

高等学校磨料磨具磨削教材

砂轮特性与磨削加工

王德泉 主编 陈 艳 副主编

中国标准出版社



校磨料磨具磨削教材

砂轮特性与磨削加工

王澍泉 主 编

陈 艳 副主编

中国标准出版社

图书在版编目(CIP)数据

砂轮特性与磨削加工/王德泉主编. —北京:中国标准出版社, 2001. 9

高等学校磨料磨具磨削教材

ISBN 7-5066-2499-0

I. 砂… II. 王… III. ①磨削砂轮-设计-高等学校-教材②磨削-工艺-高等学校-教材
IV. TG74

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2001)第 053588 号

中国标准出版社出版

北京复兴门外三里河北街 16 号

邮政编码:100045

电话:68523946 68517548

中国标准出版社秦皇岛印刷厂印刷

新华书店北京发行所发行 各地新华书店经售

*

开本 787×1092 1/16 印张 17 $\frac{3}{4}$ 字数 420 千字

2001 年 9 月第一版 2001 年 9 月第一次印刷

*

印数 1—2 500 定价 38.00 元

网址 www.bzcbs.com

版权专有 侵权必究

举报电话:(010)68533533

本套书编者的话

以磨料磨具为工具的磨削加工,是机械加工方法中非常重要的一类方法,而且是精密加工和超精加工最基本的和首选的加工方法,在工业上得到广泛的应用。因而磨料磨具作为工业生产中必不可少的工具,具有“工业的牙齿”之誉,与现代工业发展有着密不可分的关系。磨料磨具及其应用技术的发展促进了现代工业的快速发展,而现代工业进一步的发展需求又反过来促进了磨料磨具技术进步和产品品种及应用范围的扩大。磨料磨具的应用已渗透到机床、工具、汽车、船舶、兵器、航空、航天、电子、能源、交通、建筑、地质、冶金、石油、煤炭、化工、轻工、纺织、仪器仪表、医疗器械、工程陶瓷、耐火材料、家具制造、食品加工等各个领域。磨料磨具及磨加工技术不仅影响着机械、汽车、建材、冶金等传统工业的发展,而且影响着新材料、航天航空、信息技术等高新技术及产业的发展。如磨具性能及加工技术影响着工程陶瓷材料的加工效率、加工质量、加工成本及其应用推广速度;导弹端头罩的磨加工精度影响着导弹的制导精度和端头罩的应用;半导体硅片等材料的磨加工技术及质量影响着计算机的进一步发展及信息技术产业的发展。因此,磨料磨具及其磨削应用技术在科技进步和整个国民经济发展中具有极其重要的作用。

当今世界科学技术飞速发展,经济全球化速度明显加快,国际竞争日趋激烈。这种形势对磨料磨具及磨削技术进步和行业从业人员素质提高提出了更高的要求。加强具有创新能力的高素质专业人才的培养,提高磨料磨具行业从业人员的素质,加强高性能新型磨料磨具产品的研究开发,提高磨料磨具制造技术及应用技术水平,为传统工业及高新技术产业发展提供有力的支持,是我们当前面临的迫切任务。

为适应高校磨料磨具和超硬材料及制品等有关专业的教学需要以及有关企业生产及应用发展需要,应广大师生和行业的普遍要求,我们组织了行业有关专家学者、高校教师和企业工程技术人员编写了这套教材。这套教材包括《普通磨料制造》、《超硬材料制造》、《陶瓷磨具制造》、《有机磨具制造》、《涂附磨具制造》、《金刚石烧结制品》、《超硬材料

