加工技术。国防工业、汽车、摩托车、家用电器、电子器件等制造业都需要大量模具,而模具制造周期直接影响产品更新换代和新产品市场竞争的成败,高速切削加工技术在这一领域的广泛应用,可大大缩短模具制造周期,加速新产品的开发。汽车工业与国防工业密切相关,汽车发动机和传动部件的铝合金和铸铁的机体与零件的加工可广泛应用高速切削加工技术,提高加工效率和加工质量,降低成本。

我们多年致力于陶瓷刀具和高速切削加工技术及其应用的研究工作。本书是在总结这些工作的基础上,收集大量国内外有关资料撰写而成的。它包括高速切削加工技术的国内外研究、发展和应用现状,高速切削加工理论基础,高速切削加工刀具,高速切削加工机床,高速切削加工表面质量,高速切削加工的应用和安全技术以及高速硬切削等主要内容。本书涉及的高速切削加工工件材料主要有飞机、模具、汽车和国防工业中广泛应用的铝及铝合金、钢和铸铁及其合金、钛及钛合金、高温耐热合金(如镍基合金)、

复合材料等。由于制造业中高硬材料的加工日益增多,本书特辟高速硬切削一章,予以详细讨论。本书中介绍的高速切削加工的最高切削速度和进给速度,既考虑到目前国外达到的水平,也尽可能考虑国内研究开发的高速切削机床和高速切削刀具的实际情况,而不过分追求理论上可能达到的水平。在高速切削加工中,刀具材料对高速切削加工技术的应用起决定性作用,本书在高速切削刀具一章,特别详细地介绍了各种高速切削刀具材料的性能及其与工件材料的合理匹配,以利于正确选择使用。总之,本书从理论和技术上,着眼于最新的内容和动向,以期对国内高速切削加工技术的研究、发展和实际应用起到积极的促进作用。

本书由艾兴教授主持编著,它是集体劳动的结晶。参加编著的作者有邓建新教授(第3章)、冯显英副教授(第4章)、刘战强教授(第5、第6章)、赵军副教授(第7章),艾兴教授撰写第1、2章并负责全书统稿。由于高速切削加工技术是诸多单元技术集成的综合技术,涉及内容很多,在国外工业化应用时间又不很长,国内研究和应用起步较晚,还在研究发展之中,限于作者的水平,书中的缺点和错误在所难免,诚恳希望专家和读者批评指正。

本书有关陶瓷刀具的研究先后得到了多项国家自然科学基金项目(59175215, 5940515, 5950514, 59875091, 59805012)的资助,高速切削加工及其应用研究得到山东省经贸委科技项目(鲁经委技2000-992)、人事部中国博士后科学基金项目(中博基2000-23)和教育部留学回国人员科研启动基金项目(教外司留2000-279)的支持。本书出版由国防科技图书出版基金资助,在此谨向国家自然科学基金委员会、山东省经济贸易委员会、人事部博士后基金委、教育部留学回国人员基金委和国防工业出版社致以衷心的感谢。



2003年5月15日于山东大学

目 录

第 1 章 绪论	1
1.1 高速切削加工的定义和优越性	2
1.1.1 高速切削加工的定义	2
1.1.2 高速切削加工的优越性	3
1.2 高速切削加工的历史回顾与现状	4
1.3 高速切削加工在国内的研究与应用	11
1.4 高速切削加工研究体系及关键技术	13
1.4.1 高速切削加工研究体系	13
1.4.2 高速切削加工的关键技术	15
1.5 展望	18
参考文献	22
第 2 章 高速切削加工理论基础	26
2.1 高速切削加工切屑形成特征	26
2.1.1 切屑形成的实验研究	27
2.1.2 切削速度对切屑形成的影响	34
2.2 高速切削加工的切削力学	36
2.2.1 切屑变形的基本关系	36
2.2.2 切削力的基本关系	38
2.2.3 剪切角 ϕ 和摩擦系数 μ 的讨论	42
2.2.4 切削力实验	44
2.3 切削热和切削温度	46
2.3.1 切削热分析	46
2.3.2 切削温度分析	47
2.3.3 切削热和切削温度实验	51
2.4 高速切削刀具的磨损和破损特征	59

2.4.1 高速切削刀具的损坏形态	59
2.4.2 高速切削刀具的损坏机理	62
2.4.3 高速切削刀具的寿命	73
2.5 小结	75
参考文献	77
第3章 高速切削加工刀具	79
3.1 高速切削加工对刀具材料的要求	79
3.2 高速切削刀具可靠性研究	81
3.2.1 刀具材料可靠性	81
3.2.2 基于刀具可靠性的高速切削刀具结构设计	88
3.3 高速切削加工的刀具材料种类、性能及其合理选择	91
3.3.1 金刚石刀具	91
3.3.2 立方氮化硼刀具	94
3.3.3 陶瓷刀具	96
3.3.4 TiC(N)基硬质合金	107
3.3.5 硬质合金涂层刀具	108
3.3.6 超细晶粒硬质合金	113
3.3.7 粉末冶金高速钢	113
3.3.8 高速切削刀具材料的合理选择	114
3.4 高速切削加工刀具的构造特点	127
3.4.1 高速切削对刀具系统的要求	127
3.4.2 7:24 锥度的工具系统	128
3.4.3 高速切削旋转刀具的刀柄结构——HSK 和 KM 系统	130
3.4.4 高速切削旋转刀具的刀柄结构——改进型设计	135
3.4.5 高速回转刀具的结构特点	138
3.5 小结	144
参考文献	145
第4章 高速切削加工机床	149
4.1 高速切削加工机床的要求	149
4.2 高速切削加工机床的国内外现状	152
4.3 高速切削加工机床的动力学特性	156
4.3.1 概述	156

