

先进制造技术丛书

高速研磨技术

High Speed Lapping Technology

杨建东 田春林 等著



国防工业出版社

National Defense Industry Press

责任编辑：胡晓鸥
邢海鹰
封面设计：彭建华



ISBN 7-118-03224-7



9 787118 032246 >

ISBN 7-118-03224-7/TG·143

定价:22.00 元

先进制造技术丛书

高速研磨技术

High Speed Lapping Technology

杨建东 田春林 等著

国防工业出版社

·北京·



图书在版编目(CIP)数据

高速研磨技术/杨建东等著. —北京:国防工业出版社, 2003. 10

(先进制造技术丛书)

ISBN 7-118-03224-7

I. 高… II. 杨… III. 研磨(金属切削)

IV. TG580.68

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2003)第 072717 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 7 $\frac{3}{4}$ 178 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:22.00 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 刘成海

副主任委员 王 峰 张涵信 张又栋

秘书长 张又栋

副秘书长 彭华良 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 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,在不断汲取其他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

研磨是超精密加工中一种重要加工方法,其优点是加工精度高,加工材料范围广。但传统研磨存在着加工效率低、加工成本高、加工精度和加工质量不稳定等缺点,这使得传统研磨应用受到了一定限制。高速研磨技术是作者在 20 多年从事研磨加工技术研究的基础上,开发的一种既能保证研磨加工精度和加工质量,又能显著提高研磨加工效率、降低加工成本的新研磨加工技术。

本书介绍了固着磨料高速研磨加工技术,分析了平面浮动研磨中工件的受力、工件运动规律及工件与磨具间的相对运动,根据相对运动轨迹密度分布设计磨具磨料密度分布,使磨料密度分布与磨具磨损强度分布相适应,保证磨具磨损后不丧失其原有的面形精度;建立了磨具保形磨损理论及工件均匀研磨原理;研究了固着磨料高速研磨对工件表面性能的影响;探讨了有关研磨机及相应的磨具等;还探讨了其它面形的高速研磨加工技术,如双面研磨、球面研磨、圆柱面研磨和二次曲面研磨等,重点探讨了这些面形的加工原理,研磨运动及有关研磨机。

高速研磨加工技术与传统研磨相比,加工效率高,提高研磨加工效率 30 倍~100 倍;加工成本低,磨料成本降低 90%;加工质量高,工件已加工表面粗糙度达 $Ra2.83nm$ (达到纳米级),而且加工精度稳定。该项技术已应用于国内外 20 多家单位,特别是已应用于一些国有大型、特大型企业,为企业解决了生产难题,取得了显著的经济效益和社会效益。为使该技术获得更加广泛的应用,作者通过本书将其奉献于社会。本书适合于从事精密和超精密加工领域工作的科技人员及研究生阅读。由于作者水平有限,书中如有不当和谬误之处,欢迎专家和读者批评指正。

参加本书编写工作的还有王长兴、王黎明、张心明和刘建河同志。

本书的研究工作得到了国家计委项目、教育部高等学校骨干教师资助计划项目、教育部高等院校全国优秀博士学位论文作者专项资金资助项目、吉林省计委科技攻关项目、吉林省科委工业项目以及 20 多家单位委托项目的支持。谨向这些单位和部门及国防工业出版社表示衷心的感谢。王立鼎院士、董申教授和刘世参教授审阅了本书部分初稿,并提出了宝贵的建议,在此一并致谢。

杨建东
2003.5.1



目 录

第一章 绪 论	1
1.1 研磨加工现状	1
1.2 研磨技术的新发展	5
1.2.1 传统研磨特点	5
1.2.2 新研磨加工技术	6
1.3 固着磨料高速研磨	14
第二章 平面固着磨料高速研磨中工件的受力	18
2.1 磨具对工件的作用力矩	19
2.1.1 磨具对工件的启动力矩	19
2.1.2 研磨中磨具对工件的作用力矩	26
2.2 压头与压盖间的摩擦阻力矩	34
第三章 平面固着磨料高速研磨中影响工件运动的因素	39
3.1 压盖球座半径对工件转速的影响	40
3.2 压头球头半径对工件转速的影响	41
3.3 偏心距对工件转速的影响	43
3.4 工件半径对工件转速的影响	44
3.5 压头和压盖材料弹性模量对工件转速的影响	45
3.6 压头与压盖间摩擦系数对工件转速的影响	46
3.7 磨具与工件间摩擦系数对工件转速的影响	48
3.8 研磨压力对工件转速的影响	49
3.9 主轴转速对工件转速的影响	51
第四章 磨具均匀磨损理论与工件均匀研磨	53
4.1 磨具与工件间的相对运动分析	54
4.2 磨具均匀磨损理论	59