电镀制品》和《砂轮特性与磨削加工》，共计 8 册。内容涵盖所有磨料磨具的制造及应用技术。这套书可分为三类。第一是磨料类，包括《普通磨料制造》和《超硬材料制造》两部教材，分别介绍了普通磨料刚玉、碳化硅和超硬材料金刚石、立方氮化硼的制造原理、生产工艺及产品检测技术。第二是磨具和其它制品类，包括 5 部教材，其中《陶瓷磨具制造》和《有机磨具制造》分别介绍了以陶瓷和树脂为结合剂的刚玉、碳化硅、金刚石、立方氮化硼磨具的制造原理、生产工艺及产品检测技术；《金刚石烧结制品》和《超硬材料电镀制品》分别介绍了烧结金属结合剂和电镀金属结合剂的超硬材料磨具、锯片、钻头等各种工具的制造原理、生产工艺及产品检测技术；《涂附磨具制造》则专门介绍砂布、砂纸、砂带和砂盘等涂附磨具的制造技术。第三是应用类，即《砂轮特性与磨削加工》一书，该书主要介绍磨具的磨削工艺原理及磨具的科学选择与正确使用方法。在编写过程中，我们注意吸收了国内外磨料磨具及相关行业的新工艺、新技术成果和国内磨料磨具专业教学改革及示范性专业建设成果，力求做到书中概念科学、准确，内容系统、实用，能够反映行业新产品、新技术、新工艺及其发展趋势，使其既能面向教学，满足高校专业教学需要，又能面向行业，成为磨料磨具和超硬材料制品制造及选择应用方面具有重要实用价值的技术参考资料。本套书的出版，将结束我国磨料磨具人才培养 40 多年来尚无公开出版成套系列教材的历史，对我国磨料磨具磨削方面的高等教育和行业发展都具有重要意义。

本套书的编写工作得到了郑州工业高等专科学校、国家磨料磨具质量监督与检验中心、郑州磨料磨具磨削研究所、郑州白鸽集团股份有限公司、国家机械工业局第六设计院、中国磨料磨具工业公司、中国第六砂轮厂、第七砂轮厂、国家冶金工业局地勘一局、北京人工晶体研究所、长沙矿冶研究院等单位领导和同志们的重视、关心和大力支持。在编写过程中，国家磨料磨具质量监督与检验中心常务副主任张长伍高级工程师、郑州工业高等专科学校磨料磨具工程系副主任李志宏副教授作了大量的组织协调工作。在此，向所有关心支持本书出版，并为本书出版作出贡献的单位、领导和有关人士表示衷心的感谢！

编 者

2000 年 5 月

前 言

由精密加工发展起来的磨削加工技术,已成为了加工技术的一个重要分支。磨削加工担负着高精度、高效率、高硬度材料、低粗糙度加工制造的主要任务,并应用于所有的工业部门。磨削加工技术是作为磨料、砂轮和磨床的综合性技术而存在,并在各专业部门协作下而发展的。例如,20世纪50年代旨在提高磨削效率而兴起的高速磨削,就促使了高强度砂轮和高刚性磨床的研究发展;20世纪60年代发明了缓进给磨削,同样又使高气孔砂轮和磨床制造技术同步并进;人造金刚石和CBN磨料及砂轮制造技术的成熟,恰又为解决高强度耐热合金、钛合金、工程陶瓷材料的磨削加工提供了理想的磨具,同时又迫使磨削机理和修理技术的深入研究;连续修整技术也为提高成型磨削效率和表面完整性开辟了新途径。

当今的生产技术是由电子技术、控制技术利用计算机技术的进步所支持的。中小批量产品的需要,发展了柔性加工系统或单元加工中心,但是,加工技术仍然处于首当其冲的地位。不管是工程技术人员或是大专院校的学生,都必须获得加工技术更深入的知识。磨削加工理论是一门综合性科学,涉及到力学、热力学、材料学、化学、物理学、机械力学、数理统计和经济问题等方面的知识。目前就磨削现象的本质问题还有许多不明之处,其理论研究尚未完成,还有待今后取得更大进展。

本书注重理论,突出实用。系统地讲解了磨削加工的基本理论。介绍了磨削加工的效果与磨具特性、工艺条件等之间的关系,各种磨削方式的加工特点及其磨具特性的选择,磨具的修整技术尤其是超硬磨料磨具的修整技术,常用磨床的加工特点和使用范围,并增加了各种难加工材料的磨削加工及其砂轮选择。本书吸收了磨料磨具及相关领域的新技术新成果,力求从砂轮特性与磨削效果之间的关系进行阐述,旨在帮助磨料磨具制造的技术人员根据磨削目的和要求设计出最佳的磨具,同时使磨具用户根据具体的磨削对象选择最合理的磨具。

本书由郑州工业高等专科学校王德泉主编,陈艳任副主编。参加编写工作的有:郑州工业高等专科学校栗政新、张惠民、张红霞,成都砂轮厂林彬,郑州机械研究所杨立强,湖南大学胡仲勋、金湘中、陈根余。全书共分为十二章,具体分工为:第一章由王德泉编写;第二章由张惠民