4.3.2 伺服驱动系统的数学建模和性能分析	156
4.3.3 高速机床“主轴单元”和“直线电机进给单元”伺服控制原理	169
4.4 高速切削加工机床的构造特征	181
4.4.1 高速回转主轴单元系统	181
4.4.2 直线电机高速进给单元	187
4.4.3 高刚性机床支撑部件	190
4.4.4 高效的冷却润滑系统和必要的防护措施	192
4.4.5 快速响应的高速、高性能数控系统	194
4.4.6 高速切削加工机床的“刀—机”和“工—机”接口新技术	195
4.5 高速切削加工机床夹具的新要求	196
4.6 高速切削加工机床的合理选择	198
4.7 高速切削加工机床的研究与展望	199
4.8 小结	204
参考文献	205
第5章 高速切削加工表面质量	207
5.1 高速切削加工表面形成特征	207
5.2 高速切削加工表面粗糙度	208
5.2.1 铝合金高速切削加工时的表面粗糙度	209
5.2.2 铸铁高速切削加工时的表面粗糙度	210
5.2.3 钢及其合金高速加工时的表面粗糙度	212
5.3 高速切削加工工件的残余应力	216
5.3.1 陶瓷刀具加工对表面残余应力的影响	217
5.3.2 PCBN 刀具加工对表面残余应力的影响	219
5.4 高速切削已加工表面硬化	222
5.5 小结	224
参考文献	226
第6章 高速切削加工的应用与安全技术	227
6.1 铝、镁、铜及其合金的高速切削加工	228
6.2 铸铁与钢的高速切削加工	233
6.2.1 铸铁的高速切削加工	234
6.2.2 钢的高速切削	237

6.2.3 推广应用高速切削实例	239
6.3 钛合金的高速切削加工	242
6.4 纯镍及镍基合金的高速切削加工	245
6.5 非金属材料与复合材料的高速切削加工	248
6.6 高速切削加工安全技术	251
6.7 高速切削刀具的动平衡技术	255
6.8 小结	259
参考文献	262
第7章 高速硬切削	264
7.1 高速硬切削对刀具材料的要求	265
7.2 高速硬切削的切屑形态及其形成机理	266
7.2.1 高速硬切削的切屑形态	266
7.2.2 绝热剪切理论	267
7.2.3 周期脆性断裂理论	274
7.3 高速硬切削的力学特性	279
7.3.1 高速硬切削时切削力的来源及刀具表面上的应力分布	279
7.3.2 高速硬切削的单位切削力	280
7.3.3 高速硬车削的切削力	283
7.3.4 高速硬铣削的切削力	286
7.4 高速硬切削的切削温度	295
7.4.1 高速硬车削的切削温度	295
7.4.2 高速硬铣削的切削温度	297
7.5 高速硬切削刀具的磨损和破损	299
7.5.1 高速硬切削刀具的抗磨损和抗破损性能	299
7.5.2 高速硬切削时刀具的损坏形式及损坏机理	304
7.6 高速(准)干切削	308
7.6.1 干切削基础及实现干切削的条件	309
7.6.2 高硬材料干切削技术的新进展	311
7.7 小结	313
参考文献	314
附录 缩写词	317

Contents

Chapter 1 Introduction	1
1.1 Definition and superiority of high speed machining	2
1.1.1 Definition of high speed machining	2
1.1.2 Superiority of high speed machining	3
1.2 Historical review and state-of-the-art for high speed machining	4
1.3 State-of-the-art of research and applications in China for high speed machining	11
1.4 Research system and key techniques for high speed machining	13
1.4.1 Research system of high speed machining	13
1.4.2 Key techniques of high speed machining	15
1.5 Perspective	18
References	22
Chapter 2 Theoretical Foundation for High Speed Machining	26
2.1 Characteristics of chip formation in high speed machining	26
2.1.1 Experimental researches for chip formation	27
2.1.2 Effects of cutting speed on chip formation	34
2.2 Cutting mechanics of high speed machining	36
2.2.1 Basic relations of chip deformation	36
2.2.2 Basic relations of cutting mechanics	38
2.2.3 Discussion on shear angle ϕ and friction coefficient μ	42
2.2.4 Experiment on cutting forces	44
2.3 Cutting heat and temperature in high speed machining	46