4.2.1 研磨运动轨迹分析	60
4.2.2 磨具均匀磨损条件及影响因素	63
4.2.3 磨具均匀磨损理论及应用	65
4.3 工件均匀研磨原理	70
第五章 固着磨料高速研磨对工件表面性能的影响	76
5.1 固着磨料高速研磨对工件已加工表面粗糙度的影响	76
5.1.1 磨料粒度对工件已加工表面粗糙度的影响	76
5.1.2 研磨压力对工件已加工表面粗糙度的影响	79
5.1.3 研磨速度对工件已加工表面粗糙度的影响	80
5.2 固着磨料高速研磨对工件表面硬度的影响	81
5.2.1 磨料粒度对工件表面硬度的影响	81
5.2.2 研磨压力对工件表面硬度的影响	82
5.2.3 研磨速度对工件表面硬度的影响	83
5.3 固着磨料研磨对工件表面耐腐蚀性的影响	84
5.3.1 磨料粒度对工件表面耐腐蚀性的影响	84
5.3.2 研磨压力对工件表面耐腐蚀性的影响	85
5.3.3 研磨速度对工件表面耐腐蚀性的影响	86
5.4 固着磨料研磨对工件表面耐磨性的影响	86
5.4.1 磨料粒度对工件耐磨性的影响	87
5.4.2 研磨压力对工件耐磨性的影响	88
5.4.3 研磨速度对工件耐磨性的影响	89
第六章 平面高速研磨机	90
6.1 普通平面高速研磨机	90
6.2 平面数控研磨机	99
6.2.1 研磨去除量的在线监控	99
6.2.2 研磨机偏心距的自动控制	103
6.2.3 数控研磨机工作原理	107
第七章 磨具	109
7.1 磨料	109
7.1.1 磨料的基本要求	110
7.1.2 磨料的种类	110

7.1.3 磨料的代号	114
7.1.4 磨料粒度	115
7.1.5 金刚石及其它磨料的主要性能	118
7.2 丸片及其制作	121
7.2.1 丸片的结构	121
7.2.2 丸片特征及标志	121
7.2.3 丸片的特性参数及选择	122
7.2.4 丸片制造工艺	126
7.3 磨具制作	129
7.3.1 磨盘设计及制作	130
7.3.2 丸片固定	133
第八章 双平面高速研磨	138
8.1 双平面高速研磨加工原理	138
8.2 双面研磨运动	139
8.2.1 磨具相对工件的运动	139
8.2.2 工件相对于磨具的运动	142
8.3 磨具均匀磨损与工件均匀研磨	146
8.3.1 磨具均匀磨损	146
8.3.2 工件均匀研磨	150
8.4 双面高速研磨机	155
8.4.1 双面高速研磨机工作原理	155
8.4.2 双面高速研磨机结构	155
8.4.3 气动控制系统	156
8.4.4 电气控制系统	157
8.4.5 双面高速研磨机性能参数	159
第九章 球面高速研磨	160
9.1 球面高速研磨原理	160
9.2 球面研磨运动及受力分析	161
9.2.1 浮动磨具的受力	161
9.2.2 相对研磨速度分析	164
9.3 磨具保形磨损理论	168
9.3.1 磨具的保形磨损基本原理	168

9.3.2 影响磨具磨损因素的实验研究	169
9.3.3 保形磨具设计方法	171
9.4 球面高速研磨机	176
9.4.1 中小球面高速研磨机	177
9.4.2 大曲率半径球面高速精磨机	180
第十章 圆柱面高速研磨	182
10.1 圆柱面高速研磨原理	182
10.2 圆柱面研磨运动	183
10.3 磨具均匀磨损与工件均匀研磨	184
10.4 圆柱面高速研磨机	188
10.4.1 外圆柱面高速研磨机	188
10.4.2 内圆柱面高速研磨机	189
第十一章 二次曲面高速研磨	191
11.1 抛物面高速研磨	191
11.1.1 抛物面高速研磨原理	191
11.1.2 抛物线的形成	192
11.1.3 算例	194
11.2 椭球面高速研磨	195
11.2.1 椭球面高速研磨原理	195
11.2.2 椭圆的产生	195
11.3 双曲面高速研磨	198
11.3.1 双曲面高速研磨原理	198
11.3.2 双曲线的产生	198
11.4 误差分析	201
11.4.1 误差来源	202
11.4.2 磨具宽度误差对梁弯曲变形的影响	203
11.4.3 算例	207
参考文献	208

Contents

1 Introduction	1
1.1 Present situation of lapping	1
1.2 Lapping technology new development	5
1.2.1 Properties of traditional lapping	5
1.2.2 New lapping technology	6
1.3 High speed lapping with solid abrasives	14
2 The force acted on the workpiece in high speed plane lapping with solid abrasives	18
2.1 Moment of lapping tool acting on workpiece	19
2.1.1 Starting moment of lapping tool acting on workpiece	19
2.1.2 Moment of lapping tool acting on workpiece in lapping	26
2.2 Friction moment between press head and press disc	34
3 Effect factors to workpiece motion in high speed plane lapping with solid abrasives	39
3.1 Effect of the diameter of press disc spherical base on rotation speed of workpiece	40
3.2 Effect of the diameter of press head spherical ball on rotation speed of workpiece	41
3.3 Effect of eccentric distance on rotation speed of workpiece	43
3.4 Effect of workpiece diameter on rotation speed of workpiece	44
3.5 Effect of elastic modulus of press head and press	