编写;第三章由栗政新、张红霞编写;第四章由王德泉编写;第五章由金湘中、陈艳编写;第六章由陈艳编写;第七章由陈根余、栗政新编写;第八章由林彬编写;第九、十章由陈艳、杨立强编写;第十一、十二章由王德泉、陈艳、杨立强编写;第十三章由栗政新编写;全书最后由王德泉统稿并修改。

本书由王文经教授主审,张长伍高级工程师、李志宏教授等也参加了审稿,他们对本书提出了许多宝贵意见。本书的编写出版是在郑州工业高等专科学校领导的关怀下,并得到了磨料磨具磨削研究所领导、国家磨料磨具质检中心的领导、中国标准出版社领导的大力支持和帮助下完成的,在此向他们表示衷心的感谢!在此一并向本书中引用的文献著作内容的作者或单位表示诚挚的谢意!

由于编者水平有限,时间仓促,书中错误或不足之处在所难免,敬请同行专家和广大读者指正。

编 者

2001年5月

主 编 简 介

王德泉，现年55岁，河南禹县人。1968年毕业于中国人民解放军测绘学院。1983年到郑州工业高等专科学校从事教学及教学管理工作，现任教务处长、副教授，兼任河南省高校实验研究会常务理事。1983年为磨料磨具制造专业(全国高校唯一布点专业)首开《磨削工艺》课程。多年来一直致力于磨削加工技术的教学、教研和科研工作，主持和参与了多项省部级科技攻关课题，发表了相关学术领域论文十数篇和译著数篇，曾获原机械部教育司科技进步二等奖3项。

内 容 提 要

本书从砂轮特点与磨削效果之间的关系进行阐述,系统地讲解了磨削加工的基本理论。介绍了磨削加工的效果与磨具特性、工艺条件等之间的相关关系,各种磨削方式的加工特点及其磨具特性的选择,常用磨床的加工特点和使用范围。对超硬磨料磨具的最新修整技术进行了较详实的说明,特别编入了各种新型材料和难加工材料的磨削加工及其砂轮选择。本书吸收了磨削加工技术及相关领域的新技术、新成果。

本书可作为高等院校机械制造专业、磨料磨具专业、超硬材料及制品专业的专业教材或相关专业师生的参考书。同时对从事磨削加工、磨具制造等相关行业研究、生产与应用的技术和管理人员,也有较大的参考价值。

目 录

第一章 磨削加工概述	1	第四章 磨削力与磨削振动	36
一、磨削加工概况	1	第一节 磨削力	36
二、磨削加工方法分类	1	一、磨削力的各分力	36
三、常用磨削加工方式的运动参数	3	二、磨削力的解析	37
四、磨削加工技术的特点及应用	5	三、磨削力的实验式	38
五、磨削加工技术发展趋势	7	四、磨削力的测量	39
六、磨削理论研究动态	9	第二节 磨削中的振动	41
第二章 磨料与磨具	11	一、磨削中的振动形式	41
第一节 磨料的种类和性质	11	二、动态的切削过程	43
一、普通磨料	11	三、再生效应	44
二、超硬磨料	15	四、磨削中的颤振	45
第二节 磨具的分类及其结构	18	第五章 磨削温度与磨削液	47
一、普通磨具	18	第一节 磨削温度	47
二、超硬磨具	22	一、磨削热的产生与传散	47
第三章 磨削机理与磨削几何参数	25	二、磨削温度的分类和意义	48
第一节 磨粒切削刃的形状与分布	25	三、工件的平均温升	48
一、磨粒切削刃的形状	25	四、接触面温度	49
二、磨粒切削刃的分布	26	五、磨粒切削刃的温度	52
第二节 磨削机理与磨削过程	27	六、磨削温度的常用测量方法	52
一、磨削过程	27	七、磨削温度计算机检测系统简介	55
二、弹性变形	28	第二节 磨削液	56
三、塑性变形	29	一、磨削液的作用	57
第三节 磨削几何学参数	30	二、磨削液的分类	58
一、连续切刃间隔	30	三、磨削液添加剂及其作用机理	60
二、磨粒的最大切入深度	31	四、磨削液的效果	65
三、切屑弧长(砂轮接触弧长)	33	五、磨削液的供液方法	66
四、平均切屑断面面积	34	第六章 磨削精度与磨削表面质量	70
五、磨屑的形状	35	第一节 磨削精度	70
		一、磨削误差的来源分析	70

二、磨削中的弹性变形	71	五、磨削时的安全操作	133
三、磨削误差形成的其它影响因素	73	六、磨削时的安全防护	134
第二节 磨削表面粗糙度	74	第九章 常用磨削加工	135
一、表面粗糙度的表示方法	74	第一节 外圆磨削方式	135
二、磨削表面粗糙度的生成机理 和影响因素	75	一、工件装夹	136
三、磨削表面粗糙度对零件使用 性能的影响	77	二、磨削余量	137
第三节 磨削表面层的机械性能 ..	78	三、磨削用量	137
一、磨削表面硬度变化	78	四、外圆磨削的基本方法	138
二、磨削烧伤	81	五、台肩旁外圆的磨削方法	140
三、残余应力	83	六、外圆磨削质量分析	140
四、裂纹	86	第二节 内圆磨削	142
第七章 砂轮磨损和修整	88	一、内圆磨削的特点	143
第一节 磨粒的磨损方式和机理 ..	88	二、砂轮选择	143
一、砂轮的磨损形式	88	三、磨削用量	144
二、砂轮的寿命及其判据	91	四、内圆磨削的方法	144
三、砂轮寿命终结的形式	91	五、内圆磨削质量分析	146
四、评价砂轮磨削性能的指标	92	第三节 平面磨削	147
五、砂轮磨损量的测定	95	一、平面磨削方式	147
第二节 修整砂轮的方法	97	二、砂轮选择	149
一、普通磨料磨具的修整	97	三、磨削用量	149
二、超硬磨料磨具的修整	101	四、工件的装夹	150
第八章 磨料磨具的选择与使用 ..	111	五、平面磨削的方法	151
第一节 普通磨料磨具的选择与 使用	111	六、平面磨削质量分析	152
一、普通磨具特征的选择	111	第四节 无心磨削	153
二、普通磨料磨具的使用	121	一、无心磨削原理及其特点	153
第二节 超硬磨料磨具的选择与 使用	124	二、无心磨削常用方法	154
一、超硬磨料磨具特性的选择	124	三、磨削用量	155
二、超硬磨料磨具的使用	128	四、无心外圆磨削中应注意的 问题	157
第三节 磨具安全使用知识	131	五、无心磨削质量分析	162
一、磨具的运输和保管	131	第五节 齿轮磨削	163
二、砂轮的安装	132	一、齿轮磨削原理及方法	163
三、砂轮的平衡	132	二、砂轮选择	165
四、砂轮的安全使用速度	133	三、磨齿工艺	166
		第六节 螺纹磨削	167
		一、常用螺纹磨削方法	168
		二、砂轮选择	168
		三、磨削液选择	169

第七节 磨削切割	170	一、珩磨机理及其特点	202
一、磨削切割法与其它切割法的比较	170	二、珩磨头、珩磨运动及珩磨过程	202
二、磨削切割的种类及其运动	171	三、珩磨余量及磨削用量	204
三、干切、湿切和侵入式切割	172	四、磨条的选择	205
四、磨削切割工艺参数	173	五、珩磨的切削液	205
五、切割砂轮的选择	173	第二节 超精加工	206
六、磨削切割中的安全防护	174	一、超精加工的特点	206
第八节 自由磨削	174	二、超精加工的运动和切削过程	206
一、手持磨削的应用	174	三、超精头及磨石的选择	207
二、固定式手持磨削	174	四、影响超精加工质量和生产率的因素	208
三、移动式手持磨削	175	五、冷却润滑液	208
第九节 磨料喷射加工	177	第三节 研磨	209
一、概述	177	一、研磨的工作原理及特点	209
二、喷砂机	179	二、研磨的运动轨迹及其应用	210
二、对空气、动力和磨料的要求	180	三、研具的材料选择	211
第十章 高效磨削	181	四、研磨剂	211
第一节 高速磨削	181	五、研磨压力	212
一、高速磨削的特点	181	第四节 抛光	213
二、高速砂轮	182	一、抛光的工作原理及应用	213
三、高速磨削的安全技术要求	187	二、抛光剂的种类和选择	214
第二节 强力磨削	188	第五节 镜面磨削	215
一、强力磨削的理论基础	188	第十二章 难加工材料的磨削	217
二、强力磨削的主要类型和安全技术要求	189	一、难磨材料的特点	217
三、强力磨削的砂轮选择	191	二、难磨材料的类型	218
第三节 砂带磨削	192	三、解决难加工材料切削加工问题的途径	218
一、砂带磨削的特点	192	第二节 不锈钢材料的磨削	219
二、砂带磨削的应用	193	一、不锈钢磨削的特点	219
三、砂带速度、砂带张紧、砂带垫背	197	二、砂轮的选择	220
四、接触轮和接触辊	198	三、磨削用量	221
五、润滑剂	199	四、砂轮的修整	223
六、强力砂带磨削	200	第三节 高温合金钢材料的磨削	223
第十一章 高精度和低粗糙度磨削	202	一、高温合金的磨削特点	224
第一节 珩磨	202	二、砂轮的选择	225

三、磨削用量的选择	226	三、铜、铝合金磨削加工的工艺	
第四节 钛合金的磨削加工	227	条件	241
一、钛合金的材料特性与磨削		第十节 工程陶瓷及其它非金属材料	
特点	227	的磨削	242
二、磨削钛合金的砂轮选择	228	一、工程陶瓷的磨削	242
三、砂轮的修整及磨削液	229	二、搪瓷磨削加工	244
四、磨削用量	229	三、玛瑙的磨削	244
第五节 热喷涂(焊)合金材料的		第十一节 难加工材料的特殊加工	
磨削加工	231	方法	245
一、喷涂(焊)的磨削特点	232	一、超声磨削加工	245
二、砂轮的选择	232	二、电解磨削	250
三、磨削用量的选择	234	第十三章 磨削设备	253
第六节 新高速钢的磨削加工	235	第一节 磨床型号	253
一、我国推荐采用的新高速钢	235	一、型号的表示方法	253
二、新高速钢的磨削特点	235	二、机床的类别代号	253
三、新高速钢磨削加工时砂轮的选择	236	三、通用特性代号	254
四、新高速钢磨削加工时磨削用量		四、组别、型别代号	254
和磨削液的选择	237	五、主参数代号	254
第七节 钢结硬质合金的磨削加工		第二节 外圆磨床	256
及其砂轮的选择	238	一、M1432A 型万能外圆磨床	256
一、钢结硬质合金的性能及其磨		二、其它外圆磨床	260
加工特点	238	第三节 内圆磨床	262
二、钢结硬质合金磨削加工时砂轮		一、普通内圆磨床	262
的选择	239	二、行星式内圆磨床	263
三、钢结硬质合金磨加工时的磨		三、无心内圆磨床	264
削用量和磨削液	239	第四节 平面磨床简介	264
第八节 球墨铸铁的磨削加工及		一、主要类型和运动	264
其砂轮的选择	239	二、卧轴矩台式平面磨床	265
一、球墨铸铁材料及其磨加工的		三、立轴圆台平面磨床	266
特点	239	第五节 其它类型磨床简介	267
二、球墨铸铁磨削加工时砂轮的选择	239	一、齿轮磨床	267
三、球墨铸铁磨削加工时的工艺		二、螺纹磨床	267
条件	240	三、曲轴磨床	269
第九节 铜、铝合金的磨削加工	240	四、超精加工磨床	270
一、铜、铝合金的磨削特点	240	五、珩磨机	270
二、铜、铝合金磨削时砂轮的选择	241	六、砂带磨床	271
		参考文献	272

第一章 磨削加工概述

一、磨削加工概况

磨削加工是利用磨料去除材料的加工方法。用磨料去除材料的加工方法是人类最早使用的一种生产技艺。远在石器时代,已开始使用磨料研磨加工各种贝壳、石头及兽骨等材料,制成生活和狩猎的工具。青铜器出现以后,开始利用磨料加工来制造兵器及生产工具,研磨的铜镜已达到镜面要求。铁器的出现,使磨料加工成为一种普遍的工艺技巧得到广泛应用。

18 世纪中期出现第一台外圆磨床,使用石英石、石榴石等天然磨料敲凿成磨具,进而用天然磨料和粘土烧成砂轮,随后又研制成功平面磨床。1901 年以后,相继发明人工熔炼的氧化铝(刚玉)、碳化硅磨料。20 世纪 40 年代末期,人造金刚石问世。1957 年研制成功立方氮化硼。超硬磨料人造金刚石和立方氮化硼砂轮的应用及磨削技术的发展,使磨削加工精度及加工效率不断提高,磨削加工应用范围日益扩大。解放以前,我国的磨床及磨料工业一片空白。解放后,我国相继建立了现代化的磨床、磨料磨具制造厂及专业研究所,造就了一大批从事磨床设计制造,磨料磨具研究及制造的专业科技队伍。1955 年以后,试制并开始生产黑、绿碳化硅和白、棕色刚玉磨料,陆续开发了适用于各种磨削加工要求的磨具产品。1963 年成功合成第一颗人造金刚石,1966 年投入批量生产。80 年代高品位的人造金刚石、立方氮化硼相继面世。与此同时,我国的磨床工业经历了 20 世纪 50 年代初的测绘、仿制阶段,20 世纪 50 年代末期开始自行设计。改革开放政策极大地推动了磨床工业的发展,现在我国已能设计制造高精度、高效率、机电一体化的磨床,形成品种比较齐全的磨床产品,装备了国内经济部门的制造业并出口多个国家和地区。而且磨削工艺技术也已从最初的普通精度、普通型面的磨削加工向高效率和高精度、复杂型面的加工方向发展,如高速磨削、强力磨削、缓进给磨削工艺,属于高效率的磨削新工艺;珩磨、超精加工等则是高精度、低粗糙度的新工艺。

二、磨削加工方法分类

通常所说的磨削主要是指用砂轮和砂带进行去除材料的加工工艺方法,是应用最为广泛的高精度的终加工工艺方法。

根据加工对象的工艺目的和加工要求不同,磨削加工方式方法多种多样。通常的分类方法有以下几种:

1. 按磨具类型进行分类

可以分为固定磨粒和自由磨粒两大类,如图 1-1 所示。

2. 按加工对象分类

一般砂轮磨削根据加工对象及表面生成方法可将磨削加工分为六种基本类型,如图 1-2 所示。

3. 根据砂轮与工件的相对运动关系分类

通常将磨削加工分为往复式磨削、切入式磨削及综合磨削三种方式。

往复式磨削过程中,砂轮与工件的径向位置保持不变,在砂轮轴线方向有相对运动。这种加工方式加工质量较好但效率不高。

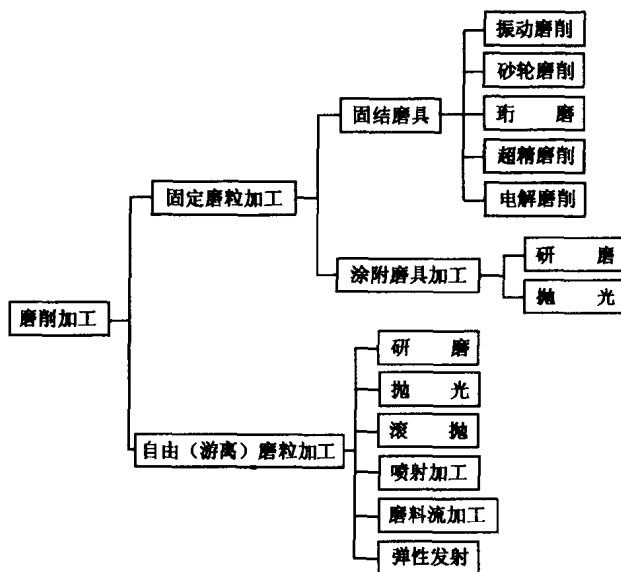


图 1-1 磨削加工分类

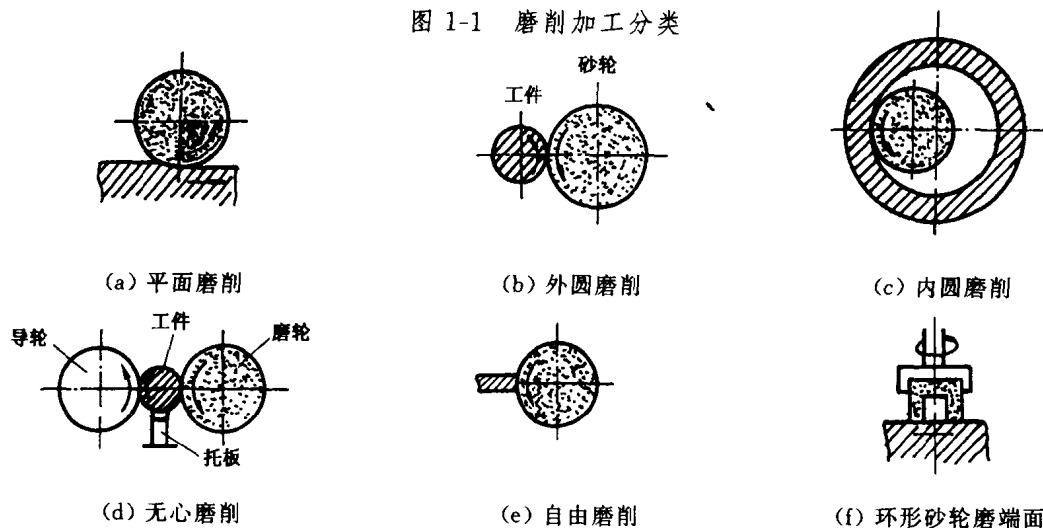


图 1-2 基本的磨削加工种类

切入式磨削是指砂轮与工件沿砂轮轴线的位置关系保持不变,砂轮以匀速径向进给直至工件尺寸磨到为止的加工方式。切入式磨削方式的加工效率高,但加工质量较差。

综合磨削是综合切入式和往复式磨削的特点,先采用切入式磨削方式分段切除大部分的工件余量,然后采用往复式磨削方式切除剩余的极少部分余量。这种方式即能达到较高的效率,又能获得较好的表面质量。

4. 按砂轮与工件干涉处的相对运动方向分类

根据砂轮与工件干涉处的相对运动方向,可将磨削加工分为顺磨和逆磨两种方式。

逆磨方式是指砂轮与工件的运动速度方向在干涉处相反。大多数磨削方式都属于这一类。这种磨削方式有利于提高切削速度和切削效率。

顺磨方式是指砂轮与工件的运动速度方向在干涉处相同。无心磨削就是典型的顺磨

方式。

三、常用磨削加工方式的运动参数

在所有磨削方式中,外圆磨削、平面磨削及内圆磨削是最常用的磨削方式。任何一种磨削加工的实现,砂轮都必须进行高速回转(见图 1-2)运动,这就是磨削加工的主运动。砂轮的速度即磨削速度通常可按下式计算:

$$v_s = \frac{\pi d_s n_s}{60 \times 1\,000} \quad (1-1)$$

式中: v_s ——砂轮圆周速度, m/s;

d_s ——砂轮直径, mm;

n_s ——砂轮转速, r/min。

普通磨削 v_s 一般为 30~35 m/s, 当 $v_s > 50$ m/s 时, 称为高速磨削。

磨削时的进给运动较多。不同类型的磨削加工, 进给运动的数目和形式也有所不同。现对常见的内圆、外圆、平面磨削的进给运动分别叙述如下:

1. 外圆及内圆磨削

外圆磨削除主运动外, 还需有径向进给运动、轴向进给运动和圆周进给运动, 如图 1-3 所示。

1) 径向进给

径向进给是指砂轮与工件沿其半径方向上的相对运动。

图 1-3 中, f_r 为径向进给量, 是工作台每行程内砂轮沿工件径向移动的距离, 一般情况下 $f_r = 0.005 \sim 0.02$ mm。/行程在切入式磨削中, 砂轮作连续的径向进给运动, 它是指工件每转一转砂轮沿工件半径方向切入的深度, 单位为 mm/r_{工件}。当然在切入式磨削中径向进给运动的大小也可以单位时间砂轮沿工件半径方向相对移动的距离(径向进给速度)来表示, 单位为 mm/min, 符号为 v_r 。显然有:

$$v_r = n_w \cdot f_r \quad (\text{mm/min}) \quad (1-2)$$

式中: v_r ——径向进给速度, mm/min;

n_w ——工件转速, r/min;

f_r ——径向进给量, mm/r。

2) 轴向进给

轴向进给是指砂轮与工件沿其轴线方向的相对运动。在图 1-3 中, 轴向进给速度 v_a , 是工件与砂轮在轴向每单位时间相对移动的距离, 单位为 mm/min。工业上常用轴向进给量 f_a 表示, 轴向进给量是指工件每转一转时, 砂轮与工件在轴向的相对移动量, 单位为 mm/r。一般情况下粗磨 $f_a = (0.5 \sim 0.8)b_s$, 精磨 $f_a = (0.2 \sim 0.5)b_s$, b_s 为砂轮宽度, 单位为 mm。

$$v_a = n_w f_a \quad (1-3)$$

3) 圆周进给

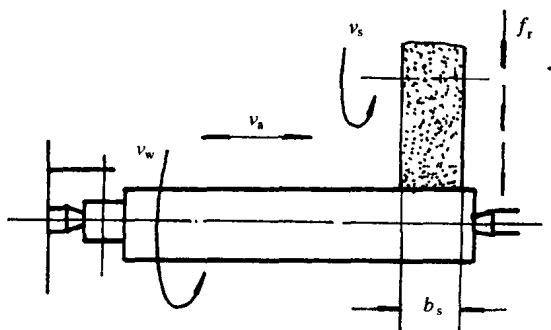


图 1-3 外圆磨削运动简图

圆周进给是工件为保证其整个圆周被均匀磨削而进行的回转运动。在图 1-3 中, v_w 为工件圆周速度, 其值表示圆周进给量的大小。

工件圆周速度选择原则: 在保证工件表面粗糙度要求的前提下, 应使砂轮在单位时间内切下最多的磨屑而砂轮磨耗要最少, 要达到这个目的, 应与砂轮圆周速度配合选择, 即 v_s/v_w 比值要合理, 一般取

$$\frac{v_s}{v_w} = 80 \sim 160 \quad (1-4)$$

式中: v_w ——工件圆周速度, m/s;

v_s ——砂轮圆周速度, m/s。

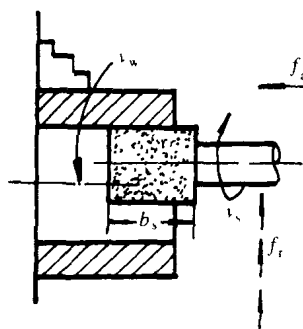


图 1-4 内圆磨削运动简图

当磨削具有以上三个进给运动, 称为往复式磨削(轴向磨削); 若砂轮与工件之间没有轴向进给, 砂轮对工件作连续径向进给, 称为切入磨削(径向磨削)。

内圆磨削运动与外圆磨削相同, 见图 1-4 所示。但受工件尺寸所限, 砂轮直径是外圆磨削时的几分之一到几十分之一。由于砂轮转速不易相应提高同样的倍数, 砂轮悬臂刚性差, 磨削液进行有效的冷却困难, 因此要保证良好的加工质量只能选用较低的磨削用量, 所以磨削效率不高。

2. 平面磨削

图 1-5 是工件作直线往复运动的平面磨削运动简图。平面磨削可分为两类:

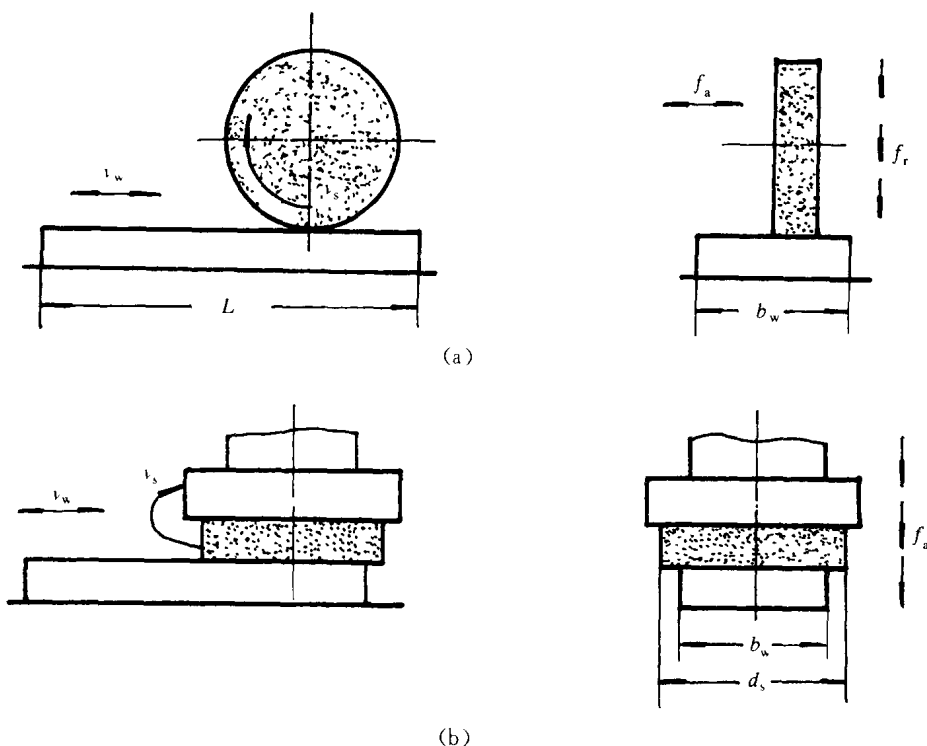


图 1-5 平面磨削运动简图